

## Sürdürülebilirlik Bağlamında G-20 Ülkelerinin Enerji Üretim Kaynaklarına Göre TOPSIS Yöntemiyle Sıralanması

*Cem MENTEN* (<https://orcid.org/0000-0003-0259-3770>), Hacettepe University, Türkiye;  
[cemmenten@hacettepe.edu.tr](mailto:cemmenten@hacettepe.edu.tr)

*Bülent ÇEKİÇ* (<https://orcid.org/0000-0001-7134-4220>), Hacettepe University, Türkiye;  
[bulentc@hacettepe.edu.tr](mailto:bulentc@hacettepe.edu.tr)

### Ranking of G-20 Countries According to Energy Production Sources in the Context of Sustainability by TOPSIS Method

#### Abstract

The primary purpose of this study is to rank G20 member countries according to different types of energy production at the country level using Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) techniques. In this study, G20 countries are ranked according to their energy production using the TOPSIS method, one of the most widely used approaches in the MCDA literature. The alternatives are G20 members, and the criteria consist of electricity generation from fossil fuels (oil, natural gas, and coal), renewable energy, nuclear energy, and CO<sub>2</sub> emissions. In the 2020-2022 period, G20 countries are evaluated under two scenarios according to different types of energy production. In the first scenario, where all criteria are equally weighted, the United States (USA), European Union (EU), and China ranked highest for each year in the years under evaluation, respectively. In the second scenario, which has an environmental perspective on the weighting of the criteria, similar to the first scenario, the EU and the USA are in the first two places, while France is the third country in the ranking. The most remarkable finding obtained within the scope of the study is that China and Saudi Arabia, which rank highly in the first scenario, are ranked last in the second scenario evaluated from an environmental perspective. Different from the studies in the literature, in this study, evaluations are made with an environmental view by assigning higher weights to the criteria of renewable energy production, nuclear energy production, and emission values.

**Keywords** : Multi-Criteria Decision Analysis, Energy Sources, G20 Countries, TOPSIS, Renewable Energy, Sustainability.

**JEL Classification Codes** : C44, D81, Q20, Q40.

#### Öz

Bu çalışmada temel olarak, Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA) teknikleri uygulanarak ülkeler düzeyinde farklı enerji üretim türlerine göre G20'ye üye ülkelerinin sıralanması amaçlanmaktadır. Bu çalışmada, literatürde sıkça kullanılan ÇKKA yaklaşımlarından biri olan TOPSIS yöntemi ile G20 ülkeleri enerji üretimlerine göre sıralanmıştır. G20'ye üye ülkeler alternatifleri; fosil yakıtlardan (petrol, doğalgaz ve kömür) elde edilen elektrik enerjisi, yenilenebilir enerji, nükleer enerji ve CO<sub>2</sub> salınımı kriterleri oluşturmaktadır. 2020-2022 yılları arasında her yıl için G20 ülkeleri farklı enerji üretim tiplerine göre iki farklı senaryo altında değerlendirilmiştir. Tüm kriterlerin eşit ağırlığa sahip olduğu ilk senaryoda değerlendirme altındaki yıllarda her yıl için sırasıyla Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Avrupa Birliği (AB) ve Çin en üst sırada yer almıştır. Kriter ağırlıklandırılmasına yönelik çevresel perspektife sahip ikinci senaryoda ise, ilk senaryoya benzer şekilde AB ve ABD ilk iki sırada yer alırken, Fransa sıralamada üçüncü ülke konumundadır. Çalışma kapsamında elde edilen en dikkat çekici bulgu, ilk senaryoda üst sıralarda yer alan Çin ve Suudi Arabistan'ın, çevresel bakış açısı ile

değerlendirilen ikinci senaryoda son sıralarda yer almasıdır. Literatürde yer alan çalışmalardan farklı olarak, bu çalışmada yenilenebilir enerji üretimi, nükleer enerji üretimi ve emisyon değerlerinden oluşan kriterlere daha yüksek ağırlıklar atanarak çevreci bir bakış açısı ile değerlendirmelerde bulunulmuştur.

**Anahtar Sözcükler** : Çok Kriterli Karar Analizi, Enerji Kaynakları, G20 Ülkeleri, TOPSIS, Yenilenebilir Enerji, Sürdürülebilirlik.

## 1. Giriş

21. yüzyılın küreselleşme ortamında, elektrik üretimi doğal gaz, çeşitli yenilenebilir ve geleneksel kaynakların kullanımına çok daha fazla bağımlı olmaya başlamıştır. Enerji üretim yöntemlerinin her birinin farklı maliyetlere sahip oluşu üreticiler için önemli zorluklar yaratmaktadır. Bu zorluklara rağmen enerji piyasaları oldukça rekabetçi bir yapı kazanmıştır (Kaya et al., 2023). Sosyal ve ekonomik gelişmeler uygun enerji planlamasından etkilendiğinden, geçerli enerji politikalarını belirlerken sürdürülebilir enerji alternatiflerini değerlendirmek esastır. Bunun yanı sıra, en uygun ve sürdürülebilir enerji türlerini değerlendirmek ve seçmek karmaşık bir problemdir. Hükümetler ve işletmeler için alınacak önemli kararlar arasında enerji sistemlerinin belirli bir yerde kurulup kurulamayacağı; hangi enerji kaynağının veya kaynakların kombinasyonunun en iyi seçenek olup olamayacağına karar verilmesi yer almaktadır. Karar verme sürecinde çevresel, teknik ve ekonomik hususlar dahil olmak üzere potansiyel olarak birbiriyle çelişebilecek kriterler dikkate alınmaktadır (Karimi et al., 2011). Bu kriterler, enerji politikaları ve enerji ile ilgili karar problemlerinde farklı değişkenleri içermekte ve bu gibi karmaşık durumlarda değerlendirme yapabilmek adına özel teknikler gerekmektedir.

1970'lerin başlarında ortaya konan Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yaklaşımları, problemleri değerlendirmek ve karar alma sürecini çoklu kriterler ile ele almak için kullanılan güçlü araçlardır. ÇKKV, karar süreçlerini yapılandırmayı, alternatifleri tanımlamayı ve seçmeyi, ağırlıklarını belirlemeyi, değer yargularını uygulamayı ve tasarımda karar vermek için sonuçları değerlendirmeyi veya çoklu çelişki ölçütlerine göre alternatifleri seçmeyi içermektedir (Carlsson & Fuller, 1996). Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen İdeal Çözüme Benzerlik ile Tercih Sıralaması Tekniği (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*, TOPSIS), bu tür karar verme problemleri için en iyi bilinen mesafeye dayalı yaklaşımlardan biridir. TOPSIS, alternatifleri pozitif ve negatif ideal çözümlerden geometrik uzaklıklarına göre sıralamaktadır. Literatürde en çok tercih edilen ÇKKV yaklaşımlardan biri olan TOPSIS tekniği enerji, tıp, mühendislik, kimya, üretim sistemleri, güvenlik, çevre ve su kaynakları gibi hayatın çok farklı alanlarında kullanılmaktadır (Zulqarnain et al., 2020). TOPSIS yöntemi ile ülkeler, bölgeler, ekonomik topluluklar kendi aralarında farklı kriterlerin farklı ağırlıklandırılmaları üzerinden sıralanabilmektedir. Bu sıralama ile karşılaştırmalı analiz yapılabilmesi, ele alınan farklı kriterlere ilişkin politika geliştirilmesi ve alternatiflerin performanslarının değerlendirilebilmesi mümkün kılınmaktadır.

G20 (Group of 20), dünyanın en önde gelen gelişmiş ve gelişmekte olan ekonomilerini birbirine bağlayan stratejik çok uluslu bir platformdur. Bununla birlikte, G20 üyeleri dünya genelindeki gayri safi hasılanın %80'inden fazlasını, uluslararası ticaretin %75'ini ve dünya nüfusunun %60'ını temsil etmektedir (G20 Members, 2022). Bu bilgiler ışığında, G20 ülkelerinin gelecekteki küresel ekonomik büyümeyi ve refahı sağlamada stratejik bir role sahip olduğu yorumunda bulunulabilmektedir. Söz konusu stratejik öneminden yola çıkarak, bu çalışma kapsamında yapılan analizlerde G20 ülkeleri karar alternatifleri olarak seçilmiştir. G20'ye üye 20 ülkenin, farklı enerji (Petrolden Elde Edilen Elektrik Enerjisi (TWh), Doğal Gazdan Elde Edilen Elektrik Enerjisi (TWh), Kömürden Elde Edilen Elektrik Enerjisi (TWh), Yenilenebilir Enerji (TWh), Nükleer Enerji (TWh) ve CO<sub>2</sub> Emisyonu (Milyon Ton CO<sub>2</sub>) üretim seviyelerine göre, ÇKKV yaklaşımlarından TOPSIS yöntemiyle sıralanması amaçlanmıştır. Bu çalışmanın temel motivasyonu, literatürdeki çalışmaların G20 gibi büyük ölçekteki ekonomik toplulukların fosil, yenilenebilir, nükleer enerji gibi farklı enerji üretim türlerinin ve CO<sub>2</sub> emisyon değerlerinin birlikte değerlendirilmemiş oluşudur. Sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşabilmek adına dünya genelinde sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması, fosil yakıtların kullanımının azaltılması ve aynı zamanda CO<sub>2</sub> emisyonlarının kontrol altına alınması gerekmektedir. Bu doğrultuda, çalışmada sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşabilmek adına ülkelerin performansları değerlendirilerek politika yapıcıların daha iyi kararlar vermelerine ve daha sürdürülebilir enerji politikalarının geliştirilmesine katkı sağlanabilecektir. Çalışmada, G20 ülkelerine ait 2020-2022 dönemi verileri kullanılmıştır. Zaman periyodu olarak 2020-2022 döneminin seçilmesi ile en güncel veriler kullanılarak G20 ülkelerinin farklı enerji üretim türlerine göre sıralamadaki değişmelerin izlenebilmesi hedeflenmiştir. Bu veriler üzerinden farklı kriter ağırlıklandırılmaları yapılarak eşit ağırlıklı ve çevre odaklı olmak üzere iki farklı perspektif ele alınmış ve bu iki perspektif üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. G20 ülkelerinin enerji türlerine göre TOPSIS yöntemi ile iki farklı senaryo üzerinden değerlendirilmesiyle hem akademik literatüre katkı sağlanması hem de enerji sektöründeki karar vericilere ve yatırımcılara yol gösterebilmesi amaçlanmıştır.

