

# Rüzgar Enerji Dönüşüm Sistemlerinde Finsler Geometrisi Tabanlı Yeni Bir Yaklaşım

## A Novel Approach Based on Finsler Geometry in Wind Energy Conversion Systems

Emrah Dokur<sup>1</sup>, Salim Ceyhan<sup>2</sup>, Mehmet Kurban<sup>1</sup>

<sup>1,3</sup>Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Türkiye  
emrah.dokur@bilecik.edu.tr, mehmet.kurban@bilecik.edu.tr

<sup>2</sup>Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Türkiye  
salim.cejhan@bilecik.edu.tr

### Özet

Günümüzde artan enerji ihtiyacına paralel olarak üretilen enerjinin temiz ve sürdürülebilir olma hedefi, yenilenebilir enerji sistemlerine olan yönelimi hızla artırmıştır. Bu çalışma, yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan rüzgar enerji dönüşüm sistemleri alanındaki özgün yaklaşımlı Finsler geometri tabanlı modellemeleri içermektedir. Rüzgar enerji dönüşüm sistemlerinde rüzgar hızı modellemesi büyük öneme sahiptir. Bu çalışma kapsamında da, 2-boyutlu Finsler uzaylarının metrik fonksiyonu ve bunlara ilişkin geodezikler, rüzgar hızı modellemesinde sıklıkla kullanılan iki parametrelili Weibull dağılımı için elde edilmiştir. Weibull olasılık dağılım fonksiyonuna Finsler geometrisi ile yeni ve farklı bir yaklaşım getirilerek, 2-boyutlu Finsler uzayında metrik tanımlaması yapılmıştır. Bu özgün yaklaşım ile iki parametrelili yeni bir dağılım fonksiyonu geliştirilip asimetrik yapılarda daha hassas modellemelerin oluşturulabilmesi sağlanmıştır. Finsler geometri tabanlı yeni yaklaşım, rüzgar hızı modellemesinde sıklıkla kullanılan Rayleigh ve Weibull dağılımları ile karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Anahtar kelimeler: Rüzgar enerjisi, Rüzgar hızı modellemesi, Finsler geometri, Weibull dağılımı.

### Abstract

Today, the use of renewable energy systems are increased rapidly in parallel with the growing energy demand in order to produce clean and sustainable energy. In this paper includes novel approach models based on Finsler Geometry in terms of wind energy systems which is one of the most important renewable energy sources. In this study, two-dimensional Finsler space metric function is obtained for Weibull distribution. The metric definition for two-parameter Weibull probability density function in two-dimensional Finsler space is realized using a different approach by Finsler geometry. New probability and cumulative probability density functions based on Finsler geometry are derived for more accurate modeling. The novel approach based on Finsler geometry is analyzed comparatively with other methods, which are commonly used in the wind speed model. Keywords: Wind energy, Wind speed modelling, Finsler geometry, Weibull distribution.

### 1. Giriş

Enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılan fosil yakıtların zararlı etkileri sebebiyle, dünyada yeni enerji kaynakları arayışına gidilmekte ve bu kapsamda yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi hızla artış göstermektedir. Dünya enerji kaynaklarının yaklaşık % 80'ini teşkil eden petrol, kömür, doğalgaz vb. kaynakların ciddi bir azalma göstermesi yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretim yöntemlerine yönelimi artırmaktadır [1]. Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları arasında en yaygın olarak kullanılan enerji dönüşüm sistemlerinden biri de rüzgar enerji sistemleridir.

Günümüz dünyasında 2016 yılı sonu itibarıyla 486.749 MW'lara ulaşan kurulu rüzgar gücü kapasitesinin üstünlüklerinin yanı sıra en büyük avantajları arasında süreksizliği, kararsızlığı ve asimetrik bir yapıda var olması sayılabilir [2]. Zamanla değişen yük talebi sebebiyle, elektrik enerjisi üreten rüzgar enerjisi güç sistemlerinin tasarımı, işletilmesi ve analizi oldukça önem arz etmektedir. Bu kapsamda rüzgar enerjisi sistemlerinde, rüzgar hızı modellemesi kavramı karşımıza çıkmaktadır. Rüzgar enerjisi dönüştürme sistemlerinin ilk kurulum maliyetinin yüksek olması sebebiyle bir bölgeye rüzgar enerjisi dönüştürme sistemi kurulmadan önce o bölgenin rüzgar hızı karakteristiğinin modellenmesi ve belirlenmesi gerekmektedir.

