



Statistical analysis of wind energy potential of Elazığ province according to Weibull and Rayleigh distributions

Ebru Kavak Akpınar*^{ID}, Nilay Balpetek^{ID}

Firat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 23279, Elazığ, Türkiye

Highlights:

- Statistical analysis of wind power density and wind speed distribution parameters in Elazığ province
- Determination of wind energy potential using Weibull and Rayleigh distributions
- Change of wind speed with probability density function and cumulative density function

Keywords:

- Wind energy
- statistical determination of wind energy potential
- Weibull distribution
- Rayleigh distribution
- Elazığ

Article Info:

Research Article
Received: 09.08.2017
Accepted: 03.10.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416517

Acknowledgement:

Correspondence:

Author: Ebru K. Akpınar
e-mail:
ebruakpinar@firat.edu.tr
phone: +90 424 237 0000-5325

Graphical/Tabular Abstract

Wind speed is not constant in each region and varies depending on surface and weather. Making appropriate and accurate predictions for wind is important in changing energy markets in recent years. There are increasing methods for predictions. These are increasing the number of measurements or getting characteristic of wind speed in the region with statistical methods. In this study, the statistical analysis of wind power density and wind speed distribution parameters in Elazığ province was investigated using the hourly wind speed data measured by the General Directorate of Meteorology between 2005 and 2014. Weibull and Rayleigh distributions were used for modeling and the success of this modeling process was evaluated according to the parameters of R^2 , RMSE and χ^2 . According to statistical criteria in wind data analysis of Elazığ province, Weibull distribution is better than Rayleigh distribution (Table A).

Table A. R^2 , RMSE and χ^2 values according to Weibull and Rayleigh distributions

| Years | Weibull Distribution | | | Rayleigh Distribution | | |
|-------|----------------------|----------|----------|-----------------------|----------|----------|
| | R^2 | RMSE | χ^2 | R^2 | RMSE | χ^2 |
| 2005 | 0,927619 | 0,000509 | 0,001204 | 0,862038 | 0,000971 | 0,002104 |
| 2006 | 0,909086 | 0,000707 | 0,001697 | 0,844965 | 0,001205 | 0,002630 |
| 2007 | 0,941288 | 0,000429 | 0,001015 | 0,871254 | 0,000941 | 0,002039 |
| 2008 | 0,934954 | 0,000479 | 0,001150 | 0,884258 | 0,000852 | 0,001860 |
| 2009 | 0,909467 | 0,000588 | 0,001410 | 0,885330 | 0,000744 | 0,001624 |
| 2010 | 0,901512 | 0,000638 | 0,001489 | 0,853406 | 0,000950 | 0,002046 |
| 2011 | 0,975630 | 0,000140 | 0,000332 | 0,954295 | 0,000263 | 0,000570 |
| 2012 | 0,943948 | 0,000302 | 0,000713 | 0,938244 | 0,000332 | 0,000720 |
| 2013 | 0,968689 | 0,000168 | 0,000397 | 0,962459 | 0,000202 | 0,000437 |
| 2014 | 0,960753 | 0,000236 | 0,000558 | 0,947936 | 0,000313 | 0,000679 |

Purpose: The aim of this study is to determine the wind energy potential of Elazığ province by using Weibull and Rayleigh distributions.

Theory and Methods:

The probability density distributions and power density were derived from time series data. Weibull and Rayleigh probability density function have been fitted to the measured probability distributions. The wind power density has been evaluated.

Results:

The Weibull model is generally better in fitting the measured yearly probability density distributions than the Rayleigh model, to the statistical criteria such as R^2 , RMSE and χ^2 .

Conclusion: It was concluded that it would be better to use the Weibull distribution in the analysis of wind data of Elazığ.



Weibull ve Rayleigh dağılımlarına göre Elazığ ilinin rüzgâr enerjisi potansiyelinin istatistiksel analizi

Ebru Kavak Akpınar*^{ID}, Nilay Balpetek^{ID}

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 23279, Elazığ, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Elazığ ilindeki rüzgâr gücü yoğunluğu ve rüzgâr hızı dağılımı parametrelerinin istatistiksel analizi
- Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanarak rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesi
- Rüzgâr hızının olasılık yoğunluk fonksiyonu ve kümülatif yoğunluk fonksiyonu ile değişimi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi
Geliş: 09.08.2017
Kabul: 03.10.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416517

ÖZET

Bu çalışmada, Elazığ ilindeki rüzgâr gücü yoğunluğu ve rüzgâr hızı dağılımı parametrelerinin istatistiksel analizi, 2005 – 2014 yılları arasında Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından saatlik olarak ölçülen rüzgâr hızı verileri kullanılarak araştırılmıştır. Modelleme için Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılmış ve bu modelleme işleminin başarısı R^2 , RMSE ve χ^2 parametrelerine göre değerlendirilmiştir. İstatistiksel kriterlere göre Elazığ ilinin rüzgâr verileri analizlerinde Weibull dağılımının Rayleigh dağılımına göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler:

Rüzgâr enerjisi,
rüzgâr enerjisi potansiyelinin
istatistiksel olarak analizi,
Weibull dağılımı,
Rayleigh dağılımı,
Elazığ

Statistical analysis of wind energy potential of Elazığ province according to Weibull and Rayleigh distributions

H I G H L I G H T S

- Statistical analysis of wind power density and wind speed distribution parameters in Elazığ province
- Determination of wind energy potential using Weibull and Rayleigh distributions
- Change of wind speed with probability density function and cumulative density function

Article Info

Research Article
Received: 09.08.2017
Accepted: 03.10.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416517

ABSTRACT

In this study, the statistical analysis of wind power density and wind speed distribution parameters in Elazığ province was investigated using the hourly wind speed data measured by the General Directorate of Meteorology between 2005 and 2014. Weibull and Rayleigh distributions were used for modeling and the success of this modeling process was evaluated according to the parameters of R^2 , RMSE and χ^2 . According to statistical criteria in wind data analysis of Elazığ province, Weibull distribution is better than Rayleigh distribution.

Keywords:

Wind energy,
statistically analysis of the
wind energy potential,
Weibull distribution,
Rayleigh distribution,
Elazığ

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: ebruakpinar@firat.edu.tr, nilaybalpetek@gmail.com / Tel: +90 424 237 0000 / 5325

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya nüfusundaki artış ve bunun yanı sıra gelişmekte olan dünya sanayisi ve ekonomisi, insanoğlunun enerji ihtiyacını her geçen gün artırmaktadır. Kömür, doğalgaz ve petrol gibi fosil enerji kaynaklarının azalması, tüm dünya ülkelerini yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Rüzgâr enerjisi en çok bilinen ve en çok kullanılan enerji kaynaklarından biridir [1]. Rüzgâr, atmosferin ısınması ve soğumasından kaynaklanan sıcaklık ve basınç farkından oluşmaktadır. Rüzgâr, kararlı, güvenilir, sürekli, kinetik bir enerji kaynağıdır. Atmosferin rüzgârı oluşturan brüt kinetik gücü yaklaşık olarak 190 x 109 kW değerindedir. Dünyanın 50° kuzey ve güney enlemleri arasındaki 3x109 kW'lık kinetik rüzgâr gücü potansiyelinin üçte birinin kullanılabilmesi görüşü söz konusudur. Yeryüzünün aldığı toplam güneş enerjisinin yaklaşık olarak % 2' sinin rüzgârın kinetik enerjisine dönüştüğü tahmin edilmektedir. Bu miktarın toplam dünya enerji tüketiminin 100'lerce katı olduğu düşünülürse, rüzgâr enerjisinin önemi anlaşılmaktadır [2]. Bölgesel rüzgâr rejimlerinin önceden tahmin edilebilmesi için çeşitli istatistiksel dağılımlar kullanılmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalarda rüzgâr hızı frekans dağılımı Gamma, log normal, Rayleigh gibi farklı dağılımlar kullanılarak gösterilmektedir. Buna karşılık son yıllarda iki parametrelili Weibull dağılımı ve bir parametrelili Rayleigh dağılımı dünyanın birçok bölgesinin rüzgâr dağılımını temsil etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemlerin kullanılma nedeni, rüzgâr dağılımına çok iyi uymaları, dağılımlarının esnek bir yapıya sahip olmaları, parametrelerinin belirlenmesindeki kolaylık, parametre sayısının az olması, parametrelerin bir yükseklik için belirlenmesinin ardından farklı yükseklikler için tahmin edilebilmesi gibi faktörlerdir [3]. Weibull ve Rayleigh dağılımlarının hata analizleri R², RMSE, χ^2 temsil yetenekleri Anderson-Darling, Kolmogorov-Smirnov testleri ile dağılımlarının güç yoğunlukları, ortalama hızları çeşitli şekillerde incelenmektedir [4-6].

