



Important considerations while evaluating wind energy potential

Mohammed Wadi*^{ID}, Wisam Elmasry^{ID}, Furkan Ahmet Tamyiğit^{ID}

Electrical & Electronics Engineering, Istanbul Sabahattin Zaim University, Istanbul, 34303, Türkiye

Highlights:

- Ten distribution functions are used.
- GA and PSO optimization methods are utilized.
- The Generalized Extreme Value distribution achieved the best.

Keywords:

- Cumulative Distribution Functions
- Wind Energy Modeling
- Probability Distribution Function
- Genetic Algorithms
- Particle Swarm Optimization

Article Info:

Research Article
Received: 02.02.2022
Accepted: 23.04.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1066351

Correspondence:

Author: Mohammed Wadi
e-mail: mohammed.wadi@izu.edu.tr
phone: +90 538 301 6733

Graphical/Tabular Abstract

The wind speed data are collected from the site to be analyzed. These collected data are the real dataset. The distribution functions and the optimization methods are applied to the real data to select the parameter values of each distribution. The parameter selection of a distribution can be considered a nonlinear optimization problem that minimizes the Mean Absolute Error (MAE) between the real and estimated wind speed vectors. Based on the optimal parameter values, the predicted wind data are generated. These data are the predicated dataset. The best matching is determined by utilizing different accuracy measures. Six measures such as MAE, Root Mean Square Error (RMSE), Regression coefficient (R^2), Correlation Coefficient (R), Kolmogorov–Smirnov, and Net Fitness are used. Net fitness considers one of the essential measures since it is the average of four measures and can accurately specify the distribution with the best matching.

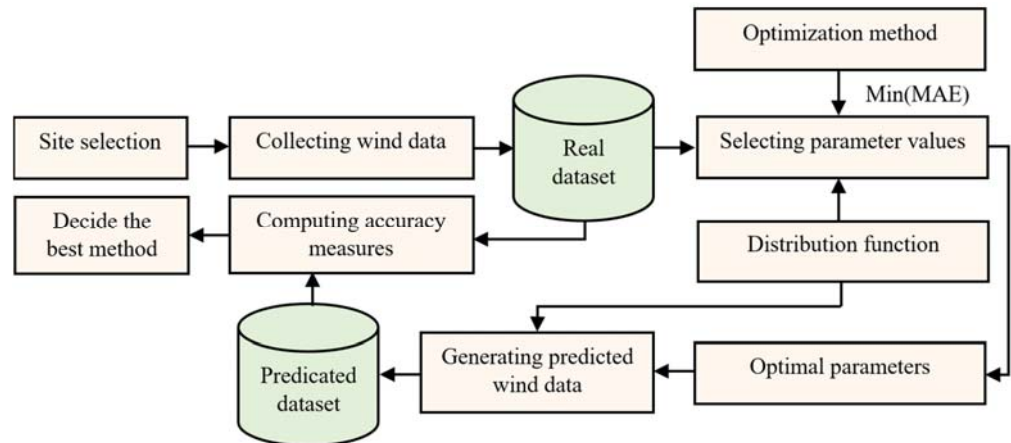


Figure A. The proposed wind energy modeling approach

Purpose:

This article aims to accurately determine the wind distribution based on different distribution functions and optimization methods. Then, the accuracy of distribution functions and optimization methods are tested based on six different measures.

Theory and Methods:

The experimental method minimizes the mean absolute error between real wind speed data and predicted wind speed data generated by the distribution functions. Two optimization methods, genetic algorithm and particle swarm optimization are utilized to select the optimal parameter values for each distribution.

Results:

The predicted wind speed patterns based on the employed ten distributions almost match the real wind speed patterns. However, The Generalized Extreme Value outperforms the others. In contrast, the Log-Logistic distribution has the worst matching after Extreme Value and Generalized Pareto distributions for all datasets. The genetic algorithm was more robust than particle swarm optimization, while the latter was faster.

Conclusion:

The matching of the predicted wind patterns with the real is mainly based on three pillars: the distribution function, the optimization method, and the error measure. Besides, the Weibull and Extreme Value distributions scale parameters can be a good indicator to expect the annual mean wind speed at any location.



Rüzgâr enerjisi potansiyelini değerlendirirken önemli hususlar

Mohammed Wadi*^{ID}, Wisam Elmasry^{ID}, Furkan Ahmet Tamyiğit^{ID}

İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, 34303, Halkalı, İstanbul, Türkiye

ÖNEÇIKANLAR

- On adet dağılım fonksiyonu kullanılması
- GA ve PSO optimizasyon yöntemleri kullanılması
- Genelleştirilmiş Aşırı Değer dağılımı ile en iyi sonuçların alınması

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 02.02.2022

Kabul: 23.04.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1066351

Anahtar Kelimeler:

Kümülatif dağılım
fonksiyonu,
rüzgâr enerjisi modellenmesi,
Olasılık yoğunluk
fonksiyonu,
Genetik algoritması,
parçacık sürü optimizasyonu

ÖZ

Rüzgâr rejimi dağılım modelinin belirlenmesi birkaç nedenden dolayı gereklidir, rüzgâr gücü çıktısını tahmin etmek en önemli konulardan biridir. Bu açıdan rüzgâr hızı dağılımını modellemek için Weibull, Gamma ve Rayleigh dağılımları en yaygın olarak kullanılan dağılımlardır. Ancak, tüm rüzgâr modellerini modellemede üstün olmayabilirler. Sonuç olarak, yerine geçecek dağılım fonksiyonlarının çalışılması gerekmektedir. Bu makale, rüzgâr hızı dağılımını tanımlamak için Weibull, Uç Değer, Ters Gauss, Lojistik, Log-Lojistik, Yarı-Normal, Burr Tipi XII, Genelleştirilmiş Uç Değer, Genelleştirilmiş Pareto ve T Konum-Ölçeği adlı on farklı dağılım fonksiyonlarını kapsamlı bir şekilde sunar. Ayrıca, her dağılımın parametre değerlerini optimize etmek için iki metasezgisel optimizasyon yöntemi olan Genetik Algoritması ve Parçacık Sürü Optimizasyonu kullanılmaktadır. Sunulan dağılımların iyi durumlarını (good-of-fitness) karşılaştırmak için yedi istatistiksel tanımlayıcı ile birlikte altı hata kriteri kullanılmıştır.

Important considerations while evaluating wind energy potential

HIGHLIGHTS

- Using ten distribution functions
- Using GA and PSO optimization methods
- Best results with Generalized Extreme Value distribution

Article Info

Research Article

Received: 02.02.2022

Accepted: 23.04.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1066351

Keywords:

Cumulative distribution
functions,
wind energy modeling,
probability distribution
function,
genetic algorithms,
particle swarm optimization

ABSTRACT

Rayleigh, Gamma, and Weibull distributions are the most widely-used distributions for modeling wind speed distribution. However, they may not be outstanding for modeling all wind patterns. Consequently, substitute distribution functions are required to be studied. This study presents a comprehensive analysis of ten different distributions to represent wind speed patterns: Weibull, Extreme Value, Inverse Gaussian, Logistic, Log-Logistic, Half-Normal, Burr Type XII, Generalized Extreme Value, Generalized Pareto, and T Location-Scale. Additionally, two optimization methods, Genetic Algorithms and Particle Swarm Optimization, are utilized to select the optimal parameter values for each distribution. The good-of-fitness, six error measures, and seven statistical descriptors are employed.

1. Giriş (Introduction)

Rüzgâr potansiyelinin tahmin edilmesi; rüzgâr santrallerinin planlanması, fizibilite çalışmaları, rüzgâr türbini tasarımı ve uzun vadeli yatırım kararları gibi birçok nedenden dolayı rüzgâr rejimi dağılım modelinin belirlenmesi esastır. Bu nedenle, rüzgâr hızı modelini doğru bir şekilde karakterize etmek için uygun dağılım fonksiyonlarını seçmek kritik bir görevdir. Ayrıca sonuçların uyumu, temel olarak, analiz edilen yerin rüzgâr modelinin en iyi eşleşmesini temsil etmeyi başaran kullanılan dağılım fonksiyonuna bağlıdır. Geçmiş yıllarda rüzgâr hızı dağılımlarını temsil etmek için Üstel (Eksponansiyel), Weibull [1, 2], Rayleigh [3], Gamma [4], Normal [5-7], Lognormal [8], Lojistik [9, 10], Beta [11], Nakagami [12], Burr Tipi XII [13], Uç Değer [14, 15], Ters Gauss [16], Log-Lojistik [17], Laplace [18], Yarı-Normal [19, 20], Genelleştirilmiş Uç Değer [21, 22], Genelleştirilmiş Pareto [23, 24], T Konum-Ölçek [25] vd. gibi birçok Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (PDF) ortaya çıkmıştır. Yine de Weibull dağılımı bu fonksiyonlar arasında en yaygın kullanılanıdır [26-28].

Wadi vd., Türkiye'de İstanbul'un Çatalca ilçesinde üç yıllık rüzgâr verileri için iki parametrelili bir Weibull dağılımına dayalı istatistiksel bir çalışma sunmuşlardır [27]. Weibull parametreleri için kestirimsel, grafiksel ve Enerji Modeli Faktörü (EMF) olmak üzere üç tahmin yöntemi çalışılmış ve karşılaştırılmıştır. Weibull dağılımına dayalı rüzgâr hızı dağılımını modellemek için Pakistan'ın güney bölgesinden dört yükseklikteki iki yıllık rüzgâr verileri kullanılmıştır [28]. Weibull parametreleri, PSO, Gri Kurt Optimizasyonu (GKO) ve Guguk Kuşu Arama Optimizasyonu (GKAO) olmak üzere üç farklı optimizasyon algoritmasına dayalı olarak modellenmiştir. Ayrıca Momentler Yöntemi (MY), Değiştirilmiş En Çok Olabilirlik (DEÇO), Ampirik Justus Yöntemi (AJY) ve EMF olmak üzere dört sayısal yöntem kullanılmıştır. Junk ve Schindler, [29] dünya çapında farklı bölgelerde dört yıllık veri setlerine dayalı Uyum Derecesi (UD) değerlerini değerlendirmek için 24 dağılım fonksiyonu tanıtmışlardır. Bir dağılım tek parametrelili, on bir dağılım iki parametrelili, beş dağılım üç parametrelili, altı dağılım dört parametrelili ve bir dağılım beş parametrelidir. Bu parametreleri bulmak için MY, L-moment, En Çok Olabilirlik (EÇO) ve En Küçük Kareler tahmin yöntemleri kullanılmıştır.

Saxena ve Rao [30], Hindistan'ın Jaisalmer bölgesindeki rüzgâr türbinlerinin kapasite faktörünü tahmin etmek için Weibull dağılımını sunmuşlardır. Weibull parametrelerini tahmin etmek için dört tahmini yöntem olan grafiksel, ampirik, EMF ve DEÇO kullanılmıştır. En iyi eşleşmeyi DEÇO yöntemi, en kötü eşleşmeyi ise grafiksel yöntem vermiştir. Rüzgâr hızını modellemek için Dolny-Hricov'daki havalimanı sahasında iki parametrelili ve üç parametrelili Weibull, iki parametrelili Lognormal ve iki parametrelili Gamma yöntemi sunulmuştur [31]. Dağılımların parametrelerini tahmin etmek için MY uygulanmıştır. Üç parametrelili Weibull ve iki parametrelili Weibull sırasıyla birinci ve ikinci en iyi eşleşmeyi vermiştir. Çalışma [32]'de, Fransa üzerindeki 89 konumda rüzgâr hızı dağılımlarını tahmin etmek için Weibull, Eliptik ve Gauss olmayan dağılımlar sunulmuştur. Çalışma Eliptik ve Gauss olmayan dağılımların bazı yerlerde, topografya ve anizotropilerine göre Weibull'dan daha iyi performans gösterdiğini kanıtlamıştır.