Bir bölgenin rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesinde önemli bir etken olan rüzgar hızı modellemesi üzerine yapılan çalışmalarda ise iki parametrelili Weibull dağılımı fonksiyonunun literatürde en sık kullanılan modeller arasında yer aldığı görülmektedir [3-10]. Rüzgar hızının doğru modellenmesi için Log-normal dağılımı [11-14], ters Gauss dağılımı [15,16], iki parametrelili Gamma dağılımı [17-19], hibrit dağılımlar [20-22], Burr dağılımı [23], üç parametrelili Weibull dağılımı [24,25], Weibull dağılımının özel bir formu olan Rayleigh dağılımı [26,27], 2016 yılında önerilen ters Weibull dağılımı [28] ve benzer dağılım fonksiyonları rüzgar enerjisi dönüştürme sistemi çalışmalarında önerilmiş ve kullanılmıştır.

Doğru ve hassas bir model yapısının geliştirilebilmesi amacı ile yeni bir dağılım fonksiyonu yapısının belirlenmesi farklı

bölgelere ait rüzgar hızı modellemesinde önem teşkil etmektedir. Rüzgar hızı ve benzeri dağılımların simetrik olmayan ve kararsız bir karaktere sahip olması modelleme konusunda da birçok zorluğu beraberinde getirmektedir. Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinde de rüzgar hızı modellemesi büyük öneme sahiptir. Bu kapsamda yapılan çalışmada kullanılan Finsler geometrisi, asimetrik ve/veya izotropik olmayan fiziksel olguları modellemek için en iyi bilinen Riemann geometrisine göre çok daha güçlü bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

İkinci bölümde Finsler metrik koşulları ele alınırken, geodezikleri iki parametrelili Weibull eğri ailesi olan iki boyutlu bir Finsler uzayında, Finsler metrik fonksiyonları üçüncü bölümde elde edilmiştir. Aynı zamanda bu metrik fonksiyonlarından elde edilen Finsler geometrisi tabanlı olasılık ve kümülatif olasılık yoğunluk fonksiyonları yine aynı bölümde hesaplanmıştır. Yeni yöntemin rüzgar hızı modellemesinde kullanımına yönelik uygulama Bozcaada Ekim 2015- Eylül 2016 verileri üzerinden gösterilmiştir. Dördüncü bölüm olan son bölümde ise sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

## 2. Finsler Geometri

M.Ö.300 de Öklid, düzlem geometriyi ünlü beş aksiyomu ile tanımlamıştır. Öklidyen geometri,  $R^n$  de noktalar, doğrular, düzlemler, açılar gibi kavramları ve Öklid geometrisinin aksiyomlarıyla oluşturulmuş önerme ve teoremleri baz alır (Pisagor teoremi, trigonometrik formüller, vb.). Doğayı anlamak için düz olmayan uzaylar üzerinde geometri inşa etmeye ihtiyaç vardır. İlk olarak Gauss bu amaçla  $R^3$  te 2-boyutlu yüzeyleri çalışarak düz olmayan uzayları tanımlamıştır. Daha sonra, B. Riemann, Öklidyen uzaylara yerel olarak homeomorfik olan manifold tanımını vermiştir. Sonra bir manifold üzerinde, vektörler arasındaki açıları, iki nokta arasındaki uzaklığı ve eğrilerin uzunluğunu ölçmeyi sağlayan Riemann metriğinin tanımını vermiştir. Bununla birlikte, Riemann sonsuz küçük bir büyüklüğün verilmesiyle, genel düzgün mesafe fonksiyonlarını ifade etme problemini de ortaya atmıştır.

P. Finsler tarafından bir Finsler manifoldu üzerinde varyasyonlar hesabı yöntemleriyle, bu problem inceleninceye kadar yaklaşık 60 yıl süren çalışmalardan somut bir sonuç elde edilememiştir. Finsler'in 1918 deki doktora tezi çalışması bu doğrultudaki ilk adım olmuş ve izleyen bir kaç yıl içinde varyasyonlar hesabının notasyonları yerini tensör hesabı notasyonlarının kullanımına bırakmıştır.

Synge, Taylor ve Berwald hemen hemen eş zamanlı olarak bu yeni uzay için tensör hesabı metodlarını kullanmışlardır. Tensör notasyonları ile bir Finsler uzayının metrik tensörünün bileşenleri, Riemann geometrisindeki metrik tensöre eşdeğer olarak şeklinde tanımlanmıştır. Berwald da bir Finsler manifoldu üzerinde Berwald bağlantısı tanımını ve bazı Riemannian olmayan büyüklükleri vermiştir. Daha sonraki yıllarda Cartan ve Chern kendi bağlantılarını Finsler uzayı için tanımlamışlardır [29].

