



## Evaluation of sustainable last-mile delivery vehicles using the neutrosophic fuzzy SAW method

Nimet Elmacıoğlu<sup>1</sup> , Neslihan Demirel<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Independent Researcher, 38100, Kayseri, Türkiye

<sup>2</sup>Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering Architecture and Design, Kayseri University, 38100, Kayseri, Türkiye

### Highlights:

- Evaluation of sustainable last-mile delivery vehicles
- Criteria weighting and ranking of alternatives using the Neutrosophic Fuzzy SAW method
- Comparative analysis using Neutrosophic Fuzzy WASPAS method

### Keywords:

- Urban Logistics
- Sustainability
- Last-Mile Delivery
- Multi-Criteria Decision-Making
- Neutrosophic Fuzzy SAW

### Article Info:

Research Article  
Received: 13.10.2025  
Accepted: 23.01.2026

### DOI:

10.17341/gazimmfd.1802830

### Correspondence:

Author: Neslihan Demirel  
e-mail: ndemirel@kayseri.edu.tr  
phone: +90 352 432 3410 / 21302

### Graphical/Tabular Abstract

The four alternatives evaluated represent vehicle types commonly encountered in both the literature and in real-world applications of last-mile delivery in urban logistics, each exhibiting different characteristics in terms of sustainability potential. Within this scope, the autonomous ground vehicle, electric freight vehicle, electric cargo bicycle, and cargo tram are included in the analysis. In addition, the conventional fuel-powered delivery vehicle, which is still widely used in last-mile operations today, is also considered as an alternative. Accordingly, a total of five alternatives are evaluated against 14 criteria under an uncertain environment. These criteria collectively reflect the multidimensional nature of sustainability in urban logistics and provide a comprehensive framework for comparing different delivery vehicle options. The 14 criteria used for the evaluation of last-mile delivery vehicles and the performance ranking of the alternatives are presented in Figure A.

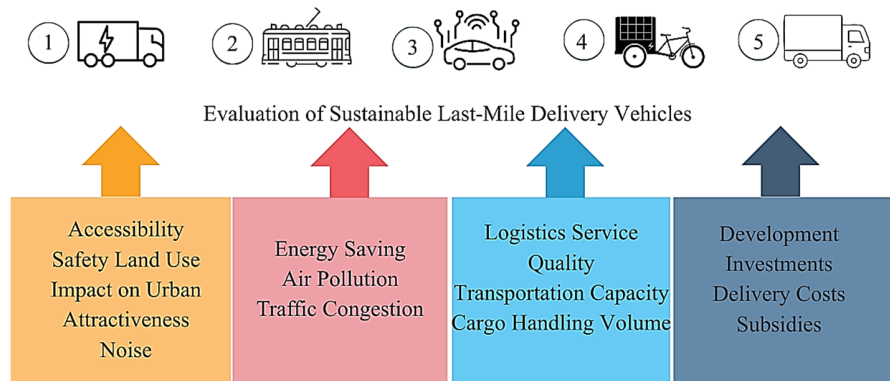


Figure A. Evaluation of Last-Mile Delivery Vehicles in terms of Sustainability

**Purpose:** The primary objective of this study is to assess sustainable last-mile delivery vehicle alternatives within the framework of Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) in the context of urban logistics. As urban freight activities continue to expand due to the rapid growth of e-commerce and increasing consumer demand for fast, cheap, and eco-friendly delivery, selecting environmentally and operationally efficient delivery vehicles has become an important challenge for logistics systems. The last mile delivery vehicles are critically important in terms of reducing environmental impacts, increasing transportation efficiency, and maintaining the quality of life for city residents.

**Theory and Methods:** In this study, the evaluation process is conducted based on 14 criteria covering environmental, economic, social, and operational dimensions. The Neutrosophic Fuzzy Simple Additive Weighting (NF-SAW) method is applied to determine the importance weights of the criteria and to rank the delivery vehicle alternatives under uncertainty.

**Results:** The analysis results indicate that energy savings, development investments, and air pollution are the most influential criteria in the evaluation process. According to the overall performance ranking, the electric cargo vehicle emerges as the best-performing alternative, whereas conventional delivery vehicle exhibits the lowest performance among the evaluated options. The cargo tram ranks second, followed by the autonomous ground vehicle and the electric cargo bicycle.

**Conclusion:** The findings demonstrate that the proposed neutrosophic fuzzy MCDM framework provides an effective and reliable approach for evaluating sustainable last-mile delivery vehicles. This study also offers practical insights for policymakers and logistics managers who aim to improve sustainability performance in urban delivery systems and supports the development of environmentally responsible logistics strategies.



## Nötrosofik bulanık SAW yöntemi ile sürdürülebilir son adım teslimat araçlarının değerlendirilmesi

Nimet Elmacıoğlu<sup>1</sup> , Neslihan Demirel<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup>Bağımsız Araştırmacı, 38100, Kayseri, Türkiye

<sup>2</sup>Kayseri Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 38100, Kayseri, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Son adım teslimat araçlarının değerlendirilmesi
- Nötrosofik Bulanık SAW yöntemi ile kriter ağırlıklandırma ve alternatif sıralama
- Nötrosofik Bulanık WASPAS yöntemi ile karşılaştırmalı analiz

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 13.10.2025

Kabul: 23.01.2026

### DOI:

10.17341/gazimmfd.1802830

### Anahtar Kelimeler:

Kentsel lojistik,  
sürdürülebilirlik,  
son adım teslimat, çok  
kriterli karar verme,  
Nötrosofik Bulanık SAW

### ÖZ

Paket teslimatında, geleneksel taşıma araçlarının yol açtığı trafik sıkışıklığı, operasyonel verimsizlik ve çevresel dışsallıkları azaltmaya yönelik, son dönemde elektrikli teslimat araçları, otonom yer taşıtları ve kargo tramvayları gibi sürdürülebilir ve akıllı kentsel çözümler öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, sürdürülebilir son adım teslimat araçlarının değerlendirilmesinde Nötrosofik Bulanık Basit Toplamlı Ağırlıklandırma (NB-SAW) yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin uygulanması Microsoft Excel aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Analiz çevresel, ekonomik, sosyal ve operasyonel boyutları kapsayan on dört kriter temelinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre önem ağırlığı en yüksek kriterler; enerji tasarrufu, geliştirme yatırımları ve hava kirliliği olarak belirlenmiştir. Bu ağırlıkların karar sürecine uygulanmasıyla yapılan performans sıralamasında elektrikli yük taşıma aracı en yüksek performansı sergilerken geleneksel teslimat aracı en düşük performansa sahip alternatif olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların sağlamlığını ve yöntemin tutarlılığını değerlendirmek amacıyla önerilen yaklaşım, Nötrosofik Bulanık WASPAS yöntemi ile karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş ayrıca duyarlılık analizleri yapılmıştır. Bulgular, özellikle elektrikli çözümlerin kentsel lojistikte sürdürülebilirlik hedefleriyle güçlü bir uyum gösterdiğini ve politika yapıcıların bu tür yenilikçi uygulamaları teşvik etmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

## Evaluation of sustainable last-mile delivery vehicles using the neutrosophic fuzzy SAW method

### H I G H L I G H T S

- Evaluation of last-mile delivery vehicles
- Criteria weighting and ranking of alternatives using the Neutrosophic Fuzzy SAW method
- Comparative analysis using Neutrosophic Fuzzy WASPAS method

### Article Info

Research Article

Received: 13.10.2025

Accepted: 23.01.2026

### DOI:

10.17341/gazimmfd.1802830

### Keywords:

Urban logistics,  
sustainability,  
last-mile delivery,  
multi-criteria decision  
making,  
Neutrosophic Fuzzy SAW

### ABSTRACT

To mitigate traffic congestion, operational inefficiencies, and environmental externalities caused by conventional delivery vehicles in parcel distribution, sustainable and smart urban solutions, such as electric delivery vehicles, autonomous ground transporters, and cargo trams, have recently come to the fore. In this study, the Neutrosophic Fuzzy Simple Additive Weighting (NF-SAW) method is employed to evaluate sustainable last-mile delivery vehicles. The implementation of the method is carried out using Microsoft Excel. The analysis is conducted based on fourteen criteria spanning environmental, economic, social, and operational dimensions. The results indicate that the highest criterion weights are assigned to energy savings, development investments, and air pollution. Based on the performance ranking derived from these weights, the electric cargo vehicle demonstrates the highest overall performance, whereas conventional delivery vehicle exhibits the lowest performance. To evaluate the robustness of the obtained results and the methodological consistency, the proposed approach has been comparatively analyzed with the Neutrosophic Fuzzy WASPAS method, and sensitivity analyses are also performed. The findings reveal that electric solutions, in particular, are strongly aligned with sustainability goals in urban logistics and that policymakers should encourage such innovative applications.

## 1. Giriş (Introduction)

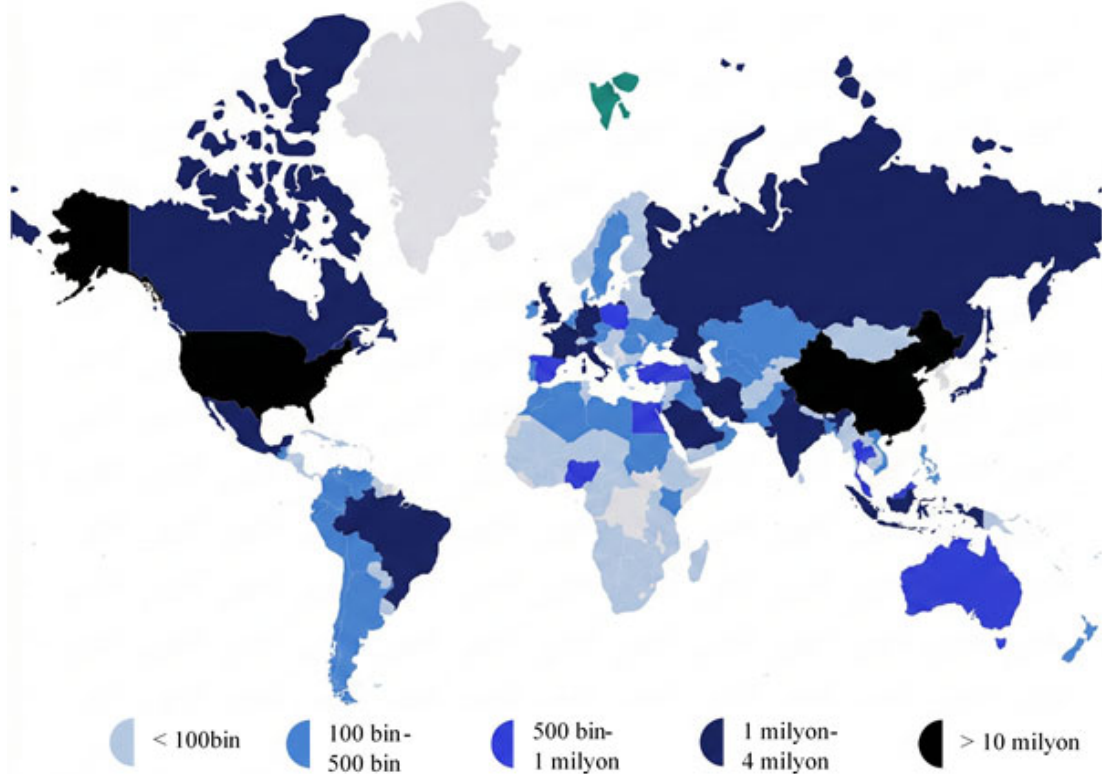
2050 yılına kadar dünya nüfusunun %68'inin kentsel alanlarda yaşayacağı tahmin edilmektedir [1]. Kentleşme, modern çağın en büyük toplumsal dönüşümlerinden biri olup birçok sosyal, ekonomik ve çevresel süreci yönlendiren ve aynı zamanda bu süreçlerden etkilenen dinamik bir yapıya sahiptir [2]. Kentleşme süreci, ekonomik büyümeye katkı sağlamakta aynı zamanda teknolojik gelişmeleri hızlandırmaktadır. Kent merkezleri, ekonomik ve sosyal faaliyetlerin yoğun bir biçimde yürütüldüğü alanlar olarak kabul edilmektedir. Kentsel alanlardaki ekonomik faaliyetlerin çeşitlenmesi özellikle e-ticaret gibi sektörlerde önemli bir büyüme sağlamaktadır. Öte yandan, e-ticaretin yaygınlaşması kentsel yük taşımacılığına olan talebi artırmakta ve bu durum kent içi araç trafiğini yoğunlaştırmaktadır [3]. Gelişmiş ülkelerde kişi başına yılda ortalama teslimat sayısı 310 adet olarak gerçekleşmektedir [4]. Bu artış, kentsel dağıtım ağlarının yalnızca hız ve maliyet açısından değil çevresel etki bakımından da sorgulanmasına neden olmaktadır.

Yapılan çalışmalar, toplam üretim maliyetleri içerisinde taşıma maliyetlerinin payının yaklaşık olarak %11 ile %13 arasında değiştiğini ortaya koymaktadır [5]. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından hazırlanan raporda, taşıma faaliyetlerinde kullanılan yakıtın küresel sera gazı (GHG) emisyonlarının %24'ünü oluşturduğu, bu oranın içinde yük taşımacılığı ve lojistik faaliyetleri payının ise %8-10 olduğu belirtilmektedir [6]. Şekil 1'de Dünya Bankası verilerine göre 2023 yılı için taşımacılıktan kaynaklanan karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonları gösterilmiştir [3].

