



ELEKTRİKLİ KAMYON SEÇİMİNDE DAİRESEL SEZGİSEL BULANIK KÜMELERE DAYALI VIKOR YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

APPLICATION OF VIKOR METHOD BASED ON CIRCULAR INTUITIONISTIC
FUZZY SETS IN SELECTING AN ELECTRIFIED TRUCK

Elif ÇALOĞLU BÜYÜKSELÇUK¹

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbd.1487934>

Sorumlu Yazar
(Corresponding Author)
elif.buyukselcuk@fbu.edu.tr

Geliş Tarihi
(Received)
21.05.2024

Revizyon Tarihi
(Revised)
13.09.2024

Kabul Tarihi
(Accepted)
17.09.2024

Öz

Artan nüfus ve gelişen küresel tüketici davranışları, dünya çapında kapsamlı ticari etkileşimleri teşvik etti. Ancak bu genişleme çevre kirliliğinin artmasına neden oldu. Sonuç olarak tükeler, özellikle ulaşım ve nakliye faaliyetlerinden kaynaklanan hava kirliliğini azaltmak için önlemler almaya başladı. Bu çabanın bir parçası olarak, fosil yakıt tüketen araçların yerini alan ve hızla yaygınlaşan elektrikli araçlar, uygulanabilir bir çözüm olarak ortaya çıktı. Bu çalışma, ulaşım amacıyla kullanılan elektrikli kamyonların seçim konusundaki ikilemlerini incelemektedir. Karar vericilerin seçim sürecinde dikkate alması gereken kriterleri tanımlar ve piyasada mevcut alternatifleri bu kriterlere göre değerlendirir. Karar verme sürecinin doğasında olan belirsizlik ve özellikle mücadele etmek için dairesel sezgisel bulanık sayılar kullanıldı. Alternatiflerin değerlendirilmesinde bu sayılara dayalı VIKOR yöntemi tercih edilen yaklaşım olmuştur. Bu araştırma, sürdürülebilir ulaşım alanındaki kritik bir ihtiyacı ele alıyor ve karar vericilere elektrikli kamyonların önceden tanımlanmış kriterlere göre değerlendirilmesi için sistematik bir çerçeve sağlıyor. Dairesel sezgisel bulanık sayılardan ve VIKOR yönteminden yararlanan bu çalışma, elektrikli kamyon seçiminin doğasında bulunan karmaşıklıkların üstesinden gelmek için sağlam bir metodoloji sunuyor ve böylece hava kirliliğini azaltma ve çevresel açıdan sürdürülebilir ulaşım uygulamalarını teşvik etme çabalarını iletliyor.

Anahtar Kelimeler: VIKOR, dairesel sezgisel bulanık küme, karar verme, elektrikli kamyon, çevre kirliliği.

Abstract

The increasing population and evolving global consumer behaviors have fostered extensive commercial interactions worldwide. However, this expansion has resulted in heightened environmental pollution. Consequently, nations have initiated measures to mitigate air pollution, particularly stemming from transportation and shipping activities. As part of this endeavor, electric vehicles have emerged as a viable solution, steadily replacing fossil fuel-consuming vehicles and experiencing rapid proliferation. This study delves into the selection quandary surrounding electric trucks employed for transportation purposes. It delineates the criteria that decision-makers ought to consider during the selection process and evaluates market-available alternatives against these criteria. To contend with uncertainty and subjectivity inherent in the decision-making process, circular intuitive fuzzy numbers were employed. The VIKOR method, predicated on these numbers, was the preferred approach for assessing the alternatives. This research addresses a critical need in the realm of sustainable transportation, providing decision-makers with a systematic framework for evaluating electric trucks based on predefined criteria. By leveraging circular intuitive fuzzy numbers and the VIKOR method, the study offers a robust methodology for navigating the complexities inherent in selecting electric trucks, thereby advancing efforts to curtail air pollution and promote environmentally sustainable transportation practices.

Keywords: VIKOR, circular intuitionistic fuzzy set, decision making, electric truck, environmental pollution.

¹ Fenerbahçe Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.
elif.buyukselcuk@fbu.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-5976-6727.

1. GİRİŞ

Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri arasında yer alan on üçüncü hedef iklim değişikliği ve etkileri ile mücadele etmek üzere yayınlanmıştır (Waseem ve ark., 2023; United Nations, 2024). Bu hedef ile tüm ülkelerde iklim değişikliği ile ilgili olarak acil eylem planlarının oluşturulması ve iklim değişikliğine neden olan etmenlerin minimize edilmesi veya yok edilmesi gerekmektedir. 29 Mart 2023 yılında Türkiye İstatistik Kurumu tarafından hazırlanan rapora göre toplam sera gazı emisyonu 2021 yılında 564,4 milyon ton karbondioksit (CO₂) eşdeğeridir. Bir önceki yıl ile kıyaslandığında %7,7 oranında artış olmuştur. 1990 yılında kişi başı 4 ton CO₂ eşdeğeri olan değer 2021 yılında 6,7 ton CO₂ eşdeğerine yükselmiştir (TÜİK, 2023). Küresel ısınmaya dolayısıyla iklim değişikliğine neden olan sera gazları miktarının sektörlere göre dağılımı ve hangi gazların hangi oranlarda bulunduğu Şekil 1’de verildiği gibidir.



Şekil 1. Sektörlere ve Gazlara Göre Sera Gazı Emisyon Oranları (TÜİK, 2023)

Şekil 1’den de görüleceği üzere sera gazları özellikle enerji sektöründen (%71,3) kaynaklanmaktadır. Sera gazlarının küçük bir oranı doğal yollarla ortaya çıkarken %90’lık gibi büyük kısmı insanların faaliyetleri sonucunda ortaya çıkmaktadır (Erdoğan, 2020). Bu gazların içerisinde de en fazla olanı karbondioksit gazıdır (CO₂). Enerji sektöründe ise en önemli sera gazının sebebi ise ulaşım amacıyla kullanılan otomobil, midibüs, minibüs, otobüs, kamyonet, kamyon tır, tren ve uçaklardır (Çaloğlu Büyükselçuk & Tozan, 2022; Valavanidis, 2012). 2021 yılında Amerika Birleşik Devletleri’nde, atmosfere salınan sera gazlarının %28’i ulaşım sektöründen kaynaklanmaktadır (Pennington ve ark., 2024). Artan nüfus yoğunluğu, değişen tüketici davranışları, teknoloji ve internetin gelişimi ile küresel ölçekte ticari faaliyetlerin yoğunluğu da artmıştır. Bu faaliyetler sonucunda, 1960 yılında havada birim hacimdeki karbondioksit miktarı 300 ppm iken, bu miktar 2010 yılında 390 ppm’e, 2018 yılında ise 410 ppm’e yükselmiştir. Atmosferde güvenilir karbondioksit yoğunluğu ise 350 ppm olmalıdır. Bu artışta Hindistan, Çin, Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerin katkısı büyüktür (Erdoğan, 2020).

Sera gazlarının artması ile küresel ısınma ve dolayısıyla iklim değişikliğine neden olmakta, bunun sonucunda da insan yaşamı olumsuz yönde etkilenmektedir.

Sürdürülebilir bir dünya için ülkeler sera gazlarının azaltılması amacıyla birtakım önlemler almaya başlamışlardır. Sera gazının artışında önemli bir yeri olan ulaşım araçlarından kaynaklı fosil yakıtların kullanımını ortadan kaldırmak için elektrikli araç kullanım zorunluluğu getirmişlerdir. 2025 yılından itibaren Norveç’te, 2030 yılında

Almanya’da ve bu ülkeleri takiben diğer Avrupa ülkelerinde benzinli ve dizel araçların satışının yasaklanacağı ilan edilmiştir (Shammut ve ark., 2019; Wappelhorst, 2020). Böylece elektrikli araçların kullanımının gerekliliği kaçınılmaz olmuştur. Elektrikli araçların yaygınlaşması ile hedeflenen sıfır CO₂ seviyelerine ulaşılabilecektir (Efendi & Fahmi, 2021).

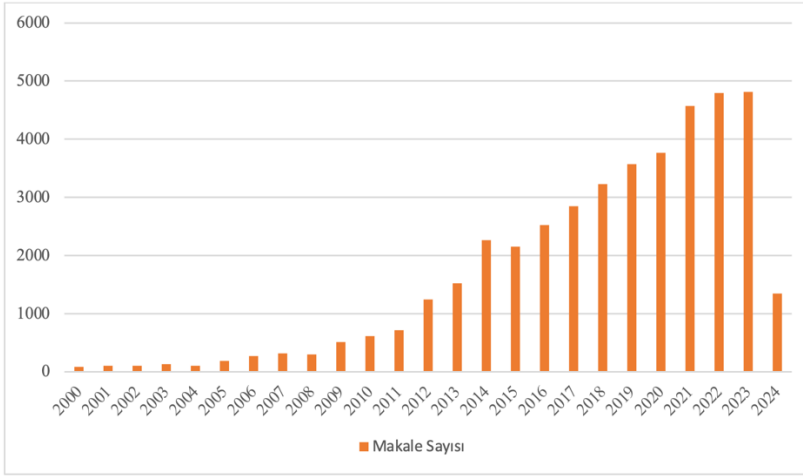
Dünya Sağlık Örgütü tarafından yapılan açıklamaya göre hava kirliliği her yıl 6,7 milyon erken ölüme neden olmaktadır. Ayrıca dünya nüfusunun %99’undan fazlası hava kirliliğinin Dünya Sağlık Örgütü hava kalitesi yönergelerinin üzerinde olduğu bölgelerde yaşamaktadır. Hava kirliliğinin en temel kaynakları arasında ise ulaşım, sanayi, enerji vb. amaçlarla fosil yakıtların kullanımı sonucu açığa çıkan CO₂ gazı gelmektedir (World Health Organization, 2024). Gelişen ve artan ticari faaliyetler ile birlikte ülkelerin koydukları yaptırımlar göz önüne alındığında hava kirliliğinin azaltılması için benzinli veya dizel araçlar yerine elektrikli araçların kullanımı şart olmuştur. Bunun sonucunda tüm dünyada elektrikli araçların satışında artışlar olmuştur.