Türkiye'deki rüzgâr enerji potansiyeli, günümüze kadar birçok kişi tarafından araştırılmıştır. Türkiye'nin birçok ilinde ve yerleşim bölgesinde; Antakya [7], Elazığ [8, 9], Eskişehir [10], Bitlis [11], Akhisar, Bababurnu, Belen, Datça, Foça, Gelendost, Gelibolu, Gökçeada ve Söke [12], Osmaniye [13], Elmadağ [14], Menemen [15], Antakya – Bilecik – Mardin – Nevşehir - Zonguldak [16] rüzgâr enerjisi potansiyeli iki parametrelili Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılarak araştırılmış ve istatistiksel analizler yapılmıştır.

Bu çalışmanın amacı Weibull ve Rayleigh dağılımlarını kullanarak Elazığ ilinin rüzgâr enerji potansiyelini belirlemektir. 2005-2014 yılları arasındaki rüzgâr hızı verileri Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınmıştır. İstatistiksel analiz sırasında Elazığ ili için Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu, Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu, Rayleigh yoğunluk fonksiyon, Rayleigh kümülatif dağılım fonksiyonu, ortalama rüzgâr hızı, rüzgâr hızının standart sapması, maksimum rüzgâr hızı, rüzgâr gücü

yoğunluğu belirlenmiştir. Weibull ve Rayleigh dağılımlarının performansını değerlendirmek için ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE), ki-kare (χ^2) ve belirlilik katsayısı (R^2) uyum iyiliği testlerinden faydalanılmıştır. Çalışma sırasında Matlab ve Statistica programları kullanılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Bu çalışmada, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün 2005-2014 yılları arasında 38° 37' N kuzey enlemi- 39° 14' E doğu boylamı arasında bulunan Elazığ meteoroloji istasyonunda 30 metre yükseklikte ölçülen saatlik ortalama rüzgâr şiddeti verileri kullanılarak, Elazığ bölgesi rüzgâr enerjisi potansiyeli istatistiksel olarak irdelenmiştir. Rüzgâr hızının dağılımını belirlenmesinde kullanılan pek çok dağılım bulunmaktadır. İki parametrelili Weibull ve Weibull'un şekil parametresinin 2 olduğu durum olan Rayleigh dağılımları en yaygın kullanılan dağılımlardır. Rayleigh dağılımı tek parametrelili olduğu için Weibull' a göre daha az esnek; ancak parametrelerinin hesaplanması daha kolaydır. Yıllık ortalama rüzgâr hızının 4,5' den büyük olduğu durumda, rüzgâr hızı dağılımının Rayleigh dağılımına yaklaştığı bilinmektedir [10].

Rüzgâr hızı için iki parametrelili Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonunun genel ifadesi Eş. 1' de verilmiştir.

$$f_w(v) = \left(\frac{k}{c}\right)\left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right) \quad (1)$$

Weibull dağılımının ölçek parametresi olan c , aynı zamanda rüzgâr verilerinde referans bir değere sahiptir.

Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu Eş. 2 ile belirlenmektedir.

$$F_w(v) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right) \quad (2)$$

Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu, rüzgâr hızının belli bir v değerinden küçük ya da eşit gerçekleşme olasılığını vermektedir. Rayleigh yoğunluk fonksiyonu Eş. 3 ile ifade edilmektedir.

$$f_R(v) = \left(\frac{2v}{c^2}\right)\exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^2\right) \quad (3)$$

Rayleigh kümülatif dağılım fonksiyonu Eş. 4 ile verilmektedir.

$$F_R(v) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^2\right) \quad (4)$$

Rayleigh dağılımının en büyük avantajı sadece ortalama rüzgâr hızı ile dağılımın belirlenmesidir. Rayleigh dağılımının rüzgâr çalışmalarında geçerliliği pek çok

referansta gösterilmiştir [1]. Bu çalışmada, Weibull ve Rayleigh dağılımların parametrelerinin bulunmasında en küçük kareler metodu kullanılmıştır. Metot detayları için [1, 10] referans alınmıştır.

Ortalama rüzgâr hızı ve rüzgâr hızının standart sapması, sırasıyla Eş. 5 ve Eş. 6 kullanılarak hesaplanmaktadır.

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

$$\sigma = \sqrt{c^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right]} \quad (6)$$

Weibull dağılımına dayanarak, en büyük sıklığa sahip rüzgâr hızı Eş. 7'den hesaplanmaktadır [10].

$$V_{\text{mod}} = c\left(1 - \frac{1}{k}\right)^{1/k} \quad (7)$$

Maksimum rüzgâr hızı Eş. 8 ile bulunmaktadır [10].

$$V_{\text{maxE}} = c\left(\frac{k+2}{k}\right)^{1/k} \quad (8)$$

Yukarda ifade edilen formüllerde $k=2$ alındığında Rayleigh dağılımı için hesaplamalar gerçekleşmektedir.

Ortalama rüzgâr gücü yoğunluğu en genel halde Eş. 9'dan hesaplanmaktadır:

$$P_m = \int_0^\infty P(v)f(v)dv \quad (9)$$

Weibull dağılımı için ortalama güç yoğunluğu Eş. 10'dan aşağıdaki gibi elde edilmektedir [10].

$$P_w = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (10)$$

Rayleigh dağılımı için ortalama güç yoğunluğu Eş. 11 ile belirlenmektedir:

$$P_r = \frac{3}{k} \rho v^3 m \quad (11)$$

İstatistiksel analiz kriterleri Eş. 12, Eş. 13 ve Eş. 14 olarak seçilmiştir:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - z_i)^2 - \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - z_i)^2} \quad (12)$$

$$x^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{N - n} \quad (13)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2 \right]^{1/2} \quad (14)$$

Burada, y_i gerçek data, x_i , Weibull ya da Rayleigh dağılımından tahmin edilen data, z_i , y_i ' lerin ortalama değeri, N gözlem sayısı, n Weibull ve Rayleigh dağılımlarındaki parametre sayısıdır. Bu kriterlerden R^2 dışındakiler, en küçük değerlerine göre en iyi dağılımı belirlemektedir. R^2 ise, bir modelin tahmin gücünün bir ölçüsü olarak 0 ve 1 arasında değişmektedir ve 1'e yaklaşması modelin tahmin gücünün arttığının göstergesidir [1].