İki boyutlu bir uzayda, sürekli bir fonksiyon  $M$  manifoldunda aşağıdaki koşulları sağlıyorsa bir Finsler metriği olarak ifade edilebilir.

- i.  $F(x, y; \dot{x}, \dot{y})$ ,  $TM \setminus \{0\}$  da  $C^\infty$  sınıfındadır
- ii.  $F(x, y; \lambda \dot{x}, \lambda \dot{y}) = \lambda F(x, y; \dot{x}, \dot{y})$ ,  $\lambda > 0$ .
- iii.  $g_{ij}(x, y; \dot{x}, \dot{y})$ , temel metrik tensörü pozitif tanımlıdır. Burada  $(x, y)$ ,  $M$  manifoldunun bir  $p$  noktasının koordinatlarını ve  $(\dot{x}, \dot{y})$ ,  $T_pM$  teğet demetinin  $(\dot{x}, \dot{y})$  'deki yerel koordinatlarını gösterir.

Doğayı anlamak amacıyla düz olmayan uzaylar içerisinde geometri inşa etmek uygulamalı bilimler açısından büyük önem arz etmektedir. Finsler geometrisi de bu uygulama alanı içerisinde hassas bir yaklaşım ile asimetrik yapılarla modelleme ve tanımlama yeteneğini bizlere getirmektedir.

Bu çalışmada 2-boyutlu Finsler uzaylarının metrik fonksiyonu, rüzgar hızı modellemesi gibi bir çok uygulama alanında kullanılan iki parametrelili Weibull dağılımı için elde edilmiştir. Şekil (k) ve ölçek (c) parametrelerine sahip olan Weibull olasılık dağılım fonksiyonuna Finsler geometrisi ile farklı bir yaklaşım getirilerek 2-boyutlu Finsler uzayında metrik tanımlaması gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak Finsler geometri tabanlı yeni olasılık ve kümülatif olasılık yoğunluk fonksiyonları önerilmiştir. Gelecek çalışmalara ışık tutması açısından bu yeni yaklaşım ile özellikle bir bölgenin rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan iki parametrelili Weibull olasılık dağılım fonksiyonunu içeren daha hassas modellerin oluşturulabilmesi hedeflenmektedir.

İki parametrelili dağılımlara ait iki boyutlu Finsler uzayında farklı Finsler metrikleri ve ilişkili geodezikleri belirlemek amacı ile bir sonraki bölümdeki hesaplamalar yapılmıştır.

## 3. İki Parametrelili Weibull Dağılımında Yeni Yaklaşımla Finsler Metriklerinin Belirlenmesi ve Karşılaştırmalı Analizi

Rüzgar hızı frekans eğrisinin belirlenmesinde bir çok farklı yöntem bulunmaktadır. Literatür de enerjisi potansiyeli hesaplanmasında en yaygın kullanılan yaklaşım iki parametrelili Weibull dağılımıdır. Weibull dağılımının genel formu eşitlik 1 'de verilmiştir.

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

Burada olasılık yoğunluk fonksiyonu olan  $f(v)$ , rüzgar hızının ( $v$ ) gözlemlenme olasılığını göstermektedir.  $k$  ve  $c$  ise sırasıyla iki parametrelili Weibull dağılımının şekil ve ölçek parametrelerini ifade eder. Weibull dağılımının kümülatif olasılık fonksiyonu ise eşitlik 2' de verilmiştir.

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

şeklinde. Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu, rüzgar hızının, belli bir  $v$  değerinden küçük ya da eşit gerçekleşme olasılığını verir. Bir sonraki bölümde ele alınan Rayleigh dağılımı ise Weibull dağılımının özel bir formu ( $k=2$ ). olarak karşımıza çıkmaktadır.

İki parametrelili eğri aileleri

$$y = f(x, a, b) \quad (3)$$

eşitlik 3 ile verilir. Bu eşitlik ile verilen (x,y) düzleminde C(a,b) eğri ailesini ele alalım. Öncelikli amacımız,  $F^2 = (\square^2, L(x, y; \dot{x}, \dot{y}))$  iki boyutlu Finsler uzayının nasıl bulunacağını göstermektir. Bu sorunun çözümüne ilişkin Darboux'un metodu çalışmamızda ele alınmıştır.

İlk olarak Eşitlik 3'den;

$$z (= y') = f_x(x, a, b), \quad (4)$$

elde edilir ve 3-4 eşitliklerinden x, y ve z'nin fonksiyonları olarak a ve b'nin çözümleri aşağıdaki gibi olur.

$$a = \alpha(x, y, z), \quad b = \beta(x, y, z). \quad (5)$$

Daha sonra,

$$z' = f_{xx}(x, \alpha, \beta) = u(x, y, z), \quad (6)$$

ifadesi, C(a,b) iki parametrelili eğri ailesini karakterize eden y'nin ikinci mertebeden diferansiyel denklemdir.

