

# Sezgisel Bulanık TOPSIS Yöntemi Kullanarak Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi

Elif DAMGACI<sup>1</sup>, Kurtuluş BORAN<sup>2,\*</sup>, Fatih Emre BORAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Nevşehir

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Teknikokullar, Ankara

<sup>3</sup>Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Maltepe, Ankara

(Geliş/Received : 26.07.2016 ; Kabul/Accepted : 21.09.2016)

## ÖZ

Günümüzde hızla artan dünya nüfusu ve endüstrileşme ile enerji gereksinimi de giderek artmaktadır. Bu gereksinim ağırlıklı olarak fosil kaynaklı enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Son yıllarda ise fosil kaynakların azalması ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı Türkiye’de ve diğer dünya ülkelerinde enerji ihtiyacının karşılanması bakımından büyük önem arz etmektedir. Enerji kaynaklarının seçimi, alternatiflerin (enerji kaynağının) kriterlere göre birden çok karar verici tarafından değerlendirilmesinden ötürü bir çok kriterli grup karar verme problemi olarak görülmektedir. Bu çalışmada Sezgisel Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak Türkiye için uygun yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal faktörler dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** TOPSIS, enerji, sezgisel bulanık karar verme, yenilenebilir enerji kaynakları.

## Evaluation of Turkey’s Renewable Energy Using Intuitionistic Fuzzy TOPSIS Method

### ABSTRACT

Today, energy needs is increasing with the rapid rise in world population and industrialization. The energy needs are mainly met by fossil energy sources. In recent years with the diminishing of fossil energy sources, the use of renewable energy sources has become very important for Turkey and other countries in terms of meeting energy needs. The selection of the energy sources is a multi criteria group decision making problem since alternatives are evaluated by more than one decision makers based on the criteria. In this study, the evaluation of appropriate renewable energy sources for Turkey considering technical, economic, environmental and social factors was performed by using Intuitionistic Fuzzy TOPSIS Method.

**Keywords:** TOPSIS, energy, intuitive fuzzy decision making, renewable energy.

### 1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

21.yüzyılda dünyanın en büyük sorunlarından biri; aydınlatma, ısıtma, soğutma, ulaşım ve sanayi çalışmaları gibi günlük yaşamda her aşamada kullanılmaya ihtiyaç duyulan olmazsa olmaz enerji kaynaklarının tükenme tehlikesi ile karşı karşıya kalmasıdır. Bu yüzden enerji kaynaklarını planlı bir şekilde değerlendirmek ve buna alternatif olarak doğada bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını düzenleyebilmek amacıyla dünyada ve ülkemizde çalışmalar yapılmaktadır.

Fosil yakıtlı enerji kaynaklarının kullanımı sonucu sera gazı salınımları, bölgesel yağışlarda farklılık, yıllık ortalama sıcaklıklarının ve deniz seviyesinin yükselmesi, buzulların erimeye başlaması, küresel iklim değişikliği yaşamımızı olumsuz etkilemekte ve bunun önüne geçilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik

araştırmalar yapılmaktadır. Dünyada fosil kaynaklı enerji kaynaklarının sınırlı ve eşit olmaması ülkelere enerji kullanımında kısıtlama getirirken, küresel iklim değişikliğine yol açmayacak şekilde Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi içerisinde ülkemizde 2009’da katıldığı Kyoto Protokolü uluslararası sözleşme ve anlaşmalar ile ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarına ve enerji yatırımlarına yönlendirmiştir.

Enerji yatırım kararları doğası gereği, çok kriterli karar verme problemidir. Günümüzde, çok amaçlı karar verme yöntemleri ile ilgili birçok çalışma, enerji problemleri üzerine yoğunlaşmıştır [1]. Afgan ve Carvalho [2] sürdürülebilirlik koşulunu karşılayan enerji sistemini değerlendirmede kullanılan enerji seviyelerinin tanımlamak üzere, parametrelerin sentez ve analizi temelinde yeni ve yenilenebilir enerji teknolojilerini değerlendirmek için seçenekler ve kriterlerin seçimini sunmuştur. Son yıllarda, enerji problemleri ile ilgili karar verme yöntemlerinin bulanık kümlelerle ile çeşitlilik

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: kboran@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) :

göstermektedir. Wang vd., [3] sürdürülebilir enerji ile ilgili çok amaçlı kararları kriterler bazında objektif, sübjektif ve karma olarak değerlendirmiştir. Enerji tedarik sistem kriterlerini, teknik, ekonomik, çevre ve sosyal açıdan özetlemiştir. Beccali vd., [4] enerji planlamada, çok amaçlı karar verme yaklaşımında karar vericilere karmaşık problemleri anlama ve seçim yapma konusunda yardımcı olmak üzere, bulanık kümeler metodolojisi ile karşılaştırarak tanıtım amaçlamıştır. Haralambopoulos ve Polatidis [5], yenilenebilir enerji projelerini yenilenebilir enerji planlama sürecini, çok amaçlı karar verme yöntemlerinden PROMETHEE II metodu ile değerlendirmiştir.

Pohekar ve Ramachandran [6], enerji planlama kararları için 90'dan fazla yayını gözden geçirerek ve kullanılan en popüler karar verme yöntemlerini AHP, PROMETHEE ve ELECTRE olarak belirlemiştir. Ulutaş [7] Türkiye'nin enerji kaynakları için alternatif enerjileri değerlendirmek üzere ANP yöntemini kullanarak enerji politikası problemini analiz etmiştir.

Türkiye için alternatif enerji kaynaklarının etkin seçimi pek çok değerlendirme kriterleri dikkate alınmasının yanında alternatif kaynaklar birden çok karar verici tarafından değerlendirilmektedir. Dolayısıyla alternatif enerji kaynakları seçim problemi bir çok kriterli grup karar verme problemi olarak nitelenmektedir. Bir karar kümesi içinden karar vericilerin ve karar verme durumlarına bağlı olarak en uygun enerji kaynağını seçmek amaçlanmaktadır. Fakat bazı durumlarda alternatiflerden hiç birisinin, belirlenen tüm kriterleri en iyi düzeyde sağlaması mümkün değildir. Bu seçim problemine uygun ve belirlenen gereksinimler ve kriterler temelinde ideale en yakın çözümü üretebilmek gerekmektedir. TOPSIS metodu bu ve benzeri seçim ve sıralama problemlerine kriter temelinde en uygun alternatifin belirlenebilmesi için hem pozitif çözümü hem de negatif çözümü dikkate alan bir karar verme metodudur.

