

Eskipazar Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Rayleigh, Lognormal ve Weibull Dağılım Modeli Kullanarak Tahminlenmesi

^{*1}Bayram Köse, ²M. Tahir Güneşer, ³Mesut Yazıcı, ³S. Hilmi Yılmaz

¹Eskipazar Meslek Yüksek Okulu, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

²Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

³Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

Özet

Bu çalışmada, Karabük ili Eskipazar ilçesi rüzgâr hızı verilerinin frekansları, matematiksel olarak olasılık yoğunluk fonksiyonları ile modellenmiştir. Rüzgar hız dağılımını modellemek için Rayleigh, Lognormal ve Weibull dağılımları kullanılmıştır. Olasılık dağılım fonksiyonlarının parametreleri, en küçük kareler metodu, moment metodu ve en çok olabilirlik metotları kullanılarak hesaplanmıştır. Rüzgar enerjisi potansiyeli tahminlerinin ortaya konması amacıyla kullanılan olasılık dağılım fonksiyonları ile güç yoğunlukları hesaplanmış, gerçek güç yoğunluğu ile kıyaslanmıştır. Hangi modelin performansının daha iyi olduğunun belirlemek için, ortalama hata kareleri toplamının karekökü(RMSE) ve determinasyon katsayısı (R^2) kullanılmıştır. Seçilen olasılık dağılım modellerinin ürettiği frekanslar ile gerçek rüzgar frekanslarının uyumu araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rayleigh, Lognormal, Weibull, Rüzgar enerjisi potansiyeli, rüzgar güç yoğunluğu,

Estimation of Wind Energy Potential Eskipazar Using Rayleigh, Lognormal and Weibull Distribution Model

Abstract

In this study, the province of Karabük's Eskipazar district's frequencies of wind speed data was modeled by mathematical probability density functions. To model the wind speed distribution Rayleigh, lognormal and Weibull distribution are used. The parameters of the probability distribution functions recalculated using least squares method, the method of moments and maximum likelihood methods. Wind energy is calculated with the power density probability distribution functions used in order to determine the estimated potential is compared with the actual power density. To determine whether the model's performance is better than the square root of the sum of the mean square error(RMSE) and coefficient of determination(R^2)was used. Produced frequency by the selected probability distribution with the actual wind frequency compliance is investigated.

Key words: Rayleigh, Lognormal, Weibull, Wind energy potential, wind power density,

1. Giriş

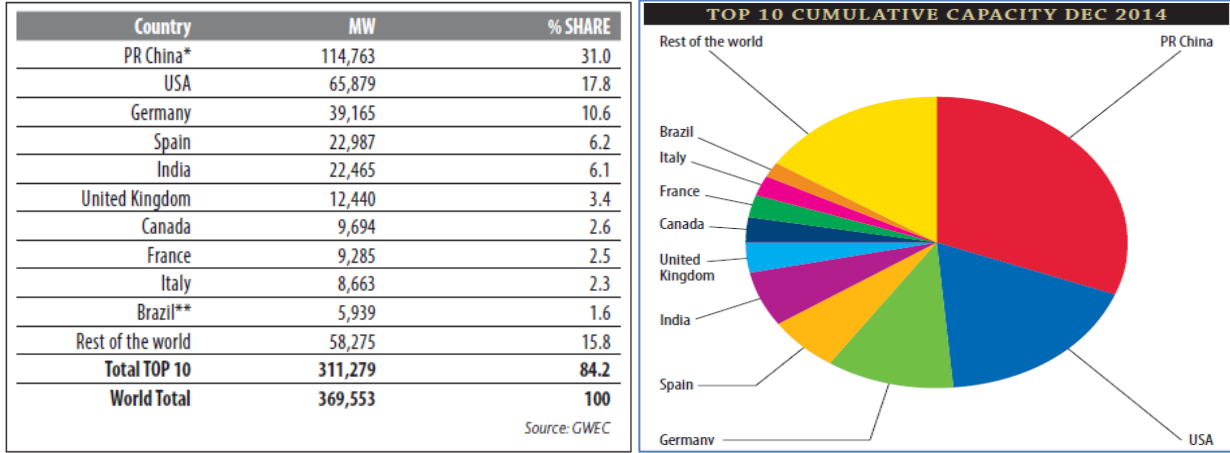
Küresel rekabette ülkeler gelişmişlik düzeylerine göre sınıflandırılmaktadırlar, bu sınıflandırma ülkelerin enerji sarfiyatlarına ve sarf ettiği enerjiyi elde etme şekline veya çeşitliliğine göre paralellik göstermektedir. Çeşitli tanımlamalara göre “Enerji, ekonomik ve sosyal refahın sağlanabilmesi ile sürdürülebilir kılınmasında çok önemli işlevler yüklenmekte, stratejik

niteliklere sahip temel bir öge olarak, küresel gündemin en önemli sıralarında yer bulmaktadır.[1] Enerji, sosyo-ekonomik alanda gelişmek için önemli bir rol üstlenmektedir.[2]