Şekil 1 incelendiğinde Amerika Birleşik Devletleri ve Çin gibi sanayileşmiş ülkelerin özellikle karayolu taşımacılığı ve lojistik faaliyetlerinden kaynaklanan yüksek karbon emisyonlarıyla küresel

ölçekte en üst seviyelerde yer aldığı görülmektedir. Orta Doğu ülkelerinde ise taşımacılık sektöründeki emisyonların fosil yakıtlara olan bağımlılık nedeniyle yüksek olduğu söylenebilir. Avrupa'da da Almanya, Fransa ve Birleşik Krallık gibi ülkelerde emisyonlar yüksek olmasına rağmen Avrupa Yeşil Mutabakatı ile artış hızının kontrol altına alınmasına yönelik çabalar söz konusudur.

Yük taşımacılığı, emisyon üretimi ve iklim krizinde önemli bir role sahipken taşımacılık faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonların büyük bir kısmı kent merkezlerinde meydana gelmektedir. Çevreye karşı artan tüketici duyarlılığı [7] ve ekolojik sürdürülebilirliği teşvik etmek için tasarlanan daha katı politik düzenlemeler [8], lojistik sistemlerinin stratejik olarak yeniden yapılandırılmasını gerekli kılmaktadır. Lojistik ağların ürünlerin müşterilere ulaştırıldığı son aşamasında ortaya çıkan son adım teslimat (SAT) faaliyetleri, kent merkezlerinin yoğun trafiğinde gerçekleştirilmektedir. Bunun yanı sıra, SAT faaliyetleri yürüten lojistik hizmet sağlayıcılar (logistics service provider-LSP) ve e-perakendeciler her bir teslimat adresine sayılı miktarda sipariş teslimatı, küçük parti büyüklükleri halinde taşıma, rota karmaşıklığı, park yeri problemleri, adreste bulamama nedeniyle başarısız teslimatlar gibi pek çok zorlukla karşı karşıyadır. Bu nedenle lojistik sistemlerin tüm taraflar için verimli ve çevreci hale getirilmesi gereken en önemli ayağını, SAT aşaması oluşturmaktadır. SAT, işletmeler ile müşteriler arasındaki tek fiziksel etkileşim noktasıdır ve bu nedenle müşteri memnuniyetini sağlama, marka değeri oluşturma ve müşteri sadakatini artırma süreçlerinde kritik bir rol oynamaktadır [9]. Günümüzde müşteriler, teslimat seçeneklerini yalnızca hız ve pratiklik açısından değil aynı zamanda sürdürülebilirlik perspektifinden de değerlendirmektedir. Tüketici alışkanlıklarındaki bu değişim, LSP'leri sürdürülebilirlik konusunu iş modellerinin öncelikli hedeflerinden biri haline getirmeye zorlamaktadır [10]. Bu durum, müşteri taleplerine daha etkin bir



Şekil 1. Taşımacılıktan kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonları (Mt CO<sub>2</sub>e) (Transportation-related CO<sub>2</sub> emissions (Mt CO<sub>2</sub>e))

şekilde yanıt verme ve performansı artırma çabası içinde olan SAT taraflarını, yeni teslimat hizmeti çözümleri arayışına yönlendirmektedir [11]. SAT faaliyetlerinin hem ekonomik hem de çevresel açıdan sürdürülebilir bir şekilde gerçekleştirilmesinin öneminin giderek arttığı günümüzde, belediyelerin düşük emisyon bölgeleri gibi girişimleri, perakendecilerin ve LSP'lerin bu konudaki çabalarını artırmaları için teşvik edici nitelik taşımaktadır [12]. SAT süreçlerinin iyileştirilmesi ve lojistik faaliyetlerin neden olduğu dışsalıkların azaltılması, yeni teknolojiler, alternatif ulaşım araçları, yenilikçi teknikler ve organizasyonel stratejiler ile daha etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

Bu çalışmada sürdürülebilir SAT araçlarını, çok kriterli karar verme (ÇKKV) bakış açısıyla değerlendirmek üzere Nötrosofik Bulanık Basit Toplamı Ağırlıklandırma (NB-SAW) Yöntemi uygulanmıştır. SAT süreçlerinde karbon emisyonunun azaltılması, maliyet etkinliği ve müşteri memnuniyeti gibi hedefler doğrultusunda pek çok farklı sürdürülebilir alternatif teslimat aracı kullanılmaktadır. Ancak bu alternatiflerin her birinin farklı üstünlükleri ve sınırlılıkları bulunmaktadır. En uygun seçeneğin belirlenmesi karar vericiler açısından oldukça karmaşık bir problem oluşturmaktadır. Bu noktada ÇKKV yöntemleri, farklı ölçütlerin bir arada değerlendirilmesine olanak tanıyarak karar sürecine sistematik bir yaklaşım sunmaktadır. SAT, çoğunlukla belirsizlik ve uzman görüşlerindeki farklılıkları da içermektedir. Bu nedenle bulanık küme teorisine dayalı yöntemler, söz konusu belirsizliklerin dikkate alınmasına katkı sağlamakta ve karar sürecini daha gerçekçi bir şekilde yansıtmaktadır. Makalenin geri kalan bölümleri şu şekilde yapılandırılmıştır: Bölüm 2 konuya ilişkin literatür taramasını sunmaktadır. Bölüm 3'te sürdürülebilir SAT araçlarını bulanık ortamda değerlendirmede kullanılan kriterler ve metodoloji detaylı olarak açıklanmıştır. Bölüm 4, önerilen çerçevenin uygulamasını ve elde edilen bulguları, Bölüm 5 ise sonuç ve tartışmayı sunmaktadır. Çalışma, sonuç ve genel değerlendirmelerin yer aldığı Bölüm 6 ile sonlandırılmaktadır.

## 2. Literatür Taraması (Literature Review)

Literatürde son yıllarda lojistik faaliyetlerin kentsel alanlarda yol açtığı dışsalıklar kapsamlı bir şekilde incelenmektedir. Trafik kazaları [13-15], gürültü kirliliği [16, 17], sera gazı emisyonlarındaki artış [18] ve artan enerji tüketimi [19] gibi lojistik kaynaklı olumsuzluklar, kent yönetimleri için kritik bir sorun alanı oluşturmaktadır. Bu sorunların çözümüne yönelik literatürde farklı yaklaşımlar önerilmektedir. Kentsel lojistik planlamasına ilişkin çalışmalar incelendiğinde; anket temelli yaklaşımlar [20, 21, 22], simülasyon temelli modeller [23, 24], optimizasyon tabanlı çözümler [25, 26], maliyet-fayda analizleri [27] ve ÇKKV yöntemleri öne çıkmaktadır. ÇKKV yöntemleri özellikle karar alma süreçlerinde çok sayıda kriterin değerlendirilmesi gereken durumlarda kullanışlı bir yöntem olarak dikkat çekmektedir [28]. Literatürde kentsel lojistik problemlerine ÇKKV tabanlı yöntemlerle çözüm üretmeye çalışan çalışmalar Tablo 1'de sunulmuştur. Tablodan görüldüğü üzere SAT süreçleri, literatürde farklı yöntem ve yaklaşımlar kullanılarak kapsamlı bir biçimde incelenmiştir. Çalışmalarda, bisiklet ve elektrikli araçlardan kargo tramvaylarına, *drone* kullanımından kargo dolaplarına kadar pek çok alternatifin, farklı ÇKKV yöntemleri ile değerlendirildiği dikkat çekmektedir. Literatürde kentsel lojistik faaliyetlerini değerlendiren çalışmalarda kullanılan AHP, TOPSIS ve CoCoSo gibi ÇKKV yöntemleri, karar vericilerin çok boyutlu kriterleri birlikte ele almasına olanak tanıyan bulanık uzantılar ve hibrit yaklaşımlar, karar problemlerinde var olan belirsizlikleri daha gerçekçi bir biçimde yansıtmaktadır.

Geleneksel teslimat modellerinde kullanılan kara yolu araçları, çoğunlukla dizel ve benzin gibi fosil yakıtlarla çalıştıkları için yerel hava kirleticileri ve sera gazları açısından dikkate değer düzeyde emisyon salınımına neden olmaktadır. Hızlı teslimat beklentisinin

oluşturduğu operasyonel baskı, taşıtların rotalama ve yük konsolidasyonu açısından optimal olmayan koşullarda faaliyet göstermesine yol açmaktadır [29]. Düşük doluluk oranları ve sık tekrarlayan dur-kalk davranışı nedeniyle birim paket başına enerji tüketimi ve maliyet artmaktadır. Sipariş hacmindeki sürekli büyüme ile bireyselleştirilmiş teslimat taleplerinin yaygınlaşması [30], kentsel alanlarda trafik sıkışıklığını derinleştirmektedir. Teslimat başına maliyetlerin yükselmesi, erişilebilirlik ve güvenilirlik göstergelerinin zayıflaması, gürültü ve emisyon dışsalıklarının artması, kentsel yaşam kalitesi ve sürdürülebilir ulaşım hedefleri üzerinde olumsuz etkiler doğurmaktadır [31].

Sürdürülebilir kentsel lojistik çözümleri arasında, elektrikli araçların lojistik süreçlere entegrasyonu önemli bir yer tutmaktadır. Avrupa Birliği tarafından finanse edilen FREVUE projesi, elektrikli araçların kentsel lojistik operasyonlarında kullanımını test etmek amacıyla geliştirilmiştir. Amsterdam, Rotterdam, Lizbon, Londra, Madrid, Milano, Oslo ve Stockholm gibi büyük kentlerde yürütülen bu projeye 10 lojistik operatörü katılmıştır. Proje kapsamında, 80'den fazla tamamen elektrikli araç, posta hizmetlerinden taze gıda ve farmasötik ürün teslimatına kadar çeşitli lojistik operasyonlarda test edilmiştir [58]. FREVUE projesi sonucunda, yıllık 22 ton CO<sub>2</sub> emisyon azalımı sağlandığı tespit edilmiştir.

Kentsel lojistik süreçlerinde elektrikli kargo bisikletleri, düşük karbon salımı, ekonomik operasyonel maliyetler ve esnek kullanım avantajlarıyla alternatif bir taşımacılık yöntemi olarak değerlendirilmektedir. İlk kapsamlı analiz, 2009 yılında Londra ulaşımı tarafından gerçekleştirilmiş olup elektrikli kargo bisikletlerinin satın alma, işletme ve park maliyetlerinin geleneksel lojistik araçlarına kıyasla çok daha düşük olduğu ortaya konmuştur [59]. UPS (Almanya), DPD (Hamburg), Messenger (Berlin), Outspoken Delivery (Cambridge) ve Gnewt Cargo (Londra) gibi şirketler, elektrikli kargo bisikletlerini teslimat süreçlerine entegre etmeye başlamıştır. CycleLogistics.eu ve Cyclelogistics Ahead gibi projeler, yerel yönetimler ve LSP'ler arasında farkındalık oluşturarak kargo bisikletlerinin yaygınlaştırılmasına katkıda bulunmuştur. Bu projeler sonucunda, Avrupa kentlerinde yapılan motorlu yük taşımacılığı yolculuklarının %50'sinin elektrikli kargo bisikletleri ile gerçekleştirilebileceği öne sürülmüştür [60].

Diğer taraftan otonom araçlar lojistik süreçlerde operasyonel verimliliği artırma potansiyeli sunmaktadır. Bu araçlar günümüzde emisyonların azaltılması, insan hatasından kaynaklanan trafik kazalarının ve trafik sıkışıklığının önlenmesi ile özellikle yaşlılar ve engelli bireylerin hareketlilik olanaklarının artırılması gibi potansiyel katkıları nedeniyle giderek daha fazla önem kazanmaktadır [61]. Waymo, Google tarafından 2009 yılında başlatılan Sürücüsüz Araç Projesi'nin bir parçası olarak otonom lojistik sistemlerini test etmeye başlamıştır. İsveç merkezli Doora, 20 kg'a kadar gıda ürünleri taşıyan ve 5G teknolojisiyle çalışan bir otonom teslimat aracıdır. Japonya'da ZMP firması tarafından geliştirilen DeliRo, ofisler için belge ve kırtasiye malzemeleri, evler için ise gıda ürünleri teslimatı yapabilmeye kapasitesine sahiptir [62]. ABD'de Domino's Pizza, Nuro şirketi ile iş birliği yaparak otonom teslimat araçlarını test etmeye başlamıştır. Öte yandan, ağır yük taşımacılığı için geliştirilen otonom kamyonlar, lojistik süreçleri büyük ölçüde dönüştürme potansiyeline sahiptir. Volvo, Vera adlı otonom kamyonunu geliştirerek ağır yük taşımacılığında insan müdahalesini en aza indirmeyi hedeflemektedir [63].

