

RÜZGÂR ENERJİ POTANSİYELLERİNİN BELİRLENMESİNDE İSTATİSTİKSEL YAKLAŞIM: SEÇİLMİŞ İLLERDE UYGULAMA ÇALIŞMASI

Prof. Dr. Veysel YILMAZ
vyilmaz@ogu.edu.tr

Murat DOĞAN

Nurdan TEPEYURT
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü

ÖZET

Elektrik enerjisi üretimi için kullanılan fosil yakıtlar geçen her yıl azalmaktadır. Bu yakıtların tükenecek olması, çevresel etkileri sebebiyle elektrik enerjisi üretiminin sağlanabilmesi için tüm dünyada yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaktadır. Rüzgâr enerjisi, yenilenebilir kaynaklar içerisinde yer almakta ve son yıllarda dünyada büyük bir gelişim göstermektedir. Rüzgâr enerjisi kullanımı ile elektrik enerjisi üretimi ülkemizde oldukça azdır. Bu çalışmada Türkiye'nin 4 iline ait rüzgâr hız verilerine dayalı olarak istatistiksel analiz yapılmış ve illerin elektrik enerjisi potansiyelleri tahmin edilmiştir.

1.Giriş

1.1 Problemin tanımı

Atmosferde yer değiştiren havanın sıcaklık ve basınç farkından, dünya yüzeyine yaptığı harekete rüzgâr denir. Dünya var olduğu sürece yaşamın devamlılığının sağlanabilmesi için gerekli olan enerjinin devamlılığının sağlanabilmesi, önemli konulardan biridir. Günümüzde fosil yakıtlar dünya genelinde geniş bir alanda kullanılmaktadır. Bu kaynakların gelecek için yeterli görülmemesi, önlemlerin alınmasına sebep oluşturmaktadır. Enerji tasarrufunun büyük bir ölçüde sağlanması, kaynakların maksimum verim seviyesinde kullanılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması için teknolojinin geliştirilip uygulamaya konulması gerekmektedir. Su pompalamak, yelkenlileri hareket ettirmek, gemileri yürütmek gibi işler için eski zamanlardan bu yana kullanılmakta olan rüzgâr enerjisi, alternatif bir enerji kaynağı olarak günümüzde enerji sektöründe yer almaya başlamıştır. Bu enerjinin kullanılabilirliği, rüzgâr

V. Yılmaz, M. Doğan, N. Tepeyurt / Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 3 (2013) 174-188
V. Yılmaz, M. Doğan, N. Tepeyurt / Nevşehir Hacı Bektaş Veli University Journal of Social Sciences 3 (2013) 174-188

rejimine, rüzgâr hızına, rüzgâr esme süresine ve rüzgâr esme yönüne bağlıdır.

Günümüzde kullanılan konvansiyonel enerji kaynakları rezervlerinin gittikçe azalması ve bu enerji kaynaklarının çevresel etkileri dünyayı oldukça etkilemektedir. Bu nedenle insanlık, alternatif ve daha kullanışlı enerji kaynaklarından faydalanma yollarına gitmektedir. Bu alternatif enerji kaynaklarından biri de rüzgâr enerjisidir. (Köse, Özgür, Erbaş ve Tuğcu, 2004, s.277-288).

Rüzgâr enerjisinden elektrik elde edilmesi konusunda şu anda A.B.D., Çin, Almanya, İspanya ve Hindistan en başta yer alan ülkelerdir (Korukçu, 2011,s.117).

Hızla artan enerji talebi neticesinde Türkiye'nin başta petrol ve doğal gaz olmak üzere enerji ithalatına bağımlılığı artmaktadır. Ülkemizin hali hazırda toplam enerji talebinin yaklaşık %26'sı yerli kaynaklardan karşılamaktayken, kalan bölümü çeşitlilik arz eden ithal kaynaklardan karşılanmaktadır.(http://www.mfa.gov.tr/turkiye_nin-enerji-stratejisi.tr.mfa).

Rüzgâr enerjisi bilindiği üzere, özellikle ülkemiz için en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından birisidir. Rüzgâr türbin teknolojisindeki gelişmeler, elektrik enerjisi üretimi amaçlı rüzgâr türbinlerinin kurulu güçlerinin yükselmesine, dolayısıyla birim enerji maliyetinin düşmesine sebep olmaktadır. Bunun sonucu olarak, rüzgâr türbinlerinin elektrik enerjisi üretimindeki payı gün geçtikçe artmaktadır (Akdağ ve Güler, 2008, s. 707-714).

Bir bölgede rüzgâr hızı esme sürelerinin belirlenmesi, elde edilecek enerji için en önemli parametrelerden birisidir. Bölgenin rüzgâr hızı frekans dağılımı belirlenerek, o bölge için en uygun rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemi seçilebilir. Bölge için uygun dağılımın belirlenmesi ile en ekonomik sonuçlara ulaşmak mümkün olur. Yapılan çalışmalarda rüzgâr hızı frekans dağılımı Rayleigh ve Weibull gibi farklı dağılımlar kullanılarak analiz edilmektedir. Son yıllarda iki parametrelili Weibull dağılımı dünyanın birçok bölgesinin rüzgâr hızı esme sürelerini temsil etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemin kullanılma nedeni, rüzgâr dağılımına çok iyi uyması, parametrelerinin belirlenmesindeki kolaylık, iki parametrelili olması gibi faktörlerdir (Çetin, 2001, s.21-24).

