

Antakya bölgesi rüzgar karakteristiğinin incelenmesi

İlker MERT, Cuma KARAKUŞ*, Fatih PEKER

Mustafa Kemal Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 31200, İskenderun

Özet

Küresel rüzgar enerjisi piyasasının büyümesi ve gelişmesi ile birlikte rüzgar enerjisine dayalı elektrik üretimi maliyetleri dikkate değer oranda düşük rakamlara gerilemiştir. Bu durum özellikle uygun coğrafik bölgelerde rüzgar enerjisinden faydalanma yöntemlerini fosil yakıtlar ve ona alternatif kömür ve nükleer gibi enerji kaynaklardan daha ucuz bir duruma getirmiştir. Ancak rüzgar enerjisinden faydalanılarak elektrik üretimi yapan rüzgar çiftliklerinin ilk kurulum maliyetleri yüksek olmaktadır. Buna karşılık uzun ömür, düşük bakım ve sigorta maliyeti gibi avantajları, rüzgar enerjisini daha cazip hale getirmektedir. Bununla birlikte rüzgarın öncelikle iklimsel ve topoğrafik koşullara bağlı olması ve rüzgar hızının rassal bir değişken olması yatırımcılar için son derece önemli olan rüzgar enerjisi tahminini zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada, Hatay Meteoroloji İstasyon Müdürlüğü tarafından 2002 ile 2009 yılları arasında günlük olarak ölçülen rüzgar hızı verilerine dayanarak, Antakya bölgesindeki rüzgar enerjisi potansiyeli istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Bölgenin rüzgar enerji potansiyeli araştırmasında rüzgar hızı modellemesinde popüler olan Weibull ve bölgede daha önce denenmemiş olan Log-normal dağılım fonksiyonları kullanılmıştır. Ortalama hız, enerji ve güç yoğunluğu tahmininde kullanılan Weibull ve Log-normal dağılım parametreleri için parametre kestirim tekniği olarak, Maksimum Olabilirlik Tahmini (ML) ve En Küçük Kareler Yöntemi (LSM) kullanılmıştır. Kullanılan her iki yöntemde elde edilen sonuçlar, Belirleme Katsayısı (R^2) ve Ortalama Hata Kareleri Toplamının Karekökü (RMSE) hata analizleri ile değerlendirilmiştir. Sonuç olarak Antakya bölgesinin rüzgar enerjisi potansiyelinin istatistiksel olarak elektrik enerjisi üretimi bakımından cesaret verici olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: *Antakya, Weibull - Log-normal dağılımı, En küçük kareler yöntemi, Maksimum Olabilirlik Tahmini, Rüzgar enerjisi.*

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Cuma KARAKUŞ. ckarakus@mku.edu.tr; Tel: (326) 613 56 00 (4401)

Investigation of wind characteristics for Antioch

Extended abstract

Rapidly increased the environmental pollution, global population and exhausted reserves of consuetudinary resources have become matters of social and economic concern to individuals and scientists since the '70s. With the rising costs of traditional energy resources, alternative renewable sources of energy are playing more important role. Actually, there is the many types of renewable energy resources such as hydro, solar, wind, biomass, geothermal, wave and tide energy. Among of them, the wind energy is maybe the cleanest, inexhaustible and popular source of energy. But wind energy has several disadvantages and one of them is that winds are inherently random. Wind power prediction processes give the information of how much wind power can be expected at which point of time in the determined time interval. However, these processes required the short and long-term wind characteristics and other measurements at a given location. In this respect, obtained wind speed, direction, humidity, pressure values and surface roughness information can provide fundamental and valuable information for the assessment of wind power energy availability and give knowledge for economic viability of a wind energy conversion system and also wind farm design. Turkey has important wind energy potential in the Akdeniz region, especially coasts of southern Anatolia. In this study, wind energy potential was statistically analyzed based on the data that are measured wind speed on a daily basis. Wind data obtained from the Directorate of Hatay Meteorological Station located Antioch which is central town of Hatay in southern Turkey, near the border with Syria in years between 2002 and 2009.

A precise determination of probability distribution for wind speed data is the most important issue in statistically evaluating wind speed energy potential of a region. In generally, wind speed distribution have generally modeled by the 3-parameter Generalized Gamma, 2-parameter Gamma, inverse Gaussian, 2-parameter Lognormal, 3-parameter Beta, singly truncated from below Normal, distributions derived from the Maximum Entropy Principle, and conventional or bimodal (two component mixture) Weibull distribution functions etc.. But the wind energy potential of Antioch was investigated by Weibull Distribution that is popular

