

## SWARA-TOPSIS YÖNTEMİ İLE EN UYGUN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞININ BELİRLENMESİ

Onur DERSE<sup>1</sup>, Emel YONTAR<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Tarsus Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Yönetim ve Organizasyon Bölümü, Mersin  
ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-4528-1999>

<sup>2</sup>Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mersin  
ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-7800-2960>

Anahtar Kelimeler	Öz
Yenilenebilir enerji kaynakları, Çok Kriterli Karar Verme Tekniği, TOPSIS, SWARA, En uygun enerji seçimi.	Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyaç ve talep her geçen gün artmaktadır. Dünyada nüfus sayısının hızla artmasıyla birlikte hem tüketimi azaltmak hem de çevre zararını ortadan kaldırmak için yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaya başlanmıştır. Doğru yerde doğru yenilenebilir enerji kaynağı seçimi yapılarak yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen faydalar artırılabilir. Ancak bu seçim aşamasında ele alınması gereken çok fazla ve farklı kriterler ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinden SWARA ile entegre TOPSIS yöntemi kullanılarak en uygun yenilenebilir enerji kaynağının seçimi ele alınmaktadır. Çalışmada, yenilenebilir enerji kaynakları olarak; rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, biyokütle enerjisi, hidrojen enerjisi, dalga enerjisi, hidroelektrik enerjisi ve jeotermal enerji incelenmektedir. Bu kaynakların karşılaştırılması için değerlendirme kriterleri olarak; maliyet, verimlilik, iş imkânı, elde edilebilirlik miktarı, devlet teşvikleri, sosyal kabul edilebilirlik, teknolojik olgunluk, hizmet ömrü, arıza / kaza riskinin düşüklüğü, arazi ihtiyacı kriterleri dikkate alınmaktadır. Karşılaştırmalı analizlerde dikkate alınarak çalışmanın sonucunda Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarından hidroelektrik enerji santralinin kurulması gerektiği ilk sırada görülmektedir. Bu enerji kaynağını sırasıyla biyokütle enerjisi, jeotermal enerji, hidrojen enerjisi, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve dalga enerjisi takip etmektedir.

## DETERMINATION OF THE MOST APPROPRIATE RENEWABLE ENERGY SOURCE BY SWARA-TOPSIS METHOD

Keywords	Abstract
Renewable energy sources, Multi Criteria Decision Making Technique, TOPSIS, SWARA, Optimum energy choice.	The need and demand for renewable energy sources are increasing day by day. With the rapid increase in the population in the world, renewable energy sources have been used to both reduce consumption and eliminate environmental damage. The benefits obtained from renewable energy sources can be increased by choosing the right renewable energy source in the right place. However, there are many and different criteria that need to be addressed at this election stage. In this study, the selection of the most suitable renewable energy source is discussed by using the TOPSIS method integrated with SWARA which is one of the Multiple Criteria Decision-Making Techniques. In the study, renewable energy sources; wind energy, biomass energy, solar energy, hydrogen energy, wave energy, hydroelectric, and geothermal are examined. As evaluation criteria for comparison of these resources; cost, efficiency, job opportunities, availability, government incentives, social acceptability, technological maturity, service life, low risk of failure/accident, land requirement criteria are taken into consideration. The results of the study with comparative analysis indicate that more priority in accordance with Turkey's hydroelectric plants. This energy source is followed by biomass energy, geothermal energy, hydrogen energy, solar energy, wind energy, and wave energy respectively.
Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 21.09.2020	Submission Date : 21.09.2020
Kabul Tarihi : 19.11.2020	Accepted Date : 19.11.2020

\*Sorumlu yazar; e-posta : [eyontar@tarsus.edu.tr](mailto:eyontar@tarsus.edu.tr)

## 1. Giriş

Dünya nüfusunun hızlı bir şekilde artmasıyla birlikte enerji ihtiyacı giderek artmaktadır (Hepbaşlı ve Özgener, 2004; Uygurtürk ve Korkmaz, 2012). Bu ihtiyaç artışı insanların yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyacını ve ilgisini de arttırmaktadır (İlkiliç, 2012). Yenilenebilir enerji kaynakları, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, biyokütle enerjisi, hidrojen enerjisi, dalga enerjisi, hidroelektrik enerjisi, gelgit enerjisi ve jeotermal enerji olarak sıralanabilir. Güneş enerjisi en temel yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir ve gücünü güneşin oluşturduğu ısıdan alır. Rüzgar enerjisi hava basınç farklılıklarından, jeotermal enerji yer altı sıcaklıklarından, hidroelektrik enerjisi suyun akma veya düşme gücünden, dalga enerjisi denizlerde ve okyanuslarda oluşan su akıntularından, gelgit enerjisi okyanuslarda oluşan gelgit olayından genel olarak gücünü almaktadır. Biyokütle enerjisi organik atıklardan ve hidrojen enerjisi hidrojen elementinin saf olarak ayrıştırılması ve kullanılmasından gücünü almaktadır. Bu enerji kaynaklarının kullanılması çevreye verilen zararlı etkinin azaltılmasına, ithalat bağımlılığının düşmesine ve daha birçok olumlu etkiye neden olmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına artan ilgi sonucunda açılan birçok tesis günümüzde kullanılmaktadır. Bu tesisler için ele alınması gereken en önemli problemlerin başında hangi yenilenebilir enerji kaynağının kullanılması ve bu kullanıma karar vermek için hangi kriterlerin gözden geçirildiğine karar verilmesidir.

Seçim kararı değerlendirme süreci çok sayıda kriteri içerdiğinden ve birbirleriyle çakışan bu kriterler arasından bir seçim yapmak gerekli olduğundan, bu karar verme problemleri karmaşık problemlerdir (Ömürbek, Üstündag ve Helvacioğlu 2013; Bülbül ve Köse, 2011). Karar verme problemi, genellikle seçilecek alternatifler içerisinde belirli bir amaç doğrultusunda ve belirli kriterlere dayanarak en uygun alternatif ya da alternatifleri seçme süreci olarak ele alınır. Süreç, karar vericinin mevcut seçenekler arasından bir seçim, sıralama ya da sınıflandırma yapması şeklinde sonuçlanabilir (Geyik, Tosun, Ünlüsoy, Hamurcu ve Eren, 2016). Bu aşamada uygun karar vermek için, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılmaktadır (Geyik ve diğ., 2016; Akyüz ve Soba 2013).

ÇKKV yöntemleri, birden çok kriterli alternatiflerin sıralanmasında oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir (Özdemir ve Seçme, 2009) ve birçok alanda

başarılı bir şekilde uygulanmıştır. (Eleren ve Karagül, 2008). Bu karar alacak kişilerin çok kriterli farklı sorunlarla karşılaşmaları ve bu sorunlara en kısa süre içinde çözüm bulmak zorunda olmaları nedeniyle genel olarak uygulanmaktadır. ÇKKV yöntemleri birden fazla kriterle kıyaslanan alternatifler arasından en uygun olanı seçmek ve değerlendirmek için karar alıcılara destek sağlamaktadır (Yoon, 1985). ÇKKV yöntemleri birçok farklı yöntemi içinde barındırmaktadır, bu yöntemlerden bazıları Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), ELimination Et Choice Translating REality (ELECTRE), Analytic Hierarchy Process (AHP), Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) vb yöntemlerdir (Eleren ve Karagül, 2008). Madlener, Antunes ve Dias (2009), Rupf, Bahri, De Boer ve McHenry (2016), Martinez, Mustapha, Campbell ve Bouragba (2016), Wiguna, Sarno ve Ariyani (2016) ve Laska (2017), ÇKKV yöntemlerini kullanarak yenilenebilir enerji ile ilgili çalışmalar yürütmüşlerdir.

Bu çalışmada SWARA ve TOPSIS yöntemlerinden oluşan iki aşamalı bir metod önerilmiştir. SWARA yöntemi ile ilgili literatürü incelerken, birçok farklı alanda uygulama bulmak mümkündür. Zolfani, Aghdaie, Derakhti, Zavadskas ve Varzandeh (2013) ürünlerin tasarımında, Aghdaie, Zolfani ve Zavadskas (2013) makine tezgahı seçiminde, Keršulienė, Zavadskas ve Turskis (2010) rasyonel uyumsuzluk çözüm yöntemi seçiminde, Zolfani ve Saparauskas (2013) enerji sürdürülebilirliği göstergelerinin önceliklendirilmesinde, Vafaeipour, Zolfani, Varzandeh, Derakhti ve Eshkalag, (2014) güneş enerjisi santrallerinin kurulacağı bölgenin seçiminde, Volvačiovas (2014) kamu binalarını geliştirme stratejisinde, Zolfani ve Banihashemi (2014); Karabasevic, Stanujkić ve Urošević (2015) ve Karabasevic, Zavadskas, Turskis ve Stanujkić (2016) personel seçiminde, Dehnavi, Aghdam, Pradhan ve Varzandeh (2015) bölgesel heyelan tehlikesinin tespitinde ve Mavi, Goh ve Zorbakhshnia (2017) sürdürülebilir üçüncü parti lojistik sağlayıcı seçiminde SWARA yöntemini ele almaktadır.