Bu çalışmada; Antakya, Bilecik, Mardin, Nevşehir, Zonguldak illerine ait rüzgâr hız verilerine dayanarak; rüzgâr verilerine uygun istatistiksel dağılımın belirlenmesi ve rüzgâr hızlarını temsil eden dağılım yardımıyla seçilen bölgedeki rüzgâr enerji potansiyelinin tahmini yapılacaktır.

V. Yılmaz, M. Doğan, N. Tepeyurt / Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 3 (2013) 174-188
V. Yılmaz, M. Doğan, N. Tepeyurt / Nevşehir Hacı Bektaş Veli University Journal of Social Sciences 3 (2013) 174-188

1.2. Çalışmanın amacı

Bu çalışmanın amacı; Bilecik, Mardin, Nevşehir ve Niğde illerine ait Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün istasyonlarından alınan aylık ortalama rüzgâr ölçüm verileri kullanılarak istasyonlar için rüzgâr hız dağılımlarını istatistiksel olarak tahmin etmek ve bu dağılım yardımıyla enerji yoğunluklarını hesaplayarak yatırımcılara illerin rüzgâr enerji potansiyeli hakkında bilgi vermektir.

1.3. Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi ile ilgili yapılan çalışmalar

Akpınar ve Akpınar'ın yaptığı çalışmada 1998-2003 yılları arasında Elazığ, Agin, Maden, Keban bölgelerinde ölçülen ortalama rüzgâr hız verileri saatlik zaman serileri biçiminde Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılarak istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Maden bölgesinin rüzgâr ortalama hızı 4,13 ile 2,64 m/s olarak hesaplanmıştır. Diğer bölgelerle karşılaştırıldığında rüzgâr enerjisi üretiminde en yüksek bölge olduğuna karar verilmiştir (Akpınar ve Akpınar, 2005).

Şahin, Bilgili, Akıllı'nın yapmış olduğu çalışmada 1992-2001 yıllarına ait saatlik rüzgâr ölçüm verileri kullanılarak 7 Bölge'nin (Antakya, İskenderun, Karataş, Yumurtalık, Dört Yol, Samandağ, Adana) rüzgâr enerjisi potansiyeli hesaplanmıştır. Hesaplama sonucunda bu bölgelerden üretilebilecek enerji miktarı yaklaşık olarak 32000000W/m/yıl olarak saptanmıştır. Antakya, İskenderun ve Samandağ'ının enerji üretimi açısından uygun olduğu anlaşılmıştır (Şahin, Bilgili ve Akıllı, 2005).

Yılmaz, Aras ve Çelik yaptıkları çalışmada literatürdeki pek çok çalışmada istatistiksel analiz yapılmadan kullanılan Weibull dağılımının, Türkiye Rüzgâr atlasında seçilen beş farklı bölgeye uygunluğu araştırılmıştır (Yılmaz, Aras ve Çelik, 2005).

Özgür çalışmasında Kütahya Dumlupınar Üniversite'si alan içerisinde bulunan Bünelek Tepe rüzgâr ölçüm istasyonundan; Temmuz 2001-Haziran 2004 tarihlerine ait rüzgâr verileri ile çeşitli istatistiksel yöntemlerle hesaplanmıştır. Verilerin değerlendirilmesinde; Maksimum Olabilirlik Tahmini (MLE), En Küçük Kareler Yöntemi (LSM) ve Robus Asimetrik Dağılım Parametre Tahmini (RADPE) tekniğini kullanmıştır. Bu teknikler sonucunda olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak; Weibull, Lognormal ve Gamma dağılımları test etmiştir. Kurulması düşünülen rüzgâr türbininin maliyet analizi yapılmıştır. Yapılan analizin neticesinde kampüsün elektrik ihtiyacının karşılanması için belirlenen rüzgâr türbini modeline göre enerji üretim maliyeti, öngörülen kabuller ile hesaplanmış (8,02 USCent/W/m) ve bu maliyete göre sistemin kendisini 17,55 yılda geri ödeyeceği belirlenmiştir. Bölge rüzgâr karakteristiğinin istatistiksel değerlendirilmesi ve yapılan maliyet analizi, bölgede rüzgâr santralinden

V. Yılmaz, M. Doğan, N. Tepeyurt / Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 3 (2013) 174-188
V. Yılmaz, M. Doğan, N. Tepeyurt / Nevşehir Hacı Bektaş Veli University Journal of Social Sciences 3 (2013) 174-188

elektrik enerjisi üretiminin mevcut teknolojiye göre ekonomik olmadığını göstermiştir. (Özgür,2006).

Kurban, Kantar ve Hocaoğlu2005 yılına ait 4 ay süreli saatlik ölçülen rüzgâr hız verileri ile Anadolu Üniversite'si İki Eylül Kampüsü'ndeki rüzgâr enerjisi potansiyelini istatistiksel olarak analiz etmişlerdir. Çalışmalarında Weibull ve Rayleigh dağılımları ile En Küçük Kareler Yöntemini kullanmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda kampüsün rüzgâr enerji potansiyelinin elektrik enerjisi üretimi bakımından uygun olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Kurban, Kantar ve Hocaoğlu, 2006).

Akdağ ve Güler Weibull dağılımı parametrelerini 4 farklı metoda göre belirleyerek (Grafik metodu, En yüksek olabilirlik metodu, Basitleştirilmiş en yüksek olabilirlik metodu ve Moment metodu) , R2 ve RMSE hata analizleri ile güç yoğunluklarını, bir bölgenin on dakikalık rüzgâr hızı ölçümlerini kullanılarak karşılaştırmışlardır (Akdağ ve Güler, 2008).