Kömür, petrol ve doğalgaz gibi hidrokarbon kökenli yakıtlar bakımından ülkemizin rezervleri yetersiz olması, artan enerji talebine karşı enerji arzının maliyeti önem kazanmaktadır. Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklara dayalı enerji üretiminde en büyük paya sahip olan alt sektör hidroelektrik olup, hidroelektrik dışında yenilenebilir enerji kaynakları arasında en büyük paya sahip olan rüzgar enerjisidir ve rüzgar enerjisi yıllar içinde payını artırmaya devam edecektir.[3]

Rüzgâr enerjisinden elektrik gücü olarak faydalanabilmesi için; yararlanma imkânlarının bilinmesi, yüksek rüzgâr enerjisi edilebilecek sahaların belirlenmesi, rüzgâr karakteristiklerinin ve enerji potansiyelinin tahmin edilebilir olması çok önemlidir.[4] Kârlı yatırımlar için bu etmenler çok belirleyici olmaktadır.

Günümüzde gelişmiş ülkelerin yıllık elektrik talepleri yılda %2 oranında, gelişmekte olan ülkelerde ise %7 lik bir oranla artış gözlenmektedir. Rüzgar gücü potansiyeli yüksek Meksika, Çin ve Hindistan gibi gelişmekte olan ülkelerin bu potansiyeli kullandıkları görülmektedir. [6] World Energy tarafından yayımlanmış çalışmaya göre(Şekil 2); 5,1 m/s üzeri rüzgar hızlarına sahip bölgelerin uygulamaya dönük ve toplumsal kısıtlar nedeniyle %4 ‘nün kullanılacağı kabul edilmiş, dünya rüzgar enerjisi teknik potansiyeli 53.000 TWh/yıl olarak hesaplanmıştır[7].



Şekil 1 Global Wind Energy Council (GWEC)'e göre 2014 yılı ülkelerin kurulan RES kapasiteleri ve RES kümülatif kuruluşları [8]

“Türkiye’de yer seviyesinden 50 metre yükseklikte ve 7,5 m/s üzeri rüzgar hızlarına sahip alanlarda kurulabilecek rüzgar santraline göre Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli 48000 MW olarak belirlenmiştir. [7] Aşağıdaki grafiklerde Türkiye’de Kurulu gücün kaynaklara göre dağılımları yer almaktadır(Tablo 1).

Tablo 1 Türkiye'nin Enerji Kaynaklarına Göre Kurulu Güç Kapasitesi,[20]

Kurulu Güç Kapasitesi	2010	2011	2012	2013	*2014
Termal Enerji	32.278,5	33.931,1	35.027,2	38.648	41.800,7
Hidrolik Enerji	15.831,2	17.137,1	19.609,4	22.289	23.640,9
Rüzgar Enerjisi	1.320,20	1.728,70	2.260,50	2.759,60	3.629,70
Jeotermal Enerji	94,20	114,20	162,20	310,80	404,90
Güneş Enerjisi	--	--	--	--	40,18
Toplam	49.524,1	52.911,1	57.059,4	64.007,5	69.516,4

Bir bölgenin rüzgar enerjisi potansiyelinin ortaya konmasında uzun zamanlar alan rüzgâr hızı ölçümlerinin yanında RES kurulum bölgesinin enerji potansiyeli matematiksel modelleme yöntemleriyle kolay bir şekilde ortaya konulabilmektedir. Matematiksel modelleme yöntemi problemleri ve olayları yorumlama sürecinde probleme yönelik durumları anlaşılır hale getirme, sistemleştirme ve organize edip bir ilişki içerisinde sonuçlar elde etmek için modeller kullanma ve şemalar oluşturma sürecidir. [10] Rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan matematiksel modelleme yöntemi son yıllarda bir çok alanda kullanılan bir yöntemdir.

Rüzgar enerjisi tahmin alanında yapılan matematiksel model çalışmaları temel olarak ikiye ayrılır. Birincisi rüzgar enerjisi potansiyeli hesaplamalarıdır. İkincisi zaman eksenli gelecekteki rüzgar hızını tahmin etmedir. Her iki alanda da, literatürde çok sayıda çalışma vardır[1-23].

