



## Wind farm location selection with interval grey numbers based I-GRA and grey EDAS methods

Aliye Ayça Supçiller\*<sup>ID</sup>, Sena Bayramoğlu<sup>ID</sup>

Pamukkale University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Denizli, 20160, Turkey

### Highlights:

- Eliminate uncertainty in energy decision making problems by using interval grey numbers
- Determination of the weights by the SWARA method
- Wind farm location selection with I-GRA and Grey EDAS methods by using interval grey numbers

### Keywords:

- Wind farm location selection
- Interval grey numbers
- Multi-criteria decision making

### Article Info:

Research Article  
Received: 22.08.2019  
Accepted: 01.05.2020

### DOI:

10.17341/gazimmdf.609518

### Acknowledgement:

We would like to thank Volkan Sert and his team for their valuable support.

### Correspondence:

Author: Aliye Ayça Supçiller  
e-mail: asupciller@pau.edu.tr  
phone: +90 258 296 3136

### Graphical/Tabular Abstract

In this study, the problem of wind farm location selection is discussed by using SWARA, I-GRA and Grey EDAS methods in order to eliminate the uncertainty in energy decision problems by using interval grey numbers. The SWARA method was used to compute the weight of the criteria which were determined by the reviews of experts and the literature. The criteria were evaluated by four decision makers. I-GRA and Grey EDAS methods based on interval grey numbers were used to rank the alternatives using the criteria weights and the location ranking was determined. Interval grey numbers were used to represent the decision makers' decisions in linguistic terms. As a result of the applications, "Çeşme" was chosen as the most suitable location for a wind farm. The results of the study were reported to the decision makers and the study was approved by them. It is concluded that both methods integrated with interval grey numbers, which were used for the first time in wind farm location selection problems, are easy and applicable.

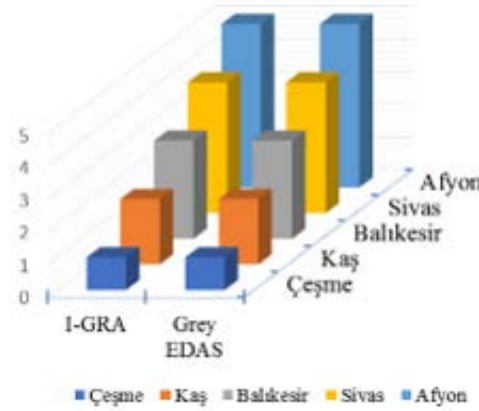


Figure A. Ranking of alternatives

**Purpose:** It is aimed to eliminate the uncertainty in energy decision making problems by using interval grey numbers and to contribute to the literature.

### Theory and Methods:

SWARA, I-GRA and Grey EDAS methods were applied in real-life wind farm location selection. The SWARA method was used to determine the weight of the criteria which were determined by the reviews of experts and the literature. The criteria were evaluated by four decision makers. I-GRA and Grey EDAS methods based on interval grey numbers were used to rank the alternatives.

### Results:

As a result of the study, "Çeşme" location has been found as the most suitable location for a wind farm. The results of the study were reported to the decision makers and the study was approved by them.

**Conclusion:** It is concluded that both I-GRA and Grey EDAS methods integrated with interval grey numbers are easy and applicable. The uncertainty in energy decision problems can be eliminated by using interval grey numbers.



## Aralıklı gri sayı tabanlı A-GİA ve gri EDAS yöntemleriyle rüzgar santrali yer seçimi

Aliye Ayça Supçiller\*<sup>ID</sup>, Sena Bayramoğlu<sup>ID</sup>

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 20160 Pamukkale Denizli, Türkiye

### ÖNEÇIKANLAR

- Aralıklı gri sayıları kullanarak enerji karar verme problemlerindeki belirsizliğin giderilmesi
- SWARA yöntemi ile kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi
- Aralıklı gri sayılar kullanılarak A-GİA ve Gri EDAS yöntemleri ile rüzgar santrali yer seçiminin yapılması

#### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi  
Geliş: 28.08.2019  
Kabul: 01.05.2020

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.609518

#### Anahtar Kelimeler:

Rüzgar santrali yer seçimi,  
aralıklı gri sayılar,  
çok kriterli karar verme

#### ÖZET

Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında rüzgar enerjisi gelmektedir. Birden çok kriteri esas alarak, çeşitli coğrafi yapıya ve rüzgar kaynaklarına sahip çok sayıda yer içerisinde en uygun rüzgar enerjisine sahip konumu seçme, çok kriterli karar verme problemlerinden biridir. Karar verme problemlerinde, karar vericilerin kararlarının belirsiz olmasından dolayı, sonuçların hassas olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, enerji konusundaki karar verme problemlerindeki belirsizliğin giderilmesi için aralıklı gri sayılar ile entegre edilmiş SWARA, A-GİA ve Gri EDAS yöntemleri kullanılarak rüzgar santrali yer seçimi problemi ele alınmıştır. Literatür taraması ve uzmanlarla görüşerek belirlenen kriterlerin ağırlıklarının bulunması amacıyla SWARA yöntemi kullanılmış, kriterler dört karar verici tarafından değerlendirilmiştir. Elde edilen bu kriter ağırlıkları kullanılarak alternatiflerin sıralanması için aralıklı gri sayı tabanlı A-GİA ile Gri EDAS yöntemlerine başvurulmuş ve lokasyon sıralamaları belirlenmiştir. Aralıklı gri sayılar, karar vericilerin kararını dilsel ifade ile temsil etmek için kullanılmıştır. Uygulamalar sonucunda, rüzgar santrali yer seçimi için "Çeşme", en uygun lokasyon olarak bulunmuştur. Çalışma sonuçları, karar vericilere rapor olarak sunulmuş ve çalışma karar vericiler tarafından doğrulanmıştır. Çalışmada rüzgar santrali yer seçimi problemlerinde ilk kez kullanılan aralıklı gri sayı tabanlı her iki yöntemin de kolay ve uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

## Wind farm location selection with interval grey numbers based I-GRA and grey EDAS methods

### HIGHLIGHTS

- Elimination of uncertainty in energy decision making problems by using interval grey numbers
- Determination of the weights by the SWARA method
- Wind farm location selection with I-GRA and Grey EDAS methods by using interval grey numbers

#### Article Info

Research Article  
Received: 22.08.2019  
Accepted: 01.05.2020

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.609518

#### Keywords:

Wind farm location  
selection,  
interval grey numbers,  
multi-criteria decision  
making

#### ABSTRACT

Wind energy is the leading renewable energy source. It is one of the multi-criteria decision-making problems to choose the most suitable wind energy location among a large number of places with various geographic structure and wind resources based on multiple criteria. In decision-making problems, the results of the decision-makers are sensitive because of their uncertainty. In this study, the problem of wind farm location selection is discussed by using SWARA, I-GRA and Grey EDAS methods in order to eliminate the uncertainty in energy decision problems by using interval grey numbers. The SWARA method was used to compute the weight of the criteria which were determined by the reviews of experts and the literature. The criteria were evaluated by four decision makers. I-GRA and Grey EDAS methods based on interval grey numbers were used to rank the alternatives using the criteria weights and the location ranking was determined. Interval grey numbers were used to represent the decision makers' decisions in linguistic terms. As a result of the applications, "Çeşme" was chosen as the most suitable location for a wind farm. The results of the study were reported to the decision makers and the study was approved by them. It is concluded that both methods integrated with interval grey numbers, which were used for the first time in wind farm location selection problems, are easy and applicable.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerji, bir toplumun sürdürülebilir kalkınması ve refahı için gerekli olan anahtar bir unsurdur. Aynı zamanda dünyadaki ekonomik gelişme ve sanayileşmenin arkasındaki itici bir güçtür. Enerji, ekonomik büyümenin ana faktörüdür ve modern bir ekonomiyi sürdürebilmek için hayati bir öneme sahiptir. Dünya'nın enerji üretiminin %80'inden fazlası fosil yakıtlardan (doğal gaz, kömür, petrol vb.) sağlanmaktadır. Fosil yakıtlar, günümüzde dünyanın artan enerji taleplerini karşılayan birincil erişilebilir kaynaklardır; ancak, rezervleri sınırlıdır ve fosil yakıt kullanımının çevreye olumsuz etkileri bulunmaktadır. Sanayinin enerji kaynaklarına, özellikle de fosil yakıtların aşırı tüketimine bağımlı olması, yeraltı kaynaklarını tüketmektedir. Hızlı bir şekilde büyüyen sanayi ve teknoloji için enerji elde etmek amacıyla kullanılan fosil yakıtların verdiği zarar, ülkeleri yeni ve temiz enerji kaynaklarını araştırmaya ve geliştirmeye yönlendirmiştir [1-3]. Yenilenebilir enerjinin en önemli avantajı doğal kaynaklardan sağlanması ve kendini daima yenileyebilmesidir. Yenilenebilir enerji kaynakları tekrar tekrar enerji üretilebilmek için kullanılabilen kaynaklardır. Yenilenebilir enerji ile ülkelerin enerji ihtiyaçları yerli kaynaklarla karşılanarak dışa bağımlılıkları azaltılmakta ve enerji tüketimi sonucunda çevreye verilen zararlar en aza indirilmektedir. Çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarının uygun kullanımının gelecekte enerji tedarikinde sürekliliği sağlaması beklenmektedir [4]. Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında güneş, rüzgar, jeotermal, hidrolik, biokütle, dalga ve hidrojen enerjileri gelmektedir. Bu grupların içinde en önemli olanı rüzgar enerjisidir [5, 6]. Rüzgar enerjisi, uygun maliyetli ve olgun enerji dönüşüm teknolojisi nedeniyle elektrik üretmek için hızlı büyüyen, yaygın olarak kullanılan ve ticari olarak çekici bir kaynaktır. Rüzgar enerjisi herhangi bir kirliliğe yol açmayan, çevre dostu, temiz ve güvenli enerji kaynaklarından biridir [3]. Rüzgar enerjisinin kullanımı, iklim değişikliğine katkıda bulunan ve doğal dengeyi bozan geleneksel elektrik üretiminin daha ciddi etkilerine kıyasla çevre üzerinde nispeten küçük bir etkiye sahiptir (görsel etki, rüzgar türbinleriyle çarpışan kuşların kaybı, gürültünün olumsuz etkileri, vb.) [1, 2, 7]. Bu nedenlerle, birçok ülke son yıllarda rüzgar enerjisi projeleri geliştirmekte ve rüzgar santrallerinin yapımına yatırım yapmaktadır.