Elektrikli araçların kullanımıyla atmosfere salınan sera gazlarının miktarı ile orantılı olarak kirletici yükü ve karbon ayak izi de azalacaktır. Küresel ölçekte önemli bir yere sahip olan elektrikli araçların seçimi tüketiciler için ise zorlu bir karar verme sürecidir. Bu çalışmada da, yeşil lojistik faaliyetleri kapsamında elektrikli kamyon seçiminde dikkat edilecek kriterlerin belirlenmesi ve piyasada mevcut olan alternatiflerin bu kriterlere göre değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Belirsizlik ve subjektifliği en aza indirgeyebilmek amacıyla dairesel sezgisel bulanık setlerden yararlanılacaktır.

Çalışmanın ikinci bölümünde konu hakkında literatür taraması yapılacak, üçüncü bölümde ise dairesel sezgisel bulanık setlere dayanan VIKOR yöntemi tanıtılacaktır. Dördüncü bölümde elektrikli kamyon seçimi uygulaması yapılacaktır. Beşinci bölümde elde edilen bulgular ile birlikte duyarlılık analizi yapılacaktır. Son bölümde ise çalışmada elde edilen sonuçlar verilecektir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

1 Mayıs 2024 tarihinde Web of Science veri tabanında konu aramasında “electric vehicle” anahtar kelimesi kullanılarak yapılan arama sonucunda 42.755 adet sonuç bulunmuştur. Bu sonuçlardan 24.355 tanesi makale, 17.585 tanesi bildiri, 1.396 tanesi derleme makale ve 138 tanesi kitap bölümü gibi farklı türlerde yayınlanmıştır. 2000-2024 yılları arasında elektrikli araçlar hakkında yapılan araştırmaların yıllara göre sayıları Şekil 2’de verilmiştir.



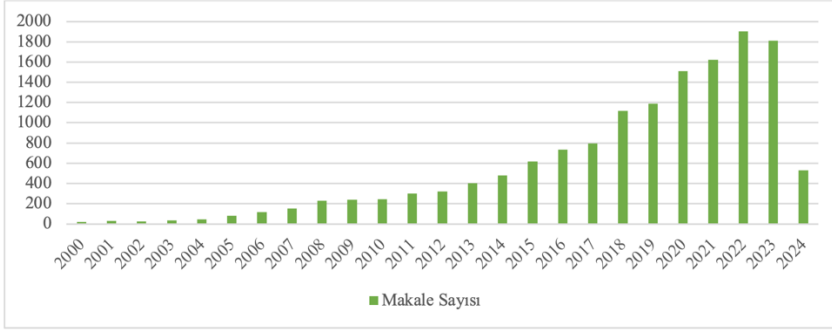
Şekil 2. Elektrikli Araç için Yıllara Göre Makale Sayısı (Web of Science, 2024a)

Şekil 2’den de görüleceği üzere elektrikli araçlar üzerine yapılan çalışmaların sayısı yıllar geçtikçe artmaktadır. Pasha ve arkadaşları 2024 yılında yaptıkları çalışmada, sınırlı sürüş menzili, yakıt ve taşıma kapasite kısıtları altında en iyi elektrikli araç dağıtım planlamasının yapıldığı çalışmaları incelemişlerdir. Toplanan çalışmalar ayrıntılı bir inceleme için üç kategoride gruplandırılmıştır: genel elektrikli araç planlama, elektrik şebekesi dikkate alınarak elektrikli araç planlama ve çevresel hususlar dikkate alınarak elektrikli araç planlama. Her çalışma grubu için detaylı raporlar sunulmuştur (Pasha ve ark., 2024). Farinloye ve arkadaşları ise yaptıkları çalışmada Nijerya’da Elektrikli araçların benimsenmesine ilişkin önemli araştırma boşluklarını ele almışlardır. Çalışma kapsamında, sürdürülebilir ulaşım çözümleri için teorik ve pratik çıkarımlar sunulmakta, gelişmekte olan ülkelerde elektrikli araçların benimsenmesine değerli bilgiler sağlanmaktadır (Farinloye ve ark., 2024). Bhavsar ve çalışma arkadaşları iki tekerlekli elektrikli araçların gerçek çalışma koşulları altındaki performanslarını ölçmüşlerdir. İntertörden gelen ve çıkan gerçek zamanlı akım ve gerilim, motorun çalışma frekansı, güç faktörü, katedilen mesafe ve hız gibi parametrelere ait verileri toplamışlardır. Toplam sürüş süresinin %80’inin üzerinde invertörün verimliliğinin %95’in üzerinde olduğu, toplam sürüş süresinin %50’sinde ise motorun güç faktörünün 0,8’in üzerinde olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Bhavsar ve ark., 2024). Deng ve arkadaşları geliştirdikleri ve adına IDE (Improved Differential Evolution) dedikleri algoritmaları ile elektrikli araç rotalama problemini ele alarak gerçek hayat problemlerinde kirlilik yükünü azaltıcı yeşil lojistik faaliyetleri destelemeyi amaçlamışlardır (Deng ve ark., 2024). Benzer şekilde literatürde kirlenici yükünü azaltarak taşıma maliyetleri ve teslimat sürelerini en aza indirmek üzere geliştirilmiş sezgisel algoritmalar bulunmaktadır (Wang ve ark., 2024; Kim, 2024).

Özellikle son 20 yıldır hayatımızda yer alan sürdürülebilir ve yeşil lojistik kavramları pek çok araştırmacının odak noktası haline gelmiştir. Bu noktada elektrikli araçlar için de çok farklı bakış açıları ile farklı problemler ele alınarak çözümler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bu problemlerden bir tanesi de karar vermedir. En uygun alternatifin belirlenmesi ya da seçilmesi gibi problemler tipik çok kriterli karar verme (ÇKKV)

problemleri grubuna girmektedir. Mevcut alternatifler belirlenen kriterler ışığı altında önerilen uygun ÇKKV yöntemleri kullanılarak değerlendirilirler.

2 Mayıs 2024 tarihinde Web of Science veri tabanında konu aramasında “multi-criteria decision making” anahtar kelimesi kullanılarak yapılan arama sonucunda 14634 adet sonuç bulunmuştur. Bu sonuçlardan 11.798 tanesi makale, 2.616 tanesi bildiri, 354 tanesi derleme makale ve 124 tanesi kitap bölümü gibi farklı türlerde yayınlanmıştır. 2000-2024 yılları arasında ÇKKV hakkında yapılan araştırmaların yıllara göre sayıları Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Çok Kriterli Karar Verme için Yıllara Göre Makale Sayısı (Web of Science, 2024b)

ÇKKV problemleri çok farklı araştırmacılar tarafından çok farklı sektörler için çalışılmış ve bu problemlere ait çalışmalar Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Çok Kriterli Karar Verme Araştırmalarının Özeti

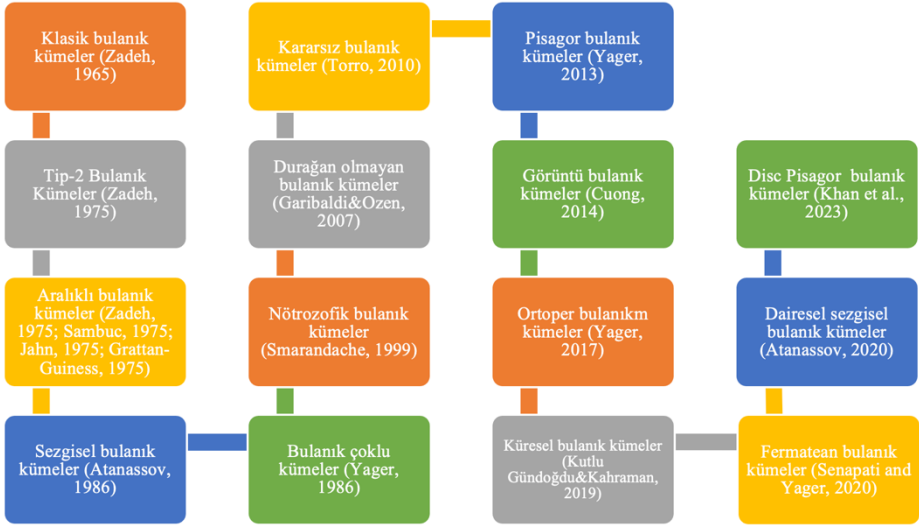
Yazar(lar)	Araştırmanın Amacı	Kullanılan Yöntem
Pouresmaeil ve ark., 2022	ÇKKV problemlerini çözmek üzere yeni bir algoritma önerilmesi	Aralık nörtrozofik tabanlı TOPSIS
Al Hazza ve ark., 2023	Tedarikçi seçimi ve değerlendirilmesi	SOCCER ve AHP
Manik, 2023	Tedarikçi seçim problemi	AHP
Albayrak & Turanlı, 2022	Hidroelektrik santral seçimi	TOPSIS
Güleç ve Ayvaz, 2021	İtfaiye istasyonlarındaki tehlikelerin değerlendirilmesi	AHP-TOPSIS
Opricovic, 2011	Su kaynaklarının planlaması	Bulanık VIKOR
Meniz & Özkan, 2023	COVID-19 pandemi döneminde ideal aşının değerlendirilmesi	VIKOR
Hassan ve ark., 2023	İnşaat sektöründe döngüsel ekonomik faaliyetlerin değerlendirilmesi	Bulanık SWARA ve VIKOR
Ada ve ark., 2023	Elektronik atıklar için akıllı teknolojilerin değerlendirilmesi	Bulanık ANP ve VIKOR