$F^2$  Finsler uzayında  $(x^1, x^2)$  ve  $(y^1, y^2)$  yerine, sırasıyla,  $(x, y)$  ve  $(\dot{x}, \dot{y}) = (p, q)$  kullanacağız. Buna göre C(a,b) eğrisinin s yay uzunluğunun diferansiyeli

$$ds = L(x, y; \dot{x}, \dot{y}) dt, \quad (\dot{x}, \dot{y}) = \left( \frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt} \right). \quad (7)$$

$$\dot{x} > 0 \text{ varsayarak, } ds = L\left(x, y; 1, \frac{\dot{y}}{\dot{x}}\right) \dot{x} dt \text{ olur. Buna göre}$$

$$y' = \frac{dy}{dx}, \text{ sembolünü kullanarak}$$

$$ds = A(x, y, y') dx, \quad (8)$$

elde edilir. Buradan

$$A(x, y, y') = L(x, y; 1, y') \quad (9)$$

ilişkisi elde edilir. Tersine olarak A'dan L'de

$$L(x, y; \dot{x}, \dot{y}) = A\left(x, y, \frac{\dot{y}}{\dot{x}}\right) \dot{x}. \quad (10)$$

ilişkisinde görülebilir.

$$\text{Geodezik, bir eğri boyunca hesaplanan } s = \int_{t_0}^t L(x, y; \dot{x}, \dot{y}) dt$$

uzunluk integralini minimum yapan eğridir ve

$$\ddot{x}^i + 2G^i(x, y; \dot{x}, \dot{y}) = 0 \quad (11)$$

Euler denkleminde elde edilir. Burada

$$G^i(x, y; \dot{x}, \dot{y}) = \frac{1}{2} g^{ij} \left\{ \frac{\partial^2 F}{\partial x^j \partial y^i} y^j - \frac{\partial F}{\partial x^i} \right\} \quad (12)$$

şeklinde tanımlanan spray katsayıları ve  $F(x, y; \dot{x}, \dot{y}) = \frac{L^2(x, y; \dot{x}, \dot{y})}{2}$  finsler metriğini ifade eder.

Geodezikleri veren Euler denkleminin Rashevsky formunu ele alırsak

$$A_{zz} y'' + A_{yz} y' + A_{zz} - A_y = 0, z = y' \quad (13)$$

eşitliği yazılır. Burada A(x,y,z) ilişkili temel fonksiyondur ve Eşitlik 9'da tanımlanmıştır.

Darboux'un teoremine göre genel temel metrik tanımı [30];

$$A(x, y, z) = \int_0^z (z-t) H(t, y-tx) dt + zE_y + E_x \quad (14)$$

şeklinde verilmiştir. Burada  $H(\alpha, \beta)$  ve  $E(x, y)$  keyfi olarak seçilebilir. Temel metrik fonksiyonu bir başka formda Eşitlik 15'de

$$L(x, y, \dot{x}, \dot{y}) = \dot{x} \int_0^{\dot{y}/\dot{x}} (z-t) H(t, y-tx) dt + \dot{x} E_x + \dot{y} E_y. \quad (15)$$

şeklinde verilmiştir [30].

Şimdi eşitlik 2 tanımlanan iki parametrelili Weibull kümülatif fonksiyonunu ele alarak;

$$C(k, c) : y = f(v; k, c) \quad (16)$$

iki parametrelili bir eğri ailesini tanımlayalım. Verilen eğri ailesi doğrusal olması durumunda gerekli bazı büyüklükler aşağıdaki gibi elde edilir [30].

$$\alpha = z, \beta = y - zx, U = 1, V = 1.$$

iki parametrelili Weibull kümülatif fonksiyonunun doğrusal hali

$$y = \log[-\log(1 - F(v))] = k \log \frac{v}{c} \quad (17)$$

$$= k x - k \log c.$$

şeklinde elde edilir.