Yılmaz ve Çelik yaptıkları bir diğer çalışmada çalışmalarında Gelibolu bölgesine ait rüzgâr hızı verilerini en iyi temsil edebilecek istatistiksel dağılımı bulmak için 10 dağılım inceleyerek karşılaştırmışlardır. Çalışmada üç uyum iyiliği testi ve grafik yöntemi kullanılmıştır (Yılmaz ve Çelik, 2008).

Güler'in yapmış olduğu çalışmada, Türkiye'nin rüzgâr enerjisi durumu değerlendirilmiştir. Türkiye'de 2005 yılı sonunda rüzgâr enerjisi kurulu gücü 38820 MW olarak bulunmuştur. Türkiye'de 2005 yılında hesaplanan bu değer yıl içerisinde tüm üretilen enerjiye oranı %0,035'tir. Kurulu rüzgâr enerjisinin toplam enerji potansiyeline oranı ise %0,22 'dir. Lisans alma aşamasında olan projelerin devreye girmesiyle rüzgâr enerjisinin, toplam rüzgâr enerjisi potansiyeline oranı %14,27 olacağı belirlenmiştir (Güler, 2009).

Uçar ve Balo'nun yapmış oldukları çalışmada 2000-2006 yılları arasında Türkiye'nin 6 (Erzurum, Elazığ, Bingöl, Kars, Manisa, Niğde) yerine ait rüzgâr hız verileri ile rüzgâr karakteristiği tahmin edilmiştir. Weibull şekil parametresi 1,71-1,96 m/s arasında; ölçek parametresi c, 6,81–9,71 m/s arasında değer almıştır. Dört değişik rüzgâr türbinin değerlendirilmesi yapılmış, türbinlerden elde edilecek yıllık enerjisi miktarı hesaplanmıştır. En yüksek k ve c parametre değerleri Erzurum ve Elazığ illerinde elde edilmiştir. Bu iki ilin en çok rüzgâr enerjisi elde edilebilecek bölgeler olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Uçar ve Balo, 2009).

Şekerci, Elfarra, Albasan çalışmalarında Weibull ve Rayleigh dağılımlarını kullanarak, araziye yerleştirilmesi planlanan rüzgâr türbinlerinin tahmini yıllık enerji üretim miktarını hesaplamıştır. Hesaplamalara Weibull dağılımının kullanılması gerektiğini belirtmiştir.

V. Yılmaz, M. Doğan, N. Tepeyurt / Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 3 (2013) 174-188
 V. Yılmaz, M. Doğan, N. Tepeyurt / Nevşehir Hacı Bektaş Veli University Journal of Social Sciences 3 (2013) 174-188

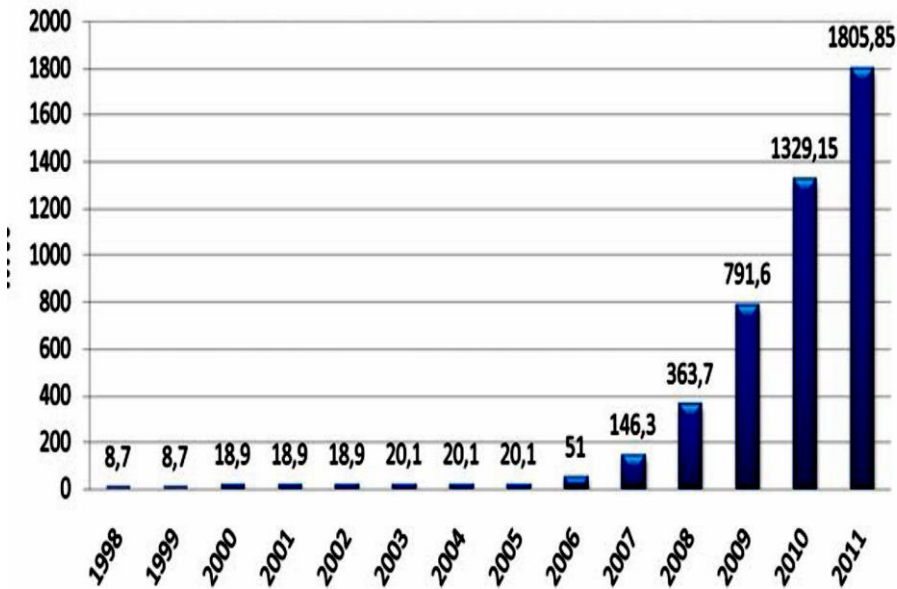
Rüzgâr çiftliği yatırımlarında arazinin rüzgâr karakteristiği, araziye konulacak rüzgâr türbinin uyuşmasının verim ve performans açısından çok önemli olduğunu savunmuştur (Şekerci, Elfarra ve Albasan,2009).

Gülersoy ve Çetin 2008–2009 yıllarına ait Devlet Meteoroloji İşleri Müdürlüğü'nün Menemen Meteoroloji istasyonundan temin edilen saatlik olarak ölçülen rüzgâr hızı verilerine dayanarak, Menemen' deki rüzgâr enerjisi potansiyeli istatistiksel olarak analiz etmiştir. Bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyeli araştırmasında Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılmıştır. Ölçülen veriler yardımı ile Weibull şekil parametresi k , 1,838-1,869 ve ölçek parametresi c , 5,629-5,898 (m/s) bulunmuştur. Menemen bölgesinin rüzgâr enerjisi potansiyeli bakımından uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Gülersoy ve Çetin, 2010).