Ourya & Abderafi, 2023	Temiz ve yenilenebilir hidrojen üretim süreci değerlendirmesi	Bulanık AHP ve VIKOR
Singh ve ark., 2023	Yazılım süreçlerinin değerlendirilmesi	Bulanık AHP ve TOPSIS
Huang ve ark., 2023	Alüminyum endüstrisinde çalışma koşullarının değerlendirilmesi	CRITIC ve TOPSIS
Kaur ve ark., 2023	Güneş enerjisi panel seçimi	Entropy-TOPSIS
Rani ve ark., 2020	Güneş paneli seçimi	Pisagor bulanık sayılara dayalı SWARA ve VIKOR
Arslan, 2018	Araç seçimi problemi	AHP-VIKOR

Yük taşımacılığında elektrikli araçların değerlendirilmesinde ÇKKV yöntemlerinin kullanılmasına ilişkin araştırmalara rastlanmaktadır. Jaller ve Otay (2020) yük taşımacılığında kullanılabilecek sürdürülebilir araçların küresel bulanık setlere dayanan AHP-TOPSIS yöntemi ile değerlendirilmesine yönelik alternatifleri finans, iş ve pazar, çevresel ve yasal, bakım ve onarım, güvenlik ve araç performansları gibi farklı kriterler açısından değerlendirmişlerdir. Wałtróbski ve arkadaşları da PROMETHEE II ve bulanık TOPSIS yöntemlerini kullanarak elektrikli yük taşıtlarının değerlendirilmesi için bir çalışma yapmışlardır (Wałtróbski ve ark., 2017). Artan küresel çevre bilinci ve hava kirliliğinin önlenmesi adına ulaşım ve nakliye için geleneksel araçların yerine sürdürülebilir ve çevre dostu araçların kullanılması ve değerlendirilmesi için araştırmalar yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir (Kijewska ve ark., 2019; Das ve ark., 2019; Kijewska ve ark., 2019; Wang ve ark., 2023; Aiello ve ark., 2024; Bošković ve ark., 2023; Tian ve ark., 2023; Pathak ve ark., 2021).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çok kriterli karar verme problemleriyle günlük hayatın her alanında karşılaşmaktadır. Bu sorunları çözmek için Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), VišeKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR), İdeal Çözümlere Benzerliğe Göre Sıralama Tercihi Tekniği (TOPSIS), Analitik Ağ Süreci (ANP) ve Karmaşık Orantılı Değerlendirme (COPRAS) gibi birçok yöntem kullanılmaktadır. Probleme ait çevre koşulları ve elde edilen bilgiler hakkında belirsizlik olması durumunda sezgisel bulanık kümeler kullanılır. Klasik küme veya mantık teorisinde bir elemanın bir kümeye ait olması 0 ve 1 sayıları kullanılarak keskin bir şekilde derecelendirilir. Yani eleman ya o kümeye dahildir (durum 1) ya da dahil değildir (durum 0) (Zimmermann, 2001). Bulanık mantık, zor ve karmaşık problemlerin çözümünde kolay ve kullanışlı çözümler bulma yaklaşımı sayesinde geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Genel olarak tıp, sosyoloji, mühendislik, psikoloji, yapay zekâ, akıllı sistemler, robotik, sinyal işleme, kavşak, ulaşım problemleri gibi birçok alanın konusu olmuştur. Bulanık kümeler Zadeh (1965) tarafından geliştirilmiş ve daha sonra birçok araştırmacı bulanık kümeler üzerinde araştırmalar yapmış ve literatürde sıradan bulanık kümelerin uzantıları tanımlanmıştır. Bulanık kümelerin ortaya çıkışının kronolojik sırası Şekil 4'te verilmiştir.

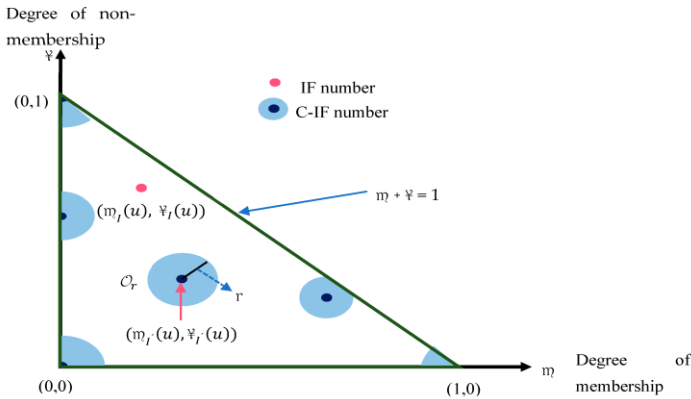


Şekil 4. Bulanık Kümelerin Tarihsel Gelişimi

Dairesel sezgisel bulanık kümeler, sezgisel bulanık kümelerin uzantılarıdır. Atanassov tarafından 2020 yılında geliştirilen, üyelik fonksiyonunun üçüncü boyutlu belirsizliğinin bir daire ile temsil edildiği bu bulanık kümelerde, karar vericiler bu belirsizliği içeren yargıları da dikkate almaktadır (Atanassov, 2020; Khan ve ark., 2022; Chen, 2023; Kahraman & Alkan, 2021).

3.1. Dairesel Sezgisel Bulanık Kümelere Dayanan VIKOR Yöntemi

Bu bölümde çalışmada kullanılacak olan ÇKKV yönteminin işlem adımları verilecektir. Sezgisel bulanık (IF) ve dairesel sezgisel (C-IF) bulanık bir sayının geometrik gösterimi Şekil 5'te verildiği gibidir.



Şekil 5. Sezgisel Bulanık ve Dairesel Sezgisel Bulanık Sayıların Geometrik Gösterimi

Dairesel sezgisel bulanık kümelere dayanan VIKOR yönteminin işlem adımları aşağıdaki gibidir (Chen, 2023):

Adım 1. Alternatiflere ait başlangıç karar matrisi, Tablo 2’de verilen dilsel değişkenlere karşılık gelen sezgisel bulanık sayılar kullanılarak oluşturulur.

Tablo 2. Alternatiflerin Kriterlere Göre Değerlendirme Ölçeği

Dilsel İfadeler	Sezgisel Bulanık Sayılar	
	\leq	\nless
Çok çok yüksek değerli (EHV)	0,90	0,10
Çok yüksek değerli (VHV)	0,80	0,15
Yüksek değerli (HV)	0,70	0,25
Ortalama üstü değerli (AAV)	0,60	0,35
Ortalama değerli (AV)	0,50	0,45
Ortalama altı değerli (BAV)	0,40	0,55
Düşük değerli (LV)	030	0,65
Çok düşük değerli (VLV)	0,20	0,75
Çok çok düşük değerli (ELV)	0,10	0,90

Adım 2. Değerlendirme birden fazla kişi tarafından yapıldıysa her bir karar verici tarafından yapılan değerlendirme sonuçları aşağıdaki denklem kullanılarak tek bir değere dönüştürülür.

$$\langle m_{ij}, \nless_{ij} \rangle = \left\langle \frac{\sum_{k=1}^l w_k * m_{ij}^k}{l}, \frac{\sum_{k=1}^l w_k * \nless_{ij}^k}{l} \right\rangle \quad (1)$$

Burada m_{ij} üyelik derecesini, \nless_{ij} üyelik olmama derecesini, w_k değerlendirmeyi yapan karar verici bireylerin tecrübe, deneyim ve bilgi birikimlerine göre aldıkları ağırlık değerini ve l ise karar verici birey sayısını ifade etmektedir.

Adım 3. Her bir sezgisel bulanık sayıya ait yarıçap değerleri aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır.

$$r_{ij} = \max_{k=1,2,\dots,l} \sqrt{\left(m_{ij} - m_{ij}^k \right)^2 + \left(\nless_{ij} - \nless_{ij}^k \right)^2} \quad (2)$$

Burada r_{ij} sezgisel bulanık sayıya ait yarıçap değerini ifade etmektedir.

Adım 4. Yarıçap değerleri hesaplandıktan sonra aşağıdaki gibi dairesel sezgisel bulanık küme matrisi oluşturulur.

$$M = \langle X_{ij} \rangle = \langle (m_{ij}, \forall_{ij}; r_{ij}) \rangle \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

Burada m alternatif sayısını ifade ederken, n kriter sayısını göstermektedir.

Adım 5. ÇKKV problemlerinin çözümünde kriter ağırlıklarının belirlenmesi önemli adımlardan biridir. Gerçek hayat problemlerinde kriter ağırlıklarının her birinin birbirine eşit olması durumu gerçeği çok yansıtmamakla birlikte bazı durumlarda kullanılabilir. Aksi durumda Tablo 3'te verilen dilsel ölçek kullanılarak kriterler değerlendirilir. Ağırlık vektörü, Denklem 4'te verildiği gibi Ki-Kare mesafeye dayalı sapma ölçüsü kullanılarak hesaplanır.

