KAYSERİ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ULUSLARARASI TİCARET VE LOJİSTİK **ANABİLİM DALI**

ÇOK MODLU MİKRO HAREKETLİLİK SİSTEMLERİNİN DİRENÇLİ SÜRDÜRÜLEBİLİR VE AKILLI KENT LOJİSTİĞİ ÇERÇEVESİNDE BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMIYLA MODELLENMESİ

DOKTORA

TEZİ

SALİH ÖZDEMİR

DANIŞMANLAR
PROF. DR. TUNCAY ÇELİK
PROF. DR. NESLİHAN DEMİREL



2025

T.C.
KAYSERİ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ULUSLARARASI TİCARET VE LOJİSTİK ANABİLİM DALI

ÇOK MODLU MİKRO HAREKETLİLİK SİSTEMLERİNİN DİRENÇLİ SÜRDÜRÜLEBİLİR VE AKILLI KENT LOJİSTİĞİ ÇERÇEVESİNDE BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMIYLA MODELLENMESİ

(Doktora Tezi)

Hazırlayan
Salih ÖZDEMİR

Danışmanlar
Prof. Dr. Tuncay ÇELİK
Prof. Dr. Neslihan DEMİREL

Jüri Üyeleri
1. Prof. Dr. Tuncay ÇELİK
2. Prof. Dr. Emel KIZILKAYA AYDOĞAN
3. Doç. Dr. Yılmaz DELİCE
4. Doç. Dr. Ebru SÖNMEZ KARAPINAR
5. Dr. Öğr. Üyesi Fatma ŞENER FİDAN

Bu tez; YÖK 100/2000 Projesi kapsamında desteklenmiştir.

Kasım, 2025
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu tezin kendi çalışmam olduğunu, planlanmasından yazımına kadar hiçbir aşamasında etik dışı davranışımın olmadığını, tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları kaynaklar listesine aldığımı, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

Salih ÖZDEMİR

İmza

	TEZ İNTİHAL RAPORU TESLİM FORMU	Doküman No	FR-287
		İlk Yayın Tarihi	8/02/2022
		Revizyon Tarihi	-
		Revizyon No	0
		Sayfa No	1/1

T.C.
Kayseri Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğü

Anabilim Dalı : Uluslararası Ticaret ve Lojistik
Program Adı : Doktora
Tez Başlığı : Çok Modlu Mikro Hareketlilik Sistemlerinin Dirençli Sürdürülebilir ve Akıllı Kent Lojistiği Çerçevesinde Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımıyla Modellenmesi

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmasının a) Giriş, b) Ana bölümler ve c) Sonuç kısımlarından oluşan (Kapak, Önsöz, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) toplam 91 sayfalık kısmına ilişkin 05/11/2025 tarihinde ***Turnitin*** intihal programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan özgünlük raporuna göre tezin benzerlik oranı: **%4'** tür.

Uygulanan filtrelemeler:

1- Giriş dahil
2- Ana Bölümler dahil
3- Sonuç dahil
4- Alıntılar dahil
5- Kapak hariç
6- Önsöz ve Teşekkür hariç
7- İçindekiler hariç
8- Kaynakça hariç
9- Özet hariç
10- Yedi (7) kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Kayseri Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Önerisi Hazırlama, Tez Yazma ve Teslim Yönergesini inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim. 06/11/2025

Danışman	Öğrenci
Prof. Dr. Tuncay ÇELİK	Salih ÖZDEMİR
İmza	İmza

Hazırlayan	Onaylayan
BKK	KASGEM

KILAVUZA UYGUNLUK

Çok Modlu Mikro Hareketlilik Sistemlerinin Dirençli Sürdürülebilir ve Akıllı Kent Lojistiği Çerçevesinde Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımıyla Modellenmesi başlıklı Doktora tezi, Kayseri Üniversitesi Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan	**Tez Danışman**
Salih ÖZDEMİR	Prof. Dr. Tuncay ÇELİK
İmza	İmza

Uluslararası Ticaret ve Lojistik ABD Başkanı

Dr. Öğr. Üyesi Ayhan DURAK

İmza

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Prof. Dr. Tuncay ÇELİK danışmanlığında Salih ÖZDEMİR tarafından hazırlanan "Çok Modlu Mikro Hareketlilik Sistemlerinin Dirençli Sürdürülebilir ve Akıllı Kent Lojistiği Çerçevesinde Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımıyla Modellenmesi" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından Kayseri Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Uluslararası Ticaret ve Lojistik Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

04/11/2025

JÜRİ:

Danışman	**: Prof. Dr. Tuncay ÇELİK**	İmza
Üye	**: Prof. Dr. Emel KIZILKAYA AYDOĞAN**	İmza
Üye	**: Doç. Dr. Yılmaz DELİCE**	İmza
Üye	**: Doç. Dr. Ebru SÖNMEZ KARAPINAR**	İmza
Üye	**: Dr. Öğr. Üyesi Fatma ŞENER FİDAN**	İmza

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun ……...…… tarih ve …… sayılı kararı ile onaylanmıştır.

……. /……../ ……

Doç. Dr. Ahmet TERZİ

İmza

Enstitü Müdürü

ÖN SÖZ / TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanması sürecinde, bilgi ve yönlendirmeleriyle bana rehberlik eden, sabırla destek olan değerli danışmanlarım Prof. Dr. Tuncay ÇELİK ve Prof. Dr. Neslihan DEMİREL'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tezin analiz sürecinin şekillenmesinde katkılarını esirgemeyen ve yardımına ihtiyaç duyduğum anlarda kıymetli fikirleriyle destek veren Doç. Dr. Fulya ZARALI ve Doç. Dr. Alptekin ULUTAŞ'a teşekkürü borç bilirim.

Aynı zamanda tez savunma sınavımda değerli katkılarıyla çalışmanın gelişimine katkı sağlayan Prof. Dr. Emel KIZILKAYA AYDOĞAN, Doç. Dr. Yılmaz DELİCE, Doç. Dr. Ebru SÖNMEZ KARAPINAR ve Dr. Öğr. Üyesi Fatma ŞENER FİDAN'a içtenlikle teşekkür ederim.

Tez kapsamında gerekli veri ve destek konusunda yardımlarını esirgemeyen Kayseri Ulaşım A.Ş.'ye ve süreç boyunca yardımcı olan değerli arkadaşlarım Şükrü Alper DEMİRKOPARAN ve Nimet ELMACIOĞLU'na teşekkür ederim.

Son ve en önemlisi olarak, varlıklarıyla bana güç veren, sevgilerini ve desteklerini daima hissettiren ve emekleriyle her zaman yanımda olan, haklarını asla ödeyemeyeceğim aileme sonsuz teşekkürlerimle…

Salih ÖZDEMİR, Kayseri, 2025

ÇOK MODLU MİKRO HAREKETLİLİK SİSTEMLERİNİN DİRENÇLİ SÜRDÜRÜLEBİLİR VE AKILLI KENT LOJİSTİĞİ ÇERÇEVESİNDE BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMIYLA MODELLENMESİ

Salih ÖZDEMİR

Kayseri Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Doktora Tezi, Kasım 2025
Danışman: Prof. Dr. Tuncay ÇELİK
İkinci Danışman: Prof. Dr. Neslihan DEMİREL

ÖZET

Modern kent içi ulaşım sistemlerinin giderek daha karmaşık bir yapıya dönüşmesi, yalnızca sürdürülebilirlik sorunlarını gündeme getirmekle kalmamakta aynı zamanda bu sistemlerin akıllı teknolojilerle desteklenmesi ve dirençli bir yapıya dönüştürülmesi gerekliliğini de vurgulamaktadır. Bu tez çalışmasında, kent içi toplu taşıma ve mikro hareketlilik araçları entegrasyonu, sürdürülebilir, akıllı ve dirençli boyutları dikkate alınarak bulanık çok kriterli karar verme temelli bir modelle değerlendirilmektedir. Bu kapsamda üç ana kategori altında 19 alt kriter belirlenmiş ve FUCOM-F yöntemiyle ağırlıklandırılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen bulgular, "Hızlılık", "Sağlamlık" ve "Yedeklilik" gibi dirençlilik odaklı kriterlerin en yüksek global ağırlıklara sahip olduğunu göstermiştir. Belirlenen kriter ağırlıkları doğrultusunda, Kayseri ili örneğinde dört entegre ulaşım yönteminin performansı MACONT-F ile analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, "tramvay / *e-scooter*" entegrasyonu en yüksek tercih edilebilirlik skoruyla ilk sırada yer alırken, onu "otobüs / *e-scooter"*, "tramvay / paylaşımlı bisiklet" ve "otobüs / paylaşımlı bisiklet" alternatifleri takip etmiştir. Analiz bulguları, sürdürülebilir ve akıllı çözümlerin yanı sıra ulaşım sistemlerinin kriz anlarında işlevselliğini sürdürebilme kabiliyetinin öncelikli değerlendirme ölçütü haline geldiğini göstermektedir. *E-scooter* gibi mikro hareketlilik araçlarının toplu taşıma araçlarıyla bir araya getirilmesinin daha sürdürülebilir ve dirençli kent içi ulaşım sistemlerine katkı sağladığı tespit edilmiştir. Önerilen modelin tutarlılığını test etmek amacıyla uygulanan Bulanık TOPSIS, MARCOS ve CRADIS yöntemleri de sıralama sonuçlarını bire bir destekleyerek önerilen karar modelinin sağlamlığını teyit etmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikro Hareketlilik, Bulanık ÇKKV, FUCOM, MACONT

THE MODELING OF MULTIMODAL MICROMOBILITY SYSTEMS WITHIN THE FRAMEWORK OF RESILIENT, SUSTAINABLE, AND SMART URBAN LOGISTICS USING A FUZZY MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING APPROACH

Salih ÖZDEMİR

Kayseri University Institute of Graduate Education
Doctoral Thesis, November 2025
Thesis Advisor: Prof. Dr. Tuncay ÇELİK
Second Advisor: Prof. Dr. Neslihan DEMİREL

ABSTRACT

The increasing complexity of modern urban transportation systems not only raises sustainability concerns but also underscores the need to support these systems with smart technologies and transform them into resilient structures. In this thesis, the integration of urban public transport and micromobility vehicles is evaluated through a fuzzy multi-criteria decision-making model, considering the dimensions of sustainable, smart, and resilient. To this end, 19 sub-criteria under three main categories were identified and weighted using the FUCOM-F method. The findings reveal that resilience-oriented criteria such as “Rapidity”, “Robustness”, and “Redundancy” hold the highest global weights. Based on the determined criteria weights, the performance of four integrated transportation methods in the case of Kayseri was analyzed using the MACONT-F method. According to the results, the “tram / e-scooter” integration ranked first with the highest preference score, followed by “bus / e-scooter”, “tram / shared bicycle”, and “bus / shared bicycle” alternatives. The findings demonstrate that, alongside sustainable and smart solutions, the ability of transportation systems to maintain functionality during crises has become a primary evaluation measure. It was found that combining micromobility vehicles such as e-scooters with public transport contributes to more sustainable and resilient urban transportation systems. To test the consistency of the proposed model, Fuzzy TOPSIS, MARCOS, and CRADIS methods were also applied, and their ranking results fully supported the proposed decision model, thereby confirming its robustness.

Anahtar Kelimeler: Micromobility, Fuzzy MCDM, FUCOM, MACONT

İÇİNDEKİLER

ÇOK MODLU MİKRO HAREKETLİLİK SİSTEMLERİNİN DİRENÇLİ SÜRDÜRÜLEBİLİR VE AKILLI KENT LOJİSTİĞİ ÇERÇEVESİNDE BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMIYLA MODELLENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK i

KILAVUZA UYGUNLUK iii

KABUL VE ONAY TUTANAĞI iv

ÖN SÖZ / TEŞEKKÜR v

ÖZET vi

ABSTRACT vii

İÇİNDEKİLER viii

KISALTMALAR LİSTESİ xi

TABLOLAR LİSTESİ xiii

ŞEKİLLER LİSTESİ xiv

GİRİŞ 1

BİRİNCİ BÖLÜM

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE SÜRDÜRÜLEBİLİR KENTSEL LOJİSTİK

1.1. Sürdürülebilirlik Kavramı ve Gelişimi 5

1.1.1 Sürdürülebilirliğin Temel Unsurları: Sosyal, Ekonomik ve Çevresel 7

1.2. Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları ve Lojistik Sektörü 9

1.2.1 Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarının Temel Yapısı ve Lojistikle İlişkisi 10

1.2.2. Lojistik Performansı, Ulaşım Sistemleri ve SKA'lara Stratejik Katkılar 13

1.3. Sürdürülebilir Kentsel Lojistik 13

1.3.1. Kentsel Lojistik Sistemlerinin Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi 14

İKİNCİ BÖLÜM

KENT İÇİ ULAŞIM VE MİKRO HAREKETLİLİK

2.1. Kent Ekonomisi ve Ulaşım 17

2.2. Kent İçi Modern Ulaşım: Sürdürülebilir, Akıllı ve Dirençli Hareketlilik 19

2.3. Mikro Hareketlilik: Kavram, Türler ve Gelişim Süreci 24

2.3.1. Mikro Hareketlilik Kavramının Gelişimi ve Kentsel Ulaşımda Ortaya Çıkışı 24

2.3.2. Mikro Hareketlilik Araçlarının Sınıflandırılması, Yaygınlaşması ve Kentsel Sürdürülebilirliğe Katkısı 25

2.4. Sürdürülebilir Kent İçi Ulaşımda Mikro Hareketlilik ve Ulaşım Sistemlerine Entegrasyonu 27

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME VE BULANIK MANTIK

3.1. Çok Kriterli Karar Verme 31

3.2. Bulanık Mantık Teorisi: Temel Kavramlar ve Tarihsel Gelişim 33

3.2.1. Bulanık Kümeler 34

3.2.2. Üçgensel Bulanık Sayılar 35

3.3. Bulanık FUCOM (FUCOM-F) 37

3.4. Bulanık MACONT (MACONT-F) 41

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

LİTERATÜR İNCELEMESİ

4.1. Mikro Hareketlilik ve Toplu Taşıma Entegrasyonuna Yönelik Literatür İncelemesi 45

4.2. Bulanık ÇKKV Yöntemlerine Yönelik Literatür İncelemesi 50

BEŞİNCİ BÖLÜM

BELİRSİZLİK ORTAMINDA SÜRDÜRÜLEBİLİR ENTEGRE HAREKETLİLİK YÖNTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: FUCOM-F VE MACONT-F ANALİZ UYGULAMASI

5.1 Araştırma Metodolojisi 56

5.2 Örnek Problem 58

5.2.1 Kriter Ağırlıklarının FUCOM-F ile Belirlenmesi 61

5.2.2 Sürdürülebilir Entegre Hareketlilik Yöntemlerinin MACONT-F ile Performans Değerlendirmesi 70

5.3. Bulguların Değerlendirilmesi ve Tartışma 76

5.4. Karşılaştırmalı Analiz ve Modelin Tutarlılığının Değerlendirilmesi 86

SONUÇ 89

KAYNAKÇA 93

EKLER 113

TEZ İNTİHAL RAPORU 116

ÖZGEÇMİŞ 120

KISALTMALAR LİSTESİ

Kısaltmalar

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AHP	: Analitik Hiyerarşi Süreci
BM	: Birleşmiş Milletler
BWM	: Best-Worst Method
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CO_2	: Karbon di-oksit
CoCoSo	: Combined Compromise Solution
COPRAS	: Complex Proportional Assessment
CPFS	: Kübik Resimsel Bulanık Kümeler
CRADIS	: Compromise Ranking of Alternatives from Distance to Ideal Solution
CRITIC	: Criteria Importance Through Inter-Criteria Correlation
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
DEMATEL	: The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
EFEE	: Extracted Framework Element Effect
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
FUCOM	: Full Consistency Method
FUCOM-F	: Fuzzy Full Consistency Method
GMIR	: The Graded Mean Integration Representation
GSYİH	: Gayrisafi Yurt İçi Hasıla
IFCI	: Intuitionistic Fuzzy Choquet Integral
IMF SWARA	: Improved Fuzzy Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis
ITDP	: Ulaşım ve Kalkınma Politikası Enstitüsü
ITF	: Uluslararası Ticaret Forumu
IVFNN	: Interval-valued Fuzzy Neutrosophic Number
LOPCOW	: Logarithmic Percentage Change-driven Objective Weighting
LPI	: Lojistik Performans Endeksi
MABAC	: Multi-attributive Border Approximation Area Comparison
MACONT	: Mixed Aggregation by COmprehensive Normalization Technique
MACONT-F	: Fuzzy Mixed Aggregation by COmprehensive Normalization Technique

MADM : Çok Ölçütlü Karar Verme

MAIRCA : Multi-Attributive Ideal-Real Comparative Analysis

MARCOS : Measurement of Alternatives and Ranking according to COmpromise Solution

MODM : Çok Amaçlı Karar Verme

NACTO : Amerikan Ulusal Kent Ulaşımı Yetkilileri Birliği

SKA : Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları

TFN'ler : Üçgensel Bulanık Sayılar

TOPSIS : Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

WCED : Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. FUCOM-F Bulanık dilsel ölçeği 37
Tablo 3.2. MACONT-F Bulanık dilsel ölçeği 37
Tablo 5.1. Kriter seti 59
Tablo 5.2. Uzman bilgileri 61
Tablo 5.3. Ana kriterlerin karşılaştırmalı önem ve TFN ifadeleri 61
Tablo 5.4. Ana kriterlerin dilsel ölçek karşılaştırması 63
Tablo 5.5. Ana kriterler için geçişlilik koşulu 64
Tablo 5.6. FUCOM-F ana kriter ağırlıkları 65
Tablo 5.7. Alt kriterlerin lokal ve global ağırlıkları 66
Tablo 5.8. MACONT-F bulanık başlangıç karar matrisi 68
Tablo 5.9. MACONT-F tip-1 normalizasyonu 68
Tablo 5.10. MACONT-F tip-2 normalizasyonu 69
Tablo 5.11. MACONT-F tip-3 normalizasyonu 70
Tablo 5.12. MACONT-F bütünleştirilmiş matris 71
Tablo 5.13. Durulaştırılmış karar matrisi 72
Tablo 5.14. MACONT-F sonuçları 73
Tablo 5.15. Karşılaştırmalı analiz sonuçları 84

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Sanayi devriminden günümüze CO2 emisyonlarındaki artış 5
Şekil 1.2. Sürdürülebilirlik boyutları 6
Şekil 1.3. Sürdürülebilir kalkınma amaçları 9
Şekil 1.4. Geleneksel ulaşım piramidi 11
Şekil 2.1. Sürdürülebilir ve akıllı hareketlilik stratejisi 19
Şekil 2.2. Mikro hareketlilik araç sınıflandırması 25
Şekil 2.3. Basit entegre mikro hareketlilik şeması 27
Şekil 3.1. ÇKKV süreç şeması 32
Şekil 3.2. Durulaştırılmış ve bulanık değerlerin üyelik fonksiyonları 34
Şekil 3.3. Üçgensel bulanık sayılar 35
Şekil 5.1. Karar modelinin aşamaları 55
Şekil 5.2. Kayseri ili haritası 56
Şekil 5.3. Raylı sistemler vizyonu ağ haritası 56
Şekil 5.4. Raylı sistem yolcu taşıma istatistikleri 57
Şekil 5.5. Otobüs yolcu taşıma istatistikleri 57
Şekil 5.6. Paylaşımlı bisiklet sistemi durakları 58
Şekil 5.7. FUCOM-F alt kriterleri önem ağırlıkları 74
Şekil 5.8. MACONT-F sıralama sonuçları 79
Şekil 5.9. Karşılaştırmalı analiz sıralama sonuçları 85

GİRİŞ

Ulaşım sistemleri, geniş bir çevresel sorun yelpazesiyle ilişkilidir. Ulaşımın çevresel etkileri, kullanılan ulaşım türleri ve enerji kaynakları, oluşturdukları emisyonlar ve faaliyet gösterdikleri altyapılar tarafından şekillenmektedir. Özellikle petrol gibi fosil yakıtlar başta olmak üzere büyük miktarda enerji tüketen araçlar, karbondioksit ve diğer kirletici gazlara ek olarak gürültü gibi çeşitli olumsuz etkilere neden olmaktadır. Ayrıca ulaşım altyapısının inşası ve işletilmesi doğal ekosistemi ciddi şekilde tahrip etmekte ve bu çevresel etkilerin önemli bir kısmı dışsallaştırılmaktadır. Öyle ki ortaya çıkan bu ulaşım hareketliliğinden sınırlı sayıda kişi fayda sağlarken, bunun çevresel maliyeti tüm topluma yansımaktadır (Rodrigue, 2020).

1990 yılından bu yana fosil yakıtlardan kaynaklanan emisyonlar %70'in üzerinde artış göstererek, 2023 itibarıyla fosil kaynaklı karbondioksit, toplam sera gazı emisyonlarının yaklaşık %75'ini oluşturmaktadır (Edgar, 2024). Nihai enerji tüketen sektörler arasında ulaşım, bu emisyonların üçte birinden fazlasından sorumludur ve bu durum sektörün çevresel etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Bu nedenle ulaşım sistemlerinin kapsamlı bir dönüşüm geçirmesi ve ulaşım sektörünün karbon emisyonlarının azaltılması, küresel iklim sorunlarıyla mücadelede hayati öneme sahiptir. Bu dönüşüm, çevresel etkisi düşük ulaşım seçeneklerinin teşvik edilmesini ve tüm ulaşım modlarında enerji verimliliğini artırmaya yönelik teknik ve operasyonel iyileştirmelerin hayata geçirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Günümüzde kentleşmekte hızla artmaktadır. Dolayısıyla kentsel nüfusun refahını korumak ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla ulaşım sistemlerinin dönüştürülmesi kaçınılmaz hale gelmiştir (Wang vd., 2024). Nüfus yoğunlukları ve mevcut altyapı olanakları sayesinde kentsel alanlar, sürdürülebilir ulaşım dönüşümünde öncü bir rol üstlenebilecek potansiyele sahiptir. Ancak birçok şehir hâlâ fosil yakıtlara dayalı ulaşım sistemlerine bağımlı olup, küresel ulaşım kaynaklı emisyonların büyük bir bölümünden sorumlu durumdadır (Winkler vd., 2023). Bu durum, ulaşımın çevresel

etkilerini, özellikle de karbon ayak izini azaltma gerekliliğini temel bir öncelik haline getirmektedir.

Öte yandan, kentler hızlı bir teknolojik dönüşüm sürecinden geçmekte ve bu süreçte ortaya çıkan dijital yenilikler, ulaşım sistemlerinin daha verimli, kullanıcı odaklı ve akıllı hale gelmesine olanak tanımaktadır (Zawieska & Pieriegud, 2018). Bu bağlamda akıllı ulaşım sistemleri, gelişmekte olan teknolojilerden yararlanarak kent içi ulaşımı daha güvenli, kârlı ve etkin kılmanın yanı sıra aynı zamanda ulaşım uygulamalarının yönetimini kolaylaştırmaktadır (Ashraf & Idrisi, 2024). Ancak ulaşım sistemlerinin yalnızca akıllı ve verimli olması yeterli değildir. Bu sistemlerin aynı zamanda dirençli bir yapıya da sahip olması gerekmektedir. Ulaşım ve hareketlilik sistemleri, toplumun işleyişinde hayati rol oynayan altyapı ağlarıdır ve bu nedenle olağan ya da olağandışı kesintilere karşı dayanıklı bir şekilde tasarlanmalıdır (Tzouras vd., 2025). Günümüz ulaşım ağları, trafik sıkışıklığı, doğal afetler ve aşırı hava olayları gibi çoklu tehditlere karşı kırılgan bir yapı sergilemekte ve bu durum çevresel, ekonomik ve sosyal riskleri artırmaktadır. Bu nedenle, ulaşım sistemlerinin yalnızca çevre dostu sürdürülebilirlik ilkeleriyle şekillendirilmesi yeterli olmayıp aynı zamanda iklim değişikliği, teknolojik gelişmeler ve beklenmedik kesintiler gibi uzun vadeli risk ve fırsatlara karşı esnek, uyum sağlayabilen ve dirençli yapılar olarak kurgulanması gerekmektedir. Bu çerçevede, geleneksel ulaşımın yol açtığı olumsuz etkileri azaltmaya yönelik çözüm arayışlarının arasında mikro hareketlilik araçlarının kent içi ulaşımda aktif olarak benimsenmesi yer almaktadır. Mikro hareketlilik, günümüzde şehirlerin karşı karşıya olduğu birçok ulaşım sorununa çözüm üretme potansiyeli sunmaktadır. Bu durum, özel motorlu araç kullanımından uzaklaşmayı teşvik edebilecek önemli bir ulaşım türü değişimine katkı sağlayabilmektedir (Oeschger vd., 2020). Kentsel bağlamda mikro hareketliliğin en güçlü potansiyeli, toplu taşımaya erişimi artırarak ilk ve son adım sorununa çözüm getirmesidir. Bu sayede hem hizmet ve fırsatlara erişim kolaylaşmakta hem de daha az otomobil odaklı kentsel ulaşım sistemlerine yönelik hareketlilik davranışlarında dönüşüm sağlanmaktadır (Møller vd., 2019). Mikro hareketlilik ve toplu taşımanın entegrasyonu, tek bir yolculuk zincirinin parçaları olarak değerlendirilirse her iki modun avantajlarının birbirini tamamladığı sürdürülebilir bir ulaşım biçimi olarak kabul edilebilmektedir. Mikro hareketlilik, esnek ve kapıdan kapıya verimli erişim sağlarken toplu taşıma, yüksek hız ve daha geniş mekânsal kapsama alanı sunmaktadır. Bu iki modun sinerjisi, toplu taşımanın hız ve erişim avantajları ile mikro hareketliliğin sunduğu erişilebilirliğin

birleşmesiyle, özel motorlu araçlarla rekabet edebilecek düzeyde erişim, hız ve konfor sağlayabilmektedir (Kager vd., 2016).

Modern toplumun yeni hareketlilik biçimleriyle tanışması, iklim değişikliğine bağlı aşırı hava olaylarının artması, pandemi sürecinde yaşanan ulaşım aksaklıkları ve teknolojik ilerlemeler, ulaşım sistemlerinde sürdürülebilir, akıllı ve dirençli bir yapının gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Dolayısıyla çağdaş ulaşım sistemlerinin sürdürülebilir, akıllı ve dirençli ilkelerini bütüncül bir yaklaşımla bir araya getirecek politikalarla yeniden tasarlanması kaçınılmazdır. Buradan hareketle bu tez çalışmasında, sürdürülebilir, akıllı ve dirençli ulaşım sistemlerinin entegrasyonunu değerlendirmek amacıyla bulanık Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yaklaşımı benimsenmiştir. Bu kapsamda sürdürülebilirlik, akıllılık ve dirençlilik olmak üzere üç ana kriter altında literatür araştırması ve uzman görüşleri doğrultusunda 19 alt kriter belirlenmiştir. İlk olarak belirlenen kriterlerin ağırlıklandırılmasında basit ve tutarlı bir algoritma olan ve daha az sayıda karşılaştırma gerektirdiği için uygulama açısından pratik Fuzzy Full Consistency Method (FUCOM-F) yöntemi kullanılacaktır. Daha sonra örnek olay çalışması olarak Kayseri ili için raylı sistem ve otobüs taşımacılığı ile *e-scooter* ve paylaşımlı bisiklet mikro hareketlilik araçlarının entegrasyonu dört farklı senaryo üzerinden değerlendirilecektir. Kriter ağırlıklandırmasından elde edilen ağırlıklar sonucunda alternatiflerin performansları daha fazla bütünleştirme parametresi ve normalizasyon tekniğini içeren Fuzzy Mixed Aggregation by COmprehensive Normalization Technique (MACONT-F) yöntemi ile sıralanacaktır. Önerilen karar modelinin tutarlılığı ise Bulanık Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), Bulanık Compromise Ranking of Alternatives from Distance to Ideal Solution (CRADIS) ve Bulanık Measurement of Alternatives and Ranking according to COmpromise Solution (MARCOS) yöntemleriyle analiz edilecektir.

Tezin kalan bölümleri şu şekilde organize edilmiştir: birinci bölümde, sürdürülebilirlik kavramı tarihsel gelişimiyle ele alınacak ve sosyal, ekonomik ve çevresel boyutlarıyla açıklanacaktır. Ayrıca Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları'nın (SKA) lojistik sektörüyle ilişkisi detaylandırılacak, sürdürülebilir kentsel lojistik sistemlerinin temel dinamikleri incelenecektir. İkinci bölümde ise kent içi ulaşım sistemleri, mikro hareketlilik kavramı ve bu kavramın sürdürülebilir ulaşım yaklaşımlarıyla nasıl bütünleştiği ele alınacak; mikro hareketlilik araçlarının sınıflandırılması, yaygınlaşması ve çok modlu entegrasyon

stratejileri değerlendirilecektir. Üçüncü bölüm, çalışmanın yöntemsel çerçevesini oluşturmakta olup ÇKKV yöntemleri ile bulanık mantık teorisi açıklanacak; FUCOM-F ve MACONT-F yöntemlerinin teorik temelleri sunulacaktır. Dördüncü bölümde, mikro hareketlilik ve toplu taşıma entegrasyonu ile bulanık ortamdaki ÇKKV yaklaşımlarına ilişkin literatür taramasına yer verilecektir. Beşinci bölümde ise belirlenen kriterler doğrultusunda örnek vaka çalışması kapsamında FUCOM-F ve MACONT-F yöntemleri uygulanacak, elde edilen bulgular yorumlanacak ve karşılaştırmalı analizle değerlendirme sonuçları ortaya konulacaktır. Son bölümde ise çalışma sonuçlandırılacaktır.

BİRİNCİ BÖLÜM

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE SÜRDÜRÜLEBİLİR KENTSEL LOJİSTİK

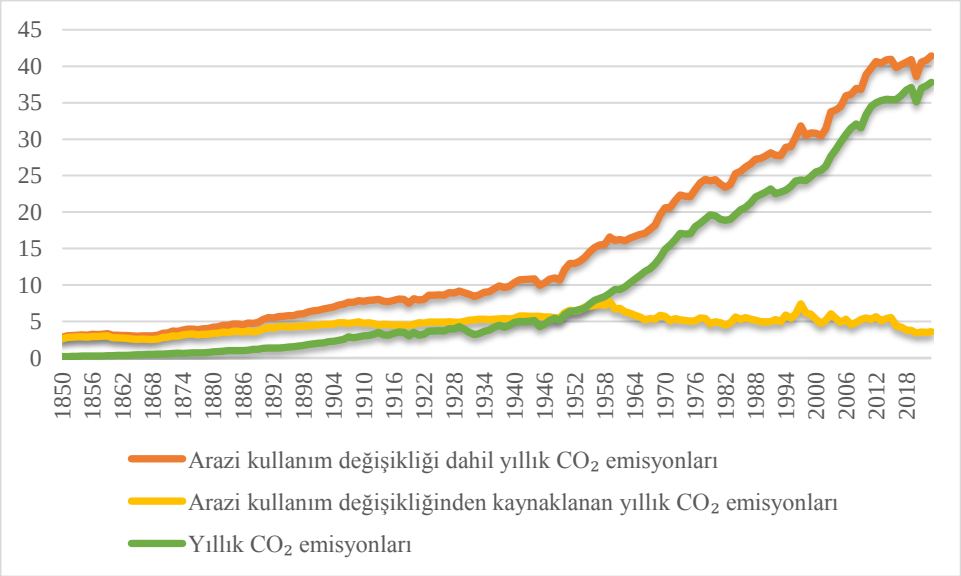
Tezin bu bölümünde; öncelikle sürdürülebilirlik kavramının tarihsel gelişimi, temel ilkeleri ve boyutları ele alınarak kavramın günümüz toplumunda neden önem kazandığı açıklanmıştır. Daha sonra, Birleşmiş Milletler (BM) tarafından belirlenen Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) doğrultusunda, lojistik sektörünün çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarıyla SKA'larla nasıl ilişkilendirildiği araştırılmıştır. Son olarak, kentlerde artan nüfus ve tüketim baskısıyla birlikte önemi giderek artan sürdürülebilir kentsel lojistik kavramı detaylandırılmıştır. Bu bağlamda lojistik faaliyetlerin çevreye duyarlı, enerji verimli ve insan odaklı biçimde nasıl planlanması gerektiği tartışılmıştır.

1.1. Sürdürülebilirlik Kavramı ve Gelişimi

İnsan-doğa ilişkilerinin tarihsel evrimiyle şekillenmiş kökleri yüzyıllar öncesine dayanan sürdürülebilirlik kavramı, özellikle 20. yüzyılın sonlarında yaygınlaşmış olsa da çevresel dengeyi gözeten ilkeleriyle çok daha eski dönemlerde ortaya çıkmıştır. Sürdürülebilirliğe ilişkin düşünceler, milattan önce 500'lü yıllara kadar uzanmakta olup insan faaliyetlerinin doğaya olan etkilerine dair ilk uyarılar bu dönemde dile getirilmiştir. Fransızca, Almanca ve Felemenkçe gibi dillerde "sürdürülebilirlik" kavramına karşılık gelen terimlerin varlığı, bu bilincin tarihsel kökenlerini ortaya koymaktadır (Dhanani, 2022).

18. ve 19. yüzyıllarda gerçekleşen Sanayi Devrimi, insanlığın doğal kaynaklar ile etkileşimini artırmıştır. Sanayileşme ile birlikte fosil yakıt kullanımı, kentleşme ve üretim, çevre kirliliği ve kaynak tüketimi önemli düzeyde yükselmiştir. 1798 yılında Thomas Malthus (2023), nüfus artışının gıda arzını aşabileceğine dikkat çekmiş; 1864 yılında ise George Perkins Marsh (1864), insan kaynaklı çevresel yıkımın kalıcı sonuçlar doğurabileceğini ifade etmiştir. Şekil 1.1, 1850–2023 yılları arasında küresel yıllık CO_2 emisyonlarının gelişimini göstermektedir.

Şekil 1.1. *Sanayi devriminden günümüze CO_2 emisyonlarındaki artış (Global Carbon Project, t.y.)*



Nitekim Şekil 1.1 incelendiğinde, 20. yüzyılın ortalarından bu yana fosil yakıtlardan kaynaklanan Karbon di-oksit (CO_2) emisyonları ciddi bir şekilde artmıştır. Bu artışın, sanayileşmenin hızlanması, kentleşmenin yaygınlaşması ve enerji yoğun endüstrilerin küresel ölçekte genişlemesiyle doğrudan ilişkili olduğu söylenebilmektedir. 2024 yılı itibarıyla fosil yakıt emisyonları yaklaşık 37,8 milyar tona ulaşarak şimdiye kadarki en yüksek seviyesini görmüştür

1972 Stockholm Konferansı, çevresel sorunların ilk kez küresel düzeyde gündeme taşındığı önemli bir dönüm noktasıdır. Ardından gelen 1973 petrol krizi, fosil yakıtlara olan bağımlılığı ve enerji güvenliği tartışmalarını alevlendirmiş, sürdürülebilirlik kavramının ekonomiyle bütünleştirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur (Höfer, 2009).

Sürdürülebilirlik kavramına ilişkin pek çok tanım önerilmiş olsa da en yaygın kabul gören tanımlardan biri 1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (WCED) tarafından yayımlanan Brundtland Raporu'nda yer almaktadır. Raporda sürdürülebilir kalkınma, "Mevcut kuşakların ihtiyaçlarını karşılarken gelecek kuşakların kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğini tehlikeye atmayan bir kalkınma anlayışı" olarak ifade edilmektedir (WCED, 1987). Bu tanım, ekonomik büyüme ile çevresel ve sosyal sorumlulukları bütünleştiren kapsamlı bir yaklaşıma zemin hazırlamıştır.

