



## **Türkiye Karasal Rüzgar Enerji Santrallerin Maliyet Analizi: Adilcevaz Bölgesi Vaka Çalışması**

### **Cost Analysis of Türkiye Onshore Wind Power Plants: Adilcevaz Region Case Study**

**Soner Çelikdemir<sup>1\*</sup>, Mahmut Temel Özdemir<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Bitlis Eren University, Adilcevaz Vocational School, Electric and Energy, Bitlis, 13000, TÜRKİYE

<sup>2</sup> Fırat University, Engineering Faculty, Electrical-Electronics Engineering, Elazığ, 23000, TÜRKİYE

Sorumlu Yazar / Corresponding Author \*: celikdemirsoner@gmail.com

Geliş Tarihi / Received: 06.10.2022

Kabul Tarihi / Accepted: 09.02.2023

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI:10.21205/deufmd.2023257502

*Atıf şekli/ How to cite:* ÇELİKDEMİR, S. , ÖZDEMİR, M.T.(2023). Türkiye Karasal Rüzgar Enerji Santrallerin Maliyet Analizi: Adilcevaz Bölgesi Vaka Çalışması. DEUFMD, 25(75), 539-550.

#### **Öz**

Elektrik enerjisi kullanımının artması yeni yatırımları da gerektirmektedir. Bu nedenle bir çok farklı yeni elektrik enerjisi üretim sistemi yatırımlarının yapılması kaçınılmazdır. Bu bağlamda gerçekçi bir maliyet tahminine sahip olmak yatırımcılara birçok avantaj sağlamaktadır. Bu avantajı kullanmak için bu çalışmada RES'lerin gerçekçi yatırım maliyetlerinin belirlenmesine odaklanılmıştır. Çalışmada, Türkiye'deki RES yatırım maliyetleri analiz edilerek yeni RES yatırım maliyetlerinin tahmini için ilk kez bir denklem modeli önerilmiştir. Önerilen denklem modelinde parametreleri belirlemek için Kaos Gömülü Adaptif Parçacık Sürü Optimizasyonu tercih edilmiştir. Önerilen denklem modelindeki parametrelerin hesaplanması için MATLAB programı kullanılmıştır. Yapılan analiz sonucunda ortalama hata %6,37 olarak hesaplanmıştır. Farklı türbin türlerindeki RES'ler ile önerilen denklem modelinin doğruluğu test edilmiştir. Test sonucunda önerilen denklem modelinin geçerliliği gösterilmiştir. Yapılan analiz sonucunda ortalama hata % 6,77 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca çalışmada duyarlılık analizi yapılmış ve farklı parametre değerlerindeki maliyet değişimleri ifade edilmiştir. Duyarlılık analizine göre maliyet üzerinde kurulu güç değerindeki değişimin, rotor çapı ve kule yüksekliğindeki değişime göre daha baskın olduğu görülmektedir. Son olarak Adilcevaz bölgesinde bir vaka çalışması yapılmıştır. Belirlenen bölgede kurulacak rüzgar enerji çiftliği için 4 farklı türbin markasına ait 14 farklı türbin modeli için maliyetler hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda birim maliyet olarak uygun türbin modeli Nordex N117-3/3 olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Rüzgar Güç Santrali Maliyet Tahmini, Kaos Gömülü Adaptif Parçacık Sürü Optimizasyonu, Maliyet Analizi, Duyarlılık Analizi

#### **Abstract**

The increase in the use of electrical energy also requires new investments. For this reason, it is inevitable to make many different new electrical energy generation system investments. In this context, having a realistic cost estimation provides many advantages to investors. In order to use this advantage, this study focuses on determining the realistic investment costs of WPP. In the study, an equation model is proposed for the first time for the estimation of new WPP investment costs by analyzing WPP investment costs in Turkey. Chaos Embedded Adaptive Particle Swarm Optimization was preferred to determine the parameters in the proposed equation model. The MATLAB program was used to calculate the parameters in the proposed equation model. As a result of the analysis, the

average error was calculated as 6.37%. The accuracy of the proposed equation model was tested with WPPs of different turbine types. As a result of the test, the validity of the proposed equation model is shown. As a result of the analysis, the average error was calculated as 6.77%. In addition, sensitivity analysis was performed in the study and cost changes in different parameter values were expressed. According to the sensitivity analysis, it is seen that the change in the installed power value on the cost is more dominant than the change in rotor diameter and tower height. Finally, a case study was conducted in the Adilcevaz region. Costs were calculated for 14 different turbine models belonging to 4 different turbine manufacturers for the wind energy farm to be established in the determined region. As a result of these calculations, the turbine model suitable for unit cost was determined as Nordex N117-3/3.

**Keywords:** Estimation of Wind Power Plant Energy Potential, Chaos Embedded Adaptive Particle Swarm Optimization, Cost Analysis, Sensitivity Analysis

## 1. Giriş

Elektrik enerjisinin üretildiği birincil enerji kaynak türü günümüzde önem kazanmıştır ve tüketiciler için bir tercih unsuru olmuştur. Bu durum, çevresel etkileri az olan Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının (YEK) önemini artırmaktadır. YEK'ler içerisinde ise Rüzgar Enerji Santralleri (RES) büyük bir paya sahiptir [1]. Türkiye; coğrafik konumu, etkisi altında olduğu basınç merkezleri, üç tarafının denizlerle çevrili olması ve yer şekilleri nedeni ile önemli bir potansiyele sahiptir [1-3]. Bu potansiyelin hesaplanması için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin başlıcaları Weibull, Gamma, Lognormal ve Rayleigh dağılımlarıdır. Bunların arasında, Weibull Dağılımı en verimli ve en çok tercih edilen yöntemdir [4-9]. Bir bölgenin Weibull Dağılımı kullanılarak beş farklı türbin modeli için ekonomik açıdan değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma sonucunda Enercon-82 rüzgar türbin modeli en uygun model olarak bulunmuştur [5]. Weibull Dağılımı kullanılarak, bir bölgenin rüzgar hızının dağılımı belirlenmekte ve bunun sonucunda bölgenin enerji potansiyeli değerlendirilmektedir.

