



T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ ENERJİ GÜVENLİK
İNDEKSİ HESAPLAMASI: BULANIK ORTAM MODELLEMESİ**

SÜMEYYE ZÜHRE ARGİN
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Doç. Dr. Evrencan ÖZCAN

KIRIKKALE-2025



**T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ ENERJİ GÜVENLİK
İNDEKSİ HESAPLAMASI: BULANIK ORTAM MODELLEMESİ**

**SÜMEYYE ZÜHRE ARGİN
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Evrencan ÖZCAN**

KIRIKKALE-2025

KABUL VE ONAY

Sümeyye Zühre Argin tarafından hazırlanan YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ ENERJİ GÜVENLİK İNDEKSİ HESAPLAMASI adlı tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Evrencan Özcan

İmza.....

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Doç. Dr. Ercüment Neşet Dizdar

İmza.....

Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye: Prof. Dr. Tamer EREN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

İmza.....

Tez Savunma Tarihi: 23/05/2025

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Recep Çalın

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü

ETİK BEYANI

Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Sümeyye Zühre ARGİN

ÖZET

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ ENERJİ GÜVENLİK İNDEKSİ HESAPLAMASI: BULANIK ORTAM MODELLEMESİ

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Evrencan ÖZCAN

Mayıs 2025, 66 sayfa

Üretimde temel girdi olarak kullanılan enerjiye, birçok alanda ihtiyaç duyulmaktadır. Üreten ve gelişen bu dünya düzeninde nüfus artışıyla enerjiye talepte artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynak kullanan elektrik üretim santrallerinin değerlendirilmesinde dikkate alınan en önemli kriter sürdürülebilirliktir. Kullanılabilirlik oranı, seviyelendirilmiş elektrik üretim maliyeti ve önlenen emisyon ana başlıklarından oluşan sürdürülebilir enerji politikalarında enerji güvenliği indeksi de dikkate alınması gereken bir kriterdir. Enerji güvenliği, insanların yaşam kalitesini sürdürebilmeleri, ekonomik faaliyetlerin sürdürülebilirliği ve savunma stratejilerinin yürütülebilmesi için gereken enerjinin uygun maliyetlerle ve güvenilir şekilde temin edilmesini ifade eder. Literatürde enerji güvenliği indeksi hesaplanırken ana parametreler olarak kullanılabilirlik, satın alınabilirlik, erişilebilirlik ve kabul edilebilirlik 4 ana parametre kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji güvenliği hesaplamasında birbiri ile çelişen ve ilişkili kriterlerin ağırlıklandırılması probleminin ele alındığı ve literatürde ilk kez gerçekleştirilen bu çalışmada problemin doğası gereği çok ölçütlü karar algoritmalarına başvurulmuştur. Bu kapsamda 5 ana parametrenin 14 alt parametre ile oluşturulan veri setinde karşılaştırmalı analiz yapılmaktadır. Karşılaştırmalı analizde kullanılan yöntemler Q-Rung, Küresel-AHP ve Nötrosifik AHP yöntemleridir. Q-Rung yöntemi ana çözüm yöntemi olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji Güvenlik İndeksi, Küresel-AHP, Nötrosifik-AHP, Q-Rung, Sürdürülebilir Enerji Üretimi

ABSTRACT

ENERGY SECURITY INDEX CALCULATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES: FUZZY ENVIRONMENT MODELİNG

Kırıkkale University

Graduate Scholl of Natural and Applied Sciences

Department of Industrial Engineering, Master Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Evrencan ÖZCAN

May 2025, 66 pages

Energy, which is used as a fundamental input in production, is needed in many areas. In this producing and evolving global order, the demand for energy is increasing with population growth. The most important criterion considered in the evaluation of power plants using renewable energy sources is sustainability. In sustainable energy policies, consisting of headings such as usability rate, leveled electricity generation cost, and prevented emissions, the energy security index is also a criterion that should be considered. Energy security refers to the reliable and affordable supply of the energy required to sustain people's quality of life, ensure the sustainability of economic activities, and execute defense strategies. In the literature, four main parameters availability, affordability, accessibility, and acceptability are used as the primary factors in calculating the energy security index. In this study, where the weighting problem of conflicting and interrelated criteria in the energy security calculation of renewable energy sources is addressed for the first time in the literature, multi-criteria decision algorithms were utilized due to the nature of the problem. In this context, a comparative analysis is conducted on a dataset created with 5 main parameters and 14 sub-parameters. The methods used in the comparative analysis are Q-Rung, Global-AHP, and Neutrosophic AHP. The Q-Rung method was determined as the main solution method.

Keywords: Energy Security Index, Global-AHP, Neutrosophic-AHP, Q-Rung, Sustainable Energy Production

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının hazırlanmasında bana rehberlik eden, bilgi ve tecrübeleriyle yolumu aydınlatan, her aőamada sabır ve anlayıőla destek olan değerli danıőmanın Sayın Doç.Dr. Evrencan Özcın'a en içten teőekkürlerimi sunarım. Kendilerinin kıymetli katkıları, yapıcı eleőtirileri ve yönlendirmeleri sayesinde bu çalışma őekillenmiő ve tamamlanmıőtır. Ayrıca bilgi birikimi, akademik disiplini ve örnektutumuyla bana ilham kaynağı olduğu için kendisine minnettarım.

Bu süreç boyunca benden desteklerini esirgemeyen ve her daim arkamda duran canım babam, annem İsmet ve Suna Argin'e ve kardeőim Tuba Argin'e teőekkürlerimi sunuyorum.

Beni her konu destekleyen ve yalnız bırakmayan değerli arkadaőım Berkan Onat Aęca 'ya teőekkürlerimi sunuyorum.



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. ENERJİ GÜVENLİĞİ	5
3. LİTERATÜR TARAMASI	9
3.1. 4A Kriterlerin Kullanımı	11
3.2. 4A ⁻ Kriterlerin Kullanımı	12
3.3. 4A ⁺ Kriterlerin Kullanımı.....	13
4. METEDOLOJİ	21
4.1. Küresel Bulanık Kümeler	21
4.2. Nötrosifik Kümeler	24
4.3. Q Seviyeli Bulanık Kümeler	27
4.3.1. Q-ROF TOPSIS Yöntemi	29
5. UYGULAMA	33
6. KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ	41
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	60
KAYNAKÇA	62
ÖZGEÇMİŞ	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Literatür Çizelgesi	15
5.1. Karar Verici Bilgileri	33
5.2. Alternatif Kaynaklar	34
5.3. Alt Parametrelerin Tanımları	38
6.1. Küresel-AHP Dilsel Değerler	41
6.2. Küresel-AHP Parametre Ağırlıkları	42
6.3. Küresel AHP birleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisleri	43
6.5. Nötrosifik Dilsel Değerler	46
6.8. Küresel-AHP TOPSIS	51
6.9. Nötrosifik-AHP TOPSIS	52
6.10. Q-ROF Dilsel Değerler	53
6.11. Q-ROF Parametre Ağırlıkları	55
6.13. Q-ROF Alternatif Kaynakların Sıralanması	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. 4A Parametrelerini Kullanan Ülkeler	11
3.2. 4A- Parametrelerini Kullanan Ülkeler	12
3.3. 4A+ Parametrelerini Kullanan Ülkeler	13
4.1. Küresel Bulanık Kümelerin Geometrik Gösterimi	22
5.1. Uygulama Akışı	36
5.2. Parametre ve Alternatiflerin Gösteri	37
6.1. Küresel-AHP TOPSIS Alternatif Sıralama	51
6.2. Nötrosifik-AHP TOPSIS Alternatif Sıralama	52
6.3. Q-ROF Alternatif Kaynakların Sıralanması	58

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
ÇKVV	Çok Kriterli Karar Verme
N-AHP	Nötrosofik Analitik Hiyerarşi Süreci
SAW	Simple Additive Weighting
SWGM	Spherical Weighted Geometric Average Matrix
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution
Q-ROF	q-Rung Orthopair Fuzzy Sets



1. GİRİŞ

Enerji, tarih boyunca toplumların kalkınmasında belirleyici bir unsur olmuş; yaşam kalitesinin artmasında, üretimin devamlılığında ve teknolojik ilerlemede temel bir girdi olarak yer almıştır. Özellikle 20. yüzyıldan itibaren sanayileşmenin ivme kazanması ve nüfus artışının hızlanmasıyla birlikte enerjiye olan talep, sürdürülebilir politikaların merkezine yerleşmiştir. Bu bağlamda enerji yalnızca teknik bir ihtiyaç değil; aynı zamanda ekonomik, çevresel ve jeopolitik bir konu haline gelmiştir.

Enerjinin kısaca tanımı iş yapabilme yeteneğidir. Enerji mekanik, ısı, elektrik, nükleer gibi bir türden diğerine dönüşebilmekte ve bu türlere göre sınıflandırılmaktadır. Enerji kaynakları kullanılışlarına göre ve dönüştürülebilirliklerine göre 2 grupta incelenmektedir. (Koç ve ark.,2015) Kullanılışlarına göre enerji kaynakları da yenilemez ve yenilebilir olarak 2'ye ayrılmaktadır. Bu çalışmada yenilebilir enerji kaynakları, hidrolik, güneş, biyokütle, rüzgâr, jeotermal alternatif kaynaklar olarak incelenmiştir.

Günümüzde temel enerji kaynakları olarak işlev gören doğalgaz, petrol, kömür gibi fosil enerji kaynaklarının hızlı bir şekilde tüketilmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarına talebi arttırmaktadır. Alternatif enerji kaynakları, sürdürülebilirliğin önemli bir kriteridir. (Botelho ve ark., 2016). Yenilenebilir enerji kaynaklarının doğada sınırsız bulunması çevreye minimum boyutta zarar vermesi sürdürülebilirliğin temel noktasıdır.

Fosil yakıtların sınırlılığı, çevreye verdikleri zararlar ve küresel iklim değişikliğine etkileri göz önünde bulundurulduğunda, alternatif enerji kaynaklarına yönelimin gerekliliği daha da belirgin hale gelmektedir. Yenilenebilir enerji sistemleri, hem karbon salınımını azaltma hem de enerji arzının sürdürülebilirliğini güvence altına alma açısından büyük avantajlar sunmaktadır. Bu nedenle günümüzde birçok ülke, enerji portföylerini çeşitlendirmek ve yenilenebilir kaynakların payını artırmak için kapsamlı stratejiler geliştirmektedir.

Dünya da artan nüfusun sonucunda enerji talebinin bu zaman periyodunda karşılanabilirliği gibi gelecek zaman periyodunda karşılanabilme çabası sürdürülebilirlik kavramını ortaya çıkarmıştır. (Torul ve ark.,2021) Böylelikle iyi bir alt yapı sistemi kurulduğunda uzun yıllar enerji üretimi yapılabilir. Ülkelerin ekonomik alanda kalkınabilmeleri için yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilirlik indeksinin uygulanma politikası oldukça önemli bir husus olmaktadır.

Fakat bu önem, enerji kaynaklarına sahip olan ülkelerin ekonomik açıdan güçlü ülkeler tarafından sömürülmesine ve sanayi devrimiyle birlikte enerji kaynaklarının stratejik bir değere dönüştürmüştür. Enerji kaynakları devletlerin en önemli hayati ihtiyaçlarından biri haline gelmiştir ve güvenlik sorunları arasında yer almaktadır. Ancak görülüyor ki enerji güvenliği terimi bu süreçler içerisinde kullanılmamıştır.1973 yılı itibarıyla yaşanan petrol krizi ile ilk defa kullanılmaktadır. Bunun sebebi ise o dönemde petrole konulan ambargo ile birlikte enerji kaynakları küresel bir sorun haline gelmektedir. Bu süreçten sonra artık terimsel olarak kullanılan enerji güvenliği kavramının tam olarak tanımı bulunmamaktadır. Evrensel olarak kabul görmüş tam bir tanımı olmasa da bazı uluslararası kuruluşlarda şöyle tanımlamalar yapılmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansına (IEA) göre “Enerji kaynaklarının kesintiye uğramadan uygun fiyattan erişebilirliği” olarak tanımlanmaktadır. Dünya Enerji Konseyi ise “bir devletin kendi vatandaşlarına güvenilir ve sürdürülebilir, kesintisiz enerji hizmeti sağlayabilme yeteneği” olarak tanımlanmıştır.

Daha geniş bir çerçeve ile ele alındığında enerji güvenliğinin tanımı şu şekilde yapmaktayız. Enerji güvenliği, insanların yaşam kalitesini sürdürebilmeleri, ekonomik faaliyetlerin sürdürülebilirliği ve savunma stratejilerinin yürütülebilmesi için gereken enerjinin uygun maliyetlerle ve güvenilir bir şekilde temin edilmesini ifade eder.

Enerji güvenliği indeksini, analiz etmek, tahminlerde bulunmak ve karar vermek, farklı önlemler öneren çok sayıda objektif ve subjektif çalışma vardır. Enerji güvenliğinin değerlendirilmesindeki önem, mevcut ve gelecekteki durumunun değerlendirilmesi ve gelecek için ön hazırlık yapılmasına olanak sağlanabilmektedir (Ziemba ve ark.,2021) Fakat enerji güvenliği indeksi değerlendirilirken dikkate

alınması gereken husus, enerji güvenliği çok sayıda faktörden etkilenen spesifik bir kriterdir (Zeng ve ark.,2017)

Örneğin; enerji karışımını oluşturan her bir kaynak için enerji güvenliği oluşturan Kanada için ele alınan çalışmada Ahp yöntemi kullanılarak enerji güvenliği endeksi tedarik, alt yapı ve satın alınabilirlik olarak üç set şeklinde değerlendirilmektedir. Yani enerji güvenliği endeksi bu ana kriterler altında incelenmektedir. (Hughes ve Sheth 2009). Çok boyutlu enerji güvenliği risk endeksini ele alan makalede birden fazla zaman periyodunu içeren geçmiş, mevcut ve gelecekteki durum tahminlerinden veriler ortaya koyarken aynı zamanda da enerjide ki değişiklikleri de hesaplayarak enerji güvenliğini değerlendirmektedir (Ziemba,2022). Aslında bu örneklerle anlatılmak istenen şudur;

Enerji güvenliği endeksi hesaplanırken ele alınan ülkelerde alt parametreler dahilinde ana parametrelerin çözümlenme noktasında uygulanan yöntem ile şekil alabilmektedir.

Bu çalışmanın ana odağı ve literatüre katkısı 2 boyutta ele alınmaktadır. Birincisi kullanılan yöntemler ikincisi belirlenen ana parametrelerdir. Birinci kısım çalışmada kullanılan yöntemdir. Çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemi literatürün %33,3'ünü kapsamaktadır. ÇKKV yöntemi enerji güvenliği endeksi ölçümünde objektif sonuçlar vererek daha iyi hizmet ettiği görülmektedir. İkinci kısım belirlenen ana kriterlerdir. Yenilenebilir enerji kaynaklarında, sürdürülebilirlik ana parametresi bir ülkenin ekonomik alanda kalkınmasının ana unsurudur. Sürdürülebilirlik, bu çalışmada kullanılabilirlik oranı, seviyelendirilmiş elektrik üretim maliyeti ve önlenen emisyon alt parametreler dahilinde ana parametre olarak ele alınmaktadır. Diğer ana kriterler Asya Pasifik Enerji Araştırma Merkezi tarafından öne sürülen 4A kriterleridir. Kullanılabilirlik (Availability), Erişilebilirlik (Accessibility), Satın Alınabilirlik (Affordability), Kabul Edilebilirlik (Acceptability)'dir. Literatür tarama kısmında yapılan gruplandırma da 4A⁺ sınıfında yer almaktadır. Literatür tarama kısmında bu konu detaylı bir şekilde ele alınmaktadır.4A⁺ kriterlerini ele alan çalışmalar literatürün %12'lik dilimini kapsamaktadır. Fakat 4A⁺ (4A plus) olarak nitelendirdiğimiz plus kısmında sürdürülebilirlik endeksi ile yapılan bir çalışma eksikliği görülmektedir. Bu çalışmada belirlenen kriterler literatürde bulunan bu eksik tarafı tamamlamaktadır.

Bu çalışmanın özgünlüğü, literatürde yapılan analizlerle ortaya çıkmakta ve özellikle elektrik üretiminde alternatif kaynakların enerji güvenliği indeksi içindeki rolünü ele almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili, ortak paydaşların görüşlerini bir araya getirerek belirli kriterler altında toplanmış ve bu sayede daha ayrıntılı bir değerlendirme imkânı sağlanmıştır. Bu çalışma, enerji güvenliği kavramının çok boyutlu ve birbirine bağlı yapısını vurgulayarak, enerji stratejilerinin gelecekteki başarıları için önemli bir temel oluşturmaktadır. Yöntem olarak da diğer çalışmalardan ayrılan özelliği de objektif bir sonuç vermektedir.

Çalışmanın amacı enerji güvenliği indeksini, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemli bir bileşeni olan sürdürülebilirlik ile ele alınan ana parametreler ile birleştirilerek ana çözüm olarak Q-ROF ile çözümlenip, Küresel-AHP TOPSIS ve Nötrosifik-AHP TOPSIS ile karşılaştırmalı analiz yapmaktır.

Bu çalışmanın veri seti 5 ana parametre, 14 alt parametre, 10 alternatif kaynak ve 5 uzman görüşünden oluşmaktadır. Enerji güvenliği parametresi doğrultusunda çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları alternatif olarak değerlendirilmiştir. Sadece geleneksel kaynaklar değil, hibrit yani birden fazla kaynağın birleşimden oluşan sistemlerde analize dahil edilmiştir. Bu çeşitlilik, enerji güvenliğine çok boyutlu yaklaşım gerekliliğini açıklamıştır. Çalışmada 14 alt parametre ve 10 alternatifin 5 uzman tarafından değerlendirildiğinde, değerlendirme de enerji güvenliğinin çok sayıda faktörden etkilenen spesifik bir kriter olduğu için bulanık kümeler kullanılmıştır. Belirsiz ve karmaşık sistemlerde bulanık kümeler objektif sonuçlar vererek daha başarılı sonuçlar elde etmiştir. Küresel-AHP, Nötrosifik-AHP ve Q-ROF metoduyla analiz yapıp değerlendirildiğinde Q-ROF metodunun doğası gereği belirsiz ve karmaşık olayları daha geniş perpektifte analiz edildiğinde daha tutarlı ve güvenilir sonuç verdiği görülmektedir. Bu tezin sonraki bölümleri şu şekilde ilerlemektedir. Bölüm 2’de enerji güvenliği teriminin tarihsel gelişimi, ilk nerede kullanıldığı, nasıl ortaya çıktığı ve tanımı anlatılmaktadır. Bölüm 3, enerji güvenliğini oluşturan parametrelerle bir gruplandırma metodu oluşturulmuştur. Çalışmalar bu kapsamda değerlendirilerek özgün bir literatür taraması yapılmıştır. Bölüm 4’te kullanılan metodolojiler anlatılmaktadır. Bu metodolara ait çözümler ve ayrıntılı analizler Bölüm 5’te gösterilmektedir. Bölüm 6’da kullanılan metodolojilerin karşılaştırmalı analizinin sonuçları yer almaktadır. Çalışma, Bölüm 7 ile çalışma sonuçları ve öneriler ile sona ermektedir.

2. ENERJİ GÜVENLİĞİ

Bir ülkenin ekonomik refah düzeyindeki ana unsur ekonomik güvenlidir. Ekonomik güvenlik,elverişsiz ortamlar dahilinde bile yurt içinde ve yurt dışında gerçekleşen politik süreçlerde en küçük yapıdan en büyük yapıya kadar yani bireyin, toplumun ve devletin menfatini koruyan ve garanti altına alan ekonomik durumu ifade etmektedir (Abdullayev., 2021). Bu kavram yalnızca makroekonomik istikrarla sınırlı olmayıp aynı zamanda stratejik kaynakların sürdürülebilirliği ve dışa bağımlılığın yönetilmesi gibi unsurları da içermektedir. Bu kapsam da enerji, ekonomik güvenliğin temel bileşenlerinden biri olarak ortaya çıkmaktadır (Labandeira ve ark., 2012).

Enerji üretim süreçlerinin devamlılığı, ulaştırma ağlarının işleyişi ve sanayi faaliyetlerinin sürdürülebilirliği açısından kritik bir girdidir. Enerji arzında yaşanabilecek herhangi bir kesinti ya da fiyat dalgalanması ekonomik faaliyetleri doğrudan etkileyerek istikrarsızlığa yol açmaktadır. Bu nedenle ülkeler enerji kaynaklarına erişimlerini garanti altına almayı ve kaynaklarda çeşitliliği artırmayı ekonomik güvenliğin bir stratejisi olarak benimsemektedir (Banna ve ark., 2023).

Birçok ülke enerji güvenliğini ekonomik güvenliğin ayrılmaz parçası olarak değerlendirmekte ve yenilenebilir enerji yatırımlarını artırarak hem arz çeşitliliğini sağlamakta hemde uzun vadede dışa bağımlılığı azaltmayı hedeflemektedir. Enerji verimliliği politikaları, stratejik rezervler oluşturulması ve enerji tedarik zincirlerin güvenliği gibi önlemler de ekonomik güvenliğin korunmasında önemli araçlar arasında yer almaktadır. Enerji arzındaki istikrar ekonomik güvenliği desteklerken güçlü ve çeşitlendirilmiş bir ekonomide enerji politikalarının sürdürülebilirliğini sağlamaktadır (Strojny ve ark., 2023).

Enerji güvenliği, yalnızca enerji kaynaklarının sürekli bulunabilirliği ile sınırlı kalmayan, aynı zamanda bu kaynaklara ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan sürdürülebilir bir erişimi de içeren çok boyutlu bir kavramdır. Bu bağlamda enerji güvenliği, ekonomik büyümeyi desteklemek, sosyal eşitliği teşvik etmek ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla enerji arzının kesintisiz, karşılanabilir ve çeşitli

kaynaklara dayalı şekilde sağlanması olarak tanımlanabilir. Ayrıca, enerji güvenliği yalnızca geleneksel fosil yakıtlara erişimi değil, iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi de kapsar. Enerji arzı üzerindeki dış şoklara ve piyasa oynaklıklarına karşı dirençli sistemlerin inşası, özellikle gelişmekte olan ülkelerde enerji güvenliğini sağlamada kritik öneme sahiptir (Javed ve ark.,2025).

Enerji güvenliği, enerji sistemlerinin şoklara karşı dayanıklılığı, altyapı güvenliği, tedarik kaynaklarının çeşitliliği ve arz-talep dengesinin sürdürülebilir şekilde sağlanması çerçevesinde ele alınmalıdır. Enerji politikalarının iklim değişikliği, teknolojik dönüşüm ve küresel enerji talebi ile birlikte değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Bu yaklaşım, enerji güvenliğinin sadece mevcut arzın sürekliliği değil, aynı zamanda enerjiye erişimin adil, çevreye duyarlı ve uzun vadeli hedeflerle uyumlu olmasını da içerdiğini göstermektedir (Muhammad ve ark.,2025).