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

2005-2014 yıllarına ait saatlik rüzgâr hızı verileri Tablo 1' de frekans dağılımı olarak düzenlenmiştir. İncelenen yıllara ait ölçülen hız verileri kullanılarak elde edilen frekans dağılımları, Weibull ve Rayleigh dağılımından hesaplanan teorik frekans değerleri verilmiştir. Rüzgâr hızı önce sınıflara bölünmüş ve her rüzgâr sınıf aralığındaki rüzgâr

Table 1. Rüzgâr hızı frekans dağılımları (Wind speed frequency distributions)

| I | V _i | V _{m,i} | f _i | f _A (v _i) | f _w (v _i) | f _R (v _i) |
|----|----------------|------------------|----------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 0-1 | 0,5 | 12610 | 0,149363 | 0,202177 | 0,227319 |
| 2 | 1-2 | 1,5 | 33531 | 0,393539 | 0,370941 | 0,307964 |
| 3 | 2-3 | 2,5 | 18731 | 0,222772 | 0,281974 | 0,241714 |
| 4 | 3-4 | 3,5 | 8419 | 0,100702 | 0,107573 | 0,130566 |
| 5 | 4-5 | 4,5 | 4800 | 0,056588 | 0,025077 | 0,051362 |
| 6 | 5-6 | 5,5 | 3073 | 0,035879 | 0,004448 | 0,015133 |
| 7 | 6-7 | 6,5 | 1789 | 0,020843 | 0,000609 | 0,0034 |
| 8 | 7-8 | 7,5 | 916 | 0,010692 | 6,07E-05 | 0,000591 |
| 9 | 8-9 | 8,5 | 488 | 0,005713 | 4,34E-06 | 8,02E-05 |
| 10 | 9-10 | 9,5 | 179 | 0,002102 | 2,22E-07 | 8,59E-06 |
| 11 | 10-11 | 10,5 | 100 | 0,001168 | 7,96E-09 | 7,32E-07 |
| 12 | 11-12 | 11,5 | 41 | 0,000481 | 1,97E-10 | 4,98E-08 |
| 13 | 12-13 | 12,5 | 11 | 0,000133 | 3,36E-12 | 2,59E-09 |
| 14 | 13-14 | 13,5 | 2 | 2,37E-05 | 3,08E-36 | 1,68E-12 |

frekansları belirlenmiştir. 0 – 1 m/s arasında 12610, 13 – 14 m/s arasında 2, toplam 84690 adet ölçüm yapılmıştır. Tablo 1'e göre en büyük olasılık yoğunluk değerinin 1 – 2 m/s hız aralığında olduğu görülmüştür.

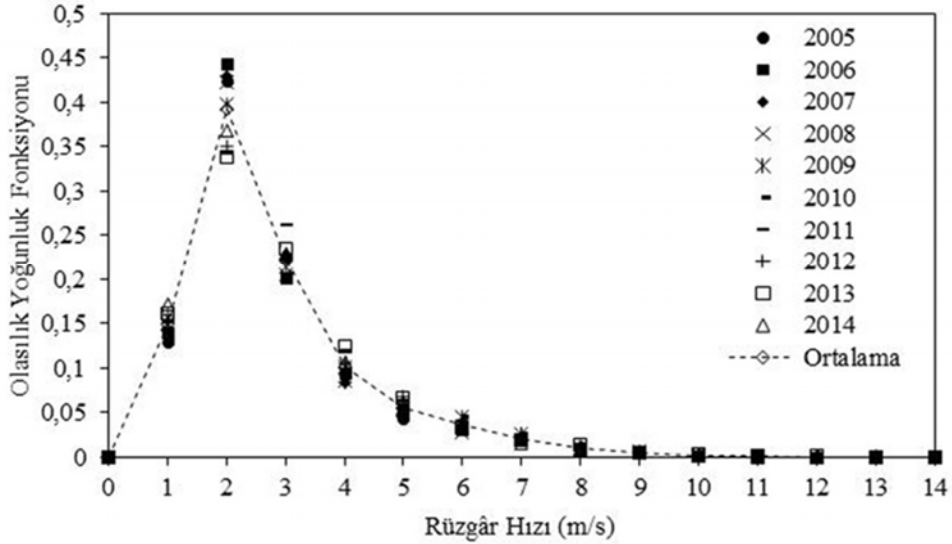
Elazığ ili için yıllara göre rüzgâr hızı ile olasılık yoğunluk fonksiyonunun değişimi Şekil 1'de, kümülatif yoğunluk fonksiyonu ile değişimi ise Şekil 2'de verilmiştir. Çizgilerin birbirine yakın olmasından benzerlik oranının yüksek olduğu anlaşılmıştır.

Rüzgâr hızı verilerinden derlenen PDF olasılık yoğunluk ve CDF kümülatif yoğunluk dağılımları Şekil 3'de on yıllık verilere dayanarak çizdirilmiştir. Tablo 2'de Weibull dağılımının şekil parametresi (k) ve ölçek parametresi (c) değerleri verilmiştir. Şekil parametresi değerleri 1,34 – 4,23 arasında, ölçek parametresi değerleri ise 2,19 – 4,05 arasında

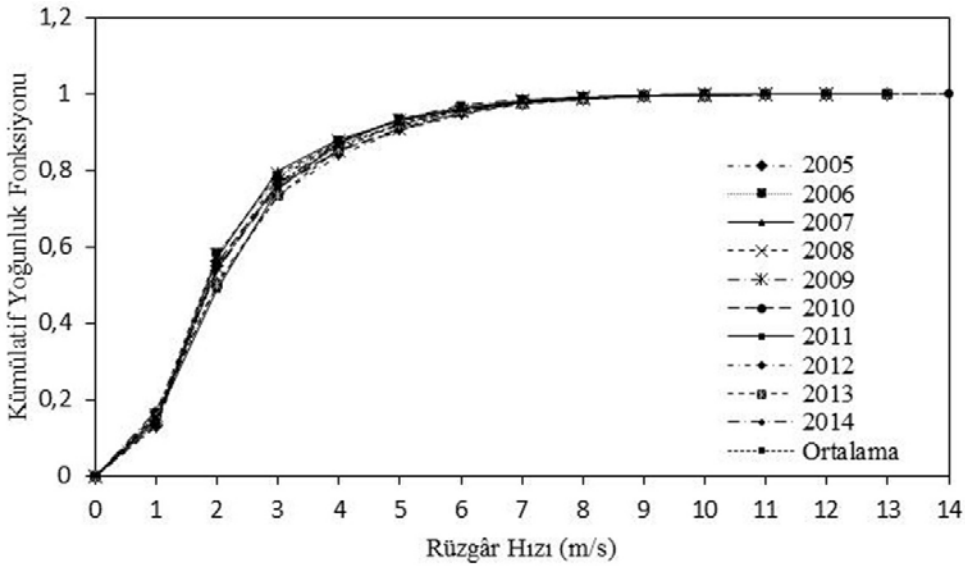
değişim göstermiştir. Ölçek parametresi değerleri yıllara göre daha küçük değişimler göstermiştir. 2014 yılının Mayıs, ayında şekil ve ölçek parametrelerinin eksik olmasının nedeni Meteoroloji Genel Müdürlüğünden verilerin çeşitli nedenlerden dolayı alınamamış olmasıdır.

Elazığ ili için günlük saatlik olarak 2005 – 2014 yıllarını kapsayan 10 yıllık periyot için Weibull dağılımına göre elde edilen aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları Tablo 3'de verilmiştir. En yüksek ortalama rüzgâr hızı değerleri Mart ve Nisan aylarında, en düşük ortalama rüzgâr hızı değerleri ise Kasım ve Aralık aylarında tespit edilmiştir.