Bir bölgenin potansiyelinin değerlendirilmesi ve yatırıma dönüştürülmesi için maliyet bilgileri önemlidir. Bu öneme binaen, maliyet analizi ve tahmini araştırmacılar tarafından ele alınan güncel bir konudur [3,10-17]. Araştırmacılar tarafından maliyet analizleri, açık deniz RES'ler için yapılmış ve denklem modelleri önerilmiştir [1,11-13,18]. Daha sonra yapılan çalışmalarda ise bu maliyet modelleri kullanılarak fizibilite ve yaşam döngüsü maliyet faktörleri incelenmiştir [12,18]. Açık deniz RES'ler ile ilgili olarak farklı değişkenlerin toplam maliyet üzerindeki etkilerin incelenmesi için regresyon denklem modelleri önerilmiştir [11]. Fakat bu çalışmalar

bir adet RES verisi kullanılarak yapılmıştır. Bu şekilde elde edilen sonuçlar ile genel bir ifade elde edilmemiştir. Bunun yanı sıra açık deniz RES'lerin yer seçimi ve konumlandırılması üzerine de çalışmalar yapılmıştır [2,19-22]. Bu yapılan çalışmaların bir kısmında RETScreen, WindPRO paket programları kullanılmıştır [3,23,24]. Fakat tartışılan çalışmaların tamamı açık deniz RES'leri kapsamaktadır. Literatürde, karasal RES'ler için maliyet analizlerinin yapıldığı bir çalışma mevcut değildir. Bu durum bir eksiklik olarak görülmektedir.

Çalışmanın ilk aşamasında, geniş bir veri seti oluşturulmuştur. Bunun için literatürde daha önce kullanılmamış olan Türkiye'deki 15 adet RES'e ait veriler kullanılmıştır. Bu veri seti kullanılarak maliyet denklem modeli önerilmiştir. Maliyet denklem modeli için parametreleri belirlerken literatürde var olan Kaos Gömülü Adaptif Parçacık Sürü Optimizasyonu (KGAPSO) kullanılmıştır. Kullanılan bu optimizasyon yöntemi pek çok avantaja sahiptir. Bu avantajlar; sorun çözmede daha az bireyle yerel minimumlarda az takılması, yüksek yakınsama hızının olmasıdır. [25]. Önerilen denklem modelindeki parametrelerin hesaplanması için MATLAB programı kullanılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında, verileri daha önce kullanılmamış farklı parametre değerlerine sahip RES'ler kullanılarak önerilen denklem modeli test edilmiştir. Böylece önerilen denklem modelinin genel geçerliliğe sahip olduğu gösterilmiştir. Üçüncü aşamada ise, önerilen denklem modelindeki parametrelerin maliyet üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bunun için duyarlılık analizi yapılmıştır. Duyarlılık analizi, bir denklem modelindeki değişkenlerden biri değiştirilirken diğer değişkenler sabit tutularak maliyet değişim grafiğini elde edilmesi olarak

ifade edilir. Bu işlem her bir değişken için sırasıyla uygulanır. Bu şekilde önerilen denklem modeli üzerinde değişkenlerin etkisi görülmektedir. Son aşamasında ise önerilen denklem modeli kullanılarak Adilceviz bölgesi için bir saha ön çalışması yapılmıştır. Adilceviz, Türkiye'nin doğusunda yer alan Bitlis iline bağlı bir ilçedir. Çalışmada, farklı rüzgar türbin modelleri için yatırım maliyet analizi yapılmıştır. Bunun için 4 farklı türbin markasına ait 14 farklı türbin modeli incelenmiştir. Seçilen bölgede her bir türbin modeli için toplam maliyet ve üretilecek enerji miktarları ve birim enerji maliyetleri hesaplanmıştır.

#### **Çalışmanın motivasyonu;**

Bu çalışmanın amacı; RES'lerin yatırım maliyetlerinin tahmin edilmesi için denklem modeli önermektir. Bu şekilde bir RES yatırımı yapılmadan maliyet bilgileri hesaplanacaktır. Denkleme ait parametreler, sezgisel algoritma yöntemlerinden birisi olan KGAPSO ile belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada önerilen denklem modelinin doğruluğu test edilmiştir. Büyük bir doğrulukla maliyet tahminlerinin yapıldığı ortaya konulmuştur.

#### **2. Türkiye Rüzgar Enerji Potansiyeli ve Kurulu Güç Değerleri**

Türkiye'nin Rüzgar Enerji Potansiyeli (REP) 48.000 MW olarak hesaplanmıştır [26]. Bu potansiyel değere karşılık gelen toplam alan Türkiye yüz ölçümünün % 1,3'ünü oluşturmaktadır. Türkiye'nin karasal alanlarda brüt REP'i 400 milyar kWh/yıl, teknik rüzgar enerji potansiyeli 120 milyar kWh/yıl ve ekonomik olarak rüzgar enerji potansiyeli ise 50 milyar kWh/yıl olarak hesaplanmaktadır [27]. 2022 Ocak ay sonu itibarıyla RES'lerin toplam kurulu gücü 10,68 MW'tır. 2022 Kasım ay sonu itibarıyla RES'lerin toplam kurulu gücü 11,365 MW'tır. Türkiye'nin kurulu güç değeri 2022 yılı Kasım ay sonu itibarı ile elektrik kurulu gücü 103,541 MW değerine ulaşmıştır. Kurulu güç değerinin enerji kaynaklarına göre oranları; % 45,76 fosil kökenli enerji kaynaklarından, % 30,48 hidroelektrik enerji santrallerinden, % 10,97 RES'lerden, % 9 güneş enerji santrallerinden, % 1,77 biyokütle ve % 1,62 jeotermal enerji kaynakları şeklindedir [28]. Bütün bu değerler Türkiye'nin rüzgar enerjisinin gelişmekte ve daha da gelişmeye açık olduğunu göstermektedir. Ayrıca RES yatırımlarının artacağına işaret etmektedir.

RES'ler dünyadaki elektrik enerji gereksiniminin yaklaşık olarak % 7,7'sini karşılamaktadır [1]. Bu durum hali hazırda değerlendirilmemiş olan REP'lerin önemini artırmaktadır.

#### **3. Türkiye Rüzgar Enerji Santralleri Maliyet Analizi**

RES'ler farklı ekipmanların bir araya gelmesiyle oluşan kompleks sistemlerdir. Bir RES genel olarak; rotor kanatları ve kule başta olmak üzere generatör, yaw mekanizması ve elektronik devrelerden meydana gelmektedir. Rüzgar türbinleri, hem teknolojik gelişmeler ve hem de ihtiyaç gereksinimlerinden dolayı farklı güç, kule yüksekliği ve rotor çaplarında üretilmektedir. Rüzgar türbinlerinde, rüzgar enerjisinden mekanik enerjiye dönüşümde rotor kanatları doğrudan etkilidir. Rüzgarın kanatlara temas ettiği ve kanatları terk ettiği durumlardaki kinetik enerji farkı, rüzgar enerjisinin kinetik enerjiye dönüşen miktarına eşittir. Bu gücün hesabında kinetik enerji denklemleri kullanılır. Rüzgarın kinetik enerji denklemi;

$$E = \frac{1}{2} m v^2 \quad (1)$$

Burada;  $m$  havanın kütlesi (kg),  $v$  rüzgar hızını (m/sn) ifade etmektedir. Havanın kütlesi ise;