İki parametrelili Weibull dağılımına sahip eğri aileleri için  $H(\alpha, \beta)$  ve  $E(x, y)$  fonksiyonlarının keyfi seçimlerine bağlı olarak farklı Finsler metrikleri ve ilişkili geodezikler hesaplanmalıdır. Buna göre iki parametrelili Weibull dağılımı için metrik fonksiyonu Eşitlik 15'de  $H(\alpha, \beta) = \beta^n$  seçimiyle n keyfi negatif olmayan reel sayılar için farklı Finsler metrikleri elde edilecektir. Bunun için Eşitlik 15'de

$H(z, y-zx) = \beta^n = (y-zx)^n$  ve  $E = \text{sabit}$  seçimi ile iki parametrelili Weibull dağılımına ait metrik fonksiyonu;

$$L(x, y, \dot{x}, \dot{y}) = \frac{y^{(n+2)} \dot{x}}{x^2} \sum_{k=0}^n \binom{n+2}{k+2} \left( -\frac{x\dot{y}}{y\dot{x}} \right)^{(k+2)} \quad (18)$$

formunda elde edilir. Elde edilen fonksiyonun Finsler metriği koşullarını sağladığı kolayca görülebilir.

Negatif olmayan rasyonel sayılar için,  $n = 1/2$  ve  $11/12$  değerleri için Finsler metriklerinin hesabı eşitlik 19'da ki gibi hesaplanır.

$$L_{1/2}(x, y, p, q) = \frac{15q^2 x^2 \sqrt{y}}{8x^2 p} \quad (19)$$

$$L_{11/12}(x, y, p, q) = \frac{805q^2 x^2 y^{11/12}}{288x^2 p}$$

Hesaplanan spray katsayıları ise eşitlik 20'de gösterilmiştir.

$$G_{1/2}^1 = G_{11/12}^1 = 0$$

$$G_{1/2}^2 = \frac{q^2}{8y} \quad (20)$$

$$G_{11/12}^2 = \frac{11q^2}{48y}$$

Eşitlik 20'de ki spray katsayılarını geodezikleri veren Euler denklemlerinde yerine yazarsak  $K$ ,  $n$ 'e bağlı bulunan katsayı olmak üzere  $y$ 'nin  $x$ 'e göre ikinci dereceden diferansiyel denklemi eşitlik 21'de ki gibi elde edilir.

$$y'' = K \frac{y'^2}{y} \quad (21)$$

$n=1/2$  ve  $11/12$  için, sırasıyla,  $K=-1/4$  ve  $-11/24$  değerlerindedir. Bu durumda,  $n$  ile  $K$  arasındaki ilişkinin

$K = -\frac{1}{2}n$  olduğu kolaylıkla görülebilir. Tüm negatif olmayan rasyonel sayılarda, eşitlik 21'de verilen diferansiyel denklem çözülmüşse eşitlik 22 elde edilir.

$$y = \left( C_2 x + \frac{2}{n+2} C_1 \right)^{\frac{2}{n+2}} \quad (22)$$

Burada  $C_1$  ve  $C_2$  integrasyon sabitleridir. eşitlik 22, denklem 17'de yerine koyulduğunda iki parametrelili yeni kümülatif fonksiyon denklem 23'de ki gibi hesaplanmış olur.

$$F_{Finsler}(v; C_1, C_2) = 1 - e^{-\frac{2}{n+2} v^{C_2} e^{\frac{2}{n+2} C_1}} \quad (23)$$

Burada  $a = \frac{2}{n+2}$  değişkeni atandığında Denklem 24 elde edilir.

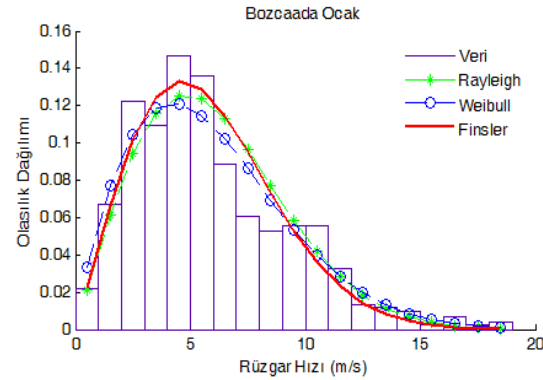
$$F_{Finsler}(v; C_1, C_2) = 1 - e^{-av^{C_2} e^{aC_1}} \quad (24)$$

$f_{Finsler} = \frac{dF_{Finsler}}{dv}$  ilişkisinden olasılık yoğunluk fonksiyonu Denklem 25'de ki gibi hesaplanmış olur.

$$f_{finsler}(v; C_1, C_2) = aC_2 e^{a(C_1 - v^{C_2} e^{aC_1})} v^{C_2-1} \quad (25)$$

$n$  keyfi değerinde negatif olmayan tam sayılar kullanılarak elde edilen diferansiyel denklemin çözümü iki parametrelili Weibull fonksiyonu ile aynı geodezikleri verirken,  $n$  negatif olmayan rasyonel sayılarda tanımlı yeni fonksiyon, iki boyutlu eğri ailesi için hesaplanmıştır.