Kargo taşımacılığının çevresel etkilerini azaltmak amacıyla geliştirilen çözümlerden bir diğeri, hafif raylı sistemlerin lojistik süreçlere entegrasyonudur ve son yıllarda giderek daha fazla ilgi görmektedir. Avrupa'da birçok kent, yük taşımacılığında tramvayları kullanarak çevresel ve operasyonel verimliliği artırmayı hedeflemiştir [11]. Örneğin, CarGoTram, 2001 yılında Almanya'nın Dresden

**Tablo 1.** Kentsel lojistik problemlerine yönelik ÇKKV tabanlı çalışmalar (MCDM-based studies on urban logistics problems)

Yazar/lar	Yöntem	Amaç	Yazar/lar	Yöntem	Amaç
[32]	B-DELPHI ve F-AHP	SAT için bisiklet kullanımını değerlendirmek.	[45]	HFLTS	Ev dışı teslimat yöntemlerini değerlendirmek.
[33]	B-AHP ve TOPSIS	Çevrim içi alışveriş için en uygun ortak kombinasyonu seçmek.	[8]	B-AHP ve B-TOPSIS	SAT süreçlerinde müşteri memnuniyetini değerlendirmek.
[34]	PROMETHEE II ve B-TOPSIS	Kentsel alanlarda elektrikli yük taşıtlarını değerlendirmek.	[46]	SWARA ve CoCoSo	SAT problemlerini değerlendirmek.
[35]	B-AHP ve MICMAC	Kırsal e-ticaret lojistiğinde SAT'ın sürdürülebilirliğini etkileyen faktörleri incelemek.	[47]	DEMATEL	SAT'ın sürdürülebilirliğini değerlendirmek.
[36]	Gri DEMATEL	SAT için <i>drone</i> kullanımının avantajlarını değerlendirmek.	[48]	B-DMS	SAT için elektromobilité alternatiflerini değerlendirmek.
[37]	AHP ve VIKOR	SAT'ın verimliliğini artırmak.	[49]	B-AHP ve DF-CODAS	SAT kargo dolaplarının konumunu belirlemek.
[38]	PROMETHEE	SAT ve dağıtım stratejilerinin sürdürülebilirliğini değerlendirmek.	[50]	B-FARE ve B-COBRA	SAT faaliyetlerinde <i>drone</i> 'ların benimsenmesini engelleyen faktörleri analiz etmek.
[39]	B-TOPSIS	SAT için <i>drone</i> seçimi yapmak.	[51]	BWM	SAT alternatiflerini değerlendirmek.
[40]	CoCoSo	SAT için karar verme yaklaşımı sunmak.	[52]	B-ANP ve B-ADAM	SAT için Endüstri 4.0 teknolojilerini değerlendirmek.
[41]	B-WASPAS	SAT modu seçmek.	[53]	FUCOM ve COPRAS	SAT stratejilerini değerlendirmek.
[9]	B-AHP ve B-WASPAS	SAT firmalarının sürdürülebilirlik performanslarını değerlendirmek.	[54]	SF-AHP	SAT'ın benimsenmesini engelleyen faktörleri analiz etmek.
[42]	BWM, CRITIC ve WASPAS	SAT için mikro merkez konumu seçmek.	[55]	FARE ve ADAM	SAT alternatiflerini analiz etmek.
[43]	VIKOR	SAT performansı için alternatifleri analiz etmek.	[56]	B-AHP ve EDAS	SAT stratejilerini değerlendirmek.
[44]	DNMARCOS	Sıfır emisyonlu SAT çözümlerini değerlendirmek.	[57]	SiWeC ve WASPAS	SAT için dijital teknoloji seçimi yapmak.

Not: AHP: Analitik Hiyerarşi Süreci; B-ADAM: Bulanık Axial-Distance-Based Aggregated Measurement; B-AHP: Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci; B-ANP: Bulanık Analitik Ağ Süreci; B-COBRA: Bulanık Comprehensive Distance Based Ranking; DELPHI: Delphi Method; B-DELPHI: Bulanık Delphi Method; B-DMS: Bulanık Mantık Yaklaşımı ile Teslimat Yöntemi Seçimi; B-MARCOS: Bulanık MARCOS (Measurement of Alternatives and Ranking According to Compromise Solution); TOPSIS: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution; B-TOPSIS: Bulanık TOPSIS; B-WASPAS: Bulanık WASPAS; BWM: Best–Worst Method; CBS-AHP: Coğrafi Bilgi Sistemi Tabanlı Analitik Hiyerarşi Süreci; CoCoSo: Combined Compromise Solution; COPRAS: COmplex PROportional ASsessment; CRITIC: Criteria Importance Through Intercriteria Correlation; DELPHI: Delphi Yöntemi; DEMATEL: Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory; DF-CODAS: Decomposed Fuzzy Combinative Distance based Assessment; DNMARCOS: Double Normalization-Based MARCOS; EDAS: Evaluation based on Distance from Average Solution; FARE: Factor Relationship Method; FUCOM: Full Consistency Method; HFLTS: Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets Approach; MARCOS: Measurement Alternatives and Ranking according to Compromise Solution; MICMAC: Matrice d'Impacts Croisés Multiplication Appliquée à un Classement; PROMETHEE II: Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation II; SiWeC: Simple Weight Calculation; SWARA: Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis; TOPSIS: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution; VIKOR: Vİşkriterijumsko KOMPromisno Rangiranje; WASPAS: Weighted Aggregated Sum Product Assessment.

kentinde faaliyete geçerek kent merkezindeki Volkswagen “Şeffaf Fabrikası”na yedek parça taşımıştır. Ancak otomobil üreticisinin lojistik operasyonlarını yenilemesi üzerine bu hizmet sonlandırılmıştır [64]. Öte yandan, Cargo Tram ve E-Tram projeleri halen aktif olarak hizmet vermektedir.

### 3. Metodoloji (Methodology)

ÇKKV yöntemleri, yüksek düzeyde belirsizlik içeren, birbiriyle çelişebilen amaçları barındıran ve farklı veri ile bilgi temsillerine dayanan karmaşık karar problemlerinin analizinde kullanılan, yöneylem araştırması disiplininin önemli bir uygulama alanını oluşturmaktadır [65]. Belirsizliğin modellenmesi karar verme

sürecinde kritik bir rol oynamaktadır. Bulanık küme teorisinin temel üstünlüğü, kesinliği olmayan verilerin etkin biçimde temsil edilmesine olanak tanınmasının yanı sıra bu veriler üzerinde bulanık uzayda matematiksel işlemlerin gerçekleştirilebilmesini sağlamasıdır [66]. Klasik SAW (Basit Toplamı Ağırlıklandırma) yöntemi kesin sayılar üzerinden hesaplama yaptığı için karar vericilerin belirsizlik ve öznellik içeren değerlendirmelerini etkili bir şekilde ele almakta yetersiz kalabilmektedir [67].

Bu sorunun üstesinden gelmek amacıyla bu çalışmada Nötrosifik Bulanık SAW (NB-SAW) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem SAW yöntemini ve tekil değerli üçgenel nötrosifik sayıları birleştirerek daha kapsamlı bir karar destek mekanizması sunmaktadır [68].

3.1. Nötrosofik Bulanık SAW Yöntemi (Neutrosophic Fuzzy SAW Method)

Evrinsel küme  $U$  ve onun bir alt kümesi  $M$  olmak üzere, her  $x \in U$  elemanı,  $M$  kümesine ait olma açısından doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik derecelerine sahiptir. Bir nötrosofik sayının gösterimi  $x(T, I, F) \in M$  şeklindedir ve  $T, I, F$  nötrosofik bileşenlerdir [68].

$M_{NS} = \{(x, T_M(x), I_M(x), F_M(x)) : x \in X\}$  şeklinde tanımlanan küme, nötrosofik olarak adlandırılmaktadır.  $0 \leq T_M(x) + I_M(x) + F_M(x) \leq 3$  olmalıdır.

- Doğruluk üyelik fonksiyonu:  $T_M : X \rightarrow [0,1]$
- Belirsizlik üyelik fonksiyonu:  $I_M : X \rightarrow [0,1]$
- Yanlışlık üyelik fonksiyonu:  $F_M : X \rightarrow [0,1]$  şeklinde tanımlanır.

Hsu ve Chen [69] tarafından oluşturulan dilsel değişkenlerin karşılık gelen üçgensel bulanık sayılara dönüştürülme süreci Tablo 2’de sunulmuştur.

*Adım 1:* Karar verme sürecinde ilk adım, uzman grubu ( $E_k$ ) tarafından karar vermede kullanılacak kriterlerin ( $C_j$ ) tanımlanmasıdır.

*Adım 2:* Uzmanlar tarafından her bir kriter için doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik değerlerinin dilsel değişkenlerle belirlenmesidir. Bu adımda, karar verme sürecinde belirlenen her bir kriter için uzmanlar tarafından doğruluk, belirsizlik ve yanlış üyelik değerleri belirlenir.

*Adım 3:* Her kriterin dilsel değişkenlerinin üçgensel bulanık sayı ile bulanıklaştırılmasını içerir. Bu adımda, önceki aşamada uzmanlar tarafından belirlenen dilsel değişkenler, üçgensel bulanık sayılar (TFN) kullanılarak sayısal forma dönüştürülür.

*Adım 4:* Ortalama bulanık skorların, kesinleştirilmiş değerlerin ve normalleştirilmiş ağırlıkların hesaplanmasıdır. Bu adımda, her bir kriter için  $(p_1^1, q_1^1, r_1^1), (p_2^1, q_2^1, r_2^1), \dots, (p_j^1, q_j^1, r_j^1)$  biçimindeki üçgensel bulanık sayıların  $L_j^i$  ortalama bulanık skorları, kesinleştirilmiş değerlerin ve normalize edilmiş ağırlıkların ( $w_j$ ) hesaplanır.

1. Ortalama bulanık skorların  $L_j^i$  hesaplanması

Her bir kriter için ortalama bulanık skor Eş. 1’e göre hesaplanır. Burada  $i = 1,2,3$ .

$$L_j^i = \frac{p_i^1 + p_i^2 + \dots + p_i^j}{j} \quad (1)$$

2. Kesinleştirilmiş değerlerin ( $e$ ) hesaplanması

Üçgensel bulanık sayılar, kesinleştirilmiş değerlere dönüştürülür. Kesinleştirilmiş değer ( $e$ ), Eş. 2’ye göre hesaplanır. Burada  $p = L_j^1, q = L_j^2, r = L_j^3$ .

$$(e) = \frac{p+q+r}{3} \quad (2)$$

3. Normalize edilmiş ağırlıkların ( $w$ ) hesaplanması

Her bir kriterin normalize edilmiş ağırlığı, her bir kriterin kesinleştirilmiş değeri / tüm kriterlerin kesinleştirilmiş değerlerin toplamı ile bulunur.

*Adım 5:* Kriterlerin, ağırlık merkezine dayalı ağırlık değerlerinin ( $W_j$ ) hesaplanması ile gerçekleşir. Bu değer Eş. 3 kullanılarak hesaplanır.

$$W_j = \frac{\alpha + 2\beta + \gamma}{4} \quad (3)$$

Burada:  $\alpha, \beta, \gamma$  sırasıyla doğruluk, belirsizlik, yanlışlık üyelik fonksiyonlarının normalize edilmiş ağırlıklı değerleridir.

*Adım 6:* Alternatifler için nötrosofik değerlerin, uzman görüşlerine göre belirlenmesidir. Bu adımda kriter  $C_j$  üzerinden her bir alternatif  $A_i$ ’ye uygulanabilir nötrosofik derecelendirme değerleri uzman görüşleri kullanılarak dilsel değişkenler olarak atanır.

*Adım 7:* Dördüncü adım tekrar edilerek her bir kriter için her bir alternatifi ortalama bulanık puanı ve kesinleştirilmiş değer hesaplanır.

*Adım 8:* Her alternatif için tüm kriterler açısından doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonlarına karşılık gelen normalize edilmiş karar matrisi oluşturulur.

*Adım 9:* Bu adımda, alternatiflerin nihai değerlendirme, Eş. 4 kullanılarak hesaplanır.

$$(N_{ij}) = \frac{a_{ij} + \lambda b_{ij} + (1-\lambda)c_{ij}}{2} \quad (4)$$

Burada  $a$  normalize edilmiş doğruluk üyelik değeri,  $b$  normalize edilmiş belirsizlik üyelik fonksiyonu değeri ve  $c$  ise normalize edilmiş yanlışlık üyelik fonksiyonu değeridir.

*Adım 10:* Birleştirilmiş normalize nötrosofik karar matrisinin oluşturulmasından meydana gelir.

*Adım 11:* Her bir alternatifi toplam puanı, Eş. 5’te yer alan formül kullanılarak hesaplanır.

$$TS = N_{ij} \cdot W_j \quad (5)$$

Son olarak en yüksek toplam puana sahip alternatif en iyi seçenek olarak seçilir.

3.2. Kriterlerin Belirlenmesi (Identification of Criteria)

Yöntemde kullanılacak kriterleri belirlemek için öncelikle literatürdeki kentsel lojistik ve SAT konularına odaklanan çalışmalar detaylı bir biçimde incelenmiştir. Çalışmanın kuramsal çerçevesi sürdürülebilirlik yaklaşımına dayandırıldığı için kriterlerin seçiminde çevresel, ekonomik, sosyal ve operasyonel boyutların dengeli biçimde temsil edilmesine dikkat edilmiştir. Kapsamlı şekilde gerçekleştirilen literatür taraması ile geniş bir kriter havuzu elde edilmiştir. Belirlenen kriterler arasından sürdürülebilirlik perspektifiyle değerlendirme yapılarak ve uzmanların görüşlerine dayanarak çalışmada kullanılmak üzere 14 kriter seçilmiş ve nihai kriter listesi elde edilmiştir. Alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan kriter setine ilişkin bilgiler Tablo 3’te verilmiştir.