Tablo 3. Kriterlere Ait Değerlendirme Ölçeği

Dilsel İfadeler	Sezgisel Bulanık Sayılar	
	\leq	\forall
Çok çok yüksek önemli (EHI)	0,90	0,10
Çok yüksek önemli (VHI)	0,80	0,15
Yüksek önemli (HI)	0,70	0,25
Orta üstü önemli (AAI)	0,60	0,35
Orta önemli (AI)	0,50	0,45
Orta altı önemli (BAI)	0,40	0,55
Düşük önemli (LI)	0,30	0,65
Çok düşük önemli (VLI)	0,20	0,75
Çok çok düşük önemli (ELI)	0,10	0,90

$$P_1 = \left\{ \left(u_i, \leq_{P_1}(u_i), \forall_{P_1}(u_i); r_{P_1}(u_i) \right) \mid i = 1, 2, \dots, n \right\}$$

ve

$$00P_2 = \left\{ \left(u_i, \leq_{P_2}(u_i), \forall_{P_2}(u_i); r_{P_2}(u_i) \right) \mid i = 1, 2, \dots, n \right\}$$

gibi iki farklı dairesel sezgisel bulanık sayı tanımlansın. Bu iki sayı arasındaki mesafe Ki-Kare mesafeye dayalı sapma ölçüsüne göre Denklem 4 kullanılarak hesaplanır.

$$\bar{D}(P_1, P_2) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{(\leq_{P_1}(u_i) - \leq_{P_2}(u_i))^2}{1 + \leq_{P_1}(u_i) + \leq_{P_2}(u_i)} + \frac{(\forall_{P_1}(u_i) - \forall_{P_2}(u_i))^2}{1 + \forall_{P_1}(u_i) + \forall_{P_2}(u_i)} + \frac{(r_{P_1}(u_i) - r_{P_2}(u_i))^2}{1 + r_{P_1}(u_i) + r_{P_2}(u_i)} \right] \quad (4)$$

Mesafe ölçüleri belirlendikten sonra Denklem 5 kullanılarak kriterlere ait ağırlıklar hesaplanır.

$$w_j = \frac{\frac{1}{m-1} \left(\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \bar{D}_k(X_{ij}, X_{kj}) \right)}{\sum_{j=1}^n \left[\frac{1}{m-1} \left(\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \bar{D}_k(X_{ij}, X_{kj}) \right) \right]} \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (5)$$

Adım 6. Her kriter için pozitif ideal (PI) ve negatif ideal (NI) dairesel sezgisel bulanık değerler (C-IFV) vardır. Bu değerler en iyi alternatife ulaşmaya ve en kötü alternatiften uzaklaşmaya yardımcı olur. Bu değerler aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanır:

$$PI_j = \left\{ \left(\max_{i=1, \dots, m} (\leq_{ij}), \min_{i=1, \dots, m} (\forall_{ij}); \max_{i=1, \dots, m} (r_{ij}) \right) \right\} \quad (6)$$

$$NI_j = \left\{ \left(\min_{i=1, \dots, m} (\leq_{ij}), \max_{i=1, \dots, m} (\forall_{ij}); \min_{i=1, \dots, m} (r_{ij}) \right) \right\} \quad (7)$$

Adım 7. Yukarıda verilen sapma ölçüsü, her bir C-IFV'ler, PI-C-IFV'ler ve PI-NI C-IFV'ler arasındaki sapmayı hesaplamak için kullanılır.

Adım 8. Her alternatif için grup fayda endeksi (\bar{S}), bireysel pişmanlık endeksi (\bar{R}) ve uzlaşma endeksi (\bar{Q}) aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanır.

$$\bar{S}(u_i) = \sum_{j=1}^n w_j * \frac{\bar{D}_k(PI_j, X_{ij})}{\bar{D}_k(PI_j, NI_j)} \quad (8)$$

$$\bar{R}(u_i) = \max_{j=1, \dots, n} w_j * \frac{\bar{D}_k(PI_j, X_{ij})}{\bar{D}_k(PI_j, NI_j)} \quad (9)$$

$$\bar{Q}(u_i) = \frac{v * \bar{S}(u_i) - \min_{i=1, \dots, m} \bar{S}(u_i)}{\max_{i=1, \dots, m} \bar{S}(u_i) - \min_{i=1, \dots, m} \bar{S}(u_i)} + \frac{(1-v) * \bar{R}(u_i) - \min_{i=1, \dots, m} \bar{R}(u_i)}{\max_{i=1, \dots, m} \bar{R}(u_i) - \min_{i=1, \dots, m} \bar{R}(u_i)} \quad (10)$$

burada X_{ij} , i . alternatifin j . kritere göre dairesel sezgisel bulanık sayısıdır ve v maksimum grup faydasını ifade etmektedir. v 0 ile 1 arasında değişiklik gösterirken genellikle 0,5 olarak Kabul edilmektedir.

Adım 9. \bar{S} , \bar{R} , and \bar{Q} değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanır. Aşağıda verilen iki koşulun sağlanması durumunda; alternatifler \bar{Q} değerlerine göre küçükten büyüğe doğru sıralandığında ilk sırada yer alan alternatif uzlaşık çözüm olarak kabul edilir.

Koşul I. Kabul edilebilir avantaj koşulu: Aşağıdaki koşul sağlanmalıdır. Burada X'' ikinci sırada yer alan alternatif, X' ise ilk sırada yer alan alternatiftir. m ise alternatif sayısıdır.

$$X'' - X' \geq \frac{1}{m-1} \quad (11)$$

Koşul II. Karar alma sürecinde kabul edilebilir istikrar koşulu: Alternatif X' , \bar{S} veya/ve \bar{R} ile yapılan sıralamada en az birinden en iyi skoru elde etmiş olmalıdır. Bu uzlaşık çözüm bir karar verme süreci içinde istikrarlıdır.

Yukarıda tanımlanan koşullardan birinin sağlanamaması durumunda uzlaşık çözüm setleri aşağıdaki gibi önerilir:

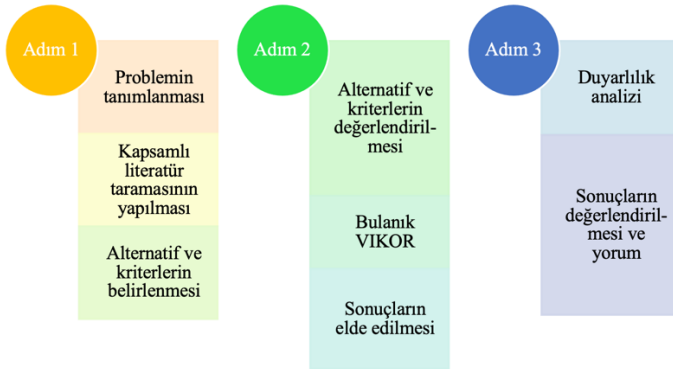
- Yalnızca ikinci koşul sağlanamıyorsa alternatifler X' ve X'' birlikte uzlaşık çözüm olarak kabul edilir.
- Eğer birinci koşul sağlanamıyorsa alternatifler X' , X'' , ..., X_m olmak üzere ve X_m , maksimum m için aşağıdaki bağıntıdan tanımlanır.

$$X^m - X' < \frac{1}{m-1} \quad (12)$$

Bu koşul sağlanıyorsa \bar{Q} değerine göre sıralama yapılır ve en düşük \bar{Q} değerine sahip olan alternatif en iyi olan seçenektir.

4. ELEKTRİKLİ KAMYON SEÇİM PROBLEMİ

Bu bölümde yeşil lojistik faaliyetleri kapsamında piyasada satışı olan kamyonların belirlenen seçim kriterlerine göre değerlendirmesi ele alınacaktır. Değerlendirme için dairesel sezgisel bulanık sayılara dayanan VIKOR yöntemi kullanılacaktır. VIKOR özellikle dikkate alınması gereken birden fazla kriterin olduğu ve bu kriterlerin birbirleriyle çatışabileceği durumlarda faydalıdır. Karar vericilerin çeşitli hedefleri dengeleyen uzlaşmacı bir çözüm bulmasına yardımcı olan karar verme sürecine sistematik bir yaklaşım sağlar. Ayrıca mevcut problemdeki belirsizlik ve subjektifliği de en aza indirgeyebilmek için VIKOR yönteminin temeli dairesel sezgisel bulanık sayılara dayandırılmıştır. VIKOR yöntemi hem basit işlem adımları hem de literatürde sıklıkla kullanılması sebebiyle tercih edilmiştir. VIKOR, karar vericilere farklı alternatifler arasında bir denge sağlayarak en iyi karma çözümü veren bir yöntemdir. Çok sayıda kritere göre alternatiflerin değerlendirilerek uzlaşık bir çözüm elde edilir. Ayrıca VIKOR yönteminde en kötü durum dikkate alınarak her bir alternatifin en kötü performans gösterdiği kriterler üzerinden değerlendirme yapılır. Bu da kritik kriterler de performansın iyileştirilmesine olanak sağlar. Kriterlerin önem dereceleri göz önünde bulundurularak alternatifler değerlendirilir. Bu yöntemin uygulanmasında daha az sayıda bilgiye ihtiyaç duyulduğundan sıklıkla kullanılır. Çeşitli ağırlıklandırma ve performans ölçütleri ile kolaylıkla uyum sağlayabilen bir yöntemdir. Çalışmanın akış şeması Şekil 6'da verildiği gibidir.



Şekil 6. Akış Şeması

4.1. Kriterlerin ve Alternatiflerin Belirlenmesi

Literatürde yapılan incelemeler sonucunda elektrikli araçlar için önemli olan kriterlerin Tablo 4'te verildiği gibi olduğu belirlenmiştir. Tüm kamyonlara ait ortalama fiyatlar benzerlik gösterdiğinden değerlendirme kriteri olarak dikkate alınmamıştır.

Tablo 4. Kriterler, Kodları ve Tanımları

Kriter Adı	Kriter Kodu	Tanım
Batarya kapasitesi (Rong & Pedram, 2003; Voelekar, 2021)	C ₁	Kullanılan bataryanın büyüklüğü aracın menzilini etkileyeceğinden önemli bir kriterdir.
Şarj süresi (Kerem, 2014; Cogen, 2010)	C ₂	Zaman açısından bataryanın en kısa sürede dolması beklenmektedir.
Motor gücü (Sejwal ve ark., 2022)	C ₃	Bir elektrik motorunun gücü, onun iş yapma kabiliyetini gösteren çok önemli bir özelliktir. Elektrikli araçlar, endüstriyel makineler veya ev aletleri gibi çeşitli uygulamalarda motorun güç değeri, hız, tork ve verimlilik gibi performans özelliklerini belirler.
Tork (Sonar & Kulkarni, 2021)	C ₄	Tork, dönme hareketi oluşturmak için gereklidir. Daha yüksek tork değerleri, daha yüksek dönme kuvvetine işaret eder.
Toplam katar ağırlığı	C ₅	Nakliye ve lojistikte, özellikle de çekme veya taşıma görevlerinde yer alan araçlar için önemli bir ölçümdür. Araçların güvenli ağırlık sınırları dahilinde çalışmasının ve yol güvenliği ve araç yük kapasitelerine ilişkin düzenlemelere uymasının sağlanmasına yardımcı olur.
Ortalama hız (Çaloğlu Büyükselçuk & Tozan, 2022)	C ₆	Aracın ortalama hızını ifade eder.
Menzil (Sanguesa ve ark., 2021)	C ₇	Aracın dolu batarya ile normal koşullar altında katedeceği mesafeyi ifade eder.
Enerji Tüketimi (Sonar & Kulkarni, 2021)	C ₈	100 km mesafe için aracın ne kadar enerji tükettiğinin göstergesidir.