TOPSIS yöntemiyle yapılan çeşitli uygulamalar incelendiğinde; Huang ve Huang (2012) elektrik güç kaynağı bürolarının performansının değerlendirilmesinde, Wang ve Lee (2009) tedarikçi seçiminde, Bottani ve Rizzi (2006); Bianchini (2018) en uygun lojistik hizmet sağlayıcısı seçiminde, Pal ve Choudhury (2009); Mukherjee ve Nath (2005); Demireli (2010) bankanın performansın

değerlendirilmesinde, Ertuğrul ve Özçil (2014) klima seçiminde, Xue, Zhao ve Guo (2008) hizmet kalitesinin değerlendirilmesinde, Aslan, Yıldız ve Uysal (2015) afet yeri için en uygun yerin seçiminde, Feng ve Wang (2001) yolcu taşıma sektör performansının değerlendirilmesinde, Hsu, Tsai ve Wu (2009) havayolu firma seçiminde bu yöntemin kullanıldığı görülmektedir. TOPSIS yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen yenilenebilir enerji kaynağı çalışmaları da mevcuttur. Trappey, Trappey, Wang, Ou ve Li, (2015) çalışmalarında, Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde uygun olan seçimi yapmayı ele almaktadır. Ligus ve Peternek (2018) çalışmalarında, Polonya’da nükleer enerji ile yenilenebilir enerji arasında kıyaslama yaparak, yenilenebilir enerji kullanımının daha uygun olduğunu ortaya koymaktadır. Aryanpur, Atabaki, Marzband, Siano ve Ghayoumi (2019) çalışmalarında İran’daki bir bölgede sürdürülebilirliği sağlamak için 18 farklı kriteri kıyaslamaktadır. Solangi, Tan, Mirjat, Valasai, Khan ve Ikram, (2019) çalışmalarında, Pakistan için güneş, hidroelektrik, biyokütle, rüzgar ve jeotermal enerji için sıralama oluşturmaktadır. Sonuç olarak, rüzgar enerjisini elektrik üretimi için en uygun yenilenebilir enerji kaynağı olduğu ortaya çıkmakta ve onu takiben hidroelektrik, güneş, biyokütle ve jeotermal enerji gelmektedir. Bu çalışmalara ek olarak Alkan ve Albayrak, (2020) yenilenebilir enerji kaynaklarını Türkiye’deki yirmi altı bölgeye göre sıralamak ve değerlendirmek istemişlerdir. Bu çalışmada, değerlendirme kriterlerinin önem düzeyi ağırlıkları Bulanık Entropy yöntemi ile ölçülmüştür. Daha sonra Fuzzy COPRAS ve Fuzzy MULTIMOORA yöntemleri ile bölgeler için yenilenebilir enerji kaynakları alternatif sıralamaları elde edilmiştir. Fuzzy COPRAS sonuçlarına göre, hidroelektrik enerji kaynağı on yedi bölge için uygun yenilenebilir enerji kaynağı alternatifini olarak tanımlanmıştır. Fuzzy MULTIMOORA sonuçlarına göre hidroelektrik enerji kaynağı on sekiz bölge için birinci sırada uygun yenilenebilir enerji kaynağı alternatifini olarak belirlenmiştir. Shao, Han, Sun, Xiao, Zhang ve Zhao (2020), 2001’den 2018’e kadar yayınlanan toplam 85 makaleyi kapsayan yenilenebilir enerji yer seçimi için çok ölçütlü karar verme uygulamalarının sistematik bir literatür incelemesini yapmışlardır. Bu araştırmaya göre; (1) literatür araştırmaları ve uzman görüşleri en yaygın kriter seçim yöntemidir, (2) Yeniden sınıflandırma, en sık kullanılan veri normalleştirme yöntemidir (3) Analitik hiyerarşi süreci ağırlıklandırma için popülerdir (4) Alternatif değerlendirmede, coğrafi bilgi sistemleri ve ağırlıklı

doğrusal kombinasyon en popüler araçlardır (5) Kriter ağırlıklarının değiştirilmesi, en yaygın olarak kullanılan sonuç doğrulama yöntemidir, olarak belirlenmiştir. Ghenai, Albawab, Bettayeb (2020), çalışmalarında çok kriterli karar verme modelinden SWARA / ARAS yöntemi kullanmışlardır. Beş sürdürülebilirlik kriteri (kaynak, çevresel, ekonomik, sosyal ve teknoloji) ve on dört alt kategori (alan, malzeme, enerji inşaatı, enerji-yakıt, CO<sub>2</sub>-inşaat, CO<sub>2</sub>-yakıt, sermaye-inşaat, sermaye-yakıt, teslim edilen enerji maliyeti, mevcut kurulu kapasite, büyüme oranı, kapasite faktörü, sistem verimliliği ve ömür) bu analize dahil edilmiştir. SWARA-ARAS hibrit yöntemini kullanarak (1) rüzgar enerjisi sistemleri (kara tabanlı), (2) katı oksit yakıt hücresi, (3) fosforik asit yakıt hücresi ve (4) güneş enerjisi sistemleri (poli-silikon) sıralanmıştır. Lee ve Chang (2018) dört çok ölçütlü karar verme yöntemi (WSM, VIKOR, TOPSIS ve ELECTRE) kullanarak Tayvan’da elektrik üretimi için yenilenebilir enerji kaynaklarının sıralamasının karşılaştırmalı analizini sunmuşlardır. Sıralama sonuçları, hidroliğin Tayvan’daki en iyi alternatif olduğunu, ardından güneş, rüzgar, biyokütle ve jeotermal olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmada ise, Türkiye’de genelinde kurulmak üzere en uygun yenilenebilir enerji kaynağı seçimi için ÇKKV yöntemlerinden SWARA ve TOPSIS yöntemi birlikte kullanılmaktadır. Çalışmada belirlenen kriterlerin önemi SWARA metoduyla belirlenmektedir. Belirlenen önem dereceleri ardından en uygun enerji seçimi probleminde TOPSIS yöntemi ele alınmaktadır. SWARA ile entegre TOPSIS yönteminin kullanım nedenlerinin başında karar vericilere kriter öncelikleri belirleme konusunda daha fazla fırsat vermesi gelmektedir. Çalışmada, yenilenebilir enerji kaynakları olarak; rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, biyokütle enerjisi, hidrojen enerjisi, dalga enerjisi, hidroelektrik enerjisi ve jeotermal enerji ele alınmaktadır. Ele alınan enerji kaynaklarının karşılaştırılmasında kullanılan değerlendirme kriterleri kapsamlı bir literatür taraması yapılarak bulunmuştur. 20 kriter çalışmada SWARA yöntemi ile incelenmeye alınmıştır ve elde edilen bulgulara Pareto Analizi uygulanarak 10 kriterin önem derecesi daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Maliyet, verimlilik, iş imkânı, elde edilebilirlik miktarı, devlet teşvikleri, sosyal kabul edilebilirlik, teknolojik uygunluk, hizmet ömrü, arıza / kaza riskinin düşüklüğü, arazi ihtiyacı kriterleri kullanılarak ele alınan yenilenebilir enerji kaynakları için TOPSIS yöntemi kullanılarak çalışma

sonucunda en uygun enerji kaynağı sıralaması belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama SWARA yöntemi ile yenilenebilir enerji kaynaklarını değerlendirmede kullanılacak kriterlerin önem düzeylerinin belirlenmesi, ikinci aşama ise ele alınan enerji kaynaklarının TOPSIS yöntemi ile değerlendirilmesi olmaktadır.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### 2.1 SWARA Yöntemi

SWARA (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis) yöntemi "Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi" olarak bilinmektedir ve 2010 yılında Kersulienė, Zavadskas ve Turskis tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem uzman görüşlerinin kolaylıkla sürece dahil edilebileceği, basit görelî karşılaştırmanın kullanılabilmesi bir yöntemdir (Alimardani, 2013). Bu yöntemde kriterlerin ağırlıklarının hesaplanmasında, öneminin belirlenmesinde uzmanların fikirleri oldukça önemlidir.

SWARA yöntemi kullanılarak kriterlerin göreceli ağırlıklarının belirlenme süreci şu adımları içermektedir (Stanujkic, Karabasevic ve Zavadskas 2015);

Adım 1: Kriterler, uzman görüşü doğrultusunda önem sırasına göre azalan düzende sıralanır. Birden fazla karar verici olduğunda genel sıralama elde etmek için, yapılan bu işlemlerin, geometrik ortalaması alınır.

Adım 2: Her bir kriterin göreceli önem düzeyi belirlenir. Bunun için  $j$ . kriter,  $(j+1)$ . kriterle kıyaslanarak  $j$ . kriterin  $(j+1)$ . kriterden ne kadar önemli olduğu belirlenir (Ruzgys, Volvačiovas, Ignatavičius ve Turskis, 2014). Bu değer  $s_j$  (ortalama değer karşılaştırılmalı önemi) olarak gösterilmiştir (Kersulienė ve diğ., 2010).

Adım 3:  $k_j$  katsayısı (1)'de ki gibi belirlenir.

$$k_j = \begin{cases} 1, & j = 0 \\ s_j + 1, & j > 1 \end{cases} \quad (1)$$

Adım 4:  $q_j$  değişkeni (2)'de ki gibi hesaplanır.

$$q_j = \begin{cases} 1, & j = 0 \\ \frac{(q_{j-1})}{k_j}, & j > 1 \end{cases} \quad (2)$$

Adım 5: Değerlendirme kriterlerinin göreceli ağırlıkları eşitlik (3)'de yer alan formül ile belirlenir. Burada,  $w_j, j$ . kriterin görelî ağırlığını belirtir.

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

### 2.2 TOPSIS Yöntemi

TOPSIS yöntemi Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem seçilen en iyi alternatifin pozitif ideal çözüme en yakın olan ve diğer yanda ise negatif ideal çözüme en uzak olan alternatife sahip olması fikrine dayanmaktadır (Gong ve Shi, 2008; Benitez, 2007; Shukla, Agarwal, Rana ve Purohit, 2017). TOPSIS, alternatiflerin tercih sırasını sıralamak ve en uygun seçimi belirlemek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Gong ve Shi, 2008).

TOPSIS yöntemi 6 adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar bir çözüm sürecini içermektedir. Aşağıda TOPSIS yönteminin adımları ele alınmaktadır (Geyik ve diğ., 2016).