3.3. Alternatiflerin Belirlenmesi (Determination of Alternatives)

Bu çalışmada değerlendirilen alternatifler, kentsel lojistikte SAT süreçlerinde kullanılan veya kullanılması için çalışmalara başlanmış olan ve sürdürülebilirlik potansiyeli açısından farklı özellikler sergileyen araç türlerini temsil edecek şekilde belirlenmiştir. Bu kapsamda, otonom yer aracı (Alt1), elektrikli yük taşıma aracı (Alt2), elektrikli kargo bisikleti (Alt3), kargo tramvayı (Alt4) ve geleneksel teslimat aracı (Alt5) analiz sürecine dâhil edilmiştir. Elektrikli yük taşıma aracı ve elektrikli kargo bisikleti, düşük emisyon seviyeleri ve enerji verimlilikleri nedeniyle sürdürülebilir kentsel lojistik çözümleri olarak öne çıkmaktadır. Otonom yer aracı, operasyonel verimlilik ve teknolojik yenilik potansiyeli açısından değerlendirilmiştir. Öte yandan kargo tramvayı, yüksek taşıma kapasitesi ve trafik yoğunluğunu azaltma potansiyeli nedeniyle alternatifler arasında yer alırken geleneksel teslimat aracı ise karşılaştırma amacıyla referans bir alternatif olarak ele alınmıştır.

**Tablo 2.** Dilsel ifadelerin üçgensel bulanık sayılara dönüşümü (Conversion of linguistic expressions into triangular fuzzy numbers)

Dilsel Değişken	Kod	Üçgensel Bulanık Sayı
Zayıf Derecede Önemli	ZDÖ	((0,20, 0,30, 0,20), (0,60, 0,70, 0,80), (0,45, 0,75, 0,75))
Eşit Derecede Önemli	EDÖ	((0,40, 0,30, 0,25), (0,45, 0,55, 0,40), (0,45, 0,60, 0,55))
Güçlü Derecede Önemli	GDÖ	((0,50, 0,55, 0,55), (0,40, 0,45, 0,55), (0,35, 0,40, 0,35))
Çok Kuvvetli Derecede Önemli	ÇKDÖ	((0,80, 0,75, 0,70), (0,20, 0,15, 0,30), (0,15, 0,10, 0,20))
Kesinlikle Önemli	KÖ	((0,90, 0,85, 0,95), (0,10, 0,15, 0,10), (0,05, 0,05, 0,10))

**Tablo 3.** Kriter açıklamaları (Criteria descriptions)

Kriterler	Kriter Açıklaması	Referanslar
T1. Lojistik Hizmet Kalitesi	Teslimat süreleri, güvenilirlik ve müşteri memnuniyeti	[32, 70, 71]
T2. Taşıma Kapasitesi	Kullanılan taşıma araçlarının miktarı ve taşıma kapasitesi	[21, 72, 73]
T3. Elleçleme Yük Hacmi	Malzeme elleçleme süreçlerindeki etkinlik ve verimlilik	[21, 32, 72, 73, 74, 75]
T4. Enerji Tasarrufu	Teslimat yöntemlerinin enerji verimliliği	[76, 77]
T5. Hava Kirliliği	Teslimat süreçlerinin atmosferik koşullara olan etkileri, emisyonlar ve hava kalitesi	[7, 21, 30, 32, 42, 70, 72, 78, 80, 81, 82, 83, 84]
T6. Trafik Sıkışıklığı	Teslimatların yol açtığı trafik sıkışıklığı ve bu sıkışıklığın çevresel etkileri	[21, 30, 32, 42, 77, 79]
T7. Geliştirme Yatırımları	Teslimat süreçlerinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi için yapılan yatırımlar	[75, 78, 85]
T8. Teslimat Maliyetleri	Teslimat süreçlerinin maliyet etkinliği, nakliye maliyetleri, depolama maliyetleri ve diğer ekonomik faktörler	[32, 42, 70, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 81, 82, 85, 86, 87, 88]
T9. Sübvansiyonlar	Sağlanan finansal destekler	[74]
T10. Ulaşılabilirlik	Süreçlere erişim kolaylığı	[32, 41, 42, 57, 72]
T11. Güvenlik	Süreçlerde güvenlik gerekliliği	[42, 73, 75, 76, 78, 80, 81, 82, 86, 88, 89]
T12. Arazi Kullanımı	Alanın uygunluğu	[75, 85]
T13. Kentin Cazibesine Etki	Kent yaşam kalitesi ve cazibesi üzerindeki etkileri	[30, 32]
T14. Gürültü	Teslimat süreçlerinin neden olduğu gürültü düzeyi	[21, 42, 72, 83, 84, 90]

**Tablo 4.** Kriterlere ait T<sub>M</sub> derecelendirme değerleri (T<sub>M</sub> degree values for the criteria)

Kriterler	Kod	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>
Lojistik Hizmet Kalitesi	T1	KÖ	GDÖ	EDÖ
Taşıma Kapasitesi	T2	ÇKDÖ	GDÖ	KÖ
Elleçleme Yük Hacmi	T3	ÇKDÖ	GDÖ	KÖ
Enerji Tasarrufu	T4	KÖ	ZDÖ	ZDÖ
Hava Kirliliği	T5	KÖ	EDÖ	GDÖ
Trafik Sıkışıklığı	T6	KÖ	KÖ	GDÖ
Geliştirme Yatırımları	T7	KÖ	ZDÖ	ZDÖ
Teslimat Maliyetleri	T8	ÇKDÖ	ÇKDÖ	KÖ
Sübvansiyonlar	T9	KÖ	KÖ	ZDÖ
Ulaşılabilirlik	T10	ÇKDÖ	EDÖ	GDÖ
Güvenlik	T11	ÇKDÖ	GDÖ	EDÖ
Arazi Kullanımı	T12	KÖ	EDÖ	EDÖ
Şehrin Cazibesine Etkisi	T13	KÖ	EDÖ	ÇKDÖ
Gürültü	T14	KÖ	ÇKDÖ	ÇKDÖ

**4. Uygulama (Implementation)**

Tablo 3'te verilen kriterler üzerinden otonom yer aracı (Alt1), elektrikli yük taşıma aracı (Alt2), elektrikli kargo bisikleti (Alt3), kargo tramvayı (Alt4) ve geleneksel teslimat aracı (Alt5) olarak dikkate alınan alternatif teslimat araçlarının performans sıralamaları, NB-SAW yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Yöntemin uygulanması, Microsoft Excel aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma, farklı uzman gruplarının değerlendirmelerine dayalı olarak yürütülmüştür. Karar vericiler kentsel lojistik alanında akademik

çalışmalar yürüten üç akademisyen (E<sub>1</sub>), SAT alanında faaliyet gösteren LSP'lerde çalışan üç orta düzey yönetici (E<sub>2</sub>) ve belediyelerin kent içi ulaşım sistemlerinden sorumlu biriminde görev yapan üç yönetici (E<sub>3</sub>) olmak üzere farklı uzman gruplarından oluşmaktadır. Yapılandırılmış yüz yüze görüşmeler sonucunda her grup için, grup içi uzlaşa sağlanmış ve değerlendirmeler tek bir dilsel ifade ile temsil edilmiştir. Her uzman grubunun değerlendirmeleri, geometrik ortalama yöntemiyle birleştirilmiştir. Bu yaklaşım, farklı paydaşların bakış açılarını içeren bütüncül bir değerlendirme süreci oluşturulmasını sağlamıştır.

**Tablo 5.** Üçgensel bulanık sayılar (Triangular fuzzy numbers)

M	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>
T1	0,90, 0,85, 0,95	0,50, 0,55, 0,55	0,40, 0,30, 0,25
T2	0,80, 0,75, 0,70	0,50, 0,55, 0,55	0,90, 0,85, 0,95
T3	0,80, 0,75, 0,70	0,50, 0,55, 0,55	0,90, 0,85, 0,95
T4	0,90, 0,85, 0,95	0,20, 0,30, 0,20	0,20, 0,30, 0,20
T5	0,90, 0,85, 0,95	0,40, 0,30, 0,25	0,50, 0,55, 0,55
T6	0,90, 0,85, 0,95	0,90, 0,85, 0,95	0,50, 0,55, 0,55
T7	0,90, 0,85, 0,95	0,20, 0,30, 0,20	0,20, 0,30, 0,20
T8	0,80, 0,75, 0,70	0,80, 0,75, 0,70	0,90, 0,85, 0,95
T9	0,90, 0,85, 0,95	0,90, 0,85, 0,95	0,20, 0,30, 0,20
T10	0,80, 0,75, 0,70	0,40, 0,30, 0,25	0,50, 0,55, 0,55
T11	0,80, 0,75, 0,70	0,50, 0,55, 0,55	0,40, 0,30, 0,25
T12	0,90, 0,85, 0,95	0,40, 0,30, 0,25	0,40, 0,30, 0,25
T13	0,90, 0,85, 0,95	0,40, 0,30, 0,25	0,80, 0,75, 0,70
T14	0,90, 0,85, 0,95	0,80, 0,75, 0,70	0,80, 0,75, 0,70

**Tablo 6.** Kriterlere ait T<sub>M</sub> için L<sub>j</sub><sup>i</sup>, e, w değerleri (Values of L<sub>j</sub><sup>i</sup>, e, w for the T<sub>M</sub> of the criteria)

Kriterler	L <sub>j</sub> <sup>i</sup>	e	w (T <sub>M</sub> )
T1	0,6, 0,56, 0,63	0,596	0,067
T2	0,73, 0,71, 0,73	0,723	0,082
T3	0,73, 0,71, 0,73	0,723	0,082
T4	0,43, 0,48, 0,45	0,453	0,051
T5	0,6, 0,56, 0,58	0,58	0,065
T6	0,76, 0,75, 0,81	0,773	0,087
T7	0,43, 0,48, 0,45	0,453	0,051
T8	0,83, 0,78, 0,78	0,796	0,090
T9	0,66, 0,66, 0,7	0,673	0,076
T10	0,56, 0,53, 0,51	0,533	0,060
T11	0,56, 0,53, 0,5	0,53	0,060
T12	0,56, 0,48, 0,48	0,506	0,057
T13	0,7, 0,63, 0,63	0,653	0,074
T14	0,83, 0,78, 0,78	0,796	0,090

**Tablo 7.** Kriterlere ait I<sub>M</sub> için L<sub>j</sub><sup>i</sup>, e, w değerleri (Values of L<sub>j</sub><sup>i</sup>, e, w for the I<sub>M</sub> of the criteria)

Kriterler	L <sub>j</sub> <sup>i</sup>	e	w (I <sub>M</sub> )
T1	0,31, 0,38, 0,35	0,346	0,076
T2	0,23, 0,25, 0,31	0,263	0,058
T3	0,23, 0,25, 0,31	0,263	0,058
T4	0,43, 0,51, 0,56	0,5	0,110
T5	0,31, 0,38, 0,35	0,396	0,087
T6	0,2, 0,25, 0,25	0,233	0,051
T7	0,43, 0,51, 0,56	0,5	0,110
T8	0,16, 0,15, 0,23	0,18	0,039
T9	0,26, 0,33, 0,33	0,306	0,067
T10	0,35, 0,38, 0,41	0,38	0,083
T11	0,35, 0,38, 0,41	0,38	0,083
T12	0,33, 0,41, 0,3	0,346	0,076
T13	0,25, 0,28, 0,26	0,263	0,058
T14	0,16, 0,15, 0,23	0,18	0,039

4.1. Kriterlerin Ağırlıklandırılması (Criteria Weighting)

Bölüm 3.1’de adımları verilen NB-SAW yöntemi, kentsel lojistik alanında gerçek bir karar verme problemine uygulanmıştır. Bu karar verme problemi için üç uzman grubu (E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>) tarafından belirlenen kriterlere ait doğruluk üyelik derecelendirme değerleri (T<sub>M</sub>) Tablo 4’te sunulmuştur.

Doğruluk üyelik derecelendirme değerlerinin dilsel değişkenleri, üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüş olup elde edilen değerler Tablo 5’te sunulmuştur.

Adım 4 kullanılarak, kriterlerin doğruluk üyelik fonksiyonu için her bir alternatifin ortalama bulanık puanı ( $L_j^i$ ), keskinleştirilmiş değerleri (e) ve normalize edilmiş ağırlıklı değerleri (w) hesaplanmış olup bu değerler Tablo 6’da sunulmuştur. Benzer süreç işletilerek belirsizlik üyelik derecelendirme değerleri (I<sub>M</sub>) ve yanlışlık üyelik derecelendirme değerleri (F<sub>M</sub>) için normalize edilmiş ağırlık değerleri (w) sırasıyla Tablo 7 ve Tablo 8’de sunulmuştur.

Tüm kriterler için ağırlık merkezine dayalı ağırlık değerleri (W<sub>j</sub>), Adım 5 kullanılarak hesaplanmıştır. Değerlendirmede dikkate alınan 14 kriterle ilişkin ağırlıklar Tablo 9’da sunulmuştur.