Bu çalışma ile TOPSIS metodu sezgisel bulanık ortama genişletilerek yenilenebilir enerji kaynaklarının seçim problemine uygulanması ve en elverişli enerji kaynağının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bölüm 2'de Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli ile ilgili temel bilgilere yer verilmiştir. Bölüm 3'de sezgisel bulanık TOPSIS metodu açıklanmıştır. Bölüm 4'de sezgisel bulanık TOPSIS metodu kullanılarak yenilenebilir enerji kaynakları değerlendirilmiştir. Bölüm 5'de sonuçlar tartışılmıştır.

## 2. TÜRKİYE'NİN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI GÖRÜNÜMÜ (VIEW OF TURKEY'S RENEWABLE ENERGY SOURCES)

Bu bölümde Türkiye'nin mevcut yenilenebilir enerji kaynakları (güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, dalga enerjisi, biokütle enerjisi, hidrojen enerjisi ve hidroelektrik enerjisi) potansiyeli hakkında kısa ve özet bilgi verilmiştir.

### 2.1. Güneş Enerjisi (Solar Energy)

Güneş bütün evrenin temel enerji kaynağıdır, bilinen enerji kaynakları arasında en temiz ve en tükenmez kaynaklardan biridir. Dünyanın güneşten aldığı enerji toplamı bir yılda 1.5 katrilyon ( $1.5 \times 10^{15}$ ) MW/h'tir. Bu enerji miktarı, dünyada insanların 1 yılda tükettiği enerjinin tam 28000 katına eşdeğerdir Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli yıllık  $380 \times 10^9$  kilowatt-saattir. Ülkemiz coğrafi konumu nedeni ile her bölgesinde güneş enerjisinden verimli olarak yararlanılabilir. Buna bağlı olarak Türkiye'de yaklaşık 50 MW lisanssız güneş enerjisi santrali bulunmaktadır [8].

Güneş enerjisinden güneş kolektörleri, güneş santralleri ve güneş pilleri (fotovoltaik piller) olmak üzere üç şekilde yararlanılmaktadır. Türkiye'de en yaygın olarak konutlarda kullanım suyunun ısıtılması bunun yanında ihtiyaç olursa konut ısınması ve son yıllarda etkisini daha çok gösteren elektrik üretimi ile güneş enerjisi kullanılmaktadır.

### 2.2. Rüzgar Enerjisi (Wind Energy)

Rüzgar, güneş enerjisinin dünyanın sürekli değişen yüzeyinin eşit ısıtılmamasından ötürü sıcaklık, yoğunluk ve basınç farklılığından oluşan yatay hava hareketleri olarak tanımlanır[9]. Rüzgâr enerjisi; çevre üzerine olumsuz etkisi yok denecek kadar az olan yenilenebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağıdır.

Ülkemizin 7.0 m/s'nin üzerindeki rüzgâr hızı değerlendirildiğinde kara rüzgâr potansiyeli 48000 MW iken; 6.5 m/s'nin üzerindeki rüzgâr hızı değerlendirildiğinde ise deniz rüzgâr potansiyeli 17393.20 MW'dır. Ülkemiz rüzgâr enerji santrallerinin toplam kurulu gücü 2014 yılı Temmuz ayı itibarıyla 3424.48 MW olup, kurulu gücü yüksek olan iller sırasıyla; Balıkesir (767.3 MW), İzmir (613.6 MW), Manisa (393.9 MW), Hatay (277 MW) ve Osmaniye (185 MW) olarak gerçekleşmiştir. Rüzgâr potansiyeli yüksek olan illerin kurulu gücünün de yüksek olduğu tespit edilmiştir [10].

### 2.3. Jeotermal Enerji (Geothermal Energy)

Jeotermal enerji, modern jeotermal elektrik enerjisi santrallerinde  $CO_2$ ,  $NO_x$ ,  $SO_x$  gazlarının salınımı çok düşük olduğundan temiz bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Jeotermal enerjiden doğal veya doğrudan yararlanılabilir. Düşük sıcaklıklı (20-70 °C) sahalar başta ısıtmacılık olmak üzere, endüstride, çoğunlukla kimyasal madde üretiminde kullanılmaktadır. Orta sıcaklıklı (70-150 °C) ve yüksek sıcaklıklı (150 °C'den yüksek) sahalar ise elektrik üretiminin yanı sıra reenjeksiyon koşullarına bağlı olarak entegre şekilde ısıtma uygulamalarında da kullanılabilir [11].

Ülkemiz, jeolojik yapı olarak Alp-Himalaya kuşağı üzerinde olup, zengin bir jeotermal potansiyele sahiptir. Bu potansiyel yaklaşık 31.500 MW civarındadır [12]. Jeotermal enerji kaynakları akışkan sıcaklığına bağlı olarak birçok alanda değerlendirilmekle birlikte ülkemizde en yaygın değerlendirme alanı bölgesel ısıtma

olmuştur. Bunun yanı sıra jeotermal kaynakların termal turizm amaçlı kullanılması ile turizme büyük katkıda bulunmaktadır.

#### 2.4. Dalga Enerjisi (Wave Energy)

Dünya yüzeyinin farklı ısınması sonucu oluşan rüzgarların deniz yüzeyinde esmesi ile meydana gelen deniz dalgalarındaki gücün diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından daha keşif olduğu hesaplanmıştır. Kullanabildiği takdirde bol ve çoğu ülkenin elde edebileceği kadar yaygındır.

En iyi dalga gücü kaynaklarından olan Kalkan açıkları için yapılan tahminler ve istatistiksel analizlerle toplanan bilgiler dalga gücü yoğunluğunun 6,6 kW/m-7,6 kW/m arasında olduğunu göstermektedir. Dalga yükseklikleri 1,21 metreye varabilmekte ve dalga periyotları 6,09 saniyeye ulaşmaktadır [13].

#### 2.5. Biokütle Enerjisi (Biomass Energy)

Biyokütle, 100 yıllık periyottan daha kısa sürede yenilenebilir, biyolojik kökenli, fosil olmayan organik madde kitlesidir. Ana bileşenleri karbohidrat bileşikleri olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm organik maddeler biyokütle enerji kaynağı, bu kaynaklardan elde edilen enerji ise biyokütle enerjisi olarak tanımlanır. Biyokütle enerji sistemlerinden elde edilecek ürünlerin (örn: biyogaz, biyodizel, biyoetanol, biyohidrojen, fermente gübre, gliserin vb.) elektrik, akaryakıt, tarım ve kimya sanayi gibi farklı sektörlerle de katkı sağlayacağı bilinirken, tarımsal üretimin yoğun olduğu yerlerde hem sanayi hem de kırsal kesimde başlatılacak farkındalık çalışmalarıyla bu sektörün hızla gelişeceği görülmektedir [14]. Türkiye'nin biyogaz potansiyeli 1400-2000 Btep/yıl olarak öngörülmektedir. Ocak 2012 itibarıyla EPDK'ndan lisans alıp yapımı süren biyogaza dayalı elektrik üretim tesislerinin kurulu gücü 93 MW, biyokütleye dayalı olan tesislerin kapasitesi ise 12,80 MW'dır [15].