on the modeling of wind speed and Log-normal distribution function which is previously untested in Antioch. In the estimation of parameters of Weibull and log-normal distribution, the Maximum Likelihood Estimation (ML) and the Least Square Method (LSM) were used as the parameter estimation technique. The value of the Weibull shape parameter c is between 2.71 and 3.07 m/s, while the scale parameter k varies between 1.96 and 2.09 for ML method. When the LSM method is used, c is calculated between 2.61 and 2.96 m/s, while the scale parameter k varies between 2.34 and 2.53. If ML method use, the yearly values of Log-normal scale parameter, σ range between 0.53 and 0.59. When LSM method preferred, σ varies between 0.52 and 0.57. The lowest value of the Log-normal location parameter μ are 0.72 (ML-LSM) and found in the year 2009, while the highest values were 0.84 (ML) and 0.86 (LSM), which occurred in the year 2004. There are various tests used for evaluating the accuracy of the forecasted wind distributions obtained from various statistical functions. Both methods were evaluated by using error analysis that are coefficient of Determination (R^2) and the Average Square Root Sum of the Squares Error (RMSE). The highest root mean square error (RMSE) value was found as 0.020014 for the Log-normal distribution function by the ML method. The lowest RMSE value was calculated as 0.016242 by LSM method. Additionally these values were calculated 0.012081(ML) and 0.014582(LSM) for the Weibull distribution. Other hand, the R^2 values obtained using Log-normal distribution function are %98 in both methods, while the 2 value is %99 for the Weibull distribution. The Weibull and Log-normal approximations of the actual probability distributions of wind speed for the whole year have close results. However, the best performance has been demonstrated by Weibull distribution with the ML method. The analysis results also showed that the maximum monthly wind speed occurs in the summer months while the months of winter have the lowest mean wind speed. The Weibull distribution provided better power density estimations in all months than the Log-normal distribution. As a result of this research when the wind turbines have low cut-in speed, were preferred, wind energy potential of Antakya was statistically found to be encouraging for production of electrical energy.

Keywords: Antioch, Weibull – Log-normal distribution, Least square method, Maximum likelihood estimation, Wind energy.

Giriş

Dünya nüfusunun giderek artması ve ülkeler arasında kıyasıya yaşanan teknoloji yarışı, enerjiye olan ihtiyacı her geçen gün artırmaktadır. Ancak, ihtiyaç duyulan enerjinin büyük oranda fosil kökenli kaynaklardan elde edilmesi, sera gazlarının atmosfere olan yayılışını artırarak günümüzde çok sık tartışılan küresel iklim değişikliği sürecine katkıda bulunmaktadır. Mevcut rezervlerle sınırlı olan fosil kökenli kaynakların, süreklilik arz etmemesi, ekonomik dengelerden etkilenmesi ve enerjiye dönüşümleri esnasında doğayı kirletmeleri nedeniyle alternatif enerji kaynağı arayışı hız kazanmıştır. Böylece, başta G20 olmak üzere sanayileşme yolunda ilerleyen birçok ülke güneş, rüzgâr, jeotermal, biokütle ve deniz akıntıları gibi alternatif yenilenebilir enerji kaynağı arayışına ve buna yönelik ar-ge faaliyetlerini desteklemeye başlamışlardır. Yeşil enerji olarak da adlandırılan bu yeni enerji kaynaklarını desteklemeye başlayan ülkelerden biride Türkiye'dir. Tükettiği kadar enerji üretmeyen, toplam enerji talebinin yaklaşık dörtte üçünü dışalım yoluyla karşılayan bir ülke olmak durumundan kurtulmak isteyen ülkemiz, son yıllarda giderek artan bir irade sergileyerek ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılamak üzere aralarında Hatay'ında bulunduğu bir çok ilde rüzgar enerjisinden yararlanmak fikrini desteklemektedir.

Günümüzde Hatay ilinde dokuz adet Rüzgar Enerjisi Santrali (RES) bulunmaktadır. Türkiye'deki mevcut işletmede olan RES'lerin kurulu güç bakımından %7.67'sine sahip olan Hatay ili 2012 yılı itibarı ile toplamda 138.5 MW kurulu kapasiteye ulaşmıştır. Ayrıca 27 MW güce sahip olan yeni RES projeleri ise inşaat aşamasındadır (Tureb, 2012).

Bu çalışmada rüzgar enerjisine yatırım yapmak isteyen ya da konuya ilgi duyan kişi, kurum ve kuruluşlara rehberlik etmek üzere, 2002–2009 yıllarına ait rüzgar hızı ve rüzgar yönü verileri kullanılarak, rüzgar enerjisi bakımından oldukça şanslı olan Hatay ili Antakya bölgesinin rüzgar

enerjisi potansiyelinin ön araştırması istatistiksel olarak yapılmıştır.

Rüzgar enerjisi

Enerji üretiminde rüzgar enerjisinden faydalandığı takdirde; temiz, sürekli, hava kirliliğini azaltıcı, geleneksel fosil yakıtların arz-talep ve üretici fiyatlarının değişkenliğinden kaynaklanan dalgalanmalardan etkilenmeyen, sıfır karbon emisyonuna sahip ve enerjide dışa bağımlılığı azaltan stratejik öneme sahip bir enerji kaynağına sahip olunacağı aşikardır. Rüzgar enerjisi hareket halindeki havanın kinetik enerjisidir. İki kısımdan oluşur: Birincisi, A alanına doğru ilerleyen havanın hacmi ($A.V.t$) ve ilerleyen havanın birim hacim başına kinetik enerjisi ($\frac{1}{2}.\rho.V^2$). Burada ρ hava yoğunluğu olup $1.225 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ olarak alınmıştır. Toplam rüzgar gücü ise,

