

**BALIKESİR-BALYA METEOROLOJİ İSTASYONU VERİLERİ  
KULLANILARAK WEİBULL FONKSİYONU  
PARAMETRELERİNİN 6 FARKLI METODLA BELİRLENMESİ**  
*(ESTIMATION OF WEIBULL FUNCTION PARAMETERS USING SIX  
DIFFERENT METHODS WITH BALIKESİR-BALYA WEATHER  
STATION DATA)*

Alp KARADENİZ<sup>1</sup>, Mehmet Kubilay EKER<sup>2</sup>

**ÖZ**

Bu çalışmada rüzgar hızı değişimlerini modellemek için yaygın olarak kullanılan Weibull fonksiyonu parametrelerinin, 6 farklı metotla belirlenmesi amaçlanmıştır. Literatürde Weibull fonksiyonu parametrelerini belirlemek için tanımlanan; Grafik Metodu, Moment Metodu, L-Moment Metodu, En Yüksek Olabilirlik Metodu, Basitleştirilmiş En Yüksek Olabilirlik Metodu kullanılarak Balıkesir-Balya İstasyonu'ndan alınan rüzgar hızı değerleri yardımıyla en iyi metodun belirlenmesine çalışılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda En Yüksek Olabilirlik Metodu ile Moment Metodu'nun en iyi sonuçları verdiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Rüzgar gücü, Weibull fonksiyonu, Enerji eğilim faktörü metodu, Grafik metodu, Moment metodu, L-Moment metodu, En yüksek olabilirlik metodu, Basitleştirilmiş en yüksek olabilirlik metodu

**ABSTRACT**

*In this study, the aim is to determine the Weibull function parameters with respect to changes in wind speed by using six different methods. Power Density Method, Graphic Method, Moment Method, L-Moment Method, Maximum Likelihood Method, Modified Maximum Likelihood are studied in literature to determine the parameters of the Weibull function. The best method with the wind speed values which taken from from Balıkesir-Balya Station, eas researched. The Maximum Likelihood Method and Moment Method provided the best results.*

**Keywords:** Wind power, Weibull Function, Power density method, Graphic method, Moment method, L-Moment method, Maximum likelihood method, Modified maximum likelihood method

<sup>1</sup> Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, BALIKESİR, akaradeniz@balikesir.edu.tr (sorumlu yazar)

<sup>2</sup> Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, BALIKESİR, kubilay@balikesir.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Fosil yakıt fiyatlarının yüksek olması, rezervlerin azalması ve çevreye verdiği zararlardan dolayı, elektrik enerjisi üretimi için dünyanın birçok ülkesi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir. Türbin teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte, rüzgar gücü potansiyelinin elektrik enerjisine dönüştürülmesine yönelik yatırımlar son yıllarda çok daha hızlı artmaktadır. Avrupa Birliği ülkelerinde, 2014 yılı sonu itibariyle elektrik enerjisi santrallerinin toplam kurulu gücü 910,1 GW'lık değere ulaşmışken, bu gücün %14,1'lık kısmını 128,8 GW ile rüzgar santralleri oluşturmaktadır. Avrupa Birliğinde, 2014 yılında kurulan yeni enerji santralleri içinde rüzgar santrallerinin oranı % 43,7 düzeyindedir ve rüzgar santralleri kurulumunun bir önceki yıla göre artış oranı %3,8'dir. Bu ülkeler içinde rüzgar enerji santrallerine en fazla yatırımı yapan Almanya, 2014 yılında 5279,2 MW'lık kapasite artımıyla rüzgar santralleri kurulu gücünü 39165 MW seviyesine çıkarmıştır [1].

Enerji kaynakları açısından dışa bağımlılığı yüksek ülkelerden biri olan Türkiye'de, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimini özendirmek için son yıllarda yapılan yasal düzenlemelerle [2], daha fazla yenilenebilir enerji potansiyelinin üretim sistemine dahil edilmesi amaçlanmaktadır. 2006 yılında işletmedeki rüzgar santrali kurulu gücü 51 MW iken, özel sektör yatırımları ve teşvikler sonucu, 2015 yılı temmuz ayında 4192,8 MW değerine ulaşmıştır. 2006-2014 dönemi içerisinde, rüzgar santrallerinin kurulu gücünün bir önceki yıla göre artış oranı %27 seviyelerinin altına hiçbir zaman düşmemiştir [3]. 2014 yılı sonu itibariyle Türkiye'deki elektrik enerjisi üretim santrallerinin kurulu gücü 69519,8 MW düzeyinde iken, bu kurulu gücün %5,22'lik kısmına karşılık gelen 3629,7 MW'ını rüzgar santralleri oluşturmaktadır [4].

Türkiye'nin özellikle batı kıyıları ve güney doğu Anadolu bölgeleri boyunca rüzgar çeken kısımları dikkate alındığında, teorik olarak 88000 MW gücünde rüzgar enerji potansiyelinin mevcut olabileceği belirtilmektedir [5]. Bu ve benzeri analizler dikkate alındığında, Yüksek Planlama Kurulu'nun, 2023 yılında Türkiye'nin toplam rüzgar enerji santrali kurulu gücünün 20000 MW değerine çıkarılması hedefi [6], düzgün planlamalarla mümkün hale gelebilir.

Rüzgar santrallerinin, rüzgar potansiyeli yüksek bölgelere kurulabilmesi için kapsamlı rüzgar ölçümlerinin yapılması ve rüzgar hızı değişiminin düzgün olarak modellenmesi gerekmektedir. Rüzgar santrallerinin kuruluşu sonrasında, bir sonraki günün her saati için şebekeye ne kadar aktif güç aktaracağı sorusunun cevaplanabilmesi için de, bilinen rüzgar verilerinden yola çıkarak rüzgar hızı tahminlerinin yapılması, şebekenin güvenilir olarak işletilebilmesi için zorunludur [7].