#### 2.6. Hidrojen Enerjisi (Hydrogen Energy)

Hidrojen dünyada en basit ve en çok bulunan bir elementtir. Aynı zamanda renksiz, kokusuz, havadan 14,4 kez daha hafif ve zehirsiz bir gazdır. Yerel olarak da üretimi mümkün olan hidrojen enerjisi ayrıca kolay ve güvenli bir şekilde taşınması ile enerji kaybı az olan, her alanda kullanılabilen bir enerji türüdür. Hidrojen doğada bileşikler halinde bulunmaktadır ve en çok bilinen bileşiği sudur [16].

Ülkemiz diğer ülkelerle karşılaştırıldığında hidrojen enerjisi üretim teknolojilerinde yetersiz kalmaktadır. Teknolojik verilere ve Türkiye'nin enerji-ekonomi verilerine göre 1995-2095 yılları arasında güneş-hidrojen sistemi ile yapılabilecek yakıt üretimi ve bunun fosil yakıtlarla rekabet imkanı, özel simülasyon modeli kapsamında bilgisayar çözümleri ile araştırılmıştır. Bu ulusal modelde, hidrojen üretiminin artışı için yavaş ve hızlı olmak üzere iki ayrı seçenek ele alınmıştır. Her iki seçenekte de 2010-2015 döneminde hidrojen enerjisi maliyetinin fosil enerji maliyetinin altına düşebileceği, ancak yapılacak yerli hidrejen üretiminin 2,3 Mtep'in

altında kalacağı görülmüştür. 2020-2025 döneminde ise, yerli hidrojen üretiminin 10 Mtep'in üzerine çıkabileceği, 2015 yılından sonra ise fosil yakıt ithalatını düşürücü etki yapacağı sonucuna ulaşılmıştır [17].

#### 2.7. Hidroelektrik Enerjisi (Hydroelectric Energy)

Hidroelektrik enerji kısaca suyun hareket enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümü olarak tanımlanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan hidrolik enerjinin en yaygın kullanım şekli nehirler üzerinde barajlar inşa ederek suyu büyük rezervuarlarda biriktirmek ve suyun potansiyel enerjisinden yararlanarak elektrik enerjisi üretmektir. Bunun için hidroelektrik santrallerinden faydalanılır.

2016 Mart ayı enerji raporuna göre hidrolik kurulu güç dağılımı hidrolik akarsu %9 ve hidrolik barajı %26 olmak üzere toplam %35 hidrolik enerjinin payıdır.

Teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilecek tüm hidroelektrik potansiyelin 2023 yılına kadar elektrik enerjisi üretiminde kullanılması hedeflenmekte olup 2023 yılına kadar; 36.000 MW olan hidroelektrik potansiyelimizin tamamını kullanmayı hedeflemektedir [18].

### 3. SEZGİSEL BULANIK TOPSIS METODU (INTUITIONISTIC FUZZY TOPSIS METHOD)

Bu çalışmada TOPSIS metodu sezgisel bulanık ortama genişletilmiştir.  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$  alternatiflerin kümesi ve  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$  kriterler kümesidir.

Karar verme grubu özdeş olmayıp  $l$  tane farklı karar vericiden oluşmaktadır. Özdeş olmayan karar verme gruplarında karar vericilerin göreceli önem dereceleri birbirinden farklıdır. Bazı karar vericiler farklı tecrübe ve bilgi birikimleri nedeniyle önem dereceleri diğer karar vericilerden ya daha az yada daha fazla olabilmektedir.

$\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l\}$  karar vericilerin ağırlık vektörü

olup  $\lambda_k \geq 0$ ,  $k = 1, 2, \dots, l$ , ve  $\sum_{k=1}^l \lambda_k = 1$  şeklindedir.

$R^{(k)} = (r_{ij}^{(k)})_{m \times n}$   $k$ . karar vericinin karar matrisi olup,  $r_{ij}^{(k)} = (\mu_{ij}^{(k)}, \nu_{ij}^{(k)}, \pi_{ij}^{(k)})$   $k$ . karar verici tarafından verilen  $i$ .alternatifin  $j$ . kriterden aldığı sezgisel bulanık değerdir.  $\mu_{ij}^{(k)}$   $k$ . karar vericiye göre  $i$ .alternatifin  $j$ . kriteri sağlama derecesi,  $\nu_{ij}^{(k)}$   $k$ . karar vericiye göre  $i$ .alternatifin  $j$ . kriteri sağlamama derecesi ve  $\pi_{ij}^{(k)}$   $k$ . karar vericiye göre belirsizlik düzeyini göstermektedir.

Verilen tanımlara bağlı olarak, Boran ve ark. [19] tarafından önerilen sezgisel bulanık TOPSIS metodu, aşağıda verilen adımlardan oluşmaktadır :

*Adım 1. Karar vericilerin ağırlıklarının belirlenmesi. (Determine the weights of decision makers.)*

Karar vericilerin önem dereceleri dilsel değişkenler olarak düşünülmüştür. Karar vericilerin ağırlıklarını belirlemek için dilsel terimler sezgisel bulanık sayılarla ifade edilmiştir.

$D_k = (\mu_k, \nu_k, \pi_k)$  k. karar vericinin önem derecesini gösteren bir sezgisel bulanık sayı olsun. k. karar vericinin ağırlığı Eş.1’de hesaplanmıştır.

$$\lambda_k = \frac{\left( \mu_k + \pi_k \left( \frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k} \right) \right)}{\sum_{k=1}^l \left( \mu_k + \pi_k \left( \frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k} \right) \right)}$$

$$\lambda_k \geq 0, \quad k = 1, 2, \dots, l \quad \text{ve} \quad \sum_{k=1}^l \lambda_k = 1 \quad (1)$$

**Adım 2. Karar vericilerin alternatiflere yönelik yapmış oldukları değerlendirmelerin birleştirilerek birleştirilmiş karar matrisinin elde edilmesi.** (Construct aggregated intuitionistic fuzzy decision matrix based on the opinions of decision makers)

Grup karar verme sürecinde, birleştirilmiş karar matrisinin elde edilmesi için tüm karar vericilerin düşüncelerinin bir bilgi kaybı olmadan grup düşüncesi olarak birleştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle Xu [20] tarafından önerilen IFWA Eş.2’de verilmiştir.