Adım 1: Karar matrisi (A) oluşturulması

Karar matrisinin satır elemanlarında değerlendirilmek ve seçim yapmak istenen alternatifler, sütunlarında ise karar vermek için kullanılacak olan değerlendirme kriterleri yer almaktadır. Karar matrisi, karar verici tarafından oluşturulan başlangıç matrisini oluşturmaktadır. Eşitlik 4'de görülen matris de  $m$  alternatif ve  $n$  kriterli bir başlangıç karar matrisi örneği göstermektedir.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Adım 2: Standart karar matrisinin oluşturulması

Bu işlem standart karar matrisinin yanında normalize karar matrisi adımı olarak da bilinmektedir. Bu adımda farklı ölçekler içindeki değerlendirilen alternatiflerin aynı ölçeğe getirilerek

karşılaştırılabilirlik için normalizasyon ya da standardizasyon işlemi yapılmaktadır. Normalleştirme işlemi Eşitlik 5'de görüldüğü gibidir.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (5)$$

#### Adım 3: Ağırlıklı Karar Matrisinin Oluşturulması

Bu adımda ağırlıkların toplamı 1 olacak şekilde değerlendirme faktörlerinin ağırlıkları belirlenir. Belirlenen bu ağırlıklar  $w_j$  ile ifade edilmektedir. Ağırlıklar belirlendikten sonra normalize karar matrisinin her bir elemanı ( $r_{ij}$ ) ilgili kriterin ağırlığı ( $w_j$ ) ile çarpılır ve  $V_{ij}$  matrisi oluşturulur.  $V_{ij}$  matrisi Eşitlik 6'daki gibidir.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

#### Adım 4: Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlerin Oluşturulması

TOPSIS yönteminde ideal çözüme ulaşmak için Adım 3'de oluşturulan ağırlıklandırılmış karar matrisin her sütunundaki en büyük ve en küçük değerleri seçilir. En küçük değerler Eşitlik 7'de görüldüğü gibi  $A^-$  olarak, en büyük değerler ise Eşitlik 8'de görüldüğü gibi  $A^+$  olarak kümelenebilir.  $A^-$ , noktaları negatif ideal uzaklığı,  $A^+$  noktaları pozitif ideal uzaklığı göstermektedir.

$$A^- = \{(\min_i v_{ij} | j \in J), (\max_i v_{ij} | j \in J')\} \quad (7)$$

$$A^+ = \{(\max_i v_{ij} | j \in J), (\min_i v_{ij} | j \in J')\} \quad (8)$$

#### Adım 5: Uzaklık ölçülerinin hesaplanması

İdeal noktaların tanımlanmasının ardından maksimum ideal noktalara olan uzaklık değerleri

(Eşitlik 9) ve minimum ideal noktalara olan uzaklık değerleri (Eşitlik 10) aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (9)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (10)$$

#### Adım 6: İdeal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması

Her alternatif için ideal noktaya göre yakınlık değerleri hesaplanırken pozitif ve negatif ideal noktaya göreli yakınlık değerleri kullanılmaktadır. İdeal çözüme göreli yakınlık Eşitlik 11 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (11)$$

$C_i^*=1$  ilgili karar noktasının ideal çözüme,  $C_i^*=0$  ilgili karar noktasının negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını göstermektedir ve Eşitlik 12'deki değerleri alır.

$$0 \leq C_i^* \leq 1 \quad (12)$$

Son olarak ise elde edilen değerler, büyüklük sırasına göre dizilerek karar noktalarının (alternatiflerin) önem sıraları belirlenmektedir.

### 3. Bulgular

#### 3.1 Alternatif Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Günümüzde kullanılan enerji kaynakları giderek azalmaktadır. Fosil yakıtların çevreye verdiği zarar ve tekrardan kullanılmamaları, hem maliyet kayıplarına neden olmakta hem de çevreye oldukça zarar vermektedir. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim giderek artmaktadır. Tablo 1'de Türkiye'deki enerji kaynaklarına göre elektrik enerjisi üretimi ve payları gösterilmektedir. Çizelgeden de görüldüğü gibi yenilenebilir enerji kaynakları ve atıkların 2006-2016 yılları arasındaki %'lik payı giderek artmaktadır.

Tablo 1  
Türkiye'deki enerji kaynaklarına göre elektrik enerjisi üretimi ve payları (TÜİK)

Yıl	Toplam (GWh)	Kömür (%)	Sıvı yakıtlar (%)	Doğal gaz (%)	Hidrolik (%)	Yenilenebilir Enerji ve Atıklar (%)
2006	176.300	26,4	2,4	45,8	25,1	0,3
2007	191.558	27,9	3,4	49,6	18,7	0,4
2008	198.418	29,1	3,8	49,7	16,8	0,6
2009	194.813	28,6	2,5	49,3	18,5	1,2
2010	211.208	26,1	1,0	46,5	24,5	1,9
2011	229.395	28,8	0,4	45,4	22,8	2,6
2012	239.497	28,4	0,7	43,6	24,2	3,1
2013	240.154	26,6	0,7	43,8	24,7	4,2
2014	251.963	30,2	0,9	47,9	16,1	4,9
2015	261.783	29,1	0,9	37,9	25,6	6,5
2016	274.408	33,7	0,7	32,5	24,5	8,6

Yenilenebilir enerji kaynaklarının tüketilen enerji kaynakları içerisindeki payının artırılması gerekmektedir. Bunun için de doğru yerde doğru yenilenebilir enerji kaynağı kullanılarak verim artırılmalıdır. Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynakları olarak belirlenen enerji kaynakları şöyledir:

- Rüzgar enerjisi (A1)
- Güneş enerjisi (A2)
- Biyokütle enerjisi (A3)
- Hidrojen enerjisi (A4)
- Dalga enerjisi (A5)
- Hidroelektrik enerjisi (A6)
- Jeotermal enerjisi (A7)

Bu çalışmada gelgit enerjisi alınmaması sebebi Türkiye'nin okyanusa kıyısı olmamasıdır.

### 3.2 Yenilenebilir Enerji Seçiminde Kriterlerin Belirlenmesi

Türkiye'de var olan yenilenebilir enerji kaynakları (rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, biyokütle enerjisi, hidrojen enerjisi, dalga enerjisi) seçilen araştırma kriterleri ile incelenerek bölgede kurulacak olan tesisin en uygun kaynak seçiminin bulunması amaçlanmaktadır. Çalışmada belirlenen araştırma kriterleri Çizelge 2'de yer almaktadır. Bu kriterler kapsamlı literatür taraması sonucu elde edilerek en sık rastlanan 20 adet kriter bir araya getirilmiştir.

Tablo2

## Araştırmada belirlenen değerlendirme kriterleri

Sıra No	Kriterler	Açıklamalar	Yazar
1	Maliyet (Y1)	Kurulumdan işletmenin işlerliği süresince ortaya çıkan masrafları içerir.	Raza, Janajreh ve Ghenai, 2014; Yücenur, Çaylak, Gönül ve Postalcioglu, 2020; Alizadeh, Soltanisehat, Lund ve Zamanisabzi, 2020; Özcan, Ünlüsoy ve Eren, 2017
2	Elde edilebilirlik miktarı (Y2)	Bir yenilenebilir enerji kaynağından elde edilen enerjinin ne kadar yararlı ve verimli miktarda olabileceğini gösterir.	
3	Gürültü (Y3)	Bölgede elektrik santrallerinin kurulması nedeniyle gürültü kirliliği olasılığını ifade eder.	Solangi ve diğ. 2019; Zheng ve Wang 2020
4	Arazi ihtiyacı (Y4)	Santral yatırım kararının verilmesinde, toplam alan kullanımı ve birim m <sup>2</sup> 'ye enerji miktarı önemli bir kriterdir.	Beccali, Cellura ve Mistretta, 2003; Rani, Mishra, Pardasani, Mardani, Liao ve Streimikiene, 2019
5	İş imkanı (Y5)	Yenilenebilir enerji teknolojisinin yaşam döngüsü boyunca her aşamada oluşan potansiyel işleri dikkate almaktadır.	Kaya ve Kahraman, 2010; Amer ve Daim, 2011; Kabak ve Dağdeviren, 2014; Şengül, Eren, Shiraz, Gezder ve Şengül, 2015; Lee ve Chang, 2018; Solangi ve diğ. 2019; Wang, Xu ve Solangi, 2020
6	Güvenilirlik (Y6)	Bir santralin belirtilen koşullar altında temel işlevleri yerine getirme kabiliyeti olarak tanımlanır.	Beccali ve diğ. 2003; Raza ve diğ. 2014; Solangi ve diğ. 2019
7	Sera emisyonları (Y7)	Yenilenebilir kaynak kullanan santrallarda çevre ve insan sağlığını etkilemeyecek seviyede emisyonun azaltılmasını ifade eder.	Beccali ve diğ. 2003; Lee ve Chang, 2018; Sitorus ve Parada 2020
8	Arıza / Kaza Riskinin Düşüklüğü (Y8)	Enerji tesisinin arıza veya kaza riskine olasılığı incelenir.	Ligus ve Peternek 2018
9	Sosyal kabul edilebilirlik (Y9)	Santrallerin toplum tarafından kabul edilirlilik düzeyini gösterir.	Tsoutsos, Drandaki, Frantzeskaki, Iosifidis ve Kiosses, 2009; Kahraman, Kaya ve Cebi, 2009; Demirtaş, 2013; Özcan ve diğ. 2017; Lee ve Chang, 2018; Rani ve diğ., 2019
10	Teknolojik olgunluk (Y10)	Teknolojinin bölgesel, ulusal ve uluslararası düzeylerde ne kadar yaygın olduğunu gösterir.	Demirtaş, 2013; Ren ve Sovacool, 2015; Özkale, Celik, Turkmen ve Cakmaz., 2017
11	Ekolojik etki (Y11)	Çevresel kirlilik, canlı yaşamına etki eden değişiklikler vb. etkilerin bütünüdür.	Nigim ve Munier, 2004; Zheng ve Wang 2020
12	Hizmet ömrü (Y12)	Santral kurulum ve işletme maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle, yatırımın ekonomik ömrü kârlılığı belirleyen önemli bir faktördür.	Zheng ve Wang 2020
13	Verimlilik (Y13)	Santralin çıkış enerjisinin giriş enerjisine oranı ile gösterilir.	Özcan ve diğ. 2017
14	Su tüketimi (Y14)	Yaşam döngüsü sırasında kaynağına geri döndürülmeyen yüzey suyu veya yeraltı suyu gibi su rezervuarından elde edilen çekilen su miktarıdır.	Şahin, 2016; Sitorus ve Parada, 2020
15	Teslim süresi (Y15)	Bir tesisin onaylanması ve kurulması için geçen süredir.	Wang ve diğ. 2020
16	Atık üretim miktarı (Y16)	Geri Kazanımı mümkün olmayan atıkların miktarıdır.	Ligus ve Peternek 2018
17	Kaynakların sürdürülebilirliği ve öngörülebilirliği (Y17)	Bölgenin kaynak bakımından yoğunluğunu, devamlılığını ifade eder.	Özkale ve diğ. 2017
18	Dış çevre ile koordinasyon (Y18)	Yabancı firmalarca kurulacak tesisin ülkemizle olan işbirliği düzeyini ifade eder.	Zheng ve Wang 2020
19	Devlet teşvikleri (Y19)	Hükümet yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı konusunda birçok teşvik vermektedir.	Nigim ve Munier, 2004; Ren ve Sovacool, 2015; Özcan ve diğ. 2017
20	Üretim ve kurulumda modülerlik (Y20)	Tesisin gerekli büyüklüklerde kurulabilir, birleştirilerek büyüyebilir ve kolayca yer değiştirebilirler olmasını ifade eder.	Raza ve diğ. 2014

### 3.2.1. SWARA Uygulama Adımları

SWARA yöntemi dikkate alındığında, yapılması gereken ilk aşama, elde edilen 20 kriter için (Tablo 2) uzman görüşü alınması olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynakları, sürdürülebilirlik, enerji alanında bilgi ve tecrübe sahibi 5 akademisyenin görüşü bu

doğrultuda dikkate alınmıştır. Uzmanlardan (*KV1*, *KV2*, *KV3*, *KV4*, *KV5*) 20 kriterin, önem sırasına göre azalan düzende sıralama yapılması istenmiştir. Birden fazla karar verici olduğu için genel sıralama elde etmek için, yapılan bu işlemlerin, geometrik ortalaması alınarak Tablo 3'de olduğu gibi nihai bir sonuç elde edilmiştir.