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

şeklinde ifade edilebilir. Burada rüzgar gücünün, rüzgar hızının üçüncü kuvveti ile orantılı olduğu net olarak görülmektedir. Yani, bir başka deyişle, rüzgar hızındaki bir birimlik artış ile rüzgar gücü kübik olarak artmaktadır. Rüzgar potansiyelinin en önemli parametresi olan rüzgar hızının elektrik enerjisi üretimi açısından uygun olup olmadığı, herhangi bir A alanında bulunan rüzgar rejiminin çok iyi tahmin edilebilmesine bağlıdır. Bölgesel rüzgar rejimlerinin önceden tahmin edilebilmesi için çeşitli istatistiksel dağılımlar kullanılmaktadır. Günümüzde, en çok kullanılan dağılımlar olarak Weibull, Rayleigh, Log-normal, Beta, Logistic, Gamma vs. gibi olasılık yoğunluk fonksiyonları kullanılmaktadır.

Türkiye'deki rüzgar enerji potansiyeli, günümüze kadar sayısız araştırmacılar tarafından incelenmiştir (Sen ve Sahin, 1997; Hepbasli vd., 2001; Ozgener ve Hepbasli, 2002; Karsli ve Gecit, 2003; Akpınar ve Akpınar, 2006; Akpınar, 2006; Ozerdem vd., 2006). Antakya bölgesine ev sahipliği yapan, Doğu Akdeniz Bölgesindeki rüzgar enerji potansiyeli ise nispeten az araştırılmıştır. Bu araştırmalara örnek vermek gerekirse; Bilgili ve diğerleri

(2004), Türkiye'nin Doğu Akdeniz Bölgesindeki İskenderun ve Antakya kısımlarındaki rüzgar enerjisi potansiyeli ve iki parametrelili Weibull dağılımı kullanılarak WASP paket programı yardımıyla bölgeye ait rüzgar atlası ortaya çıkarılmıştır. Yine, Antakya ve İskenderun bölgesindeki rüzgar potansiyeli, Şahin vd. tarafından iki parametrelili Weibull dağılımı kullanarak WASP paket programı yardımıyla elde edilmiştir (Şahin vd., 2005). Bu çalışma için Antakya, İskenderun, Karataş, Yumurtalık, Dört Yol, Samandağ ve Adana meteoroloji istasyonundan elde edilen saatlik rüzgar hızı ve yön bilgileri kullanılmış olup sonuç itibarıyla bölgeye yatırım yapılabileceği ifade edilmiştir. Çelik, İskenderun bölgesi için Weibull ve Rayleigh dağılımlarını kullanmış, ölçüm alınan nokta itibarı ile ortalama güç yoğunluğu bakımından yatırım yapılabilirlik derecesinin zayıf olduğu sonucuna ulaşmıştır (Çelik, 2003). Ayrıca, Ege Denizinin kuzeyinde yer alan Gökçeada'nın rüzgar enerjisi potansiyeli yine iki parametrelili Weibull dağılımı kullanılarak Eskin vd. tarafından incelenmiş ve Türkiye'nin kuzey-batı bölgelerine benzer bir rüzgar karakteristiğine sahip olduğunu değerlendirmiştir (Eskin vd., 2008). Özgür ve diğerleri (2006), Weibull, Rayleigh, Gamma, ve Log-normal dağılımlarını kullanarak Kütahya bölgesi rüzgar karakteristiğinin istatistiksel analizini ve elektrik üretimine uygulanabilirliğini araştırmış, bölgenin yatırım yapılabilirlik açısından uygun olmadığı sonucuna varmıştır. Ayrıca, Türkiye'nin İzmir, Kırklareli, Uludağ-Bursa, Belen-Hatay bölgelerindeki rüzgar enerjisi potansiyeli bazı yazarlar tarafından iki parametrelili Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılarak araştırılmış ve istatistiksel analizler yapılmıştır (Ulgen ve Hepbaslı, 2002; Gökçek vd., 2007; Ucar ve Balo, 2009; Şahin ve Bilgili, 2009).

Bu çalışmada rüzgar enerjisinden faydalanabilmek için yapılması gereken çalışmalardan biri olan istatistiksel değerlendirme Antakya bölgesi için Weibull ve Log-normal olasılık dağılım fonksiyonları kullanılarak yapılmıştır. Ortalama hız, standart

sapma, enerji ve güç yoğunluğu tahmininde kullanılan Weibull ve Log-normal dağılımlarının parametreleri, En Küçük Kareler Yöntemi ve maksimum olasılık yöntemi ile belirlenmiştir.