Bu tür çalışmalarda esas amaç, rüzgar verilerini modelleyerek rüzgar hızlarının ölçüldüğü bölgeye ait rüzgar rejimini araştırmaktır. Çalışmalarda, rüzgar hızlarının önceden tanımlı dilimlere düşen yıl içindeki değişimleri rüzgar hızı esiş aralığı – rüzgar hızı esiş sayısı eksenlerinde incelenmekte ve veriler Weibull, Rayleigh vb. dağılımlara benzetilmektedir. Tahmin edilen frekanslar ile istenen rüzgar enerjisi potansiyeli hesaplanmaktadır[17].

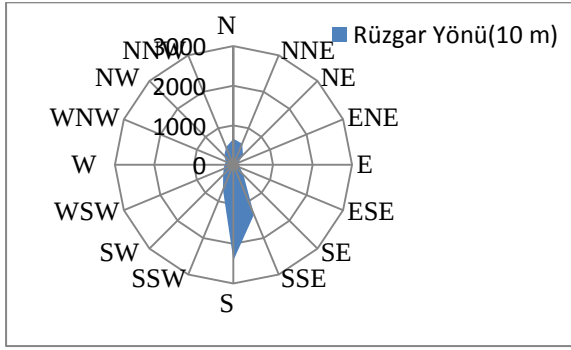
Dağılım fonksiyonları ve rüzgar enerjisi potansiyel hesabı üzerine binlerce çalışma bulunmaktadır.[1-23]. Özellikle dağılımlar ve Weibull dağılımı üzerine yapılan çalışmalar üç kategoriye ayrılabilirler. Birinci kategorideki çalışmalar rüzgar hızı frekansı karakterizasyonu ve potansiyel hesabı üzerinedir[1-23], İkinci kategoride ise Weibull dağılımı(veya diğerleri) modifikasyonları üzerine çalışmalar, Üçüncü kategorideyse dağılım parametrelerinin tahminlenmesi üzerine yapılan çalışmalardır[15, 21, 22]

Bu çalışmamızda Karabük ili Eskipazar ilçesinde bulunan rüzgâr ölçüm direğinden elde edilen rüzgar hızı verileriyle elde edilen rüzgar enerjisi potansiyeli ile matematiksel modelleme yolu ile elde edilen rüzgar enerjisi potansiyeli karşılaştırılmıştır. Çalışmamızda ilk olarak Eskipazar ilçesi tanıtılarak bir yıllık rüzgar hızı verileriyle aylık ve yıllık bazda ortalama rüzgar hızı verileri ortaya konmuştur. Ayrıca hız değeri frekansları ve hakim rüzgar yönü de belirlenmiştir. Üçüncü bölümde ise matematiksel modellemeler olarak kullanılan Rayleigh dağılımı, Lognormal dağılımı ve Weibul Olasılık dağılımları denklemleri belirtilmiştir. Dördüncü bölümde bu dağılım yöntemleriyle ve gerçek verilerle ortalama güç yoğunlukları hesaplanmıştır. yapılmıştır. Beşinci bölümde bu modeller için performans değerlendirilmesi yapılırken sonuç bölümünde çalışma sonucunda elde edilen bulgular değerlendirilmiştir.

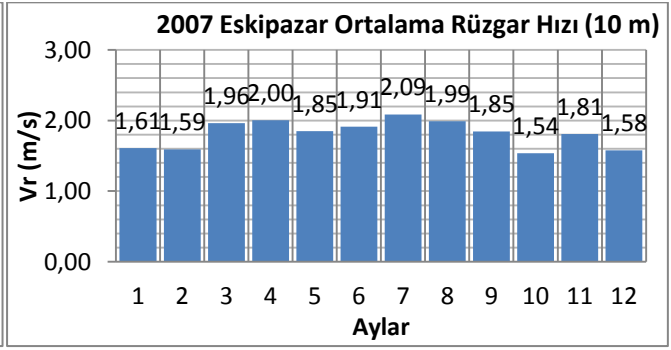
2. Veriler

Eskipazar (40°56'33.68''K-32°31'40.81''D), Türkiye'nin Karabük vilayetine bağlı bir ilçedir. Karabük vilayet merkezinin güney batısı tarafında kalmaktadır. Nüfusu 7100 olan Eskipazar ilçesi Karadeniz bölgesi ile iç Anadolu bölgesi arasında kaldığından geçiş iklimine sahiptir. Bu bölge topoğrafik olarak engebeli bir arazi olup çok sayıda tepe bulunmaktadır. Eskipazar'a bağlı köy ve yaylalar Karadeniz ormanlarının ihtişamına sahiptir. [11]