1992 Rio Zirvesi, sürdürülebilir kalkınmayı küresel düzeyde politika belgelerine taşıyarak *Agenda 21* planını ortaya koymuştur. Kyoto Protokolü ve Binyıl Kalkınma

Hedefleri gibi girişimler, ülkeler arasında çevresel taahhütlerin yaygınlaşmasına katkı sağlamıştır. Son olarak, 2015 yılında BM tarafından kabul edilen 17 Sürdürülebilir Kalkınma Amacı (SKA, yoksulluğun azaltılması, iklim eylemi, eşitsizliklerin giderilmesi gibi çok yönlü sorunları kapsayarak sürdürülebilirliği evrensel bir çerçevede tanımlamıştır (BM Kalkınma Ajansı, 2025a).

1.1.1 Sürdürülebilirliğin Temel Unsurları: Sosyal, Ekonomik ve Çevresel

Günümüzde sürdürülebilirliğin sosyal, ekonomik ve çevresel olmak üzere üç temel bileşene dayandığı yaklaşım, genellikle kesişen üç daireyle gösterilip merkezde "bütüncül sürdürülebilirlik" kavramını temsil eden bir gösterim ile ifade edilmektedir (Purvis vd., 2019). Bu yaklaşım, sürdürülebilirliğin çevresel koruma ve ekolojik denge hedefleri doğrultusunda insan toplumu için yaşanabilir ve uygulanabilir bir yaşam alanı oluşturma amacını içerdiğini ortaya koymaktadır (Clune & Zehnder, 2020). Şekil 1.2, sürdürülebilirlik bileşenlerini temsil eden boyutları göstermektedir.

Şekil 1.2. *Sürdürülebilirlik boyutları (Purvis vd., 2019)*



Şekil 1.2, sürdürülebilirlik kavramının üç temel bileşeni olan sosyal, ekonomik ve çevresel boyutları temsil eden klasik bir Ven diyagramı üzerinden kavramsallaştırmaktadır. Her bir daire, sürdürülebilirliğin temel bir bileşenini ifade

etmekte ve bu bileşenlerin kesişim alanları sürdürülebilir kalkınmanın temel koşullarını göstermektedir. Çevresel bozulma konusundaki toplumsal endişelerden doğan çevresel boyut, insan yaşamını destekleyen doğal sistemlerin korunmasını amaçlamaktadır. Bu kapsamda insan ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılan ham madde kaynaklarının korunması, atıkların doğanın taşıma kapasitesini aşmaması ve çevreye zarar verilmesinin önlenmesi hedeflenmektedir. İkinci boyut olan ekonomik sürdürülebilirlik, çevresel ve sosyal boyutlarla yakından ilişkilidir. Bu boyut, ekonomik yapıların uzun vadede ayakta kalabilme kapasitesini ifade etmektedir. Ekonomik sürdürülebilirlik, kaynakların etkin biçimde tahsis edilmesi ve korunmasının yanı sıra aynı zamanda ekonomik faaliyetlerin sosyal ve çevresel açıdan olumlu sonuçlar üretmesini gerektirmektedir. Üçüncü boyut olan sosyal sürdürülebilirlik ise kapsayıcı, dayanıklı ve bütünleşik toplum yapılarının önemine işaret etmektedir. Bu katılımcı yönetişim, güçlü sivil kurumlar, eğitim, sağlık ve beslenme alanlarına yapılan yatırımlar yoluyla desteklenmektedir. Sosyal sürdürülebilirlik hem toplumsal yaşam kalitesini artıran bir durum hem de bu durumun elde edilmesini sağlayan bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Her ne kadar bu boyutlar ayrı ayrı değerlendirilebilse de sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması açısından aralarındaki ilişki kritik bir öneme sahiptir (Chauke vd., 2018). Kısaca sürdürülebilirlik, çevresel, sosyal ve ekonomik boyutları üç temel boyut olarak ele alan bütünleştirici bir kavram olarak ifade edilmektedir (Hansmann vd., 2012). Ekonomik büyüme, çevresel koruma ve sosyal kapsayıcılığı dengeleyen bu bütünleştirici kavramın benimsenmesi, insan faaliyetlerinin dünya üzerindeki etkisinin artmasıyla daha da önemli hale gelmektedir. Günümüzde ortaya çıkan nüfus artışı, ekonomik büyüme ve sanayileşme gibi etkenler gezegenin sınırlarını aşmakta ve ekosistemler ile insan refahını tehdit etmektedir. Başlıca çevresel sorunlar arasında iklim değişikliği, kirlilik, okyanus asitlenmesi, biyoçeşitlilik kaybı ve doğal kaynakların tükenmesi yer almaktadır (Sachs, 2012). Bu iç içe geçmiş krizler, uzun vadeli sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için küresel ölçekte acil ve bütüncül çözümlerin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Günümüzde sürdürülebilirlik, yalnızca çevresel koruma ile sınırlı bir kavram olmaktan çıkarak ekonomik kalkınmanın sosyal adalet ve ekolojik dengeyle uyumlu biçimde yürütülmesini hedefleyen çok boyutlu bir yaklaşıma dönüşmüştür.

SKA kavramı, sürdürülebilir kalkınmanın küresel ölçekte artan aciliyeti nedeniyle kısa sürede uluslararası düzeyde geniş kabul görmüştür. Dünyadaki hemen her toplum sürdürülebilirliği ve temel boyutlarını benimsediğini ifade etmekte, ancak öncelikler ve

uygulama stratejileri ülkeler ve toplumlar arasında farklılık göstermektedir. Yine de ekonomik, çevresel ve sosyal hedeflere eş zamanlı olarak odaklanılması, sürdürülebilir kalkınmanın ayırt edici bir özelliği olmaya devam etmekte ve küresel iş birliğinin inşa edilebileceği ortak bir anlayış zemini sunmaktadır (Sachs, 2012). Bu bağlamda, sürdürülebilirliğin temel boyutlarının bütüncül olarak ele alınması gerekliliği, uluslararası düzeyde politika oluşturma süreçlerine de yön vermiştir. Özellikle BM tarafından 2015 yılında ilan edilen SKA, sürdürülebilirlik ilkelerini somut hedeflere dönüştürerek küresel bir yol haritası sunmuştur.

1.2. Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları ve Lojistik Sektörü

SKA, BM tarafından 2015 yılında başlatılan ve 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi kapsamında yer alan küresel bir girişim olarak ortaya çıkmıştır. Bu gündem, yoksulluğun ortadan kaldırılması, çevrenin korunması ve tüm insanlar için barış ve refahın sağlanması temel amaçlarını taşımaktadır (Ghosh & Chakravarty, 2024). Bu hedeflere ulaşmak, tüm SKA'larda istikrarlı ve uyumlu ilerlemeyi zorunlu kılmaktadır (Lafont-Torio vd., 2024). SKA'lar, küresel toplumun karşı karşıya olduğu en acil sosyal, ekonomik ve çevresel sorunları ele almayı amaçlayan 17 ana hedeften oluşmaktadır. Bu hedefler, araştırma ve geliştirme faaliyetlerini dönüşüm yaratan temel bir süreç olarak görmektedir. Hem toplumsal katılımı hem de bireysel sorumluluğu içeren bu süreç, sürdürülebilir kalkınma girişimlerinin başarısının, her konunun kapsamlı ve bilimsel bir biçimde anlaşılmasına dayandığını vurgulamaktadır. Bu doğrultuda her bir hedefin etkin biçimde gerçekleştirilmesini sağlamak amacıyla, SKA'ların anlaşılması ve uygulanmasına yönelik çeşitli girişim ve programlar geliştirilmiştir (Bain vd., 2019; Chapman vd., 2020). Şekil 1.3, toplamda 17 hedeften oluşan SKA'ları göstermektedir.

Şekil 1.3. *Sürdürülebilir kalkınma amaçları (Küresel Amaçlar, t.y.)*



1.2.1 Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarının Temel Yapısı ve Lojistikle İlişkisi

Yüzyıllardır ekonomik kalkınma ve toplumsal refahın temel unsurlarından biri olan hareketlilik ve lojistik faaliyetler, son 50 yıl içerisinde akademik literatürde ayrı bir çalışma alanı olarak ele alınmaya başlanmıştır (McKinnon, 2010). Küreselleşme sürecinin hız kazanması ve teknolojik yeniliklerin sunduğu fırsatlar ise son birkaç on yılda lojistik ve hareketlilik faaliyetlerinin küresel düzeyde önemini önemli ölçüde artırmıştır. Ancak bu gelişmelerle eş zamanlı olarak, bireylerin ve kamu otoritelerinin çevresel kaygılarındaki artış ve sürdürülebilirlik kavramının yaygınlık kazanması hem kamu hem de özel sektör faaliyetlerinin yalnızca ekonomik değil aynı zamanda çevresel ve sosyal etkileri de göz önünde bulundurmasını gerekli kılmıştır (Macharis & Van Mierlo, 2013). Bu çerçevede, lojistik ve hareketlilik sistemlerinin planlanmasında sürdürülebilirlik ilkeleri giderek daha fazla öncelik kazanmaktadır. Lojistik, bir ürünün sürdürülebilirliğinin sağlanmasında; ham maddenin kaynağından elde edilmesinden nihai tüketiciye ulaşana dek geçen tüm süreçlerde kritik bir rol oynamaktadır (Konieczny vd., 2013). Ekonomik açıdan değerlendirildiğinde lojistiğin temel ilkeleri: doğru ürünün, doğru zamanda, doğru yerde, doğru miktarda, doğru şartlarda ve doğru fiyatla, doğru tüketiciye teslim edilmesi ilkelerini (lojistiğin 7 doğrusu) karşılamalıdır (Teoman, 2020). Ancak bu hedeflere ulaşılırken çevresel etkilerin göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Lojistik faaliyetleri, çevresel duyarlılık çerçevesinde planlanmalı ve bu süreçlerin doğaya olan etkileri asgari düzeyde tutulmalıdır. Ayrıca taşımacılık yalnızca ekonomik ve çevresel boyutlarla sınırlı kalmamalı aynı zamanda sürdürülebilirliğin sosyal yönünü de

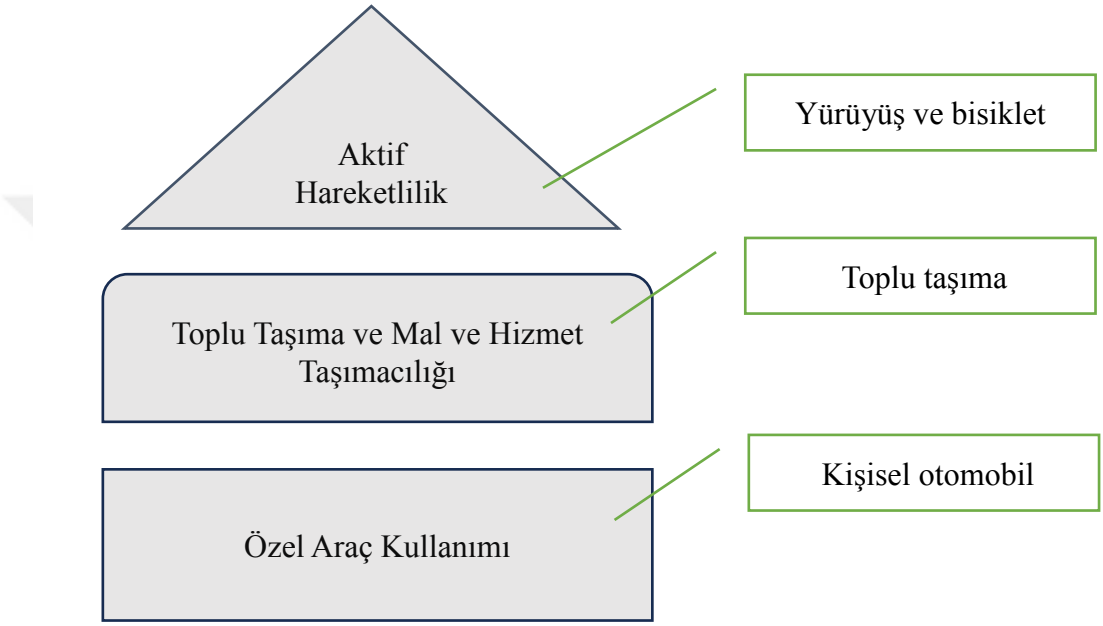
içermelidir. Bu kapsamda sürece dahil olan tüm paydaşların hakları, sorumlulukları ve çıkarları dikkate alınmalıdır (Ciliberti vd., 2008).

2030 yılına kadar yoksulluğu sona erdirmeyi, gezegenin korunmasını sağlamayı ve herkes için refahı artırmayı hedefleyen 17 evrensel amaçtan oluşan SKA'lar Şekil 1.3'de yer almaktadır. Bu hedefler; yoksullukla ve açlıkla mücadele, sağlık, eğitim ve toplumsal cinsiyet eşitliği gibi temel insani ihtiyaçlardan; temiz enerji, sanayi ve altyapı, sorumlu üretim-tüketim gibi kalkınma eksenli alanlara ve iklim eylemi, sudaki ve karasal alandaki yaşamın korunması, barışçıl toplumlar gibi çevresel ve yönetişimsel hedeflere kadar çok geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Bu hedeflerin gerçekleştirilmesi sadece kamu politikalarıyla değil; özel sektör, sivil toplum ve bireylerin ortak çabalarıyla mümkün olabilmektedir. Bu çerçevede her bir SKA birbirini destekleyen bir yapıda kurgulanmış olup sürdürülebilir kalkınmanın bütünsel olarak ele alınmasını zorunlu kılmaktadır.

SKA'lar üretimden tüketime, altyapıdan ulaşıma kadar birçok sektörü doğrudan etkileyen kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. Bu bağlamda lojistik sektörü; enerji tüketimi, emisyon salınımı, erişilebilirlik, güvenlik ve kaynak verimliliği gibi unsurlar üzerinden SKA'ların birçoğu ile doğrudan ilişkilidir. SKA'lar arasında yer alan SKA 11 (Sürdürülebilir Kentler ve Topluluklar) doğrudan ulaşım alanıyla ilişkili olup kentlerin ve insan yerleşimlerinin kapsayıcı, güvenli, dayanıklı ve sürdürülebilir hale getirilmesini amaçlamaktadır. Bu hedef kapsamında özellikle iki alt amaç öne çıkmaktadır. SKA 11 kapsamında yer alan alt hedefler, lojistik sektörünün sürdürülebilir kentsel gelişim ve ulaşım politikalarındaki rolünü açık biçimde ortaya koymaktadır. Özellikle 11.2 numaralı hedef, güvenli, erişilebilir, ekonomik ve çevre dostu ulaşım sistemlerinin geliştirilmesini ifade etmektedir. Bu, lojistik altyapının çevresel etkilerini azaltan ve toplumsal kapsayıcılığı artıran çözümlerle doğrudan ilişkilidir. Öte yandan 11.3 numaralı hedef, kentleşmenin sürdürülebilir yönetimini ve planlamasını vurgulamaktadır. Bu bağlamda lojistik faaliyetlerin kent içi hareketlilik, altyapı kullanımı ve arazi planlaması üzerindeki etkisi belirleyici hale gelmektedir. Ek olarak 11.a hedefi, kentsel ve kırsal alanlar arasındaki bağlantıların güçlendirilmesini amaçlamakta ve lojistik sektörü bu entegrasyonu sağlayan temel aktör olarak öne çıkmaktadır (BM Kalkınma Ajansı, 2025b). Gerek taşıma ağlarının etkinleştirilmesi gerekse tedarik zincirlerinin sürdürülebilir biçimde yönetilmesi açısından lojistik faaliyetler, bu hedeflerin gerçekleştirilmesine yönelik stratejik katkılar sunmaktadır.

Martínez-Hernández vd. (2024), sürdürülebilir kalkınmanın temel gereklerinin ve SKA'ların başarıyla yerine getirilebilmesi için geleneksel ulaşım hiyerarşisinin tersine çevrilmesinin zorunlu olduğunu ifade etmektedir. Şekil 1.4, geleneksel ulaşım piramidini göstermektedir.

Şekil 1.4. *Geleneksel ulaşım piramidi (Martínez-Hernández vd., 2024'ten uyarlanmıştır.*)



Şekil 1.4 geleneksel ulaşım piramidi incelendiğinde, ulaşım türleri en üstten en alta doğru şu şekilde sıralanmaktadır: yürüyüş ve bisiklet, toplu taşıma ile mal ve hizmet taşımacılığı ve en geniş paya sahip olan özel otomobil kullanımıdır. Ancak sürdürülebilirlik ilkeleriyle uyumlu bir ulaşım yapısının benimsenebilmesi için bu piramidin tersine çevrilmesi gerekmektedir. Böylece ulaşım türleri çevresel ve sosyal açıdan verimlilik düzeylerine göre en alttan en üste şu şekilde konumlandırılmıştır: yürüyüş, bisiklet, mikro hareketlilik araçları (örneğin, *e-scooter* ve paylaşımlı bisikletler), toplu taşıma ve lojistik faaliyetler, paylaşımlı araç kullanımı (örneğin, araç paylaşımı ve ortak yolculuklar) ve son sırada kişisel otomobil kullanımı yer almaktadır.[1] Bu dönüşümde en dikkat çekici ve arzu edilen değişim, kişisel otomobillerin konumunda gerçekleşmiştir. Kişisel otomobil kullanımı en sık tercih edilen ulaşım modu olmaktan çıkarak piramidin en üstüne, en az tercih edilmesi gereken konuma yerleştirilmiştir. Çalışma ayrıca ulaşım sektörünün SKA 6 (Temiz Su ve Sanitasyon) ve SKA 14 (Sudaki Yaşam) dışındaki hemen tüm sürdürülebilir kalkınma

[1] Detaylı bilgi için bkz: "Operational LCA of a street with active mobility strategies in northern México"

hedefleriyle doğrudan veya dolaylı ilişki içerisinde olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgu, lojistik sektörünün hem insan toplulukları hem de doğal çevre üzerinde çok boyutlu etkiler yarattığını ve sosyal yaşamın hemen her alanında belirleyici bir rol üstlendiğini göstermektedir (Dragu vd., 2025).

1.2.2. Lojistik Performansı, Ulaşım Sistemleri ve SKA'lara Stratejik Katkılar

Yukarıda da bahsedildiği üzere lojistik sektörü, doğrudan ve dolaylı olarak birçok SKA ile etkileşim içindedir. Bu bağlamda, Lojistik Performans Endeksi (LPI) ile SKA'lar arasındaki ilişki her ne kadar karmaşık bir yapıya sahip olsa da oldukça önemlidir ve yapısal bir bağ oluşturmaktadır (Mangan & Lalwani, 2016). Özellikle tarım ve uluslararası ticaret ve gıda güvenliği arasındaki ilişki, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından da açıkça vurgulanmaktadır (FAO, 2015). Bu kapsamda SKA 2 (Açlığa Son) hedefine ulaşmada uluslararası lojistik performansı belirleyici bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Etkili lojistik faaliyetlerinin dış ticareti kolaylaştırması yoluyla ihracat hacmini artıracağı ve bu etkinin açlıkla mücadele çabalarına dolaylı fakat anlamlı bir katkı sağlayacağı öngörülmektedir (Vilalta-Perdomo vd., 2023).

Öte yandan sürdürülebilir ulaşım hem ekonomik büyümeyi desteklemesi hem de erişilebilirliği artırması açısından önemli bir rol üstlenmektedir. Bu yaklaşım, mevcut kaynakların verimli bir biçimde entegre edilmesini sağlarken aynı zamanda çevresel etkilerin en aza indirilmesini amaçlamaktadır. Bu doğrultuda sürdürülebilir ulaşım sistemleri, 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi kapsamında başta sağlık, gıda güvenliği, temiz enerji, altyapı, ekonomik kalkınma ve sürdürülebilir kentleşme gibi birçok SKA'nın gerçekleştirilmesinde kilit bir rol oynamaktadır (Agrawal vd., 2022). Bununla birlikte sürdürülebilir lojistik uygulamaları da sorumlu kaynak tüketimini destekleyerek etkili kaynak yönetimine (SKA 12), hava kirliliğinin azaltılmasına (SKA 3) ve güvenli çalışma koşullarının sağlanmasına (SKA 8) katkı sağlamaktadır. Çok sayıda çalışma, ülke düzeyindeki lojistik performansın SKA'ların başarılması üzerinde ölçülebilir ve anlamlı bir etkiye sahip olduğu yönündeki varsayımı giderek daha fazla desteklemektedir (Agrawal vd., 2022).

1.3. Sürdürülebilir Kentsel Lojistik

Yirmi birinci yüzyılın başından itibaren dünya birçok yeni zorlukla karşı karşıya kalmıştır. Bu zorluklar arasında en çok dikkat çeken sel, kuraklık, orman yangınları ve kasırgalar gibi doğa olaylarının giderek artan derecede oluşturduğu istikrarsızlıktır. Bu

doğa olayları, küresel ölçekte yaşanan iklim değişikliğinin birer yansıması olarak gerçekleşmektedir. Yapılan bilimsel gözlemler, küresel sıcaklıkların küçük fakat istikrarlı bir şekilde arttığını ve bunun da iklim değişikliği ile küresel ısınmanın artık geleceğe dair bir öngörü değil somut bir gerçeklik haline geldiğini açıkça ortaya koymaktadır (Banister, 2005). Özellikle kentsel alanlarda artan çevresel sorunlar hem kırılgan nüfus gruplarının yoğunluğu hem de toplumun çevresel risklere yönelik duyarlılığının artması nedeniyle ciddi bir problem olarak öne çıkmaktadır. Kentsel alanlar, bu bölgelerde yoğunlaşan nüfus nedeniyle iklim değişikliği ve küresel ısınmaya hem en fazla etki eden hem de sonuçlarından en fazla etkilenen bölgeleri oluşturmaktadır. Diğer taraftan, kentsel lojistik faaliyetlerinin kent ekonomileri içindeki stratejik rolü giderek daha fazla kabul görmektedir. Bu durum, hızlı teslimat hizmetlerini gerçekleştirebilmekle birlikte kent içi trafik yoğunluğunu ve emisyonları azaltmak gibi zaman zaman çelişen hedefler arasında nasıl bir denge kurulması gerektiği sorusunu gündeme getirmektedir. Geniş kapsamda değerlendirildiğinde kentsel lojistik, üretim zincirlerinin bölüşümü ve mal ve bilgi akışlarının yoğunlaşması üzerine kurulu mevcut ekonomik düzenin temel unsurlarından biri haline gelmiştir. Kentsel lojistik faaliyetler, kentin ekonomik gelişimine ve kent halkının refahı üzerine göz ardı edilemez katkıları bulunmaktadır. Öte yandan kaçınılmaz olarak çevresel ve sosyo-ekonomik düzeyde önemli etkiler yaratmaktadır (Strale, 2019).

1.3.1. Kentsel Lojistik Sistemlerinin Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi

Kentsel lojistik hem yolcu hem de yük taşımacılığını kapsayan geniş bir kavram olmakla birlikte genellikle kentsel alanlara yapılan, bu alanlardan çıkan ya da kent içinde ve kentler arası gerçekleşen mal ve hizmet hareketlerine odaklanmaktadır. Ancak bu kavramın tanımı taşınan mal ve hizmet türüne, kullanılan ulaşım modlarına ve altyapıya ve kentsel alanın mekânsal ve işlevsel yapısına göre farklılık gösterebilmektedir (Avrupa Komisyonu, 2024). Kentsel lojistik faaliyetleri, modern kent yaşamının artan mal ve hizmet ihtiyacını karşılamak ve atıkların etkin şekilde yönetilmesini sağlamak açısından vazgeçilmez olsa da genellikle sürdürülebilir olmayan etkileriyle öne çıkmaktadır. Bu sistemlerin kentsel yaşam için gerekliliği tartışmaya açık olmamakla birlikte yarattığı olumsuz etkilerin azaltılması oldukça büyük çaba gerektirmektedir. Kentsel lojistik faaliyetlerinin, sürdürülebilirliğin üç temel boyutu üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır (Quak & Nesterova, 2014):

- Büyük taşıma araçlarının neden olduğu trafik kazaları, gürültü kirliliği ve emisyonların halk sağlığı üzerindeki zararlı etkileri,
- Son adım teslimat sorunları, yerel yasal düzenlemeler nedeniyle oluşan verimsizlikler ve yoğun kent trafiği nedeniyle artan lojistik maliyetlerden dolayı kârlılıkta ortaya çıkan sorunlar,
- Karbon salınımlarını ve kent içi hava kirleticilerinin kent ekosistemleri üzerindeki zararlı etkilerini artırarak ekolojik tahribatı hızlandırması sonucu gezegen üzerinde ortaya çıkan sorunlar.

Giderek daha fazla insanın kentsel alanlarda yaşamayı tercih etmesiyle birlikte kentlerin sürdürülebilirliği açısından ekonomik büyümeyi destekleyen ve aynı zamanda çevreyi koruyan ve yaşam kalitesini artıran bir ulaşım sisteminin geliştirilmesi gerekliliği büyük önem kazanmıştır. Ancak bu dengeyi sağlamak hala oldukça zordur. Ulaşım sistemleri, istihdam, eğitim ve sosyal yaşam olanaklarına erişim gibi olumlu katkılarla beraber çevre kirliliği, trafik sıkışıklığı, kazalar, gürültü ve diğer dışsal olumsuz etkiler nedeniyle yüksek toplumsal maliyetler de yaratmaktadır. Bu nedenle sürdürülebilir kentsel lojistik yaklaşımı, olumsuz etkileri azaltarak kent sakinlerinin ve yapılı çevrenin refahını artırmayı amaçlamaktadır (Attard & Shiftan, 2015).

Kentsel lojistik faaliyetlerinin yol açtığı emisyonlar, küresel sera gazı salımlarındaki payını artırmaktadır. Özellikle kentlerde yaşayan nüfus hem ulaşım sistemlerinin yoğun kullanıcıları hem de iklim değişikliğinin etkilerine en fazla maruz kalan kesim olarak öne çıkmaktadır (Erker vd., 2009). Giderek büyüyen bu sorun karşısında entegre kentsel hareketlilik çözümlerine duyulan ihtiyaç her geçen gün daha fazla kabul görmektedir. Bu kapsamda özellikle otobüs, tramvay ve metro gibi mevcut toplu taşıma altyapıları içerisinde yolcu ve yük taşımacılığı ağlarının bütünleştirilmesi umut vadeden yaklaşımlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Yolcu ve yük taşımacılığının ayrı ayrı işlemesi yerine eşgüdümlü bir şekilde yönetilmesi hem verimliliği artırmak hem de trafik sıkışıklığını azaltmak ve daha geniş sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlamak açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Aynı ulaşım sisteminin hem mal ve hizmet taşımacılığı hem de yolcu hizmetleri için kullanılması sayesinde kentler, alan ve enerji kullanımını optimize edebilmekte ve kentsel yaşam kalitesini arttırabilmektedir. Ancak bu vizyonun hayata geçirilebilmesi için kentsel ulaşım planlamasında ulaşım modları ve kullanıcı kategorileri arasındaki katı ayrımları terk eden bunun yerine kentsel ulaşımı

bütüncül ve entegre bir sistem olarak ele alan bir yönetim anlayışının benimsenmesi zorunludur (Rześny-Cieplińska, 2023). Bu bağlamda kentsel lojistik sistemlerinin çevresel, sosyal ve ekonomik boyutları gözetilerek yeniden tasarlanması gerekmektedir.

İKİNCİ BÖLÜM

KENT İÇİ ULAŞIM VE MİKRO HAREKETLİLİK

Bu bölümde; ilk olarak, kent ekonomisi ile ulaşım sistemleri arasındaki karşılıklı ilişki incelenmiş; kentsel mekânın biçimlenmesinde ulaşım altyapısının belirleyici rolü, mekânsal yapıların merkezileşme ve kümelenme düzeylerine göre nasıl şekillendiği değerlendirilmiştir. Daha sonra kent içi ulaşım sistemlerinin dönüşümüne yönelik sürdürülebilir, akıllı ve dirençli hareketlilik yaklaşımları temelinde bir değerlendirme sunulmuştur. Devamında, son yıllarda küresel ölçekte yükselen bir eğilim haline gelen mikro hareketlilik kavramı ele alınmış; *e-scooter*, paylaşımlı bisiklet gibi mikro hareketlilik araçlarının türleri, kullanım alanları ve gelişim süreci açıklanmıştır. Son olarak, mikro hareketliliğin sürdürülebilir kent içi ulaşım üzerindeki rolü ve toplu taşıma sistemleriyle nasıl entegre edilebileceği değerlendirilmiştir. Ayrıca bu entegrasyonun çevresel etkileri ve kentsel hareketlilik yapısı üzerindeki katkılarına odaklanılmıştır. Bölüm genelinde, mikro hareketliliğin kent içi ulaşımda etkin ve sürdürülebilir bir alternatif olarak nasıl konumlandırılabileceği bütüncül bir yaklaşımla ele alınmıştır.

2.1. Kent Ekonomisi ve Ulaşım

Kent ekonomisi, şehirlerin kentsel alanlar şeklinde örgütlenmiş yapıları içerisindeki ekonomik dinamikleri inceleyen bir disiplindir. Bu disiplin, bireylerin ekonomik davranışlarını ve kentsel alanlarda gerçekleşen piyasa temelli etkileşimleri analiz etmeyi amaçlamaktadır (McDonald, 1996). Kent ekonomisinin temel dinamiklerinden biri olan ulaşım, bireylerin ekonomik faaliyetlere erişimini belirlemekte ve kentsel yapının gelişiminde merkezi bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, kentleşmenin hız kazanmasıyla birlikte ulaşım kaynaklı sorunlar da giderek daha görünür hâle gelmiştir. Bu gelişme, iki temel sonucu beraberinde getirmiştir: Bunlardan ilki, dünya genelinde ciddi ulaşım sorunlarının yoğunlaştığı bir mega kentler ağının ortaya çıkmasıdır. Diğeri ise ulaşım taleplerinin kentlerin özellikle merkezi iş alanları ve ana ulaşım koridorları gibi belirli bölgelerinde yoğunlaşma eğilimi göstermesidir. Bu bağlamda, kentleşme olgusu

doğrudan ulaşım altyapısının gelişimiyle şekillenmiştir. Kent içi ulaşım altyapısı; karayolları, toplu taşıma sistemleri ve yaya yolları gibi çeşitli unsurları kapsamakta olup söz konusu altyapılar zaman içerisinde hem mekânsal büyümeyi yönlendirmiş hem de kentlerin fiziksel organizasyonunu biçimlendirmiştir. Dolayısıyla yük ve yolcu taşımacılığını içeren kentsel ulaşım sistemleri, yalnızca bir hizmet alanı değil aynı zamanda kentsel mekânın yapısını belirleyen temel bir unsur olarak öne çıkmaktadır (McDonald, 1996).

Kentleşmeye paralel olarak yaşanan nüfus artışı, kent merkezlerindeki ulaşım sistemlerine yönelik talebi de ciddi ölçüde artırmaktadır. Bu durum mekânsal hareketliliği zorunlu kılmakta ancak aynı zamanda mevcut altyapıların bu talebi karşılamada yetersiz kalmasına yol açabilmektedir. Artan ulaşım talebi, ulaşım seçeneklerinin maliyeti, kalitesi, erişilebilirliği gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak şekillense de toplam talep üzerinde etkili olan çok sayıda değişken bulunmaktadır (Litman, 2025). Ulaşım odaklı gelişmeler dikkate alındığında kentsel mekânsal yapılar merkezileşme ve kümelenme düzeylerine göre sınıflandırılabilmektedir (Rodrigue, 2020):

- Merkezileşme, kentsel faaliyetlerin tüm kent alanı içerisindeki konumsal dağılımını ifade etmektedir. Merkezileşmiş kentlerde özellikle finans kuruluşları gibi büyük ölçekli işverenlerin etkisiyle ekonomik ve sosyal faaliyetlerin büyük bir bölümü belirli bir merkez etrafında yoğunlaşmaktadır. Buna karşılık, merkezileşmenin düşük olduğu kentlerde söz konusu faaliyetler daha dağınık bir yapı sergilemektedir.
- Kümelenme ise belirli bir kentsel bölge içerisindeki faaliyetlerin belli başlı odak noktaları etrafında yoğunlaşmasını ifade etmektedir. Bu tür kümeler karayolu kavşakları, toplu taşıma terminalleri veya metropoliten alanın genişlemesiyle bünyesine katılan küçük kent merkezleri gibi stratejik konumlarda oluşmaktadır.

Bu mekânsal yapılanma biçimlerinin temelinde ise düğümler (nodes) ve bağlantılardan oluşan (linkages) iki ana yapısal unsur ortaya çıkmaktadır (Rodrigue, 2020):

- Düğümler, kentsel faaliyetlerin mekânsal olarak yoğunlaştığı ve genellikle yüksek erişilebilirliğe sahip merkezleri ifade etmektedir. Bu noktalar limanlar, tren istasyonları, demiryolu sahaları ve havaalanları gibi terminaller aracılığıyla hem yerel hem de bölgesel düzeyde çeşitli ekonomik aktivitelerin kümelendiği alanlara dönüşmektedir.

- Bağlantılar ise düğümler arasında hareketliliği sağlayan ulaşım altyapılarını ifade etmektedir. En alt düzeydeki bağlantılar sokaklardan oluşmakta ve bu yapılar kentsel mekânın temel taşıyıcı unsurlarını temsil etmektedir. Bunu bölgesel yollar, demiryolları ve uluslararası hava ve deniz ulaşım ağları takip etmektedir. Böylece kentsel alanlardaki fonksiyonel bütünlük yerel ve küresel düzeyde sürdürülebilir bir hareketlilik yapısı üzerine inşa edilmektedir.

Kentsel ulaşım sistemleri genel olarak toplu taşıma, bireysel taşıma ve yük taşımacılığı olmak üzere üç ana kategoride değerlendirilmektedir. Bu kategoriler çoğu zaman birbirini tamamlayıcı nitelikte işlev görse de bazı durumlarda mevcut arazi kullanımı ve ulaşım altyapısının paylaşımı açısından rekabet hâlinde olabilmektedirler. İşe gidiş-geliş gibi günlük hareketlilik örüntüleri dikkate alındığında mekân ile seyahat süresi arasındaki ilişki, tercih edilen ulaşım moduna bağlı olarak önemli ölçüde farklılaşmaktadır. Günümüzde motorlu taşıt kullanımı ve bireysel hareketliliğin giderek yaygınlaşması sonucunda özellikle kişisel otomobile olan bağımlılık artmaya devam etmekte ve bu doğrultuda kentlerin mekânsal yapısı da dönüşmektedir.

2.2. Kent İçi Modern Ulaşım: Sürdürülebilir, Akıllı ve Dirençli Hareketlilik

Kent yaşamı, günümüz toplumunun yaşam biçimi haline gelmiştir. Kentler, iletişim, yenilik ve fırsatları teşvik eden güçlü kalkınma alanları olarak öne çıkmaktadır. Ancak bu faydaların yanında kentleşme aynı zamanda dünyanın karşı karşıya olduğu en ciddi çevresel ve sosyo-ekonomik sorunların da şiddetlenmesine neden olmaktadır. Mega kentler gibi yoğun nüfuslu kent merkezleri, genellikle doğal afetlere, çevre kirliliğine ve iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı yüksek düzeyde kırılgan bölgeler olarak gösterilebilir. Bu kentler aynı zamanda hava kirliliği ve halk sağlığı sorunları açısından da önemli risk alanları olarak öne çıkmaktadır. Tarihsel olarak kentleşme süreci, insan yerleşimlerini doğadan ayrı izole alanlar olarak tasarlama eğilimiyle şekillenmiştir. Ancak günümüzde kentlerin karşı karşıya olduğu çevresel ve toplumsal sorunların karmaşıklığı, yeni bir yaklaşımın gerekliliğini ortaya koymaktadır. Artık gerçek anlamda akıllı, sürdürülebilir ve dirençli kentlerin oluşturulmasının yalnızca teknolojik çözümlerle değil aynı zamanda doğal ekosistemlerin sunduğu olanaklarla entegre olmuş bir yaklaşımla mümkün olabileceği giderek daha fazla kabul görmektedir (UNDP, 2021).