2.2. Türkiye'de Rüzgâr Enerjisinin Durumu

Ekonomik büyüme paralelinde, dünyanın en hızlı büyüyen enerji piyasalarından biri haline gelen Türkiye, rekabetçi bir yapıya kavuşma yolunda hızla ilerlemektedir. Bu nedenle dünya ve özellikle Avrupa stratejisi içerisinde Türkiye'nin yeri giderek artmaktadır ve Türkiye'de Şubat 2012 itibariyle kurulu gücü 1800MW'ı aşan rüzgâr enerjisi santrali bulunmaktadır.

Tablo 1. Türkiye Rüzgâr Enerji Santrallerinin Kurulu Güç Bakımından Yıllara Göre Kümülatif Dağılımı (www.tureb.com.tr)



V. Yılmaz, M. Doğan, N. Tepeyurt / Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 3 (2013) 174-188
 V. Yılmaz, M. Doğan, N. Tepeyurt / Nevşehir Hacı Bektaş Veli University Journal of Social Sciences 3 (2013) 174-188

2.3. Rüzgâr Enerjisinin Avantajları

- Rüzgâr enerjisi tükenmez bir enerjidir. Güneş var olduğu sürece devam edecek bir kaynaktır.
- Doğalgaz, petrol gibi hammadde masrafı yoktur.
- Çevreye zarar vermez.
- Türbinlerinin kurulumu, bakımını sağlamak adına istihdam sağlar. Aynı zamanda yan sanayiye de genişletir.
- Türbinlerin kapladığı alan küçüktür. Türbinlerin kullanım ömrü sona erdiğinde söküldüğünde, arazi kullanıma uygun olur.

2.4. Rüzgâr Enerjisinin Dezavantajları

- Türbinlerin ilk yatırım, kurulum maliyeti yüksektir.
- Rüzgâr sürekli esmediğinden rüzgâr enerjisi de sürekli değildir. Rüzgârın esmediği durumlarda elektrik enerjisi üretimi olmaz. Türbinlerin doğru seçimi ile bu durumun üstesinden gelinebilir.
- Türbinlere yakın yerlerde elektromanyetik girişim ile televizyon, radyo, havacılık ve denizcilik haberleşmelerinin etkilenmesi söz konusudur. Yapılan araştırmalarda türbinlerde kullanılan metal malzemeler yerine polyester esaslı malzeme kullanıldığında bu sorun minimize edilmektedir.
- Kanatların eskimesi sonucuyla kopmalar olabilmekte bu durumda kazalara sebep olmaktadır. Üretilen elyaf kanatların kullanılması ile kaza riski kalmamıştır.
- Türbin rotorlarına, kanatlarına özellikle göç zamanı kuşların alanlardan geçiyor olmaları, ölümlerine sebep olur.
- Rüzgâr tarlaları çok büyük alanları kaplar. Bunun sebebi türbinlerin birbirinden belli uzaklıkta bulunma zorunluluğudur. Bu uzaklık kanat çapının en az yedi katı olmalıdır. Bu suretle türbinler birbiri için rüzgâr engeli oluşturmazlar. Ancak bu alanlar içerisinde türbin temelleri dışında kalan alanlar boş olup tarım ve hayvancılıkta kullanılabilir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Rassal Değişken Olarak Rüzgâr Hızı

Rüzgâr hızı rassal (tesadüfi) olay olarak tanımlandığı için rüzgâr hız tahminlerinde istatistiksel yöntemleri kullanmak yararlıdır. Bu nedenle rüzgâr hızı, olasılık dağılımları kullanılarak tahmin edilebilir (Yılmaz ve Çelik,2008,s.122).

3.2. Rüzgâr Hızı İçin Önerilen Dağılımların İncelenmesi

Rüzgâr hızı, ortalama rüzgâr gücü yoğunluğu rüzgâr enerjisi tahminini etkileyen faktörlerdir. Rassal olan bu faktörlerin devamlılığı olmadığı gibi, hesaplamalarında aldığı değerler kesin olmamakla birlikte hata payı içermektedir. Rüzgâr hız ve yoğunluklarına ait verilerle öngörü

yapılması, istatistik biliminin çalışma alanına girmektedir. Bir bölgenin rüzgâr enerji potansiyeli hakkında bilgi sahip olmak için en az bir yıllık rüzgâr hızı ölçümlerine ihtiyaç vardır. Yapılan ölçümler fizibilite çalışmalarının doğru bilgileri vermesini sağlayacaktır. Rüzgâr enerji potansiyelini etkileyen en önemli faktör rüzgârın şiddetidir. Rüzgârın şiddeti yer yüzeyinin topografik yapısından etkilenmektedir. Rüzgâr santralının kurulmasından önce yapılması gereken işlerden bir tanesi, bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyelini hesaplanmasıdır. Rüzgâr enerjisi tahmininde farklı yöntemler vardır. Atmosferik sınır tabakanın davranışlarını anlatan nümerik analizler sonucu incelenebileceği gibi bir rüzgâr tüneli vasıtasıyla hava akımının modellenmesi yapılabilir. Diğer bir model ise ampirik modellerdir. (Karadeli,2001). Bu modeller rüzgâr rejiminin ve karakteristiğinin belirlenmesi için ekonomik bir metottur. Günümüzde ise rüzgâr enerjisi potansiyeli WASP, Wind Pro, Alvin, RetScreen gibi yazılımların kullanılması ile hesaplanabileceği gibi uydu verileri aracılığı ve istatistiksel olarak da hesaplanabilmektedir (Köse, Özgür, Erbaş ve Tuğcu, 2004, s.277-288). İstatistiksel olarak yapılan çalışmaların çoğunda rüzgâr hız dağılımının Weibull'a uyduğunu göstermiştir. Her bölge için rüzgâr karakteristiğinin hangi dağılıma uyduğunu mutlaka incelenmelidir.