Literatürde, Uç Değer dağılımı kavramını ele alan birçok değerli araştırma ortaya çıkmıştır [14, 24, 33-35]. Uç Değer dağılım parametrelerini tahmin etmek için dört tahmin yöntemi [36] çalışması içinde sunulmuştur. ABD'deki altı farklı sahanın rüzgâr verileri bu tahmin yöntemlerine dayalı olarak analiz edilmiştir ve en iyi eşleşmeyi Bağımsız Fırtınalar yöntemi (Independent Storms Method) sağlamıştır. Xiao vd. [37], Uç (Ekstrem) Değer dağılımına bağlı

olarak Hong Kong'da rüzgâr verilerindeki uç değerleri açıklamak için bir yöntem sunmuşlardır. Bu yöntem, üç parametrelili ve iki parametrelili Weibull dağılımlarıyla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, üç parametrelili Weibull ve Uç Değer dağılımlarının daha yüksek eşleşme sağladığını göstermiştir.

Ters Gauss dağılımına dayalı rüzgâr hızı dağılımını açıklamaya yönelik birçok araştırma çalışması [16, 38, 39] literatürde sunulmuştur. Hindistan'daki rüzgâr potansiyelini modellemek için Ters Gauss ve diğer dokuz dağılım incelenmiştir [38]. Bu dağılımların parametreleri Güve Alevi Optimizasyonu (GAO) ve EÇO tahmin yöntemi kullanılarak optimize edilmiştir. Sonuçlar, diğerlerine göre iki modlu Weibull dağılımının dikkate değer olduğunu kanıtladı. Literatürde rüzgâr hızı modelini belirlemek için hem Lojistik hem de Log-Lojistik dağılımlara dayanan çok değerli birçok çalışma [10, 17, 40, 41] incelenmiştir. Lin vd. [41], Çin'deki Xiamen'de rüzgâr hızı dağılımını tanımlamak için 15 dağılım sunmuşlardır. Bu dağılımlardan hem Lojistik hem de Log-Lojistik kullanılmıştır. Parametre değerlerini değerlendirmek için Genelleştirilmiş Bileşik Olasılık Çizim yöntemi kullanıldı. Sonuçlar, Log-Lojistik dağılımının performans açısından Lojistik dağılımdan daha iyi olduğunu göstermiştir.

Laplace dağılımından ayrıca [7, 18] içinde yararlanılır. Tahmin sürecinden dolayı, tahmin edilen ve gerçek rüzgâr verileri arasındaki hatayı en aza indirmek için Altın Oran Arama yöntemine dayalı Laplace, Uniform (Tekdüze) ve Gauss dağılımları sunulmuştur [18]. Laplace dağılımı, Uniform ve Gauss dağılımlarından daha iyi performans göstermiştir. Normal dağılım da birçok çalışmada kullanılmaktadır [7, 17]. Alaat vd., Kuzey Kıbrıs'taki sekiz konumda rüzgâr hızı dağılımını tanımlamak için on dağılım sunmuşlardır [17]. Sonuçlar, Genelleştirilmiş Uç Değer dağılımının bazı konumlar için en yüksek eşleşmeyi verdiğini ve Log-Lojistik, Weibull ve Gamma dağılımlarının ise diğer konumlar için en iyisi olduğunu doğrulamıştır. Ancak Normal dağılım, hiçbir durumda iyi bir eşleşme sağlayamamıştır.

Genelleştirilmiş Uç Değer dağılımı, rüzgâr dağılımı modellemesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [21, 22, 34, 38, 42]. Hindistan'da çeşitli bölgelerdeki rüzgâr hızı verilerinin değerlendirilmesi için Weibull ve Genelleştirilmiş Uç Değer dağılımları araştırılmıştır [22]. Weibull dağılımına atıfta bulunulan sonuçlar, alt kuyruğun rüzgâr hızı verilerini doğru bir şekilde tahmin edebildikleridir, ancak üst kuyruğun rüzgâr hızı verilerini tahmin edememişlerdir. Ayrıca, gerçek verilerle uyumu iyileştirmek için Genelleştirilmiş Uç Değer dağılımının Weibull dağılımıyla birleştirilmesi de önerilmiştir. Benzer şekilde, birçok çalışmada Genelleştirilmiş Pareto dağılımından yararlanılmıştır [23, 43-45]. Holmes ve Moriarty [45], aşırı rüzgâr hızlarını değerlendirmek için Genelleştirilmiş Pareto dağılımını sunmuşlardır. Sonuçlar, Genelleştirilmiş Pareto dağılımının şekil faktörünün uygun değerini belirtmek için çok önemli olduğunu göstermiştir. Ayrıca, Danimarka'da küçük zaman ölçeklerinde aşırı rüzgâr hızlarını modellemek için Genelleştirilmiş Pareto dağılımından da yararlanılmıştır [46]. Yöntem, temelde saatlik rüzgâr hızı verilerine dayanan Weibull dağılımı için alternatif bir modelleme yaklaşımıdır. Li vd., rüzgâr enerjisi potansiyelini tahmin etmek için kullanılan rüzgâr hızlarının yüksek değişkenliğini modellemek için T Konum-Ölçek (T Location-Scale) dağılımı kullanmışlardır. Daha sonra optimize edilmiş enerji depolama sistemi doğru bir şekilde seçilebilir [47]. Rüzgâr hızlarının küçük zaman ölçeğinde modellenmesi durumunda T Konum-Ölçek dağılımının diğer dağılımlara göre daha üstün olduğu bulunmuştur [48]. T Konum-Ölçek dağılımı ile elde edilen sonuçlar, uygunluğunu doğrulamak için Normal, Laplace ve Lojistik dağılımları ile karşılaştırılmıştır.

Bu makalenin ana motivasyonu, rüzgâr dağılım şeklinin modellenmesinde Weibull (WD), Uç Değer (UDD), Ters Gauss (TGD), Lojistik (LD), Log-Lojistik (LLD), Yarı-Normal (YND), Burr-XII Tipi (BD), Genelleştirilmiş Uç Değer (GUD), Genelleştirilmiş Pareto (GPD) ve T Konum-Ölçek (TKÖD) dağılımlarının performansını karşılaştırmaktır. Yukarıda sözü edilen dağılımların seçilmesinin nedeni, yaygın olarak kullanılan Weibull, Gamma ve Rayleigh dağılımlarına uygulanabilir bir alternatif olabilmeleridir ki çoğu durumda bu dağılımlar, karakteristik rüzgâr hızlarının bir bölgeden başka bir bölgeye değişimlerinden dolayı rüzgâr hızı modeline tam olarak uymamaktadır. Bilgimize göre, bu çalışmada Yarı-Normal dağılım, rüzgâr hızı modelini tanımlamada ilk kez kullanılacaktır. Bu dağılımların rüzgâr hızı dağılımını tanımlamadaki etkinliğini göstermek için Türkiye, İstanbul Çatalca bölgesinden toplanan üç yıllık rüzgâr verileri bu analizi yapmak için kullanılmıştır. Ayrıca Ortalama Mutlak Hata (OMH), Kök Ortalama Kare Hata (KÖKH), Regresyon Katsayısı (R^2), Korelasyon Katsayısı (R), Kolmogorov-Smirnov (KS) ve net uygunluk ölçümleri kullanılarak sunulan dağılımların ve tahmin yöntemlerinin doğruluğu araştırılmıştır. Dağılım parametrelerinin değerlerinin optimizasyon işlemi ile ilgili olarak, GA ve PSO yöntemleri yaygın olduğundan ve optimizasyon problemlerinde yaygın olarak kullanıldığı için seçilmiştir. Bu sayede okuyucular, sonuçları kolayca karşılaştırabilirler. Buna ek olarak, yöntemler kavram olarak basit ve genel kullanımdadırlar. Bu nedenle, okuyucular sonuçları sorunsuz bir şekilde yeniden üretebilir.

Bu çalışmanın geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir: Bölüm 2, bu makalenin GA ve PSO optimizasyon yöntemlerinin kısa bir ön tanıtımını içeren metodolojisini sunmaktadır. Bölüm 3, rüzgâr hızı tahminini ve rüzgâr enerji potansiyelini araştırmaktadır. Bölüm 4, her dağılımın performansını incelemek için kullanılan doğruluk ölçümlerini açıklamaktadır. Ayrıca Bölüm 5, elde edilen sonuçları grafiksel olarak göstermektedir. Son olarak, Bölüm 6 sonucu sunmaktadır.

Tablo 1, parametrelerin adı ve gösterimi ile kullanılan tüm dağılımları özetlemektedir.

2. Materyaller ve Yöntemler (Materials and Methodology)

Bu bölümde, iyi bilinen iki Evrimsel Algoritma (EA), yani GA ve PSO kısaca tanıtılmaktadır. Daha sonra, kullanılan dağılımların optimal parametrelerini seçmek için yukarıda bahsedilen meta-sezgisel yöntemlerin nasıl kullanıldığına ilişkin metodoloji sorunsuz bir şekilde açıklanmaktadır.

3.1. Yöntem (Methodology)

Bir dağılımın parametre seçimi, gerçek ve tahmini rüzgâr hızı vektörleri arasındaki OMH'yi en aza indiren doğrusal olmayan bir optimizasyon problemi olarak düşünülebilir. Matematiksel olarak, Eş. 1'de gösterildiği gibidir.

$$\min\{OMH(V_m, V_d)\} \quad (1)$$

Burada V_m ve V_d sırasıyla gerçek ve tahmini rüzgâr hızı vektörleridir. Aynı derecede önemli olan V_d , belirli bir dağılımın TCDF'sine dayalı bir şekilde yapıyarak oluşturulabilir.

EA'lar yukarıda bahsedilen optimizasyon probleminin çözümüne başarılı bir şekilde yaklaşabilir. EA, temelde meta sezgisel algoritmalara dayanan evrimsel hesaplamaların bir parçasıdır [49, 50]. GA ve PSO'da, sırasıyla bir kromozom veya parçacık popülasyonu, problemin aday çözümlerini gösterir [51]. Parametre seçimi ile ilgili olarak her bir kromozom veya parçacık, belirli dağılıma ait parametrelerin değerlerini temsil eden tamsayı değerlerinden oluşur. İlk kromozom/parçacık popülasyonu, parametrelerin sınırları içinde rastgele oluşturulur [52]. Daha sonra, her bir kromozom/parçacığın uygunluk puanları Denklem 1 ile hesaplanır. Daha sonra, EA mekanizmasına dayalı olarak popülasyon, optimal çözümü arayarak gelişir [53]. Algoritma, sonlandırma koşullarından biri karşılanana kadar optimal çözümü aramaya devam eder. İki durdurma kriteri dikkate alınır; maksimum iterasyon sayısına ulaşıldığında veya optimum uygunluk puanı önceden belirlenmiş bir eşikten (ϵ) daha düşük bir değeri karşıladığında. Şekil 1 ve Şekil 2, dağılım parametrelerinin seçim metodolojisini açıklar. Tablo 2, GA ve PSO işlem parametrelerinin kısıtlamalarını gösterir. Tablo 3 ve Tablo 4 sonuçtaki parametre değerlerini sunmaktadır. Özellikle, GA ve PSO çoğu durumda hemen hemen aynı sonuçları göstermektedir. Ancak PSO bazı durumlarda, Log-Lojistik ve Genelleştirilmiş Pareto gibi bazı dağılımlarla yakınsayamamıştır. Çalışma süresiyle ilgili olarak Tablo 5, GA ve PSO'nun geçen süresini saniye cinsinden gösterir. PSO'nun yakınsamada GA'dan daha hızlı olduğu, ancak GA'nın PSO'dan daha güçlü olduğu algılanabilir.