Yeni fonksiyonda,  $C_1$  ve  $C_2$  parametreleri gözlem değerlerine göre belirlenerek gerçek dünya problemlerinde modelleme alt yapısını bizlere sunabileceği öngörülmektedir. Bu kapsamda Finsler geometri tabanlı elde edilen geodezikler, lineer olmayan rüzgar hızı modellemesi gibi gerçek dünya problemi üzerinden örneklendirilirse; Şekil 1'de Bozcaada rüzgar hızı verileri kullanılarak Weibull, Rayleigh ve Finsler metrik tabanlı bulunan yeni eğri ailelerine ilişkin fonksiyon değerlerindeki parametreler, sınır değer problemi ile belirlenip farklı  $n$  değerleri için karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir (Tablo 1). Şekil 1'de Bozcaada bölgesi örnek bir ay için metotların karşılaştırmalı gösterimi yer almaktadır.



Şekil 1: Bozcaada örnek ay için dağılım fonksiyonunun grafiksel değişimi

Her bir ay için model performansı, hataların ortalamasının karesinin karekökü olan (RMSE) performans kriteri değeri ile karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir (Eşitlik 26).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (26)$$

Burada  $y_i$  gerçek değeri ifade ederken  $\hat{y}_i$  ise tahmin değeri olarak belirtilir.  $N$  ise gözlem sayısı olarak ele alınır.

Tablo 1: Bozcaada aylık analiz ve hata performans sonuçları

Aylar	BOZCAADA									
	Weibull				Finsler				Rayleigh	
	k	c	RMSE	n	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	RMSE	c	RMSE	
Ocak	1.8045	6.6332	0.0130	11/12	-4.9712	2.0236	0.0140	4.8133	0.0283	
Şubat	1.6015	6.1985	0.0173	1/2	-3.0812	1.4494	0.0172	4.6698	0.0245	
Mart	1.7867	5.8550	0.0149	11/12	-4.1565	1.8521	0.0148	4.2631	0.0186	
Nisan	1.6364	4.1676	0.0238	11/12	-3.0125	1.6354	0.0237	3.1097	0.0342	
Mayıs	2.0583	4.9181	0.0090	11/12	-4.0956	1.9919	0.0088	3.4576	0.0090	
Haziran	1.6549	5.5660	0.0184	1/2	-3.0917	1.4573	0.0152	4.1143	0.0247	
Temmuz	2.5944	7.0754	0.0177	11/12	-6.4527	2.4017	0.0166	4.8267	0.0286	
Ağustos	2.7271	7.7120	0.0131	11/12	-6.9527	2.4717	0.0128	5.2297	0.0240	
Eylül	2.0247	5.8461	0.0129	1/2	-3.8117	1.8073	0.0126	4.1237	0.0128	
Ekim	2.0730	7.2087	0.0129	11/12	-5.6927	2.1317	0.0126	5.0618	0.0128	
Kasım	1.6233	5.7244	0.0321	1/2	-3.3561	1.5973	0.0321	4.2814	0.0399	
Aralık	1.9482	6.8862	0.0156	11/12	-4.9927	1.9017	0.0153	4.8969	0.0163	

Ekim 2015-Eylül 2016 Bozcaada verileri için modellere ait hesaplanan aylık parametre değerleri ve hata performans kriteri sonuçları Tablo 1'de gösterilmektedir. Hata performans kriterleri karşılaştırıldığında Tablo 1'den de görülebileceği gibi Finsler ve Weibull, Rayleigh dağılım fonksiyonuna göre rüzgar hızı verilerine daha iyi uyum sağlamaktadır. Finsler ve Weibull dağılımları yakın hata oranlarına sahip olsada tüm aylar bazında Finsler geometrisi ile elde edilen yaklaşımın diğer modellere göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmektedir

#### 4. Sonuçlar

Rüzgar enerji dönüşüm sistemleri kurulmadan önce, tesis edilecek bölgenin rüzgar hızı karakteristiği incelenmeli ve modellenmelidir. Bu amaç doğrultusunda geodezikleri Weibull dağılımı olan Finsler metrik fonksiyonları bu çalışmada hesaplanarak elde edilen yeni olasılık ve kümülatif olasılık yoğunluk fonksiyonları ile rüzgar hızı modellemesi önerilmiştir. Bu kapsamda yeni metrik fonksiyonu ve bunlara ilişkin geodezikler ile hesaplanan model de daha hassas yaklaşımda rüzgar hızları modellendiği sonucuna ulaşılmıştır.