$$r_{ij} = IFWA_{\lambda} (r_{ij}^{(1)}, r_{ij}^{(2)}, \dots, r_{ij}^{(l)}) = r_{ij}^{(1)} \lambda_1 \oplus r_{ij}^{(2)} \lambda_2 \oplus \dots \oplus r_{ij}^{(l)} \lambda_l$$

$$= \left[ 1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (\nu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^l (\nu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} \right] \quad (2)$$

$r_{ij} = (\mu_{ij}, \nu_{ij}, \pi_{ij}) \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$ ,  $R$  birleştirilmiş karar matrisinin elemanıdır.

$$R = \begin{bmatrix} (\mu_{11}, \nu_{11}, \pi_{11}) & (\mu_{12}, \nu_{12}, \pi_{12}) & \dots & (\mu_{1n}, \nu_{1n}, \pi_{1n}) \\ (\mu_{21}, \nu_{21}, \pi_{21}) & (\mu_{22}, \nu_{22}, \pi_{22}) & \dots & (\mu_{2n}, \nu_{2n}, \pi_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (\mu_{m1}, \nu_{m1}, \pi_{m1}) & (\mu_{m2}, \nu_{m2}, \pi_{m2}) & \dots & (\mu_{mn}, \nu_{mn}, \pi_{mn}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

**Adım 3. Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi.** (Determine the weights of criteria)

Karar probleminde her bir kriterin ağırlığı birbirine eşit değildir. Kriterlerin önem dereceleri her bir karar verici için farklı düzeylerde olmaktadır. Bu nedenle her bir karar verici tarafından kriterlere verilen sezgisel bulanık değerlerin birleştirilmesi gerekmektedir.

$w_j^{(k)} = (\mu_j^{(k)}, \nu_j^{(k)}, \pi_j^{(k)})$  k. karar vericinin j. kriter için verdiği sezgisel bulanık sayı olup, kriterlerin ağırlıkları IFWA kullanılarak Eş.3’de hesaplanmıştır.

$$w_j = IFWA_{\lambda} (w_j^{(1)}, w_j^{(2)}, \dots, w_j^{(l)}) = \lambda_1 w_j^{(1)} \oplus \lambda_2 w_j^{(2)} \oplus \lambda_3 w_j^{(3)} \oplus \dots \oplus \lambda_l w_j^{(l)}$$

$$= \left[ 1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_j^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (\nu_j^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (1 - \mu_j^{(k)})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^l (\nu_j^{(k)})^{\lambda_k} \right] \quad (3)$$

$W = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_j\}$  kriterlerin ağırlıkları olup  $w_j = (\mu_j, \nu_j, \pi_j) \quad (j = 1, 2, \dots, n)$  dir.

**Adım 4. Ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisinin oluşturulması.** (Construct aggregated weighted intuitionistic fuzzy decision matrix)

Kriterlerin ağırlıkları ve birleştirilmiş karar matrisi oluşturulduktan sonra ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi elde edilmiş ve Eş.4, Eş.5,’de verilmiştir.

$$R' = R \otimes W = (\mu'_{ij}, \nu'_{ij}) = \{ \langle x, \mu_{ij} \cdot \mu_j, \nu_{ij} + \nu_j - \nu_{ij} \cdot \nu_j \rangle \mid x \in X \} \quad (4)$$

ve

$$\pi'_{ij} = 1 - \nu_{ij} - \nu_j - \mu_{ij} \cdot \mu_j + \nu_{ij} \cdot \nu_j \quad (5)$$

Ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi

$$R' = \begin{bmatrix} (\mu'_{11}, \nu'_{11}, \pi'_{11}) & (\mu'_{12}, \nu'_{12}, \pi'_{12}) & \dots & (\mu'_{1n}, \nu'_{1n}, \pi'_{1n}) \\ (\mu'_{21}, \nu'_{21}, \pi'_{21}) & (\mu'_{22}, \nu'_{22}, \pi'_{22}) & \dots & (\mu'_{2n}, \nu'_{2n}, \pi'_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (\mu'_{m1}, \nu'_{m1}, \pi'_{m1}) & (\mu'_{m2}, \nu'_{m2}, \pi'_{m2}) & \dots & (\mu'_{mn}, \nu'_{mn}, \pi'_{mn}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r'_{11} & r'_{12} & \dots & r'_{1n} \\ r'_{21} & r'_{22} & \dots & r'_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r'_{m1} & r'_{m2} & \dots & r'_{mn} \end{bmatrix}$$

olup  $r'_{ij} = (\mu'_{ij}, \nu'_{ij}, \pi'_{ij}) \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$  ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisinin elemanıdır.

**Adım 5. Pozitif sezgisel bulanık ideal çözümün ve negatif sezgisel bulanık ideal çözümün belirlenmesi.** (Obtain intuitionistic fuzzy positive-ideal solution and intuitionistic fuzzy negative-ideal solution)

$J_1$  fayda kriterlerinin seti,  $J_2$  maliyet kriterlerinin seti olmak üzere,  $A^*$  pozitif sezgisel bulanık ideal çözüm ve  $A^-$  negatif sezgisel bulanık ideal çözüm olup,  $A^*$  ve  $A^-$  aşağıdaki gibi elde edilir (Eş.6 - Eş.13).

$$A^* = (r_1^*, r_2^*, \dots, r_n^*), \quad r_j^* = (\mu_j^*, \nu_j^*, \pi_j^*), \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$A^- = (r_1^-, r_2^-, \dots, r_n^-), \quad r_j^- = (\mu_j^-, \nu_j^-, \pi_j^-), \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$\mu_j^* = \left\{ \left( \max_i \{ \mu'_{ij} \} \mid j \in J_1 \right), \left( \min_i \{ \mu'_{ij} \} \mid j \in J_2 \right) \right\} \quad (8)$$

$$\nu_j^* = \left\{ \left( \min_i \{ \nu'_{ij} \} \mid j \in J_1 \right), \left( \max_i \{ \nu'_{ij} \} \mid j \in J_2 \right) \right\} \quad (9)$$

$$\pi_j^* = \left\{ \left( 1 - \max_i \{ \mu'_{ij} \} - \min_i \{ \nu'_{ij} \} \mid j \in J_1 \right), \left( 1 - \min_i \{ \mu'_{ij} \} - \max_i \{ \nu'_{ij} \} \mid j \in J_2 \right) \right\} \quad (10)$$

$$\mu_j^- = \left\{ \left( \min_i \{ \mu'_{ij} \} \mid j \in J_1 \right), \left( \max_i \{ \mu'_{ij} \} \mid j \in J_2 \right) \right\} \quad (11)$$

$$\nu_j^- = \left\{ \left( \max_i \{ \nu'_{ij} \} \mid j \in J_1 \right), \left( \min_i \{ \nu'_{ij} \} \mid j \in J_2 \right) \right\} \quad (12)$$

$$\pi_j^- = \left\{ \left( 1 - \min_i \{ \mu'_{ij} \} - \max_i \{ \nu'_{ij} \} \mid j \in J_1 \right), \left( 1 - \max_i \{ \mu'_{ij} \} - \min_i \{ \nu'_{ij} \} \mid j \in J_2 \right) \right\} \text{ekserji verimi } (C_2), \text{ yatırım maliyeti } (C_3), \text{ işletme bakım maliyeti } (C_4), \text{ arazi kullanımı } (C_5), \text{ gürültü } (C_6) \text{ ve iş imkanı } (C_7) \text{ olmak üzere belirlenmiştir.}$$