$$m = V_a \rho \quad (2)$$

Burada;  $\rho$  havanın yoğunluğunu (kg/m<sup>3</sup>),  $V_a$  ise hava hacmini (m<sup>3</sup>) ifade eder. Ayrıca rüzgar yönüne dik alandan birim zamanda geçen havanın hacim ifadesi;

$$V_a = A v t \quad (3)$$

Burada;  $A$  rüzgar yönüne rotor kanatlarının süpürme alanı (m<sup>2</sup>),  $t$  ise zamanı (s) ifade eder. Denklem 1 yeniden düzenlenirse enerji denklemi;

$$E = \frac{1}{2} A \rho v^3 t \quad (4)$$

olarak elde edilir. Güç denklemi ise enerji denkleminin zamana bölünmesiyle;

$$P = \frac{1}{2} A \rho v^3 \quad (5)$$

olarak elde edilir. Bu çalışmada maliyet modeli için RES'lerin güç denklemi referans alınmıştır. Güç denklemindeki parametreler maliyetleri

doğrudan etkilemektedir. Bir RES'den elde edilecek güç, süpürme alanı ve rüzgar hızına bağlıdır. Süpürme alanı, rüzgar türbin kanatlarının dairesel hareketinde taradığı alanı ifade eder. Rüzgar hızı ise kule yüksekliğine bağlı olarak değişmektedir. Rüzgar hız ölçümleri Dünya Meteoroloji Teşkilatı'nın belirlemiş olduğu 10 m yükseklikte yapılmaktadır [4]. Rüzgar türbinleri ise daha fazla yüksekliğe sahip olduğundan kanatlara temas eden rüzgar hızı daha fazladır. Dolayısıyla rüzgar türbin kanatlarındaki rüzgar hızı, kule yüksekliğiyle orantılıdır.

### 3.1. Kaos Gömülü Adaptif Parçacık Sürü Optimizasyonu

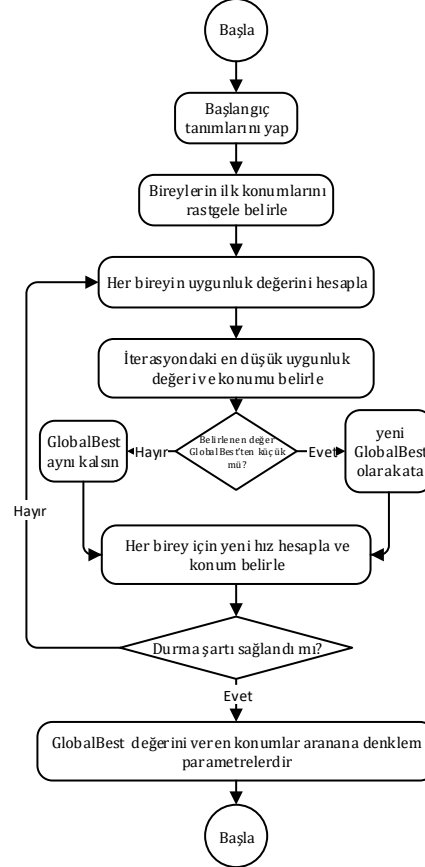
Optimizasyon, bir sorunun en uygun çözüme ulaşma amacı olarak tanımlanır. Literatürde teorik sorunların çözümü için birçok optimizasyon algoritması yer almaktadır. Bu algoritmalar; karınca kolonisi, yapay arı sürü, genetik ve parçacık sürü algoritmalarıdır. Bunlar arasında en yaygın olarak Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) tercih edilmektedir. PSO, Eberhart ve Kennedy tarafından 1995 yılında ortaya atılan evrimsel bir algoritmadır [29]. Bu algoritma yöntemi, kuş ve hayvan sürüleri gibi bazı canlıların sürü davranışlarını taklit eder. Bu davranışlar dış tehlikelerden uzaklaşma ve besin kaynağı bulmadır. Bu durum sürüdeki bütün canlıların iletişim halinde olması ile sağlanır. Sürü 'n' boyutlu arama uzayında hareket eden 'N' parçacıktan oluşur.  $x_i(t)$ ,  $i$  parçacığının  $t$  yinelemesindeki pozisyon olarak tanımlanır. Bu tanım sonucunda parçacığın kalitesini değerlendirmek için kullanılır. PSO, sorunun çözümünde bireyler arasındaki bilgi paylaşımına dayanır. Arama boyunca her bir parçacık sürüdeki en iyi konum yönüne göre konumunu güncellerken, bir önceki deneyimlerinden de yararlanır. Parçacıklar konumlarını iki faktöre göre ayarlar; kişisel en iyi konum ( $X_{pbest}$ ) ve tüm sürüdeki en iyi konum ( $X_{gbest}$ ). Parçacığın bir sonraki hızı ve konumu aşağıdaki denklemlere göre hesaplanır [25];

$$v_i(t+1) = wv_{i,j}(t) + c_1r_1(t)(X_{pbest} - x_{i,j}(t)) + c_2r_2(t)(X_{gbest} - x_{i,j}(t)) \quad (6)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (7)$$

Burada  $c_1, c_2, X_{gbest}$  hız faktörleri  $v_i$ , parçacığın hızı,  $x_i$  parçacığın pozisyonudur,  $w$  atalet

katsayısı olarak tanımlanır. Eylemsizlik katsayısı, küresel ve yerel arama yeteneğini dengelemek için kullanılır.



Şekil 1. KGAPSO Akış Diyagramı

Figure 1. CEAPSO Flow Chart

Büyük atalet katsayısı, genel aramayı kolaylaştırır ve daha küçük, yerel aramayı kolaylaştırır. Eylemsizlik katsayısı, yerel ve global arama arasındaki dengeyi sağlar ve sonuç olarak, daha az yineleme ile yeterli optimal sonuçlar elde edilir. PSO algoritmasının başarı düzeyini artırmak için hız fonksiyonundaki katsayı ve sabit değerler kaotik haritalardan ( $CM_s$ ) alınarak Alataş ve arkadaşları tarafından KGAPSO olarak adlandırılmıştır. KGAPSO'nun farklı test fonksiyonlarındaki performansının iyi olduğu bildirilmiştir [25].

Buna göre yeni hız denklemi;

$$\begin{aligned}
v_i(t+1) &= CM1v_{i,j}(t) \\
&+ c_1CM2(t)(X_{pbest} - x_{i,j}(t)) \\
&+ c_2CM3(t)(X_{gbest} - x_{i,j}(t))
\end{aligned} \quad (8)$$

olarak elde edilir. Burada  $CM1$ ,  $CM2$  ve  $CM3$ , 0-1 arasındaki değerlere sahip seçili kaotik haritanın sonuçlarıdır. Literatürde birçok  $CM$  vardır [25]. Bu çalışmada, hız fonksiyonunda kullanılmak üzere Chebyshev  $CM$  kullanılmıştır. Buna göre;

$$CM_{1,2,3} = CM_{t+1} = \cos(n * \arccos(CM_t)) \quad (9)$$

Burada;  $n$  sürü boyutunu ve  $t$  yineleme sayısındaki kaotik sayı olarak tanımlanır [30-33].