3. Rüzgâr Hızı Ekstrapolasyonu ve Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli (Wind Speed Extrapolation and Wind Energy Potential)

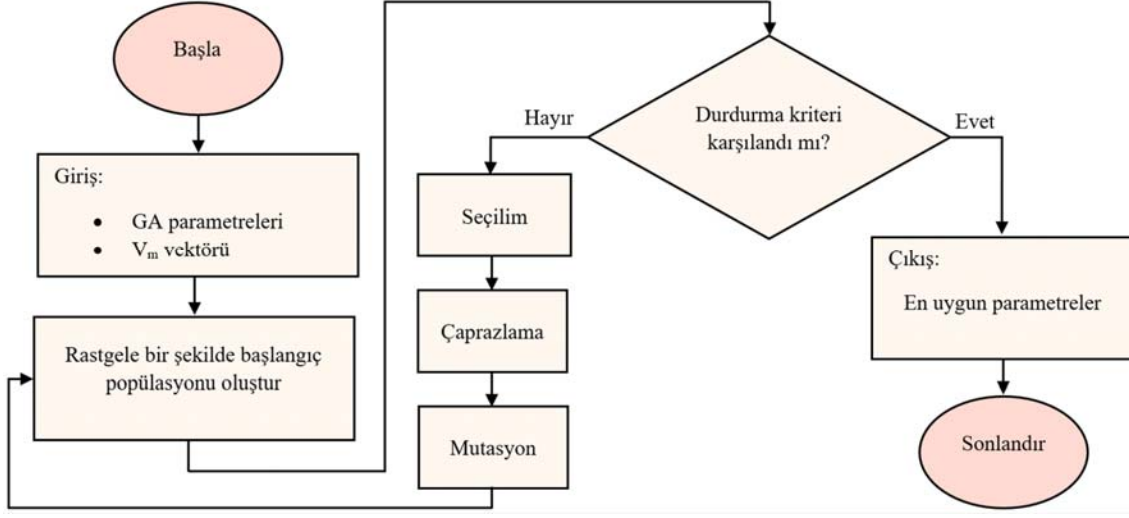
Rüzgâr ekstrapolasyonu, genellikle 10 m yükseklikte toplanan verilere dayanan herhangi bir yükseklikte rüzgâr hızlarını hesaplamak için çok önemlidir. Ardından, rüzgâr türbinlerinin montajı için uygun yüksekliğin seçilmesi için önemlidir. Tahmini rüzgâr hızı Eş. 2 ile hesaplanabilir.

$$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^\alpha \quad (2)$$

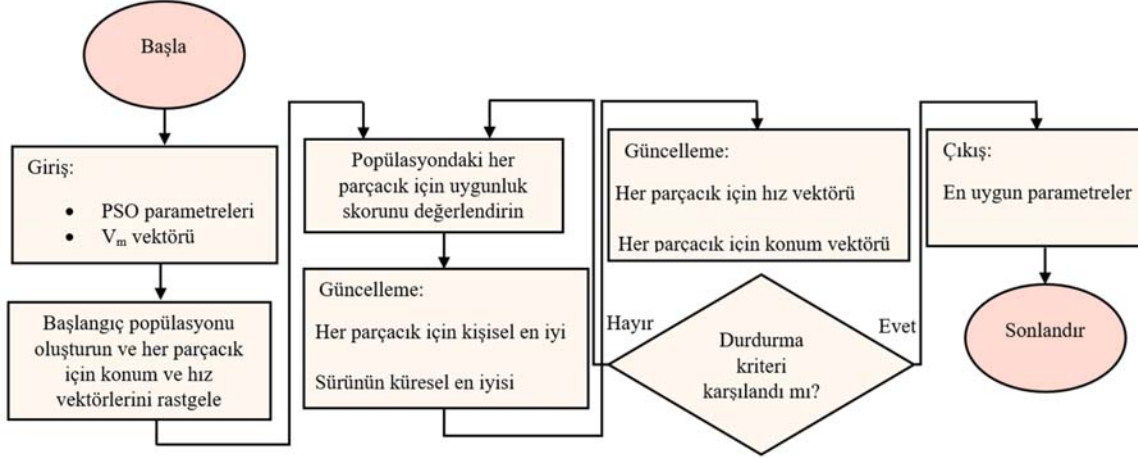
Burada V_1 , h_1 yüksekliğinde toplanan gerçek rüzgâr hızıdır. V_2 , tahmin edilen h_2 yüksekliğinde hesaplanan rüzgâr hızıdır. Rüzgâr kesme katsayısı α , bölgeden bölgeye değişir ve esas olarak rüzgâr hızına, atmosferik kararlılığa, yüzeyin karakteristiğine ve yükseklik aralığına bağlıdır [55]. Tablo 6, farklı bölgeler için rüzgâr kesme katsayısını gösterir [54]. Ayrıca, herhangi bir bölge için iki farklı yükseklikte rüzgâr hızı mevcutsa α Eş. 3 ile hesaplanabilir [56-58].

Tablo 1. Kullanılan tüm dağılımlar ve parametreleri (All used distributions and their parameters.)

Dağılımlar	Sayı, Parametrelerin Adı	Parametreler
Weibull	2, (Ölçek, Şekil)	$P1=c_W$, $P2=k_W$
Uç Değer	2, (Konum, Ölçek)	$P1=\lambda_E$, $P2=c_E$
Ters Gauss	2, (Ölçek, Şekil)	$P1=c_I$, $P2=k_I$
Lojistik	2, (Ortalama, Ölçek)	$P1=\mu_L$, $P2=c_L$
Log-Lojistik	2, (Ortalama, Ölçek)	$P1=\mu_{LL}$, $P2=c_{LL}$
Yarı-Normal	2, (Konum, Ölçek)	$P1=\lambda_H$, $P2=c_H$
Burr Tipi-XII	3, (Ölçek, Şekil 1, Şekil 2)	$P1=c_B$, $P2=k_{B1}$, $P3=k_{B2}$
Genelleştirilmiş Uç Değer	3, (Şekil, Ölçek, Konum)	$P1=k_{GE}$, $P2=c_{GE}$, $P3=\lambda_{GE}$
Genelleştirilmiş Pareto	3, (Şekil, Ölçek, Konum)	$P1=k_{GP}$, $P2=c_{GP}$, $P3=\lambda_{GP}$
T Konum-Ölçek	3, (Konum, Ölçek, Şekil)	$P1=\lambda_T$, $P2=c_T$, $P3=k_T$



Şekil 1. GA kullanarak yöntem akış şeması (The methodology flowchart using GA.)



Şekil 2. PSO kullanarak yöntem akış şeması (The methodology flowchart using PSO.)

Tablo 2. GA ve PSO'nun ana çalışma parametreleri (The main operating parameters of GA and PSO.)

Parametre	Aralık	Seçilen Değer	
		GA	PSO
Popülasyon Boyutu	[5, 50]	50	50
İterasyonların Maksimum Sayısı	[50, 300]	200	200
Durdurma eşiği	[1×10^{-4} , 1×10^{-6}]	1×10^{-6}	1×10^{-6}
Çaprazlama derecesi	[0, 1]	10^{-1}	-
Mutasyon derecesi	[0, 1]	10^{-2}	-
En düşük hız	[0, 1]	-	0
En yüksek hız	[0, 1]	-	1
Hızlanma faktörleri	[1, 5]	-	1.43
Atalet ağırlık sabiti	[0,4, 0,9]	-	0,69

$$\alpha = \frac{\ln(v_2) - \ln(v_1)}{\ln(h_2) - \ln(h_1)} \quad (3)$$

Ayrıca, bölgenin pürüzlülük uzunluğuna (z_0) bağlı olarak α , Eş. 4 ile hesaplanabilir [56].

$$\alpha = \left(\frac{z_0}{h_1}\right)^{0.2} [1 - 0.55 \log(v_1)] \quad (4)$$

Çatalca bölgesi için z_0 , [60]'de 0,0095 m olarak hesaplanmıştır. Bu değere göre bu çalışmada α hesaplanmış ve 0,143 bulunmuştur. Tablo

7 ve Tablo 8 [61] sırasıyla ortalama rüzgâr hızı ve rüzgâr potansiyeli yerine bölgenin uygunluğunu göstermektedir.

4. Doğruluk Ölçüleri (Accuracy Measures)

Tahmin yöntemlerinin gerçek verileri eşleştirmedeki doğruluğunu test etmek için literatürde birçok istatistiksel ölçü ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada, net UD derecesini belirlemek için ek olarak beş hata ölçüsü kullanılmıştır. Bu ölçüler, tanımları ve formülleri ile kısaca Eş. 5 ve Eş. 11 arasında açıklanarak tanımlanmıştır:

Tablo 3. GA tarafından oluşturulan dağılım parametreleri değerleri (Distributions parameter values generated by GA.)

Veri seti	Dağılım	Yükseklik (m)					
		30			60		
		P1	P2	P3	P1	P2	P3
2008	WD	7,663	1,915	-	8,470	1,917	-
	UDD	7,612	2,537	-	8,416	2,785	-
	TGD	7,032	24,218	-	7,775	26,649	-
	LD	6,501	2,118	-	7,189	2,337	-
	LLD	1,823	0,294	-	1,923	0,294	-
	YND	2,217	5,895	-	2,460	6,508	-
	BD	9,267	2,540	2,245	17,643	2,167	5,580
	GUDD	0,015	2,839	5,168	0,019	3,114	5,720
	GPD	-0,269	5,428	2,644	-0,268	5,987	2,930
	TKÖD	6,506	3,264	7,174	7,197	3,628	8,142
2009	WD	8,044	1,913	-	8,503	1,915	-
	UDD	7,993	2,664	-	8,446	2,815	-
	TGD	7,383	25,416	-	7,803	26,844	-
	LD	6,824	2,225	-	7,218	2,345	-
	LLD	1,872	0,294	-	1,927	0,294	-
	YND	2,327	6,190	-	2,460	6,541	-
	BD	10,853	2,438	2,725	13,061	2,334	3,373
	GUDD	0,015	2,982	5,425	0,015	3,150	5,734
	GPD	-0,222	5,344	2,914	-0,222	5,647	3,070
	TKÖD	6,831	3,431	7,371	7,221	3,639	7,786

Tablo 4. PSO tarafından oluşturulan dağılım parametre değerleri (Distributions parameters values generated by PSO.)

Veri seti	Dağılım	Yükseklik (m)					
		30			60		
		P1	P2	P3	P1	P2	P3
2008	WD	7,661	1,913	-	8,470	1,917	-
	UDD	7,612	2,537	-	8,416	2,785	-
	TGD	7,032	24,218	-	7,775	26,649	-
	LD	6,499	2,119	-	7,189	2,337	-
	LLD	1,823	0,294	-	-	-	-
	YND	2,217	5,895	-	2,472	6,500	-
	BD	210,995	1,912	566,482	113,934	1,924	149,154
	GUDD	0,015	2,840	5,167	0,018	3,121	5,718
	GPD	-0,918	12,816	-0,588	-806,387	10874,223	-6,529
	TKÖD	6,505	3,272	7,668	7,191	3,638	8,185
2009	WD	8,047	1,915	-	8,503	1,915	-
	UDD	7,993	2,664	-	8,446	2,815	-
	TGD	7,383	25,428	-	7,802	26,871	-
	LD	6,828	2,222	-	7,215	2,348	-
	LLD	-	-	-	1,927	0,294	-
	YND	2,327	6,190	-	2,460	6,541	-
	BD	383,398	1,939	1800,985	36,387	1,935	17,539
	GUDD	0,015	2,982	5,426	0,015	3,151	5,734
	GPD	-7137,628	7946,313	5,397	-2902,643	720,506	6,631
	TKÖD	6,828	3,623	2130,100	7,222	3,819	4829,540

Tablo 5. Saniye cinsinden geçen çalışma süresi (Elapsed runing time in seconds.)