Avrupa Komisyonu, 2020 yılında Sürdürülebilir ve Akıllı Hareketlilik Stratejisini ve buna bağlı eylem planını kamuoyuna sunmuştur. Komisyon, bu kapsamda Avrupa Birliği'ni

(AB) sürdürülebilir, akıllı ve dirençli bir hareketlilik sistemine yönlendirmeyi amaçlayan kapsamlı bir önlem paketi ortaya koymuştur. Avrupa Komisyonu tarafından sunulan Sürdürülebilir ve Akıllı Hareketlilik Stratejisi, Avrupa ulaşım sistemini çevresel olarak duyarlı ve dirençli, teknolojik olarak yenilikçi ve toplumsal olarak kapsayıcı hale getirmeyi amaçlayan üç temel ilke üzerine kurulmuştur. Bu üç temel ilke Şekil 2.1'de gösterilmektedir.

Şekil 2.1. *Sürdürülebilir ve akıllı hareketlilik stratejisi (Avrupa Komisyonu, 2021a'dan uyarlanmıştır.)*



Şekil 2.1'de yer alan ilk ilke olan sürdürülebilir hareketlilik, ulaşımda sıfır emisyonlu sistemlere kalıcı bir geçişi hedeflemektedir. Bu kapsamda tüm ulaşım modlarının daha çevreci hale getirilmesi, temiz ulaşım seçeneklerinin yaygınlaştırılması ve kullanıcıların sürdürülebilir tercihlere yönlendirilmesini sağlayacak teşviklerin oluşturulması öngörülmektedir. İkinci olarak akıllı hareketlilik, dijitalleşme ve otomasyon gibi teknolojik gelişmelerden yararlanarak sürdürülebilir ulaşım tercihlerinin desteklenmesini kesintisiz, güvenli ve verimli bir bağlantıya sahip altyapıyla gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır. Akıllı ulaşım sistemleri, veri temelli çözümlerle kullanıcı deneyimini geliştirirken aynı zamanda kentler arası ve kent içi ulaşımı daha bütünleşik hale

getirmektedir. Son olarak dirençli hareketlilik, COVID-19 pandemisinin etkilerinden ders çıkararak Avrupa genelinde krizlere dayanıklı, erişilebilir ve ekonomik açıdan ulaşılabilir bir ulaşım sistemi kurulmasını hedeflemektedir. Bu doğrultuda, vatandaşlar ve işletmeler için adil ve kapsayıcı bir ulaşım alanı oluşturulması hedeflenmektedir. Aynı zamanda sistemin gelecekteki güvenlik, sağlık ve altyapı risklerine karşı dayanıklı hale getirilmesi amaçlanmaktadır (Avrupa Komisyonu, 2020). Özetle bu üç temel unsur, Avrupa'nın ulaşım sektörünü yeşil ve dijital dönüşümle uyumlu bir şekilde yeniden şekillendirecek kapsamlı ve stratejik bir yol haritası sunmaktadır. Böylece ulaşım sistemlerinin uzun vadeli sürdürülebilirliği, kapsayıcılığı ve dirençliliği güvence altına alınmaktadır.

Ulaşım sektörü, Avrupa ekonomisinde merkezi bir rol oynamaktadır. Ulaşım, AB Gayrisafi Yurt İçi Hasıla'nın (GSYİH) yaklaşık %5'ine katkı sağlamakta ve 10 milyondan fazla kişiye istihdam sunmaktadır. Bununla birlikte AB'nin toplam sera gazı emisyonlarının yaklaşık %25'inden sorumlu olmakla birlikte gürültü, trafik sıkışıklığı ve kazalara bağlı maliyetler gibi önemli olumsuz dışsallıklara da neden olmaktadır. Bu nedenle iyi koordine edilmiş bir geçişi sağlamak için her biri somut önlemler içeren sürdürülebilir, akıllı ve dirençli ilkeler kapsamında 10 temel eylem ve 82 yaklaşım belirlenmiştir (Avrupa Komisyonu, 2021a):

A. Sürdürülebilir Hareketlilik Hedefleri

- Ulaşım sektöründe sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için bir dizi somut ve kapsamlı önlemin hayata geçirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda öncelikli hedeflerden biri sıfır emisyonlu teknolojilerin otomobiller, gemiler ve uçaklar genelinde yaygınlaştırılmasını hızlandırmaktır. Bu doğrultuda, 2030 yılına kadar 3 milyon halka açık şarj istasyonunun kurulması planlanmaktadır.
- Bir diğer önemli adım ise havaalanlarının ve limanların sıfır emisyonlu merkezler hâline getirilmesidir. Bu dönüşümün, sürdürülebilir havacılık ve denizcilik yakıtlarının kullanımını teşvik eden yeni girişimler aracılığıyla destekleneceği ifade edilmektedir.
- Aynı zamanda kent içi ve kentler arası hareketliliğin sağlıklı ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşturulması büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla, yüksek hızlı tren taşımacılığının iki katına çıkarılması ve bisiklet altyapısının genişletilmesi gibi adımların önümüzdeki on yıl içerisinde hayata geçirileceği ifade edilmektedir.

- Yük taşımacılığının çevresel etkilerinin azaltılması amacıyla yük trafiğinin demiryoluna ve diğer çevreci taşıma modlarına kaydırılması hedeflenmektedir.
- Son olarak, adil karbon fiyatlandırmasının uygulanması ve kullanıcıların iklim dostu ulaşım tercihlerini teşvik edecek ekonomik mekanizmaların geliştirilmesi de stratejinin temel bileşenleri arasında yer almaktadır.

B. Akıllı Hareketlilik Hedefleri

Dijitalleşme ve yenilikçilik, ulaşımda hem yolcu hem de yük hareketliliğini dönüştürme potansiyeline sahiptir ancak bunun için gerekli koşulların sağlanması gerekmektedir.

- Bağlantılı, otomatik ve modlar arası hareketliliğin hayata geçirilmesi önerilmektedir. Bu sayede yolcuların çok modlu yolculuklar için entegre bilet satın alabilmesi ve yüklerin farklı ulaşım modları arasında kesintisiz şekilde aktarılabilmesi hedeflenmektedir.
- Ayrıca veri odaklı çözümler ve yapay zekâ teknolojilerinin kullanımıyla akıllı ulaşımın desteklenmesi öngörülmektedir. Bu amaçla, *drone* ve insansız hava araçlarının kullanımı teşvik edilmektedir.

C. Dirençli Hareketlilik Hedefleri

COVID-19 pandemisi, ulaşım sektörünü en fazla etkileyen alanlardan biri olmuş ve sektördeki birçok işletme ciddi operasyonel ve finansal sorunlarla karşı karşıya kalmıştır. Bu nedenle Avrupa Komisyonu, sektörün dirençliliğini artırmaya yönelik taahhütlerde bulunmaktadır.

- İlk olarak, Avrupa tek pazarının güçlendirilmesi ve bu kapsamda Avrupa Ulaşım Ağı'nın 2030 yılına kadar tamamlanmasına yönelik yatırımların artırılması ve tüm ulaşım modlarında filoların modernizasyonuna yönelik kamu ve özel yatırımların desteklenmesi hedeflenmektedir.
- İkinci olarak, ulaşım sistemlerinin herkes için adil ve kapsayıcı hale getirilmesi amaçlanmaktadır. Yeni nesil hareketlilik sistemlerinin, tüm bölgelerde ve tüm yolcular için erişilebilir ve uygun fiyatlı olması, engelli bireylerin ihtiyaçlarının karşılanması ve ulaşım sektörünün çalışma koşulları açısından cazip hale getirilmesinin stratejinin öncelikleri arasında olduğu ifade edilmektedir.
- Son olarak, tüm ulaşım türlerinde emniyetin artırılması, 2050 yılına kadar ulaşım kaynaklı can kayıplarının sıfıra yakın seviyeye indirilmesi hedeflenmektedir.

Avrupa Komisyonu tarafından ileri sürülen sürdürülebilir, akıllı ve dirençli hareketlilik vizyonu yalnızca AB sınırları içerisinde değil dünya genelinde de ulaşım politikalarına yön veren temel yaklaşımlardan biri hâline gelmiştir. Özellikle iklim krizi, enerji güvenliği ve kent içi yaşam kalitesi gibi küresel sorunlar, birçok ülkeyi ulaşım sistemlerini yeniden düzenlemeye ve dönüştürmeye zorlamaktadır. Avrupa'da benimsenen bu stratejiler, farklı kıtalardaki kentler ve ulusal yönetimler için de ilham kaynağı olmakta; çevresel etkileri azaltan, teknolojiyi etkin kullanan ve krizler karşısında daha dayanıklı yapılar kurmayı hedefleyen yeni ulaşım politikalarının gelişmesine katkı sunmaktadır. Bu küresel yönelim doğrultusunda, hızla artan nüfus ve yoğunlaşan kentleşmenin beraberinde getirdiği ulaşım kaynaklı çevresel, sosyal ve ekonomik sorunlar günümüz kara ulaşım sistemlerini daha akıllı, sürdürülebilir ve dirençli bir yapıya dönüştürmektedir. Geleneksel ulaşım altyapıları genellikle normal hava koşulları dikkate alınarak tasarlanmış olup aşırı hava olayları gibi durumlarda sınırlı düzeyde hizmet verebilmekte ya da hiç verememektedir. Ancak son yıllarda artan iklim kaynaklı doğa olayları, mevcut sistemlerin kırılgan yönlerini ortaya çıkarmış ve ciddi hizmet kesintilerine neden olmuştur. Ulaşım sisteminin, kritik altyapı bileşenlerinden biri olması sebebiyle bu alandaki işlev kayıpları, ekonomik, sosyal ve finansal sistemlerde zincirleme aksamalara yol açabilmektedir. Bu tür olayların çoğu önceden tahmin edilemediği için uygulayıcıların ulaşım altyapısını koruma çabaları belirsizlik ortamında oldukça güçleşmektedir. Bu bağlamda, bağlantılı ve otonom araçlar, elektrikli araçlar, mikro toplu taşıma çözümleri ve mikro hareketlilik araçları (örneğin, *e-scooter* ve paylaşımlı bisikletler) ile birlikte hava taşıma sistemleri ve yeraltı ulaşım altyapısındaki gelişmeler, büyük potansiyel sunmaktadır. Bu yenilikler, sadece kent içi ulaşım ağlarının esnekliğini ve dayanıklılığını artırmakla kalmamakta aynı zamanda talep odaklı, kullanıcı merkezli ve çevre dostu ulaşım hizmetlerinin yaygınlaşmasına da katkı sağlamaktadır. Bundan sonraki süreçte en kritik konu iki yönlüdür: Birincisi, geleceğin ulaşım sistemlerine yön verecek teknolojilerin nasıl geliştirileceği ve hayata geçirileceği; ikincisi ise bu akıllı ve sürdürülebilir ulaşım biçimlerine yönelik kamuoyu farkındalığının nasıl artırılacağı ve toplumun bunları nasıl benimseyeceğidir. Bu sorulara verilecek yanıtlar iklim krizine dayanıklı, kapsayıcı ve geleceğe uyumlu kentsel hareketlilik sistemlerinin inşasında belirleyici rol oynayacaktır (Peng vd., 2022).

2.3. Mikro Hareketlilik: Kavram, Türler ve Gelişim Süreci

2.3.1. Mikro Hareketlilik Kavramının Gelişimi ve Kentsel Ulaşımda Ortaya Çıkışı

Ulaşım sistemlerinin, teknolojik gelişmeler, sosyo-ekonomik dinamikler, piyasa koşulları ve çevresel kısıtlamaların ortak etkisiyle güçlü bir dönüşüm sürecinden geçtiği vurgulanmaktadır. Bu dönüşümün en dikkat çekici sonuçlarından biri kent içi yolcu taşımacılığı sistemlerinde tercih edilen hareketlilik biçimlerinin yapısında yaşanan değişimdir. Kent içi ulaşım yapısı, yeni nesil araç teknolojileri ve yenilikçi hareketlilik modelleri ile yeniden şekillenmektedir. Uzmanlar bu eğilimlerin 2030 yılı itibarıyla kentsel hareketliliğin önemli bir bölümünü oluşturacağını öngörmektedir (McKinsey, 2023). Bu yapısal değişimler, iki ana eğilim altında incelenebilmektedir. İlk olarak, otonom araçlar (örneğin sürücüsüz servisler, otomom taksiler) gibi sürücüsüz ulaşım çözümlerinin yaygınlaşmasını kapsamaktadır. İkinci olarak ise iki ve üç tekerlekli küçük bireysel ulaşım araçları gibi hafif mikro hareketlilik çözümlerine yönelimi ifade etmektedir. Bu değişimler yalnızca kent içinde farklı ulaşım seçeneklerinin artmasını değil aynı zamanda kentsel hareketlilik sistemlerinin kurgulanma biçiminde köklü bir değişimi de beraberinde getirmektedir. Özellikle otonom araçlara dayalı bütünleşik iş modellerinin gelişmesiyle birlikte bu tür çözümlerin özel araç sahipliği ve geleneksel toplu taşıma sistemlerine alternatif oluşturacak yeni bir kentsel ulaşım modeli haline gelebileceği öngörülmektedir (Ulitskaya vd., 2022).

Mikro hareketlilik kavramı yeni bir olgu değildir. Bu kavram, ilk olarak 1975 yılında Avrupa'da başlatılan talep üzerine bisiklet paylaşım programıyla ortaya çıkmıştır. Zamanla gelişim gösteren mikro hareketlilik, geleneksel ulaşım araçları olan bisikletlerin, kaykayların ve *scooterların* elektrikli versiyonlara dönüştürülmesiyle yeniden gündeme gelmiştir. Günümüzde ise "mikro hareketlilik" denildiğinde genellikle *e-scooter* e-bisikletler ve elektrikli kaykaylar gibi çeşitli kompakt elektrikli araçlar akla gelmektedir (Avrupa Komisyonu, 2021b). Mikro hareketlilik, son yıllarda kentsel ulaşımda dönüştürücü bir eğilim olarak hızla öne çıkmış ve katlanarak büyüyen bir gelişim süreci göstermiştir. Bisikletler gibi geleneksel insan gücüyle çalışan araçlara ek olarak dünya genelindeki birçok kentte *e-scooter*, e-bisiklet ve çeşitli elektrikli mikro taşıma araçlarının kullanımı dikkate değer şekilde artmıştır. Hem paylaşımlı hem de bireysel kullanıma yönelik olarak tasarlanmış çok sayıda mikro hareketlilik aracı son yıllarda kentlerde hizmete sunulmuş ve bu yenilikler kamuoyundan geniş ölçüde olumlu geri

dönüş almıştır. Bu artan ilgi kentlerdeki yoğun trafik, erişilebilirlik ve düşük emisyon ihtiyaçlarına karşılık gelen esnek ve çevreci ulaşım tercihlerine yönelik eğilimin güçlendiğini göstermektedir (Oeschger vd., 2020).

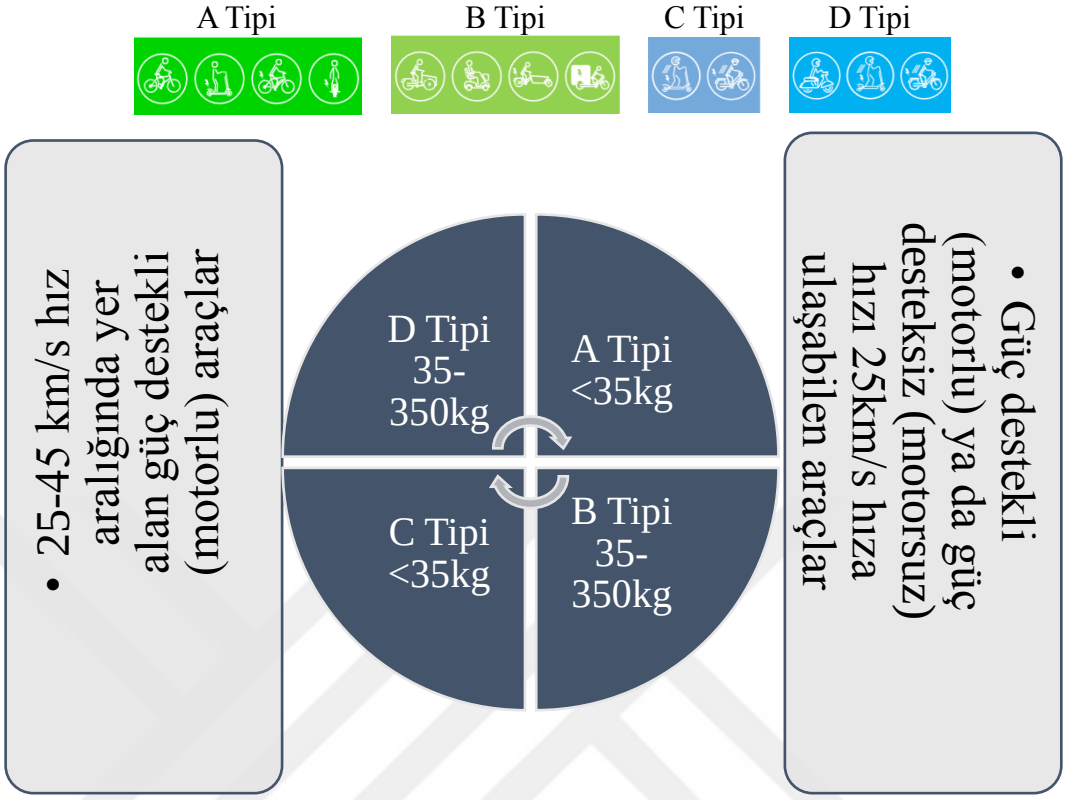
2.3.2. Mikro Hareketlilik Araçlarının Sınıflandırılması, Yaygınlaşması ve Kentsel Sürdürülebilirliğe Katkısı

Uluslararası Ticaret Forumu (ITF) mikro hareketliliği şu şekilde tanımlamaktadır: "*…kütlesi 350 kg'dan az ve tasarım hızı 45 km/s veya daha düşük olan araçların kullanımıdır. Bu tanım, bu tür mikro araçların kinetik enerjisini 27 kJ ile sınırlandırmakta olup bu değer bir kompakt otomobilin maksimum hızda ulaştığı kinetik enerjinin yüz kat daha düşüğüdür.*" Rapor, mikro hareketlilik araçlarını kütle ve hız kriterlerine göre dört temel tipe ayırmaktadır (ITF, 2020):

Tip A mikro hareketlilik araçları, en fazla 35 kilogram ağırlığında olan ve eğer motorlu destekleri varsa bu desteğin elektronik olarak sınırlandırıldığı ve dolayısıyla azami hızın 25 km/s ile sınırlı olduğu araçlardır. Bu kategoriye; bisikletler, e-bisiklet, *e-scooter* ve kişinin dengesini kendisi sağladığı (self-balanced) kişisel taşıma araçları gibi çeşitli taşıtlar girmektedir.

Tip B mikro hareketlilik araçları, Tip A'ya göre daha yüksek ağırlığa sahip olan araçları kapsamakta iken Tip C mikro hareketlilik araçları, daha yüksek hıza ulaşabilenleri ifade etmektedir. Tip D mikro hareketlilik araçları ise hem kütlesi hem de hızı Tip A'ya nazaran daha yüksek olanlardır. Bu sınıflandırma yaklaşımı, farklı mikro hareketlilik çözümlerinin kullanım alanı, etkisi ve düzenleme ihtiyaçları açısından daha net bir şekilde ayırt edilmesine olanak tanımaktadır. Şekil 2.2, mikro hareketlilik araçlarının sınıflandırılmasını göstermektedir.

Şekil 2.2. *Mikro hareketlilik araç sınıflandırması (ITF, 2020)*



Şekil 2.2, dört farklı tipten oluşan mikro hareketlilik araçlarının sınıflandırmasını göstermektedir. Mikro hareketlilik terimi, çok çeşitli araçları ve hizmetleri kapsamaktadır. Mikro hareketlilik araçları, ortak bir fiziksel yapıya sahip olmayan çeşitli tasarımlarla karşımıza çıkmaktadır. Tekerlek sayısı veya sürüş pozisyonu (oturarak ya da ayakta) gibi unsurlar ile bu araçlar sınıflandırılamamaktadır. Ayrıca kas gücü, elektrikli batarya, yakıt ya da bu kaynakların kombinasyonlarıyla çalışabilmeleri, enerji kaynağına dayalı bir tanımı da işlevsiz kılmaktadır. Ancak mikro hareketlilik araçlarının düzenlenmesinde aracı kullanmak için gereken fiziksel eforun dikkate alınması önemlidir. Özellikle güçsüz veya pedal destekli araçlar, kullanıcıların fiziksel aktivitesini teşvik ederek halk sağlığına olumlu katkılar sunmaktadır. Bu araçlar arasında en yaygın olanları ise A ve C tipi grupta yer alan bisiklet, paylaşımlı bisiklet, *e-scooter*, e-bisiklet gibi araçlardır (ITF, 2020).

Motorlu olmayan ulaşım türleri ve mikro hareketlilik uygulamalarının kullanımı birçok kentte giderek artmaktadır. Özellikle bisiklet ve *e-scooter* kullanımı, günümüzde her zamankinden daha yaygın ve ekonomik olarak daha erişilebilir hâle dönüşmüştür (Useche vd., 2022). Amerikan Ulusal Kent Ulaşımı Yetkilileri Birliği (NACTO) tarafından yayımlanan ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ile Kanada'daki kentlerde istasyonsuz e-bisikletler, istasyonsuz *scooterlar* ve istasyon tabanlı bisiklet paylaşım sistemlerine

ilişkin verileri analiz eden yıllık rapora göre, 2023 yılında ABD'de 133 milyon, Kanada'da ise 24 milyon paylaşımlı mikro hareketlilik yolculuğu gerçekleştirilmiştir. Kanada'daki yolculuk sayısı, istasyon tabanlı sistemlerin yaygınlaştırılması ve istasyonsuz *scooterların* yeni pazarlara girişi sayesinde 2023 yılında %40 gibi dikkat çekici bir artış göstermiştir. Benzer şekilde ABD'deki yolculuk sayısının da aynı dönemde %16 oranında arttığı ifade edilmektedir (NACTO, 2024).

Mikro hareketlilik, çeşitli kentsel ulaşım sorunlarını çözme ve özel motorlu araç kullanımından uzaklaşmayı teşvik etme açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır. Kentsel ulaşım yapısına en önemli katkısı ise ilk ve son adım bağlantısını yöneterek toplu taşıma sistemleriyle entegrasyonu güçlendirmesidir. Bu durum, hizmetlere ve fırsatlara erişimi artırmakta ve seyahat davranışları ile hareketlilik kalıplarında değişimi teşvik etmektedir. Sonuç olarak, mikro hareketlilik özel araçlara daha az bağımlı ve sürdürülebilir ulaşım hedefleriyle uyumlu kentsel ulaşım sistemlerinin gelişimine katkı sağlamaktadır (Møller vd., 2019).

2.4. Sürdürülebilir Kent İçi Ulaşımda Mikro Hareketlilik ve Ulaşım Sistemlerine Entegrasyonu

Toplumların ekonomik ve sosyal gelişim düzeylerinin en düşük olduğu aşamalarda ulaşım ihtiyaçlarına, taşımaya elverişli her türlü araç ile karşılık verilirken yolcu güvenliği ve konforu ikincil planda kalmaktadır. Ancak bireysel refah düzeyinin artmasıyla birlikte toplumun ulaşım hizmetlerinin kalitesine yönelik talepleri de yükselmektedir. Bu duruma karşılık olarak kent yönetimleri kent içi ulaşımda yolcu taşımacılığına daha etkin müdahalelerde bulunmaya başlamaktadır. Bu durum dağınık taşıyıcı hizmetlerinden, yapılandırılmış bir kent için toplu taşıma sistemine geçişi kolaylaştıran idari yapıların oluşturulmasını beraberinde getirmektedir (Ulitskaya vd., 2022). Bunun yanı sıra günümüz toplumunun küresel sorunu olan iklim değişikliği ve diğer çevresel sorunların giderek artan etkisi daha sürdürülebilir bir kentsel gelişim ihtiyacını ön plana çıkarmaktadır. Çevresel bozulmaya önemli ölçüde katkıda bulunan ulaşım sektörü ise bu dönüşümün merkezinde yer almaktadır.

Toplu taşıma, günümüz toplumlarında birçok bireyin günlük ulaşımında önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle kentsel alanların verimli kullanımı ve enerji tasarrufu açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Bu ulaşım sistemleri, çevresel ve mekânsal faydalarının ötesinde yalnızca kent merkezlerine değil aynı zamanda özel coğrafi

koşullara sahip veya kişisel araçlarla erişimin kısıtlı olduğu bölgelere ulaşımı da mümkün kılmaktadır. Ayrıca toplu taşıma, kent içi ulaşım sistemlerinin etkinliğini artıran, güvenli, ekonomik ve trafik yoğunluğunu azaltıcı bir seyahat alternatifi olarak öne çıkmaktadır (Desaulniers & Hickman, 2007). Bu doğrultuda birçok ülke toplu taşıma ve yaya ya da bisiklet gibi aktif ulaşım türlerini teşvik eden politikalar uygulamaya koymaktadır. Özellikle mikro hareketlilik gibi yeni hareketlilik çözümleri giderek daha fazla ilgi görmektedir. Trafik sıkışıklığını azaltma ve çevresel etkileri en aza indirme potansiyeline sahip bu kompakt ve düşük emisyonlu ulaşım türleri, geleceğin kentsel hareketlilik sistemlerinin vazgeçilmez bir parçası olarak değerlendirilmektedir. Artan kent nüfusu ve yükselen yakıt fiyatları karşısında mikro hareketlilik sistemleri kullanıcılara erişilebilir, düşük maliyetli ve çevre dostu özellikleri sayesinde cazip bir alternatif sunmaktadır. Mikro hareketlilik sistemlerinin kent içi ulaşım ağlarına entegrasyonu ve yaygınlaştırılması, bireylerin kent içindeki hareket biçimlerini köklü bir şekilde dönüştürebilecek önemli bir adım olarak görülmektedir (Avrupa Komisyonu, 2021b). Şekil 2.3 basit bir entegre mikro hareketlilik sistemini göstermektedir:

Şekil 2.3. *Basit entegre mikro hareketlilik şeması (Oeschger vd., 2023)*



Şekil 2.3, evden çıkış anından itibaren başlayan yolculuğun, yürüyüş gibi aktif ulaşım modları veya *e-scooter*, paylaşımlı bisiklet gibi mikro hareketlilik araçları kullanılarak en yakın toplu taşıma istasyonuna ulaşımını göstermektedir. Bu, entegre sistemin ilk adımıdır ve toplu taşımaya erişimi kolaylaştırmaktadır. Daha sonra otobüs, metro, tramvay gibi sabit hatlı toplu taşıma araçları devreye girmekte ve uzak mesafeler bu araçlarla hızlı, ekonomik ve çevre dostu biçimde aşılmaktadır. Son aşamada ise toplu taşıma noktasından nihai varış yerine ulaşım sağlanmaktadır. Burada da yine mikro hareketlilik araçları (bisiklet, *e-scooter*) veya yürüyüş tercih edilmektedir. Bu aşama, ulaşımın tamamlayıcı parçasıdır ve kullanıcının hedef noktaya erişimini sağlamaktadır.

Şekilde ifade edildiği üzere entegre mikro hareketlilik, bu üç aşamanın birbirine entegre bir ulaşım sisteminin parçası olduğunu vurgulamaktadır. Burada mikro hareketlilik, yalnızca bağımsız bir ulaşım modu olmaktan çıkarak toplu taşımanın etkinliğini artıran, erişimi kolaylaştıran ve yolculuk zincirini tamamlayan kapsayıcı bir ulaşım çözümü olarak değerlendirilmelidir. Bu yapı sayesinde kullanıcılar daha hızlı, çevre dostu, erişilebilir ve maliyet etkin şekilde hareket edebilmektedir.

Kentsel ölçekte mikro hareketliliğin temel potansiyeli, toplu taşımaya erişimi artırarak ilk ve son adımı etkin yönetme kapasitesinde yatmaktadır. Bu sayede hizmet ve fırsatlara erişim kolaylaşmakta ve daha az otomobil odaklı kentsel ulaşım sistemlerine geçişi amaçlayan hareketlilik davranışlarında dönüşüm sağlanmaktadır (Møller vd., 2019). Mikro hareketlilik ile toplu taşımanın tek bir seyahat zinciri olarak bütünleşmiş hibrit bir ulaşım modu şeklinde ele alınması, bu iki sistemin avantajlarını bir araya getiren sürdürülebilir bir ulaşım çözümünün ortaya çıkmasını mümkün kılmaktadır. Mikro hareketlilik, esnek ve kapıdan kapıya erişim imkânı sunarken, toplu taşıma, daha yüksek hız ve geniş mekânsal kapsama alanı sağlamaktadır. Bu iki özelliğin sinerjisi, özel motorlu taşıtlarla rekabet edebilecek düzeyde erişilebilirlik, verimlilik ve konfor yaratmaktadır. Sonuç olarak, bu entegrasyon hem mod değişimini teşvik etmekte hem de daha yaşanabilir kentlerin oluşumuna katkı sağlamaktadır (Kager vd., 2016). Özellikle trafik sıkışıklığının, hava ve gürültü kirliliğinin azalmasına ve kentsel erişilebilirliğin artırılmasına önemli katkılar sunmaktadır.

Mikro hareketlilik, toplumsal, ekonomik ve halk sağlığı açısından kent sakinlerine çok sayıda fayda sunmasına rağmen günümüzde birçok kent bu ulaşım biçimini sürdürülebilir ulaşım planlarının bütüncül bir parçası hâline getirmekte yetersiz kalmıştır. Bu duruma çözüm olarak Ulaşım ve Kalkınma Politikası Enstitüsü (ITDP), çok modlu entegrasyon (multimodal integration) yaklaşımının benimsenmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu yaklaşım, farklı ulaşım modlarının fiziksel altyapı, ödeme sistemleri, bilgilendirme hizmetleri ve kurumsal yönetim düzeyinde eşgüdüm içinde çalışmasını amaçlamaktadır. Mikro hareketlilik ile toplu taşımanın entegre edilmesi, seyahat verimliliğini artırmakta ve daha çeşitli ulaşım seçenekleri sunarak kullanıcı deneyimini geliştirmektedir. Kentlerin çok modlu entegrasyonu gerçekleştirebilmesi için önerilen stratejiler ise şunlardır (ITDP, 2021):

1. Fiziksel Entegrasyon: Mikro hareketlilik ve toplu taşıma altyapıları birbirine yakın olacak şekilde konumlandırılmalıdır. Güvenli mikro hareketlilik şeritleri oluşturulmalı ve toplu taşıma istasyonlarında güvenli park alanları sağlanmalıdır.
2. Ödeme ve Ücret Entegrasyonu: Kullanıcıların farklı ulaşım modları arasında rezervasyon, aktarma ve ödeme işlemlerini tek bir platform (örneğin mobil uygulama veya akıllı kart) üzerinden gerçekleştirebileceği entegre bir sistem geliştirilmelidir. Ücret yapıları sadeleştirilmeli ve indirimli aktarma seçenekleri sunulmalıdır.
3. Bilgi Entegrasyonu: Rotalar, ücretler ve aktarmalar hakkında net, erişilebilir ve gerçek zamanlı bilgiler sağlanmalıdır. Çok modlu seyahat planlayıcı uygulamalar ve entegre yönlendirme sistemleri, kullanıcıların bilinçli kararlar almasını kolaylaştırır.
4. Kurumsal Entegrasyon: Ulaşım hizmet sağlayıcıları ve kamu kurumları arasında iş birliği güçlendirilmelidir. Farklı ulaşım modlarını yönetecek tek bir otoritenin oluşturulması veya çok sayıda belediyeyi kapsayan entegre sistemlerin kurulması bu süreci destekleyecektir.

Çok modlu entegrasyon, kentsel ulaşım sistemlerinin etkinliğini ve kalitesini artırarak çevresel, sosyal ve ekonomik açılardan önemli katkılar sunmaktadır. Toplu taşımaya erişimi genişleten bu yaklaşım özellikle daha önce hizmet alanı dışında kalan bireylerin ulaşım ağından faydalanmasını sağlamaktadır. Ayrıca daha güvenilir ve esnek seyahat seçenekleri sunarak toplu taşıma, yürüme ve bisiklet gibi sürdürülebilir ulaşım türlerinin kullanımını teşvik etmektedir. Güvenli ve kolay erişim, kullanıcı memnuniyetini artırırken, özel araç kullanımının azalmasıyla trafik sıkışıklığı ve çevresel kirlilik azalmaktadır. Entegrasyon sayesinde yolculuk süreleri ve maliyetleri azalmakta ve özellikle düşük gelirli bireyler için ulaşımda eşitliği güçlendirerek genel yaşam kalitesini iyileştirmektedir (ITDP, 2021).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME VE BULANIK MANTIK

Bu bölümde; karar verme süreçlerinde birden fazla ölçütü dikkate alan Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri ve bu yöntemleri belirsizlik altında daha esnek hale getiren bulanık mantık yaklaşımı ele alınmıştır. Öncelikle, ÇKKV'nin temel yapısı ve karar destek sistemlerindeki rolü açıklanmıştır. Devamında, bulanık mantığın tarihsel gelişimi, temel kavramları, bulanık kümeler ve Triangular Fuzzy Numbers- Üçgensel Bulanık Sayılar (TFN'ler) gibi temel yapı taşları detaylandırılmıştır. Bu arka plan doğrultusunda, karar verme problemlerine uyarlanan ve literatürde yeni nesil yöntemler olarak öne çıkan, ayrıca bu tez çalışmasına konu olan karar verme probleminin çözülmesinde kullanılan Fuzzy Full Consistency Method (FUCOM-F) ve Fuzzy Mixed Aggregation by COmprehensive Normalization Technique (MACONT-F) yöntemleri tanıtılmıştır.

3.1. Çok Kriterli Karar Verme

Karar verme hem basit hem de karmaşık bağlamlarda düzenli olarak gerçekleşen insan yaşamının bir parçasıdır. Bireyler, genellikle birbirini dışlayan çeşitli alternatifleri değerlendirmek ve en uygun seçeneği belirlemek zorunda kalmaktadır. Seçim sürecinin en iyi ya da duruma en uygun sonuca ulaşmasını sağlamak için ampirik ve bilimsel yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu karar verme durumları, günlük hayatta gerçekleştirilen basit tercihlerden kompleks bir mühendislik sisteminde kritik bir ekipman için en uygun bakım stratejisinin belirlenmesine kadar son derece karmaşık kararlara kadar geniş bir yelpazede çeşitlenebilmektedir (Lopez vd., 2023).