**Tablo 8.** Kriterlere ait F<sub>M</sub> için  $L_j^i$ , e, w değerleri (Values of  $L_j^i$ , e, w for the F<sub>M</sub> of the criteria)

Kriterler	$L_j^i$	e	w (F <sub>M</sub> )
T1	0,28, 0,35, 0,33	0,32	0,083
T2	0,18, 0,18, 0,21	0,19	0,049
T3	0,18, 0,18, 0,21	0,19	0,049
T4	0,31, 0,51, 0,53	0,45	0,118
T5	0,28, 0,35, 0,33	0,32	0,083
T6	0,15, 0,16, 0,18	0,163	0,042
T7	0,31, 0,31, 0,53	0,383	0,100
T8	0,11, 0,08, 0,16	0,116	0,030
T9	0,18, 0,28, 0,31	0,256	0,067
T10	0,31, 0,36, 0,36	0,343	0,090
T11	0,31, 0,36, 0,36	0,343	0,090
T12	0,31, 0,41, 0,4	0,373	0,097
T13	0,21, 0,25, 0,28	0,246	0,064
T14	0,11, 0,08, 0,16	0,116	0,030

**Tablo 9.** Kriter ağırlıkları (Criteria weights)

Kriterler	Kriter ağırlıkları
T1	0,076122
T2	0,062023
T3	0,062023
T4	0,097456
T5	0,081155
T6	0,058392
T7	0,093086
T8	0,050122
T9	0,069744
T10	0,079522
T11	0,079427
T12	0,077060
T13	0,063747
T14	0,050122

**Tablo 10.** T<sub>M</sub> için normalize karar matrisi (Normalized decision matrix for the T<sub>M</sub>)

T <sub>M</sub>	Alt1	Alt2	Alt3	Alt4	Alt5
T1	0,05	0,03	0,07	0,06	0,07
T2	0,02	0,03	0,03	0,09	0,12
T3	0,06	0,02	0,07	0,09	0,11
T4	0,13	0,11	0,06	0,08	0,05
T5	0,11	0,10	0,12	0,07	0,05
T6	0,06	0,08	0,06	0,09	0,05
T7	0,06	0,04	0,12	0,05	0,07
T8	0,11	0,11	0,02	0,04	0,19
T9	0,09	0,09	0,10	0,04	0,05
T10	0,11	0,09	0,08	0,08	0,12
T11	0,06	0,05	0,11	0,09	0,06
T12	0,04	0,09	0,06	0,08	0,05
T13	0,04	0,08	0,08	0,09	0,05
T14	0,11	0,11	0,08	0,09	0,05

Tablo 9’da görüleceği üzere kriter önem ağırlıkları sırasıyla  $T4 > T7 > T5 > T10 > T11 > T12 > T1 > T9 > T13 > T2 > T3 > T6 > T8 > T14$  olarak belirlenmiştir.

4.2. Alternatiflerin Sıralanması (Alternative Ranking)

Uzmanlar tarafından her bir alternatif  $A_i$  için her bir kriter  $C_j$  üzerinde uygulanabilir nütrosifik derecelendirme değerleri (doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonları) dilsel değişkenler olarak atanmış olup bu dilsel değişkenler Tablo 2 kullanılarak üçgensel

bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Adım 4 uygulanarak ortalama bulanık puanlar ve kesinleştirilmiş değerler hesaplanmış ve normalize edilmiş karar matrisi elde edilmiştir (Tablo 10-12).

Tüm  $N_{ij}$  değerleri hesaplanmış ve bu değerler kullanılarak Tablo 13’te verilen birleştirilmiş normalize nütrosifik karar matrisi oluşturulmuştur.  $N_{ij}$  değerleri hesaplanırken  $\lambda = 0.5$  olarak alınmıştır.

Son olarak her alternatifin toplam puanı, Adım 11’e göre hesaplanmıştır ve elde edilen sıralamalar Tablo 14’te sunulmuştur.

**Tablo 11.**  $I_M$  için normalize karar matrisi (Normalized decision matrix for the  $I_M$ )

$I_M$	Alt1	Alt2	Alt3	Alt4	Alt5
T1	0,09	0,17	0,10	0,14	0,08
T2	0,15	0,17	0,14	0,04	0,04
T3	0,11	0,19	0,09	0,04	0,06
T4	0,02	0,02	0,10	0,05	0,09
T5	0,04	0,04	0,02	0,09	0,09
T6	0,09	0,05	0,10	0,04	0,09
T7	0,08	0,15	0,02	0,16	0,08
T8	0,04	0,02	0,17	0,19	0,04
T9	0,06	0,05	0,04	0,19	0,09
T10	0,04	0,05	0,07	0,05	0,05
T11	0,08	0,11	0,02	0,04	0,09
T12	0,13	0,05	0,08	0,05	0,09
T13	0,13	0,05	0,07	0,04	0,09
T14	0,04	0,02	0,07	0,04	0,09

**Tablo 12.**  $F_M$  için normalize karar matrisi (Normalized decision matrix for the  $F_M$ )

$F_M$	Alt1	Alt2	Alt3	Alt4	Alt5
T1	0,09	0,18	0,09	0,16	0,09
T2	0,14	0,18	0,14	0,03	0,04
T3	0,10	0,20	0,09	0,03	0,07
T4	0,01	0,02	0,11	0,04	0,09
T5	0,04	0,04	0,01	0,09	0,09
T6	0,09	0,05	0,11	0,03	0,09
T7	0,10	0,15	0,01	0,18	0,08
T8	0,03	0,02	0,16	0,23	0,03
T9	0,05	0,05	0,04	0,23	0,09
T10	0,04	0,05	0,08	0,04	0,06
T11	0,10	0,14	0,02	0,03	0,09
T12	0,13	0,05	0,08	0,04	0,09
T13	0,13	0,05	0,08	0,03	0,09
T14	0,03	0,02	0,07	0,03	0,09

**Tablo 13.** Birleştirilmiş normalize nütrosifik karar matrisi (Combined normalized neutrosophic decision matrix)

$N_{ij}$	Alt1	Alt2	Alt3	Alt4	Alt5
T1	0,073	0,103	0,080	0,103	0,079
T2	0,086	0,104	0,088	0,061	0,082
T3	0,081	0,111	0,081	0,061	0,085
T4	0,073	0,064	0,081	0,066	0,068
T5	0,074	0,068	0,069	0,082	0,068
T6	0,077	0,065	0,081	0,061	0,068
T7	0,077	0,095	0,069	0,109	0,075
T8	0,071	0,064	0,092	0,125	0,111
T9	0,073	0,072	0,073	0,125	0,068
T10	0,074	0,069	0,077	0,066	0,089
T11	0,077	0,089	0,064	0,061	0,075
T12	0,082	0,069	0,072	0,063	0,068
T13	0,082	0,065	0,077	0,061	0,072
T14	0,071	0,064	0,077	0,061	0,068

Elde edilen sonuçlara göre, elektrikli yük taşıma aracı (Alt2) en yüksek performansı sergilemektedir. Kargo tramvayı (Alt4) ise ikinci sırada yer almaktadır. Geleneksel teslimat aracı (Alt5) en düşük performansa sahip olan alternatif olurken elektrikli kargo bisikleti (Alt3) ve otonom yer aracı (Alt1) orta sıralarda yer almaktadır.

#### 4.3. Duyarlılık Analizi (Sensitivity Analysis)

Çalışmada, modelin  $\lambda$  parametresine duyarlılığını incelemek üzere  $\lambda$ 'nın 0,1-0,9 aralığında farklı değerleri için yöntem yeniden uygulanmıştır. Bu bağlamda, her bir  $\lambda$  değeri için normalize edilmiş  $T_M$ ,  $I_M$  ve  $F_M$  matrisleri kullanılarak  $N_{ij}$  değerleri yeniden hesaplanmış, birleştirilmiş normalize nötrosofik karar matrisi oluşturulmuş ve alternatiflerin toplam skorları ve sıralamaları tekrar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Şekil 2'de sunulmuştur.

Şekil 2, NB-SAW yönteminde kullanılan  $\lambda$  parametresinin farklı değerleri altında alternatiflerin toplam skorlarındaki değişimi göstermektedir.  $\lambda$  değerinin 0,1 ile 0,9 arasında değişimi alternatiflerin performans skorlarında sınırlı dalgalanmalara yol açmakla birlikte alternatiflerin görece sıralamasında anlamlı bir değişim oluşturmamaktadır. Bu durum, modelin  $\lambda$  parametresine karşı yüksek bir kararlılık sergilediğini göstermektedir. Sıralamada ilk sıralarda yer alan elektrikli yük taşıma aracı (Alt2) ile kargo tramvayına (Alt4) ait skorların  $\lambda$  parametresindeki artışla birlikte sınırlı ölçüde azaldığı, buna karşın bu değişimin performans sıralaması üzerinde belirleyici bir etki oluşturmadığı dikkat çekmektedir. Dolayısıyla modelin karar verme sürecinde kullanılan parametre seçimlerine karşı dayanıklı olduğu ve sürdürülebilir SAT araçlarının değerlendirilmesinde istikrarlı bir karar destek aracı sunduğu söylenebilir.

#### 4.4. Karşılaştırmalı Analiz (Comparative Analysis)

Çalışmada sağlamlığı ve yönetsel tutarlılığını değerlendirmek amacıyla kullanılan NB-SAW yönteminden elde edilen sonuçlar, Nötrosofik Bulanık WASPAS (NB-WASPAS) ile karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Bu yöntemin analize dâhil edilmesinin temel

gerekçesi, farklı karar verme paradigmasının aynı veri seti üzerinde benzer alternatif sıralamaları üretip üretmediğinin incelenmesidir [91]. NB-WASPAS yöntemi ağırlıklı toplam ve ağırlıklı çarpım modellerini bir arada kullanan hibrit yapısı sayesinde farklı agregasyon kurallarının karar sonuçları üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesine olanak tanımaktadır [90]. NB-SAW ve NB-WASPAS ile elde edilen performans sıralamaları Şekil 3'te sunulmuştur.

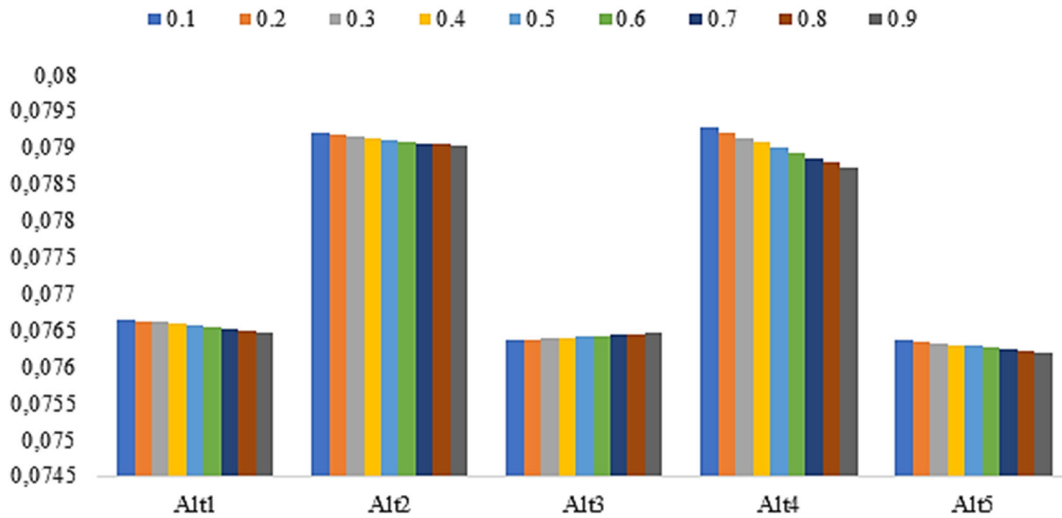
Şekil 3'te sunulan karşılaştırmalı analiz sonuçları, NB-SAW ve NB-WASPAS yöntemleri kullanılarak elde edilen performansların yöntemler arası tutarlılığını açık biçimde ortaya koymaktadır. Grafik incelendiğinde performans skoru açısından ilk üçte yer alan SAT araçlarının sıralamalarının değişmediği, yani elektrikli yük taşıma aracı (Alt2), kargo tramvayı (Alt4) ve otonom yer aracının (Alt1) performans sıralamasının her iki yöntemde de aynı olduğu görülmektedir. Bu durum, söz konusu alternatiflerin karar modeli ve agregasyon yapısından bağımsız olarak güçlü ve kararlı performans sergilediğini göstermektedir. Aynı zamanda kriter yapısının bu alternatifler açısından baskın ve belirleyici olduğunu düşündürmektedir. Sıralama açısından son sıradaki alternatifler arasında bir değişim gerçekleşmiştir. Elektrikli kargo bisikleti (Alt3), NB-SAW yönteminde dördüncü sırada yer alırken NB-WASPAS yönteminde son sıraya gerilemiştir. Buna karşılık geleneksel teslimat aracı (Alt5), NB-SAW yönteminde son sırada bulunmasına rağmen NB-WASPAS yönteminde dördüncü sıraya yükselmiştir.