Enerji güvenliği, günümüzde uluslararası politika, ekonomi ve çevre politikalarının kesişim noktasında yer alan çok boyutlu bir kavramdır. Ancak bu kavram, tarihsel olarak oldukça yeni sayılabilecek bir dönemde, özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısında önem kazanmaya başlamıştır. Enerji kaynaklarının arzına yönelik ilk büyük kriz, 1973 yılında yaşanan petrol ambargosu ile kendisini göstermiştir. OPEC ülkelerinin siyasi gerekçelerle uyguladığı bu ambargo, başta Batılı sanayileşmiş ülkeler olmak üzere birçok ekonomiyi ciddi şekilde etkilemiş; petrol fiyatlarının hızla yükselmesi, enerjiye olan bağımlılığın stratejik bir kırılganlık yarattığını açık biçimde ortaya koymuştur (Yergin., 2006). Bu kriz, enerji güvenliği kavramının ilk kez uluslararası ilişkiler ve ekonomi literatüründe tartışılmasına neden olmuştur.

1970'lerden itibaren artan enerji arz kesintileri, kaynaklara erişim sorunları ve fiyat oynaklıkları, devletlerin enerji politikalarına daha fazla müdahil olmasını beraberinde getirmiştir. Enerji, sadece ekonomik büyümenin bir girdisi olarak değil, aynı zamanda ulusal güvenliğin ve dış politikanın ayrılmaz bir bileşeni olarak değerlendirilmiştir (Kruyt et al., 2009).

Kavramsal açıdan bakıldığında, enerji güvenliği için literatürde evrensel düzeyde üzerinde uzlaşılan tek bir tanım bulunmamaktadır. Ancak birçok uluslararası kuruluş ve akademik çalışma, kavramı ortak bazı boyutlar çerçevesinde değerlendirmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), enerji güvenliğini “tüketicilerin ihtiyaç duyduğu

enerjiye, kesintisiz ve uygun fiyatlarla ulaşılabilir durumu” olarak tanımlar (IEA, 2020). Benzer şekilde Dünya Enerji Konseyi de, enerji güvenliğini, bir ülkenin vatandaşlarına sürdürülebilir, güvenilir ve ekonomik olarak erişilebilir enerji hizmeti sunabilme kapasitesi şeklinde ifade etmektedir (World Energy Council, 2019).

Bununla birlikte enerji güvenliği yalnızca kısa vadeli arz güvenliğiyle sınırlı değildir. Uzun vadeli perspektiften bakıldığında, enerji altyapısının sürdürülebilirliği, düşük karbonlu enerji sistemlerine geçiş, enerji verimliliği politikaları ve yenilenebilir enerji yatırımları da bu güvenliğin temel bileşenleri arasında yer alır (Cherp ve ark., 2014). Dolayısıyla enerji güvenliği, teknik, ekonomik, çevresel ve jeopolitik unsurların bir arada değerlendirildiği çok boyutlu bir stratejik meseledir.

Enerji sistemlerinin yalnızca sürekli bir arzı garanti altına almasıyla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda bu sistemlerin ekonomik, çevresel ve teknolojik açıdan sürdürülebilir olmasını da kapsamaktadır. Bu bütüncül yaklaşım, enerjiye kesintisiz erişimin sağlanmasını, arz kaynaklarının çeşitlendirilmesini, dışa bağımlılığın azaltılmasını ve enerji arz altyapılarının dayanıklılığının artırılmasını gerektirir. Enerji güvenliği; uzun vadeli arz istikrarı ile kısa vadeli risklerin yönetimini birlikte ele alan, enerji sistemlerinin iklim değişikliği, doğal afetler, jeopolitik gerilimler ve piyasa dalgalanmalarına karşı esnekliğini artırmayı amaçlayan bir yapı olarak tanımlanmaktadır. Bu kapsamda enerji güvenliği, yalnızca geleneksel enerji kaynaklarının güvenliğini değil, aynı zamanda yenilenebilir enerji teknolojilerinin entegrasyonu, enerji depolama kapasitesinin artırılması ve enerji altyapısının dijital tehditlere karşı korunmasını da içermektedir. Bir diğer önemli unsur ise, enerji güvenliğinin sadece arz yönlü değil, aynı zamanda talep taraflı stratejilerle de desteklenmesi gerektiğidir. Enerji verimliliği uygulamaları, akıllı şebeke sistemleri ve tüketici davranışlarının şekillendirilmesi gibi etkenler, enerji güvenliğinin sağlanmasında kritik öneme sahiptir. Sonuç olarak enerji güvenliği; ekonomik büyüme, çevresel sürdürülebilirlik ve toplumsal refahın devamlılığı açısından vazgeçilmez stratejik bir öncelik olarak ele alınmalıdır (Tishchenko ve ark., 2025).

Daha geniş bir çerçeve ile ele alındığında, enerji güvenliği kavramı yalnızca enerji arzının devamlılığı ile sınırlı olmayan, aynı zamanda sosyal, ekonomik ve çevresel boyutları da içeren çok yönlü bir güvenlik meselesi olarak tanımlanabilir. Enerji güvenliği, insanların yaşam kalitesini sürdürebilmeleri, ekonomik faaliyetlerin kesintisiz olarak devam edebilmesi ve ulusal savunma stratejilerinin etkin bir

biçimde yürütülebilmesi için gerekli olan enerjinin hem uygun maliyetlerle hem de güvenilir, istikrarlı kaynaklardan temin edilmesini kapsar. Bu bağlamda enerji güvenliği, yalnızca enerji altyapısının fiziksel güvenliği değil, aynı zamanda enerji piyasalarının şeffaflığı, enerji teknolojilerinin gelişmişliği, dışa bağımlılığın azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımı gibi çok çeşitli faktörleri de içeren stratejik bir bütün olarak ele alınmalıdır.

Sonuç olarak, enerji güvenliği kavramı artık yalnızca enerji arzının sürdürülebilirliği ile sınırlı olmayan, bütüncül bir güvenlik anlayışını içeren stratejik bir alan olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, ülkelerin sadece enerji kaynaklarını çeşitlendirmeleri yetmemekte; aynı zamanda enerji diplomasisi, uluslararası iş birliği, yenilenebilir kaynaklara yönelik teknoloji yatırımları ve toplumsal farkındalık düzeyinin artırılması da büyük önem taşımaktadır. Günümüzde enerji güvenliği, bir ülkenin yalnızca ekonomik refahı değil, aynı zamanda siyasi istikrarı, çevresel sürdürülebilirliği ve uluslararası konumunu belirleyen temel etkenlerden biri haline gelmiştir.

3. LİTERATÜR TARAMASI

Enerji güvenliği ölçümleri ve göstergeleri ile ilgili literatür oldukça geniş ve her geçen gün ilgi de artmaktadır. Literatürde, enerji güvenliği indeksleri belirlenirken alt kriterler gruplandırılarak ana kriterler meydana gelmektedir. Alt kriterler oluşturulurken ele alınan ülkelerin jeopolitik konumu, çevresel, kültürel, siyasi politik durumu ve küresel ekonomik düzeyinin olduğu görülmektedir. Bu bağlamda çalışılan makalelerde hangi ülkelerin hangi kriterleri kullandığı önem kazanmaktadır. Çalışmalar incelenirken hangi ülkelerde, hangi kriterler, hangi yöntem ile değerlendirilmiş sorularına cevap aranmaktadır. Çalışmaları sınıflandırmak için Science Direct, Google Scholar ve Web of Science kullanılarak ‘‘Enerji Güvenliği’’ ve ‘‘Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri’’ sorgulanmıştır.

Enerji güvenliği kavramı bölgesel ve çok boyutlu nitelikler sebebiyle uluslararası alanda net tanımlanamamıştır. Bunun sonucunda enerji güvenliği indeksinin belirleyici ana kriterleri olarak Asya Pasifik Enerji Araştırma Merkezi tarafından öne sürülen 4A kriterleri bulunmaktadır.

- **Kullanılabilirlik (Availability):** Bu kriter, coğrafi olarak birincil enerji kaynaklarının bilinen rezervlerden elde edilebilirliğini ifade eder. Kullanılabilirlik endeksi, birincil enerji rezervlerinin güvenliğini ölçer. Önemli olan sadece rezervlere sahip olmak değil, aynı zamanda bu rezervlerin piyasadaki arz durumudur.
- **Erişilebilirlik (Accessibility):** Erişilebilirlik, bilinen enerji rezervlerinin arz açısından güvenilirliğini yansıtır. Bu bağlamda, enerji arzının kesintisiz bir şekilde devam edebilirliğini tanımlar. Bu bileşen, ekonomik faktörleri de içererek satın alınabilirlik bileşenine yönlendirir.
- **Satın Alınabilirlik (Affordability):** Bu kriter, enerji kaynaklarının fiyatlarını ve altyapı maliyetlerini ifade eder. Aynı zamanda, enerji fiyatlarının tüketiciye yansımaları da analize dâhil edilir. Kullanılabilirlik ve erişilebilirliğin ardından, çevresel kaygıların artan önemi de dikkate alınmaktadır. Artık enerji kaynağının

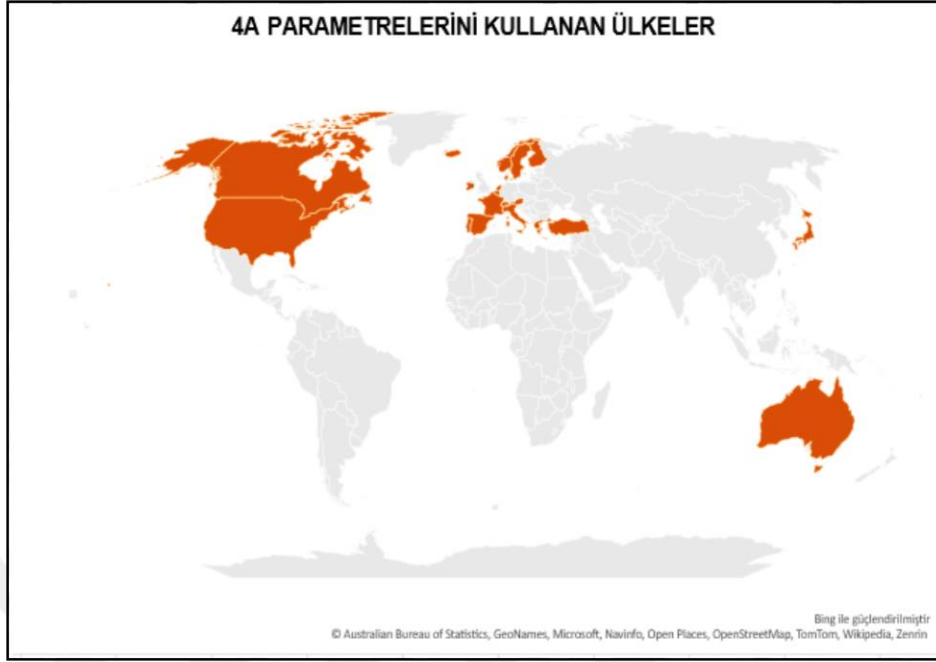
sadece bulunabilir, kullanılabilir ve ucuz olması değil, aynı zamanda uluslararası sivil toplum kuruluşlarının etkisi ve toplum tarafından kabul edilebilirliği de gerekmektedir.

- Kabul Edilebilirlik (Acceptability): Bu kriter, enerji kaynaklarının çevresel duyarlılık ve insan sağlığına zarar vermemesi durumunda toplum tarafından onaylanmasını ifade eder. Bu, enerji kaynaklarının toplum tarafından kabul edilmesi için önemli bir kriterdir ve çevresel ve sağlık faktörlerini içerir.

Literatürün daha geniş kapsamda anlaşılabilir olabilmesi açısından 4A kriterlerinde gruplandırma yapılmaktadır. 4A kriterleri üçe ayrılmıştır. Bunlar 4A⁻, 4A, 4A⁺ şeklindedir.

- 4A⁻ olarak ele alınan gösterim 4A kriterlerinin çalışmada hiç kullanılmadığı anlamına gelir.
- 4A olarak ele alınan gösterim 4A kriterlerinin çalışmada kullanıldığı anlamına gelir.
- 4A⁺ olarak ele alınan gösterim 4A kriterlerine ek olarak çevresel sürdürülebilirlik, verimlilik, yatırım, enerji alt yapısı, teknoloji verimlilik, enerji harcaması v.b kriterlerin de ilave edilerek analiz edilmesi anlamına gelir. Ek kriterler çalışmada konu edilen ülkenin ekonomik ve sosyo-kültürel çerçeve içerisinde GSYH içerisinde enerjinin payı ile ilişkilendirildiği görülmüştür.

3.1. 4A Kriterlerin Kullanımı



Şekil 3.1. 4A Parametrelerini Kullanan Ülkeler

Literatür incelemesi kapsamında, enerji güvenliği analizlerinde sıkça başvurulan 4A kriterlerinin, literatürde yeterince bütüncül bir biçimde kullanılmadığı tespit edilmiştir. Bunun temel nedeni, incelenen ülkelerin alt kriterlerinin oluşturulması sırasında 4A'nın (Availability, Accessibility, Affordability, Acceptability) ana kriter yapısının tam anlamıyla kapsanamamasıdır. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda konu seçimi itibari ile sadece 4A kriterleri ile çalışan bir makale dikkate alınmıştır. Ekonomik İş birliği ve Kalkınma Örgütüne (OECD) üye olan ülkeler analize dahil edilmektedir. Yöntem olarak çok kriterli karar verme (ÇKKV) yaklaşımı benimsenmiş; ancak literatürde sık rastlanan doğrusal programlama temelli parametrelili modellere alternatif olarak, parametre gerektirmeyen bir analiz yöntemi tercih edilmiştir. Bu yaklaşım, araştırmaya esneklik kazandırmakta ve sonuçların daha geniş bir çerçevede değerlendirilebilmesine imkân tanımaktadır. Ayrıca çalışmaya literatüre önemli katkı sağlayan bir simülasyon modeli entegre edilmiştir. Bu model, dünya enerji sistemini 26 ayrı bölgeye ayırarak detaylı analiz yapabilme kapasitesi sunan TIMER modelidir. TIMER modeli, enerji talep ve arz dengesinin uzun dönemli projeksiyonlar ışığında değerlendirilmesine olanak tanıyan kapsamlı bir simülasyon aracıdır (Kruyt ve ark., 2009).

3.2. 4A⁻ Kriterlerin Kullanımı



Şekil 3.2. 4A- Parametrelerini Kullanan Ülkeler

Kuzey Amerika, Güney Amerika, Asya ve Amerika kıtalarında bulunan ülkelerde yapılan çalışmalarda 4A⁻ kriterleri kullanılmıştır. İncelenen çalışmaların %80 'nini kapsamaktadır.

Asya, Avrupa, Kuzey Amerika kıtalarında yer alan ülkelerde yapılan değerlendirmelerde çok kriterli karar verme yöntemi kullanılmıştır. Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri çoğunlukla birbirleriyle tutarsız kriterlerin ve belirsizliklerin olduğu karmaşık karar problemlerini çözümleyebilmek için geliştirilmiştir. Hem girdi verilerine hem de karar sonuçlarına ilişkin belirsizlikler de iyi sonuçlar veren Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri, bulanık küme teorisine dayanan yöntemlerdir (Gökgöz ve ark.,2018) Enerji güvenliği performansını değerlendirmek için Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri niceliksel ve niteliksel sonuçlar verdiği için enerji güvenliğinin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. Sübjektif değerlendirmeler enerji güvenliğini anlaşılması zor bir noktaya getirdiği için niceliksel, niteliksel ve karşılaştırmalı analizler gün geçtikçe önem kazanmaktadır (Zeng ve ark.,2017). Aslında burada değerlendirmelerde ki önemli bir nokta enerji güvenliği ile ilgili mevcut ve gelecek ile ilgili tahminler ve değerlendirmeler enerji güvenliğine yönelik tehditlere önceden tepki verilmesine olanak sağlamaktadır.

4A⁻ kriterlerini kullanan makaleler arasında bir yaklaşım, karşılaştırma, duyarlılık analizi, swot analizi v.b. yöntemleri kullanarak literatürde farklı bakış açıları katan çalışmalarda mevcuttur. Fakat Singapur'u ele alan çalışma da bantlama analizi sonucunda subjektif bir sonuç aldıklarını daha sonra ağırlıklandırma yöntemi ile desteklediğinde objektif sonuç alındığı anlatılmaktadır. (Sovacoll,2013) Aslında burada neden Çok Kriterli Karar Verme yöntemi kullanıldığına iyi bir örnek teşkil etmektedir. Asya kıtasındaki ülkeleri inceleyerek uzun vadeli sürdürülebilirlik ile yeni enerji güvenli tanımlayan bir çalışmada da ağırlık katsayılarının belirlenir iken uzman bilir kişi görüşü kullanılması subjektif bir yaklaşım ortaya koymaktadır (Sencer,2015).

Yukarıda bahsedildiği literatüre katılan yeni yöntem ile enerji güvenliği bileşenleri iki şekilde gösterilerek değerlendirilmiştir ve ele alınan ülkeler Güney Amerika ve Avrupa kıtalarını kapsamaktadır (Löschel ve ark., 2010).

3.3. 4A⁺ Kriterlerin Kullanımı



Şekil 3.3. 4A⁺ Parametrelerini Kullanan Ülkeler

Asya kıtasında bulunan ülkelerde 4A⁺ kriterleri üzerinde çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalar incelenen çalışmaların %12'sini kapsamaktadır. Çalışmalardan biri karşılaştırma diğeri ise bulanık yöntem ile değerlendirilmektedir. Endonezya ülkesini ele alan çalışma geniş bir perspektiften analizde bulunmaktadır.71 ülkenin enerji güvenliğini min e max yöntemiyle değerlendirmiş ve sonuç olarak artışlar

gözlemlemektedir. Diğer çalışma ise Çini ele almış ve Bulanık BMW-DEA-AR modeli ile geleneksel DEA modeli arasında karşılaştırmalar yapmış ve sonuç olarak bulanık BWM-DEA AR modelinin daha iyi ayrımcılığa sahip olmakla birlikte daha güçlü sonuçlar verdiği görülmektedir (Radovanović ve ark.,2017).

Kısaca literatürde kullanılan yöntemlerde şu sonuca varılmaktadır. Çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılan makalelerin niteliksel, niceliksel ve objektif sonuçlar verdiği görülmektedir.

4A parametreleri araştırma yapılırken ülke/eyalet/bölge, yöntem, parametreler olarak gruplandırılmıştır. Bu gruplandırma Çizelge 3.1 'de detaylı olarak gösterilmektedir.

- Ülke/Eyalet/Bölge: Çalışmaların hangi ülkeler üzerinde çalışıldığını göstermektedir.
- Yöntem: Çalışmaların hangi yöntemler çerçevesinde çözümlendiği, karşılaştırıldığı ve analiz edildiği gösterilmektedir.
- Parametreler: Hangi ülkenin hangi veri setini kullandığını göstermektedir.

Çizelge 3.1. Literatür Çizelgesi

Referans	Ülke/Eyalet/Bölge	Yöntem	Parametreler
Hughes ve Sheth (2009)	Kanada Atlantik Kıyısı	AHP	4A ⁻
Kruyt v.d. (2009)	Batı Avrupa Ülkeleri	Timer Modeli	4A
Löschel v.d. (2010)	Almanya, Hollanda, İspanya, Amerika Birleşik Devletleri	Kendi geliştirdikleri yaklaşım	4A ⁻
Sovacool (2013)	Japonya, Laos, Mynmar	Karşılaştırma	4A ⁻
Ang et v.d. (2015)	Singapur	Bantlama Duyarlılık Analizi	4A ⁻
Errahman v.d. (2016)	Endonezya	Min Max Yöntemi/ (Normalleştirme Ağırlıklandırma ve Toplama)	4A ⁺
Radovanovic v.d. (2016)	Avusturya, Estonya, İrlanda, İspanya, Litvanya, Hollanda, Slovenya, Çek Cumhuriyeti, Hırvatistan, Yunanistan, Danimarka, Macaristan, İtalya, Polonya, Finlandiya, Belçika, Bulgaristan, Almanya, Fransa, Lüksemburg, Portekiz, Romanya	Faktör Analizi Temel Bileşenler Analizi Veri Zarflama Analizi	4A ⁻
Zeng v.d. (2017)	Estonya, Litvanya, Letonya	Simple Additive Weighting (SAW)	4A ⁻
Gökgöz ve Güvercin (2018)	Belçika, Bulgaristan, Çekya, Finlandiya, Fransa, Almanya, Macaristan, Hollanda, Romanya, Slovakya, Slovenya, İspanya, İspanya, İsveç, Birleşik Krallık	Dea Malmquist-Luenberger Endeksi	4A ⁻
Li v.d. (2019)	Çin, Endonezya, Hindistan, Japonya, Kore Suudi Arabistan, Türkiye, Almanya, Fransa, Birleşik Krallık, İtalya, Rusya, Arjantin, Meksika, Amerika Birleşik Devletleri, Avustralya, Güney Afrika	Swot Analizi	
Augutis v.d. (2020)	Estonya, Litvanya, Letonya	Monte-Carle Yöntemi Duyarlılık Analizi	4A ⁻
Huang v.d. (2021)	Çin	Bulanık Bwm-Dea-Ar	4A ⁺
Zhang v.d (2021)	Çin/Henan	AHP GRA TOPSIS	4A ⁻
Ziemba v.d. (2021)	Oecd, Avusturya, Brezilya, Kanada, Çin, Danimarka, Almanya, Hindistan	Holt Tahmin Yöntemi Bulanık Küme Teorisi Ve Bulanık Ağırlıklı Toplam Yöntemi	4A ⁻
Ziemba (2022)	Avrupa Ülkeleri Afrika Ülkeleri Kuzey Amerika Ülkeleri	Saw Neat F-Promethee	4A ⁻

Bu çalışmada incelenen 3.1 Literatür Çizelgesi, enerji güvenliği alanında yapılan ampirik ve teorik çalışmaları tarihsel ve yöntemsel açıdan sınıflandırarak çok boyutlu bir bakış sunmaktadır. Tablo, enerji güvenliğinin değerlendirilmesinde kullanılan

yöntemlerin çeşitliliğini ve coğrafi kapsamını ortaya koymaktadır. Yöntemsel olarak bakıldığında, literatürde çok sayıda karar verme ve değerlendirme aracı kullanıldığı görülmektedir. Örneğin AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci), SWOT, DEA, TOPSIS, SAW ve Monte-Carlo gibi yöntemlerin tercih edilmesi, enerji güvenliği ölçümlerinin hem nicel hem de nitel yönlerinin olduğunu göstermektedir. Karar destek sistemlerinin bu alanda yoğun biçimde kullanılıyor olması, enerji güvenliğinin yalnızca teknik değil aynı zamanda yönetsel bir sorun olarak da ele alındığını düşündürmektedir.

Coğrafi kapsam bakımından ise çalışmaların büyük bölümü Avrupa ülkeleri üzerine odaklanmıştır. Özellikle Almanya, Hollanda, İspanya gibi enerji tüketimi yüksek ülkelerin sıkça incelenmiş olması dikkat çekicidir. Bununla birlikte Asya'dan Çin, Japonya ve Kore gibi ülkeler, enerji güvenliği stratejileri bağlamında artan önemleri nedeniyle tabloda yer bulmuştur. Az sayıda da olsa Afrika ülkeleri ve Güney Amerika ülkeleri de yeni tarihli çalışmalarda değerlendirilmiştir.

