

Araştırma Makalesi / Research Article

AVRUPA BİRLİĞİ ÜLKELERİNİN ENERJİ ARZ GÜVENLİĞİ PERFORMANS ANALİZİ

Yunus Emre BİROL¹ 

ÖZET

Bu çalışmada AB üyesi ülkelerin enerji arz güvenliği performansının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. AB ülkelerinin enerji arz güvenliği performansı açısından düşük riskten yüksek riske doğru sıralanabilmesi amacıyla çok kriterli karar verme tekniği olan COPRAS kullanılmıştır. 2020, 2021 ve 2022 yılları için 27 AB ülkesinin enerji arz güvenliği performansının karşılaştırılması amacıyla çeşitli kriterler belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan kriterler; ithal enerji bağımlılığı, enerji arz çeşitliliği, yenilenebilir enerjinin payı, fosil yakıtların payı, enerji yoğunluğu, enerjinin üretkenliği ve enerji verimliliğidir. Yapılan analiz, ülkeler için mutlak değil üye ülkelere kıyasla nispi bir sıra ortaya koymaktadır. Söz konusu yılların tamamında diğer AB üyesi ülkelere kıyasla enerji arz güvenliği performansı en yüksek ülke Estonya olmuştur. Estonya'nın ardından enerji arz güvenliği performansı yüksek olan diğer ülkeler; İsveç, Letonya Romanya, Danimarka ve Slovenya'dır. Enerji arz güvenliği performansı en düşük olan ülkeler ise Malta, Yunanistan, Belçika, İtalya, Hollanda, Litvanya, İspanya, Güney Kıbrıs Rum Yönetimi ve İrlanda'dır. Ampirik bulgulara göre 2020, 2021 ve 2022 yılları için yapılan enerji arz güvenliği performans sıralamaları genel olarak benzerdir.

Anahtar Kelimeler: Avrupa Birliği, Enerji Arz Güvenliği, Çok Kriterli Karar Verme, COPRAS

JEL Sınıflandırması: C82, F15, F52, Q43

ENERGY SUPPLY SECURITY PERFORMANCE ANALYSIS OF EUROPEAN UNION COUNTRIES

ABSTRACT

This study aims to evaluate the energy supply security performance of EU member countries. COPRAS, a multi-criteria decision-making technique, was used to rank EU countries from low to high risk in terms of energy supply security performance. Various criteria were determined to compare the energy supply security performance of 27 EU countries for the years 2020, 2021, and 2022. The criteria used in the study are; energy imports dependency, diversity index of energy supply, share of energy from renewable sources, share of fossil fuels in gross available energy, energy intensity, energy productivity, and energy efficiency. The analysis performed reveals a relative rank compared to the member countries, not an absolute rank. Estonia has the highest energy supply security performance compared to other EU member countries in all of these years. Other countries with high energy supply security performance are Sweden, Latvia, Romania, Denmark, and Slovenia. The countries with the lowest energy supply security performance are Malta, Greece, Belgium, Italy, the Netherlands, Lithuania, Spain, the Greek Cypriot Administration of Southern Cyprus, and Ireland. According to empirical findings, the energy supply security performance rankings for 2020, 2021, and 2022 are generally similar.

Keywords: European Union, Energy Supply Security, Multi-Criteria Decision Making, COPRAS

JEL Classification Codes: C82, F15, F52, Q43

¹ Doç. Dr., Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, İİBF, Sivas, Türkiye, yebirol@cumhuriyet.edu.tr.

EXTENDED SUMMARY

Research Questions & Purpose

Energy supply security is a concept with political, economic, technical, and environmental dimensions that includes the processes of supplying energy resources from reliable suppliers in a safe, uninterrupted, affordable manner, and by ensuring resource and route diversity. It is clear from the definition that the basic foundations of energy supply security are; suppliers, security, continuity, cost, and diversity. This concept is discussed for countries that have fewer energy resources than their energy needs. There are various indicators for measuring energy supply security, but it is not possible to say that there is only one generally accepted indicator. However, by using some data, inferences can be made about the energy supply security situation of countries.

Energy supply security is the main focus of the European Union (EU) energy policy. The predominance of fossil fuels in energy consumption and the high import dependency in the supply of these energy resources have led to the shaping of the EU energy policy. The EU develops various strategies to eliminate political and economic pressures caused by external dependency in energy consumption and to eliminate environmental problems caused by fossil fuel consumption, sets specific targets for member countries within the framework of these strategies and monitors the achievement of these targets. In this context, domestic, renewable, and alternative energy sources that can substitute imported fossil fuels should be supported, taking into account environmental sensitivities. In addition, the EU's energy supply security capacity can be increased through studies on energy efficiency and energy saving.

Literature Review

There is a general consensus in the literature on the importance of energy supply security for net energy-importing countries. However, there is no consensus on measuring energy supply security as a numerical value. This is due to the fact that many political, economic, and technological factors have an impact on energy supply security. The complex nature of energy supply security makes it difficult to determine this concept with a generally accepted method. Perhaps for this reason, studies on this subject are limited in the literature.

In studies to measure energy supply security, which is affected by many factors, the selected indicators can be averaged or weighted by various methods. In the literature, there are studies on one energy source (especially oil and natural gas) as well as studies on all energy sources. In addition to studies that evaluate the situation of a country in different years, there are also studies that compare different countries for one or more years. It is noteworthy that there are many methodological differences in studies on measuring energy supply security. However, the most important discussion in the literature on energy studies with multi-criteria decision-making methods is the determination of the criteria. Therefore, the most striking point in the literature is the diversity and abundance of the number of criteria.

Previous studies in the literature comparing country performance with multi-criteria decision making methods on energy show that EU countries are an important field of study. The fact that common policies are followed for the harmonization of energy policies brings the EU to the forefront in this regard. The concept of energy is affected by many technical, environ-

mental, economic, political and social variables. This situation leads to the differentiation and diversification of the criteria used in the studies according to the focus of the studies. The most commonly used criteria in the literature are; total energy consumption, energy consumption per capita, share of fossil fuels, share of renewable resources, import energy dependency, energy efficiency, energy density, energy productivity, energy prices, greenhouse gas emissions and energy diversity. Different techniques have been used in weighting the criteria. These techniques are; equal weighting, AHP, Entropy and CRITIC. Various techniques have also been used in the performance ranking of alternative countries. However, the TOPSIS method stands out as the most commonly used method.

Methodology

The EU's energy supply security is determined by the energy supply security of each member country, therefore policies that concern the EU as a whole are handled separately for the member countries. Each member country may have its own strengths and weaknesses in terms of energy supply security. Therefore, determining the energy supply security risk level of member countries with the help of various indicators can contribute to the formation, implementation, and monitoring of the EU energy policy. This study aims to evaluate the energy supply security performance of EU member countries. A multi-criteria decision making technique was used to rank EU countries from low to high risk in terms of energy supply security performance.

For the performance ranking to be made with the COPRAS (Complex Proportional Assessment) method, objective criteria weights were calculated with the Entropy method. Various criteria were determined to compare the energy supply security performance of 27 EU countries for the years 2020, 2021, and 2022. The relevant data was obtained from Eurostat, the official statistical agency of the EU. The criteria used in the study are; energy imports dependency, diversity index of energy supply, share of energy from renewable sources, share of fossil fuels in gross available energy, energy intensity, energy productivity, and energy efficiency. The analysis performed reveals a relative rank compared to the member countries, not an absolute rank. According to the Entropy method, the criterion with the highest weight is energy imports dependency. The total weight of this criterion is 55% for 2020, 83% for 2021, and 71% for 2022. Therefore, it is possible to say that energy imports dependency is a very important indicator for energy supply security. Energy efficiency is the criterion with the lowest weight according to the Entropy result.

Results and Conclusion

As a result of the COPRAS analysis conducted separately for 2020, 2021, and 2022, Estonia has the highest energy supply security performance compared to other EU member countries in all of these years. Other countries with high energy supply security performance are Sweden, Latvia, Romania, Denmark, and Slovenia. The countries with the lowest energy supply security performance are Malta, Greece, Belgium, Italy, the Netherlands, Lithuania, Spain, the Greek Cypriot Administration of Southern Cyprus (GCASC), and Ireland. According to the COPRAS technique, the energy supply security performance rankings for 2020, 2021, and 2022 are generally similar.

Among the criteria used in this study, energy import dependency has the highest weight, therefore, external dependency in energy supply is the determinant in the energy supply security performance ranking. In conclusion, in order to reduce energy vulnerability and expand energy supply security capacity in countries with low energy supply security performance, it is important to increase the use of domestic and renewable energy as an alternative to fossil fuels, to spread energy saving and energy efficiency practices, to use energy resources in a balanced manner, and to distribute risk by ensuring country and route diversity in energy imports.

1. Giriş

Uluslararası enerji piyasası, enerji kaynaklarının alıcı ve satıcılarının bir araya gelmesine ve taraflar arasında ticaretin gerçekleşmesine olanak sağlamayan küresel bir piyasadır. Enerji piyasasında özel veya kamuya ait birçok kuruluş faaliyette bulunmaktadır. Ülkeler, enerji piyasasında hem alıcı hem de satıcı olarak yer alabilir. Bununla beraber bir ülkenin toplam enerji kaynakları ithalatı ihracatını aşıyorsa (ithalat>ihracat) o ülke net enerji ithalatçısı, aksine toplam enerji kaynakları ihracatı ithalatını aşıyorsa (ihracat>ithalat) o ülke net enerji ihracatçısı olarak nitelendirilmektedir. Dolayısıyla bir ülkenin enerji piyasasındaki konumunu değerlendirebilmek için net durumunun ortaya konulması gerekmektedir.

Enerji piyasasındaki alıcıların enerji gereksinimini karşılama ve satıcıların ihtiyaç fazlası enerji kaynaklarını kazanca dönüştürme çabaları uluslararası enerji ticaretine yön vermektedir. Enerji ticareti, satıcıdan alıcıya kadar olan üretim, depolama, dönüştürme, nakliye ve tüketim aşamalarının tamamını kapsayan komplike bir süreçtir. Bu sürecin sağlıklı bir şekilde tamamlanması “enerji güvenliği” kavramını gündeme getirmiştir. Enerji güvenliğinin “enerji arz güvenliği” ve “enerji talep güvenliği” olmak üzere iki alt bileşeni bulunmakta, net enerji ithalatçısı ülkeler için enerji arz güvenliği, net enerji ihracatçısı ülkeler için enerji talep güvenliği ön plana çıkmaktadır. Enerji piyasasında net ithalatçı ülkeler için söz konusu olan enerji arz güvenliği, enerji kaynaklarının güvenilir kanallardan, kesintisiz, çeşitlendirilmiş ve uygun fiyatla temin edilebilmesini, net enerji ihracatçısı ülkeler için önem arz eden enerji talep güvenliği ise enerji kaynaklarının kabul edilebilir fiyatlardan devamlı müşterisinin bulunmasını ifade etmektedir. Enerji kaynaklarının yeryüzünde kıt ve dengesiz dağılıma sahip olması, enerji kaynaklarının alıcı sıkıntısı yaşamamasına yol açmaktadır. Bu nedenle enerji talep güvenliğine kıyasla enerji arz güvenliği kavramı literatürde daha yoğun bir şekilde tartışılmaktadır.

AB (Avrupa Birliği), dünya enerji piyasasının alıcı konumundaki en önemli aktörlerindedir. Ekonomik gelişmişlik düzeyi ve nüfus yapısı dikkate alındığında AB’nin mevcut enerji kaynakları ile enerji gereksinimini karşılamakta yetersiz kalması AB’yi ithal enerji kaynaklarına bağımlı hâle getirmiştir. AB genelinde birincil enerji tüketimi içinde fosil yakıtların ağırlıkta olması ve ithal fosil yakıt bağımlılığının yüksek olması, üye ülkeler için siyasi, ekonomik ve çevresel riskleri ortaya çıkarmıştır. Bu durum, enerji arz güvenliği ve çevresel faktörler bağlamında AB’nin ortak enerji politikası üzerinde belirleyici olmuştur. AB’nin enerji politikası için enerji arz güvenliği tesis edilmesi büyük önem arz etmektedir. Bununla beraber enerji arz güvenliği pahasına enerji tüketiminin neden olduğu sera gazı emisyonu göz ardı edilmemektedir. AB enerji politikasının her bileşeni, enerji tüketiminin çevre üzerindeki etkilerini dikkate alan bir yaklaşım benimsemektedir.

Bu çalışmada çok kriterli karar verme tekniği ile 2020, 2021 ve 2022 yılları yıllık verileri kullanılarak AB ülkelerinin enerji arz güvenliği performanslarının ortaya konulması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda enerji arz güvenliği performansı yüksek ve enerji arz güvenliği performansı düşük ülkeler belirlenebilecektir. Yapılacak analiz ile enerji arz güvenliğinin mutlak anlamda değil nispi olarak üye ülkelere kıyasla tespiti söz konusudur. Çalışmada ilk önce literatürdeki ilgili çalışmalar özetlenecek, ardından metodoloji ve veri seti tanıtılacak son olarak bulgular değerlendirilecektir.

2. Literatür

Enerji arz güvenliğinin net enerji ithalatçısı ülkeler için önemi konusunda genel olarak literatürde konsensüs olduğu söylenebilir. Ancak enerji arz güvenliğinin ölçülmesi ve sayısal bir değer olarak ifade edilmesi konusunda görüş birliği olduğunu söylemek mümkün değildir. Bu durum çok sayıda siyasi, ekonomik ve teknolojik faktörün enerji arz güvenliği üzerinde etkili olmasından kaynaklanmaktadır. Enerji arz güvenliğinin doğası gereği karmaşık bir yapıya sahip olması bu kavramın genel kabul görmüş bir metotla tespit edilmesini güçleştirmektedir. Belki de bu nedenle literatürde bu konuda yapılmış çalışmaların kısıtlı kaldığı görülmektedir. Özellikle 2000’li yılların başından itibaren bu alandaki çalışmalarda artış dikkat çekmektedir. Bu alandaki öncü çalışmalardan biri Kendell (1998) tarafından Amerika Birleşik Devletleri (ABD) üzerine yapılan çalışmadır. Bağımlılık ve kırılabilirlik göstergelerinin fiziksel ve ekonomik boyutlarıyla ele alındığı çalışmada ABD’nin petrol arz güvenliği analiz edilmiştir.