Rüzgar hızının istatistiksel analizi için çeşitli dağılım yöntemleri çalışmalarda kullanılmaktadır. Bir çalışmada [8], sadece Weibull Dağılımı dikkate alınarak analiz yapılırken, diğer bir çalışmada [9], Rayleigh Dağılımını, bir kısmında ise [10-14] Weibull Dağılımı ve Rayleigh Dağılımlarını karşılaştırmalı olarak incelenmekte, bir çalışmada [15] Burr, Genelleştirilmiş Gama ve Weibull Dağılımlarını karşılaştırmakta, diğer bir çalışmada [16] ise Log-normal ve Gamma Dağılımları karşılaştırılmaktadır.

Türkiye'de, bir bölgeye rüzgar santralinin kurulmasının uygunluğunun analiz edilmesi amacıyla en az 1 yıl süreyle rüzgar verilerinin ölçülmesi zorunluluğu vardır [17]. Yatırımcı firmaların yaptığı bu ölçümler, ihale safhasında Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'ne iletilmektedir. Bu veriler yardımıyla belirlenen bölgedeki güç yoğunluğu hesaplanmakta ve ihale sürecinde değerlendirmeye esas alınmaktadır. Hesaplanan bu veriler, Meteoroloji

Müdürlüğü'nden temin edilen veriler ve diğer analizler dikkate alınarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi, Türkiye için bölgesel ve noktasal koordinatlarda yaklaşık olarak rüzgar hızı Weibull Dağılım parametrelerini isteyenlere temin etmektedir [18]. Danimarka merkezli bir firma, WAsP isimli yazılımıyla dünya çapında rüzgar türbinlerinin yer seçiminin belirlenebilmesi için bir yazılım paketi sunmaktadır [19]. Bu ve benzeri yazılımlar (Wind Pro, RetScreen), rüzgar verisi, bölge pürüzlülük bilgileri, yakın çevre engel bilgileri ve bölgenin topoğrafyasını dikkate alarak yaklaşımlar sunmasına rağmen, yerinde yapılacak rüzgar ölçümleri ve bu verilere dayalı olarak yüksek doğruluklu rüzgar dağılım modellemeleri, sonraki gün ve saatler için şebekeye aktarılacak aktif gücün belirlenebilmesi açısından çok önemlidir.

Bu çalışmada, Meteoroloji Müdürlüğü'ne ait Balıkesir Balya istasyonundan alınan, 02.02.2015 ile 31.08.2015 dönemine ait saatlik ortalama rüzgar hızları kullanılarak, 2 parametrelili Weibull Dağılım fonksiyonu oluşturulmuştur. Weibull dağılım fonksiyonuna ait parametrelerin bulunabilmesi için literatürde mevcut 6 farklı yöntem kullanılarak, gerçek verileri en iyi tanımlayan yöntemin belirlenmesi amaçlanmıştır. Her ne kadar Weibull fonksiyonu parametrelerinin belirlenmesini için 3 adet yöntemi karşılaştıran bir çalışma [20] ve 6 adet yöntemi karşılaştıran başka bir çalışma [21] mevcut olsa da, ilk çalışmaya göre daha fazla yöntemin ele alınması, ikinci çalışmaya göre ise amprik metod olarak verilen basit yöntem yerine, az sayıda veri için iyi bir yöntem olduğu belirtilen [20] L-Moment metodunun kullanılması, ayrıca farklı bir coğrafi bölge için karşılaştırmaların yapılması, bu çalışmanın farklılıklarını ortaya koymaktadır.

## 2. WEIBULL FONKSİYONU PARAMETRELERİNİ BELİRLEME METOTLARI

İki parametrelili Weibull dağılımı, rüzgar hızının frekans dağılımını ve rüzgar enerjisinin potansiyelini hesaplarken literatürde sürekli tavsiye edilen ve yaygınca kullanılan en önemli yöntemlerden birisidir. Eşitlik-1'de Weibull dağılımı için olasılık yoğunluk fonksiyonu verilmektedir [22].

$$f_v(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{(k-1)} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}, \quad 0 < v < \infty \quad (1)$$

Yukardaki ifadede,  $k$  birimsiz şekil verme parametresini, rüzgar hızı ile aynı birimde olan  $c$  ölçeklendirme parametresini ve  $v$  ise rüzgar hızını göstermektedir. Ayrıca Weibull dağılımından elde edilen kümülatif dağılım fonksiyonu Eşitlik-2'de verilmektedir.

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

Rüzgar hızı değişiminin Weibull dağılımına uygunluğu dikkate alındığında, ölçülen hız verileri dikkate alınarak fonksiyonun oluşturulması için  $k$  ve  $c$  parametrelerinin hesaplanması gerekecektir. Bu çalışmada,  $k$  ve  $c$  parametrelerinin bulunması için Enerji Eğilim Faktörü Metodu, Grafik Metodu, Moment Metodu, L-Moment Metodu, En Yüksek Olabilirlik Metodu ve Basitleştirilmiş En Yüksek Olabilirlik Metodu olmak üzere 6 farklı metod kullanılmış, bulunan parametrelerin oluşturduğu fonksiyonun, ölçülen verilerle karşılaştırması yapılarak en iyi metodun belirlenmesine çalışılmıştır.