Çalışma şu şekilde organize edilmiştir: İkinci bölümde, Çok Kriterli Karar Verme tekniklerinin kullanıldığı enerji kararı problemleri üzerinde geçmiş yıllarda yapılmış çalışmalara ilişkin bir literatür çalışması yer almaktadır. Üçüncü bölümde, Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri ile ilgili genel bilgiler verilmiş ve TOPSIS yöntemi açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, TOPSIS yöntemi kullanılarak yapılan farklı enerji üretim düzeylerine göre G20 üyesi 20 ülkenin sıralama problemi ve bulguları ele alınmıştır. Sonuç bölümünde ise, çalışma kapsamında gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre genel değerlendirmeler ve tartışmalar sunulmuştur.

## 2. Literatür

Genel olarak, enerji politikası ve enerji ile ilgili karar verme problemlerinin değerlendirilmesi, farklı parametre ve amaçları içeren çok boyutlu karmaşık analizlerdir. Bu problemlerin çözümünde ÇKKV teknikleri uygulanarak çeşitli amaç, boyut ve kriterlere göre enerji kaynakları, enerji teknolojileri ve enerji projeleri sıralanarak güvenilir bir çözüm

yaklaşımı sağlanabilmektedir. Enerji kararları alabilmek adına, literatürde enerji planlaması, kaynak tahsisi ve politika oluşturma gibi birçok alanda ÇKKV yöntemleri yaygın olarak uygulanmaktadır (Wang et al., 2009). Bu doğrultuda, literatürdeki enerji ile ilgili karar verme problemlerini çözebilmek için ÇKKV yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar incelenmiştir. İncelenen çalışmalar kullanılan ÇKKV yöntemi, bölgeler, ele alınan enerji türü ve odak noktalarına göre detaylandırılarak Tablo 1’de sunulmaktadır.

**Tablo: 1**  
**Enerji Alanında ÇKKV Uygulamaları**

Çalışma	Yöntem	Ülke/Bölge	Enerji Türü		Odak
			Yenilenebilir	Fosil Yakıtlar	
Kim vd., 1999	AHP	Güney Kore		✓	Nükleer yakıt çevrimi seçimi
Kablan, 2004	AHP	Ürdün	✓		Enerji politikası
Önüt vd., 2008	ANP	Türkiye		✓	İmalat sanayiinde enerji kaynaklarının değerlendirilmesi
Ren vd., 2009	AHP, PROMETHEE	Japonya	✓		Sürdürülebilir konut enerjisi sisteminin değerlendirilmesi
Oberschmidt vd., 2010	PROMETHEE	Almanya	✓		Enerji teknolojilerinin değerlendirilmesi
San Cristóbal, 2012	Hedef Programlama	İspanya	✓		Yenilenebilir enerji planlaması
Boran vd., 2013	AHP, TOPSIS	Türkiye	✓	✓	Nükleer enerji ve mevcut enerji kaynaklarının karşılaştırılması
Brand & Missaoui, 2014	TOPSIS	Tunus	✓	✓	Farklı elektrik sistemi dönüşüm stratejilerinin değerlendirilmesi
Bagočius vd., 2014	SAW, TOPSIS, COPRAS	Litvanya		✓	Sıvılaştırılmış doğal gaz için yer seçimi
Georgiou vd., 2015	AHP, PROMETHEE	Ege Adaları / Yunanistan	✓		Enerji üretim alanlarının değerlendirilmesi
Sánchez-Lozano vd., 2016	AHP, ELECTRE, TOPSIS	İspanya	✓		Fotovoltaik güneş enerjisi için yer seçimi
Baležentis & Streimikiene, 2017	WASPAS, ARAS, TOPSIS	AB	✓		Enerji politikası
Lee & Chang, 2018	WSM, VIKOR, TOPSIS, ELECTRE	Tayvan	✓		Yenilenebilir enerji kaynaklarının sıralanması
Ishfaq vd., 2018	AHP, TOPSIS, VIKOR	Pakistan	✓		Optimum yenilenebilir enerji kaynağı seçimi
Zhang vd., 2019	TOPSIS, EDAS, WASPAS	Litvanya	✓		Mikro üretim teknolojilerinin seçimi
Seddiki & Bennadji, 2019	Bulanık DELPHI, Bulanık AHP, Bulanık PROMETHEE	Cezayir	✓		Yerleşim yerlerinde optimum enerji alternatiflerinin seçimi
Li vd., 2020	ANP, WSM, TOPSIS, PROMETHEE, ELECTRE, VIKOR	Çin	✓		Yenilenebilir enerji sıralaması
Alizadeh vd., 2020	ANP	İran	✓		Yenilenebilir enerji politikası
Krysiak & Kluczek, 2021	AHP	Polonya	✓		Enerji politikası
Wang vd., 2021	G-AHP, WASPAS	Vietnam	✓		Uygun yenilenebilir enerji kaynaklarının seçimi
Goswami vd., 2022	MEREC, PIV	Hindistan	✓		Yeşil yenilenebilir enerji kaynağı seçimi
Sarkodie vd., 2022	CRITIC, MOORA, TOPSIS ve COPRAS	Gana	✓		Yenilenebilir Enerji kaynaklarının değerlendirilmesi
Brodny & Tutak, 2023	CODAS, EDAS, TOPSIS, VIKOR ve WASPAS	AB Ülkeleri	✓		Enerji ve iklim sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesi
Gökgöz & Yalçın, 2023	SAW, MARCOS ve CODAS	AB Ülkeleri	✓	✓	Enerji güvenliği politikasının incelenmesi
Hasheminasab vd., 2023	MARCOS	AB Üyeleri	✓		Enerji yoksulluğu değerlendirmesi

*Kısaltmalar: AB: Avrupa Birliği, AHP: Analytic Hierarchy Process, ANP: Analytic Network Process, ARAS: Additive Ratio Assessment System, CODAS: Combinative Distance-based Assessment, COPRAS: Complex Proportional Assessment, EDAS: Evaluation based on Distance from Average Solution, ELECTRE: Élimination Et Choix Traduisant la Réalité, MARCOS: Measurement of alternatives and ranking according to Compromise solution, MEREC: Method based on the Removal Effects of Criteria, PIV: Proximity Indexed Value, PROMETHEE: Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations, SAW: Simple Additive Weighting Method, TOPSIS: Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution, VIKOR: ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje, WSM: Weighted Sum Model, WASPAS: Weighted Aggregated Sum Product Assessment.*

Tablo 1’de sunulan dünyanın farklı bölgelerinde uygulama alanı bulan çalışmalarda, enerji ile ilgili karar verme problemleriyle başa çıkabilmek adına farklı ÇKKV yöntemleri kullanılmıştır. Söz konusu çalışmalarda çoğunlukla, TOPSIS ve VIKOR gibi mesafe tabanlı, AHP ve ANP gibi ikili karşılaştırmalara dayalı yöntemlerin ve sıralama tabanlı PROMETHEE ve ELECTRE yöntemlerinin kullanıldığı gözlenmiştir. Ek olarak, bazı çalışmalarda “Bulanık” ve “Gri” yöntemlerin de kullanıldığı görülmüştür (Seddiki & Bennadji, 2019; Wang et al., 2021). Bu yöntemlerin dışında, VIKOR, SAW, COPRAS, WASPAS, ARAS, EDAS, MEREC ve PIV gibi farklı yöntemler de kullanılmıştır (Bagočius et al., 2014; Baležentis & Streimikiene, 2017; Zhang et al., 2019; Goswami et al., 2022).

Tablo 1’de görüldüğü üzere, incelenen çalışmaların büyük bir çoğunluğunda enerji türü olarak yenilenebilir enerji ele alınırken, bazı çalışmalarda fosil yakıtlardan elde edilen enerji ele alınmıştır (Kim et al., 1999; Önüt et al., 2008; Boran et al., 2013; Brand & Missaoui, 2014). Bu noktada, özellikle son yıllarda yapılan ÇKKV çalışmalarının yenilenebilir enerji alternatifleri üzerine olduğu, sıralamaların birden fazla ÇKKV tekniği kullanarak yapıldığı ve tek bir ülke yerine ülkeler topluluğunun değerlendirildiği dikkat çekmektedir (Sarkodie et al., 2022; Brodny et al., 2023; Gökgez & Yalçın, 2023). Enerji alanında yapılan ÇKKV uygulamaları incelendiğinde, literatürdeki çalışmalarda fosil yakıtlar ve yenilenebilir enerji türlerinin birlikte değerlendirildiği çalışma sayısının çok az olduğu görülmüştür (Boran et al., 2013; Brand & Missaoui, 2014).

Bu çalışmada, dünyanın en önde gelen ekonomilerinin oluşturduğu G20 ülkeleri farklı enerji üretim kaynaklarına göre ÇKKV yöntemleri kapsamında sıralanarak, çevre ve sürdürülebilirlik odaklı bakış açısı ve fosil yakıtlardan uzaklaşma vurgusu ile değerlendirilmektedir. İncelenen literatürde, farklı enerji üretim türlerine ek olarak CO<sub>2</sub> emisyon değerlerinin kriter olarak bir arada değerlendirildiği bir çalışmanın bulunmayışından ötürü, bu çalışmanın literatürde bu alandaki boşluğu doldurarak diğer çalışmalarda da farklı alanlardaki performans değerlendirmesine yardımcı olabileceği düşünülmektedir.