Burada,  $CM_s$ 'nin başlangıç değeri 0,6 olarak belirlenmiştir. Ayrıca KGAPSO algoritmasındaki diğer parametre olarak, iterasyon sayısı 1200,

eylemsizlik katsayısı 0,8,  $c_1= 0,12$ ,  $c_2= 1,2$  ve sürü boyutu ise 150 olarak alınmıştır.

### 3.2. Denklem Modeli Geliştirme

Açık deniz RES'leri kapsayan genel ve detaylı maliyetleri tahmin etmek üzere literatürde farklı denklem modelleri geliştirilmiştir [1,2,11,13,18,34]. Bu denklemlerde farklı korelasyonlar mevcuttur. Fakat denklem korelasyonları için sınırlı sayıda veri kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Yakın geçmişte yapılan çalışmalar da ise fizibilite ve yaşam döngüsü maliyet faktörleri incelenmiştir [18].

**Tablo 1.** Parametre Değerleri

**Table 1.** Parameter Values

Parametre	Katsayı	Parametre	Katsayı
a	0,138479	e	0,174481
b	1,379845	f	0,086595
c	0,042679	g	1,398593
d	0,214257		

**Tablo 2.** Önerilen Denklem Modelinde Kullanılan RES Verileri ve Hesaplanan Sonuçlar

**Table 2.** WPP Data Used in the Proposed Equation Model and Calculated Results

Santral Adı	Güç (MW)	Rotor Çapı (m)	Kule Yüksekliği (m)	Türbin Marka ve Model	Gerçek Maliyet (10 <sup>3</sup> \$)	Hesaplanan Maliyet (10 <sup>3</sup> \$)	Hata Oranı (%)
Dökükdagi	30	80,3	80		15.800,42	16.883,88	-6,8571
Beypazarı	20	61,4	69	Mitsubishi MWT	10.395,01	10.395,25	-0,0024
Atasa	23,4	117	141	Nordex N117	12.162,16	12.517,03	-2,9178
Güllük	33	117	140	Nordex N117/2.4	20.582,12	19.031,02	7,5361
Gülpınar	25	136	120		15.592,52	13.542,74	13,1459
Ömerli	100	82	98	Enercon E-82	89.397,09	81.397,31	8,9485
Pelit	80	82	98	Enercon E-82	67.151,77	60.294,40	10,2117
Mansurlu	60	61,4	60	Mitsubishi MWT	41.095,89	41.101,55	-0,0137
Yalova	15	61,4	69		7.7962,58	7.563,89	2,9804
Sertavul	30	127	116	Enercon E126	20.582,12	16.903,49	17,8729
Pamukova	20	114	125	Gamesa G114 - 2.0	10.395,01	10.423,17	-0,2709
Özbek	24	110	125	Vestas V110	12.474,01	12.894,25	-3,3689
Sarıca	50	71	82	Enercon 70	38.869,26	32.358,95	16,7492
Çınar	99,9	44	55	Enercon 44	77.660,78	81.261,10	-4,6359
Saros	138	114	93	GE	125.964,9	125.964,32	0,0004
<b>Mutlak Hataların Toplamı</b>						95,5118	
<b>Ortalama Hata</b>						6,3674	
<b>Standart Sapma</b>						7,9112	

Bir RES'in güç ifadesi, rotor kanat çapı ve rüzgar hızı dolayısıyla kule yüksekliğine bağlıdır. Bu ifadeler aynı zamanda RES'lerin maliyetini

etkileyen parametreler olarak kabul edilmiştir. Bu bilgiler ışığında RES maliyeti için önerilen denklem modeli Denklem 10'da verilmiştir.

$$Maliyet = a.P^b + c.H^d + e.R^f + g \quad (10)$$

Denklem 10'da; "a ve b" P (KW) güç ifadesinin ağırlık katsayılarını, "c ve d" H (m) kule yüksekliğinin ağırlık katsayılarını, "e ve f" ise R (m) rotor çap ifadesinin ağırlık katsayılarını ifade etmektedir.

Parametre değerlerin hesaplanması için KGAPSO kullanılmıştır. Bunun için 15 adet RES verisi analiz edilmiştir. Analiz sonucunda Denklem 10'daki ağırlık katsayıları Tablo 1'de verilmiştir. Çalışmada ele alınan RES'lere ait veriler Tablo 2'de verilmiştir [35].

Türkiye'nin farklı bölgelerinde bulunan 15 adet RES, Denklem 10 kullanılarak 4 terim ve 7 parametre olarak önerilmiştir. Bu katsayılar KGAPSO algoritması ile optimize edilmiştir. Önerilen denklem modelinin parametrelerin hesaplanması için MATLAB kullanılmıştır

Amaç fonksiyonu olarak Mutlak Hataların Toplamı (MHT);

$$J = \sum_{n=1}^{15} |n^{th} Gerçek M. - n^{th} Hesaplanan M.| \quad (11)$$

Burada n, örnek sayısını ifade etmektedir. Buna göre RES'lerin hesaplanan maliyetleri ve yüzde hata değerleri Tablo 2'de verilmiştir. En büyük yüzde hata değeri %17,87 ortalama hata %6,37 ve standart sapma değeri 7,91 olarak hesaplanmıştır.

### 3.3. Denklem Doğrulama

Önerilen denklem parametreleri tek tip rotor çapı ve kule yüksekliğine sahip RES'ler referans alınarak hesaplanmıştır. Buna karşın günümüzde bazı rüzgar enerji çiftlikleri farklı kule yüksekliği ve rotor çap değerlerine sahiptir.