Karar verme, genel olarak dört temel aşamada ilerleyen bir süreçtir. Bu süreçte sırasıyla (i) problemin tanımlanması; (ii) tercihlerin belirlenmesi; (iii) mevcut alternatiflerin değerlendirilmesi ve (iv) en uygun seçeneğin seçilmesi adımları gerçekleştirilmektedir. Karar verme süreci kapsamında üç farklı analiz türü tanımlanmaktadır (Thakkar, 2021):

- Betimleyici (Descriptive) analiz: Bu yaklaşım, karar vericinin grafiksel veya tablolar şeklinde sunulan veri ve bilgileri yorumlayarak anlamlı çıkarımlar elde etmesine odaklanmaktadır.
- Önerici (Prescriptive) analiz: Bu analiz türü, karar verme sürecinin kalitesini ve etkinliğini artırmak amacıyla çeşitli yöntem ve tekniklerin uygulanmasına dayanmaktadır.
- Normatif (Normative) analiz: Son olarak bu analiz türü ise karar vericinin doğru ve yanlış argümanları değerlendirerek sorunun çözümüne aktif katılımını gerektiren durumları kapsamaktadır. Farklı görüşlerin eleştirel bir şekilde incelenmesini ve nihai karara varılmadan önce bir uzlaşı sağlanmasını amaçlamaktadır.

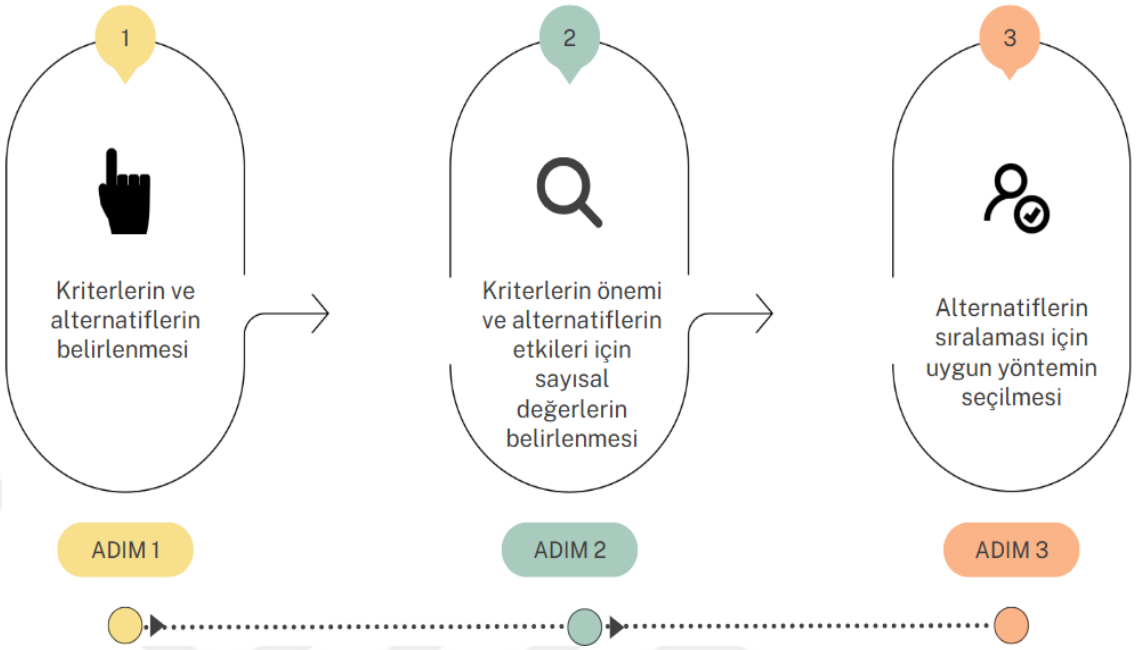
Birden fazla alternatifin çeşitli kriterler doğrultusunda değerlendirilmesini içeren karar verme problemleri, genellikle ÇKKV alanı kapsamında ele alınmaktadır. Bu alan, genel olarak iki ana kategoriye ayrılmaktadır: Çok Ölçütlü Karar Verme (MADM) ve Çok Amaçlı Karar Verme (MODM). MADM, sınırlı sayıda önceden tanımlanmış alternatifi değerlendirmekte ve genellikle ayrık tercih derecelendirmelerine dayanmaktadır. Diğer bir yandan MODM ise tasarım ve planlama odaklı problemlere yöneliktir ve etkileşimli kısıtlar altında bir dizi amacın optimize edilmesini amaçlamaktadır (Thakkar, 2021).

ÇKKV süreci genellikle üç temel aşamada yürütülmektedir:

1. Geçerli teori ve uygulamalardan hareketle ilgili kriterlerin ve alternatiflerin belirlenmesi.
2. Kriterlerin görece önemini ve alternatiflerin bu kriterler üzerindeki etkilerini sayısal olarak ifade etmek amacıyla değerlerin atanması.
3. Bu sayısal verilerin analiz edilerek alternatiflerin öncelik sıralamasını belirlemek için matematiksel bir yöntemin uygulanması.

Şekil 3.1, genel bir ÇKKV sürecinin işleyişini özetlemektedir.

Şekil 3.1. *ÇKKV süreç şeması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)*



Şekil 3.1'den hareketle gerçek dünya koşullarında, karar verme süreçlerinin çoğunlukla hedeflerin ve kısıtların doğaları gereği tam olarak tanımlanamadığı ve bu nedenle problemlerin kesin ve net değerlerle ifade edilemediği ortamlarda gerçekleştiği yaygın şekilde kabul edilmektedir (Bellman & Zadeh, 1970). Nitel, belirsiz ya da zayıf yapılandırılmış karar problemlerinin üstesinden gelebilmek için Zadeh (1965), insan kontrolüne açık ancak kesin şekilde tanımlanması güç olan karmaşık sistemlerin modellenmesinde bulanık küme teorisinin kullanılmasını önermiştir.

3.2. Bulanık Mantık Teorisi: Temel Kavramlar ve Tarihsel Gelişim

Geçtiğimiz yüzyılda bilim ve matematikte meydana gelen çeşitli paradigmatik değişimler arasında belirsizlik kavramı da yer almaktadır. Modern belirsizlik kavramının evriminde önemli bir noktanın genel olarak Zadeh'in 1965 yılındaki çığır açıcı makalesinin yayımlanması olduğu kabul edilmektedir (Klir & Yuan, 1995).

Zadeh'in literatüre en önemli katkısı, doğal dil üzerine yaptığı çalışmalarında yer alan kavramların nasıl uygulanabileceğine dair ortaya koyduğu vizyondur. Zadeh'in ortaya koyduğu temel fikir, ünlemler, edatlar vb. hariç doğal dilde tam anlam taşıyan kelime ve ifadelerin neredeyse tamamının belirsiz bir anlamsal yapıya sahip olduğu gözlemine dayanmaktadır. Zadeh, bu belirsizliği "derece" kavramı aracılığıyla ölçmeyi önermiştir. Buna bağlı olarak bu tür ifadelerin açılımlarının bulanık kümeler kullanılarak modellenebileceğini belirtmiştir. Devrim niteliğindeki bu yaklaşım ilk kez dilsel anlamın

doğasında bulunan belirsizliğin bir model içerisinde ele alınmasına olanak tanımıştır (Novák, 2020).

Karar vericiler, karar verme problemlerinde alternatiflerin karmaşık özelliklerini değerlendirirken çoğu zaman sezgilerine ve önceki deneyimlerine dayalı olarak hareket etmektedir. Bu durum, değerlendirme sürecinde belirli düzeyde bulanıklığın ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu tür belirsizliklerin modellenmesinde bulanık küme teorisi etkili bir araç olarak kullanılmaktadır. Gerçek sayılar kümesi üzerinde tanımlanan ve bulanık kümelerin özel bir türü olan TFN'ler ise karar verme uygulamalarında yaygın bir şekilde tercih edilmektedir (Wang, 2021).

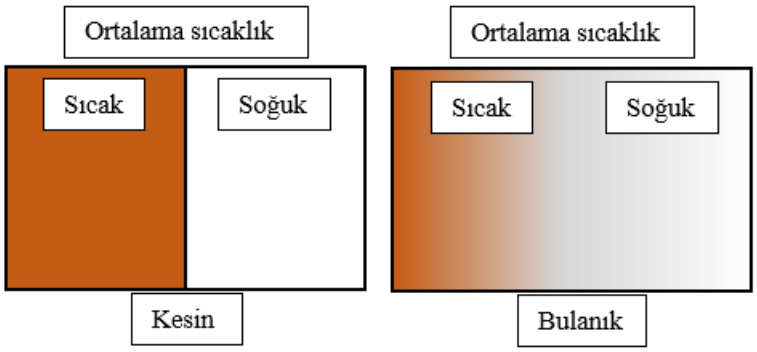
3.2.1. Bulanık Kümeler

ÇKKV hem ayrık hem de sürekli karar problemlerini ele almak için çeşitli yöntemler içermektedir. Bu yöntemler arasında bulanık küme teorisi (fuzzy set theory), ÇKKV ile en yaygın şekilde entegre edilen ve geliştirilen teorik çerçevelerden biri olarak öne çıkmaktadır (Kahraman, 2008). ÇKKV uygulamalarında, bilgi eksikliği, parametrelerin anlaşılmasının sınırlılığı, uzman görüşlerindeki belirsizlikler veya tercihlerin ifade edilmesindeki güçlükler gibi nedenlerle sıklıkla belirsizlik durumları ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, karar verme süreçlerinde mevcut belirsizlik ve muğlaklıkları etkin bir şekilde yönetebilmek amacıyla ÇKKV yöntemlerinin bulanık küme teorisi ile entegre edilmesi önerilmektedir. Ayrıca bulanık tabanlı yaklaşımların uygulanması daha somut ve güvenilir sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamaktadır (Kaya vd., 2019).

Bulanık küme teorisi özellikle belirsiz, öznel ve kesin olmayan yargılarla ilgili problemlerin ele alınmasında daha esnek bir çerçeve sunmaktadır. Bu teori, mevcut veri setlerinde ve tercih yapılarında bulunan dilsel ifadelerin hem bireysel hem de grup temelli karar verme süreçlerinde sayısallaştırılmasına imkân tanımaktadır.

Bulanık küme mantığında, "sıcaklık" gibi kavramlar farklı bir biçimde yorumlanmaktadır. Nesneler veya durumlar, belirli bir sıcaklık değerine göre kesin olarak "sıcak" ya da "soğuk" kategorilerine atanmaktansa bu kategorilere belirli bir üyelik derecesiyle dâhil edilmektedir. Örneğin, bir ortamın sıcaklığı, onun "sıcak" kümesine hangi oranda ait olduğunu belirlemektedir. Bir ortam aynı anda hem "soğuk" hem de "sıcak" kümelerine farklı üyelik dereceleriyle dâhil olabilmektedir. Sıcaklık değeri arttıkça, "sıcak" kümesine olan üyelik derecesi de artış göstermektedir. Şekil 3.2, durulaştırılmış ve bulanık değerlerin üyelik fonksiyonlarını göstermektedir.

Şekil 3.2. *Durulaştırılmış ve bulanık değerlerin üyelik fonksiyonları (Lopez vd., 2023'den uyarlanmıştır.)*



Şekil 3.2, ortalama sıcaklık değeri örneği üzerinden durulaştırılmış ve bulanık küme ayrımını göstermektedir. Klasik küme teorisinde öğeler ikili bir üyelik özelliği ile tanımlanmaktadır; bir öğe ya tamamen kümeye aittir (üyelik = 1) ya da ait değildir (üyelik = 0). Buna karşılık bulanık kümelerde öğeler, kümeye farklı üyelik dereceleriyle bağlanmakta ve bu durum nesnelerin kümelere olan aidiyetinin belirsiz veya kademeli olduğunu yansıtmaktadır. Şekil 3.2, "sıcaklık" kavramı örneği üzerinden klasik (durulaştırılmış-kesin) bir küme ile bulanık bir küme arasındaki bu farkı göstermektedir.

Kısaca bulanık küme teorisi, gerçek dünyadaki kavramların doğasında bulunan belirsizliği ifade etmenin sistematik bir yolunu sunmaktadır. Zadeh (1965) tarafından geliştirilen bu teori, belirsiz veya net olarak tanımlanamayan nesnelerin yönetilmesine yönelik bir araç olarak ortaya konmuştur. Bulanık kümelerde öğeler bir kümeye olan üyelik dereceleri üzerinden değerlendirilmekte ve dolayısıyla bu yaklaşım klasik ikili mantığa kıyasla daha esnek ve ayrıntılı sınıflandırmalar yapılmasına imkân tanımaktadır (Lopez vd., 2023).

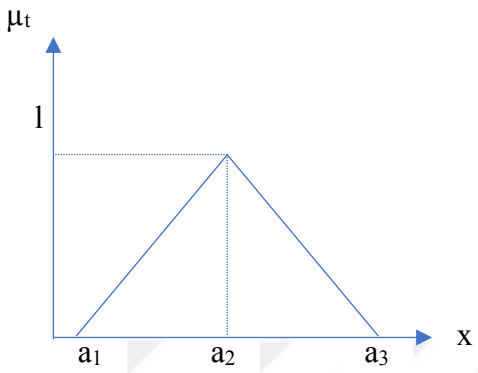
3.2.2. Üçgensel Bulanık Sayılar

TFN'ler, klasik bulanık sayı tanımına kıyasla üyelik derecelerini fonksiyonel bir yapı ile ifade etmekte olup, bu sayede karar vericilerin subjektif bilgilerini daha doğru ve güvenilir bir şekilde yansıtabilmektedir. Dolayısıyla karar vericilerin alternatiflere ilişkin değerlendirme bilgilerini TFN'ler aracılığıyla sunmaları, değerlendirme sürecini kolaylaştırmakta ve daha sistematik hale getirmektedir (Wang, 2021).

Üyelik fonksiyonları, değerleri 0 ile 1 aralığında değişen fonksiyonlar kullanılarak tanımlanmaktadır. Bu fonksiyonlar, bir bulanık kümedeki her bir noktanın üyelik derecesini ifade etmektedir. Üçgensel ve yamuk üyelik fonksiyonları, bu bağlamda en sık

tercih edilen üyelik fonksiyonu türleri arasında yer almaktadır. Şekil 3.3, TFN'lerin grafiksel gösterimidir:

Şekil 3.3. *Üçgensel bulanık sayılar (Shapiro ve Koissi, 2017).*



Şekil 3.3, TFN'lerin üç nokta ile temsil edilen üyelik fonksiyonlarını göstermektedir.

1. a_1'den a_2'ye artan fonksiyon
2. a_2'den a_3'e azalan fonksiyon ve
3. $a_1 \leq a_2 \leq a_3$.

Zadeh'in (1978) bulanık kümeleri önermesinden bu yana üçgensel, yamuk ve Gauss gibi çeşitli bulanık sayı türleri geliştirilmiştir. Bulanık kümelerin ve TFN'lerin bazı önemli tanımları aşağıda açıklanmıştır (Ecer, 2014; Ecer, 2018):

- Bir bulanık sayı, $F = \{(x, \mu F(x)), x \in \Re\}$ özel bir bulanık kümedir. Burada x, □ gerçel doğrusu üzerinde $\Re$: $-\infty \leq x \leq \infty$ değerlerini almakta ve $\mu F(x) =$ [0,1] kapalı aralığında bir üyelik fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır.
- Bir TFN, aynı hiyerarşideki her bir eleman çiftinin göreceli gücünü göstermekte ve T = (l, m, u), $l \leq m \leq u$ olarak gösterilebilmektedir. Burada *l, m, u* parametreleri sırasıyla bir bulanık olaydaki alt sınır, orta ve üst sınır değerini göstermektedir. T bulanık sayısının üçgensel tipi üyelik fonksiyonu Denklem 3.1'deki gibi tanımlanabilmektedir:

$$\mu_T(X) = \begin{Bmatrix} 0, x < l \\ (x-l)/(m-l), l \leq x \leq m \\ (u-x)/(u-m), m \leq x \leq u \\ 0, x > u \end{Bmatrix} \quad (3.1)$$

$T_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $T_2 = (l_2, m_2, u_2)$ olmak üzere iki TFN düşünülürse bu iki bulanık sayı T1 ve T2'nin temel aritmetik işlemleri aşağıdaki gibi gerçekleştirilmektedir:

$(l_1 m_1 u_1) \oplus (l_2 m_2 u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2)$	(3.2)
$(l_1 m_1 u_1) \otimes (l_2 m_2 u_2) = (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2)$	(3.3)
$(l_1 m_1 u_1) \otimes (l_2 m_2 u_2) = (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2)$	(3.4)
$(l_i m_i u_i)^{-1} \approx \left(\frac{1}{u_i}\frac{1}{m_i}\frac{1}{l_i}\right), l_i > 0, m_i > 0, u_i > 0$	(3.5)

- GMIR (The Graded Mean Integration Representation)

$a_j = (l_j, m_j, u_j)$ bir TFN olduğu varsayılırsa ve a_i*'nin* GMIR $R(a_j)$ değeri şu şekilde hesaplanılmaktadır:

$R(a_j) = \frac{l_j + 4m_j + u_j}{6}$	(3.6)

3.3. Bulanık FUCOM (FUCOM-F)

Full Consistency Method (FUCOM) yöntemi ilk kez Pamučar vd. (2018) tarafından geliştirilmiştir. Kriter ağırlıklarının belirlenmesine yönelik yeni modellerden biri olan FUCOM, kriterlerin ikili karşılaştırmalarına ve sonuçların maksimum tutarlılıktan sapmalar üzerinden doğrulanmasına dayalı bir yaklaşım sunmaktadır. FUCOM yöntemi, belirli ölçüde Best-Worst Method (BWM) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) modellerinde gözlemlenen bazı eksiklikleri gidermeyi amaçlayan bir model olarak geliştirilmiştir (Pamucar & Ecer, 2020).

FUCOM yönteminin temel avantajları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1. FUCOM, değerlendirme kriterlerinin ikili karşılaştırmasını yalnızca tam sayılarla değil aynı zamanda ondalıklı değerler kullanarak da gerçekleştirmeye olanak tanımaktadır.
2. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde basit bir algoritma kullanılmaktadır.
3. Kriterler arasındaki ağırlıkların belirlenmesi için daha az sayıda ikili karşılaştırma yapılmasına olanak tanımaktadır.

FUCOM yönteminin söz konusu avantajları sayesinde yöntem literatürde birçok araştırmacı tarafından farklı karmaşık problemlerin çözümünde tercih edilmektedir. Ayrıca yöntemin belirsiz ortamlara uyarlanmasına yönelik çeşitli çalışmalar da yapılmıştır.

FUCOM-F kriter ağırlıklandırmasında kullanılan yeni bir tekniktir. Yapılan çalışmalar, bu yöntemin farklı alanlardaki problemlerin çözümünde kullanıldığını göstermektedir. Yakın dönemde geliştirilen bu yöntem, ulaşım yönetimi, sağlık yönetimi, sürdürülebilir ulaşım araçları gibi çeşitli alanlarda uygulanmaktadır (Mitrović Simić vd., 2020; Pamucar vd., 2021; Demir vd., 2022; Karaca vd., 2025).

ÇKKV modellerinde bulanık sayıların uygulanmasında çoğunlukla dilsel ölçekler kullanılmaktadır. Bu nedenle FUCOM-F yönteminde uzman tercihlerini ifade etmek amacıyla Tablo 3.1'de belirtilen TFN'lerle tanımlanan bulanık dilsel ölçek kullanılmaktadır. FUCOM yönteminin temel yapısı esas alınarak geleneksel modelin bulanık bir ortamda genişletilmesi sonucunda Pamucar ve Ecer (2020) tarafından geliştirilen FUCOM-F yönteminin adımları şu şekildedir:

Adım 1: Değerlendirme Faktörlerinin Belirlenmesi

ÇKKV modellerinde ilk adım, mevcut alternatiflerin değerlendirilmesini sağlayacak bir kriter kümesinin belirlenmesidir. Burada $n = (j = 1, 2, \ldots, n)$ adet değerlendirme kriteri olduğu varsayılmakta ve bu kriterler $\{C1, C2, \ldots, Cn\}$ kümesiyle gösterilen bir kriter seti ile temsil edilmektedir. Tablo 3.1, kriter setinin değerlendirilmesinde kullanılan bulanık dilsel ölçeği göstermektedir.

Tablo 3.1. *FUCOM-F bulanık dilsel ölçeği (Guo ve Zhao, 2017*).

Dilsel değişkenler	**Üçgensel Bulanık Sayılar**
Eşit Derecede Önemli (EÖ)	(1, 1, 1)
Az Önemli (AÖ)	(2/3, 1, 3/2)
Oldukça Önemli (OÖ)	(3/2, 2, 5/2)
Çok Önemli (ÇÖ)	(5/2, 3, 7/2)
Kesinlikle Önemli (KÖ)	(7/2, 4, 9/2)

Adım 2: Değerlendirme Faktörlerinin Sıralanması

İkinci adım olarak ikili karşılaştırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Uzmanlar, her bir kriterin göreli önemine ilişkin öznel değerlendirmelerine dayanarak kriterleri sıralamaktadır. En yüksek ağırlık katsayısına sahip olması beklenen kriter, en üst sıraya yerleştirilmekte ve diğer kriterler önem derecelerine göre azalan bir sırayla onu takip etmektedir. En düşük etkiye sahip olacağı öngörülen kriter, son sırayı almaktadır. Bu şekilde ÇKKV modeli kapsamında karar sürecine beklenen etkilerine göre önceliklendirilmiş bir kriter sıralaması elde edilmektedir.

$C_{j(1)} > C_{j(2)} > C_{j(3)} > \cdots C_{j(k)}$	(3.7)

Burada *k*, gözlemlenen kriterin sırasını ifade etmektedir. Eğer iki veya daha fazla kriter aynı sırayı alıyorsa kriterler arasında (>) işareti yerine eşitlik (=) işareti kullanılmaktadır.

Adım 3: TFN'ler Kullanılarak Kriterlerin Karşılaştırılması

Bu adımda, tüm kriterler Tablo 3.1'de verilen dilsel ölçekten alınan bulanık dilsel ifadeler kullanılarak ikili karşılaştırmalarla değerlendirilmektedir. Karşılaştırmalar, bir önceki adımda en yüksek öneme sahip olarak sıralanan kriter esas alınarak gerçekleştirilmektedir. Bu işlem sonucunda her bir kriter için bulanık önem değerleri $\widetilde{\omega}C_{j(k)}$ elde edilmektedir. En yüksek öneme sahip kriter, kendisiyle karşılaştırıldığından bu kriterin bulanık önem değeri $\widetilde{\omega}C_{j(1)} = E\ddot{O}$ olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle kalan *n−1* kriter için karşılaştırmalar yapılması gerekmektedir. Elde edilen bulanık önem değerlerine dayanarak kriterler arasındaki karşılaştırmalı bulanık önem oranları $(\varphi_{k/(k+1)})$ aşağıda gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır:

$\varphi_{k/(k+1)} = \frac{\widetilde{\omega}C_{j(k+1)}}{\widetilde{\omega}C_{j(k)}} = \frac{\left(\widetilde{\omega}^{l}_{Cj(k+1)}, \widetilde{\omega}^{m}_{Cj(k+1)}, \widetilde{\omega}^{u}_{Cj(k+1)}\right)}{\left(\widetilde{\omega}^{l}_{Cj(k)}, \widetilde{\omega}^{m}_{Cj(k)}, \widetilde{\omega}^{u}_{Cj(k)}\right)}$	(3.8)

Böylece Denklem 3.9 kullanılarak değerlendirme kriterlerinin karşılaştırmalı bulanık önem vektörü elde edilmektedir:

$\phi = (\varphi_{1/2}, \varphi_{2/3}, \varphi_{3/4}, \ldots, \varphi_{k/(k+1)})$	(3.9)

Burada $\varphi_{k/(k+1)}$ ifadesi, $C_{j(k)}$ sırasındaki kriterin, $C_{j(k+1)}$ sırasındaki kritere göre sahip olduğu önem derecesini ifade etmektedir.

Adım 4: Optimal Bulanık Ağırlıkların Hesaplanması

Dördüncü adımda, kriterlerin nihai bulanık ağırlık katsayıları $(w_1, w_2, \ldots, w_n)^T$ hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu nihai ağırlık katsayılarının iki temel koşulu sağlaması gerekmektedir:

Koşul 1. Gözlemlenen kriterlerin ($C_{j(k)}$ ve $C_{j(k+1)}$) ağırlık katsayıları oranının, Adım 2'de tanımlanan karşılaştırmalı önem derecesi ($\varphi_{k/(k+1)}$) ile eşit olması gerekmektedir. Başka bir ifadeyle aşağıdaki koşulun sağlanması gerekmektedir:

$\frac{\omega_k}{\omega_{k+1}} = \varphi_{k/(k+1)}$	(3.10)

Koşul 2. Ayrıca ağırlık katsayılarının nihai değerlerinin geçişlilik (transitivity) ilkesini de sağlaması gerekmektedir. Bu kapsamda aşağıdaki koşulun geçerli olması beklenmektedir:

$\omega_k/\omega_{k+2} = (\varphi_k/\varphi_{k+1}) \otimes (\varphi_{k+1}/\varphi_{k+2})$	(3.11)

Minimum DMC (Tutarsızlık Ölçütü) $X = 0$, yalnızca ağırlık katsayıları arasındaki geçişlilik tamamen sağlandığında gerçekleşmektedir. Bu durumda aşağıdaki koşulların sağlandığı ifade edilebilmektedir:

$\frac{\omega_k}{\omega_{k+1}} - \varphi_{\frac{k}{k+1}} = 0\,, \qquad \frac{\omega_k}{\omega_{k+2}} - \varphi_{\frac{k}{k+1}} \otimes \frac{\varphi_{k+1}}{\varphi_{k+2}} = 0$	(3.12)

Böylece ağırlık katsayılarının nihai değerlerinin uyması gereken ikinci bir koşul daha tanımlanmış olmaktadır. Bu şekilde elde edilen ağırlık katsayıları için $X = 0$ olmaktadır. Bu koşulların sağlanabilmesi için kriterlerin ağırlık katsayılarının $(w_1,\ w_2, \dots, w_n)^T$ değerlerinin, aşağıdaki eşitsizlikleri sağlayacak şekilde belirlenmesi gerekmektedir:

$\left\|\frac{\omega_k}{\omega_{k+1}} - \varphi_{\frac{k}{k+1}}\right\| \le X, \qquad \left\|\frac{\omega_k}{\omega_{k+2}} - \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)}\right\| \le X$	(3.13)

Burada amaç X değerini minimize etmektir.

Belirlenen koşullar çerçevesinde değerlendirme kriterlerinin optimal bulanık ağırlık katsayılarını $(w_1,\ w_2, \dots, w_n)^T$ vektörü şeklinde belirlemek amacıyla nihai bir doğrusal olmayan model oluşturulmaktadır.

$min\ X$ $s.t.$ $\left\|\frac{\omega_{(k)}}{\omega_{(k+1)}} - \frac{\varphi_k}{\varphi_{k+1}}\right\| \le X, \forall_j$ $\left\|\frac{\omega_{j(k)}}{\omega_{j(k+2)}} - \frac{\varphi_k}{\varphi_{k+1}} \otimes \frac{\varphi_{k+1}}{\varphi_{k+2}}\right\| \le X, \forall_j$	(3.14)

$\sum_{j=1}^{n} \omega_j = 1, \forall_j$ $\omega_j^l \leq \omega_j^m \leq \omega_j^u$ $\omega_j^l \geq 0, \forall_j$ $j = 1, 2, \ldots, n$	

Burada $\omega_j = (\omega_j^l \leq \omega_j^m \leq \omega_j^u)$ ve $\varphi_{k/(k+1)} = ({\varphi_{k/(k+1)}}^l, {\varphi_{k/(k+1)}}^m, {\varphi_{k/(k+1)}}^u)$'dir.

3.4. Bulanık MACONT (MACONT-F)

Wen vd. (2020) tarafından karmaşık ve çok boyutlu karar verme problemlerine çözüm getirmek amacıyla Mixed Aggregation by COmprehensive Normalization Technique (MACONT) adlı yeni bir ÇKKV yöntemi geliştirilmiştir. ÇKKV yöntemlerinin performansı, normalizasyon tekniklerinden doğrudan etkilendiği için MACONT yöntemi bu sorunu aşmayı hedefleyerek birden fazla normalizasyon yöntemi uygulamaktadır. Bu amaçla MACONT yönteminin diğer ÇKKV yöntemlerine kıyasla temel üstünlüklerinden biri olarak, normalize edilmiş karar matrisini oluşturmak için üç farklı normalizasyon tekniği kullanması öne çıkmaktadır (Wen vd., 2020). MACONT yöntemi, üç farklı doğrusal normalizasyon tekniğini bir araya getirerek normalize edilmiş değerlerin, orijinal verilerin yapısını daha doğru şekilde temsil etmesini sağlamaktadır. Böylece yalnızca tek bir normalizasyon tekniği kullanıldığında oluşabilecek bozulmaların en aza indirilmesi hedeflenmektedir. Buradan hareketle bu yaklaşımın, alternatiflerin daha hassas ve güvenilir bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanıması amaçlanmaktadır (Amiri vd., 2025). Kısaca MACONT-F yöntemi, ÇKKV yöntemlerine kıyasla daha fazla bütünleştirme parametresi ve normalizasyon tekniği içermekte ve bu genişletilmiş yöntemsel yapı sayesinde daha hassas ve yöntemsel açıdan daha sağlam sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamaktadır (Ulutaş, 2022).

Çeşitli normalizasyon tekniklerinin kullanılması karar vericilerin görüşlerini herhangi bir subjektif etkiye maruz kalmadan ifade etmelerine olanak tanımaktadır. Bununla birlikte gerçek hayat uygulamalarında uzman görüşlerindeki belirsizlikler ve karar verme bilgilerindeki bulanıklık nedeniyle diğer ÇKKV yöntemlerinde olduğu gibi MACONT yöntemiyle oluşturulan normalize karar matrisine de tam güven duymak mümkün değildir. Bu durumu aşmak amacıyla Ecer ve Torkayesh (2022), uzman görüşlerindeki

belirsizliği ifade edebilmek için TFN'ler kullanarak MACONT yönteminin bulanık uzantısı olan MACONT-F modelini geliştirmiştir. Bu yöntemde uzman görüşlerinin elde edilmesinde kullanılan bulanık sayılar Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. *MACONT-F bulanık dilsel ölçeği (Lootsma, 1980).*

Dilsel değişkenler	**Üçgensel Bulanık Sayılar**
Kesinlikle Düşük	(1, 1, 1)
Çok Düşük	(1, 2, 3)
Düşük	(2, 3, 4)
Orta Düşük	(3, 4, 5)
Eşit	(4, 5, 6)
Orta Yüksek	(5, 6, 7)
Yüksek	(6, 7, 8)
Çok Yüksek	(7, 8, 9)
Kesinlikle Yüksek	(8, 9, 9)

MACONT-F yönteminin adımları aşağıdaki şekildedir (Ecer & Torkayesh, 2022):

Adım 1: Başlangıç Bulanık Karar Matrisinin Oluşturulması

m alternatif ve *n* kriterden oluşan bir ÇKKV probleminde değerlendirme sürecinin ilk adımı olarak Tablo 3.2'de belirtilen bulanık sayılar kullanılarak bir başlangıç bulanık karar matrisi oluşturulmaktadır (Denklem 3.15).

$$\tilde{X} = \left[\tilde{x}_{ij}\right]_{nxm} \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{im} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nj} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

Adım 2: Üç Farklı Normalizasyon Yönteminin Uygulanması

Üç farklı normalizasyon tekniği ile üç ayrı normalize karar matrisi oluşturulmaktadır. Her bir normalize karar matrisinde alternatiflerin değerlendirme kriterlerine göre performans puanları sırasıyla $\tilde{x}_{ij}{}^{a}$, $\tilde{x}_{ij}{}^{b}$ ve $\tilde{x}_{ij}{}^{c}$ şeklinde aşağıda gösterildiği gibi ifade edilmektedir:

Tip 1 normalizasyon;

$$\tilde{x}_{ij}{}^{a} = \frac{\tilde{x}_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} \tilde{x}_{ij}} \; fayda\ kriteri\ için \quad (3.16)$$

$$\tilde{x}_{ij}{}^{a} = \frac{\frac{1}{\tilde{x}_{ij}}}{\sum_{i=1}^{m} \frac{1}{\tilde{x}_{ij}}} \; maliyet\ kriteri\ için$$

Tip 2 normalizasyon;

$$\tilde{x}_{ij}{}^{b} = \frac{\tilde{x}_{ij}}{\max_i \tilde{x}_{ij}} \; fayda\ kriteri\ için \qquad (3.17)$$

$$\tilde{x}_{ij}{}^{b} = \frac{\min_i \tilde{x}_{ij}}{\tilde{x}_{ij}} \; maliyet\ kriteri\ için$$

Tip 3 normalizasyon;

$$\tilde{x}_{ij}{}^{c} = \frac{\tilde{x}_{ij} - \min_i \tilde{x}_{ij}}{\max_i \tilde{x}_{ij} - \min_i \tilde{x}_{ij}} \; fayda\ kriteri\ için \qquad (3.18)$$

$$\tilde{x}_{ij}{}^{c} = \frac{\max_i \tilde{x}_{ij} - \tilde{x}_{ij}}{\max_i \tilde{x}_{ij} - \min_i \tilde{x}_{ij}} \; maliyet\ kriteri\ için$$

Bütünleşik bulanık karar matrisini oluşturmak amacıyla üç normalize karar matrisindeki bulanık bilgilerin birleştirilmesinde $\alpha, \beta, ve\ \varphi$ olmak üzere üç denge parametresi kullanılmaktadır. Bütünleşik bulanık karar matrisinde her bir bulanık performans skoru ise aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$\tilde{z}_{ij} = \tilde{x}_{ij}{}^{a}\alpha + \tilde{x}_{ij}{}^{b}\beta + \tilde{x}_{ij}{}^{c}\varphi \qquad (3.19)$$

Üç denge parametresinin toplamının bire eşit olması koşulu sağlandığı sürece, $\tilde{z}_{ij}$ eşitliği geçerliliğini korumaktadır. Bu parametreler $\alpha, \beta, ve\ \varphi$, sabit şekilde tanımlanmamış olup uzmanlar hedef ve önceliklerine göre bu değerleri serbestçe belirleyebilmektedir.

Adım 3: Bütünleşik Normalize Karar Matrisinin Durulaştırılması

Bütünleşik normalize karar matrisinin oluşturulmasının ardından matrisin bulanık değerlerden arındırılarak durulaştırılmış değerlere dönüştürme işlemi GMIR eşitliği kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Adım 4: Karar Matrisinin Toplam ve Çarpımının Hesaplanması

Her bir alternatif için ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinin toplamı (π_{i1}) ve aynı matrisin çarpımı (π_{i2}) sırasıyla aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmaktadır:

$$\pi_{i1} = \sum_{j=1}^{n} w_j \left(z_{ij} - \tilde{z}_{ij}\right)$$

$$\pi_{i2} = \frac{\prod_{\gamma=1}^{n} (\tilde{z}_{ij} - z_{ij})^{w_j}}{\prod_{\sigma=1}^{n} (z_{ij} - \tilde{z}_{ij})^{w_j}} \quad (3.20)$$

Burada z_{ij}, her bir kriter için alternatiflerin ortalama performans değerini ifade etmektedir. π_{i2}'nin hesaplanmasında kullanılan γ, $z_{ij} - \tilde{z}_{ij}$ koşulunu sağlayan kriterleri temsil ederken, σ değeri $\tilde{z}_{ij} - z_{ij}$ koşulunu sağlayan kriterleri göstermektedir.