(13)

Adım 6. Pozitif ve negatif ayırım ölçümlerinin hesaplanması (Calculate of positive and negative separation measures)

Alternatifler ve pozitif sezgisel bulanık ideal çözümün ve negatif sezgisel bulanık ideal çözüm arasındaki ayırımın ölçülmesi için, Hamming uzaklık ölçümü, Euclidean uzaklık ölçümü ve bu uzaklık ölçümlerinin normalize edilmiş uzaklık ölçümleri kullanılabilir. Bu çalışmada, Hamming uzaklık ölçümü kullanılmıştır. Alternatifler ve pozitif sezgisel bulanık ideal çözüm ve negatif sezgisel bulanık ideal çözüm arasındaki ayırım ölçümleri ( $S_i^*$  ve  $S_i^-$ ) Eş.14 ve Eş.15'de hesaplanmıştır.

$$S_i^* = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \left[ \left| \mu'_{ij} - \mu_j^* \right| + \left| \nu'_{ij} - \nu_j^* \right| + \left| \pi'_{ij} - \pi_j^* \right| \right],$$

$$i = 1, 2, \dots, m \quad (14)$$

$$S_i^- = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \left[ \left| \mu'_{ij} - \mu_j^- \right| + \left| \nu'_{ij} - \nu_j^- \right| + \left| \pi'_{ij} - \pi_j^- \right| \right],$$

$$i = 1, 2, \dots, m \quad (15)$$

Adım 7. Her bir alternatif için yakınlık katsayısının hesaplanması ( Calculate the relative closeness coefficient to the intuitionistic ideal solution)

Pozitif sezgisel bulanık ideal çözüm ve negatif sezgisel bulanık ideal çözüme göre  $A_i$  için yakınlık katsayısı Eş.16'deki gibi hesaplanır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-}, \quad 0 \leq C_i^* \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (16)$$

Adım 8. Alternatiflerin sıralanması. ( Rank the alternatives)

Alternatifler, yakınlık katsayılarının büyüklüklerine göre sıralanırlar.

#### 4. SEZGİSEL BULANIK TOPSİS YÖNTEMİ KULLANILARAK TÜRKİYE'NİN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ (EVALUATION OF TURKEY'S RENEWABLE ENERGY USING INTUTIVE FUZZY TOPSIS METHOD)

Bu bölümde Türkiye'deki yenilenebilir enerji kaynaklarını sezgisel bulanık TOPSIS metodunu kullanarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme işleminde alternatif enerji kaynakları; güneş ( $A_1$ ), rüzgar ( $A_2$ ), jeotermal ( $A_3$ ), dalga ( $A_4$ ), biokütle ( $A_5$ ), hidrojen ( $A_6$ ) ve hidrolik ( $A_7$ ) olarak belirlenmiştir. Değerlendirme kriterleri ise literatürde sıklıkla

Alternatif enerji kaynakların seçimi için önerilen Sezgisel Bulanık TOPSIS metodu aşağıda verilen adımları kapsamaktadır:

Adım 1. Karar vericilerin ağırlıklarının belirlenmesi. (Determine the weights of decision makers.)

Karar vericilerin önem dereceleri dilsel değişkenler olarak düşünülmüştür. Karar vericilerin ağırlıklarını belirlemek için dilsel terimler sezgisel bulanık sayılarla ifade edilmiştir. Bu sayılar Çizelge 1'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Karar vericilerin önem derecelerini belirlemede kullanılan dilsel terimler (Linguistic terms for rating the importance of criteria and the decision makers)

Dilsel Terimler	SBS
Oldukça Önemli	(0,80 ; 0,10)
Önemli	(0,50 ; 0,20)
Orta	(0,50 ; 0,50)
Önemsiz	(0,30 ; 0,50)
Oldukça Önemsiz	(0,20 ; 0,70)

Karar vericilerin önem düzeyleri ve ağırlıkları Çizelge 2'de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Karar vericilerin değerlendirilmesi (Evaluation of decision makers)

	KV-1	KV-2	KV-3	KV-4
<b>Dilsel Terimler</b>	Oldukça önemli	Önemli	Orta	Orta
<b>Ağırlık</b>	0,345	0,267	0,194	0,194

$$\lambda_{kv_1} = \frac{\left( 0,80 + 0,10 \frac{0,80}{0,90} \right)}{\left( 0,80 + 0,10 \frac{0,80}{0,90} \right) + \left( 0,50 + 0,30 \frac{0,50}{0,80} \right) + 0,5 + 0,5} = 0,345 \quad (17)$$

$$\lambda_{kv_2} = \frac{\left( 0,50 + 0,30 \frac{0,50}{0,80} \right)}{\left( 0,80 + 0,10 \frac{0,80}{0,90} \right) + \left( 0,50 + 0,30 \frac{0,50}{0,80} \right) + 0,5 + 0,5} = 0,267 \quad (18)$$

$$\lambda_{kv_3} = \frac{0,5}{\left( 0,80 + 0,10 \frac{0,80}{0,90} \right) + \left( 0,50 + 0,30 \frac{0,50}{0,80} \right) + 0,5 + 0,5} = 0,194 \quad (19)$$

$$\lambda_{kv_i} = \frac{0,5}{\left(0,80 + 0,10 \frac{0,80}{0,90}\right) + \left(0,50 + 0,30 \frac{0,50}{0,80}\right) + 0,5 + 0,5} = 0,194 \quad (20)$$

Adım 2. Karar vericilerin alternatiflere yönelik yapmış oldukları değerlendirmelerin birleştirilerek birleştirilmiş karar matrisinin elde edilmesi. (Construct aggregated intuitionistic fuzzy decision matrix based on the opinions of decision makers)

**Çizelge 3.** Alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan dilsel terimler (Linguistic terms for rating the alternatives)

Dilsel Terimler	SBS
Çok Yüksek (ÇY)	[0,90 ; 0,05; 0,05]
Yüksek(Y)	[0,80 ; 0,10 ;0,10]
Biraz Yüksek (BY)	[0,70 ; 0,20 ; 0,10]
Epey (E)	[0,50 ; 0,50 ; 0,00]
Biraz Düşük (BD)	[0,40 ; 0,50 ; 0,10]
Düşük (D)	[0,30 ; 0,60 ; 0,10]
Çok Düşük(ÇD)	[0,10 ; 0,85 ; 0,05]

Dört karar verici tarafından alternatiflerin kriterler bazında değerlendirilmesi için dilsel terimler Çizelge 3'de tanımlanmıştır. Alternatiflerin dört karar verici tarafından kriterler bazında aldıkları skorlar Çizelge 4'de verilmiştir.