**Tablo 3.** RES Verileri ve Hata Oranları

**Table 3.** WPP Data and Error Rates

Santral Adı	Güç (MW)	Rotor Çapı (m)	Kule Yüksekliği (m)	Türbin Marka ve Model	Gerçek Maliyet (10 <sup>3</sup> \$)	Hesaplanan Maliyet (10 <sup>3</sup> \$)	Hata Oranı (%)
Adapazarı	5	66	54	Suzlon S66-1,25	54.794,52	49.113,89	10,3671
	24	82	78				
	51	90	80				
Atakale	24	149	105		20.790,02	22.100,02	-6,3011
	2	131	105				
	14	131	91				
Işıklar	36	80,3	120	Doldwind GW-1,5	25.987,52	28.269,23	-8,7800
	14	100	80				
Maslaktepe	18	82	85	Enercon	10.395,01	11.362,17	-9,3041
	2	82	85				
İmrenler	6	82	160	Goldwind GW82/1,5	10.395,01	10.481,390	-0,8309
	14	80	160				
Doğa	25	80,3	109		25.467,77	26.411,29	-3,7047
	24	82	108				
Topaz	29	82,4	160	Siemens SWT-82	33.783,78	37.440,35	-10,8234
	36	110	150				
Yahşelli	8	90	104,5		10.395,01	10.254,22	1,3543
	12	90	104,5				
Soğanlı	2	80,3	80		15.592,51	17.065,89	-9,4492
	6,4	55	73				
	21,6	131	134				
<b>Mutlak Hataların Toplamı</b>						60,9148	
<b>Ortalama Hata</b>						6,768311	
<b>Standart Sapma</b>						6,869327	

Bu durum maliyet değerini etkilemektedir. Bu bölümde, önerilen denklem modeli farklı

parametrelere sahip RES'lere uygulanmıştır. Bu şekilde önerilen denklem modelinin doğruluk analizi yapılması amaçlanmıştır. Bunun için

Türkiye coğrafyasının farklı bölgelerinde bulunan rüzgar enerji çiftlik verileri kullanılmıştır. Denklem önermede kullanılan veri sayısına yakın sayıda 9 adet rüzgar enerji çiftlik verisi kullanılmıştır [35].

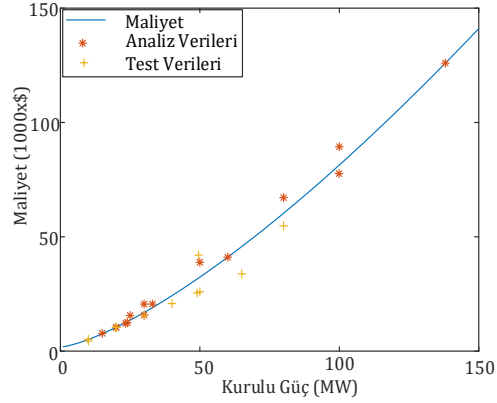
Önerilen denklem modeli kullanılarak hesaplanan maliyet ve hata oranları Tablo 3'te verilmiştir. Bunun sonucunda, denklem önermede kullanılan santrallerin hata oranlarına yakın değerler elde edilmiştir. En yüksek yüzde hata değeri %-10,82 ortalama hata % 6,77 ve standart sapma değeri 6,87 olarak hesaplanmıştır.

Ortalama hata değeri denklem önermede kullanılan RES verilerinin ortalama değeri ile yakın değerde hesaplanmıştır. Bu durum, önerilen denklem modelinin maliyet tahminlerinde etkin bir şekilde kullanılabileceğinin bir göstergesidir.

### 3.4. Duyarlılık Analizi

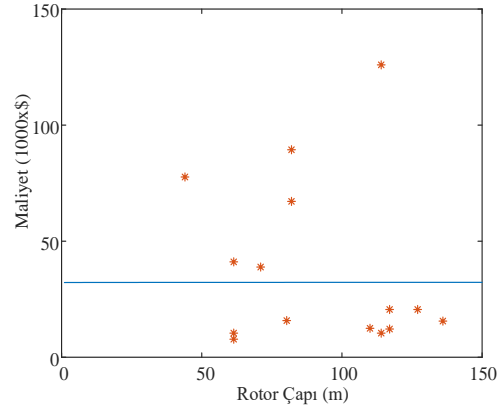
Bu bölümde, önerilen denklem modelindeki parametrelerin, maliyet üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla duyarlılık analizi yapılmıştır. Duyarlılık analizi için denklem modelindeki parametreler sırasıyla incelenmiştir. Bu şekilde parametrelerin maliyet üzerindeki etkisi açıkça görülebilmektedir. Duyarlılık analizi için önerilen denklem modelindeki bir parametre değiştirilirken diğer parametreler değiştirilmez. Bu şekilde değiştirilen parametrenin maliyet üzerindeki değişimi incelenir. Duyarlılık analizi Denklem 10'daki her bir parametre için yapıldığı durumda sonuçları Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te sırasıyla verilmiştir. Buna göre; bir RES'in kurulu güç değeri arttıkça maliyet lineer değişime yakın bir şekilde artmaktadır. Fakat rotor çapı ve kule yüksekliğinin maliyeti çok fazla artırmadığı görülmektedir.

Bu durumda, önerilen denklem modelinde kurulu güç değerinin etkisi rotor çapı ve kule yüksekliğine göre daha fazla olmaktadır.



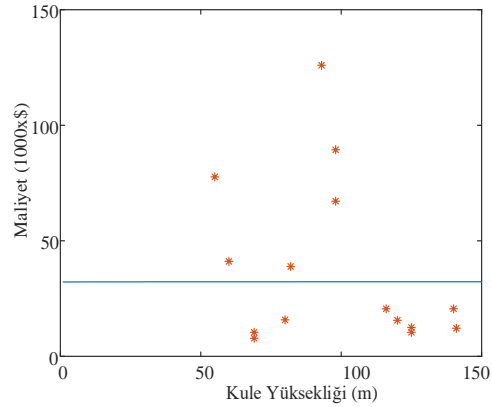
Şekil 2. Kurulu Güç-Maliyet Değişim Grafiği

Figure 2. Installed Power-Cost Change Graph



Şekil 3. Rotor Çapı-Maliyet Değişim Grafiği

Figure 3. Rotor Diameter-Cost Variation Graph



Şekil 4. Kule Yüksekliği-Maliyet Değişim Grafiği

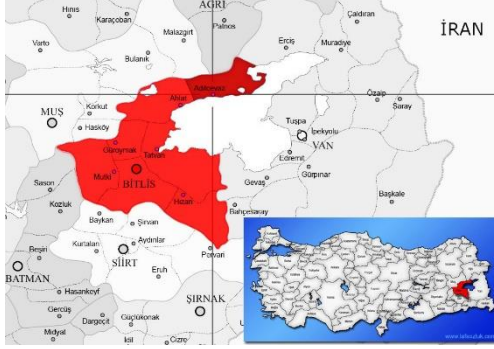
Figure 4. Hub Height-Cost Variation Graph

Duyarlılık analizinde denklem önermede kullanılan veriler '\*' olarak, denklem

doğrulamada kullanılan veriler ise '+' olarak gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre kurulu güç değerinin maliyet üzerindeki etkisi fazla olmaktadır. Kurulu güç arttıkça maliyet lineere yakın olarak artmaktadır. Fakat rotor çapı ve kule yüksekliği arttıkça maliyet fazla değişmemektedir.