Enerji arz güvenliğinin ölçülmesi için Herfindahl-Hirschman Endeksi kullanan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bunlardan bazıları Blyth & Lefevre (2004), Gupta (2008), Şimşek (2012), Taştan & Birol (2023) tarafından yapılan çalışmalardır. Ayrıca Neumann (2003), Jansen, vd. (2004), Costantini, vd. (2007), Krut, vd. (2009), Cabalu (2010), Birol (2021) ve Yılmaz (2021) çalışmalarında Shannon-Wiener Endeksi’nden yararlanmışlardır. Bu iki endeks, enerji arz güvenliğinin tespit edilmesi için geliştirilmiş olmamakla beraber söz konusu endekslerin bu alana uyarlandığı görülmektedir. Bu çalışmalarda Herfindahl-Hirschman ve Shannon-Wiener endeksleri doğrudan kullanılmış veya bu endeksler yardımıyla farklı endeksler türetilmiştir. Çok sayıda değişkenin enerji arz güvenliğini etkiliyor olması APERC (Asya Pasifik Enerji Araştırmaları Merkezi, 2007), Scheepers, vd. (2007), Gnansounou (2008), Le Coq & Paltseva (2009), Jewell (2011), Martchamadol & Kumar (2012), Cherp & Jewell (2014), Zhang vd. (2022) ve Streimikiene vd. (2023) tarafından yapılan çalışmalardaki gibi bu konuda farklı bakış açılarıyla farklı göstergelerin kullanılmasına yol açmıştır. Bu çalışmalarda kullanılan göstergelerde yazarların konuya bakış açıları belirleyici olmuştur.

Çok sayıda faktörün etkili olması nedeniyle enerji arz güvenliğinin ölçülmesine yönelik çalışmalarda genel olarak seçilen göstergelerin çeşitli yöntemlerle ortalamasının (özellikle aritmetik ve kareli ortalama) alınması veya ağırlıklandırılması (objektif veya subjektif) işlemleri yapılabilmektedir. Literatürdeki çalışmalarda genel olarak değerlendirildiğinde bir enerji kaynağı (özellikle petrol ve doğal gaz) için yapılan çalışmalar olduğu gibi bütün enerji kaynaklarını kapsayan çalışmalar da bulunmaktadır. Ayrıca bir ülkenin farklı yıllardaki durumunu değerlendiren çalışmaların yanı sıra bir veya birkaç yıl için farklı ülkeleri karşılaştıran çalışmalar da söz konusudur. Enerji arz güvenliğinin ölçülmesine yönelik çalışmalarda metodolojik farklılığın çok fazla olduğu dikkat çekmektedir.

Çok kriterli karar verme, çeşitli kriterlerin değerlendirilmesi suretiyle alternatifler arasında seçim yapılmasına olanak sağlayan bir araştırma yöntemidir. Çok kriterli karar verme yöntemleri, alternatiflerin değerlendirilmesinde ve en uygun alternatifin belirlenmesinde karar vericiler tarafından kullanılan birtakım bilimsel araçları içermektedir. Bu yöntemler enerji konusunda karar alma gerektiren problemlerin çözümünde yaygın olarak tercih edilmektedir. Enerji kavramı birçok teknik, çevresel, ekonomik, sosyal ve politik göstergeden etkilenmektedir. Bu karmaşık yapıda farklı kriterlerin analiz edilmesi ve ideal çözüme ulaşılması çok önemli bir konudur. Literatürde enerji konusunda karar alma ve politika oluşturma üzerine yapılmış çalışmalarda öne çıkan çok kriterli karar verme teknikleri; AHP, TOPSIS, ELECTRE ve PROMETHEE olarak ifade edilebilir. Bu yöntemlerin yanı sıra VIKOR, SAW, COPRAS ve WASPAS yöntemlerini kullanan çalışmalar da bulunmaktadır (Kaya vd., 2018: 2345–2347). Bu çalışmada AB ülkelerinin enerji arz güvenliği performans sıralamasının çok kriterli karar verme yöntemi ile belirlenmesi amaçlanmaktadır. Çalışmadaki içeriğe uygun olarak AB ülkelerinin performansını inceleyen, enerji konulu ve çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Makridou vd. (2015), çalışmalarında 26 AB ülkesini enerji verimliliği açısından araştırmayı amaçlamışlardır. 2000–2010 döneminin dikkate alındığı çalışmada 10 tane kriter seçilmiş ve iki aşamalı bir yöntem kullanılmıştır. Kriterler; enerji yoğunluğu, brüt sabit sermaye oluşumunun GSYH'ye oranı, çevre vergilerinin GSYH'ye oranı, enerji kaynak verimliliği, ekonomik büyüme oranı, cari işlemler dengesinin GSYH'ye oranı, işsizlik oranı, sera gazı emisyonunun GSYH'ye oranı, birincil enerji kaynağı göstergesi (1=katı yakıtlar; 2=doğal gaz, petrol, nükleer; 3=yenilenebilir kaynaklar şeklinde) ve ekonomik odak göstergesidir (0=sanayi, 1=hizmetler şeklinde). Veri Zarflama Analizi yöntemi ile hesaplanan veriler, tahmin edilen göreceli önem değerlerine göre UTADIS ile sıralanmıştır. Çalışmada Güney Kıbrıs Rum Yönetimi (GKRY), Fransa, Estonya ve Yunanistan'ın daha iyi performansa; Polonya, Slovenya, Almanya ve Litvanya gibi ülkelerin ise daha düşük performansa sahip olduğu bulunmuştur.

Cucchiella vd. (2017), 2013 verilerine göre 28 AB üyesi ülkenin çevresel ve enerjik performansını karşılaştırmalı olarak ortaya koymayı amaçlamışlardır. Kriter ağırlıklandırma işleminin uzman görüşüne dayanan AHP yöntemine göre yapıldığı çalışmada her bir ülke için çok kriterli karar verme tekniğine dayalı bir sürdürülebilirlik endeks değeri hesaplanmıştır. Çalışmada çevre ve enerji konulu 9 kriter belirlenmiştir. Bu kriterler; sera gazı emisyonu, çevreyi korumaya yönelik hükümet harcamaları, elektrikli ve elektronik ekipmanlardan geri dönüştürülmüş ve yeniden kullanılan atıklar, kullanım ömrü dolmuş araçlardan geri dönüştürülmüş ve yeniden kullanılan atıklar, belediye katı atıklarından geri dönüştürülmüş malzeme, elektrikte yenilenebilir enerjinin payı, ulaşımda yenilenebilir enerjinin payı, ısıtma ve soğutmada yenilenebilir enerjinin payı, belirli bir dönemdeki (2008–2013) birincil enerji tüketiminin yüzde değişimidir. Analiz sonucunda sürdürülebilirlik endeksine göre en yüksek performansa sahip ülke İsveç olup bu ülkeyi Danimarka, Finlandiya ve Avusturya izlemiştir. En düşük performansa sahip ülkeler; Estonya, Malta, Polonya, Slovakya, GKRY ve Macaristan olarak sıralanmıştır.

Siksnyte & Zavadskas (2019), çalışmalarında AB ülkelerindeki elektrik sektörünün sürdürülebilirlik değerlendirmesini yapmayı amaçlamışlardır. 28 AB ülkesinin 2017 verilerini içeren çalışmada 3 başlıkta toplam 8 kriter kullanılmıştır. Kriterler ekonomik, çevresel ve enerji güvenliği başlıklarında gruplandırılmıştır. Ekonomik kriterler, toptan ve perakende (hane halkı) elektrik fiyatlarını içermektedir. Çevresel kriterler, elektrik üretiminde dağıtım ve

dönüşüm kayıpları ve nihai enerji tüketiminde yenilenebilir enerjinin payını kapsamaktadır. Enerji güvenliği kriterleri; kurulu kapasiteye göre elektrik bağlantı hatları, yurt içi üretime göre elektrik talebinin karşılanma oranı ve elektrik ithalatında AB üyesi olmayan ülkelere olan bağımlılık verilerinden oluşmaktadır. Kriterlerin eşit düzeyde ağırlıklandırıldığı çalışmada performans sıralaması TOPSIS yöntemine göre yapılmıştır. Bulgulara göre elektrik sektörü performansı en yüksek olan ülke Slovenya olup bu ülkeyi Lüksemburg, Avusturya, Slovakya, İsveç, Estonya, Danimarka ve Finlandiya izlemektedir. Performansı en düşük olan ülkeler ise sırasıyla Litvanya, Hırvatistan, Yunanistan, Letonya, İtalya, GKRY, İspanya ve Polonya'dır.

Vavrek & Chovancová (2019), 28 AB ülkesinin ekonomik ve çevresel enerji performansını 2008 ve 2016 yılları için karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Çalışmada 7 tane kriter kullanılmış olup bu kriterler; enerji sektörünün karbondioksit yoğunluğu, tüm sektörlerin karbondioksit yoğunluğu, elektrik fiyatları, enerji ithalatı, enerji üretkenliği, toplam enerji tüketimi ve toplam yenilenebilir enerji tüketimidir. Kriterlerin ağırlıklandırılmasının objektif bir yaklaşım olan CV yöntemi ile yapıldığı çalışmada ülkelerin performans sırasının belirlenebilmesi için TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Analiz sonucunda 2008 yılı için en iyi performans gösteren ülkeler sırasıyla İsveç, Finlandiya, Avusturya, Letonya ve Hırvatistan; en kötü performans gösteren ülkeler sırasıyla Lüksemburg, GKRY, İrlanda, Belçika ve Hollanda'dır. 2016 yılı için en iyi performans gösteren ülkeler sırasıyla İsveç, Letonya, Avusturya, Danimarka ve Hırvatistan; en kötü performans gösteren ülkeler sırasıyla Lüksemburg, Estonya, GKRY, Belçika ve Almanya'dır.

Su vd. (2020), çalışmalarında 21 AB ülkesi (Bulgaristan, Finlandiya, GKRY, Hırvatistan, Malta, Yunanistan, Birleşik Krallık hariç) ve Çin'in enerji sektörü gelişiminin sürdürülebilirliğini 2005 ve 2016 dönemleri için karşılaştırmalı olarak analiz etmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada ekonomik, çevresel ve sosyal gösterge başlıklarında 3 ana kriter ve bu kriterlere bağlı alt kriterler belirlenmiştir. Ekonomik gösterge; kişi başına enerji tüketimi, enerji yoğunluğu ve ithal enerji bağımlılığını, çevresel gösterge; sera gazı emisyonunda azalma, nihai enerji tüketiminde yenilenebilir enerjinin payı, birincil enerji tüketiminin azaltılması ve nihai enerji tüketiminin azaltılmasını, sosyal gösterge; hanelerde elektrik fiyatları, hanelerde doğal gaz fiyatları ve kişi başına karbondioksit miktarını içermektedir. Ekonomik gösterge içindeki alt göstergeler 1/3 ile, çevresel gösterge içindeki alt göstergeler 1/4 ile ve sosyal gösterge içindeki alt göstergeler 1/3 ile eşit düzeyde ağırlıklandırılarak üst göstergeler elde edilmiştir. Üst göstergeler de yine eşit düzeyde (1/3) ağırlıklandırılarak her ülke için performans kriterine ulaşılmıştır. VIKOR, TOPSIS ve WASPAS yöntemlerine göre ayrı ayrı hesaplanan performans skorlarından yola çıkarak nihai bir performans sıralamasına ulaşılmıştır. 2005 yılında en iyi sıraya sahip ülkeler sırasıyla Romanya, Çekya, Polonya, Fransa ve Estonya; en kötü sıraya sahip ülkeler sırasıyla Lüksemburg, Çin, İrlanda, İspanya ve Avusturya olarak bulunmuştur. 2016 yılında en iyi sıraya sahip ülkeler sırasıyla Romanya, Letonya, Fransa, İtalya ve İspanya; en kötü sıraya sahip ülkeler sırasıyla İsveç, Lüksemburg, Danimarka, Polonya ve İrlanda'dır. Çin, 2016 yılına 13. sırada yer almıştır.

Tutak vd. (2020), çalışmalarında 2018 yılı verilerine göre ekonomik ve demografik potansiyeli açısından 27 AB ülkesinin sürdürülebilir enerji gelişim düzeyinin incelenmesini amaçlamışlardır. Bu amaç için 4 başlık altında toplam 13 kriter TOPSIS yöntemine göre analiz edilmiştir. Kriterlerden geleneksel ve alternatif enerji kaynaklarının toplam birincil arzı, geleneksel ve alternatif enerji kaynaklarının nihai tüketimi, geleneksel ve alternatif enerji kaynak-

larına göre kurulu elektrik kapasitesi ve enerji verimliliği kriterleri analizin enerji boyutunu; enerji vergileri, elektrik fiyatları ve araştırma-geliştirme harcamaları kriterleri analizin ekonomi boyutunu; sera gazları ve hava kirliliği analizin çevre boyutunu ve yoksulluk nedeniyle evini sıcak tutamayan nüfus miktarı analizin sosyal boyutunu temsil etmektedir. TOPSIS yöntemine göre elde edilen performans sıralaması yüksek, orta yüksek, orta düşük ve düşük olmak üzere 4 kümeye ayrılmıştır. Sürdürülebilir enerji gelişim performansı en yüksek olan ülkeler sırasıyla Fransa ve İsveç olup bu ülkeler 1. kümede yer almıştır. En düşük performansa sahip olan ve 4. kümede bulunan ülkeler sırasıyla İspanya, Polonya, Almanya ve İtalya'dır.

Vavrek & Chovancová (2020), çalışmalarında seçilmiş 12 AB ülkesinin 8 kriter çerçevesinde AB enerji hedeflerine ulaşma konusundaki performanslarını 2008–2016 dönemi için araştırmışlardır. Araştırmada kullanılan kriterler; enerji sektörünün karbondioksit yoğunluğu, tüm sektörlerin karbondioksit yoğunluğu, elektrik ve doğal gaz fiyatları (endüstriyel kullanıcılar/hane halkı), enerji ürünleri ithalatı, enerji üretkenliği, toplam enerji tüketimi, yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam tüketimi ve araştırma-geliştirme harcamalarıdır. Kriterlerin ağırlıklandırılması objektif bir yaklaşım olan CV yöntemi ile, ülkelerin performanslarının belirlenmesi TOPSIS yöntemi ile yapılmıştır. En yüksek ve en düşük performansa sahip olan ülkeler karşılaştırıldığında en yüksek farklılıkların tüm sektörlerin karbondioksit yoğunluğu, enerji ürünleri ithalatı ve yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam tüketimi kriterlerinde olduğu tespit edilmiştir.