Rüzgar enerjisi, küresel olarak gelişen ve her yıl önemli ölçüde artan kurulu bir kapasiteye sahip olan ciddi bir yenilenebilir enerji kaynağıdır [1]. Rüzgar enerjisinin hem kurulu hem de toplam potansiyel kapasiteler açısından en büyük yenilenebilir enerji kaynağı olmaya devam edeceği görülmektedir [8]. Rüzgar santrali projelerinin gelişmesinin bir nedeni de hızlı ve nispeten basit kurulumlarıdır. Rüzgar enerjisini üretecek rüzgar santrali kurulumunda, santralden elde edilmesi beklenen enerjinin karşılanabilmesi için yer seçimi önemli bir yere sahiptir. Herhangi bir rüzgar santrali projesindeki ilk aşama, rüzgar türbinlerinin konumlandırılacağı uygun bir yerin belirlenmesidir. Genel olarak yer seçimi, enerji alanındaki yaygın ve önemli

sorunlardan biridir. Yer seçimi ile birlikte kurulum yapılacak arazinin teknik, ekonomik, güvenlik ve çevresel özellikleri tanımlanmaktadır. Elverişli bir yerin seçilmesi için potansiyel rüzgar kaynağı, projenin toplam giderleri, arazinin alanı, elektrik şebeke bağlantısı ve arazi mülkiyeti gibi noktalar çok sıkı bir şekilde incelenmelidir [9]. Bu nedenle, rüzgar santralleri için uygun yer seçimi, çok sayıda kriterin dikkatli ve birleşik analizini gerektiren karmaşık bir konudur. Küresel düzeyde, çok sayıda rüzgar santrali çevre üzerindeki olumsuz etkileri göz ardı ederek temel olarak ekonomik kriterleri izlemektedir. Rüzgar santralleri için en uygun yer seçimi, ekonomik ve teknolojik nitelikteki karşılıklı çelişen faktörlerin ekolojik ve sosyal sınırlamalarla çözülmesini ve aynı zamanda halka saygı duyulmasını gerektirmektedir [1, 2, 7]. Bu nedenle planlamada, yer seçimi konusu, en baştan itibaren dikkatli olarak ele alınmalıdır [10].

Birden çok ve birbirleriyle çelişen kriterleri esas alarak, çeşitli coğrafi yapıya ve rüzgar kaynaklarına sahip çok sayıdaki yer içerisinde en uygun rüzgar enerjisine sahip konumu seçme problemi, çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemlerinden biridir [11]. Karar verme problemlerinde, karar vericilerin kararlarının belirsiz olmasından dolayı, sonuçların hassas olduğu görülmektedir. Bu nedenle belirsizlikle başa çıkmak, alternatifleri değerlendirmede hassasiyet eksikliğini iyileştirmek amacıyla aralıklı gri sayılar kullanılmaktadır. Aralıklı gri sayılar sayesinde alternatiflerin genel öneminde karar vericiler daha tutarlı sonuçlar almaktadır [12, 13]. Enerji konusundaki karar verme problemlerinde de karar vericilerin kararlarında belirsizlik söz konusu olmaktadır. Karar vericilerin kriterler için kesin değerler sağlamaları nispeten güç olduğundan, alternatif enerji politikaları için değerlendirme verileri dilsel olarak ifade edilmelidir. İnsan tercihlerinde bu tür bir belirsizliği modellemek için aralıklı sayılar çok başarılı bir şekilde uygulanmaktadır [14].

Bu çalışmada enerji sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın rüzgar santrali yer seçimi problemine çözüm bulunması amaçlanmaktadır. İlgili literatürde, rüzgar santrali yer seçimi çalışmalarında, aralıklı gri sayıların kullanıldığı herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma ile enerji sektöründeki karar verme problemlerinde aralıklı gri sayılar kullanılarak belirsizliğin giderilmesi ve literatüre katkı sağlamak amaçlanmıştır. Çalışmada, rüzgar santrali yer seçimi probleminin çözümünde ÇKKV yöntemlerinden SWARA (Step-wise Weight Assesment Ratio Analysis), aralıklı gri sayılarla entegre edilmiş Aralıklı Gri İlişkisel Analiz (A-GİA) ve Gri EDAS (Ortalama Çözüm Mesafesinden Uzaklığının Değerlendirilmesi) yöntemleri ilk kez kullanılmıştır. Bu yöntemlerin kullanılma nedenleri daha önce yapılan rüzgar santrali yer seçimi çalışmalarında kullanılmamış olmaları ve diğer ÇKKV yöntemlerine göre sahip oldukları avantajlardır. AHP yöntemi gibi benzer yöntemlerle karşılaştırıldığında SWARA yönteminin önemli bir avantajı önemli sayıda, daha az ikili karşılaştırma yapması, örneğin  $n$  kriter sayısı için  $(n-1)$  adet karşılaştırma

yapmasıdır. Ayrıca SWARA yönteminde karar vericiler kriterleri daha özgür bir şekilde değerlendirebilmektedir, çünkü ikili karşılaştırmalar için kullanılacak herhangi bir ölçek bulunmamaktadır [15]. SWARA yönteminin bir diğer avantajı, karar verme problemlerinde kriterleri sıralamak için herhangi bir değerlendirmeye gerek duymadan, kriter önceliklerini şirketlerin veya ülkelerin stratejilerine, planlarına ya da politikalarına göre belirleyebilmesidir [16]. Bu nedenle SWARA yöntemini, karmaşık gerçek hayat problemlerine uygulamak daha kolaydır [17]. A-GİA'nın diğer hesaplama yöntemlerine kıyasla en büyük avantajlarından biri ise örneklem büyüklüğü ve normal dağılıma ilişkin özel bir sınırlamanın olmaması ve hesaplama yönteminin kolay olmasıdır. A-GİA üzerine yapılan çoğu çalışmada, kriterlerin ağırlığı kesin olarak kabul edilir ve hedef bazı kriterlerde mevcut değildir veya mevcutsa net bir değeri vardır [18]. EDAS, bazı çelişkili kriterler içeren problemlere uygulanması yararlı ve kolay olan bir yöntemdir. EDAS sonuçlarının TOPSIS ve VIKOR gibi diğer yöntemlerle oldukça tutarlı olduğu kanıtlanmıştır. Bununla birlikte, bu yöntemlerin aksine, en iyi alternatifi ortalama çözümden uzaklığa göre bulunmamaktadır. İdeal ve idealden en uzak çözümler hesaplanmadığından, EDAS basit hesaplama işlemlerine sahip bir yöntemdir [19, 20]. Bu nedenlerle kriter ağırlıklarının belirlenmesi için SWARA, alternatiflerin değerlendirilmesi için ise ÇKKV yöntemlerinden A-GİA ve Gri EDAS yöntemleri kullanılmıştır. Çalışma, bu yönüyle literatüre katkı sağlamaktadır. Çalışmanın sonraki bölümünde, konuyla ilgili literatür taraması verilmiştir. Üçüncü bölümde, problemi çözmek için kullanılan yöntemler işlem adımları ile birlikte açıklanmıştır. Dördüncü bölüm, çözülmesi beklenen problemin anlatıldığı, yöntemlerin uygulandığı ve sonuçların karşılaştırıldığı aşamadır. Son bölümde ise çalışmanın sonucu ve öneriler sunulmuştur.

## 2. LİTERATÜR (LITERATURE)

Literatür taraması olarak 2006-2019 yılları arasında yapılan rüzgar santrali yer seçimi ile ilgili 35 makale incelenmiştir. İncelenen makaleler ve makalelerde kullanılan yöntemler Tablo 1'de gösterilmiştir. İncelenen makalelerdeki deniz-üstü çalışmalar, genellikle Avrupa'da gerçekleştirilmiştir. Ülkemizde ise deniz-üstü çalışmalar daha başlangıç aşamasındadır. Yapılan çalışmalarda, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yöntemleri en çok kullanılan yöntemler olarak ilk sırada yer almaktadır. Literatür taraması ile rüzgar enerjisi yer seçimi problemlerinde aralıklı gri sayılar kullanılarak herhangi bir çalışma yapılmadığı, ayrıca SWARA, A-GİA ve Gri EDAS yöntemlerinin hiç kullanılmadığı sonucuna varılmıştır.

## 3. YÖNTEMLER (METHODS)

### 3.1. SWARA Yöntemi (SWARA Method)

Türkçesi "Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi" olan SWARA, Keršulienė, Zavadskas ve Turskis tarafından

2010 yılında geliştirilmiş ve birçok problemin ölçüt ağırlıklarını belirlemede uygulanmış, anlaşılabilir, uzmanlarla birlikte çalışılabilir, kolay bir ÇKKV yöntemidir [50]. SWARA yöntemi, ölçütlerin ve karar seçeneklerinin dilbilimsel değerlendirilmesi sürecinde yer alan belirsizliklerin üstesinden gelmek için kullanılmaktadır. Bu yöntem, karmaşık seçimlerin basit görelî karşılaştırmalar kullanılarak anlaşılabilirliği argümanına dayanan, uzman fikirlerini veya düşüncelerini kolaylıkla sürece dahil edebilen bir yöntemdir. Bu yöntemde, ölçüt ağırlıklarının hesaplanmasında, uzmanlar çok önemli bir rol oynamaktadır. Uzmanlar, ölçütleri değerlendirirken bilgi ve deneyimlerinden faydalanmaktadırlar. Uzmanların yeteneği ve tecrübesi, SWARA yöntemindeki her ölçütün önemini belirlemede en önemli noktalar. Stanujkic vd.'ne [15] göre SWARA yöntemi ile ölçütlerin göreceli ağırlıklarını hesaplama adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Kriterlerin sıralanması [51] Uzman görüşleri alınarak ölçütler, önem sırasına göre azalan şekilde sıralanır. Birden fazla uzman olması durumunda, her uzman tek tek sıralama yapmakta ve yapılan sıralamaların geometrik ortalaması alınıp ortak bir sıralama oluşturulmaktadır [52].