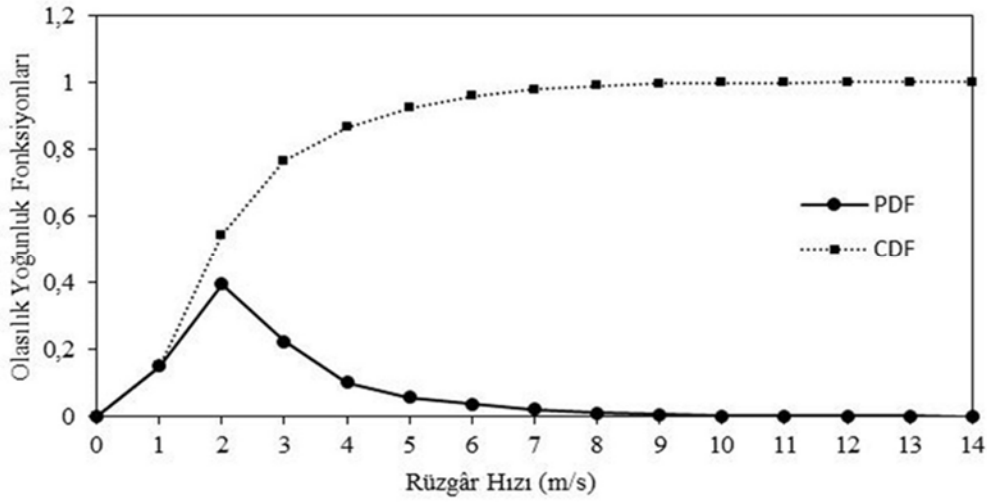
Şekil 4'de Weibull olasılık dağılımının rüzgâr hızı ile değişimi yıllara göre çizilmiştir. Weibull olasılık dağılımı fonksiyonuna göre en yüksek olasılık değeri 0,43 olarak 2006 yılında elde edilmiştir.



Şekil 1. Olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi (Variation of probability density function with wind speed)



Şekil 2. Kümülatif yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi (Variation of cumulative density function with wind speed)



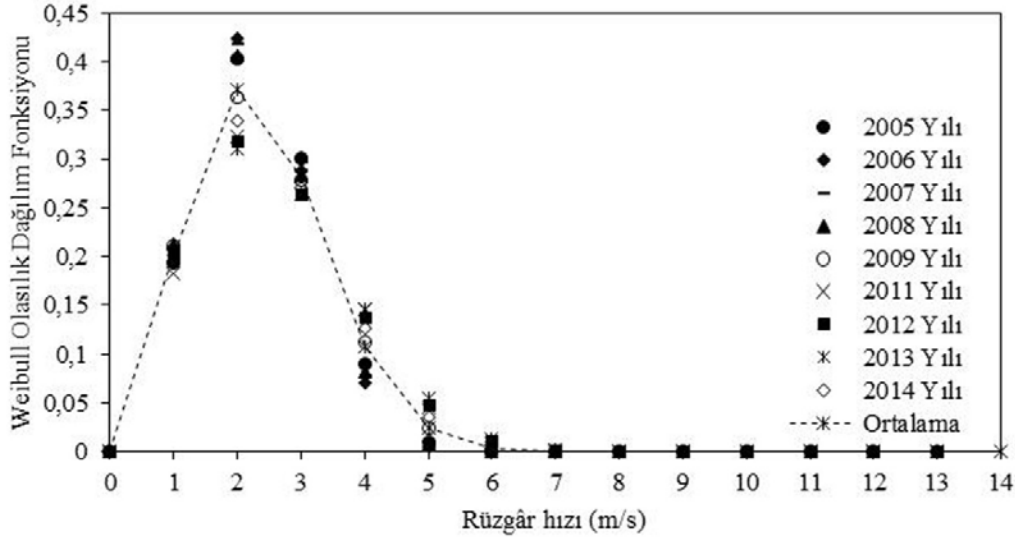
Şekil 3. PDF ve CDF olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi
(Variation of PDF and CDF probability density functions with wind speed)

Tablo 2. Weibull dağılımına göre şekil parametresi (k) ve ölçek parametresi (c) değerleri
(The shape parameter (k) and scale parameter (c) values according to the Weibull distribution)

| Aylar | Parametre | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|---------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ocak | k | 2,1319 | 2,0619 | 2,7372 | 2,6429 | 1,5888 | 1,3408 | 2,3834 | 1,4095 | 1,7837 | 2,6534 |
| | c | 2,4077 | 2,2793 | 2,1919 | 2,5638 | 2,6351 | 3,1468 | 2,6880 | 2,6160 | 2,3490 | 2,3473 |
| Şubat | k | 1,6267 | 1,4875 | 2,1099 | 1,7423 | 1,3564 | 1,4337 | 1,5929 | 2,2394 | 1,8068 | 2,6844 |
| | c | 2,6529 | 3,7365 | 2,1944 | 2,1765 | 3,1180 | 3,6507 | 2,8938 | 2,5763 | 2,4347 | 2,6593 |
| Mart | k | 1,7629 | 1,7379 | 2,0117 | 1,5249 | 1,6835 | 2,0130 | 2,1275 | 1,4383 | 1,7691 | 2,0901 |
| | c | 3,8196 | 3,1615 | 3,2703 | 3,2974 | 3,8435 | 3,4497 | 3,3281 | 3,9140 | 3,5118 | 3,1072 |
| Nisan | k | 2,4488 | 2,0063 | 2,2657 | 1,8951 | 2,3965 | 2,1334 | 1,7024 | 2,0246 | 2,2591 | 1,6031 |
| | c | 3,0277 | 2,9724 | 3,0535 | 3,3618 | 2,8736 | 2,8977 | 3,6391 | 2,9322 | 2,9702 | 3,4809 |
| Mayıs | k | 2,6596 | 2,8272 | 2,4790 | 2,4663 | 2,7837 | 2,9094 | 2,4291 | 2,3169 | 2,5777 | - |
| | c | 2,7297 | 2,5755 | 2,6532 | 2,7482 | 2,6610 | 2,4891 | 2,7240 | 2,5838 | 2,7348 | - |
| Haziran | k | 2,8510 | 3,3631 | 3,1951 | 2,5578 | 2,8659 | 2,8555 | 2,5222 | 2,6402 | 2,4017 | 2,3387 |
| | c | 2,7672 | 2,3984 | 2,5963 | 3,1485 | 2,5838 | 2,4403 | 3,0577 | 3,0745 | 3,1958 | 3,2607 |
| Temmuz | k | 3,0536 | 3,2613 | 3,0413 | 2,9088 | 2,4934 | 2,6661 | 3,3146 | 2,1922 | 2,6439 | 2,2950 |
| | c | 2,7467 | 2,6261 | 2,8526 | 2,7296 | 3,0197 | 2,8519 | 3,2411 | 3,4479 | 4,0453 | 3,2451 |
| Ağustos | k | 3,4532 | 4,0177 | 3,3240 | 3,6077 | 2,9391 | 3,3359 | 2,7171 | 2,8676 | 2,4694 | 2,9118 |
| | c | 2,6124 | 2,3259 | 2,4119 | 2,4500 | 2,7337 | 2,5505 | 3,0786 | 2,8759 | 3,2783 | 2,8181 |
| Eylül | k | 3,9681 | 2,9501 | 4,2257 | 3,1406 | 3,1379 | 3,3429 | 2,6198 | 3,1161 | 2,3696 | 2,3528 |
| | c | 2,4006 | 2,5108 | 2,4497 | 2,3658 | 2,3672 | 2,3616 | 2,8334 | 2,6997 | 3,1044 | 2,7793 |
| Ekim | k | 3,6343 | 3,1566 | 3,3708 | 3,7451 | 3,6243 | 3,1620 | 2,7267 | 2,9424 | 2,9554 | 3,2174 |
| | c | 2,3610 | 2,2217 | 2,2751 | 2,2556 | 2,2943 | 2,3294 | 2,6281 | 2,3534 | 2,8372 | 2,2420 |
| Kasım | k | 3,1888 | 2,9623 | 2,7087 | 3,1062 | 2,9375 | 4,1812 | 2,3025 | 3,0869 | 2,7096 | 2,2002 |
| | c | 2,2559 | 2,3999 | 2,5532 | 2,2450 | 2,3427 | 2,3640 | 2,5859 | 2,2399 | 2,5089 | 2,3773 |
| Aralık | k | 2,6353 | 3,6625 | 2,0608 | 2,3675 | 1,6073 | 2,7122 | 2,3078 | 1,3728 | 2,5337 | 1,7285 |
| | c | 2,2769 | 2,4512 | 2,8180 | 2,3437 | 2,5906 | 2,3280 | 2,4097 | 3,0509 | 2,0476 | 2,4471 |