Brodny & Tutak (2021), Orta ve Doğu Avrupa'da yer alan AB üyesi 11 ülkenin sürdürülebilir enerji gelişimini 2008 ve 2018 yılları için ayrı ayrı analiz etmişlerdir. Toplam 21 göstergeden yola çıkarak enerji, ekonomik, çevresel ve sosyal başlıklarında 4 adet kriter oluşturmuşlardır. Kriter ağırlıklarının Entropi yöntemine göre yapıldığı çalışmada ülkelerin performans sıralaması COPRAS, MOORA, TOPSIS ve VIKOR yöntemlerine göre yapılmıştır. 2008 ve 2018 yıllarında enerji sürdürülebilirliği konusunda en iyi performansa sahip ülkeler sırasıyla Letonya, Hırvatistan ve Slovenya iken en kötü performansa sahip ülkeler sırasıyla Bulgaristan, Polonya ve Çekya olarak bulunmuştur. Çalışmada son olarak analize konu olan ülkeler çok güvenli, güvenli, uyarı ve tehlike başlıklarından gruplandırılmıştır.

Cabeça vd. (2021), 28 AB ülkesinin enerji verimliliği üzerine mevcut yönetim kapasitesini 2013 ve 2016 yılları için karşılaştırmalı olarak değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda çalışmada; kamu sektörünün enerji verimliliği performansı, enerji yönetim sistemlerinin kullanılabilirliği, küçük ve orta ölçekli işletmelerce enerji hizmetlerinin erişilebilirliği, ölçüm ve faturalama güvenilirliği, kurumsal yapılar tarafından enerji verimliliğinin teşviki, kalifikasyon/akreditasyon/sertifikasyon etkinlik planları, enerji verimliliği bilgi ve eğitim durumu, enerji verimliliği finansman mekanizmalarının kullanılabilirliği, ulusal bina yenileme stratejisinin kapsamı, arzda verimlilik, enerji verimliliği yükümlülük planlarının etkinliği ve Odyssee-Mure Enerji Verimliliği Endeksi (ODEX) kriterleri kullanılmıştır. Çalışmada uzman görüşlerine dayanan bir yöntem ile kriter ağırlıklandırma işlemi yapılmıştır. Her uzman tarafından sağlanan bilgiler ile kriterlere ELECTRE TRI-nC yöntemi uygulanmış ve bulgular çok iyi, iyi, orta ve zayıf olarak kategorize edilmiştir. Çok iyi performansa sahip ülkeler; Avusturya, Danimarka ve İspanya iken zayıf performansa sahip ülkeler; Litvanya, Slovakya ve Belçika'dır. Çok iyi performansa sahip ülkelerin enerji verimliliği yükümlülük planlarına sahip olduğu buna karşın zayıf performansa sahip ülkelerin bu tür uygulamalara sahip olmadığı tespit edilmiştir.

Gökgöz & Yalçın (2021), Malta dışındaki 26 AB ülkesinin 2014–2018 verileri ile yenilenebilir enerji kaynakları açısından iklim değişikliğini azaltma konusundaki performanslarını analiz etmeyi amaçlamışlardır. Kriterlerin ağırlıklandırma işleminin CRITIC yöntemi ile yapıldığı çalışmada ülkelerin performans sıralaması TOPSIS ve COPRAS yöntemleri ile yapılmıştır. Çalışmada 5 adet kriter kullanılmış olup bu kriterler; ithal enerji bağımlılığı, nihai enerji tüketimi, sera gazı emisyonu, enerji yoğunluğu ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payıdır. Bulgulara göre en iyi performansa sahip ülkeler İsveç ve Danimarka'dır. Bununla beraber İskandinav ve Baltık ülkelerinin diğer AB ülkelerine kıyasla daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca yüksek düzeyde sanayileşmiş AB ülkelerinin performans sırasında son sıralarda yer alması dikkat çekicidir. En kötü performansa sahip ülke Almanya olarak bulunmuştur. Bu ülkeden sonra Fransa, İtalya, Polonya, İspanya ve Belçika gibi ülkeler kötü performansa sahip olan diğer ülkelerdir.

Tutak (2021), 27 AB ülkesinin yenilenebilir enerji kullanımını 2004 ve 2019 yılları için karşılaştırmalı olarak incelemeyi amaçladığı çalışmasında 4 kriter kullanmıştır. Yenilenebilir enerjinin payı; genel, ulaşım, elektrik üretimi, ısıtma ve soğutma başlıklarında ayrı ayrı performans kriteri olarak ele alınmış ve ilgili kriterler Entropi tekniği ile ağırlıklandırılmıştır. WASPAS yöntemine göre yapılan performans sıralamasına göre en iyi ve en kötü performansa sahip ülkeler 2004 ve 2019 yıllarında benzer bulunmuştur. Performans analizinde en üst sıralarda yer alan ülkeler sırasıyla İsveç, Avusturya, Letonya, Finlandiya ve Portekiz'dir. En alt sıralarda yer alan ülkeler ise Malta, Lüksemburg, GKRY, Belçika, ve İrlanda'dır.

Bączkiewicz & Wątróbski (2022), uygun fiyatlı, güvenilir ve sürdürülebilir enerji konusunda 27 AB ülkesi ile beraber Birleşik Krallık, İzlanda ve Norveç'in 2016–2020 dönemini 11 kriter çerçevesinde analiz etmişlerdir. Çalışmada kullanılan kriterler; birincil enerji tüketimi, nihai enerji tüketimi, hanelerde kişi başına nihai enerji tüketimi, enerji üretkenliği, brüt nihai enerji tüketiminde yenilenebilir enerjinin payı, ulaşım da yenilenebilir enerjinin payı, elektrikte yenilenebilir enerjinin payı, ısıtma ve soğutmada yenilenebilir enerjinin payı, tüm kaynaklarda ithal enerji bağımlılığı, evlerini yeterince sıcak tutamayan nüfus ve enerji tüketiminin sera gazı emisyonu yoğunluğudur. Kriter ağırlıklarının CRITIC yöntemine göre belirlendiği çalışmada alternatiflerin performans sıralaması DARIA temelli TOPSIS yöntemi ile yapılmıştır. En iyi performansa sahip olan ülkeler sırasıyla Norveç, İzlanda, İsveç, Finlandiya, Danimarka ve Estonya iken en kötü performansa sahip olan ülkeler sırasıyla Litvanya, Bulgaristan, GKRY, Portekiz, İspanya ve Romanya'dır.

Siksnyte-Butkien vd. (2022), AB-27 ülkelerinin 2020 yılı verilerine dayanarak Avrupa 2020 Stratejisi'nin iklim değişikliği ve enerji hedeflerine ulaşmadaki başarılarının değerlendirilmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada hedefler ve gerçekleşen değerler dikkate alınarak 4 performans kriteri belirlenmiştir. Bunlar; Çaba Paylaşım Kararı'ndaki (Effort Sharing Decision) sera gazı emisyonları, nihai enerji tüketimi, birincil enerji tüketimi ve yenilenebilir enerjinin payıdır. Bu kriterler, denge, çevre, enerji ve yenilenebilir odaklı 4 farklı senaryoya göre analiz edilmiştir. Kriter ağırlıkları bu senaryolara göre belirlenmiştir. İlk senaryoya göre kriterlere dengeli bir ağırlık verilirken, çevre odaklı senaryoda sera gazı emisyonu, enerji odaklı senaryoda enerji tüketimi ve yenilenebilir odaklı senaryoda yenilenebilir enerjinin payı kriterlerinin ağırlığı artırılmıştır. Analiz, PROMETHEE yöntemine benzeyen KerCA yöntemine göre yapılmıştır. Hedeflere ulaşma konusunda en başarılı ülkeler; Yunanistan, Hırvatistan, İtalya, Portekiz, Letonya ve Romanya'dır buna karşın en başarısız ülkeler; Malta, İrlanda, Belçika, Polonya, Fransa ve Almanya'dır.

Brodny & Tutak (2023), enerji, ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarına göre gruplandırdıkları 18 kriter çerçevesinde AB-27 ülkelerinin 2010–2020 dönemi enerji güvenliği performansını standart ve sürdürülebilir başlıklarında kapsamlı bir şekilde analiz etmişlerdir. Standart enerji güvenliğinin enerji ve ekonomik kriterleri içerdiği çalışmada sürdürülebilir enerji güvenliği için bu kriterlere ek olarak çevresel ve sosyal kriterler eklenmiştir. Enerji grubunda yer alan kriterler; kişi başına birincil enerji arzı, nihai enerji tüketimi, ithal enerji bağımlılığı, Herfindahl-Hirschman Endeksi'ne dayanan enerji karışım yoğunluğu, Shannon-Wiener Endeksi'ne dayanan yakıt karışım yoğunluğu, enerji yeterliliği göstergesi, fosil yakıtların payı, yenilenebilir kaynakların payı ve nükleer enerjini payıdır. Ekonomik grupta yer alan kriterler; enerji kayıpları, kişi başına GSYH, enerji üretkenliği, enerji yoğunluğu ve elektrik fiyatlarıdır. Çevresel grupta yer alan kriterler, kişi başına sera gazı emisyonu ve enerji faaliyetlerinin sera gazı yoğunluğudur. Sosyal grupta yer alan kriterler, hane halkının kişi başına düzeltilmiş brüt geliri ve enerji yoksulluğudur. Kriterlerin CRITIC yönteminde göre ağırlıklandırıldığı çalışmada AB ülkeleri GRA ve TOPSIS yöntemlerine göre yüksek performanstan düşük performansa doğru 4 güvenlik seviyesinde gruplandırılmıştır. Standart enerji güvenliğinde en yüksek performans grubunda yer alan ülkeler; Danimarka, Finlandiya, İsveç ve Romanya iken en düşük performans grubunda yer alan ülkeler; GKRY ve Malta'dır. Sürdürülebilir enerji güvenliğinde en yüksek performans grubunda yer alan ülkeler; Danimarka, Fransa, Finlandiya ve İsveç iken en düşük performans grubunda yer alan ülkeler; GKRY, Malta ve Yunanistan'dır.

Gökgöz & Yalçın (2023), çalışmalarında AB ülkelerinin enerji arz güvenliği performansını 2014–2018 dönemi için analiz etmişlerdir. GKRY'nin hariç tutulduğu AB ülkeleri 13 tane gelişmiş ve 13 tane gelişmekte olan başlıklarında iki gruba ayrılmıştır. Kriter ağırlıklandırma işleminde IDOCRIW yönteminin kullanıldığı çalışmada alternatif ülkelerin performans sıralaması MARCOS, CODAS ve SAW yöntemlerine göre yapılmıştır. Performans analizi için kullanılan kriterler; ithal enerji bağımlılığı, enerji yoğunluğu, yenilenebilir enerjinin payı, sera gazı emisyon yoğunluğu ve kişi başına enerji tüketimidir. Gelişmiş ülkeler sıralamasında performansı en yüksek ülkeler, Danimarka ve İsveç iken performansı en düşük ülkeler; Malta, Çekya, Belçika ve Hollanda'dır. Gelişmekte ülkeler sıralamasında performansı en yüksek ülkeler; Portekiz, İspanya ve Estonya iken performansı en düşük ülkeler; Bulgaristan, Polonya, Slovakya ve Macaristan'dır.

Kozłowska vd. (2023), enerji sektörüne yatırım riskini enerji güvenliği açısından inceledikleri çalışmalarında 27 AB ülkesinin 2012–2020 dönemini dikkate almışlardır. 27 AB ülkesinin enerji güvenliği performansının değerlendirilmesi amacıyla 9 tane kriter seçilmiştir. Bu kriterler; nihai tüketime sunulan elektrik miktarı, brüt elektrik üretimi, birincil enerji tüketimi, enerji üretkenliği, yenilenebilir ve atık kaynakların elektrik üretim kapasitesi, petrol ürünlerinin stok seviyesi, gaz ve sıvılaştırılmış doğal gazın stok seviyesi, iç piyasaya sunulan elektrik miktarı ve ithal enerji bağımlılığıdır. AHP yöntemine göre enerji güvenliği performansı en yüksek dolayısıyla da enerji sektörüne yatırım yapılabilir en iyi ülke Estonya olarak bulunmuştur. Diğer performansı yüksek olan ülkeler; Malta, GKRY, Lüksemburg, Almanya, İsveç ve Hollanda'dır. Slovakya, Polonya, Belçika, Danimarka, İtalya, Yunanistan ve Fransa ise performans sıralamasında son sırada yer almıştır.

AB ülkeleri, farklı ülkelerin karşılaştırıldığı çalışmalarda önemli bir örneklem olarak çeşitli çalışmalara konu olmaktadır. Bununla beraber literatürde AB ülkeleri dışında farklı ülke