Tablo 5. Alternatiflere Ait Bilgiler

Alternatif Kodu	Açıklama
A ₁	A ₁ alternatifi, 1927 yılından beri otomotiv sektörü başta olmak üzere çeşitli alanlarda hizmet veren şirket İsviçre menşeli şirketin elektrikli kamyonudur.
A ₂	A ₂ alternatifi, 1900'lü yıllardan beri tüm dünyada otomotiv sektöründe önemli bir yere sahip olan Alman menşeli firmanın elektrikli kamyonudur.
A ₃	A ₃ alternatifi, 2003 yılında enerji ve otomotiv sektöründe faaliyet gösteren Amerika Birleşik Devletleri menşeli firmanın elektrikli kamyonudur.
A ₄	A ₄ alternatifi, 1758 yılında Almanya'da kurulan firmanın elektrikli kamyonudur.

Çalışmada beş kişiden oluşan ve elektrikli araç konusunda tecrübe sahibi olan uzmanlardan yüz yüze veya telefon ile yapılan görüşmeler sonucunda kriterleri Tablo 3'de verilen değerlendirme ölçeğine göre değerlendirmeleri istenmiş ve Tablo 6'daki sonuçlar elde edilmiştir. Karar verici takım, elektrikli araç konusunda akademik makaleleri olan iki akademisyen ve elektrikli kamyon ve araç satışında profesyonel olarak çalışan üç satış temsilcisinden oluşmaktadır. Her bir elektrikli kamyonun ait teknik özellikler ilgili firmaların resmî web sayfalarından temin edilmiştir. Alternatiflerinde bu teknik verilere göre Tablo 2'deki dilsel değerlendirmelere göre değerlendirmesi yapılmış ve sonuçlar Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 6. Kriterler için Karar Verici Takım Tarafından Yapılan Değerlendirme Sonuçları

Karar Verici	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5
C ₁	HI	HI	HI	HI	BAI
C ₂	VHI	EHI	EHI	VHI	VHI
C ₃	HI	AI	HI	HI	BAI
C ₄	AAI	BAI	HI	HI	AI
C ₅	HI	VLI	HI	HI	BAI
C ₆	AI	LI	ELI	HI	BAI
C ₇	EHI	EHI	EHI	VHI	VHI
C ₈	EHI	HI	ELI	AAI	AAI

Tablo 7. Alternatiflere Ait Başlangıç Karar Matrisi

Karar Verici	Alternatifler	Kriterler							
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
DM ₁	A ₁	AAV	AV	AAV	AV	EHV	BAV	LV	HV
	A ₂	HV	EHV	BAV	LV	AV	AV	HV	AV
	A ₃	EHV	HV	EHV	EHV	HV	HV	EHV	HV
	A ₄	AV	HV	AAV	BAV	AV	VLV	AV	AV
DM ₂	A ₁	AV	AAV	AV	AAV	HV	AV	VLV	VHV
	A ₂	VHV	EHV	AV	LV	AV	AAV	HV	BAV
	A ₃	EHV	HV	HV	VHV	HV	VHV	EHV	EHV
	A ₄	BAV	AAV	AV	BAV	BAV	LV	AAV	AAV
DM ₃	A ₁	AAV	BAV	AAV	AV	EHV	BAV	VLV	HV
	A ₂	HV	VHV	BAV	BAV	AAV	AAV	VHV	AAV
	A ₃	EHV	BAV	EHV	HV	HV	HV	EHV	VHV
	A ₄	AAV	AAV	AV	AV	BAV	VLV	BAV	AAV
DM ₄	A ₁	AAV	BAV	AV	AAV	EHV	BAV	LV	HV
	A ₂	HV	HV	BAV	LV	BAV	BAV	VHV	AV
	A ₃	HV	HV	EHV	VHV	VHV	HV	EHV	HV
	A ₄	AV	AAV	AV	AV	AV	LV	AAV	AV
DM ₅	A ₁	AAV	AV	AAV	AV	HV	BAV	LV	VHV
	A ₂	HV	HV	BAV	VLV	BAV	AV	HV	AAV
	A ₃	EHV	HV	HV	EHV	HV	HV	VHV	HV
	A ₄	AV	HV	AV	BAV	BAV	LV	AV	AAV

4.2. Birleştirilmiş Karar Matrisi ve Kriter Ağırlıkları

Denklem (1) kullanılarak beş karar vericinin yaptığı değerlendirmeler tek bir matrise indirgenmiştir. Bu birleştirilmiş bulanık sayıların yarıçap değerleri Denklem (2) kullanılarak elde edilmiştir. Kriter ve alternatiflerin sonuçları Tablo 8 ve 9'daki gibidir. Beş karar vericinin her birinin konu hakkındaki bilgi ve deneyimi eşit kabul edilmiştir.

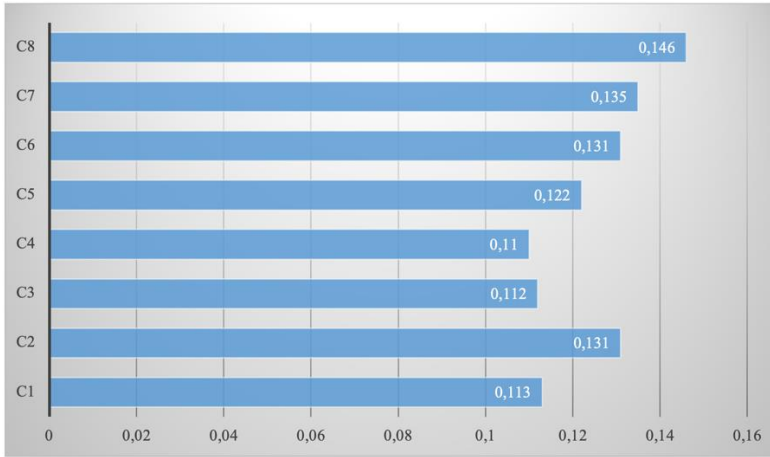
Tablo 8. Kriterlere Ait Birleştirilmiş Matris ve Maksimum Yarıçap Değerleri

Kriter	\bar{m}	\bar{y}	Maksimum Yarıçap (r)
C ₁	0,128	0,062	0,6021
C ₂	0,168	0,026	0,7357
C ₃	0,120	0,070	0,6073
C ₄	0,116	0,074	0,6099
C ₅	0,108	0,082	0,6743
C ₆	0,080	0,112	0,7883
C ₇	0,172	0,024	0,7320
C ₈	0,116	0,078	0,8222

Tablo 9. Birleştirilmiş Başlangıç Karar Matrisi

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
A ₁	(0,116, 0,074; 0,557)	(0,074, 0,096; 0,565)	(0,096, 0,094; 0,559)	(0,094, 0,112; 0,56)	(0,112, 0,078; 0,739)	(0,078, 0,108; 0,545)	(0,108, 0,082; 0,63)	(0,082, 0,164; 0,661)
A ₂	(0,144, 0,046; 0,664)	(0,046, 0,16; 0,743)	(0,16, 0,034; 0,545)	(0,034, 0,084; 0,636)	(0,084, 0,106; 0,565)	(0,106, 0,06; 0,562)	(0,06, 0,13; 0,661)	(0,13, 0,096; 0,562)
A ₃	(0,172, 0,026; 0,732)	(0,026, 0,128; 0,602)	(0,128, 0,062; 0,739)	(0,062, 0,164; 0,739)	(0,164, 0,032; 0,664)	(0,032, 0,164; 0,664)	(0,164, 0,03; 0,728)	(0,03, 0,144; 0,75)
A ₄	(0,1, 0,09; 0,564)	(0,09, 0,128; 0,602)	(0,128, 0,062; 0,562)	(0,062, 0,104; 0,546)	(0,104, 0,086; 0,546)	(0,086, 0,088; 0,63)	(0,088, 0,102; 0,562)	(0,102, 0,088; 0,559)

Denklem (4) kullanılarak Ki-Kare mesafe sapma ölçüleri hesaplandıktan sonra Denklem (5) kullanılarak kriter ağırlıkları hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Kriter Ağırlıkları

Şekil 7’den de anlaşılacağı üzere en önemli kriterin enerji tüketimi olduğu (%14,6) sonucuna varılır. Onu takip eden kriterler ise menzil (%13,5), şarj süresi (%13,1) ve ortalama hız (%13,1) olarak bulunmuştur.

