



Parameter estimation of the wind speed distribution model by dragonfly algorithm

Bayram Köse^{1*}, Hilmi Aygün², Semih Pak³

¹Department of Electrical and Electronics Engineering, İzmir Bakırçay University, İzmir, 35665, Türkiye

²Department of Mechatronics Engineering, Karabuk University, Karabuk, 78050, Türkiye

³Department of Electrical and Electronics Engineering, Karabuk University, Karabuk, 78050, Türkiye

Highlights:

- Dragonfly Algorithm (DA) can be used to estimate Weibull parameters in wind energy.
- Comparison of meta-heuristic algorithms (DA, GA and PSO) and numerical methods (MM and LSM) is presented.
- Weibull probability function (Wpdf) and two component mixed Weibull distribution function are compared.

Keywords:

- Weibull distribution parameters,
- Dragonfly algorithm,
- Wind energy potential,
- Estimation

Article Info:

Research Article

Received: 10.05.2021

Accepted: 19.08.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.935689

Acknowledgement:

The authors have sent a request to KARES AVM, Electrical Engineer Basri GÜMÜŞ and Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK for his contributions.

Correspondence:

Author: Bayram Köse
e-mail:
bayram.kose@bakircay.edu.tr
phone: +90 505 695 2179

Graphical/Tabular Abstract

In this study, the Dragonfly Algorithm (DA) is proposed to estimate the Weibull probability distribution function (Wpdf) parameters used in wind speed modeling and the two-component mixed Weibull distribution parameters used in modeling non-single peak wind speed data. Also DA is compared with other meta-heuristic algorithms (GA and PSO) and numerical methods (MM and LSM). In Figure A it is observed that DA method gave better results.

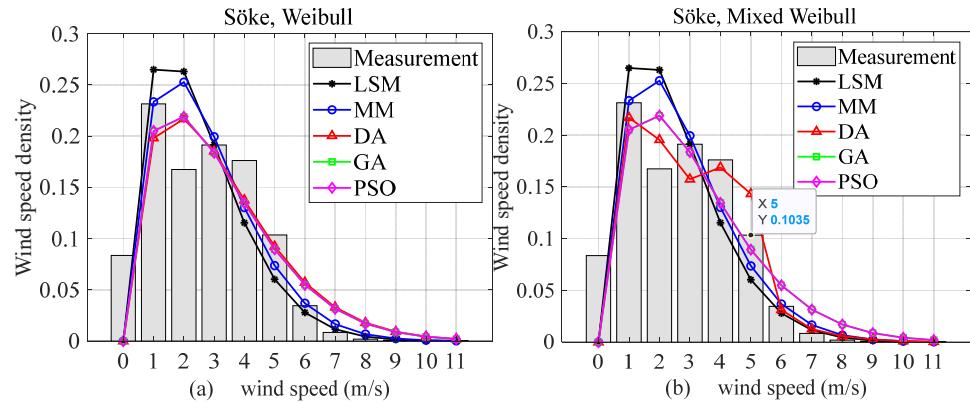


Figure A Wind speed distribution of Söke station with Weibull and mixed Weibull distribution

Purpose:

In modelling wind speed by Weibull probability distribution function (Wpdf) for potential calculation of wind energy and wind speed characterization, the purpose of the study is to estimate the distribution parameters.

Theory and Methods:

The performance of the proposed method has been evaluated by comparing not only the classical methods which are the moment method (MM) and the least squares method (LSM) but also metaheuristic optimization algorithms which are Dragonfly Algorithm (DA), Genetic Algorithm (GA) and Particle Swarm Optimization (PSO). Determination coefficient (R^2) and root mean square error (RMSE) were used to evaluate the performance of these parameter estimation methods.

Results:

Data obtained from 6 measurement stations were used in the study. The results show that while the DA method gives the best performance according to the determination coefficient (R^2) criterion in all stations, it provides the best performance in 2 stations according to the root mean square error (RMSE) criterion. In addition, it was observed that the DA method showed better performance in all stations compared to the LSM method.

Conclusion:

It is seen that the proposed DA algorithm for wind energy potential calculation can be used to estimate Weibull and two-component mixed Weibull distribution parameters.



Rüzgar hız dağılımı modelinin yusufcuk algoritması ile parametre tahminlemesi

Bayram Köse^{1*}, Hilmi Aygün², Semih Pak³

¹Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İzmir Bakırçay Üniversitesi, İzmir, 35665, Türkiye

²Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi, Karabük, 78050, Türkiye

³Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi, Karabük, 78050, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Yusufcuk Algoritmasının rüzgar hız modellemesinde parametre tahmini için kullanımı
- YA, GA ve PSO optimizasyon algoritmaları ile sayısal yöntemlerin (MY ve EKKY) karşılaştırılması
- Weibull olasılık dağılım fonksiyonu (Wodf) ile iki bileşenli karma Weibull dağılım fonksiyonunun karşılaştırılması

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş:

Kabul:

DOI:

10.17341/gazimmfd.935689

Anahtar Kelimeler:

Weibull dağılımı parametreleri, yusufcuk algoritması, rüzgâr enerjisi potansiyeli, tahminleme

ÖZ

Artan enerji ihtiyacını karşılamak ve çevresel problemlerin çözümü için yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi, teknoloji geliştirme çalışmaları ve ekonomik yatırımlarla devam etmektedir. Sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarının tespit edilmesi ve tahminlemesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Yenilenebilir bir enerji olan rüzgâr enerjisinin potansiyel hesabı ve rüzgar karakterizasyonunda olasılık dağılım fonksiyonlarından faydalanılmaktadır. Bu çalışmada rüzgar hız modellemesinde kullanılan Weibull olasılık dağılım fonksiyonu (Wodf) ile tek tepeli olmayan rüzgar hız verilerini modellemede kullanılan iki bileşenli karma Weibull dağılımı parametrelerini tahmin etmek üzere Yusufcuk Algoritması (YA) önerilmiştir. Önerilen yöntemin performansı, meta-sezgisel optimizasyon algoritmalarından Genetik Algoritma (GA) ve Parçacık Sürüşü Optimizasyonu (PSO) ile sayısal yöntemlerden Moment Yöntemi (MY) ve En Küçük Kareler Yöntemi (EKKY) ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bu parametre tahmin yöntemlerinin performansı, belirlilik (Determinasyon) katsayısı (R2) ve Hata Kareleri Ortalaması Karekökü (HKOK) ölçütleri ile tespit edilmiştir. Çalışmada 6 ölçüm istasyonundan elde edilen veriler kullanılmıştır. Performans ölçütlerine göre Weibull dağılım modeline kıyasla iki bileşenli Weibull dağılımının tüm istasyonlarda daha etkili olduğu görülmüştür. Önerilen YA algoritmasının, rüzgar hız modellemesinde parametre tahmini için etkin şekilde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Parameter estimation of the wind speed distribution model by dragonfly algorithm

H I G H L I G H T S

- The use of the Dragonfly Algorithm for parameter estimation in wind speed modeling
- Comparison of DA, GA and PSO optimization algorithms with numerical methods (MM and LSM)
- Comparison of Weibull probability function (Wodf) and two component mixed Weibull distribution function

Article Info

Research Article

Received:

Accepted:

DOI:

10.17341/gazimmfd.935689

Keywords:

Weibull distribution parameters, dragonfly algorithm, wind energy potential, estimation

ABSTRACT

In order to meet the increasing energy demand and to solve environmental problems, the interest in renewable energy sources continues with technology development studies and economic investments. Various methods are used to determine and estimate sustainable and renewable energy sources. Probability distribution functions are used in wind characterization and potential calculation of wind energy. In this study, the Dragonfly Algorithm (DA) is proposed to estimate the Weibull probability distribution function (Wpdf) parameters used in wind speed modeling and the two-component mixed Weibull distribution parameters used in modeling non-single peak wind speed data. The performance of the proposed method has been evaluated by comparing not only the classical methods which are the moment method (MM) and the least squares method (LSM) but also metaheuristic optimization algorithms which are Genetic Algorithm (GA) and Particle Swarm Optimization (PSO). Determination coefficient (R2) and root mean square error (RMSE) were used to evaluate the performance of these parameter estimation methods. Data obtained from 6 measurement stations were used in the study. According to the performance criteria, the two-component Weibull distribution was found to be more effective at all stations compared to the Weibull distribution model. It has been concluded that the proposed DA algorithm can be used effectively for parameter estimation in wind speed modeling.