G20 ülkelerinin enerji üretim kaynaklarına ve CO<sub>2</sub> emisyonuna göre TOPSIS yöntemi ile sıralanması, özellikle, enerji sektöründeki dönüşüm, yenilikçilik ve iklim değişikliği ile mücadele konularında literatüre önemli katkılar sağlayabilir. Bu çalışma, enerji politikalarının tasarımı, uygulanması ve yönetimi açısından önemli bilgiler sunabilir. Ayrıca, farklı ülkelerin enerji üretiminde güçlü ve zayıf yönlerini ortaya çıkararak, ülkeler arasında karşılaştırmalar yapılmasına olanak sağlayabilmektedir. Ek olarak, enerji politikalarının tasarımı, uygulanması ve yönetimi konusunda yol gösterici olabilir ve enerji sektöründe veri toplama ve yönetimi konusunda önemli bir örnek teşkil edebilir.

### 3. Yöntem

Karar vericiler alternatifler arasında seçim yaparken farklı hedefleri gerçekleştiren, bazen de birbiri ile çelişen seçenekler arasında en uygun olanı bulmak zorundadır ve bu durum karar vericiler için zorlayıcı bir iştir. Bu nedenle birçok karar verici bu gibi

problemlerle başa çıkabilmek adına Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Yöntemlerini uygulamaktadır.

Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA) veya Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV), sınırlı sayıda kararın ve alternatifin, bir veya birden çok karar verici tarafından, sınırlı sayıda performans kriteri altında subjektif değerlendirmesini desteklemek için matematiksel araçlar tasarlamakla ilgilenen yönelem araştırmasının bir alt dalıdır (Lootsma, 1999). ÇKKA/ÇKKV, yazılım, iktisat, bilgi teknolojileri ve davranış teorisi de dahil olmak üzere birçok farklı alandaki bilgileri kullanmaktadır. ÇKKV 1960'lerden bu zamana kadar üzerinde çokça yoğunlaşılan bir çalışma alanı olmuştur ve birçok teorik ve uygulamalı araştırma ve uygulama çalışması üretilmiştir (Roy, 2005). ÇKKV yöntemleri genellikle, bir alternatif tercihi belirlemek, alternatifleri kategorize etmek ve/veya bunları subjektif bir biçimde sıralamak için geliştirilmiştir.

Gerçek hayattaki karar problemlerini çözmek için geliştirilen çok sayıda ÇKKV yöntemi arasında, TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), Hwang ve Yoon (1981) tarafından çözüm alternatifinin pozitif ideal çözüme en kısa mesafe ve negatif ideal çözüme en uzak mesafe düşüncesine göre oluşturulmuştur. Hwang ve Yoon (1981) TOPSIS'i sınırlı sayıda kriterle en iyi alternatifin seçimine alternatif bir yöntem olarak önermiş ve bu yöntem ilerleyen zamanlarda araştırmacılar tarafından oldukça ilgi görmüş ve geliştirilerek sıklıkla uygulanan bir yöntem haline gelmiştir.

Metodolojik anlamda basit bir sıralama yöntemi olan TOPSIS, aynı anda fayda kriterlerini maksimize ve maliyet kriterlerini minimize eden pozitif ideal çözüme en kısa mesafeye ve maliyet kriterlerini maksimize ve fayda kriterlerini minimize eden negatif ideal çözüme en uzak mesafeye sahip alternatifleri bulmaya çalışmaktadır. Yöntem, öznelik bilgisini tam olarak kullanır, alternatiflerin temel bir sıralamasını sağlamakta ve öznelik tercihlerinin bağımsız olmasını gerektirmemektedir (Chen & Hwang, 1992). Bu tekniği uygulamak için kriter değerleri sayısal, monoton artan veya azalan, ağırlıklandırılmış ve ölçülebilir nitelikte olmalıdır (Yoon & Hwang, 1995).

Yöntemde, öncelikle başlangıç karar matrisi oluşturulmakta ve başlangıç karar matrisinin oluşturulmasını takiben ilk adım olarak karar matrisinin normalize edilmesi işlemi yapılmaktadır. Bunu, ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinin oluşturulması, pozitif ve negatif ideal çözümlerin belirlenmesi ve her bir alternatif için uzaklık ölçülerinin hesaplanması takip etmektedir. Yöntem, göreceli yakınlık katsayısının hesaplanmasıyla sonuçlandırılmaktadır. Alternatifler kümesi, yakınlık katsayısının azalan sırasına göre sıralanabilmektedir. Hesaplama kullanılan formülasyonlar aşağıda adım adım açıklanmaktadır (Chen & Hwang, 1992; Jahanshahloo et al., 2006).

*Adım 1: Karar matrisinin oluşturulması ve kriter ağırlıklarının belirlenmesi:*

$$x_{ij} \in R \text{ ve } w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1 \text{ olmak üzere;}$$

$X = (x_{ij})$  karar matrisi ve  $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]$  ağırlık vektörüdür.

Fonksiyonların kriterleri şunlar olabilir: Fayda fonksiyonları (Daha fazlası daha iyidir.) veya Maliyet Fonksiyonları (Daha azı daha iyidir.)

**Adım 2:** Normalize edilmiş karar matrisinin hesaplanması. Normalize değer ( $n_{ij}$ ) şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_i^m x_{ij}^2}} \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (1)$$

**Adım 3:** Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinin hesaplanması. Ağırlıklandırılmış normalize değer ( $v_{ij}$ ) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$v_{ij} = w_j \times n_{ij} \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (2)$$

( $w_j$ ; j. kriterin ağırlığıdır ve  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$  dir.)

**Adım 4:** Pozitif ideal ve negatif ideal çözümlerin belirlenmesi:

Pozitif ideal çözüm  $A^+$ :

$$A^+ = \{(maks \ v_{ij} \ | \ j \in I), (maks \ v_{ij} \ | \ j \in J), i = 1, 2, \dots, m\} = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\} \quad (3)$$

Negatif ideal çözüm  $A^-$ :

$$A^- = \{(min \ v_{ij} \ | \ j \in I), (maks \ v_{ij} \ | \ j \in J), i = 1, 2, \dots, m\} = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \quad (4)$$

$I$  fayda kriterleri ve  $J$  maliyet kriterleri ile ilişkilidir.

**Adım 5:** Her bir alternatifin sırasıyla pozitif ideal ve negatif ideal çözüme olan uzaklığının hesaplanması.

$$d_i^+ = [\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2]^{1/2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

$$d_i^- = [\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2]^{1/2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

**Adım 6:** İdeal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması. Buna göre her bir alternatifin göreli yakınlığı şöyle tanımlanmaktadır:

$$R_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad 0 \leq R_i \leq 1; \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

**Adım 7:** En büyük  $R_i$  değerlerine göre tercihlerin sıralanması veya  $I$ 'e en yakın alternatifin seçilmesi:

Artık bir dizi alternatif,  $R_i$  değerinin azalan sırasına göre sıralanabilir.

#### 4. Bulgular

Bu çalışma kapsamında, *British Petrol (BP)* resmî web sitesinde yayımlanan ve kullanıcılara açık kaynak olarak sunulan "*BP Statistical Review of World Energy 2023*" raporu temel alınarak, 2020-2022 dönemleri arasında 20 adet G20 üyesi ülkenin enerji üretim tiplerine göre yıllık enerji üretim verileri elde edilmiştir. Farklı enerji üretim seviyelerine göre ülkelerin sıralanması literatürde en sık kullanılan Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden TOPSIS yaklaşımı ile gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, 20 adet ülke karar alternatifleri ve farklı enerji üretim tipleri kriterler olarak tanımlanmıştır. TOPSIS yaklaşımı kapsamında kurulan modeller, *MS Excel*'in bir eklentisi olan *SolverStudio* platformunda *Python* programlama dili ile kodlanarak çözülmüştür. Farklı kriter ağırlıklandırılmaları yapılarak iki farklı senaryo (Eşit-ağırlıklı & Çevre odaklı) üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Karar alternatifleri olarak seçilen 20 adet G20 üyesi ülkesi Tablo 2'de listelenmektedir.

**Tablo: 2**  
**TOPSIS Modelinin Karar Alternatifleri**

<b>A1:</b> Almanya	<b>A11:</b> Güney Afrika
<b>A2:</b> Amerika Birleşik Devletleri	<b>A12:</b> Güney Kore
<b>A3:</b> Arjantin	<b>A13:</b> Hindistan
<b>A4:</b> Avrupa Birliği	<b>A14:</b> İtalya
<b>A5:</b> Avustralya	<b>A15:</b> Japonya
<b>A6:</b> Birleşik Krallık	<b>A16:</b> Kanada
<b>A7:</b> Brezilya	<b>A17:</b> Meksika
<b>A8:</b> Çin	<b>A18:</b> Rusya
<b>A9:</b> Endonezya	<b>A19:</b> Suudi Arabistan
<b>A10:</b> Fransa	<b>A20:</b> Türkiye

Analizlerde değerlendirme kriterleri olarak farklı enerji üretim tipleri seçilmiştir. Tablo 3'te değerlendirme kriterleri verilmektedir.