Materyal metot

Antakya bölgesine ait rüzgar hızı karakteristikleri

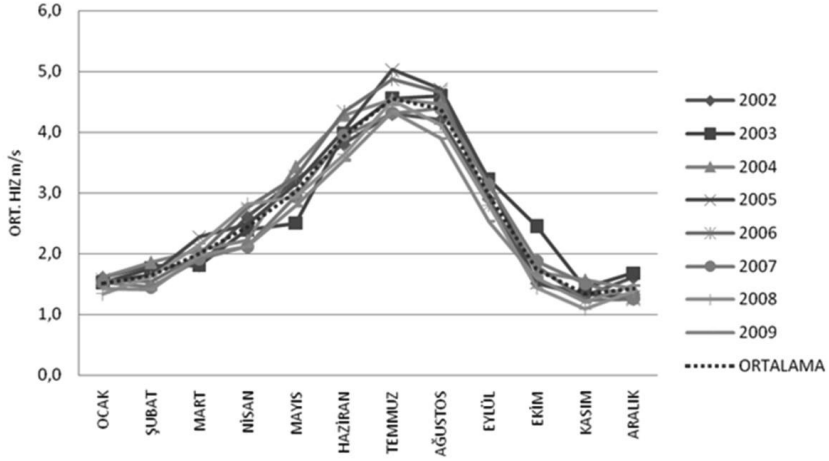
Bu çalışmada, Antakya'da (36.2048°K; 36.1513°D) 2002-2009 yılları arasında ölçülen ortalama günlük rüzgar hızı verileri istatistiksel olarak analiz edilmektedir. Rüzgar hızı ve yönü verileri yerden 10 m yükseklikte ve 85 m rakımdaki Antakya bölgesi içerisinde Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğüne ait Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu tarafından ölçülmüştür. Antakya bölgesinin Türkiye'de ki fiziki konumu ve Meteoroloji istasyonunun coğrafik yeri Şekil 1'de görülmektedir.



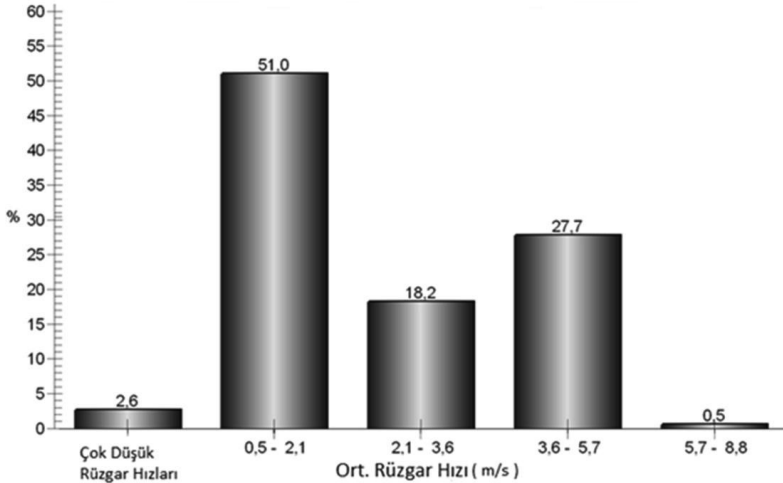
Şekil 1. Ölçümlerin yapıldığı bölgeye ait fiziki harita (Openstreetmap, 2012)

Antakya bölgesine ait 2002-2009 yılları arasındaki aylık ortalama rüzgar hız değerleri Şekil 2'de görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi yüksek rüzgar hızları yaz aylarına denk gelen Haziran ve Eylül ayları arasında ortalama 3 ile 4.6 m/s arasında meydana gelmektedir. Kasım ve Aralık aylarında ise ortalama 1.3 ve 1.4 m/s gibi düşük değerler gözlenmektedir. Günlük ortalama rüzgar hızı yüzde frekans dağılımı Şekil 3'de verilmektedir. Günlük ortalama rüzgar hızlarının sıklık değerlerinin; 2.1 ile 3.6 m/s

arasında %18.2, 3.6 m/s ve üzeri hız değerlerinin ise %28.2 değerine ulaştığı görülmektedir.

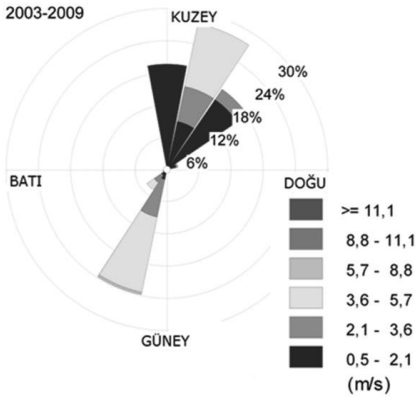


Şekil 2. Aylara göre saatlik rüzgar hızı profilleri



Şekil 3. Günlük ortalama rüzgar hızı yüzde frekans dağılımı

Ölçüm yapılan alana ait 2002-2009 yılları arasındaki hız ve yön dağılımları WRPLOT View Programı kullanılarak elde edilmiş ve Şekil 4'de gösterilmiştir. Rüzgar hızları göz önüne alınarak sınıflandırma yapılmış ve her sınıftaki rüzgarın eşleşme frekansları % olarak ifade edilmiştir. Şekil 4'den de anlaşılacağı üzere; bölgedeki rüzgar hızının % 51'i 0.5-2.1 m/s aralığında olduğu görülmektedir. Bunu sırasıyla, % 28'i 3.6-5.7 m/s, %18'i 2.1-3.6 m/s, hızındaki rüzgarlar takip etmektedir.