Adım 2: Önem düzeylerinin belirlenmesi Karar vericiler, ikinci sıradaki kriterden itibaren, her kriter için görelî önem düzeyini belirlemektedir. Bunun için,  $j$  kriteri ile bir önceki kriter ( $j-1$ ) karşılaştırılır. Keršulienė vd. [50] bu oranı "ortalama değer karşılaştırmalı önemi" şeklinde isimlendirmiş ve  $s_j$  simgesi ile göstermiştir.

Adım 3: Katsayı  $k_j$ 'nin belirlenmesi (Eş. 1)

$$k_j = \begin{cases} 1 & , j = 1 \\ s_j + 1 & , j > 1 \end{cases} \quad (1)$$

Adım 4: Önem vektörü  $q_j$ 'nin hesaplanması  $q_{j-1}$ ,  $j-1$ 'nci kritere ait önem vektörünü temsil etmektedir. (Eş. 2)

$$q_j = \begin{cases} 1 & , j = 1 \\ \frac{q_{j-1}}{k_j} & , j > 1 \end{cases} \quad (2)$$

Adım 5: Değerlendirme ölçütlerinin göreceli ağırlıkları  $w_j$ 'nin hesaplanması  $w_j$ ,  $j$  kriterinin görelî önemini göstermektedir. Her bir karar verici için  $j$ . kriterin önem düzeyi  $w_j$  belirlendikten sonra,  $j$ . kriter için tüm karar vericilerin önem düzeylerinin geometrik ortalaması hesaplanır. Bu hesaplama sonucunda çıkan sonuç  $j$  kriterinin önem düzeyini temsil etmektedir [53].(Eş. 3)

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{j=1}^n q_j} \quad (3)$$

### 3.2. Aralıklı Gri İlişkisel Analiz (Interval Grey Relational Analysis)

Geleneksel GİA, kesikli veri ve tamamlanmamış bilgi ile belirsiz problem ve durumlarda deterministik sayıları

**Tablo 1.** Rüzgar santrali yer seçimi çalışmalarında kullanılan yöntemler  
(Methods used in wind farm location selection studies)

Yıl	Yazar	Kara üstü	Deniz üstü	Kullanılan Yöntemler
2006	Özerdem vd. [21]	1	0	AHP
2009	Lee vd. [22]	1	0	AHP
2010	Kaya T., Kahraman C. [14]	1	0	Bulanık AHP, Bulanık VIKOR
2011	Haaren R. V., Fthenakis V. [23]	1	0	CBS
2013	Gorsevski vd. [24]	1	0	Mekanik karar destek sistemi, BORDA
2014	Yeh T. M., Huang Y. L. [25]	1	0	DEMATEL, Bulanık ANP
2015	Latinopoulos D., Kechagia K. [7]	1	0	Uygunluk indeksi
2016	Iyappan L., Pandian P. K. [26]	1	0	CBS
2016	Jones D. F., Wall G. [27]	0	1	Hedef programlama
2016	Rezaian S., Jozi S. A. [4]	1	0	AHP, CBS
2016	Kim T., Park J., Maeng J. [28]	0	1	CBS
2016	Saleous vd. [29]	0	1	CBS
2016	Sánchez-Lozano vd. [30]	1	0	Bulanık AHP, CBS, Bulanık TOPSIS
2016	Noorollahi vd. [2]	1	0	CBS
2016	Höfer vd. [31]	1	0	AHP, CBS
2016	Yunna vd. [32]	0	1	ELECTRE
2017	Afsordegan vd. [33]	1	0	ELECTRE
2017	Ali vd. [34]	1	0	Bulanık AHP
2017	Baseer vd. [35]	1	0	AHP, CBS
2017	Ziemba vd. [36]	0	1	PROSA
2017	Pamucar vd. [37]	1	0	BWM
2017	Chaouachi vd. [38]	0	1	AHP
2017	Gigovic vd. [1]	1	0	DEMATEL, ANP, CBS, MABAC
2017	Wu vd. [10]	1	0	Bulut modeli
2017	Wu vd. [39]	0	1	Olasılık Dağılımı
2017	Ayodele vd. [40]	1	0	Bulanık AHP, CBS
2018	Bili A., Vagiona D. G. [41]	1	0	AHP, CBS
2018	Bansal R. C., Bharadwaj A. K. [42]	1	0	Sıralama
2018	Vagiona D. G., Kamilakis M. [43]	0	1	AHP, CBS, TOPSIS
2018	Mytilinou vd. [44]	0	1	TOPSIS
2018	Wu vd. [45]	0	1	AHP
2018	Ayodele vd. [46]	1	0	Bulanık AHP
2018	Bravo vd. [47]	0	1	AHP, Hedef programlama
2018	Kim C., Jang S., Kim T. Y. [48]	0	1	CBS
2019	Argın vd. [49]	0	1	CBS

dikkate alarak belirsizliği gidermektedir. A-GİA, esas olarak belirsiz veya ayrık veri ve eksik bilgi içeren sorunları ve durumları içeren gri sistem teorisinin bir parçasıdır. Uzman görüşlerini gri sayılar halinde bütünleştirmektedir. Gri sayıların beyazlatma aşaması da son adımda yer almaktadır [8].  $\otimes x$ , olarak gösterilen gri bir sayı, kesin değeri bilinmeyen bir sayıdır, ancak değerinde bulunduğu bir aralık bilinir. Bilinen  $\bar{x}$  üst ve  $\underline{x}$  alt sınırları olan ancak dağılım bilgisi bilinmeyen bir gri sayı, aralıklı gri sayı olarak adlandırılmaktadır [54]. A-GİA yönteminde uzman görüşleri, gri sayı biçiminde ifade edilmektedir. Bu yöntemle ait işlem adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Karar matrisinin oluşturulması Bu matris, satırların karar seçeneklerini ve sütunların ölçütleri gösterdiği bir karar matrisi formatında oluşturulur.  $m$  karar seçeneklerinin

sayısını gösterirken,  $n$  kriterlerin sayısını göstermektedir. Burada  $x_{ij}$ ,  $i$ . seçeneğin  $j$ . kritere göre performans değerini göstermektedir.  $\otimes x_{ij} = [\underline{x}_{ij}, \bar{x}_{ij}]$ , bir gri sayıdır.  $\underline{x}_{ij}$  ve  $\bar{x}_{ij}$ , sırasıyla  $j$  kriterine göre  $i$  alternatifinin minimum ve maksimum beklenen performans değerlerini göstermektedir. (Eş. 4, Eş. 5)

$$\otimes X = \begin{bmatrix} \otimes x_{11} & \otimes x_{12} & \dots & \otimes x_{1n} \\ \otimes x_{21} & \otimes x_{22} & \dots & \otimes x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \otimes x_{m1} & \otimes x_{m2} & \dots & \otimes x_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\otimes X = \begin{bmatrix} [\underline{x}_{11}, \bar{x}_{11}] & [\underline{x}_{12}, \bar{x}_{12}] & \dots & [\underline{x}_{1n}, \bar{x}_{1n}] \\ [\underline{x}_{21}, \bar{x}_{21}] & [\underline{x}_{22}, \bar{x}_{22}] & \dots & [\underline{x}_{2n}, \bar{x}_{2n}] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ [\underline{x}_{m1}, \bar{x}_{m1}] & [\underline{x}_{m2}, \bar{x}_{m2}] & \dots & [\underline{x}_{mn}, \bar{x}_{mn}] \end{bmatrix} \quad (5)$$

Adım 2: Normalize karar matrisinin oluşturulması Maksimize edilecek kriter için normalizasyon işlemi Eş. 6, minimize edilecek kriter için normalizasyon işlemi Eş. 7’de gösterildiği gibi yapılmaktadır. Karar matrisi normalleştirildikten sonra tüm performans değerleri [0, 1] olarak ölçeklendirilmiş olur.

$$\otimes X_{mak}^* = \otimes x_{ij}^* = \left[ \frac{x_{ij}}{\max \bar{x}_{ij}}, \frac{\bar{x}_{ij}}{\max \bar{x}_{ij}} \right] \quad (6)$$

$$\otimes X_{min}^* = \otimes x_{ij}^* = \left[ \frac{\min x_{ij}}{\bar{x}_{ij}}, \frac{\min x_{ij}}{x_{ij}} \right] \quad (7)$$

Adım 3: Referans serinin belirlenmesi Maksimize edilecek kriter için referans seri Eş. 8, minimize edilecek kriter için referans seri Eş. 9’da gösterildiği gibi belirlenmektedir. Referans serisi, her alternatifin kendilerinden uzaklığına hesaplayabilen ideal seti temsil etmektedir.

$$\otimes x_{0j}^* = \max_i x_{ij}^* \quad (8)$$

$$\otimes x_{0j}^* = \min_i x_{ij}^* \quad (9)$$

Adım 4: Mutlak değer tablosunun oluşturulması  $\otimes x_{0j}^*$  ile  $\otimes x_{ij}^*$  arasındaki farkın mutlak değeri  $\Delta_{ij}$  Eş. 10 kullanılarak elde edilmektedir.

$$\otimes \Delta_{ij} = [ |x_{0j}^* - x_{ij}^*|, |x_{0j}^* - \bar{x}_{ij}^*| ], \quad i=1,2, \dots, m \text{ ve } j=1,2, \dots, n \text{ ve } \otimes \Delta_{ij} = [ \underline{\Delta}_{ij}, \bar{\Delta}_{ij} ] \quad (10)$$

Eş. 10 kullanılarak Eş. 11 ile gösterilen mutlak değer matrisi oluşturulmaktadır. Mutlak değer matrisi her alternatifin ideal alternatifler setine olan mesafesini göstermektedir.