4.3. Alternatiflerin Değerlendirilmesi

Piyasada satışları söz konusu olan dört farklı elektrikli kamyonu değerlendirmek için, pozitif ideal ve negatif ideal dairesel sezgisel bulanık değerler Denklem (7) ve (7) kullanılarak hesaplanmıştır. Bu değerlerden, her bir kriter için en uygun ve en az tercih edilen alternatiflerin belirlenmesinde yararlanılmıştır (Tablo 10). Ki-Kare mesafe

ölçüm sapmaları Denklem (4) kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 10. Pozitif İdeal ve Negatif İdeal Dairesel Sezgisel Bulanık Sayılar

Kriter	PI_j	NI_j
C ₁	(0,172, 0,026; 0,732)	(0,100, 0,090; 0,557)
C ₂	(0,160, 0,034; 0,743)	(0,096, 0,094; 0,565)
C ₃	(0,164, 0,032; 0,739)	(0,084, 0,106; 0,545)
C ₄	(0,164, 0,030; 0,739)	(0,060, 0,130; 0,546)
C ₅	(0,164, 0,032; 0,739)	(0,088, 0,102; 0,546)
C ₆	(0,144, 0,046; 0,664)	(0,052, 0,138; 0,545)
C ₇	(0,176, 0,022; 0,728)	(0,052, 0,138; 0,562)
C ₈	(0,152, 0,040; 0,750)	(0,104, 0,086; 0,559)

Tablo 11. C-IFVs-PI_j and PI_j-NI_j ler Kullanılarak Mesafe Ölçüm Sapmaları

$D = CIFVs, PI_j$	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
A ₁	0,0178	0,0207	0,0183	0,0189	0,0001	0,0271	0,0270	0,0028
A ₂	0,0029	0,0000	0,0263	0,0210	0,0201	0,0191	0,0030	0,0191
A ₃	0,0001	0,0098	0,0000	0,0000	0,0028	0,0028	0,0003	0,0002
A ₄	0,0199	0,0100	0,0193	0,0256	0,0256	0,0254	0,0193	0,0184
$D = PI_j, NI_j$	0,0211	0,0201	0,0264	0,0338	0,0253	0,0207	0,0362	0,0196

Denklem (8), (9) ve (10) kullanılarak Q^- , R^- ve S^- değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 12'de verilmiştir.

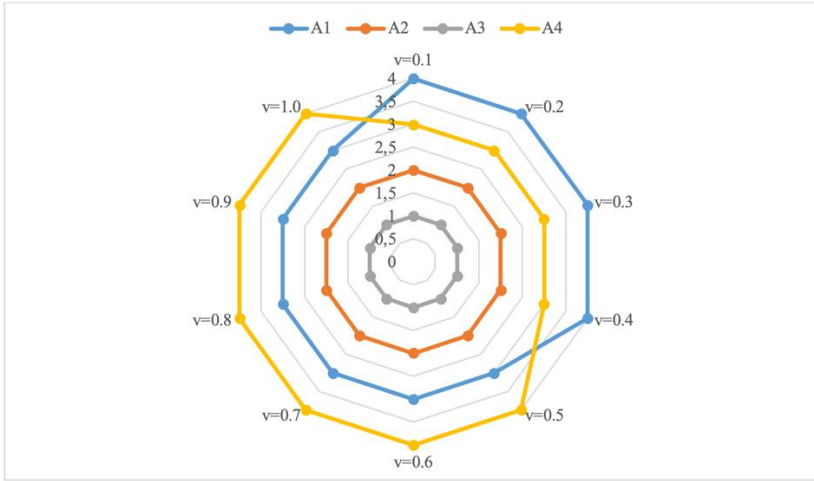
Tablo 12. Q^- , R^- ve S^- Değerlerine Göre Alternatiflerin Sıralanması

$v = 0.5$	A1	A2	A3	A4	Ranking
\bar{S}	0,6643	0,5666	0,0989	0,8298	$A_3 > A_2 > A_1 > A_4$
\bar{R}	0,1726	0,1419	0,0643	0,1614	$A_3 > A_2 > A_4 > A_1$
\bar{Q}	0,8868	0,6781	0,0000	0,9483	$A_3 > A_2 > A_1 > A_4$

Koşul I ve Koşul II de sağlandığından dolayı A₃ alternatifi en iyi elektrikli kamyon olarak belirlenmiştir. İkinci sırada ise A₂ alternatifi yer almaktadır.

4.4. Duyarlılık Analizi

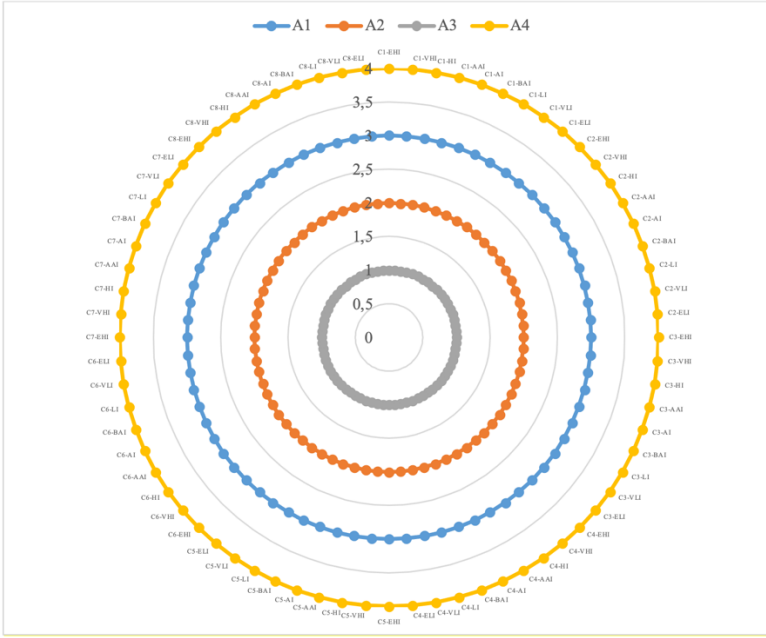
Bu bölümde araştırma probleminin çözümünde alternatiflerin sıralamasının çeşitli koşullar altında nasıl değiştiğini araştırmak için duyarlılık analizi yapılacaktır. Başlangıçta, uzlaşma endeksi değerini hesaplamak için kullanılan grup faydasının maksimum değerleri değiştirilmiş ve bunun sonucunda alternatiflerin sıralamasında meydana gelen değişiklikler gözlemlenmiştir. Sonuçlar, maksimum grup fayda değerlerinin 0 ile 1 aralığında onda bir oranında kademeli olarak artırılmasıyla değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ve ilgili değişiklikler Şekil 8’de gösterilmektedir.



Şekil 8. Farklı v Değerleri için Alternatiflerin Sıralanması

Şekil 8 incelendiği zaman tüm v değerleri için (0 ile 1 aralığında) ilk sırada yer alan alternatifin (A3) değişmediği ve ikinci sırada yer alan alternatifin (A2) değişmediği sonucuna varılmıştır. Üçüncü ve dördüncü sırada yer alan alternatiflerin ise kendi aralığında değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. v değerinin 0, 0,1, 0,2, ve 0,3 olması durumunda üçüncü sırada dördüncü alternatifin (A4) yer aldığı; v değerinin 0,4'e eşit ve büyük olduğu değerler için (1.0'a kadar) dördüncü alternatifin (A4) dördüncü sırada yer aldığı tespit edilmiştir.

Her bir kriterin “çok çok yüksek önemli (EHI)” değerlendirme ölçeğinden “çok çok düşük önemli (ELI)” değerlendirme ölçeğine göre değerlendirmesi sonucunda alternatif sıralamalarında herhangi bir değişiklik olmadığı sonucuna varılmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Farklı Kriter Önem Düzeyleri için Alternatiflerin Sıralanması

4.4. Karşılaştırma Analizi

Bu bölümde aynı problemin farklı ÇKKV yöntemleri kullanılarak çözülmesi sonucunda alternatiflerin sıralamalarının nasıl değişeceğine değinilecektir. Problemin klasik bulanık kümelerden üçgensel bulanık sayılara dayanan farklı ÇKKV yöntemleri ile çözümünde Python yazılımı kullanılmıştır. Farklı ÇKKV yöntemleri ile çözüm gerçekleştiğinde alternatiflerin sıralamasında değişiklik olmamıştır. Sadece TOPSIS ile yapılan çözümde A₄ alternatifi en iyi alternatif olarak bulunmuştur (Tablo 13).

Tablo 13. Karşılaştırmalı Analiz

Yöntem	Alternatiflerin Sıralanması
Fuzzy OCRA (Ulutaş, 2019)	A ₃ >A ₂ >A ₁ >A ₄
Fuzzy TOPSIS (Chen, 2000)	A ₄ >A ₁ >A ₂ >A ₃
Fuzzy EDAS (Zindani ve ark., 2019)	A ₃ >A ₂ >A ₁ >A ₄
Fuzzy ARAS (Fu ve ark., 2021)	A ₃ >A ₂ >A ₁ >A ₄
Fuzzy CODAS (Panchal ve ark., 2017)	A ₃ >A ₂ >A ₁ >A ₄
Fuzzy COPRAS (Narang ve ark., 2021)	A ₃ >A ₂ >A ₁ >A ₄
Fuzzy MABAC (Bozanic ve ark., 2018)	A ₃ >A ₂ >A ₁ >A ₄

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Nüfusun hızlı artışı, teknolojinin gelişmesi ve internetin yaygınlaşması, tüketicilerin alışkanlıklarının değişmesi sonucunda lojistik faaliyetlerde de gelişmeler meydana gelmiştir. Özellikle Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri doğrultusunda hükümetler, yerel yönetimler, sivil toplum kuruluşları, küresel, uluslararası ve ulusal şirketler bu noktada faaliyetlerini yeniden organize etmektedirler. Ulaşım faaliyetlerinden kaynaklı çevre kirliliği ve hava kirliliğini önlemek üzere işletmeler tedarik zincirlerini yeniden tasarlamaktadırlar. Yaygınlaşan küresel ticari faaliyetler atmosfere yoğun miktarda sera gazı salınımına neden olmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada şirketlerin karşılaştıkları lojistik faaliyetlerinde yeşil faaliyetlerin önemli bir parçası olan ulaşım araçlarının en az kirlenmeye sahip olan araçlar olmasına dikkat edilmektedir. Elektrikli kamyon seçim problemi ele alınarak karar vericilere destek olunması amaçlanmıştır. Bu problem tipik bir ÇKKV problemidir. İlk olarak alternatif ve kriterler belirlenmiş, belirlenen alternatifler bu kriterler çerçevesinde dairesel sezgisel bulanık kümelerle dayanan VIKOR yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Belirsizlik ve sübjektifliğin yoğun olması sebebiyle bulanık kümeler kullanılmıştır.