3.2.1. Weibull Dağılımı ve Güç Hesabı

Weibull dağılımı; depremler, rüzgâr hızları ve kalite kontrol çalışmalarında geniş bir kullanım alanına sahiptir. Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu genelleştirilmiş iki parametrelili Gamma dağılımının özel bir durumudur. Weibull dağılımı $f(v)$ olasılık yoğunluk fonksiyonu ve $F(v)$ birikimli dağılım fonksiyonu ile karakterize edilebilir. (Bury,1975, s.405-437). Weibull dağılımı, boyutsuz şekil (k) ve rüzgâr hızı ile aynı birime sahip ölçek (c) parametrelerinden oluşan iki parametrelili bir dağılımdır. İki parametrelili Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu eşitlik (1)'de verilmiştir.

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

Eşitlik (1)'de $f(v)$ rüzgâr hızının olasılık yoğunluğu, v rüzgâr hızı olmak üzere k ve c sırasıyla boyutsuz şekil ve ölçek (m/s) parametreleridir. Parametrelerine bağlı olarak sağa - sola çarpık veya simetrik bir dağılım olabilmektedir. Weibull dağılımının birikimli (kümülatif) olasılık yoğunluk fonksiyonu ise eşitlik (2)'de ki gibidir.

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

V. Yılmaz, M. Doğan, N. Tepeyurt / Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 3 (2013) 174-188
V. Yılmaz, M. Doğan, N. Tepeyurt / Nevşehir Hacı Bektaş Veli University Journal of Social Sciences 3 (2013) 174-188

Rüzgâr dağılımına çok iyi uyması, dağılımın esnek bir yapıya sahip olması, parametrelerinin belirlenmesindeki kolaylık, parametre sayısının az olması, parametrelerin bir yükseklik için belirlenmesi, farklı yükseklikler için tahmin edilebilmesi gibi faktörler bu dağılımın özellikleridir. Rüzgâr verilerinin genelde bu dağılıma uyduğu bilinmektedir. Weibull dağılım parametrelerini hesaplamak için literatürde birçok yöntem geliştirilmiştir. Bunlar; En küçük kareler, En çok olabilirlik ve Moment yöntemidir (Akdağ ve Güler, 2008,s.708).

Weibull dağılımında ölçek parametresinin 1 ve 2'ye eşit olduğu zaman, özel durumlar söz konusudur. Ölçek parametresinin 1'e eşit olması durumunda dağılım, Gaussian dağılıma benzemektedir. 2'ye eşit olması durumunda ise Rayleigh dağılımı olarak bilinen tek parametrelili bir dağılıma dönüşmektedir.(Akpınar, 2005,s.515-532).

Ortalama rüzgâr hızı;

$$v_{ort} = c\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (3)$$

En sık gözlenen rüzgâr hızı;

$$v_{mod} = c\left(\frac{k-1}{k}\right)^{\frac{1}{k}} \quad (4)$$

Maksimum rüzgâr enerjisini taşıyan rüzgâr hızı;

$$v_{maxE} = c\left(\frac{k+2}{k}\right)^{\frac{1}{k}} \quad (5)$$

Weibull dağılımı için ortalama güç yoğunluğu;

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

Şeklinde hesaplanır. Eşitlik (6)'da A (m^2) süpürme alanı, ρ (kg/m^3) bölgenin konumuna, basıncına ve sıcaklığına bağlı olarak hesaplanan hava yoğunluğudur (Kantar Mert, Kurban ve Hocoğlu, 2007, s.210-211).

4.İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Rüzgâr gözlem istasyonlarından belli bir yükseklikten alınan rüzgâr hızı verilerinin frekans dağılımları elde edilerek veri analizi işlemine başlanılır. Bu frekans dağılımı yardımıyla hangi rüzgâr hızı değerlerinin sık gözlemlendiği belirlenebilir. Rüzgâr türbinleri seçilirken bu tür dağılımlardan

V. Yılmaz, M. Doğan, N. Tepeyurt / Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 3 (2013) 174-188
 V. Yılmaz, M. Doğan, N. Tepeyurt / Nevşehir Hacı Bektaş Veli University Journal of Social Sciences 3 (2013) 174-188

yararlanılmaktadır. Rüzgâr hızı verilerinin standart sapması 0 ile 3 m/s arasında olmalıdır. Herhangi bir alandaki standart sapmanın küçük olması demek o alandaki rüzgâr rejiminin son derece düzenli olması anlamına gelmektedir. (Elektrik İşleri Etüd İdaresi)

4.1. Veri

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden temin edilen Türkiye illerine ait son 10 yılın aylık ortalama rüzgar hız verileri kullanılmıştır. Saatlik değerlerin aylık ortalamalarına dayalı olarak rüzgâr hızlarına ait istatistiksel uygun dağılım ve dağılımın parametreleri belirlenmiştir. Parametre değerlerine bağlı olarak v_{ort} , v_{mod} , v_{maxE} , değerleri hesaplanmıştır.