gruplarının enerji performansı üzerine yapılmış ve çok kriterli karar verme tekniklerini kullanan çalışmalar da bulunmaktadır. G7, G20, OECD ve BRICS ülkeleri, AB ülkeleri dışında ön plana çıkan diğer ülke gruplarıdır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Ghosh vd. (2016), AHP ve yapay sinir ağları teknikleri ile dalga enerjisi üretimi için lokasyon uygunluk endeksi geliştirmişlerdir. İki ülkenin kıyaslandığı çalışmada, hesaplanan endeks değerine göre Birleşik Krallık'ın dalga enerjisi üretimi açısından Jamaika'ya kıyasla daha uygun bir ülke olduğu tespit edilmiştir. Alidrisi & Al-Sasi (2017), farklı kaynaklardan elektrik üretimini G20 ülkeleri için çeşitli senaryolar çerçevesinde analiz etmişlerdir. TOPSIS yöntemine göre her senaryoda da en başarılı ülke Almanya bulunmuştur. Karakosta vd. (2019), gelişmekte olan 5 ülkenin sürdürülebilir enerji teknolojisi önceliklerinin belirlenmesi amacıyla ELECTRE TRI yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada Çin, Şili, Tayland, Kenya ve İsrail ülkeleri için yüksek ve düşük öncelikli enerji teknolojileri sıralanmıştır. Guler vd. (2021), 36 OECD ülkesinin sürdürülebilir enerji performansını PROMETHEE yöntemi ile araştırmışlardır. Bulgulara göre Norveç ilk sırada yer alırken Japonya, Kanada ve Amerika Birleşik Devletleri son sıralarda yer almıştır. Phillis vd. (2021), ulusal enerji sistemlerinin sürdürülebilirliğini 43 Avrupa ülkesi için PROMETHEE yöntemi ile analiz etmişlerdir. Sonuçta en yüksek performansa sahip ülkelerin İskandinav ve Batı Avrupa ülkeleri olduğu, en düşük performansa sahip ülkelerin Balkan ve Doğu Avrupa ülkeleri olduğu ayrıca ülke gelirleri ile enerji sürdürülebilirliği arasında güçlü bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Aytekin (2022), sürdürülebilir enerji ve çevre performansı açısından 138 ülkeyi çeşitli kriterler ile CRADIS ve CODAS-Sort yöntemleri ile analiz etmiştir. Sonuç olarak özellikle İskandinav ülkelerinin başının çektiği gelişmiş ülkelerin gelişmekte olan ve az gelişmiş ülkelere göre daha iyi performansa sahip olduğu tespit edilmiştir. Zhou vd. (2022), 82 Kuşak ve Yol Girişimi (BRI) ülkesinin enerji yoksulluğunu TOPSIS yaklaşımı ile değerlendirmişlerdir. Çalışmada Güney Asya, Güneydoğu Asya ve Kuzey Afrika ülkelerinin en yüksek enerji yoksulluğu seviyelerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ziemba (2022), büyük enerji kullanıcısı 25 ülkenin enerji güvenliği riskinin değerlendirilmesi amacıyla Bulanık SAW ve Bulanık PROMETHEE yöntemlerini kullanmıştır. Yeni Zelanda, Norveç, Danimarka ve Amerika Birleşik Devletleri'nin yüksek enerji güvenliğine buna karşın Ukrayna, Tayland ve Güney Kore'nin düşük enerji güvenliğine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. An vd. (2023), 47 Kuşak ve Yok Girişimi (BRI) ülkesinin yenilenebilir enerji gelişimini TOPSIS yöntemi ile incelemişlerdir. En yüksek gelişim yaşayan ülkeler; Çin, Endonezya, Pakistan, Rusya, Güney Afrika ve Yeni Zelanda'dır. Çalışmada kıtalar açısından değerlendirildiğinde yenilenebilir enerji gelişimi açısından Amerika ve Okyanusya'nın en iyi durumda olduğu, Avrupa'nın orta seviyede bulunduğu ve Asya ile Afrika'nın en düşük sırada yer aldığı sonucuna ulaşılmıştır. Yousefi vd. (2023), BRICS ve G7 ülkelerinin enerji ve çevre performansını KEMIRA yöntemi ile incelemişlerdir. Çalışmanın bulgularına göre baz yılda G7 ülkeleri enerji yoğunluğu nedeniyle öne çıkmakta buna karşın gelecekte yenilenebilir enerjiye yoğunlaşan BRICS ülkelerinin öne çıkması beklenmektedir. Więckowski vd. (2024), MARCOS yöntemi ile seçilmiş 16 Avrupa ülkesini yenilenebilir enerji kaynakları açısından değerlendirmişlerdir. En yüksek performansa sahip ülkeler Norveç, İsveç, Finlandiya ve İsviçre iken en düşük performansa sahip ülkeler Polonya, Estonya ve Hollanda'dır.

Enerji konusunda çok kriterli karar verme yöntemleri ile ülke performans karşılaştırması yapan literatürdeki önceki çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde AB ülkelerinin önemli bir çalışma alanı olduğu görülmektedir. Enerji politikalarının uyumlaştırılması ama-

cıyla belirlenen hedefler çerçevesinde ortak politikaların izleniyor olması AB'yi bu konuda öne çıkarmaktadır. Enerji kavramı; teknik, çevresel, ekonomik, siyasi ve sosyal birçok değişken tarafından etkilenmektedir. Bu durum çalışmalarda kullanılan kriterlerin çalışmaların odak noktasına göre farklılaşmasına ve çeşitlenmesine yol açmaktadır. En çok kullanılan kriterler; toplam enerji tüketimi, kişi başına enerji tüketimi, fosil yakıtların payı, yenilenebilir kaynakların payı, ithal enerji bağımlılığı, enerji verimliliği, enerji yoğunluğu, enerji üretkenliği, enerji fiyatları, sera gazı emisyonu, enerji çeşitliliği gibi kriterlerdir. Bu kriterlerin ağırlıklandırılmasında eşit ağırlık verme, AHP, Entropi, CRITIC başta olmak üzere farklı teknikler kullanılmıştır. Alternatif ülkelerin performans sıralamasında da çeşitli teknikler kullanılmakla beraber en çok kullanılan yöntem olarak TOPSIS yöntemi dikkat çekmektedir.

Literatürdeki çalışmalarda kriter ve alternatif seçimi, kriterlerin ağırlıklandırılması ve alternatiflerin sıralanması konularında çeşitli farklılıklar göze çarpmaktadır. Çalışmalardaki farklı yaklaşımlar ulaşılan sonuçları da önemli ölçüde etkilemektedir. Metodolojik olarak kullanılan farklı tekniklere rağmen belirli teknikler üzerinde yoğunlaşma olduğu görülmektedir. Bununla beraber enerji üzerine yapılmış ve çok kriterli karar verme yöntemleri kullanan literatürdeki çalışmalar değerlendirildiğinde en önemli tartışma, kriterlerin belirlenmesi konusunda yaşanmaktadır. Enerji ile ilgili faktörlerin çokluğu ve bu faktörlerin farklı araştırmacılar tarafından farklı şekilde ele alınması nedeniyle her ne kadar bazı kriterler üzerinde konsensüs olduğu görülsün de tüm kriterler için tam bir uzlaşıdan söz etmek mümkün değildir. Dolayısıyla literatürde en dikkat çekici nokta olarak kriter çeşitliliğinin fazla olmasının ön plana çıktığını söylemek mümkündür.

3. Metodoloji

Bu çalışmada Entropi temelli COPRAS (Complex Proportional Assessment) yöntemi kullanılacaktır. Entropi yöntemi ile kriterlerin objektif ağırlıklarının ortaya konulması, COPRAS yöntemi ile alternatiflerin performanslarına göre sıralanması amaçlanmaktadır. Bu yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

Olasılık teorisi açısından bilgi belirsizliğinin bir ölçüsü olarak önerilen Entropi yöntemi, ortalama içsel bilgiyi temsil etmek ve niteliklerin göreceli kontrast yoğunluklarını ölçmek için oldukça etkili bir objektif ağırlıklandırma yöntemidir. Entropi yönteminin uygulaması 5 aşamada özetlenebilir (Wang & Lee, 2009; Li vd., 2011):

Aşama 1–1: İlk olarak alternatifleri ve kriterleri içeren bir karar matrisi oluşturulur. Toplamda m adet alternatif için n adet kriterin bulunduğu karar matrisi Eşitlik 1'deki gibidir. Eşitlik 1'de y_{ij} değeri, i alternatifinin j kriterindeki performansı gösterilmektedir.

$$A = [y_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \cdots & y_{mn} \end{bmatrix} \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Aşama 1–2: Karar matrisinde yer alan değerler için standardizasyon işlemi yapılır. Bu aşamada maksimize edilmesi gereken fayda temelli kriterler için Eşitlik 2 ve minimize edilmesi gereken maliyet temelli kriterler için Eşitlik 3'teki formüller kullanılır. Eşitlik 2 ve 3'teki t_{ij}

değerleri, karar matrisindeki y_{ij} değerinin sırasıyla fayda ve maliyet temelli kriterler için standartize edilmiş formunu göstermektedir.

$$t_{ij} = \frac{y_{ij}}{\max(y_{ij})} \quad (2)$$

$$t_{ij} = \frac{\min_j(y_{ij})}{y_{ij}} \quad \min_j(y_{ij}) \neq 0 \quad (3)$$

Aşama 1–3: Standartlaştırılan değerler dikkate alınarak karar matrisindeki değerlerin normalizasyonu sağlanır. Eşitlik 4'teki k_{ij} değeri, standartlaştırılmış t_{ij} değerinin normalize edilmiş hâlini göstermektedir.

$$k_{ij} = \frac{t_{ij}}{\sum_{i=1}^m t_{ij}} \quad (4)$$

Aşama 1–4: Normalize edilen değerler ile her bir kritere ait Entropi değerleri hesaplanır. Eşitlik 5'teki E_j değeri, j kriterinin Entropisini göstermektedir.

$$E_j = - \frac{\sum_{i=1}^m k_{ij} \ln(k_{ij})}{\ln(m)} \quad (5)$$

Aşama 1–5: Son aşamada önceki aşamada hesaplanan Entropi değerleri ile her bir kriterin objektif Entropi ağırlığı hesaplanır. Eşitlik 6'daki w_j değeri, önem derecesi olarak j kriterinin Entropi ağırlığını göstermektedir.

$$w_j = \frac{1 - E_j}{\sum_{j=1}^n (1 - E_j)} \quad (6)$$

Entropi yöntemi ile hesaplanan değerleri, normalize edilmiş değerlerin ağırlıklandırılmasında kullanılmak üzere COPRAS yöntemine aktarılır.

Hem maksimize hem de minimize kriterlerin etkisini ayrı ayrı değerlendiren COPRAS yöntemi, alternatiflerin önem düzeylerinin belirlenmesinde mutlak değil nispi bir yaklaşım benimsediğinden küçük ve sıfıra yakın değerlere daha duyarlı olmakta bu nedenle diğer yöntemlere göre daha hassas ölçüm yapabilmektedir. Bu avantajları nedeniyle çalışmada COPRAS yöntemi tercih edilmiştir. COPRAS yönteminin uygulandığı 5 aşamada özetlenebilir (Zavadskas & Kaklauskas, 1996; Podvezko, 2011):

Aşama 2–1: İlk olarak alternatifleri ve kriterleri içeren bir karar matrisi oluşturulur. Karar matrisi Eşitlik 1'deki gibidir. Ardından karar matrisindeki değerlerin normalizasyonu sağlanır. Karar matrisindeki değerinin normalize edilmiş hâli (y_{ij}^*) Eşitlik 7'de gösterilmektedir.

$$y_{ij}^* = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^m y_{ij}} \quad (7)$$

Aşama 2-2: Normalize edilen değerler her bir kriterin değerlendirme ağırlığı ile ağırlıklandırılır. Entropi yönteminden elde edilen kriter ağırlığı w_j olmak üzere Eşitlik 8'deki s_{ij} değeri, y_{ij}^* değerinin ağırlıklı normalize edilmiş değerini göstermektedir.

$$s_{ij} = w_j \times y_{ij}^* \quad (8)$$

Aşama 2-3: Ağırlıklı normalize edilmiş değerlerin fayda ve maliyet temelli olanları her bir alternatif için ayrı ayrı toplanır. Eşitlik 9'daki S_{+i} değeri ağırlıklı normalize edilmiş fayda kriter değerlerinin toplamını, Eşitlik 10'daki S_{-i} değeri ise ağırlıklı normalize edilmiş maliyet kriter değerlerinin toplamını göstermektedir.

$$S_{+i} = \sum_{j=1}^k s_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (9)$$

$$S_{-i} = \sum_{j=k+1}^n s_{ij} \quad j = k + 1, k + 2, \dots, n \quad (10)$$

Aşama 2-4: Her bir alternatife ait fayda ve maliyet kriter değerlerinin toplamı dikkate alınarak her bir alternatif için göreceli önem değeri hesaplanır. Eşitlik 11'deki Q_i değeri, i alternatifinin göreceli önem değerini göstermektedir.

$$Q_i = S_{+i} + \frac{\sum_{i=1}^m S_{-i}}{(S_{-i} \cdot \sum_{i=1}^m \frac{1}{S_{-i}})} \quad (11)$$

Aşama 2-5: Göreceli önem değerleri yardımıyla her bir alternatifin toplam performans değeri hesaplanır. Eşitlik 12'deki P_i değeri i alternatifinin toplam performans skorunu göstermektedir.

$$P_i = \left(\frac{Q_i}{Q_{maks}} \right) \times 100 \quad (12)$$

Hesaplanan P_i değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanır. P_i değeri büyüdükçe alternatiflerin kriterlere göre performansları yükselmektedir. Performans skoru 100 olan alternatif, diğer alternatiflere kıyasla en iyi alternatif olarak belirlenir.

4. Veri Seti

Enerji kaynakları, enerji potansiyeli açısından farklı özellikler taşımakta bu nedenle enerji kaynaklarına ilişkin değerlendirme ve karşılaştırma yapılırken bütün enerji kaynakları ortak bir birime dönüştürülmektedir. Dönüştürme işlemi sırasında genellikle “petrol” referans olarak kabul edilmekte ve diğer enerji kaynakları “petrol eşdeğer” (oil equivalent) olarak ifade edilmektedir. Diğer bir yaklaşımda ise enerji kaynakları kullanıldığında ortaya çıkan enerji miktarı referans alınarak “jul” (joule), “kalori” (calorie) veya “vat” (watt) enerji birimlerine

dönüştürülmektedir. Ayrıca “İngiliz ısı birimi” (British thermal unit) de kullanılan ortak birimlerden biridir. Bilimsel temellere dayanan belirli katsayılarla yapılan dönüştürme işlemi ile bütün enerji kaynakları toplulaştırılabilmektedir. Böylece toplam enerji üretimi, tüketimi, ithalatı, ihracatı ve bağımlılığı gibi çok yaygın kullanılan göstergeler ile her bir enerji kaynağının toplam içindeki payı hesaplanabilmektedir (Birol, 2019: 37–38).

Enerji ile ilgili veriler tek başına değil de aynı ülkenin farklı dönem verileriyle ve/veya farklı ülkelerin aynı dönem verileriyle karşılaştırıldığında anlamlı bir sonuç ortaya koymaktadır. Bu çalışmada seçilen bir yıla ait farklı ülke verilerinin karşılaştırılmasını sağlayan yaklaşım benimsenmiştir. Bununla beraber çalışmada birkaç yıl verisi üzerinden elde edilen bulguların birlikte ele alınması amaçlanmaktadır. 2020, 2021 ve 2022 yılları için 27 AB ülkesinin enerji arz güvenliği performansının karşılaştırılması amacıyla 9 kriter belirlenmiş ve ilgili veriler AB’nin resmî istatistik kurumu Eurostat’tan temin edilmiştir. Çalışmanın AB ülkeleri üzerine yapılmasının nedeni, genel olarak AB’nin enerji kaynakları bakımından net ithalatçı konumda olması dolayısıyla ithal enerji bağımlılığının yüksek olması ve bu nedenle enerji arz güvenliği konusunun AB kamuoyunda yoğun bir şekilde tartışılıyor olmasıdır. Çalışmada en son 2022 yılının tercih edilmesinin nedeni, çalışmanın yapıldığı tarih itibarıyla en güncel verilerin bu yıla ait olmasıdır. Kriterler, çalışmanın amacına uygun olarak farklı ülkelerin karşılaştırılmasına olanak sağlayacak şekilde literatürde kullanılan kriterler dikkate alınarak seçilmiştir. Tablo 1’de çalışmanın veri setini oluşturan kriterler özetlenmiştir.