## 2.1. Enerji Eğilim Faktörü Metodu (EEM)

Yeni sayılabilecek olan bu metotta, enerji eğilim faktörü ( $E_{PF}$ ) Weibull dağılımı parametrelerini bulmak için kullanılmıştır [23]. Weibull dağılımına göre güç yoğunluğu ifadesi Eşitlik-3'de verilmektedir.

$$P_w = \frac{1}{2} \rho \int_0^{\infty} v^3 f(v) dv \quad (3)$$

Bu ifadede  $\rho$  bölgedeki hava yoğunluğunu,  $P_w$  ise güç yoğunluğunu göstermektedir. Eşitlik-4, ortalama rüzgar hızı ( $\bar{V}$ ) ve Eşitlik-6'de verilen gama fonksiyonu ifadesi kullanılarak  $c$  parametresi bulunabilir.

$$\bar{V} = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n v_i) \quad (4)$$

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

$$\Gamma = \int_0^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt \quad (6)$$

Eşitlik-4 ve Eşitlik-6'den yararlanarak, enerji eğilim faktörünü ( $E_{PF}$ ) aşağıdaki gibi elde edilir.

$$E_{PF} = \frac{\bar{V}^3}{(\bar{V})^3} = \frac{\Gamma\left(\frac{3}{k}+1\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{k}+1\right)^3} \quad (7)$$

Bulunan  $E_{PF}$  değerleri dünya çapında 1.4 ile 4.4 arasında değişir [23].  $E_{PF}$  değeri bulunduktan sonra  $k$  parametresi ise Eşitlik-8 ile bulunur.

$$k = 1 + \frac{3.69}{E_{PF}^2} \quad (8)$$

## 2.2. Grafik Metodu (GM)

Grafik metodunda, Weibull dağılımında elde edilen ve Eşitlik-2'de verilen kümülatif dağılım fonksiyonu ifadesinde, eşitliğin ikinci tarafında  $e$  içeren ifadeden kurtulmak için, eşitliğin iki kez doğal logaritması alınır [24]. İşlem sonucu Eşitlik-9'de verilmektedir.

$$\ln[-\ln[1 - F(v)]] = k \ln(v) - k \ln(c) \quad (9)$$

Yukardaki ifade  $y = ax + b$  formunda bir doğru ifadesidir.  $k$  grafiğın eğimini,  $\ln(v)$  grafikteki değişkeni ve  $-k\ln(c)$  doğrudaki sabit sayı değeridir.

$$k = a, \quad b = -k\ln(c) \quad (10)$$

$$c = e^{-\left(\frac{b}{a}\right)} \quad (11)$$

Bu doğrudaki  $\ln[-\ln[1 - F(v)]]$  değerini hesaplamak için önce rüzgar hızı datalarından frekans dağılımının hesaplanması daha sonra ise kümülatif frekans dağılımının hesaplanması gerekir. Bu değerleri bulmak için  $(\text{verilerin sıklık sayısı})/(\text{toplam veri sayısı}) \times (\text{iki birbirinden farklı sıralı veri sayısı})$  ifadesi kullanılır. Bu değerler bulunduktan sonra en küçük kareler yöntemiyle parametreler hesaplanır [24].

### 2.3. Moment Metodu (MM)

Moment metodu, ölçülen verilerden elde edilen ortalama ve standart sapma değerleri ile Weibull fonksiyonu  $k$  ve  $c$  parametreleri arasında Eşitlik-13 ve 14'te tanımlanan ifadelerin çözülmesiyle parametrelerin bulunması esasına dayanır. Eşitlik-14'te verilen  $k$  parametresinin bulunabilmesi için sayısal çözümleme yöntemlerinden (Newton-Rapson metodu vb.) birinin kullanılması gerekmektedir [21].

$$\bar{v} = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n v_i) \quad (12)$$

Yukarıdaki eşitlikte,  $v_i$  i'nci rüzgar hızı verisini;  $n$  veri sayısını ifade etmektedir.  $c$  değeri Eşitlik-12 ve 13'den yararlanılarak bulunabilir.

$$c = \frac{\bar{v}}{\Gamma\left(\frac{1}{k}+1\right)} \quad (13)$$

$$\sigma = c \left( \Gamma\left(\frac{2}{k} + 1\right) - \Gamma^2\left(\frac{1}{k} + 1\right) \right)^{0.5} \quad (14)$$

$\sigma$ , Eşitlik-15'te ifadesi verildiği gibi hesaplanan, ölçülen rüzgar hızlarının standart sapma değeridir. Eşitlik-14'den yararlanarak  $k$  değerine ulaşılabilir.

$$\sigma = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2 \right]^{0.5} \quad (15)$$

## 2.4. L-Moment Metodu (L\_MM)

L-Moment metodu sıralı istatiksel verilere bağlı lineer kombinasyonları kullanır. Diğer metodlardan farkı rüzgar hızı verileri işlenmeden önce küçükten büyüğe sıralanmasıdır [25].

$$CV_{L\_MM} = \left[ \frac{\left(\frac{2}{n}\right) \left[ \sum_{i=1}^n \left(\frac{i-1}{n-1}\right) x_i \right] n}{\left(\frac{1}{n}\right) \left[ \sum_{i=1}^n x_i \right]} - 1 \right] \quad (16)$$

Yukarda verilen eşitlikte,  $CV_{L\_MM}$  değişim sabiti;  $x_i$  i'inci sıralanmış rüzgar hızı değerleridir.

$$\left(2^{\frac{-1}{k}}\right) = 1 - CV_{L\_MM} \quad (17)$$

Eşitlik-16 ve 17'den yararlanarak  $k$  değeri, daha sonra Eşitlik-18'den yararlanarak ise  $c$  değeri bulunur.

$$c = \left[ \frac{\left(\frac{1}{n}\right) \left[ \sum_{i=1}^n x_i \right]}{\Gamma\left(\frac{1}{k}+1\right)} \right] \quad (18)$$

## 2.5. En Yüksek Olabilirlik Metodu (EYOM)

En yüksek olabilirlik metodunda, istatiksel tahmin teorisini baz alınmıştır. Eşitlik-19'de verilen  $k$  değerinin bulunabilmesi için Newton-Rapson vb. iteratif birtakım yöntemler kullanılmalıdır [26].