**Çizelge 4.** Adayların kriterlere göre karar vericiler tarafından değerlendirilmesi (The evaluation by decision makers according to the criteria of the candidates)

ALTERNATİFLER	KRİTERLER	KV-1	KV-2	KV-3	KV-4
A <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	BD	B D	E	E
	C <sub>2</sub>	D	Ç D	D	D
	C <sub>3</sub>	E	B Y	E	E
	C <sub>4</sub>	D	D	E	Ç D
	C <sub>5</sub>	BD	D	E	D
	C <sub>6</sub>	ÇY	Y	ÇY	Y
	C <sub>7</sub>	Y	Y	BY	Y
A <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	D	Ç D	D	D
	C <sub>2</sub>	D	B D	D	D
	C <sub>3</sub>	Y	Y	Y	Ç Y

A <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	ÇD	D	ÇY	Ç D
	C <sub>5</sub>	Y	B Y	Y	Y
	C <sub>6</sub>	E	B Y	E	E
	C <sub>7</sub>	BD	E	D	E
	C <sub>1</sub>	ÇY	Y	ÇY	Ç Y
	C <sub>2</sub>	Y	B Y	Y	Y
	C <sub>3</sub>	BD	B D	D	B Y
A <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	BY	Y	E	B Y
	C <sub>5</sub>	BD	E	E	B Y
	C <sub>6</sub>	ÇY	Ç Y	ÇY	Ç Y
	C <sub>7</sub>	E	E	Y	E
	C <sub>1</sub>	D	Ç D	ÇY	Ç Y
	C <sub>2</sub>	D	D	E	B D
	C <sub>3</sub>	BD	D	E	E
A <sub>5</sub>	C <sub>4</sub>	BD	D	D	E
	C <sub>5</sub>	BD	E	D	D
	C <sub>6</sub>	E	E	Y	B Y
	C <sub>7</sub>	D	B D	D	D
	C <sub>1</sub>	D	B Y	Y	Y
	C <sub>2</sub>	D	B Y	Y	B Y
	C <sub>3</sub>	BD	D	E	D
A <sub>6</sub>	C <sub>4</sub>	BD	D	ÇY	D
	C <sub>5</sub>	BD	E	E	D
	C <sub>6</sub>	E	D	D	D
	C <sub>7</sub>	D	D	E	E
	C <sub>1</sub>	ÇD	Ç D	D	Ç D
	C <sub>2</sub>	Y	B Y	ÇY	B Y
	C <sub>3</sub>	BD	E	BY	B D
A <sub>7</sub>	C <sub>4</sub>	D	D	ÇD	D
	C <sub>5</sub>	D	D	D	D
	C <sub>6</sub>	BD	E	D	E
	C <sub>7</sub>	BY	Y	BY	Y
	C <sub>1</sub>	ÇD	Ç D	D	Ç D
	C <sub>2</sub>	D	D	ÇD	Ç D
	C <sub>3</sub>	BD	E	ÇD	D
A <sub>7</sub>	C <sub>4</sub>	D	D	E	D
	C <sub>5</sub>	BD	E	BY	B Y
	C <sub>6</sub>	BD	B Y	BY	E
	C <sub>7</sub>	E	B Y	BY	E

Grup karar verme sürecinde, birleştirilmiş karar matrisinin elde edilmesi için tüm karar vericilerin düşüncelerinin bir bilgi kaybı olmadan grup düşüncesi olarak birleştirilmesi gerekmektedir. IFWA kullanılarak dört karar verici tarafından verilen skorlar birleştirilerek birleştirilmiş karar matrisi Çizelge 5'de elde edilmiştir.

Adım 3. Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi.  
(Determine the weights of criteria)

Karar probleminde her bir kriterin ağırlığı birbirine eşit değildir. Kriterlerin önem dereceleri her bir karar verici için farklı düzeylerde olmaktadır. Bu nedenle her bir karar verici tarafından kriterlere verilen sezgisel bulanık değerlerin birleştirilmesi gerekmektedir.

Dört karar verici tarafından kriterlerin önem derecelerinin değerlendirilmesi için dilsel terimler Çizelge 6'de tanımlanmıştır. Kriterlerin dört karar verici tarafından verilen skorlar Çizelge 7'de verilmiştir.

$$W = \left\{ \begin{array}{l} [0,843,0,0830],[0,760,0,152],[0,715,0,174],[0,649,0,240] \\ [0,649,0,240],[0,518,0,419],[0,289,0,562] \end{array} \right\} \quad (21)$$

Çizelge 7. Kriterlerin karar vericiler tarafından değerlendirilmesi (Evaluation of the criteria by decision makers)

	KV <sub>1</sub>	KV <sub>2</sub>	KV <sub>3</sub>	KV <sub>4</sub>
C <sub>1</sub>	İyi	Çok İyi	Epeyce	Biraz İyi
C <sub>2</sub>	Epeyce	İyi	Biraz İyi	Çok İyi
C <sub>3</sub>	Biraz İyi	İyi	Epeyce	Biraz Kötü
C <sub>4</sub>	Biraz İyi	Epeyce	Kötü	İyi
C <sub>5</sub>	Epeyce	Biraz İyi	İyi	İyi
C <sub>6</sub>	Biraz Kötü	Epeyce	Çok Kötü	Biraz İyi
C <sub>7</sub>	Çok Kötü	Kötü	Epeyce	Biraz Kötü

Çizelge 5. Birleştirilmiş karar matrisi(The aggregated decision matrix)