Son olarak, zamanla gelişen bir eğilim olarak; daha önce yalnızca ekonomik ve politik boyutları dikkate alan enerji güvenliği analizlerinin, günümüzde çevresel sürdürülebilirlik ve yenilenebilir enerji kaynakları ile ilişkili yönleri de kapsadığı anlaşılmaktadır. Bu da enerji güvenliğinin klasik tanımlarının ötesine geçtiğini ve bütüncül bir güvenlik anlayışının gelişmekte olduğunu ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak bu literatür çizelgesi, enerji güvenliği araştırmalarında giderek artan yöntemsel çeşitlilik, bölgesel farklılıklar ve kavramsal derinlik olduğunu göstermektedir. Bu durum, konunun disiplinlerarası niteliğini güçlendirmekte ve gelecekte daha entegre, veri odaklı analizlerin yapılmasına olanak tanımaktadır.

Çizelge 3.1 detaylı olarak ele alınmaktadır. Hughes ve Sheth (2009) çalışmalarında, enerji güvenliğini nicel olarak değerlendirmek amacıyla Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemine dayanan bir metodoloji önermektedir.

Amaç, farklı enerji kaynaklarının güvenlik düzeylerini çok kriterli karar analizi ile belirlemektir. Hidroelektrik ve yerli kömür gibi kaynaklar daha güvenli bulunmuştur. Petrol ve doğal gaz gibi ithal kaynaklar daha az güvenli olarak değerlendirilmiştir. Yöntem, grafiklerle görselleştirilerek enerji güvenliği analizini daha anlaşılır hale getirmiştir. Çalışma, bölgesel enerji güvenliği için politika yapıcılar ve planlayıcılar

açısından uygulanabilir ve açıklayıcı bir araç sunmaktadır. Kruyt v.d. (2009) çalışmalarında enerji güvenliğini değerlendirmek için kullanılan göstergeleri analiz ederek, etkili bir izleme ve karar verme sürecine katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Çalışma, farklı ülkelerin enerji güvenliği performanslarını bu göstergeler üzerinden karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Bu yaklaşım, karar vericilere enerji güvenliğini izleme ve geliştirme konusunda sistematik bir araç sunmaktadır. Löschel v.d. (2010) çalışmalarında sanayileşmiş ülkelerde enerji güvenliğini değerlendirmek için kullanılan göstergeleri analiz etmektedir. Amaç, enerji güvenliği performansını ölçmek ve karşılaştırmalı değerlendirmeler yapmaktır. Çeşitli sanayileşmiş ülkeler üzerinde yapılan karşılaştırmalı analiz, ülkeler arasında belirgin farklar olduğunu ortaya koymaktadır. Enerji güvenliğinde başarılı olan ülkeler, genellikle kaynak çeşitliliği yüksek ve enerji verimliliği güçlü olan ülkelerdir. Çevresel ve ekonomik göstergelerle birlikte ele alındığında daha sağlıklı sonuçlara ulaşılabilmektedir. Politika yapıcılar için kapsamlı bir gösterge sistemi geliştirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Bu çalışma, enerji güvenliğinin çok boyutlu bir yaklaşımla ele alınmasının önemine dikkat çekmektedir. Sovacool (2013) çalışmasında enerji güvenliği performansını karşılaştırmalı olarak değerlendiren küresel bir analiz sunmaktadır. Çalışma, enerji politikalarının sadece arz güvenliği değil, aynı zamanda çevresel ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından da dengelenmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Ang ve v.d.(2015) çalışmalarında Singapur'un enerji güvenliğini değerlendirmek amacıyla üç boyutlu bir endeks çerçevesi (SESI) geliştirmektedir. Toplamda 22 gösterge kullanılarak oluşturulan SESI, 1990–2010 yılları arasında uygulanmıştır. Bu göstergeler, enerji fiyatları, arz çeşitliliği, enerji verimliliği ve çevresel etkiler gibi unsurları kapsar. Çalışmanın bulguları Singapur'un enerji güvenliği genel olarak istikrarlı bir seyir izlemiştir. Enerji tedarik zinciri ve çevresel göstergelerde iyileşmeler gözlenmiştir. Ancak ekonomik göstergelerde düşüş yaşanmıştır. Singapur'un enerji sistemi, yüksek ithalata bağımlılığına rağmen güçlü tedarik altyapısı sayesinde güvenilirliğini korumuştur. Önerilen çerçeve, politikacılar için enerji güvenliğinde zayıf noktaları belirlemede ve politika geliştirmede pratik bir araç olarak sunulmaktadır. Errahman ve ark. (2016) çalışmalarında Endonezya'nın enerji güvenliğini değerlendirmek için kapsamlı bir Enerji Güvenliği Endeksi (ESI) geliştirmiştir. Endeks, 2009–2018 yılları arasındaki verilerle analiz edilmiştir. Endonezya'nın ESI değeri yıllar içinde istikrarsızlık göstermektedir. Bazı yıllarda ilerleme gözlenirken, özellikle enerji ithalatındaki artışlar ve çevresel etkiler

nedeniyle bazı yıllarda düşüş yaşanmıştır. Ayrıca Endonezya'nın ESI değeri; Japonya, Çin, Hindistan, Tayland ve Güney Kore gibi ülkelerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, Endonezya'nın enerji güvenliğinde bazı ülkelere kıyasla daha kırılgan bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Radovonovic v.d. (2016) çalışmalarında enerji güvenliğinin ölçümünde sürdürülebilir bir yaklaşım benimseyerek hem mevcut hem de gelecek nesillerin enerji ihtiyaçlarını dikkate alan bir çerçeve sunmaktadır. Sürdürülebilirlik temelli ölçüm, sadece arz güvenliğine değil, aynı zamanda uzun vadeli çevresel ve toplumsal etkilerle denge kurmaya odaklanmaktadır. Yenilenebilir enerji kullanım oranı, çevresel sürdürülebilirliği önemli ölçüde etkilemektedir. Enerji politikalarında sürdürülebilirlik ilkesi gözetildiğinde daha dengeli ve kalıcı çözümler elde edilmektedir. Zenga v.d. (2017) çalışmalarında Estonya, Letonya ve Litvanya olmak üzere Baltık ülkelerinde enerji güvenliği politikalarının gözden geçirilmesi ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Estonya, yerli kaynak kullanımı ve enerji verimliliği açısından en güçlü performansa sahiptir. Litvanya, nükleer enerji sonrası dönemde enerji güvenliği politikalarını çeşitlendirmeye odaklanmıştır. Letonya ise yenilenebilir enerji payı yüksek olmasına rağmen dışa bağımlılıkta daha kırılgandır. Çalışma, Baltık ülkelerinin AB enerji politikalarıyla uyumlu stratejiler geliştirmesinin enerji güvenliğini artırmada kilit rol oynadığını vurgulamaktadır. Gökgöz ve Güvercin (2018) çalışmalarında Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde enerji güvenliği ile yenilenebilir enerji verimliliği arasındaki ilişkiyi incelemektedir. Yenilenebilir enerji verimliliği arttıkça enerji güvenliği de olumlu etkilenmektedir. Enerji ithalat bağımlılığının azalması, enerji güvenliğini artırmaktadır. Politika düzeyinde, enerji verimliliğini ve yenilenebilir kaynakları teşvik eden stratejiler enerji güvenliği açısından kritiktir. Bu çalışma, AB ülkelerinin sürdürülebilir enerji politikaları geliştirmesinde yol gösterici bir analiz sunmaktadır. Li v.d. (2019) çalışmalarında çalışma, enerji güvenliği düzeylerinin hem mekânsal (coğrafi) hem de zamansal (zaman içindeki) değişimini analiz etmektedir. Araştırma, Çin'deki 30 bölge üzerinde 2008–2017 yıllarını kapsayan verilere dayanarak yapılmıştır. Ekonomik gelişmişlik düzeyi ve enerji altyapısı, güvenlik düzeylerini önemli ölçüde etkilemektedir. Zaman içinde genel bir iyileşme görülse de bazı bölgelerde sürdürülebilirlik sorunları devam etmektedir. Enerji politikalarının bölgesel koşullara göre şekillendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır ve mekânsal-zamansal analizlerin karar alma süreçlerinde kullanılması gerektiğini önermektedir. Augutis v.d. (2020) çalışmalarında Baltık ülkeleri olan Estonya, Letonya ve

Litvanya'nın enerji güvenliği düzeylerini göstergeler aracılığıyla değerlendirmektedir. Çalışma, 2000–2012 yılları arasındaki verilere dayanarak her ülke için bir enerji güvenliği endeksi hesaplamıştır. Estonya, enerji güvenliği açısından en yüksek performansı göstermektedir. Letonya ve Litvanya'nın enerji güvenliği, özellikle enerji ithalatına bağımlılık nedeniyle daha zayıftır. Tüm ülkelerde yenilenebilir enerji kullanımındaki artış pozitif etkiler yaratmıştır. Huang v.d. (2021) çalışmalarında, Çin'in 2008–2017 yılları arasındaki enerji güvenliği performansını değerlendirmek için çok kriterli karar analizi yaklaşımı kullanmaktadır. Analiz, bulanık BWM (Best Worst Method), DEA-AR (Verimlilik Analizi) ve Malmquist Verimlilik Endeksi yöntemlerine dayanmaktadır. Çin'in enerji güvenliği performansı yıllar içinde dalgalı bir seyir izlemiştir. Bazı yıllarda enerji verimliliği artarken, çevresel sürdürülebilirlikte gerilemeler yaşanmıştır. Bulanık ve dinamik modeller, belirsizlikleri daha etkili yönetebilmekte ve daha hassas sonuçlar sunmaktadır. Bu yaklaşım, enerji politikalarının daha verimli, çevreci ve uzun vadeli hedeflerle uyumlu şekilde geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Zhang v.d. (2021) çalışmalarında bölgesel enerji güvenliğini ölçmek ve iyileştirmek için hem nitel hem de nicel analizleri içeren metodolojik bir çerçeve önermektedir. Amaç, farklı bölgelerin özgün özelliklerini dikkate alarak enerji güvenliği düzeylerini daha doğru biçimde değerlendirmektir. Çalışma, belirli bir bölge üzerinde uygulama yaparak yöntemin geçerliliğini test etmiştir. Bu yaklaşım, enerji güvenliği analizine esneklik ve derinlik kazandıran yenilikçi bir metodoloji sunmaktadır. Ziembra v.d. (2021) çalışmalarında enerji güvenliği riskinin bulanık mantık temelli bir yaklaşımla tahmin edilmesini ve değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Model, enerji sistemlerinin belirsizlik içeren doğasını daha gerçekçi biçimde yansıtmak üzere geliştirilmiştir. Bulanık ortamda yapılan tahminler, geleneksel yöntemlere kıyasla daha esnek ve gerçekçi sonuçlar sunmaktadır. Risklerin ağırlıklı analizi, politika yapıcılara stratejik karar alma süreçlerinde destek sağlamaktadır. Bu model, enerji güvenliği risklerini önceden belirlemek ve buna uygun önlemler geliştirmek açısından etkili bir araç sunmaktadır. Ziembra (2022) çalışmasında, enerji güvenliğini değerlendirmek amacıyla geliştirilen yeni bir dinamik çok kriterli karar verme (MCDM) çerçevesini sunmaktadır. Model, zaman içinde değişen koşulları dikkate alarak ülkelerin enerji güvenliği düzeylerini daha doğru bir şekilde analiz etmeyi hedeflemektedir. Model, Avrupa ülkeleri üzerinde uygulanarak karşılaştırmalı analizler yapılmıştır. Dinamik model, geleneksel sabit ağırlıklı modellere göre daha hassas sonuçlar sunmaktadır.

Enerji politikalarının etkisi zaman içinde daha iyi izlenebilmektedir. Enerji güvenliği performansında ülkeler arasında belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Bu çerçeve, karar vericilere uzun vadeli ve esnek enerji güvenliği stratejileri geliştirme konusunda önemli katkılar sağlamaktadır.



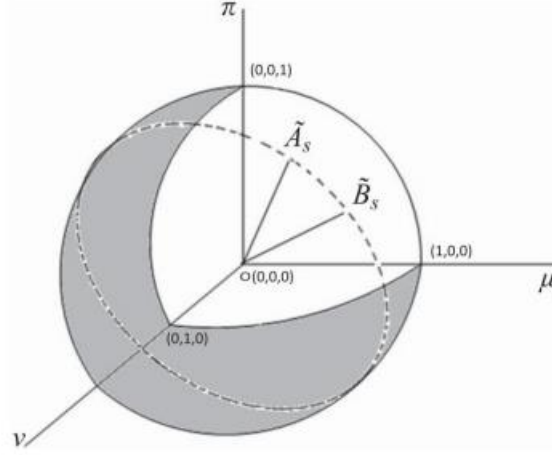
4. METEDOLOJİ

Klasik kümede bir nesnenin bir kümeye üye olma veya olmama durumu kesin bir şekilde edilmektedir. Klasik kümelerde her bir elemana 0 veya 1 atanarak üye olma veya olmama durumu tanımlanmaktadır. Evrensel kümeye ait olanlar 1 değerini alırken olmayanlar 0 değeri almaktadır. Böylelikle durumlar arasında geçiş bu kadar keskin olarak gösterilmektedir. Klasik kümenin bu keskinliğine karşı hayatta belirsizliklerde vardır. Bu belirsizlikler bulanık kümeyi ortaya çıkarmıştır (Pınar., 2020). Belirsiz ve anlaşılması zor yaşam konularını incelenmesinde, $0 \leq \mu \leq 1$ aralığında pozitif üyelik derecesi, $0 \leq \gamma \leq 1$ aralığında nötr derecesi ve $0 \leq \eta \leq 1$ aralığında negatif üyelik dereceleri incelenmektedir. Bulanık kümelerin geleneksel bulanık kümelerden farkı belirsiz olaylar bütünü karşısında ve geleneksel kümelerin yetersiz kaldığı durumlarda etkili karar almaya imkan tanımaktadır. (Bulut ve ark.,2024)

1965 yılında Zadeh (1999) tarafından ortaya atılan, belirsizlik ve karmaşıklık karşısında bulanık kümeler, Çok Kriterli Karar Verme problemleri karşısında en gerçekçi sonuçları vermektedir. Bu çalışmada 3 analiz yapılmıştır. Küresel-AHP TOSIS, Nötrosofik-AHP TOPSIS ve Q-ROF analizleri yapılmıştır.

4.1. Küresel Bulanık Kümeler

Bulanık kümelerin 3 boyutlu uzantısı Küresel bulanık kümeler Fatma Kutlu Gündoğdu ve Cengiz Kahraman tarafından 2018 yılında, diğer bulanık kümelerden farklı olarak μ , ν ve π 'nin toplamının 1'den küçük olması olarak tanımlamışlardır (Gündoğdu ve ark.,2019)



Şekil 4.1. Küresel Bulanık Kümelerin Geometrik Gösterimi (Gündoğdu ve ark.,2019)

Bir küresel bulanık küme, aşağıdaki koşulları sağlamalıdır Denklem (1) (Bulut ve ark.,2024)

$$0 \leq \mu_{\tilde{A}}^2(u) + \nu_{\tilde{A}}^2(u) + \pi_{\tilde{A}}^2(u) \leq 1 \forall u \in U \quad (4.1)$$

U'nun söylem evreni olduğu denklemde $\mu_{\tilde{A}}(u)$, $\nu_{\tilde{A}}(u)$, $\pi_{\tilde{A}}(u)$ sırasıyla üyelik, üyeliksizlik ve tereddüt derecesini temsil eder (Bulut ve ark.,2024).

SFS arasındaki mesafe formülü Şekil 3.1 'de gösterildiği gibidir (Denklem (2)) (Bulut ve ark.,2024);

$$dis(\tilde{A}_s, \tilde{B}_s) = \frac{2}{\pi} \sum_{i=1}^n \arccos = \left(\begin{array}{l} \mu_{\tilde{A}_s}(u_i) \cdot \mu_{\tilde{B}_s}(u_i) + \\ \nu_{\tilde{A}_s}(u_i) \cdot \nu_{\tilde{B}_s}(u_i) + \\ \pi_{\tilde{A}_s}(u_i) \cdot \pi_{\tilde{B}_s}(u_i) \end{array} \right) \quad (4.2)$$

Bir kürenin yüzeyinde \tilde{A}_s ve \tilde{B}_s arasındaki normalize küresel mesafe formülü (Denklem (3)) (Bulut ve ark.,2024);

$$dis_n(\tilde{A}_s, \tilde{B}_s) = \frac{2}{n\pi} \sum_{i=1}^n \arccos = \left(\begin{array}{l} \mu_{\tilde{A}_s}(u_i) \cdot \mu_{\tilde{B}_s}(u_i) + \\ \nu_{\tilde{A}_s}(u_i) \cdot \nu_{\tilde{B}_s}(u_i) + \\ \pi_{\tilde{A}_s}(u_i) \cdot \pi_{\tilde{B}_s}(u_i) \end{array} \right) \quad (4.3)$$

SFS operatörlerinin formülleri aşağıda verilmiştir. Formüllerde gösterilen iki SFS arasındaki küresel ve normalize küresel mesafe 0 ile 1 arasında olmalıdır.

Toplama (Denklem (4)) (Bulut ve ark.,2024);

$$\tilde{A}_s \oplus \tilde{B}_s = \left(\begin{array}{c} (\mu_{\tilde{A}_s}^2 + \mu_{\tilde{B}_s}^2 - \mu_{\tilde{X}_s}^2 \mu_{\tilde{B}_s}^2)^{\frac{1}{2}}, v_{\tilde{A}_s} v_{\tilde{B}_s}, \\ [(1 - \mu_{\tilde{B}_s}^2) \pi^2 \tilde{A}_s + (1 - \mu_{\tilde{A}_s}^2) \pi^2 \tilde{B}_s - \pi^2 \tilde{A}_s \pi_{\tilde{B}_s}^2] \end{array} \right) \quad (4.4)$$

Çarpma (Denklem (5)) (Bulut ve ark.,2024);

$$\tilde{A}_s \otimes \tilde{B}_s = \left(\begin{array}{c} \mu_{\tilde{A}_s} \mu_{\tilde{B}_s}, (v^2 \tilde{A}_s + v^2 \tilde{B}_s - v^2 \tilde{A}_s v^2 \tilde{B}_s)^{1/2}, \\ [(1 - v^2 \tilde{B}_s) \pi^2 \tilde{A}_s + (1 - v^2 \tilde{A}_s) \pi^2 \tilde{B}_s - \pi^2 \tilde{A}_s \pi^2 \tilde{B}_s]^{1/2} \end{array} \right) \quad (4.5)$$

Bir sayı ile çarpma (Denklem (6)) (Bulut ve ark.,2024); $\lambda > 0$

$$\lambda \cdot \tilde{A}_s = \left(\begin{array}{c} (1 - (1 - \mu^2 \tilde{A}_s)^\lambda)^{1/2}, v^\lambda \tilde{A}_s, \\ [(1 - \mu^2 \tilde{A}_s)^\lambda - (1 - \mu^2 \tilde{A}_s - \pi^2 \tilde{A}_s)^\lambda]^{1/2} \end{array} \right) \quad (4.6)$$

Bir sayı ile kuvvet (Denklem (7)) (Bulut ve ark.,2024); $\lambda > 0$

$$\tilde{A}_s^\lambda = \left(\begin{array}{c} \mu_{\tilde{A}_s}^\lambda, (1 - (1 - v_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda)^{\frac{1}{2}}, \\ [(1 - v_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda - (1 - v^2 \tilde{A}_s - \pi^2 \tilde{A}_s)^\lambda]^{1/2} \end{array} \right) \quad (4.7)$$

Küresel Ağırlıklı Aritmetik Ortalama (Küresel Ağırlıklı Aritmetik Ortalama/SWAM) (Denklem (8)) (Bulut ve ark.,2024);

$$SWAM = \left(\begin{array}{c} (1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}_s}^2)^{w_i})^{1/2}, \prod_{i=1}^n (v_{\tilde{A}_s}^{w_i}), \\ [\prod_{i=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}_s}^2)^{w_i} - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}_s}^2 - \pi^2 \tilde{A}_{s,i})^{w_i}]^{1/2} \end{array} \right) \quad (4.8)$$

Küresel Ağırlıklı Geometrik Ortalama (Küresel Ağırlıklı Geometrik Ortalama/SWGM) (Denklem (9)) (Bulut ve ark.,2024);

$$SWGM = \left(\begin{array}{c} \left(\prod_{i=1}^n \mu_{\tilde{A}_s}^{w_i} (1 - \prod_{i=1}^n (1 - v_{\tilde{A}_s}^2)^{w_i})^{\frac{1}{2}} \right), \left[\prod_{i=1}^n (1 - v^2 \tilde{A}_{s,i})^{w_i} - \prod_{i=1}^n (1 - v_{\tilde{A}_s}^2 - \pi^2 \tilde{A}_s)^{w_i} \right]^{\frac{1}{2}} \end{array} \right) \quad (4.9)$$

Puanlama (Score) ve Doğruluk (Accuracy) fonksiyonu (Denklem (10), Denklem (11)) (Bulut ve ark.,2024);

$$Score(\tilde{A}_s) = (\mu_{A_s} - \pi_{A_s})^2 - (v_{A_s} - \pi_{\tilde{A}_s})^2 \quad (4.10)$$

$$Accuracy(\tilde{A}_s) = \mu_{\tilde{A}_s}^2 + v_{\tilde{A}_s}^2 + \pi_{\tilde{A}_s}^2 \quad (4.11)$$

$$\text{If } \tilde{A}_s < \tilde{B}_s,$$

i. $\text{Score}(\tilde{A}_s) < \text{Score}(\tilde{B}_s)$ or

ii. $\text{Score}(\tilde{A}_s) = \text{Score}(\tilde{B}_s)$ and $\text{Accuracy}(\tilde{A}_s) < \text{Accuracy}(\tilde{B}_s)$.

4.2. Nötrosofik Kümeler

Bulanık kümeler de ana mantık, üyelik değişkenlerinin belirsizlik değerleri 0 ile 1 arasında belirlenirken, nötrosofikte ise ‘belirsizlik’ ifadesi ile yeni bir parametre ortaya koyar ve bu ifade daha fazla bilgi taşıdığı için belirsizlik kavramını daha iyi tanımlamaktadır. Nötrosofik kümeler bulanık kümeler ile karşılaştırıldığında belirsizlik kavramı ile başa çıkmada daha avantajlı bir araç olduğu görülmektedir. Bunun nedeni uzman görüşlerinin dikkate alınarak dilsel değerlendirmelerin yapıldığı problemlerde, karar vericilere belirsizlik konusunda daha geniş bir çerçeveden tanımlama imkânı sunmaktadır (Gulum ve ark.,2021). Aşağıda nötrosofik kümelerin algoritma adımları anlatılmaktadır.