Yapılan literatür taraması ve uzman görüşmeleri neticesinde sekiz farklı değerlendirme kriteri belirlenmiştir. Değerlendirme sonuçlarına göre enerji tüketimi en önemli kriter olarak belirlenmiştir. Kamyonların bir yıl içerisinde katettikleri yol düşünüldüğünde bu kriterin ilk sırada yer alması şaşırtıcı değildir. İkinci sırada menzil kriteri yer almaktadır. Bir dolu batarya ile kamyonun alacağı mesafenin maksimum düzeyde olması tercih edilmektedir. Şarj süresi ve aracın ortalama hızı da önemli kriterler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu kriterlere göre dört farklı alternatif değerlendirildiğinde İsviçre menşeli kamyonun en iyi alternatif olduğu sonucuna varılmıştır. Gerek binek gerekse ticari araçlarda bu marka küresel ölçekte üstün başarılarla imza atmaktadır. İkinci sırada yer alan alternatif ise Almanya'nın en köklü otomobil üretici firmasıdır. Gerek binek gerekse ticari araçlarında küresel ölçekte büyük bir pazar payına sahiptirler.

Çalışma için karşılaşılan en önemli sınırlılık alternatif sayısında yaşanmıştır. Piyasada çok fazla sayıda elektrikli kamyonlara ait veriye ulaşılamadığından, verilerine ulaşılabilen sadece dört alternatif değerlendirmeye alınabilmektedir. Daha geniş bir kriter havuzu ile de çalışılması durumunda sonucun nasıl değişeceği gözlenmelidir. Elektrikli kamyonların kullanımı son yıllarda arttığından dolayı, elektrikli kamyon kullanıcılarının geri dönüşlerine yönelik herhangi bir değerlendirmeye ulaşılamadığından çalışmada daha ziyade kamyonların teknik özellikleri dikkate alınmıştır. Ayrıca çalışmanın uluslararası ölçekte yapılması da daha sağlıklı sonuçlar elde edilmesine yardımcı olacaktır.

Gelecekte aynı çalışma farklı ÇKKV yöntemleri ile yeniden değerlendirilebilir. Ayrıca kullanılan dairesel sezgisel bulanık kümeler yerine farklı bulanık kümelerle değerlendirilmeler yapılabilir. Daha fazla alternatif ve kriter ilavesi ile problem yeniden çözülebilir. Ele alınan teknik kriterlere ilave olarak elektrikli kamyon sürücülerinin kullanımlarına yönelik deneyimlerin de yeni kriterler olarak probleme ilave edilebilir.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Ada, E., İlter, H.K., Sağnak, M., & Kazancıoğlu, Y. (2023). Smart technologies for collection and classification of electronic waste. *International Journal of Quality and Reliability Management*. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-08-2022-0259>.
- Aiello, G., Quaranta, S., Inguanta, R., Certa, A., & Venticinque, M. (2024). A multi-criteria decision-making framework for zero emission vehicle fleet renewal considering lifecycle and scenario uncertainty. *Energies*, 17, 1371. <https://doi.org/10.3390/en17061371>.
- Albayrak, S., & Turanlı, M. (2022). Çok kriterli karar verme yöntemleri ile Türkiye’de HES (hidroelektrik santral) seçimi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 21(41), 68-79. <https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1113158>.
- Al Hazza, M., Dapit, A., Bourini, I.F., Muataz, Z., & Ali, M.Y. (2023). Multicriteria decision making on supplier selection using SOCCER model integrated with analytical hierarchy process. *IIUM Engineering Journal*, 24(2), 239-257. <https://doi.org/10.31436/iiumej.v24i2.2787>.
- Arslan, R. (2018). AHP ile ağırlıklandırılmış VIKOR yöntemiyle araç seçimi: Rent a car firması uygulaması. *Türk Akademik Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, 1(1), 15-20.
- Atanassov, K.T. (2020). Circular intuitionistic fuzzy sets. *Journal of Ambient Intelligent and Smart Environments*, 39, 5981-5986.
- Atanassov, K.T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20, 87-96. <https://doi.org/10.1016/S0165-011480034-3>.
- Bhavsar, D., Jaychandra, P.K., & Mittal, M. (2024). Data acquisition and performance analysis during real-time driving of a two-wheeler electric vehicle-A case study. *World Electric Vehicle Journal*, 15(3), <https://doi.org/10.3390/wevj15030121>.
- Bošković, S., Švadlenka, L., Jovčić, S., Dobrodolac, M., Simić, V., & Bacanin, N. (2023). An alternative ranking order method accounting for two-step normalization (AROMAN)—A case study of the electric vehicle selection problem. *IEEE Access*, 11, 39496-39507.
- Bozanic, D., Tešić, D., & Milićević, J. (2018). A hybrid fuzzy AHP-MABAC model: Application in the Serbian Army—The selection of the location for deep wading as a technique of crossing the river by tanks. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 1(1), 143-164.

- Chen, C.T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1), 1-9.
- Chen, T.Y. (2023). A circular intuitionistic fuzzy evaluation method based on distances from the average solution to support multiple criteria intelligent decisions involving uncertainty. *Engineering Applications and Artificial Intelligence*, 117, 105499. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105499>.
- Cogen, J. (2010). Report of the alternative fuel vehicle infrastructure of working group. USA, Oregon State Report.
- Cuong, B.C. (2014). Picture fuzzy sets. *Journal of Computer and Science Cybernetics*, 30, 409-420.
- Çaloğlu Büyükselçuk, E. & Tozan, H. (2022). Elektrikli araçların performanslarının CRITIC-EATWIOS ile değerlendirilmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10, 1670-1688. <https://doi.org/10.29130/dubited.1002851>.
- Das, M. C., Pandey, A., Mahato, A. K., & Singh, R. K. (2019). Comparative performance of electric vehicles using evaluation of mixed data. *Opsearch*, 56, 1067-1090.
- Deng, J.W., Zhang, J.H., & Yang, S.X. (2024). Optimizing electric vehicle routing with nonlinear charging and time windows using improved differential evolution algorithm. *Cluster Computing-The Journal of Network Software Tools and Applications*, <https://doi.org/10.1007/s10586-023-04243-z>.
- Efendi, A., & Fahmi, A.R. (2021). Design and build of electric car frame SULA evolution. *Journal of Mechanical Engineering Education*, 6(1), 11-21.
- Erdoğan, S. (2020) Enerji, çevre ve sera gazları. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(1), 277-303. <https://doi.org/10.18074/ckuiibfd.670673>.
- Farinloye, T., Oluwatobi, O., Ugboma, O., Dickson, O.F. Uzundu, C., & Mogaji, E. (2024). Driving the electric vehicle agenda in Nigeria: The challenges, prospects and opportunities. *Transportation Report Part D-Transport and Environment*, 130, 104182. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104182>.
- Fu, Y.K., Wu, C.J., & Liao, C.N. (2021). Selection of in-flight duty-free product suppliers using a combination fuzzy AHP, fuzzy ARAS, and MSGP methods. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021, 545379.
- Garibaldi, J.M., & Ozen, T. (2007). Uncertain fuzzy reasoning: A case study in modelling expert decision making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 15, 16-30.
- Grattan-Guinness, I. (1975). Fuzzy membership mapped onto interval and many-valued quantities. *Mathematical Logic Quartely*, 22, 149-160.

- Güleç, M.A., & Ayvaz, B. (2021). İtfaiye istasyonlarındaki tehlikelerin çok kriterli karar verme yöntemleri ile ölçülmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 20(39), 127-145.
- Güven, F., & Rende, H. (2017). Elektrikli araçların tasarımında malzeme seçiminin önemi. *Mühendis ve Makine*, 58(689), 81-95.
- Hassan, M.S., Ali, Y., Petrillo, A., & De Felice, F. (2023). Risk assessment of circular economy practices in construction industry of Pakistan. *Science and Total Environment*, 868, 161468. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161418>.
- Huang, Z., Yang, C., Zhou, X., and Gui, W. (2023). An improved TOPSIS-based multi-criteria decision-making approach for evaluating the working conditions of the aluminium cell. *Engineering Applications and Artificial Intelligence*, 117(105599). <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105599>.
- Jahn, K.U. (1975). Intervall-wertige Mengen. *Mathematische Nachrichten*, 68, 115-132.
- Jaller, M., & Otay, I. (2021). Evaluating Sustainable Vehicle Technologies for Freight Transportation Using Spherical Fuzzy AHP and TOPSIS. In: Kahraman, C., Cevik Onar, S., Oztaysi, B., Sari, I., Cebi, S., & Tolga, A. (eds) Intelligent and Fuzzy Techniques: Smart and Innovative Solutions. INFUS 2020. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1197. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51156-2_15.
- Kahraman, C., & Alkan, N. (2021). Circular intuitionistic fuzzy TOPSIS method with vague membership functions: Supplier selection application context. *Notes on Intuitionistic Fuzzy Sets*, 27, 24-52. doi: 10.7546/nifs.2021.27.1.24-52.
- Kaur, H., Gupta, S., & Dhingra, A. (2023). Selection of solar panel using Entropy-TOPSIS technique. *Materials Today: Proceedings*, in Press, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.02.034>.
- Kerem, A. (2014). Elektrikli araç teknolojisinin gelişimi ve gelecek beklentileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 1-13.
- Khan, M.J., Alcantud, J.C.R., Kumam, W., Kumam, P., & Alreshidi, N.A. (2023). Expanding pythagorean fuzzy sets with distinctive radii: Disc pythagorean fuzzy sets. *Complex Intelligent Systems*. <https://doi.org/10.1007/s40747-023-01062-y>.
- Khan, M.J., Kumam, W., & Alreshidi, N.A. (2022). Divergence measures for circular intuitionistic fuzzy sets and their applications. *Engineering Applications and Artificial Intelligence*, 116, 105455. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105455>.