*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : *bayram.kose@bakircay.edu.tr, hilmiaygun@karabuk.edu.tr, semihpak@karabuk.edu.tr / Tel: +90 505 695 2179

1. Giriş (Introduction)

Küresel ekonomi ve kentleşme artarken, enerji talepleri de artmaktadır. Birincil enerji kaynaklarının rezervlerinin azalması, enerji krizleri, çevre sorunları tehdidi ve küresel iklim değişikliğinin durumu insanların yaşam standartlarının sürdürülebilirliğini etkilemektedir. Küresel enerji tasarrufu ve emisyon azaltımının aciliyeti ile hükümetler, yenilenebilir ve temiz sürdürülebilir enerji kaynaklarını devreye almaya ve güçlendirmeye çalışmaktadırlar [1].

Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar ve fotovoltaik enerji santralleri en çok yatırım yapılan alanlar olarak öne çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları Türkiye'nin elektrik enerjisi kurulu gücü açısından değerlendirildiğinde hidrolik enerjinin yanı sıra rüzgar enerjisi ön plana çıkmaktadır. Türkiye'nin 2013-2020 yılları kurulu enerji gücünün kaynaklara göre dağılımı Tablo 1'den incelenebilir [2, 3]. Dünyada ve ülkemizde teknolojik gelişmeler yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili yeni enerji endüstrilerinin gelişimine de sebep olmaktadır. Rüzgar enerjisi endüstrisinin gelişmesi için yatırım alanlarının doğru tespit edilmesi ve yatırım planlamalarının isabetli yapılması gerekmektedir.

Rüzgar enerjisi potansiyelinin optimum kullanımı için, kurulumdan önce belirli bir yerde bir rüzgar türbininin yıllık ortalama rüzgar enerjisi üretim potansiyeli öncelikli olarak hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalar için, rüzgar hızının fonksiyonu olan rüzgar türbinine özgü güç eğrisi, komşu rüzgar türbinlerinden gelen iz etkileri, rüzgar türbininin zamansal kullanılabilirliği ve rüzgar hızı dağılımı sonuçlarından faydalanılmaktadır [4]. Enerji potansiyeli hesabında hatanın mümkün olduğunca küçük olması için çok sayıda araştırma yapılmaktadır. Ölçüm yapılan yerin istatistiksel özelliklerinin doğru bir şekilde tanımlanması çok önemlidir [4]. Weibull olasılık dağılım fonksiyonu rüzgar karakterizasyonu için yaygın kullanılan bir fonksiyondur. Ayrıca tek tepeli olmayan rüzgar verileri için iki bileşenli karma Weibull dağılım fonksiyonu da kullanılmaktadır. Bölgesel rüzgar karakterizasyonu için Weibull olasılık dağılımını uygulamadaki zorluk, k şekil ve c ölçek parametrelerinin mümkün olan en küçük hatayla tahmin edilmesidir [5].

Rüzgar hızı için güç sistemi çalışmalarında, özellikle en yaygın kullanılan Weibull dağılımının rüzgar karakterizasyonunu temsilinin zayıf olduğu yerler için farklı olasılık yoğunluğu fonksiyonları (OYF) araştırılmıştır. Alzubaidi vd. [6], Rayleigh, Weibull, Gamma, Lognormal, Normal, Ters Gaussian, Genelleştirilmiş Aşırı Değer dağılımı ve Üstel dağılımları içeren çeşitli OYF'leri düşük rüzgar hızı verilerini modellemek için kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlarla, Gamma dağılımının ve Genelleştirilmiş Aşırı Değer dağılımının rüzgar hızı verilerinin modellenmesi için iyi performans sağladığı gösterilmiştir.

Carta vd. [7], 10 farklı olasılık dağılım fonksiyonunu rüzgar hızı karakteristiğini temsil açısından incelemiş, Köse vd. [8], Weibull ile Burr dağılımının temsil gücünü incelemiştir. Özkan vd. de [9], rüzgar

verilerini, Log-Normal ve Gamma dağılımlarını kullanarak analiz etmişlerdir ve buna benzer literatür de çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların bir kısmı uygun dağılımı araştırırken bir kısmı da parametre tahmin yöntemlerini incelemiş [8] ve yöntem önermişlerdir [10]. Weibull ölçek ve şekil parametrelerini tahmin etmek için güç yoğunluğu yöntemi Akdağ vd. [10] tarafından önerilmiştir. Yöntemin daha basit formülasyona sahip olduğunu, daha kolay uygulanabileceğini ve ayrıca daha az hesaplama gerektirdiğini göstermişlerdir.

Bununla birlikte, bazı durumlarda, bu sayısal yöntemlerle hesaplanan parametreler rüzgar hızı dağılımını tatmin edici bir şekilde temsil edemez. Bu nedenle, rüzgar enerjisi alanında daha yeni çalışmalarda sezgisel yöntemler uygulanmıştır [1, 5]. Son zamanlarda, Genetik Algoritma (GA), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) [11] gibi meta-sezgisel optimizasyon algoritmaları rüzgar enerjisi uygulamalarında Weibull dağılım fonksiyonunun parametrelerini tahmin etmek için kullanılmaktadır. GA kullanarak elde edilen sonuçlar, geleneksel istatistiksel yöntemlere kıyasla parametre tahmininde umut verici gelişmeler göstermektedir [12].

Jiang vd. [1] Weibull, Rayleigh, Gamma ve Lognormal olasılık dağılımlarını rüzgar karakterizasyonu için değerlendirmişlerdir. Dağılım parametrelerini tahmin etmek için üç sayısal yöntem; Moment Yöntemi (MY), Maksimum Olabilirlik Yöntemi (MOY) ve En Küçük Kareler Yöntemi (EKKY) kullanmışlardır. Ayrıca, optimum parametreleri bulmak için yarası algoritması (bat algoritım: BA), Guguk Kuşu Algoritması (GKA) ve PSO dahil olmak üzere üç farklı Meta-sezgisel Optimizasyon Algoritması (MOA) kullanmışlardır. Sonuç olarak MOA'ların sayısal yöntemlerden daha iyi performans gösterdiği bildirilmiştir.

Rüzgar enerjisi kaynak değerlendirmesinde doğru parametre tahmini büyük önem taşıdığından, rüzgar karakterizasyonu için farklı OYF'lerin yanı sıra optimum parametrelerin tahmini için Sosyal Örümcek Optimizasyonu (SÖO) adı verilen yeni bir meta-sezgisel optimizasyon algoritması da önerilmiştir [13]. Mühendislik çalışmalarında Tavuk Sürüsü Optimizasyonu (TSO) [14], PSO, Gri Kurt Optimizasyonu (GKO) [15] ve Yusufçuk Algoritması (YA) [16] gibi sürü algoritmaları çok aktif bir araştırma alanı haline gelmiştir.