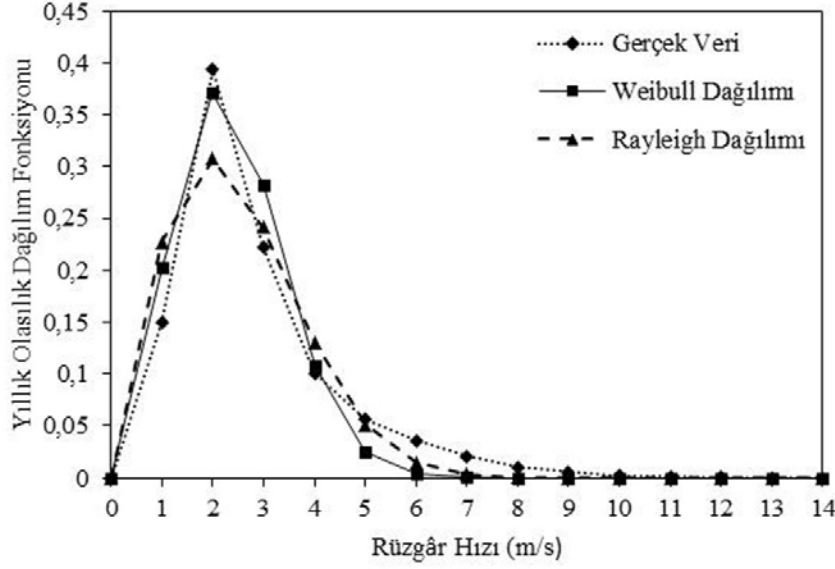
Tablo 3. Weibull dağılımına göre aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapma değerleri
(Monthly mean wind speed and standard deviation values according to Weibull distribution)

| Aylar | Parametre | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|---------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ocak | Vm | 2,1323 | 2,0190 | 1,9502 | 2,2783 | 2,3641 | 2,8891 | 2,3826 | 3,2922 | 2,0899 | 2,0863 |
| | σ | 1,0524 | 1,0269 | 0,7695 | 0,9276 | 1,5226 | 2,1770 | 1,0640 | 2,3679 | 1,2113 | 0,8464 |
| Şubat | Vm | 2,3750 | 3,3766 | 1,9435 | 1,9389 | 2,8568 | 3,3154 | 2,5955 | 2,2818 | 2,1648 | 2,3644 |
| | σ | 1,4970 | 2,3103 | 0,9683 | 1,1481 | 2,1295 | 2,3472 | 1,6676 | 1,0776 | 1,2402 | 0,9493 |
| Mart | Vm | 3,4004 | 2,8169 | 2,8980 | 2,9710 | 3,4317 | 3,0569 | 2,9475 | 3,5529 | 3,1257 | 2,7521 |
| | σ | 1,9921 | 1,6717 | 1,5069 | 1,9868 | 2,0964 | 1,5886 | 1,4575 | 2,5078 | 1,8253 | 1,3827 |
| Nisan | Vm | 2,6851 | 2,6341 | 2,7047 | 2,9834 | 2,5474 | 2,5663 | 3,2466 | 2,5981 | 2,6308 | 3,1203 |
| | σ | 1,1705 | 1,3730 | 1,2640 | 1,6371 | 1,1321 | 1,2658 | 1,9633 | 1,3432 | 1,2327 | 1,9932 |
| Mayıs | Vm | 2,4263 | 2,2942 | 2,3536 | 2,4376 | 2,3689 | 2,2198 | 2,4153 | 2,2893 | 2,4285 | - |
| | σ | 0,9823 | 0,8793 | 1,0148 | 1,0558 | 0,9207 | 0,8293 | 1,0605 | 1,0486 | 1,0111 | - |
| Haziran | Vm | 2,4658 | 2,1535 | 2,3252 | 2,7952 | 2,3028 | 2,1746 | 2,7136 | 2,7321 | 2,8331 | 2,8894 |
| | σ | 0,9380 | 0,7064 | 0,7986 | 1,1718 | 0,8719 | 0,8261 | 1,1520 | 1,1133 | 1,2566 | 1,3125 |
| Temmuz | Vm | 2,4547 | 2,3542 | 2,5488 | 2,4343 | 2,6791 | 2,5351 | 2,9080 | 3,0535 | 3,5949 | 2,8748 |
| | σ | 0,8781 | 0,7939 | 0,9151 | 0,9096 | 1,1491 | 1,0241 | 0,9664 | 1,4698 | 1,4631 | 1,3281 |
| Ağustos | Vm | 2,3488 | 2,1087 | 2,1644 | 2,2079 | 2,4389 | 2,2891 | 2,7383 | 2,5632 | 2,9079 | 2,5133 |
| | σ | 0,7523 | 0,5892 | 0,7175 | 0,6799 | 0,9029 | 0,7564 | 1,0876 | 0,9700 | 1,2581 | 0,9382 |
| Eylül | Vm | 2,1749 | 2,2405 | 2,2274 | 2,1171 | 2,1182 | 2,1198 | 2,5172 | 2,4149 | 2,7513 | 2,4630 |
| | σ | 0,6146 | 0,8266 | 0,5946 | 0,7385 | 0,7395 | 0,6991 | 1,0330 | 0,8483 | 1,2352 | 1,1128 |
| Ekim | Vm | 2,1286 | 1,9886 | 2,0430 | 2,0369 | 2,0681 | 2,0852 | 2,3380 | 2,0998 | 2,5319 | 2,0086 |
| | σ | 0,6511 | 0,6905 | 0,6688 | 0,6065 | 0,6342 | 0,7229 | 0,9256 | 0,7765 | 0,9326 | 0,6856 |
| Kasım | Vm | 2,0202 | 2,1419 | 2,2708 | 2,0079 | 2,0901 | 2,1481 | 2,2909 | 2,0028 | 2,2314 | 2,1054 |
| | σ | 0,6951 | 0,7873 | 0,9044 | 0,7074 | 0,7741 | 0,5790 | 1,0553 | 0,7095 | 0,8885 | 1,0101 |
| Aralık | Vm | 2,0232 | 2,2109 | 2,4963 | 2,0771 | 2,3217 | 2,0706 | 2,1349 | 2,7895 | 1,8174 | 2,1810 |
| | σ | 0,8258 | 0,6716 | 1,2702 | 0,9332 | 1,4795 | 0,8237 | 0,9814 | 2,0561 | 0,7684 | 1,3007 |

**Şekil 4.** Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi
(Variation of Weibull probability distribution function with wind speed)

Şekil 5’de on yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verinin olasılık dağılımının, Weibull olasılık dağılımının ve Rayleigh olasılık dağılımının rüzgâr hızı ile değişimi gösterilmiştir. Weibull dağılımının olasılık oranı Rayleigh dağılımına göre daha yüksek olmuştur.