Adım 5: Değerlendirme Skorlarının Hesaplanması

π_{i1} ve π_{i2} sonuçlarına dayanarak iki ayrı değerlendirme skoru M_{i1} ve M_{i2} hesaplanmaktadır.

$$M_{i1} = \tau \frac{\pi_{i1}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} (\pi_{i1})^2}} + (1 - \tau) \frac{\pi_{i2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} (\pi_{i2})^2}}, i = 1, 2, \ldots, m \quad (3.21)$$

$$M_{i2} = \vartheta \max_j \left(w_j \left(z_{ij} - \tilde{z}_{ij}\right)\right) + (1 - \vartheta) \min_j \left(w_j \left(z_{ij} - \tilde{z}_{ij}\right)\right), i = 1, 2, \ldots, m \quad (3.22)$$

Adım 6: Nihai Uzlaşık Çözüm Değerinin Hesaplanması

Son olarak her bir alternatif için nihai uzlaşık çözüm değeri (M_i) aşağıdaki denklem aracılığıyla belirlenmektedir:

$$M_i = \frac{1}{2}\left(M_{i1} + \frac{M_{i2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} (M_{i2})^2}}\right), i = 1, 2, \ldots, m \quad (3.23)$$

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

LİTERATÜR İNCELEMESİ

Bu bölümde; mikro hareketlilik sistemlerinin özellikle paylaşımlı *e-scooter*, e-bisiklet vb. araçların toplu taşıma sistemleriyle entegrasyonuna yönelik literatür ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Literatür taramasında, sistematik derlemelerden mekânsal analizlere, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) modellerinden kullanıcı davranışı odaklı araştırmalara kadar farklı yöntem ve yaklaşımlara yer verilmiştir. İncelenen literatürde çalışmalar, altyapı planlaması, güvenlik, yönetişim, eşitlik ve politik çerçeve gibi çok boyutlu konulara odaklanmakta, mikro hareketlilik-toplu taşıma entegrasyonunun teorik ve uygulamalı temellerini ortaya koymaktadır. Ayrıca farklı coğrafi bölgelerde yürütülen araştırmalar ele alınmış ve çalışmalar amaç, yöntem, bulgular ve sonuç bağlamında özetlenmiştir.

4.1. Mikro Hareketlilik ve Toplu Taşıma Entegrasyonuna Yönelik Literatür İncelemesi

Mikro hareketlilik araçlarının toplu taşıma sistemleriyle entegrasyonu, sürdürülebilir kent içi ulaşım politikalarının önemli bir bileşeni hâline gelmiştir. Bu doğrultuda, Oeschger vd. (2020) ile Cui ve Zhang (2024), mikro hareketlilik-toplu taşıma entegrasyonunu farklı yönleriyle ele alan sistematik literatür taramalarıyla, alandaki kuramsal çerçeveyi derinleştirmekte ve gelecekteki araştırmalara yön verecek kapsamlı değerlendirmeler sunmaktadır. Oeschger vd. (2020), mikro hareketlilik araçlarının (özellikle *e-scooter* ve e-bisikletlerin) toplu taşıma sistemleriyle entegrasyonuna odaklanan sistematik bir literatür taraması sunmaktadır. Araştırmanın amacı, bu yeni bireysel ulaşım modlarının

erişim ve dağılım (access–egress) aşamalarındaki rolünü inceleyerek sürdürülebilir ulaşım dönüşümündeki potansiyel etkilerini değerlendirmektir. Çalışmada literatürde şimdiye dek ele alınan yöntemler, analiz edilen değişkenler, kurulan nedensel ilişkiler ve mevcut boşluklar detaylı şekilde sınıflandırılarak gelecekteki araştırmalar için yol gösterici öneriler sunulmuştur. Çalışma, mikro hareketlilik-toplu taşıma entegrasyonunun geliştirilmesine yönelik literatürde yer alan politika önerilerini de eleştirisel bir yaklaşımla değerlendirmiştir. Cui ve Zhang (2024) ise paylaşımlı mikro hareketlilik sistemlerinin toplu taşıma ile entegrasyonunu inceleyen kapsamlı bir sistematik literatür taraması sunmaktadır. Web of Science ve gri literatürden elde edilen 108 çalışmanın bibliyometrik ağı kurularak çalışmalar politika, sürdürülebilirlik, entegrasyon etkileşimleri ve altyapı olmak üzere dört ana tema altında sınıflandırılmıştır. Ayrıca entegrasyon yaklaşımları da fiziksel, ödeme, bilgi ve kurumsal olmak üzere dört sınıfta gruplandırılmıştır. Bulgular, mikro hareketlilik-toplu taşıma ilişkilerinin, kentlerin mekânsal-zamansal özelliklerine ve nüfus yoğunluğuna göre değiştiğini ortaya koymuştur. Çalışma, entegrasyonun kentsel dayanıklılık, düşük emisyon ve yaşanabilirlik açısından önemli katkılar sunduğunu vurgulamış ve bağlama özgü stratejiler geliştirilmesi gerektiğini önermiştir.

Toplu taşıma ile mikro hareketlilik sistemlerinin entegrasyonu üzerine yapılan çalışmalar, bu entegrasyonun başarısını etkileyen değişkenleri mekânsal analizlerden davranışsal modellere, yasal düzenlemelerden entegrasyonun altyapısal, davranışsal, yönetsel ve mekânsal boyutlarına kadar geniş bir yelpazede değerlendirmektedir. Aşağıda özetlenen araştırmalar, bu alanın kuramsal ve uygulamalı yönlerini farklı coğrafi bağlamlarda ele almaktadır. Saliara (2014) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, toplu taşıma sistemlerine yeni ulaşım modlarının entegrasyonunu sağlamaya yönelik modlar arası (intermodal) entegrasyon süreci ele alınmıştır. Çalışma, kuramsal bir çerçevede entegrasyonun operasyonel, fiziksel ve kurumsal düzeylerde incelenmesini içermektedir. Selanik kentinde uygulanacak otobüs ve metrodan oluşan sistem özelinde bir vaka analizine odaklanılmıştır. Bu kapsamda mevcut otobüs ağına entegre edilecek metro sistemi kapsamında üç seviyeli, işlevsel olarak ayrıştırılmış yeni bir otobüs ağı tasarımı önerilmiştir. Bu öneriyle modlar arası koordinasyonun artırıldığı ve toplu taşıma sisteminin bütüncül işleyişini güçlendirdiği ifade edilmiştir. Nigro vd. (2019), transit odaklı gelişim stratejilerinin yalnızca yüksek yoğunluklu kentsel alanlarla sınırlı olmadığını aynı zamanda düşük yoğunluklu banliyöler, küçük kentler ve doğal ya da

kültürel koruma önceliği taşıyan alanlar gibi farklı coğrafi alanlarda da uygulanabileceğini klasik node-place modeliyle gerçekleştirmiştir. Geliştirilen metodoloji, İtalya'nın güneyindeki Campania Bölgesi'nde bir örnek olay çalışmasıyla uygulanmıştır. Analiz sonucunda, transit odaklı gelişim yaklaşımının yalnızca yoğun kentsel alanlara değil düşük yoğunluklu bölgelere de uyarlanabileceği tespit edilmiştir. Bu bağlamda entegrasyonun artırılmasında taşıma ağının kalitesinin belirleyici bir rol oynadığı vurgulanmıştır. Montes vd. (2023), Rotterdam'da toplanan tercih verileri ve ayrık seçim modelleri kullanarak toplu taşıma ile paylaşımlı mikro hareketlilik arasındaki tamamlayıcı ve rekabetçi ilişkileri analiz etmiştir. Entegre sistemlerin varsayıldığı senaryolarda, özellikle metro sonrası ulaşımda paylaşımlı mikro hareketlilik araçlarının (özellikle *e-mopedlerin*) uygun alternatifler sunduğu görülmüştür. Ulaşım tercihlerinde; toplu taşıma kullanım sıklığı, mikro hareketlilik deneyimi ve yaş gibi demografik özellikler belirleyici faktörler olarak öne çıkmıştır. Bulgular, transit ve mikro hareketlilik operatörleri arasında yapılacak iş birliklerinin toplam seyahat süresini azaltarak hem kullanıcılar hem de hizmet sağlayıcılar için fayda sağlayabileceğini göstermiştir. Ayrıca genç ve sık toplu taşıma kullanan grupların, bu iş birliklerinde hedef kitle olarak değerlendirilebileceği belirtilmiştir. Dozza vd. (2022), mikro hareketlilik araçlarının özellikle *e-scooterların* güvenli entegrasyonuna yönelik veri odaklı bir değerlendirme çerçevesi sunmuştur. Geliştirilen model, planlama, uygulama, analiz ve modelleme aşamalarını içermektedir. Model, bisiklet ve *e-scooter* dinamiklerinin gerçek trafik koşullarında karşılaştırılmasıyla test edilmiştir. Bulgular, *e-scooterların* manevra kabiliyeti ve konfor açısından bisikletlere göre avantajlı olduğunu ancak daha uzun frenleme mesafesi gerektirdiğini göstermiştir. Toplanan verilerin kısa vadede politika geliştirme, coğrafi sınırlandırma (geo-fencing) ve farkındalık artırma amaçlı kullanılabileceği, uzun vadede ise *e-scooterların*, bağlantılı ve otomatik araçlarla birlikte uyumlu bir ulaşım sistemine entegre edilmesine katkı sağlayacağı öne sürülmüştür. Huang vd. (2024), Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) paylaşımlı *e-scooterların* toplu taşımaya son adım bağlantısı olarak kullanım potansiyelini değerlendirmek amacıyla Washington D.C. ve Los Angeles'ta bir seyahat davranışı anketi uygulamıştır. Katılımcıların yaklaşık %70'i son adım (last-mile) probleminin toplu taşıma kullanımını engellediğini belirtmiştir. Ayrıca bu grubun %60'ından fazlası *e-scooterları* bu amaçla değerlendirmeyi düşündüğünü ifade etmiştir. Ancak niyet ile fiili kullanım arasında çeşitli engeller nedeniyle önemli bir fark gözlemlenmiştir. Sıralı ve ikili regresyon modeller

aracılığıyla yapılan analizler, toplu taşıma kullanım sıklığı ve *e-scooter* güvenliği algısının *e-scooter* tercihlerini olumlu etkilediğini, gelir düzeyinin ise anlamlı bir belirleyici olmadığını göstermiştir. Kadınlar ve yaşlı bireylerin *e-scooter* kullanımına daha mesafeli yaklaştığı belirtilmiştir. Bulgular, mikro hareketlilik-toplu taşıma entegrasyonunda eşitlik boyutunu vurgulayarak kapsayıcı ulaşım politikaları için öneriler sunmuştur. Kong vd. (2025), Çin'in Ningbo kentinde paylaşımlı bisiklet ve paylaşımlı e-bisikletlerin toplu taşıma ile olan farklı etkileşimlerini analiz ederek mikro hareketlilik türleri arasındaki ulaşım dönüşümünü değerlendirmiştir. Her bir yolculuk, otobüs ve metro ile etkileşimlerine göre üç farklı model altında sınıflandırılmıştır. Bu dağılımlar, mekânsal ve zamansal olarak analiz edilmiştir. Mekansal otoregresyon modeli (spatial autoregressive model) yardımıyla ilişkileri etkileyen faktörler belirlenmiştir. Sonuçlar, paylaşımlı e-bisikletlerin toplu taşımayı daha çok ikame ettiğini, paylaşımlı bisikletlerin ise tamamlayıcı rol oynadığını göstermiştir. E-bisikletlerin sabah saatlerinde ve banliyö bölgelerinde toplu taşıma yerine kullanımının yaygın olduğu, paylaşımlı bisikletlerin ise daha çok dış çevrede tamamlayıcı nitelikte kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu farklılıkların mesafe, hız ve toplu taşıma özellikleri gibi değişkenlerden etkilendiği belirtilmiştir. Çalışma, mikro hareketlilik türleri ile toplu taşıma arasındaki çeşitlenen ilişkilerin dikkate alınması gerektiğini vurgulamıştır. Rollandi vd. (2025), İsviçre'de dört farklı çerçevede mikro hareketlilik çözümlerinin entegrasyonunu incelemiştir. Inclusive MicroMob Projesi kapsamında yenilikçi bir mikro hareketlilik aracı olan Genny Zero kullanılarak kentsel analiz, deneysel uygulama ve sosyal testler gerçekleştirilmiştir. Bulgular, başarılı entegrasyon için bütüncül kent vizyonu, geliştirilmiş yol güvenliği analizi ve düzenleyici çerçeveler gibi disiplinler arası yaklaşımların önemini ortaya koymuştur. Ayrıca kapsayıcı bir mikro hareketlilik sisteminin hayata geçirilmesi için katılımcı kentsel yönetişimin gerekliliği vurgulanmıştır. Le Boennec ve Salladarré (2023), mikro hareketlilik araçlarının işe gidiş geliş amaçlı kullanımını monomodality (tek mod kullanımı) ve multimodality (tamamlayıcı veya ikame edici kullanım) açısından incelemiştir. Fransa, Almanya, İspanya ve Birleşik Krallık'ta 2018 yılında yapılan bir anketin 4873 gözleminden elde edilen veriler, sıralı parametrik olmayan yöntemlerle analiz edilmiştir. Mikro hareketlilik ile işe gitme oranı düşük olmakla birlikte bu araçları kullanan bireylerin çoğunluğunu genç, erkek ve kentsel bölgelerde yaşayanların oluşturduğu tespit edilmiştir. Almanya'da düşük düzeyde multimodal kullanım, Birleşik Krallık'ta ise mikro hareketliliğin toplu taşımaya tamamlayıcı olarak kullanıldığı tespit edilmiştir. Bulgular,

mikro hareketliliğin kısa mesafelerde toplu taşıma yerine, uzun mesafelerde ise trenle yapılan yolculuklara destekleyici olarak kullanıldığını ortaya koymuştur. Bu eğilimlerin, toplu taşıma ile mikro hareketlilik arasında daha güçlü bir entegrasyon ve altyapı tasarımında daha bütüncül bir yaklaşım gerekliliğine işaret ettiği ifade edilmiştir. Fu vd. (2025), paylaşımlı mikro hareketlilik araçlarının mevcut ulaşım sistemleriyle nasıl birlikte kullanıldığını analiz etmek amacıyla Utrecht, Manchester ve Malmö kentlerinde kullanıcı davranışlarını incelemiştir. Latent sınıf analizi kullanılarak her kentte dört farklı seyahat tanımlanmıştır. Bulgular, paylaşımlı mikro hareketlilik kullanım sıklığının multimodal seyahat eğilimlerini artırdığını ancak kullanılan mod kombinasyonlarının kentlerin modal paylarına bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. Paylaşımlı mikro hareketliliği sık kullanan bireylerin genellikle daha çeşitli taşıma modlarını tercih ettiği, paylaşımlı mikro hareketliliği nadiren kullananların ise kişisel mikro hareketlilik araçları veya sınırlı sayıda mod kullandığı tespit edilmiştir. Kullanıcı gruplarının seyahatlerinin, demografik ve kişisel ulaşım olanaklarıyla daha yakından ilişkili, yaşadıkları bölgenin mekânsal özellikleriyle ise daha az ilişkili olduğu belirtilmiştir. Çalışma, paylaşımlı mikro hareketlilik hizmetlerinin kentlerin özgün ulaşım yapısına ve kullanıcı profiline göre uyarlanmasının entegrasyonu güçlendireceğini önermiştir. Oeschger vd. (2025), Dublin özelinde toplu taşıma yolculuklarının ilk ve son adımında bireysel ve paylaşımlı mikro hareketlilik kullanım eğilimini modellemeyi amaçlamıştır. Tercih deneyine dayalı olarak karma logit modeli aracılığıyla kullanıcı tercihleri; sosyo-ekonomik özellikler, hareketlilik alışkanlıkları ve mikro hareketlilik deneyimleri üzerinden analiz edilmiştir. Bulgular, yürümeyi tercih eden katılımcıların mikro hareketlilik kullanımına düşük eğilim gösterdiğini ortaya koymuştur. Yürüyüşün yalnızca son çare olarak tercih edildiği yönündeki yaygın varsayım doğrulanmamıştır. Yürüyüşten sonra en çok tercih edilen modun kişisel bisiklet olduğu, bunu kişisel *e-scooterların* izlediği ve paylaşımlı modların ise daha düşük tercih oranlarına sahip olduğu belirlenmiştir. Mikro hareketlilik kullanımı konusunda en istekli grubun, 35 yaş altı, erkek ve *e-scooter* deneyimi olan bireyler olduğu belirtilmiştir. Genel olarak kullanıcıların çoğunluğun daha uzun yolculuk sürelerine rağmen yürümeyi tercih ettiği belirtilmiştir. Javadiansr vd. (2024), Chicago'daki 35 günlük *e-scooter* kullanım verilerini analiz ederek *e-scooter* ile toplu taşıma entegrasyonunu etkileyen mekânsal ve zamansal faktörleri incelemektedir. Rasgele etkili negatif binom modeliyle, *e-scooter* yolculuklarının otobüs ve tren duraklarına erişim/çıkış amaçlı kullanım sıklığı modellenmiştir. Bulgular, hava koşulları, kesişim

yoğunluğu, çok modlu ağ yapısı ve toplu taşıma hizmet sıklığının, trenle entegrasyonu olumlu etkilediğini ancak otobüsle entegrasyonda benzer bir etkinin bulunmadığını göstermiştir. Ayrıca güvenlik (kaza ve suç oranları) ve demografik değişkenlerin de anlamlı etkiler yarattığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar, toplu taşıma–mikro hareketlilik entegrasyonunu teşvik edecek altyapı ve güvenlik stratejileri geliştirmek isteyen karar vericilere rehberlik sunmaktadır.

4.2. Bulanık ÇKKV Yöntemlerine Yönelik Literatür İncelemesi

Son yıllarda sürdürülebilir kent içi ulaşım hedefleri doğrultusunda mikro hareketlilik çözümlerine yönelik ilgi artarken bu sistemlerin değerlendirilmesinde ÇKKV yaklaşımlarının kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır. Bu bağlamda, literatürde mikro hareketliliğin uygunluk analizi, sürdürülebilirlik performansı, sistem seçimi ve politika geliştirme süreçlerine katkı sağlayan bulanık ortamda ÇKKV temelli çalışmalar dikkat çekmektedir. Kundu vd. (2023), sürdürülebilir kentsel ulaşım sistemleri arasında en uygun alternatifi belirlemek amacıyla altı farklı kentsel toplu taşıma sistemini uzman görüşleri doğrultusunda 11 adet sürdürülebilirlik kriterine göre değerlendirilmiştir. Modelde, kriterin ağırlıkları bulanık BWM (Best-Worst Method) yöntemiyle belirlenmiş, ardından altı kentsel ulaşım sistemi olan tramvay, hafif raylı tramvay, metro, metrobüs, banliyö treni ve belediye otobüsü Bulanık Multi-Attributive Ideal-Real Comparative Analysis (MAIRCA) yöntemiyle sıralanmıştır. Çalışmanın bulguları, ulaşım planlamasında bütüncül ve çok kriterli yaklaşımların kullanılmasının karar vericiler açısından daha etkili ve esnek çözümler sunduğunu ortaya koymuştur. Moslem vd. (2023), Mersin'de kent içi otobüs taşımacılığı hizmetlerinin arz kalitesine ilişkin karar verici ve işletmeci tercihlerini belirlemeye çalışmıştır. Bu amaçla, özel araç kullanımından toplu taşımaya geçişi teşvik ederek trafik sıkışıklığı, gürültü ve CO□ emisyonlarını azaltma potansiyeli taşıyan toplu taşıma sistemlerinin kalite düzeyini artırmayı hedeflemiştir. Çalışmada, ulaşım kalitesi, hizmet kalitesi ve izlenebilirlik ana kriterleri altında toplam 21 adet alt kriter belirlenmiştir. Kriter ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla Improved Fuzzy Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis (IMF SWARA) yöntemi kullanılarak toplam 112 adet model oluşturulmuştur. Nihai kriter ağırlıklarının belirlenmesinde ise Bulanık Bonferroni Operatörü uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, sistemde en yüksek öneme sahip kriterin izlenebilirlik olduğu tespit edilmiş, bunu ulaşım kalitesi takip etmiştir. Buna karşın, hizmet kalitesi en düşük önceliğe sahip kriter

grubu olarak belirlenmiştir. Demir ve Moslem (2025), tramvay, hafif raylı sistem, metro, metrobüs ve geleneksel otobüs olmak üzere beş farklı kentsel toplu taşıma alternatifini belirlemek amacıyla bulanık zarf ve eğim yöntemiyle ağırlıklandırma ve bulanık alternatif sıralamadan oluşan iki bulanık tabanlı yöntemi birleştiren bir model sunmuştur. Çalışma, kullanılan enerji verimliliği, karbon emisyonu, gürültü seviyesi, arazi kullanımı ve biyolojik çeşitlilik etkileri, kaza oranları, toplumsal kabul, kullanıcı memnuniyeti, işletme ve yatırım maliyetleri, taşıma sıklığı, yolcu kapasitesi ve erişilebilirlik gibi çevresel, ekonomik ve sosyal kriterleri kapsamaktadır. Analiz bulgularına göre, geleneksel otobüsler ve metrobüs sistemleri, özellikle ekonomik verimlilikleri, operasyonel esneklikleri ve daha düşük altyapı maliyetleri nedeniyle en avantajlı seçenekler olarak öne çıkmıştır. Buna karşın, çevresel sürdürülebilirlik açısından güçlü yönlere sahip olan metro ve hafif raylı sistemler, yüksek yatırım ve işletme maliyetleri nedeniyle daha alt sıralarda yer almıştır. Bu sonuçlar, kentsel ulaşım sistemlerinin planlanmasında ekonomik, çevresel ve sosyal boyutların dengeli bir biçimde ele alınması gerektiğini açıkça ortaya koymuştur. Alkharabsheh vd. (2021), yerel kentsel toplu taşıma sisteminin arz kalitesinin değerlendirilmesi ve iyileştirilmesine yönelik bir yöntem önermiştir. Bu kapsamda çalışmada klasik Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yönteminin belirsizlik karşısındaki yetersizliklerini aşmak amacıyla gri değerli AHP yaklaşımı (grey-AHP) önerilmiştir. Önerilen model, Ürdün'ün Amman kentinde gerçekleştirilen bir vaka çalışmasına uygulanarak toplu taşıma sistemine ilişkin arz kalitesi kriterleri ağırlıklandırılmış ve sıralanmıştır. Analiz sonucunda elde edilen bulgular, önerilen yaklaşımın hem uygulanabilirliğini hem de toplu taşıma sisteminin kalitesini artırmaya yönelik karar verme süreçlerinde etkinliğini ortaya koymuştur. Büyüközkan vd. (2018), kontrolsüz kentsel gelişim ve motorlu araçların hızlı yayılımının, ekonomik, sosyal ve çevresel açılardan sürdürülemez ulaşım sistemlerine yol açmasıyla birlikte ortaya çıkan sorunlara çözüm üretmek için sürdürülebilir kentsel ulaşım alternatiflerinin belirlenmesinde karşılaşılan zorluklara sistematik bir yaklaşım geliştirmiştir. Toplu taşıma sistemleri içerisinde yer alan çeşitli otobüs teknolojileri bu kapsamda değerlendirilmiş, karar modeline uzman görüşlerinin entegre edilebilmesi amacıyla sürdürülebilirliğe dayalı bir dizi kriter belirlenmiştir. Bu amaçla, çalışmada Intuitionistic Fuzzy Choquet Integral (IFCI) ve Grup Karar Verme tekniklerine dayalı bir bütünleştirme yöntemi önerilmiştir. IFCI yönteminde, gerekli parametrelerin tanımlanması için bulanık ikili karşılaştırma ölçütü kullanılmıştır. Kriterler arası etkileşimleri göz ardı eden ÇKKV

yöntemlerinden biri olan Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) ve sınırlı düzeyde etkileşim içeren 2-Eklemeli Choquet İntegrali de karşılaştırmalı analiz kapsamında sürece dâhil edilmiştir. Elde edilen bulgular, kriterler arasındaki bağımlılıkların, sürdürülebilir ulaşım alternatiflerinin seçimini önemli ölçüde etkilediğini ve alternatif sıralamalarında değişikliğe yol açabildiğini göstermiştir. Altintasi ve Yalcinkaya (2022), *e-scooter* sistemlerinin kamu ulaşımıyla entegrasyonunu sağlamak ve düzensiz park sorunlarına çözüm getirmek amacıyla, şarj istasyonu temelli bir yapıya geçişi destekleyen Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı ÇKKV modeli geliştirmiştir. CBS tabanlı AHP modeli ile *e-scooter* şarj istasyonları için optimum konumların belirlenmesi ve bu istasyonları birbirine bağlayan en güvenli ve uygun yol ağının tespiti hedeflenmiştir. İzmir-Karşıyaka örneğinde uygulanan model kapsamında 35 adet uygun istasyon yeri ve bu noktaları birbirine bağlayan ideal yol ağı belirlenmiştir. Pedroza-Perez vd. (2024), *e-scooter* kullanımına yönelik kentsel altyapıyı optimize etmek amacıyla çok kriterli bir yaklaşım önermiştir. Amaç, kurulum maliyetlerini en aza indirirken bisiklet yolu kapsamını ve bağlantısını artırarak *e-scooterların* çok modlu ulaşım sistemine entegrasyonunu sağlamaktır. Gerçek dünya verileriyle Málaga örneği üzerinde iki çok amaçlı evrimsel algoritma uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, algoritmaların Pareto sınırında etkili biçimde çözüm çeşitliliği sunduğunu göstermiştir. Bulgular, önerilen altyapı değişikliklerinin seyahat süresini önemli ölçüde azalttığını ortaya koymuştur. Kalakoni vd. (2022), mikro hareketlilik sistemlerine yönelik yatırımlarda mahalle düzeyinde uygunluk değerlendirmesi yaparak karar alma süreçlerini desteklemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada iki temel hedef doğrultusunda ilerlenmiştir. İlk olarak mikro hareketliliğe uygun mahalleler belirlenmiştir. İkinci olarak ise bölgeye en uygun sistem türünün seçimi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda arz ve talep odaklı çok sayıda kriter dikkate alınarak ağırlıklı ÇKKV yaklaşımıyla bir uygunluk endeksi oluşturulmuştur. Model, Paris merkezindeki bir kent bölgesi, güney banliyösündeki bir üniversite kampüsü ve gelişmekte olan bir eko-mahalle olmak üzere üç farklı örnek alan üzerinde uygulanmıştır. Her bölge için yedi sistem alternatifi arasından en uygun mikro hareketlilik türünü belirlemek amacıyla AHP tabanlı ÇKKV analizi gerçekleştirilmiştir. Bulgular, mikro hareketlilik yatırımlarının yerel ihtiyaçlara göre önceliklendirilmesinin, etkinliği artırabileceğini göstermiştir. Ecer vd. (2023) mikro hareketlilik çözümlerinin sürdürülebilirlik performansını değerlendirmede literatürdeki teorik ve metodolojik boşluklara yanıt vermeyi amaçlamıştır. Mikro hareketlilik çözümlerine ilişkin karar

verme temelli analizlerin azlığı, sürdürülebilirlik kriterlerinin belirsizliği ve kabul görmüş bir değerlendirme setinin bulunmaması, temel sorunlar olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında, Delphi yöntemiyle desteklenen Logarithmic Percentage Change-driven Objective Weighting (LOPCOW) ve Combined Compromise Solution (CoCoSo) teknikleri, Interval-valued Fuzzy Neutrosophic Number (IVFNN) bilgisi ile entegre edilerek ÇKKV modeli geliştirilmiştir. Bulgulara göre hesaplama süresi, doğa uyumu ve kaza riski en önemli sürdürülebilirlik kriterleri olarak öne çıkarken; mini elektrikli araçlar, motorlu ayakta *scooter'lar* ve oturaklı *scooter'lar* en sürdürülebilir mikro hareketlilik çözüm alternatifleri olarak belirlenmiştir. Çakır ve Tolga (2024), mikro hareketlilik araçlarının sürdürülebilir kentsel ulaşım hedeflerine katkısını değerlendirmek amacıyla kriter ağırlıklandırmasında yeni geliştirilen Extracted Framework Element Effect (EFEE) yöntemini uygulamıştır. Paris örneğinde gerçekleştirilen analiz, AB'nin (Avrupa Birliği) 2050 yılı karbon nötr hedefleri doğrultusunda, hareketlilik kullanımını etkileyen faktörlerin önem düzeylerini belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışma, EFEE yöntemini bulanık mantık ile entegre ederek literatürde ilk kez belirsizlik altında uygulanabilirliğini ortaya koymuştur. Sayısal örnekle desteklenen analiz, mikro hareketliliğin kentsel planlama bağlamındaki rolünü daha iyi anlamaya yönelik önemli katkılar sunmaktadır. Önden vd. (2024), mikro hareketlilik hizmeti sunan firmaların son adım tedarik süreçlerinde çevresel odaklı tedarikçi seçimini değerlendirmiştir. Stratejik ve stratejik olmayan ürün grupları için ayrı ayrı önerilen seçim yapısı, ÇKKV problemi olarak ele alınmıştır. Çözüm sürecinde Tip-2 Nötrosofik sayılara dayalı Criteria Importance Through Inter-Criteria Correlation (CRITIC) ve Multi-attributive Border Approximation Area Comparison (MABAC) hibrit modeli kullanılmıştır. 10 adet kriter ve üç tedarikçi türü (klasik, hibrit, çevreci girişimler) üzerinden yapılan analizde her iki ürün grubu için de "Hibrit– Klasikten Yeşil Odaklıya Geçiş Yapan Tedarikçiler" en uygun alternatif olarak belirlenmiştir. Ayrıca bulgular 22 farklı duyarlılık senaryosu ile desteklenmiştir. Saha vd. (2024), sürdürülebilir kent içi ulaşım bağlamında uygun *e-scooter* alternatiflerinin belirlenmesine yönelik kriterleri incelemeyi ve değerlendirme süreci için metodolojik bir çerçeve geliştirmeyi amaçlamıştır. Fermatean bulanık kümelerle uyarlanmış yeni bir Delphi yaklaşımı kullanılarak karar kriterleri belirlenmiş ve Fermatean bulanık kümelere dayalı çok ölçütlü MULTIMOORA yöntemi uygulanmıştır. Çalışmada kriter ağırlıklarını belirlemek için çapraz entropi ve dağılım temelli optimizasyon modeli kullanılmıştır. Bulgular, satın alma maliyeti ve bakım giderleri gibi ekonomik kriterlerin *e-scooter*

tercihinde belirleyici olduğunu göstermiştir. Teknik ve operasyonel özelliklerin geri planda kalması, bu araçların yüksek maliyetleri nedeniyle operatörlerin kararlarını büyük ölçüde finansal ölçütlere dayandırdığını ortaya koymuştur. Kaya (2025), Erzurum'da paylaşımlı *e-scooter* uygulamasına yönelik üç farklı işletme modelinin uygulanabilirliğini, istasyon konumlarının belirlenmesini ve hizmet alanlarının seçimini CBS tabanlı hibrit bir ÇKKV yöntemi ile analiz etmektedir. Beş ana ve 24 adet alt kriter, AHP, MIF ve BWM yöntemleri ile ağırlıklandırılmış ve uygunluk haritaları oluşturulmuştur. Son olarak Complex Proportional Assessment (COPRAS) yöntemi ile istasyon yerleri ve hizmet performansları analiz edilmiştir. Bulgular, Erzurum'daki üç merkezi ilçenin en uygun hizmet alanları olduğunu göstermiştir. Önerilen metodolojinin, yüksek belirsizlik ortamlarında dahi sürdürülebilir *e-scooter* yatırımları için karar vericilere stratejik destek sunabileceği ifade edilmiştir. Riaz vd. (2024), belirsizlik içeren tedarik zinciri yönetimi ve modern kent içi ulaşım sorunlarına yönelik blockzincir tabanlı çözümler geliştirmek amacıyla Kübik Resimsel Bulanık Kümeler (CPFS) yaklaşımını kullanmıştır. CPFS üzerine tanımlanan topolojik yapılara dayanarak CRITIC-COPRAS tabanlı bir ÇKKV modeli geliştirilmiştir. Bu model; mikro hareketlilik, araç paylaşımı, elektronik ücret toplama ve ücret yönetimi gibi uygulamalar için değerlendirilmiştir. Sekiz kriter çerçevesinde yapılan analizde ulaşım verimliliği, kullanıcı deneyimi, teknolojik uygunluk ve düzenleyici uyum gibi faktörler dikkate alınmıştır. Çalışma, özellikle *metaverse* ortamındaki blokzincir destekli hareketlilik uygulamalarında stratejik önceliklendirme ve veri güvenliği konularında katkı sağlamıştır. Ziemba ve Gago (2022), Polonya piyasasındaki *e-scooter* modellerini hem potansiyel kullanıcılar hem de araç paylaşım sistemi işletmecileri açısından değerlendirerek en uygun alternatifi belirlemeyi amaçlamıştır. Analiz sürecinde sürdürülebilirlik odaklı grup karar destek yöntemi olan PROSA-GDSS ile GAIA görselleştirme aracı paydaşlar arasındaki dengeyi sağlama amacıyla analiz edilmiştir. Bulgular hem kullanıcı hem de işletmeci açısından en uygun *e-scooter* alternatifinin "JEEP 2xe Urban Camou" olduğunu göstermiştir. Duyarlılık analizi sonuçları da bu alternatifi kriter ağırlığı ve telafi katsayılarındaki değişimlere karşı en az duyarlı seçenek olarak doğrulamıştır. Son olarak Öztaş Karlı (2024) ise paylaşımlı mikro hareketlilik sistemlerinin başarısını etkileyen kritik faktörleri belirlemeyi ve bu faktörlerin önem düzeylerini ile etkileşim ilişkilerini analiz etmeyi amaçlamıştır. AHP yöntemi, kriter ve alt kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) yöntemi ise neden-sonuç ilişkilerini analiz

etmek için kullanılmıştır. Bulgular, altyapı ve erişilebilirlik ile fiyatlandırma ve ödeme seçeneklerinin en yüksek ağırlığa sahip kriterler olduğunu göstermiştir. DEMATEL analizi, fiyatlandırma, kamu politikaları ve toplu taşımayla entegrasyonun sistemi etkileyen temel faktörler olduğunu buna karşın kullanıcı deneyimi, güvenlik ve teknoloji kullanım kolaylığının daha çok etkilenen unsurlar olduğunu ortaya koymuştur.

BEŞİNCİ BÖLÜM

BELİRSİZLİK ORTAMINDA SÜRDÜRÜLEBİLİR ENTEGRE HAREKETLİLİK YÖNTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: FUCOM-F VE MACONT-F ANALİZ UYGULAMASI

Bu bölümde, Kayseri ili özelinde sürdürülebilir, akıllı ve dirençli ulaşım sistemleri çerçevesinde geliştirilen sürdürülebilir entegre hareketlilik yöntemlerinin, belirsizlik ortamında değerlendirilmesine yönelik uygulama süreci sunulmuştur. İlk aşamada, kriter ağırlıklarının belirlenmesinde Fuzzy Full Consistency Method (FUCOM-F) yöntemi; ardından alternatiflerin performans değerlendirilmesinde ise Fuzzy Mixed Aggregation by COmprehensive Normalization Technique (MACONT-F) yöntemi kullanılarak analiz süreci örnek problem üzerinden yürütülmüştür. Analizde kullanılan kriter seti ve uzman görüşleri ayrıntılı biçimde açıklanmış, elde edilen bulgular kapsamlı olarak değerlendirilip tartışılmıştır. Son olarak, önerilen metodolojinin tutarlılığını test etmek amacıyla gerçekleştirilen karşılaştırmalı analiz sonuçlarına yer verilmiştir.