Şekil 4. Günlük ortalama rüzgar hızı ve yönsel dağılımı

Yine Şekil 4'de görüldüğü gibi rüzgarın en güçlü olduğu yönler ise kuzey, kuzey-doğu, kuzey / kuzey-doğu ve güney / güney-batı'dır

Metot

Herhangi bir bölgenin rüzgar profili değerlendirilirken, saatlik ortalama, günlük ortalama, aylık ortalama, mevsimsel ve yıllık ortalama, rüzgarın esme yönü gibi verilere ihtiyaç vardır. Elde edilen bu veriler ile rüzgar hızlarının standart sapması, türbülansı ve kümülatif dağılımı gibi değerler tespit edilebilir. Bu çalışmada, Antakya bölgesinin 2002-2009 yılları arasındaki saatlik ortalama verilerden elde edilen günlük ortalama hız ve yön değerlerinden yararlanılmıştır.

Belli bir bölgedeki rüzgar profilini belirlemek için olasılık yoğunluk fonksiyonları

kullanılmaktadır. Bu çalışmada, rüzgar hızı potansiyeli araştırmalarında yaygın olarak kullanılan parametrik analiz yapılmış, olasılık yoğunluk fonksiyonları olarak, 2 parametrelili Weibull ve Log-normal dağılımları kullanılmıştır. Kullanılan bu iki dağılımın parametrelerini hesaplamak için En Çok (Maksimum) Olabilirlik Tahmini (ML) ile En Küçük Kareler Metodu (LSM) kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlar ise istatistiksel çalışmalarda sıklıkla kullanılan R^2 belirleme katsayısı ve RMSE ortalama hata kareleri toplamı kökü değerleri hesaplanarak en düşük hataya sahip dağılım araştırılmıştır.

Weibull ve Log-normal Dağılım Fonksiyonları

Literatürde en sık kullanılan dağılımlardan birisi, iki parametrelili Weibull dağılım fonksiyonudur. Rüzgar hızı için iki parametrelili Weibull dağılımının genel ifadesi,

$$f_w(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} e^{-(V/c)^k} \quad (2)$$

şeklinde. Burada $f_w(V)$, gözlemlenen rüzgar hızı V 'nin olasılık fonksiyonu, c rüzgar hızı ile aynı birime sahip ölçek parametresi ve k ise boyutsuz şekil parametresidir. Weibull dağılımının birikimli olasılık fonksiyonu ise,

$$F_w(V) = 1 - \exp^{-(V/c)^k} \quad (3)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Ortalama rüzgar hızı profili ve enerji potansiyelinin belirlenmesi için Weibull parametreleri olan c ve k 'nın bulunması gereklidir. c ve k parametrelerinin tahmin edilmesi ile birlikte ortalama rüzgar hızı ise;

$$\bar{V}_{Weibull} = c \Gamma \left(\frac{1}{k} + 1 \right) \quad (4)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada, $\bar{V}_{Weibull}$ ortalama rüzgar hızını, $\Gamma(\dots)$ ise Gamma fonksiyonunu ifade eder. Gamma fonksiyonunun genel ifadesi ise Eşitlik (5) ile verilebilir.

$$\Gamma(t) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{t-1} dx \quad (5)$$

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 hesaplanabilir. Burada, yoğunluk (kg/m^3) olup hesaplamalarda $1.225 \text{ kg}/\text{m}^3$ kabul edilmiştir.

Normal dağılımın kolay ve özelliklerinin iyi bilinmesinden dolayı normal dağılmış olmayan dağılımların da uygun bir dönüşümle normal dağılıma uydurulması yoluna gidilir. Bu amaçla logaritmik dönüşüm yaygın olarak kullanılır. Log-normal dağılımda rastgele değişkenin sadece pozitif değerler alabildiği ve dağılımının pozitif çarpıklığı olduğu için bu dağılım pratikte karşılaşılan birçok değişkenlere iyi uymaktadır (Ülke ve Baran, 2005).

Log-normal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu,

$$f_{\text{Log-normal}}(x) = \frac{1}{\sigma V \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln V - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (7)$$

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

$$\bar{V}_{\text{Log-normal}} = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}} \quad (8)$$

şeklinde verilmektedir. Ortalama rüzgar gücü yoğunluğu ise,

$$P_L = \frac{1}{2} \rho e^{\mu + \left(\frac{\sigma^2}{2}\right)^3} \quad (9)$$

olarak ifade edilmektedir.

Hata analizi

Bu çalışmada kullanılan yöntemler iki farklı hata hesabı formülü ile analiz edilmiştir.