Veri seti	Dağılım	Yükseklik (m)			
		30		60	
		GA	PSO	GA	PSO
2008	WD	4,833	2,176	3,645	1,912
	UDD	2,085	0,581	1,830	0,770
	TGD	80,092	40,290	73,348	25,234
	LD	4,240	1,278	4,475	1,519
	LLD	4,661	3,062	4,611	1,539
	YND	5,695	2,386	5,538	2,268
	BD	38,471	12,036	24,086	14,779
	GUDD	3,890	2,621	3,406	2,237
	GPD	19,122	10,528	17,066	8,360
	TKÖD	47,678	46,207	89,333	54,177
2009	WD	4,382	1,635	4,227	2,037
	UDD	2,695	0,694	1,923	0,764
	TGD	72,825	25,554	73,596	16,352
	LD	6,910	2,109	4,251	1,651
	LLD	5,733	9,553	4,095	2,534
	YND	5,594	2,874	6,431	2,043
	BD	22,446	16,677	19,656	19,584
	GUDD	2,722	2,249	4,239	2,395
	GPD	17,189	2,538	21,022	1,493
	TKÖD	53,217	20,411	72,390	21,429

Tablo 6. Farklı yüzeyler için rüzgâr kesme katsayıları (Wind shear coefficient for different surfaces.)

Yüzey Tipi	α
Deniz ve buzlu arazi	[0,10, 0,11]
Dağınık ağaçları olan köyler	[0,13, 0,15]
Yoğun ormanlık araziler	[0,22, 0,25]
Küçük şehirler	[0,25, 0,30]
Büyük şehirler ve uzun binalar	[0,36, 0,40]

Tablo 7. Yıllık ortalama rüzgâr hızı göstergesi (m/s) [58] (Indication of annual mean wind speed (m/s).)

Farklı yüksekliklerde (m) yıllık ortalama rüzgâr hızı				Gösterge
10	30	60	80	
$\leq 4,5$	$\leq 5,3$	$\leq 5,9$	$\leq 6,15$	Zayıf
$4,5 < v \leq 5,4$	$5,3 < v \leq 6,4$	$5,9 < v \leq 7,1$	$6,15 < v \leq 7,4$	Sınır
$5,4 < v \leq 6,7$	$6,4 < v \leq 7,9$	$7,1 < v \leq 8,8$	$7,4 < v \leq 9,15$	İyi-Çok İyi
$\geq 6,7$	7,9	8,8	9,15	Olağanüstü

Tablo 8. Ortalama güç yoğunluğu sınıfları [58] (Average power density classes)

Rüzgâr kategorisi göstergesi	Rüzgâr sınıfı	Rüzgâr güç yoğunluğu (W/m^2)
Zayıf	1	50-199
Sınır	2	200-299
Orta	3	300-399
İyi	4	400-499
Mükemmel	5	500-599
Mükemmel	6	600-799
Mükemmel	7	≥ 800

Ortalama Mutlak Hata (OMH), gerçek rüzgâr hızı vektörü (x) ile Eş. 5'deki gibi belirli bir dağılımla oluşturulan tahmini rüzgâr hızı vektörü (y) arasındaki matematiksel ortalamadır [62].

$$OMH = \frac{\sum_{i=1}^N |y_i - x_i|}{N} \quad (5)$$

- Kök Ortalama Kare Hata (KOKH), tahmini rüzgâr hızları ile gerçek rüzgâr hızları arasındaki farkların karesinin karekökü olarak tanımlanır [63, 64]. $KOKH$ 'ın matematiksel formülü aşağıdaki gibidir (Eş. 6).

$$KOKH = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{N}} \quad (6)$$

- Regresyon katsayısı, tahmin edilen veriler ile gerçek veriler arasındaki doğrusal korelasyonu gösterir. [0, 1] aralığında değerler alır, 0 ilişkisi olmadığını gösterirken 1 mükemmel ilişkiyi gösterir. Matematiksel olarak Eş. 7 ile hesaplanır [65].

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - z_i)^2 - \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - z_i)^2} \quad (7)$$

Burada z_i , gerçek verilerin i . ortalama rüzgâr hızıdır.

- Korelasyon Katsayısı, tahmin edilen veriler ile gerçek veriler arasındaki korelasyonu ortaya çıkarır. $[-1, 1]$ aralığında değerler alır, -1 negatif mükemmel korelasyonu gösterir, $+1$ pozitif mükemmel korelasyonu gösterir ve 0 veri setleri arasında korelasyon olmadığını gösterir. Matematiksel olarak Eş. 8 ile hesaplanır [66].

$$R = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \frac{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sigma_x \sigma_y} \quad (8)$$

Burada \bar{x} , \bar{y} ve (σ_x, σ_y) sırasıyla gerçek ve tahmini rüzgâr hız vektörlerinin ortalamasını ve standart sapmasını gösterir.

- Kolmogorov–Smirnov ölçüsü, maksimum gerçek CDF ($F_x[v_i]$) ile tahmini CDF ($F_y[v_i]$) arasındaki farka dayalıdır. v_1, v_2, \dots, v_N rüzgâr hızı örneklerinin büyüklüklerini yeniden düzenledikten sonra artan sırada olduğunu varsayarsak, test istatistiğinin değeri d Eş. 9 ile elde edilebilir [67].

$$d = \max_{i=1}^N \{|F_x[v_i] - F_y[v_i]|\} \quad (9)$$

- Gerçek ve tahmini CDF'ler arasında hiçbir fark olmadığını belirten KS testinin sıfır hipotezine dayanmaktadır. Matematiksel olarak, sıfır hipotezi ancak hesaplanan d değeri kritik değerden küçükse kabul edilebilir. Kritik değer, genellikle $0,05$ 'e eşit olan ve Eş. 10 kullanılarak hesaplanabilen önem düzeyine bağlıdır.

$$d_{kritik} = \frac{1,36}{\sqrt{N}} \quad (10)$$

- Net Uygunluk (Net Fitness), bir dizi hata ölçüsünün ortalaması olarak tanımlanır. En iyi eşleştirme dağılımına ve tahmin yöntemine net bir şekilde karar vermek için, net uygunluk tarafından gerçekleştirilen genel performanslarına göre dağılımları sıralamak gerekir. Matematiksel formülü Eş. 11 gibi yazılabilir [28].

Net Uygunluk =

$$\frac{\sum_{i=1}^n |OMH_i| + \sum_{i=1}^n |KOKH_i| + \sum_{i=1}^n (1-R_i^2) + \sum_{i=1}^n (1-R_i)}{4n} \quad (11)$$

n burada hata girişlerinin sayısıdır.

5. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

2008'den 2009'a kadar üç yıl boyunca Marmara bölgesinde Çatalca'dan farklı yüksekliklerde toplanan saatlik veriler, sunulan on dağılımın performansını analiz etmek ve incelemek için kullanılmış ve incelenmiştir. Tablo 9, temel alınan konunun bilgilerini sağlar. 10 m yükseklikte toplanan rüzgâr hızı verileri sırasıyla 30 ve 60 metre gibi farklı iki yükseklikte tahmin edilmiştir.

Her dağılım fonksiyonu için parametreleri değerlendirmek için iki optimizasyon algoritması, GA ve PSO kullanılmıştır. Tüm veri kümeleri için rüzgâr verilerinin özelliklerini tanımlamak için ortalama, standart sapma, varyans, minimum, maksimum, çarpıklık,

basıklık ve ortalama güç gibi istatistiksel tanımlayıcılar Tablo 10-Tablo 15'de gösterilmektedir. Deneysel sonuçlar, gerçek verilerin ortalama rüzgâr hızlarının 30 ve 60 m yüksekliklerde sırasıyla 2008 ve 2009 veri setleri için $(6,906, 7,646)$ ve $(7,251, 7,663)$ m/s olduğunu göstermiştir. Bu ortalama değerler, Tablo 7'deki karşılık gelen değerlerle karşılaştırıldığında esas bölgedeki rüzgâr potansiyelinin iyi ila çok iyi bir göstergesini yansıtır.

Ortalama rüzgâr hızı değeri, belirli bir bölgedeki rüzgâr potansiyelinin çok önemli bir göstergesidir. Yıllık ortalama rüzgâr hızı değerleri Tablo 7'deki karşılık gelen değerlerle karşılaştırıldığında, analiz edilen bölgedeki rüzgâr potansiyelinin iyi ile çok iyi arasında bir değerde olduğu gözlemlenebilir. Standart sapma, rüzgâr kulesi yüksekliğindeki artışla biraz artar. Standart sapmanın karesi olan varyans, rüzgâr hızı değerleri arasındaki ortalama değerden yayılmanın bir ölçümüdür. Rüzgâr kulesi yüksekliğindeki artışla varyans biraz artar. Minimum gerçek rüzgâr hızı sıfır iken, maksimum gerçek rüzgâr hızı 25 ile $33,5$ m/s arasında değişmiştir.

Çarpıklık, ortalama rüzgâr hızından asimetrik seviyesini gösterir. Tüm veri setlerinin çarpıklık değerleri, gerçek verilerin pozitif çarpık dağılımı takip ettiğini göstermektedir. Uç Değer dağılımının çarpıklık değeri incelendiğinde, tüm değerlerinin negatif (negatif çarpık) olduğu fark edilebilir. Sonuç olarak Uç Değer dağılımına göre tahmin edilen rüzgâr modeli, gerçek rüzgâr modelinden tamamıyla farklıdır. Ayrıca doğruluk ölçüm tabloları incelendiğinde, Uç Değer dağılımının en kötü sırada yer aldığı görülmektedir. Basıklık, bir frekans dağılımının tepe noktasını ölçer. Uç tür basıklık vardır: sıfır, pozitif ve negatif. Sıfır basıklık dağılımı genellikle Normal dağılımı takip eder; pozitif basıklığın Normal'den daha büyük kuyrukları ve daha büyük bir tepe noktası varken, negatif basıklığın Normal'den küçük kuyrukları ve düzlemsel tepe noktası vardır [68]. Tüm veri setlerinin gerçek verileri, keskin bir tepe yerine ortalamaya yakın düz tepe ile pozitif basıklığa eğilimlidir.

Bölgedeki gerçek ortalama güç yoğunluklarının sırasıyla 2008 ve 2009 veri setleri için 30 ve 60 metre yüksekliklerde $(400,308, 540,080)$, $(463,407, 546,837)$ oldukları belirgindir. Rüzgâr kulesi yüksekliğindeki artışla güç yoğunluğu artar. Ayrıca, analiz edilen sahadaki güç yoğunlukları Tablo 8 [69, 70] ile karşılaştırıldığında, Çatalca bölgesinin $5.$ ve $6.$ büyük ölçekli rüzgâr enerjisi türbinlerinin kurulumu için saha uygunluğu sınıflarına girdiği fark edilebilir [86]. 10 ila 15 arasındaki tablolarda istatistiksel tanımlayıcı değerlerle ilgili olarak, Log-Lojistik ve Uç Değer dağılımları ise en kötü eşleşmeyi sunarken Genelleştirilmiş Uç Değer ve Yarı-Normal dağılımların en iyi eşleşmeyi elde ettiği fark edilebilir.