Yeni modelin analizi Ekim 2015-Eylül 2016 Bozcaada verileri üzerinden uygulamalı olarak gösterilmiştir. Özellikle uygulamada Finsler geometrisi ile yapılan analizde, dağılımın aşım noktalarının modelleme konusunda iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Ocak verisinin hata performans kriterleri referans alındığında Finsler geometrisi Weibull dağılımına göre hata oranı düşük olsa da tepe değerlerinde ki yaklaşımı diğer modellere göre daha hassastır.

Önerilen model, parametrelerinin değiştirilmesi sayesinde dünyadaki tüm bölgelerde rüzgar verileri için kullanılabilir niteliktedir. Bu çalışmada geliştirilen Finsler geometri tabanlı modelde farklı parametre kestirim yöntemlerinin de gelecek çalışmalarda kullanılabilmesi düşünülmektedir.

#### 5. Kaynaklar

[1] IEA., Key World Energy Statistics, IEA: <https://www.iea.org/publications/>, (Ziyaret Edilme Tarihi, 24.03.2017).

[2] GWEC, "Global Wind Report 2016", <http://www.gwec.net/publications>, 2016.

[3] Baseer, M. A., Meyer, J. P., Rehman, S. and Alam, M. M., "Wind power characteristics of seven data collection sites in Jubail, Saudi Arabia using Weibull parameters", *Renewable Energy*, 102: 35-49 (2017).

[4] Bassyouni, M., Gutub, S. A., Javaid U., Awais, M., Rehman, S., Hamid SS, Abdel-Aziz M. H., Abouel-Kasem, A. and Shafeek, H. "Assessment and analysis of wind power resource using weibull parameters", *Energy Exploration & Exploitation*, 33(1): 105-22 (2015).

[5] Akdağ, S. A. and Güler, Ö., "Weibull Dağılım Parametrelerini Belirleme Metodlarının Karşılaştırılması", *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, (2008).

[6] Akdağ, S. A., and Güler, Ö., "Wind characteristics analyses and determination of appropriate wind turbine for Amasra—Black Sea region, Turkey", *International Journal of Green Energy*, 7(4): 422-433 (2010).

[7] Kantar, Y. M., Kurban, M. and Hocaoglu, F. O., "Comparison of six different parameter estimation methods in wind power applications", *Scientific Research and Essays*, 6(32): 6594-6604 (2011).

[8] Kurban, M., Hocaoglu, F. O. and Kantar, Y. M., "The comparative analysis of two different statistical distributions used to estimate the wind energy potential", *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 13(1):103-9 (2007).

[9] Celik, A. N., "A statistical analysis of wind power density based on the Weibull and Rayleigh models at the southern region of Turkey", *Renewable Energy*, 29(4): 593-604 (2004).

[10] Dokur, E., and Kurban, M., "Wind Speed Potential Analysis Based on Weibull Distribution", *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, 3(4):231-235 (2015).

[11] Garcia, A., Torres, J. L., Prieto, E. and De Francisco A., "Fitting wind speed distributions: a case study", *Solar Energy*, 62(2): 139-144 (1998).

[12] Justus, C.G., Hargraves, W. R. and Yalcin, A., "Nationwide assessment of potential output from wind-powered generators" *Journal of Applied Meteorology* 15(7): 673-678 (1976).