Adım 1: E bir evren olsun. E'deki nötrosofik bir kümeye \tilde{A} ... Bir doğruluk-üyelik fonksiyonu olarak T_A , bir belirsizlik-üyelik fonksiyonu olarak I_A ve bir yanlışlık-üyelik fonksiyonu olarak F_A ile karakterize edilmektedir (Gulum ve ark.,2021).

$$\tilde{A} = \{x, (T_A(x), I_A(x), F_A(x)) \mid x \in E, (T_A(x), I_A(x), F_A(x)) \in [0,1]^+\} \quad (4.12)$$

Adım 2: E'de bir aralık değerli nötrosofik kümeye \tilde{N} ..., bir belirsizlik üyelik fonksiyonu $I_N(x)$, bir doğruluk üyelik fonksiyonu $T_N(x)$ ve bir yanlışlık üyelik fonksiyonu $F_N(x)$ ile karakterize edilir (Gulum ve ark.,2021).

$$T_N(x) = [T_N^L(x), T_N^U(x)] \subseteq [0,1] \quad (4.13)$$

$$I_N(x) = [I_N^L(x), I_N^U(x)] \subseteq [0,1] \quad (4.14)$$

$$F_N(x) = [F_N^L(x), F_N^U(x)] \subseteq [0,1] \quad (4.15)$$

Bu nedenle \tilde{N} ... aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$\tilde{N} = \{x, [T_N^L(x), T_N^U(x)], [I_N^L(x), I_N^U(x)], [F_N^L(x), F_N^U(x)] \mid x \in E\} \quad (4.16)$$

Adım 3: Aralık değeri Denklem (4.17)'daki nütrosifik sayı kullanılır (Gulum ve ark.,2021).

$$\left(\frac{(T_N^L(x) + T_N^U(x))}{2} + (I_N^U(x)) \left(1 - \frac{(I_N^L(x) + I_N^U(x))}{2} \right) - (1 - F_N^U(x)) \left(\frac{F_N^L(x) + F_N^U(x)}{2} \right) \right) \quad (4.17)$$

$$\tilde{x}_j = [T_x^L, T_x^U], [I_x^L, I_x^U], [F_x^L, F_x^U]$$

Adım4: $[T_{N_1}^L, T_{N_1}^U], [I_{N_1}^L, I_{N_1}^U], [F_{N_1}^L, F_{N_1}^U], [I_{N_2}^L, I_{N_2}^U], [F_{N_2}^L, F_{N_2}^U]$ iki aralık değerli nütrosifik sayı olsun.

Bazı temel işlemler bu iki sayı için denklemler tarafından verilmiştir. (Gulum ve ark.,2021).

$$\tilde{N}_1^c = [F_{N_1}^L, F_{N_1}^U], [1 - I_{N_1}^U, 1 - I_{N_1}^L], [T_{N_1}^L, T_{N_1}^U] \quad (4.18)$$

$$\lambda(\tilde{N}_1) = [1 - (1 - T_{N_1}^L)^\lambda, 1 - (1 - T_{N_1}^U)^\lambda], [(I_{N_1}^L)^\lambda, (I_{N_1}^U)^\lambda], [(F_{N_1}^L)^\lambda, (F_{N_1}^U)^\lambda], \lambda > 0 \quad (4.19)$$

$$(\tilde{N}_1)^\lambda = [(T_{N_1}^L)^\lambda, (T_{N_1}^U)^\lambda], [(I_{N_1}^L)^\lambda, (I_{N_1}^U)^\lambda], [1 - (1 - F_{N_1}^L)^\lambda, 1 - (1 - F_{N_1}^U)^\lambda], \lambda > 0 \quad (4.20)$$

$$\tilde{N}_1 \subseteq \tilde{N}_2 \text{ if and only if } T_{N_1}^L \leq T_{N_2}^L, T_{N_1}^U \leq T_{N_2}^U, I_{N_1}^L \geq I_{N_2}^L, I_{N_1}^U \geq I_{N_2}^U, F_{N_1}^L \geq F_{N_2}^L, F_{N_1}^U \geq F_{N_2}^U \quad (4.21)$$

$$\tilde{N}_1 = \tilde{N}_2 \text{ if and only if } N_1 \subseteq \tilde{N}_2 \text{ and } N_2 \subseteq \tilde{N}_1 \quad (4.22)$$

Adım 5: $\tilde{N}_1 = [T_{N_1}^L, T_{N_1}^U], [I_{N_1}^L, I_{N_1}^U], [F_{N_1}^L, F_{N_1}^U], [F, F]$ bir aralıktır (Gulum ve ark.,2021).

$$\tilde{N}_1 \oplus \tilde{N}_2 = [T_{N_1}^L + T_{N_2}^L - T_{N_1}^L T_{N_2}^L, T_{N_1}^U + T_{N_2}^U - T_{N_1}^U T_{N_2}^U], [I_{N_1}^L I_{N_2}^L, I_{N_1}^U I_{N_2}^U], [F_{N_1}^L F_{N_2}^L, F_{N_1}^U F_{N_2}^U] \quad (4.23)$$

$$\tilde{N}_1 \otimes \tilde{N}_2 = [T_{N_1}^L T_{N_2}^L, T_{N_1}^U T_{N_2}^U], [I_{N_1}^L + I_{N_2}^L - I_{N_1}^L T_{N_2}^L, I_{N_1}^U + I_{N_2}^U - I_{N_1}^U T_{N_2}^U], [F_{N_1}^L + F_{N_2}^L - F_{N_1}^L F_{N_2}^L, F_{N_1}^U + F_{N_2}^U - F_{N_1}^U F_{N_2}^U] \quad (4.24)$$

$$\tilde{N}_1 \tilde{N}_2 = [T_{N_1}^L - F_{N_2}^U, T_{N_1}^U - F_{N_2}^L], [\max(I_{N_1}^L, I_{N_2}^L), \max(I_{N_1}^U, I_{N_2}^U)], [F_{N_1}^L - T_{N_2}^U, F_{N_1}^U - T_{N_2}^L] \quad (4.25)$$

değerli nütrosifik sayı $\tilde{N}_1 \dots$ 'nin bir puan fonksiyonu aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$S(\tilde{N}_1) = \frac{(2+T_{N_1}^L - I_{N_1}^L - F_{N_1}^L) + (2+T_{N_1}^U - I_{N_1}^U - F_{N_1}^U)}{6} \quad (4.26)$$

burada $S(N_1) \in [0,1]$.

Adım 6: $N_1 = [T_{N_1}^L, T_{N_1}^U], [I_{N_1}^L, I_{N_1}^U], [F_{N_1}^L, F_{N_1}^U]$ aralık değerli nütrosifik bir sayıdır (Gulum ve ark.,2021).

$$H(\tilde{N}_1) = \frac{(T_{N_1}^L + T_{N_1}^U) - (F_{N_1}^L + F_{N_1}^U)}{2} \quad (4.27)$$

burada $H(\tilde{N}_1) \in [-1,1]$.

Tanım 7: $\tilde{N}_1 \dots$ ve $\tilde{N}_2 \dots$ herhangi bir aralık değerli nütrosifik sayılar olsun (Gulum ve ark.,2021).

$$i. \text{ If } S(\tilde{N}_1) < S(\tilde{N}_2), \text{ then } \tilde{N}_1 < \tilde{N}_2 \quad (4.28)$$

$$ii. \text{ If } S(\tilde{N}_1) > S(\tilde{N}_2), \text{ then } \tilde{N}_1 < \tilde{N}_2 \quad (4.29)$$

$$iii. \text{ If } S(\tilde{N}_1) = S(\tilde{N}_2), \quad (4.30)$$

$$a. \text{ If } H(\tilde{N}_1) < S(\tilde{N}_2), \text{ then } \tilde{N}_1 < \tilde{N}_2 \quad (4.31)$$

$$b. \text{ If } H(\tilde{N}_1) > S(\tilde{N}_2), \text{ then } \tilde{N}_1 < \tilde{N}_2 \quad (4.32)$$

$$c. \text{ If } H(\tilde{N}_1) = S(\tilde{N}_2), \text{ then } \tilde{N}_1 < \tilde{N}_2 \quad (4.33)$$

Adım 8: $\tilde{N}_1 \dots$ ve $\tilde{N}_2 \dots$ iki aralık değerli nütrosifik sayı ile arasındaki Hamming mesafesi hesaplanır (Gulum ve ark.,2021).

$$d(\tilde{N}_1, \tilde{N}_2) = \frac{(|T_{N_1}^L - T_{N_2}^L| + |T_{N_1}^U - T_{N_2}^U| + |I_{N_1}^L - I_{N_2}^L| + |I_{N_1}^U - I_{N_2}^U| + |F_{N_1}^L - F_{N_2}^L| + |F_{N_1}^U - F_{N_2}^U|)}{6} \quad (4.34)$$

Adım 9: $\tilde{N}_1 \dots$ ve $\tilde{N}_2 \dots$ iki aralık değerli nütrosifik sayı ile arasındaki Öklid mesafesi hesaplanır (Gulum ve ark.,2021).

Adım 10: Alternatiflerin pozitif ideal çözümden (DPIS i) ve negatif ideal çözümden (DNIS i) denklem (4.35) yardımıyla Öklid uzaklıkları hesaplanır (Gulum ve ark.,2021).

$$d(\widetilde{N}_1, \widetilde{N}_2) = \sqrt{\frac{(T_{N_1}^L - T_{N_2}^L)^2 + (T_{N_1}^U - T_{N_2}^U)^2 + (I_{N_1}^L - I_{N_2}^L)^2 + (I_{N_1}^U - I_{N_2}^U)^2 + (F_{N_1}^L - F_{N_2}^L)^2 + (F_{N_1}^U - F_{N_2}^U)^2}{6}} \quad (4.35)$$

$$\widetilde{P} = \begin{bmatrix} [T_{11}^t, T_{11}^u], [I_{11}^L, I_{11}^U], [F_{11}^L, F_{11}^U] & [T_{12}^t, T_{12}^u], [I_{12}^L, I_{12}^U], [F_{12}^L, F_{12}^U] & \cdots & [T_{1n}^t, T_{1n}^u], [I_{1n}^L, I_{1n}^U], [F_{1n}^L, F_{1n}^U] \\ [T_{21}^t, T_{21}^u], [I_{21}^L, I_{21}^U], [F_{21}^L, F_{21}^U] & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ [T_{n1}^t, T_{n1}^u], [I_{n1}^L, I_{n1}^U], [F_{n1}^L, F_{n1}^U] & \cdots & \cdots & [T_{nn}^t, T_{nn}^u], [I_{nn}^L, I_{nn}^U], [F_{nn}^L, F_{nn}^U] \end{bmatrix} \quad (4.36)$$

$$\widetilde{N}_{ij} = \left[\frac{T_{kj}^L}{\sum_{k=1}^n T_{kj}^U}, \frac{T_{kj}^U}{\sum_{k=1}^n T_{kj}^L} \right], \left[\frac{I_{kj}^L}{\sum_{k=1}^n I_{kj}^U}, \frac{I_{kj}^U}{\sum_{k=1}^n I_{kj}^L} \right], \left[\frac{F_{kj}^L}{\sum_{k=1}^n F_{kj}^U}, \frac{F_{kj}^U}{\sum_{k=1}^n F_{kj}^L} \right]; j = 1, 2, \dots, n \quad (4.37)$$

$$\widetilde{W}_j = \left[\frac{\sum_{k=1}^n \frac{T_{1j}^L}{\sum_{k=1}^n T_{kj}^U}}{n}, \frac{\sum_{k=1}^n \frac{T_{1j}^U}{\sum_{k=1}^n T_{kj}^L}}{n} \right], \left[\frac{\sum_{k=1}^n \frac{I_{1j}^L}{\sum_{k=1}^n I_{kj}^U}}{n}, \frac{\sum_{k=1}^n \frac{I_{1j}^U}{\sum_{k=1}^n I_{kj}^L}}{n} \right], \left[\frac{\sum_{k=1}^n \frac{F_{1j}^L}{\sum_{k=1}^n F_{kj}^U}}{n}, \frac{\sum_{k=1}^n \frac{F_{1j}^U}{\sum_{k=1}^n F_{kj}^L}}{n} \right] \quad (4.38)$$

$$\widetilde{S}^+ = \left[\max_j(T_j^L), \max_j(T_j^U) \right], \left[\min_j(I_j^L), \min_j(I_j^U) \right], \left[\min_j(F_j^L), \min_j(F_j^U) \right] \quad (4.39)$$

$$\widetilde{S}^- = \left[\min_j(T_j^L), \min_j(T_j^U) \right], \left[\max_j(I_j^L), \max_j(I_j^U) \right], \left[\max_j(F_j^L), \max_j(F_j^U) \right] \quad (4.40)$$

Adım 11: Her alternatif için revize edilmiş yakınlık (ε_i) denklem (4.41) kullanılarak hesaplanır (Gulum ve ark.,2021).

$$\varepsilon_i = \frac{D_i^{\text{NIS}}}{(D_i^{\text{NIS}} + D_i^{\text{PIS}})} \quad (4.41)$$

Adım 12: Revize edilmiş yakınlıklarına göre alternatifleri sıralayın (riskli olan daha büyük olandır) (Gulum ve ark.,2021).

4.3. Q Seviyeli Bulanık Kümeler

Q seviyeli bulanık kümeler, belirsiz ve karmaşık olaylar bütünü karşısında tek bir üyelik derecesi yerine farklı seviyelerde üyelik derecelerini dikkate almaktadır.

Klasik kümelerin daha esnek genelleştirilmiş kümesidir. Belirsiz ve karmaşık kümeler geniş aralıklarda değerlendirildiği için hassas şekilde modellemek mümkün hale gelmektedir. Q seviyeli bulanık kümeler sezgisel ve pisogar bulanık kümeleri de kapsayarak genel bir form oluşturmaktadır. Karar vericilere belirsizlik durumlarının daha etkin ve kolay çözümlenmesi için üyelik ve üyelik dışılık derecelerinin 1'i aşmasına izin vermektedir.

Bu yöntemi diğer yöntemlerden ayıran 3 özelliği bulunmaktadır. Daha esnek yapıda olması, yüksek ayırt edici olması ve uygulanabilirliğidir.

1.Daha Esnek Yapı: Karar vericiler belirsizlikleri ifade ederken daha fazla özgürlüğe sahiptir.

2.Yüksek Ayırt Edicilik: Daha karmaşık durumlarda, farklı üyelik fonksiyonlarının karşılaştırılmasını kolaylaştırır.

3.Uyarlanabilirlik: Çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemlerine kolayca entegre edilebilir.

Bu yöntemin diğer yöntemlerden daha yöntemlerden daha avatajlı olmasında 3 özelliği bulunmaktadır. Belirsizliğe dayalı problemlerin çözümü, kapsayıcı yaklaşım ve yenilikçi uygulama alanlarıdır.

1.Belirsizliğe Dayalı Problemleri Çözme: Karar süreçlerinde belirsizlikler daha iyi modellenebilir.

2.Kapsayıcı Yaklaşım: Uzman görüşlerini ve öznel yargıları entegre etmek için ideal bir yöntemdir.

3.Yenilikçi Uygulama Alanları: Özellikle tedarikçi seçimi, stratejik planlama, yer seçimi v.b.

Aşağıdaki Q seviyeli bulanık kümelerin algoritma adımları verilmektedir.

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\}, \quad (4.42)$$

Burada verilen A evrensel kümesi $\mu_A(x): X \rightarrow [0, 1]$ üyelik derecesidir.

Atanassov, X'teki A'nın 4.43 ve 4.44 denklemlerdeki gibi tanımlanabileceği sezgisel bulanık kümeyi önerdi.

$$A = \{(x, \mu_A(x), \nu_A(x)) | x \in X\}, \quad (4.43)$$

Fonksiyonların olduğu yer;

$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$ x'in üyelik dereceleri,
 $\nu_A(x): X \rightarrow [0,1]$ x'in üye olmama dereceleri,

$$0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1, \quad (4.44)$$

Üye olmama derecelerindeki X'in A ya ait olup olmaması aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x) \text{ ve } 0 \leq \pi_A(x) \leq 1, \quad (4.45)$$

Yager a ve b üyelik derecelerinin kare toplamı [0,1] aralığında olacak şekilde genişletti ve Pisagor kümelerini (PFS) 4.46 denkleminde sunmuştur.

$$a^2 + b^2 \leq 1, \quad (4.46)$$

Yager tarafından IFS ve PFS'yi kapsayan q seviyeli Ortoçift bulanık kümelerde (Q-ROF'larda), üyelik derecesini ve üye olmama derecesini q'uncu derecelerinin toplamını bir olarak sınırlandırılmaktadır. Denklem 4.47 gösterilmektedir.

$$A = \{(x, \mu_A(x), \nu_A(x)) | x \in X\}, \quad (4.47)$$

Denklem 4.48 'de $\mu_A(x) : X \rightarrow [0, 1]$ üyelik derecesidi ve $\nu_A(x) : X \rightarrow [0, 1]$ x 2 X'in A'ya üyelik dışılık derecesi ile bunların toplamı verilmiştir:

$$(\mu_A(x))^q + (\nu_A(x))^q \leq 1, \quad (4.48)$$

Tereddüt derecesi $\pi_A(x)$, Denklem (4.49)'de aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$\pi_A(x) = (1 - (\mu_A(x))^q - (\nu_A(x))^q)^{\frac{1}{q}}, \quad (4.49)$$

Görüldüğü üzere karar vericilere Q-ROF sayıları bulanık kümelere göre daha geniş bir perspektifte bilgi aralığı tanımlamaktadır.

4.3.1. Q-ROF TOPSIS Yöntemi

Pınar ve Boran tarafından 2020 yılında geliştirilen Q-ROF Topsis yöntemi aşağıdaki adımlar da detaylı olarak anlatılmaktadır.

Adım 1. Karar vericilerin ağırlıkları hesaplanarak Q-ROFN'lerde dilsel terimlerle derecelendirilmesi denklem 4.50 'da gösterilmektedir (Pınar ve ark.,2020).

$$\lambda_k = \frac{(1 + \mu_k^q(x_i) - \nu_k^q(x_i))}{\sum_{k=1}^l (1 + \mu_k^q(x_i) - \nu_k^q(x_i))}, \text{ and where } \sum_{k=1}^l \lambda_k = 1 \quad (4.50)$$

Adım 2. Tüm alternatifler karar vericiler tarafından dilsel terimlerle değerlendirildikten sonra Q-ROFN'lere dönüştürülmektedir. Denklem 4.51 'de hesaplanan DM ağırlıkları ile Q-ROFWA'lar toplanır (Pınar ve ark.,2020).

$$q - ROFWA(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_l) = \langle (1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_k(x)^q)^{\lambda_k})^{\frac{1}{q}}, \prod_{k=1}^l v_k(x)^{\lambda_k} \rangle, \quad (4.51)$$

Denklem 4.52 'de görüldüğü gibi toplanmış Q-ROF matrisi görülmektedir (Pınar ve ark.,2020).

$$R = \begin{pmatrix} \mu_{A_1}(x_1), v_{A_1}(x_1)\pi_{A_1}(x_1) & \mu_{A_1}(x_1), v_{A_1}(x_1)\pi_{A_1}(x_1) & \dots & \mu_{A_1}(x_n), v_{A_1}(x_n)\pi_{A_1}(x_n) \\ \mu_{A_2}(x_1), v_{A_2}(x_1)\pi_{A_2}(x_1) & \mu_{A_2}(x_1), v_{A_2}(x_1)\pi_{A_2}(x_1) & \dots & \mu_{A_2}(x_n), v_{A_2}(x_n)\pi_{A_2}(x_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{A_m}(x_1), v_{A_m}(x_1)\pi_{A_m}(x_1) & \mu_{A_m}(x_1), v_{A_m}(x_1)\pi_{A_m}(x_1) & \dots & \mu_{A_m}(x_n), v_{A_m}(x_n)\pi_{A_m}(x_n) \end{pmatrix}, \quad (4.52)$$

$$R = (r_{ij}) \text{ and } (\mu_{A_i}(x_j), v_{A_i}(x_j), \pi_{A_i}(x_j)), (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$$

Adım 3. Dilsel terimler yardımıyla DM'lerin kriterlerin derecelerinin önemi belirlenirken Q-ROFN'lere dönüştürülerek kriter dereceleri (W) hesaplanmaktadır (Pınar ve ark.,2020).

$$W_j = \frac{\sum_{k=1}^l \lambda_k (1 + \mu_k^q(x_j) - v_k^q(x_j))}{\sum_{j=1}^n w_j \sum_{k=1}^l \lambda_k (1 + \mu_k^q(x_j) - v_k^q(x_j))}, \quad (4.53)$$

$$W = [w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_j] \text{ and } w_j \\ = (\mu_j, v_j, \pi_j), (j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

Adım 4. Denklemler 4.56 'de toplam ağırlıklı matris oluşturulur. Ağırlık ve önceki karar matrisi yardımıyla yani denklem 4.54 ve 4.55 ile toplam ağırlıklı karar matrisi (R0) oluşturulmaktadır (Pınar ve ark.,2020).

$$w_k \alpha_1 = \langle (1 - (1 - \mu_1(x)^q)^{w_k})^{\frac{1}{q}}, v_1(x)^{w_k} \rangle, \quad (4.54)$$

Ve

$$\pi_{A_i}(x_j) = \left(1 - \mu_{A_i}^q(x_j) - v_{A_i}^q(x_j)\right)^{1/q} \quad (4.55)$$

Ve

$$R' = \begin{pmatrix} \mu_{A_1W}(x_1), v_{A_1W}(x_1)\pi_{A_1W}(x_1) & \mu_{A_1W}(x_2), v_{A_1W}(x_2) & \mu_{A_1W}(x_n), v_{A_1W}(x_n)\pi_{A_1W}(x_n) & & \\ \mu_{A_2W}(x_1), v_{A_2W}(x_1)\pi_{A_2W}(x_1) & \mu_{A_2W}(x_2), v_{A_2W}(x_2)\pi_{A_2W}(x_2) & \dots & \mu_{A_2W}(x_n), v_{A_2W}(x_n)\pi_{A_2W}(x_n) & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \\ \mu_{A_mW}(x_1), v_{A_mW}(x_1)\pi_{A_mW}(x_1) & \mu_{A_mW}(x_2), v_{A_mW}(x_2)\pi_{A_mW}(x_2) & \dots & \mu_{A_mW}(x_n), v_{A_mW}(x_n)\pi_{A_mW}(x_n) & \end{pmatrix} \quad (4.56)$$

Önceki karar matrisine benzer

$r'_{ij} = (\mu'_{ij}, v'_{ij}, \pi'_{ij}) = (\mu_{A_iW}(x_j), v_{A_iW}(x_j), \pi_{A_iW}(x_j))$ R0 matrisinin bir elemanıdır (Pınar ve ark.,2020).