**Tablo: 3**  
**TOPSIS Modelinin Değerlendirme Kriterleri**

<b>C1:</b> Elektrik Üretimi - Petrol (TWh)
<b>C2:</b> Elektrik Üretimi - Doğal Gaz (TWh)
<b>C3:</b> Elektrik Üretimi - Kömür (TWh)
<b>C4:</b> Yenilenebilir Enerji Üretimi (TWh)
<b>C5:</b> Nükleer Enerji Üretimi (TWh)
<b>C6:</b> CO <sub>2</sub> Emisyonları (Milyon Ton CO <sub>2</sub> )

Çalışma kapsamında kurulan iki ayrı TOPSIS modeli iki farklı senaryoyu temsil etmektedir. Her iki senaryonun ağırlık değerleri ve tipleri Tablo 4'te sunulmaktadır. Eşit ağırlıklandırma senaryosunda (Senaryo 1), tüm değerlendirme kriterleri toplamaları 1 olacak şekilde eşit ağırlıklara bölünmüştür. Çevre odaklı senaryoda (Senaryo 2) ise farklı fosil yakıtlardan (petrol, doğal gaz ve kömür) elektrik üretim kriterleri 0,033 (0,10/3) oranında; yenilenebilir enerji üretimi, nükleer enerji üretimi ve CO<sub>2</sub> emisyonları ise 0,30 oranında ağırlıklandırılmıştır. Her iki senaryoda da ağırlıklandırma tipleri enerji üretimleri için maksimize edilirken, CO<sub>2</sub> emisyonları için minimize edilmektedir.



**Tablo: 4**  
**Eşit-Ağırlık (Perspektif 1) ve Çevresel (Perspektif 2) Perspektiflerin Kriter Ağırlıkları ve Tipleri**

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Ağırlıklar (Senaryo 1)	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167
Ağırlıklar (Senaryo 2)	0.033	0.033	0.033	0.300	0.300	0.300
Ağırlık Tipi	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Min

Hem eşit-ağırlık hem de çevre odaklı perspektif ile oluşturulan her iki senaryoda da fosil yakıtlardan (petrol, doğalgaz ve kömür) üretilen elektrik, yenilebilir enerji ve nükleer enerji üretimi kriterleri “fayda kriteri”, çevreye olan olumsuz etkilerinden dolayı minimize edilen CO<sub>2</sub> salınımı ise “maliyet kriteri” olarak kabul edilmiştir.

Eşit-ağırlık senaryosu ve çevre odaklı senaryo için TOPSIS modelinin ilk aşaması olarak karar matrisi oluşturulmuş, ikinci olarak normalize karar matrisi hesaplanmış ve sonrasında ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi hesaplanmıştır (Hesaplanan normalize ve ağırlıklandırılmış normalize karar matrisleri Ekler bölümünde sunulmaktadır). Ardından pozitif ve negatif ideal çözümler belirlenmiştir. Söz konusu iki senaryo için de G20 ülkeleri için 2020-2022 verileri üzerine TOPSIS modelinin tüm adımları sırasıyla uygulanarak 6 kriter ve 20 alternatife göre her bir alternatifin ideal çözüme göreceli yakınlık katsayıları bulunmuş ve bu katsayılar göre alternatifler sıralanmıştır. Eşit-ağırlık senaryosu için alternatiflerin yakınlık katsayıları, pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkları ve sıralamaları Tablo 5’te sunulmaktadır.

**Tablo: 5**  
**2020-2022 Döneminde Eşit-Ağırlık Senaryosunda Alternatiflerin İdeal Çözüme göre Sıralanması**

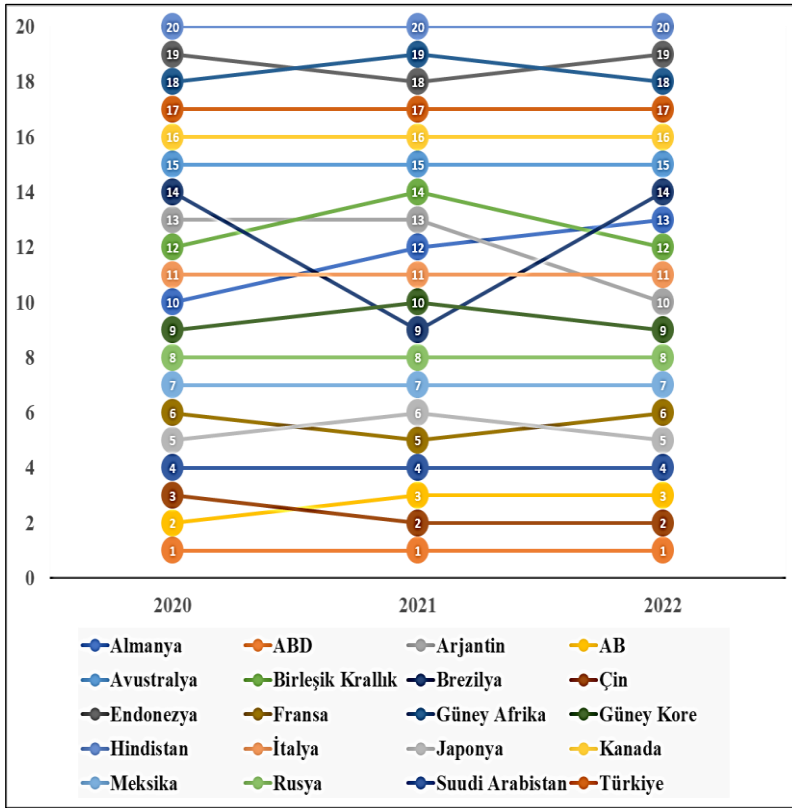
	2020				2021				2022			
	S <sup>+</sup>	S <sup>-</sup>	C <sup>+</sup>	Sıra	S <sup>+</sup>	S <sup>-</sup>	C <sup>+</sup>	Sıra	S <sup>+</sup>	S <sup>-</sup>	C <sup>+</sup>	Sıra
A1	0.283	0.137	0.326	10	0.288	0.136	0.320	12	0.292	0.135	0.316	13
A2	0.195	0.215	0.524	1	0.202	0.210	0.510	1	0.195	0.215	0.524	1
A3	0.296	0.140	0.321	13	0.298	0.140	0.320	13	0.298	0.140	0.319	10
A4	0.208	0.180	0.464	2	0.212	0.175	0.452	3	0.212	0.168	0.442	3
A5	0.295	0.137	0.317	15	0.300	0.137	0.314	15	0.301	0.136	0.312	15
A6	0.291	0.139	0.323	12	0.296	0.138	0.318	14	0.297	0.138	0.317	12
A7	0.292	0.137	0.319	14	0.289	0.138	0.323	9	0.296	0.136	0.315	14
A8	0.238	0.201	0.458	3	0.236	0.210	0.470	2	0.233	0.213	0.477	2
A9	0.295	0.134	0.312	19	0.299	0.135	0.311	18	0.300	0.132	0.306	19
A10	0.282	0.147	0.342	6	0.290	0.147	0.336	5	0.291	0.144	0.331	6
A11	0.299	0.136	0.312	18	0.303	0.136	0.310	19	0.304	0.136	0.309	18
A12	0.282	0.136	0.326	9	0.286	0.136	0.323	10	0.286	0.137	0.323	9
A13	0.273	0.117	0.299	20	0.279	0.117	0.295	20	0.279	0.116	0.293	20
A14	0.290	0.139	0.323	11	0.294	0.139	0.320	11	0.296	0.138	0.318	11
A15	0.257	0.139	0.351	5	0.268	0.136	0.336	6	0.266	0.137	0.340	5
A16	0.292	0.135	0.317	16	0.297	0.136	0.313	16	0.299	0.135	0.311	16
A17	0.278	0.142	0.338	7	0.284	0.140	0.330	7	0.284	0.140	0.330	7
A18	0.268	0.131	0.328	8	0.274	0.132	0.325	8	0.275	0.133	0.326	8
A19	0.258	0.198	0.434	4	0.260	0.202	0.437	4	0.264	0.195	0.424	4
A20	0.297	0.137	0.315	17	0.300	0.137	0.313	17	0.301	0.136	0.311	17

Eşit ağırlıklandırmanın temel alındığı Tablo 5’teki sonuçlara göre Amerika Birleşik Devletleri’ni temsil eden A2 alternatifi 2020-2022 yılları arasındaki üç yıllık dönemde ilk sırada yer almıştır. Bununla birlikte, A4 (Avrupa Birliği) alternatifi 2020 yılında ikinci

sırada iken, 2021 ve 2022 yıllarında üçüncü sıraya gerilemiştir. A8 (Çin) alternatifi ise 2020 yılında üçüncü sırada yer alırken, 2021 ve 2022'de ikinci sıraya yükselmiştir. Benzer şekilde, Suudi Arabistan'ın (A19) tüm dönemlerde dördüncü sırada yer aldığı görülmüştür. A13 (Hindistan) ise 2020-2022 döneminde üç yılda da 20 ülke arasında sonuncu sırada yer aldığı tespit edilmiştir. Türkiye (A20) ise bu senaryoya göre 2020-2022 arası tüm yıllarda on yedinci sırada yer almıştır.

Şekil 1 ile eşit ağırlık senaryosu için alternatiflerin yıllar içinde sıra değişimleri gösterilmektedir.

Şekil: 1  
Eşit-ağırlık Senaryosunda Alternatiflerin Sıra Değişimleri



Şekil 1'e göre eşit-ağırlık perspektifinde alternatiflerin %40'ının sıralamasının ele alınan üç yıl boyunca değişmediği tespit edilmiş, diğer alternatiflerin sıralamalarında ise dikkat çekici bir değişme gözlenmemiştir. Çevre odaklı bakış açısı ile oluşturulan ikinci senaryoya göre alternatiflerin sıralama sonuçları Tablo 6'da verilmektedir.