#### 4. Vaka Çalışması: Adilceviz Bölgesi

Bu bölümde; Adilceviz bölgesinde kurulacak bir rüzgar enerji çiftliğinin maliyet analizi yapılmıştır. Adilceviz, Bitlis ilinin kuzeyinde yer alan bir ilçesidir. Bölgeye ait konum bilgileri Şekil 5'de gösterilmiştir. Bölgenin REP değeri için Çelikdemir ve Özdemir [4] tarafından yapılan çalışmada hesaplanan veriler dikkate alınmıştır. Bu şekilde bölgenin değerlendirilebilir REP'e sahip olduğu görülmektedir [4].



Şekil 5. Adilceviz Konum Haritası

Figure 5. Adilceviz Location Map

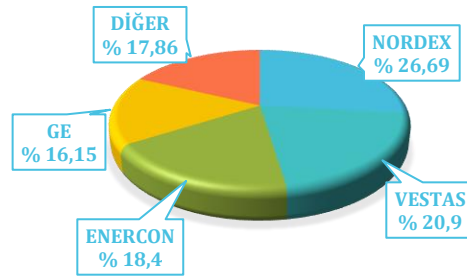
Bölgede kurulacak rüzgar enerji çiftliğinin maliyetinin öngörülmesi için Tablo 1'de verilen ağırlık katsayıları Denklem 10'da yerine yazılarak hesaplanmıştır. Denklem modelinde; kurulu güç, rotor çapı ve kule yüksekliği parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için kurulu güç değeri olarak, denklem önermede kullanılan 15 adet RES verisinin ortalama güç değeri olan 50 MW kabul edilmiştir. Rotor çapı ve kule yüksekliği parametrelerinin belirlenmesi için ise Türkiye'de kullanılan rüzgar türbin modelleri referans alınmıştır [36]. Rüzgar enerji çiftliğinin konum bilgileri 38.8554 enlem ve 42.6142 boylam olarak belirlenmiş ve Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. RES Konum Haritası

Figure 6. WPP Location Map

Türkiye'de işletmedeki RES'lerin markalara göre olan dağılımları Şekil 4'de verilmiştir. Buna göre; kullanılan türbinlerin marka oranları %26,69 Nordex, %20,90 Vestas, %18,40 Enercon ve %16,15 GE oluşturmaktadır [21]. Türkiye Rüzgar Enerji İstatistik Raporu Temmuz 2019 yer alan işletmedeki 183 RES arasında; Nordex markasına ait N117-3 türbin modeli, Vestas markasına ait V112-3.3 türbin modeli, Enercon markasına ait E82-2.3 türbin modeli ve GE markasına ait GE2.5-100 türbin modeli en çok tercih edilen modeller olmuştur. Bu tercih edilen modellerin ise farklı karakteristiklere sahip türbinleri mevcuttur. Bunun için çalışmada bu markalara ait rüzgar türbinlerinin çeşitli modelleri birlikte incelenmiştir.



Şekil 7. RES'lerin Markalara Göre Dağılımı

Figure 7. Distribution of WPPs by Brands



**Tablo 4.** Adilcevaz Bölgesi Vaka Çalışma Sonuçları**Table 4.** Adilcevaz Region Case Study Results

Türbin Türü	Türbin Gücü (MW)	Rotor Çapı (m)	Kule Yük. (m)	$V_o$ (m/s)	Şekil Parametresi (k)	Ölçek Parametresi (c)	Kapasite Faktörü ( $C_f$ )	Güç Yoğ. ( $w/m^2$ )	Gerçek Çalışma (%)	Enerji (GW/h)	Maliyet (M\$)	COE (\$/kWh)
N117-3/1	3	116,8	91	4,91	1,72	5,32	0,18	227,81	76,50	3,925	33,220	8,463
N117-3/2	3	116,8	120	5,33	1,90	5,77	0,20	287,63	79,66	4,836	33,227	6,870
N117-3/3	3	116,8	141	5,59	1,78	6,18	0,24	354,46	82,36	5,409	33,231	6,143
V112-3,3/1	3,3	112	84	4,81	1,78	5,23	0,18	216,25	73,20	3,542	34,759	9,814
V112-3,3/2	3,3	112	94	4,97	1,81	5,29	0,17	221,58	76,50	3,875	34,762	8,971
V112-3,3/3	3,3	112	119	5,31	1,81	5,89	0,22	306,18	79,66	4,607	34,768	7,546
V112-3,3/4	3,3	112	140	5,59	1,81	6,17	0,24	352,97	82,36	5,223	34,772	6,657
E82-2,3/1	2,3	82	78	4,66	1,70	5,06	0,17	197,13	73,20	2,006	32,869	16,389
E82-2,3/2	2,3	82	85	4,81	1,72	5,23	0,18	216,45	73,20	2,177	32,871	15,101
E82-2,3/3	2,3	82	98	5,04	1,72	5,43	0,19	242,33	76,50	2,467	32,874	13,324
E82-2,3/4	2,3	82	108	5,09	1,70	5,49	0,20	251,04	76,50	2,576	32,877	12,761
E82-2,3/5	2,3	82	138	5,52	1,83	6,02	0,22	327,44	79,65	3,159	32,883	10,411
GE 2,5-100/1	2,5	100	75	4,64	1,71	5,03	0,16	192,92	73,20	2,362	32,365	13,702
GE 2,5-100/2	2,5	100	85	4,81	1,72	5,23	0,18	216,45	73,20	2,640	32,368	12,260

İncelenen rüzgar türbin markalarının farklı modellerine ait hesaplanan sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir. Rüzgar hız değeri ise kule yüksekliği için hesaplanmıştır. Rüzgar hız değeri ile birlikte şekil parametresi (k), ölçek parametresi (c), kapasite faktör ( $C_f$ ) ve güç yoğunluğu ifadeleri hesaplanmıştır. Gerçek çalışma zamanı ise, rüzgar türbin modeline bağlı olarak çalışabileceği rüzgar hız değerlerinin yüzdesel olarak ifadesini temsil etmektedir. Bu ifade rüzgar türbin modellerinin çalışacağı rüzgar hız değerlerinin toplam zamana oranı olarak hesaplanmıştır. Üretilecek enerji miktarı, değişken rüzgar hız değerine bağlı olarak hesaplanmıştır. Maliyet değeri, Denklem 10 kullanılarak hesaplanmıştır. Birim enerji maliyeti ise birim enerji başına maliyet oranını ifade etmektedir.

Çalışmada 4 farklı türbin markasına ait 14 farklı türbin modeli incelenmiştir. Bunun sonucunda yapılan hesaplamalara göre, bölgede kurulacak rüzgar enerji çiftliği için en uygun model literatürden farklı olarak birim enerji maliyeti en düşük olan Nordex N117-3/3 olacaktır.