Adım 5. Bu adımda Q-ROF Pozitif İdeal Çözüm (Q-ROFPIS) ve Q-ROF Negatif İdeal Çözüm (Q-ROFNIS) belirlenecektir. Q-ROFPIS maliyeti minimize ederken maliyeti maksimize etmektedir. Q-ROFNIS maliyetleri maksimize ederken faydaları minimize etmektedir (Pınar ve ark.,2020).

$$A^* = (\mu_{A^*W}(x_j), v_{A^*W}(x_j), \pi_{A^*W}(x_j)) \text{ and } A^- = (\mu_{A^-W}(x_j), v_{A^-W}(x_j), \pi_{A^-W}(x_j)), \quad (4.57)$$

$$\mu_{A^*W}(x_j) = \left(\left(\max_i \mu_{A_iW}(x_j) \mid j \in j_1 \right), \left(\min_i \mu_{A_iW}(x_j) \mid j \in j_2 \right) \right), \quad (4.58)$$

Ve

$$v_{A^*W}(x_j) = \left(\left(\min_i v_{A_iW}(x_j) \mid j \in j_1 \right), \left(\max_i v_{A_iW}(x_j) \mid j \in j_2 \right) \right), \quad (4.59)$$

Ve

$$\mu_{A^-W}(x_j) = \left(\left(\min_i \mu_{A_iW}(x_j) \mid j \in j_1 \right), \left(\max_i \mu_{A_iW}(x_j) \mid j \in j_2 \right) \right), \quad (4.60)$$

$$v_{A^-W}(x_j) = \left(\left(\max_i v_{A_iW}(x_j) \mid j \in j_1 \right), \left(\min_i v_{A_iW}(x_j) \mid j \in j_2 \right) \right) \quad (4.61)$$

Adım 6. Ayrım ölçüsü alternatifler arasındaki farkı hesaplamak için kullanılmıştır. S_i^* ve S_i^- hesaplanması aşağıdaki denklemlerde gösterilmektedir (Pınar ve ark.,2020).

$S_i^* =$

$$\sqrt[p]{\frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n \left\{ \left| (1-k) (\mu_{A_iW}(x_j) - \mu_{A^*W}(x_j)) + k \left(\sqrt[q]{1 - \tau_{A_iW}^q(x_j)} - \sqrt[q]{1 - \tau_{A^*W}^q(x_j)} \right) \right|^p + \left| (1-k) (v_{A_iW}(x_j) - v_{A^*W}(x_j)) + k \left(\sqrt[q]{1 - \mu_{A_iW}^q(x_j)} - \sqrt[q]{1 - \mu_{A^*W}^q(x_j)} \right) \right|^p \right\}} \quad (4.61)$$

Ve

$S_i^- =$

$$\sqrt[p]{\frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n \left\{ \left| (1-k)(\mu_{A_i W}(x_j) - \mu_{A^* W}(x_j)) + k \left(\sqrt[q]{1 - \tau_{A_i W}^q(x_j)} - \sqrt[q]{1 - \tau_{A^* W}^q(x_j)} \right) \right|^p + \left| (1-k)(v_{A_i W}(x_j) - v_{A^* W}(x_j)) + k \left(\sqrt[q]{1 - \mu_{A_i W}^q(x_j)} - \sqrt[q]{1 - \mu_{A^* W}^q(x_j)} \right) \right|^p \right\}} \quad (4.62)$$

$$p = 1, 2, \dots, n \text{ and } k = \left(\frac{1}{2}q^2 + \frac{3}{2}q - \frac{1}{3} \right) / (q^2 + 3q + 1), k \in \left[\frac{1}{3}, \frac{1}{2} \right]$$

Adım 7. Optimal alternatif C_i değeri hesaplanarak bulunur (Pınar ve ark.,2020).

$$C_{i^*} = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad 0 \leq C_{i^*} \leq 1, \quad (4.63)$$

5. UYGULAMA

Enerji güvenliği günümüzde yalnızca enerji arzının sürekliliği ile sınırlı olmayan, çevresel sürdürülebilirlik, ekonomik karşılanabilirlik, toplumsal kabul edilebilirlik ve teknik erişilebilirlik gibi çok boyutlu parametrelerle tanımlanan stratejik bir kavram haline gelmiştir. Bu bağlamda, söz konusu çalışmada enerji güvenliği beş temel parametre altında detaylı bir şekilde ele alınmıştır: Kabul Edilebilirlik, Kullanılabilirlik, Sürdürülebilirlik, Satın Alınabilirlik ve Erişilebilirlik.

Literatür taramasına dayalı olarak geliştirilen bu parametreler, enerji güvenliği üzerine yapılan ulusal ve uluslararası çalışmalarda yaygın biçimde kullanılan 4A+ sınıflandırmasına dayanmaktadır. Çalışmada ele alınan parametreler, enerji arzının devamlılığı kadar, toplumun enerjiye erişimi, enerji altyapısının güvenilirliği ve enerji politikalarının sürdürülebilirliği açısından da kapsamlı bir değerlendirme yapılmasına olanak tanımaktadır.

Çizelge 5.1. Karar Verici Bilgileri

Karar Verici Bilgileri		
Karar Vericilerin Numarası	Çalışma Alanı	Süresi
K1	Ticari İşletme	8
K2	Ticari İşletme	9
K3	Kamu Alanı	10
K4	Kamu Alanı	6
K5	Ticari İşletme	5

Çizelge 5.1 'de karar vericilerin çalışma alanları ve deneyim süreleri gösterilmektedir. Karar verme sürecinde yer alan uzmanlar, kamu ve özel sektörün farklı alanlarında faaliyet gösteren ve enerji ile doğrudan ilişkili görevlerde bulunan kişilerden seçilmiştir. Katılımcılar enerji yönetimi, sürdürülebilir enerji uygulamaları ve yenilenebilir enerji teknolojileri alanlarında bilgi ve deneyime sahip bireylerdir. Beş kişilik karar verici grubunun ortalama sektörel deneyimi 7,6 yıl olup, her biri enerji politikaları ve uygulamaları konusunda teknik yeterliliğe sahiptir.

Bu çalışmada ayrıca enerji güvenliği parametreleri doğrultusunda çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları alternatif olarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda yalnızca klasik tekil enerji kaynakları değil, aynı zamanda hibrit yani birden fazla kaynağın birleşiminden oluşan enerji sistemleri de analize dahil edilmiştir. Böylece hem teknik verimlilik hem de kaynak çeşitliliği açısından daha kapsamlı bir karşılaştırma yapılması mümkün hale gelmiştir.

Çizelge 5.2. Alternatif Kaynaklar

Alternatifler Kaynaklar	
A1	Rüzgâr
A2	Güneş
A3	Hidrolik
A4	Jeotermal
A5	Biyokütle
A6	Jeotermal+Güneş
A7	Hidro+Güneş
A8	Biyokütle+Güneş
A9	Rüzgar+Güneş
A10	Güneş+Hidrolik

Çizelge 5.2 'de alternatif kaynaklar gösterilmektedir. Toplamda on farklı alternatif oluşturulmuş olup bunlar arasında rüzgâr, güneş, hidrolik ve jeotermal gibi geleneksel yenilenebilir enerji türlerinin yanı sıra bu kaynakların ikili kombinasyonlarına da yer verilmiştir. Bu çeşitlilik, enerji güvenliğine çok boyutlu yaklaşımın bir gereği olarak değerlendirilmiştir.

A1 – Rüzgâr: Atmosferdeki hava hareketlerinden elde edilen bu kaynak, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren türbinler aracılığıyla kullanılır. Doğrudan fosil yakıt tüketimi gerektirmemesi nedeniyle çevre dostudur ve sürdürülebilir enerji seçenekleri arasında yer alır.

A2 – Güneş: Güneş ışınlarından fotovoltaik paneller veya termal sistemlerle elde edilen enerji türüdür. Geniş coğrafi yayılım ve düşük işletme maliyetiyle dikkat çeker. Karbon salımı olmadan enerji üretimi sağlamasıyla çevresel açıdan avantajlıdır.

A3 – Hidrolik: Su gücünün potansiyel ve kinetik enerjisinden faydalanılarak elektrik üretimi sağlanır. Özellikle barajlar aracılığıyla elde edilen bu enerji türü, yüksek verimliliğe sahip olmasına rağmen doğal ekosistemler üzerinde etkileri dikkate alınmalıdır.

A4 – Jeotermal: Yer kabuğunun derinliklerinden gelen sıcak su veya buhar yardımıyla enerji üretimi yapılan kaynaktır. Sürekli ve yerli bir enerji türüdür. Özellikle volkanik bölgelerde yüksek potansiyel sunar.

A5 – Biyokütle: Organik atıkların, tarımsal kalıntıların veya hayvansal kökenli maddelerin enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilir. Yenilenebilir özelliğe sahip olmakla birlikte doğru teknoloji ve kontrol ile kullanıldığında çevresel etkileri azaltılabilir.

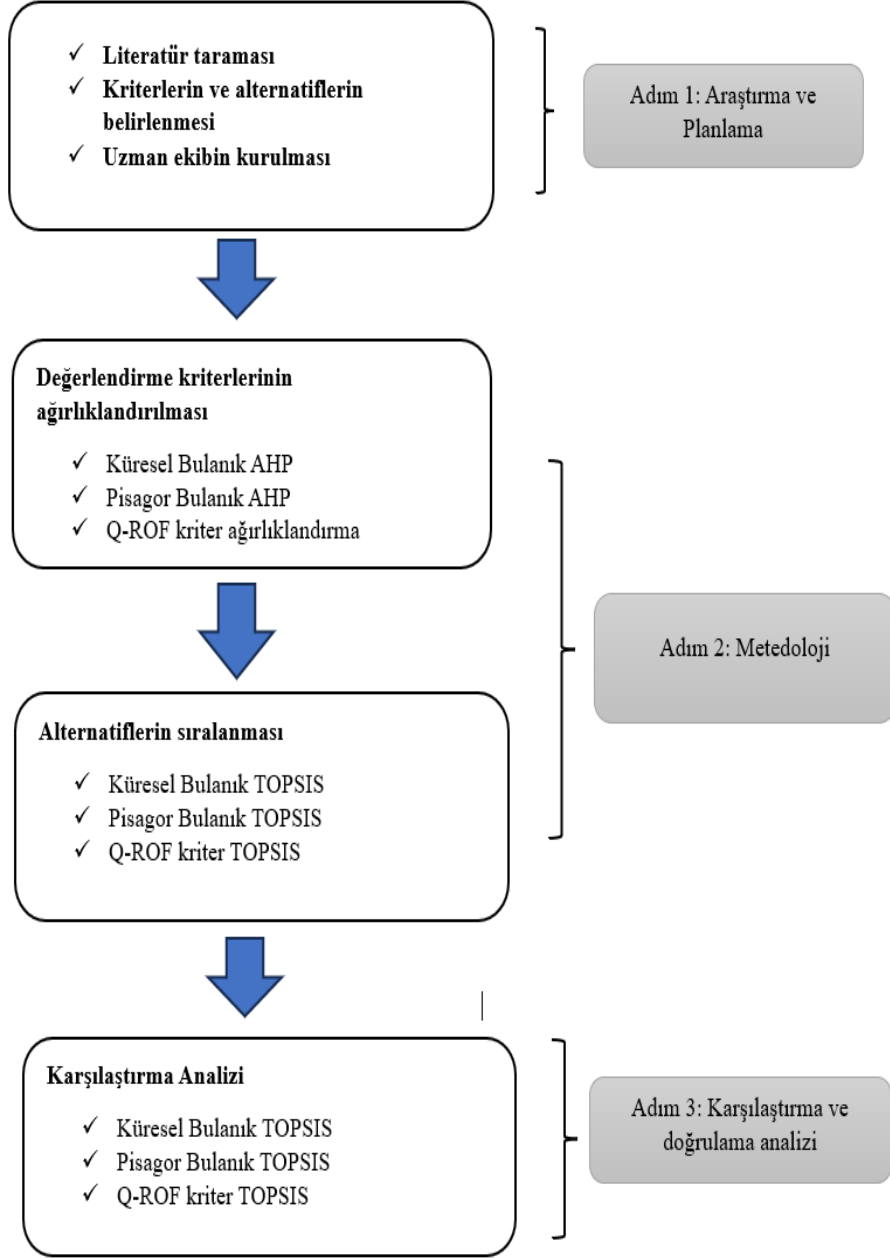
A6 – Jeotermal + Güneş: Yer altı ısı ile güneş enerjisinin bir araya getirildiği hibrit sistemdir. Bu kombinasyon, süreklilik ve mevsimsel dalgalanmaları dengelemeye yardımcı olur.

A7 – Hidro + Güneş: Hidrolik enerji sistemleri ile güneş panellerinin birlikte kullanıldığı bu yapı, gece ve gündüz ya da mevsimsel üretim farklarını dengelemeyi hedefler. Verimliliği artırmak amacıyla iki farklı kaynağın avantajları bir araya getirilir.

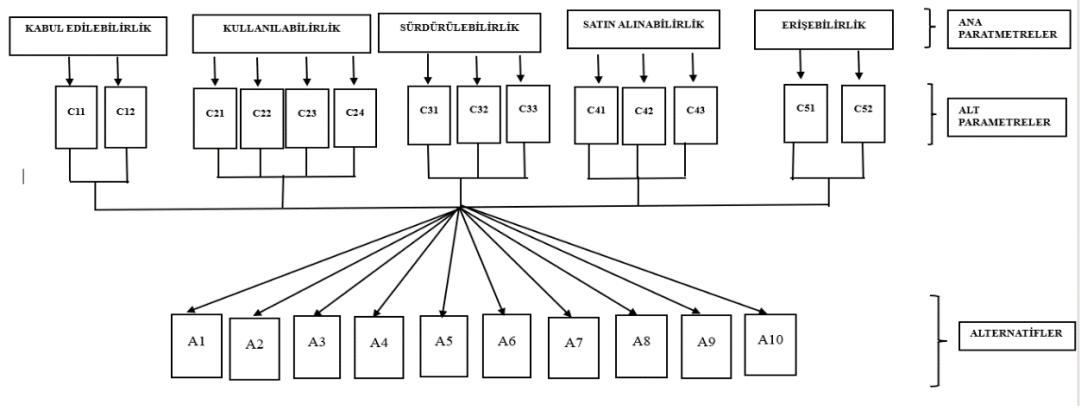
A8 – Biyokütle + Güneş: Organik atık temelli enerji üretimi ile güneş ışınlarından faydalanan sistemlerin birleşimidir. Bu sayede hem sürekli enerji sağlanabilir hem de karbon salımı daha düşük bir düzeyde tutulabilir.

A9 – Rüzgar + Güneş: İki popüler yenilenebilir kaynağın birlikte kullanılmasıyla oluşturulan hibrit yapıdır. Rüzgarın olmadığı saatlerde güneşten, güneşin olmadığı dönemlerde ise rüzgardan faydalanılarak arz sürekliliği sağlanır.

A10 – Güneş + Hidrolik: Gündüz saatlerinde güneşten, diğer zamanlarda ise hidrolik kaynaklardan enerji elde edilen karma sistemdir. Bu yapı, üretimde sürekliliği sağlarken enerji arz güvenliğine katkı sunar.



Şekil 5.1. Uygulama Akışı



Şekil 5.2. Parametre ve Alternatiflerin Gösteri

Şekil 5.2’de veri setinin genel gösterimi yer almaktadır. 5 ana parametre, 14 alt parametre ve 10 alternatif kaynağı göstermektedir.

Çizelge 5.3. Alt Parametrelerin Tanımları

Ana Parametreler	Alt Parametre Sayısı	Alt Parametreler	Tanımlar
Kabul Edilebilirlik (C1)	C11	Enerji Yoğunluğu	Enerji tüketiminin petrol cinsinden hesaplanarak GSYH'ya oranı olarak tanımlanmaktadır.
	C12	Karbon Yoğunluğu	Enerji tüketiminde kardioksit emisyonunun oranı olarak hesaplanmaktadır.
Kullanılabilirlik (C2)	C21	Arz Güvenliği	Yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimiyle ithalatın, ihracattan düşürülmesi ve uluslararası deniz yakıtlarının çıkarılması sonrasında enerji stoklarındaki net değişimler göz önünde bulundurularak hesaplanan toplam değerdir.
	C22	Üretme	Belirli bir yılın sonunda kanıtlanmış geri kazanılabilir rezervlerin o yıldaki bu rezervlerin üretimine oranı olarak tanımlanmaktadır.
	C23	Bağımlılık	Toplam birincil enerji arzının yüzdesi toplam birincil enerji tüketimine bölünmektedir.
	C24	Çeşitlendirme	Toplam birincil enerji arzında jeotermal, güneş, rüzgâr, hidroelektrik, gelgit, dalga, biyokütle, belediye atıkları ve biyoyakıt temelli enerjinin katkı payı bulunmaktadır.
Sürdürülebilirlik (C3)	C31	Kullanılabilirlik Oranı	Santraller her an arızalanabilir, buna bağlı olarak üretim yapılamaz. Elektrik santrallerindeki herhangi bir nedene bağlı olarak az üretimin, olması elektrik miktarının doğrudan etkilemektedir. Üretimi yapamayan elektrik santrallerinin olabilmesinde dolayı her an elektrik üretmeye hazır olan kapasiteye Kullanılabilir Kapasite denir.
	C32	Seviyelendirilmiş Üretim Maliyeti	Bir elektrik üretim tesisinin ömrü boyunca elektrik üretiminin toplam net bugünkü maliyetinin hesaplanmasıdır.
	C33	Önlenen Emisyon	Kirlilikten kaçınmış her temiz santralde ölçülmektedir. Yalnızca yenilenebilir enerji teknolojisinin verimliliği ile değil alternatif teknolojilerin ve elektrik şebeke emisyonlarına da bağlıdır.
Satın Alınabilirlik (C4)	C41	İstikrar	Her beş yılda bir perakende elektrik fiyatlarının değişme yüzdesidir.
	C42	Erişim	Güvenilir olarak kentsel ve kırsalda yaşayan müşterilerin yüzdesini ifade etmektedir
	C43	Eşitlik	Birincil olarak katı yakıtlara bağımlı olan nüfusun yüzdeliğini ifade etmektedir.
Erişilebilirlik (C5)	C51	Kendi Kendine Yeterlilik	İthal enerjiye bağımlılığı ölçmektedir.
	C52	Biyokütlenin Geleneksel Kullanımına Dayalı Nüfus Yüzdesi	Geleneksel biyokütle kullanımına güvenen tüketicilerin enerji yüzdesini ölçmektedir.

Çizelge 5.3'de enerji güvenliğini değerlendirmek amacıyla belirlenen ana parametreler ve bunlara bağlı alt parametrelerin tanımlarını içermektedir. Beş ana parametre altında gruplandırılmış çeşitli kriterler aşağıda özetlenmiştir.

Kabul Edilebilirlik (C1)

- Enerji Yoğunluğu: Enerji tüketiminin GSYİH'ye oranı.
- Karbon Yoğunluğu: Enerji tüketiminden kaynaklanan karbon emisyonu.

Kullanılabilirlik (C2)

- Arz Güvenliği: Enerji ithalatına bağımlılık ve enerji kaynaklarının çeşitliliği.
- Üretme: Yenilenebilir enerji üretim kapasitesi.
- Bağımlılık: Birincil enerji üretiminin toplam enerji arzındaki payı.
- Çeşitlendirme: Enerji kaynaklarının çeşitliliği (jeotermal, güneş, biyokütle vb.).

Sürdürülebilirlik (C3)

- Kullanılabilirlik Oranı: Mevcut kapasitenin ne kadar kullanılabildiği.
- Seviyelendirilmiş Üretim Maliyeti: Enerji üretiminin toplam maliyeti.
- Önlenebilir Emisyon: Temiz enerji ile önlenebilir sera gazı emisyonları.

Satın Alınabilirlik (C4)

- İstikrar: Elektrik fiyatlarının yıllık değişim oranı.
- Erişim: Elektriğe ulaşamayan nüfusun oranı.

Erişilebilirlik (C5)

- Eşitlik: Katı yakıt bağımlı nüfus oranı.
- Kendi Kendine Yeterlilik: İthal enerjiye olan bağımlılık.
- Biyokütlenin Geleneksel Kullanımı: Geleneksel enerji kullanımına bağımlı nüfus oranı.

Çalışmada enerji güvenliğinin nicel olarak ölçülebilmesi amacıyla üç farklı ÇKKV yöntemi kullanılmıştır: Q-ROF AHP-TOPSIS, Küresel AHP-TOPSIS ve Nötrösofik AHP-TOPSIS. Bu yöntemlerin kullanımı, enerji güvenliği gibi çok boyutlu ve dinamik bir konunun daha objektif ve karşılaştırmalı biçimde analiz edilmesine

olanak tanımaktadır. Özellikle alternatif enerji kaynaklarının çok sayıda ölçüte göre değerlendirilmesi gerekliliği, bu tür çok kriterli analizleri zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmayı literatürdeki benzerlerinden ayıran iki temel yenilik bulunmaktadır. Birincisi, kullanılan veri setinde sürdürülebilirlik parametresine özel olarak yer verilmiş ve bu kapsamda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılabilirlik oranı, birim üretim maliyeti ve önlenen emisyon miktarı gibi göstergeler analiz edilmiştir. Bu göstergeler, enerji kaynaklarının sadece teknik değil, aynı zamanda çevresel ve ekonomik performansına dair önemli veriler sunmaktadır.

İkinci özgün katkı ise enerji güvenliği indeksinin doğasında bulunan belirsizlik ve karmaşıklık, klasik yöntemlerin ötesine geçerek ÇKKV tabanlı yaklaşımlarla yönetilmesidir. Bu kapsamda çalışmada bulanık mantık temelli modeller tercih edilmiş ve karar verici öznellikleri minimize edilerek daha tutarlı sonuçlar elde edilmiştir. Belirsizliğin yüksek olduğu çok kriterli ortamlarda bu tür yöntemler, daha sağlıklı politika önerileri geliştirilmesine katkı sunmaktadır.

Sonuç olarak bu çalışma, enerji güvenliği indeksinin hesaplanmasında hem yöntemsel çeşitliliği hem de parametre bazlı özgünlüğü ile dikkat çekmektedir. Elde edilen bulgular, enerji politikalarının şekillendirilmesinde karar vericilere çok boyutlu ve veri temelli bir analiz çerçevesi sunarak, sürdürülebilir enerji planlaması açısından önemli bir katkı sağlamaktadır.

6. KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ

Bu çalışma kapsamında, karar verme süreçlerinde sıklıkla başvurulanan ÇKKV yöntemlerinden Q-ROF AHP-TOPSIS, Küresel AHP-TOPSIS ve Nötrosifik AHP-TOPSIS yöntemlerinin karşılaştırmalı bir analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacı, söz konusu yöntemlerin performanslarını değerlendirmek ve karar vericilere daha etkin bir seçim süreci sunmaktır. Bu bağlamda, Küresel AHP ve Nötrosifik AHP yaklaşımlarına ait dilsel değerlendirme ölçekleri kullanılarak, alternatifler arasında ikili karşılaştırmalar yapılmış ve karar vericilerin uzman görüşlerine dayalı değerlendirmeleri dikkate alınmıştır. Ayrıca, yöntemlerin karar verme sürecine olan katkıları, belirsizlik ortamında sağladıkları esneklik, hesaplama kolaylıkları ve elde edilen sonuçların tutarlılığı gibi kriterler açısından detaylı biçimde analiz edilmiştir. Yapılan analizler sayesinde, her bir yöntemin güçlü ve zayıf yönleri belirlenerek hangi durumlarda daha uygun olabileceği konusunda kapsamlı çıkarımlar yapılmıştır. Bu sayede, enerji güvenliği gibi stratejik öneme sahip konularda karar vericilere daha bilinçli ve veriye dayalı tercihler yapmaları için yol gösterici olunması hedeflenmiştir.