$$X_i^* = \begin{bmatrix} \otimes \Delta_{11} & \otimes \Delta_{12} & \dots & \otimes \Delta_{1n} \\ \otimes \Delta_{21} & \otimes \Delta_{22} & & \otimes \Delta_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \otimes \Delta_{m1} & \otimes \Delta_{m2} & \dots & \otimes \Delta_{mn} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Adım 5: Gri ilişki katsayı matrisinin oluşturulması Gri ilişki katsayı matrisi mutlak değer matrisinden sonra oluşturulmaktadır. Eş. 12 ve Eş. 13 kullanılarak gri ilişki katsayı matris elemanları  $\otimes \varphi_{ij} = [ \underline{\varphi}_{ij}, \bar{\varphi}_{ij} ]$  oluşturulmaktadır.

$$\underline{\varphi}_{ij} = \frac{\min_i \min_j \Delta_{ij} + \zeta \max_i \max_j \bar{\Delta}_{ij}}{\Delta_{ij} + \zeta \max_i \max_j \bar{\Delta}_{ij}} \quad (12)$$

$$\bar{\varphi}_{ij} = \frac{\min_i \min_j \Delta_{ij} + \zeta \max_i \max_j \bar{\Delta}_{ij}}{\Delta_{ij} + \zeta \max_i \max_j \bar{\Delta}_{ij}} \quad (13)$$

Eş. 12 ve Eş. 13’te yer alan  $\zeta$  parametresi “ayırıcı katsayı” olup [0,1] aralığında bir değer almaktadır.  $\zeta$  katsayısını kullanmadaki amaç  $\Delta_{0i}$  ile  $\Delta_{max}$  arasındaki farkı düzenlemektir. Böylece,  $\Delta_{max}$  değerinin, veri grubundaki en uç değer olma ihtimali ortadan kaldırılmaktadır. Yapılan

araştırmalar  $\zeta$  ayırıcı katsayısının genel sıralamayı etkilemediğini ortaya koymaktadır. Literatürde ayırıcı katsayısının genellikle 0.5 değeri aldığı görülmektedir.

Adım 6: Gri ilişki derecelerinin (GİD) belirlenmesi GİD, karşılaştırmalı seriler ( $\otimes x_i^*$ ) ile referans serisi ( $\otimes x_0^*$ ) arasındaki geometrik benzerliğin bir ölçüsü olup serilerin karşılaştırılmasına olanak tanımaktadır. İlişki derecesinin büyüklüğü, referans seri arasında güçlü bir ilişki bulunduğunu ifade etmektedir. Eğer karşılaştırılan seriler aynı ise, GİD 1 değerini alır ve bu da karşılaştırılan serinin referans seriyeye ne ölçüde benzediğini göstermektedir. GİD’nin belirlenmesi, ölçütlerin önem derecelerinin eşit veya farklı olması durumuna göre değişmektedir. Ölçütlerin önem derecelerinin farklı olduğu durumlarda Eş. 14 yardımıyla elde edilmektedir.  $\otimes \Gamma_{0i}$ , gri ilişki derecesini gösterirken  $w_j, j$ . ölçütün önem derecesini göstermektedir.

$$\otimes \Gamma_i = \sum_{j=1}^n [w_j \varphi_{ij}, w_j \bar{\varphi}_{ij}], \quad i=1,2, \dots, m \text{ ve } \otimes \Gamma_i = [ \underline{\Gamma}_i, \bar{\Gamma}_i ] \quad (14)$$

Adım 7: Beyazlatılmış gri ilişki derecesinin hesaplanması Tüm kriterlere ait beyaz gri ilişki dereceleri tek tek hesaplanır ve her alternatif için toplanır ve azalan şekilde sıralanır. Sıralama sonucunda, birinci sıradaki alternatif en uygun seçenek olmaktadır [8].(Eş. 15)

$$\Gamma_i = \frac{\underline{\Gamma}_i + \bar{\Gamma}_i}{2} \quad (15)$$

### 3.3. Gri EDAS (Grey EDAS)

EDAS, Keshavarz vd. [55] tarafından geliştirilmiş yeni bir ÇKKV yöntemidir. EDAS yönteminin temel fikri, Ortalamadan Pozitif Uzaklık (PDA) ve Ortalamadan Negatif Uzaklık (NDA) olan iki mesafe ölçümünün kullanılmasıdır. Alternatiflerin değerlendirilmesi, PDA’nın en yüksek değerlerine ve NDA’nın en düşük değerlerine göre yapılmaktadır. Kesin olmayan ve belirsiz durumlardaki problemlerin çözümü için yine Stanujkic vd. [56] tarafından gri sayıları kullanan Gri EDAS yöntemi EDAS’ın bir uzantısı olarak geliştirilmiştir. Gri EDAS yönteminin işlem adımları aşağıdaki gibi sunulmaktadır:

$m$  alternatifin  $n$  kriter altında değerlendirildiği, performans değerlerinin tam olarak bilinmediği ve bu nedenle gri sayının,  $\otimes x_{ij} = [x_{ij}, \bar{x}_{ij}]$ , olarak verildiği bir karar verme probleminde,  $x_{ij}$  ve  $\bar{x}_{ij}$ , sırasıyla  $j$  kriterine göre  $i$  alternatifinin minimum ve maksimum beklenen performans değerlerini göstermektedir.

Adım 1: Gri karar verme matrisinin oluşturulması  $\otimes X$  matrisi elemanları,  $\otimes x_{ij} = [x_{ij}, \bar{x}_{ij}]$ , gri sayılarından oluşmaktadır.(Eş. 16)

$$\otimes X = \begin{bmatrix} [x_{11}, \bar{x}_{11}] & [x_{12}, \bar{x}_{12}] & \dots & [x_{1n}, \bar{x}_{1n}] \\ [x_{21}, \bar{x}_{21}] & [x_{22}, \bar{x}_{22}] & & [x_{2n}, \bar{x}_{2n}] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ [x_{m1}, \bar{x}_{m1}] & [x_{m2}, \bar{x}_{m2}] & \dots & [x_{mn}, \bar{x}_{mn}] \end{bmatrix} \quad (16)$$

Adım 2: Gri ortalama çözümün belirlenmesi Tüm kriterlere göre gri ortalama çözümü aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. (Eş. 17-Eş. 19)

$$\otimes x_j^* = ([x_1^*, \bar{x}_1^*], [x_2^*, \bar{x}_2^*], \dots, [x_n^*, \bar{x}_n^*]) \quad (17)$$

$$x_j^* = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}^*}{m} \quad (18)$$

$$\bar{x}_j^* = \frac{\sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij}^*}{m} \quad (19)$$

Adım 3: Gri PDA ve gri NDA değerlerinin hesaplanması Kriterlerin türüne göre (fayda ve maliyet) gri PDA,  $\otimes d_{ij}^+ = [d_{ij}^+, \bar{d}_{ij}^+]$  ve gri NDA,  $\otimes d_{ij}^- = [d_{ij}^-, \bar{d}_{ij}^-]$  değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. Gri PDA için  $d_{ij}^+$  ve  $\bar{d}_{ij}^+$  değerleri Eş. 20 ve Eş. 21'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$d_{ij}^+ = \begin{cases} \frac{\max(0, (x_{ij}^* - \bar{x}_j^*))}{0.5(x_j^* + \bar{x}_j^*)}, & j \in \Omega_{max} \\ \frac{\max(0, (x_j^* - \bar{x}_{ij}^*))}{0.5(x_j^* + \bar{x}_j^*)}, & j \in \Omega_{min} \end{cases} \quad (20)$$

$$\bar{d}_{ij}^+ = \begin{cases} \frac{\max(0, (\bar{x}_{ij}^* - x_j^*))}{0.5(x_j^* + \bar{x}_j^*)}, & j \in \Omega_{max} \\ \frac{\max(0, (\bar{x}_j^* - x_{ij}^*))}{0.5(x_j^* + \bar{x}_j^*)}, & j \in \Omega_{min} \end{cases} \quad (21)$$

Benzer şekilde gri NDA için  $d_{ij}^-$  ve  $\bar{d}_{ij}^-$  değerleri Eş. 22 ve Eş. 23'te gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$d_{ij}^- = \begin{cases} \frac{\max(0, (x_j^* - \bar{x}_{ij}^*))}{0.5(x_j^* + \bar{x}_j^*)}, & j \in \Omega_{max} \\ \frac{\max(0, (x_{ij}^* - \bar{x}_j^*))}{0.5(x_j^* + \bar{x}_j^*)}, & j \in \Omega_{min} \end{cases} \quad (22)$$

$$\bar{d}_{ij}^- = \begin{cases} \frac{\max(0, (\bar{x}_j^* - x_{ij}^*))}{0.5(x_j^* + \bar{x}_j^*)}, & j \in \Omega_{max} \\ \frac{\max(0, (\bar{x}_{ij}^* - x_j^*))}{0.5(x_j^* + \bar{x}_j^*)}, & j \in \Omega_{min} \end{cases} \quad (23)$$

Adım 4: Gri PDA ve gri NDA için ağırlıklı toplamların belirlenmesi Tüm alternatifler için gri PDA'nın ve gri NDA'nın ağırlıklı toplamı aşağıdaki eşitliklerde gösterildiği gibi hesaplanmaktadır. (Eş. 24-Eş. 27)

$$Q_i^+ = \sum_{j=1}^n w_j d_{ij}^+ \quad (24)$$

$$\bar{Q}_i^+ = \sum_{j=1}^n w_j \bar{d}_{ij}^+ \quad (25)$$

$$Q_i^- = \sum_{j=1}^n w_j d_{ij}^- \quad (26)$$

$$\bar{Q}_i^- = \sum_{j=1}^n w_j \bar{d}_{ij}^- \quad (27)$$

Adım 5: Tüm alternatifler için gri PDA ve gri NDA'nın ağırlıklı toplamlarının normalize edilmesi Tüm alternatifler için gri PDA ve gri NDA'nın ağırlıklı toplam değerlerinin normalize edilme işlemi Eş. 28-Eş. 31'de gösterildiği gibidir.

$$\underline{S}_i^+ = \frac{Q_i^+}{\max Q_i^+} \quad (28)$$

$$\bar{S}_i^+ = \frac{\bar{Q}_i^+}{\max \bar{Q}_i^+} \quad (29)$$

$$\underline{S}_i^- = \frac{Q_i^-}{\max Q_i^-} \quad (30)$$

$$\bar{S}_i^- = \frac{\bar{Q}_i^-}{\max \bar{Q}_i^-} \quad (31)$$

$\underline{S}_i^+$  ve  $\bar{S}_i^+$  değerleri sırasıyla gri PDA için normalize ağırlıklı toplamın alt ve üst limitlerini,  $\otimes S_i^+ = [\underline{S}_i^+, \bar{S}_i^+]$  ve  $\underline{S}_i^-$  ve  $\bar{S}_i^-$  değerleri sırasıyla gri NDA için normalize ağırlıklı toplamın alt ve üst limitlerini,  $\otimes S_i^- = [\underline{S}_i^-, \bar{S}_i^-]$  göstermektedir.