Tablo 4'te en büyük değere sahip hücreler kırmızı renk, en küçük değere sahip hücreler ise açık mavi ile renklendirilmiştir. Buna göre kule yüksekliği arttıkça ortalama rüzgar hız değeri, ölçek parametresi, kapasite faktörü ve güç yoğunluğu değerleri artmaktadır. Gerçek

çalışma zamanı ve üretilen enerji miktarı rüzgar türbinin karakteristiğine göre değişmektedir.

## 5. Tartışma ve Sonuç

RES projeleri, maliyet analizlerinin gerçekçi ve doğru yapılması neticesinde fizibil ise uygulamaya geçirilir. Yapılan bu çalışmada, literatürde ilk defa karasal RES'lerin maliyetlerinin tahmini için 4 terim ve 7 parametrelili bir denklem modeli önerilmiştir. Bunun için Türkiye'de bulunan 15 adet RES verisi ele alınmıştır. Model parametrelerinin belirlenmesinde, birçok üstünlüğe sahip olduğu araştırmacılar tarafından ortaya konan KGAPSO algoritması kullanılmıştır.

Denklem modeli ile yüzde hata oranları %17,87'nin altında hesaplanmıştır. Ayrıca ortalama hata % 6,37 ve standart sapma değeri 7,91 olarak hesaplanmıştır. Önerilen denklem modeli farklı güç, rotor çapı ve kule yüksekliğine sahip 9 adet RES verisi ile test edilmiştir. Bu test veri seti tek türbin modelinin olduğu RES'lere göre daha kompleks bir maliyet içermesi nedeni ile tercih edilmiştir. Bu durumda ise yüzde hata oranları % 10,82'ün altında hesaplanmıştır. Ayrıca ortalama hata % 6,77 ve standart sapma değeri 6,87 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yüksek yakınlıkta maliyet tahmini yapılmıştır. Bu da önerilen denklem modelinin etkinliğini göstermektedir. Ayrıca çalışmada, önerilen denklem modelindeki parametrelerin değişim etkilerini

inceleyebilmek için duyarlılık analizi yapılmıştır. Buna göre kurulu gücünün etkisi kule yüksekliği ve rotor çapına göre çok daha fazla olduğu görülmüştür.

Adilceviz bölgesi için yapılan vaka çalışmasında ise, farklı türbin modelleri için hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalara göre en uygun türbin modeli seçimi birim enerji maliyet değeri en düşük olan Nordex N117-3/3 olarak bulunmuştur.

Yapılan bu çalışma ile literatüre,

- ✓ Karasal RES'ler için ilk defa bir maliyet denklemi önerilmesi,
- ✓ Önerilen denklem modelinin doğrulaması yapılmıştır. Bu şekilde önerilen denklem modelinin yüksek yakınsama ile tahmin edildiğinin gösterilmesi,
- ✓ Önerilen denklem modelinin duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu şekilde değişkenlerin maliyet üzerindeki etkilerinin belirlenmesi,

katkıları sağlanmıştır.

Yapılan bu çalışma ile gelecekte, önerilen denklem modeline yeni RES verileri eklenerek doğruluğu daha da geliştirilebilir. Önerilen maliyet denklem modeli bu çalışmadan farklı olarak, farklı terim ve parametreler eklenerek ya da çıkartılarak geliştirilebilir. Ayrıca farklı sezgisel algoritma yöntemleri kullanılabilir.

## 6. Discussion and Conclusion

WPP projects are put into practice if they are feasible as a result of realistic and accurate cost analysis. In this study, for the first time in the literature, an equation model with 4 terms and 7 parameters has been proposed for the estimation of the costs of terrestrial WPPs. For this, 15 WPP data in Türkiye were discussed. In determining the model parameters, the CEAPSO algorithm, which was revealed by the researchers to have many advantages, was used.

Percentage error rates were calculated below 17.87 % with the equation model. In addition, the mean error was calculated as 6.37 % and the standard deviation value as 7.91. The proposed equation model is tested with 9 WPP data with different power, rotor diameter and hub height. This test data set was chosen because of its complex cost. In this case, the percentage error rates were calculated below 10.82 %. In addition, the mean error was calculated as 6.77 % and the standard deviation value as 6.87. According to the results obtained, cost estimation was made

with high closeness. This shows the effectiveness of the proposed equation model. In addition, in the study, sensitivity analysis was performed to examine the effects of changes in the parameters in the proposed equation model. Accordingly, it has been observed that the effect of the installed power is much higher than the hub height and rotor diameter.

In the case study for the Adilceviz region, calculations were made for different turbine models. According to these calculations, the most suitable turbine model selection was found to be Nordex N117-3/3 with the lowest unit energy cost value.

This study contributed to the literature,

- ✓ Suggesting a cost equation for terrestrial WPPs for the first time,
- ✓ The proposed equation model has been validated. In this way, it is shown that the proposed equation model is estimated with high closeness,
- ✓ Sensitivity analysis of the proposed equation model was performed. In this way, determining the effects of the variables on the cost,

contributions have been made.

For this study, its accuracy can be further improved by adding new WPP data to the proposed equation model in the future. The proposed cost equation model, unlike this study, can be developed by adding or subtracting different terms and parameters. In addition, different heuristic algorithm methods can be used.

## 7. Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Kaynakça

- [1] Cali U, Erdogan N, Kucuksari S, Argin M. Techno-economic analysis of high potential offshore wind farm locations in Turkey. *Energy Strateg Rev* 2018;22:325–36. DOI: 10.1016/j.esr.2018.10.007.
- [2] Argin M, Yerci V, Erdogan N, Kucuksari S, Cali U. Exploring the offshore wind energy potential of Turkey based on multi-criteria site selection. *Energy Strateg Rev* 2019;23:33–46. DOI: 10.1016/j.esr.2018.12.005.
- [3] Satir M, Murphy F, McDonnell K. Feasibility study of an offshore wind farm in the Aegean Sea, Turkey. *Renew Sustain Energy Rev* 2018;81:2552–62. DOI: 10.1016/j.rser.2017.06.063.