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>
A <sub>1</sub>	[0.468 ;0.500]	[0.300;0.600]	[0.900;0.500]	[0.300;0.600]	[0.800;0.100]	[0.198;0.724]	[0.198; 0.724]
A <sub>2</sub>	[0.336; 0.563]	[0.300;0.600]	[0.800;0.100]	[0.418;0.532]	[0.751;0.145]	[0.843;0.083]	[0.175; 0.754]
A <sub>3</sub>	[0.500;0.500]	[0.825;0.087]	[0.437;0.455]	[0.468;0.500]	[0.432;0.518]	[0.564;0.328]	[0.255; 0.622]
A <sub>4</sub>	[0.371;0.590]	[0.673;0.230]	[0.620;0.305]	[0.378;0.544]	[0.715;0.191]	[0.214;0.705]	[0.401;0.552]
A <sub>5</sub>	[0.432; 0.518]	[0.800;0.100]	[0.518;0.419]	[0.336;0.563]	[0.432;0.518]	[0.300;0.600]	[0.619 ;0.724]
A <sub>6</sub>	[0.886; 0.057]	[0.500;0.500]	[0.900;0.050]	[0.703;0.199]	[0.300;0.600]	[0.378;0.544]	[0.579; 0.328]
A <sub>7</sub>	[0.759;0.138]	[0.378;0.544]	[0.672;0.238]	[0.300;0.600]	[0.468;0.500]	[0.723;0.175]	[0.605; 0.328]

Çizelge 6. Kriterlerin önem derecelerini belirlemede kullanılan dilsel terimler(Lingustic terms for used to determine significance importance of the criteria)

Dilsel Terimler	SBS
Çok İyi(Çİ)	(0,90 ;0,05)
İyi(İ)	(0,80 ; 0,10)
Biraz İyi(Bİ)	(0,70 ; 0,20)
Epeyce(E)	(0,50 ; 0,50)
Biraz Kötü(BK)	(0,40 ; 0,50)
Kötü(K)	(0,30 ; 0,50)
Çok Kötü(ÇK)	(0,20 ; 0,70)

Kriterlerin ağırlıkları IFWA kullanılarak hesaplanmıştır. Kriterler ağırlıkları Eş.21'de elde edilmiştir.

Adım 4. Ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisinin oluşturulması. (Construct aggregated weighted intuitionistic fuzzy decision matrix)

Kriterlerin ağırlıkları ve birleştirilmiş karar matrisi oluşturulduktan sonra sezgisel bulanık kümelerde tanımlanan çarpım operatörü kullanılarak ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi Çizelge 8'de elde edilmiştir.

Adım 5. Pozitif sezgisel bulanık ideal çözümün ve negatif sezgisel bulanık ideal çözümün belirlenmesi. (Obtain intuitionistic fuzzy positive-ideal solution and intuitionistic fuzzy negative-ideal solution)

Problemde ele alınan tüm kriterler fayda kriteridir.  $A^*$  pozitif sezgisel bulanık ideal çözüm ve  $A^-$  negatif sezgisel bulanık ideal çözüm Eş.22-23'de elde edilmiştir.

**Çizelge 8.** Ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi (Aggregated weighted decision matrix)

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>
A <sub>1</sub>	[0.394; 0.542]	[0.228;0.661]	[0.644;0.215]	[0.195;0.707]	[0.535;0.316]	[0.103; 0.839]	[0.0570;0.879]
A <sub>2</sub>	[0.283; 0.600]	[0.228;0.661]	[0.572;0.256]	[0.271;0.657]	[0.503;0.350]	[0.436;0.467]	[0.0500;0.892]
A <sub>3</sub>	[0.421; 0.542]	[0.627;0.226]	[0.313; 0.550]	[0.303;0.633]	[0.289;0.634]	[0.292;0.609]	[0.0740;0.852]
A <sub>4</sub>	[0.312; 0.624]	[0.512;0.347]	[0.444; 0.426]	[0.245;0.666]	[0.478;0.385]	[0.111;0.828]	[0.116;0.803]
A <sub>5</sub>	[0.364;0.558]	[0.608;0.237]	[0.370; 0.519]	[0.218;0.680]	[0.289;0.634]	[0.155;0.767]	[0.179;0.682]
A <sub>6</sub>	[0.746; 0.136]	[0.380;0.576]	[0.644; 0.215]	[0.456;0.413]	[0.201;0.696]	[0.196; 0.735]	[0.167; 0.705]
A <sub>7</sub>	[0.640; 0.209]	[0.287;0.613]	[0.481; 0.370]	[0.195;0.707]	[0.313;0.620]	[0.374; 0.520]	[0.175; 0.705]

$$A^* = (r_1^*, r_2^*, \dots, r_7^*), r_j^* = (\mu_j^*, \nu_j^*, \pi_j^*), \\ j = 1, 2, \dots, 7 \quad (22)$$

$$A^- = (r_1^-, r_2^-, \dots, r_7^-), r_j^- = (\mu_j^-, \nu_j^-, \pi_j^-), \\ j = 1, 2, \dots, 7 \quad (23)$$

$$r_1^* = (0.746; 0.136) \quad r_2^* = (0.627; 0.226)$$

$$r_3^* = (0.313; 0.550) \quad r_4^* = (0.195; 0.707)$$

$$r_5^* = (0.201; 0.696) \quad r_6^* = (0.103; 0.839)$$

$$r_7^* = (0.179; 0.682)$$

$$r_1^- = (0.283; 0.624) \quad r_2^- = (0.228; 0.661)$$

$$r_3^- = (0.644; 0.215) \quad r_4^- = (0.456; 0.413)$$

$$r_5^- = (0.535; 0.316) \quad r_6^- = (0.436; 0.467)$$

$$r_7^- = (0.0500; 0.892)$$

Adım 6. Pozitif ve negatif ayırım ölçümlerinin hesaplanması (Calculate of positive and negative separation measures)

Alternatifler ve pozitif sezgisel bulanık ideal çözümün ve negatif sezgisel bulanık ideal çözüm arasındaki ayırım ölçümleri Çizelge 9'da verilmiştir.

Adım 7. Her bir alternatif için yakınlık katsayısının hesaplanması (Calculate the relative closeness coefficient to the intuitionistic ideal solution)

Pozitif sezgisel bulanık ideal çözüm ve negatif sezgisel bulanık ideal çözüme göre alternatiflerin yakınlık katsayıları hesaplanmış ve Çizelge 9'da verilmiştir.

**Çizelge 9.** Adayların ayırım ölçüleri ve yakınlık katsayıları (Separation measures and the relative closeness coefficient of each alternative.)