Adım 6: Değerlendirme skorunun hesaplanması Tüm alternatifler için değerlendirme skoru  $S_i$ , Eş. 32'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır. Eş. 33, karar vericiler gri aralığın alt ve üst sınırlarına farklı önem vermek istediğinde veya bazı analizler yapmak istediğinde kullanılmaktadır.

$$S_i = \frac{1}{4} (\underline{S}_i^+ + \bar{S}_i^+ + \underline{S}_i^- + \bar{S}_i^-) \quad (32)$$

$$S_i = \frac{1}{2} [(1 - \alpha)(\underline{S}_i^- + \underline{S}_i^+) + \alpha(\bar{S}_i^- + \bar{S}_i^+)] \quad (33)$$

Adım 7: En iyi alternatifin belirlenmesi Alternatifler, değerlendirme skorlarına göre büyükten küçüğe sıralanır. En büyük  $S_i$  değeri olan alternatif en uygun alternatif olarak seçilmektedir [56].

#### 4. UYGULAMA (CASE STUDY)

##### 4.1. Problem Tanımı (Problem Definition)

Çalışmanın bu bölümünde enerji sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın rüzgar santrali yer seçimi problemine çözüm bulunması amaçlanmaktadır. Firma, farklı illerde rüzgar santrali kurulumu yapıp bünyesine dahil etmeyi hedeflemektedir. Böylece bulunduğu ülkenin rüzgar enerjisi potansiyelini en iyi şekilde değerlendirerek fosil yakıtlara olan bağımlılığın önüne geçmek istemektedir. Bu firma ve çevre için önemli bir etkiye sahip rüzgar santrallerine uygun yer belirleyebilmek amacıyla bu çalışma yapılmıştır. Çalışmanın aşamaları sırasıyla sunulmuştur.

##### 4.2. Kriterlerin tanımlanması (Definition of criteria)

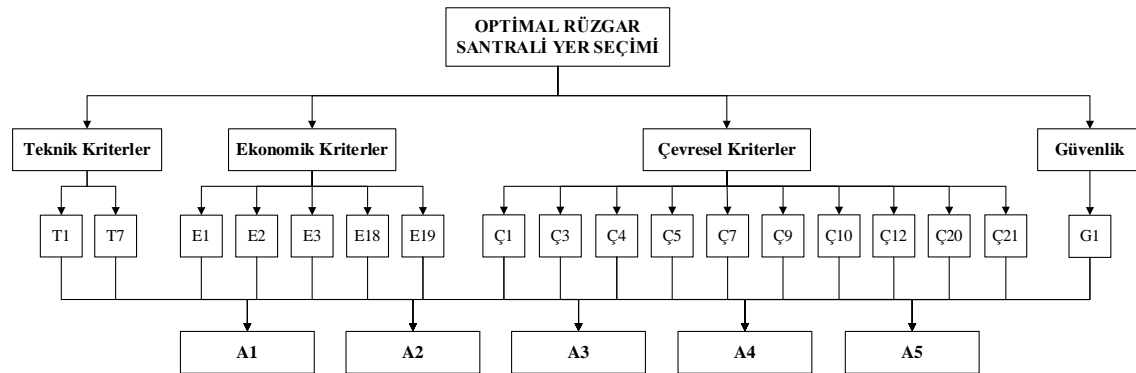
İşletmenin yer seçimi probleminde kullanılacak kriterlerin belirlenmesinde, rüzgar santrali yer seçimiyle ilgili literatür taraması sonucunda en sık kullanılan kriterler belirlenmiştir. Tablo 1 ile verilen rüzgar santrali yer seçim çalışmalarında

kullanılmış olan kriterler ile bu kriterlerin kullanım sayıları, Tablo 2’de belirtilmiştir. Sonraki adımda, karar vericilerle görüşmeler yapılmıştır. Karar verici uzman grup; firmada rüzgar santrali bölümünde çalışmakta olan 10-25 yıl arası tecrübeye sahip üç makine mühendisinden ve bir makine teknikerinden oluşmaktadır. Makine mühendisi olan karar vericilerden biri aynı zamanda Endüstri Mühendisliği bölümünde tezsiz yüksek lisans yapmıştır. Önceden literatürden belirlenen Tablo 2’deki kriter listesi, uzman

gruba sunulmuş ve gerçek hayatta yer seçimine karar verirken kullandıkları kriterler bu listenin içinden tartışılarak tek tek belirlenmiştir. Görüşmeler sonucunda yer seçiminde kullanılan ana kriterler: teknik, ekonomik, çevresel ve güvenlik olarak tespit edilmiştir. Bu ana kriterlerin alt kriterleri de belirlenmiştir. Tablo 2’deki kriterlerden seçilen listeye, uzman grubu “G1 Terör” alt kriterini de eklemiştir. Çalışmada kullanılan kriterlere ait hiyerarşik yapı Şekil 1’de gösterilmektedir.

**Tablo 2.**Rüzgar santrali yer seçiminde kullanılan kriterler (Criteria used in wind farm location selection)

Kod	Kriterler	Kullanım sayısı	Kod	Kriterler	Kullanım sayısı
E1	Ana ulaşımına yakınlık	18	Ç10	Askeri alanlar	3
E2	İletim hatlarına yakınlık	16	Ç11	Ormansızlaşma	3
Ç1	Rüzgar hızı	16	Ç18	Denizaltı jeolojik durumu	3
T1	Eğim	14	T4	Türbin sayısı	2
Ç7	Koruma havzası	13	E8	Arazi kullanım maliyetleri	2
E3	Projenin toplam giderleri	10	E13	Nakliye yoğunluğu	2
Ç4	Göçmen kuş geçiş alanı	9	E16	Arazi masrafı	2
Ç6	Nehir/ su/deniz havzası	9	Ç8	Boru hattı ve yer altı kabloları	2
Ç2	Arazi kullanımı	8	Ç13	Kaçınılmış CO2 emisyonu	2
Ç9	Havaalanı	7	Ç21	Halkın kabulü	2
Ç24	Yerleşim yerlerine uzaklık	7	T2	Rakım	1
E18	Enerji üretimi	6	T3	Rotor çapı	1
Ç3	Gürültü	6	E4	Rüzgar gücünün yararları	1
T6	Gövde yüksekliği	5	E5	Arazi sahibinin geliri	1
Ç14	Rüzgar kaynağı	5	E10	İnşaat vergisi	1
E6	Toprak	4	E12	Enerji maliyeti	1
E22	Bakım maliyeti	4	E14	Elektrik hattı maliyeti	1
Ç5	Arkeolojik alana uzaklık	4	E15	Elektrik entegrasyon maliyeti	1
Ç12	Görsel etki	4	E17	Erişim yolu maliyeti	1
Ç16	Deniz derinliği	4	E20	Kıyıya uzaklık	1
Ç17	Balıklara etkisi	4	E21	Türbin fiyatı	1
T5	Türbin kapasitesi	3	Ç15	Şebeke yeri	1
T7	Lisans gücü	3	Ç20	Rüzgar hızında dalgalanma	1
E7	Nüfus yoğunluğu	3	Ç19	Sıcaklık	1
E9	Ekonomik faaliyet vergisi	3	Ç22	Tayfun	1
E11	İş sayısı	3	Ç23	Dalgaların seviyesi	1
E19	Geri ödeme periyodu	3			



**Şekil 1.** Kriterlere ait hiyerarşik yapı (Hierarchical structure of criteria)



#### 4.2.1. Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi (Determination of the weight of the criteria)

Bu bölümde Şekil 1’de hiyerarşik yapısı verilen kriterler karar verici uzman grup tarafından değerlendirilmiş ve kriter ağırlıklarının elde edilebilmesi için SWARA yöntemi uygulanmıştır.

Adım 1 Kriterlerin sıralanması: SWARA metodunu başlangıcı, kriterlerin önem sırasına göre sıralanmasıdır. Bu adım, her karar verici tarafından tek tek uygulanmıştır. Kriter sıralamaları Tablo 3’te verilmiştir. Örneğin, “T1 Eğitim” kriteri, karar verici (KV) 1 için önem sırasında 13. sırada yer almaktadır.

Adım 2 Önem düzeylerinin belirlenmesi: Tablo 3’te sıralanan kriterler, en önemliden en az önemliye göre Tablo 4’teki gibi düzenlenmiş ve ikinci kriterden başlayarak her bir kriterin göreceli önem düzeyi karar vericiler tarafından belirlenmiştir. Örneğin, (KV)1 için, Ç10 kriteri ile Ç4 kriteri arasındaki göreceli önem düzeyi 1’dir.

Adım 3, 4 ve 5 Katsayı  $k_j$ ’nin belirlenmesi, önem vektörü  $q_j$ ’nin hesaplanması ve değerlendirme ölçütlerinin göreceli ağırlıkları  $w_j$ ’nin hesaplanması: Bu adımda öncelikle  $s_j$  değerleri yardımıyla Eş. 1 kullanılarak katsayı  $k_j$  değerleri elde edilmiştir. Daha sonra Eş. 2 kullanılarak her bir kriter için önem vektör  $q_j$  değerleri bulunmuştur. En son, kriter

ağırlıkları,  $w_j$ , Eş. 3 ile hesaplanmıştır. (KV)1 için her bir kriterin hesaplanan  $k_j$ ,  $q_j$  ve  $w_j$  değerleri Tablo 5’te gösterilmektedir.