- [4] Çelikdemir S, Özdemir MT. Adilcevaz Bölgesinde Rüzgar Enerji Potansiyelinin İncelenmesi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilim Derg 2020. DOI: 10.17798/bitlisfen.526670.
- [5] Souloukngaa MH, Coban HH. Determination of Feasibility Analysis of Wind Turbines Using Weibull Parameter for Chad. J Smart Sci Technol 2022;2:1-15. DOI: 10.24191/jsst.v2i2.33.
- [6] Khanh PQ, Duong TL, Khoa HQ, Truong V-A. Determination of Profitable Wind Farm Generating Capacity Based on Weibull Distribution of Wind Speed in the Competitive Electricity Market, 2023, p. 389-400. DOI: 10.1007/978-3-031-19694-2\_35.
- [7] Ali B, Abbas G, Memon A, Mirsaeidi S, Koondhar MA, Chandio S, et al. A comparative study to analyze wind potential of different wind corridors. Energy Reports 2023;9:1157-70. DOI: 10.1016/j.egyr.2022.12.048.
- [8] Yang Z, Huang W, Dong S, Li H. Mixture bivariate distribution of wind speed and air density for wind energy assessment. Energy Convers Manag 2023;276:116540. DOI: 10.1016/j.enconman.2022.116540.
- [9] Singh R, Kumar S, Gautam B. Assessment of wind power at various height using Weibull parameters at four selected locations. Int J Energy a Clean Environ 2022. DOI: 10.1615/InterJEnrCleanEnv.2022038082.
- [10] Mytilinou V, Kolios AJ. Techno-economic optimisation of offshore wind farms based on life cycle cost analysis on the UK. Renew Energy 2019;132:439-54. DOI: 10.1016/j.renene.2018.07.146.
- [11] Ioannou A, Angus A, Brennan F. Parametric CAPEX, OPEX, and LCOE expressions for offshore wind farms based on global deployment parameters. Energy Sources, Part B Econ Planning, Policy 2018;13:281-90. DOI: 10.1080/15567249.2018.1461150.
- [12] Shafiee M, Brennan F, Espinosa IA. A parametric whole life cost model for offshore wind farms. Int J Life Cycle Assess 2016;21:961-75. DOI: 10.1007/s11367-016-1075-z.
- [13] Dicorato M, Forte G, Pisani M, Trovato M. Guidelines for assessment of investment cost for offshore wind generation. Renew Energy 2011;36:2043-51. DOI: 10.1016/j.renene.2011.01.003.
- [14] Çelikdemir S, Özdemir MT. Turkey's Offshore Hybrid Energy Potential and Techno-Economic Analysis in the Eastern Mediterranean. In: Dincer İ, Midilli A, Timurkutluk B, Çelik S, editors. 5 th Int. Hydrog. Technol. Congr., Niğde: n.d., p. 140-2.
- [15] Çelikdemir S. and Özdemir MT. Techno-Economic Analysis of Onshore and Offshore Wind Power Plant. TÜBA World Conf Energy Sci Technol 2021.
- [16] Çelikdemir S. and Özdemir MT. A New Alternative Solution for Wind Power Plants. Int Conf Ser Altern Fuels, Energy Environ Futur Challenges 2021.
- [17] Çelikdemir S, Özdemir MT. A new approach in the cost estimation of a hydroelectric power plants in Türkiye based on geographical features. Int J Energy Res 2022;46:20858-72. DOI: 10.1002/er.8384.
- [18] Ioannou A, Angus A, Brennan F. A lifecycle techno-economic model of offshore wind energy for different entry and exit instances. Appl Energy 2018;221:406-24. DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.03.143.
- [19] Kim J-Y, Oh K-Y, Kang K-S, Lee J-S. Site selection of offshore wind farms around the Korean Peninsula through economic evaluation. Renew Energy 2013;54:189-95. DOI: 10.1016/j.renene.2012.08.026.
- [20] Spyridonidou S, Vagiona DG, Loukogeorgaki E. Strategic planning of offshore wind farms in Greece. Sustain 2020. DOI: 10.3390/su12030905.
- [21] Deveci M, Ozcan E, John R. Offshore Wind Farms: A Fuzzy Approach to Site Selection in a Black Sea Region. 2020 IEEE Texas Power Energy Conf, IEEE; 2020, p. 1-6. DOI: 10.1109/TPEC48276.2020.9042530.
- [22] Caceoğlu E, Yıldız HK, Oğuz E, Huvaj N, Guerrero JM. Offshore wind power plant site selection using Analytical Hierarchy Process for Northwest Turkey. Ocean Eng 2022;252:111178. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2022.111178.
- [23] Ozerdem B, Ozer S, Tosun M. Feasibility study of wind farms: A case study for Izmir, Turkey. J Wind Eng Ind Aerodyn 2006. DOI: 10.1016/j.jweia.2006.02.004.
- [24] Hong L, Möller B. Offshore wind energy potential in China: Under technical, spatial and economic constraints. Energy 2011. DOI: 10.1016/j.energy.2011.03.071.
- [25] Alatas B, Akin E, Ozer AB. Chaos embedded particle swarm optimization algorithms. Chaos, Solitons & Fractals 2009;40:1715-34. DOI: 10.1016/j.chaos.2007.09.063.
- [26] Koç E, Şenel MC. 2013. Dünyada ve Türkiye'de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme. Mühendis ve Makina. Cilt 54, s. 32-44.
- [27] Atilgan I. Türkiye'nin enerji potansiyeline bakış. J Fac Eng Archit Gazi Univ 2000;15:31-47. DOI: 10.17341/gummfd.57526.
- [28] Anonim. 2022. <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari>. (Erişim Tarihi: 11.10.2022).
- [29] Elbatran AH, Yaakob OB, Ahmed YM, Shabara HM. Operation, performance and economic analysis of low head micro-hydropower turbines for rural and remote areas: A review. Renew Sustain Energy Rev 2015;43:40-50. DOI: 10.1016/j.rser.2014.11.045.
- [30] Özdemir MT. Optimal parameter estimation of polymer electrolyte membrane fuel cells model with chaos embedded particle swarm optimization. Int J Hydrogen Energy 2021;46:16465-80. DOI: 10.1016/j.ijhydene. 2020.12.203.
- [31] Özdemir MT. A novel optimum PI controller design based on stability boundary locus supported particle swarm optimization in AVR system. Turk J Elec Eng Comp Sci 2021;29:291-309. DOI: 10.3906/elk-1910-81.
- [32] Yıldız S, Gunduz H, Yildirim B, Özdemir MT. An islanded microgrid energy system with an innovative frequency controller integrating hydrogen-fuel cell. Fuel 2022;326:125005. DOI: 10.1016/j.fuel.2022.125005.
- [33] Daghan IH, Gencoglu MT, Ozdemir MT. Chaos Embedded Particle Swarm Optimization Technique for Solving Optimal Power Flow Problem. 18th IEEE Int. Multi-Conference Syst. Signals Devices, SSD 2021, 2021. DOI: 10.1109/SSD52085.2021.9429520.

DEÜ FMD 25(75), 539-550, 2023

- [34] Bilgili M, Yasar A, Simsek E. Offshore wind power development in Europe and its comparison with onshore counterpart. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15:905–15. DOI: 10.1016/j.rser.2010.11.006.
- [35] The Ministry of Environment urbanisation and climate change. E-ced report. 2022. <http://eced.csb.gov.tr/ced/jsp/portal/main2.htm>. (Erişim Tarihi: 25.05.2022).
- [36] Yıldırım H. 2019. Turkish Wind Energy Association. <https://tureb.com.tr/lib/uploads/4e77501b714739a9.pdf>. (Erişim Tarihi: 01.01.2023)