- Kijewska, K., Iwan, S., & Malecki, K. (2019). Applying multi-criteria analysis of electrically powered vehicles implementation in urban freight transport. *Procedia Computer Science*, 159, 1558-1567. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019>.
- Kim, G. (2024). Electric vehicle routing problem with states of charging stations. *Sustainability*, 16(8). <https://doi.org/10.3390/su16083439>.
- Krishnaprakash, S., Mariappan, R., & Broumi, S. (2024). Cubic spherical neutrosophic sets and selection of electric truck using cosine similarity measure. *Neutrosophic Sets and Systems*, 67(1).
- Kutlu Gündoğdu, F., & Kahraman, C. (2019). Spherical fuzzy sets and spherical fuzzy TOPSIS method. *Journal of Intelligent Fuzzy Systems*, 36, 337-352.
- Manik, M.H. (2023). Addressing the supplier selection problem by using the analytical hierarchy process. *Heliyon*, 9(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17997>.
- Meniz, B., Özkan, E.M. (2023). Vaccine selection for COVID-19 by AHP and novel VIKOR hybrid approach with interval type-2 fuzzy sets. *Engineering Applications and Artificial Intelligence*, 119, 105812. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105812>.
- Narang, M., Joshi, M.C., & Pal, A.K. (2021). A hybrid fuzzy COPRAS-base-criterion method for multi-criteria decision making. *Soft Computing*, 25(13), 8391-8399.
- Oprovcovic, S. (2011). Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning. *Expert Systems and Applications*, 38, 12983-12990. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.097>.
- Ourya, I., & Abderafi, S. (2023). Clean technology selection of hydrogen production on an industrial scale in Morocco. *Results in Engineering*, 17, 100815. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100815>.
- Panchal, D., Chatterjee, P., Shukla, R.K., Choudhury, T., & Tamosaitiene, J. (2017). Integrated Fuzzy AHP-Codas Framework for Maintenance Decision in Urea Fertilizer Industry. *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research*, 51(3).
- Pasha, J., Li, B.K., Elmi, Z., Fathollahi-Fard, A.M., Lau, Y.Y. Roshani, A. Kawasaki, T., & Dulebenets, M.A. (2024). Electric vehicle scheduling: State of the art critical challenges, and future recent opportunities. *Journal of Industrial Information Integration*, 38, <https://doi.org/10.1016/j.jii.2024.100561>.

- Pathak, D. K., Shankar, R., & Choudhary, A. (2021). Performance assessment framework based on competitive priorities for sustainable freight transportation systems. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 90, 102663. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102663>.
- Pennington, A.F., Cornwell, C.R., Sircar, K.D., & Mirabelli, M.C. (2024). Electric vehicles and health: A scoping review. *Environmental Research*, 251, 118697. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118697>.
- Pouresmaeil, H., Khorram, E., & Shivanian, E. (2022). A parametric scoring function and the associated method for interval neutrosophic multi-criteria decision-making. *Evolving Systems*, 13(2), 347-359. <https://doi.org/10.1007/s12530-021-09394-1>.
- Rani, P., Mishra, A.R., Mardani, A., Cavallaro, F., Streimikiene, D., & Khan, S.A.R. (2020). Pythagorean fuzzy SWARA-VIKOR framework for performance evaluation of solar panel selection. *Sustainability*, 12(10), 4278. <https://doi.org/10.3390/su12104278>.
- Rong, P., & Pedram, M. (2003). An analytical model for predicting the remaining battery capacity of lithium-ion batteries. Proceedings of Design, Automation, and Test in Europe Conference and Exhibition, Munich, Germany, 1148-1149.
- Sambuc, R. (1975). *Fonctions ϕ -Floues. Application l'aide au Diagnostic en Pathologie Thyroïdi- Enne*. Ph. D. Thesis, University of Marseille, Marseille, France.
- Sanguesa, J.A., Torres-Sanz, V., Garrido, P., Martinez, F.J., & Marquez-Barja, J. (2021). A review on electric vehicles: Technologies and challenges. *Smart Cities*, 4(1), 372-404.
- Sejwal, R., Pal, S., Singh, N.K., Saini, R., & Yuvaraj, N. (2022). Selection of electric vehicles using MCDM techniques. *Advanced Production and Industrial Engineering*, IoS Press E-Book. <https://doi.org/10.3233/ATDE220801>.
- Senapati, T., & Yager, R.R. (2020). Fermatean fuzzy sets. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 11, 663-674.
- Shammut, M., Cao, M., Zhang, Y., Papaix, C., Liu, Y., & Gao, X. (2019). Banning diesel vehicles in London: Is 2040 too late? *Energies*, 12(3495), 1-17.
- Singh, V., Kumar, V., & Singh, V.B. (2023). A hybrid novel fuzzy AHP-TOPSIS technique for selecting parameter-influencing testing in software development. *Decision Analysis Journal*, 6(100159). <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2022.100159>.
- Smarandache, F. (1999). *A Unifying Field in Logics. Neutrosophy: Neutrosophic Probability, Set and Logic*, American Research Press: Rehoboth, DE, USA.

- Sonar, H.C., & Kulkarni, S.D. (2021). An integrated AHP-MABAC approach for electric vehicle selection. *Research in Transportation Business & Management*, 41, 100665. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2021.100665>.
- Tian, G., Lu, W., Zhang, X., Zhan, M., Dulebenets, M. A.; Aleksandrov, A., Fathollahi-Fard, A. M., & Ivanov, M. (2023). A survey of multi-criteria decision-making techniques for green logistics and low-carbon transportation systems. *Environmental Science and Pollution Resources*, 30, 57279-57301. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26577-2>.
- Torra, V. (2010). Hesitant fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 25, 529-539.
- Türkiye İstatistik Kurumu, (2023). Sera Gazı Emisyon İstatistikleri 1990-2021, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2021-49672#:~:text=Sera%20gaz%C4%B1%20envanteri%20sonu%C3%A7lar%C4%B1na%20g%C3%B6re,CO2%20e%C5%9Fd.%20olarak%20hesapland%C4%B1 adresinden 4 Mayıs 2024 tarihinde alınmıştır>.
- Ulutaş, A. (2019). Supplier selection by using a fuzzy integrated model for a textile company. *Engineering Economics*, 30(5), 579-590.
- United Nations (2024). Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development, <https://sdgs.un.org/2030agenda> adresinden 1 Mayıs 2024 tarihinde alınmıştır.
- Valavanidis, A. (2018). The shift to diesel fuel engines and how the emission scandal of diesel vehicles unfolded. *World Energy Consumption of Transportation Sector*, 1, 1-26.
- Voelcker, J. (2021). EVs explained: Battery capacity, gross versus net. <https://www.caranddriver.com/features/a36051980/evs-explained-battery-capacity-gross-versus-net/> adresinden 7 Mayıs 2024 tarihinde alınmıştır.
- Wang, L., Ding, Y.F., Chen, Z.Y., Su, Z.Y., Zhuang, Y.F. (2024). Heuristic algorithms for heterogeneous and multi-trip electric vehicle routing problem with pickup and delivery. *World Electric Vehicle Journal*, 15(2). doi: 10.3390/wevj15020069.
- Wang, N., Xu, Y., Puška, A., Stević, Ž., & Alrasheedi, A.F. (2023). Multi-criteria selection of electric delivery vehicles using fuzzy-rough methods. *Sustainability*, 15(21), 15541. <https://doi.org/10.3390/su152115541>.
- Wappelhorst, S. The end of the road? An overview of combustion-engine car phase-out announcements across Europe, <https://theicct.org/sites/default/files/publications/Combustion-engine-phase-out-briefingmay11.2020.pdf> adresinden 2 Mayıs 2024 tarihinde alınmıştır.

- Waseem, M., Amir, M., Lakshmi, G.S., Harivardhagini, S., & Ahmad, M. (2023). Fuel cell-based hybrid electric vehicles: An integrated review of current status, key challenges, recommended policies, and future prospects. *Green Energy and Intelligent Transportation*, 2, 100121. <https://doi.org/10.1016/j.geits.2023.100121>.
- Wątróbski, J., Małeckı, K., Kijewska, K., Iwan, S., Karczmarczyk, A., & Thompson, R.G. (2017). Multi-Criteria Analysis of Electric Vans for City Logistics. *Sustainability*, 9, 1453. <https://doi.org/10.3390/su9081453>.
- Web of Science, (2024a). <https://www.webofscience.com/wos/woscc/analyze-results/d8d06ffc-b5a9-44a5-82f5-15480441da9a-e9a2d78a> adresinden 1 Mayıs 2024 tarihinde alınmıştır.
- Web of Science, (2024b). <https://www.webofscience.com/wos/woscc/analyze-results/a4505764-df3d-46ed-a8a9-a3db304c1cc0-e9b1cc28> adresinden 2 Mayıs 2024 tarihinde alınmıştır.
- World Health Organization, (2024). <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-energy-and-health/health-impacts/climate-impacts-of-air-pollution> adresinden 30 Temmuz 2024 tarihinde alınmıştır.
- Yager, R.R. (1986). On the theory of bags. *International Journal of General System*, 13, 23-37.
- Yager, R.R. (2017). Generalized orthopair fuzzy sets. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 25, 1222-1230.
- Yager, R.R. (2013). Pythagorean fuzzy subsets. In Proceedings of the Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting (IFSA/NAFIPS), Edmonton, AB, Canada, 24–28 June 2013, 57–61.
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information Control*, 8, 338-353. doi:10.1016/S0019-995890241-X.
- Zadeh, L.A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. *Information Science*, 8, 199-249. doi: 10.1016/0020-025590036-5.
- Zimmermann, H.J. (2001). *Fuzzy Set Theory and Its Applications*; Kluwer Academic Publishers: Alphen aan den Rijn, The Netherlands.
- Zindani, D., Maity, S.R., & Bhowmik, S. (2019). *Fuzzy-EDAS (evaluation based on distance from average solution) for material selection problems*. In *Advances in Computational Methods in Manufacturing*, 755-771, Springer, Singapore.