Bu çalışmada, 6 gözlem istasyonundan alınan veriler kullanılmıştır. Weibull dağılımı modeli ile analiz için olasılık yoğunluk fonksiyonu şekil ve ölçek parametreleri, farklı matematiksel yöntemler ve optimizasyon algoritmaları kullanılarak hesaplanmıştır. Parametre tahmin yöntemleri ile elde edilen Weibull dağılımları çeşitli istatistiksel hata analizleri ile değerlendirilmiş, dağılım ve parametre tahmin yöntemleri açısından en uygun yöntemin tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Veriler arasında iki istasyon ölçüm verileri tek tepeli olmadığı için, ayrıca iki bileşenli Weibull dağılımı kullanılarak bu iki istasyonun ölçüm verilerinin istatistiksel modellenmesi incelenmiştir. Çalışmada rüzgar hızı verilerinin, iki bileşenli Weibull dağılımına uygunluğu için ölçek ve şekil parametrelerinin daha iyi tahmin

Tablo 1 Türkiye'nin kurulu elektrik enerjisi gücünün kaynaklara göre dağılımı [2, 3]
(Distribution of Turkey's installed electrical energy power based on resources)

Kurulu Güç Kapasitesi	2013 (MW)	2014 (MW)	2015 (MW)	2016 (MW)	2017 (MW)	2018 (MW)	2019 (MW)	2020 (MW)
Termik Enerji	38648	41800,7	41848,6	44411	46926	46931,9	47664	47952,4
Hidrolik Enerji	22289	23640,9	26137,2	26681	27273	28336,3	28503	31440,8
Rüzgar Enerjisi	2759,6	3629,7	4561,4	5751	6516	6995,5	7591	10014,1
Jeotermal Enerji	310,8	404,9	979,8	821	1063	1239,7	1514	1650,2
Güneş Enerjisi	-	40,18	327,6	833	3420	5047,4	5995	7435,2
Toplam	64007,5	69516,4	73854,6	78497	85200	88550,8	91267	98492,7

edilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla önerilen Yusufçuk algoritması (YA), GA ve PSO optimizasyon algoritmaları ile sayısal yöntemlerden grafik yöntemi (En küçük kareler yöntemi: EKKY) ve moment yöntemi (MY) kullanılarak karşılaştırılmıştır.

2. Metodoloji (Methodology)

2.1. Rüzgar Verileri (Wind Data)

Karabük Esnaf ve Sanatkarlar Kooperatifi (KARES) Alışveriş Merkezi (AVM) tarafından Karabük'teki Kahyalar Köyü'nde kurulan ölçüm istasyonundan alınan veriler ve Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nce (MGM) ölçümleri yapılan 5 farklı istasyon verileriyle rüzgar hızı karakterizasyonu ve parametre tahmini gerçekleştirilmiştir. Kaydedilen verilere göre yıllık ortalama rüzgar hızları yaklaşık, Karabük 1,17 m/s, Osmaniye 2,21 m/s, Söke 2,64 m/s, Kahyalar 3,37 m/s, Mersinköy 5,85 m/s ve Gelibolu 7,97 m/s olarak tespit edilmiştir [8].

Rüzgar hızının zaman serisi olarak kaydedilmiş verilerinden sayısal olmayan veya geçersiz veriler, verilerin iyileştirilmesi için dikkate alınmamıştır. Alınan veriler için ortalama hız \bar{v} ve standart sapma (σ) Eş. 1 ve Eş. 2 ile hesaplanmıştır.

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

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2} \quad (2)$$

Weibull dağılım parametrelerini tahmin etmek için kullanılan yöntem, veri serilerinin, rüzgar hızı verilerinin 1 m/s aralıklara bölünmesiyle yapılan bir frekans dağılımında düzenlenmesini gerektirir. Her veri sınıfının (rüzgar hız sınıfı) meydana gelme sıklığı f_i kullanılarak, hız aralığının gerçekleşme olasılığı $f(v_i)$ Eş. 3 ile elde edilir.

$$f(v_i) = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} = \frac{f_i}{N} \quad (3)$$

Frekans bilgileri ve rüzgar hız aralıkları kullanılarak ortalama hız Eş. 4 ile, frekans dağılımının standart sapması Eş. 5 ile hesaplanmaktadır.

$$\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \cdot v_i}{\sum_{i=1}^n f_i} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n f_i \cdot v_i \quad (4)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n f_i \cdot (v_i - \bar{v})^2} \quad (5)$$

2.2. Olasılık Dağılım Fonksiyonları (Probability Distribution Functions)

2.2.1. Weibull Olasılık Dağılım Fonksiyonu (Weibull Probability Distribution Function)

Weibull olasılık dağılım fonksiyonu (Wodf), rüzgar hız frekansının modellenmesinde yaygın olarak kullanılan, ölçümlerden çeşitli

yöntemlerle yüksek geçerlilikle parametreleri hesaplanan bir olasılık dağılımıdır. Weibull olasılık dağılımına ait olasılık yoğunluk fonksiyonu Eş. 6 ile, birikimli dağılım fonksiyonu Eş. 7 ile temsil edilmektedir.

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (6)$$

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (7)$$

2.2.2. İki bileşenli weibull olasılık dağılım fonksiyonu (Two components mixture weibull probability distribution function)

Karma olasılık dağılım fonksiyonları çeşitli olasılık dağılımlarının farklı oranlarda katılmalarından oluşmaktadır ve çok tepeli verilerin olasılık modellenmesinde daha kullanışlı olmaktadır [17]. İki bileşenli Weibull olasılık dağılımı Eş. 8 ile verilmektedir. Burada w simgesi iki dağılımın katılma oranlarını temsil etmektedir. [18].

$$f(v, w, k, c, k_1, c_1) = w * \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} + (1-w) * \frac{k_1}{c_1} \left(\frac{v}{c_1}\right)^{k_1-1} e^{-\left(\frac{v}{c_1}\right)^{k_1}} \quad (8)$$

2.3. Parametre Tahmin Yöntemleri (Parameter Estimation Methods)

Weibull dağılım parametrelerini tahmin için grafik yöntemi minimum hesaplama ile gerçekleştirilen ilk tercih edilen yöntemlerden biridir [19]. Bunun yanısıra moment yöntemi, maksimum olabilirlik yöntemi yaygın kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemler haricinde güç yoğunluğu gibi çeşitli sayısal yöntemler önerilmiştir. Son zamanlarda ise sezgisel yöntemlerin kullanımı oldukça artmıştır.

2.3.1. Sayısal yöntemler (Numerical methods)

2.3.1.1. Grafik yöntemi ile parametre tahmini (Parameter estimation by graphic method)

Weibull dağılım parametrelerini tahminde Grafik Yöntemi olarak da bilinen En Küçük Kareler Yöntemi'ni (EKKY) kullanmak için rüzgar hızı verileri birikimli frekans dağılım biçiminde temsil edilmelidir. Bu yöntemin temeli, parametreleri bulmak için, birikimli dağılım frekanslarının logaritmik dönüşümle doğrusallaştırılmasına dayanır [8, 13]. Grafiksel yöntemde birikimli weibull olasılık dağılımına iki kez logaritmanın uygulanması gerekir. Bu şekilde doğrusal regresyon modeli elde edilir ve Eş. 9 ile Eş. 10 kullanılarak parametreler tahmin edilir [20].