4.2. Dağılıma uygunluk

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden temin edilen 2003-2012 yıllarına ait ortalama rüzgâr hız değerleri Easyfit programına girilerek Ki-Kare, Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling uyum iyiliği testleri sonucu ile uygun istatistiksel dağılım belirlenmiştir. Dağılıma uygunluk testlerinin ayrıntıları için bakınız.

(Ulgen K., ve Hepbası A. "Determination of Weibull parameters for wind energy analysis of Izmir, Turkey", INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY RESEARCH, 2002; 26:495-506,

Celik AN. "On the distributional parameters used in assessment of the suitability of wind speed probability density functions", Energy ConversManage 2004;45:1735-47.,

Seguro JV, Lambert TW. Modern estimation of the parameters of the Weibull wind speed distribution for wind energy analysis. J Wind Eng Indus Aerod 2000;85:75-84,

Weisser D. " A wind energy analysis of Grenada: an estimation using the Weibull density function." Renew Energy 2003;28(11):1803e12)

H_0 = Rüzgar hız verileri dağılımına uyar.

H_1 = Rüzgar hız verileri dağılımına uymaz.

V. Yılmaz, M. Doğan, N. Tepeyurt / Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 3 (2013) 174-188
 V. Yılmaz, M. Doğan, N. Tepeyurt / Nevşehir Hacı Bektaş Veli University Journal of Social Sciences 3 (2013) 174-188

Uygulama

Tablo 2. Bilecik ili için dağılımların karşılaştırılması

Dağılım	<u>Kolmogorov Smirnov</u>	<u>Anderson Darling</u>	<u>Ki-kare</u>
	İstatistik	İstatistik	İstatistik
Weibull	0.10102	1.0296	2.6369
Gamma	0.11356	1.0129	29.883
Rayleigh (2P)	0.21089	5.4346	43.804
Üstel (2P)	0.33445	20.755	103.35

Bilecik ili 2003-2012 yıllarına ait ortalama rüzgâr hız değerleri üzerinde Easyfit paket programı yardımı ile Ki-Kare, Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling uyum iyiliği testlerinin uygulanarak karşılaştırılması sonucu; %1 anlamlılık düzeyinde uygun istatistiksel dağılım Weibull kabul edilmiştir.

Tablo 3. Mardin ili için dağılımların karşılaştırılması

Dağılım	<u>Kolmogorov Smirnov</u>	<u>Anderson Darling</u>	<u>Ki-kare</u>
	İstatistik	İstatistik	İstatistik
Weibull	0.13675	3.2315	23.887
Gamma	0.10573	1.0591	6.2335
Rayleigh (2P)	0.12865	2.4517	6.4625
Üstel (2P)	0.53677	41.356	431.02

V. Yılmaz, M. Doğan, N. Tepeyurt / Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 3 (2013) 174-188
V. Yılmaz, M. Doğan, N. Tepeyurt / Nevşehir Hacı Bektaş Veli University Journal of Social Sciences 3 (2013) 174-188

Mardin ili 2003-2012 yıllarına ait ortalama rüzgar hız değerleri üzerinde Easyfit paket programı yardımı ile Ki-Kare, Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling uyum iyiliği testlerinin uygulanarak karşılaştırılması sonucu; %1 anlamlılık düzeyinde uygun istatistiksel dağılım Weibull kabul edilmiştir.

Tablo 4. Nevşehir ili için dağılımların karşılaştırılması

Dağılım	<u>Kolmogorov Smirnov</u>	<u>Anderson Darling</u>	<u>Ki-kare</u>
	İstatistik	İstatistik	İstatistik
Weibull	0.15494	3.5136	13.213
Gamma	0.11371	1.1882	12.995
Rayleigh (2P)	0.11023	0.98082	11.894
Üstel (2P)	0.23179	8.4686	30.681

Nevşehir ili 2003-2012 yıllarına ait ortalama rüzgâr hız değerleri üzerinde Easyfit paket programı yardımı ile Ki-Kare, Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling uyum iyiliği testlerinin uygulanarak karşılaştırılması sonucu; %1 anlamlılık düzeyinde uygun istatistiksel dağılım Weibull kabul edilmiştir.

Tablo 5. Niğde ili için dağılımların karşılaştırılması

Dağılım	<u>Kolmogorov Smirnov</u>	<u>Anderson Darling</u>	<u>Ki-kare</u>
	İstatistik	İstatistik	İstatistik
Weibull	0.13435	1.6342	11.535
Gamma	0.08776	0.67067	19.629
Rayleigh (2P)	0.15541	1.9092	14.452
Üstel (2P)	0.28758	15.94	69.561

V. Yılmaz, M. Doğan, N. Tepeyurt / Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 3 (2013) 174-188
 V. Yılmaz, M. Doğan, N. Tepeyurt / Nevşehir Hacı Bektaş Veli University Journal of Social Sciences 3 (2013) 174-188

Niğde ili 2003-2012 yıllarına ait ortalama rüzgâr hız değerleri üzerinde Easyfit paket programı yardımı ile Ki-Kare, Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling uyum iyiliği testlerinin uygulanarak karşılaştırılması sonucu; %1 anlamlılık düzeyinde uygun istatistiksel dağılım Weibull kabul edilmiştir.

4.3. Parametre Tahmini

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden temin edilen 2003-2012 yıllarına ait ortalama rüzgâr hız değerlerine ait uygun istatistiksel dağılımın belirlenmesinin ardından dağılıma uygun parametreler Minitab paket programı kullanılarak En küçük kareler tekniği ile belirlenmiştir. Burada; k=şekil parametresi, c=ölçek parametresidir. R ise kolerasyon katsayıdır.