Her bir karar verici için  $j$ . kriterin önem düzeyi  $w_j$  belirlendikten sonra  $j$ . kriter için tüm karar vericilerin önem düzeylerinin geometrik ortalaması hesaplanarak kriterlere ait ağırlıklar hesaplanmıştır. Yapılan çalışma sonucu en önemli kriterin 0,4102 değeriyle “Ç10 Askeri alanlar” kriteri olduğu sonucuna varılmıştır. Kriterlere ait sıralama Tablo 6’da gösterilmektedir.

#### 4.2.2. Alternatiflerin değerlendirilmesi (Evaluation of alternatives)

Türkiye’de kurulacak olan bir rüzgar santrali için alternatif yerlerin değerlendirilmesi amacıyla üst düzey karar verici ile görüşmelere devam edilmiştir. Alternatiflerin değerlendirilmesinde sırasıyla A-GİA ve Gri EDAS yöntemleri kullanılmıştır. Yer seçimi için firmanın kurulum yapmayı planladığı 5 konum değerlendirilmiştir. Bu konumlar Afyon, Sivas, Kaş, Çeşme ve Balıkesir’dir. Alternatifler sırasıyla A1, A2, A3, A4 ve A5 olarak ifade edilmiştir. Alternatifler için verilen sözel performans değerleri Tablo 7 aracılığıyla aralıklı sayılara çevrilmiştir. Eğitim, proje maliyeti, geri ödeme periyodu, terör, gürültü, görsel etki ve rüzgar hızında dalgalanma kriterleri minimizasyon yönlü kriterler olup, düşük değerlerde olmaları arzulanmaktadır.

**Tablo 3.** Karar vericilere göre kriter sıralamaları (Criterion rankings by decision makers)

	T1	T7	E1	... ..	Ç12	Ç20	Ç21
KV1	13	11	14		18	15	16
KV2	14	12	13		18	16	15
KV3	14	10	12	... ..	16	15	17
KV4	13	11	14		17	15	18

**Tablo 4.** Kriterlerin (KV)1 için karşılaştırmalı önemi (Comparative importance of criteria for (KV)1)

	Ç10	Ç4	Ç7	... ..	Ç21	Ç3	Ç12
Önem Sırası	1	2	3		16	17	18
$s_j$	-	1,00	0,75	... ..	0,30	0,20	0,10

**Tablo 5.** (KV)1’e ait kriter ağırlıklarını hesaplama (Calculation of the criterion weights for (KV)1)

	Ç10	Ç4	Ç7	... ..	Ç21	Ç3	Ç12
Sıra	1	2	3		16	17	18
$s_j$	-	1,00	0,75		0,30	0,20	0,10
$k_j$	1,00	2,00	1,75	... ..	1,30	1,20	1,10
$q_j$	1,0000	0,5000	0,2857		0,0023	0,0019	0,0017
$w_j$	0,4197	0,2098	0,1199		0,0010	0,0008	0,0007

**Tablo 6.** Kriterlere ait sıralama (Ranking of criteria)

	T1	T7	E1	... ..	Ç12	Ç20	Ç21
$w_j$	0,0026	0,0055	0,0027		0,0009	0,0013	0,0011
Sıra	14	11	13	... ..	18	15	16

#### 4.2.2.1. A-GİA yöntemi ile alternatiflerin değerlendirilmesi (Evaluation of alternatives with A-GIA Method)

Adım 1 Karar matrisinin oluşturulması: Alternatiflere ait sözel performans değerleri Tablo 8'de gösterilmektedir. Bu aralıklı sayılar Eş. 5'te gösterildiği gibi performans karar matrisini  $\otimes X$  oluşturmaktadır.

Adım 2 Normalize Karar Matrisinin Oluşturulması: Normalizasyon işlemi, Tablo 8'deki değerler kullanılarak maksimize edilecek kriter için Eş. 6, minimize edilecek kriter için Eş. 7'de gösterildiği gibi yapılmaktadır. Normalize karar matrisi Tablo 9'da gösterildiği gibidir.

Adım 3, 4, 5 ve 6 Referans serinin belirlenmesi, mutlak değer tablosunun oluşturulması, gri ilişki katsayı matrisinin oluşturulması ve GİD'lerin belirlenmesi: Maksimize edilecek kriter için referans seri Eş. 8, minimize edilecek kriter için referans seri Eş. 9'da gösterildiği gibi belirlenmektedir. Eş. 10 kullanılarak Eş. 11 ile gösterilen mutlak değer matrisi oluşturulmuştur. Eş. 12 ve 13 kullanılarak gri ilişki katsayı matris elemanları oluşturulmaktadır. Literatürde ayırıcı katsayısının genellikle 0,5 değerini aldığı görülmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada da  $\zeta$  değeri 0,5 olarak alınmıştır. GİD'nin belirlenmesi, ölçütlerin önem derecelerinin eşit veya farklı olmasına göre

değişmektedir. Ölçütlerin önem dereceleri farklı ise, GİD Eş. 14 yardımıyla elde edilmektedir.

Adım 7 Beyazlatılmış gri ilişki derecesinin hesaplanması: GİD değerleri Eş. 15 kullanılarak beyazlatılmış gri ilişki derecelerine dönüştürülmektedir. Beyaz gri ilişki derecesi hesaplandıktan sonra, tüm kriterlere ait beyaz gri ilişki dereceleri toplanarak azalan düzende sıralanır. Sıralama sonucunda, ilk sıradaki alternatifin A4 yani Çeşme olduğu belirlenmiştir. Tablo 10'da alternatiflerin sıralama sonucu gösterilmektedir.

#### 4.2.2.2. Gri EDAS yöntemi ile alternatiflerin değerlendirilmesi (Evaluation of alternatives with Grey EDAS Method)

Adım 1 ve 2 Gri karar verme matrisinin oluşturulması ve Gri ortalama çözümün belirlenmesi: Karar matrisi, yani karar vericilerin belirlediği sözel performans değerleri Tablo 8'de gösterilmektedir. Kriterlere ait gri ortalama çözümü, Eş. 18 ve 19 kullanılarak hesaplanmıştır. Bu değerler, Tablo 11'de gösterilmektedir.

Adım 3, 4 ve 5 Gri pozitif ideal çözüm (PDA) ve gri negatif ideal çözüm (NDA) değerlerinin hesaplanması, gri PDA ve gri NDA için ağırlıklı toplamların belirlenmesi ve ağırlıklı

**Tablo 7.** Sözel performans değerleri ve aralıklı sayılar (Verbal performance values and interval numbers) [23]

	Sözel Performans Değerleri													
	Çok Düşük		Düşük		Orta Düşük		Orta		Orta Yüksek		Yüksek		Çok Yüksek	
	ÇD	D	OD	O	OY	Y	ÇY	ÇD	D	OD	O	OY	Y	ÇY
Aralıklı Sayılar	0,05	0,20	0,10	0,30	0,20	0,40	0,35	0,65	0,60	0,80	0,70	0,90	0,80	1,00

**Tablo 8.** Alternatiflere ait sözel ağırlıklar (Verbal weights for alternatives)

	T1	T7	E1	E2	E3	E18	E19	G1	Ç1	Ç3	Ç4	Ç5	Ç7	Ç9	Ç10	Ç12	Ç20	Ç21
A1	OD	OY	O	OY	D	O	OD	ÇD	OD	ÇD	D	ÇD	ÇD	ÇD	ÇD	D	ÇD	Y
A2	OD	ÇY	OD	D	OY	OY	OY	OY	D	ÇD	D	OD	OD	ÇD	D	ÇD	D	ÇY
A3	Y	O	Y	OD	O	OD	O	ÇD	O	D	Y	Y	Y	D	D	Y	OD	D
A4	ÇD	ÇD	OY	O	D	ÇD	D	ÇD	Y	O	OD	OD	OD	Y	OY	ÇY	OD	ÇD
A5	D	D	OY	OY	D	D	OD	ÇD	OY	OD	OD	O	O	D	O	O	O	D

**Tablo 9.** Normalize edilmiş aralıklı değerler (Normalized interval values)

Mak / Min	T1 min	T7 mak	E1 mak	...	...	...	Ç12 min	Ç20 min	Ç21 mak			
A1	0,125	0,250	0,600	0,800	0,389	0,722	0,167	0,500	0,250	1,000	0,700	0,900
A2	0,125	0,250	0,800	1,000	0,222	0,444	0,250	1,000	0,167	0,500	0,800	1,000
A3	0,056	0,071	0,350	0,650	0,778	1,000	0,056	0,071	0,125	0,250	0,100	0,300
A4	0,250	1,000	0,050	0,200	0,667	0,889	0,050	0,063	0,125	0,250	0,050	0,200
A5	0,167	0,500	0,100	0,300	0,667	0,889	0,077	0,143	0,077	0,143	0,100	0,300

**Tablo 10.** Alternatiflere ait sıralama (Ranking of alternatives)

	A1	A2	A3	A4	A5
Skor	0,3874	0,4391	0,5868	0,6413	0,5245
Sıralama	5	4	2	1	3

**Tablo 11.** Gri ortalama çözümün belirlenmesi (Determination of gray mean solution)

Mak/Min	T1 min	T7 mak	E1 mak	... ..	Ç12 min	Ç20 min	Ç21 mak
Ort. Değer	0,25	0,44	0,38	0,59	0,49	0,71	... .. 0,40 0,61 0,18 0,39 0,35 0,54

toplamlarının normalize edilmesi: Maksimizasyon ve minimizasyon yönlü değerler için gri PDA ( $\underline{d}_{ij}^+$  ve  $\overline{d}_{ij}^+$ ) değerleri Eş. 20 ve 21, gri NDA ( $\underline{d}_{ij}^-$  ve  $\overline{d}_{ij}^-$ ) değerleri Eş. 22 ve 23 kullanılarak hesaplanmıştır. Tüm alternatifler için gri PDA'nın ve gri NDA'nın ağırlıklı toplamı Eş. 24-27 kullanılarak hesaplanmıştır. Tüm alternatifler için gri PDA ve gri NDA'nın ağırlıklı toplam değerlerinin normalize edilme işlemi Eş. 28-31 kullanılarak yapılmıştır.