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

$$y = ax + b; \quad k = a, \quad c = e^{-b/a} \quad (10)$$

Grafik yönteminin uygulanması iki aşamadan oluşmaktadır: İlk olarak rüzgar hızı verilerinin birikimli frekans dağılımı hesaplanır, ikinci olarak doğrusal en küçük kareler problemi çözülerek ölçek ve şekil parametreleri bulunur [21].

2.3.1.2. Moment yöntemi ile parametre tahmini (Parameter estimation by moment method)

Moment yönteminde (MY) Weibull dağılımının c ve k parametreleri, ortalama rüzgar hızı ve standart sapma kullanılarak hesaplanır. MY ve grafiksel yöntem, çok az hesaplama gerektirdikleri için basit

yöntemler olarak kabul edilir. Gamma fonksiyonu $\Gamma(x)$ Eş. 11 ile, ortalama hız \bar{v} Eş. 12 ile ve standart sapma σ Eş. 13 ile hesaplanmaktadır [22]. Weibull dağılım parametreleri iteratif tekniklerle ortalama hız ve standart sapma kullanılarak elde edilmektedir.

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{x-1} dt \quad (11)$$

$$\bar{v} = c\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (12)$$

$$\sigma = c \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

Bazı çalışmalarda ampirik yöntem olarak da bilinen Eş. 14 ile verilen denklem, moment yönteminin özel bir durumu olarak hesaplamalarda kullanılmaktadır. Bu yöntemde, Weibull parametrelerinden şekil parametresini tahmin etmek için Eş. 14 kullanılır, ölçek parametresini tahmin etmek için ise Eş. 12 kullanılır [20].

$$k = \left(\frac{\sigma}{\bar{v}} \right)^{-1.086} \quad (14)$$

2.3.2. Meta-sezgisel Yöntemler (Metaheuristic Methods)

2.3.2.1. Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ve genetik algoritma

(GA) ile parametre tahmini

(Parameter estimation with particle swarm optimization (PSO) and genetic algorithm (GA))

PSO algoritması, optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılan popüler sürü algoritmalarından biridir. Kuşların yiyecek ararken gösterdiği davranışlardan esinlenerek geliştirilmiştir. Her bir kuş (parçacık) yiyeceğe en yakın kuşa göre konumunu değiştirir. Algoritmanın başlangıcında parçacıkların konumları rastgele atanır. Parçacıkların konumu hedef fonksiyonuna göre değerlendirilir. Her bir iterasyonda optimum çözüme en yakın parçacığın konumu (global en iyi çözüm) ve her bir parçacığın o ana kadar elde ettiği en iyi konumu (lokal en iyi çözüm) belirlenir. Bu bilgiler kullanılarak, parçacıkların yeni konum ve hızları belirlenir. Son iterasyona ulaşına kadar aynı işlemler tekrarlanır ve elde edilen global en iyi çözüm, optimum çözümü verir [23, 24].

GA algoritma, kısıtlı ve kısıtsız optimizasyon problemlerini çözmede kullanılan, canlılarda yaşanan genetik sürecin modellenmesiyle türetilmiş bir yöntemdir. Algoritmada başlangıç popülasyonu rastgele üretilir ve bu popülasyon içindeki kromozomların hedef fonksiyonu değerleri hesaplanır. Bu değerlere göre kromozomlar eşlenerek yeniden kopyalama ve değiştirme işlemleri gerçekleştirilir. Böylece yeni bir popülasyon elde edilir. Yeni kromozomlar hedef fonksiyonuna göre değerlendirilerek popülasyonun başarısı tespit edilir. Algoritmanın sonunda elde edilen en iyi kromozom, optimum çözümü verir [25].

2.3.2.2. Yusufçuk algoritması (YA) ile parametre tahmini

(Parameter estimation with dragonfly algorithm (DA))

Yusufçuk Algoritması (YA) sezgisel optimizasyon algoritmaları içerisinde oldukça yeni bir algoritmadır. YA, diğer birçok optimizasyon algoritması gibi doğadan esinlenerek sürü davranışı üzerine kurgulanmıştır. Algoritma avlanma ve göç durumunda sürü tepkisi sunan Yusufçuk kümelerinin davranışı üzerine inşa edilmiştir.

Algoritma, kümelere yer alan Yusufçukların yiyecek bulunduğu yiyeceğe yönelmesi ve düşman ile karşılaştığında ise düşmandan kaçacak şekilde pozisyonlandırılması mantığına dayanarak kurgulanmıştır. Optimizasyonda tek bir Yusufçuk kümesi olabileceği gibi probleme göre birden fazla Yusufçuk kümesi ile de çalışılabilir. Optimizasyon işlemi devam ettiği sürece kümelere her bir Yusufçukun pozisyonu bireysel olarak güncellenmektedir. YA'nın program akışı Tablo 2'de verilmektedir [16, 26, 27].

YA, ayrılma (separation), hizalama (alignment), uyum (cohesion) şeklinde üç temel operatöre sahiptir. Ayrılma operatörü sürü içerisindeki her bir Yusufçukun komşuluk içinde diğer Yusufçuklara çarpmadan arama uzayında gezmesini sağlamaktadır. Hizalama operatörü, sürü içerisindeki her bir Yusufçukun komşuluk içinde diğer Yusufçuklarla senkron halde gezmesini sağlamaktadır. Uyum operatörü ise Yusufçukun, komşu Yusufçukların kütle merkezine doğru eğilimini ifade eder. Ayrılma S_i , Hizalama A_i ve Uyum C_i değerlerinin hesapları sırasıyla Eş. 15, Eş. 16 ve Eş. 17 ile verilmiştir.

Tablo 2 Yusufçuk Algoritmasının sözde kodu
(Pseudo code of the Dragonfly Algorithm)

Yusufçuk popülasyonunu oluştur $X_i (i=1, 2, \dots, n)$
Adım vektörünü oluştur $\Delta X_i (i=1, 2, \dots, n)$
While (sonlandırma koşulu tamamlanana kadar devam et)
Tüm yusufçukların uygunluk değerini hesapla
Yiyecek kaynağını ve düşmanı güncelle
Ağırlık değerlerini güncelle (s, a, c, f, e ve w)
 S, A, C, F ve E değerini hesapla Eş. 15- Eş. 19
Komşuluk yarı çapını güncelle
if (en az bir komşun varsa)
Adım vektörünü güncelle Eş. 20
Pozisyon vektörünü güncelle Eş. 21
else
Pozisyon vektörünü güncelle Eş. 22
end if
Yusufçukların optimizasyon sınırlar içinde kalmasını sağla
end while

$$S_i = -\sum_{j=1}^N (X - X_j) \quad (15)$$

$$A_i = \frac{\sum_{i=1}^N (V_i)}{N} \quad (16)$$

$$C_i = \frac{\sum_{i=1}^N (X_j)}{N} - X \quad (17)$$

Yiyeceğe yönelme operatörü F_i global en iyi çözüme yönelimi ifade ederken, düşmandan kaçma operatörü E_i ise en kötü çözümden uzaklaşmayı ifade eder. Bu işlemler de sırasıyla Eş. 18 ve Eş. 19 ile verilmiştir.

$$F_i = X^+ - X \quad (18)$$

$$E_i = X^- + X \quad (19)$$

Program akışından da görüldüğü gibi bu beş işlemin tamamlanmasının ardından komşuluk yarıçapında komşunun olması

halinde her bir yusufluğun sırasıyla Eş. 20 ve Eş. 21 kullanılarak pozisyon güncellemesi yapılır.