Alternatifler	$S_i^*$	$S_i^-$	$C_i^*$
A <sub>1</sub>	0,2504	0,1129	0,3107
A <sub>2</sub>	0,3139	0,0535	0,1457
A <sub>3</sub>	0,1433	0,2329	0,6191
A <sub>4</sub>	0,1765	0,1893	0,5174
A <sub>5</sub>	0,0981	0,2720	0,7350
A <sub>6</sub>	0,1581	0,2108	0,5714
A <sub>7</sub>	0,1611	0,2120	0,5682

Adım 8. Alternatiflerin sıralanması (Rank the alternatives)

Enerji kaynaklarının skorları anlamına da gelen yakınlık katsayıları Eş.4.16 kullanılarak hesaplanmıştır. En yüksek yakınlık katsayısına sahip olan alternatif en yüksek değeri olarak Türkiye'de yatırım için en verimli enerji kaynağı olup, en düşük yakınlık katsayısına sahip olan alternatif ise en düşük değeri olarak Türkiye'de yatırım yapmak için en verimsiz enerji kaynağı olduğu anlamına gelir. Alternatifler, yakınlık katsayılarının büyüklüğüne göre;  $A_5 > A_3 > A_6 > A_7 > A_4 > A_1 > A_2$  şeklinde sıralanmıştır. A<sub>5</sub> alternatifi, en uygun yenilenebilir enerji kaynağı olarak alternatifler arasından seçilmiştir.

## 5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME (RESULT AND EVALUATION)

Nüfus ve endüstrileşmedeki hızlı artış enerji için dışa bağımlı olan ülkemizde bir sorun oluşturmaktadır. Bu sorun enerji ve enerjiyi elde etmek için kullanılan kaynakları disiplinlerarası bir niteliğe taşımaktadır. Bu nitelik; enerji yöneticileri ve uzmanları için enerji teknolojilerindeki güncel gelişmeler ve yeni enerji kaynakları iken, siyaset bilimleri ve iktisat alanları için ulusal ve uluslararası enerji politikalarını, maliyet analizlerini veya temel bilimciler ve çevreciler için çevreye zarar verebilecek zararlı gazları, küresel ısınmayı, iklim değişikliği, enerjinin sürdürülebilirliği gibi konuları ön planda tutmaktadır. Mühendislik alanı ise; enerjinin teknik, ekonomik, çevre ve sosyal yapıya etkisini inceler. Yani enerji kaynağı seçimi geniş kapsamda ele alınacak bir karardır ve etkin karar verme yaklaşımını belirlemek önem arz etmektedir.

Bu çalışmada enerjinin en verimli şekilde hangi enerji kaynağından elde edilip yatırım yapılacağı teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal açıdan verim, ekserji verimi, yatırım, maliyeti, işletme bakım maliyeti, arazi kullanımı, gürültü ve iş imkanı kriterleri göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Karar vericiler ile karar kriterlerinin önem ağırlıkları ve çalışmada kullanılan enerji kaynaklarının önem kriterleri dilsel değişkenlerle ifade edilmiştir. Türkiye için yedi enerji kaynağı dört karar verici tarafından Sezgisel Bulanık TOPSIS yöntemi



kullanılarak yenilenebilir enerji kaynaklarından yakınlık katsayısına göre sıralaması yüksekten düşüğe  $A_5 \succ A_3 \succ A_6 \succ A_7 \succ A_4 \succ A_1 \succ A_2$  olarak sıralanmıştır. Buna göre en yüksek  $A_5$  (0,7350) ile bioenerji olurken, en düşük  $A_2$  (0,1457) ile rüzgar enerjisi olarak belirlenmiştir. Böylece Türkiye’deki yenilenebilir enerji kaynaklarının Sezgisel Bulanık Topsis yöntemi ilk kez belirlenmiş ve yatırım yapılabilecek en verimli enerji kaynağının  $A_5$  (Bioenerji) olduğu tespit edilmiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kahraman C., Kaya I. and Cebi S., "A comparative analysis for multiattribute selection among renewable energy alternatives using fuzzy axiomatic design and fuzzy analytic hierarchy process", *Energy*, 34: 1603-1616, (2009).
2. Afgan N.H. and Carvalho M.G., "Multi-criteria assessment of new and renewable energy power plants", *Energy*, 27: 739-755, (2002).
3. Wang J.-J., Jing Y.-Y., Zhang C.-F. and Zhao J.-H., "Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13: 2263-2278, (2009).
4. Beccali M., Cellura M. and Ardente D., "Decision making in energy planning: the ELECTRE multicriteria analysis approach compared to a fuzzy-sets methodology", *Energy Conversion and Management*, 39: 1869-1881, (1998).
5. Haralambopoulos D. and Polatidis H., "Renewable energy projects: structuring a multi-criteria group decision-making framework", *Renewable Energy*, 28: 961-973, (2003).
6. Pohekar S. and Ramachandran M., "Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning a review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8: 365-381, (2004).
7. Ulutaş B.H., "Determination of the appropriate energy policy for Turkey", *Energy*, 30: 1146-1161, (2005).
8. Kılıç F.Ç., "Güneş enerjisi, Türkiye’deki son durumu ve üretim teknolojileri", *Engineer & The Machinery Magazine*, 56: 28-40, (2015).
9. Sen Z., "Temiz Enerji ve Kaynakları", *Su Vakfı Yayınları*, İstanbul Teknik Üniversitesi, (2002).
10. Şenel M.C. and Koç E., "Dünyada ve Türkiye’de rüzgar enerjisi durumu-genel değerlendirme", *Engineer & The Machinery Magazine*, 56: 46-56, (2015).
11. Edwards L.M., Chilingar G., Rieke III H. and Fertl, W., "Handbook of geothermal energy", *Gulf Publishing Company*, 74, Houston (1982).
12. Arslan S., Darıcı M. and Karahan Ç., "Türkiye’nin jeotermal enerji potansiyeli". *V. Ulusal Tesilat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, İzmir, 21-27, (2001).
13. Sağlam M., Uyar T.S. and Göztepe İ., "Dalga enerjisi ve Türkiye’nin dalga enerjisi teknik potansiyeli", *Elektrik Mühendisleri Odası*, (2005).
14. Eryaşar G.K.A., Arıcı Ö.E.Ş. and Bayrakçı A.G., "Biyokütle enerjisine sektörel yaklaşım: İzmir örneği", *Engineer & The Machinery Magazine*, 56: 78-85, (2013).
15. Bektaş Yasin. and Gülmez Mehmet., "Biyogaz destekli yenilenebilir hibrid Sistemleri ile Enerji Üretimi", *Electronic Journal of Occupational Improvement and Research*, 2: 124-133, (2015).
16. "Yenilenebilir Enerji Kaynakları", Konya Ticaret Odası Araştırma Raporu, Konya, (2006).
17. Külekçi Ö.C., "Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin yeri ve Türkiye açısından önemi", *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1: 83-91, (2009).
18. Bayrak M. and Esen Ö., "Türkiye’nin enerji açığı sorunu ve çözümüne yönelik arayışlar", *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 28, (2014).
19. Boran F.E., Genç S., Kurt M. and Akay D., "A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method", *Expert Systems with Applications*, 36: 11363-11368, (2009).
20. Xu Z., "Intuitionistic fuzzy aggregation operators", *Fuzzy Systems, IEEE Transactions on*, 15: 1179-1187, (2007).