Tablo 4’de Elazığ ili için Weibull ve Rayleigh dağılımına göre elde edilen belirlilik katsayısı (R^2), ortalama karesel hatanın karekökü ($RMSE$), ki-kare (χ^2) değerleri incelenen yıllar için hesaplanmıştır. Weibull dağılımına göre R^2 değeri 0,90 – 0,98 arasında, Rayleigh dağılımında ise 0,85 – 0,96



Şekil 5. Yıllık olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi
(Variation of annual probability distribution functions with wind speed)

Tablo 4. Weibull ve Rayleigh dağılımlarına göre R^2 , RMSE ve χ^2 değerleri
(R^2 , RMSE and χ^2 values according to Weibull and Rayleigh distributions)

| Yıllar | Weibull Dağılımı | | | Rayleigh Dağılımı | | |
|--------|------------------|----------|----------|-------------------|----------|----------|
| | R^2 | RMSE | χ^2 | R^2 | RMSE | χ^2 |
| 2005 | 0,927619 | 0,000509 | 0,001204 | 0,862038 | 0,000971 | 0,002104 |
| 2006 | 0,909086 | 0,000707 | 0,001697 | 0,844965 | 0,001205 | 0,002630 |
| 2007 | 0,941288 | 0,000429 | 0,001015 | 0,871254 | 0,000941 | 0,002039 |
| 2008 | 0,934954 | 0,000479 | 0,001150 | 0,884258 | 0,000852 | 0,001860 |
| 2009 | 0,909467 | 0,000588 | 0,001410 | 0,885330 | 0,000744 | 0,001624 |
| 2010 | 0,901512 | 0,000638 | 0,001489 | 0,853406 | 0,000950 | 0,002046 |
| 2011 | 0,975630 | 0,000140 | 0,000332 | 0,954295 | 0,000263 | 0,000570 |
| 2012 | 0,943948 | 0,000302 | 0,000713 | 0,938244 | 0,000332 | 0,000720 |
| 2013 | 0,968689 | 0,000168 | 0,000397 | 0,962459 | 0,000202 | 0,000437 |
| 2014 | 0,960753 | 0,000236 | 0,000558 | 0,947936 | 0,000313 | 0,000679 |

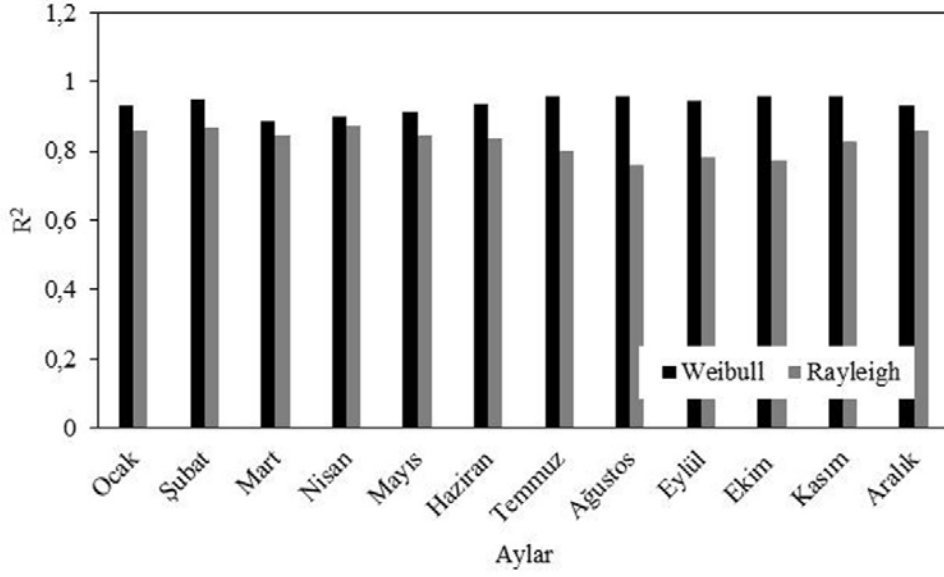
arasında olduğu tespit edilmiştir. χ^2 değerleri Weibull dağılımında $3,32 \times 10^{-4} - 1,69 \times 10^{-3}$ arasında, Rayleigh dağılımında ise $4,37 \times 10^{-4} - 2,63 \times 10^{-3}$ arasında değişim göstermiştir. RMSE değerleri ise Weibull dağılımında $1,40 \times 10^{-4} - 7,07 \times 10^{-4}$ arasında, Rayleigh dağılımında $2,02 \times 10^{-4} - 1,21 \times 10^{-3}$ arasında değişmiştir. Tüm yıllarda Weibull dağılımında elde edilen R^2 değerlerinin Rayleigh dağılımından elde edilenlerden daha yüksek olmasından, χ^2 ve RMSE değerlerinin ise daha düşük olmasından dolayı Weibull dağılımının Elazığ ili için daha uygun olduğuna karar verilmiştir.

Şekil 6'da on yıllık veriler kullanılarak Elazığ için Weibull ve Rayleigh dağılımlarından elde edilen belirlilik katsayısı (R^2) değerlerinin aylara göre değişimi gösterilmiştir. Belirlilik katsayısı değerleri Weibull dağılımında R^2 0,88 ile

0,96 arasında, Rayleigh dağılımında ise 0,76 ile 0,87 arasında değişim göstermiştir. Weibull dağılımında R^2 değerinin 1'e daha çok yakın olmasından dolayı, Elazığ ili için rüzgâr verilerinin modellenmesinde Weibull dağılımının daha uygun olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 5'de Weibull dağılımı parametrelerinin, Tablo 6'da ise Rayleigh dağılımı parametrelerinin yıllara göre aldığı değerler verilmiştir. Weibull dağılımında maksimum ortalama hız (V_{max}) 3,08 – 3,92 m/s, ortalama güç yoğunluğu (P) 9,05 – 16,27 W/m² arasında değişmiştir. Rayleigh dağılımında ise V_{max} 3,76 – 4,16 m/s, P ise 13,64 – 18,38 W/m² arasında değişim göstermiştir.

Şekil 7'de Weibull güç yoğunluğu, Şekil 8'de ise Rayleigh güç yoğunluğu ise ortalama rüzgâr hızının yıllara göre



Şekil 6. Weibull ve Rayleigh dağılımına göre elde edilen belirlilik katsayısı değerlerinin aylara göre değişimi
(Change of the determination coefficient obtained according to Weibull and Rayleigh distributions to month)

Tablo 5. Weibull dağılımı parametreleri (Weibull distribution parameters)

| Yıl | k | c (m/s) | V_m (m/s) | σ (m/s) | V_{mod} (m/s) | V_{max} (m/s) | P_w (W/m ²) |
|------|--------|---------|-------------|----------------|-----------------|-----------------|---------------------------|
| 2005 | 2,6625 | 2,5981 | 2,3094 | 0,9340 | 2,1769 | 3,2067 | 10,1073 |
| 2006 | 2,6915 | 2,5095 | 2,2315 | 0,8938 | 2,1118 | 3,0849 | 9,0532 |
| 2007 | 2,7024 | 2,5481 | 2,2660 | 0,9044 | 2,1476 | 3,1278 | 9,4565 |
| 2008 | 2,5794 | 2,5348 | 2,2509 | 0,9366 | 2,0958 | 3,1665 | 9,5625 |
| 2009 | 2,3779 | 2,6587 | 2,3565 | 1,0546 | 2,1136 | 3,4367 | 11,6505 |
| 2010 | 2,6003 | 2,5689 | 2,2818 | 0,9426 | 2,1315 | 3,1992 | 9,9054 |
| 2011 | 2,3248 | 2,8824 | 2,5539 | 1,1663 | 2,2631 | 3,7645 | 15,0988 |
| 2012 | 2,1668 | 2,8355 | 2,5111 | 1,2215 | 2,1309 | 3,8344 | 15,2374 |
| 2013 | 2,1667 | 2,8982 | 2,5667 | 1,2486 | 2,1779 | 3,9193 | 16,2714 |
| 2014 | 2,2583 | 2,7395 | 2,4265 | 1,1373 | 2,1145 | 3,6278 | 13,2642 |

Tablo 6. Rayleigh dağılımı parametreleri (Rayleigh distribution parameters)