Tablo 3  
Kriterlerin karar vericiler tarafından önem sırasına göre sıralanması

Sıra No	Kriterler	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5	Geometrik ortalama
1	Maliyet (Y1)	1	2	2	1	2	1,516
2	Elde edilebilirlik miktarı (Y2)	3	5	5	6	1	3,393
3	Gürültü (Y3)	20	16	20	14	16	17,033
4	Arazi ihtiyacı (Y4)	13	7	11	16	7	10,231
5	İş imkanı (Y5)	4	3	4	2	4	3,288
6	Güvenilirlik (Y6)	14	15	7	15	8	11,202
7	Sera emisyonları (Y7)	19	14	19	17	17	17,096
8	Arıza / Kaza Riskinin Düşüklüğü (Y8)	12	17	8	7	9	10,056
9	Sosyal kabul edilebilirlik (Y9)	6	4	6	5	6	5,335
10	Teknolojik olgunluk (Y10)	11	8	10	8	10	9,322
11	Ekolojik etki (Y11)	10	18	12	18	18	14,757
12	Hizmet ömrü (Y12)	7	9	13	9	11	9,589
13	Verimlilik (Y13)	2	1	1	3	3	1,783
14	Su tüketimi (Y14)	15	13	18	10	20	14,766
15	Teslim süresi (Y15)	8	10	14	13	12	11,181
16	Atık üretim miktarı (Y16)	17	19	17	19	19	18,173
17	Kaynakların sürdürülebilirliği ve öngörülebilirliği (Y17)	16	11	9	11	14	11,952
18	Dış çevre ile koordinasyon (Y18)	18	20	16	20	15	17,681
19	Devlet teşvikleri (Y19)	5	6	3	4	5	4,478
20	Üretim ve kurulumda modülerlik (Y20)	9	12	15	12	13	12,037

Bir sonraki aşamada, her bir kriterin göreceli önem düzeyi belirlenir. Yani iki kriter arası kıyaslama yapılması yine uzmanlarca istenmiştir. Bunun için örneğin her kriterlerin kendi arasında karşılaştırma yapılması istenmiş (%) ve ilk sıra için maliyet (Y1) kriterinin, verimlilik (Y13) kriteri için ne kadar önemli olduğu karar vericilere sorulmuştur. Karar verici 1 (*KV1*); *Y1*'in *Y13*'e göre %20 önemli

olduğunu belirtmiştir. Yine *KV1*, verimlilik (Y13) ve iş imkanı (Y5) kriterlerini kıyaslamış ve *Y5*'in *Y13*'den %30 daha önemli olduğunu belirtmiştir. Bu değer *s<sub>j</sub>* (ortalama değer karşılaştırılmalı önemi) olarak gösterilmiştir. Her kriter bir üstündeki kriterle kıyaslama yapılarak, önem dereceleri belirlenmiştir ve Tablo 4'de tek bir tablo halinde gösterilmiştir.



Tablo 4

Kriterlerin karar vericiler tarafından belirlenen ortalama değerin karşılaştırılmalı önemi

Kriterler	Karar Vericilerin Önem Sırası (Geometrik Ortalama)	KV1 ( $s_j$ )	KV2 ( $s_j$ )	KV3 ( $s_j$ )	KV4 ( $s_j$ )	KV5 ( $s_j$ )
Maliyet (Y1)	1,516	-	-	-	-	-
Verimlilik (Y13)	1,783	0,2	0,05	0,25	0,5	0,2
İş imkanı (Y5)	3,288	0,3	0,5	0,4	0,5	0,2
Elde edilebilirlik miktarı (Y2)	3,393	0,05	0,1	0,3	0,2	0,05
Devlet teşvikleri (Y19)	4,478	0,05	0,15	0,2	0,4	0,5
Sosyal kabul edilebilirlik (Y9)	5,335	0,01	0,1	0,2	0,2	0,2
Teknolojik olgunluk (Y10)	9,322	0,05	0,1	0,25	0,1	0,1
Hizmet ömrü (Y12)	9,589	0,1	0,1	0,1	0,1	0,01
Arıza / Kaza Riskinin Düşüklüğü (Y8)	10,056	0,01	0,2	0,15	0,05	0,01
Arazi ihtiyacı (Y4)	10,231	0,1	0,01	0,2	0,2	0,01
Teslim süresi (Y15)	11,181	0,2	0,15	0,25	0,1	0,2
Güvenilirlik (Y6)	11,202	0,5	0,2	0,1	0,15	0,05
Kaynakların sürdürülebilirliği ve öngörülebilirliği (Y17)	11,952	0,4	0,05	0,2	0,05	0,25
Üretim ve kurulumda modülerlik (Y20)	12,037	0,2	0,1	0,25	0,1	0,01
Ekolojik etki (Y11)	14,757	0,05	0,2	0,05	0,1	0,15
Su tüketimi (Y14)	14,766	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1
Gürültü (Y3)	17,033	0,1	0,05	0,5	0,15	0,01
Sera emisyonları (Y7)	17,096	0,1	0,15	0,05	0,15	0,05
Dış çevre ile koordinasyon (Y18)	17,681	0,25	0,01	0,3	0,2	0,01
Atık üretim miktarı (Y16)	18,173	0,1	0,05	0,05	0,05	0,15

Ortalama değerini karşılaştırmalı önemi tamandıktan sonra, Eş (1), Eş (2) ve Eş (3)

dikkate alınarak gerekli çözümler yapılmış ve değerlendirme kriterlerinin göreceli ağırlıkları ( $w_j$ ) belirlenmiştir (Tablo 5).

Tablo 5

Kriterlerin karar vericiler tarafından belirlenen göreceli ağırlıkları

Kriterler	KV1 ( $w_j$ )	KV2 ( $w_j$ )	KV3 ( $w_j$ )	KV4 ( $w_j$ )	KV5 ( $w_j$ )	Ağırlıkların Aritmetik Ortalaması	Aritmetik Ortalama (%)	Kümülatif Toplam
Maliyet (Y1)	0,128	0,138	0,201	0,222	0,139	0,166	16,565	<b>16,565</b>
Verimlilik (Y13)	0,107	0,131	0,161	0,148	0,116	0,133	13,258	<b>29,822</b>
İş imkânı (Y5)	0,082	0,087	0,115	0,099	0,097	0,096	9,597	<b>39,420</b>
Elde edilebilirlik miktarı (Y2)	0,078	0,080	0,088	0,082	0,092	0,084	8,410	<b>47,829</b>
Devlet teşvikleri (Y19)	0,075	0,069	0,073	0,059	0,061	0,067	6,749	<b>54,579</b>
Sosyal kabul edilebilirlik (Y9)	0,074	0,063	0,061	0,049	0,051	0,060	5,963	<b>60,542</b>
Teknolojik olgunluk (Y10)	0,070	0,057	0,049	0,045	0,047	0,054	5,351	<b>65,893</b>
Hizmet ömrü (Y12)	0,064	0,052	0,045	0,040	0,046	0,049	4,940	<b>70,833</b>
Arıza / Kaza Riskinin Düşüklüğü (Y8)	0,063	0,043	0,039	0,039	0,046	0,046	4,590	<b>75,424</b>
Arazi ihtiyacı (Y4)	0,058	0,043	0,032	0,032	0,045	0,042	4,200	<b>79,624</b>
Teslim süresi (Y15)	0,048	0,037	0,026	0,029	0,038	0,036	3,558	83,182
Güvenilirlik (Y6)	0,032	0,031	0,023	0,025	0,036	0,030	2,955	86,137
Kaynakların sürdürülebilirliği ve öngörülebilirliği (Y17)	0,023	0,030	0,020	0,024	0,029	0,025	2,497	88,634
Üretim ve kurulumda modülerlik (Y20)	0,019	0,027	0,016	0,022	0,028	0,022	2,239	90,873
Ekolojik etki (Y11)	0,018	0,022	0,015	0,020	0,025	0,020	2,002	92,876
Su tüketimi (Y14)	0,015	0,020	0,011	0,017	0,022	0,017	1,721	94,597
Gürültü (Y3)	0,014	0,019	0,008	0,014	0,022	0,015	1,550	96,146
Sera emisyonları (Y7)	0,012	0,017	0,007	0,013	0,021	0,014	1,408	97,554
Dış çevre ile koordinasyon (Y18)	0,010	0,017	0,006	0,010	0,021	0,013	1,275	98,829
Atık üretim miktarı (Y16)	0,009	0,016	0,005	0,010	0,018	0,012	1,171	100,000

Tablo 5’de yer alan nihai göreceli önem tablosu şu şekilde değerlendirilmiştir; başlangıçta yer alan 20 kriter azalan önem sırasına göre sıralanarak Pareto Analizine başvurulmuştur. Bu analiz yardımıyla iyileştirmelerin öncelikle hangi alanlara uygulanacağı belirlenir ve çalışma yürütülür (Özgüvenç, 2011). Literatürde “80-20 Kuralı” olarak da adlandırılan bu kalite aracına göre, “problemlerin %80’lik kısmına %20’lik aktivitenin neden olması ve bu önemli %20’lik payın üzerinde yoğunlaşılması” sonucuna varılmaktadır. Bu sebeple, kümülatif toplamda yer alan değerler doğrultusunda 80-20 kuralına göre aşağıda yer alan kriterler, daha doğru sonuç vermesi adına TOPSIS yönteminde ağırlıklarıyla ile birlikte kullanılmasına karar verilmiştir;

1. Maliyet (Y1)
2. Verimlilik (Y13)
3. İş imkânı (Y5)

4. Elde edilebilirlik miktarı (Y2)
5. Devlet teşvikleri (Y19)
6. Sosyal kabul edilebilirlik (Y9)
7. Teknolojik olgunluk (Y10)
8. Hizmet ömrü (Y12)
9. Arıza / Kaza Riskinin Düşüklüğü (Y8)
10. Arazi ihtiyacı (Y4)

### 3.2.2 TOPSIS Uygulama Adımları

Kurulacak olan tesisin hangi yenilenebilir enerji kaynağının seçilmesi gerektiğine dair TOPSIS uygulama adımları aşağıda gösterilmektedir.