- [13] Luna, R. E. and Church, H. W., "Estimation of long-term concentrations using a "universal" wind speed distribution", *Journal of Applied Meteorology*, 13(8): 910-916 (1974).
- [14] Kiss, P. and Jánosi, I. M., Comprehensive empirical analysis of ERA-40 surface wind speed distribution over Europe", *Energy Conversion and Management*, 49(8): 2142-2151 (2008).
- [15] Brano, V. L., Orioli, A., Ciulla, G. and Culotta, S., "Quality of wind speed fitting distributions for the urban area of Palermo, Italy", *Renewable Energy*, 36(3): 1026-1039 (2011).
- [16] Bardsley, W. E., "Note on the use of the inverse Gaussian distribution for wind energy applications" *Journal of Applied Meteorology*, 19(9): 1126-1130 (1980).
- [17] Morgan, E. C., Lackner, M., Vogel, R. M. and Baise, L.G., "Probability distributions for offshore wind speeds", *Energy Conversion and Management*, 52(1): 15-26 (2011).
- [18] Kaminsky, F. C., "Four probability densities/log-normal, gamma, Weibull, and Rayleigh/and their application to modelling average hourly wind speed", *In International Solar Energy Society Annual Meeting*, 19-6 (1977).
- [19] Sherlock, R.H., "Analyzing winds for frequency and duration", *In On Atmospheric Pollution American Meteorological Society*, 42-49 (1951).
- [20] Kollu, R., Rayapudi, S. R., Narasimham, S. V. L. and Pakkurthi, K. M. "Mixture probability distribution functions to model wind speed distributions" *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 3(1): 27 (2012).
- [21] Jaramillo, O. A. and Borja, M. A., "Wind speed analysis in La Ventosa, Mexico: a bimodal probability distribution case", *Renewable Energy*, 29(10):1613-1630 (2004).
- [22] Takle, E. S. and Brown, J. M., "Note on the use of Weibull statistics to characterize wind-speed data", *Journal of Applied Meteorology*, 17(4): 556-559(1978).
- [23] Zaharim, A., Najid, S. K., Razali, A. M. and Sopian, K., "Analyzing Malaysian wind speed data using statistical distribution", *In Proceedings of the 4th IASME/WSEAS International Conference on Energy & Environment*, Cambridge, UK, (2009).
- [24] Carta, J. A., Ramirez, P. and Velazquez, S., "A review of wind speed probability distributions used in wind energy analysis: Case studies in the Canary Islands", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(5): 933-955 (2009).
- [25] Van, D. A. L., Meyer D. F and Malet, L. M., "The use of the Weibull three-parameter model for estimating mean wind power densities", *Journal of Applied Meteorology*, 19(7): 819-825 (1980).
- [26] Sharma, K. and Ahmed, M. R., "Wind energy resource assessment for the Fiji Islands: Kadavu Island and Suva Peninsula", *Renewable Energy*, 89: 168-180 (2016).
- [27] Pishgar-Komleh, S. H., Keyhani, A. and Sefeedpari, P., "Wind speed and power density analysis based on Weibull and Rayleigh distributions (a case study: Firouzkooh county of Iran)", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42:313-322 (2015).
- [28] Akgül, F. G., Şenoğlu, B. and Arslan, T. "An alternative distribution to Weibull for modeling the wind speed data: Inverse Weibull distribution", *Energy Conversion and Management*, 114: 234-240 (2016)
- [29] Ceyhan S. ve Çivi G., "Bazı özel kropina uzayları ve kropina metrik dönüşümleri", *Türkiye Alim Kitapları*, (2014).
- [30] Dokur, E., Ceyhan, S. and Kurban, M., "Finsler Geometry for Two-Parameter Weibull Distribution", *Mathematical Problems in Engineering*, (2017).



**Emrah DOKUR**

1987 İstanbul doğumlu olan Emrah DOKUR, İstanbul Bahçelievler Lisesinden birincilikle mezun olduktan sonra, 2010 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünde lisans eğitimini tamamlamıştır. 2011 yılında Arçelik firmasının Çerkezköy Kampüsünde Üretim Mühendisi olarak çalıştıktan sonra, 2013 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalından yüksek lisans diplomasını aldı. 2011 yılında Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi kadrosunda görev aldıktan sonra, aynı üniversitenin Enerji Sistemleri Mühendisliği doktora programından mezun oldu. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünde 2017 yılında Yardımcı Doçent Doktor olarak görev almış; halen bu görevi sürdürmektedir. Yüksek gerilim tekniği, yenilenebilir enerji kaynakları, rüzgar enerjisi dönüştürme sistemleri ve güç sistem analizi konularında çalışmalarına devam etmektedir.



**Salim CEYHAN**

1971 Gölcük/Kocaeli doğumlu olan Salim Ceyhan, 1991 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Matematik Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 1994 ve 2009 yıllarında aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Matematik Mühendisliği Anabilim dalı programında sırasıyla yüksek lisans ve doktora eğitimlerini tamamladı. 1992-2002 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Matematik Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi kadrosunda görev aldı. Şu an Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği bölümünde Yardımcı Doçent Doktor olarak görevini sürdürmektedir. Uygulamalı matematik, diferansiyel geometri ve metrik uzayları konularında yayınları mevcuttur. Bilgisayarlı görüntü işleme konusunda çalışmalarına devam etmektedir.



**Mehmet KURBAN**

1991 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Elektrik Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim dalından 1994 yılında yüksek lisans ve 2001 yılında doktora eğitimini tamamladı. 2002-2010 yılları arasında Anadolu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünde Yardımcı Doçent Doktor olarak görev yapmıştır. 2010 yılında Elektrik Elektronik Mühendisliği alanından Doçent ünvanı almış ve 2015 yılında Profesör olmuştur. 2010 yılından beri Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünde görev yapmaktadır. Güç sistem analizi, yenilenebilir enerji kaynakları konularında çalışmalarına devam etmektedir.