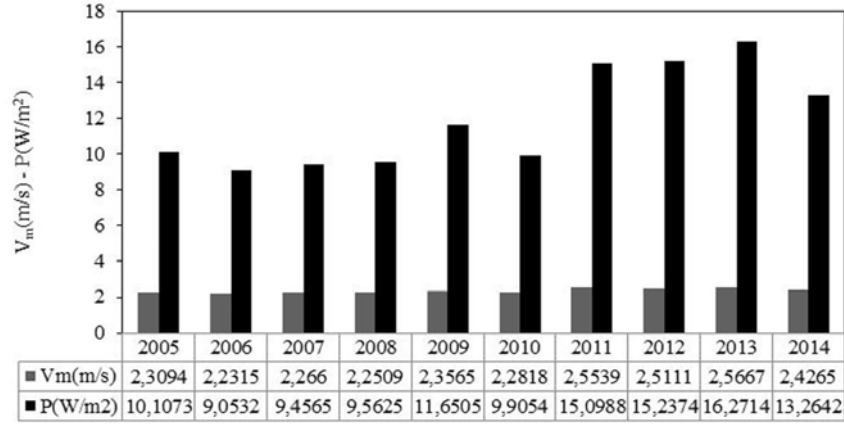
| Yıl | c (m/s) | V_m (m/s) | σ (m/s) | V_{mod} (m/s) | V_{maxE} (m/s) | P_R (W/m ²) |
|------|---------|-------------|----------------|-----------------|------------------|---------------------------|
| 2005 | 2,7496 | 2,4368 | 1,2738 | 1,94429 | 3,8885 | 15,0197 |
| 2006 | 2,6850 | 2,3796 | 1,2439 | 1,89862 | 3,7972 | 13,9866 |
| 2007 | 2,6934 | 2,3870 | 1,2477 | 1,90453 | 3,8090 | 14,1175 |
| 2008 | 2,6625 | 2,3596 | 1,2334 | 1,88269 | 3,7653 | 13,6369 |
| 2009 | 2,7666 | 2,4519 | 1,2816 | 1,95629 | 3,9125 | 15,3006 |
| 2010 | 2,7389 | 2,4274 | 1,2688 | 1,93674 | 3,8734 | 14,8465 |
| 2011 | 2,9409 | 2,6063 | 1,3624 | 2,07955 | 4,1591 | 18,3770 |
| 2012 | 2,8803 | 2,5527 | 1,3343 | 2,03674 | 4,0734 | 17,2663 |
| 2013 | 2,9318 | 2,5983 | 1,3582 | 2,07312 | 4,1462 | 18,2083 |
| 2014 | 2,7944 | 2,4765 | 1,2945 | 1,97597 | 3,9519 | 15,7658 |

değişimi gösterilmiştir. Weibull dağılımına göre en yüksek güç yoğunluğu 2013 yılında 16,27 W/m², en düşük güç yoğunluğu 2006 yılında 9,05 W/m² olarak elde edilmiştir. Rayleigh dağılımına göre ise en yüksek güç yoğunluğu 2011 yılında 18,38 W/m², en düşük güç yoğunluğu 2008 yılında 13,64 W/m² olarak tespit edilmiştir.

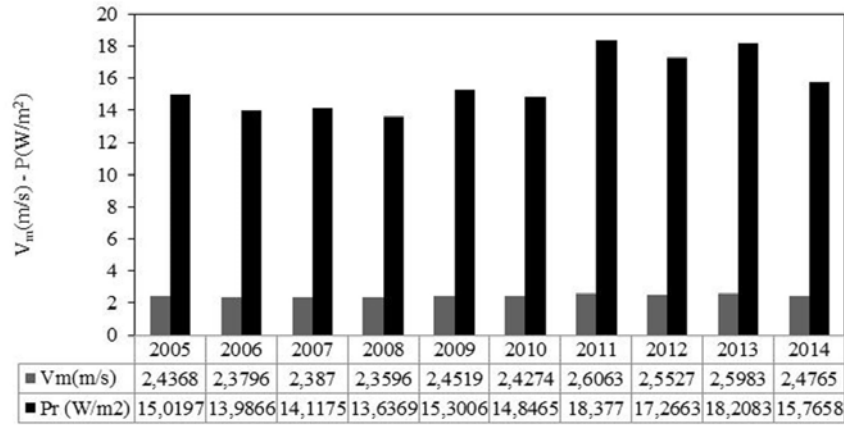
Elazığ iline ait on yıllık veriye göre hesaplanan ortalama rüzgâr hızı değerlerinin aylara göre değişimi her bir yıl için

Şekil 9'da gösterilmiştir. Rüzgâr hızı aylık bazda en düşük 2009 yılının Ekim ayında 2,18 m/s, en yüksek ise 2005 yılının Mart ayında 3,79 m/s olarak elde edilmiştir.

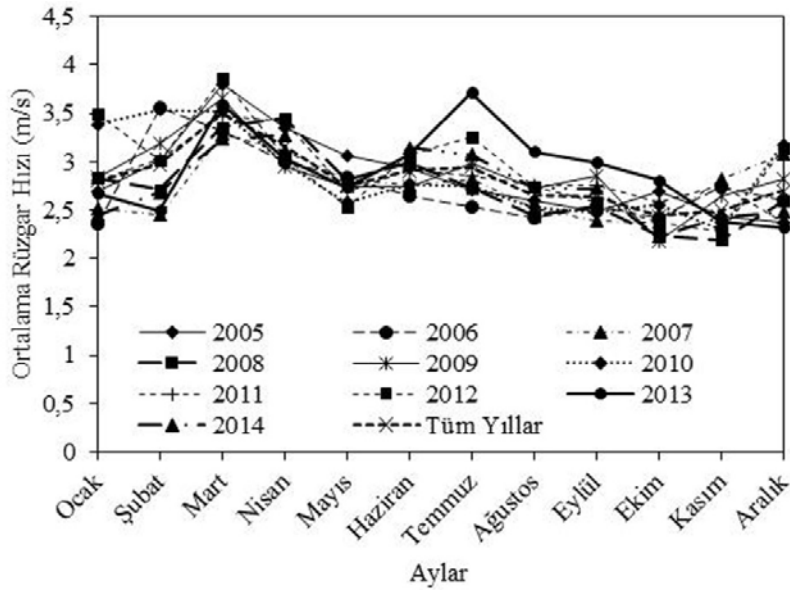
Şekil 10'da ortalama rüzgâr hızı değerlerinin 24 saatlik değişimi çizilmiştir. Yıllık ortalama sonuçlara göre rüzgâr hızı günlük bazda en düşük 2007 yılında 07:00–08:00 saatleri arasında 1,52 m/s, en yüksek 2009 yılında 14:00–15:00 saatleri arasında 3,35 m/s olarak elde edilmiştir.



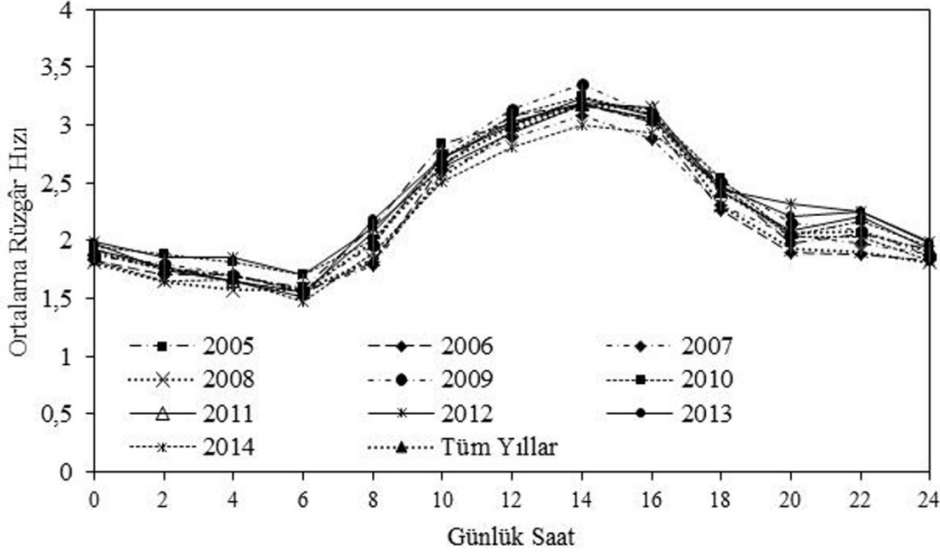
Şekil 7. Weibull dağılımına göre güç yoğunluğu ve rüzgâr hızı değerleri (Power density and wind speed values according to Weibull distribution)