Yapılan ölçümler sonucunda aylık rüzgar hızları ortalamaları belirlenmiştir. Belirlenen ölçümlere göre en yüksek rüzgar hızı nisan ayında 2,09 m/s ve en düşük rüzgar hızı ise 1,54 m/s Ekim ve 1,58 m/s Aralık aylarında kaydedilmiştir. Yıllık ortalama rüzgar hızı ise 1,82 m/s olarak kaydedilmiştir(Şekil 3). Ölçüm verilerine göre çizilen rüzgar gülü grafiği hakim rüzgar yönünün güney yönünde olduğunu göstermektedir(Şekil 2).



Şekil 2 Eskipazar Rüzgar Gülü



Şekil 3 Eskipazar 2007 Ortalama Rüzgar Hızı (10 m)

3. Matematik Modeller

Rüzgar hızı verilerini analiz etmek ve açıklamak için çeşitli istatistiksel dağılım fonksiyonları vardır. Bunların içinden en çok kullanılanları Rayleigh, Lognormal ve Weibull olasılık dağılımlarıdır.[2,12,13]

3.1. Rayleigh Dağılımı

Rayleigh olasılık dağılım fonksiyonu aşağıdaki denklemde verilmiştir;

$$f(v; \theta) = \left(\frac{v}{\theta^2}\right) \exp \left[-\left(\frac{v}{\theta^2}\right)^2 \right] \quad (1)$$

Rayleigh olasılık dağılım fonksiyonu, Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun şekil parametresinin 2'ye eşit olması halinde, özel durumudur. Rayleigh birikimli dağılım fonksiyonu ise (2) bağıntısı ile verilmektedir.

$$F(v; \theta) = [1 - e^{-v^2/2\theta^2}] \quad (2)$$

En küçük kareler yöntemi kullanılarak, (3) deki dönüşümle θ parametresi tahmini;

$$X_i = \ln v_i \quad \text{ve} \quad Y_i = \ln[-\ln(1 - P_i)] \quad (3)$$

$$\theta = \left[\frac{1}{2} \exp \left[-\frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n Y_i - 2 \sum_{i=1}^n X_i) \right] \right]^{0.5} \quad (4)$$

denklem (4) ile gerçekleştirilmektedir[14].

Ölçek parametresi moment metoduyla aşağıdaki denklem yardımıyla tahmin edilebilir.

$$\theta = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}} m \quad (5)$$

Ölçek parametresinin MLE yöntemi ile tahmini (6) denklemi ile yapılmaktadır.

$$\theta = \left(\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (v_i)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

3. 2. Lognormal Dağılımı (İki Parametrelili Lognormal Dağılımı)

İki parametrelili Lognormal dağılımı olasılık dağılım fonksiyonu denklemi;

$$f(v) = \frac{1}{v\beta\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln v - \alpha}{\beta}\right)^2} \quad (7)$$

Birikimli yoğunluk fonksiyonu denklemi denklem (8) de verilmiştir.

$$F(v) = \int \frac{1}{v\beta\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{v - \alpha}{\beta}\right)^2} dx \quad (8)$$

Bu dağılımın parametreleri; en çok olabirlik (maximum likelihood) metoduna göre [15];

$$\alpha = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(v_i) \quad , \quad \beta^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\ln(v_i) - \alpha]^2 \quad (9)$$

bağıntılarından hesaplanır. Moment metoduna göre (10) da verilen denklemlerle bulunur.

$$\alpha = \ln \left[m / \sqrt{1 + \left(\frac{s^2}{m^2} \right)} \right] \quad , \quad \beta = \sqrt{\ln \left[1 + \left(\frac{s^2}{m^2} \right) \right]} \quad (10)$$

Bu parametrelerin belirlenmesinde kullanılan s rüzgar hızı verilerinin varyansını, m ise ortalama hız değerini ifade etmektedir.