$$\Delta X_{t+1} = (sS_i + \alpha A_i + cC_i + fF_i + eE_i) + w\Delta X_t \quad (20)$$

$$X_{t+1} = X_t + \Delta X_t \quad (21)$$

Eğer komşuluk yarıçapında komşu yoksa pozisyon güncellemesi rastsalılığı geliştirmek için Eş. 22, Eş. 23 ve Eş. 24 ile verilen bağıntılar kullanılır. Burada σ Lévy uçuş dağılımını ifade etmektedir [16, 26, 27].

$$X_{t+1} = X_t + Levy(d)X_t \quad (22)$$

$$Levy(x) = 0.01 \times \frac{r_1 \times \sigma}{|r_2|^{\frac{1}{\beta}}} \quad (23)$$

$$\sigma = \left(\frac{\Gamma(1+\beta) \times \sin\left(\frac{\pi\beta}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1+\beta}{2}\right) \times \beta \times 2^{\left(\frac{\beta-1}{2}\right)}} \right)^{-\beta} \quad (24)$$

Bu çalışmada amaç fonksiyonu olarak, Eş. 25 ile verilen hata kareleri toplamının en aza indirilmesi hedeflenmektedir. Histogramda gözlemlenen rüzgar hız olasılık değerleri ile Weibull dağılımı tarafından üretilen hız dağılımı olasılığı farkı, amaç fonksiyonunda hatayı ifade etmektedir [5].

$$E = \sum_{v_i=1}^n \left(f_{gözlem}(v_i) - f_{tahmin}(v_i) \right)^2 \quad (25)$$

Burada, n histogram hız aralıklarının sayısıdır, $f_{tahmin}(v_i)$ hesaplanan parametrelerle ayarlanan frekansları ve $f_{gözlem}(v_i)$ histogramda gözlemlerden oluşan frekansları göstermektedir.

3. Sonuç ve Değerlendirme (Conclusion And Evaluation)

3.1. Performans Değerlendirme Ölçütleri (Performance Evaluation Criteria)

Bu çalışmada gözlemlenen rüzgar verileri için Weibull olasılık dağılımı parametre tahmin yöntemlerinin performansı, Eş. 26 ile verilen hata kareleri ortalaması karekökü (HKOK) ve Eş. 27 ile verilen belirlilik katsayısı (R^2) istatistiksel analizleri kullanılarak değerlendirilmiştir [9].

$$HKOK = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2 \right]^{0.5} \quad (26)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y})^2} \quad (27)$$

Burada, N histogram hız aralıklarının sayısını, y_i gözlemlenen rüzgar hızı esme olasılığını, x_i tahmin edilen rüzgar hızı esme olasılığını, \hat{y} ise y_i değerlerinin ortalamasını gösterir. Genellikle, HKOK'nün daha düşük olması veya R^2 değerinin daha büyük olması, hatta 1'e yakın olması, elde edilen sonuçların daha iyi olduğunu gösterir.

3.2. Bulgular ve Analiz (Results and Analysis)

Ölçüm istasyonlarının verileri kullanılarak rüzgar karakterizasyonu gerçekleştirmek için sayısal yöntemlerden EKKY ve MY yöntemleri ile birlikte meta-sezgisel optimizasyon algoritmalarından GA, PSO ve YA kullanılarak Weibull dağılım parametreleri tahmin edilmiştir. Veriler arasında iki tepeli histogramlar da olduğundan daha hassas tahminler yapmak amacıyla iki bileşenli karma Weibull dağılım fonksiyonu da rüzgar karakterizasyonu için kullanılmıştır. Bu yöntemlerle elde edilen Weibull dağılım modeli ile iki bileşenli karma Weibull dağılım modelinin; şekil ve ölçek parametreleri ile dağılım karma oranı parametreleri Tablo 3'de sunulmuştur.

Tablo 3 analiz edildiğinde sezgisel optimizasyon yöntemleri ile elde edilen parametreler tek tepeli verilerde birbirine yakın çıkmıştır. Karma Weibull dağılım modeli bütün istasyon verilerine uygulanmış, sayısal yöntemlerden EKKY ve MY için hesaplamalar çok zor ve pratik olmadığı için karma oranı $w=1$ alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Söke ve Gelibolu istasyonlarına ait iki tepeli verilerde ise, GA ve PSO algoritmaları $w=1$ tahmin ettiği için iki bileşenli Weibull dağılımı tek bileşenli gibi davranarak tek tepeli verilerin parametrelerine eşit değerlere ulaştığı görülmüştür. Buna karşın YA karma weibull dağılımının parametrelerini iki tepeli veriler elde edecek şekilde bu istasyonlar için tahmin etmiştir.

Rüzgar hız dağılımını gösteren histogram ile parametreler kullanılarak Weibull dağılım fonksiyonlarının oluşturduğu olasılık dağılım eğrilerinin durumu Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmiştir.

İki bileşenli Weibull dağılımına ait grafikler incelendiğinde Söke, Gelibolu ve Mersinköy'de YA, diğer meta-sezgisel algoritmalarından rüzgar hızı frekansını daha iyi tahmin ettiği görülmektedir. Karabük ve Osmaniye'de PSO diğerlerinden daha iyi sonuç vermekle birlikte, YA algoritması, PSO'ya yakın sonuçlar vermektedir. Kahyalar da ise GA en iyi performansı göstermiştir.

Tek bileşenli Weibull dağılımına ait grafikler incelendiğinde, Karabük'te YA ve GA, histogram grafiği ile en iyi uyumu göstermiştir. Söke'de 5 m/s hızın altındaki hız frekansları PSO ile daha iyi tahminlenmekte, buna karşın diğer hız frekansları sayısal yöntemler ile daha iyi tahminlenmiştir. Kahyalar, Mersinköy, Gelibolu ve Osmaniye'de meta-sezgisel algoritmalar aynı sonuçlar elde edilmektedir. Mersinköy'de MY meta-sezgisel algoritmalar ile aynı sonucu vermekte, Gelibolu'da ise 9 m/s hızın altındaki esme yoğunluklarını tahminlemede meta-sezgisel algoritmalar sayısal yöntemlerden daha iyi iken, daha yüksek hızlardaki esme yoğunlukları için sayısal yöntemler daha başarılıdır.

Weibull ODF parametrelerini elde etme yöntemlerinin performans ölçütlerine ilişkin sonuçlar Tablo 4'de sunulmuştur. Hem Weibull hem de iki bileşenli karma Weibull dağılım modellerinde R^2 ve HKOK ölçütü beraber dikkate alınarak, yöntemlerin ürettiği sonuçlar ile ölçüm sonuçlarının uyumu incelendiğinde, bütün istasyonlarda YA, sayısal yöntemlerden daha iyi sonuç vermiştir. Tablo 4'te iki bileşenli karma Weibull dağılım modeline ait performans kriterleri incelendiğinde Gelibolu, Mersinköy ve Söke'de YA algoritması en iyi başarıyı göstermiştir. Diğer istasyonlarda ise PSO ile GA'ya yakın

Tablo 3 Hesaplanan Weibull (Wodf) parametreleri (Calculated Weibull (Wpdf) parameters)