### 5. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

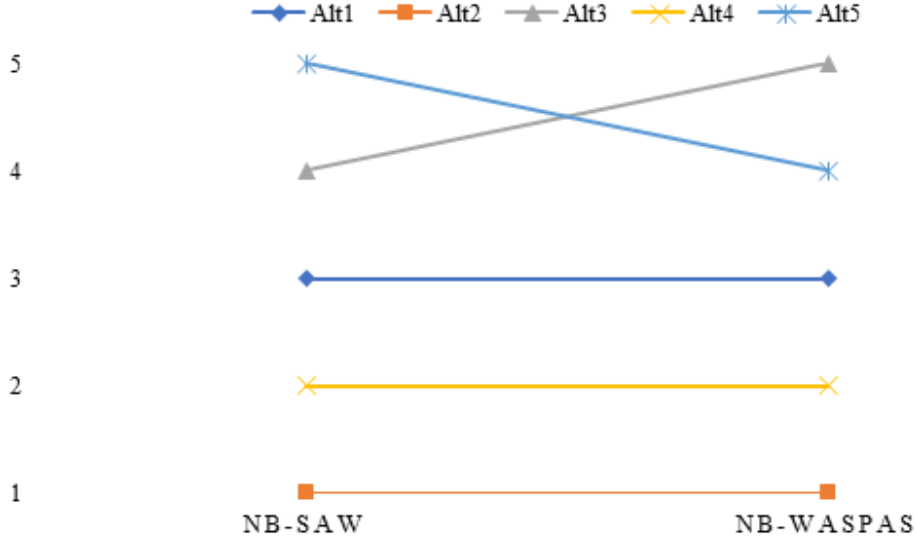
Sürdürülebilir kentsel lojistik çözümleri için farklı SAT araçlarının değerlendirilmesinde dikkate alınan kriterlerin önem ağırlıkları analiz edildiğinde, bulgulara göre en yüksek ağırlığa sahip kriterler sırasıyla enerji tasarrufu (T4), geliştirme yatırımları (T7) ve hava kirliliği (T5) olmuştur. Bu sonuç karar vericilerin önceliklerini çevresel sürdürülebilirlik ve verimlilik odaklı olarak şekillendirdiğini ortaya koymaktadır. Enerji tasarrufunun hem karbon emisyonlarının azaltılması hem de ekonomik maliyetlerin düşürülmesi açısından öne

**Tablo 14.** Alternatif sıralamaları (Alternative rankings)

Alternatif	Alt1	Alt2	Alt3	Alt4	Alt5
Alternatif değeri	0,076559	0,079105	0,076411	0,078999	0,076277
Alternatif sıralaması	3	1	4	2	5



**Şekil 2.**  $\lambda$  parametresi için duyarlılık analizi (Sensitivity analysis for the  $\lambda$  parameter)



Şekil 3. Karşılaştırmalı analiz sonuçları (Comparative analysis results)

çıkması dikkat çekicidir. Geliştirme yatırımlarının yüksek ağırlık alması ise seçilen alternatiflerin uzun vadeli altyapı gereksinimleri ve sistem entegrasyon potansiyeli açısından stratejik önem taşıdığını göstermektedir. Bu bulgular sürdürülebilir kentsel lojistik çözümlerinin yalnızca çevresel fayda sağlaması değil aynı zamanda güvenli, erişilebilir ve uzun vadede uygulanabilir olması gerektiğini vurgulamaktadır.

SAT araçlarının performans sıralamasında elektrikli yük taşıma aracının (Alt2) en yüksek performansı sergilemesi, kısa vadede uygulanabilirliği yüksek, altyapı uyumu görece kolay ve karbon emisyonlarını azaltmaya katkı sunan bir seçenek olarak önemine işaret etmektedir. Elektrikli yük taşıma araçları, SAT bağlamında hem talep tarafındaki çevresel duyarlılıkların güçlenmesi hem de arz tarafındaki teknolojik dönüşümler nedeniyle giderek daha stratejik bir konuma yerleşmektedir. Çevresel hassasiyetleri yüksek tüketicilerin elektrikli taşıtları tercih ettiğine dair bulgular, müşteri odaklı strateji benimseyen işletmeler için elektrikli araç kullanımını rekabetçi gereklilik hâline getirmektedir [92]. Bu yönelim çevresel dışsallıkları azaltıcı etkisi göz önüne alındığında, elektrikli filoların geleceğin teslimat yöntemi olma potansiyelini desteklemektedir [93, 94]. Operasyonel düzlemde, elektrikli araçlar kentsel yük taşımacılığına yeterli ve verimli bir alternatif sunmakta ve enerji tüketimini azaltma imkânı sağlamaktadır [95]. Bu eğilim, LSP'lerin filolarını daha verimli kılmak amacıyla teknolojiye yatırım yapması ve büyük dağıtım ağlarının, giderek sıkılaşan emisyon sınırlarına uyum için elektrikli araç pazarını yakından izlemesiyle de pekişmektedir [96].

Performans sıralamasında ikinci sırada yer alan kargo tramvayı (Alt5), yolcu ve yük taşımacılığının aynı hat ve araçlarda bütünleşmesini sağlayarak kentsel mobilite hizmetlerinin verimliliğini ve güvenilirliğini artırma potansiyeli taşımaktadır [97]. Bu sistemin ayırt edici özellikleri; elektrikle çalışması, otobüs ve bisiklete kıyasla daha yüksek taşıma kapasitesi, ayrılmış hatlar sayesinde trafik sıkışıklığından görece bağımsız bir işletim ve hava koşullarına düşük duyarlılık olarak özetlenebilir [98]. Operasyonel açıdan gündüz saatlerinde yolcu tramvaylarına bir veya daha fazla yük vagonu eklenerek karma taşımacılık yapılabilmektedir. Gece saatlerinde ise yolcu talebinin olmadığı zaman dilimlerinde yük taşımacılığı daha yoğun biçimde sürdürülebilir. Bu sayede emisyonlar, kaza olasılığı ve buna bağlı can kayıpları gibi olumsuz dışsallıklar

azaltılabilmektedir [99]. Ayrıca yolcu ve yük hizmetlerinin aynı altyapı ve araçlarla sağlanması, demiryolu aracı ve personel maliyetlerinde azalma gibi işletme avantajları sağlayabilmektedir. Kentsel yolcu talebinin gün içindeki dalgalı yapısı dikkate alındığında, yoğun olmayan saatlerde ortaya çıkan kullanılmayan kapasitenin yük taşımacılığı için tahsisi, ağır bütünsel etkinliğini yükselten bir kapasite paylaşım mekanizması sunmaktadır [100]. Bu çerçevede kargo tramvayı, uygun altyapı ve düzenleyici destek koşullarında, kentsel lojistik çevresel ve operasyonel hedeflere birlikte hizmet eden tamamlayıcı bir çözüm olarak konumlanmaktadır. SAT bağlamında otonom yer aracı (Alt1) üçüncü sırada yer almaktadır. Bu sonuç lojistik sektöründe dijitalleşme ve otomasyon eğilimlerinin çevresel ve operasyonel verimliliği artırma potansiyelini destekler niteliktedir. Otonom yer aracı, sürdürülebilir SAT süreçlerinde hız, maliyet ve güvenlik boyutlarında sağladığı bütüncül kazanımlar sayesinde öne çıkmaktadır. Otonom araçların kullanımıyla elde edilen daha kısa teslimat süreleri ve düşen operasyonel maliyetler, müşteri memnuniyetinin artmasına doğrudan katkı sunmaktadır [101]. Yazılım tabanlı rota planlama ve trafik akışı optimizasyonu sayesinde yakıt tüketimi ve buna bağlı emisyonların azaltılması mümkün olmaktadır. Bu sayede otonom araçlarla teslimat, çevresel performansın güçlenmesine hizmet etmektedir [102]. Güvenlik açısından bakıldığında, trafik kazalarının önemli bir kısmının sürücü hatalarından kaynaklanması, otonom çözümlerin kaza oranlarını anlamlı ölçüde düşürme potansiyelini işaret etmektedir [103]. Sektörel ölçekte bakıldığında LSP'lerin otonom teslimat çözümlerine ilgisinin hızla arttığı, farklı paydaşların araç geliştirme ve test süreçlerine aktif katılım gösterdiği görülmektedir. Halihazırda kamu altyapılarında yürütülen pilot projeler, filoların ve hizmet kapsamının coğrafi olarak genişletilmesine yönelik deneysel bir zemin oluşturmaktadır [104]. Makro ölçekte ise otonom araçlar ölümcül kazaların önlenmesi, yaşlı ve engelli bireyler için erişilebilirliğin artırılması, yol kapasitesinin iyileştirilmesi, yakıt tasarrufu ve emisyonların düşürülmesi gibi çok boyutlu faydalarla ulaşım ekosistemini dönüştürme potansiyeline sahiptir [105]. Bu bütünlük içinde değerlendirildiğinde, otonom yer aracı hem operasyonel verimlilik hem de sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumludur. Elektrikli kargo bisikleti (Alt3), kentsel teslimatların daha sürdürülebilir alternatiflere doğru eğilimin somut göstergelerinden biridir. Fosil yakıtlardan elektrik enerjisine geçişle birlikte, bisiklet temelli çözümler çevresel etkileri azaltma ve gürültü kirliliğini

düşürme potansiyeli taşımaktadır [106]. Nitekim kent içi kurye gönderilerinde otomobillerin yerine elektrikli kargo bisikletinin kullanılması, tıkanıklıkla mücadele, emisyonların azaltılması ve dar sokaklı, yoğun bölgelerde erişilebilirliğin artırılması açısından uygulanabilir bir strateji olarak raporlanmaktadır [107]. Yöntem kent merkezlerinde araç trafiğine kapalı alanlar için de uygun çözüm sağlamaktadır. Ancak yöntemin avantajlarına eşlik eden sınırlılıkları da söz konusudur. Elektrikli kargo bisikletinin kullanımının çoğunlukla belirli tür gönderilerle sınırlı kaldığı, dolayısıyla taşıma kapasitesinin ve görev çeşitliliğinin geleneksel araçlara kıyasla dar bir bantta seyrettiği belirtilmiştir [108]. Ayrıca sürücü yorgunluğu gibi ergonomik riskler ve daha düşük azami hız operasyonel verimliliği sınırlayabilmektedir [109]. Bu gerekçelerle, elektrikli kargo bisikleti çevresel sürdürülebilirlik ve kentsel erişilebilirlik bakımından anlamlı katkılar sunsa da kapasite-hız kısıtları ve görev profili daralması nedeniyle genel sıralamada dördüncü sırada konumlanmıştır. Geleneksel teslimat araçlarının en düşük performansı sergilemesi, bu araçların çevresel, ekonomik ve operasyonel sürdürülebilirlik ölçütleri açısından günümüz kentsel lojistik gereksinimlerini karşılamakta yetersiz kaldığını göstermektedir. Bu bulgu, artan trafik yoğunluğu, emisyon düzeyleri ve enerji tüketimi gibi sürdürülebilirlik sorunları dikkate alındığında, geleneksel teslimat araçlarının SAT süreçlerinde uzun vadede tercih edilmemesi gerektiğine işaret etmektedir. Dolayısıyla kentsel lojistik sistemlerinin daha sürdürülebilir bir yapıya kavuşturulabilmesi için elektrikli ve yenilikçi teslimat çözümlerinin öncelikli olarak değerlendirilmesi gerektiği ortaya konulmaktadır.

## 6. Sonuçlar (Conclusions)

Günümüzde kentsel lojistik sistemler, artan nüfus yoğunluğu, hızla büyüyen e-ticaret hacmi ve ulaşım altyapısındaki yetersizlikler nedeniyle giderek daha karmaşık bir yapıya evrilmektedir. SAT yöntemlerinin sürdürülebilirliği, çevresel etkilerin azaltılması, ulaşım verimliliğinin artırılması ve kent içi yaşam kalitesinin korunması açısından kritik önem taşımaktadır. Geleneksel teslimat yöntemleri yoğun araç trafiği üzerinden karbon emisyonlarını ve hava kirliliğini artırmakta, trafik sıkışıklığını tetikleyerek çevresel ve ekonomik maliyetleri yükseltmektedir. Bu nedenle sürdürülebilir ve yenilikçi lojistik çözümlerin geliştirilmesi zorunlu hale gelmektedir. Bu çalışmada lojistik ağlarının en verimsiz ve kirlenici aşamasını oluşturan ve SAT faaliyetlerinin gerçekleştirildiği son aşamasında kullanılan farklı teslimat araçlarının sürdürülebilirlik perspektifinden performanslarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. SAT araçlarını değerlendirmek amacıyla karar verme sürecindeki belirsizlik ve çelişki durumlarını da dikkate almak üzere NB-SAW yöntemi kullanılmıştır. Analiz bulguları, elektrikli yük taşıma aracının (Alt2) en uygun alternatif olduğunu, bunu kargo tramvayı (Alt4) ve otonom yer aracının (Alt1) izlediğini göstermektedir. Elektrikli kargo bisikleti (Alt3) dördüncü sırada yer alırken geleneksel teslimat aracı (Alt5) en düşük performansı sergilemiştir. Bu sonuçlar sürdürülebilir lojistik politikalarının tasarımında teknolojik yenilik temelli çözümlerin güçlü bir seçenek sunduğunu ve uygun koşullar altında çevresel ve operasyonel hedefleri birlikte destekleyebileceğini ortaya koymaktadır. Yöntemde kullanılan  $\lambda$  değeri literatürle uyumlu olacak şekilde 0,5 olarak kabul edilmiştir [68]. Ancak farklı  $\lambda$  değerleri için yöntemin sonuçlarının tutarlılığını gözlemleyebilmek amacıyla  $\lambda$  için 0,1-0,9 aralığında değerler kullanılarak duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlar, yöntemin sağlamlılığını ortaya koymuştur. Ayrıca, önerilen yöntemin farklı ÇKKV yöntemleri ile karşılaştırılarak sonuçlarının güvenilirliğini ve tutarlılığını değerlendirmek amacıyla karşılaştırmalı analiz gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda NB-SAW ile elde edilen sonuçlar, NB-WASPAS yöntemi sonuçları ile kıyaslanmıştır. Bu yönüyle çalışma, sürdürülebilir SAT araçlarına ilişkin güvenilir ve

karşılaştırmalı bir değerlendirme sunarak karar vericiler için uygulanabilir bir metodolojik çerçeve sağlamaktadır.