Çizelge 6.1. Küresel-AHP Dilsel Değerler

Küresel-AHP Dilsel Değerler	μ	ν	π	Sayı Değerleri
Kesinlikle Daha Önemli	0,9	0,1	0	9
Çok Yüksek Önemli	0,8	0,2	0,1	7
Yüksek Önemli	0,7	0,3	0,2	5
Biraz Daha Önemli	0,6	0,4	0,3	3
Eşit Önemli	0,5	0,4	0,4	1
Biraz Düşük Önemli	0,4	0,6	0,3	0,333333333
Düşük Önemli	0,3	0,7	0,2	0,2
Çok Düşük Önemli	0,2	0,8	0,1	0,142857143
Kesinlikle Düşük Önemli	0,1	0,9	0	0,111111111

Öncelikle, çalışmada kullanılan Küresel AHP dilsel değerleri Çizelge 6.1’de sunulmaktadır. Bu tabloda, her bir dilsel değer için belirlenen üyelik derecesi (μ), belirsizlik derecesi (ν), reddetme derecesi (π) ve söz konusu dilsel değere karşılık gelen sayısal değer yer almaktadır. Elde edilen değerler, karar verme sürecinde alternatiflerin öncelik sıralamasını belirlemek amacıyla kullanılmıştır.

Çizelge 6.2. Küresel-AHP Parametre Ağırlıkları

	Küresel Bulanık Ağırlıklar			Berraklaştırılmış Ağırlıklar	Normalize Yerel Ağırlıklar	Küresel Ağırlıklar
Kabul Edilebilirlik						
C11	[0,41	0,54	0,33]	10,58	0,4	0,08
C12	[0,59	0,39	0,32]	16	0,6	0,12
				26,58		
Kullanılabilirlik						
C21	[0,39	0,6	0,27]	10,5	0,2	0,04
C22	[0,52	0,48	0,29]	14,06	0,27	0,06
C23	[0,49	0,51	0,29]	13,3	0,26	0,06
C24	[0,51	0,48	0,29]	13,92	0,27	0,06
				51,78		
Sürdürülebilirlik						
C31	[0,47	0,51	0,30]	12,74	0,34	0,08
C32	[0,42	0,54	0,31]	11,18	0,3	0,07
C33	[0,52	0,46	0,30]	13,94	0,37	0,08
				37,87		
Satın Alınabilirlik						
C41	[0,45	0,53	0,30]	11,92	0,32	0,06
C42	[0,44	0,52	0,31]	11,77	0,32	0,06
C43	[0,50	0,47	0,32]	13,43	0,36	0,07
				37,12		
Erişebilirlik						
C51	[0,30	0	0,47]	4,74	0,37	0,07
C52	[0,36	0	0,40]	8,05	0,63	0,11
				12,78		

Çizelge 6.2, karar verme sürecinde kriterlerin göreceli önemlerini belirlemek amacıyla Küresel-AHP yöntemiyle elde edilen parametre ağırlıklarını göstermektedir. Küresel bulanık ağırlıklar, berraklaştırılmış değerler, normalize edilmiş yerel ağırlıklar ve nihai küresel ağırlıkları kapsamaktadır.

Elde edilen sonuçlara göre, 'Kabul Edilebilirlik' ve 'Kullanılabilirlik' grupları yüksek küresel ağırlık değerleriyle ön plana çıkmaktadır. Bu durum, bu iki ana kriterin karar verme sürecinde daha baskın rol oynadığını göstermektedir.

Çizelge 6.3. Küresel AHP birleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisleri

Kriterler	C11			C12		
C11	[0,50	0,40	0,40]	[0,27	0,74	0,18]
C12	[0,65	0,37	0,23]	[0,50	0,40	0,40]

Kriterler	C21			C22			C23			C24		
C21	[0,50	0,40	0,40]	[0,37	0,67	0,19]	[0,40	0,63	0,19]	[0,26	0,75	0,14]
C22	[0,43	0,62	0,19]	[0,50	0,40	0,40]	[0,57	0,46	0,26]	[0,55	0,45	0,26]
C23	[0,57	0,48	0,16]	[0,34	0,68	0,22]	[0,50	0,40	0,40]	[0,51	0,50	0,30]
C24	[0,64	0,41	0,17]	[0,38	0,62	0,25]	[0,47	0,54	0,30]	[0,50	0,40	0,40]

Kriterler	C31			C32			C33		
C31	[0,50	0,40	0,40]	[0,54	0,49	0,26]	[0,36	0,67	0,17]
C32	[0,35	0,68	0,20]	[0,50	0,40	0,40]	[0,41	0,59	0,27]
C33	[0,51	0,53	0,19]	[0,53	0,47	0,28]	[0,50	0,40	0,40]

Kriterler	C41			C42			C43		
C41	[0,50	0,40	0,40]	[0,45	0,57	0,22]	[0,38	0,65	0,22]
C42	[0,38	0,64	0,20]	[0,50	0,40	0,40]	[0,44	0,56	0,28]
C43	[0,48	0,55	0,23]	[0,52	0,47	0,30]	[0,50	0,40	0,40]

Kriterler	C51			C52		
C51	[0,50	0,40	0,40]	[0,29	0,73	0,73]
C52	[0,50	0,57	0,57]	[0,50	0,40	0,40]

Kriterler	C1			C2			C3			C4			C5		
C1	[0,50	0,40	0,40]	[0,40	0,60	0,30]	[0,46	0,55	0,27]	[0,59	0,43	0,28]	[0,43	0,58	0,24]
C2	[0,60	0,40	0,30]	[0,50	0,40	0,40]	[0,38	0,63	0,26]	[0,49	0,51	0,27]	[0,59	0,42	0,27]
C3	[0,50	0,52	0,27]	[0,64	0,37	0,28]	[0,50	0,40	0,40]	[0,46	0,57	0,19]	[0,57	0,45	0,26]
C4	[0,38	0,63	0,26]	[0,45	0,55	0,27]	[0,42	0,60	0,20]	[0,50	0,40	0,40]	[0,53	0,38	0,37]
C5	[0,47	0,55	0,24]	[0,39	0,62	0,26]	[0,36	0,66	0,22]	[0,45	0,49	0,36]	[0,50	0,40	0,40]

Çizelge 6.3'de, beş karar vericinin değerlendirmeleri doğrultusunda oluşturulan küresel AHP birleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisleri yer almaktadır. Bu tabloda ana kriterler ile alt kriterler arasındaki ilişkiler ifade edilmiştir. Kullanılan bulanık değerler, karar vericilerin belirsizlik içeren yargılarını daha esnek ve gerçekçi biçimde yansıtmayı amaçlamaktadır. Her bir kriter grubu için yapılan karşılaştırmalar, göreceli önem düzeylerini göstermekte ve kriter ağırlıklarının hesaplanmasına temel oluşturmaktadır. Bu birleşik matrisler sayesinde, farklı uzman

görüşleri ortak bir yapıda toplanarak bütüncül bir karar modeli oluşturulmuştur. Elde edilen veriler, kriterler arasındaki öncelik düzeylerini analiz etme ve karar sürecini sistematik hale getirme olanağı sağlamaktadır.



Çizelge 6.4. Küresel Bulanık TOPSIS ile birleştirilmiş SWAM / SWGM karar matrisleri

Alternatifler	C11	C12	C21	C22	C23	C24	C31	C32	C33	C41	C42	C43	C51	C52																												
A1	0,31	0,58	0,34	0,41	0,47	0,39	0,19	0,69	0,38	0,31	0,61	0,33	0,30	0,60	0,35	0,34	0,56	0,34	0,31	0,59	0,33	0,28	0,61	0,35	0,31	0,56	0,39	0,39	0,54	0,30	0,34	0,56	0,33	0,25	0,61	0,41	0,15	0,40	0,56	0,21	0,40	0,47
A2	0,28	0,61	0,36	0,46	0,44	0,34	0,27	0,65	0,31	0,39	0,54	0,32	0,34	0,58	0,31	0,29	0,61	0,34	0,31	0,59	0,33	0,27	0,63	0,32	0,30	0,61	0,31	0,27	0,66	0,28	0,33	0,56	0,33	0,34	0,55	0,36	0,22	0,28	0,48	0,27	0,26	0,43
A3	0,29	0,60	0,34	0,35	0,54	0,38	0,26	0,66	0,32	0,29	0,61	0,37	0,27	0,65	0,33	0,39	0,52	0,31	0,34	0,56	0,34	0,31	0,59	0,33	0,24	0,68	0,33	0,39	0,54	0,30	0,33	0,56	0,32	0,30	0,58	0,40	0,22	0,27	0,49	0,16	0,56	0,40
A4	0,31	0,59	0,34	0,28	0,63	0,35	0,28	0,64	0,30	0,28	0,61	0,39	0,36	0,56	0,31	0,37	0,54	0,32	0,34	0,56	0,34	0,32	0,58	0,32	0,36	0,55	0,33	0,37	0,55	0,31	0,31	0,58	0,33	0,30	0,59	0,36	0,20	0,35	0,48	0,30	0,16	0,41
A5	0,14	0,77	0,31	0,32	0,59	0,36	0,26	0,66	0,29	0,33	0,57	0,35	0,31	0,62	0,31	0,42	0,50	0,30	0,35	0,56	0,34	0,28	0,62	0,33	0,34	0,56	0,33	0,27	0,64	0,30	0,36	0,55	0,32	0,27	0,61	0,38	0,20	0,35	0,48	0,26	0,31	0,40
A6	0,18	0,72	0,35	0,34	0,57	0,36	0,19	0,73	0,32	0,34	0,56	0,34	0,34	0,58	0,31	0,35	0,56	0,33	0,37	0,55	0,33	0,29	0,60	0,33	0,27	0,62	0,35	0,39	0,54	0,30	0,36	0,54	0,34	0,31	0,58	0,35	0,22	0,30	0,47	0,26	0,30	0,42
A7	0,27	0,62	0,37	0,25	0,62	0,40	0,25	0,66	0,34	0,30	0,60	0,36	0,29	0,61	0,36	0,29	0,59	0,39	0,28	0,62	0,37	0,19	0,72	0,33	0,32	0,59	0,31	0,21	0,71	0,32	0,26	0,62	0,38	0,20	0,68	0,37	0,15	0,46	0,50	0,28	0,24	0,42
A8	0,23	0,66	0,35	0,35	0,56	0,35	0,21	0,69	0,34	0,27	0,64	0,35	0,32	0,59	0,34	0,39	0,52	0,31	0,38	0,54	0,30	0,36	0,55	0,31	0,39	0,52	0,33	0,40	0,54	0,30	0,35	0,55	0,31	0,33	0,56	0,37	0,21	0,30	0,50	0,21	0,44	0,42
A9	0,28	0,60	0,36	0,33	0,57	0,38	0,21	0,69	0,34	0,38	0,54	0,33	0,36	0,56	0,32	0,36	0,55	0,32	0,34	0,56	0,32	0,27	0,63	0,32	0,30	0,62	0,29	0,22	0,70	0,29	0,34	0,56	0,33	0,33	0,56	0,37	0,17	0,40	0,52	0,26	0,29	0,43
A10	0,30	0,59	0,35	0,35	0,54	0,39	0,23	0,68	0,34	0,31	0,59	0,36	0,29	0,62	0,36	0,37	0,54	0,32	0,34	0,56	0,32	0,30	0,59	0,33	0,30	0,62	0,29	0,26	0,67	0,29	0,31	0,58	0,34	0,30	0,59	0,38	0,18	0,40	0,51	0,20	0,45	0,45

Alternatifler	C11	C12	C21	C22	C23	C24	C31	C32	C33	C41	C42	C43	C51	C52																												
A1	0,28	0,59	0,34	0,31	0,50	0,42	0,16	0,70	0,37	0,24	0,66	0,33	0,23	0,64	0,35	0,31	0,56	0,35	0,27	0,61	0,33	0,26	0,61	0,35	0,26	0,56	0,40	0,37	0,56	0,32	0,30	0,57	0,33	0,18	0,64	0,40	0,13	0,40	0,56	0,19	0,40	0,47
A2	0,20	0,65	0,35	0,42	0,45	0,34	0,24	0,65	0,31	0,31	0,58	0,33	0,25	0,66	0,31	0,21	0,65	0,34	0,27	0,61	0,33	0,20	0,70	0,30	0,21	0,71	0,27	0,11	0,79	0,23	0,29	0,58	0,34	0,30	0,55	0,37	0,20	0,28	0,48	0,22	0,33	0,44
A3	0,21	0,65	0,35	0,30	0,56	0,38	0,24	0,67	0,33	0,23	0,64	0,36	0,21	0,69	0,31	0,37	0,53	0,31	0,30	0,57	0,37	0,26	0,63	0,34	0,16	0,71	0,31	0,38	0,55	0,31	0,29	0,60	0,33	0,26	0,58	0,40	0,19	0,32	0,49	0,10	0,67	0,35
A4	0,25	0,65	0,35	0,21	0,67	0,35	0,25	0,65	0,31	0,24	0,62	0,38	0,22	0,66	0,31	0,32	0,58	0,33	0,30	0,57	0,37	0,28	0,61	0,33	0,23	0,63	0,34	0,32	0,60	0,32	0,26	0,64	0,33	0,22	0,63	0,36	0,14	0,49	0,47	0,24	0,24	0,44
A5	0,11	0,78	0,31	0,23	0,64	0,36	0,21	0,70	0,30	0,29	0,60	0,36	0,22	0,71	0,30	0,36	0,56	0,31	0,26	0,63	0,35	0,20	0,70	0,32	0,20	0,66	0,33	0,19	0,73	0,28	0,28	0,63	0,33	0,21	0,64	0,38	0,15	0,49	0,46	0,18	0,51	0,38
A6	0,15	0,74	0,34	0,24	0,62	0,37	0,14	0,75	0,31	0,29	0,59	0,35	0,21	0,66	0,31	0,26	0,62	0,34	0,30	0,58	0,35	0,22	0,66	0,33	0,21	0,67	0,34	0,26	0,61	0,29	0,31	0,57	0,37	0,23	0,62	0,36	0,16	0,47	0,45	0,20	0,43	0,41
A7	0,25	0,63	0,37	0,21	0,65	0,38	0,21	0,69	0,36	0,27	0,61	0,37	0,24	0,65	0,36	0,26	0,59	0,39	0,25	0,62	0,37	0,15	0,75	0,31	0,18	0,70	0,30	0,16	0,74	0,30	0,23	0,62	0,38	0,16	0,72	0,34	0,12	0,52	0,49	0,20	0,37	0,43
A8	0,16	0,71	0,34	0,26	0,63	0,34	0,19	0,70	0,34	0,20	0,67	0,34	0,28	0,60	0,35	0,37	0,53	0,31	0,36	0,54	0,30	0,34	0,55	0,31	0,31	0,60	0,34	0,39	0,54	0,30	0,34	0,55	0,31	0,29	0,57	0,37	0,17	0,36	0,51	0,16	0,54	0,40
A9	0,26	0,61	0,36	0,28	0,59	0,37	0,19	0,70	0,34	0,34	0,57	0,34	0,30	0,58	0,34	0,33	0,55	0,32	0,31	0,57	0,32	0,20	0,70	0,31	0,15	0,74	0,28	0,13	0,76	0,28	0,30	0,57	0,33	0,29	0,57	0,37	0,16	0,40	0,52	0,20	0,39	0,45
A10	0,27	0,59	0,35	0,32	0,54	0,39	0,21	0,68	0,34	0,28	0,59	0,36	0,27	0,62	0,36	0,34	0,54	0,32	0,31	0,57	0,32	0,28	0,59	0,33	0,15	0,74	0,28	0,13	0,76	0,27	0,29	0,58	0,34	0,27	0,59	0,38	0,16	0,40	0,51	0,17	0,49	0,43

Çizelge 6.4, Küresel Bulanık TOPSIS yöntemi ile SWAM/SWGM tekniklerinin entegrasyonu sonucu elde edilen karar matrislerini sunmaktadır. Alternatifler, toplam 14 kritere göre değerlendirilmiştir. Tablo içerisindeki her bir değer, ilgili alternatifin belirli bir kritere göre sahip olduğu göreceli uygunluk düzeyini ifade etmektedir. Söz konusu değerler 0 ile 1 aralığında normalize edilmiş olup, karar verici görüşlerinin SWAM ve SWGM yaklaşımları doğrultusunda bütünleştirilmesi ile elde edilmiştir.

Çizelge 6.5. Nötrosifik Dilsel Değerler

Nötrosifik-AHP Dilsel Değerler		T^L	T^U	I^L	I^U	F^L	F^U
Eşit Önemli	EI	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Zayıf Daha Önemli	WMI	0,5	0,6	0,35	0,45	0,4	0,5
Orta Önemli	MI	0,55	0,65	0,3	0,4	0,35	0,45
Orta Derecede Daha Önemli	MMI	0,6	0,7	0,25	0,35	0,3	0,4
Güçlü Önemli	SI	0,65	0,75	0,2	0,3	0,25	0,35
Güçlü Daha Önemli	SMI	0,7	0,8	0,15	0,25	0,2	0,3
Çok Güçlü Önemli	VSI	0,75	0,85	0,1	0,2	0,15	0,25
Çok Güçlü Daha Önemli	VSMI	0,8	0,9	0,05	0,1	0,1	0,2
Aşırı Önemli	EXI	0,9	0,95	0	0,05	0,05	0,15
Son Derece Yüksek Önemli	EHI	0,95	1	0	0	0	0,1
Kesinlikle Daha Önemli	AMI	1	1	0	0	0	0

Aynı şekilde, Nötrosifik AHP yönteminde de Çizelge 6.5’de belirtilen dilsel değerler kullanılarak karar vericiler tarafından oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş ve nihai karar parametrelerinin nötrosifik ağırlıkları hesaplanmıştır.

Çizelge 6.6. Nötrosifik-AHP Parametre Ağırlıkları

Alt Kriterler	TL	TU	IL	IU	FL	FU	Yerel Ağırlık	Nötrosifik Ağırlık
C11	0,34706	0,40588	0,58173	0,62019	0,55412	0,59412	0,3909	0,085
C12	0,55412	0,59412	0,31731	0,37981	0,34706	0,40588	0,5979	0,13
C21	0,29615	0,32847	0,1133	0,15509	0,13365	0,17357	0,3196	0,066
C22	0,13896	0,17887	0,31108	0,34348	0,28913	0,32185	0,1828	0,038
C23	0,18221	0,22079	0,24817	0,28492	0,24411	0,2798	0,2218	0,046
C24	0,23569	0,27187	0,17667	0,21651	0,18656	0,22477	0,2683	0,044
C31	0,21609	0,26471	0,36558	0,40228	0,35278	0,39028	0,2617	0,043
C32	0,24632	0,29371	0,35179	0,38988	0,3375	0,37639	0,2927	0,048
C33	0,40114	0,44158	0,16478	0,20784	0,19028	0,23333	0,4281	0,07
C41	0,40397	0,44024	0,15051	0,20303	0,17659	0,22659	0,4333	0,119
C42	0,19742	0,24733	0,40606	0,44343	0,38016	0,41825	0,2452	0,067
C43	0,26546	0,31243	0,30808	0,35354	0,31151	0,35516	0,3106	0,085
C51	0,375	0,43056	0,55412	0,59412	0,52778	0,56944	0,4196	0,053
C52	0,52778	0,56944	0,34706	0,40588	0,375	0,43056	0,5723	0,072

Çizelge 6.6, karar verme sürecinde kullanılan kriterlerin önem düzeylerini belirlemek amacıyla uygulanan Nötrosofik Analitik Hiyerarşi Süreci (N-AHP) yöntemi kapsamında elde edilen parametre ağırlıklarını göstermektedir. Bu tabloda her bir alt kriter için üçlü bulanık sayılar (TL, TU, IL, IU, FL, FU) kullanılarak değerlendirme yapılmış ve hem yerel ağırlıklar hem de Nötrosofik ağırlıklar hesaplanmıştır.

N-AHP yöntemi, belirsizlik ve çelişkili bilgilerin bulunduğu karar ortamlarında daha esnek ve güvenilir sonuçlar sunmak üzere geliştirilmiştir. Çizelgede yer alan TL-TU (gerçeklik alt-sınırı ve üst-sınırı), IL-IU (belirsizlik aralığı) ve FL-FU (yanlışlık alt-sınırı ve üst-sınırı) değerleri, her bir kriterin farklı açılardan değerlendirilmesini sağlamaktadır.