Bunlardan birincisi R^2 belirleme katsayısı formülü olup Eşitlik 10'da verilmiştir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (10)$$

İkinci hata formülü ise Eşitlik 11'de verilen Hata Kareleri Toplamının Karekökü (RMSE) olup;

$$RMSE = \left(1 - \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2\right)^{0.5} \quad (11)$$

Burada n , gözlem sayısı, y 'ler ortalama gerçek değerler ve x 'ler Weibull ve Log-normal dağılımı ile hesaplanan rüzgar hızı değerleridir. Literatürde ise R^2 değeri en büyük ya da RMSE değeri en küçük dağılım fonksiyonu en iyi dağılım fonksiyonu olarak kabul edilmekte olup bu kriterlere göre hata analizi yapılmaktadır (Akdağ vd., 2007).

Araştırma sonuçları

Bu çalışmada, Rüzgar hızı verileri Antakya merkezde yer alan Meteoroloji Genel Müdürlüğüne ait Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu tarafından, yerden 10 m yükseklikte ölçülmüştür. Rüzgar hızı 60 dk aralıklarla ölçülerek 24 saatlik ortalaması, standart sapması, aşırı (max ve min) değerleri kayıt edilmiş olup 2002- 2009 yılları arasındaki sekiz yıllık dönemi kapsamaktadır. 10 m yükseklikte 60 dk ara ile ölçülen 24 saatlik ortalama rüzgar hızı verilerine ilişkin frekans dağılımı, ortalama rüzgar hızı ve ortalama güç yoğunlukları Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'de görülmektedir.

Rüzgar hızı verileri öncelikle ML yöntemi, sonrasında ise LSM yöntemi kullanılarak yıllık olarak değerlendirilmiş ML ve LSM yöntemleri ile tahmin edilen Weibull ve Log-normal dağılımlarına ait parametreleri ve bunlara bağlı olarak yıllık ortalama rüzgar hızı, ortalama güç yoğunluğu ile standart sapma değerleri Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

Weibull dağılımı için En Küçük Kareler (LSM) yöntemi daha küçük standart sapma değerine sahip olduğu için daha başarılı olduğu Tablo 1’de görülmektedir. Aynı tabloda c (ölçek parametresi)’nin en küçük 2.61 m/s en fazla 3.03 m/s olduğu, k (şekil parametresi)’nin ise en küçük 1.96, en büyük 2.53 olduğu da görülmektedir.

ML ve LSM kullanılarak hesaplanan Log-normal dağılımına ait σ (ölçek parametresi)’nin en küçük 0.52, en büyük 0.37 ve μ (yer-konum parametresi) en küçük 0.72, en büyük 2.7 olduğu da Tablo 1’de görülmektedir. Kullanılan her iki parametre kestirim yönteminin de 2002-2009 yılları arası Antakya bölgesi rüzgar verileri için birbirine yakın standart sapmaya sahip olduğu dolayısıyla başarılı olduğu görülmektedir.

Tablo 1. ML ve LSM metodları ile hesaplanan Weibull ve Log-normal dağılımlarının parametreleri

Parametre -Yıl		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Weibull ML	c	2.90	3.03	3.07	3.05	3.07	2.88	2.85	2.71
	k	2.09	2.09	2.12	1.96	1.96	1.99	2.03	2.03
	Ort. Hız	2.57	2.68	2.72	2.70	2.72	2.56	2.53	2.40
	Ort. Rüz. Güç Yoğ.	18.98	21.62	22.16	23.52	24.04	19.62	18.62	16.0
	Std. Sapma	1.29	1.35	1.35	1.44	1.45	1.34	1.31	1.24
Weibull LSM	c	2.79	2.92	2.96	2.93	2.95	2.77	2.76	2.61
	k	2.53	2.47	2.53	2.34	2.28	2.46	2.34	2.40
	Ort. Hız	2.47	2.59	2.63	2.59	2.62	2.45	2.44	2.32
	Ort. Rüz. Güç Yoğ.	14.46	16.99	17.38	17.72	18.64	14.46	14.78	12.3
	Std. Sapma	1.05	1.12	1.11	1.18	1.22	1.07	1.11	1.03
Log-normal ML	σ	0.53	0.54	0.55	0.58	0.59	0.55	0.57	0.55
	μ	0.80	0.84	0.84	0.83	0.83	0.79	0.77	0.72
	Ort. Hız	2.56	2.69	2.70	2.70	2.73	2.55	2.54	2.40
	Ort. Rüz. Güç Yoğ.	10.29	11.86	12.09	12.09	12.48	10.12	9.99	8.51
	Std. Sapma	1.47	1.57	1.37	1.69	1.76	1.50	1.56	1.44
Log-normal LSM	σ	0.52	0.53	0.52	0.56	0.57	0.54	0.56	0.55
	μ	0.80	0.84	0.86	0.83	0.83	0.78	0.77	0.72
	Ort. Hız	2.55	2.67	2.70	2.68	2.71	2.53	2.52	2.39
	Ort. Rüz. Güç Yoğ.	10.10	11.64	12.07	11.83	12.16	9.97	9.79	8.35
	Std. Sapma	1.43	1.52	1.51	1.64	1.69	1.47	1.52	1.41