Tablo 6. Rüzgâr hız verilerine ait parametre hesabı

	Weibull parametre tahmini		Kolerasyon
	Şekil (a, k)	Ölçek (β, c)	r
BİLECİK	8.73003	2.88121	0,989
MARDİN	9.60823	4.87017	0,949
NEVŞEHİR	6.97611	2.60270	0,936
NİĞDE	8.88202	3.40024	0,977

5. GÜÇ HESABI

Easyfit paket programı yardımı ile dört ile ait uygun istatistiksel dağılım ve parametrelerin elde edilmesinin ardından, bu illere ait ortalama rüzgâr hızı (v_{ort}), en sık gözlenen rüzgâr hızı (v_{mod}), maksimum rüzgâr enerjisini taşıyan rüzgâr hızı (v_{maxE}) ve güç yoğunluğu ($P_w/\rho A$) hesaplanmıştır.

Tablo 7. Parametrelere bağlı hesaplamalar

	v_{ort}	v_{mod}	v_{maxE}	$P_w/\rho A$
BİLECİK	2,72	2,84	2,95	10,6652
MARDİN	4,63	4,81	4,97	51,7321
NEVŞEHİR	2,43	2,55	2,70	7,8108
NİĞDE	3,35	3,35	3,48	17,5425

Elde edilen parametreler ile ortalama hız, en olası hız, en yüksek enerjiyi taşıyan hız ve güç yoğunluğu tahmin edilmiştir. Bu tahminler sonucunda tüm ölçümler için ortalama hız 2,4 m/s ile 4,6 m/s arasında, en sık gözlenen rüzgâr hızı 2,5 m/s ile 4,8 m/s arasında, maksimum rüzgâr enerjisini taşıyan rüzgâr hızı 2,7 m/s ile 4,9 m/s arasında olduğu görülmüştür. Güç yoğunluğu en yüksek değer Mardin iline aittir. 50 metrede hesaplanan verilerin analizi sonucu tahmin edilen güç değeri düşük seviyededir.

V. Yılmaz, M. Doğan, N. Tepeyurt / Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 3 (2013) 174-188
 V. Yılmaz, M. Doğan, N. Tepeyurt / Nevşehir Hacı Bektaş Veli University Journal of Social Sciences 3 (2013) 174-188

Tablo 8. Mardin ili saatlik ortalama hızlar için dağılımların karşılaştırılması

Dağılım	<u>Kolmogorov Smirnov</u>	<u>Anderson Darling</u>	<u>Ki-kare</u>
	İstatistik	İstatistik	İstatistik
Weibull	0.11917	0,23933	0,29876
Gamma	0.09012	0,18175	0,19492
Rayleigh (2P)	0.09276	0,15235	0,00005
Üstel (2P)	0.15325	2,8369	0,48446

Tablo 9. Mardin ili saatlik hızlar için parametre

	Şekil (a, k)	Ölçek (β, c)	(Kolerasyon)(r)
MARDİN	1,3046	7,3738	0,97

Veriler Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün 2002 yılında yayınladığı rüzgâr atlasından saatlik ölçüm hızları olarak alındığında dağılıma uygunluk sonuçları tablo verilmiştir. Bu tablodan da görüleceği gibi saatlik hız verilerinin de Weibull dağılımına uyduğu anlaşılmaktadır. Parametre değerleri ise $k=1,3046$, $c=7,3738$ bulunmuştur. Enerji güç yoğunluğu hesaplandığında bu değer $272,83 W/m^2$ çıktığı görülmüştür. Bu değer Mardin ili rüzgâr enerjisi bakımından potansiyel bir il olabileceğini göstermektedir.

6. SONUÇ

Bir bölgenin enerji amaçlı rüzgâr potansiyelinin belirlenebilmesi için, rüzgâr hız dağılımının ilk olarak belirlenmesi gerekmektedir. Belirlenen rüzgâr hızı dağılımına göre rüzgâr güç yoğunluğu belirlenir ve gerekli ekonomik analizlerden sonra yararlı olup olmadığı anlaşılır. Bu çalışmada Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden, Mardin, Bilecik, Nevşehir, Niğde illeri için 2003-2012 yıllarına ait 10 metredeki aylık ortalama rüzgâr hızları 50 metre cinsinden hesaplanması ile ilk olarak illere ait uygun dağılım belirlendi. Bu belirleme sonucunda Weibull dağılımının dört il içinde en uygun dağılım olduğu Easyfit paket programı yardımıyla bulunmuştur. Daha sonra Easyfit paket programı yardımı ile parametre tahmini yapıldı. Elde edilen parametreler ile ortalama hızı, en olası hızı, en