Çizelge 6.7. Nötrosifik TOPSIS ile birleştirilmiş karar matrisleri

Kriterler	C11						C12						C21						C22						C23					
Alternatifler	TL	TU	IL	IU	FL	FU	TL	TU	IL	IU	FL	FU	TL	TU	IL	IU	FL	FU	TL	TU	IL	IU	FL	FU	TL	TU	IL	IU	FL	FU
A1	[0,04	0,05	0,00	0,02	0,04	0,05]	[0,03	0,05	0,03	0,05	0,08	0,10]	[0,04	0,05	0,01	0,02	0,02	0,03]	[0,01	0,02	0,00	0,01	0,02	0,03]	[0,03	0,04	0,01	0,02	0,01	0,02]
A2	[0,03	0,04	0,01	0,03	0,05	0,06]	[0,05	0,07	0,01	0,04	0,07	0,09]	[0,02	0,03	0,01	0,02	0,04	0,05]	[0,01	0,02	0,00	0,01	0,02	0,03]	[0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,04]
A3	[0,04	0,05	0,00	0,02	0,04	0,05]	[0,06	0,08	0,00	0,03	0,06	0,08]	[0,02	0,03	0,01	0,02	0,04	0,05]	[0,02	0,02	0,00	0,01	0,02	0,02]	[0,02	0,03	0,00	0,01	0,02	0,03]
A4	[0,01	0,03	0,03	0,04	0,06	0,08]	[0,03	0,05	0,03	0,05	0,08	0,10]	[0,02	0,03	0,01	0,02	0,04	0,05]	[0,02	0,02	0,00	0,01	0,02	0,02]	[0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04]
A5	[0,04	0,05	0,00	0,02	0,04	0,05]	[0,05	0,07	0,01	0,04	0,07	0,09]	[0,02	0,03	0,01	0,03	0,04	0,05]	[0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03]	[0,02	0,02	0,00	0,01	0,03	0,03]
A6	[0,03	0,04	0,01	0,03	0,05	0,06]	[0,06	0,08	0,00	0,03	0,06	0,08]	[0,03	0,04	0,00	0,01	0,03	0,04]	[0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03]	[0,03	0,04	0,01	0,02	0,01	0,01]
A7	[0,05	0,06	0,01	0,03	0,03	0,04]	[0,07	0,09	0,01	0,04	0,05	0,07]	[0,04	0,05	0,01	0,02	0,02	0,03]	[0,03	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01]	[0,03	0,03	0,00	0,01	0,02	0,02]
A8	[0,03	0,04	0,01	0,03	0,05	0,06]	[0,06	0,08	0,00	0,03	0,06	0,08]	[0,04	0,05	0,01	0,03	0,02	0,03]	[0,01	0,02	0,00	0,01	0,02	0,03]	[0,03	0,03	0,00	0,01	0,02	0,02]
A9	[0,03	0,04	0,01	0,03	0,05	0,06]	[0,05	0,07	0,01	0,04	0,07	0,09]	[0,04	0,05	0,01	0,03	0,02	0,03]	[0,03	0,00	0,02	0,02	0,00	0,01]	[0,03	0,03	0,00	0,01	0,02	0,02]
A10	[0,07	0,01	0,03	0,05	0,00	0,02]	[0,10	0,12	0,04	0,07	0,02	0,04]	[0,05	0,06	0,02	0,03	0,01	0,02]	[0,03	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01]	[0,03	0,03	0,00	0,01	0,02	0,02]

Kriterler	C24						C31						C32						C33						C41					
Alternatifler	TL	TU	IL	IU	FL	FU	TL	TU	IL	IU	FL	FU	TL	TU	IL	IU	FL	FU	TL	TU	IL	IU	FL	FU	TL	TU	IL	IU	FL	FU
A1	[0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02]	[0,03	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02]	[0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,04]	[0,06	0,01	0,03	0,04	0,00	0,01]	[0,01	0,02	0,05	0,07	0,10	0,12]
A2	[0,03	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02]	[0,03	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02]	[0,03	0,04	0,01	0,02	0,01	0,02]	[0,04	0,05	0,01	0,02	0,02	0,03]	[0,08	0,10	0,02	0,05	0,03	0,05]
A3	[0,02	0,02	0,00	0,01	0,02	0,03]	[0,02	0,02	0,00	0,01	0,02	0,03]	[0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,04]	[0,05	0,06	0,02	0,03	0,01	0,02]	[0,01	0,02	0,05	0,07	0,10	0,12]
A4	[0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04]	[0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04]	[0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05]	[0,02	0,03	0,01	0,02	0,04	0,05]	[0,03	0,05	0,02	0,05	0,08	0,10]
A5	[0,02	0,02	0,00	0,01	0,02	0,03]	[0,02	0,02	0,00	0,01	0,02	0,03]	[0,02	0,03	0,00	0,01	0,02	0,03]	[0,02	0,03	0,01	0,02	0,04	0,05]	[0,04	0,06	0,01	0,04	0,07	0,08]
A6	[0,02	0,03	0,00	0,01	0,02	0,02]	[0,02	0,03	0,00	0,01	0,02	0,02]	[0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05]	[0,02	0,03	0,01	0,02	0,04	0,05]	[0,05	0,07	0,00	0,02	0,05	0,07]
A7	[0,02	0,03	0,00	0,01	0,02	0,02]	[0,02	0,03	0,00	0,01	0,02	0,02]	[0,04	0,04	0,01	0,02	0,01	0,01]	[0,00	0,01	0,03	0,04	0,06	0,07]	[0,07	0,08	0,01	0,04	0,04	0,06]
A8	[0,02	0,02	0,00	0,01	0,02	0,03]	[0,02	0,02	0,00	0,01	0,02	0,03]	[0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05]	[0,04	0,05	0,01	0,02	0,02	0,03]	[0,04	0,06	0,01	0,04	0,07	0,08]
A9	[0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03]	[0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03]	[0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,04]	[0,01	0,02	0,02	0,03	0,05	0,06]	[0,04	0,06	0,01	0,04	0,07	0,08]
A10	[0,03	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02]	[0,03	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02]	[0,04	0,04	0,01	0,02	0,01	0,01]	[0,04	0,05	0,01	0,02	0,02	0,03]	[0,05	0,07	0,00	0,02	0,05	0,07]

Çizelge 6.7. Nötrosifik TOPSIS ile birleştirilmiş karar matrisleri (devamı)

Kriterler	C42						C43						C51				C52							
	TL	TU	IL	IU	FL	FU	TL	TU	IL	IU	FL	FU	TL	TU	IL	IU	FL	FU	TL	TU	IL	IU	FL	FU
A1	[0,00	0,01	0,03	0,04	0,06	0,07]	[0,00	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09]	[0,02	0,03	0,00	0,01	0,02	0,03]	[0,03	0,04	0,00	0,01	0,03	0,04]
A2	[0,01	0,02	0,02	0,03	0,05	0,06]	[0,02	0,03	0,02	0,03	0,06	0,07]	[0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,04]	[0,03	0,04	0,01	0,02	0,04	0,05]
A3	[0,01	0,02	0,02	0,03	0,05	0,06]	[0,02	0,03	0,02	0,03	0,06	0,07]	[0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05]	[0,01	0,02	0,02	0,04	0,05	0,06]
A4	[0,02	0,03	0,01	0,02	0,04	0,05]	[0,01	0,03	0,03	0,04	0,06	0,08]	[0,03	0,04	0,01	0,02	0,02	0,03]	[0,03	0,04	0,01	0,02	0,04	0,05]
A5	[0,04	0,05	0,01	0,03	0,02	0,03]	[0,06	0,08	0,03	0,04	0,01	0,03]	[0,03	0,04	0,01	0,02	0,02	0,03]	[0,03	0,04	0,00	0,01	0,03	0,04]
A6	[0,06	0,01	0,03	0,04	0,00	0,01]	[0,05	0,06	0,01	0,03	0,03	0,04]	[0,03	0,04	0,01	0,02	0,02	0,03]	[0,03	0,04	0,00	0,01	0,03	0,04]
A7	[0,02	0,03	0,01	0,02	0,04	0,05]	[0,02	0,03	0,02	0,03	0,06	0,07]	[0,03	0,04	0,01	0,02	0,02	0,03]	[0,03	0,04	0,01	0,02	0,04	0,05]
A8	[0,02	0,03	0,01	0,03	0,04	0,05]	[0,01	0,03	0,03	0,04	0,06	0,08]	[0,02	0,03	0,00	0,01	0,02	0,03]	[0,03	0,04	0,00	0,01	0,03	0,04]
A9	[0,02	0,03	0,01	0,02	0,04	0,05]	[0,02	0,03	0,02	0,03	0,06	0,07]	[0,02	0,03	0,00	0,01	0,02	0,03]	[0,05	0,06	0,01	0,03	0,02	0,03]
A10	[0,03	0,04	0,00	0,01	0,03	0,04]	[0,05	0,06	0,01	0,03	0,03	0,04]	[0,04	0,05	0,02	0,03	0,01	0,02]	[0,05	0,06	0,01	0,03	0,02	0,03]

Çizelge 6.7, karar verme sürecinde belirsizliklerin dikkate alınması amacıyla Nötrosifik TOPSIS yöntemi ile oluşturulmuş birleştirilmiş karar matrisini sunmaktadır. Bu yöntem, klasik TOPSIS yaklaşımının genişletilmiş bir hali olup, karar vericilerin değerlendirmelerindeki belirsizlik, tutarsızlık ve çelişkileri daha etkin biçimde modellemeye olanak tanımaktadır.

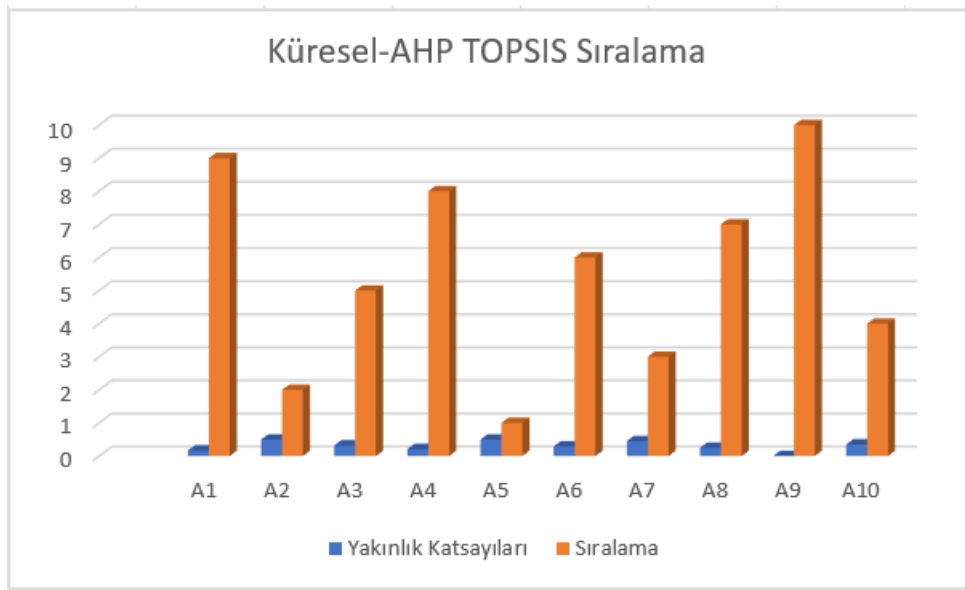
Tabloda her bir alternatif (A1–A10), ilgili kriterlere (C1–C52) göre değerlendirilmiştir. Değerler üçlü aralık formunda verilmiştir: TL (doğruluk alt sınırı), TU (doğruluk üst sınırı), IL-IU (belirsizlik aralığı) ve FL-FU (yanlışlık aralığı). Bu yapı, klasik kesin değerlerin ötesine geçerek karar verme sürecine çok boyutlu bir bakış kazandırmaktadır.

Alternatiflerin kriterlere göre değerlerinin aralıklarla ifade edilmesi, sadece performans düzeylerinin değil, aynı zamanda bu değerlendirmelerdeki belirsizlik seviyesinin de dikkate alındığını göstermektedir. Bu yöntemle oluşturulan karar matrisleri, özellikle çok kriterli karar verme problemlerinde daha güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlar.

Her iki yöntemde de parametre ağırlıklarının birbirine oldukça yakın değerler göstermesi, kullanılan karar destek modellerinin tutarlılığını ve güvenilirliğini ortaya koymaktadır. Yapılan analizler sonucunda, her iki yöntemde de öne çıkan parametrenin 'C12' olarak tanımlanan Kabul Edilebilirlik parametresi olduğu tespit edilmiştir. Özellikle C12 parametresi, enerji sektöründe karbon yoğunluğu ile enerji tüketimi arasındaki doğrudan ilişki nedeniyle büyük önem arz etmektedir. Yüksek karbon yoğunluğuna sahip enerji üretim süreçleri, çevresel sürdürülebilirlik hedefleriyle çelişmekte ve enerji güvenliği endekslerinde kritik bir değişken olarak değerlendirilmektedir. Dolayısıyla gerek Küresel AHP gerekse Nötrosifik AHP yöntemleri ile yapılan ağırlıklandırmalarda C12 parametresinin ön plana çıkması, çalışmanın sonuçlarının karar vericilere enerji politikalarının belirlenmesinde ve sürdürülebilir stratejilerin geliştirilmesinde değerli bilgiler sunduğunu göstermektedir.

Çizelge 6.8. Küresel-AHP TOPSIS

Alternatifler	Yakınlık Katsayıları	Sıralama
A1	0,17	9
A2	0,5	2
A3	0,32	5
A4	0,21	8
A5	0,5	1
A6	0,29	6
A7	0,45	3
A8	0,25	7
A9	0	10
A10	0,35	4

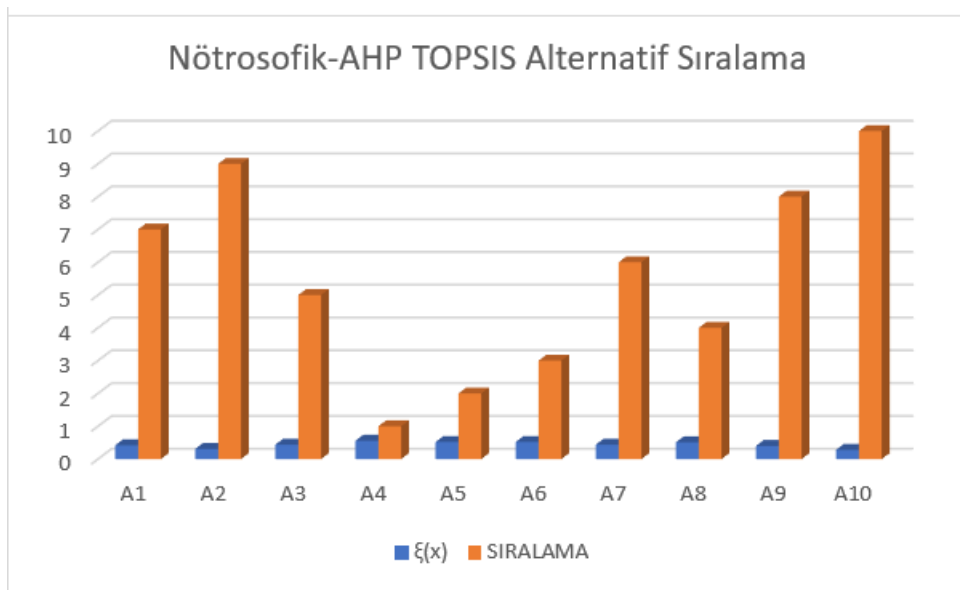


Şekil 6.1. Küresel-AHP TOPSIS Alternatif Sıralama

Çizelge 6.8 ve Şekil 6.1 incelendiğinde, Küresel-AHP TOPSIS yöntemine göre alternatiflerin yakınlık katsayıları ve buna bağlı sıralamaları ortaya konulmuştur. Elde edilen verilere göre, A5 (Biyokütle) alternatifi 0,5 yakınlık katsayısı ile birinci sırada yer almakta ve bu sonuç, söz konusu alternatifin ideal çözüme en yakın seçenek olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde A2 (Güneş) ve A7 (Hidro+Güneş) alternatifleri sırasıyla ikinci ve üçüncü sırada yer almakta olup, karar vericiler için yüksek öncelikli tercihler olarak değerlendirilebilir.

Çizelge 6.9. Nötrosofik-AHP TOPSIS

Alternatifler	$\xi(x)$	Sıralama
A1	0,42	7
A2	0,31	9
A3	0,44	5
A4	0,56	1
A5	0,52	2
A6	0,52	3
A7	0,44	6
A8	0,51	4
A9	0,4	8
A10	0,28	10



Şekil 6.2. Nötrosofik-AHP TOPSIS Alternatif Sıralama

Çizelge 6.9 ve Şekil 6.2’de, Nötrsofik-AHP TOPSIS yöntemi kullanılarak elde edilen alternatif sıralamasını ve her bir alternatifin $\xi(x)$ değerlerini göstermektedir. Elde edilen bulgulara göre, A4(Jeotermal) alternatifini 0,56 değeri ile en yüksek $\xi(x)$ skoruna sahip olup, bu bağlamda birinci sırada yer alarak ideal çözüme en yakın alternatif olarak belirlenmiştir. Bunu sırasıyla A5 (Biyokütle) (0,52) ve A6 (Jeotermal) (0,52) alternatifleri takip etmektedir. Bu üç alternatifin sıralamada üst sıralarda yer alması, karar vericiler açısından önemli tercihler olabileceğine işaret etmektedir. Alternatiflerin sıralanmasında Küresel-AHP Topsis sonucuna göre birinci sırada A5 yani biyokütle alternatif kaynağı bulunmaktadır (Çizelge 6.8. Küresel-AHP TOPSIS). Nötrosofik-AHP sıralamasında ise biyokütlenin ikinci sırada yer aldığı görülmektedir (Çizelge 6.9. Nötrosofik- AHP TOPSIS).

Bu durum, iki farklı yöntem arasında küçük farklılıklar olmakla birlikte genel eğilimin korunduğunu göstermektedir. Her iki yöntemin ortaya koyduğu sonuçlar, biyokütle enerji kaynağının sürdürülebilir enerji politikaları içerisinde önemli bir alternatif olarak değerlendirildiğini ortaya koymaktadır. Analiz sonuçları, karar vericilere alternatif enerji kaynakları arasında kapsamlı bir değerlendirme yapma imkânı sunmuştur.

Bu çalışmada odaklanılan ana konu, Q-ROF TOPSIS metodunun Küresel-AHP TOPSIS ve Nötrosifik-AHP TOPSIS yöntemlerine kıyasla daha güçlü, daha esnek ve tutarlı sonuçlar sunma potansiyelinin ortaya konulmasıdır. Q-ROF TOPSIS yöntemi, klasik yaklaşımların ötesine geçerek karar vericilere daha kapsamlı ve detaylı bir analiz imkânı sunmaktadır. Özellikle Q-ROF yöntemi, belirsizlik içeren problemlerde üyelik ve üyelik dışılık durumlarını birlikte ele alarak, karar alternatiflerine ilişkin derecelerin yalnızca belirli bir aralıkta kalması yerine 1'i aşabilmesine olanak tanımaktadır.

Bu özellik, karar vericilerin belirsizlik altında daha isabetli ve güvenilir değerlendirmeler yapmasına olanak tanımakta ve belirsizliklerin etkin yönetimi açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca Q-ROF yöntemi, bulanık ve sezgisel kümeleri de modelleme sürecine dahil ederek klasik yöntemlerin sınırlamalarını aşmakta ve çok kriterli karar verme problemlerinde çözüm doğruluğunu artırmaktadır. Böylelikle Q-ROF TOPSIS yaklaşımı, karar süreçlerinde hem esneklik hem de güvenilirlik sağlamaktadır.

Çizelge 6.10. Q-ROF Dilsel Değerler

Q-ROF Dilsel Değerler		μ	V
Son Derece Yüksek	EH	0,95	0,15
Çok Düşük	VH	0,85	0,25
Yüksek	H	0,75	0,35
Orta Yüksek	MH	0,65	0,45
Orta	MH	0,55	0,55
Orta Düşük	ML	0,45	0,65
Düşük	L	0,35	0,75
Çok Düşük	VL	0,25	0,85
Son Derece Yüksek	EL	0,15	0,95

Çizelge 6.10'de sunulan Q-ROF dilsel değerler tablosu, karar verme süreçlerinde belirsizliklerin daha iyi yönetilebilmesi amacıyla kullanılan dilsel değişkenlerin nicel karşılıklarını göstermektedir. Bu tabloda, her bir dilsel ifadenin karşılık geldiği güven

değeri (μ) ve belirsizlik düzeyi (v) yer almaktadır. Örneğin, 'Son Derece Yüksek' ifadesi 0,95 güven düzeyi ile en yüksek güveni temsil ederken, belirsizlik düzeyi yalnızca 0,15'tir. Bu da bu dilsel ifadenin oldukça güçlü ve güvenilir bir değerlendirme sunduğunu gösterir.

Öte yandan, 'Son Derece Düşük' gibi ifadeler yüksek belirsizlik düzeyleri ($v = 0,95$) ve düşük güven değerleri ($\mu = 0,15$) ile tanımlanmıştır. Bu tür ifadeler karar vericilerin düşük güvene sahip değerlendirmelerde bulduklarını gösterir. Ortada yer alan 'Orta' ifadesi ise hem güven hem belirsizlik düzeyi açısından dengeli bir noktada durmaktadır ($\mu = 0,55$; $v = 0,45$).

Bu sistematik yaklaşım, öznel yargıların daha sayısal bir temele oturtulmasına olanak tanımaktadır. Q-ROF dilsel değerler, özellikle karar vericilerin sezgisel değerlendirmelerini modele entegre etmek açısından oldukça işlevseldir. Bu bağlamda, çalışmada alternatiflere ilişkin parametrelerin önem ağırlıkları bu değerler dikkate alınarak hesaplanmış ve belirsizlik altında daha sağlıklı kararlar alınması amaçlanmıştır.

Çizelge 6.11. Q-ROF Parametre Ağırlıkları

Experts' Evaluations for Criteria											Criteria Weights
	E1		E2		E3		E4		E5		
Expert weights	0,243514809		0,15544756		0,181125632		0,209955999		0,209955999		
Criteria	μ	v	μ	v	μ	V	μ	V	μ	v	
C11	0,85	0,25	0,85	0,25	0,85	0,25	0,95	0,15	0,85	0,25	0,07739
C12	0,75	0,35	0,85	0,25	0,95	0,15	0,85	0,25	0,85	0,25	0,07454
C21	0,95	0,15	0,95	0,15	0,85	0,25	0,95	0,15	0,95	0,15	0,08468
C22	0,75	0,35	0,75	0,35	0,65	0,45	0,85	0,25	0,75	0,35	0,0651
C23	0,75	0,35	0,65	0,45	0,85	0,25	0,85	0,25	0,85	0,25	0,06935
C24	0,85	0,25	0,95	0,15	0,85	0,25	0,85	0,25	0,85	0,25	0,07674
C31	0,85	0,25	0,65	0,45	0,75	0,35	0,75	0,35	0,75	0,35	0,06568
C32	0,65	0,45	0,55	0,55	0,65	0,45	0,75	0,35	0,65	0,45	0,05603
C33	0,75	0,35	0,85	0,25	0,85	0,25	0,75	0,35	0,75	0,35	0,06806
C41	0,85	0,25	0,75	0,35	0,95	0,15	0,75	0,35	0,85	0,25	0,07329
C42	0,95	0,15	0,85	0,25	0,85	0,25	0,85	0,25	0,85	0,25	0,07779
C43	0,75	0,35	0,75	0,35	0,65	0,45	0,85	0,25	0,65	0,45	0,06317
C51	0,75	0,35	0,75	0,35	0,85	0,25	0,85	0,25	0,75	0,35	0,06862
C52	0,85	0,25	0,85	0,25	0,95	0,15	0,95	0,15	0,85	0,25	0,07956

Çizelge 6.11, Q-ROF yaklaşımı kapsamında beş farklı uzmanın değerlendirmeleri ve bu değerlendirmelere dayalı olarak belirlenen kriter ağırlıklarını içermektedir. Q-ROF sisteminin temel avantajlarından biri, uzman görüşlerindeki belirsizliği hem güven (μ) hem de belirsizlik (v) düzeyleri ile ayrı ayrı modelleyebilmesidir. Bu bağlamda, kriterlerin ağırlıkları yalnızca uzmanların kanaatlerinin ortalama değerlerine göre değil, aynı zamanda bu kanaatlerin güvenilirlik derecelerine göre hesaplanmaktadır.

Tabloda yer alan verilere göre, C21 parametresi 0,08468 değeriyle en yüksek ağırlığa sahip parametre olarak öne çıkmaktadır. Bu, uzmanların bu kriteri karar verme sürecinde oldukça önemli bulduğunu ve değerlendirmelerinin yüksek güven düzeyi ile yapıldığını göstermektedir.