3. 3. Weibull Dağılımı

Rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan matematiksel modellerden en kullanışlı Weibull olasılık dağılım fonksiyonudur. Weibull olasılık dağılım fonksiyonu;

$$f(v) = \frac{a}{b} \left(\frac{v}{b} \right)^{a-1} \exp \left(- \left(\frac{v}{b} \right)^a \right) \quad a > 0, \quad b > 0, \quad v > 0 \quad (11)$$

Bu formülde, f rüzgar hızı verileriyle ilişkili olasılık fonksiyonu, a şekil parametresi, b ölçek parametresi v ise gözlemlenen rüzgar hızı verisidir. İki parametrelili birikimli Weibull dağılım denklemi aşağıda verilmiştir;

$$F(v) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{v}{b} \right)^a \right] \quad (12)$$

Weibull dağılımı şekil parametresinin farklı değerler almasına bağlı olarak grafiği farklı şekillerde çıkan esnek bir dağılımdır. Weibull dağılımının parametrelerinin çıkarılmasına yönelik literatürde çokça çalışma vardır. [16,17]

Parametrelerin en küçük kareler metoduna göre tahmin edilmesinde; şekil parametresi a ve ölçek parametresi b yi hesaplamak için, birikimli Weibull dağılım fonksiyonu lineerleştirilirse;

$Y_i = \ln[-\ln(1 - P_i)]$ ve $X_i = \ln v_i$ olmak üzere, a ;

$$a = \left[N \sum_{i=1}^N Y_i X_i - \left(\sum_{i=1}^N X_i \right) \left(\sum_{i=1}^N Y_i \right) \right] \left[N \sum_{i=1}^N X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N X_i \right)^2 \right]^{-1} \quad (13)$$

denklemden hesaplanır. Yukarıda yer alan P_i , sınıflandırılmış rüzgar hızlarının N sınıfın frekansına bağlı den çok ölçüm birikimlerini içeren P 'nin vektörel bileşenidir. Şekil parametresi aşağıdaki denklemden elde edilen k yardımıyla bulunur.

$$k = \left[\sum_{i=1}^N Y_i \sum_{i=1}^N X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N X_i \right) \left(\sum_{i=1}^N X_i Y_i \right) \right] \left[N \sum_{i=1}^N X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N X_i \right)^2 \right]^{-1} \quad (14)$$

Ölçek parametresi aşağıdaki denklem yardımıyla tahmin edilir;

$$b = \exp \left[- \frac{k}{a} \right] \quad (15)$$

Moment tahmin yöntemine göre parametrelerin belirlenmesinde; boyutsuz şekil parametresinin belirlenmesi denklem (16) ile bulunur.

$$a = \left(\frac{s}{m} \right)^{-1,091} \quad (16)$$

Ölçek parametresinin belirlenmesinde (17) fonksiyonu kullanılır.

$$b = \frac{m}{\Gamma(1+1/a)} \quad (17)$$

Parametrelerin en çok olabilirlik (maximum likelihood) metoduna tahmininde; boyutsuz şekil parametresinin (a) belirlenmesi Newton-Raphson yöntemi ile (18) denklemden bulunur.

$$a = \left[\frac{\sum_{i=1}^n v_i^a \ln v_i}{\sum_{i=1}^n v_i^a} + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(v_i) \right]^{-1} \quad (18)$$

Ölçek parametresinin belirlenmesinde (19) denklemi kullanılır. Metotlara göre olasılık dağılım fonksiyonlarının parametre değerleri Tablo 2 de verilmiştir.

$$b = \left(\frac{1}{a} \sum_{i=1}^n (v_i)^a \right)^{1/a} \quad (19)$$

Tablo 2 Model parametrelerin metotlara göre değerleri

Dağılımlar	Weibull		Rayleigh	Lognormal	
Parametreleri	a	b	θ	α	β
En Küçük Kareler Metodu	1,858	1,9658	1,329	---	---
MLM	1,8776	7,7033	1,9806	0,5818	0,1847
MM	1,4025	1,993	1,449	1,731	0,8192

4. Rüzgar Güç Yoğunluğu Analizi

Birim alana düşen rüzgar gücü aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır;

$$P = \frac{1}{2} \rho v^3 \quad (20)$$

Ortalama güç yoğunluğu ise olasılık yoğunluk dağılımından yola çıkılarak hesaplanabilir [18];

$$P_m = \sum_{j=1}^n \left[\frac{1}{2} \rho v_m^3 f(v_j) \right] \quad (21)$$

Elde edilen güç yoğunluğuna göre de bir sınıflandırma yapılabilir. Ortalama güç yoğunluğuna göre rüzgar enerjisi açısından ölçüm noktaları için sınır değerler aşağıda verilmiştir[19]. Eskipazar için ölçüm verilerine ve modellere göre hesaplanan ortalama güç yoğunlukları Tablo 3 de gösterilmiştir.