$$\left( \frac{\sum_{i=1}^n v_i^k \ln(v_i)}{\sum_{i=1}^n v_i^k} - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(v_i)}{n} \right)^{-1} - k = 0 \quad (19)$$

$k$  değeri bulunduktan sonra  $c$  değeri Eşitlik-20'dan yararlanılarak hesaplanır.

$$c = \left( \frac{\sum_{i=1}^n v_i^k}{n} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (20)$$

## 2.6. Basitleştirilmiş En Yüksek Olabilirlik Metodu (BEYOM)

Bu metot en yüksek olabilirlik metodundaki  $k$  değerini iteratif yollara başvurmadan bulabilmemize olanak sağlamaktadır [27]. Eşitlik-21'de verilen ifade ile  $k$  değeri Eşitlik-19'e göre daha kolay bir hesaplamayla çözülebilir.

$$k = \frac{\pi}{\sqrt{6}} \left[ \frac{n(n-1)}{n \left( \sum_{i=1}^n \ln^2(v_i) \right) - \left( \sum_{i=1}^n \ln(v_i) \right)^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (21)$$

$c$  değeri ise Eşitlik-20'dan bulunur.

### 3. HATA ANALİZİ TEST YÖNTEMLERİ

Weibull fonksiyonu parametrelerinin bulunması için kullanılan 6 farklı metodun sonuçlarının doğruluğunun analiz edilmesi için 3 farklı uyum testi kullanılmıştır. Bunlardan ilki Eşitlik-22'de ifadesi verilen  $R^2$  testidir ve bu değer bire yakın olması hata değerinin düşüklüğünün göstergesidir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (22)$$

Burada,  $n$  frekans dağılımı yöntemi ile ilk baştaki rüzgar hızı verilerimiz arasından seçilen veri sayısını;  $y_i$   $i$ 'inci verinin frekans değeri;  $x_i$  Weibull dağılımından elde edilen  $i$ 'inci frekans değeri;  $\bar{y}$  ise  $y_i$  değerlerinin ortalama değerini ifade eder [23].

Diğer metod, hatanın karesel ortalamasının bulunması esasına dayanan ve Eşitlik-23'de ifadesi verilen RMSE testidir. Bu değer sıfıra yakın olması, hatanın daha küçük olmasını ifade eder.

$$RMSE = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (23)$$

Eşitlik-25'de ifadesi verilen güç yoğunluğu hata testi, Eşitlik-3'te verilen Weibull dağılımı güç yoğunluğu  $P_w$  değeri ile Eşitlik-24'ten elde edilen zaman serileri güç yoğunluğu değerleri arasındaki bağıl değişimin hesaplanması ile bulunur [23]. Bu değer sıfıra yakın olması hatanın daha az olduğunu gösterir.

$$Pd_{ts} = \frac{1}{2} \rho \bar{V}^3 \quad (24)$$

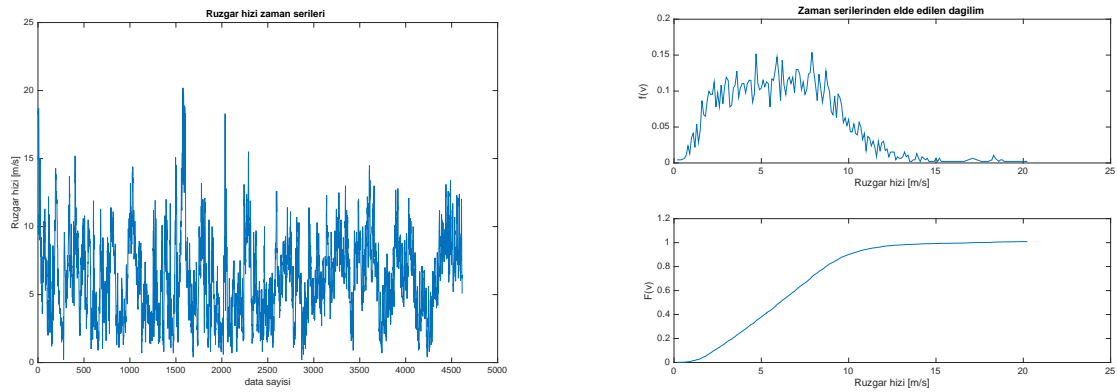
$$Error(\%) = \left| \frac{P_w - Pd_{ts}}{Pd_{ts}} \right| \quad (25)$$

### 4. PARAMETRE BELİRLEME METODLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Bu çalışmada Meteoroloji Müdürlüğü'ne ait Balıkesir Balya bölgesinde, 631 metre rakım, 39°73' enlem ve 27°62' boylamdaki istasyondan, 02.02.2015 ile 31.08.2015 döneminde 10 metre yükseklikte alınan saatlik ortalama rüzgar hızları kullanılmıştır. Bu veriler yardımıyla, rüzgar hızının değişimini karakterize eden Weibull fonksiyonu parametreleri 6 farklı metod kullanılarak elde edilmiştir. Bu dönemde ölçülen 7 aylık saatlik ortalama rüzgar hızlarının değişimi, bu değişimin zaman serileri dağılımı ve bu dağılımın kümülatif değişimi Şekil-1'de görülmektedir. Verilerin incelenmesi sonucu, bazı ölçüm değerlerinin Meteoroloji Müdürlüğü sistemine aktarılamadığı anlaşılmaktadır. Toplamda 5064 adet verinin sisteme aktarılması

beklenirken, bazı saatlerde veri transferinin gerçekleşmemesi yüzünden toplam 4614 adet veri üzerinden analiz yapılmıştır.