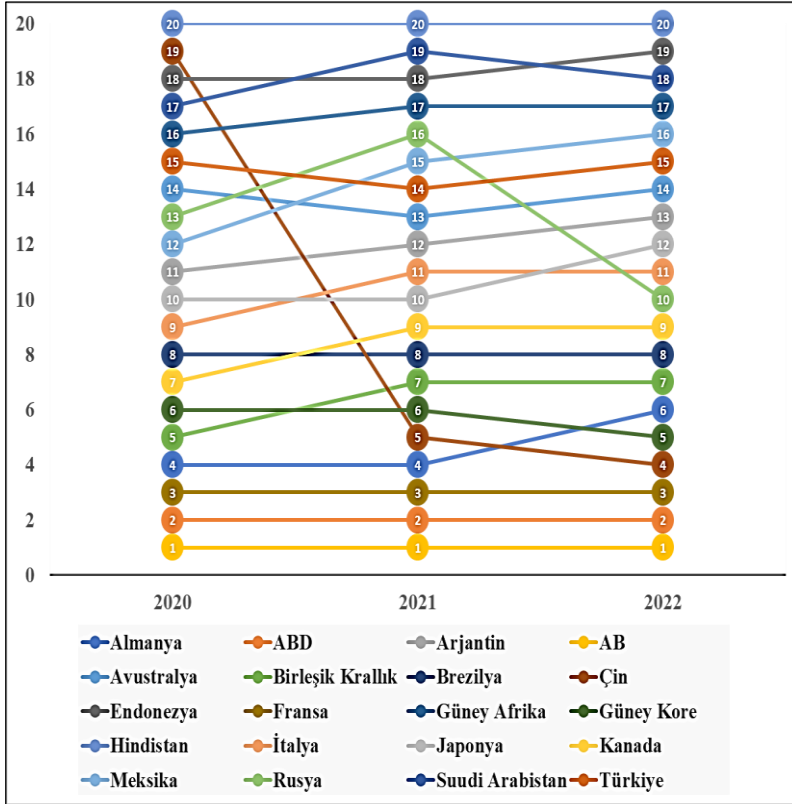
**Tablo: 6**  
**2018-2020 Döneminde Çevresel Perspektif Üzerinde Alternatiflerin İdeal Çözümüne göre Sıralanması**

	2020				2021				2022			
	S <sup>+</sup>	S <sup>-</sup>	C <sup>+</sup>	Sıra	S <sup>+</sup>	S <sup>-</sup>	C <sup>+</sup>	Sıra	S <sup>+</sup>	S <sup>-</sup>	C <sup>+</sup>	Sıra
A1	0.242	0.246	0.504	4	0.259	0.244	0.485	4	0.278	0.242	0.465	6
A2	0.137	0.279	0.671	2	0.155	0.269	0.635	2	0.159	0.278	0.635	2
A3	0.285	0.251	0.468	11	0.296	0.251	0.459	12	0.308	0.250	0.447	13
A4	0.089	0.301	0.772	1	0.113	0.292	0.722	1	0.130	0.279	0.682	1
A5	0.280	0.246	0.467	14	0.291	0.246	0.458	13	0.303	0.245	0.447	14
A6	0.260	0.249	0.489	5	0.276	0.248	0.473	7	0.288	0.247	0.461	7
A7	0.267	0.246	0.479	8	0.277	0.246	0.470	8	0.290	0.245	0.458	8
A8	0.278	0.220	0.442	19	0.271	0.245	0.474	5	0.271	0.254	0.483	4
A9	0.286	0.240	0.457	18	0.295	0.243	0.451	18	0.308	0.238	0.436	19
A10	0.224	0.263	0.541	3	0.241	0.264	0.523	3	0.259	0.259	0.500	3
A11	0.284	0.244	0.462	16	0.296	0.244	0.453	17	0.309	0.244	0.442	17
A12	0.256	0.243	0.488	6	0.271	0.243	0.473	6	0.278	0.244	0.468	5
A13	0.262	0.199	0.432	20	0.273	0.199	0.421	20	0.285	0.195	0.407	20
A14	0.277	0.248	0.472	9	0.290	0.248	0.461	11	0.303	0.247	0.449	11
A15	0.261	0.231	0.469	10	0.271	0.231	0.461	10	0.285	0.230	0.447	12
A16	0.264	0.243	0.480	7	0.279	0.244	0.466	9	0.292	0.243	0.454	9
A17	0.279	0.246	0.468	12	0.291	0.244	0.457	15	0.304	0.242	0.443	16
A18	0.255	0.223	0.467	13	0.269	0.223	0.453	16	0.278	0.226	0.449	10
A19	0.287	0.242	0.458	17	0.298	0.243	0.449	19	0.311	0.241	0.437	18
A20	0.281	0.246	0.467	15	0.291	0.245	0.458	14	0.304	0.245	0.446	15

Kriterlerin çevreci bakış açısı ile ağırlıklandırıldığı ikinci senaryonun sıralama sonuçlarının sunulduğu Tablo 6 incelendiğinde, 2020-2022 döneminde tüm yıllarda Avrupa Birliği (A4) ve Amerika Birleşik Devletleri'nin (A2) ilk iki sırada yer aldığı görülmüştür. İlk senaryoda ikinci ve üçüncü sıralarda yer alan Avrupa Birliği bu senaryoda ilk sıraya yükselirken, Amerika Birleşik Devletleri ikinci sıraya gerilemiştir. Benzer şekilde, Fransa tüm yıllarda üçüncü sırada yer almıştır. Fransa'nın yüksek miktarda nükleer enerji üretimine sahip oluşu ülkeyi sıralamada yukarıya taşımıştır. Eşit-ağırlık perspektifinde değerlendirme altındaki tüm yıllarda üst sıralamada üstte yer alan ülkelerin çevre odaklı senaryoda son sıralarda yer aldığı görülmüştür. Bu ülkelerden Çin (A8) 2020 yılında ve Suudi Arabistan (A19) ise 2020-2022 arası tüm yıllarda çevre odaklı senaryoda son sıralarda yer almıştır. Suudi Arabistan için bu büyük gerilemenin nedeni, G20 ülkelerine göreceli olarak CO<sub>2</sub> emisyonunun yüksek olması ve/veya nükleer ve yenilenebilir enerji üretiminin de düşük olmasıdır. Buradaki en dikkate değer bulgu ise Çin'in 2020 yılında 19. sırada yer alırken, 2021 yılında beşinci ve 2022 yılında dördüncü sıraya yerleşmesidir. Bu ilerleme, büyük ölçüde Çin'in 2020 yılındaki yenilenebilir enerji üretiminin 2021 yılına gelindiğinde yaklaşık %75 oranında artırmasından kaynaklanmaktadır. Eşit-ağırlık senaryosuna benzer şekilde, çevresel senaryoda da Hindistan'ı temsil eden A13 alternatifi de 2020-2022 arası en son sırada yer almıştır. İlk senaryoya kıyasla, Türkiye sıralamada ilerleme kaydederek 2020 ve 2022 yıllarında 15., 2021 yılında ise 14. sırada kendisine yer bulmuştur.

Şekil 2, çevre odaklı senaryodaki alternatiflerin yıllar içinde sıra değişimlerini göstermektedir.

Şekil: 2  
Çevre Odaklı Senaryoda Alternatiflerin Sıra Değişimleri



Şekil 2’de, 2020-2022 periyodunda alternatiflerin %25’inin sıralamasının üç yıl boyunca değişmediği görülmüştür. İlk üç sırada ve son sırada bulunan alternatiflerin tüm yıllarda sıralamalarında değişme olmadığı dikkat çekicidir. Şekil 2 incelendiğinde bu senaryoda, ilk senaryoya kıyasla yıllar içerisinde sıra değişimleri daha yoğun gözlenmiştir. Özellikle Çin (A8) ve Rusya (A18) alternatiflerinin sıralamalarında 2020-2022 döneminde kayda değer değişimler görülmüştür. Bu çarpıcı değişmelerin nedeni, yıllar içerisinde göreceli olarak CO<sub>2</sub> emisyonundaki azalışlar ve yenilenebilir enerji üretimindeki artışlardır.

Tablo 7 ve Tablo 8 ile G20’ye üye ülkelerin 2020-2022 yılları arasında eşit-ağırlık ve çevre odaklı senaryolardaki ülkeler bazında sıralamaları takip edebilmek adına görselleştirilmektedir.

**Tablo: 7**  
**Eşit Ağırlık Senaryosunda Alternatiflerin Sıralamaları**

	2020	2021	2022
Almanya	10	12	13
Amerika Birleşik Devletleri	1	1	1
Arjantin	13	13	10
Avrupa Birliği	2	3	3
Avustralya	15	15	15
Birleşik Krallık	12	14	12
Brezilya	14	9	14
Çin	3	2	2
Endonezya	19	18	19
Fransa	6	5	6
Güney Afrika	18	19	18
Güney Kore	9	10	9
Hindistan	20	20	20
İtalya	11	11	11
Japonya	5	6	5
Kanada	16	16	16
Meksika	7	7	7
Rusya	8	8	8
Suudi Arabistan	4	4	4
Türkiye	17	17	17

**Tablo: 8**  
**Çevre Odaklı Senaryoda Alternatiflerin Sıralamaları**

	2020	2021	2022
Almanya	4	4	6
Amerika Birleşik Devletleri	2	2	2
Arjantin	11	12	13
Avrupa Birliği	1	1	1
Avustralya	14	13	14
Birleşik Krallık	5	7	7
Brezilya	8	8	8
Çin	19	5	4
Endonezya	18	18	19
Fransa	3	3	3
Güney Afrika	16	17	17
Güney Kore	6	6	5
Hindistan	20	20	20
İtalya	9	11	11
Japonya	10	10	12
Kanada	7	9	9
Meksika	12	15	16
Rusya	13	16	10
Suudi Arabistan	17	19	18
Türkiye	15	14	15