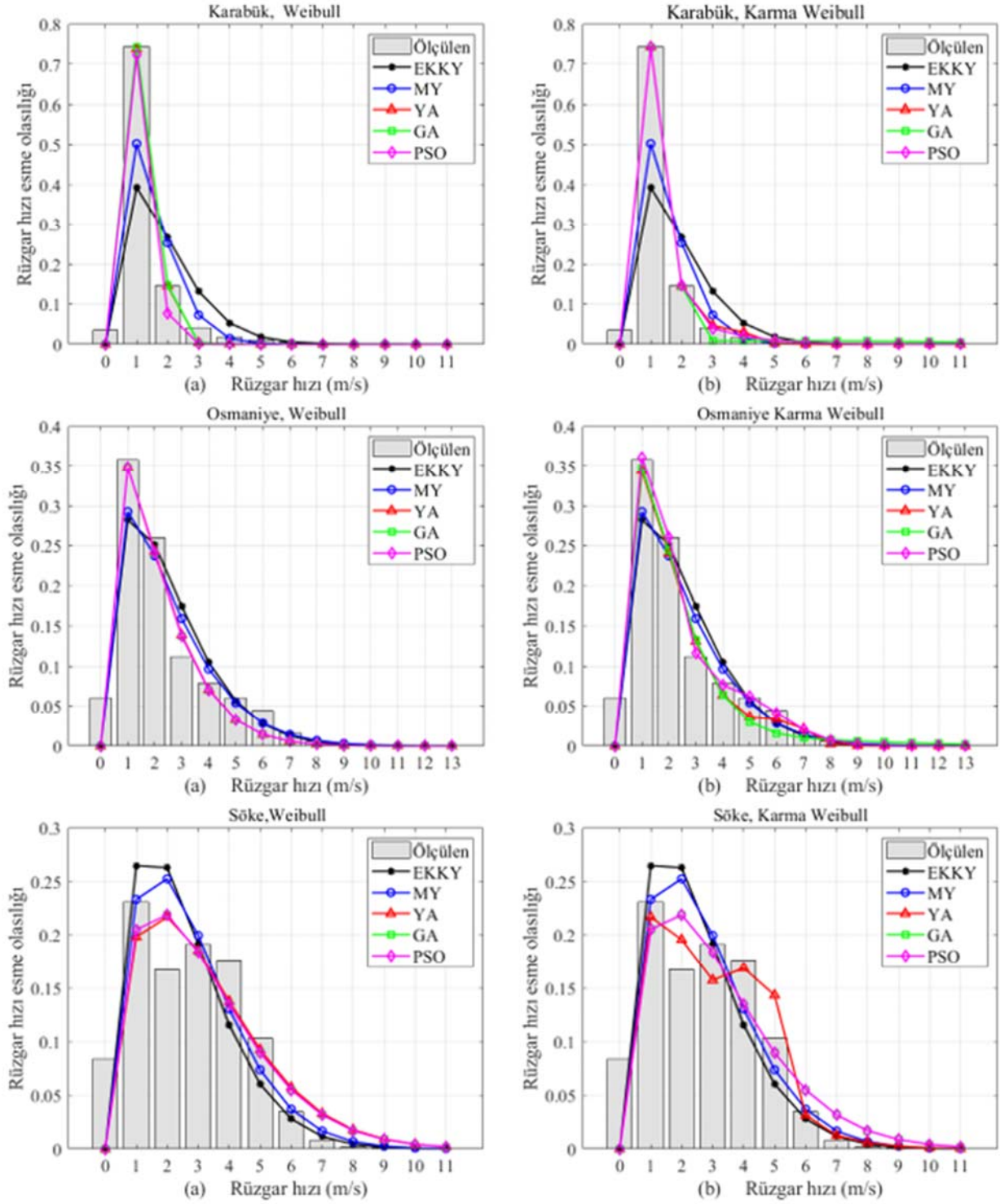
Gözlem İstasyonları	Yöntemler	Weibull Model Parametreleri		İki Bileşenli Weibull Model Parametreleri				
		c	k	w	c	k	c1	k1
KARABÜK	EKKY	1,8674	1,4619	1	1,8674	1,4619	-	-
	MY	1,4676	1,5928	1	1,4676	1,5928	-	-
	YA	1,1646	2,1000	0,0991	3,4337	4,3873	1,2206	2,4829
	GA	1,1728	2,1249	0,0992	8,5126	1,7072	1,2487	2,5426
	PSO	1	1,9625	0,7141	1,2305	2,8200	2,0441	1,3179
OSMANİYE	EKKY	2,6039	1,4589	1	2,6039	1,4589	-	-
	MY	2,5061	1,3433	1	2,5061	1,3433	-	-
	YA	2,0474	1,3204	0,0591	6,4439	7,5349	1,9791	1,3906
	GA	2,0362	1,3099	0,9288	1,9485	1,4080	8,0811	2,1238
	PSO	2,0366	1,3104	0,6951	1,6450	1,9285	4,8387	2,7806
SÖKE	EKKY	2,7179	1,5814	1	2,7179	1,5814	-	-
	MY	2,9711	1,6267	1	2,9711	1,6267	-	-
	YA	3,4362	1,5413	0,2034	4,7076	6,9945	2,6919	1,4306
	GA	3,3678	1,5206	1	3,3671	1,5200	-	-
	PSO	3,3677	1,5208	1	3,3649	1,5193	-	-
KAHYALAR	EKKY	4,2933	1,9422	1	4,2933	1,9422	-	-
	MY	3,7806	1,5786	1	3,7806	1,5786	-	-
	YA	3,3901	1,6440	0,1035	10,2935	1,8942	3,1713	1,7631
	GA	3,3905	1,6437	0,1329	7,3219	5,3159	2,9880	1,8944
	PSO	3,3867	1,6455	0,0619	12,0000	2,6228	3,2437	1,7235
MERSİNKÖY	EKKY	6,4627	1,9177	1	6,4627	1,9177	-	-
	MY	6,6469	1,8520	1	6,6469	1,8520	-	-
	YA	6,5865	1,8228	0,0157	4,0427	6,9739	6,5306	1,8531
	GA	6,5878	1,8222	0,1012	10,972	4,2122	6,0359	1,8913
	PSO	6,5910	1,8242	0	-	-	6,5887	1,8235
GELİBOLU	EKKY	8,2492	1,8928	1	8,2492	1,8928	-	-
	MY	9,0102	1,8161	1	9,0102	1,8161	-	-
	YA	9,3792	1,6945	0,0650	2,3960	2,4159	9,2211	1,8925
	GA	9,3174	1,6943	1	9,3164	1,6945	-	-
	PSO	9,3186	1,6954	1	9,3167	1,6955	-	-

Tablo 4 Metotlara göre performans ölçütü değerleri (Performance criterion values according to methods)