Adım 1: Alternatifler ve değerlendirme kriterlerinden oluşan başlangıç karar matrisi Çizelge 6’da verilmiştir.

Tablo 6  
Alternatifler ve değerlendirme kriterlerinden oluşan karar matrisi

Alternatifler	Değerlendirme Kriterleri									
	Yenilenebilir Enerji Kaynakları	Y1 (\$/kW)	Y19 (\$/kW)	Y2 (%)	Y13 (%)	Y5 (kişi /MW)	Y9	Y10	Y12 (yıl)	Y8
A1	2213	11	0,2	26	0,40	0,1340	3	25	17	10
A2	3873	22,5	0,5	21	0,53	0,1137	2	25	16,6	11
A3	4114	18,9	0,8	40	1	0,1270	5	20	10	25
A4	5000	15	0,4	30	0,45	0,15	5	20	8	20
A5	2500	10	0,3	15	0,30	0,05	3	30	15	20
A6	2936	9,6	0,5	90	0,33	0,0479	5	30	11	10
A7	4362	13,2	0,3	16	2,13	0,1312	4	25	9	38

Tablo 6’da Türkiye verileri üzerinden değerlendirilen rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, hidroelektrik enerji, jeotermal enerji ve biyokütle enerjilerinin değerlendirme kriterlerinden bir kısmı Özcan ve arkadaşlarının (2017) çalışmalarından alınmıştır. Hidrojen enerjisi, dalga enerjisi ve bazı değerlendirme kriterleri uzman görüşü alınarak karar matrisi oluşturulmuştur.

Adım 2: Başlangıç karar matrisini standartlaştırılması adımdır. Bu adımda Eşitlik (5)’den yararlanılmaktadır. Tablo 7’de standartlaştırılmış karar matrisi görülmektedir.

Tablo 7  
Standartlaştırılmış karar matrisi

Alternatifler	Değerlendirme Kriterleri									
	Yenilenebilir Enerji Kaynakları	Y1 (\$/kW)	Y19 (\$/kW)	Y2 (%)	Y13 (%)	Y5 (kişi /MW)	Y9	Y10	Y12 (yıl)	Y8
A1	0,226	0,277	0,162	0,235	0,158	0,443	0,282	0,374	0,500	0,177
A2	0,396	0,567	0,406	0,190	0,210	0,376	0,188	0,374	0,488	0,195
A3	0,420	0,476	0,649	0,362	0,396	0,420	0,470	0,299	0,294	0,443
A4	0,511	0,378	0,324	0,272	0,178	0,496	0,470	0,299	0,235	0,354
A5	0,256	0,252	0,243	0,136	0,119	0,165	0,282	0,448	0,441	0,354
A6	0,300	0,242	0,406	0,815	0,131	0,158	0,470	0,448	0,324	0,177
A7	0,446	0,333	0,243	0,145	0,843	0,434	0,376	0,374	0,265	0,673

Adım 3: Bu adımda değerlendirme kriterleri için puanlar SWARA metodundan elde edilmektedir. SWARA metodundan elde edilen ağırlıklar toplam 1

edecek şekilde güncellenmektedir. Belirlenen ağırlıklar Tablo 8'de gösterilmektedir.

Tablo 8  
Değerlendirme kriterlerinin ağırlıkları

Kriterler	Ağırlıklar	Güncellenen Ağırlıklar ( $w_j$ )
Maliyet (Y1)	0,166	0,208281
Verimlilik (Y13)	0,133	0,166876
İş imkânı (Y5)	0,096	0,120452
Elde edilebilirlik miktarı (Y2)	0,084	0,105395
Devlet teşvikleri (Y19)	0,067	0,084065
Sosyal kabul edilebilirlik (Y9)	0,060	0,075282
Teknolojik olgunluk (Y10)	0,054	0,067754
Hizmet ömrü (Y12)	0,049	0,061481
Arıza / Kaza Riskinin Düşüklüğü (Y8)	0,046	0,057716
Arazi ihtiyacı (Y4)	0,042	0,052698

Tablo 9'da belirlenen ağırlıklar ile standartlaştırılmış karar matrisi çarpılarak ağırlıklı standart karar matris elde edilmektedir.

Tablo 9  
Ağırlıklı standart karar matrisi

Alternatifler	Değerlendirme Kriterleri										
	Yenilenebilir Enerji Kaynakları	Y1 (\$/kW)	Y19 (\$/kW)	Y2 (%)	Y13 (%)	Y5 (kişi /MW)	Y9	Y10	Y12 (yıl)	Y8	Y4 (km <sup>2</sup> /MW)
A1		0,047	0,023	0,017	0,039	0,019	0,033	0,019	0,023	0,029	0,009
A2		0,082	0,048	0,043	0,032	0,025	0,028	0,013	0,023	0,028	0,010
A3		0,087	0,040	0,068	0,060	0,048	0,032	0,032	0,018	0,017	0,023
A4		0,106	0,032	0,034	0,045	0,021	0,037	0,032	0,018	0,014	0,019
A5		0,053	0,021	0,026	0,023	0,014	0,012	0,019	0,028	0,025	0,019
A6		0,062	0,020	0,043	0,136	0,016	0,012	0,032	0,028	0,019	0,009
A7		0,093	0,028	0,026	0,024	0,102	0,033	0,025	0,023	0,015	0,035

Adım 4: Bu adımda eşitlik (6) ve (7) denklemleri yardımıyla pozitif ve negatif ideal çözüm kümeleri oluşturulmaktadır. Çözüm kümeleri, her sütun için en küçük değer (negatif ideal uzaklık)  $A^-$  ve her

sütun için en büyük değer (pozitif ideal uzaklık) için  $A^+$  olarak oluşturulur.

$$A^- = (\min_i v_{i1}; \min_i v_{i2}; \min_i v_{i3}; \min_i v_{i4}; \min_i v_{i5}; \min_i v_{i6}; \min_i v_{i7}; \min_i v_{i8}; \min_i v_{i9}; \min_i v_{i10})$$

$$A^- = (0,047; 0,020; 0,017; 0,023; 0,014; 0,012; 0,013; 0,018; 0,014; 0,009)$$

$$A^+ = (\max_i v_{i1}; \max_i v_{i2}; \max_i v_{i3}; \max_i v_{i4}; \max_i v_{i5}; \max_i v_{i6}; \max_i v_{i7}; \max_i v_{i8}; \max_i v_{i9}; \max_i v_{i10})$$

$$A^+ = (0,106; 0,048; 0,068; 0,136; 0,102; 0,037; 0,032; 0,028; 0,029; 0,035)$$

Adım 5: Elde edilen alternatiflerin incelenen kriterler için sapma değerleri Pozitif İdeal Uzaklık ( $S_i^+$ ) ve Negatif İdeal Uzaklık ( $S_i^-$ ) ölçüsü olarak adlandırılmaktadır. Pozitif ideal çözüm kümesinden sapma değerleri hesaplanırken eşitlik (8) numaralı formül, negatif ideal çözüm kümesinden sapma

değerleri hesaplanırken eşitlik (9) numaralı formülden yararlanılır (Ertuğrul ve Özçil, 2014). Tablo 10'da pozitif ve negatif ideal uzaklıkları gösterilmektedir.

Tablo 10  
Pozitif ideal uzaklıkları ve toplamları

Yenilenebilir Enerji Kaynakları	$S_i^+$	$S_i^-$
A1	0,155	0,032
A2	0,138	0,058
A3	0,098	0,090
A4	0,130	0,074
A5	0,164	0,022
A6	0,110	0,119
A7	0,123	0,106

Adım 6: Bu adımda ideal çözüme göreli yakınlık ( $C_i^*$ ) hesaplama işlemi yapılmaktadır. İdeal noktaya göre yakınlık değerleri hesaplanırken pozitif ideal ( $S_i^+$ ) ve negatif ideal ( $S_i^-$ ) uzaklığa göreli yakınlık değerleri kullanılmaktadır. Çizelge 11'de, Çizelge 10'da

bulunan pozitif ideal uzaklık ( $S_i^+$ ) ve negatif ideal uzaklık ( $S_i^-$ ) değerleri ve eşitlik (10)'da yer alan denklemden eşitlik kullanılarak ( $C_i^*$ ) değeri bulunmaktadır.

Tablo 11  
İdeal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması

Yenilenebilir Enerji Kaynakları	$C_i^*$	Sıralama
A1	0,171	6
A2	0,296	5
A3	0,479	2
A4	0,363	4
A5	0,118	7
A6	0,520	1
A7	0,463	3

Tablo 11'de de görüldüğü gibi ( $C_i^*$ ) değerleri yenilenebilir enerji kaynaklarının sıralaması olarak ortaya çıkmaktadır. Bölgede hidroelektrik enerji santralinin kurulması alternatifini değerlendirilmesi gereken ilk alternatif olarak görülmektedir. Bu enerji kaynağını sırasıyla biyokütle enerjisi, jeotermal enerji, hidrojen enerjisi, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve dalga enerjisi takip etmektedir.