2020-2022 döneminde ilk senaryoda tüm kriterler eşit ağırlıklara sahip iken, ikinci senaryoda ise yenilenebilir enerji, nükleer enerji ve CO2 kriterleri, fosil yakıtlardan elde edilen elektrik üretimine göre daha yüksek skorlar ile ağırlıklandırılarak bu senaryo daha çevresel bir bakış açısı ile değerlendirilmiştir. Tablo 7 ve Tablo 8'de G20 ülkelerini ifade eden alternatiflerin ele alınan yıllar içerisindeki sıralamaları görsel olarak izlenebilmektedir. Tablo 7 incelendiğinde, eşit-ağırlık senaryosu altında 20 adet alternatiften 8'inin 2020-2022 döneminde sıralamasının değişmediği gözlenmiştir. Amerika Birleşik Devletleri, Avustralya, Hindistan, İtalya, Kanada, Meksika, Rusya, Suudi Arabistan ve Türkiye olmak üzere bu sekiz ülkenin sırası üç yıllık periyotta değişmemiştir. Çevresel perspektif altındaki alternatif sıralamalarının sunulduğu Tablo 8'e göre ise, 20 adet ülkenin 5'inin ele alınan üç yılda sırası değişmemiştir. İlk senaryoya göre sıralama üzerindeki değişmelerin daha yoğun

olduğu ikinci senaryoda, Avrupa Birliği, Amerika Birleşik Devletleri ve Fransa'dan oluşan sıralamadaki ilk üç ülkenin, sekizinci sıradaki Brezilya'nın ve son sırada yer alan Hindistan'ın üç yıllık dönemde aynı sırada yer aldığı gözlemlenmiştir. Ek olarak eşit-ağırlık senaryosuna göre 2020-2022 döneminde sıralamalardaki ilk onda yer alan ülkelerin 4'ü Avrupa, 4'ü Asya, 2'si Kuzey Amerika ve 2'si Güney Amerika ülkelerinden oluşmaktadır. Çevre odaklı ikinci senaryodaki sıralamada ise 6 Avrupa, 3 Asya, 2 Kuzey Amerika ve 1 Güney Amerika ülkesi sıralamada ilk onda bulunmaktadır. Böylelikle, G20 içerisinde yer alan tüm Avrupa ülkeleri ilk onda yer alırken, Asya ülkelerinin yaklaşık yarısı ilk on sırada yer alamamıştır. Bu sonuçlara göre, Avrupa ülkelerin daha çevreci yaklaşımlar ile enerji üretimi gerçekleştirildiği, Asya ülkelerinde ise enerji üretiminde çevresel açıdan daha zararlı olan fosil yakıtların kullanıldığı yorumu yapılabilmektedir.

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada, G20 üyesi 20 ülke, petrol, kömür ve doğal gaz olmak üzere üç farklı fosil yakıttan elde edilen elektrik üretimi, nükleer ve yenilenebilir enerji üretimi ve CO<sub>2</sub> emisyonları olmak üzere 6 farklı değerlendirme kriterlerine göre, Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri yaklaşımlarından TOPSIS yöntemi kullanılarak sıralanmıştır. 2020-2022 dönemi verileri kullanılmış, farklı kriter ağırlıklandırılmalarına göre iki (Eşit-Ağırlık & Çevresel) perspektif üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır.

Araştırma bulguları kapsamında, her iki perspektifte de Amerika Birleşik Devletleri (Eşit-Ağırlık: 1, Çevresel: 2) ve Avrupa Birliği (Eşit-Ağırlık: 2, Çevresel:1) ilk iki sırada yer almıştır. Çalışmadaki en göze çarpan bulgu, kriterlerin her birinin eşit ağırlıklandırıldığı ilk senaryoda üst sıralarda (ikinci, üçüncü ve dördüncü) yer alan Çin ve Suudi Arabistan'ın, farklı ağırlıklandırma ile kurulan çevresel perspektifteki TOPSIS modelinde son sıralara gerilemesi olmuştur. Bu gerilemenin nedeni olarak, söz konusu ülkelerin yüksek CO<sub>2</sub> emisyon değerlerine ve düşük nükleer enerji üretimine sahip olmaları gösterilebilmektedir. Türkiye'nin sıralaması açısından değerlendirilecek olursa, eşit-ağırlık perspektifi ile kurulan modelde sıralamada sonlarda yer alırken, çevresel perspektifte ise ilerleme kaydederek orta sıralarda yer almıştır. Bunlara ek olarak, değerlendirme altındaki üç yıllık periyotta ilk senaryoda ülkelerin %40'ının, ikinci senaryoda ise ülkelerin %25'inin sıralamadaki yerinin değişmediği gözlenmiştir. Ayrıca, çevre odaklı senaryoda Avrupa ülkelerinin eşit-ağırlık senaryosuna göre sıralamada ilerleme katettikleri, Asya ülkelerinin ise sıralamada geriledikleri görülmüştür. Buna göre, Avrupa ülkelerinin daha çevresel ve sürdürülebilir enerji üretim anlayışı ile hareket ettikleri yorumunda bulunulabilmektedir.

TOPSIS modelinin uygulandığı iki senaryodan birincisinde kriterlerin eşit ağırlıkta tutulması, enerji sektöründe farklı kaynakların kullanımının her biri için eşit öneme sahip olduğunu varsaymıştır. Bu senaryo, enerji sektöründe kullanılan farklı kaynakların etkinliğini ve verimliliğini ortaya çıkarabilme potansiyeline sahiptir. Örneğin, bir ülkenin fosil yakıt kullanımına bağımlılığı yüksek dahi olsa, yenilenebilir enerji kaynaklarını da etkin bir şekilde kullanarak enerji üretiminde başarılı olup olmadığı değerlendirilebilir. Ayrıca, enerji sektörü performansını objektif bir şekilde değerlendirmek için bir temel

oluşturabilir. İkinci senaryoda ise, fosil yakıt kullanımı daha düşük ağırlıklarla değerlendirilmesi, enerji sektöründeki sürdürülebilirlik ve çevre konularına daha fazla önem verildiğini varsayılmıştır. Yenilenebilir enerji, nükleer enerji ve CO<sub>2</sub> emisyonunun daha yüksek ağırlıklı kriterler olarak kullanılmasıyla, enerjide sürdürülebilirlik vurgusunu ön plana çıkarmıştır. Bu senaryo, enerji sektöründe yapılan yatırımların, enerji kaynaklarına ve çevreye verilen önemi dikkate alarak yapılması gerektiğine ilişkin bir farkındalık yaratabilir. Her iki senaryonun da literatüre katkısı, enerji sektöründe kullanılan farklı kaynakların etkinliği ve sürdürülebilirliği konularında yeni bir bakış açısı sunmalarıdır. Bu çalışma, enerji sektöründeki politika yapımcıların, yatırımcıların ve araştırmacıların enerji kaynaklarının kullanımını ve CO<sub>2</sub> emisyonlarını dikkate alarak daha iyi kararlar vermelerine yardımcı olabilir. Ayrıca, enerji alanındaki performans değerlendirme konusunda yapılacak araştırmalara da katkıda bulunabilir.

Bu çalışma, sürdürülebilir enerji alanında ülkeler için alternatif bir sıralama sunması açısından önemlidir. Bu çalışmada gerçekleştirilen analiz, farklı çok kriterli karar verme yöntemleri uygulanarak aynı kriter ve alternatifler üzerinden yapılabilir veya karşılaştırılabilir. Kriter ağırlıklarında farklılıklar üzerinde simülasyonlar yapılarak daha ilginç sonuçlara ulaşılabilir. Ek olarak, bu çalışmadaki ÇKKV modelinde kriter olarak değerlendirilen farklı enerji üretim teknikleri, başka bir çalışmada alternatif olarak değerlendirilip hangi tekniğin daha çok önemsendiğine dair bulgular elde edilebilir. Gelecekteki çalışmalarda, karar vericilerin dilsel ifadelerine yer verilerek, belirsiz karar ortamları için daha güvenilir sonuçlar sağlayan bulanık modeller kullanılabilir. Çalışmanın veri seti, sadece BP'nin 2023 yılı Dünya Enerji Raporuna dayandırılarak oluşturulmuş ve elde edilen ülke enerji verileri ile sınırlı kalmıştır. Enerji üretim düzeylerine göre ülkelerin tercih sıralaması konusunda yapılacak ilerleyen çalışmalarda, farklı kaynaklardan daha fazla ülke verisine ulaşılarak alternatif sayısı artırılabilir ve değerlendirme altındaki dönemlerin sayısı artırılarak daha kapsamlı bir değerlendirme yapılabilir.

## Kaynaklar

- Alizadeh, R. et al. (2020), "Improving renewable energy policy planning and decision-making through a hybrid MCDM method", *Energy Policy*, 137, 111174.
- Bagočius, V. et al. (2014), "Selecting a location for a liquefied natural gas terminal in the Eastern Baltic Sea", *Transport*, 29(1), 69-74.
- Baležentis, T. & D. Streimikiene (2017), "Multi-criteria ranking of energy generation scenarios with Monte Carlo simulation", *Applied Energy*, 185, 862-871.
- Boran, F.E. et al. (2013), "Is nuclear power an optimal option for electricity generation in Turkey?", *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 8(4), 382-390.
- Brand, B. & R. Missaoui (2014), "Multi-criteria analysis of electricity generation mix scenarios in Tunisia", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 251-261.
- Brodny, J. & M. Tutak (2023), "Assessing the Energy and Climate Sustainability of European Union Member States: An MCDM-Based Approach", *Smart Cities*, 6(1), 339-367.
- Carlsson, C. & R. Fullér (1996), "Fuzzy multiple criteria decision making: Recent developments", *Fuzzy Sets and Systems*, 78(2), 139-153.