Tablo 2. Dağılımlara göre ortalama güç yoğunlukları

Yıl	P(v) Gözlem Değerlerine Göre	Weibull ML	Weibull LSM	Log-normal ML	Log-normal LSM
	Ort. Güç Yoğ. (W/ m ²)	Ort. Güç Yoğ.(W/m ²)	Ort. Güç Yoğ.(W/m ²)	Ort. Güç Yoğ.(W/m ²)	Ort. Güç Yoğ.(W/m ²)
2002	10.2	10.35161371	9.25413	10.2944	10.10468182
2003	11.6	11.83708804	10.6783	11.8593	11.64048793
2004	11.9	12.29300053	11.1100	12.0853	12.07272355
2005	11.7	12.06615488	10.6808	12.0947	11.82954692
2006	11.7	12.30711923	10.9775	12.4760	12.15685154
2007	9.9	10.23227334	9.0590	10.1156	9.969065708
2008	9.4	9.878472265	8.9148	9.9889	9.793559843
2009	8.0	8.501113978	7.6182	8.5125	8.349001823

2002-2009 yılları arasındaki rüzgar verilerine göre elde edilen hata analizi sonuçları Tablo 3’de verilmiştir. Yapılan hata analizlerine göre en yüksek R^2 %99 (Weibull ML) en az ise %98 (Log-normal ML) değerleri, RMSE için en az 0.012081 (Weibull ML) en fazla 0.020014 (Log-normal ML) değerleri elde edilmiştir.

Tablo 3. 2002-2009 yılları için hata analizi

Olasılık Dağılım Fonk. METOD	WEIBULL		LOG-NORMAL	
	ML	LSM	ML	LSM
R^2	99%	99%	98%	98%
RMSE	0.012081	0.014582	0.020014	0.016242

Tartışma ve sonuçlar

Bu çalışmada, Hatay ili Antakya bölgesindeki 2002-2009 yılları arasındaki 8 yıllık periyot boyunca 60 dk aralıklarla kaydedilen rüzgar verileri Bölge Meteoroloji Müdürlüğü tarafından elde edilmiştir. Elde edilen veriler analiz edilmiş ve neticesinde rüzgar hızı verileri için; rüzgar hız dağılımları, olasılık yoğunluk fonksiyonu uygulaması ve parametre tahmini yapılmıştır. İstatistiksel analizlerde, Weibull dağılımı ve Log-normal dağılımları için Maksimum Olabilirlik Tahmini ve En Küçük Kareler Metodu olmak üzere iki farklı parametre kestirim tekniği kullanılmıştır. Yapılan analizler neticesinde, parametre tahmin tekniklerinden ML-Maksimum olabilirlik tekniğinin Weibull dağılımı için ve en küçük kareler yönteminin de Log-normal dağılımı için daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Aynı zamanda, bu parametre kestirim tekniklerine göre olasılık yoğunluk fonksiyonlarından Log-normal dağılımının, Antakya bölgesi 2002-2009 yılları arasındaki mevcut rüzgar hız verilerine göre Weibull dağılımına benzer sonuçlar ortaya koyduğu tespit edilmiştir. Rüzgar potansiyeli açısından çalışmanın en önemli sonuçları şu şekilde özetlenebilir; Zeminden 10 m yükseklikte yapılan ölçümler neticesinde yüksek rüzgar hızları yaz aylarına denk gelen Haziran ve Eylül ayları arasında ortalama 3 m/s ile 4.6 m/s arasında meydana gelmektedir. Kasım ve

Aralık aylarında ise ortalama 1.3 m/s ve 1.4 m/s gibi düşük değerler gözlenmektedir. Bölgede gözlemlenen rüzgâr hızları, Kasım ayında minimum ve Temmuz ayında ise maksimum değere ulaşmaktadır. Ortalama rüzgar enerjisi potansiyeli gözlem yapılan bölge itibarıyla ortalama en yüksek değer 11.9 W/m^2 olarak bulunmuştur. Maksimum güç Temmuz ve minimum güç Kasım'da elde edilmektedir. Rüzgarın en güçlü olduğu yönler ise kuzey, kuzey-doğu, kuzey/kuzey-doğu ve güney/güney-batı'dır. Rüzgar türbinlerinin de bu yönlerde kurulması enerji taşıyan rüzgarların yakalanmasını sağlayacaktır. Yapılan araştırmalar neticesinde rüzgar ölçümlerinin yapıldığı Antakya merkezinin, rüzgar enerjisi potansiyelinin cesaret verici olduğu değerlendirilmektedir. Bölge rüzgar potansiyelinin merkeze yakın şebekeye direk olarak bağlı olmayan aydınlatma sistemleri, tarımsal arazilerin sulanması gibi elektrik ve mekanik uygulamalarda kullanılabilceği, uzun vade de teknolojinin gelişimi ve türbin maliyetindeki azalmaya bağlı olarak şebekeye de destek verebileceği önerilmektedir.