#### 4. AHP Yöntemi ile Karşılaştırmalı Analiz

SWARA yöntemi kullanılarak belirlenen her bir kritere yönelik önem dereceleri (ağırlıkları) bu başlık altında tekrar aynı karar vericilerden alınan görüşler Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi ile değerlendirilmiş ve TOPSIS ile sıralama yeniden yapılarak çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

AHP' de ölçme yapabilmek ve ikili karşılaştırma matrislerini oluşturulabilmek için, Saaty tarafından geliştirilen göreli önem ölçeği kullanılmaktadır (Saaty, 1994). Karşılaştırma ölçeğinde alt sınır 1, üst sınır 9 ile sınırlandırılmıştır. 2, 4, 6, 8 ara değerlerdir.

İkili karşılaştırmalar, AHP'nin en önemli aşamasıdır. İkili karşılaştırmaları elde etmek için göreceli ölçüm değerleri kullanılır. Bunlardan elde edilen bilgilere göre AHP'de yargılar bir matrise dönüştürülür.

Kriterler arası karşılaştırma matrisi, 10x10 boyutlu bir kare matristir ve bu matrisin köşegeni üzerindeki matris bileşenleri 1 değerini alır. Çünkü burada söz konusu boyut kendisi ile karşılaştırılmaktadır. Boyutların karşılaştırılması, birbirlerine göre sahip oldukları önem değerlerine göre birebir ve karşılıklı yapılır. Bu karşılaştırma ve değer atama işlemlerinde SWARA yöntemi için de danışılan 5 karar vericiden görüş alınmıştır. 5 farklı kişiden gelen sonuçların her bir karşılaştırma matrisi değerinin geometrik ortalaması alınarak, nihai karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur (Tablo 12).

İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasından sonra her boyutun önem derecelerinin hesaplanmasına geçilmektedir. Sentez aşaması olarak bilinen bu aşama, en büyük öz değer ve bu öz değere karşılık gelen öz vektörün hesaplanmasını ve

normalize edilmesini kapsamaktadır (Kuruüzüm ve Atsan, 2001). Hesaplanan özvektör değerleri her bir boyutun önem derecesini yani ağırlıklarını belirtmektedir. AHP yönteminin önem derecesi belirleme matrisinden faydalanılarak ağırlıklar hesaplanmıştır (Tablo 13).

AHP yönteminde diğer bir önemli konu karar vericilerin yargılarındaki tutarlılıktır. Karar vericinin kriterler arasında kıyaslama yaparken tutarlı davranıp davranmadığını ölçmek için CR şeklinde kısaltılan Tutarlılık Oranından yararlanılmaktadır. Tutarlılık Oranı (CR) ile bulunan öncelik vektörünün ve dolayısıyla faktörler arasında yapılan birebir karşılaştırmaların tutarlılığın test edilebilmesi imkânını sağlamaktadır. Bu analiz sonucunda Tutarlılık Oranı 0,09 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan CR değerinin 0,10'dan küçük olması karar vericilerin yaptığı karşılaştırmaların tutarlı olduğunu göstermektedir.

Tablo 12  
Uzman kişiler tarafından oluşturulan karşılaştırma matrisi

	(Y1)	(Y13)	(Y5)	(Y2)	(Y19)	(Y9)	(Y10)	(Y12)	(Y8)	(Y4)
(Y1)	1,00	2,19	2,56	2,64	2,94	3,36	2,25	3,02	3,76	3,26
(Y13)	0,46	1,00	3,47	1,35	2,15	3,13	2,83	3,99	4,34	1,99
(Y5)	0,39	0,29	1,00	1,06	2,99	3,01	1,40	2,07	3,25	1,30
(Y2)	0,38	0,74	0,94	1,00	2,13	3,32	3,63	1,28	1,90	0,89
(Y19)	0,34	0,47	0,33	0,47	1,00	1,49	2,93	1,48	1,40	1,38
(Y9)	0,30	0,32	0,33	0,30	0,67	1,00	0,65	1,43	1,25	2,37
(Y10)	0,44	0,35	0,71	0,28	0,34	1,53	1,00	2,78	0,88	1,24
(Y12)	0,33	0,25	0,48	0,78	0,67	0,70	0,36	1,00	0,41	2,38
(Y8)	0,27	0,23	0,31	0,53	0,71	0,80	1,14	2,45	1,00	1,74
(Y4)	0,31	0,50	0,77	1,12	0,72	0,42	0,81	0,42	0,57	1,00

Tablo 13  
Kriterlerin özvektörleri (önem dereceleri)

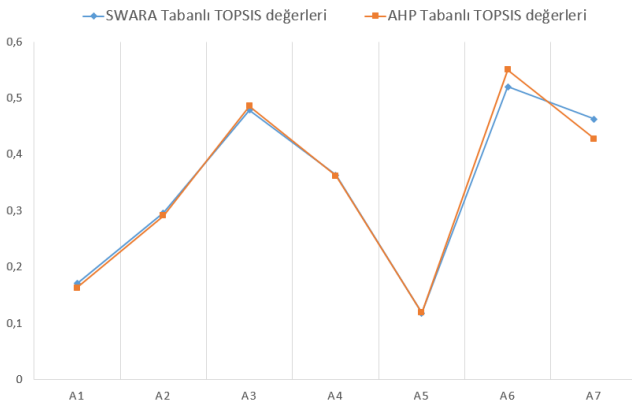
KRİTERLER	ÖZVEKTÖR
Maliyet (Y1)	0,21
Verimlilik (Y13)	0,18
Elde edilebilirlik miktarı (Y2)	0,12
İş imkânı (Y5)	0,11
Devlet teşvikleri (Y19)	0,08
Teknolojik olgunluk (Y10)	0,07
Sosyal kabul edilebilirlik (Y9)	0,06
Hizmet ömrü (Y12)	0,06
Arıza / Kaza Riskinin Düşüklüğü (Y8)	0,06
Arazi ihtiyacı (Y4)	0,06

Ağırlıkların AHP yöntemi ile belirlenmesinin ardından Tablo 8'de yer alan ağırlıklar güncellenerek yeni ağırlıklar Tablo 13'te yer alan şekli ile yeniden TOPSIS yönteminde çözüme girerek ve çıkan sıralama karşılaştırılmaktadır. Tablo 14'te SWARA

tabanlı TOPSIS yöntemiyle AHP tabanlı TOPSIS yöntemi kıyaslanmaktadır. Sıralama değişmemekle birlikte oransal olarak bazı değişiklikler gerçekleşmektedir. Bu değişim Şekil 1'de gösterilmektedir.

Tablo 14  
İdeal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması sonuçları ve karşılaştırılması

Yenilenebilir Enerji Kaynakları	SWARA Tabanlı TOPSISC <sub>i</sub>	Sıralama	AHP Tabanlı TOPSISC <sub>i</sub> *	Sıralama
A1	0,171	6	0,163	6
A2	0,296	5	0,291	5
A3	0,479	2	0,486	2
A4	0,363	4	0,362	4
A5	0,118	7	0,119	7
A6	0,520	1	0,550	1
A7	0,463	3	0,428	3



Şekil 1 SWARA tabanlı TOPSIS ile AHP tabanlı TOPSIS alternatiflerinin kıyaslanması



## 5. Sonuç ve Tartışmalar

Günümüzde nüfusun artması ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte enerji kaynaklarının kullanımı giderek artmaktadır. Enerji kaynaklarının kullanımının artması ile kaynaklar giderek azalmakta ve yeni enerji kaynaklarına olan ihtiyaç ve arayış artmaktadır. Bu ihtiyaçlar ve arayışlar sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım alanı her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmada Türkiye’de genel olarak hangi yenilenebilir enerji kaynağının işlenmesi gerektiği problemi çok boyutlu şekilde incelenmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları olarak; rüzgâr enerjisi, biyokütle enerjisi, güneş enerjisi, hidrojen enerjisi, dalga enerjisi, hidroelektrik enerji ve jeotermal enerji dikkate alınmaktadır. Çalışmada Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden SWARA ve TOPSIS yöntemi bütünleşik olarak uygulanmıştır. SWARA ile entegre TOPSIS yönteminin kullanım nedenlerinin başında karar vericilere kriter öncelikleri belirleme konusunda daha fazla fırsat vermesi gelmektedir. İki farklı yöntem ile ağırlıklandırılmaların uygun bir şekilde yapılması ve sıralamanın uygun şekilde elde edilmesi amaçlanmaktadır. Ele alınan kaynakların karşılaştırılması için literatürden birçok farklı değerlendirme kriteri derlenerek uzman görüşleri alınmış ve SWARA metoduyla en önemli kriterler elde edilmiştir. Bu değerlendirme kriterleri; maliyet, verimlilik, iş imkânı, elde edilebilirlik miktarı, devlet teşvikleri, sosyal kabul edilebilirlik, teknolojik olgunluk, hizmet ömrü, arıza/kaza riskinin düşüklüğü ve arazi ihtiyacı olarak belirlenmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının seçimi için önemli olan kriterler, yenilenebilir enerji kaynakları alternatifleri (rüzgâr enerjisi, biyokütle enerjisi, güneş enerjisi, hidrojen enerjisi, dalga enerjisi, hidroelektrik enerji ve jeotermal enerji) için TOPSIS metoduyla değerlendirilmiştir. Geliştirilen bütünleşik metodun sonuçlarında, Türkiye’de hidroelektrik enerji santralının kurulması gerektiği ilk sırada görülmektedir. Bu enerji kaynağını sırasıyla biyokütle enerjisi, jeotermal enerji, hidrojen enerjisi, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve dalga enerjisi takip etmektedir. Çalışmanın sonucunda çıkan hidroelektrik enerji santrali Türkiye için uygun bir santral olacağı ortaya çıkmaktadır. Gerçekleştirilen karşılaştırmalı analiz ile SWARA tabanlı TOPSIS yöntemi ile AHP tabanlı TOPSIS yöntemi kıyaslanarak sonuçlar karşılaştırılmaktadır ve elde edilen sonuçların tutarlı olduğu görülmektedir. Literatürde Alkan ve Albayrak,