- Chen, S.J. & C.L. Hwang (1992), "Fuzzy multiple attribute decision making methods", in: *Fuzzy multiple attribute decision making* (289-486), Springer, Berlin, Heidelberg.
- G20 (2022) *About the G20*, <<https://g20.org/about-the-g20/#about>>, 27.01.2022.
- Georgiou, D. et al. (2015), "Multi-criteria decision making on the energy supply configuration of autonomous desalination units", *Renewable Energy*, 75, 459-467.
- Goswami, S.S. et al. (2022), "Selection of a green renewable energy source in India with the help of MEREC integrated PIV MCDM tool", *Materials Today: Proceedings*, 52, 1153-1160.
- Gökgöz, F. & E. Yalçın (2023), "Investigating the energy security performance, productivity, and economic growth for the EU", *Environmental Progress & Sustainable Energy*, e14139.
- Hasheminasab, H. et al. (2023), "A novel energy poverty evaluation: Study of the European Union countries", *Energy*, 264, 126157.
- Hwang, C.L. & K. Yoon (1981), "Methods for multiple attribute decision making", in: *Multiple attribute decision making* (58-191), Springer, Berlin, Heidelberg.
- Ishfaq, S. et al. (2018), "Selection of optimum renewable energy source for energy sector in Pakistan by using MCDM approach", *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 2(1), 61-71.
- Jahanshahloo, G.R. et al. (2006), "An algorithmic method to extend TOPSIS for decision-making problems with interval data", *Applied Mathematics and Computation*, 175(2), 1375-1384.
- Kablan, M.M. (2004), "Decision support for energy conservation promotion: an analytic hierarchy process approach", *Energy Policy*, 32(10), 1151-1158.
- Karimi, A.R. et al. (2011), "Selection of wastewater treatment process based on the analytical hierarchy process and fuzzy analytical hierarchy process methods", *International Journal of Environmental Science & Technology*, 8(2), 267-280.
- Kaya, M. et al. (2023), "Electricity price estimation using deep learning approaches: An empirical study on Turkish markets in normal and Covid-19 periods", *Expert Systems with Applications*, 224, 120026.
- Kim, P.O. et al. (1999), "Selection of an optimal nuclear fuel cycle scenario by goal programming and the analytic hierarchy process", *Annals of Nuclear Energy*, 26(5), 449-460.
- Krysiak, M. & A. Kluczek (2021), "A Multifaceted Challenge to Enhance Multicriteria Decision Support for Energy Policy", *Energies*, 14(14), 4128.
- Lee, H.C. & C.T. Chang (2018), "Comparative analysis of MCDM methods for ranking renewable energy sources in Taiwan", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92, 883-896.
- Li, T. et al. (2020), "The sustainable development-oriented development and utilization of renewable energy industry - A comprehensive analysis of MCDM methods", *Energy*, 212, 118694.
- Lootsma, F.A. (ed.) (1999), *Multi-criteria decision analysis via ratio and difference judgement*, Boston, MA: Springer US.
- Oberschmidt, J. et al. (2010), "Modified PROMETHEE approach for assessing energy technologies", *International Journal of Energy Sector Management*, 4(2), 183-212.
- Önüt, S. et al. (2008), "Multiple criteria evaluation of current energy resources for Turkish manufacturing industry", *Energy Conversion and Management*, 49(6), 1480-1492.



- Ren, H. et al. (2009), "Multi-criteria evaluation for the optimal adoption of distributed residential energy systems in Japan", *Energy Policy*, 37(12), 5484-5493.
- Roy, B. (2005), "Paradigms and challenges", in: *Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys* (3-24), Springer, New York, NY.
- San Cristóbal, J.R. (2012), "A goal programming model for the optimal mix and location of renewable energy plants in the north of Spain", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 4461-4464.
- Sánchez-Lozano, J.M. et al. (2016), "Comparative TOPSIS-ELECTRE TRI methods for optimal sites for photovoltaic solar farms. Case study in Spain", *Journal of Cleaner Production*, 127, 387-398.
- Sarkodie, W.O. et al. (2022), "Decision optimization techniques for evaluating renewable energy resources for power generation in Ghana: MCDM approach", *Energy Reports*, 8, 13504-13513.
- Seddiki, M. & A. Bennadji (2019), "Multi-criteria evaluation of renewable energy alternatives for electricity generation in a residential building", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 110, 101-117.
- Wang, J.J. et al. (2009), "Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2263-2278.
- Wang, C.N. et al. (2021), "A multicriteria decision-making model for the selection of suitable renewable energy sources", *Mathematics*, 9(12), 1318.
- Yoon, K.P. & C.L. Hwang (1995), *Multiple attribute decision making: an introduction*, Sage Publications.
- Zhang, C. et al. (2019), "Probabilistic multi-criteria assessment of renewable micro-generation technologies in households", *Journal of Cleaner Production*, 212, 582-592.
- Zulqarnain, R.M. et al. (2020), "Application of TOPSIS method for decision making", *IJSRMSS International Journal of Scientific Research in Mathematical and Statistical Sciences*, 7(2), 76-81.

## Ekler

### 2020-2022 Döneminde Eşit-Ağırlık ve Çevresel Senaryolara İlişkin Analizlerde Yer Alan Normalize ve Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisleri

Ek Tablo: 1  
2020 Yılına Ait Eşit-Ağırlık ve Çevresel Senaryolar için Normalize Karar Matrisi

Normalize	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A1	0,028	0,046	0,026	0,178	0,052	0,052
A2	0,123	0,878	0,164	0,423	0,675	0,383
A3	0,048	0,040	0,000	0,009	0,009	0,014
A4	0,279	0,279	0,072	0,545	0,559	0,219
A5	0,029	0,027	0,028	0,038	0,000	0,032
A6	0,006	0,058	0,001	0,098	0,041	0,027
A7	0,049	0,028	0,004	0,092	0,012	0,036
A8	0,075	0,125	0,954	0,662	0,297	0,850
A9	0,044	0,026	0,035	0,013	0,000	0,050
A10	0,034	0,018	0,001	0,049	0,287	0,022
A11	0,009	0,001	0,039	0,010	0,013	0,037
A12	0,046	0,077	0,040	0,028	0,130	0,050
A13	0,032	0,036	0,218	0,116	0,036	0,198
A14	0,064	0,069	0,003	0,054	0,000	0,025
A15	0,272	0,179	0,058	0,096	0,035	0,088
A16	0,022	0,036	0,007	0,039	0,079	0,044
A17	0,221	0,092	0,004	0,030	0,009	0,032
A18	0,070	0,245	0,030	0,003	0,175	0,127
A19	0,870	0,105	0,000	0,001	0,000	0,049
A20	0,001	0,035	0,021	0,038	0,000	0,032

Ek Tablo: 2  
2020 Yılına Ait Eşit-Ağırlık Senaryosu için Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi

Ağırlıklandırılmış Normalize	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A1	0,004691	0,007735	0,004357	0,029725	0,008711	0,008657
A2	0,020524	0,146327	0,027285	0,070574	0,112518	0,063793
A3	0,008059	0,006720	0,000079	0,001436	0,001443	0,002349
A4	0,046543	0,046541	0,012071	0,090870	0,093091	0,036510
A5	0,004917	0,004472	0,004620	0,006378	0,000000	0,005328
A6	0,000968	0,009606	0,000176	0,016350	0,006804	0,004571
A7	0,008196	0,004739	0,000740	0,015394	0,002070	0,005976
A8	0,012459	0,020788	0,158965	0,110408	0,049554	0,141683
A9	0,007380	0,004316	0,005847	0,002153	0,000000	0,008300
A10	0,005745	0,002963	0,000164	0,008222	0,047881	0,003594
A11	0,001558	0,000156	0,006543	0,001611	0,002105	0,006219
A12	0,007675	0,012901	0,006740	0,004739	0,021676	0,008270
A13	0,005297	0,005959	0,036373	0,019342	0,006037	0,032952
A14	0,010602	0,011461	0,000540	0,008994	0,000000	0,004110
A15	0,045372	0,029759	0,009659	0,016064	0,005819	0,014698
A16	0,003602	0,005964	0,001150	0,006552	0,013198	0,007409
A17	0,036766	0,015414	0,000612	0,005011	0,001545	0,005342
A18	0,011722	0,040869	0,004924	0,000449	0,029218	0,021214
A19	0,144934	0,017426	0,000000	0,000133	0,000000	0,008170
A20	0,000156	0,005896	0,003428	0,006373	0,000000	0,005289

**Ek Tablo: 3**  
**2020 Yılına Ait Çevresel Senaryo için Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi**

Ağırlıklandırılmış Normalize	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A1	0,000938	0,001547	0,000871	0,053506	0,015680	0,015583
A2	0,004105	0,029265	0,005457	0,127032	0,202533	0,114828
A3	0,001612	0,001344	0,000016	0,002585	0,002597	0,004228
A4	0,009309	0,009308	0,002414	0,163566	0,167563	0,065718
A5	0,000983	0,000894	0,000924	0,011480	0,000000	0,009591
A6	0,000194	0,001921	0,000035	0,029430	0,012247	0,008228
A7	0,001639	0,000948	0,000148	0,027708	0,003726	0,010756
A8	0,002492	0,004158	0,031793	0,198734	0,089198	0,255029
A9	0,001476	0,000863	0,001169	0,003875	0,000000	0,014940
A10	0,001149	0,000593	0,000033	0,014799	0,086186	0,006468
A11	0,000312	0,000031	0,001309	0,002900	0,003790	0,011195
A12	0,001535	0,002580	0,001348	0,008530	0,039017	0,014886
A13	0,001059	0,001192	0,007275	0,034816	0,010867	0,059313
A14	0,002120	0,002292	0,000108	0,016189	0,000000	0,007398
A15	0,009074	0,005952	0,001932	0,028915	0,010474	0,026457
A16	0,000720	0,001193	0,000230	0,011794	0,023756	0,013336
A17	0,007353	0,003083	0,000122	0,009020	0,002781	0,009615
A18	0,002344	0,008174	0,000985	0,000809	0,052592	0,038184
A19	0,028987	0,003485	0,000000	0,000239	0,000000	0,014706
A20	0,000031	0,001179	0,000686	0,011471	0,000000	0,009520