- Uygun değil ($P/A < 100 \text{ W/m}^2$)
- Değerlendirilebilir ($100 \text{ W/m}^2 < P/A < 300 \text{ W/m}^2$)
- İyi ($300 \text{ W/m}^2 < P/A < 700 \text{ W/m}^2$)
- Çok iyi ($P/A \geq 700 \text{ W/m}^2$)

Tablo 3 Hesaplanan Güç Yoğunlukları, Ölçüm verileri ve Modeller İçin

	Ölçüm Verileri	Weibull Dağılımı			Rayleigh Dağılımı			Lognormal Dağıl.	
		En Küçük Kareler Metodu	ML Metodu	Moment Metodu	En Küçük Kareler Metodu	ML Metodu	Moment Metodu	ML Metodu	Moment Metodu
Güç Yoğunluğu	9,6067	3,7845	270,6501	7,1942	2,8438	11,7711	8,0376	3,5123	232,423

5. Modeller için Performans Değerlendirmesi

Determinasyon katsayısı ve Ortalama hata kareleri kökü (RMSE), dağılım fonksiyonlarının performansının ölçmek için kullanılmıştır. Denklemlerde kullanılan (R^2)’de, F değeri dağılım fonksiyonlardan üretilen birikimli frekansı, P ise ölçümlerden elde edilen birikimli frekansı temsil etmektedir. R^2 değeri, aşağıdaki denklemle hesaplanabilir [22].

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (F-P)^2}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})^2)(\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2)}} \quad (22)$$

RMSE denklemi, (23)'de yi gerçek verileri, yic hesaplanan verileri ifade etmektedir.

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y_{ic})^2 \right]^{0,5} \quad (23)$$

Bu ölçütlerin ikisinde de en iyi performans veren dağılım modellemede kullanılabilir[14]. Bu ölçütlere göre yapılan hesaplamalar Tablo 3 de verilmiştir.

Tablo 4 Ölçüm verileri ve Model Sonuçları Hata Hesapları

	Weibull Dağılımı			Rayleigh Dağılımı			Lognormal Dağılımı	
	En Küçük Kareler Metodu	ML Metodu	Moment Metodu	En Küçük Kareler Metodu	ML Metodu	Moment Metodu	ML Metodu	Moment Metodu M
R ²	0,9676	0,0031	0,9561	0,9546	0,8721	0,9363	0,4576	0,0325
RMS	0,0245	0,1193	0,0267	0,0326	0,0422	0,0227	0,1161	0,1726

6. Sonuç ve Değerlendirme

Bu çalışmada, Weibull, Rayleigh ve Lognormal kullanılarak Karabük Eskipazar, bölgesinde 2007 yılı rüzgar hızı ve yönü bilgilerine bağlı olarak rüzgar karakteristiklerinin değişimi incelenmiş, rüzgar güç yoğunluğu hesaplamaları yapılmıştır. Weibull ve Rayleigh dağılımının parametrelerini tahmin için LSM, MLM ve MM metotları kullanılmıştır. Lognormal dağılımının parametrelerini tespit etmek için, maksimum olabilirlik yöntemi(MLM) ve moment metodu kullanılmıştır.

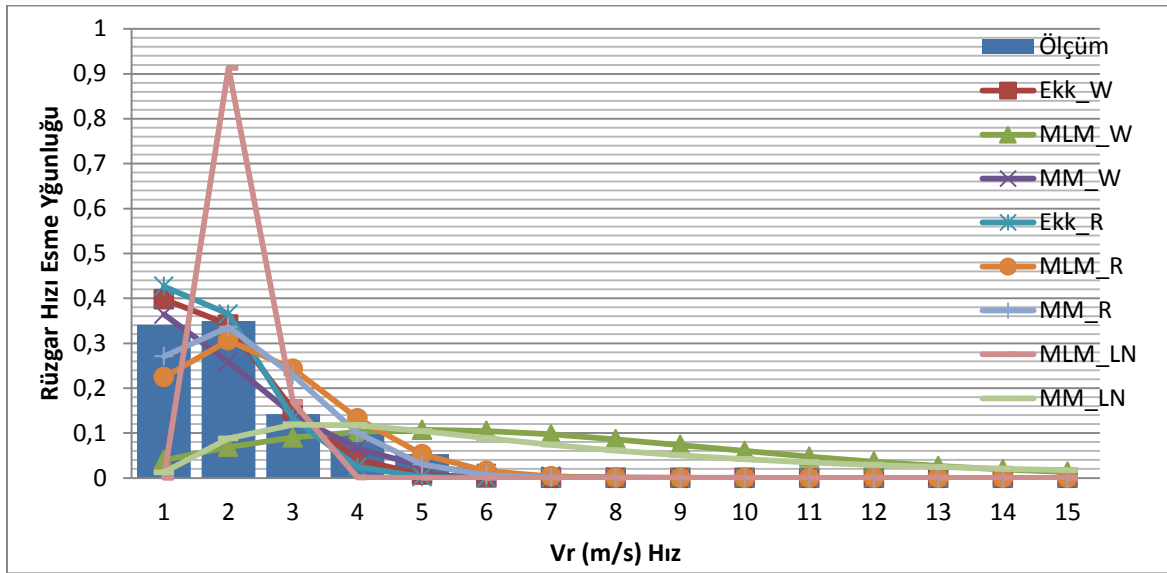
Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonun, Rayleigh ve Lognormal olasılık yoğunluk fonksiyonlarından Karabük Eskipazar rüzgar hızı dağılım verilerini daha iyi modelleyebildiği Şekil 4 de görülmektedir.