(2020) yapmış olduğu çalışmada da aynı enerji santrali farklı yöntemler ve kriterler kullanılarak desteklenmektedir. Fuzzy COPRAS ve Fuzzy MULTIMOORA yöntemleri ile bölgeler için yenilenebilir enerji kaynakları alternatif sıralamaları elde edilmiş, Fuzzy COPRAS sonuçlarına göre, hidroelektrik enerji kaynağı on yedi bölge için uygun yenilenebilir enerji kaynağı alternatifi olarak tanımlanmıştır. Fuzzy MULTIMOORA sonuçlarına göre hidroelektrik enerji kaynağı on sekiz bölge için birinci sırada uygun yenilenebilir enerji kaynağı alternatifi olarak belirlenmiştir. Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle birçok yenilenebilir enerji için yatırım yapılabilecek imkânlarla sahip olduğu bir gerçektir. Enerji Bakanlığı’nın verilerine göre ülkemiz 36.000 MW hidroelektrik potansiyeli dünya teorik potansiyelinin %1’i, ekonomik potansiyeli ise Avrupa ekonomik potansiyelinin %16’sı olarak da alt yapısının ne kadar önemli olduğu anlaşılmaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2019-2023) Stratejik Planına göre de, 2023 hedefleri kapsamında ülkenin hidroelektrik potansiyelinin tümünün (36 GW civarı) elektrik üretimi için devreye sokulması amaçlanmıştır. Bu çalışmada, Türkiye’de potansiyeli olan yenilenebilir enerji kaynaklarının geniş çaplı bir değerlendirmesi yapılmaktadır. Literatürde yenilenebilir enerji kaynakları alternatiflerinin son yıllarda popüler bir çalışma olması literatüre kazanım sağlamıştır. Ayrıca, çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi için literatürdeki kriterlerin derlenmesi ve alanında uzman kişilerin görüşlerinin sağlanması nedeniyle literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Gelecek çalışmalarda daha farklı yöntemler kullanılarak kaynakların değerlendirilmesi ve kıyaslanması tekrardan gerçekleştirilebilir.

## Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada Onur DERSE ve Emel YONTAR makale fikrinin hazırlanması, gözden geçirilmesi ve analiz sonuçlarının hazırlanması konularında, Onur DERSE TOPSIS yöntemi, Emel YONTAR SWARA yöntemi ile çözümlemeyi çalışarak katkı sağlamışlardır.

**Çıkar Çatışması**

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

**Kaynaklar**

- Aghdaie, M.H., Hashemkhani Zolfani, S., Zavadskas, E.K., 2013. Decision making in machine tool selection: an integrated approach with SWARA and COPRAS-G methods. *Eng. Econ.* 24, 5–17. doi: <https://doi.org/10.5755/j01.ee.24.1.2822>
- Akyüz, Y., Soba, M. (2013). ELECTRE Yöntemiyle Tekstil Sektöründe Optimal Kuruluş Yeri Seçimi: Uşak İli Örneği. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 9(19), 185-198. doi: <https://doi.org/10.11122/ijmeh.2013.9.19.452>
- Alimardani, M., Hashemkhani Zolfani, S., Aghdaie, M. H., & Tamošaitienė, J. (2013). A novel hybrid SWARA and VIKOR methodology for supplier selection in an agile environment. *Technological And Economic Development Of Economy*, 19(3), 533-548. doi: <https://doi.org/10.3846/20294913.2013.814606>
- Alizadeh, R., Soltanisehat, L., Lund, P. D., & Zamanisabzi, H. (2020). Improving renewable energy policy planning and decision-making through a hybrid MCDM method. *Energy Policy*, 137, 111174. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111174>
- Alkan, Ö., & Albayrak, Ö. K. (2020). Ranking of renewable energy sources for regions in Turkey by fuzzy entropy based fuzzy COPRAS and fuzzy MULTIMOORA. *Renewable Energy*, 162, 712-726. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.062>
- Amer, M., & Daim, T. U. (2011). Selection of renewable energy technologies for a developing county: a case of Pakistan. *Energy For Sustainable Development*, 15(4), 420-435. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2011.09.001>
- Aryanpur, V., Atabaki, M. S., Marzband, M., Siano, P., Ghayoumi, K. (2019). An overview of energy planning in Iran and transition pathways towards sustainable electricity supply sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 112, 58-74. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.047>
- Aslan, H. M., Yıldız, M. S., Uysal, H. T. (2015). Afet İstasyonlarının Kuruluş Yeri Seçiminde Bulanık TOPSIS Yönteminin Uygulanması: Düzce'de Bir Lokasyon Analizi. *Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 3(2).
- Beccali, M., Cellura, M., & Mistretta, M. (2003). Decision-making in energy planning. Application of the Electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology. *Renewable Energy*, 28(13), 2063-2087. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(03\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(03)00102-2)
- Benitez, J.M., Martin, J.C., Roman, C. (2007). Using Fuzzy Number for Measuring Quality of Service in The Hotel Industry, *Tourism Management*, 28(2), 544-555. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2006.04.018>
- Bianchini, A. (2018). 3PL Provider Selection by AHP and TOPSIS Methodology. *Benchmarking: An International Journal*, 25(1), 235-252 doi: <https://doi.org/10.1108/BIJ-08-2016-0125>
- Bottani, E., Rizzi, A. (2006), A fuzzy TOPSIS Methodology to Support Outsourcing of Logistics Services, *Supply Chain Management: An International Journal*, 11(4), 294-308. Doi: <https://doi.org/10.1108/13598540610671743>
- Bülbül, S., Köse A. (2011). Türk Gıda Şirketlerinin Finansal Performansının Çok Amaçlı Karar Verme Yöntemleriyle Değerlendirilmesi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 25. Doi: <https://doi.org/10.16951/IIBD.54042>
- Dehnavi, A., Aghdam, I. N., Pradhan, B., & Varzandeh, M. H. M. (2015). A new hybrid model using step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA) technique and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) for regional landslide hazard assessment in Iran. *Catena*, 135, 122-148 <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.07.020>
- Demireli, E. (2010). TOPSIS Çok Kriterli Karar Verme Sistemi: Türkiye'deki Kamu Bankaları Üzerine Bir Uygulama. *Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi*, 5(1), 102-112.
- Demirtas, O. (2013). Evaluating the best renewable energy technology for sustainable energy planning. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 3, 23.
- Eleren, A., Karagül, M. (2008). 1986-2006 Türkiye Ekonomisinin Performans Değerlendirmesi, *Celal Bayar Üniversitesi İİBF Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 15(1), 1-14.

- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2019-2023 Stratejik Planı, Erişim adresi : [https://sp.enerji.gov.tr/ETKB\\_2019\\_2023\\_Stratejik\\_Planı.pdf](https://sp.enerji.gov.tr/ETKB_2019_2023_Stratejik_Planı.pdf).
- Ertuğrul, İ., Özçil, A. (2014). Çok Kriterli Karar Vermede TOPSIS ve VIKOR Yöntemleriyle Klima Seçimi. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 4(1), 267- 282.
- Feng, C.M., Wang, R.T. (2001). Considering The Financial Ratios on The Performance Evaluation of Highway Bus Industry, *Transport Reviews*, 21(4), 449-467. Doi: <https://doi.org/10.1080/01441640010020304>
- Geyik, O., Tosun, M., Ünlüsoy, S., Hamurcu, M., Eren, T. (2016). Kitap Basımevi Seçiminde AHP ve TOPSIS Yöntemlerinin Kullanımı. *Uluslararası Sosyal ve Eğitim Bilimleri Dergisi*, 3(6), 106-126.
- Ghenai, C., Albawab, M., & Bettayeb, M. (2020). Sustainability indicators for renewable energy systems using multi-criteria decision-making model and extended SWARA/ARAS hybrid method. *Renewable Energy*, 146, 580-597. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.157>
- Gong, Z. T., Shi, Z. H. (2008). The TOPSIS Method Based on Covering Rough Sets. In Machine Learning and Cybernetics, 2008 International Conference on 4, 2430-2433. Doi: <https://doi.org/10.1109/ICMLC.2008.4620814>
- Hashemkhani Zolfani, S., Aghdaie, M.H., Derakhti, A., Zavadskas, E.K., Morshed Varzandeh, M.H., 2013a. Decisionmaking on business issues with foresight perspective; an application of new hybrid MCDM model in shopping mall locating. *Expert Syst. Appl.* 40, 7111-7121. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.06.040>
- Hepbaşlı, A., Özgener, O. (2004). A review on The Development of Wind Energy in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8, 257-276.
- Hsu T.K., Tsai, Y.F., and Wu, H.H. (2009), The Preference Analysis for Tourist Choice of Destination, A case study of Taiwan, *Tourism Management*, 30(2), 288-297. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2008.07.011>
- Huang, W., Huang, Y.Y. (2012), Research on The Performance Evaluation Chongqing Electric Power Supply Bureaus Based on TOPSIS, *Energy Procedia*, 14, 899-905.
- Hwang, C. L., Yoon, P., (1981), Multiple Attribute Decision Making In: Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems , Springer-Verlag-Berlin.
- İlkiliç, C. (2012). Wind Energy and Assessment of Wind Energy Potential in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 1165- 1173.
- Kabak, M., & Dağdeviren, M. (2014). Prioritization of renewable energy sources for Turkey by using a hybrid MCDM methodology. *Energy Conversion and Management*, 79, 25-33. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.11.036>
- Kahraman, C., Kaya, İ., & Cebi, S. (2009). A comparative analysis for multiattribute selection among renewable energy alternatives using fuzzy axiomatic design and fuzzy analytic hierarchy process. *Energy*, 34(10), 1603-1616.
- Karabašević, D., Stanujkić, D., & Urošević, S. (2015). The MCDM Model for Personnel Selection Based on SWARA and ARAS Methods. *Management* (1820-0222), 20(77). Doi: <https://doi.org/10.7595/management.fon.2015.0029>
- Karabasevic, D., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Stanujkic, D. (2016). The framework for the selection of personnel based on the SWARA and ARAS methods under uncertainties. *Informatica*, 27(1), 49-65.
- Kaya, T., & Kahraman, C. (2010). Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul. *Energy*, 35(6), 2517-2527.
- Keršulienė, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). 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. Doi: <https://doi.org/10.3846/jbem.2010.12>
- Kuruüzüm, A., Atsan N., Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları, *Akdeniz İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1, 2001.
- Łaska, G. (2017). Wind Energy and multi-criteria analysis in making decisions on the location of wind farms. *Procedia Engineering*, 182, 418-424. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.126>
- Lee, H. C., & Chang, C. T. (2018). Comparative analysis of MCDM methods for ranking renewable energy sources in Taiwan. *Renewable and Sustainable*