5.1 Araştırma Metodolojisi

Bu tezde, belirsizlik ortamında sürdürülebilir entegre hareketlilik yöntemlerinin değerlendirilmesi amacıyla Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yaklaşımı benimsenmiş ve bu doğrultuda bulanıklığı dikkate alan iki yöntem birlikte uygulanmıştır. İlk olarak, kriter ağırlıklarının belirlenmesinde Pamucar ve Ecer (2020) tarafından geliştirilen FUCOM-F, ikinci olarak ise alternatiflerin performans değerlendirmesinde Ecer ve Torkayesh (2022) tarafından geliştirilen MACONT-F yöntemi tercih edilmiştir. FUCOM-F ve MACONT-F yöntemleri, belirsizlik ortamında karar verme sürecine önemli katkılar sunan gelişmiş ÇKKV teknikleridir. FUCOM-F yöntemi, kriter ağırlıklarının belirlenmesinde basit ve tutarlı bir algoritma kullanmaktadır. Dahası, diğer karşılaştırma

temelli yöntemlere göre daha az sayıda karşılaştırma gerektirdiği için uygulama açısından oldukça pratiktir. Öte yandan MACONT-F yöntemi ise klasik ÇKKV yöntemlerinden farklı olarak daha fazla bütünleştirme parametresi ve normalizasyon tekniğini bünyesinde barındırmaktadır. Bu yöntemsel çeşitlilik, alternatiflerin performans değerlendirmelerinde daha duyarlı, kesin ve yöntemsel olarak sağlam sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Belirsizlik içeren uzman değerlendirmelerinin bulanık ortamda modellenmesini mümkün kılan FUCOM-F ve MACONT-F teknikleri, sürdürülebilir entegre hareketlilik yöntemlerinin çok boyutlu analizine uygun, güçlü bir karar destek mekanizması sunmaktadır. Tezde ayrıca MACONT-F analizinden elde edilen performans sonuçlarının tutarlılığını değerlendirmek üzere Bulanık Compromise Ranking of Alternatives from Distance to Ideal Solution (CRADIS), Measurement of Alternatives and Ranking according to COmpromise Solution (MARCOS) ve Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) yöntemleri kullanılmıştır. Bu metodolojik yapı, sürdürülebilir entegre hareketlilik yöntemlerinin çok boyutlu performansını değerlendirerek karar vericilere sürdürülebilir kent içi ulaşım politikaları geliştirme sürecinde sistematik ve bilimsel temellere dayalı bir karar destek aracı sunmaktadır. Bu amaçla oluşturulan karar modeli, Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

Şekil 5.1. *Karar modelinin aşamaları (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)*

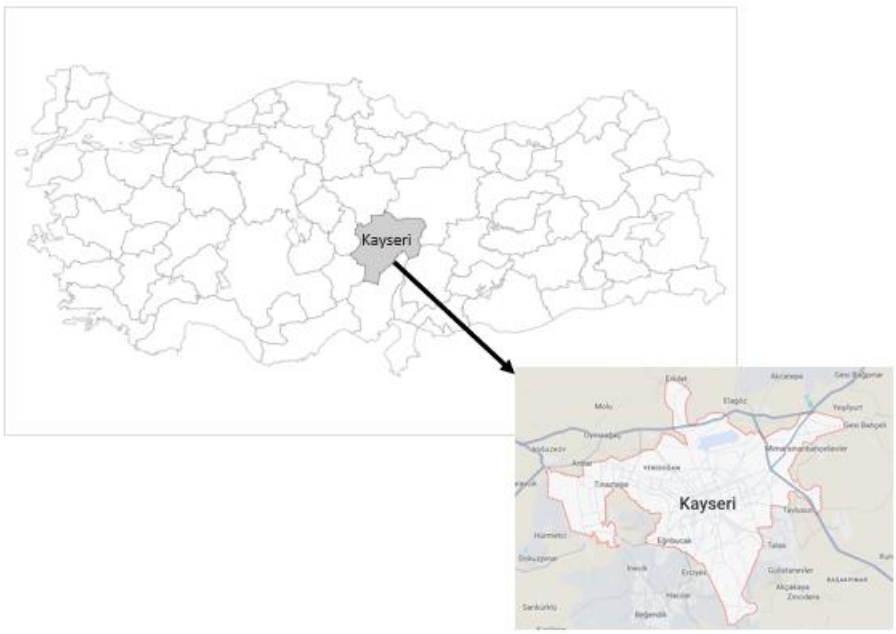


Şekil 5.1, çalışmada izlenen karar verme sürecinin aşamalarını bütüncül bir biçimde ortaya koymaktadır. Bu karar modeli hem kriter ağırlıklarının hem de alternatif performanslarının sistematik biçimde incelendiğini göstermektedir.

5.2 Örnek Problem

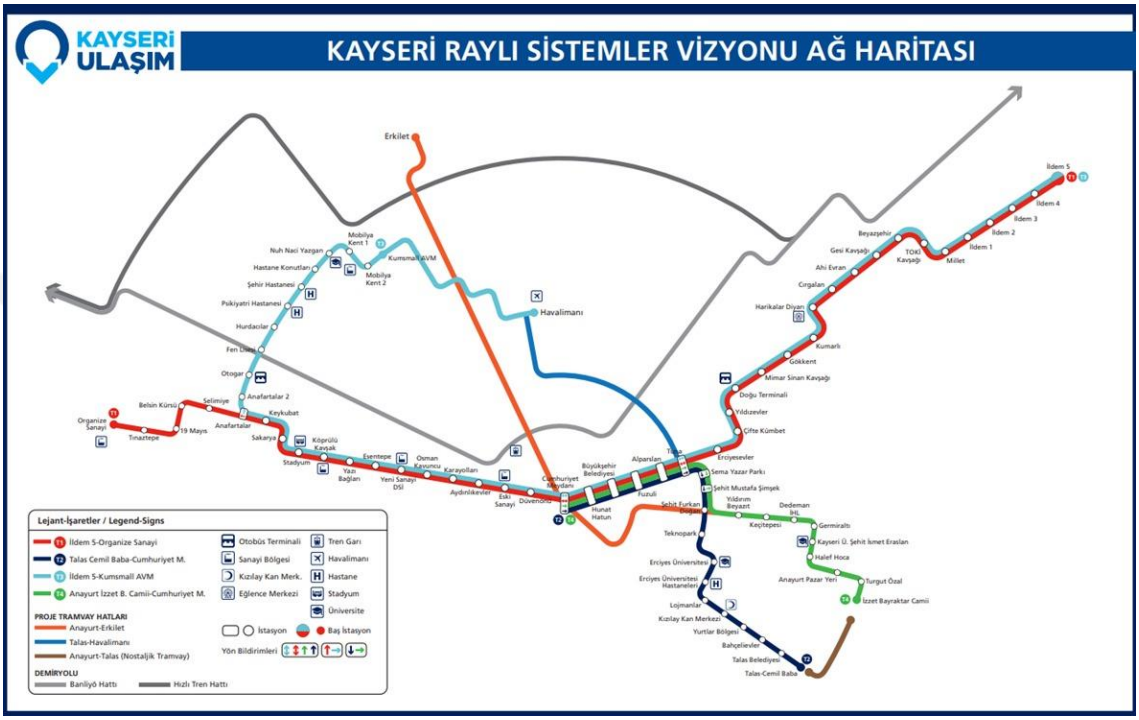
Bu çalışmada sürdürülebilir entegre hareketlilik yöntemlerinin değerlendirilmesi amacıyla örnek vaka olarak Kayseri ili ele alınmıştır. Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan Kayseri, yaklaşık 1,5 milyonluk nüfusu ve 5,2 milyar dolarlık dış ticaret hacmi ile Türkiye'nin en kalabalık 15. ilidir ve güçlü bir ekonomiye sahip kenti konumundadır. Şekil 5.2, Kayseri il haritasını göstermektedir. Kayseri, özellikle son yıllarda raylı sistem yatırımları, toplu taşıma entegrasyonu ve mikro hareketlilik uygulamalarıyla dikkat çeken bir kenttir. Ayrıca ulaşım altyapısının sürekli gelişim göstermesi, bu çalışmada uygulama örneği olarak seçilmesini anlamlı kılmıştır.

Şekil 5.2. *Kayseri ili haritası*



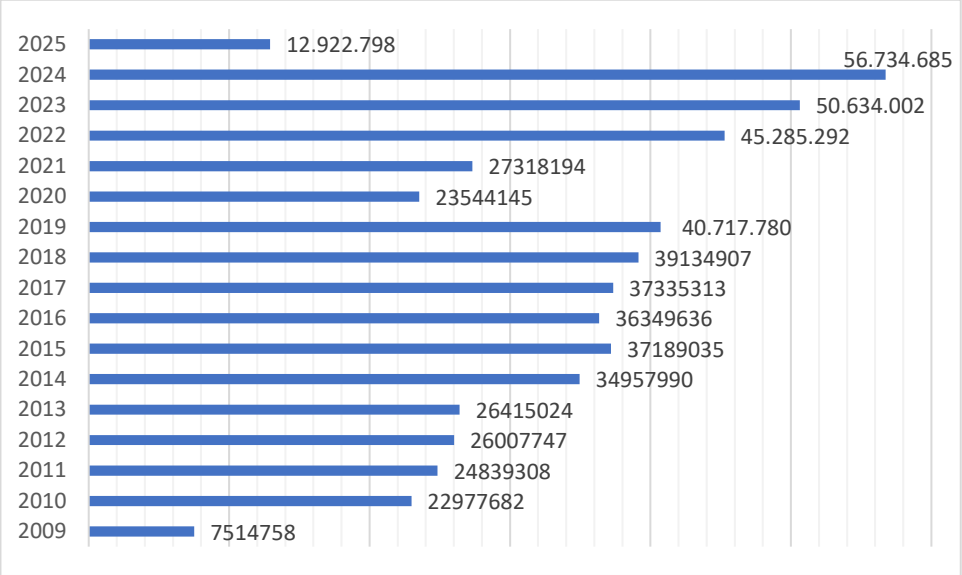
Şekil 5.2' Türkiye haritası üzerinde Kayseri ilinin konumunu ve alt bölümde ise Kayseri şehir merkezinin ayrıntılı harita görünümünü göstermektedir. Kentte, toplamda 75 istasyondan oluşan ve 46 km uzunluğunda bir ana hatta hizmet veren hafif raylı sistem mevcuttur. Bu sistem 4 ana hat üzerine kurulmuştur ve ilerleyen yıllarda ek hatların inşası planlanmaktadır. Söz konusu raylı sistem vizyonu, Şekil 5.3'te sunulmaktadır.

Şekil 5.3. *Raylı sistemler vizyonu ağ haritası (Kayseri Ulaşım, 2024)*



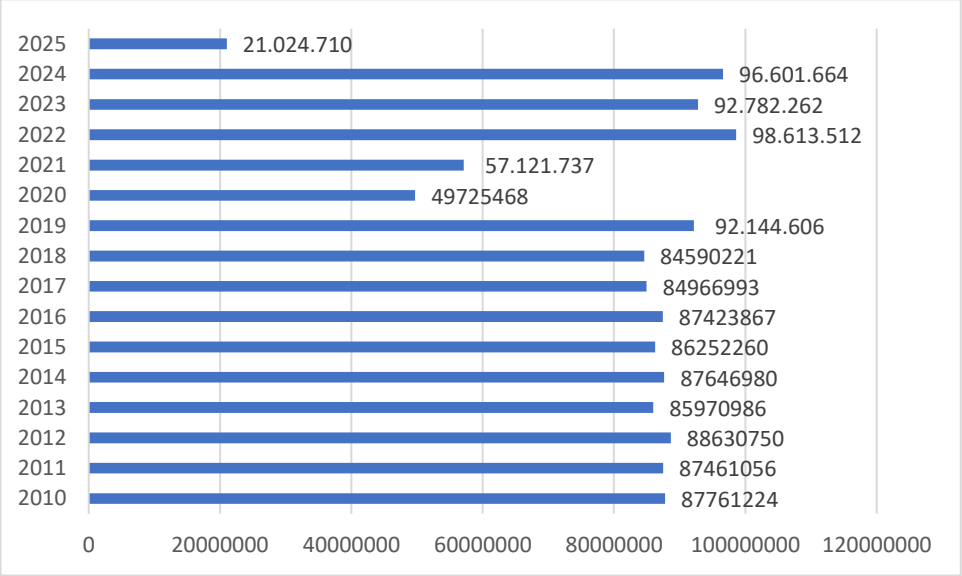
Şekil 5.3, Kayseri raylı sistem vizyonu ve mevcut raylı sistem ağını göstermektedir. Raylı sistem filosu, toplam 80 adet araçtan oluşmakta olup bu araçların önemli bir bölümü %100 yerli tasarım özelliğine sahiptir. 2024 yılında yaklaşık 56,7 milyon yolcu taşınmış; 2025 yılının ilk üç ayında ise günlük ortalama 143.586, toplamda ise yaklaşık 13 milyon yolcu taşınmıştır. 2009–2025 yılları arasındaki yıllık taşınan yolcu verileri Şekil 5.4'te sunulmaktadır.

Şekil 5.4. *Raylı sistem yolcu taşıma istatistikleri (Kayseri Ulaşım, 2024)*



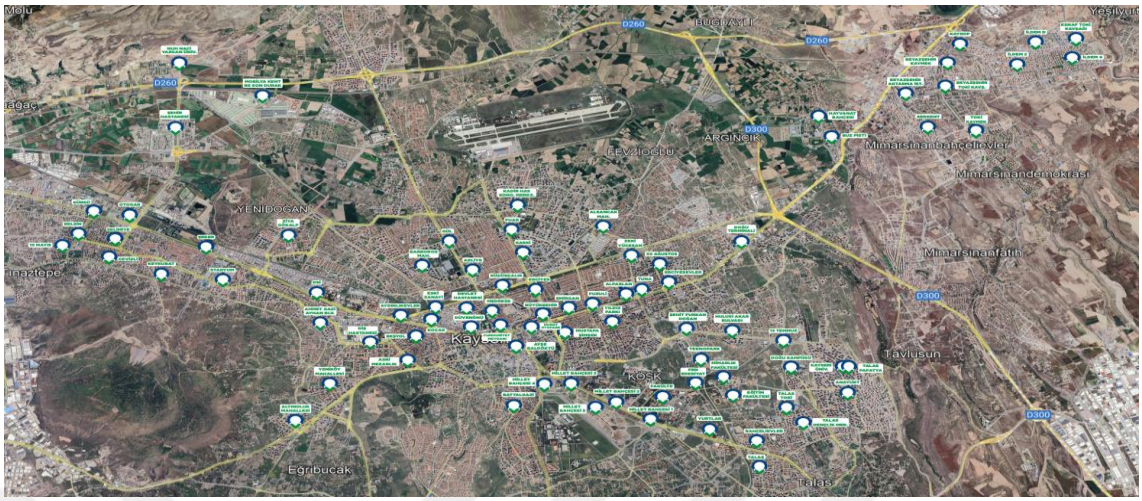
Şekil 5.4, yıllar itibariyle raylı sistem ile taşınan yolcu istatistiklerini göstermektedir. Raylı sistemin yanı sıra kent genelinde otobüs taşımacılığı da önemli bir toplu ulaşım modudur. Toplamda 246 otobüs ve 625 hattı kapsayan otobüs filosu, 2025 yılının ilk üç ayında günlük ortalama 233.607 yolcu, toplamda ise yaklaşık 21 milyon yolcu taşımıştır. Yıllara göre otobüsle taşınan yolcu sayısı Şekil 5.5'te gösterilmektedir.

Şekil 5.5. *Otobüs yolcu taşıma istatistikleri (Kayseri Ulaşım, 2024)*



Şekil 5.5, yıllar itibariyle otobüs yolcu sayısını göstermektedir. Kayseri'de sürdürülebilir ulaşımı destekleyen uygulamalar arasında mikro hareketlilik sistemleri de yer almaktadır. Kent genelinde 91 adet istasyon ve 1000 adet bisikletten oluşan bir paylaşımlı bisiklet ağı hizmet vermektedir. Bu sistemin duraklarının dağılımı Şekil 5.6'da sunulmaktadır.

Şekil 5.6. *Paylaşımlı bisiklet sistemi durakları (Kayseri Ulaşım, 2024)*



Şekil 5.6, Paylaşımlı bisiklet sistemine ait durakların konumlarını göstermektedir. 2024 yılında 1 Mayıs – 30 Eylül tarihleri arasında sistemin kullanıcı sayısı 479.011 olarak kaydedilmiştir. Ayrıca kentte Martı ve BinBin gibi özel hizmet sağlayıcılar tarafından sunulan paylaşımlı *e-scooter* hizmetleri de kent içi ulaşım sisteminde aktif olarak kullanılmaktadır.

Bu kapsamda çalışma, Kayseri'de mevcut toplu taşıma ile entegre sürdürülebilir hareketlilik yöntemlerini analiz etmeyi ve bu alternatifleri sürdürülebilirlik, akıllılık ve dirençlilik kriterleri doğrultusunda değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Elde edilen sonuçların, Kayseri özelinde sürdürülebilir ulaşım politikalarına katkı sağlaması hedeflenmektedir.

5.2.1 Kriter Ağırlıklarının FUCOM-F ile Belirlenmesi

Çalışmada kullanılan kriter seti, literatür incelemesine dayalı olarak belirlenmiştir ve üç ana kriter ve on dokuz alt kriterden oluşmaktadır. Kriterler, sürdürülebilir entegre hareketlilik yöntemlerinin önem ağırlıklarını belirlemek amacıyla sürdürülebilirlik, akıllılık ve dirençlilik boyutları altında gruplandırılmıştır. Tablo 5.1, çalışmada kullanılan kriter setini göstermektedir.

Tablo 5.1. *Kriter seti*

Ana Kriter	Alt Kriter Kodu	Alt Kriter	Kriter Açıklaması	Kaynak
Sürdürülebilirlik (MC1)	MC11	Karbon Emisyonlarının Azaltılması	Sürdürülebilir entegre hareketliliğin sera gazı emisyonlarını azaltmaya katkısı.	Brand vd. (2021), Wanganoo ve Shukla (2022), Corti vd. (2024), Fuady vd. (2025)

	MC12	Kirlilik Önleme	Sürdürülebilir entegre hareketliliğin, çevreye zarar veren maddelerin (hava kirleticileri, gürültü ve atık) salınımını önleme stratejileri.	Kalakoni vd. (2022), Ben Ali ve Boukettaya (2023), Awewomom vd. (2024)
	MC13	Doğal Yaşam Alanlarının Zarar Görmesini ve Kaybını Önleme	Sürdürülebilir entegre hareketliliğin, ekosistemlere, yaban hayatına ve doğal alanlara olan olumsuz etkilerini en aza indirme.	Abduljabbar vd. (2021), Neelis vd. (2024), Saha vd. (2024)
	MC14	İşletme Maliyet/Gider Azaltma Yeteneği	Sürdürülebilir entegre hareketliliğin, personel, şarj istasyonları ve idari giderler gibi sürekli maliyetleri azaltma etkisi.	Taiebat ve Xu (2019), Aldosari vd. (2024), Saha vd. (2024)
	MC15	Maliyet Tasarrufu	Sürdürülebilir entegre hareketliliğin, geleneksel ulaşım modlarına göre kullanıcılar için sağladığı ekonomik avantajlar.	Gillis vd. (2016), Wanganoo ve Shukla (2022), Cui ve Zhang (2024), Zagorskas ve Turskis (2024)
	MC16	Yapılı Çevre	Sürdürülebilir entegre hareketlilik kullanıcıları için güvenli, iyi aydınlatılmış yollar ve durakların mevcut olması. Toplu taşıma istasyonlarının çevresinde güvenli ve korunaklı altyapının sağlanması.	Zuo ve Wei (2019), Zhang vd. (2023), Ferguson vd. (2024), Hapriyanto ve Azmi (2025)
	MC17	Eşitlik	Sürdürülebilir entegre hareketliliğin, tüm sosyo-demografik gruplar için aynı olanakları sağlaması.	Gillis vd. (2016), Mozos-Blanco vd. (2018), Tammaru vd. (2023), Chen ve Chopra (2025)
	MC18	Erişilebilirlik	Sürdürülebilir entegre hareketliliğe, tüm kullanıcı grupları için fiziksel, ekonomik, sosyal veya diğer engeller olmadan ulaşılabilmesi.	Gillis vd. (2016), Mozos-Blanco vd. (2018), OECD (2024a), Tahmasbi vd. (2024)
	MC19	Trafik Sıkışıklığını Azaltma	Sürdürülebilir entegre hareketliliğin, kişisel araç kullanımını azaltarak trafik sıkışıklığını azaltıcı etkisi.	Fan ve Harper (2022), Wanganoo ve Shukla (2022), Zagorskas ve Turskis (2024) Fuady vd. (2025)
Akıllılık (MC2)	MC21	Gerçek Zamanlı Veri Bilgisi	Sürdürülebilir entegre hareketliliğin kullanımına dair gerçek zamanlı bilgilerin ve araçların duraklardaki mevcut durumlarının izlenmesi. Rota optimizasyonu ve araç mevcudiyeti için bu verilerin kullanılması.	You (2022), Murzyna (2023), Elassy vd. (2024)
	MC22	Kullanıcı Dostu	Seyahat planlaması, rezervasyon ve toplu taşıma ile sürdürülebilir entegre hareketliliğin yönetilmesi için kolay kullanılabilir uygulama ve çevrim içi platformlar.	Ziemba ve Gago (2022), Schwinger vd. (2024), Chen vd. (2025)
	MC23	Modlar arası Bağlanabilirlik	Farklı ulaşım modları arasında kolay geçiş yapılabilmesi.	Gillis vd. (2016), Zuo ve Wei (2019), Kalakoni vd. (2022), Schuete ve Rudolph (2024)

	MC24	Siber Güvenlik Önlemleri	Sürdürülebilir entegre hareketlilik araçlarının kullanımında, kullanıcı verilerinin korunması ve gizliliğin sağlanması için alınan siber güvenlik tedbirleri.	Cao vd. (2023), Garroussi vd. (2023), Garroussi vd. (2025)
	MC25	Rota Planlama ve Optimizasyon	Gerçek zamanlı verilerle rota ve araç mevcudiyetinin optimize edilmesi.	Huang vd. (2020), Alam vd. (2024), Prism Sustainability Directory (2025)
	MC26	Yapay Zekâ Entegrasyonu	Sürdürülebilir entegre hareketliliğin yönetimini, operasyonlarını ve kullanıcı deneyimini optimize etmek için yapay zekâ teknolojilerinin kullanılması.	Ziemba ve Gago (2022), Alam vd. (2024), Kaya (2025)
Dirençlilik (MC3)	MC31	Sağlamlık	Sürdürülebilir entegre hareketliliğin, dış şoklara ve streslere karşı güçlü kalma yeteneği.	ERTRAC (2021), Amghar vd. (2024), Chen vd. (2024), Cui ve Zhang (2024),
	MC32	Yedeklilik	Sürdürülebilir entegre hareketlilik ana bileşenlerinin veya rotaların arızalanması durumunda yedek sistemlerin ya da alternatif seçeneklerin mevcut olması, kritik işlevleri yerine getirebilecek yedek bileşenlerin veya alternatif yolların bulunması.	Pant (2013), Xu vd. (2021), OECD (2024b)
	MC33	Kaynak Yönetimi	Sürdürülebilir entegre hareketlilik sisteminin, mevcut kaynakları en iyi şekilde kullanarak sorunlara hızlı çözüm üretme kapasitesi.	Kays ve Sadri (2022), Chen vd. (2023), Amghar vd. (2024)
	MC34	Hızlılık	Sürdürülebilir entegre hareketlilik sistemlerinin değişikliklere, aksamalara veya acil durumlara hızlı ve etkili bir şekilde yanıt verme ve normale dönme kapasitesi.	Yin vd. (2023), Amghar vd. (2024), Chen vd. (2024)

Kriterlerin belirlenmesinin ardından, ağırlıklandırma sürecinde Tablo 3.1'de sunulan Triangular Fuzzy Numbers- Üçgensel Bulanık Sayılar (TFN'ler) esas alınarak uzman görüşlerinden yararlanılmıştır. Beş uzmandan, kriterleri önem derecelerine göre bağımsız olarak sıralamaları istenmiştir. Bu sıralama süreci, iki aşamada gerçekleştirilmiştir: Öncelikle ana kriterler kendi aralarında, ardından her ana kriter grubuna ait alt kriterler kendi içinde sıralanmıştır. Değerlendirme sürecinde yanlılığı önlemek amacıyla uzmanların birbirlerinin görüşlerine erişimi olmamıştır. Tablo 5.2, kriterlerin değerlendirilmesinde görev alan uzmanlara ilişkin bilgileri sunmaktadır. Uzmanlar, kriterlere ilişkin tercihlerini Tablo 3.1'de yer alan bulanık dilsel değişkenler aracılığıyla ifade etmiştir.

Tablo 5.2. *Uzman bilgileri*

Uzman	Sektör	Eğitim Durumu	Tecrübe (yıl)

Uzman 1	Akademi	Doktora	18
Uzman 2	Akademi	Doktora	17
Uzman 3	Ulaşım	Doktora	15
Uzman 4	Ulaşım	Yüksek lisans	12
Uzman 5	Ulaşım	Lisans	10

Uzman değerlendirmesi sonrasında analiz süreci, aşağıda tanımlanan dört model üzerinden yapılandırılmıştır:

- Model 1 – Ana kriterlerin (Sürdürülebilirlik, Akıllılık, Dirençlilik) lokal (local) ağırlıklarının belirlenmesi,
- Model 2 – Sürdürülebilirlik kriterleri kümesi içerisindeki alt kriterlerin ağırlıklarının hesaplanması,
- Model 3 – Akıllılık kriterleri kümesi içerisindeki alt kriterlerin ağırlıklarının hesaplanması,
- Model 4 – Dirençlilik kriterleri kümesi içerisindeki alt kriterlerin ağırlıklarının hesaplanması.

FUCOM-F yönteminin uygulanmasında ilk olarak uzmanlardan, her bir modelde yer alan kriterleri göreli önem düzeylerine göre sıralamaları istenmiştir. Bu sıralama süreci, ilgili modelde yer alan kriterlerin en önemli olandan en az önemliye doğru bir öncelik hiyerarşisine yerleştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Uzmanlar arasında fikir birliği sağlandıktan sonra kriterlerin sıralaması netleştirilmiş ve her bir kritere ilişkin karşılaştırmalı önem dereceleri, Tablo 3.1'de yer alan dilsel değişkenler kullanılarak ifade edilmiştir. Bu dilsel ifadeler, TFN'ler ile modellenmiştir. Tablo 5.3'te ana kriterler için karşılaştırmalı önem ve TFN'ler ifadeleri sunulmuştur.

Tablo 5.3. *Ana kriterlerin karşılaştırmalı önem ve TFN ifadeleri*

Açıklama	**Uzman 1**
Kriter Kodu	MC1=MC2>MC3
Dilsel İfade	EÖ, EÖ, AÖ
TFN'ler	(1, 1, 1) (1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2)

	Uzman 2
Kriter Kodu	MC1>MC2>MC3
Dilsel İfade	EÖ, AÖ, OÖ
TFN'ler	(1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2)
	Uzman 3
Kriter Kodu	MC1>MC2=MC3
Dilsel İfade	EÖ, AÖ, AÖ
TFN'ler	(1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2)
	Uzman 4
Kriter Kodu	MC1>MC3>MC2
Dilsel İfade	EÖ, AÖ, KÖ
TFN'ler	(1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (5/2, 3, 7/2)
	Uzman 5
Kriter Kodu	MC1>MC3>MC2
Dilsel İfade	EÖ, AÖ, OÖ
TFN'ler	(1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2)

Sürdürülebilirlik, akıllılık ve dirençlilik alt kriterleri için uzman görüşleri, sırasıyla EK1, EK2 ve EK3'te sunulmuştur. FUCOM-F yönteminin daha iyi anlaşılabilmesi adına üç temel aşama altında Model 1'in çözümüne yer verilmiştir:

Adım 1: Ana kriterlerin önem derecelerine göre sıralanması

Uzman 1: MC1=MC2>MC3

Uzman 2: MC1>MC2>MC3

Uzman 3: MC1>MC2=MC3

Uzman 4: MC1>MC3>MC2

Uzman 5: MC1>MC3>MC2

Burada MC1, MC2 ve MC3 sırasıyla sürdürülebilirlik, akıllılık ve dirençlilik ana kriterlerini ifade etmektedir.

Adım 2: Ana kriterler, önem derecelerine göre sıralanmış ve Tablo 3.1'de verilen dilsel ölçek doğrultusunda TFN'ler ile ifade edilmiştir. Karşılaştırmalar sırasında her kriter, en yüksek öneme sahip kriter ile kıyaslanmış ve bu karşılaştırmalı değerlendirmeler Tablo 5.4'te gösterilmiştir.

Tablo 5.4. *Ana kriterlerin dilsel ölçek karşılaştırması*

	$\varphi_{k/(k+1)}$	Karşılaştırma	Üçgensel bulanık sayı değeri		
Uzman 1	$\varphi_{1/2}$	MC1/MC2	1,00	1,00	1,00
	$\varphi_{2/3}$	MC2/MC3	0,67	1,00	1,50
	$\varphi_{k/(k+1)}$	Karşılaştırma	Üçgensel bulanık sayı değeri		
Uzman 2	$\varphi_{1/2}$	MC1/MC2	0,67	1,00	1,50
	$\varphi_{2/3}$	MC2/MC3	1,00	2,00	3,73
	$\varphi_{k/(k+1)}$	Karşılaştırma	Üçgensel bulanık sayı değeri		
Uzman 3	$\varphi_{1/2}$	MC1/MC2	0,67	1,00	1,50
	$\varphi_{2/3}$	MC2/MC3	0,447	1,00	2,24
	$\varphi_{k/(k+1)}$	Karşılaştırma	Üçgensel bulanık sayı değeri		
Uzman 4	$\varphi_{1/2}$	MC1/MC3	0,67	1,00	1,50
	$\varphi_{2/3}$	MC3/MC2	1,67	3,00	5,224
	$\varphi_{k/(k+1)}$	Karşılaştırma	Üçgensel bulanık sayı değeri		
Uzman 5	$\varphi_{1/2}$	MC1/MC3	0,67	1,00	1,50
	$\varphi_{2/3}$	MC3/MC2	1,00	2,00	3,73

Adım 3: Ağırlık katsayılarının nihai değerleri hesaplanmıştır.

Burada, gözlemlenen kriterlerin ağırlık katsayıları oranı karşılaştırmalı önem derecesi ile eşittir. Ek olarak ağırlık katsayılarının nihai değerleri geçişlilik (transitivity) ilkesini sağlamalıdır. Bu aşamada, Denklem 3.11 doğrultusunda ilişki geçişliliği koşullarından

her bir uzman için birer kısıt ortaya çıkmaktadır. Uzmanların ana kriterler için geçişlilik ilkesini ifade eden kısıtlar, Tablo 5.5'te gösterilmektedir.

Tablo 5.5. *Ana kriterler için geçişlilik koşulu*

Uzman 1	$\varphi_{k/(k+1)}$	Karşılaştırma	Üçgensel bulanık sayı değeri		
	$\varphi_{1/3}$	MC1/MC3	0,67	1,00	1,50
Uzman 2	$\varphi_{k/(k+1)}$	Karşılaştırma	Üçgensel bulanık sayı değeri		
	$\varphi_{1/3}$	MC1/MC3	0,67	2,00	5,60
Uzman 3	$\varphi_{k/(k+1)}$	Karşılaştırma	Üçgensel bulanık sayı değeri		
	$\varphi_{1/3}$	MC1/MC3	0,30	1,00	3,36
Uzman 4	$\varphi_{k/(k+1)}$	Karşılaştırma	Üçgensel bulanık sayı değeri		
	$\varphi_{1/2}$	MC1/MC2	1,12	3,00	7,84
Uzman 5	$\varphi_{k/(k+1)}$	Karşılaştırma	Üçgensel bulanık sayı değeri		
	$\varphi_{1/2}$	MC1/MC2	0,67	2,00	5,60

Her bir uzmanın değerlendirmesi 5.1 numaralı matematiksel modele uygun şekilde düzenlenmiş ve kriterlerin nihai ağırlıklarını belirlemek için Lingo 20.0 yazılımı kullanılmıştır.

$$
\begin{aligned}
&min\ X \\
&s.t. \\
&\left|\frac{\omega_{(k)}}{\omega_{(k+1)}} - \frac{\varphi_k}{\varphi_{k+1}}\right| \leq X, \forall_j \\
&\left|\frac{\omega_{j(k)}}{\omega_{j(k+2)}} - \frac{\varphi_k}{\varphi_{k+1}} \otimes \frac{\varphi_{k+1}}{\varphi_{k+2}}\right| \leq X, \forall_j \\
&\sum_{j=1}^{n} \omega_j = 1, \forall_j \\
&\omega_j^l \leq \omega_j^m \leq \omega_j^u \\
&\omega_j^l \geq 0, \forall_j
\end{aligned}
\qquad (5.1)
$$

$j = 1, 2, \dots, n$	

Burada $\omega_j = (\omega_j^l \leq \omega_j^m \leq \omega_j^u)$ ve $\varphi_{k/(k+1)} = ({\varphi_{k/(k+1)}}^l, {\varphi_{k/(k+1)}}^m, {\varphi_{k/(k+1)}}^u)$.

Model 5.1 çözüldüğünde ana kriterlerin bulanık ağırlıkları Tablo 5.6'da yer aldığı gibi elde edilmiştir. Beş uzman için de çözülen modeller, minimum DMC $X \approx 0{,}000$ olarak tespit edilmiştir. Bu durum elde edilen ağırlık değerlerinin yüksek bir tutarlılığa sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca durulaştırılmış ağırlıkları elde etmek için The Graded Mean Integration Representation (GMIR) Denklem 3.6 kullanılmıştır. Genel durulaştırılmış ağırlık tespiti ise ortalama alınarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 5.6, FUCOM-F ana kriter ağırlıklarını göstermektedir.

Tablo 5.6. *FUCOM-F ana kriter ağırlıkları (Bulanık ve durulaştırılmış ağırlıklarda virgülden sonra dört basamak dikkate alınmıştır.)*

	Ana kriter	FUCOM-F değeri	Durulaştırılmış ağırlık
Uzman 1	MC1	(0,3304, 0,3304, 0,3304)	0,3304
	MC2	(0,3304, 0,3304, 0,3304)	0,3304
	MC3	(0,2202, 0,3304, 0,4931)	0,3391
	Ana kriter	FUCOM-F değeri	Durulaştırılmış ağırlık
Uzman 2	MC1	(0,2604, 0,3887, 0,5829)	0,3997
	MC2	(0,3885, 0,3885, 0,3885)	0,3885
	MC3	(0,1041, 0,1943, 0,3887)	0,2117
	Ana kriter	FUCOM-F değeri	Durulaştırılmış ağırlık
Uzman 3	MC1	(0,2133, 0,3183, 0,4771)	0,3273
	MC2	(0,3180, 0,3182, 0,3182)	0,3182
	MC3	(0,1420, 0,3183, 0,7113)	0,3544
	Ana kriter	FUCOM-F değeri	Durulaştırılmış ağırlık

Uzman 4	MC1	(0,2813, 0,4198, 0,6296)	0,4317
	MC2	(0,0803, 0,1399, 0,2512)	0,1485
	MC3	(0,4197, 0,4197, 0,4197)	0,4197
	Ana kriter	FUCOM-F değeri	Durulaştırılmış ağırlık
Uzman 5	MC1	(0,2604, 0,3887, 0,5829)	0,3997
	MC2	(0,1041, 0,1943, 0,3887)	0,2117
	MC3	(0,3885, 0,3885, 0,3885)	0,3885
Genel durulaştırılmış ağırlık	Sürdürülebilirlik (MC1)	Akıllık (MC2)	Dirençlilik (MC3)
	0,38	0,28	0,34

Kriterlerin global ağırlıkları, ana kriterlerin ağırlıkları ile bunlara ait alt kriterlerin lokal (local) ağırlıkları çarpılarak elde edilmiştir. Tablo 5.7, tüm alt kriterlerin hem lokal (local) hem de global ağırlıklarını ve global ağırlıklara göre sıralamalarını sunmaktadır.