Tablo 1: Performans Kriterleri

Kriter Adı	Kısaltma	Birim	Etki/Yön
İthal Enerji Bağımlılığı (Tüm Ülkeler)	K1	%	Negatif/Minimum
İthal Enerji Bağımlılığı (AB Dışı Ülkeler)	K2	%	Negatif/Minimum
Enerji Arz Çeşitliliği	K3	Endeks	Negatif/Minimum
Yenilenebilir Enerjinin Payı	K4	%	Pozitif/Maksimum
Fosil Yakıtların Payı	K5	%	Negatif/Minimum
Enerji Yoğunluğu	K6	kgEP	Negatif/Minimum
Enerjinin Üretkenliği	K7	Euro	Pozitif/Maksimum
Enerji Verimliliği Hedefi (Birincil Enerji Tüketimi)	K8	%	Negatif/Minimum
Enerji Verimliliği Hedefi (Nihai Enerji Tüketimi)	K9	%	Negatif/Minimum

Bu çalışmada genel anlamda bir enerji piyasası performans analizi yerine daha spesifik olarak enerji arz güvenliği üzerine bir performans analizinin yapılması amaçlanmaktadır. Enerji arz güvenliği performansını etkileyen temel kriterlerin belirlenmesi, literatürdeki kriter çeşitliliğine kriterlerin gruplandırılması anlamında katkı sağlayabilir. Bu açıdan çalışmanın enerji arz güvenliği odaklı çalışmalara yeni bir perspektif kazandırması hedeflenmektedir. Enerji arz güvenliği temelinde seçilen ve Tablo 1’de özetlenen kriterler aşağıdaki paragraflarda açıklanmıştır.

İthal enerji bağımlılığı: Bir ülkenin toplam enerji gereksiniminin ne kadarının diğer ülkelerden ithalat yoluyla karşılandığını gösteren bir orandır. Bu oran, yerli imkânlarla karşıla-

namayan dolayısıyla dışarıdan tedarik edilmesi gereken enerjinin payını göstermektedir. İthal enerji bağımlılığı, enerji ihracatının enerji ithalatından çıkarılmasıyla elde edilen net enerji ithalatının brüt kullanılabilir enerjiye bölünmesiyle elde edilmektedir. Toplam enerji ithalatı için hesaplanabileceği gibi her bir enerji kaynağı (petrol, doğal gaz, kömür vs.) için ayrı ayrı da hesaplanabilmektedir. Hesaplanan değerinin düşük olması beklenmektedir (negatif etki). İthal enerji bağımlılığının yüksek olması riskli bir durum olarak değerlendirilmektedir (Bırol, 2015: 312–313). Hesaplanan değer negatif olduğunda, ülkenin net enerji ihracatçısı olduğu; %100’ü aştığında ise ülkenin enerji kaynağı stokladığı anlamına gelmektedir. Tanım gereği nükleer ve yenilenebilir enerji üretimi, yakıtın üretildiği kaynağa bakılmadan yerli olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada AB üyesi ülkelerin tüm enerji kaynakları açısından AB üyesi ayrımı yapmaksızın tüm ülkelerden yapılan toplam enerji ithalatına bağımlılığı (K1) ve yine tüm enerji kaynakları açısından AB üyesi olmayan üçüncü ülkelerden yapılan enerji ithalatına bağımlılığı (K2) verileri yüzde (%) olarak kullanılmıştır.

Enerji arz çeşitliliği: Bir ülkede kullanılan enerji kaynaklarının yurt içinden veya yurt dışından tedarikinde ne kadar çeşitlendirildiğini gösteren bir endekstir. Endeks, Herfindahl-Hirschman endeksine dayanmaktadır. Herfindahl-Hirschman endeksini temel alan çeşitlilik endeksi, enerji literatüründe iki şekilde hesaplanmaktadır. İlk yöntemde, bir ülkedeki enerji arzındaki enerji kaynaklarının (petrol, doğal gaz, kömür, yenilenebilir vs.) payları; ikinci yöntemde, bir ülkenin enerji ithalatındaki ithalatçı ülkelerin payları oransal olarak dikkate alınmaktadır. İkinci yöntemde her bir enerji kaynağı için veya bütün enerji kaynakları için hesaplama yapılabilir (Taştan & Bırol, 2023: 198). Bir ülkenin enerji kesintilerine, enerji fiyatlarındaki dalgalanmalara veya enerji teminini etkileyen diğer öngörülemez gelişmelere karşı kırılganlığını ölçmek amacıyla kullanılan bir göstergedir. Endeks, 0 ila 1 arasında değer almakta, 0’a yaklaştıkça arz çeşitliliği artmakta, 1’e yaklaştıkça arz çeşitliliği azalmaktadır (Bırol, 2015: 323–324). Endeksin 1’e eşit olması çeşitliliğin olmadığını yani enerji arzının tek bir kaynaktan sağlandığını veya enerji ithalatının tek bir ülkeden tedarik edildiğini ifade etmektedir. Dolayısıyla enerji arz çeşitliliği endeksinin düşük olması beklenmektedir (negatif etki). Bu çalışmada tüm enerji kaynakları açısından (toplam) AB üyesi ülkelerde kullanılan enerji kaynaklarının çeşitliliği endeksi (K3) verisi kullanılmıştır.

Yenilenebilir enerjinin payı: Bir ülkenin enerji gereksiniminin ne kadarının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılandığını gösteren bir orandır. Yenilenebilir enerji; hidrolik, güneş, rüzgâr, jeotermal, gelgit, dalga ve biyoyakıt gibi kaynakları kapsamaktadır (Bırol & Demirgil, 2022: 308). Yerli ve temiz olması nedeniyle yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerjinin payının yüksek olması beklenmektedir (pozitif etki). Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynakları çeşitli teşvik uygulamalarına konu olmaktadır (Demirgil & Bırol, 2020: 69–70). Yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesinde hidrolik ve biyoyakıt, diğer kaynaklara göre farklı bir bakış açısıyla ele alınmaktadır. Hidrolik enerji, daha eski ve yaygın bir kullanıma sahip olduğu için diğer yenilenebilir kaynaklara göre dünya enerji üretiminde daha büyük bir paya sahiptir. Bu nedenle yenilenebilir enerji istatistikleri hidrolik enerji hariç tutularak ayrı bir başlıkta hesaplanabilmektedir. Hidrolik enerjinin hariç tutulduğu bakış açısında diğer yenilenebilir kaynakların payı daha net görülebilmektedir. Biyoyakıt enerjisi, çeşitli bitki ve atıklardan katı, sıvı ve gaz formlarında elde edilmektedir. Bu şekilde enerji üretimi sırasında sera gazı emisyonu ortaya çıkabilmektedir. Yenilenebilir enerji teşvik uygulamaları, her ne kadar yerli olsa da biyoyakıt üretiminde çevre kirliliğine neden olan girdi ve yöntemleri kapsam

dışı tutabilmektedir. Çevresel kaygılar nedeniyle biyoyakıt enerjisi de hidrolik enerji gibi diğer yenilenebilir kaynaklardan ayrı olarak sınıflandırılabilir. Bununla beraber çevre kirliliği dikkate alınarak bazı biyoyakıt türleri yenilenebilir, bazıları ise fosil kaynak olarak değerlendirilebilmektedir. Ayrıca bütün biyoyakıt türleri yenilenebilir kaynaklar içinde ele alınabilmektedir. AB'nin yenilenebilir enerji konusundaki yaklaşımı ortak enerji politikası bağlamında ilgili enerji mevzuatında düzenlenmiştir. Yenilenebilir kaynaklardan enerji kullanımının teşvik edilmesine ilişkin 2020 yılına kadar 2009/28/EC, 2021 yılından itibaren ise 2018/2001 (EU) yönergeleri belirleyici olmuştur. Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerjinin payı taşıma (RES-T), ısıtma ve soğutma (RES-H&C), elektrik (RES-E) ve genel (RES) olmak üzere dört gösterge dikkate alınarak hesaplanmaktadır. 2021 yılından itibaren katı ve gazlı biyoyakıtların sürdürülebilirlik ve sera gaz emisyonu açısından belirli kriterleri karşılaması gerekli görülmüş ve yenilenebilir enerji içine sadece uyumlu sıvı biyoyakıtlar dâhil edilmiştir (EU, 2009, 2018). Dolayısıyla katı ve gaz formlarındaki biyoyakıtlara kıyasla sıvı hâldeki biyoyakıtlara karşı daha olumlu bir bakış açısı söz konusudur. Bu çalışmada AB üyesi ülkeler için ilgili mevzuat gereğince yenilenebilir olarak kabul edilen kaynaklardan elde edilen enerjinin payı (K4) verisi yüzde (%) olarak kullanılmıştır.

Fosil yakıtların payı: Fosil kökenli yakıtların brüt enerji içindeki payını gösteren bir orandır. Bu gösterge, bir ülkenin enerji gereksiniminin ne kadarının fosil yakıtlardan karşılandığını göstermekte ve fosil kaynakların toplamının, tüm yakıtların toplamına bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Petrol, doğal gaz ve kömür başta olmak üzere katı yakıtlar, fosil kökenli enerji kaynaklarıdır. Dünya enerji tüketiminde bu enerji kaynaklarının büyük bir ağırlığı söz konusudur. Bu durum dünya enerji arzında üç temel sorunu gündeme getirmektedir. Fosil yakıtlar; yenilenemez nitelikte olduğu için dünyadaki rezervleri sınırlı düzeydedir, yeryüzünde dengesiz bir dağılıma sahiptir (özellikle petrol ve doğal gaz) ve tüketildiklerinde sera gazı salınımı ortaya çıkmaktadır (özellikle petrol ve katı yakıtlar). Bu sebeplerden dolayı fosil yakıt kullanımının olabildiğince düşük olması beklenmektedir (negatif etki). Fosil yakıt kullanımının azaltılması, bu yakıtları ikame edebilecek yerli ve temiz olan yenilenebilir enerji kaynaklarıyla mümkün olabilir (Demirgil & Birol, 2020: 69). AB'nin fosil yakıtlara yaklaşımında çeşitli siyasi, ekonomik ve çevresel faktörler etkilidir. Dolayısıyla belirli hedefler çerçevesinde üye ülkelerin fosil yakıtlara bağımlılığının azaltılması amaçlanmaktadır. Bu çalışmada AB üyesi ülkelerde toplam enerjinin tüm fosil yakıtlardan elde edilen payı (K5) verisi yüzde (%) olarak kullanılmıştır.

Enerji yoğunluğu: Gayrisafi yurt içi hasıla (GSYH) birimi başına düşen enerji birimini göstermektedir. Birim GSYH üretmek için ne kadar enerji birimi miktarı gerektiğini gösteren bu kavram, kullanılan enerji miktarının GSYH'ya bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Enerji yoğunluğunun hesaplanmasında sabit fiyatlarla veya satın alma gücü paritesine göre reel GSYH kullanılmaktadır. Bir ülkeyi yıllar itibarıyla kendi verileri ile karşılaştırmak için sabit fiyatlarla (zincirlenmiş hacim endeksine göre) GSYH ile hesaplanan enerji yoğunluğu verisi daha uygunken, bir ülkeyi başka ülkelerle karşılaştırmak için satın alma gücü paritesine göre GSYH ile hesaplanan enerji yoğunluğu verisi daha uygundur. Enerji yoğunluğu, bir ülkenin ekonomik aktivitelerinin enerji gereksinimini ölçmektedir. Bu gösterge enerji verimliliği ile doğrudan ilişkilidir. Birim GSYH üretmek için kullanılan enerji miktarının düşmesi, enerji verimliliği ve tasarrufu ile mümkün olabilir. Enerji yoğunluğu düşük olan bir ülke enerji yoğunluğu yüksek olan bir ülkeye kıyasla birim GSYH üretmek için daha az enerji harcamaktadır. Bu nedenle bir ülkede enerji yoğunluğunun düşük olması beklenmektedir (negatif etki). Enerji yoğunluğu,

bir ülkenin sosyal, ekonomik, yasal ve iklimsel koşullarıyla doğrudan ilişkilidir (Birol, 2019: 35–36). Birim GSYH üretmek için gereken enerji miktarı, AB için birçok açıdan önemli bir gösterge olmakla beraber ithal enerji bağımlılığının azaltılması ve sera gazı emisyonunun düşürülmesi gibi konulara katkı sağladığı için daha fazla ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada AB ülkelerinin satın alma gücü paritesine göre bin Euro başına kg eşdeğer (kgEP) petrol birimi cinsinden enerji yoğunluğu (K6) verisi kullanılmıştır.

Enerjinin üretkenliği: Enerji birimi başına düşen ekonomik çıktı miktarını göstermektedir. Bu gösterge ile brüt kullanılabilir enerji biriminin ürettiği GSYH miktarı hesaplanmaktadır. Brüt kullanılabilir enerji, bir ülkedeki enerji talebini karşılamak için gerekli olan tüm enerji ürünleri toplam miktarını ifade etmektedir. Enerji üretkenliğinin hesaplanmasında enerji yoğunluğunda olduğu gibi sabit fiyatlarla veya satın alma gücü paritesine göre reel GSYH kullanılabilir. Enerji üretkenliği açısından bir ülkenin yıllara göre durumunu değerlendirmek için sabit fiyatlara GSYH, başka ülkelere göre durumunu değerlendirmek için satılma gücü paritesine göre GSYH daha anlamlı bir karşılaştırmaya olanak tanımaktadır. Enerji üretkenliği verisi, enerji verimliliği ile doğrudan ilişkilidir. Enerjinin verimli kullanılması ile birim enerji ile üretilebilecek ekonomik çıktının artması sağlanabilir (Birol, 2019: 46–47). Buradan hareketle birim enerjinin ürettiği reel GSYH verisinin yani enerjinin üretkenliğinin yüksek olması beklenmektedir (pozitif etki). Bu çalışmada AB ülkelerinin satın alma gücü paritesine göre kg eşdeğer petrol (kgEP) başına Euro birimi cinsinden enerji üretkenliği (K7) verisi kullanılmıştır.