**Ek Tablo: 4**  
**2021 Yılına Ait Eşit-Ağırlık ve Çevresel Senaryolar için Normalize Karar Matrisi**

Normalize	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6
A1	0,026	0,046	0,029	0,139	0,054	0,052
A2	0,117	0,865	0,174	0,403	0,646	0,384
A3	0,074	0,046	0,000	0,011	0,008	0,015
A4	0,269	0,279	0,078	0,470	0,576	0,221
A5	0,027	0,024	0,024	0,040	0,000	0,030
A6	0,010	0,063	0,001	0,076	0,036	0,027
A7	0,115	0,044	0,004	0,094	0,012	0,037
A8	0,067	0,146	0,950	0,744	0,321	0,850
A9	0,038	0,029	0,034	0,020	0,000	0,042
A10	0,012	0,018	0,001	0,040	0,299	0,022
A11	0,018	0,000	0,037	0,010	0,010	0,035
A12	0,041	0,091	0,038	0,026	0,124	0,049
A13	0,013	0,030	0,227	0,112	0,035	0,198
A14	0,068	0,073	0,003	0,044	0,000	0,025
A15	0,193	0,166	0,054	0,088	0,048	0,086
A16	0,016	0,041	0,006	0,032	0,072	0,041
A17	0,187	0,096	0,002	0,031	0,009	0,036
A18	0,046	0,265	0,032	0,004	0,175	0,127
A19	0,898	0,119	0,000	0,001	0,000	0,046
A20	0,002	0,057	0,018	0,041	0,000	0,033

**Ek Tablo: 5**  
**2021 Yılına Ait Eşit-Ağırlık Senaryosu için Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi**

Ağırlıklandırılmış Normalize	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A1	0,004359	0,007666	0,004893	0,023131	0,009066	0,008621
A2	0,019537	0,144147	0,029049	0,067114	0,107633	0,063949
A3	0,012408	0,007634	0,000071	0,001877	0,001334	0,002477
A4	0,044816	0,046576	0,013066	0,078277	0,095963	0,036785
A5	0,004461	0,004043	0,004082	0,006618	0,000000	0,004967
A6	0,001659	0,010456	0,000194	0,012590	0,006020	0,004579
A7	0,019186	0,007382	0,000720	0,015619	0,001929	0,006191
A8	0,011202	0,024372	0,158304	0,123943	0,053444	0,141668
A9	0,006300	0,004776	0,005643	0,003399	0,000000	0,006969
A10	0,001931	0,002996	0,000121	0,006622	0,049754	0,003680
A11	0,003032	0,000000	0,006124	0,001712	0,001620	0,005884
A12	0,006783	0,015119	0,006288	0,004294	0,020724	0,008087
A13	0,002181	0,005080	0,037851	0,018683	0,005760	0,033054
A14	0,011405	0,012224	0,000474	0,007359	0,000000	0,004216
A15	0,032223	0,027681	0,008968	0,014718	0,008029	0,014305
A16	0,002739	0,006800	0,001023	0,005372	0,012064	0,006842
A17	0,031219	0,016083	0,000403	0,005100	0,001564	0,006032
A18	0,007699	0,044133	0,005383	0,000617	0,029167	0,021245
A19	0,149617	0,019883	0,000000	0,000090	0,000000	0,007667
A20	0,000267	0,009438	0,003071	0,006900	0,000000	0,005534

**Ek Tablo: 6**  
**2021 Yılına Ait Çevresel Senaryo için Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi**

Ağırlıklandırılmış Normalize	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A1	0,000872	0,001533	0,000979	0,041635	0,016320	0,015518
A2	0,003907	0,028829	0,005810	0,120805	0,193739	0,115108
A3	0,002482	0,001527	0,000014	0,003378	0,002401	0,004458
A4	0,008963	0,009315	0,002613	0,140899	0,172734	0,066212
A5	0,000892	0,000809	0,000816	0,011912	0,000000	0,008941
A6	0,000332	0,002091	0,000039	0,022661	0,010837	0,008242
A7	0,003837	0,001476	0,000144	0,028115	0,003471	0,011143
A8	0,002240	0,004874	0,031661	0,223098	0,096199	0,255002
A9	0,001260	0,000955	0,001129	0,006119	0,000000	0,012543
A10	0,000386	0,000599	0,000024	0,011919	0,089556	0,006624
A11	0,000606	0,000000	0,001225	0,003082	0,002917	0,010591
A12	0,001357	0,003024	0,001258	0,007729	0,037303	0,014556
A13	0,000436	0,001016	0,007570	0,033630	0,010368	0,059498
A14	0,002281	0,002445	0,000095	0,013246	0,000000	0,007589
A15	0,006445	0,005536	0,001794	0,026493	0,014453	0,025749
A16	0,000548	0,001360	0,000205	0,009669	0,021715	0,012316
A17	0,006244	0,003217	0,000081	0,009180	0,002815	0,010858
A18	0,001540	0,008827	0,001077	0,001110	0,052500	0,038241
A19	0,029923	0,003977	0,000000	0,000162	0,000000	0,013801
A20	0,000053	0,001888	0,000614	0,012420	0,000000	0,009961

**Ek Tablo: 7**  
**2022 Yılına Ait Eşit-Ağırlık ve Çevresel Senaryolar için Normalize Karar Matrisi**

Normalize	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6
A1	0,029	0,038	0,032	0,132	0,029	0,051
A2	0,164	0,876	0,159	0,401	0,689	0,387
A3	0,109	0,039	0,000	0,011	0,006	0,015
A4	0,287	0,268	0,081	0,446	0,516	0,219
A5	0,033	0,022	0,023	0,041	0,000	0,030
A6	0,014	0,060	0,001	0,072	0,040	0,028
A7	0,066	0,020	0,003	0,092	0,012	0,036
A8	0,078	0,140	0,948	0,761	0,355	0,847
A9	0,040	0,027	0,036	0,021	0,000	0,056
A10	0,015	0,023	0,001	0,038	0,250	0,022
A11	0,023	0,000	0,035	0,009	0,009	0,034
A12	0,045	0,084	0,037	0,027	0,149	0,048
A13	0,017	0,023	0,242	0,115	0,039	0,208
A14	0,063	0,075	0,003	0,040	0,000	0,026
A15	0,265	0,154	0,054	0,085	0,044	0,086
A16	0,017	0,039	0,006	0,029	0,074	0,042
A17	0,223	0,093	0,004	0,026	0,009	0,041
A18	0,043	0,258	0,034	0,004	0,190	0,117
A19	0,857	0,130	0,000	0,000	0,000	0,049
A20	0,020	0,035	0,020	0,040	0,000	0,033

**Ek Tablo: 8**  
**2022 Yılına Ait Eşit-Ağırlık Senaryosu için Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi**

Ağırlıklandırılmış Normalize	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A1	0,004786	0,006416	0,005289	0,021952	0,004908	0,008495
A2	0,027346	0,146066	0,026477	0,066787	0,114863	0,064568
A3	0,018125	0,006466	0,000063	0,001805	0,001056	0,002543
A4	0,047775	0,044718	0,013506	0,074415	0,086072	0,036465
A5	0,005420	0,003722	0,003834	0,006844	0,000000	0,005035
A6	0,002282	0,010075	0,000163	0,012023	0,006750	0,004611
A7	0,011028	0,003386	0,000482	0,015272	0,002059	0,005932
A8	0,012972	0,023364	0,158067	0,126887	0,059090	0,141160
A9	0,006623	0,004513	0,006012	0,003523	0,000000	0,009258
A10	0,002543	0,003768	0,000090	0,006309	0,041684	0,003608
A11	0,003915	0,000000	0,005773	0,001516	0,001428	0,005625
A12	0,007515	0,013933	0,006110	0,004425	0,024900	0,007926
A13	0,002754	0,003783	0,040414	0,019116	0,006533	0,034732
A14	0,010505	0,012564	0,000515	0,006684	0,000000	0,004250
A15	0,044204	0,025708	0,009050	0,014113	0,007322	0,014259
A16	0,002903	0,006511	0,000999	0,004832	0,012254	0,006954
A17	0,037237	0,015422	0,000641	0,004289	0,001534	0,006768
A18	0,007234	0,042929	0,005631	0,000691	0,031638	0,019501
A19	0,142894	0,021659	0,000000	0,000078	0,000000	0,008195
A20	0,003376	0,005771	0,003304	0,006623	0,000000	0,005481

**Ek Tablo: 9**

**2022 Yılına Ait Çevresel Senaryo için Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi**

Ağırlıklandırılmış Normalize	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A1	0,000957	0,001283	0,001058	0,039513	0,008834	0,015290
A2	0,005469	0,029213	0,005295	0,120217	0,206753	0,116222
A3	0,003625	0,001293	0,000013	0,003248	0,001901	0,004578
A4	0,009555	0,008944	0,002701	0,133947	0,154929	0,065637
A5	0,001084	0,000744	0,000767	0,012320	0,000000	0,009063
A6	0,000456	0,002015	0,000033	0,021642	0,012149	0,008300
A7	0,002206	0,000677	0,000096	0,027489	0,003706	0,010677
A8	0,002594	0,004673	0,031613	0,228397	0,106362	0,254088
A9	0,001325	0,000903	0,001202	0,006341	0,000000	0,016665
A10	0,000509	0,000754	0,000018	0,011355	0,075032	0,006495
A11	0,000783	0,000000	0,001155	0,002728	0,002571	0,010124
A12	0,001503	0,002787	0,001222	0,007964	0,044819	0,014267
A13	0,000551	0,000757	0,008083	0,034409	0,011760	0,062517
A14	0,002101	0,002513	0,000103	0,012032	0,000000	0,007651
A15	0,008841	0,005142	0,001810	0,025404	0,013180	0,025666
A16	0,000581	0,001302	0,000200	0,008698	0,022057	0,012516
A17	0,007447	0,003084	0,000128	0,007721	0,002762	0,012183
A18	0,001447	0,008586	0,001126	0,001243	0,056949	0,035102
A19	0,028579	0,004332	0,000000	0,000140	0,000000	0,014751
A20	0,000675	0,001154	0,000661	0,011921	0,000000	0,009867