- Energy Reviews*, 92, 883-896. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.007>
- Ligus, M., & Peternek, P. (2018). Determination of most suitable low-emission energy technologies development in Poland using integrated fuzzy AHP-TOPSIS method. *Energy Procedia*, 153, 101-106. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.10.046>
- Madlener, R., Antunes, C. H., Dias, L. C. (2009). Assessing the performance of biogas plants with multi-criteria and data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 197(3), 1084-1094. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.12.051>
- Martinez, A., Mustapha, Z. B., Campbell, R., and Bouragba, T. (2016, December). A multi-criteria methodology to select the best wave energy sites. In 2016 World Congress on Sustainable Technologies (WCST) (pp. 115-116). IEEE.
- Mavi, R. K., Goh, M., & ZARBAKHSHNIA, N. (2017). Sustainable third-party reverse logistic provider selection with fuzzy SWARA and fuzzy MOORA in plastic industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 91(5-8), 2401-2418. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9880-x>
- Mukherjee, A., Nath, P. (2005), An Empirical Assessment of Comparative Approaches to Service Quality Measurement, *Journal of Services Marketing*, 19(3), 174-184.
- Nigim, K., Munier, N., & Green, J. (2004). Pre-feasibility MCDM tools to aid communities in prioritizing local viable renewable energy sources. *Renewable energy*, 29(11), 1775-1791.
- Ömürbek, N., Üstündag, S., Helvacioğlu, Ö. C. (2013). Kuruluş Yeri Seçiminde Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Kullanımı: Isparta Bölgesi'nde Bir Uygulama. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Yönetim Bilimleri Dergisi*, 11(21), 101.
- Özcan, E. C., Ünlüsoy, S., Tamer, E. (2017). ANP ve TOPSIS Yöntemleriyle Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Yatırım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(2), 204-219.
- Özdemir, A. İ., Seçme, N. Y. (2009). İki Aşamalı Stratejik Tedarikçi Seçiminin Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Analizi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, 11(2), 79-112.
- Özgüvenç D., Kalite Problemlerinin Sınıflandırılmasında Çok Kriterli Pareto Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İşletme Mühendisliği, 2011.
- Özkale, C., Celik, C., Turkmen, A. C., & Cakmaz, E. S. (2017). Decision analysis application intended for selection of a power plant running on renewable energy sources. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 70, 1011-1021.
- Pal, M.N., Choudhury, K. (2009). Exploring the Dimensionality of Service Quality: An Application of TOPSIS in The Indian Banking Industry, *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 26(1), 115-133.
- Rani, P., Mishra, A. R., Pardasani, K. R., Mardani, A., Liao, H., & Streimikiene, D. (2019). A novel VIKOR approach based on entropy and divergence measures of Pythagorean fuzzy sets to evaluate renewable energy technologies in India. *Journal of Cleaner Production*, 238, 117936.
- Raza, S. S., Janajreh, I., & Ghenai, C. (2014). Sustainability index approach as a selection criteria for energy storage system of an intermittent renewable energy source. *Applied Energy*, 136, 909-920.
- Ren, J., & Sovacool, B. K. (2015). Prioritizing low-carbon energy sources to enhance China's energy security. *Energy Conversion And Management*, 92, 129-136.
- Rupf, G. V., Bahri, P. A., De Boer, K., McHenry, M. P. (2016). Development of a model for identifying the optimal biogas system design in Sub-Saharan Africa. In *Computer Aided Chemical Engineering (Vol. 38, pp. 1533-1538)*.
- Ruzgys, A., Volvačiovas, R., Ignatavičius, Č., & Turskis, Z. (2014). Integrated evaluation of external wall insulation in residential buildings using SWARA-TODIM MCDM method. *Journal of Civil Engineering and Management*, 20(1), 103-110.
- Saaty, T. L., *Fundamentals Of Decision Making And Priority Theory With Analytic Hierarchy Process*, RWS publications, Pittsburg, 1994.
- Shao, M., Han, Z., Sun, J., Xiao, C., Zhang, S., & Zhao, Y. (2020). A review of multi-criteria decision making applications for renewable energy site

- selection. *Renewable Energy*, 157, 377-403. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.137>
- Shukla, A., Agarwal, P., Rana, R. S., Purohit, R. (2017). Applications of TOPSIS Algorithm on Various Manufacturing Processes: A Review. *Materials Today: Proceedings*, 4(4), 5320-5329. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.05.042>
- Sitorus, F., & Brito-Parada, P. R. (2020). A multiple criteria decision making method to weight the sustainability criteria of renewable energy technologies under uncertainty. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 127, 109891. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109891>
- Solangi, Y. A., Tan, Q., Mirjat, N. H., Valasai, G. D., Khan, M. W. A., Ikram, M. (2019). An Integrated Delphi-AHP and Fuzzy TOPSIS Approach toward Ranking and Selection of Renewable Energy Resources in Pakistan. *Processes*, 7(2), 118. Doi: <https://doi.org/10.3390/pr7020118>
- Stanujkic, D., Karabasevic, D., & Zavadskas, E. K. (2015). A framework for the selection of a packaging design based on the SWARA method. *Engineering Economics*, 26(2), 181-187.
- Şahin, U. (2016). Türkiye Elektrik Enerjisi Üretiminde Kullanılan Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Sürdürülebilirliğinin Değerlendirilmesinde Analitik Ağ Süreci (AAS) Yöntemi İle Fayda, Fırsat, Maliyet ve Risk (FFMR) Analizinin Kullanılması. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, 37, 180-188.
- Şengül, Ü., Eren, M., Shiraz, S. E., Gezder, V., & Şengül, A. B. (2015). Fuzzy TOPSIS method for ranking renewable energy supply systems in Turkey. *Renewable energy*, 75, 617-625.
- Trappey, A.J., Trappey, C.V., Wang, D.Y., Ou, J.J., Li, S.J. (2015). An Integrated Self-Organizing Map and Analytic Hierarchy Process Modeling Approach for Evaluating Renewable Energy Policies, *International Journal of Electronic Business Management*, 13, 3-14.
- Tsoutsos, T., Drandaki, M., Frantzeskaki, N., Iosifidis, E., & Kiosses, I. (2009). Sustainable energy planning by using multi-criteria analysis application in the island of Crete. *Energy policy*, 37(5), 1587-1600.
- Uygurtürk, H., Korkmaz, T. (2012). Finansal Performansın TOPSIS Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi ile Belirlenmesi: Ana metal sanayi işletmeleri üzerine bir uygulama, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 7(2).
- Vafaeipour, M., Hashemkhani Zolfani, S., Morshed Varzandeh, M.H., Derakhti, A., Keshavarz Eshkalag, M., 2014. Assessment of regions priority for implementation of solar projects in Iran: new application of a hybrid multi-criteria decision making approach. *Energy Convers. Manag.* 86, 653-663. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.05.083>
- Volvačiovias, R. (2014). Visuomeninės paskirties pastatų atnaujinimo efektyvumo tyrimas ir daugiataktis vertinimas (Doctoral dissertation, VGTU leidykla „Technika“).
- Wang, T.C., Lee, H.D. (2009). Developing a Fuzzy TOPSIS Approach Based on Subjective Weights and Objective Weights, *Expert Systems with Applications*, 36(5), 8980-8985. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.11.035>
- Wang, Y., Xu, L., & Solangi, Y. A. (2020). Strategic renewable energy resources selection for Pakistan: Based on SWOT-Fuzzy AHP approach. *Sustainable Cities and Society*, 52, 101861. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101861>
- Wiguna, K. A., Sarno, R., and Ariyani, N. F. (2016). Optimization solar farm site selection using multi-criteria decision making fuzzy ahp and promethee: case study in bali. In 2016 International Conference on Information & Communication Technology and Systems (ICTS) (pp. 237-243). IEEE.
- [www.tuik.gov.tr/PrelstatistikTablo.do?istab\\_id=1578](http://www.tuik.gov.tr/PrelstatistikTablo.do?istab_id=1578), Erişim Tarihi: 15.05.2019, Konu: TÜİK Verileri.
- Xue, D., Zhao, Q., and Guo, X. (2008). TOPSIS Method for Evaluation Customer Service Satisfaction to Fast Food Industry. In *Service Operations and Logistics, and Informatics, IEEE/SOLI 2008*. IEEE International Conference on, 1, 920-925.
- Yoon, K., Hwang, C.L., (1985). Manufacturing Plant Location Analysis by Multiple Attribute Decision Making: Part I-Single Plant Strategy, *Int. J. Prod. Pres.*, 23(2), 345-359.
- Yücenur, G. N., Çaylak, Ş., Gönül, G., & Postalcioglu, M. (2020). An integrated solution with SWARA&COPRAS methods in renewable energy production: City selection for biogas facility.



- Renewable Energy*, 145, 2587-2597. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.011>
- Zheng, G., & Wang, X. (2020). The comprehensive evaluation of renewable energy system schemes in tourist resorts based on VIKOR method. *Energy*, 193, 116676. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116676>
- Zolfani, S. H., & Banihashemi, S. S. A. (2014, May). Personnel selection based on a novel model of game theory and MCDM approaches. In Proc. of 8th International Scientific Conference" Business and Management (pp. 15-16). Doi: <https://doi.org/10.3846/bm.2014.024>
- Zolfani, S. H., & Saparauskas, J. (2013). New application of SWARA method in prioritizing sustainability assessment indicators of energy system. *Engineering Economics*, 24(5), 408-414. Doi: <https://doi.org/10.5755/j01.ee.24.5.4526>
- Zolfani, S. H., Aghdaie, M. H., Derakhti, A., Zavadskas, E. K., & Varzandeh, M. H. M. (2013). Decision making on business issues with foresight perspective; an application of new hybrid MCDM model in shopping mall locating. *Expert Systems With Applications*, 40(17), 7111-71. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.06.040>