Enerji verimliliği hedefi: Belirli bir ekonomik çıktı düzeyinin daha az enerji kullanımı ile gerçekleştirilmesi veya belirli bir enerji düzeyi ile daha fazla ekonomik çıktı üretilmesidir. Enerji verimliliği, enerji üretim ve tüketim süreçlerinin tamamını kapsamaktadır. İthal enerji bağımlılığı yüksek net enerji kaynakları ithalatçısı olan ülkeler için fosil yakıtlara alternatif olarak desteklenen yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı kadar enerji verimliliği ve tasarrufu uygulamaları da büyük önem arz etmektedir (Birol, 2021: 454–455). Enerji verimliliği, iki yaklaşımla ölçülebilir. İlk yaklaşımda bir ülkenin gerçekleşen verileri (enerji yoğunluğu ve enerjinin üretkenliği gibi), ikinci yaklaşımda ise gelecekte ulaşmak istediği hedefleri dikkate alınmaktadır. Azalan enerji yoğunluğu ve artan enerji üretkenliğinin yanı sıra çeşitli enerji göstergeleri çerçevesinde belirlenen hedefler ile gerçekleşen verilerin yaklaşması, ülkelerin enerji verimliliği hakkında olumlu fikir vermektedir. Bu doğrultuda enerji verimliliği konusunda hedeflenen değer ile gerçekleşen değer arasındaki farkın düşük olması beklenmektedir (negatif etki). AB enerji politikası, tüm üyeleri kapsayan ortak bir mevzuat ve üye ülkelerin potansiyellerine göre belirlenen hedefler çerçevesinde yürütülmektedir. AB üyesi ülkeler için 2020 ve 2030 enerji verimliliği hedefleri sırasıyla enerji verimliliğine ilişkin 2012/27/EU ve 2023/1791 (EU) yönergelerine dayanmaktadır (EU, 2012, 2023). Bu çalışmada AB üyesi ülkelerin 2020/2030 hedeflerine olan uzaklığına göre birincil enerji tüketiminin verimliliği (K8) ve nihai enerji tüketiminin verimliliği (K9) verileri yüzde (%) olarak kullanılmıştır.

5. Bulgular

Bu çalışmada AB üyesi 27 ülkenin enerji arz güvenliği performansının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda her aşamada yapılacak hesaplamalar için Microsoft Excel programından yararlanılmıştır. COPRAS yöntemi ile yapılacak performans sıralaması için öncelikle karar matrisi (Ek 1) oluşturulmuş ve ardından Entropi yöntemi ile objektif kriter

ağırlıkları bulunmuştur. Karar matrisinde negatif değerler bulunmadığı için Z-skoru standartlaştırma dönüşümüne gerek duyulmamıştır (Zhang vd., 2014). 2020, 2021 ve 2022 yılları için hesaplanan 9 kriterle ait ağırlıklar Tablo 2’de gösterilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde en yüksek ağırlığa sahip kriterlerin () birinci (K1) ve ikinci (K2) kriterler olduğu görülmektedir. Birinci kriter tüm ülkelere olan ithal enerji bağımlılığını gösterirken, ikinci kriter AB üyesi olmayan ülkelere olan ithal enerji bağımlılığını göstermektedir. Tablo 2’deki değerleri incelendiğinde söz konusu iki kriterin toplam ağırlığı 2020 yılı için %55 iken 2021 yılı için %83 ve 2022 yılı için %71’dir. Buradan hareketle ithal enerji bağımlılığının enerji arz güvenliği açısından önemli bir gösterge olduğu söylenebilir. Tablo 2’de Entropi yöntemine göre en düşük ağırlığa sahip olan kriter, birincil enerji tüketiminin verimliliği (K8) olup bu kriteri nihai enerji tüketiminin verimliliği (K9) izlemektedir.

Tablo 2: Entropi Analiz Sonuçları

Yıllar	Değerler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
2020	E_j	0,948	0,950	0,989	0,971	0,989	0,985	0,985	0,999	0,998
	$I-E_j$	0,052	0,050	0,011	0,029	0,011	0,015	0,015	0,001	0,002
	w_j	0,280	0,268	0,058	0,156	0,058	0,079	0,079	0,008	0,012
2021	E_j	0,616	0,947	0,989	0,968	0,988	0,984	0,984	0,999	0,998
	$I-E_j$	0,384	0,053	0,011	0,032	0,012	0,016	0,016	0,001	0,002
	w_j	0,727	0,100	0,020	0,061	0,022	0,031	0,031	0,003	0,004
2022	E_j	0,891	0,883	0,990	0,969	0,988	0,982	0,982	0,999	0,998
	$I-E_j$	0,109	0,117	0,010	0,031	0,012	0,018	0,018	0,001	0,002
	w_j	0,342	0,367	0,031	0,099	0,038	0,056	0,056	0,005	0,008

Entropi yönteminden elde edilen kriter ağırlıklarına göre her bir alternatif için hesaplanan COPRAS sonuçları Tablo 3’te gösterilmiştir. 2020, 2021 ve 2022 yılları için 27 alternatifte ait sonuçlar incelendiğinde söz konusu yıllarda Estonya, enerji arz güvenliği performansı açısından ilk sırada yer almaktadır. Analiz sonucuna göre Estonya, AB üyesi ülkeler arasında enerji arz güvenliğinin en yüksek olduğu diğer bir ifadeyle enerji arz güvenliği riskinin en düşük olduğu ülkedir.

Estonya’nın ardından enerji arz güvenliği performansı yüksek olan diğer ülkeler sırasıyla 2020 yılında İsveç, Romanya, Slovenya, Letonya ve Danimarka; 2021 yılında İsveç, Danimarka, Romanya, Letonya ve Finlandiya; 2022 yılında Letonya, İsveç, Romanya, Danimarka ve Slovenya olmuştur. Enerji arz güvenliği performansı en düşük olan ülkeler ise sırasıyla 2020 yılında Malta, Belçika, Yunanistan, Hollanda, Litvanya, İtalya, İspanya ve GKRY; 2021 yılında Malta, Lüksemburg, GKRY, Yunanistan, Belçika, İtalya, Litvanya ve İrlanda; 2022 yılında Malta, Yunanistan, İtalya, Belçika, İspanya, Hollanda, Litvanya ve İrlanda’dır. Almanya, Avusturya, Bulgaristan, Çekya, Finlandiya, Fransa, Hırvatistan, Lüksemburg, Macaristan, Polonya, Portekiz ve Slovakya gibi ülkelerin ise enerji arz güvenliği açısından orta sıralarda bulunduğu Tablo 3’ten anlaşılmaktadır. Sonuç olarak COPRAS tekniğine göre 2020, 2021 ve 2022 yılları için yapılan enerji arz güvenliği performans sıralamalarının birbiri ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Tablo 3: COPRAS Analiz Sonuçları

Ülkeler	2020			2021			2022		
	Q_i	P_i	Sıra	Q_i	P_i	Sıra	Q_i	P_i	Sıra
Almanya	0,032	49,96	18	0,026	14,08	18	0,029	27,48	17
Avusturya	0,041	64,11	10	0,033	18,03	12	0,034	32,77	13
Belçika	0,025	39,98	26	0,023	12,30	23	0,026	24,91	24
Bulgaristan	0,039	60,46	11	0,039	21,25	7	0,037	35,57	10
Çekya	0,042	65,15	9	0,037	20,44	8	0,041	39,64	8
Danimarka	0,045	70,43	6	0,048	26,10	3	0,047	44,77	5
Estonya	0,064	100,00	1	0,183	100,00	1	0,104	100,00	1
Finlandiya	0,042	65,48	8	0,040	21,96	6	0,042	40,10	7
Fransa	0,038	60,13	12	0,035	18,92	11	0,034	32,90	12
GKRY	0,031	47,98	20	0,021	11,26	25	0,028	27,29	18
Hırvatistan	0,043	67,67	7	0,031	16,76	13	0,034	32,50	14
Hollanda	0,027	42,17	24	0,026	14,22	17	0,026	25,31	22
İrlanda	0,032	50,71	16	0,023	12,62	20	0,027	26,41	20
İspanya	0,030	46,58	21	0,024	12,96	19	0,026	25,18	23
İsveç	0,053	82,73	2	0,063	34,18	2	0,052	50,39	3
İtalya	0,028	44,65	22	0,023	12,33	22	0,025	23,82	25
Letonya	0,047	73,58	5	0,042	22,80	5	0,059	56,89	2
Litvanya	0,028	43,75	23	0,023	12,54	21	0,027	25,62	21
Lüksemburg	0,034	53,91	14	0,021	11,19	26	0,038	36,32	9
Macaristan	0,032	50,64	17	0,029	15,76	15	0,030	29,20	16
Malta	0,021	33,49	27	0,018	9,60	27	0,023	21,70	27
Polonya	0,036	55,88	13	0,036	19,51	9	0,036	34,80	11
Portekiz	0,034	53,25	15	0,026	14,28	16	0,030	29,20	15
Romanya	0,050	79,16	3	0,046	25,14	4	0,049	47,58	4
Slovakya	0,032	49,88	19	0,029	15,90	14	0,028	27,06	19
Slovenya	0,049	76,24	4	0,035	19,11	10	0,043	41,43	6
Yunanistan	0,026	40,08	25	0,022	12,00	24	0,024	22,76	26

Bu çalışmanın uygulama aşaması, kriter ağırlıklandırma ve performans analiz olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Çalışmada kriterlerin ağırlıklarını hesaplamak için Entropi yöntemi, alternatiflerin performans sıralarını belirlemek için COPRAS yöntemi kullanılmıştır. Bu metodoloji ile elde edilen bulgular, metodolojide değişiklik yapılarak farklı yöntemlerin bulguları ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilebilir. Bu amaç için kriter ağırlıklarını belirleme işleminde Entropi yönteminin yanı sıra eşit kriter ağırlıklandırma, performans analizinde COPRAS yönteminin yanı sıra literatürde en çok kullanılan çok kriterli karar verme yöntemi

olarak ön plana çıkan TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. Tablo 3'teki Entropi ağırlıklı COPRAS (Entropi-COPRAS) sonuçlarının farklı yöntemlerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmalı olarak değerlendirilebilmesi için eşit kriter ağırlıklı COPRAS (Eşit-COPRAS), Entropi ağırlıklı TOPSIS (Entropi-TOPSIS) ve eşit kriter ağırlıklı TOPSIS (Eşit-TOPSIS) performans analiz sonuçları Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4: Analiz Sonuçlarının Karşılaştırması

Ülkeler	Entropi-COPRAS			Eşit-COPRAS			Entropi-TOPSIS			Eşit-TOPSIS		
	2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Almanya	18	18	17	16	15	15	19	17	19	16	16	15
Avusturya	10	12	13	7	6	9	11	12	14	4	6	8
Belçika	26	23	24	26	26	25	25	20	20	24	24	24
Bulgaristan	11	7	10	15	16	17	10	5	9	15	15	17
Çekya	9	8	8	12	13	14	9	8	7	12	13	14
Danimarka	6	3	5	2	2	2	6	4	5	2	1	1
Estonya	1	1	1	4	3	5	1	1	1	6	3	5
Finlandiya	8	6	7	9	8	6	8	6	8	9	7	6
Fransa	12	11	12	11	11	11	12	10	12	11	12	12
GKRY	20	25	18	22	20	24	16	26	16	22	20	23
Hırvatistan	7	13	14	6	9	12	7	15	13	7	10	11
Hollanda	24	17	22	23	23	20	22	16	21	23	22	19
İrlanda	16	20	20	10	10	10	20	24	24	10	9	7
İspanya	21	19	23	17	18	19	21	19	23	20	21	21
İsveç	2	2	3	1	1	1	2	2	3	1	2	2
İtalya	22	22	25	19	21	22	23	22	26	21	23	22
Letonya	5	5	2	8	7	3	3	7	2	5	5	3
Litvanya	23	21	21	24	24	23	24	21	25	25	25	25
Lüksemburg	14	26	9	14	14	8	14	25	10	14	14	9
Macaristan	17	15	16	20	17	16	15	14	15	18	18	18
Malta	27	27	27	27	27	27	26	27	22	27	27	27
Polonya	13	9	11	21	22	18	13	9	11	17	17	16
Portekiz	15	16	15	13	12	13	18	18	18	13	11	13
Romanya	3	4	4	3	4	4	4	3	4	3	4	4
Slovakya	19	14	19	18	19	21	17	13	17	19	19	20
Slovenya	4	10	6	5	5	7	5	11	6	8	8	10
Yunanistan	25	24	26	25	25	26	27	23	27	26	26	26

Tablo 4 incelendiğinde sıralamalarda küçük değişiklikler olmakla enerji arz güvenliği performansı en yüksek ve en düşük olan ülkelerin aynı ülkeler olduğu göze çarpmaktadır. Ayrıca aynı kriter ağırlıklandırma yönteminin kullanıldığı COPRAS ve TOPSIS yöntemlerinin performans sıralamaları arasındaki yakınlık daha fazladır. İsveç, Estonya, Danimarka, Romanya, Letonya, Slovenya ve Finlandiya performans sıralamasında en üst sıralarda yer alan ülkeler iken Malta, Yunanistan, Belçika, Litvanya, İtalya, Hollanda, GKRY ve İspanya performans sıralamasında en alt sıralarda yer almaktadır. Entropi temelli COPRAS yönteminin kullanıldığı bu çalışmada ulaşılan sonuçların diğer yöntemlerin sonuçları ile uyumlu olduğunu söylemek mümkündür. Tüm sıralamalarda sırası en az değişen ülke Romanya'dır. Bu ülkenin dışında Fransa, İsveç, Finlandiya, Yunanistan ve Malta gibi ülkelerin sırasında da yıllara ve yöntemlere göre çok büyük farklılık olmadığı görülmektedir. Tablo 4'teki sonuçlar genel bir izlenim vermekle beraber farklı tekniklerden elde edilen bulgular arasındaki ilişkinin boyutu korelasyon analizi ile daha net bir şekilde görülebilir. Her bir yıla ait farklı analiz sıralama sonuçları arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon katsayıları Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5: Sıra Korelasyon Katsayılarının Karşılaştırması

Yıllar	Yöntemler	Entropi-COPRAS	Eşit-COPRAS	Entropi-TOPSIS	Eşit-TOPSIS
2020	Entropi-COPRAS	1,000	0,932	0,979	0,940
	Eşit-COPRAS	0,932	1,000	0,877	0,978
	Entropi-TOPSIS	0,979	0,877	1,000	0,893
	Eşit-TOPSIS	0,940	0,978	0,893	1,000
2021	Entropi-COPRAS	1,000	0,772	0,984	0,812
	Eşit-COPRAS	0,772	1,000	0,702	0,979
	Entropi-TOPSIS	0,984	0,702	1,000	0,741
	Eşit-TOPSIS	0,812	0,979	0,741	1,000
2022	Entropi-COPRAS	1,000	0,887	0,968	0,866
	Eşit-COPRAS	0,887	1,000	0,806	0,987
	Entropi-TOPSIS	0,968	0,806	1,000	0,788
	Eşit-TOPSIS	0,866	0,987	0,788	1,000

Her yıl için farkı yöntemlere göre ayrı ayrı hesaplanan performans sıralamaları arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon katsayıları, sıralamalar arasındaki güçlü ilişkiye işaret etmektedir. Bununla beraber aynı ağırlık belirleme yöntemlerinin kullanıldığı Entropi ağırlıklı COPRAS ile Entropi ağırlıklı TOPSIS ve eşit kriter ağırlıklı COPRAS ile eşit kriter ağırlıklı TOPSIS yöntemleri arasındaki korelasyon daha yüksektir. Tablo 4 ve Tablo 5'teki sonuçlar performans sıralamasında kriter ağırlıklandırma yöntemlerinin oldukça belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmada COPRAS yöntemi kullanılmış olup, COPRAS analiz sonuçlar literatürde en çok kullanılan yöntem olması nedeniyle TOPSIS analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Podvezko (2011), COPRAS yönteminin en önemli referans kaynaklarından biri olan çalışmada hesaplama aşamaları dikkate alındığında COPRAS yönteminin TOPSIS yöntemine göre özellikle küçük ve birbirine yakın değerlerin olduğu kriterler söz konusu oldu-

ğunda daha hassas bir ölçüm yaptığını belirtmiştir. İki yöntem arasındaki sıralama farklılıkları bu minvalde değerlendirilebilir.