Çizelge 6.12. Q-ROF TOPSIS ile ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisleri

Kriterler	C1			C2			C3			C4			C5			C6			C7			C8			C9		
	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π
A1	0,38	0,91	0,57	0,36	0,92	0,56	0,42	0,90	0,59	0,38	0,92	0,56	0,31	0,94	0,52	0,36	0,92	0,56	0,33	0,93	0,53	0,28	0,95	0,49	0,34	0,93	0,54
A2	0,39	0,91	0,58	0,37	0,92	0,56	0,43	0,89	0,60	0,37	0,92	0,55	0,33	0,93	0,53	0,39	0,91	0,58	0,33	0,93	0,53	0,31	0,94	0,51	0,36	0,92	0,55
A3	0,43	0,90	0,58	0,35	0,92	0,55	0,37	0,91	0,58	0,34	0,93	0,53	0,32	0,93	0,54	0,36	0,92	0,56	0,35	0,93	0,54	0,28	0,95	0,49	0,36	0,92	0,55
A4	0,43	0,89	0,59	0,35	0,92	0,55	0,39	0,90	0,59	0,30	0,94	0,51	0,37	0,92	0,56	0,38	0,91	0,57	0,35	0,93	0,54	0,30	0,95	0,50	0,39	0,91	0,56
A5	0,38	0,92	0,56	0,35	0,93	0,55	0,38	0,91	0,58	0,31	0,94	0,52	0,36	0,92	0,55	0,36	0,92	0,56	0,33	0,94	0,53	0,32	0,94	0,51	0,38	0,92	0,56
A6	0,38	0,91	0,57	0,40	0,91	0,57	0,39	0,90	0,59	0,31	0,94	0,52	0,34	0,93	0,54	0,38	0,91	0,57	0,34	0,93	0,54	0,31	0,94	0,51	0,38	0,92	0,56
A7	0,33	0,93	0,55	0,35	0,92	0,55	0,36	0,91	0,57	0,34	0,93	0,53	0,32	0,94	0,53	0,36	0,92	0,56	0,34	0,93	0,54	0,33	0,94	0,52	0,34	0,93	0,54
A8	0,43	0,89	0,59	0,38	0,91	0,57	0,34	0,93	0,55	0,34	0,93	0,53	0,30	0,94	0,52	0,38	0,91	0,57	0,35	0,93	0,54	0,28	0,95	0,49	0,34	0,93	0,54
A9	0,41	0,91	0,57	0,34	0,93	0,54	0,30	0,94	0,52	0,31	0,94	0,52	0,33	0,93	0,54	0,40	0,90	0,58	0,30	0,94	0,52	0,30	0,95	0,49	0,37	0,92	0,55
A10	0,41	0,91	0,57	0,37	0,92	0,56	0,29	0,94	0,52	0,35	0,93	0,54	0,35	0,93	0,55	0,43	0,90	0,58	0,36	0,93	0,55	0,35	0,94	0,50	0,42	0,91	0,56
A*	0,43	0,89	0,59	0,40	0,91	0,57	0,29	0,94	0,52	0,38	0,92	0,56	0,37	0,92	0,56	0,43	0,90	0,58	0,36	0,93	0,55	0,35	0,94	0,50	0,42	0,91	0,56
A-	0,33	0,93	0,55	0,34	0,93	0,54	0,43	0,89	0,60	0,30	0,94	0,51	0,30	0,94	0,52	0,36	0,92	0,56	0,30	0,94	0,52	0,28	0,95	0,49	0,34	0,93	0,54

Çizelge 6.12. Q-ROF TOPSIS ile ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisleri (devamı)

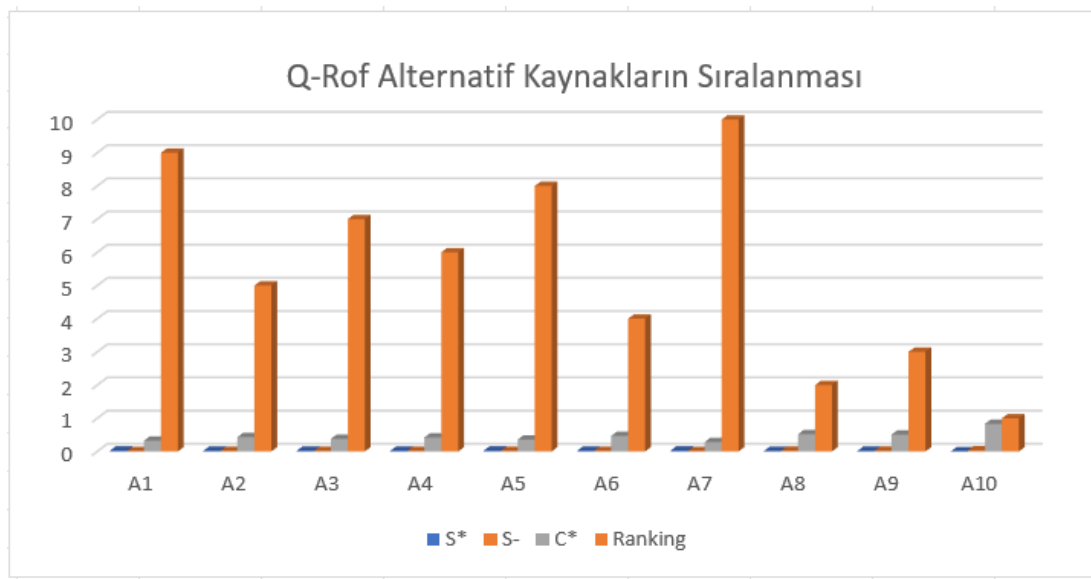
Kriterler	C10			C11			C12			C13			C14		
Alternatifler	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π
A1	0,39	0,91	0,57	0,33	0,91	0,59	0,36	0,93	0,54	0,38	0,91	0,56	0,35	0,92	0,56
A2	0,36	0,92	0,56	0,36	0,92	0,56	0,36	0,93	0,54	0,42	0,90	0,57	0,37	0,92	0,57
A3	0,37	0,92	0,56	0,32	0,93	0,54	0,36	0,93	0,54	0,36	0,92	0,55	0,40	0,90	0,58
A4	0,36	0,92	0,56	0,33	0,93	0,55	0,35	0,93	0,54	0,37	0,92	0,55	0,38	0,91	0,57
A5	0,38	0,91	0,57	0,37	0,91	0,57	0,31	0,94	0,52	0,35	0,93	0,55	0,39	0,91	0,58
A6	0,37	0,92	0,56	0,37	0,91	0,57	0,36	0,93	0,54	0,37	0,92	0,56	0,40	0,90	0,58
A7	0,36	0,92	0,55	0,36	0,92	0,56	0,35	0,93	0,54	0,36	0,92	0,55	0,36	0,92	0,56
A8	0,37	0,92	0,56	0,39	0,91	0,58	0,38	0,92	0,55	0,42	0,91	0,56	0,35	0,92	0,56
A9	0,37	0,92	0,56	0,38	0,91	0,57	0,40	0,92	0,55	0,40	0,92	0,54	0,37	0,91	0,57
A10	0,39	0,91	0,57	0,41	0,91	0,57	0,37	0,93	0,54	0,39	0,92	0,56	0,45	0,89	0,59
A*	0,39	0,91	0,57	0,41	0,91	0,57	0,40	0,92	0,55	0,42	0,90	0,57	0,45	0,89	0,59
A-	0,36	0,92	0,55	0,32	0,93	0,54	0,31	0,94	0,52	0,35	0,93	0,55	0,35	0,92	0,56

Çizelge 6.12, Q-ROF tabanlı TOPSIS yöntemi kullanılarak oluşturulmuş ağırlıklı karar matrisini sunmaktadır. Bu yaklaşım, klasik bulanık mantığın ötesine geçerek karar vericilerin daha esnek, kapsamlı ve belirsizliği içeren değerlendirmeler yapmasına olanak tanır. Tabloda her bir alternatifin (A1–A10) her bir kritere (C1–C14) ilişkin üyelik (μ), karşıt üyelik (ν) ve belirsizlik (π) dereceleri verilmiştir. Q-ROF TOPSIS yöntemi, alternatiflerin pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıklarını değerlendirerek karar verme sürecini optimize eder. Belirsizlik ve karşıt üyelik değerleri ise karar vericilerin değerlendirmelerindeki güven düzeyini ve çelişkileri yansıtmaktadır.

Sonuç olarak, Q-ROF TOPSIS yöntemi ile elde edilen bu karar matrisi, çok kriterli karar verme problemlerinde hem kesinlik hem de belirsizlik boyutlarını dikkate alarak daha sağlam ve güvenilir bir analiz imkânı sunmaktadır.

Çizelge 6.13. Q-ROF Alternatif Kaynakların Sıralanması

	S*	S-	C*	Ranking
A1	0,027	0,013	0,325	9
A2	0,023	0,017	0,433	5
A3	0,025	0,015	0,382	7
A4	0,023	0,017	0,422	6
A5	0,026	0,015	0,36	8
A6	0,021	0,019	0,469	4
A7	0,029	0,011	0,284	10
A8	0,019	0,021	0,521	2
A9	0,02	0,02	0,508	3
A10	0,007	0,033	0,833	1



Şekil 6.3. Q-ROF Alternatif Kaynakların Sıralanması

Çizelge 6.13 Q-ROF parametre ağırlıklarında öne çıkan parametre C21 yani kullanılabilirlik ana parametresinde yer alan arz güvenliğidir. Arz güvenliği yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimiyle ithalatın, ihracattan düşürülmesi ve uluslararası deniz yakıtlarının çıkarılması sonrasında enerji stoklarındaki net değişimler göz önünde bulundurularak hesaplanan toplam değerdir. Arz güvenliği bu sebepten ötürü enerji güvenliği indeksi için önemli yapıtaşlarından biridir.

Q-ROF metodunda önem ağırlıklarında arz güvenliği parametresinin öne çıkması diğer yöntemlerden daha tutarlı ve etkin sonuç verdiği ispatıdır. Enerji güvenliği indeksi çok sayıda faktörlerden etkilenen spesifik bir kriterdir. Bu bağlamda Q-ROF karar vericilere belirsizliği değerlendirme de daha geniş bir perspektif analizi sunduğu için, Küresel-AHP TOPSIS ve Nötrosifik-AHP TOPSIS'den daha farklı bir sonuç vereceği ön görülmekteydi. Arz güvenliği sonucunda da güvenilirlik düzeyi yüksek bir metot kullanıldığı ispat edilmektedir.

Çizelge 6.13. Q-ROF alternatiflerin sıralanmasında en iyi alternatif kaynağın Güneş+Hidrolik kaynağın olduğunu göstermektedir. Güneş ve hidrolik enerji kaynaklarının hibrit bir sistem içinde kullanılması, enerji üretiminde sürdürülebilirlik ve verimlilik açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Güneş enerjisi, gündüz saatlerinde yüksek potansiyel sağlarken, hidrolik enerji sistemi bu üretimi gece saatlerinde veya güneşlenmenin düşük olduğu zamanlarda dengeleyerek sürekli enerji arzı sağlar. Bu hibrit yapı, yenilenebilir enerji sistemlerinin mevsimsel ve saatlik dalgalanmalarını azaltarak daha kararlı bir enerji üretimi sunar. Aynı zamanda fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltırken, çevresel etkilerin en aza indirilmesine katkı sağlar. Güneş-hidrolik hibrit sistemler, özellikle kırsal veya şebekeden bağımsız bölgelerde enerji güvenliği ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından etkili bir çözüm olarak öne çıkmaktadır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji, insanlık tarihinin her döneminde yaşamın idamesi, ekonomik kalkınma ve teknolojik gelişmenin temel taşlarından biri olmuştur. Üretim süreçlerinin temel girdisi olan enerji, sürdürülebilir kalkınma politikalarının da merkezinde yer almaktadır. Enerji kaynakları, kullanım biçimlerine göre yenilenebilir ve yenilenemez kaynaklar olarak iki gruba ayrılmaktadır. Bu çalışma özelinde ele alınan yenilenebilir enerji kaynakları, sürdürülebilirlik parametresi çerçevesinde değerlendirilmektedir.

Enerji güvenliği kavramı, literatürde farklı şekillerde ele alınmakta olup, üzerinde fikir birliği sağlanamayan, ancak giderek önemi artan stratejik bir başlık olarak dikkat çekmektedir. O yüzde enerji güvenliğini, insanların yaşam kalitesini sürdürülebilmeleri, ekonomik faaliyetlerin sürdürülebilirliği ve savunma stratejilerinin yürütülebilmesi için gereken enerjinin uygun maliyetlerle ve güvenilir bir şekilde temin edilmesi olarak tanımlamaktayız. Asya Pasifik Enerji Araştırma Merkezi (APEREC), enerji güvenliği değerlendirmelerinde temel alınabilecek parametreleri dört başlık altında sınıflandırmaktadır: Kullanılabilirlik, Satın Alınabilirlik, Erişebilirlik ve Kabul Edilebilirlik. Bu parametreler kapsamında literatür çalışmasında $4A^+$, $4A^-$ ve $4A$ olarak çalışmalar gruplandırılarak ele alınmıştır. Bu çalışmanın dahil olduğu grup $4A^+$ grubudur. Bu çalışmada, enerji kaynaklarının sürdürülebilirlik ve güvenlik açısından değerlendirilmesinde Q-ROF yöntemi temel alınmıştır. Küresel-AHP TOPSIS ve Nötrosifik-AHP TOPSIS yöntemleri ile karşılaştırmalı analiz yapılmış ve Q-ROF metodunun bu yöntemlere kıyasla daha etkin, tutarlı ve güvenilir sonuçlar verdiği ortaya konmuştur. Çalışmada belirlenen beş ana parametre ve bunlara bağlı on dört alt parametre doğrultusunda, on farklı enerji kaynağı ve beş uzman görüşü ışığında kapsamlı bir değerlendirme yapılmıştır. Literatürde sık karşılaşılmayan on hibrit kaynak arasında Jeotermal+Güneş, Hidro+Güneş, Biyokütle+Güneş, Rüzgar+Güneş, Güneş+Hidrolik gibi kombinasyonlar yer almakta olup, bu çeşitlilik çalışmanın orijinalliğini artırmaktadır. Küresel-AHP TOPSIS ve Nötrosifik-AHP TOPSIS yöntemleri arasında

bazı küçük farklılıklar olmasına rağmen genel eğilim açısından benzerlik taşıdıklarını ortaya koymaktadır. Her iki yöntem de biyokütlenin, sürdürülebilir enerji politikaları kapsamında dikkate değer bir alternatif enerji kaynağı olduğunu göstermektedir.

Çalışmanın bulgularına göre, Q-ROF yöntemi, hem parametrelerin ağırlıklandırılmasında hem de alternatif kaynakların sıralanmasında en güvenilir sonuçları vermiştir. Enerji güvenliği endeksinde, özellikle arz güvenliğinin önem düzeyi yüksek bulunmuş ve sonuçlara anlamlı şekilde yansımıştır. Bu bağlamda, hibrit alternatif enerji kaynakları içerisinde Güneş+Hidrolik kombinasyonu hem sürdürülebilirlik hem de güvenlik açısından en uygun ve verimli seçenek olarak birinci sırada yer almıştır. Bu bulgu, hibrit modellerin gelecekteki enerji politikalarında daha fazla önem kazanacağını göstermektedir.

Sonuç olarak, enerji güvenliği, sadece arzın kesintisizliği ile sınırlı olmayan, çok boyutlu ve dinamik bir kavramdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilirlik çerçevesinde değerlendirilmesi, gelecek nesillere daha yaşanabilir bir çevre bırakmak adına kritik önem taşımaktadır.

Bu çalışmada önerilen analitik yaklaşım, politika yapıcılar, planlamacılar ve akademisyenler için karar alma süreçlerinde kullanılacak nitelikte kapsamlı ve geçerli bir model sunmaktadır. Q-ROF yöntemi ile elde edilen bulgular doğrultusunda, enerji güvenliğini artırmaya yönelik bazı öneriler sunulabilir. Öncelikle, karar vericilerin enerji kaynaklarının belirsizlik ve risk boyutlarını daha iyi analiz edebilmesi için Q-ROF tabanlı karar destek sistemlerinin yaygınlaştırılması gerekmektedir. Ayrıca, enerji yatırımlarında sadece teknik verimlilik değil, aynı zamanda çevresel, ekonomik ve sosyo-politik risklerin de bütüncül biçimde değerlendirilmesini sağlayacak çok kriterli analizlerin teşvik edilmesi önerilmektedir. Q-ROF yönteminin sağladığı esnek yapı, farklı senaryolara uyarlanabilirliği artırarak, özellikle enerji arz güvenliği açısından daha sağlam ve uygulanabilir stratejilerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Bu bağlamda, Q-ROF destekli analizlerin politika yapıcılar tarafından dikkate alınması, uzun vadeli enerji güvenliği stratejilerinin oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Abdullayev, C., (2021). Politik, ekonomik ve çevresel boyutlarıyla avrupa birliği enerji güvenliği politikalarının analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Kamu Yönetimi Anabilim Dalı Kamu Yönetimi Programı Yüksek Lisan Tezi*

Ang, B. W., Choong, W. L., & Ng, T. S. (2015). A framework for evaluating Singapore's energy security. *Applied Energy*, 148, 314–325. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.03.088>

Augutis, J., Krikštolaitis, R., Martišauskas, L., Urbonienė, S., Urbonas, R., & Ušpurienė, A. B. (2020). Analysis of energy security level in the Baltic States based on indicator approach. *Energy*, 199. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117427>

Banna, H., Alam, A., Chen, X. H., & Alam, A. W. (2023). Energy security and economic stability: The role of inflation and war. *Energy Economics*, 126. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106949>

Botelho, A., Pinto, L. M. C., Lourenço-Gomes, L., Valente, M., & Sousa, S. (2016). Social sustainability of renewable energy sources in electricity production: An application of the contingent valuation method. *Sustainable Cities and Society*, 26, 429–437. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.05.011>

Bulut, M., Uyar, M. E., & Özcan, E. (2024). An integrated model for evaluating the risk factors of crypto-currencies under fuzzy environment. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 134. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.108650>

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.2014.09.00>

Erahman, Q. F., Purwanto, W. W., Sudibandriyo, M., & Hidayatno, A. (2016). An assessment of Indonesia's energy security index and comparison with seventy countries. *Energy*, 111, 364–376. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.100>

Gökgöz, F., & Güvercin, M. T. (2018). Energy security and renewable energy efficiency in EU. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 96(July), 226–239. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.046>

Gulum, P., Ayyildiz, E., & Taskin Gumus, A. (2021). A two level interval valued neutrosophic AHP integrated TOPSIS methodology for post-earthquake fire risk assessment: An application for Istanbul. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 61. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102330>

- Gündoğdu, F. K., & Kahraman, C. (2019). Spherical fuzzy sets and spherical fuzzy TOPSIS method. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 36(1), 337–352. <https://doi.org/10.3233/JIFS-181401>
- Huang, B., Zhang, L., Ma, L., Bai, W., & Ren, J. (2021). Multi-criteria decision analysis of China's energy security from 2008 to 2017 based on Fuzzy BWM-DEA-AR model and Malmquist Productivity Index. *Energy*, 228, 120481. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120481>
- Hughes, L., & Sheth, N. (2009). Quantifying energy security: an analytic hierarchy process approach. *Fifth Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy, Water, and Environment Systems in Dubrovnik, Croatia*. <http://lh.ece.dal.ca/enen>
- Javed, A., Ashraf, J., & Yong, L. (2025). Political and financial risks in developing countries: Implications for energy security and the transition to renewable energy. *Journal of Environmental Management*, 387. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125961>
- 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>
- Kocakaya, K., Engin, T., Tektaş, M., & Aydın, U. (2021). Türkiye’de Bölgesel Havayolları için Uçak Tipi Seçimi: Küresel Bulanık AHP-TOPSIS Yöntemlerinin Entegrasyonu. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 4(1), 27–58. <https://doi.org/10.51513/jitsa.903996>
- 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>
- Labandeira, X., & Manzano, B. (n.d.). *Some Economic Aspects of Energy Security*.
- Lee, C. C., Xing, W., & Wang, C. S. (2023). Impacts of Energy Security on Economic Development: Evidence From China. In *Energy Research Letters* (Vol. 4, Issue 3). Asia-Pacific Applied Economics Association. <https://doi.org/10.46557/001c.33897>
- Li, J., Wang, L., Li, T., & Zhu, S. (2019). Energy security pattern spatiotemporal evolution and strategic analysis of G20 countries. *Sustainability (Switzerland)*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/su11061629>
- Löschel, A., Moslener, U., & Rübhelke, D. T. G. (2010). Indicators of energy security in industrialised countries. *Energy Policy*, 38(4), 1665–1671. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.03.061>
- Månsson, A., Johansson, B., & Nilsson, L. J. (2014). Assessing energy security: An overview of commonly used methodologies. *Energy*, 73, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.06.073>

Muhammad, S., Hoffmann, C., & Müsgens, F. (2025). Assessing energy security risks: Implications for household electricity prices in the EU. *Energy*, 327. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.136201>

Tishchenko, I., Egorova, Y., & Vakulenko, E. (2025). Energy security, environmental policies, and environmental Kuznets Curve for renewable energy development. *Renewable Energy*, 251. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.123336>

Pınar, A., Erdebilli, B. D. R. B., & Özdemir, Y. S. (2021). Q-rung orthopair fuzzy topsis method for green supplier selection problem. *Sustainability (Switzerland)*, 13(2), 1–14. <https://doi.org/10.3390/su13020985>

Pınar, A., (2020) .Q seviyeli bulanık küme temelli performans değerlendirilmesi. Doktora Tezi *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tedarik ve Lojistik Yönetimi Ana Bilim Dalı*

Radovanović, M., Filipović, S., & Pavlović, D. (2017). Energy security measurement – A sustainable approach. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 68, pp. 1020–1032). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.02.010>

Sencer PEKER, H. (2015). Türkiyenin Enerji Arz Güvenliği Ve Ölçülmesi: Türkiyenin Enerji Arz Güvenliği Endeksine Yönelik Bir Uygulama. *Cankiri Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(2015–2), 1–1. <https://doi.org/10.18074/cnuiibf.230>

Sovacool, B. K. (2013). An international assessment of energy security performance. *Ecological Economics*, 88, 148–158. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.01.019>

Streimikiene, D., Balezentis, T., Krisciukaitien, I., & Balezentis, A. (2012). Prioritizing sustainable electricity production technologies: MCDM approach. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 16, Issue 5, pp. 3302–3311). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.067>

Strojny, J., Krakowiak-Bal, A., Knaga, J., & Kacorzyk, P. (2023). Energy Security: A Conceptual Overview. In *Energies* (Vol. 16, Issue 13). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/en16135042>

Tongsopit, S., Kittner, N., Chang, Y., Aksornkij, A., & Wangjiraniran, W. (2016). Energy security in ASEAN: A quantitative approach for sustainable energy policy. *Energy Policy*, 90, 60–72. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.11.019>

Torul Yürek, Y., Bulut, M., Özyörük, B., & Özcan, E. (2021). Evaluation of the hybrid renewable energy sources using sustainability index under uncertainty. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 28. <https://doi.org/10.1016/j.segan.2021.100527>

Yergin, D. (2006). Ensuring energy security. *Foreign Affairs*, 85(2), 69–82.

Zeng, S., Streimikiene, D., & Baležentis, T. (2017). Review of and comparative assessment of energy security in Baltic States. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76(February 2016), 185–192. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.037>

Zhang, L., Bai, W., Xiao, H., & Ren, J. (2021). Measuring and improving regional energy security: A methodological framework based on both quantitative and qualitative analysis. *Energy*, 227, 120534. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120534>

Ziemia, 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>

Ziemia Paweł and Becker, A., Becker, J., Ziemia, P., Becker, A., & Becker, J. (2021). Forecasting and Assessment of the Energy Security Risk in Fuzzy Environment. *Energies*, 14(18), 5934. <https://doi.org/10.3390/en14185934>

World Energy Council, 2019 <https://www.worldenergy.org/>



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sümeyye Zühre ARGİN

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu :

Lisans : Kırıkkale Üniversitesi İİBF, Ekonometri Bölümü

Yüksek Lisans : Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Çalıştığı Kurum ve Yıllar :