Semboller

A	: Alan (m^2)
c	: Weibull ölçek parametresi (ms^{-1})
$F_W(V)$: Weibull birikmiş olasılık fonk.
$f_W(v)$: Weibull dağılım fonksiyonu
$f_{\text{Log-normal}}(V)$: Log-normal dağılım fonksiyonu
	: Gamma fonksiyonu
K	: Weibull şekil parametresi
N	: Toplam data sayısı
P_W	: Weibull dağılımı için ortalama güç yoğunluğu (Wm^{-2})
P_L	: Log-normal dağılımı için ort. güç yoğunluğu (Wm^{-2})
$P(V)$: Ort. rüzgar gücü potansiyeli (W)
ρ	: Havanın yoğunluğu (kgm^{-3})
σ	: Standart sapma (ms^{-1})
V	: Rüzgar hızı (ms^{-1})
y	: Ortalama gerçek değerler (m/s)
x	: Weibull-Log-normal dağılımı ile hesaplanan ort. hız değerleri (m/s)
ML	: Maks. Olabilirlik Tahm. (EYO)
LSM	: En Küçük Kareler Yöntemi
R^2	: Belirleme Katsayısı
$RMSE$: Ort. Hata Kareleri Toplamının Karekökü

μ	: Log-normal dağılımı için yer parametresi
σ	: Log-normal dağılımı için ölççek parametresidir
\bar{V}	: Ortalama rüzgar hızı (ms^{-1})
$\bar{V}_{Weibull}$: Weibull dağılımına göre ortalama hız (ms^{-1})
$\bar{V}_{Log-normal}$: Log-normal dağılımına göre ortalama hız (ms^{-1})

Kaynaklar

- Akdağ, S. A., Dinler, A., Menteş Ş.S., (2007). Rüzgar Karakteristiğinin Analizi, iv. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 23-29.
- Akpınar E. K. ve Akpınar S., (2004). Determination of the wind energy potential for Maden-Elazığ, Turkey, *Energy Conversion and Management*, **45**, 18-19, 2901-2914.
- Akpınar E. K., (2006). Statistical Investigation of Wind Energy Potential, *Energy Sources Part A*, **28**, 9, 807-820.
- Bilgili, M., Şahin, B. ve Kahraman, A., (2004). Wind Energy Potential in Antakya and İskenderun Regions, Turkey, *Renewable Energy*, **29**, 1733-1745.
- Çelik, A. N., (2003). İskenderun Bölgesine Ait Rüzgar Hızı Ve Güç Yoğunluğunun Çeşitli Modeller Kullanarak İstatistiksel Olarak Analizi, II. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, İzmir.
- Eskin, N., Artar, H. ve Tolun, S., (2008). Wind Energy Potential of Gökçeada Island in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **12**, 839-851.
- Gökçek, M., Bayülken, A. ve Bekdemir, Ş., (2007). Investigation of Wind Characteristics and Wind Energy Potential in Kırklareli, Turkey, *Renewable Energy*, **32**, 1739-1752.
- Hepbasli, A., Ozdamar, A. ve Ozalp, N., (2001). Present status and potential of renewable energy sources in Turkey, *Energy Sources*, **23**, 33–50.
- Karsli, V. M. ve Gecit, C., (2003). An investigation on wind power potential of Nurdagi-Gaziantep, Turkey, *Renewable Energy*, **28**, 823–830.
- Ozerdem B., Ozer S. ve Tosun M., (2006). Feasibility study of wind farms: A case study for Izmir, Turkey, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic*, **94**, 725-743.
- Ozgener, O. and Hepbasli, A. (2002). Current status and future directions of wind energy applications in Turkey, *Energy Sources*, **24**, 1117–1129.
- Özgür, M.A., (2006). Kütahya Rüzgar Karakteristiğinin İstatistiksel Analizi ve Elektrik Üretimine Uygulanabilirliği, *Doktora Tezi*, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Sahin, B. ve Bilgili, M., (2009). Wind Characteristics and Energy Potential in Belen-Hatay, Turkey, *International Journal of Green Energy*, **6**, 157-172
- Sahin, B., Bilgili, M., ve Akilli, H., (2005). The Wind Power Potential of the Eastern Mediterranean Region of Turkey, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **93**, 171-183.
- Sen, Z. ve Sahin, A., (1997). Regional assessment of wind power in Western Turkey by cumulative semivariogram method, *Renewable Energy*, **12**, 169–177.
- Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TUREB), (2012). Türkiye rüzgar enerjisi istatistik raporu. <http://www.alternatifenerji.com/wp-content/uploads/turkiye-ruzgar-enerjisi-istatistik-raporu-2012-turkish-w%C4%B1nd-energy-statistics-report-2012.pdf>, (03.03.2013).
- Ucar, A. ve Balo, F., (2009). Investigation of Wind Characteristics and Assessment of Wind-Generation Potentiality in Uludag-Bursa, Turkey, *Applied Energy* **86**, 333-339.
- Ulgen, K. ve Hepbasli, A., (2002). Determination of Weibull Parameters for Wind Energy Analysis of Izmir, Turkey, *International Journal of Energy Research*, **26**, 495-506.
- Ülke A, Baran T, (2005). Köprüçay yıllık akım verilerine uygun olasılık dağılım fonksiyonu ve kuraklık analizi. Antalya Yöresi, *İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi*, Antalya.