V. Yılmaz, M. Doğan, N. Tepeyurt / Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 3 (2013) 174-188
V. Yılmaz, M. Doğan, N. Tepeyurt / Nevşehir Hacı Bektaş Veli University Journal of Social Sciences 3 (2013) 174-188

yüksek enerjiyi taşıyan hız ve güç yoğunluğu tahmin edilmiştir. Bu tahminler sonucunda tüm ölçümler için ortalama hız 2,4 m/s ile 4,6 m/s arasında olduğu görülmüştür. En yüksek güç yoğunluk değerini Mardin ilinde hesaplanmıştır. Doğruya yakın enerji güç tahmini yapabilmek için rüzgâr hızlarının 50 metre ve üzerinde ölçülmesi gerekmektedir. Analiz için alınan Devlet Meteoroloji verileri 10 metredir. Bu verilerin 50 metreye çıkarılıp tekrar güç hesabı yapıldığında enerji güç tahmininin Mardin için yaklaşık 500 W/m^2 civarında olması beklenmektedir. Ayrıca rüzgâr ölçümleri yapılan bölgenin pürüzsüzlük değerleri de enerji tahmininde önemli rol oynamaktadır. Santral kurulacak alanda pürüzsüzlüğün çok küçük olacağı veya hiç olmayacağı dikkate alınırsa ölçüm değerleri ve enerji tahminleri de değişebilecektir. Bu nedenle rüzgâr enerjisine yatırım yapacak yatırımcıların bu çalışmadan çıkan istatistiksel bulguları dikkatli olarak yorumlaması gerekmektedir. Bu çalışma rüzgâr verilerinin Weibull dağılımına uygunluğuna dair istatistiksel bir bakış getirmekle birlikte Bilecik, Mardin, Nevşehir, Niğde illerine ait rüzgâr enerjisi potansiyeli hakkında yaklaşık bilgi sahibi vermektedir. Ülkemizde bu tür enerji kaynaklarına yönelimi hızlandıracak benzer çalışmaların yapılması ve yaygınlaştırılarak üretime katılması çok büyük bir önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- Akdağ S.A.Güler Ö. “Weibull Dağılım Parametrelerini Belirleme Metotlarının Karşılaştırılması” ,VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES’2008, s.707- 714,İstanbul,17-19 Aralık-2008.
- Akpınar E. K., Akpınar S., “ A statistical analysis of wind speed data used in installation of wind energy conversion systems”, Energy Conversion and Management, 46, 515-532,(2005).
- Akpınar E. K., “Statistical Investigation of Wind Energy Potential, Energy Sources Part“ ,(2006).
- Aras, H., Yılmaz, V., Çelik, H.E. “Estimation of Monthly Wind Speeds of Eskişehir, Turkey.” ,(2003).
- Bilgili M., Şahin B., Erdoğan Ş., “Türkiye’nin güney, güneybatı ve batı bölgelerindeki rüzgar enerjisi potansiyeli”, Isı bilimi ve tekniği dergisi,30,1,(2012).
- Bury, K.V.,”Statistical Models in Applied Science”, John-Wiley Science (1975).
- Çelik AN. “ On the distributional parameters used in assessment of the suitability of wind speed probability density functions”, Energy Conversion and Management 2004;45:1735–47.,
- Çetin Numan S., “Küçük Güçlü Bir Rüzgar Türbini Tasarımı ve Elektrik Enerjisi Eldesi”, VI. Türk-Alman Enerji Sempozyumu Kitapçığı,.83-93. (2001).
- Erişoğlu M., “İstatistiksel Kestirim Tekniklerinin Weibull Dağılımı Parametrelerinin Kestiriminde Kullanımı ve Weibull Dağılımının Deprem Verilerine Uygulanması”,(2003).

- V. Yılmaz, M. Doğan, N. Tepeyurt / *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 3 (2013) 174-188
- V. Yılmaz, M. Doğan, N. Tepeyurt / *Nevşehir Hacı Bektaş Veli University Journal of Social Sciences* 3 (2013) 174-188

- Güler Ö., “Dünyada ve Türkiye’de rüzgar enerjisi”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü.
- Gülersoy T., Çetin N.S., “Menemen bölgesinde rüzgar türbinleri için Rayleigh ve Weibull dağılımlarının kullanılması “ Politeknik Dergisi, Cilt:13,Sayı: 3 s. 209-213,(2010).
- Kantar Mert, Y., Kurban M., ve Hoccoğlu F.,O., “Weibull dağılımı kullanılarak rüzgar hız ve güç yoğunluklarının istatistiksel analizi”, 2007, s.210-211.
- Karadeli, S., Temiz enerji vakfı,2001
- Korukçu, M., Ö. “Bursa İlinde Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli ve Kullanımı, Rüzgâr Enerjisi ve Türbinleri Yerel Sempozyumu”, Gönen-Bandırma, 19-24,(2011).
- Köse R, Özgür M.A, Erbaş O, Tuğcu A. “The analysis of wind data and wind energy potential in Kutahya, Turkey” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 8, 277–288, (2004).
- Seguro JV, Lambert TW. Modern estimation of the parameters of the Weibull wind speed distribution for wind energy analysis. *J Wind Eng Indus Aerod* 2000;85: 75–84,
- Şekerci E., Elfarra M., Albasan C., “Rüzgar türbini tahmini yıllık enerji üretim hesaplama yöntemleri ve araziye uygun rüzgar türbini seçimi”, Orta Doğu Teknik Üniversitesi
- Ucar, A., ve Balo, F., “Investigation of Wind Characteristics and Assessment of Wind Generation Potentiality in Uludağ-Bursa, Turkey” *Applied Energy*. 86, 333-339 (2009).
- Ülgen K., ve Hepbası A. “Determination of Weibull parameters for wind energy analysis of Izmir, Turkey”, *International Journal Of Energy Research*, 2002; 26:495-506,
- Weisser D. “ A wind energy analysis of Grenada: an estimation using the Weibull density function.” *Renew Energy* 2003;28(11):1803e12)
- Yılmaz, V., Çelik, H.E., “A Statistical Approach to Estimate the Wind Speed Distribution: The Case of Gelibolu Region”, *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, (2008)
- Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA), “Türkiye’de Rüzgar Potansiyeli”, (www.repa.eie.gov.tr).