KS testi ile ilgili olarak, Denklem (10)'a göre hesaplanan d_{kritik} değeri $93,95$ 'e eşittir, bu da d istatistik değerlerinin tüm durumlar için d_{kritik} 'den küçük olduğu anlamına gelir. Bu nedenle sıfır hipotezi kabul edilir. Yani kullanılan on dağılım, Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterildiği gibi ölçülen rüzgâr verisi dağılımını takip eder. Şüphesiz, gerçek ve tahmini rüzgâr hızı verileri arasındaki fark sıfıra yaklaştığında dağılım fonksiyonu optimum eşleşmeyi sağlar. Bu makalede; OMH , $KOKH$, R^2 , R , KS ve net uygunluk hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. 12 , 13 , 14 ve 15 tabloları, GA ve PSO'ya dayalı olarak sunulan dağılım fonksiyonlarının UD'sini özetler. Bu tablolardaki kalın değerler her yükseklikte en iyi değeri gösterirken altı çizili değerler her veri seti için tüm yükseklikler arasındaki en iyi değeri gösterir. Hem GA hem de PSO'ya dayalı Genelleştirilmiş Uç

Tablo 9. Seçilen bölge bilgisi (Information of the selected site.)

Bölge ismi	Ülke	Enlem (°) N	Boylam (°) E	Rakım (m)	Veri
Çatalca	Türkiye	41°8.5944'	28°27.6924'	88	2008-2010

Tablo 10. GA tarafından üretilen tüm dağılımlar için 2008 veri setinin istatistiksel analizi ve ortalama gücü
(Statistical analysis and average power of 2008 dataset for all distributions generated by GA)

Yükseklik (m)	Dağılım	Ortalama	Standart Sapma	Varyans	Min	Max	Çarpıklık	Basıklık	Ortalama Güç (W/m ²)
30	Gerçek	6,906	3,650	13,322	0,000	25,400	0,993	1,202	400,308
	WD	6,854	3,693	13,639	0,389	24,435	0,690	0,367	390,263
	UDD	6,214	3,173	10,069	-6,873	13,246	-0,998	1,418	242,412
	TGD	7,082	3,799	14,436	1,689	36,332	1,615	4,257	459,689
	LD	6,572	3,792	14,380	-5,585	26,004	0,091	0,919	350,497
	LLD	7,225	4,661	21,726	1,154	93,113	4,360	44,502	789,813
	YND	6,969	3,559	12,665	2,242	25,151	0,990	0,862	396,843
	BD	6,941	3,880	15,054	0,712	46,298	1,724	6,874	458,486
	GUDD	6,903	3,717	13,815	0,285	33,210	1,240	2,822	415,720
	GPD	6,969	3,456	11,946	2,662	21,137	0,995	0,524	385,376
	TKÖD	6,579	3,783	14,311	-5,817	29,145	0,130	1,218	351,698
60	Gerçek	7,646	4,013	16,105	0,000	28,047	1,012	1,216	540,080
	WD	7,576	4,078	16,628	0,074	26,974	0,689	0,365	526,323
	UDD	6,878	3,507	12,296	-16,867	14,600	-1,079	2,010	326,165
	TGD	7,832	4,212	17,739	1,274	40,294	1,618	4,277	623,474
	LD	7,264	4,200	17,641	-14,027	28,716	0,050	1,087	472,521
	LLD	7,985	5,152	26,542	0,473	102,913	4,360	44,498	1066,189
	YND	7,706	3,929	15,434	2,460	27,778	0,990	0,862	535,602
	BD	7,595	4,092	16,744	0,121	34,256	0,990	1,703	543,509
	GUDD	7,637	4,101	16,820	-1,006	37,090	1,264	2,957	562,192
	GPD	7,701	3,815	14,553	2,931	23,358	0,997	0,529	519,589
	TKÖD	7,271	4,136	17,104	-15,479	30,313	0,058	1,187	466,444

Tablo 11. PSO tarafından üretilen tüm dağılımlar için 2008 veri setinin istatistiksel analizi ve ortalama gücü.
(Statistical analysis and average power of 2008 dataset for all distributions generated by PSO.)

Yükseklik (m)	Dağılım	Ortalama	Standart Sapma	Varyans	Min	Max	Çarpıklık	Basıklık	Ortalama Güç (W/m ²)
30	Gerçek	6,906	3,650	13,322	0,000	25,400	0,993	1,202	400,308
	WD	6,852	3,695	13,653	0,388	24,452	0,692	0,370	390,317
	UDD	6,214	3,173	10,069	-6,873	13,246	-0,998	1,418	242,412
	TGD	7,082	3,799	14,436	1,689	36,332	1,615	4,257	459,689
	LD	6,570	3,794	14,396	-5,593	26,014	0,091	0,919	350,561
	LLD	7,224	4,664	21,752	1,153	93,218	4,365	44,597	790,721
	YND	6,969	3,559	12,665	2,242	25,151	0,990	0,862	396,844
	BD	6,857	3,703	13,716	0,387	24,573	0,697	0,385	391,889
	GUDD	6,903	3,717	13,815	0,284	33,205	1,240	2,820	415,703
	GPD	6,157	3,958	15,664	-0,546	13,378	0,060	-1,169	322,439
	TKÖD	6,576	3,750	14,062	-5,564	28,176	0,118	1,079	347,921
60	Gerçek	7,646	4,013	16,105	0,000	28,047	1,012	1,216	540,080
	WD	7,576	4,078	16,627	0,074	26,974	0,689	0,365	526,320
	UDD	6,878	3,507	12,296	-16,866	14,600	-1,079	2,010	326,165
	TGD	7,832	4,212	17,739	1,274	40,294	1,618	4,277	623,479
	LD	7,264	4,200	17,641	-14,028	28,716	0,050	1,087	472,522
	LLD	-	-	-	-	-	-	-	-
	YND	7,713	3,924	15,400	2,473	27,763	0,990	0,862	535,921
	BD	7,582	4,083	16,673	0,076	27,242	0,699	0,402	528,393
	GUDD	7,635	4,103	16,834	-1,032	36,965	1,256	2,914	561,891
	GPD	6,944	0,274	0,075	-5,343	6,956	-29,509	985,562	205,678
	TKÖD	7,265	4,143	17,167	-15,474	30,294	0,057	1,177	466,516

Değer dağılımı, tüm hata ölçümleri açısından en iyi UD'ye ulaşmıştır. GA'ya dayalı Genelleştirilmiş Uç Değer dağılımı, 30 m yükseklikte 2008 veri seti için tüm doğruluk ölçümleri açısından en iyi değeri UD'yi elde etmiştir. Öte yandan, Burr dağılımı en iyi değeri 60 m yükseklikte elde etti. Benzer şekilde PSO'ya dayalı Genelleştirilmiş Uç Değer dağılımı, 30 m yükseklikte 2008 veri seti için tüm doğruluk ölçümleri açısından en iyi UD'yi elde etti. Yarı-Normal dağılım ise en iyi değeri 60 m yükseklikte elde etmiştir. En iyi dağılımın doğruluğunu açıkça belirlemek için net uygunluk hesaplanır, ardından sıralama değerlendirilebilir. Net uygunluğu belirlemek için maksimum R^2 ve R , minimum OMH ve $KOKH$ olmak üzere dört hata ölçümü dikkate alınır. GA'ya dayalı on dağılımın sıralaması; Genelleştirilmiş Uç Değer, Yarı-Normal, Weibull, Burr, Genelleştirilmiş Pareto, Ters

Gauss, T Konum-Ölçek, Lojistik, Log-Lojistik ve Uç Değer'dir. Öte yandan, PSO'ya göre sıralama; Genelleştirilmiş Uç Değer, Yarı-Normal, Burr, Weibull, Ters Gauss, T Konum-Ölçek, Lojistik, Uç Değer, Log-Lojistik ve Genelleştirilmiş Pareto'dur. Elde edilen sonuçları tüm veri setlerini görsel olarak yorumlamak için, GA ve PSO'ya dayalı olarak uygun PDF'leri sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4 sunar. Ayrıca, GA ve PSO'ya dayalı olarak uygun CDF'leri sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6 göstermektedir. PDF ve CDF grafiklerinin yatay eksen rüzgâr hızı değerlerini temsil eder. PDF grafikleriyle ilgili olarak, iki farklı ölçekli dikey eksen kullanılır; soldaki ölçülen rüzgâr verilerinin histogramı içindir, sağdaki ise diğer dağılımlar içindir. Bu dikey eksenler olasılık yoğunluğunu temsil eder. CDF'ler için dikey eksen, kümülatif yoğunluğu temsil eder.

Tablo 12. 2008 veri seti için GA'nın doğruluk ölçüleri. (Accuracy measures of GA for 2008 dataset.)

Yükseklik (m)	Dağılım	Doğruluk ölçüsü					Net Uygunluk	Sıralama
		OMH	KOKH	R ²	R	KS		
30	WD	0,2409	0,3053	0,9930	0,9967	0	0,1391	3
	UDD	1,0591	1,7716	0,7644	0,8950	0	0,7928	10
	TGD	0,2277	0,5258	0,9792	0,9920	0	0,1956	5
	LD	0,5657	0,9329	0,9347	0,9733	0	0,3976	7
	LLD	0,4633	1,9213	0,7229	0,9245	0	0,6843	9
	YND	0,1562	0,2804	0,9941	0,9974	0	0,1113	2
	BD	0,1412	0,6083	0,9722	0,9888	0	0,1971	6
	GUDD	<u>0,0979</u>	<u>0,2680</u>	<u>0,9946</u>	<u>0,9975</u>	0	0,0934	1
	GPD	0,1981	0,4091	0,9874	0,9950	0	0,1562	4
	TKÖD	0,5664	0,9324	0,9347	0,9730	0	0,3978	8
60	WD	0,2746	0,3491	0,9924	0,9966	0	0,1587	4
	UDD	1,1840	2,0013	0,7513	0,8878	0	0,8866	10
	TGD	0,2395	0,5746	0,9795	0,9924	0	0,2106	6
	LD	0,6383	1,0995	0,9249	0,9695	0	0,4609	8
	LLD	0,4999	2,1226	0,7202	0,9252	0	0,7443	9
	YND	0,1634	0,2727	0,9954	0,9980	0	0,1107	3
	BD	0,1622	<u>0,2402</u>	<u>0,9964</u>	<u>0,9985</u>	0	0,1019	1
	GUDD	<u>0,1164</u>	0,3145	0,9939	0,9972	0	0,1100	2
	GPD	0,2067	0,4169	0,9892	0,9957	0	0,1597	5
	TKÖD	0,6399	1,0828	0,9272	0,9694	0	0,4565	7

Tablo 13. 2008 veri seti için PSO'nun doğruluk ölçüleri. (Accuracy measures of PSO for 2008 dataset.)