Karabük ilinde Meteoroloji işleri genel müdürlüğü tarafından Eskipazar bölgesine kurulan 10 m yüksekliğe sahip ölçüm direğinin bulunduğu yerdeki rüzgar enerjisi potansiyeli düşüktür. Yıllık ortalama güç yoğunluğu 100 W/m² den küçük olduğu için rüzgar gücü sınıflanmasında en düşük potansiyeli gösteren gruba girmektedir(Tablo 3). Ölçüm noktası yatırıma uygun değildir.

Tablo 4 incelendiğinde rüzgar hızı frekans dağılımının en iyi modellemesinin, en küçük kareler yöntemi ile hesaplanan parametreler için Weibull dağılım fonksiyonu tarafından sağlandığı görülmüştür.

Tablo 4 ve Tablo 3 incelenmesinden rüzgar güç yoğunluğunu ise moment metodu ile hesaplanan parametreler için, Rayleigh dağılımınca modellendiği görülmektedir.

Rüzgar hızı karakterizasyonu açısından başka olasılık dağılımlarının Eskipazar rüzgar hızını modellemesi incelenebilir.



Şekil 4 Model grafikleri ve ölçüm verileri histogramı

Tablo 5 Ölçüm Verileri İle Rüzgar Hızı Tahminleme Metotlarının Frekans Yoğunlukları

V	Ölçüm	Weibull Dağılımı			Rayleigh Dağılımı			Lognormal Dağılımı	
		En Küçük Kareler Metodu	ML Metodu	Moment Metodu	En Küçük Kareler Metodu	ML Metodu	Moment Metodu	ML Metodu	Moment Metodu
1	0,3407	0,398	0,0398	0,3645	0,4266	0,2244	0,2705	0	0,0122
2	0,3493	0,3416	0,0689	0,258	0,3649	0,3062	0,3363	0,913	0,0877
3	0,1422	0,1515	0,0899	0,1407	0,1329	0,2428	0,2284	0,1676	0,1188
4	0,0988	0,0412	0,1024	0,0654	0,0244	0,1327	0,1004	0,0008	0,1173
5	0,0531	0,0073	0,107	0,0269	0,0024	0,0527	0,0301	0	0,1041
6	0,0123	0,0009	0,1047	0,0101	0,0001	0,0156	0,0063	0	0,0885
7	0,0030	0,0001	0,0972	0,0035	0	0,0035	0,0009	0	0,0738
8	0,0002	0	0,0861	0,0011	0	0,0006	0,0001	0	0,0611
9	0,0003	0	0,0732	0,0003	0	0,0001	0	0	0,0506
10	0,0000	0	0,0599	0,0001	0	0	0	0	0,0419
11	0,0000	0	0,0473	0	0	0	0	0	0,0348
12	0,0000	0	0,0361	0	0	0	0	0	0,029
13	0,0000	0	0,0267	0	0	0	0	0	0,0243
14	0,0000	0	0,0191	0	0	0	0	0	0,0205
15	0,0000	0	0,0133	0	0	0	0	0	0,0173

Referanslar

- [1] Sohtaoğlu, Nazif, Hülâgü, Diz, İsmail, Erbaş, Mehmet, Fatih, “Enerji Kaynaklarının Arz ve Talebine Yönelik Küresel Eğilimlerin Tarihsel Süreçte Karşılaştırmalı Analizi”, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Türkiye 10. Enerji Kongresi, 2006
- [2] Pishgar-Kamleh, S.H., Keyhani, A., Sefeedpari, P., “Wind speed and power density analysis based on Weibull and Rayleigh distributions (A case study: Firouzkooh county of Iran)”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 42 (2015) 313-322