Balya İstasyonundan alınan ortalama rüzgar hızı verileri kullanılarak, Weibull parametrelerinin bulunması için tanımlanan 6 farklı yöntem yardımıyla  $k$  ve  $c$  parametreleri elde edilmiştir. Bulunan parametrelerle oluşturulan Weibull fonksiyonu değerleri ölçülen değerlerin zaman serileri ile ilişkilendirilerek  $R^2$  ve RMSE, veri uygunluk testi sonuçları elde edilmiştir. Bu parametreler için Weibull fonksiyonu güç yoğunluğu ( $P_w$ ) bulunarak, zaman serisi güç yoğunluğu ( $P_{ts}$ ) ile aralarındaki bağıl hata sonuçları elde edilmiştir. Analizler sonucu elde edilen değerler Çizelge-1’de verilmektedir.



(a) Saatlik ortalama rüzgar hızları (b) Zaman serileri dağılımı ve kümülatif değişimi

Şekil 1. Balya’da 7 aylık dönemde örneklenen rüzgar hızları değişimi

Çizelge 1. 6 farklı yöntemle elde edilen parametre değerleri ve hata uygunluk testi sonuçları

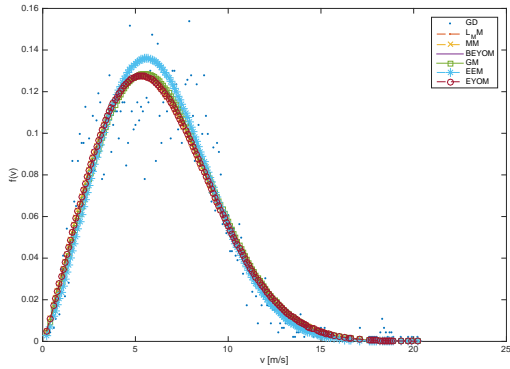
Metotlar	$k$	$c$	$R^2$	RMSE	$P_w$	$P_{ts}$	$v_m$	Güç Yoğunluğu hatası (%)
EYOM	2,1558	7,0801	0,8975	0,01535	268,224	269,7662	6,2702	0,57
MM	2,1539	7,0757	0,8974	0,01532	268,268	269,7762	6,2663	0,56
L_MM	2,1684	7,0758	0,8971	0,01537	266,663	269,7600	6,2670	1,15
GM	2,2199	7,1722	0,8965	0,01535	272,097	269,7700	6,3521	0,86
BEYOM	2,2231	7,1219	0,8956	0,01540	266,097	269,7662	6,3076	1,36
EEM	2,3483	7,2025	0,8839	0,01627	263,462	269,7662	6,3826	2,34

Çizelge-1’den görüleceği gibi,  $R^2$  uyumluluk testi dikkate alındığında EYOM en iyi sonucu verirken, MM ikinci en iyi sonucu, EEM ise en kötü sonucu üretmektedir. RMSE uyumluluk testi dikkate alındığında, MM’nun en iyi sonucu ürettiği ortaya çıkarken, EYOM ve GM ikinci en iyi sonucu üretmektedir. Bu test açısından da en kötü sonuçlar EEM ile elde edilmektedir. Güç yoğunluğu hatası testi dikkate alındığında ise, en iyi metodlar sırasıyla MM ve EYOM’dur. EEM, bu test için de en kötü sonuçları üretmektedir.

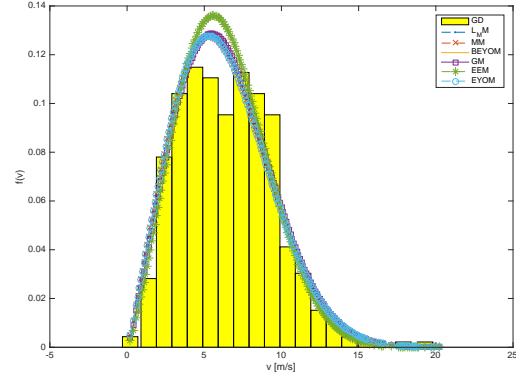
Bu sonuçlar dikkate alındığında, EYOM ve MM birbirlerine yakın olarak hatanın en az değerinde olduğu dağılım için Weibull fonksiyonu  $k$  ve  $c$  parametrelerini üretmektedir. EEM ise bu veriler için en çok hatalı sonuçları veren parametreleri üretmektedir. Hesaplamalar sonucu, EEM için gerekli enerji eğilim faktörü  $E_{pf}$ , 3,6675 olarak bulunmuştur.



Şekil-2'de gerçek değerlerin (GD) zaman serileri ve 6 farklı yöntemle elde edilen parametreler kullanılarak elde edilen Weibull fonksiyonu dağılımları noktasal ve bar grafik halinde değişimi görülmektedir.