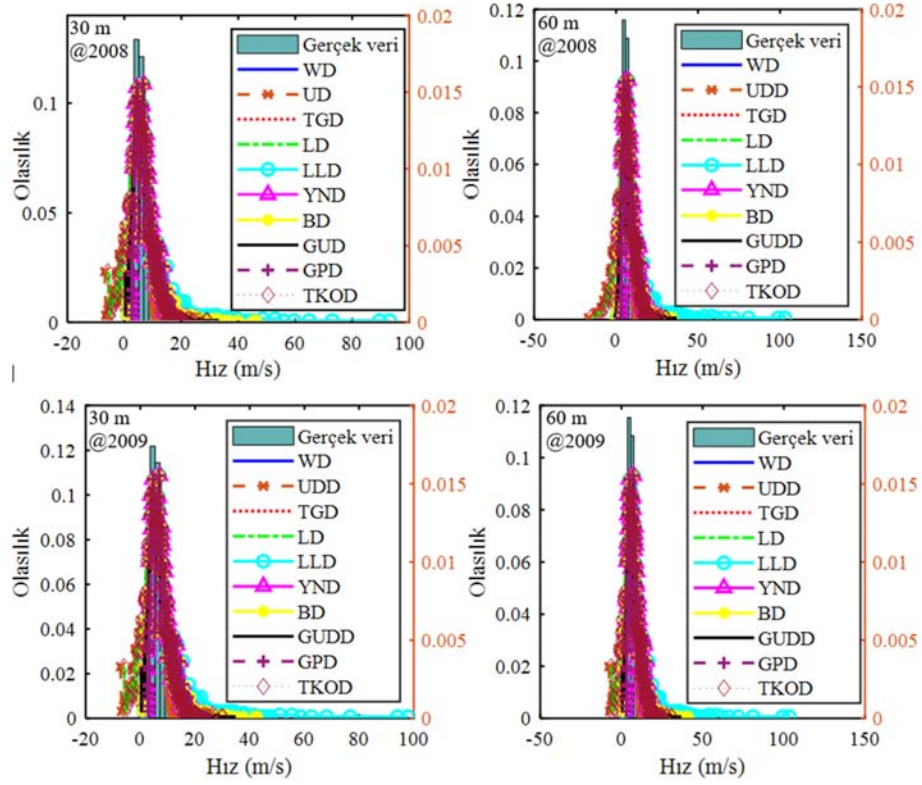
Yükseklik (m)	Dağılım	Doğruluk ölçüsü					Net Uygunluk	Sıralama
		OMH	KOKH	R ²	R	KS		
30	WD	0,2409	0,3051	0,9930	0,9967	0,0000	0,1391	4
	UDD	1,0591	1,7716	0,7644	0,8950	0,0000	0,7928	10
	TGD	0,2277	0,5258	0,9792	0,9920	0,0000	0,1956	5
	LD	0,5657	0,9339	0,9345	0,9733	0,0000	0,3979	7
	LLD	0,4633	1,9240	0,7221	0,9244	0,0000	0,6852	9
	YND	0,1562	0,2804	0,9941	0,9974	0,0000	0,1113	2
	BD	0,2398	0,3023	0,9931	0,9968	0,0000	0,1380	3
	GUDD	<u>0,0979</u>	<u>0,2678</u>	<u>0,9946</u>	<u>0,9975</u>	0,0000	0,0934	1
	GPD	1,0514	1,4270	0,8471	0,9522	0,0000	0,6698	8
	TKÖD	0,5663	0,9207	0,9364	0,9734	0,0000	0,3943	6
60	WD	0,2746	0,3491	0,9924	0,9966	0,0000	0,1587	4
	UDD	1,1840	2,0013	0,7513	0,8878	0,0000	0,8866	8
	TGD	0,2395	0,5746	0,9795	0,9924	0,0000	0,2106	5
	LD	0,6383	1,0995	0,9249	0,9695	0,0000	0,4609	7
	LLD	-	-	-	-	-	-	-
	YND	0,1633	<u>0,2755</u>	<u>0,9953</u>	<u>0,9980</u>	0,0000	0,1114	2
	BD	0,2695	0,3405	0,9928	0,9967	0,0000	0,1551	3
	GUDD	<u>0,1164</u>	0,3108	0,9940	0,9973	0,0000	0,1090	1
	GPD	3,0611	4,0616	-0,0245	0,0791	0,9525	2,2670	9
	TKÖD	0,6399	1,0861	0,9267	0,9694	0,0000	0,4575	6

Tablo 14. 2009 veri seti için GA'nın doğruluk ölçüleri. (Accuracy measures of GA for 2009 dataset.)

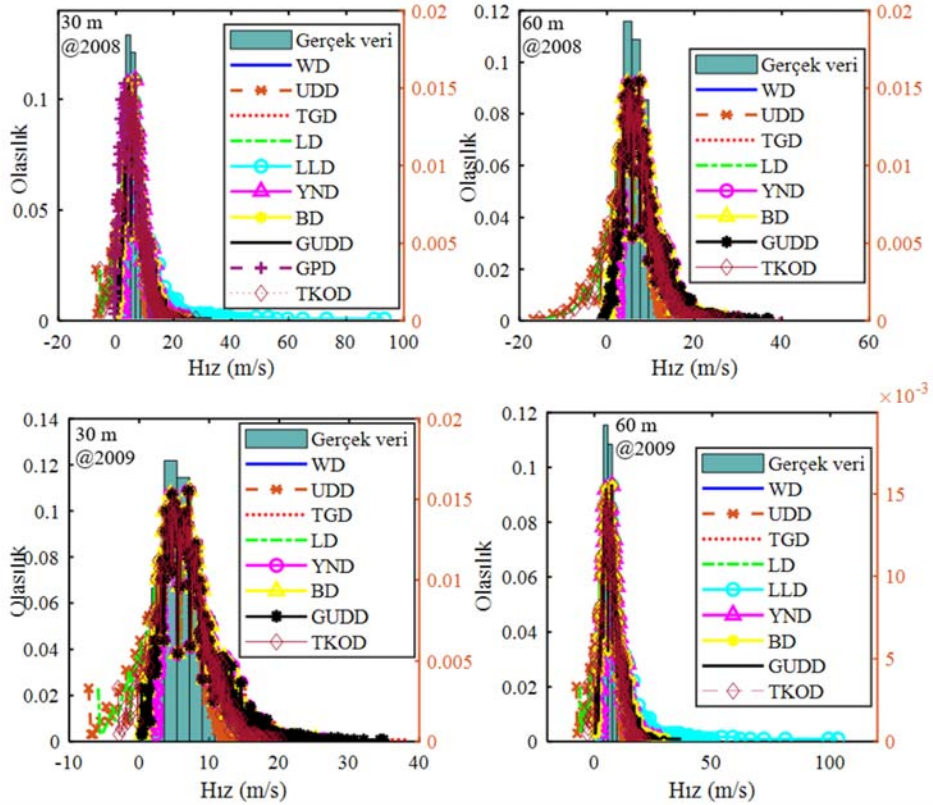
Yükseklik (m)	Dağılım	Doğruluk ölçüsü					Net Uygunluk	Sıralama
		OMH	KOKH	R ²	R	KS		
30	WD	0,2529	0,3203	0,9930	0,9967	0,0000	0,1459	3
	UDD	1,1120	1,8602	0,7644	0,8950	0,0000	0,8282	10
	TGD	0,2391	0,5529	0,9792	0,9920	0,0000	0,2052	6
	LD	0,5940	0,9812	0,9344	0,9733	0,0000	0,4168	8
	LLD	0,4865	2,0190	0,7224	0,9245	0,0000	0,7147	9
	YND	0,1640	0,2944	0,9941	0,9974	0,0000	0,1167	2
	BD	0,1326	0,4630	0,9854	0,9936	0,0000	0,1541	4
	GUDD	<u>0,1028</u>	<u>0,2808</u>	<u>0,9946</u>	<u>0,9975</u>	0,0000	0,0979	1
	GPD	0,2067	0,4255	0,9877	0,9950	0,0000	0,1624	5
	TKÖD	0,5947	0,9736	0,9355	0,9732	0,0000	0,4149	7
60	WD	0,2673	0,3388	0,9930	0,9967	0,0000	0,1541	4
	UDD	1,1751	1,9657	0,7644	0,8950	0,0000	0,8704	10
	TGD	0,2527	0,5852	0,9791	0,9919	0,0000	0,2167	6
	LD	0,6276	1,0313	0,9351	0,9733	0,0000	0,4376	8
	LLD	0,5141	2,1319	0,7229	0,9245	0,0000	0,7497	9
	YND	0,1733	0,3112	0,9941	0,9974	0,0000	0,1232	2
	BD	0,1385	0,3676	0,9918	0,9964	0,0000	0,1295	3
	GUDD	<u>0,1086</u>	<u>0,2979</u>	<u>0,9946</u>	<u>0,9975</u>	0,0000	0,1036	1
	GPD	0,2185	0,4477	0,9878	0,9950	0,0000	0,1708	5
	TKÖD	0,6283	1,0189	0,9367	0,9734	0,0000	0,4343	7

Tablo 15. 2009 veri seti için PSO'nun doğruluk ölçülülere. (Accuracy measures of PSO for 2009 dataset.)

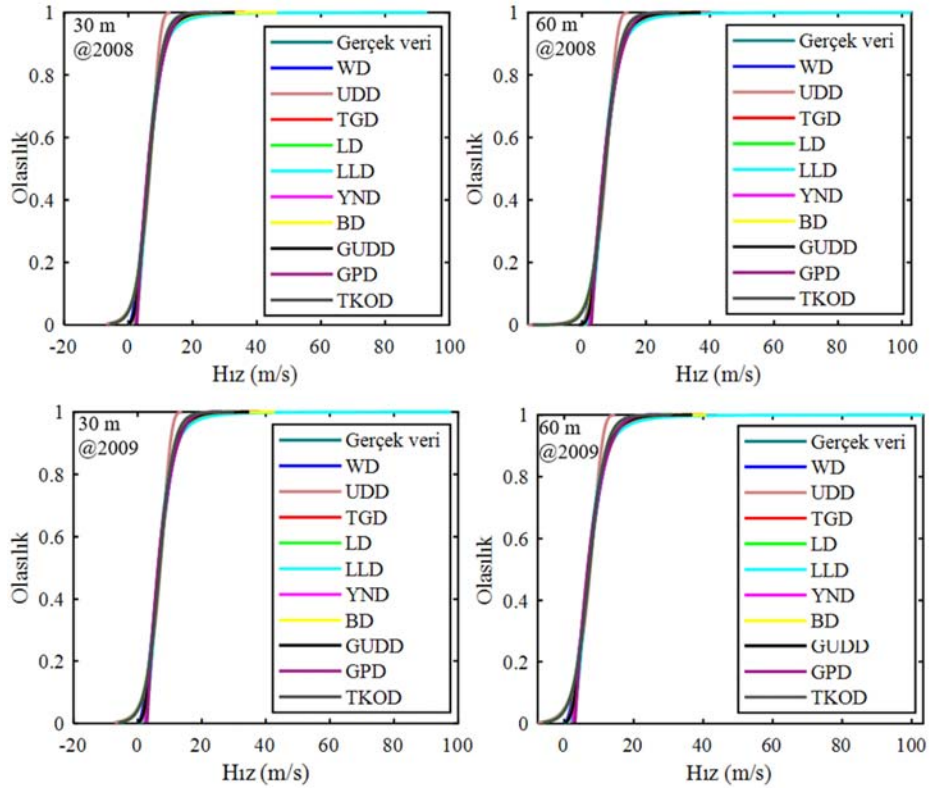
Yükseklik (m)	Dağılım	Doğruluk ölçüsü					Net Uygunluk	Sıralama
		OMH	KOKH	R ²	R	KS		
30	WD	0,2529	0,3206	0,9930	0,9967	0,0000	0,1459	3
	UDD	1,1120	1,8602	0,7644	0,8950	0,0000	0,8282	8
	TGD	0,2391	0,5521	0,9792	0,9920	0,0000	0,2050	5
	LD	0,5940	0,9779	0,9349	0,9733	0,0000	0,4159	7
	LLD	-	-	-	-	-	-	-
	YND	0,1640	0,2943	0,9941	0,9974	0,0000	0,1167	2
	BD	0,2543	0,3305	0,9926	0,9964	0,0000	0,1489	4
	GUDD	<u>0,1028</u>	<u>0,2812</u>	<u>0,9946</u>	<u>0,9975</u>	0,0000	0,0980	1
	GPD	2,9305	3,9032	-0,0374	0,1086	0,9950	2,1906	9
	TKÖD	0,6046	0,9609	0,9371	0,9732	0,0000	0,4138	6
60	WD	0,2673	0,3388	0,9930	0,9967	0,0000	0,1541	4
	UDD	1,1751	1,9657	0,7644	0,8950	0,0000	0,8704	9
	TGD	0,2527	0,5834	0,9792	0,9920	0,0000	0,2162	5
	LD	0,6276	1,0336	0,9349	0,9733	0,0000	0,4383	7
	LLD	0,5141	2,1306	0,7232	0,9246	0,0000	0,7492	8
	YND	0,1733	0,3112	0,9941	0,9974	0,0000	0,1232	2
	BD	0,2302	<u>0,2899</u>	<u>0,9949</u>	<u>0,9983</u>	0,0000	0,1317	3
	GUDD	<u>0,1086</u>	0,2971	0,9946	0,9975	0,0000	0,1034	1
	GPD	3,0968	4,1247	-0,0374	0,1133	0,9866	2,2864	10
	TKÖD	0,6389	1,0146	0,9372	0,9732	0,0000	0,4357	6