Şekil 8. Rayleigh dağılımına göre güç yoğunluğu ve rüzgâr hızı değerleri (Power density and wind speed values according to Rayleigh distribution)



Şekil 9. Ortalama rüzgâr hızı değerlerinin aylara göre değişimi (Variation of average wind speed values to month)



Şekil 10. On yıllık ortalama rüzgâr hızının 24 saatlik değişimi (24-hour change in average wind speed over ten years)

4. SİMGELER (SYMBOLS)

| | |
|------------------|---|
| ρ | : Hava yoğunluğu (kg/m^3) |
| σ | : Standart sapma (m/s) |
| Γ | : Gamma fonksiyonu |
| c | : Weibull ölçek parametresi (m/s) |
| $f(v)$ | : Olasılık yoğunluk fonksiyonu |
| f_j | : Her bir rüzgâr hızı sınıfının oluş sıklığı |
| $f_R(v)$ | : Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonu |
| $f_W(v)$ | : Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu |
| $F_R(v)$ | : Rayleigh kümülatif dağılım fonksiyonu |
| $F_W(v)$ | : Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu |
| k | : Weibull şekil parametresi |
| n | : Rüzgâr hızı sınıflarının sayısı |
| N | : Belli bir zaman periyodundaki saat sayısı |
| P_m | : Ortalama güç yoğunluğu (W/m^2) |
| P_R | : Rayleigh fonksiyonu ortalama güç yoğunluğu (W/m^2) |
| P_W | : Weibull fonksiyonu ortalama güç yoğunluğu (W/m^2) |
| RMSE | : Ortalama karesel hatanın karekökü |
| R^2 | : Belirlilik katsayısı |
| χ^2 | : Ki-Kare |
| V | : Rüzgâr hızı (m/s) |
| V_m | : Ortalama rüzgâr hızı (m/s) |
| $V_{\max E}$ | : Maksimum rüzgâr hızı (m/s) |
| V_{mod} | : En büyük sıklığa sahip rüzgâr hızı (m/s) |

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Elazığ ilindeki rüzgâr gücü yoğunluğu ve rüzgâr hızı dağılımı parametrelerinin istatistiksel analizi, 2005 – 2014 yılları arasında ölçülen rüzgâr hızı verileri kullanılarak araştırılmıştır. Modelleme için Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılmış ve bu modelleme işleminin başarısı

R^2 , RMSE ve χ^2 parametrelerine göre değerlendirilmiştir. On yıllık ortalama rüzgâr hızı verilerine göre;

Rüzgâr hızı günlük bazda en düşük 2007 yılında 07:00 – 08:00 saatleri arasında 1,52 m/s, en yüksek 2009 yılında 14:00 – 15:00 saatleri arasında 3,35 m/s olarak elde edilmiştir.

Rüzgâr hızı aylık bazda en düşük 2009 yılının Ekim ayında 2,18 m/s, en yüksek ise 2005 yılının Mart ayında 3,79 m/s olarak elde edilmiştir

Weibull dağılımına göre yıllık bazda en düşük ortalama hız 2,23 m/s ve güç yoğunluğu 9,05 W/m^2 olarak 2006 yılında, en yüksek ortalama hız 2,57 m/s ve güç yoğunluğu 16,27 W/m^2 olarak 2013 yılında elde edilmiştir. Rayleigh dağılımına göre en düşük ortalama hız 2,35 m/s ve güç yoğunluğu 13,63 W/m^2 olarak 2008 yılında, en yüksek ortalama hız 2,61 m/s ve güç yoğunluğu 18,37 W/m^2 olarak 2011 yılında tespit edilmiştir.

Weibull dağılımında R^2 belirlilik katsayısı, RMSE ve χ^2 tüm yıllarda Rayleigh dağılımına göre daha iyi sonuç vermesinden dolayı Elazığ ilinin rüzgâr verileri analizlerinde Weibull dağılımının kullanılmasının daha iyi olacağına karar verilmiştir.

Sonuç itibarıyla Elazığ ilinde aylık ve yıllık ortalama güç yoğunlukları 100 W/m^2 'den küçük olduğu için rüzgâr enerjisi sistemleri tarafından şebekeye doğrudan destek verilebilmesinin mümkün olmadığı, daha çok şebeke erişimi bulunmayan veya kırsal alanlarda düşük güç yoğunluğu gerektiren uygulamalarda kullanılabilceğini, ortalama hızın günlük ve aylık bazda çoğunlukla 2 m/s den yüksek olması ise rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin ümit verici olduğunu göstermiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Balpetek N., Rüzgâr enerjisi potansiyelinin araştırılmasında Weibull ve Rayleigh dağılımlarının kullanılması, Fırat Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 2017.
2. Lipman N.H. and Musgrove, P.J., Wind energy for the Eighties, England, 1, 39-60, 1982.
3. Jaramillo O.A. and Borja M.A., Wind speed analysis in La Ventosa, Mexico: a bimodal probability distribution case, Renewable Energy, 29, 1613-1630, 2004.
4. Dorvlo A.S.S., Estimating wind speed distribution, Energy Conversion and Management, 43, 2311-2318, 2002.
5. Seguro J.V. and Lambert T.W., Modern estimation of the parametre for the Weibull wind speed distribution for wind energy analysis. Wind Energy and Industrial Aerodynamics, 85, 75-84, 2000.
6. Ramirez P. and Carta J.A., Influence of the data sampling interval in the estimation of the parameters of the Weibull wind speed probability density distribution: a case study, Energy Conversion and Management, 46, 2419-2438, 2005.
7. Mert İ., Karakuş C. and Peker F., Antakya bölgesi rüzgar karakteristiğinin incelenmesi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 5 (1), 13-22, 2014.
8. Kavak Akpınar E. and Akpınar, S., Statistical Analysis of Wind Energy Potential on the basis of the Weibull and Rayleigh Distribution for Ağın-Elazığ, Turkey, J. Power Energy, 218, 557-565, 2004.
9. Kavak Akpınar E., A statistical investigation of wind energy potential, Energy Sources, Part A, 28, 807-82, 2006.
10. Kurban M., Kantar Mert Y. Ve Hocaoglu F.O., Weibull dağılımı kullanılarak rüzgar hız ve güç yoğunluklarının istatistiksel analizi, Afyon Kocatepe Bilim Dergisi, 7 (2), 205-218, 2007.
11. Akyüz H.E. and Gangam H., Statistical Analysis of Wind Speed Data with Weibull, Lognormal and Gamma Distributions, Cumhuriyet Sci. J., 38 (4), 68-76, 2017.
12. Bilgili M., Şahin B. ve Şimşek E., Türkiye'nin güney, güneybatı ve batı bölgelerindeki rüzgar enerjisi potansiyeli, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 30 (1), 01-12, 2010.
13. Kaplan Y.A., Rayleigh ve Weibull dağılımları kullanılarak Osmaniye bölgesinde rüzgar enerjisinin değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20 (1), 62-71, 2016.
14. Arıkan Y., Arslan Ö.P., Çam E. The analysis of wind data with Rayleigh distribution and optimum turbine and cost analysis in Elmadağ, Turkey, IU-JEEE, 15 (1), 1907-1912, 2015.
15. Gülersoy T. ve Çetin S.N., Menemen bölgesinde rüzgar türbinleri için Rayleigh ve Weibull dağılımlarının kullanılması, Politeknik Dergisi, 3 (13), 209-213, 2010.
16. Yılmaz V., Doğan M. ve Tepeyurt N., Rüzgâr enerji potansiyellerinin belirlenmesinde istatistiksel yaklaşım: seçilmiş illerde uygulama çalışması, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 3 (174-188), 2013.