Çalışmada sürdürülebilir kentsel lojistik perspektifinden SAT faaliyetlerinde kullanılan farklı alternatiflerin kapsamlı kriterler üzerinden değerlendirilmesi için benimsenen NB-SAW yöntemi, belirsizlik ve çelişkiyi açık biçimde modelleyebilmesi, karar vericilerin bilgi eksikliklerini dikkate alabilmesi ve daha hassas sıralamalar sunabilmesi nedeniyle karmaşık bir yapı sergileyen lojistik karar problemleri için uygun bir araç sağlamıştır. Elde edilen sonuçların LSP'lere ve yerel yönetimlere, strateji geliştirmelerinde ve yatırımlarını yönlendirmelerinde yol gösterici olacağı umulmaktadır. Bununla birlikte çalışmanın bazı sınırlılıkları mevcuttur. Bunlardan ilki, kullanılan NB-SAW yönteminin SAW yaklaşımının doğası gereği kriterler arasında bağımsızlık varsayımına dayanmasıdır. Bu nedenle kriterler arasındaki olası etkileşimler veya korelasyon ilişkileri mevcut model kapsamında açıkça temsil edilememektedir. Ayrıca kriter setinde yer alan göstergeler arasında boyutsal fazlalık bulunması ihtimali söz konusudur. Bu durum, ilerleyen çalışmalarda korelasyon analizi veya temel bileşen analizi (Principal Component Analysis-PCA) gibi yöntemler kullanılarak ele alınabilir. Bununla birlikte, çalışmada benimsenen nötrosofik yaklaşım, uzman değerlendirmelerinde ortaya çıkan belirsizlik, kararsızlık ve çelişkilerin modellenmesine olanak tanıyarak klasik bulanık SAW modellerine kıyasla önemli bir metodolojik avantaj sunmaktadır. Sınırlılıklardan bir diğeri, çalışmada değerlendirilen SAT araçlarına ilişkin alternatif kümesinin, SAT faaliyetlerinde fiili olarak kullanabilen veya yakın vadede uygulanabilirliği bulunan yöntemlerle sınırlı tutulmuş olmasıdır. Bu durum, çalışmanın kapsamını pratik uygulanabilirlik açısından güçlendirse de alternatif sayısının artırılması hâlinde daha geniş bir alternatif kümesinin değerlendirilebileceği açıktır. Bununla birlikte, değerlendirmeye dâhil edilmeyen filo yaşlanması, batarya teknolojilerindeki ilerleme, enerji fiyatları, trafik düzenlemeleri ve talep mevsimselliği gibi dinamik faktörler zaman içinde görece üstünlükleri tersine çevirebilir niteliktedir. Elde edilen performans sıralamaları, yalnızca dikkate alınan kriter seti üzerinden ve çalışmaya katkı sağlayan uzmanların görüşlerine dayanmaktadır. Sonuçların genellebilirliğini artırabilmek adına gelecekteki araştırmalarda kriter çerçevesi, kullanıcı memnuniyeti, hizmet güvenilirliği, operasyonel esneklik, güvenlik ve kurumsal kapasite gibi ek kriterlerle genişletilebilir. Ayrıca yapay zekâ destekli rota optimizasyonu, dinamik talep tahmini, gerçek zamanlı filo yönetimi ve akıllı ulaşım sistemleri entegrasyonuna yönelik çalışmalar yürütülebilir. Bu yönelimlerin sürdürülebilir kentsel lojistik sistemlerinde hem etkinliği hem de dayanıklılığı artırma potansiyeli bulunmaktadır. Bu doğrultuda çalışmanın bulguları politika yapımcılar ve uygulayıcılar için somut bir başlangıç noktası sunmaktadır. Önerilen genişletme alanları, sürdürülebilir kent içi lojistik planlamalarında karar alma süreçlerine, yatırım ve teşvik planlamalarına doğrudan katkı sağlayacaktır.

## Kaynaklar (References)

1. Zhongming, Z., Lu Li., Zhang W., Liu W., World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization, 2020.
2. Bai, X., Shi, P., Liu, Y., Society: Realizing China's urban dream. Nature, 509 (7499), 158-160, 2014.
3. Dünya Bankası. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators#>. Erişim Tarihi Şubat 19, 2025.
4. Boffa, M., Logistics Constraints for International E-commerce. In Postal Strategies: Logistics, Access, and the Environment (pp. 359-369). Cham: Springer Nature Switzerland, 2023.
5. Boz E., Çalık A., Şahin Y., Solution approaches for the green vehicle routing problem with time window and simultaneous pickup and delivery. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 39 (2), 757-770, 2024.

6. International Energy Agency. Global EV Outlook 2021. International Energy Agency Web Site. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>. Yayın tarihi Nisan 2021. Erişim tarihi 27 Şubat 2026.
7. Liu, R., Pieniak, Z., Verbeke, W., Consumers' attitudes and behaviour towards safe food in China: A review. *Food Control*, 33(1), 93-104, 2013.
8. Sharfman, M. P., Meo, M., Ellington, R. T., Regulation, business, and sustainable development: The antecedents of environmentally conscious technological innovation. *American Behavioral Scientist*, 44 (2), 277-302, 2000.
9. Shaikh, I. N., Gupta, A. K., Srivastava, M. K., Towards Achieving Customer Satisfaction in Last Mile Delivery for E-commerce Sector: A MCDM Approach. *Data Science and Intelligent Computing Techniques*, 337-346, 2023.
10. Wang, B., Deng, N., Liu, X., Sun, Q., Wang, Z., Effect of energy efficiency labels on household appliance choice in China: sustainable consumption or irrational intertemporal choice?. *Resources, Conservation and Recycling*, 169, 105458, 2021.
11. Ghajargar, M., Zenezini, G., ve Montanaro, T., Home delivery services: innovations and emerging needs. *IFAC-PapersOnLine*, 49 (12), 1371-1376, 2016.
12. Arvidsson, N., Givoni, M., Woxenius, J., Exploring last mile synergies in passenger and freight transport. *Built Environment*, 42 (4), 523-538, 2016.
13. Retallack, A. E., Ostendorf, B., Current understanding of the effects of congestion on traffic accidents. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16 (18), 3400, 2019.
14. Toledo, C. A. M., Congestion indicators and congestion impacts: a study on the relevance of area-wide indicators. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 16, 781-791, 2011.
15. Ye, S., Research on urban road traffic congestion charging based on sustainable development. *Physics Procedia*, 24, 1567-1572, 2012.
16. Rehdanz, K., Maddison, D., Local environmental quality and life-satisfaction in Germany. *Ecological Economics*, 64(4), 787-797, 2008.
17. Braubach, M., Tobollik, M., Mudu, P., Hiscock, R., Chapizanis, D., Sarigiannis, D. A., Martuzzi, M., Development of a quantitative methodology to assess the impacts of urban transport interventions and related noise on well-being. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12 (6), 5792-5814, 2015.
18. Saighani, A., Sommer, C., Potentials for reducing carbon dioxide emissions and conversion of renewable energy for the regional transport market—a case study. *Transportation Research Procedia*, 25, 3479-3494, 2017.
19. Wey, W. M., Constructing urban dynamic transportation planning strategies for improving quality of life and urban sustainability under emerging growth management principles. *Sustainable Cities and Society*, 44, 275-290, 2019.
20. Allen, J., Browne, M., Tanner, G., Anderson, S., Christodoulou, G., Jones, P., Analysing the potential impacts of sustainable distribution measures in UK urban areas. In *Logistics Systems for Sustainable Cities*. 32, 251-262, 2004.
21. Patier, D., Alligier, L., On-line retailing in France current and future effects on City Logistics. In *Logistics Systems for Sustainable Cities* 22, 381-395, 2004.
22. Anderson, S., Allen, J., Browne, M., Urban logistics—how can it meet policy makers' sustainability objectives?. *Journal of Transport Geography*, 13 (1), 71-81, 2025.
23. Taniguchi, E., Thompson, R. G., Yamada, T., Predicting the effects of city logistics schemes. *Transport Reviews*, 23 (4), 489-515, 2003.
24. Barceló, J., Grzybowska, H., Pardo, S., Combining vehicle routing models and microscopic traffic simulation to model and evaluating city logistics applications. In *The proceedings of the 16th mini-EURO conference and 10th meeting of EWGT*, Italy, Eylül, 2005.
25. Yeh, W. C., Chuang, M. C., Using multi-objective genetic algorithm for partner selection in green supply chain problems. *Expert Systems with Applications*, 38 (4), 4244-4253, 2011.
26. Niu, S. H., Ong, S. K., Nee, A. Y. C., An enhanced ant colony optimiser for multi-attribute partner selection in virtual enterprises. *International Journal of Production Research*, 50 (8), 2286-2303, 2023.
27. Van Duin, R., Slabbekoom, M., Tavasszy, L., Quak, H., Identifying dominant stakeholder perspectives on urban freight policies: A Q-analysis on urban consolidation centres in the Netherlands. *Transport*, 33 (4), 867-880, 2018.
28. Sahoo, S. K., Goswami, S. S., A comprehensive review of multiple criteria decision-making (MCDM) methods: advancements, applications, and future directions. *Decision Making Advances*, 1 (1), 25-48, 2023.
29. Lee, H., Chen, M., Pham, H. T., Choo, S., Development of a decision making system for installing unmanned parcel lockers: Focusing on residential complexes in Korea. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 23 (6), 2713-2722, 2019.
30. Aljohani, K., The role of last-mile delivery quality and satisfaction in online retail experience: An empirical analysis. *Sustainability*, 16 (11), 4743, 2024.
31. Ranieri, L., Digiesi, S., Silvestri, B., Roccotelli, M., A review of last mile logistics innovations in an externalities cost reduction vision. *Sustainability*, 10 (3), 782, 2018.
32. Cheng, J. H., Chen, S. S., Chuang, Y. W., An application of fuzzy delphi and Fuzzy AHP for multi-criteria evaluation model of fourth party logistics. *WSEAS Transactions on Systems*, 7 (5), 466-478, 2008.
33. Hu, H., Xiong, H., You, Y., Yan, W. A mixed integer programming model for supplier selection and order allocation problem with fuzzy multiobjective. *Scientific Programming*, 2016 (1), 9346781, 2016.
34. Wańróbski, J., Małecki, K., Kijewska, K., Iwan, S., Karczmarczyk, A., Thompson, R. G., Multi-criteria analysis of electric vans for city logistics. *Sustainability*, 9 (8), 1453, 2017.
35. Jiang, X., Wang, H., Guo, X., Gong, X., Using the FAHP, ISM, and MICMAC approaches to study the sustainability influencing factors of the last mile delivery of rural E-commerce logistics. *Sustainability*, 11 (14), 3937, 2019.
36. Raj, A., Sah, B., Analyzing critical success factors for implementation of drones in the logistics sector using grey-DEMATEL based approach. *Computers & Industrial Engineering*, 138, 106118, 2019.
37. Büyüközkan, G., Uztürk, D., A hybrid methodology for last mile delivery strategy and solution selection at smart cities. In *Transactions on Engineering Technologies: World Congress on Engineering*, Singapore: Springer Singapore, 217-231, 2019.
38. Melkonyan, A., Gruchmann, T., Lohmar, F., Kamath, V., Spinler, S., Sustainability assessment of last-mile logistics and distribution strategies: The case of local food networks. *International Journal of Production Economics*, 2020.
39. Nur, F., Alrahaheh, A., Burch, R., Babski-Reeves, K., Marufuzzaman, M., Last mile delivery drone selection and evaluation using the interval-valued inferential fuzzy TOPSIS. *Journal of Computational Design and Engineering*, 7 (4), 397-411, 2020.
40. Švadlenka, L., Simić, V., Dobrodolac, M., Lazarević, D., Todorović, G., Picture fuzzy decision-making approach for sustainable last-mile delivery. *IEEE Access*, 8, 209393-209414, 2020.
41. Simić, V., Lazarević, D., Dobrodolac, M., Picture fuzzy WASPAS method for selecting last-mile delivery mode: a case study of Belgrade. *European Transport Research Review*, 13 (2), 1-22, 2021.
42. Jovanović, B., Šarac, D., Čačić, N., Performance benchmarking of European postal incumbents with TOPSIS and BMW-TOPSIS. *Utilities Policy*, 91, 101845, 2024.
43. Pathak, V. K., Garg, D., Agarwal, A., Analysing alternatives for last mile delivery performance: an application of VIKOR. *International Journal of Advanced Operations Management*, 14 (3), 264-279, 2022.
44. Saha, A., Simic, V., Senapati, T., Dabic-Miletic, S., Ala, A., A dual hesitant fuzzy sets-based methodology for advantage prioritization of zero-emission last-mile delivery solutions for sustainable city logistics. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 31 (2), 407-420, 2022.
45. Yılmaz, Ş. F., Demirel, N., Evaluation of out-of-home last-mile delivery methods in terms of Sustainability. *International Journal of Industrial Engineering*, 30 (5), 2023.
46. Pourmohammadreza, N., Jokar, M. R. A., A novel two-phase approach for optimization of the last-mile delivery problem with service options. *Sustainability*, 15 (10), 8098, 2023.
47. Bonilla, M. A. M., Da Silva, B. S., Schmitt, M. B., Bouzon, M., Sustainable practices in last-mile logistics of small Brazilian e-retailers: an analysis using an MCDM approach. *Academia Revista Latinoamericana de Administración*, 37 (3), 383-408, 2024.
48. Lazarević, D., Popović, D., Čodur, M. Y., Dobrodolac, M., Fuzzy logic approach for evaluating electromobility alternatives in last-mile delivery: Belgrade as a case study. *Energies*, 17 (24), 6307, 2024.
49. Moslem, S., Gündoğdu, F. K., Saylam, S., Pilla, F., A hybrid decomposed fuzzy multi-criteria decision-making model for optimizing