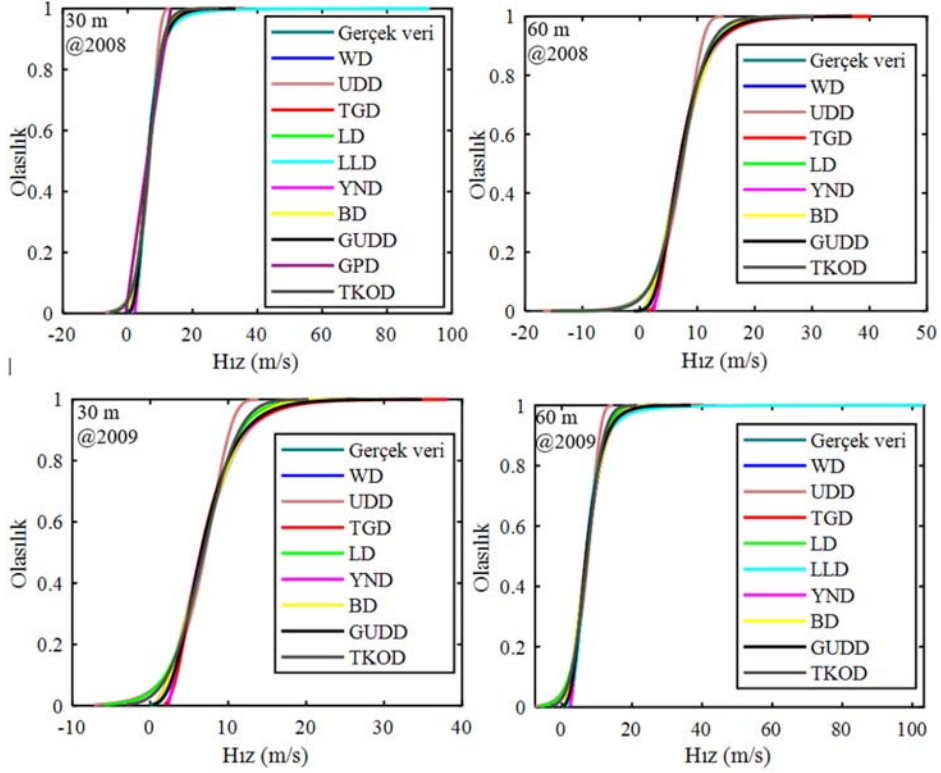
Şekil 3. GA'ya dayalı farklı yıl ve yüksekliklerdeki PDF dağılımları. (PDF distributions of different years and heights based on GA.)



Şekil 4. PSO'ya dayalı farklı yıl ve yüksekliklerdeki PDF dağılımları. (PDF distributions of different years and heights based on PSO.)



Şekil 5. GA'ya dayalı farklı yıl ve yüksekliklerdeki CDF dağılımları. (CDF distributions of different years and heights based on GA.)



Şekil 6. PSO'ya dayalı farklı yıl ve yüksekliklerdeki CDF dağılımları (CDF distributions of different years and heights based on PSO.)

Ek olarak, Şekil 3- Şekil 6: UDD, TGD, LLD, YND, GUDD, GPD ve TKÖD'deki kısaltmalar sırasıyla Uç Değer, Ters Gauss, Log-Lojistik, Yarı Normal, Genelleştirilmiş Uç Değer, Genelleştirilmiş Pareto ve T Konum-Ölçek dağılımlarını belirtir. Görünen o ki, Şekil 3- Şekil 6'dan Uç Değer, Log-Lojistik ve Lojistik dağılımlar dışında sunulan dağılımların çoğunun iyi eşleşme elde ettiği fark edilmektedir. Sırasıyla GA'ya dayalı Uç Değer dağılımı ve PSO'ya dayalı Genelleştirilmiş Pareto dağılımı, en anormal dağılımlardır. Oysa Log-Lojistik dağılımı, tüm veri setleri için Uç Değer ve Genelleştirilmiş Pareto dağılımlarından sonra en kötü eşleşmeye sahiptir.

Rüzgâr enerjisi potansiyelini aşağıdaki gibi değerlendirirken bu makaleden birçok değerli sonuç çıkarılabilir:

- En kritik sonuçlardan biri, bir konumdan diğerine farklılık gösteren rüzgâr rejimlerinin dağılım modelidir. Bu nedenle, rüzgâr dağılım düzenini doğru bir şekilde belirlemek için farklı dağılımların kullanılması gerekir. Başka bir deyişle belirli bir dağılım, belirli bir yerde en önde gelen uygunluk eşleşmesini sağlayabilir, ancak başka bir yerde sağlayamaz.
- İkinci önemli sonuç ise rüzgâr hızı verilerinin dağılımına, hesaplama karmaşıklığına ve yakınsamaya bağlı olan optimizasyon yöntemlerinin seçimidir. Örneğin, GA'ya dayalı Weibull dağılımı üçüncü en iyi eşleşmeyi elde ederken, PSO'ya dayalı olarak üçüncü en iyi eşleşmeyi Burr dağılımı yaptı. Sonuç olarak, çeşitli optimizasyon yöntemleri arasındaki değiş tokuş vazgeçilmez bir gerekliliktir.
- Üçüncü önemli sonuç, kullanılan hata kriterleridir. Örneğin belirli bir hata kriteri, belirli bir dağılım için en iyisini elde ederken diğerleri için en kötüyü elde edebilir. Sonuç olarak, birçok hata kriterinin uygulanması kaçınılmazdır. Bundan sonra, en iyi tahmin yöntemine doğru bir şekilde karar vermek için net uygunluk kriteri hesaplamasına ihtiyaç vardır.
- Dördüncü dikkat çekici sonuç, dağılımın parametre sayısıdır. Çoğu durumda, daha yüksek sayıda parametreye sahip dağılımlar, rüzgâr rejimlerini daha iyi tahmin edebilir. Ancak, hesaplama yükleri önemli ölçüde artar. Örneğin, PSO'ya dayalı olarak, üç parametrelili Burr dağılımı, iki parametrelili Weibull dağılımından biraz daha iyi eşleşme sağladı. Bununla birlikte, Burr dağılımı parametreleri seçiminin hesaplama süresi Weibull dağılımından yaklaşık on kat daha fazladır.
- Beşinci dikkat çekici sonuç, bazı dağılım fonksiyonlarının ölçek parametresinin, bu dağılımların ölçek parametresi yıllık ortalama rüzgâr hızı profili şeklini alabildiğinden, analiz edilen konumdaki rüzgâr potansiyelini gösterebilmesidir. Bu makalede, Weibull ve Uç Değer dağılımlarının ölçek parametreleri, herhangi bir konumdaki yıllık ortalama rüzgâr hızını belirlemek için iyi bir gösterge olabilir.
- Altıncı önemli sonuç, çarpıklık ve basıklık istatistiksel tanımlayıcılarının tüm rüzgâr dağılım modelini gösterebildikleri için rüzgâr rejimini tanımlamak için de çok önemlidir. Bu çalışmada çarpıklık ve basıklık değerleri pozitiftir; bu nedenle rüzgâr deseni pozitif çarpıktır ve çok basık bir dağılım şeklini alır. Buna göre uygun dağılımın seçimi algılanabilir.

6. Sonuçlar (Conclusions)

Rüzgâr hızı dağılımını karakterize etmek için uygun dağılımların seçilmesi, fizibilite çalışmaları, rüzgâr türbini tasarımı ve uzun vadeli yatırım kararları için çok önemlidir. Bu nedenle bu makalede, rüzgâr hızı dağılımını modellemek için on farklı dağılım sunulmuştur. Her dağılım için optimal parametre değerleri, GA ve PSO optimizasyon yöntemlerine dayalı olarak tahmin edildi. Analiz edilen lokasyonun istatistiksel özellikleri, birçok istatistiksel tanımlayıcı aracılığıyla incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Ayrıca, her dağılımın beş farklı hata ölçütüne göre UD'si ölçülür ve karşılaştırılır. Ek olarak, mükemmel

eşleştirme ile dağılımı belirlemek için net uygunluk hesaplanır. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde Marmara bölgesindeki Çatalca bölgesi kullanılmıştır. GA veya PSO'ya dayalı Genelleştirilmiş Uç Değer dağılımı, tüm veri kümeleri için diğer dağılımlardan daha iyi performans gösterdi. Ancak, Yarı-Normal dağılım çoğu durumda ikinci sırada yer almıştır. Ayrıca Weibull ve Burr dağılımları, GA ve PSO'ya dayalı olarak birbirinin yerine geçecek şekilde üçüncü ve dördüncü sıraları elde etti. GA, PSO'dan daha güçlüyken PSO daha hızlıdır. Sonuç olarak, kullanılan dağılım fonksiyonu, parametre tahmin yöntemi ve hata ölçümü, herhangi bir bölgedeki rüzgâr modeli için hangisinin en iyi UD olduğuna dair doğru bir karar vermek için temel faktörlerdir.

Kaynaklar (References)

1. Chang T.P., Estimation of wind energy potential using different probability density functions, *Appl. Energy*, 88 (5), 1848–1856, 2011.
2. Wadi M., Elmasry W., Statistical analysis of wind energy potential using different estimation methods for weibull parameters: A case study., *Electr Engineering*, 103, 2573-2594. March 2021.
3. Pishgar-Komleh S., Keyhani A., 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 Rev.*, 42, 313–322, 2015.
4. Morgan E. C., Lackner M., Vogel R. M., Baise L. G., Probability distributions for offshore wind speeds, *Energy Convers. Manage.*, 52 (1), 15–26, 2011.
5. Crutcher H. L., Baer L., Computations from elliptical wind distribution statistics, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 1 (4), 522–530, 1962.
6. Dutta S., Genton M.G., A non-Gaussian multivariate distribution with all lower-dimensional Gaussians and related families, *J. Multivar. Anal.*, 132, 82–93, 2014.
7. Yuan K., Zhang K., Zheng Y., Li D., Wang Y., Yang Z., Irregular distribution of wind power prediction, *J. Mod. Power Syst. Clean Energy*, 6 (6), 1172–1180, 2018.
8. Garcia A., Torres J., Prieto E., De Francisco A., Fitting wind speed distributions: a case study, *Sol. Energy*, 62 (2), 139–144, 1998.
9. Scerri E., Farrugia R., Wind data evaluation in the Maltese Islands, *Renewable energy*, 7 (1), 109–114, 1996.
10. Ahsanullah M., Alzaatreh A., Some Characterizations of the Log-Logistic Distribution, *Stochastics and Quality Control*, 33 (1), 23–29, 2018.
11. Yılmaz V., Çelik H. E., A statistical approach to estimate the wind speed distribution: the case of Gelibolu region, *Doğu Üniversitesi Dergisi*, 9 (1), 122–132, 2011.
12. Alavi O., Mohammadi K., Mostafaeipour A., Evaluating the suitability of wind speed probability distribution models: A case of study of east and southeast parts of Iran, *Energy Convers. Manage.*, 119, 101–108, 2016.
13. Mert I., 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*, 23 (6), 1571–1586, 2015.
14. Rajabi M., Modarres R., Extreme value frequency analysis of wind data from Isfahan, Iran, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 96 (1), 78–82, 2008.
15. El-Shanshoury G. I., Ramadan A., Estimation of extreme value analysis of wind speed in the North-Western coast of Egypt, *Arab J Nucl Sci Appl*, 45, 265–274, 2012.
16. Nagatsuka H., Balakrishnan N., A method for estimating parameters and quantiles of the three-parameter inverse Gaussian distribution based on statistics invariant to unknown location, *J. Stat. Comput. Simul.*, 84 (11), 2361–2377, 2014.
17. Alayat M. M., Kassem Y., Çamur H., Assessment of wind energy potential as a power generation source: A case study of eight selected locations in Northern Cyprus, *Energies*, 11 (10), 2697, 2018.
18. Lee D., Baldick R., Probabilistic wind power forecasting based on the laplace distribution and golden search, *IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D)*, 1–5, 2016.
19. Wallner M., A half-normal distribution scheme for generating functions, *Eur. J. Comb.*, 87, 103138, 2020.