Adım 6 Değerlendirme skorunun hesaplanması ve en iyi alternatifin belirlenmesi: Tüm alternatifler için değerlendirme skoru  $S_i$ , Eş. 32 kullanılarak hesaplanmıştır. Alternatifler, değerlendirme skorlarına göre azalan düzende sıralanarak en büyük  $S_i$  değerine sahip olan Çeşme, en iyi alternatif olarak seçilmiştir. Tablo 12'de alternatiflere ait sıralama gösterilmektedir.

**Tablo 12.** Alternatiflerin Sıralanması (Ranking of alternatives)

	A1	A2	A3	A4	A5
Skor	0,29997	0,30763	0,37494	0,39480	0,30646
Sıralama	5	4	2	1	3

#### 4.3. Tartışma (Discussion)

Bu çalışmada Denizli'de enerji sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın rüzgar santrali yer seçimi problemi ele alınmıştır. Öncelikle literatür araştırması yapılmış, firmada bulunan uzmanlarla görüşülüp kriterler ve alternatifler belirlenmiştir. Belirlenen kriterlerin ağırlıkları, alınan veriler doğrultusunda SWARA yöntemiyle bulunmuştur. En önemli kriterin askeri alanlar olduğu sonucuna varılmıştır.

Karar vericilerin kararlarının belirsiz olmasından, kriterler için kesin değer veremediklerinden dolayı, belirsizlikle başa çıkmak için dilsel ifadeler tercih edilmiştir. Konuyla ilgili kararların sonuçları çok hassas olduğu göz önünde bulundurulduğundan alternatifleri değerlendirmede aralıklı gri sayılar kullanılmıştır. Gerçek hayatta var olan bilgiler genellikle yetersiz ve eksik olduğundan, gereksinimlere daha iyi yanıt verebilmek için gri sayılara dayanan yeni yöntemler geliştirmek gerekli görülmektedir. Gri teori, diğer karar verme yöntemleriyle başarılı bir şekilde birleştirilip uzman kararının kalitesini iyileştirebilmektedir [57, 18]. Bu nedenlerden dolayı çalışmada, ağırlıklarının belirlenmesinde SWARA, alternatiflerin değerlendirilmesi aşamasında ise A-GİA ve Gri EDAS yöntemleri kullanılmıştır. İki yöntem sonucunda da ilk sırada Çeşme konumu, son sırada ise Afyon konumu yer almıştır. Çalışma sonuçları karar vericilere rapor olarak sunulmuştur. Karar vericiler, problemi gerçek hayattaki verilerle karşılaştırarak, gerçek bir kurulum yapılacak şekilde hesaplamalar yapmış ve alternatifleri incelemiştir. Uzman grup da alternatifler arasında en iyi rüzgar santrali konumunun Çeşme olduğunu belirlemiştir.

Çalışmanın sonucu ile kendi kullandıkları yöntemlerin sonucu aynı çıkmıştır. Çalışmanın karar vericiler tarafından da sağlanması bu şekilde yapılmıştır. Bütün bu uygulamaların sonucunda, rüzgar santrali yer seçimi için Çeşme konumunun seçilmesi uygun bulunmuştur. Çalışmada kullanılan aralıklı gri sayılarla entegre edilen A-GİA ve Gri EDAS yöntemlerinin rüzgar santrali yer seçimi problemlerinde etkin bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

#### 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Enerji, ekonomik büyümenin ana faktördür ve modern bir ekonomiyi sürdürebilmek için hayati bir öneme sahiptir. Hızla tükenen enerji kaynakları nedeniyle, günümüzde fosil yakıtların yerini, kendini sürekli yenileyebilen doğal kaynaklar almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan bu talep, özellikle çevre dostu, temiz ve güvenli enerji kaynaklarından olan rüzgar enerjisine ihtiyacı da arttırmıştır. Bu da rüzgar enerjisi santrallerini ön plana çıkarmaktadır. Santralden elde edilmesi beklenen enerjinin karşılanabilmesi için yer seçimi önemli bir yere sahiptir. Birbirleriyle çelişen birden fazla kriteri içeren bu problem aynı zamanda bir ÇKKV problemi. Bu nedenle, bu çalışmada, enerji sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın rüzgar enerjisi santrali için yer seçimi problemi, ÇKKV yöntemleriyle ele alınmaktadır.

Çalışmada önce rüzgar enerjisi yer seçimi problemi ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar incelenmiştir. İncelenen çalışmalarda hangi yöntemlerin ve hangi kriterlerin kullanıldığı listelenmiştir. Firmadan oluşturulan uzman grup ile listelenen kriterlerin üzerinden tek tek geçilerek problemin çözümünde kullanılan kriter ve alt kriterler belirlenmiştir. Ayrıca yine incelenen çalışmaların sonucunda literatürde rüzgar enerjisi yer seçimi için aralıklı gri sayılar, SWARA, A-GİA ve Gri EDAS yöntemlerinin kullanılmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle belirlenen kriterlerin ağırlıklarının elde edilmesi için SWARA yöntemi uygulanmıştır.

Alternatiflerin değerlendirilmesinde karar vericilerin kararını dilsel ifade ile temsil etmek için aralıklı gri sayılar kullanılmıştır. Gri sayılar, net bir şekilde değeri bilinmeyen fakat alacağı değerleri içeren bir aralığın tanımlanabildiği sayılardır. Gri sayılar belirsizlikle başa çıkmak, kriterleri ve alternatifleri değerlendirmede hassasiyet eksikliğini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Gri sayıların kullanılmasıyla, karar vermedeki belirsizlikle daha iyi bir şekilde başa çıkılmış, kriterleri ve alternatifleri değerlendirmede daha hassas davranılmıştır. Ayrıca firmada çalışan farklı bilgi, eğitim ve tecrübesi olan uzmanların fikir ve sezgileri değerlendirmelere katılmıştır. Yer sıralamaları, ÇKKV yöntemlerinden A-GİA ve Gri EDAS yöntemleri ile

belirlenmiştir. A-GİA yöntemi, aralıklı gri sayıları kullanarak belirsizlik ile baş edebilen güçlü bir yöntemdir. Uzmanın görüşleri ayrıca alınıp daha sonra çözüme entegre edilmektedir. Dolayısıyla, diğer yöntemlere göre daha esnek bir yöntemdir. Aynı şekilde Gri EDAS da kesin olmayan ve belirsiz durumlarda ortalamadan uzaklıkları dikkate alan yeni bir ÇKKV yöntemidir. Rüzgar enerjisi yer seçimi probleminde aralıklı gri sayılar ve bu yöntemlerin ilk kez kullanılması ile literatüre katkıda bulunulmuştur.

Karar verme problemlerinde kişisel fikir ve sezgilerin katılması, bazen sübjektif sonuçlar doğurabilmektedir. Bunların üzerine belirsizlik eklendiğinde sonuçları tekrar sorgulamak gerekmektedir. Bunları önlemek için daha hassas sonuçlar veren, belirsizliklerin üstesinden gelen gri sayılar gibi yöntemleri güçlü ÇKKV yöntemleri ile birleştirmek daha doğru sonuçlara ulaşmayı sağlamaktadır. Böylece karar vermedeki dezavantajlar, avantaj haline dönüştürülebilmektedir. Geliştirilen yöntemler gerçek uygulamalar içinde de yer alabilmektedir. Bu nedenle gelecek çalışmalarda aralıklı gri sayıların diğer ÇKKV yöntemleri ile entegre edilmesi için çalışmalar yapılacaktır. Ayrıca ilgili uzmanların farklı eğitim, disiplin, bilgi ve tecrübeye sahip kişilerden seçilerek çeşitlendirilmesi ile gelecek çalışmalar güçlendirilecektir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Çalışma kapsamında kıymetli tecrübelerini bizden esirgemeyen Volkan Sert ve ekibine teşekkürlerimizi sunarız.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Gigovic L., Pamucar D., Bozanic D., Ljubojevic S., Application of the GIS-DANP-MABAC multi-criteria model for selecting the location of wind farms: A case study of Vojvodina, Serbia, *Renewable Energy*, 103, 501-521, 2017.
- Noorollahi Y., Yousefi H., Mohammadi M., Multi-criteria decision support system for wind farm site selection using GIS, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 13, 38-50, 2016.
- Özcan İ., Isparta İlinde Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi ve Bir Rüzgar Santrali Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ulusal Tez Merkez, 2011.
- Rezaian S., Jozi S. A., Application of Multi Criteria Decision-Making Technique in Site Selection of Wind Farm- a Case Study of Northwestern Iran, *Indian Society of Remote Sensing*, 44 (5), 803-809, 2016.
- Aydin N.Y., Kentel E., Düzgün Ş., GIS-based environmental assessment of wind energy systems for spatial planning: A case study from Western Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 364–373, 2010.
- Kumara A., Sah B., Singh A. R., Deng Y., He X., Kumar P., Bansal R.C., A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 596–609, 2017.
- Latinopoulos D., Kechagia K., A GIS-based multi-criteria evaluation for wind farm site selection. A regional scale application in Greece, *Renewable Energy*, 78, 550-560, 2015.
- Ahmadi H. B., Petrudi S. H. H. Ve Wang X., Integrating Sustainability into Supplier Selection with Analytical Hierarchy Process and Improved Grey Relational Analysis: A Case of Telecom Industry, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 90, 2413-2427, 2017.
- Özer, S., A feasibility study and evaluation of financing models for wind energy projects: A case study on Izmir Institute of Technology campus area, Yüksek lisans tezi, İzmir Institute of Technology, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Akademik Arşiv Sistemi, 2004.
- Wu Y., Chen K., Zeng B., Yang M., Li L., Zhang H., A cloud decision framework in pure 2-tuple linguistic setting and its application for low-speed wind farm site selection, *Journal of Cleaner Production*, 142, 2154-2165, 2017.
- Kabak M., Sağlam F., Aktaş A., Usability analysis of different distance measures on TOPSIS, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32 (1), 35-43, 2017.
- Aghdaie M. H., Zolfani S. H. Ve Zavadskas E. K., Decision Making in Machine Tool Selection: An Integrated Approach with SWARA and COPRAS-G Methods, *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 24 (1), 12, 2013.
- Senger Ö., Albayrak Ö. K., Gri İlişki Analizi Yöntemi ile Personel Değerlendirme Üzerine Bir Çalışma, *UİİİD-İJEAS*, 17, 235-258, 2016.
- Kaya T., Kahraman C., Multicriteria Renewable Energy Planning Using an Integrated Fuzzy VIKOR & AHP Methodology: The Case of Istanbul, *Energy*, 35, 2517-2527, 2010.
- Stanujkic D., Karabasevic D., Zavadskas E.K., A Framework for the Selection of a Packaging Design Based on the SWARA Method, *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 26 (2), 181–187, 2015.
- Özbek A., SWARA, Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Ve Excel İle Problem Çözümü, 1, Seçkin Yayınevi, 45, 2017.
- Zolfani S.H., Saparauskas J., New Application of SWARA Method in Prioritizing Sustainability Assessment Indicators of Energy System, *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 24 (5), 408-414, 2013.
- Malek A., Ebrahimnejad S., Tavakkoli-Moghaddam R., An Improved Hybrid Grey Relational Analysis Approach for Green Resilient Supply Chain Network Assessment, *Sustainability*, 9, 1433, 2017.
- Keshavarz Ghorabae M., Zavadskas E.K., Olfat L., Turskis Z., Multi-Criteria Inventory Classification Using a New Method of Evaluation Based on Distance from Average Solution (EDAS), *Informatica*, 26 (3), 435–451, 2015.