Tablo 5.7. *Alt kriterlerin lokal ve global ağırlıkları*

Ana kriter	**Alt kriter**	**Lokal ağırlık**	**Global ağırlık**	**Sıralama**
Sürdürülebilirlik (0,38)	Karbon Emisyonlarının Azaltılması	0,1508	0,0570	7
	Kirlilik Önleme	0,1495	0,0564	9
	Doğal Yaşam Alanlarının Zarar Görmesini ve Kaybını Önleme	0,0851	0,0321	17
	İşletme Maliyet/Gider Azaltma Yeteneği	0,1014	0,0383	14
	Maliyet Tasarrufu	0,0787	0,0297	19
	Yapılı Çevre	0,1057	0,0399	13
	Eşitlik	0,1091	0,0412	11
	Erişilebilirlik	0,1193	0,0450	10
	Trafik Sıkışıklığını Azaltma	0,1000	0,0377	15
Akıllılık (0,28)	Gerçek Zamanlı Veri Bilgisi	0,2028	0,0566	8
	Kullanıcı Dostu	0,1264	0,0353	16
	Modlar arası Bağlanabilirlik	0,2075	0,0580	6
	Siber Güvenlik Önlemleri	0,1122	0,0313	18
	Rota Planlama ve Optimizasyon	0,2075	0,0581	5
	Yapay Zekâ Entegrasyonu	0,1434	0,0400	12
Dirençlilik (0,34)	Sağlamlık	0,2472	0,0847	2
	Yedeklilik	0,2396	0,0821	3
	Kaynak Yönetimi	0,2326	0,0797	4
	Hızlılık	0,2804	0,0961	1

Tablo 5.7'den görüldüğü üzere, en önemli ana kriter %38 ile sürdürülebilirlik olarak belirlenmiştir. Bunu %34 ile dirençlilik ve %28 ile akıllılık izlemektedir. Alt kriterler düzeyinde ise dirençlilik boyutunda en yüksek global ağırlığa sahip olan "Hızlılık" (0,0961) olup genel sıralamada da en kritik faktör olarak öne çıkmaktadır. Bunu "Sağlamlık" (0,0847), "Yedeklilik" (0,0821) ve "Kaynak Yönetimi" (0,0797) takip etmektedir. Bu dört kriter dirençlilik başlığı altında öne çıkan temel belirleyiciler olarak dikkat çekmektedir. Global ağırlıklara dayanarak en önemli diğer alt kriterler şunlardır: "Rota Planlama ve Optimizasyon" (0,0581), "Modlar Arası Bağlanabilirlik" (0,0580), "Karbon Emisyonlarının Azaltılması" (0,0570), "Gerçek Zamanlı Veri Bilgisi" (0,0566) ve "Kirlilik Önleme" (0,0564). Diğer önemli kriterler arasında; "Erişilebilirlik" (0,0450), "Eşitlik" (0,0412), "Yapay Zekâ Entegrasyonu" (0,0400), "Yapılı Çevre" (0,0399), "İşletme Maliyet/Gider Azaltma Yeteneği" (0,0383), "Trafik Sıkışıklığını Azaltma" (0,0377), "Kullanıcı Dostu" (0,0353), "Doğal Yaşam Alanlarının Zarar Görmesini ve Kaybını Önleme" (0,0321), "Siber Güvenlik Önlemleri" (0,0313) ve "Maliyet Tasarrufu" (0,0297) bulunmaktadır. Buradan hareketle, "Hızlılık", "Sağlamlık", "Yedeklilik" ve "Kaynak Yönetimi" alt kriterleri, bu çalışmada karar verme ve önceliklendirme süreçlerinde en temel belirleyiciler olarak öne çıkmaktadır.

5.2.2 Sürdürülebilir Entegre Hareketlilik Yöntemlerinin MACONT-F ile Performans Değerlendirmesi

Sürdürülebilir entegre hareketlilik yöntemlerinin performansı, Ecer ve Torkayesh (2022) tarafından geliştirilen MACONT-F yöntemi aracılığıyla değerlendirilmiştir. Bu kapsamda Tablo 3.2'de yer alan TFN'ler esas alınarak, dört alternatif ve on dokuz kriterden oluşan başlangıç bulanık karar matrisi, uzman görüşleri doğrultusunda oluşturulmuştur. İlk aşamada, "tramvay / paylaşımlı bisiklet", "otobüs / paylaşımlı bisiklet", "tramvay / *e-scooter"* ve "otobüs / *e-scooter"* olmak üzere dört farklı sürdürülebilir entegre hareketlilik yöntemlerine ilişkin uzman değerlendirmeleri alınmış; FUCOM-F yönteminden elde edilen ağırlık vektörü kullanılarak işlem kolaylığı sağlamak amacıyla bu değerlendirmelere dayalı ortak bulanık karar matrisi hazırlanmıştır. Söz konusu bulanık başlangıç karar matrisi Tablo 5.8'de sunulmuştur.

Tablo 5.8. *MACONT-F bulanık başlangıç karar matrisi*

Alternatif	MC11			MC12			MC13			MC14		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	5	6	7	3,6	4,6	5,6	3,2	4	4,8	5,4	6,4	7,2
Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	3,4	4,2	4,8	4,8	5,8	6,8	5	6	7	4,6	5,6	6,4

Tramvay/*e-scooter*	6,6	7,6	8,4	6	7	8	4,6	5,6	6,6	4,6	5,6	6,6
Otobüs/*e-scooter*	5,8	6,8	7,6	5,4	6,4	7,4	3,4	4,4	5,4	4,4	5,4	6,2

Alternatif	MC15			MC16			MC17			MC18		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	5,2	6,2	7	3,4	4,4	5,4	3,8	4,8	5,8	5,2	6,2	7,2
Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	3,6	4,6	5,6	3	3,8	4,6	3,2	4,2	5,2	3,8	4,8	5,8
Tramvay/*e-scooter*	3,4	4,4	5,4	6,6	7,6	8,4	4,4	5,4	6,4	5,4	6,4	7,4
Otobüs/*e-scooter*	4,4	5,4	6,4	5,4	6,4	7,4	4,2	5,2	6,2	7	8	8,4

Alternatif	MC19			M21			MC22			MC23		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	3,6	4,6	5,6	4,8	5,8	6,8	5,2	6,2	7,2	5,2	6,2	7,2
Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	2	2,8	3,6	4	4,8	5,8	3,6	4,6	5,6	3,2	4,2	5,2
Tramvay/*e-scooter*	6	6,8	7,8	6,6	7,6	8,4	6,8	7,8	8,6	7,2	8,2	8,8
Otobüs/*e-scooter*	5,2	6,2	7,2	5,4	6,4	7,4	5,8	6,8	7,8	5,8	6,8	7,8

Alternatif	MC24			M25			MC26			MC31		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	4,4	5,4	6,4	4,4	5,4	6,4	4	5	5,8	5,2	6,2	7,2
Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	2,6	3,4	4,2	4	5	6	2,2	2,8	3,4	2,6	3,6	4,6
Tramvay/*e-scooter*	2,6	3,6	4,6	6,6	7,6	8,2	3	3,8	4,6	6,6	7,4	8,2
Otobüs/*e-scooter*	3,6	4,6	5,6	5,2	6,2	7,2	5	6	6,8	5,8	6,8	7,8

Alternatif	MC32			MC33			MC34		
	l	m	u	L	m	u	l	m	u
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	3,4	4,4	5,4	4,6	5,6	6,6	4	5	6
Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	3,8	4,8	5,8	3,2	4,2	5,2	2	2,8	3,6
Tramvay/*e-scooter*	6,4	7,4	8,4	6,2	7,2	8	6,2	7,2	8,2
Otobüs/*e-scooter*	5	6	7	4	5	6	4,8	5,8	6,8

İkinci aşamada, Denklem 3.16-3.17-3.18 kullanılarak üç farklı normalizasyon tekniği uygulanmış ve bu sayede üç ayrı bulanık normalize karar matrisi elde edilmiştir. Çalışmada yer alan tüm kriterler maksimizasyon kriteri olduğu için tüm işlemler buna göre gerçekleştirilmiştir. Elde edilen normalizasyon değerleri sırasıyla Tablo 5.9, 5.10 ve 5.11'de sunulmuştur.

Tablo 5.9. *MACONT-F tip-1 normalizasyonu*

Alternatif	MC11			MC12			MC13			MC14		
	l	m	u	l	M	u	l	m	u	l	m	u
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	0,079	0,080	0,083	0,060	0,064	0,066	0,065	0,066	0,067	0,090	0,092	0,094
Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	0,054	0,056	0,057	0,080	0,080	0,081	0,097	0,099	0,102	0,080	0,080	0,080
Tramvay/*e-scooter*	0,100	0,102	0,105	0,095	0,097	0,100	0,092	0,092	0,094	0,080	0,080	0,083
Otobüs/*e-scooter*	0,090	0,091	0,092	0,088	0,089	0,090	0,069	0,073	0,075	0,076	0,077	0,078

Alternatif	MC15			MC16			MC17			MC18		
	l	m	u	l	M	u	l	m	u	l	m	u
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	0,095	0,099	0,103	0,061	0,065	0,069	0,080	0,081	0,081	0,080	0,081	0,083
Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	0,072	0,074	0,076	0,054	0,056	0,059	0,068	0,071	0,073	0,059	0,062	0,066
Tramvay/*e-scooter*	0,068	0,070	0,073	0,107	0,113	0,118	0,089	0,091	0,093	0,083	0,083	0,085
Otobüs/*e-scooter*	0,087	0,087	0,087	0,095	0,095	0,097	0,087	0,088	0,089	0,096	0,104	0,108

Alternatif	MC19			M21			MC22			MC23		

	l	m	u	l	M	u	l	m	u	l	m	u
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	0,071	0,074	0,076	0,076	0,078	0,079	0,080	0,081	0,081	0,080	0,081	0,082
Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	0,039	0,045	0,049	0,063	0,064	0,067	0,056	0,060	0,063	0,049	0,055	0,059
Tramvay/*e-scooter*	0,106	0,110	0,118	0,098	0,102	0,105	0,097	0,101	0,105	0,100	0,107	0,111
Otobüs/*e-scooter*	0,098	0,100	0,102	0,086	0,086	0,086	0,088	0,088	0,089	0,088	0,088	0,089
Alternatif	MC24			M25			MC26			MC31		
	l	m	u	l	M	u	l	m	u	l	m	u
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	0,102	0,105	0,110	0,072	0,074	0,076	0,093	0,094	0,094	0,085	0,085	0,085
Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	0,065	0,066	0,067	0,065	0,068	0,071	0,051	0,053	0,054	0,042	0,050	0,055
Tramvay/*e-scooter*	0,065	0,070	0,073	0,097	0,104	0,108	0,070	0,071	0,074	0,097	0,102	0,108
Otobüs/*e-scooter*	0,089	0,089	0,090	0,085	0,085	0,085	0,109	0,113	0,116	0,093	0,094	0,095
Alternatif	MC32			MC33			MC34					
	l	m	u	l	m	u	l	m	u			
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	0,060	0,064	0,067	0,084	0,084	0,084	0,078	0,079	0,080			
Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	0,067	0,070	0,072	0,059	0,063	0,067	0,039	0,044	0,048			
Tramvay/*e-scooter*	0,104	0,108	0,114	0,102	0,108	0,114	0,110	0,114	0,120			
Otobüs/*e-scooter*	0,087	0,088	0,089	0,073	0,075	0,077	0,091	0,092	0,093			

Tablo 5.10. *MACONT-F tip-2 normalizasyonu*

Alternatif	MC11			MC12			MC13			MC14		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	0,250	0,261	0,275	0,198	0,217	0,231	0,211	0,220	0,226	0,330	0,330	0,330
Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	0,170	0,182	0,189	0,264	0,273	0,281	0,330	0,330	0,330	0,281	0,289	0,293
Tramvay/*e-scooter*	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	0,304	0,308	0,311	0,281	0,289	0,303
Otobüs/*e-scooter*	0,290	0,295	0,299	0,297	0,302	0,305	0,224	0,242	0,255	0,269	0,278	0,284
Alternatif	MC15			MC16			MC17			MC18		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	0,330	0,330	0,330	0,170	0,191	0,212	0,285	0,293	0,299	0,245	0,256	0,283
Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	0,228	0,245	0,264	0,150	0,165	0,181	0,240	0,257	0,268	0,179	0,198	0,228
Tramvay/*e-scooter*	0,216	0,234	0,255	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	0,255	0,264	0,291
Otobüs/*e-scooter*	0,279	0,287	0,302	0,270	0,278	0,291	0,315	0,318	0,320	0,330	0,330	0,330
Alternatif	MC19			M21			MC22			MC23		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	0,198	0,223	0,237	0,240	0,252	0,267	0,252	0,262	0,276	0,238	0,250	0,270

Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	0,110	0,136	0,152	0,200	0,208	0,228	0,175	0,195	0,215	0,147	0,169	0,195
Tramvay/*e-scooter*	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330
Otobüs/*e-scooter*	0,286	0,301	0,305	0,270	0,278	0,291	0,281	0,288	0,299	0,266	0,274	0,293

Alternatif	MC24			M25			MC26			MC31		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	0,330	0,330	0,330	0,220	0,234	0,258	0,264	0,275	0,281	0,260	0,276	0,290
Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	0,195	0,208	0,217	0,200	0,217	0,241	0,145	0,154	0,165	0,130	0,161	0,185
Tramvay/*e-scooter*	0,195	0,220	0,237	0,330	0,330	0,330	0,198	0,209	0,223	0,330	0,330	0,330
Otobüs/*e-scooter*	0,270	0,281	0,289	0,260	0,269	0,290	0,330	0,330	0,330	0,290	0,303	0,314

Alternatif	MC32			MC33			MC34		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	0,175	0,196	0,212	0,245	0,257	0,272	0,213	0,229	0,241
Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	0,196	0,214	0,228	0,170	0,193	0,215	0,106	0,128	0,145
Tramvay/*e-scooter*	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330
Otobüs/*e-scooter*	0,258	0,268	0,275	0,213	0,229	0,248	0,255	0,266	0,274

Tablo 5.11. *MACONT-F tip-3 normalizasyonu*

Alternatif	MC11			MC12			MC13			MC14		
	l	m	u	l	M	u	l	m	u	l	m	u
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	0,170	0,180	0,208	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,340	0,340	0,340
Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	0,000	0,000	0,000	0,170	0,170	0,170	0,340	0,340	0,340	0,068	0,068	0,068
Tramvay/*e-scooter*	0,340	0,340	0,340	0,340	0,340	0,340	0,264	0,272	0,278	0,068	0,068	0,136
Otobüs/*e-scooter*	0,255	0,260	0,264	0,255	0,255	0,255	0,038	0,068	0,093	0,000	0,000	0,000

Alternatif	MC15			MC16			MC17			MC18		
	l	m	u	l	M	u	l	m	u	l	m	u
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	0,340	0,340	0,340	0,038	0,054	0,072	0,170	0,170	0,170	0,149	0,149	0,183
Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	0,038	0,038	0,043	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Tramvay/*e-scooter*	0,000	0,000	0,000	0,340	0,340	0,340	0,340	0,340	0,340	0,170	0,170	0,209
Otobüs/*e-scooter*	0,189	0,189	0,213	0,227	0,233	0,251	0,283	0,283	0,283	0,340	0,340	0,340

Alternatif	MC19			M21			MC22			MC23		
	l	m	u	l	M	u	l	m	u	l	m	u
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	0,136	0,153	0,162	0,105	0,121	0,131	0,170	0,170	0,181	0,170	0,170	0,189
Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Tramvay/*e-scooter*	0,340	0,340	0,340	0,340	0,340	0,340	0,340	0,340	0,340	0,340	0,340	0,340

Otobüs/*e-scooter*	0,272	0,289	0,291	0,183	0,194	0,209	0,234	0,234	0,249	0,221	0,221	0,246
Alternatif	MC24			M25			MC26			MC31		
	l	m	u	l	M	u	l	m	u	l	m	u
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	0,340	0,340	0,340	0,052	0,052	0,062	0,219	0,234	0,240	0,221	0,233	0,246
Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Tramvay/*e-scooter*	0,000	0,034	0,062	0,340	0,340	0,340	0,097	0,106	0,120	0,340	0,340	0,340
Otobüs/*e-scooter*	0,189	0,204	0,216	0,157	0,157	0,185	0,340	0,340	0,340	0,272	0,286	0,302
Alternatif	MC32			MC33			MC34					
	l	m	u	l	M	u	l	m	u			
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	0,000	0,000	0,000	0,159	0,159	0,170	0,162	0,170	0,177			
Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	0,045	0,045	0,045	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000			
Tramvay/*e-scooter*	0,340	0,340	0,340	0,340	0,340	0,340	0,340	0,340	0,340			
Otobüs/*e-scooter*	0,181	0,181	0,181	0,091	0,091	0,097	0,227	0,232	0,237			

Üçüncü aşamada, Denklem 3.19 kullanılarak elde edilen bulanık normalize karar matrisleri bütünleştirilmiş ve birleşik karar matrisi oluşturulmuştur. Denklem 3.19'da yer alan, α, β, φ değerleri, uzmanlar tarafından 0,33, 0,33 ve 0,34 olarak kabul edilmiştir. Oluşturulan bütünleştirilmiş karar matrisi, Tablo 5.12'de sunulmuştur.

Tablo 5.12. *MACONT-F bütünleştirilmiş matris*

Alternatif	MC11			MC12			MC13			MC14		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	0,499	0,521	0,566	0,258	0,281	0,297	0,276	0,286	0,293	0,760	0,762	0,764
Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	0,224	0,239	0,246	0,514	0,524	0,531	0,767	0,769	0,772	0,429	0,437	0,442
Tramvay/*e-scooter*	0,770	0,772	0,775	0,765	0,767	0,770	0,660	0,672	0,683	0,429	0,437	0,521
Otobüs/*e-scooter*	0,635	0,646	0,655	0,640	0,645	0,650	0,331	0,383	0,422	0,345	0,356	0,362
Alternatif	MC15			MC16			MC17			MC18		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	0,765	0,769	0,773	0,269	0,310	0,353	0,535	0,544	0,550	0,474	0,485	0,548
Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	0,338	0,356	0,382	0,204	0,221	0,240	0,308	0,327	0,341	0,238	0,260	0,294
Tramvay/*e-scooter*	0,283	0,305	0,328	0,777	0,783	0,788	0,759	0,761	0,763	0,508	0,517	0,585
Otobüs/*e-scooter*	0,555	0,563	0,602	0,591	0,606	0,638	0,685	0,689	0,692	0,766	0,774	0,778
Alternatif	MC19			M21			MC22			MC23		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	0,405	0,451	0,475	0,421	0,451	0,477	0,503	0,513	0,539	0,489	0,500	0,541
Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	0,149	0,181	0,201	0,263	0,273	0,295	0,230	0,254	0,278	0,196	0,224	0,254

Tramvay/*e-scooter*	0,776	0,780	0,788	0,768	0,772	0,775	0,767	0,771	0,775	0,770	0,777	0,781
Otobüs/*e-scooter*	0,656	0,690	0,698	0,539	0,558	0,586	0,603	0,610	0,638	0,575	0,583	0,627

Alternatif	MC24			M25			MC26			MC31		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	0,772	0,775	0,780	0,344	0,360	0,395	0,575	0,603	0,615	0,566	0,594	0,621
Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	0,260	0,274	0,283	0,265	0,285	0,313	0,196	0,207	0,219	0,172	0,210	0,240
Tramvay/*e-scooter*	0,260	0,324	0,372	0,767	0,774	0,778	0,365	0,387	0,417	0,767	0,772	0,778
Otobüs/*e-scooter*	0,548	0,574	0,595	0,501	0,511	0,561	0,779	0,783	0,786	0,655	0,683	0,711

Alternatif	MC32			MC33			MC34		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	0,236	0,260	0,279	0,488	0,499	0,527	0,452	0,478	0,499
Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	0,309	0,329	0,345	0,225	0,256	0,281	0,145	0,173	0,193
Tramvay/*e-scooter*	0,774	0,778	0,784	0,772	0,778	0,784	0,780	0,784	0,790
Otobüs/*e-scooter*	0,526	0,537	0,545	0,377	0,395	0,421	0,573	0,590	0,603

Bütünleştirilmiş karar matrisi, Denklem 3.6 kullanılarak durulaştırılmış (defuzzification) ve elde edilen sonuçlar Tablo 5.13'te sunulmuştur.

Tablo 5.13. *Durulaştırılmış karar matrisi*

Alternatif	MC11	MC12	MC13	MC14	MC15	MC16	MC17
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	0,525	0,280	0,286	0,762	0,769	0,310	0,544
Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	0,237	0,523	0,769	0,437	0,358	0,222	0,326
Tramvay/*e-scooter*	0,772	0,767	0,672	0,450	0,305	0,783	0,761
Otobüs/*e-scooter*	0,646	0,645	0,381	0,355	0,568	0,609	0,689
Alternatif	MC18	MC19	MC21	MC22	MC23	MC24	MC25
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	0,494	0,447	0,450	0,515	0,505	0,775	0,364
Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	0,262	0,179	0,275	0,254	0,224	0,273	0,287
Tramvay/*e-scooter*	0,527	0,781	0,772	0,771	0,776	0,321	0,773
Otobüs/*e-scooter*	0,773	0,686	0,559	0,613	0,589	0,573	0,517
Alternatif	MC26	MC31	MC32	MC33	MC34		
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	0,600	0,594	0,259	0,502	0,478		
Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	0,207	0,209	0,329	0,255	0,172		
Tramvay/*e-scooter*	0,388	0,772	0,778	0,778	0,785		
Otobüs/*e-scooter*	0,783	0,683	0,536	0,396	0,589		

Daha sonra, Denklem 3.20-3.21 kullanılarak her bir alternatif için π_1 ve π_2 hesaplanmıştır. Ardından, Denklem 3.22-3.23-3.24 kullanılarak sırasıyla M_{1i}, M_{2i} ve E_i değerleri elde edilmiştir. Denklem 3.21-3.22'de yer alan τ ve ϑ değerleri 0,5 olarak dikkate alınmıştır. Tüm bu hesaplamalar sonucunda ulaşılan MACONT-F analiz bulguları ve alternatiflerin nihai sıralama sonuçları Tablo 5.14'te sunulmuştur.

Tablo 5.14. *MACONT-F sonuçları*

Alternatif	π_1	π_2	M_{1i}	M_{2i}	E_i	Sıralama
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	-0,0309	0,2886	-0,0296	-0,0021	-0,0982	3

Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	-0,2254	0,2395	-0,3565	-0,0092	-0,5333	4
Tramvay/*e-scooter*	0,1823	2,6008	0,4994	0,00776	0,5493	1
Otobüs/*e-scooter*	0,0741	6,0763	0,5821	0,00426	0,4556	2

Tablo 5.14'te yer alan analiz sonuçları, "tramvay / *e-scooter"* sürdürülebilir entegre hareketlilik yönteminin en yüksek performans gösteren alternatif olduğunu göstermiştir. Bunu sırasıyla "otobüs / *e-scooter"*, "tramvay / paylaşımlı bisiklet" ve "otobüs / paylaşımlı bisiklet" takip etmiştir.

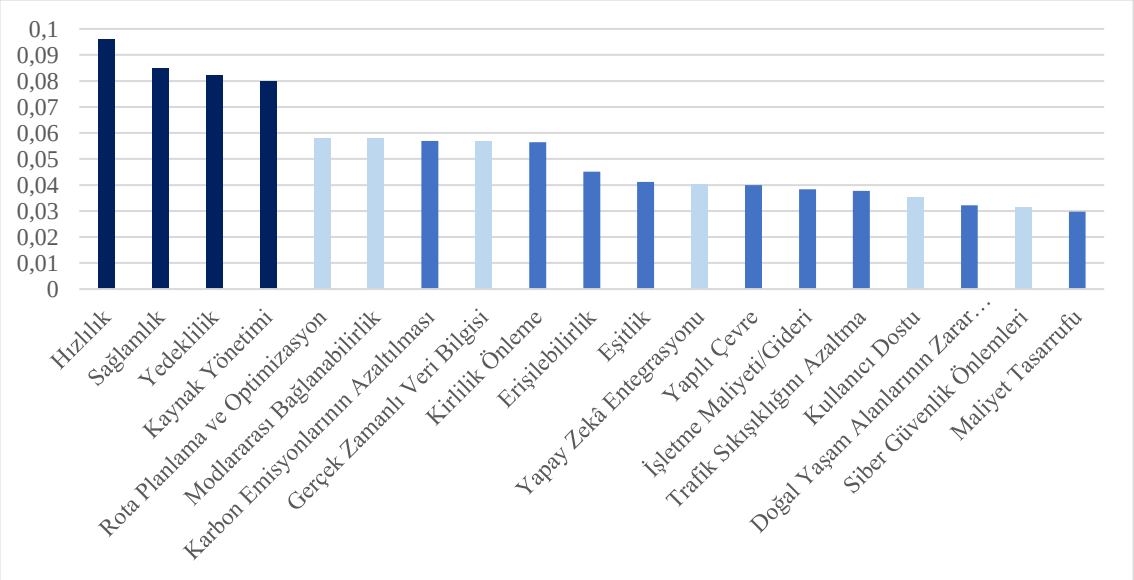
5.3. Bulguların Değerlendirilmesi ve Tartışma

Bu tezde kullanılan FUCOM-F ve MACONT-F yöntemleri, ÇKKV problemlerine yönelik güncel ve güçlü analiz araçları olarak öne çıkmaktadır. Kriter ağırlıklandırmasında kullanılan FUCOM-F yöntemi ile klasik yöntemlerin aksine, daha az sayıda ikili karşılaştırma ile yüksek tutarlılığa sahip ağırlıklar üreterek uzman görüşlerinden doğan belirsizlikler, TFN'ler aracılığıyla başarılı şekilde modele entegre edilmiştir. Özellikle ulaşım sistemlerinin sürdürülebilirlik, akıllılık ve dirençlilik gibi çok boyutlu yapısını dikkate alan bu yöntem, karar verici öznelliğini minimize ederek daha güvenilir ağırlıklar elde edilmesini sağlamıştır. Alternatiflerin performans analizinde kullanılan MACONT-F yöntemi ise birden fazla normalizasyon tekniğini aynı anda dikkate alarak, alternatiflerin değerlendirilmesinde tek bir yöntemden kaynaklanabilecek bozulmaları ortadan kaldırmış ve daha hassas sonuçlar üretmiştir. MACONT-F modelinin bulanık uzantısı sayesinde uzman görüşlerindeki belirsizlikler dikkate alınarak karar matrisinin güvenilirliği artırılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, bu iki yöntemin birlikte kullanımının yalnızca alternatiflerin sıralanmasında değil aynı zamanda sistemin zayıf ve güçlü yönlerinin bütüncül biçimde analiz edilmesinde de önemli katkılar sunduğunu ortaya koymuştur. Analiz sürecinde tercih edilen FUCOM-F ve MACONT-F yöntemlerinin birlikte kullanımı, belirsizlik içeren ve çok boyutlu sürdürülebilir entegre hareketlilik yöntemlerinin analizi için hem metodolojik hem de uygulama açısından sağlam bir çerçeve olanağı sunmuştur.

Sürdürülebilir entegre hareketlilik yöntemlerinin analizinde oluşturan dört model kapsamında üç ana kriter altında belirlenen on dokuz alt kriterin önem düzeyleri, FUCOM-F yöntemi ile belirlenmiş ve her bir alt kriterin lokal (local) ve global ağırlıkları hesaplanmıştır. Üç ana kriter grubu olan "Sürdürülebilirlik" (0,38), "Akıllılık" (0,28) ve "Dirençlilik" (0,34) başlıkları altında yer alan kriterlerin, sistemin başarısını belirlemede birbirine yakın ancak farklı düzeylerde etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada

belirlenen on dokuz alt kriterin FUCOM-F yöntemi ile hesaplanan önem düzeyleri Şekil 5.7'de gösterilmiştir.

Şekil 5.7. *FUCOM-F alt kriterleri önem ağırlıkları (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)*



Şekil 5.7, alt kriterlerin önem düzeylerini göstermektedir. FUCOM-F analizinde elde edilen sonuçlara göre, Model 4'ü oluşturan dirençlilik alt kriterlerinden en yüksek global ağırlığa sahip kriter, "Hızlılık" (0,0961) olarak tespit edilmiştir. Bu sonuç, sürdürülebilir entegre hareketlilik yöntemlerinin başarısında sistemin bozulmalar karşısında sergileyeceği hız kapasitesinin belirleyici bir faktör olduğunu ortaya koymuştur. "Hızlılık", olağandışı durumlara yanıt verme süresinin kısalığı ile doğrudan ilişkili olup entegre sistemlerin kriz anlarında alternatif ve etkili çözümler sunabilme kabiliyeti açısından kritik bir rol oynamaktadır. Pandemi, iklim kaynaklı bozulmalar, doğal afet veya toplu taşıma aksamaları gibi durumlarda kullanıcıların güvenli ve zamanında

ulaşımı, sistemin hızlı toparlanma kapasitesiyle mümkün olmaktadır. Bu nedenle, sürdürülebilir entegre hareketlilik yöntemlerinin başarısı yalnızca günlük işleyişte değil aynı zamanda beklenmedik durumlara hazırlıklı olma kapasitesiyle de ön plana çıkmaktadır. "Hızlılık" alt kriterini, sırasıyla "Sağlamlık" (0,0847) ve "Yedeklilik" (0,0821) kriterleri takip etmiştir. "Sağlamlık" ve "Yedeklilik", sistemin dışsal şoklara karşı dayanıklılığını ve işlevselliğini sürdürme yeteneğini ifade etmektedir. Mikro hareketlilik sistemlerinin yaygınlaştırılması, özellikle tek modlu ulaşım sistemlerinin kırılganlığını azaltmakta ve çok modlu yapının avantajlarını ortaya koymaktadır. Bu bağlamda yedekli yapıların oluşturulması, alternatif araç ve güzergâh seçeneklerinin bulunması, hizmet kesintilerinin önüne geçilmesini sağlamaktadır. Bu durum, toplu taşımaya olan güveni de artırmaktadır. "Kaynak Yönetimi"" kriterinin yüksek ağırlıkla değerlendirilmesi ise entegre ulaşım sistemlerinde verimli yönetim ihtiyacını ortaya koymuştur. Mikro hareketlilik sistemlerinin sürdürülebilir biçimde işletilebilmesi; araç yerleşimi, bakım-onarım, enerji kullanımı ve insan kaynağı gibi unsurların etkili biçimde koordine edilmesini gerektirmektedir. Kaynakların verimli yönetilememesi durumunda sistemin etkinliği azalmakta, kullanıcı memnuniyeti ve sistemin sürdürülebilirliği riske girmektedir. "Dirençlilik" kriterleri dikkate alındığında analiz bulguları, sürdürülebilir entegre hareketlilik yöntemlerinin sadece çevresel ve teknolojik faktörlerin değil aynı zamanda dirençlilik unsurlarının da günümüz ulaşım sistemlerinde ön planda değerlendirilmesi gerektiğini göstermiştir. Bu bulgular, kent içi ulaşım sistemlerinin gelecekte karşılaşabileceği belirsizliklere ve bozulmalara karşı daha hazırlıklı olması, ulaşımın kesintiye uğramadan ya da en kısa sürede mevcut kaynakları iyi yönetecek şekilde tasarlanması gerektiğine işaret etmektedir.

Model 3'ü kapsayan "Akıllılık" boyutuna ilişkin analiz sonuçları, sürdürülebilir entegre hareketliliğin etkin biçimde yönetilebilmesi için dijital teknolojilerin sistem bütünlüğü ve kullanıcı deneyimi açısından kritik bir rol üstlenmesi gerektiğini ortaya koymuştur. FUCOM-F yöntemiyle elde edilen ağırlıklara göre, "Rota Planlama ve Optimizasyon" (0,0581), "Modlar Arası Bağlanabilirlik" (0,0580) ve "Gerçek Zamanlı Veri Bilgisi" (0,0566) kriterlerinin diğerlerine kıyasla daha yüksek öneme sahip olduğu görülmüştür. Bu durum, dijital altyapının destekleyici olmasının yanı sıra aynı zamanda sistemin operasyonel etkinliğini doğrudan etkileyen belirleyici bir unsur olduğunu göstermiştir. Rota planlama ve optimizasyon, özellikle gerçek zamanlı verilerin kullanımıyla entegre sistemlerde rotaların dinamik olarak yeniden yapılandırılmasını ve araç mevcudiyetinin

etkin şekilde düzenlenmesini mümkün kılmaktadır. Bu durum hem kullanıcıların seyahat süresini kısaltmakta hem de ulaşım sisteminin verimliliğini artırmaktadır. “Gerçek Zamanlı Veri Bilgisi” ise sürdürülebilir entegre hareketlilik yöntemlerinin temelini oluşturan bilgi akışını temsil etmektedir. Duraklardaki araçların konumları, doluluk oranları ve bekleme sürelerine dair anlık veriler, sistemin yönetsel süreçlerinde karar vericilere destek sağlarken, kullanıcıların da planlama yapmasını kolaylaştırmaktadır. “Gerçek Zamanlı Veri Bilgisi” ve “Rota Optimizasyonu” birlikte değerlendirildiğinde, bu iki kriterin koordineli biçimde çalışarak operasyonel ve kullanıcı odaklı kazanımlar yarattığı söylenebilir. “Modlar Arası Bağlanabilirlik”, farklı ulaşım modları arasında fiziksel ve dijital geçişlerin kolaylaştırılmasıyla ilgilidir. Sürdürülebilir entegre hareketlilik yöntemleri, seyahat sürekliliğini sağlamakta ve kullanıcı tercihlerini olumlu yönde etkilemektedir. Bu bağlamda, modlar arası geçiş noktalarının kullanıcı dostu biçimde tasarlanması ve dijital uygulamalarla desteklenmesi, akıllı ulaşım sistemlerinin başarısını doğrudan etkileyen bir faktör olarak değerlendirilebilir. “Yapay Zekâ Entegrasyonu” (0,0400) ise entegre sistemlerin yönetsel kapasitesini artırmaya yönelik çözümler sunmaktadır. Talep tahmini, trafik yoğunluğu analizi ve dinamik filo yönetimi gibi alanlarda yapay zekâ temelli uygulamaların kullanılması, sistemin kendi kendini optimize eden esnek bir yapıya kavuşmasını mümkün kılmaktadır. Buna karşılık, “Kullanıcı Dostu Uygulama ve Platformlar” (0,0353), dijital sistemlerin geniş kitleler tarafından benimsenebilmesi için erişilebilirliğin ve kullanım kolaylığının sağlanması gerektiğini vurgulamaktadır. Özellikle seyahat planlaması, rezervasyon ve biletleme süreçlerinde sadeleştirilmiş arayüzlerin sunulması, kullanıcı memnuniyetini ve sistemin yaygın kullanımını artırma potansiyeli taşımaktadır. “Akıllılık” kriterleri arasındaki en düşük ağırlığa sahip kriter olan “Siber Güvenlik Önlemleri” (0,0313) ise her ne kadar ağırlığı görece düşük olsa da artan dijitalleşmeyle birlikte siber güvenlik unsurlarının stratejik öncelikler arasında değerlendirilmesi gerektiğine dikkat çekmiştir. Akıllılık alt kriterleri birlikte değerlendirildiğinde, sürdürülebilir entegre hareketlilik sistemlerinin teknolojik çözümlerin yanı sıra kullanıcı dostu, güvenli ve adaptif özelliklerle tasarlanması gerektiğini göstermiştir. Analiz, özellikle veri odaklı yönetim, modlar arası entegrasyon ve operasyonel esneklik gibi unsurların öncelikli olduğunu ortaya koymuştur. Böylece kent içi hareketliliğin bir taraftan kullanıcı ihtiyaçlarına diğer taraftan da sistem verimliliğine eş zamanlı yanıt verebilecek şekilde yeniden yapılandırılması gerektiğine işaret etmektedir.