- [3] Topcu, Ceren, Yünsel Türtük, Dilşad, “Yenilenebilir Enerji Araştırma Raporu”, Çukurova Kalkınma Ajansı, 2012/03, p 11
- [4] Köse, Bayram, Recebli, Ziyaeddin, Özkaymak, Mehmet,” Stokastik Modellerle Rüzgar Hızı Tahmini; Karabük Örneği”, ISITES 2014, 806-815
- [5] <http://www.euas.gov.tr/Sayfalar/YillikRaporlar.aspx>
- [6] Hayli, Selçuk, “Rüzgar Enerjisinin Önemi, Dünyada ve Türkiye’deki Durumu”, Fırat University journal Of Social Science, (2001), Cilt:11, Sayı:1, Sayfa 1-26
- [7] http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/ruzgar/ruzgar_en_hak.html
- [8] <http://www.tureb.com.tr/tr/duyurular/438-gwec-wind-statistics-2014>
- [9] <http://www.tureb.com.tr/tr/duyurular/420-turkiye-ruzgar-enerjisi-istatistik-raporu-ocak-2015>
- [10] Tutak, T., Güder, Y., “Matematiksel Modellemenin Tanımı, Kapsamı ve Önemi”, Turkish Journal of Educational Studies, 1(1) Ocak 2014, 173-190
- [11] <http://tr.wikipedia.org/wiki/Eskipazar>
- [12] Fagbenle, R.O.,Katende, J., Ajayi, O.O., Okeniyi, J.O., “Assessment of wind energy potential of two sites in north-east, Nigeria” Renewable Energy, (2011),v :36 i:4, p:1277-1283
- [13] Özerdem, B., Türkeli, M., “An investigation of wind characteristics on the campus of Izmir institute of technology, Turkey”, Renewable Energy, (2003), v:28, i:7, pages 1013-1027
- [14] Köse, B., Küçük, A.Z., Ordu, B., Çay, Y., “ Rüzgar enerjisi potansiyelinin tahminlemesinde kullanılan olasılık dağılım fonksiyonlarına genel bir bakış ve Karabük rüzgar verilerine uygulanması” AÜ Bilim ve Teknoloji Dergisi A-Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik, (2013), cilt:14, sayı:3 1-15
- [15] J.,A., Carta, P., Ramirez, S., Velazquez, “A review of wind speed probability distributions used in wind energy analysis: Case studies in the Canary Islands”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 13, iss. 5, June 2009, pages 933-955
- [16] Kurban, M., Kantar Mert, Y., Hocaoglu, F., O., “ Weibull dağılımı kullanılarak rüzgar hızı ve güç yoğunluklarının istatistiksel analizi”, AKÜ Fen Bilimleri Dergisi, (2007), 7(2): 205-208
- [17] Cheng, R.C.H. and Amin, N.A.K., Estimating Parameters in Continuous Univariate Distributions with a Shifted Origin, J.Roy. Statist. Soc. Ser. B. 45 394-403 (1983)
- [18] Çelik, N., Ali, “Reviews of Turkey’s current energy status: A case study for wind energy potential of Çanakkale province”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, volume 15, issue 6, August 2011, pages2743-2749
- [19] Fazepour, F., Soltani, S., Soltani, S., Rosen, M.,A., “Assesment of wind energy potential and economics in the North-western Iranan cities Tabriz and Ardabil”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 45 (2015) 87-99
- [20] www.eie.gov.tr//document/elektrik_kurulu_guc_kaynaklar.pdf (erişim: 28.02.2015)
- [21] Talha Arslan, Y.Murat Bulut, Arzu Altın Yavuz, “Comparative study of numerical methods for determining Weibull parameters for wind energy potential.” Renewable and Sustainable Energy Reviews 40 (2014) 820–825
- [22] Jianzhou Wang, Shanshan Qin, Shiqiang Jin, Jie Wu, “Estimation methods review and analysis of offshore extreme wind speeds and wind energy resources”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 42 (2015) 26–42
- [23] Aoife M., Foley, Paul G. Leahy, Antonino Marvuglia, Eamon J. McKeogh, (2012), Current methods and advances in forecasting of wind power generation, Renewable Energy 37 (2012) 1-8