20. Özmen M., Kızılkaya Aydoğan E., Robust multi-criteria decision making methodology for real life logistics center location problem, *Artificial Intelligence Review*, 53, 725–751, 2020.
21. Özerdem B., Özer S., Tosun M., Feasibility Study of Wind Farms: A Case Study for İzmir, Turkey, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 94, 725–743, 2006.
22. Lee A. H. I., Chen H. H., Kang H. Y., Multi-criteria decision making on strategic selection of wind farms, *Renewable Energy*, 34, 120–126, 2009.
23. Haaren R. V., Fthenakis V., GIS-based wind farm site selection using spatial multi-criteria analysis (SMCA): Evaluating the case for New York State, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 3332–3340, 2011.
24. Gorsevski P. V., Cathcart S. C., Mirzaei G., Jamali M. M., Ye X., Gomezdelcampo E., A group-based spatial decision support system for wind farm site selection in Northwest Ohio, *Energy Policy*, 55, 374–385, 2013.
25. Yeh T. M., Huang Y. L., Factors in determining wind farm location: Integrating GQM, fuzzy DEMATEL, and ANP, *Renewable Energy*, 66, 159-169, 2014.
26. Iyappan L., Pandian P. K., Geoprocessing model for identifying potential wind farm locations, *IET Renewable Power Generation*, 10 (9), 1287-1297, 2016.
27. Jones D. F., Wall G., An Extended Goal Programming Model For Site Selection in The Offshore Wind Farm Sector, *Ann Oper. Res.*, 245, 121–135, 2016.
28. Kim T., Park J., Maeng J., Offshore wind farm site selection study around Jeju Island, South Korea, *Renewable Energy*, 94, 619-628, 2016.
29. Saleous N., Issa S., Mazrouei J. A., Gis-Based Wind Farm Site Selection Model Offshore Abu Dhabi Emirate, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B8, XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic, 2016.
30. Sánchez-Lozano J. M., García-Cascales M. S., Lamata M. T., GIS-based onshore wind farm site selection using Fuzzy Multi-Criteria Decision Making methods Evaluating the case of Southeastern Spain, *Applied Energy*, 171, 86–102, 2016.
31. Höfer T., Sunak Y., Siddique H., Madlener R., Wind farm siting using a spatial Analytic Hierarchy Process approach: A case study of the Städteregion Aachen, *Applied Energy*, 163, 222–243, 2016.
32. Yunna W., Jinying Z., Jianping Y., Shuai G., Haobo Z., Study of decision framework of offshore wind power station site selection based on ELECTRE-III under intuitionistic fuzzy environment: A case of China, *Energy Conversion and Management*, 113, 66–81, 2016.
33. Afsordegan A., Vasto-Terrientes L. D., Valls A., Agell N., Sánchez M., Finding the most sustainable wind farm sites with a hierarchical outranking decision aiding method, *Ann. Oper. Res.*, 2017.
34. Ali S., Lee S. M., Jang C. M., Determination of the Most Optimal On-Shore Wind Farm Site Location Using a GIS-MCDM Methodology: Evaluating the Case of South Korea”, *Energies*, 10, 2072, 2017.
35. Baseer M. A., Rehman S., Meyer J. P., Alam M. M., GIS-based site suitability analysis for wind farm development in Saudi Arabia”, *Energy*, 141, 1166-1176, 2017.
36. Ziembra P., Watróbski J., Ziolo M., Karczmarczyk A., Using the PROSA Method in Offshore Wind Farm Location Problems”, *Energies*, 10, 1755, 2017.
37. Pamucar D., Gigovic L., Bajic Z., Janošević M., Location Selection for Wind Farms Using GIS Multi-Criteria Hybrid Model: An Approach Based on Fuzzy and Rough Numbers, *Sustainability*, 9, 1315, 2017.
38. Chaouachi A., Covrig C. F., Ardelean M., Multi-criteria selection of offshore wind farms: Case study for the Baltic States, *Energy Policy*, 103, 179–192, 2017.
39. Wu Y., Chen K., Xu H., Xu C., Zhang H., Yang M., An innovative method for offshore wind farm site selection based on the interval number with probability distribution, *Engineering Optimization*, 49 (12), 2174-2192, 2017.
40. Ayodele T. R., Ogunjuyigbe A. S. O., Odigie O., Munda J. L., A multi-criteria GIS based model for wind farm site selection using interval type-2 fuzzy analytic hierarchy process: The case study of Nigeria, *Applied Energy*, 228, 1853–1869, 2017.
41. Bili A., Vagiona D. G., Use of multicriteria analysis and GIS for selecting sites for onshore wind farms: the case of Andros Island (Greece), *European Journal of Environmental Sciences*, 8 (1), 5–13, 2018.
42. Bansal R. C., Bharadwaj A. K., Exploring Feasibility and Scope for Wind Resource Potential with Turbine Selection for a Land Site, *Asian Journal of Electrical Sciences*, ISSN: 2249-6297, 7 (1), 10-19, 2018.
43. Vagiona D. G., Kamilakis M., Sustainable Site Selection for Deniz-üstü Wind Farms in the South Aegean-Greece, *Sustainability*, 10, 749, 2018.
44. Mytilinou V., Lozano-Minguez E., Kolios A., A Framework for the Selection of Optimum Offshore Wind Farm Locations for Deployment, *Energies*, 11, 1855, 2018.
45. Wu B., Yip T. L., Xie L., Wang Y., A Fuzzy-MADM Based Approach for Site Selection of Offshore Wind Farm in Busy Waterways in China, *Ocean Engineering*, 168, 121–132, 2018.
46. Ayodele T. R., Ogunjuyigbe A. S. O., Odigie O., Jimoh A. A., On the most suitable sites for wind farm development in Nigeria, *Data in Brief*, 19, 29–41, 2018.
47. Bravo M., Jones D., Pla-Santamaria D., Wall G., Robustness of weighted goal programming models: an analytical measure and its application to offshore wind-farm site selection in United Kingdom, *Ann Oper. Res.*, 267, 65–79, 2018.
48. Kim C., Jang S., Kim T. Y., Site selection for offshore wind farms in the southwest coast of South Korea, *Renewable Energy*, 120, 151-162, 2018.
49. Argın M., Yerci V., Erdoğan N., Küçüksarı S., Calı Ü., Exploring the Offshore Wind Energy Potential of Turkey Based on Multicriteria Site Selection, *Energy Strategy Reviews*, 23, 33–46, 2019.

50. Keršulienė V., Zavadskas E. K. ve Turskis Z., Selection of Rational Dispute Resolution Method by Applying New Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA), *Journal of Business Economics and Management*, 11 (2), 243–258, 2010.
51. Ruzgys A., Volvačiovas R., Ignatavičius C. ve Turskis Z., Integrated Evaluation Of External Wall Insulation in Residential Buildings Using SWARA-TODIM MCDM Method, *Journal of Civil Engineering and Management*, 20 (1), 103-110, 2014.
52. Özbek A., Demirkol İ., Lojistik Sektöründe Faaliyet Gösteren İşletmelerin SWARA ve GİA Yöntemleri İle Analizi, *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi (KÜSBD)*, 8 (1), 71-86, 2018.
53. Akel G., Çakır E., Dođaner M., Türkiye’de Faaliyet Gösteren Özel Alışveriş Sitelerinin Bütünleşik SWARA-WASPAS Yöntemi İle Değerlendirilmesi, *ÜİİD-IJEAS*, 18, 599-616, 2018.
54. Stanujkic D., Magdalinovic N., Jovanovic R. ve Stojanovic S., An Objective Multi-Criteria Approach to Optimization Using MOORA Method and Interval Grey Numbers, *Technological and Economic Development of Economy*, 18 (2), 331-363, 2012.
55. Keshavarz Ghorabae M., Zavadskas E. K., Olfat L., Turskis Z., Multi-Criteria Inventory Classification Using a New Method of Evaluation Based on Distance From Average Solution (EDAS), *Informatica*, 26 (3), 435-451, 2015.
56. Stanujkic D., Zavadskas E.K., Keshavarz Ghorabae M., Turskis Z., An Extension of the EDAS Method Based on the Use of Interval Grey Numbers, *Studies in Informatics and Control*, 26 (1), 5-12, 2017.
57. Dahooie J. H., Abadi E. B. J., Vanaki A. S. ve Firoozfar H. R., Competency-Based IT Personnel Selection Using a Hybrid SWARA and ARAS-G Methodology, *Hum. FactorsMan*, 28, 5–16, 2017.