6. Sonuç

Enerji arz güvenliği, enerji kaynaklarının güvenilir tedarikçilerden güvenli, kesintisiz, uygun fiyatlı ve kaynak/güzergâh çeşitliliği sağlamak suretiyle temin edilmesi süreçlerini kapsayan siyasi, ekonomik, teknik ve çevresel boyutları olan bir kavramdır. Tanımdan da anlaşılacağı üzere enerji arz güvenliğinin temel dayanakları; tedarikçi, güvenlik, süreklilik, maliyet ve çeşitlilik olarak sayılabilir. Bu kavram, kendi sahip olduğu enerji kaynakları ile enerji gereksinimini karşılayamayan ülkeler için tartışılmaktadır. Enerji arz güvenliğinin ölçülmesine ilişkin çeşitli göstergeler olmakla beraber tek başına genel kabul görmüş bir göstergenin olduğunu söylemek mümkün değildir. Bununla beraber birtakım veriler kullanılarak ülkelerin enerji arz güvenliği durumu hakkında çıkarım yapılabilmektedir.

Enerji arz güvenliği, AB'nin enerji politikasının en temel odak noktasını oluşturmaktadır. Enerji tüketiminde fosil yakıtların ağırlıkta olması ve bu enerji kaynaklarının temininde ithalat bağımlılığının yüksek olması, AB'nin enerji politikasının şekillenmesine yol açmıştır. AB, enerji tüketiminde dışa bağımlılığın yol açtığı siyasi ve ekonomik baskıların ortadan kaldırılması ve fosil yakıt tüketiminin sebep olduğu çevresel sorunların bertaraf edilmesi için çeşitli stratejiler geliştirmekte, üye ülkelere bu stratejiler çerçevesinde belirli hedefler koymakta ve bu hedeflerin gerçekleşme durumunun takibini sağlamaktadır. Bu bağlamda çevresel hassasiyetler gözetilmek suretiyle ithal fosil yakıtları ikame edebilecek yerli, yenilenebilir ve alternatif enerji kaynaklarının desteklenmesinin yanı sıra enerji verimliliği ve enerji tasarrufu uygulamalarına yönelik çalışmalarla AB'nin enerji arz güvenliği kapasitesinin artırılması amaçlanmaktadır.

AB'nin enerji arz güvenliği her bir üye ülkenin enerji arz güvenliği tarafından belirlendiği için AB'nin genelini ilgilendiren politikalar üye ülkeler özelinde ayrıca ele alınmaktadır. Her üye ülkenin enerji arz güvenliği açısından kendine has üstünlükleri ve zayıflıkları söz konusu olabilir. Dolayısıyla çeşitli göstergeler yardımıyla üye ülkelerin enerji arz güvenliği risk düzeyinin belirlenmesi AB enerji politikasının oluşturulması, uygulanması ve takip edilmesine katkı sağlayabilir. Bu çalışmada AB ülkelerinin enerji arz güvenliği performansı açısından düşük riskten yüksek riske doğru sıralanabilmesi amacıyla çok kriterli karar verme tekniği kullanılarak bir analiz yapılmıştır. Yapılan analiz, ülkeler için mutlak değil üye ülkelere kıyasla nispi bir sıra ortaya koymaktadır. Dolayısıyla analiz sonuçlarının bu bağlamda değerlendirilmesi önem arz etmektedir.

Bu çalışmada AB üyesi ülkelerin enerji arz güvenliği performans sıralaması 9 kriter çerçevesinde COPRAS yöntemi ile yapılmıştır. Performans sıralaması belirlenmeden önce Entropi yöntemi ile kriterlerin objektif ağırlıkları bulunmuştur. 2020, 2021 ve 2022 yılları için ayrı ayrı yapılan analiz sonucunda söz konusu yılların tamamında diğer AB üyesi ülkelere kıyasla enerji arz güvenliği performansı en yüksek ülke Estonya olmuştur. Estonya'yı İsveç, Romanya, Letonya, Danimarka, Slovenya, Finlandiya ve Çekya izlemektedir. Enerji arz güvenliği performansı en düşük ülke Malta'dır. Malta'yı Yunanistan, Belçika, İtalya, Hollanda, Litvanya, İspanya, GKRY ve İrlanda izlemektedir. Enerji arz güvenliği konusunda performansı yüksek ve düşük olan ülkelerin bu konumlarını belirleyen faktörler farklı çalışmalarla araştırılabilir. Genel olarak değerlendirildiğinde üye ülkelerin performanslarının analize konu olan tüm yıl-

lar ele alındığında uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada ulaşılan sonuçlar Siksnelyte & Zavadskas (2019), Vavrek & Chovancová (2019), Brodny & Tutak (2021), Gökgöz & Yalçın (2021), Tutak (2021), Bączkiewicz & Wątróbski (2022), Brodny & Tutak (2023), Gökgöz & Yalçın (2023) ve Kozłowska vd. (2023) tarafından yapılan çalışmaların sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Literatürdeki benzer çalışmaların sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde enerji piyasası açısından Estonya'nın son yıllarda artan bir performansının olduğu dikkat çekmektedir. Çalışmada kullanılan 9 kriter içinde en yüksek ağırlığa ithal enerji bağımlılığının sahip olduğu, bu nedenle yapılan performans sıralamasında enerji tedarikinde dışa bağımlılığın belirleyici olduğu görülmektedir. Sonuç olarak enerji arz güvenliği performansı düşük ülkelerde enerji arz güvenliği kapasitesinin yükseltilmesi ve böylece enerji kırılganlığının düşürülmesi için fosil yakıtlara alternatif olarak yerli ve yenilenebilir enerji kullanımının artırılması, enerji tüketimini azaltacak enerji tasarrufu ve enerji verimliliği uygulamalarının yaygınlaştırılması, enerji kaynak çeşitliliği ile enerji kaynaklarının dengeli biçimde tüketilmesi ve enerji ithalatında ülke ve güzergâh çeşitliliği sağlayarak riskin dağıtılması konuları önem arz etmektedir.

Bu çalışmada enerji arz güvenliği üzerine odaklanılmış ve bu kavramla doğrudan ilgili kriterler belirlenerek 27 AB ülkesinin enerji arz güvenliği performansı araştırılmıştır. Bu çalışmanın literatürdeki önceki çalışmalardan en önemli farkının çalışmanın odak noktası ve bu bağlamda seçilen kriterler olduğunu söylemek mümkündür. Özellikle literatürde çok az kullanıldığı tespit edilen “enerji arz çeşitliliği” ve kullanımına rastlanmayan “enerji verimliliği hedefi” kriterlerinin kullanılması bu çalışmayı önceki çalışmalardan farklılaştırmaktadır. Ayrıca analiz edilen yıllar (2020, 2021 ve 2022) ve analiz yöntemi (Entropi temelli COPRAS) olarak da çalışmanın diğer çalışmalardan ayrıştığı söylenebilir. Bu sebeplerle çalışmanın literatüre katkı sağlaması beklenmektedir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarın makaleye katkı oranı %100'dür.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışmada çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Alidrisi, H., & Al-Sasi, B. O. (2017). Utilization of energy sources by G20 countries: A TOPSIS-BASED approach. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 12(11), 964–970. <https://doi.org/10.1080/15567249.2017.1336812>
- An, Y., Tan, X., Gu, B., Zhu, K., Shi, L., & Ding, Z. (2023). An assessment of renewable energy development in Belt and Road Initiative countries: An entropy and TOPSIS approach. *Energy Reports*, 10, 3545–3560. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.09.085>
- APERC (2007). *A quest for energy security in the 21st century: Resources and constraints*. Asia Pacific Energy Research Centre, Institute of Energy Economics, Tokyo.
- Aytekin, A. (2022). Energy, environment, and sustainability: A multi-criteria evaluation of countries. *Strategic Planning for Energy and the Environment*, 41(3), 281–316. <https://doi.org/10.13052/spee1048-5236.4133>
- Bączkiewicz, A., & Wątróbski, J. (2022). Multi-criteria temporal assessment of affordable and clean energy systems in European countries using the DARIA-TOPSIS method. *Procedia Computer Science*, 207, 4442–4453. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.09.508>

- Birol, Y. E. (2015). *Avrupa Birliği ülkelerinde ve Türkiye’de enerji ekonomisi: Karşılaştırmalı bir analiz* (Yayınlanmamış doktora tezi). Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas.
- Birol, Y. E. (2019). *Avrupa Birliği enerji arz güvenliği politikası*. İstanbul: Kriter Yayınevi.
- Birol, Y. E. (2021). Doğal gaz arz güvenliği açısından Avrupa Birliği ülkeleri ve Türkiye üzerine karşılaştırmalı bir analiz. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 44, 451–467. <https://doi.org/10.30794/pausbed.940976>
- Birol, Y. E., & Demirgil, B. (2022). Rüzgâr enerjisi üretimi ve ekonomik büyüme ilişkisi: AB-15 ülkeleri için bir panel veri analizi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 61, 305–327. <https://doi.org/10.18070/erciyesiibd.952820>
- Blyth, W., & Lefevre, N. (2004). *Energy security and climate change policy interactions: An assessment framework*. IEA Information Paper, International Energy Agency, Paris.
- Brodny, J., & Tutak, M. (2021). Assessing sustainable energy development in the central and eastern European countries and analyzing its diversity. *Science of the Total Environment*, 801, 149745. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149745>
- Brodny, J., & Tutak, M. (2023). Assessing the energy security of European Union countries from two perspectives—A new integrated approach based on MCDM methods. *Applied Energy*, 347, 121443. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121443>
- Cabalu, H. (2010). Indicators of security of natural gas supply in Asia. *Energy Policy*, 38(1), 218–225. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.008>
- Cabeça, A. S., Henriques, C. O., Figueira, J. R., & Silva, C. S. (2021). A multicriteria classification approach for assessing the current governance capacities on energy efficiency in the European Union. *Energy Policy*, 148, (Part A), 111946. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111946>
- Cherp, A., & Jewell, J. (2014). The concept of energy security: Beyond the four As. *Energy Policy*, 75, 415–421. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.09.005>
- Costantini, V., Gracceva, F., Markandya, A., & Vicini, G. (2007). Security of energy supply: Comparing scenarios from a European perspective. *Energy Policy*, 35(1), 210–226. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.11.002>
- Cucchiella, F., D’Adamo, I., Gastaldi, M., Koh, S. L., & Rosa, P. (2017). A comparison of environmental and energetic performance of European countries: A sustainability index. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 401–413. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.077>
- Demirgil, B., & Birol, Y. E. (2020). Yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisi: Türkiye için bir Toda-Yamamoto nedensellik analizi. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21(1), 68–83. <https://doi.org/10.37880/cumuiibf.671591>
- EU (2009). Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. *Official Journal of the European Union*, L 140 (5.6.2009), 16–62.
- EU (2012). Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC. *Official Journal of the European Union*, L 315 (14.11.2012), 1–56.
- EU (2018). Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources. *Official Journal of the European Union*, L 328 (21.12.2018), 82–209.
- EU (2023). Directive (EU) 2023/1791 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on energy efficiency and amending Regulation (EU) 2023/955. *Official Journal of the European Union*, L 231 (20.9.2023), 1–111.