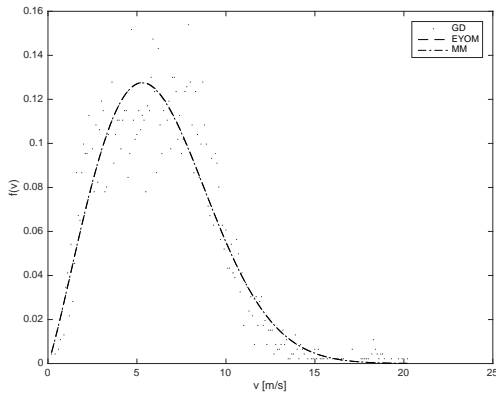
(a) Noktasal veriler



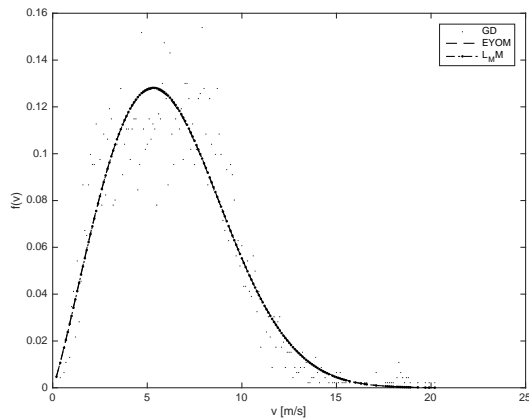
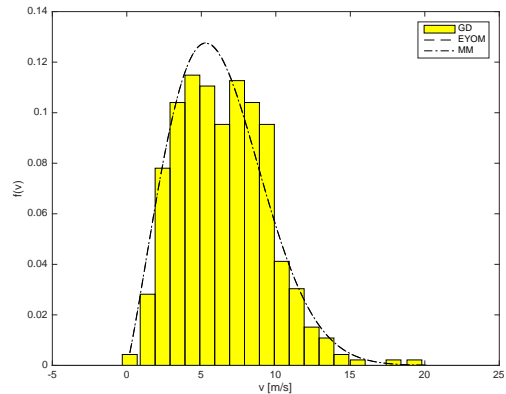
(b) Zaman aralıkları ortalaması ile karşılaştırma

Şekil 2. 6 farklı yöntem kullanılarak bulunan parametrelerle elde edilen Weibull dağılımı değişimlerinin GD ile karşılaştırılması

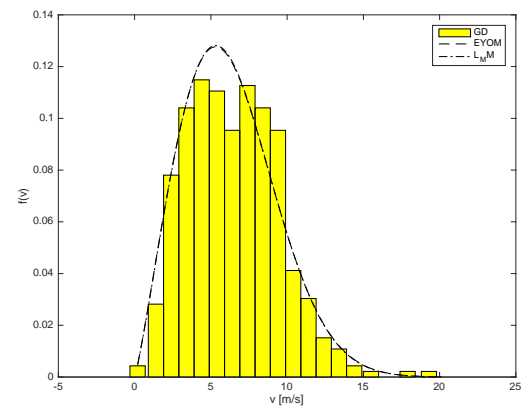
Yöntemler sonucu bulunan parametreler dikkate alınarak oluşturulan Weibull dağılımlarının birbiri ile kıyaslanmasını sağlamak için Şekil-3'de,  $R^2$  uyumluluk testine göre en iyi sonucu veren EYOM ile diğer metodların karşılaştırılması grafikleri görülmektedir.

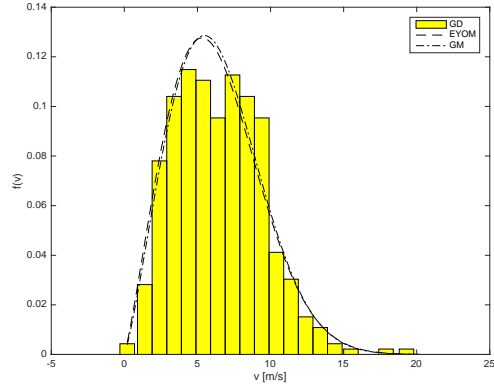
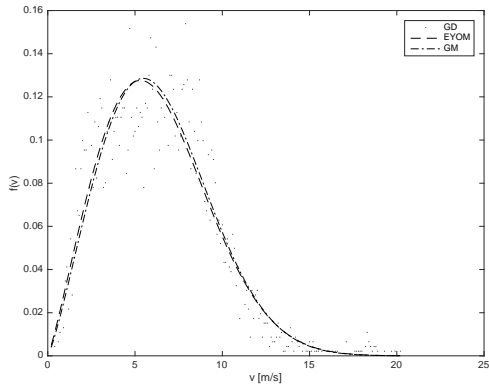


(a) EYOM ve MM karşılaştırması

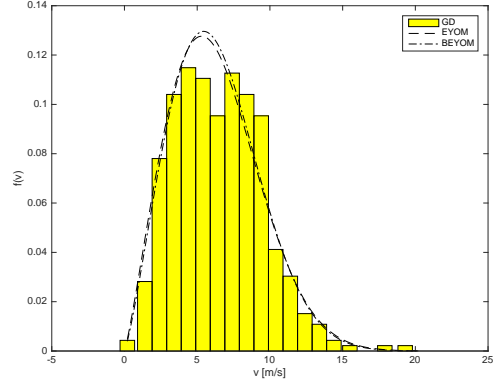
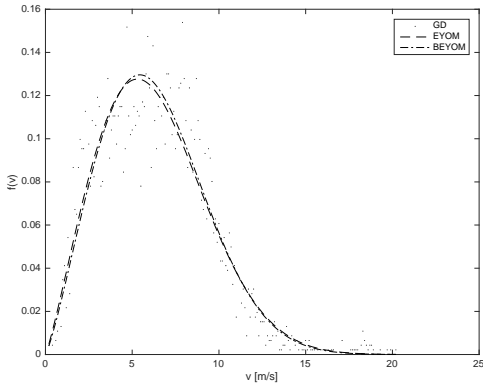


(b) EYOM ve L\_MM karşılaştırması

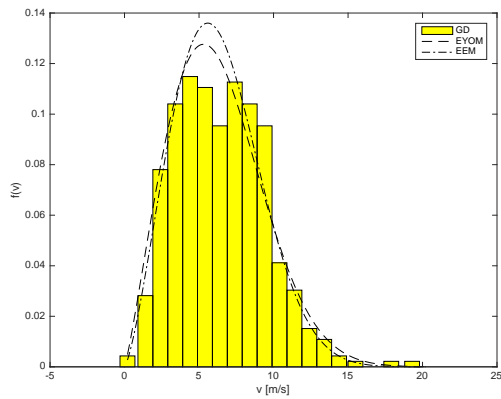
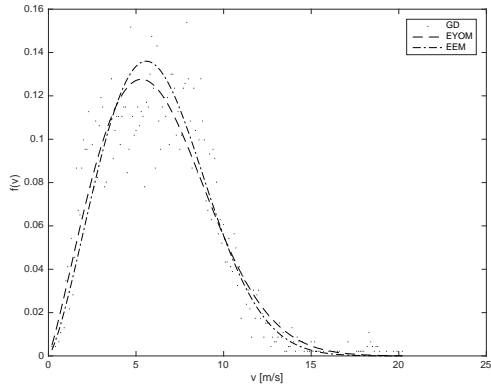