Gözlem İstasyonları	Yöntemler	Weibull Model Performansı		İki Bileşenli Weibull Model Performansı	
		R ²	HKOK	R ²	HKOK
KARABÜK	EKKY	0,6992	0,1115	0,6992	0,1115
	MY	0,8539	0,0777	0,8539	0,0777
	YA	0,9937	0,0161	0,9970	0,0111
	GA	0,9938	0,0161	0,9947	0,0148
	PSO	0,9828	0,0266	0,9975	0,0101
OSMANİYE	EKKY	0,9050	0,0321	0,9050	0,0321
	MY	0,9253	0,0285	0,9253	0,0285
	YA	0,9565	0,0217	0,9637	0,0199
	GA	0,9566	0,0217	0,9574	0,0215
	PSO	0,9566	0,0217	0,9755	0,0163
SÖKE	EKKY	0,7304	0,0437	0,7304	0,0437
	MY	0,7947	0,0381	0,7947	0,0381
	YA	0,8392	0,0337	0,8724	0,0300
	GA	0,8401	0,0336	0,8401	0,0336
	PSO	0,8401	0,0336	0,8401	0,0336
KAHYALAR	EKKY	0,8471	0,0297	0,8471	0,0297
	MY	0,9693	0,0133	0,9693	0,0133
	YA	0,9862	0,0089	0,9895	0,0078
	GA	0,9862	0,0089	0,9976	0,0037
	PSO	0,9862	0,0089	0,9885	0,0081
MERSİNKÖY	EKKY	0,9826	0,0059	0,9826	0,0059
	MY	0,9869	0,0051	0,9869	0,0051
	YA	0,9876	0,0050	0,9886	0,0048
	GA	0,9876	0,0050	0,9884	0,0048
	PSO	0,9876	0,0050	0,9876	0,0050
GELİBOLU	EKKY	0,8609	0,0116	0,8609	0,0116
	MY	0,9294	0,0083	0,9294	0,0083
	YA	0,9418	0,0075	0,9579	0,0064
	GA	0,9419	0,0075	0,9419	0,0075
	PSO	0,9419	0,0075	0,9419	0,0075

sonuçlar vermiştir. Tablo 4'te Weibull dağılım modeline ait performans kriterleri değerlerine göre, Karabük için GA ve YA en iyi sonucu verirken; Osmaniye, Kahyalar, Mersinköy ve Gelibolu'da

meta-sezgisel algoritmalar aynı sonuçları vermektedir. Söke'de ise PSO ve GA en iyi sonucu verirken, YA algoritması bu algoritmalara yakın sonuçlar üretmiştir.

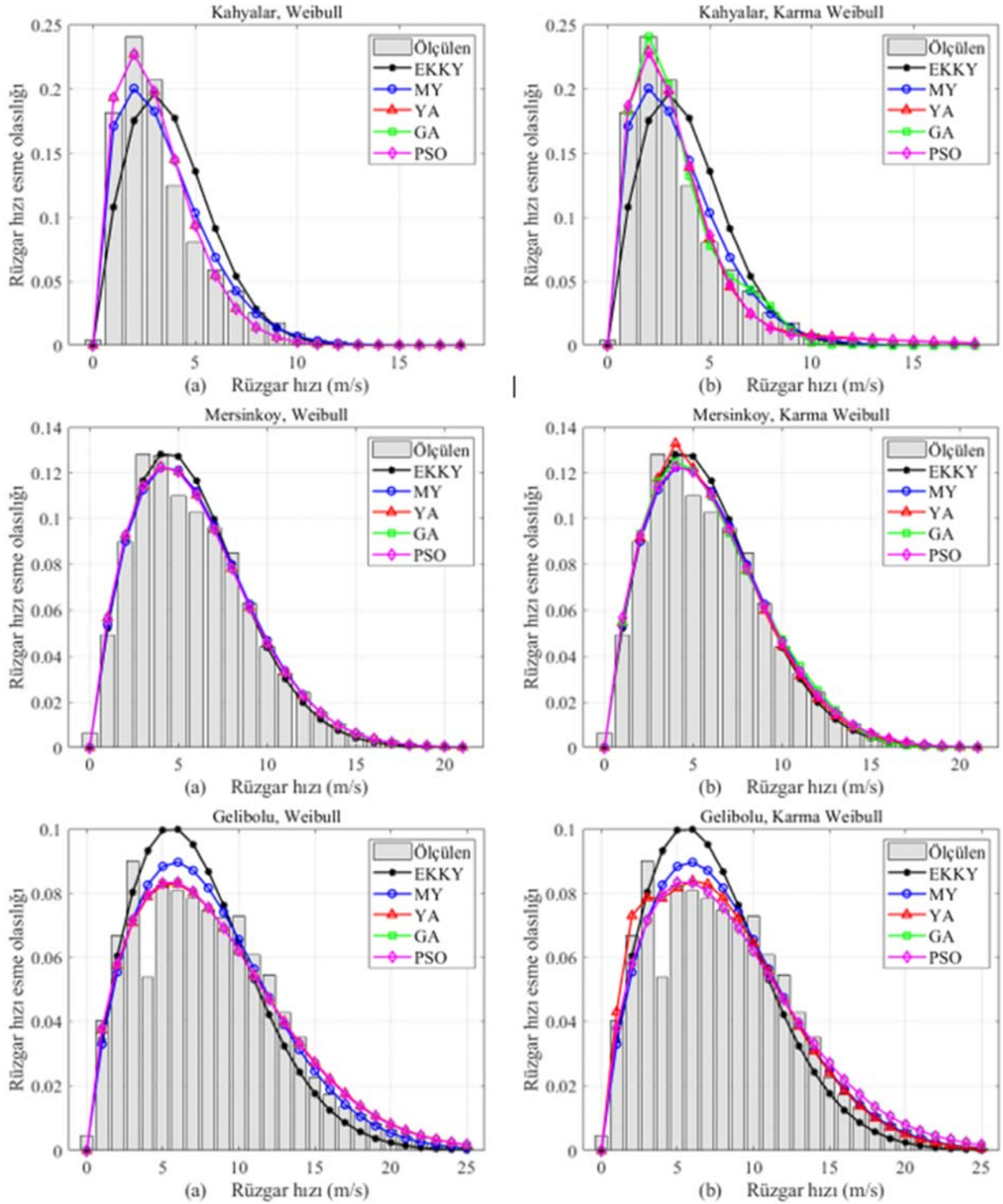


Şekil 1 Gözlem verilerine ait rüzgar hızı histogramları ve tahmin yöntemlerine ait Weibull eğrileri
(Wind speed histograms of observation data and Weibull curves of forecasting methods)

4. Simgeler (Symbols)

$f(v)$: weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu
 $F(v)$: birikimli weibull olasılık dağılım fonksiyonu

$\Gamma(x)$: gama fonksiyonu
 \bar{v} : ortalama rüzgar hızı
 σ : standart sapma
 k : weibull dağılımı şekil parametresi



Şekil 2 Gözlem verilerine ait rüzgar hızı histogramları ve tahmin yöntemlerine ait Weibull eğrileri
(Wind speed histograms of observation data and Weibull curves of forecasting methods)

c : weibull dağılımı ölçek parametresi
 w : iki bileşenli weibull dağılımı karıştırma oranı parametresi
 ΔX_{t+1} : güncel adım / hız
 ΔX_t : mevcut adım / hız
 X_t, X_j : mevcut pozisyon

X_{t+1} : güncel pozisyon
 X^+, X^- : yemek pozisyonu, düşman pozisyonu
 V_j : j. yusufoçuk hızı
 S_i : i. yusufoçuk ayrılma (separation) değeri
 A_i : i. yusufoçuk hizalama (alignment) değeri
 C_i : i. yusufoçuk uyum (cohesion) değeri

σ	: lévy uçuş dağılım parametresi	
s	: ayrılma ağırlığı	[0, 1]
a	: hizalama ağırlığı	[0, 1]
c	: uyum ağırlığı	[0, 1]
f	: yemek ağırlığı	[0, 1]
e	: düşman ağırlığı	[0, 1]
w	: atalet ağırlığı	[0, 1]
r_1, r_2	: rastsal üretilen sayılar	[0, 1]
β	: lévy uçuş dağılım parametresi	[0, 1]
N	: komşu yusuflukların sayısı	
d	: pozisyon vektörünün boyutu	
$f_{gözlem}(v_i)$: gözlemlerden oluşan frekans	
$f_{tahmin}(v_i)$: hesaplanan parametrelerle oluşan frekans	

5. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

Bu çalışmada rüzgar enerjisi çalışmalarında çok önemli olan rüzgar karakterizasyonu için Wodf ile modellemede parametre tahminlemesi için iki sayısal yöntem (MY ve EKKY) ile üç meta-sezgisel algoritmaların (önerilen YA ile GA ve PSO) başarımları test edilmiştir. Ayrıca genelde tek tepeli olmayan verileri modellemede kullanılan iki bileşenli karma Weibull dağılımı kullanılmıştır. Hem performans ölçütleri hem de grafikler incelendiğinde rüzgar esme yoğunluğunu tahmin etmede önerilen YA algoritmasının sayısal yöntemlerden daha başarılı olduğu görülmektedir. YA algoritması, literatürde kabul görmüş meta-sezgisel algoritmalarından PSO ve GA ile karşılaştırıldığında, iki bileşenli karma Weibull dağılım modeline göre 6 ölçüm istasyonundan 3 tanesinde en iyi tahminde bulunurken, diğer üç istasyonda performans sıralamasında ikinci sırada gelmektedir. Weibull dağılım modelinde ise Söke hariç diğer ölçüm istasyonlarında, YA algoritması GA ve PSO ile aynı performansı göstermiştir. Ek olarak, performans ölçütlerine göre Weibull dağılım modeline kıyasla iki bileşenli Weibull dağılımının tüm istasyonlarda daha etkili olduğu görülmektedir. Bu çalışmada önerilen YA algoritmasının Weibull ve iki bileşenli karma Weibull dağılım parametrelerinin tahminlenmesinde kullanılabileceği görülmektedir. YA yöntemi ile ağırlık katsayıları, sürü elemanı sayısı ve iterasyon sayıları değiştirilerek daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Kahyalar Meteoroloji istasyonunun verilerini kullanma izni için KARES AVM'ye ve Elektrik Müh. Basri GÜMÜŞ ve Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK'a katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar (References)

- Jiang H., Wang J., Wu J., Geng W., Comparison of numerical methods and metaheuristic optimization algorithms for estimating parameters for wind energy potential assessment in low wind regions, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 69, 1199–1217, 2017.
- Köse B., Güneşer M.T., Assessment of wind characteristics and wind energy potential in West Black Sea Region of Turkey, *Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology A - Applied Sciences and Engineering*, 20 (3), 227–237, 2019.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, EİGM raporları, <https://enerji.gov.tr/eigm-raporlari>, Erişim tarihi Mayıs 1, 2021.
- Jung C., Schindler D., Wind speed distribution selection – A review of recent development and progress, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 114, 109290, 2019.
- Andrade C.F., L. Santos L.F., Macedo M.V.S., Rocha P.A.C., Gomes F.F., Four heuristic optimization algorithms applied to wind energy: determination of Weibull curve parameters for three Brazilian sites, *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 10, 1–12, 2019.
- Alzubaidi M., Hasan K.N., Meechapola L., Identification of Suitable Probability Density Function for Wind Speed Profiles in Power System Studies, 2020 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC), Hobart-Australia, 1–6, 29 November–2 December, 2020.
- Carta J.A., Ramirez P., Velázquez S., A review of wind speed probability distributions used in wind energy analysis: Case studies in the Canary Islands, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 13 (5), 933–955, 2009.
- Köse B., Düz M., Güneşer M.T., Reçebli Z., Estimating wind energy potential with predicting Burr LSM parameters: A different approach, *Sigma J. Eng. Nat. Sci.*, 36 (2), 389–404, 2018.
- Özkan R., Sen F., Ballı S., Evaluation of wind loads and the potential of Turkey's south west region by using log-normal and gamma distributions, *Wind Struct.*, 31 (4), 299–307, 2020.
- Akdağ S.A., Dinler A., A new method to estimate Weibull parameters for wind energy applications, *Energy Convers. Manage.*, 50 (7), 1761–1766, 2009.
- Okafor E.G., Ezugwu O.E., Jemitola P.O., Sun Y., Lu Z., Weibull parameter estimation using Particle Swarm Optimization algorithm, *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (3), 7–10, 2018.
- Koca M.B., Kilic M.B., Şahin Y., Using genetic algorithms for estimating Weibull parameters with application to wind speed, *An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications*, 10 (1), 137–146, 2020.
- Alrashidi M., Rahman S., Pipattanasomporn M., Metaheuristic optimization algorithms to estimate statistical distribution parameters for characterizing wind speeds, *Renewable Energy*, 149, 664–681, 2020.
- Osama S., Darwish A., Houssein E.H., Hassanien A.E., Fahmy A.A., Mahrous A., Long-term Wind Speed Prediction based on Optimized Support Vector Regression, *Eighth International Conference on Intelligent Computing and Information Systems (ICICIS)*, Cairo-Egypt, 191–196, 05–07 December, 2017.
- Liu C., Wang Y., Grey Wolf algorithm based on S-function and particle swarm optimization, *J. Phys. Conf. Ser.*, 1453, 2020.
- Rahman C.M., Rashid T.A., Alsadoon A., Bacanin N., Fattah P., Mirjalili S., A survey on dragonfly algorithm and its applications in engineering, *Evolutionary Intelligence*, 2021.
- Doğanşahin K., Uslu A.F., Kekezoğlu B., İki bileşenli Weibull dağılımı ile rüzgâr hızı olasılık dağılımlarının modellenmesi, *European Journal of Science and Technology*, 15, 315–326, 2019.
- Carta J.A., Ramirez P., Analysis of two-component mixture Weibull statistics for estimation of wind speed distributions, *Renewable Energy*, 32 (3), 518–531, 2007.
- Seguro J.V., Lambert T.W., Modern estimation of the parameters of the Weibull wind speed distribution for wind energy analysis, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 85 (1), 75–84, 2000.
- Guarienti J.A., Almeida A.K., Neto A.M., Ferreira A.R.O., Ottonelli J.P., Almeida I.K., Performance analysis of numerical methods for determining Weibull distribution parameters applied to wind speed in Mato Grosso do Sul, Brazil, *Sustainable Energy Technol. Assess.*, 42, 100854, 2020.
- Kang D., Ko K., Huh J., Comparative study of different methods for estimating Weibull parameters: A case study on Jeju Island, South Korea, *Energies*, 11 (2), 356, 2018.
- Bingöl F., Comparison of Weibull estimation methods for diverse winds, *Adv. Meteorol.*, 2020, 2020.
- Aygun H., Demirel H., Cernat M., Control of the bed temperature of a circulating fluidized bed boiler by using particle swarm optimization, *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 12 (2), 27–32, 2012.
- Köse B., Aygun H., Pak S., Rüzgâr Enerjisinde Kullanılan Weibull Olasılık Dağılımı Parametrelerinin Tahminlenmesinde İstatistiksel Metodlar ve Optimizasyon Algoritmalarının Karşılaştırılması, *Uluslararası Katılımlı 23. Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Gaziantep-Türkiye*, 189–195, 08–10 Eylül, 2021.
- Çalışkan F., Yüksel H., Dayık M., Genetik algoritmaların tasarım sürecinde kullanılması, *SDU Journal of Technical Sciences*, 6 (2), 21–27, 2016.
- Mirjalili S., Dragonfly algorithm: A new meta-heuristic optimization technique for solving single-objective, discrete, and multi-objective problems, *Neural Computing and Applications*, 27, 1053–1073, 2016.
- Rahman C.M., Rashid T.A., Dragonfly algorithm and its applications in applied science survey, *Comput. Intell. Neurosci.*, 2019, 2019.