20. Gómez Y. M., Vidal I., A generalization of the half-normal distribution, *Applied Mathematics-A Journal of Chinese Universities*, 31 (4), 409–424, 2016.
21. Ayuketang Arreyndip N., Joseph E., Generalized extreme value distribution models for the assessment of seasonal wind energy potential of Debuncha, Cameroon, *J. Renewable Energy*, 2016, 2016.
22. Sarkar A., Deep S., Datta D., Vijaywargiya A., Roy R., Phanikanth V., Weibull and Generalized Extreme Value Distributions for Wind Speed Data Analysis of Some Locations in India, *KSCE J. Civ. Eng.*, 23 (8), 3476–3492, 2019.
23. Singh V. P., Guo H., Parameter estimation for 3-parameter generalized Pareto distribution by the principle of maximum entropy (POME), *Hydrol. Sci. J.*, 40 (2), 165–181, 1995.
24. D'Amico G., Petroni F., Praticco F., Wind speed prediction for wind farm applications by extreme value theory and copulas, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 145, 229–236, 2015.
25. Zhang J., Wind power fluctuation characteristics of wind farms, *Proceedings of the 2015 International Conference on Electrical, Computer Engineering and Electronics*, 2015.
26. Sohoni V., Gupta S., Nema R., A comparative analysis of wind speed probability distributions for wind power assessment of four sites, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 24 (6), 4724–4735, 2016.
27. Wadi M., Kekezoglu B., Baysal M., Tur M. R., Shobole A., Feasibility Study of Wind Energy Potential in Turkey: Case Study of Catalca District in Istanbul, *2nd International Conference on Smart Grid and Renewable Energy (SGRE)*, 1–6, 2019.
28. Gul M., Tai N., Huang W., Nadeem M. H., Yu M., Evaluation of Wind Energy Potential Using an Optimum Approach based on Maximum Distance Metric, *Sustainability*, 12 (5), 1999, 2020.
29. Jung C., Schindler D., Global comparison of the goodness-of-fit of wind speed distributions, *Energy Convers. Manage.*, 133, 216–234, 2017.
30. Saxena B. K., Rao K. V. S., Comparison of Weibull parameters computation methods and analytical estimation of wind turbine capacity factor using polynomial power curve model: case study of a wind farm, *Renewables: Wind, Water, and Solar*, 2 (1), 1–11, 2015.
31. Pobočková I., Sedláčková Z., Michalková M., Application of four probability distributions for wind speed modeling, *Procedia Eng.*, 192, 713–718, 2017.
32. Drobinski P., Coulais C., Jourdir B., Surface wind-speed statistics modelling: Alternatives to the Weibull distribution and performance evaluation, *Boundary Layer Meteorol.*, 157 (1), 97–123, 2015.
33. Abolpour B., Abolpour B., Bakhschi H., Yaghoobi M., An Appropriate Extreme Value Distribution for the Annual Extreme Gust Winds Speed, *J Fundam Renewable Energy Appl*, 7 (223), 2, 2017.
34. Quan Y., Wang F., Gu M., A method for estimation of extreme values of wind pressure on buildings based on the generalized extreme-value theory, *Math. Probl. Eng.*, 2014, 2014.
35. Zhao X., Zhang Z., Cheng W., Zhang P., A new parameter estimator for the Generalized Pareto distribution under the peaks over threshold framework, *Mathematics*, 7 (5), 406, 2019.
36. An Y., Pandey M., A comparison of methods of extreme wind speed estimation, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 93 (7), 535–545, 2005.
37. Xiao Y., Li Q., Li Z., Chow Y., Li G., Probability distributions of extreme wind speed and its occurrence interval, *Eng. Struct.*, 28 (8), 1173–1181, 2006.
38. Krishnamoorthy R., Udhayakumar K., Raju K., Elavarasan R. M., Mihet-Popa L., An Assessment of Onshore and Offshore Wind Energy Potential in India Using Moth Flame Optimization, *Energies*, 13 (12), 1–41, 2020.
39. Zhang L., Li Q., Guo Y., Yang Z., Zhang L., An investigation of wind direction and speed in a featured wind farm using joint probability distribution methods, *Sustainability*, 10 (12), 4338, 2018.
40. Ahsanullah M., Alzaatreh A., Parameter estimation for the log-logistic distribution based on order statistics, *REVSTAT Statistical Journal*, 16, 429–443, 2018.
41. Lin L., Ang A. H., Fan W., Xia D., A probability-based analysis of wind speed distribution and related structural response in southeast China, *Struct. Infrastruct. Eng.*, 15 (1), 14–26, 2019.
42. Markose S., Alentom A., The generalized extreme value distribution, implied tail index, and option pricing, *The Journal of Derivatives*, 18 (3), 35–60, 2011.
43. Kang S., Song J., Parameter and quantile estimation for the generalized Pareto distribution in peaks over threshold framework, *J. Korean Stat. Soc.*, 46, 487–501, 2017.
44. Brabson B., Palutikof J., Tests of the generalized Pareto distribution for predicting extreme wind speeds, *J. Appl. Meteorol.*, 39 (9), 1627–1640, 2000.
45. Holmes J., Moriarty W., Application of the generalized Pareto distribution to extreme value analysis in wind engineering, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 83 (1–3), 1–10, 1999.
46. Steinkohl C., Davis R. A., Klüppelberg C., Extreme value analysis of multivariate high-frequency wind speed data, *J. Stat. Theory Pract.*, 7 (1), 73–94, 2013.
47. Li K., Kang X., Liu L., Two-stage Optimal Sizing of Hybrid Energy Storage System for Wind Energy Integration in Microgrid, *12th IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, 1–5, 2020.
48. Lin W., Wen J., Cheng S., Lee W.-J., An investigation on the active-power variations of wind farms, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 48 (3), 1087–1094, 2012.
49. Elmasry W., Akbulut A., Zaim A. H., Empirical study on multiclass classification-based network intrusion detection, *Comput. Intell.*, 35 (4), 919–954, 2019.
50. Elmasry W., Akbulut A., Zaim A. H., Comparative evaluation of different classification techniques for masquerade attack detection, *Int. J. Inf. Comput. Secur.*, 13 (2), 187–209, 2020.
51. Wadi M., Elmasry W., Modeling of wind energy potential in Marmara region using different statistical distributions and genetic algorithms, *International Conference on Electric Power Engineering–Palestine (ICEPE-P)*, IEEE, 1–7, 2021.
52. Wadi M., Five different distributions and metaheuristics to model wind speed distribution, *Journal of Thermal Engineering*, 7 (Supp 14), 1898–1920, 2021.
53. Wadi M., Elmasry W., Shobole A., Tur M. R., Bayindir R., Shahinzadeh H., Wind Energy Potential Approximation with Various Metaheuristic Optimization Techniques Deployment, *7th International Conference on Signal Processing and Intelligent Systems (ICSPIS)*, IEEE, 1–6, 2021.
54. Mostafaeipour A., Feasibility study of harnessing wind energy for turbine installation in province of Yazd in Iran, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 14 (1), 93–111, 2010.
55. Okorie M. E., Inambao F., Chiguvare Z., Evaluation of wind shear coefficients, surface roughness and energy yields over inland locations in Namibia, *Procedia Manuf.*, 7, 630–638, 2017.
56. Gualtieri G., Secci S., Wind shear coefficients, roughness length and energy yield over coastal locations in Southern Italy, *Renewable Energy*, 36 (3), 1081–1094, 2011.
57. Lackner M. A., Rogers A. L., Manwell J. F., McGowan J. G., A new method for improved hub height mean wind speed estimates using short-term hub height data, *Renewable Energy*, 35 (10), 2340–2347, 2010.
58. Laban O. N., Maghanga C. M., Joash K., Determination of the surface roughness parameter and wind shear exponent of Kisii Region from the on-site measurement of wind profiles, *J. Energy*, 2019, 2019.
59. Gualtieri G., Secci S., Comparing methods to calculate atmospheric stability-dependent wind speed profiles: A case study on coastal location, *Renewable Energy*, 36 (8), 2189–2204, 2011.
60. Ağçay M., Attay F., Türkiye'nin Elektrik Enerjisi Arz Talep Dengesinin Tespiti, Üretim Projeksiyonuna Yönelik Rüzgâr Elektrik Santrali Tasarımı RES'in Kurulum Maliyetlerinin ve Üretim Parametrelerinin Analizinin Matlab & Simulink ile Yazılan Programda Yapılması, Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, İstanbul, Turkey, 2007.
61. Gul M., Tai N., Huang W., Nadeem M. H., Yu M., Assessment of wind power potential and economic analysis at hyderabad in Pakistan: powering to local communities using wind power, *Sustainability*, 11 (5), 1391, 2019.
62. Willmott C. J., Matsuura K., Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance, *Climate research*, 30 (1), 79–82, 2005.
63. Hyndman R. J., Koehler A. B., Another look at measures of forecast accuracy, *Int. J. Forecasting*, 22 (4), 679–688, 2006.
64. Daş M., Balpetek N., Kavak Akpınar E., Akpınar S., Investigation of wind energy potential of different provinces found in Turkey and establishment of predictive model using support vector machine regression with the obtained results, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (4), 2203–2214, 2019.

65. Akpınar E.K., Balpetek N., Statistical analysis of wind energy potential of Elazığ province according to Weibull and Rayleigh distributions, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (1), 569-580, Mar. 2019.
66. Papoulis A., Pillai S. U., *Probability, random variables, and stochastic processes*, Tata McGraw-Hill Education, 2002.
67. Soong T. T., *Fundamentals of probability and statistics for engineers*, John Wiley & Sons, 2004.
68. DeCarlo L. T., On the meaning and use of kurtosis, *Psychological methods*, 2 (3), 292, 1997.
69. Irwanto M., Gomesh N., Mamat M., Yusoff Y., Assessment of wind power generation potential in Perlis, Malaysia, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 38, 296–308, 2014.
70. Saeidi D., Mirhosseini M., Sedaghat A., Mostafaeipour A., Feasibility study of wind energy potential in two provinces of Iran: North and South Khorasan, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 15 (8), 3558–3569, 2011.