(c) EYOM ve GM karşılaştırması



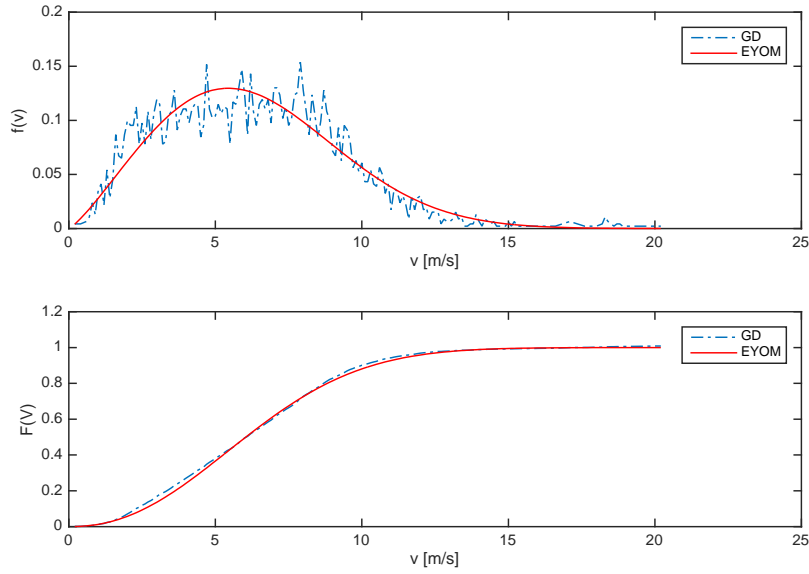
(d) EYOM ve BEYOM karşılaştırması



(a) EYOM ve EEM karşılaştırması

Şekil 3. EYOM ile diğer metodların karşılaştırılması

En iyi sonucu üreten EYOM yönteminin GD zaman serisi dağılımı ve kümülatif değişim karşılaştırması ise Şekil-4'de görülmektedir.



Şekil 4. EYOM ile gerçek değerlerin karşılaştırılması

## 5. SONUÇLAR

Rüzgar santrali kurulumu esnasında maliyet analizi ve ekonomik üretimin belirlenebilmesi için rüzgar hızının doğruluklu olarak modellenmesi ve tahmin edilmesi, rüzgar santrallerinin elektrik üretim sisteminde çok büyük oranlarda yer almasından dolayı daha da önemli hale gelmektedir. Bu çalışmada, Balıkesir-Balya Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan 02.02.2015 ile 31.08.2015 dönemine ait saatlik ortalama rüzgar hızlarının, 2 parametrelili Weibull fonksiyonu modelini oluşturmak için kullanılan 6 farklı parametre bulma yönteminden, En Yüksek Olabilirlik Metodu ve Moment Metodunun yapılan çalışma sonucu en iyi yaklaşımı verdiği görülmüştür. Literatürde genellikle santral yatırım maliyetinin belirlenmesi için rüzgar güç yoğunluğu belirlenmesine yönelik mevsimlik ve yıllık hesaplamalar yapılsa da, gelecek gün ve saatlerde enerji sistemine aktarabileceği aktif gücün belirlenebilmesi için saatlik olarak modellemeler ve tahminler enerji sisteminin güvenilir ve kararlı çalışması için büyük önem taşımaktadır.

Sürdürülebilir çevre açısından yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin gittikçe arttığı şu günlerde, enerji sistemine entegre edilen rüzgar enerjisi potansiyelinin, yüksek verimle sisteme aktarılabilmesi ve sistemin güvenilir olarak işletilebilmesi için bu konularda yapılacak yüksek doğruluklu modellemeler büyük önem taşımaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] Wind in Power, 2014 European Annual Statistics, Şubat 2015, <http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/EWEA-Annual-Statistics-2014.pdf>, Erişim Tarihi: 07.11.2015.
- [2] Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun, <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/01/20110108-3.htm>, Erişim Tarihi: 07.11.2015.