- parcel lockers location in the last-mile delivery landscape. *Applied Soft Computing*, 154, 111321, 2024.
50. Tadić, S., Krstić, M., Radovanović, L., Assessing strategies to overcome barriers for drone usage in last-mile logistics: A novel hybrid fuzzy MCDM model. *Mathematics*, 12 (3), 367, 2024.
  51. Tran, T. P. A., Gavade, S. A., Evaluating sustainable last mile delivery solutions: A multi-criteria decision analysis. *Journal of Supply Chain Management Science*, 6 (1-2), 2025.
  52. Veljović, M., Tadić, S., Krstić, M., Last word in last-mile logistics: A novel hybrid multi-criteria decision-making model for ranking Industry 4.0 technologies. *Mathematics*, 12 (13), 2010, 2024.
  53. Kanık, Z. B., Erişkan, S., Soysal, M., Ömürğönülşen, M., A hybrid approach based on qualitative and quantitative techniques for analyzing last-mile parcel delivery. *OPSEARCH*, 1-41, 2025.
  54. Kaur, G., Tandon, A., Verma, A., Anand, S., Prioritizing barriers for sustainable last-mile delivery in online retail supply chain: a spherical fuzzy AHP-based approach. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 1-23, 2025.
  55. Krstic, M., Tadic, S., A. Vcorovic, and M. Veljovic, "Optimization of last-mile delivery alternatives using the fuzzy FARE and ADAM multi-criteria decision-making methods," *Journal of Engineering Management and Systems Engineering*, 4 (2), 98-108, 2025.
  56. Maravić, A., Pajić, V., Andrejić, M., A holistic human-based approach to last-mile delivery: stakeholder-based evaluation of logistics strategies. *Logistics*, 9 (4), 135, 2025.
  57. Puška, A., Dragić, R., Prdić, N., Čosić, Đ., Novaković Božić, N., Štilić, A., Digital technologies selection for sustainable urban logistics in last-mile delivery under conditions of uncertainty. *Sustainability*, 17 (22), 10413, 2025.
  58. 2ZeroEmission. FREVIEW – Freight Electric Vehicles in Urban Europe Project. 2ZeroEmission Web Site. <https://www.2zeroemission.eu/project-highlight/freview-freight-electric-vehicles-in-urban-europe-project/>. Yayın tarihi Aralık 8, 2024. Erişim tarihi Mart 12, 2025.
  59. Gruber, J., Ehrler, V., Lenz, B., Technical potential and user requirements for the implementation of electric cargo bikes in courier logistics services. In 13th World Conference on Transport Research (WCTR). Mayıs, 2023
  60. Wrighton, S., Reiter, K., CycleLogistics–moving Europe forward!. *Transportation Research Procedia*, 12, 950-958, 2016
  61. Öcal, A., Analysis of emotional attitudes toward autonomous vehicles: A comparative approach using language models *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 40 (4), 2515-2526, 2025.
  62. Valdez, M., Cook, M., Potter, S., Humans and robots coping with crisis–Starship, Covid-19 and urban robotics in an unpredictable world. In 2021 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2021.
  63. Günay, G., Dündar, S., Sürücüsüz yük ulaşımının geleceği. In INARS International Congress on Sciences and Engineering for Sustainability, 2021.
  64. Behiri, W., Belmokhtar-Berraf, S., Chu, C., Urban freight transport using passenger rail network: Scientific issues and quantitative analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 115, 227-245, 2018.
  65. Dündar, S., Selection of compost plant location by K-Means and ARAS methods in TR83 region. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38 (4), 2607-2623, 2023.
  66. Erik, A., Kuvvetli, Y., Fuzzy multi-criteria decision-making framework for digital marketing integration evaluation of manufacturing facilities *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 40 (3), 1689-1704, 2025.
  67. Stević, Ž., Durmić, E., Gajić, M., Pamučar, D., Puška, A., A novel multi-criteria decision-making model: interval rough SAW method for sustainable supplier selection. *Information*, 10 (10), 292, 2019.
  68. Ajay, D., Manivel, M., Aldring, J., Neutrosophic Fuzzy SAW method and it's application. *The International Journal of Analytical and Experimental Modal Analysis*, 11 (8), 881-887, 2019.
  69. Hsu, H. M., Chen, C. T., Aggregation of fuzzy opinions under group decision making. *Fuzzy Sets and Systems*, 79 (3), 279-285, 1996.
  70. Kengpol, A., Tuamsee, S., Tuominen, M., The development of a framework for route selection in multimodal transportation. *The International Journal of Logistics Management*, 25 (3), 581-610, 2014.
  71. Özbek, A., LOPCOW tabanlı MOORA yöntemiyle kargo şirketi seçimi. *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 15(1), 139-159, 2025.
  72. Kumru, M., Kumru, P. Y., Analytic hierarchy process application in selecting the mode of transport for a logistics company. *Journal of Advanced Transportation*, 48 (8), 974-999, 2014.
  73. Wang, Y., Yeo, G. T., Intermodal route selection for cargo transportation from Korea to Central Asia by adopting Fuzzy Delphi and Fuzzy ELECTRE I methods. *Maritime Policy & Management*, 45 (1), 3-18, 2018.
  74. Pham, T. Y., Yeo, G. T., Evaluation of transshipment container terminals' service quality in Vietnam: From the shipping companies' perspective. *Sustainability*, 11 (5), 1503, 2019.
  75. Koothongsumrit, N., Meethom, W., An integrated approach of fuzzy risk assessment model and data envelopment analysis for route selection in multimodal transportation networks. *Expert Systems with Applications*, 171, 114342, 2021.
  76. Alazzawi, A., Žak, J., MCDM/A based design of sustainable logistics corridors combined with suppliers selection. the case study of freight movement to Iraq. *Transportation Research Procedia*, 47, 577-584, 2020.
  77. Deveci, M., Mishra, A. R., Gokasar, I., Rani, P., Pamucar, D., Özcan, E., A decision support system for assessing and prioritizing sustainable urban transportation in metaverse. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 31 (2), 475-484, 2022.
  78. Kopytov, E., Abramov, D., Multiple-criteria analysis and choice of transportation alternatives in multimodal freight transport system. *Transport and Telecommunication*, 13 (2), 148, 2012.
  79. Verlinde, S., Macharis, C., Milan, L., Kin, B., Does a mobile depot make urban deliveries faster, more sustainable and more economically viable: results of a pilot test in Brussels. *Transportation Research Procedia*, 4, 361-373, 2014.
  80. Arunyanart, S., Ohmori, S., Yoshimoto, K., Selection of export route option in GMS region: recommendation for current situation. *Journal of Japan Industrial Management Association*, 67 (2E), 193-201, 2016.
  81. Stoilova, S., Study of railway passenger transport in the European Union. *Tehnički Vjesnik*, 25 (2), 587-595, 2018
  82. Kaewfak, K., Ammarapala, V., Huynh, V. N., Multi-objective optimization of freight route choices in multimodal transportation. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 14 (1), 794-807, 2021.
  83. Krstić, M., Tadić, S., Kovač, M., Roso, V., Zečević, S., A novel hybrid MCDM model for the evaluation of sustainable last mile solutions. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021 (1), 5969788, 2021.
  84. Garus, A., Alonso, B., Raposo, M. A., Grosso, M., Krause, J., Mourtzouchou, A., Ciuffo, B., Last-mile delivery by automated droids. Sustainability assessment on a real-world case study. *Sustainable Cities and Society*, 79, 103728, 2022.
  85. Kabashkin, I., Lucina, J., Development of the model of decision support for alternative choice in the transportation transit system. *Transport and Telecommunication*, 16 (1), 61, 2015.
  86. Hanaoka, S., Kunadhamraks, P., Multiple criteria and fuzzy based evaluation of logistics performance for intermodal transportation. *Journal of Advanced Transportation*, 43 (2), 123-153, 2009.
  87. Madleňák, R., Madleňáková, L., Multi-criteria evaluation of e-shop methods of delivery from the customer's perspective. *Transport Problems*, 15 (1), 5-14, 2020.
  88. Dzemydienė, D., Burinskienė, A., Miliuskas, A., Integration of multi-criteria decision support with infrastructure of smart services for sustainable multi-modal transportation of freights. *Sustainability*, 13 (9), 4675, 2021.
  89. Elmacioğlu, N., Demirel, N., Öcal, O., A hybrid framework for improving sustainable urban mobility: integrating multi-criteria decision-making and maximal covering location problem for bike-sharing system site selection. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 41 (1), 346-369, 2025.
  90. Sah, B., Gupta, R., Bani-Hani, D., Analysis of barriers to implement drone logistics. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 24 (6), 531-550, 2021.
  91. Ozdemir, S., Unveiling environmental resilience: A data-driven multi-criteria decision-making approach. *Environmental Impact Assessment Review*, 108, 107607, 2024.

92. Toraman, Ö. G. Y., Lojistikte yeni teknoloji kullanımı: elektrikli araçlar üzerine bir çalışma. *Lojistiğin Geleceği-2*, 90, 2023.
93. Goeke, D., Schneider, M., Routing a mixed fleet of electric and conventional vehicles. *European Journal of Operational Research*, 245 (1), 81-99, 2015.
94. Kazancı, U., Tanyaş, M., E-ticarette son aşama teslimatlarının kentsel lojistiğe olan etkileri. *Tedarik Zinciri ve Lojistik Yönetiminde Dijitalleşme ve Güncel Uygulamalar*, Editörler: Doç. Dr. Egemen İpek, Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Turgut, Paradigma Akademi, Çanakkale, 53-79, 2024.
95. Moore, A. M., Innovative scenarios for modeling intra-city freight delivery. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 3, 100024, 2019.
96. Napoli, G., Polimeni, A., Micari, S., Dispenza, G., Antonucci, V., Andaloro, L., Freight distribution with electric vehicles: A case study in Sicily. *Delivery van development. Transportation Engineering*, 3, 100048, 2021.
97. Ronald, N., Yang, J., Thompson, R. G., Exploring co-modality using on-demand transport systems. *Transportation Research Procedia*, 12, 203-212, 2016.
98. Pietrzak, O., Pietrzak, K., Cargo tram in freight handling in urban areas in Poland. *Sustainable Cities and Society*, 70, 102902, 2021.
99. Merksiz-Guranowska, A., Shramenko, N., Kiciński, M., Shramenko, V., Simulation model for operational planning of city cargo transportation by trams in conditions of stochastic demand. *Energies*, 16 (10), 4076, 2023.
100. De Langhe, K., Meersman, H., Sys, C., Van de Voorde, E., Vanelslander, T., How to make urban freight transport by tram successful?. *Journal of Shipping and Trade*, 4 (1), 13, 2019.
101. Van der Kaauwen, G., Van Duin, R., Robotisation of urban freight transport. *Vervoer. Werkdagen*, 235-245, 2018.
102. Engesser, V., Rombaut, E., Vanhaverbeke, L., Lebeau, P., Autonomous delivery solutions for last-mile logistics operations: A literature review and research agenda. *Sustainability*, 15 (3), 2774, 2023.
103. Fedorko, G., Honus, S., Salai, R., Comparison of the traditional and autonomous AGV systems. In *MATEC Web of Conferences*, 134, 00013, 2017.
104. Guzman, L. A., Cantillo-Garcia, V. A., Arellana, J., Sarmiento, O. L., User expectations and perceptions towards new public transport infrastructure: evaluating a cable car in Bogotá. *Transportation*, 50 (3), 751-771, 2023.
105. Fagnant, D. J., Kockelman, K., Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 77, 167-181, 2015.
106. De Mello Bandeira, R. A., Goes, G. V., Gonçalves, D. N. S., de Almeida D'Agosto, M., de Oliveira, C. M., Electric vehicles in the last mile of urban freight transportation: A sustainability assessment of postal deliveries in Rio de Janeiro-Brazil. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 67, 491-502, 2019.
107. Gruber, J., Kihm, A., Lenz, B., A new vehicle for urban freight? An ex-ante evaluation of electric cargo bikes in courier services. *Research in Transportation Business & Management*, 11, 53-62, 2014.
108. Melo, S., Baptista, P., Evaluating the impacts of using cargo cycles on urban logistics: Integrating traffic, environmental and operational boundaries. *European Transport Research Review*, 9 (2), 30, 2017.
109. Llorca, C., Moeckel, R., Assesment of the potential of cargo bikes and electrification for last-mile parcel delivery by means of simulation of urban freight flows. *European Transport Research Review*, 13 (1), 33, 2021.