- Eurostat. Statistical Office of the European Communities. <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>
- Ghosh, S., Chakraborty, T., Saha, S., Majumder, M., & Pal, M. (2016). Development of the location suitability index for wave energy production by ANN and MCDM techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1017–1028. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.275>
- Gnansounou, E. (2008). Assessing the energy vulnerability: Case of industrialised countries. *Energy Policy*, 36(10), 3734–3744. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.07.004>
- Gökgöz, F., & Yağın, E. (2021). Can renewable energy sources be a viable instrument for climate change mitigation? Evidence from EU countries via MCDM methods. In D. S-K. Ting & J. A. Stagner (Eds.), *Climate Change Science* (pp. 19–39). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823767-0.00002-1>
- Gökgöz, F., & Yağın, E. (2023). Investigating the energy security performance, productivity, and economic growth for the EU. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 42(5), e14139. <https://doi.org/10.1002/ep.14139>
- Guler, E., Yerel Kandemir, S., Acikkalp, E., & Ahmadi, M. H. (2021). Evaluation of sustainable energy performance for OECD countries. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 16(6), 491–514. <https://doi.org/10.1080/15567249.2021.1909673>
- Gupta, E. (2008). Oil vulnerability index of oil-importing countries. *Energy Policy*, 36(3), 1195–1211. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.11.011>
- Jansen, J. C., van Arkel, W. G., & Boots, M. G. (2004). *Designing indicators of long-term energy supply security*. ECN Report, ECN-C–04-007, Energy Research Centre of the Netherlands.
- Jewell, J. (2011). *The IEA model of short-term energy security (MOSES): Primary energy sources and secondary fuels*. IEA Energy Papers, No. 2011/17, International Energy Agency, Paris. <https://doi.org/10.1787/5k9h0wd2ghlv-en>
- Karakosta, C., Doukas, H., & Psarras, J. (2009). Directing clean development mechanism towards developing countries' sustainable development priorities. *Energy for Sustainable Development*, 13(2), 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2009.04.001>
- Kaya, İ., Çolak, M., & Terzi, F. (2018). Use of MCDM techniques for energy policy and decision-making problems: A review. *International Journal of Energy Research*, 42(7), 2344–2372. <https://doi.org/10.1002/er.4016>
- Kendell, J. M. (1998). Measures of oil import dependence. *Issues in Midterm Analysis and Forecasting 1998, DOE/EIA-0607(98)*, 57–63. <https://doi.org/10.2172/631223>
- Kozłowska, J., Benvenega, M. A., & Nääs, I. D. A. (2023). Investment risk and energy security assessment of European Union countries using multicriteria analysis. *Energies*, 16(1), 330. <https://doi.org/10.3390/en16010330>
- Kruyt, B., van Vuuren, D. P., de Vries, H. J. M., & Groenenberg, H. (2009). Indicators for energy security. *Energy Policy*, 37(6), 2166–2181. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.02.006>
- Le Coq, C., & Paltseva, E. (2009). Measuring the security of external energy supply in the European Union. *Energy Policy*, 37(11), 4474–4481. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.05.069>
- Li, X., Wang, K., Liu, L., Xin, J., Yang, H., & Gao, C. (2011). Application of the entropy weight and TOPSIS method in safety evaluation of coal mines. *Procedia Engineering*, 26, 2085–2091. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2410>
- Makridou, G., Andriosopoulos, K., Doumpos, M., & Zopounidis, C. (2015). A two-stage approach for energy efficiency analysis in European Union countries. *The Energy Journal*, 36(2), 47–70. <https://doi.org/10.5547/01956574.36.2.3>

- Martchamadol, J., & Kumar, S. (2012). Thailand's energy security indicators. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16*(8), 6103–6122. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.06.021>
- Neumann, A. (2003). *Security of (gas) supply: Conceptual issues, contractual arrangements, and the current EU situation*. Globalization of Natural Gas Markets Working Papers, WP-GG-02, EU-Conference INDES (Insuring Against Disruptions of Energy Supplies), Amsterdam.
- Phillis, A., Grigoroudis, E., & Kouikoglou, V. S. (2021). Assessing national energy sustainability using multiple criteria decision analysis. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 28*(1), 18–35. <https://doi.org/10.1080/13504509.2020.1780646>
- Podvezko, V. (2011). The comparative analysis of MCDA methods SAW and COPRAS. *Engineering Economics, 22*(2), 134–146. <http://doi.org/10.5755/j01.ee.22.2.310>
- Scheepers, M., Seebregts, A., de Jong, J., & Maters, H. (2007). *EU standards for energy security of supply (Updates on the crisis capability index and the supply/demand index quantification for EU-27)*. ECN Report, ECN-E--07-004/CIEP. Energy Research Centre of the Netherlands.
- Siksnyte, I., & Zavadskas, E. K. (2019). Achievements of the European Union countries in seeking a sustainable electricity sector. *Energies, 12*(12), 2254. <https://doi.org/10.3390/en12122254>
- Siksnyte-Butkiene, I., Karpavicius, T., Streimikiene, D., & Balezentis, T. (2022). The achievements of climate change and energy policy in the European Union. *Energies, 15*(14), 5128. <https://doi.org/10.3390/en15145128>
- Şimşek, N. (2012). Türkiye'nin enerji kırılganlığı: Petrol ve doğalgaz güvenliği politikası. *Stratejik Düşünce, Mayıs*, 85–91.
- Streimikiene, D., Siksnyte-Butkiene, I., & Lekavicius, V. (2023). Energy diversification and security in the EU: Comparative assessment in different EU regions. *Economies, 11*(3), 83. <https://doi.org/10.3390/economies11030083>
- Su, W., Zhang, D., Zhang, C., & Streimikiene, D. (2020). Sustainability assessment of energy sector development in China and European Union. *Sustainable Development, 28*(5), 1063–1076. <https://doi.org/10.1002/sd.2056>
- Taştan, S., & Birol, Y. E. (2023). Türkiye'nin enerji arz güvenliğinin ölçülmesi ve öngörüsü. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 75*, 194–206. <https://doi.org/10.51290/dpusbe.1160349>
- Tutak, M. (2021). Using MCDM methods to assess the extent to which the European union countries use renewable energy. *Multidisciplinary Aspects of Production Engineering, 4*(1), 190–199. <https://doi.org/10.2478/mape-2021-0017>
- Tutak, M., Brodny, J., Siwec, D., Ulewicz, R., & Bindzár, P. (2020). Studying the level of sustainable energy development of the European Union countries and their similarity based on the economic and demographic potential. *Energies, 13*(24), 6643. <https://doi.org/10.3390/en13246643>
- Vavrek, R., & Chovancová, J. (2019). Assessment of economic and environmental energy performance of EU countries using CV-TOPSIS technique. *Ecological Indicators, 106*, 105519. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105519>
- Vavrek, R., & Chovancová, J. (2020). Energy performance of the European Union countries in terms of reaching the European energy union objectives. *Energies, 13*(20), 5317. <https://doi.org/10.3390/en13205317>
- Wang, T. C., & Lee, H. D. (2009). Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights. *Expert Systems with Applications, 36*(5), 8980–8985. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.11.035>

- Więckowski, J., Kizielewicz, B., & Sałabun, W. (2024). A multi-dimensional sensitivity analysis approach for evaluating the robustness of renewable energy sources in European countries. *Journal of Cleaner Production*, 469, 143225. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143225>
- Yılmaz, A. (2021). Energy supply security index: An analysis for Turkish economy. *Süleyman Demirel University Visionary Journal*, 12(29), 92–117. <https://doi.org/10.21076/vizyoner.769887>
- Yousefi, H., Ardehali, A., & Ghodusinejad, M. H. (2023). BRICS or G7? Current and future assessment of energy and environment performance using multi-criteria and time series analyzes. *Energy Strategy Reviews*, 49, 101164. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101164>
- Zavadskas, E. K., & Kaklauskas, A. (1996). *Pastatų sistemotechninis įvertinimas* [Multicriteria evaluation of building]. Vilnius: Technika.
- Zhang, K., Hu, M., & Dang, C. N. (2022). The potential of Sino-Russian energy cooperation in the arctic region and its impact on China's energy security. *Scientific Programming*, 2022, 8943314. <https://doi.org/10.1155/2022/8943314>
- Zhang, X., Wang, C., Li, E., & Xu, C. (2014). Assessment model of ecoenvironmental vulnerability based on improved entropy weight method. *The Scientific World Journal*, 2014(1), 797814. <https://doi.org/10.1155/2014/797814>
- Zhou, K., Wang, Y., & Hussain, J. (2022). Energy poverty assessment in the Belt and Road Initiative countries: Based on entropy weight-TOPSIS approach. *Energy Efficiency*, 15(7), 46. <https://doi.org/10.1007/s12053-022-10055-8>
- Ziamba, P. (2022). Energy security assessment based on a new dynamic multi-criteria decision-making framework. *Energies*, 15(24), 9356. <https://doi.org/10.3390/en15249356>

Ek 1: Karar Matrisi

Ülkeler	2020										2021										2022									
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9			
Almanya	63,7	55,2	0,1	19,1	78,4	93,0	10,7	81,5	92,1	63,4	57,4	0,1	19,4	78,8	91,6	10,9	84,4	94,7	68,6	60,9	0,1	20,8	80,3	81,9	12,2	80,9	92,4			
Avusturya	58,4	37,2	0,1	36,5	67,0	96,9	10,3	91,3	93,9	51,8	31,8	0,1	34,6	66,4	95,6	10,5	96,6	100,2	74,5	40,9	0,1	33,8	66,0	81,4	12,3	92,2	94,5			
Belçika	78,0	63,8	0,2	13,0	76,5	140,7	7,1	85,0	90,1	70,8	58,0	0,1	13,0	73,6	141,9	7,1	94,4	97,3	74,0	59,8	0,2	13,8	73,9	121,1	8,3	87,6	90,7			
Bulgaristan	38,2	38,9	0,1	23,3	62,6	156,1	6,4	88,8	94,0	36,2	37,7	0,1	19,4	66,3	151,9	6,6	96,6	100,6	37,1	42,8	0,2	19,1	69,2	137,9	7,3	98,5	97,8			
Çekya	38,8	28,5	0,1	17,3	70,8	134,3	7,4	88,4	93,7	40,0	30,1	0,1	17,7	71,4	133,3	7,5	93,0	99,8	41,8	31,3	0,1	18,2	71,3	122,2	8,2	90,9	95,3			
Danimarka	44,9	37,9	0,1	31,7	59,0	71,2	14,0	79,6	84,4	32,3	32,0	0,1	41,0	57,3	67,6	14,8	84,1	89,5	42,9	35,0	0,1	41,6	58,8	60,2	16,6	82,2	86,1			
Estonya	10,5	14,1	0,2	30,1	65,9	140,9	7,1	81,8	96,1	1,4	11,1	0,2	37,4	68,5	131,0	7,6	84,3	99,1	6,2	5,1	0,2	38,5	72,8	128,6	7,8	89,5	97,6			
Finlandiya	43,2	42,5	0,1	43,9	41,4	171,1	5,8	89,2	92,7	38,0	36,5	0,1	42,9	38,3	168,3	5,9	93,9	98,8	40,9	40,4	0,1	47,9	38,3	151,7	6,6	89,9	92,5			
Fransa	44,4	40,5	0,2	19,1	47,9	105,2	9,5	79,8	81,0	44,1	39,1	0,2	19,2	48,1	105,7	9,5	85,4	89,4	51,9	48,3	0,2	20,3	51,1	91,0	11,0	78,6	86,3			
GKRY	93,2	26,4	0,2	16,9	89,1	104,9	9,5	88,8	85,8	89,5	30,7	0,2	19,1	88,8	96,7	10,3	93,4	92,3	92,0	39,6	0,2	19,4	89,3	93,8	10,7	100,3	99,4			
Hırvatistan	53,6	25,8	0,1	31,0	68,9	105,7	9,5	84,8	89,3	54,5	43,1	0,1	31,3	67,3	96,5	10,4	90,4	96,2	60,3	47,8	0,1	27,9	69,2	84,5	11,8	90,7	95,1			
Hollanda	68,1	65,8	0,1	14,0	90,4	123,3	8,1	83,5	83,0	58,4	60,7	0,1	13,0	89,1	114,5	8,7	86,7	86,0	80,2	57,4	0,1	15,0	87,6	96,1	10,4	80,0	79,9			
İrlanda	71,1	67,9	0,2	16,2	87,2	45,0	22,2	90,1	88,7	77,0	69,9	0,1	12,4	87,7	39,9	25,1	92,5	90,6	79,2	74,6	0,1	13,1	87,4	34,7	28,8	95,9	94,8			
İspanya	67,9	65,5	0,2	21,2	70,8	100,2	10,0	77,2	75,2	69,5	66,7	0,2	20,7	72,4	96,0	10,4	81,9	81,9	74,3	69,7	0,2	22,1	74,1	88,7	11,3	83,2	82,8			
İsveç	32,0	37,7	0,1	60,1	31,4	124,1	8,1	84,3	91,8	21,2	34,0	0,1	62,7	31,4	119,5	8,4	88,3	95,2	26,8	37,5	0,1	66,0	30,3	107,8	9,3	86,8	93,2			
İtalya	73,5	71,9	0,2	20,4	77,7	85,8	11,7	73,2	74,9	73,4	72,6	0,2	18,9	78,4	84,1	11,9	80,5	83,4	79,4	76,2	0,2	19,1	79,1	74,0	13,5	77,0	81,7			
Letonya	45,5	23,8	0,3	42,1	57,3	111,6	9,0	94,9	95,9	38,3	23,2	0,2	42,1	57,1	109,6	9,1	99,4	101,0	38,7	13,1	0,2	43,3	53,3	92,9	10,8	95,9	98,6			
Litvanya	74,9	76,6	0,3	26,8	67,2	106,3	9,4	77,4	113,7	73,3	75,4	0,3	28,2	64,5	99,3	10,1	82,3	121,3	72,4	75,6	0,3	29,6	64,0	81,3	12,3	78,4	115,5			
Lüksemburg	92,3	11,5	0,2	11,7	78,1	80,7	12,4	82,5	85,1	92,4	11,7	0,2	11,7	78,7	75,8	13,2	87,7	90,6	91,3	9,0	0,2	14,4	77,1	64,5	15,5	79,5	82,0			
Macaristan	56,6	45,1	0,2	13,9	69,3	119,9	8,3	90,7	96,1	54,1	42,4	0,2	14,1	69,4	115,7	8,6	94,6	101,9	64,2	49,0	0,2	15,2	67,6	98,7	10,1	90,6	97,7			
Malta	97,6	54,4	0,4	10,7	96,8	192,6	5,2	80,9	117,5	97,1	45,1	0,4	12,7	96,3	156,5	6,4	83,8	126,2	99,0	52,6	0,4	13,4	96,1	155,4	6,4	96,8	150,5			
Polonya	42,8	41,8	0,2	16,1	86,3	117,4	8,5	110,1	121,6	40,5	39,8	0,2	15,6	88,0	114,2	8,8	118,2	128,5	46,0	41,0	0,2	16,9	87,1	98,5	10,2	112,0	123,7			
Portekiz	65,3	60,9	0,2	34,0	70,6	93,6	10,7	78,5	78,7	66,9	58,9	0,2	34,0	68,3	87,6	11,4	78,6	82,5	71,3	60,2	0,2	34,7	68,6	81,0	12,3	83,6	87,9			
Romanya	28,2	28,5	0,2	24,5	71,8	76,5	13,1	85,8	95,7	31,6	31,8	0,2	23,9	72,5	75,0	13,3	91,8	103,1	32,4	30,4	0,2	24,1	71,8	62,4	16,0	86,0	97,6			
Slovakya	56,3	50,5	0,2	17,3	62,2	134,8	7,4	87,2	89,7	52,6	48,0	0,2	17,4	63,8	137,1	7,3	94,4	100,3	69,6	54,5	0,2	17,5	61,7	120,2	8,3	88,9	93,3			
Slovenya	45,7	14,4	0,1	25,0	61,0	114,3	8,7	84,8	85,9	48,6	14,7	0,2	25,0	61,0	107,3	9,3	87,4	92,0	54,0	23,4	0,2	25,0	60,7	94,7	10,6	85,4	91,9			
Yunanistan	81,4	80,9	0,3	21,7	81,4	111,1	9,0	63,5	68,7	73,8	81,0	0,3	22,0	82,2	106,0	9,4	67,1	72,2	79,6	82,2	0,3	22,7	83,4	94,4	10,6	69,0	76,7			