- [3] Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu, Temmuz 2015, <http://www.tureb.com.tr/en/component/content/article/36-yayinlar-yeni/542-turkiye-ruzgar-enerjisi-istatistik-raporu-temmuz-201>, Erişim Tarihi: 07.11.2015.
- [4] Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı İşletme Faaliyetleri Raporları, <http://www.teias.gov.tr/YukTevziRaporlari.aspx>, Erişim Tarihi: 07.11.2015
- [5] Hepbaşlı A., Özgener Ö., A Review On The Development Of Wind Energy İn Turkey, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Cilt 8, 2004, s.257-276.
- [6] Yüksek Planlama Kurulu, Elektrik Enerji Piyasası Arz Güvenliği Strateji Belgesi, 2009, [http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FBelge%2FArz\\_Guvenligi\\_Strateji\\_Belgesi.pdf](http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FBelge%2FArz_Guvenligi_Strateji_Belgesi.pdf), Erişim Tarihi: 07.11.2015.
- [7] Elektrik Piyasası Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği, <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/03/20150328-7.htm>, Erişim Tarihi: 08.11.2015.
- [8] Yıldırım U., Gazibey Y., Güngör A., Niğde İli Rüzgar Enerjisi Potansiyeli, *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 1, Sayı 2, 2012, s.37-47.
- [9] Korukçu, M.Ö., Türkiye’de Dört Yerleşim Yeri İçin Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 16, Sayı 1, 2011, s.117-125.
- [10] Uçar A., Balo F., A Seasonal Analysis of Wind Turbine Characteristics and Winp Power Potential in Manisa, Turkey, *International International Journal of Green Energy*, Cilt 5, 2008, s.466-479.
- [11] Bilgili M., Şahin B., Statistical Analysis of Wind Energy Density in the Western Region of Turkey, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, Cilt 32, 2010, s.1224-1235.
- [12] Dursun B., Alboyacı B., An Evaluation of Wind Energy Characteristics for Four Different Locations in Balıkesir, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, Cilt 33, 2011, s.1086-1103.
- [13] Gülersoy T., Çetin N.S., Menemen Bölgesinde Rüzgar Türbinleri için Rayleigh ve Weibull Dağılımlarının Kullanılması, *Politeknik Dergisi*, Cilt 13, Sayı 3, 2010, s.209-213.
- [14] Bilgili M., Şahin B., Şimşek E., Türkiye’nin Güney, Güneybatı ve Batı Bölgelerindeki Rüzgar Enerjisi Potansiyeli, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, Cilt 30, Sayı 1, 2010, s.1-12.
- [15] Mert İ., Karakuş C., A Statistical Analysis of Wind Speed Data Using Burr, Generalized Gamma, and Weibull Distributions in Antakya, Turkey, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, Cilt 23, 2015, s.1571-1586.
- [16] Mert İ., Karakuş C., Antakya Bölgesinde Rüzgar Gücü Yoğunluğu ve Rüzgar Hızı Dağılımı Parametrelerinin İstatistiksel Analizi, *Politeknik Dergisi*, Cilt 18, 2015, s.35-42.
- [17] Rüzgar Enerjisine Dayalı Lisans Başvurularının Teknik Değerlendirilmesi Hakkında Yönetmelik, <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/11/20081109-3.htm>, Erişim Tarihi: 07.11.2015
- [18] <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar.aspx>, Erişim Tarihi: 07.11.2015
- [19] <http://www.wasp.dk/>, Erişim Tarihi: 07.11.2015
- [20] Arslan T., Bulut Y.M., Yavuz A.A., Comperative Study Of Numerical Methods For Determining Weibull Parameters For Wind Energy Potential, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Cilt 40, 2014, s.820-825.
- [21] Chang T P, Performance Comparison Of Six Numerical Methods İn Estimating Weibull Parameters For Wind Energy Application, *Appl. Energy*, Cilt 88, No 1, 2011, s. 272–282.
- [22] Hetzer J, Yu D. C, Bhattarai K, An Economic Dispatch Model Incorporating Wind Power, *IEEE Trans. Energy Convers.*, Cilt 23, No 2, 2008, s.603–611.

- [23] A. Dinler and S. A. Akdag, A New Method To Estimate Weibull Parameters For Wind Energy Applications, *Energy Convers. Manag.*, Cilt 50, 2009, s.1761–1766.
- [24] Justus C.G., Hargraves W.R., Yalcin A., Nationwide Assessment Of Potential Output From Wind-Powered Generators, *J. Appl. Meteorol.*, Cilt 15, No 7, 1976, s.673–678.
- [25] Hosking J.R.M., L-Moments: Analysis And Estimation Of Distributions Using Linear Combinations Of Order Statistics, *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, Cilt 52, No 1, 1990, s.105–124.
- [26] Cohen A.C., Maximum Likelihood Estimation in the Weibull Distribution Based On Complete and On Censored Samples, *Technometrics*, Cilt 7, No 4, 1965, s. 579–588.
- [27] Christofferson R.D., Gillette D.A., A Simple Estimator Of The Shape Factor Of The Two-Parameter Weibull Distribution, *J. Clim. Appl. Meteorol.*, Cilt 26, No 2, 1987, s. 323–325.

## ÖZGEÇMİŞ/CV

### **Alp KARADENİZ; Araştırma Görevlisi (Research Assistant)**

Lisans derecesini 2012'de Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden, aldı. Balıkesir Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır. Temel çalışma alanları: Kontrol Teorisi, Ekonomik Enerji Dağılımı Algoritmaları, Sezgisel Optimizasyon Yöntemleri'dir.

*He received bachelors degree in the Department of Electrical and Electronics Engineering of Eskişehir Osmangazi University in 1995. He is currently an research asistant at the Mechanical Engineering Department at Yildiz Technical University. His major areas of interests are: Control Theory, Economic Dispatch Algorithms and Stochastic Optimization.*

### **Mehmet Kubilay EKER; Yrd. Doç. Dr. (Assistant Prof.)**

Lisans, Yüksek Lisans ve Doktora derecelerini Elektrik Mühendisliği dalında, Karadeniz Teknik Üniversitesi'nden sırasıyla 1993, 1997 ve 2005 yıllarında aldı. 2005 yılından beri Balıkesir Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde Yard.Doç.Dr. olarak görev yapmaktadır. Temel çalışma alanları: Senkron Generatörler, AVR, Bulanık Mantık Denetim, Transformatör Tasarımı, Rüzgar Enerjisi'dir.

*He received BSc, MSc and PhD degrees in Electrical Engineering from Karadeniz Technical University, 1993, 1997, and 2005, respectively. From 1994 to 1999, he was a Research Assistant at Karadeniz Technical University; from 1999 to 2005, he was a Lecturer at Gazi University. He is currently an Assistant Professor at Department of Electrical and Electronics Engineering at Balıkesir University. His major areas of interests are: Synchronus Generators, AVRs, Fuzzy Logic Control, Transformer Design, Wind Energy.*