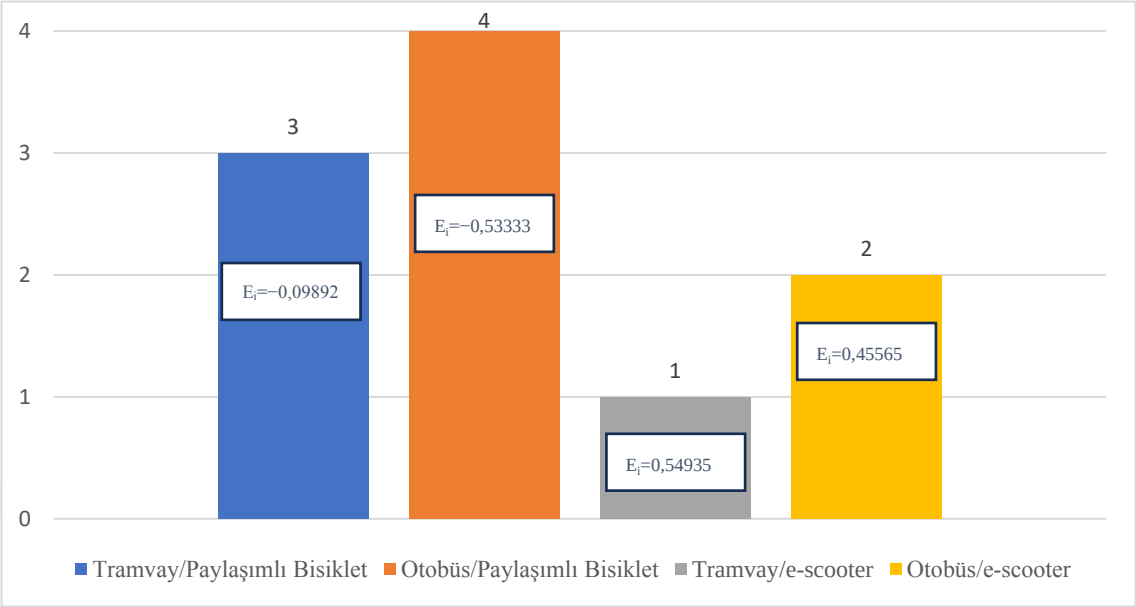
Sürdürülebilirlik, entegre ulaşım sistemlerinin uzun vadeli başarısını belirleyen temel yaklaşımlardan biri olarak öne çıkmaktadır. "Sürdürülebilirlik" alt kriterleri, entegre hareketlilik yöntemlerinin yalnızca olumsuz çevresel etkisinin azaltılması üzerine odaklanmaması gerektiğini aynı zamanda ekonomik ve sosyal boyutlarının da bütüncül biçimde değerlendirilmesi ihtiyacı olduğunu ortaya koymuştur. Analiz sonuçlarına göre, Model 2'yi oluşturan sürdürülebilirlik alt kriterlerinden "Karbon Emisyonlarının Azaltılması" (0,0570) ve "Kirlilik Önleme" (0,0564) kriterleri en yüksek ağırlıklara sahip olup sistemin çevresel etkilerini en aza indirme çabalarının ön planda olduğunu göstermiştir. Bu bulgu, sürdürülebilir kent içi ulaşım politikalarında karbon nötr hedeflerin ve hava kalitesinin iyileştirilmesinin temel öncelikler arasında yer aldığına işaret etmiştir. "Doğal Yaşam Alanlarının Zarar Görmesini ve Kaybını Önleme" (0,0321) kriteri nispeten daha düşük bir ağırlığa sahip olsa da kentsel yayılma ve altyapı yatırımlarının doğal ekosistemler üzerindeki etkisini azaltmaya yönelik planlamaların, sürdürülebilir entegre hareketlilik yöntemlerinde göz önünde bulundurulması gerektiğini vurgulamıştır. Dolayısıyla sürdürülebilir bir ulaşım sistemi, emisyonları azaltmakla sınırlı kalmamalı aynı zamanda çevresel habitatların korunmasına da katkı sunmalıdır. "İşletme Maliyet/Gider Azaltma Yeteneği" (0,0383), "Yapılı Çevre" (0,0399) ve "Maliyet Tasarrufu" (0,0297) gibi kriterler, sistemlerin düşük işletme maliyetleriyle sürdürülebilir biçimde işletilmesi ve kentlerin mevcut yapılı çevre olanaklarının etkin biçimde değerlendirilmesi gerektiğini belirtmektedir. Bu bağlamda hem kamu maliyesi hem de kullanıcı açısından ekonomik fayda üretme kapasitesi fırsatları göz ardı edilmemelidir. Özellikle mikro hareketlilik yöntemlerinin kısa mesafeli yolculuklar için düşük maliyetli alternatifler sunması, toplu taşıma sistemlerine ekonomik anlamda tamamlayıcı bir değer katmaktadır. Sosyal sürdürülebilirliğin temsilcileri olan "Eşitlik" (0,0412), "Erişilebilirlik" (0,0450) ve "Trafik Sıkışıklığını Azaltma" (0,0377) kriterleri de dikkat çekici bulgular sunmuştur. "Erişilebilirlik", her yaştan, gelir grubundan ve fiziksel yeterlilik düzeyinden bireyin sistemden eşit biçimde yararlanmasını sağlamak açısından kritik bir unsur olarak değerlendirilmiştir. "Eşitlik" kriteri ise bu erişimin sosyal adalet çerçevesinde değerlendirilmesi gerektiğini, ulaşım hizmetlerinin yalnızca merkezî alanlarla sınırlı kalmaması gerektiğini ortaya koymuştur. "Trafik Sıkışıklığını Azaltma" kriteri ise sosyal yaşam kalitesi ve ekonomik kayıpları etkileyen çok boyutlu bir faktör olup mikro hareketliliğin, özellikle ilk ve son adım bağlantılarında bu sıkışıklığı azaltma potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir. Buradan hareketle, sürdürülebilirlik

kriterlerinin sürdürülebilir entegre hareketliliğin yalnızca çevresel kazanımlar sağlamadığını aynı zamanda ekonomik verimlilik ve sosyal kapsayıcılığı da destekleyen çok boyutlu bir sistem bütünlüğü gerektirdiğini göstermiştir. Bu bağlamda, sürdürülebilir ulaşım politikalarının planlanmasında karbon salınımının azaltımı ve hava kalitesine yönelik hedeflerle birlikte maliyet etkinlikleri ve sosyal eşitlik ilkeleri de dikkate alınmalıdır. Dolayısıyla sürdürülebilir entegre hareketlilik yöntemleri bu üç temel eksende dengeli biçimde oluşturulmalıdır.

Kriter ağırlıklarına ilişkin bulgular genel olarak değerlendirildiğinde, "Sürdürülebilirlik" kriter kümesinin 0,38'lik ağırlıkla en öncelikli boyut olarak öne çıktığı, onu "Dirençlilik" (0,34) ve "Akıllılık" (0,28) kriter kümelerinin takip ettiği görülmüştür. Model 1 kapsamında oluşturulan ana kriter ağırlıklandırılması, sürdürülebilir entegre hareketlilik yöntemlerinin planlanmasında uzun vadeli çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliğin hâlâ temel referans çerçevesi olduğunu ortaya koymuştur. Elde edilen analiz sonuçları, sürdürülebilir entegre hareketlilik yöntemlerinde "Dirençlilik" kriterlerinin diğer alt kriter kümelerine göre daha öncelikli olduğunu göstermiştir. Ancak bu durum, "Sürdürülebilirlik" ve "Akıllılık" kriterlerinin öneminin göz ardı edilebileceği anlamına gelmemektedir. Aksine, çevresel sürdürülebilirliği sağlayan "Karbon Emisyonlarının Azaltılması", "Kirlilik Önleme" ve sosyal boyutta "Erişilebilirlik" gibi kriterlerin sistemin uzun vadeli başarısı ve kapsayıcılığı açısından kritik rol oynamaya devam ettiğine işaret etmiştir. Benzer şekilde, "Gerçek Zamanlı Veri Bilgisi", "Kullanıcı Dostu" ve "Modlar Arası Bağlanabilirlik" gibi akıllılık kriterleri, sistemin verimliliğini ve kullanıcı deneyimini doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla analiz sonuçları, sürdürülebilir entegre hareketlilik yöntemlerinin sürdürülebilir, akıllı ve dirençli bir yaklaşımın birlikte değerlendirilmesi gerektiğini açıkça belirtmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda, karar vericilerin yalnızca çevresel ve ekonomik etkilerle sınırlı kalmayan aynı zamanda krizlere dayanıklı ve teknoloji destekli ulaşım politikaları geliştirmeleri gerekmektedir. Gelecekteki ulaşım planlamalarının bu üç temel ilkeye dayalı bütüncül bir yaklaşımla ele alınması, kent içi hareketliliğin sürdürülebilirliği, esnekliği ve kullanıcı odaklılığı açısından belirleyici olacaktır.

Yöntemin ikinci aşaması olan sürdürülebilir entegre hareketlilik yöntemlerinin performans değerlendirmesi ise MACONT-F yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen sıralama sonuçları Şekil 5.8'de sunulmuştur.

Şekil 5.8. *MACONT-F sıralama sonuçları (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)*



Şekil 5.8, sürdürülebilir entegre hareketlilik yönteminin performans sonucunu göstermektedir. MACONT-F analizi sonucunda elde edilen E_i değerleri, her bir sürdürülebilir entegre hareketlilik yönteminin; sürdürülebilirlik, akıllılık ve dirençlilik boyutlarındaki bütünsel performansını yansıtmaktadır. Analiz sonucuna göre en yüksek tercih edilebilirlik skoruna sahip alternatif, E_i=0,5493 değeriyle "tramvay / *e-scooter*" seçeneği olmuştur. Bu alternatifin öne çıkmasında özellikle "Hızlılık", "Sağlamlık" ve "Yedeklilik" gibi dirençlilik kriterlerinin yanı sıra "Sürdürülebilirlik" ve "Akıllılık" boyutlarında da yüksek performans sergilemesi etkili olmuştur. Tramvayların karayolu trafiğinden bağımsız çalışmaları ve otobüslere kıyasla daha düzenli sefer saatleri sunmaları, kullanıcıların toplu taşımada tramvayları tercih etmesine neden olmaktadır (Hua & Ong, 2017). Buna ek olarak, Wang vd. (2023) tarafından yapılan araştırmada hava koşullarının paylaşımlı bisiklet kullanıcıları üzerinde daha belirgin bir etkiye sahip olduğu; *e-scooter* kullanımının mevcut olması durumunda bisiklet kullanımında azalmaya yol açtığı belirtilmektedir. Bu durum, *e-scooterların* paylaşımlı bisikletlere göre hem ikame edici hem de tamamlayıcı bir rol üstlenebileceğini göstermektedir. Younes vd. (2020) de benzer şekilde, hava koşullarının *e-scooter* kullanıcılarından çok bisiklet kullanıcıları üzerinde etkili olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, sistem tercihinde *e-scooterların* daha avantajlı bir konumda olduğunu desteklemektedir. Ayrıca *e-scooterların* kent içinde zaman kazandıran ve dirençli yapıları, tramvayların sabit ve güvenilir altyapısıyla birleştiğinde, hızlı ve etkili bir toplu taşıma çözümü ortaya

çıkmaktadır. “Akıllılık” kriterleri arasında yer alan “Rota Planlama ve Optimizasyon” (0,0580) ile “Gerçek Zamanlı Veri Bilgisi” (0,0566) konularındaki yüksek potansiyel, bu alternatifin akıllı şehir stratejilerine olan uyumunu da gözler önüne sermektedir. Tramvayların elektrikle çalışması sayesinde “Karbon Emisyonlarının Azaltılması” (0,0570) ve “Kirlilik Önleme” (0,0564) gibi sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağladığı da görülmektedir. Tüm bu bulgular, "tramvay / *e-scooter*" sürdürülebilir entegre hareketlilik yönteminin; sürdürülebilir, dirençli ve akıllı ulaşım sistemlerinin temel bileşenlerini güçlü bir şekilde bir araya getirdiğini göstermiştir. Sonuç olarak, “tramvay / *e-scooter”* yöntemi, “Sürdürülebilirlik”, “Akıllılık” ve “Dirençlilik” kriterleri açısından en başarılı çözüm olarak öne çıkmıştır.

İkinci sırada yer alan “otobüs / *e-scooter”* alternatifi, E_i=0,4556 puanıyla benzer şekilde güçlü bir performans sergilemiştir. Her iki sürdürülebilir entegre ulaşım yönteminin ortak paydası olan *e-scooter*, paylaşımlı bisiklet alternatiflerine kıyasla daha yüksek puanlar almıştır. Bu sonuç, Curl ve Fitt (2020) tarafından gerçekleştirilen analizde, *e-scooter*ların bisiklet sürmeyen bazı kullanıcıları da kısmen çekerek daha geniş bir kullanıcı kitlesini ulaşımda aktif rol oynamasına katkı sağladığını ifade ettiği çalışmasıyla tutarlıdır. İkinci sırada yer alan bu alternatif de özellikle “Hızlılık”, “Yedeklilik”, “Kaynak Yönetimi” ve “Rota Optimizasyonu” gibi yüksek ağırlıklı kriterlerden ve *e-scooter* kullanımının avantajlarından yararlanarak yüksek puan almıştır. Otobüs sisteminin esnek güzergâh yapısı ile *e-scooter*’ın mikro erişim kabiliyeti birleştiğinde hem dirençlilik hem de erişilebilirlik açısından avantajlı bir yapı oluşmuştur. Ancak otobüslerin fosil yakıt kullanımının nispeten yaygın olması nedeniyle “Karbon Emisyonlarının Azaltılması” ve “Kirlilik Önleme” kriterlerinde tramvaylı alternatiflere göre daha düşük performans sergilemiş olması muhtemeldir. Buna rağmen, “Modlar Arası Bağlanabilirlik” (0,0580) ve “Gerçek Zamanlı Veri Bilgisi” gibi akıllı ulaşım kriterlerinde sunduğu olanaklar, bu alternatifin akıllı ulaşım altyapılarına entegrasyon potansiyelini göstermektedir. Tramvay ve otobüs alternatiflerinin ortak paydası olan *e-scooterların* esnekliği, daha kısa sürede hizmet verebilmesi ve özellikle son adım çözümlerinde etkinliğinin daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, tramvay tabanlı senaryoların otobüs tabanlılara göre daha yüksek skorlar elde etmesi, raylı sistemlerin mikro hareketlilikle entegrasyon açısından daha verimli bir zemin sunduğunu göstermektedir.

Diğer yandan, “tramvay / paylaşımlı bisiklet” seçeneği E_i=−0,0982 değeriyle üçüncü sırada yer almıştır. Üçüncü sıradaki bu alternatif, tramvayın sunduğu çevreci avantajlardan yararlanmakla birlikte paylaşımlı bisikletin sınırlı hız ve erişim kapasitesi nedeniyle yüksek ağırlıklı kriterlerde geri planda kalmıştır. Özellikle “Hızlılık, “Rota Planlama ve Optimizasyon” ve “Gerçek Zamanlı Veri Kullanımı” gibi kriterlerde beklenen düzeyde performans sergileyememiş olması mümkündür. Bununla birlikte bu alternatif, “Karbon Emisyonlarının Azaltılması”, “Kirlilik Önleme” ve “Yapılı Çevre” ile uyum açısından sürdürülebilirlik çerçevesinde güçlü bir profil çizebilmektedir. Yine de “Dirençlilik” kriterleri toplamda en yüksek ağırlığa sahip olduğu için bu kategorideki zayıflıklar genel performansı düşürmüştür. Bisiklet altyapısının tüm bölgelerde varlık gösterememesi nedeniyle ortaya çıkan bölgesel kısıtlar ve *e-scootera* kıyasla hava koşullarına duyarlılığın da sistemin sürekliliğini olumsuz etkilediği söylenebilmektedir.

“Otobüs / paylaşımlı bisiklet” seçeneği ise E_i=−0,5333 ile en düşük performansı göstermiştir. Son sırada yer alan bu alternatif, otobüslerin dur-kalk yapısı ve zamanlamadaki belirsizlikleri nedeniyle bisikletle olan entegrasyonu zayıflatmaktadır. Ayrıca “Rota Planlama ve Optimizasyon”, “Gerçek Zamanlı Veri Bilgisi” gibi akıllı sistem kriterlerinde düşük başarı göstermesi, bu alternatifin akıllı ulaşım altyapılarına entegrasyon kapasitesinin sınırlı olduğunu düşündürmektedir. Bu durum, paylaşımlı bisikletlerin belirli kullanım kısıtları ve altyapı gereksinimlerinden dolayı özellikle otobüs sistemleriyle entegre edildiğinde yeterli verimlilik sağlayamadığını göstermektedir. Negatif skorlar, bu alternatiflerin bazı temel kriterler açısından yetersiz kaldığını ve bu nedenle entegrasyon önceliğinin düşük olması gerektiğini ifade etmektedir.

FUCOM-F ve MACONT-F analiz bulguları birlikte değerlendirildiğinde, sürdürülebilir entegre hareketlilik yöntemlerinin başarısında dirençlilik kriterlerinin belirleyici rol oynadığı görülmektedir. FUCOM-F sonuçlarına göre, dirençlilik odaklı kriterler en yüksek ağırlıklara sahiptir. MACONT-F analizinde en iyi performansı gösteren “tramvay /*e-scooter*” alternatifinin de bu kriterlerde güçlü bir uygulama karşılığı olduğu anlaşılmaktadır. Xu vd. (2023), otobüs taşımacılığı sisteminin beklenenden daha düşük performans sergileyebileceğini ve sağlamlık kriteri açısından hem olumlu hem de olumsuz etkiler yaratabileceğini ifade etmektedir. Nitekim, MACONT-F analizinden elde edilen bulgular, otobüsle entegre sürdürülebilir mikro hareketlilik yöntemlerinin, tramvay

ile entegre edilenlere kıyasla daha düşük performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu durum, otobüs sisteminin potansiyel eksikliklerinin paylaşımlı bisiklet ile telafi edilemediğini ancak *e-scooter* ile büyük ölçüde dengelenebildiğini göstermiştir. Bu bulgu, Du vd. (2022) tarafından belirtilen çok modlu ulaşım ağlarında ortaya çıkan kesintilerin büyük ölçüde paralel seyahat modlarının karşılama kapasitesiyle ilişkili olduğu yönündeki çıkarımla da örtüşmektedir. Ayrıca Ameli vd. (2022), ulaşım modları arasındaki etkileşimlerin ve ulaşım bileşenlerinin hangi sırayla sisteme entegre edildiğinin, ulaşım sisteminin uzun vadeli denge durumuna doğrudan etki ettiğini vurgulamaktadır. Bu durum, özellikle yedeklilik alt kriteri bağlamında kritik bir öneme sahiptir. Her iki alternatifte de kararlı ve yüksek kapasiteli bir taşıma modu olan tramvay bulunmasına karşın sistem performansındaki farklılık, mikro hareketlilik bileşenlerinin ağa ne ölçüde esnek ve zamana duyarlı biçimde entegre edilebildiğiyle açıklanabilmektedir. *E-scooterların* hafif, istasyonsuz ve nispeten paylaşımlı bisikletlere göre dijital olarak yönetilebilir yapısı; kullanıcı taleplerindeki değişimlere, ağ üzerindeki beklenmedik aksamalara ve yeni bağlantı noktalarının oluşturulmasına hızlı bir şekilde yanıt verme kapasitesi sağlamaktadır. Buna karşılık, paylaşımlı bisiklet sistemlerinin sabit istasyon altyapısına dayalı yapısı, güzergâh esnekliğini sınırlamakta ve sistemin ani değişimlere ya da yeni entegrasyonlara karşı uyarlanabilirliğini azaltmaktadır. Bu durum, sistemin yedeklilik kapasitesini de sınırlandırmaktadır. Bisiklet ile entegre ulaşım yönteminin benimsenmesinde bir diğer faktör, yolculuğun ilk ve son adım aşamasıdır. Literatürdeki çeşitli bulgular da bu yapısal farklılıkların pratikte nasıl sonuçlar doğurduğunu desteklemektedir. Keijer ve Rietveld (2000), tren istasyonuna 500 metreden daha kısa mesafede yaşayan kişilerin treni kullanma olasılığının, 500–1000 metre uzaklıkta yaşayanlara göre %20, daha da uzakta yaşayanlara göre ise %50 daha fazla olduğunu ortaya koymuştur. Kısaca, *e-scooter* gibi esnek ve hızlı mikro hareketlilik çözümleri, toplu taşımanın etkinliğini artırmakta ve sistemin dinamik koşullara uyumunu kolaylaştırmaktadır. Ayrıca FUCOM-F analizinde öne çıkan "Rota Planlama ve Optimizasyon" ve "Modlar arası Bağlanabilirlik" gibi akıllı kriterlerin, yüksek puan alan seçeneklerde daha başarılı bir şekilde temsil edildiği anlaşılmaktadır. Bu bulgu, entegre ödeme yöntemleri, akıllı kart kullanımı ve cep telefonu uygulamaları aracılığıyla ulaşım sistemi içerisindeki entegrasyonun gerekliliğini ifade eden çalışmalarla uyumludur (Aman vd., 2021; Badia & Jenelius, 2023). Bu bütünleşik değerlendirme, ulaşım

sistemlerinin geleceğinde esnek, dayanıklı ve veri odaklı çözümlerin öncelikli olarak ele alınması gerektiğini açıkça ortaya koymuştur.

5.4. Karşılaştırmalı Analiz ve Modelin Tutarlılığının Değerlendirilmesi

FUCOM-F yöntemiyle belirlenen kriter ağırlıkları doğrultusunda sürdürülebilir, akıllı ve dirençli entegre hareketlilik yöntemlerinin performansları MACONT-F yöntemi ile analiz edilmiştir. Literatürde problem fark etmeksizin çok sayıda ÇKKV yöntemi olmasına rağmen, uygulama açısından bakıldığında probleme uygun bir yönteme dair net ve kesin bir seçim yapılamayacağı ifade edilmektedir (Guitouni & Martel, 1998). Benzer şekilde, Zavadskas ve Turskis (2011), aynı ÇKKV probleminin farklı yöntemlerle analiz edilmesi durumunda farklı sonuçların elde edilebileceğine dikkat çekmiştir. Bu nedenle elde edilen sonuçların geçerliliğini ve yöntemsel tutarlılığını test edebilmek amacıyla; FUCOM-F modelinden elde edilen ağırlıklar kullanılarak MACONT-F yönteminden elde edilen sonuçlar, Bulanık TOPSIS, Bulanık MARCOS ve Bulanık CRADIS yöntemleriyle karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırmalı analizde kullanılan bu yöntemler, farklı değerlendirme mekanizmaları ve hesaplama yaklaşımlarıyla karar problemlerini çok boyutlu şekilde ele alarak analiz sonuçlarının kapsamlı bir biçimde doğrulanmasına olanak tanımaktadır. Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen TOPSIS yöntemi, ÇKKV problemlerinin çözümünde en yaygın kullanılan tekniklerden biridir. Bu yöntemin temel yaklaşımı, en uygun alternatifin, pozitif ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme ise en uzak mesafede bulunması gerektiği varsayımına dayanmaktadır. Chen (2000), bu yöntemi TFN'ler ile genişletmiş ve iki üçgensel bulanık sayı arasındaki mesafenin hesaplanmasında kullanılan tepe noktası yöntemini önermiştir. Bir diğer karşılaştırma yöntemi olarak kullanılan MARCOS yöntemi, Stević vd. (2020) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem de fayda fonksiyonu temelli bir ÇKKV yaklaşımıdır. TOPSIS yöntemine benzer şekilde MARCOS yöntemi de ideal çözüme en yakın ve anti-ideal çözüme en uzak olan alternatifi en yüksek performansa sahip seçenek olarak belirlemektedir. Stanković vd. (2020), belirsizlik ortamlarında daha hassas ve güvenilir sonuçlar elde edebilmek amacıyla MARCOS yöntemini bulanık mantıkla genişletmiştir. Böylece geliştirilen yöntem uzman değerlendirmelerindeki belirsizlikleri gidermekte ve aynı zamanda büyük ve karmaşık karar matrislerinde daha istikrarlı sonuçlar sunmaktadır.

MARCOS ve TOPSIS gibi fayda değeri temelli ÇKKV yöntemleri; hesaplama kolaylığı, anlaşılabilirlik ve sonuçların güvenilirliği gibi avantajlarıyla karar vericiler tarafından yaygın şekilde tercih edilmektedir. Bu belirgin üstünlükler, söz konusu yöntemlerin gerçek dünya problemlerinde sıklıkla kullanılmasını sağlamaktadır. Tezde kullanılan bir diğer karşılaştırma yöntemi olan CRADIS yöntemi ise bu köklü yöntemlerin çeşitli güçlü yönlerini bir araya getirerek, mevcut alternatiflerin değerlendirilmesi ve önceliklendirilmesi açısından daha sade, işlevsel ve etkili bir yaklaşım sunmak amacıyla Puška vd. (2022a) tarafından geliştirilmiştir. CRADIS yönteminin en dikkat çekici özelliklerinden biri, yapısal olarak sade ve sezgisel olmasıdır. Bu yönüyle kararlarda aşırı iyimser ya da kötümser eğilimlere kapılmadan, tarafsız ve dengeli bir insan karar sürecini yansıtmaktadır. Bu tarafsızlık, yöntem tarafından çözüm uzayında uç değerlerden kaçınılarak orta aralıkta çözümler aranmasıyla sağlanmaktadır ve daha ölçülü, gerçekçi bir değerlendirme yaklaşımı sunmaktadır (Krishankumar & Ecer, 2023). Puška vd. (2022b) tarafından orijinal CRADIS yöntemine bulanık küme teorisinin entegre edilmesiyle Bulanık CRADIS yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem, alternatifleri tüm kriterler üzerinden değerlendirerek ideal referans değerlerle karşılaştırmakta ve ideal çözüm, kriterin türüne bağlı olarak alternatiflerin performans düzeyini temsil etmektedir.

Tezde önerilen FUCOM-F ve MACONT-F metodolojisinin tutarlılığını test etmek amacıyla gerçekleştirilen karşılaştırmalı analiz sonuçları Tablo 5.15'te sunulmuştur.

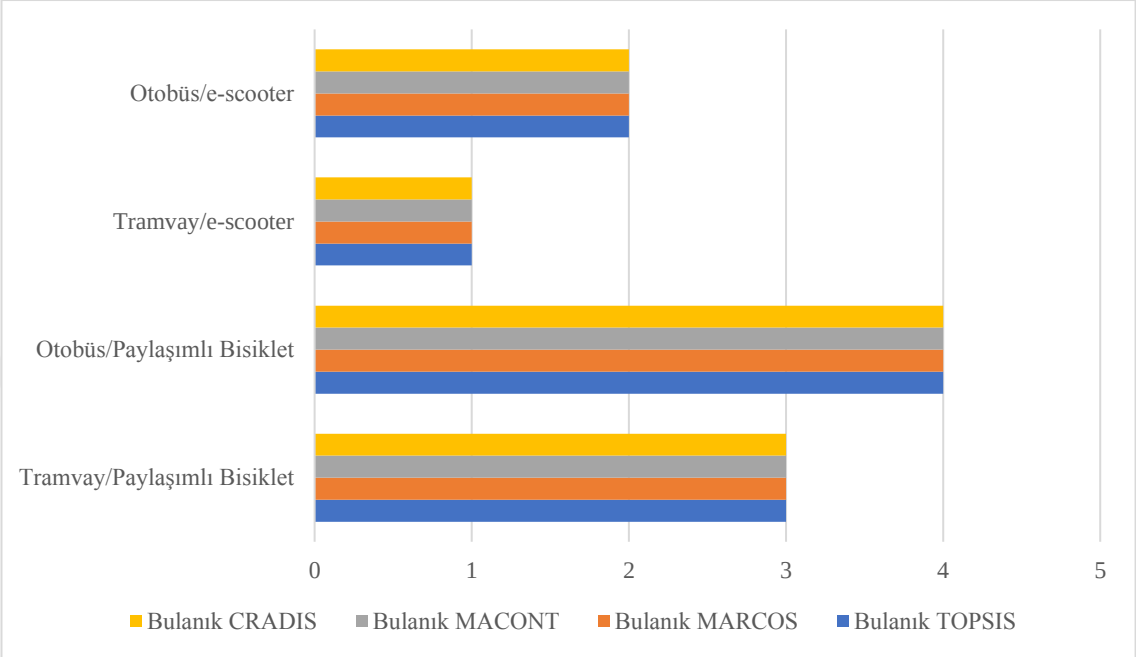
Tablo 5.15. *Karşılaştırmalı analiz sonuçları*

	Bulanık TOPSIS	**Bulanık MARCOS**	**Bulanık CRADIS**	**Bulanık MACONT**
Alternatif	CC_i	K_i	M_i	Q_i
Tramvay/Paylaşımlı Bisiklet	0,455169	0,596638	-0,09892	0,213537
Otobüs/Paylaşımlı Bisiklet	0,057267	0,355892	-0,53333	0,124825
Tramvay/*e-scooter*	0,884155	0,946857	0,549349	1
Otobüs/*e-scooter*	0,669499	0,759631	0,455648	0,349975

Tablo 5.15'te görüldüğü üzere, dört yöntemin tamamı sürdürülebilir hareketlilik yöntemleri için aynı performans sıralaması sonuçlarını ortaya koymuştur. Bu durum, analiz sonuçlarının yüksek düzeyde tutarlılık içerdiğini göstermektedir. Özellikle MACONT-F yöntemiyle elde edilen sıralamanın diğer yöntemlerle örtüşmesi, yöntemin geçerliliğini ve güvenilirliğini desteklemektedir. Şekil 5.9, sürdürülebilir entegre

hareketlilik yöntemlerinin performans değerlendirmesinde kullanılan dört farklı bulanık ÇKKV yönteminin sıralama sonuçlarını göstermektedir.

Şekil 5.9. *Karşılaştırmalı analiz sıralama sonuçları*



Şekil 5.9, sürdürülebilir entegre ulaşım yöntemlerinin sıralama sonuçlarının uyumlu ve tutarlı olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. "Tramvay / *e-scooter"* entegrasyonu, tüm yöntemlerde en yüksek tercih edilen seçenek olarak öne çıkarken, "otobüs / paylaşımlı bisiklet" en düşük performansa sahip alternatif olarak kalmıştır. "Otobüs / *e-scooter"*, dört yöntemde de ikinci sırada yer almış ve bu alternatife ilişkin değerlendirmeler arasında yüksek yöntemsel tutarlılık gözlemlenmiştir. "Tramvay / paylaşımlı bisiklet" ve "otobüs / paylaşımlı bisiklet" alternatifleri ise tüm yöntemlerde sırasıyla üçüncü ve dördüncü sıralarda yer almıştır. Karşılaştırmalı analiz sonuçlarından yola çıkarak elde edilen sonuçlar, tez kapsamında önerilen karar verme modelinin farklı yöntemlerle test edildiğinde de geçerliliğini koruduğunu kanıtlamaktadır.

Farklı bulanık ÇKKV yöntemleriyle gerçekleştirilen karşılaştırmalı analiz, önerilen FUCOM-F ve MACONT-F modelinin tutarlılığını desteklemiştir. Bu sonuçlar, modelin kentsel ulaşım sistemleri için güvenilir bir karar destek aracı olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Elde edilen bu bulgular ışığında, Sonuç bölümünde uygulama ve politika önerilerine yer verilmiştir.

SONUÇ

Kentsel alanlar, giderek daha fazla teknoloji odaklı ve birbirine bağlı yapılar hâline gelirken iklim kaynaklı bozulmalar, çevresel sürdürülebilirlik sorunları ve toplumsal eşitlik gibi çok boyutlu dışsal baskılarla da karşı karşıya kalmaktadır. Modern ulaşım ağları çok modlu ve birbirlerine bağımlı hâle geldikçe aşırı hava olayları, trafik sıkışıklığı, kazalar veya altyapı arızaları gibi bozulmaların sistem üzerinde yaratacağı etkiler daha belirgin hâle gelmektedir. Bu artan karmaşıklıklar, ulaşım planlamasında yalnızca akıllı çözümleri değil aynı zamanda uzun vadeli sürdürülebilirliği ve sistemsel dirençliliği önceliklendiren yeni bir yaklaşımı zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, geleceğin hareketlilik stratejilerinin, geleneksel modellerin ötesine geçerek daha kapsayıcı, esnek ve bozulmalar karşısında dayanıklılığını koruyabilen entegre ulaşım sistemlerine yönelmesi elzemdir.

Bu tez çalışmasında sürdürülebilir, akıllı ve dirençli bir ulaşım sistemi oluşturmak için mikro hareketlilik araçlarının toplu taşıma sistemleriyle entegrasyonunu değerlendirmek

üzere kullanılan değerlendirme kriterleri, literatür taraması ve uzman görüşleri doğrultusunda sürdürülebilirlik, akıllılık ve dirençlilik temel boyutlarında belirlenmiştir. İlk olarak, sürdürülebilir entegre hareketlilik yöntemlerine ilişkin güncel literatür incelenmiş, ardından konuya ilişkin akademi ve sektörden oluşan uzman görüşleri alınarak kriterlerin kapsamı ve geçerliliği pekiştirilmiştir. Belirlenen toplam on dokuz alt kriter, tematik benzerliklerine göre üç ana kategori altında sınıflandırılmıştır. Analiz sürecinin ilk adımında, Fuzzy Full Consistency Method (FUCOM-F) yöntemi doğrultusunda dört ayrı model oluşturulmuş ve kriterlerin ağırlıklandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. İkinci adımda, elde edilen kriter ağırlıkları doğrultusunda alternatiflerin performans sıralamaları Fuzzy Mixed Aggregation by COmprehensive Normalization Technique (MACONT-F) yöntemi ile yapılmıştır. Söz konusu analiz, örnek vaka olarak Kayseri ili özelinde gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda değerlendirilen dört sürdürülebilir entegre hareketlilik yöntemi; "tramvay / paylaşımlı bisiklet", "otobüs / paylaşımlı bisiklet", "tramvay / *e-scooter"* ve "otobüs / *e-scooter"* olarak ele alınmıştır. Son olarak, önerilen karar modeli çerçevesinde elde edilen bulguların tutarlılığını test etmek üzere Bulanık Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), Bulanık Compromise Ranking of Alternatives from Distance to Ideal Solution (CRADIS) ve Bulanık Measurement of Alternatives and Ranking according to COmpromise Solution (MARCOS) yöntemleriyle karşılaştırmalı analiz gerçekleştirilmiştir.

FUCOM-F yöntemiyle gerçekleştirilen ağırlıklandırma sürecinde değerlendirilen modeller; ana kriterleri bütüncül biçimde ele alan Model 1, sürdürülebilirlik kriterlerine odaklanan Model 2, akıllı kriterleri değerlendiren Model 3 ve dirençlilik kriterlerine odaklanan Model 4'ten oluşmaktadır. Ana kriter modeli (Model 1) kapsamında yapılan değerlendirmede sürdürülebilirlik ana kriteri ağırlığı 0,38, dirençlilik ana kriteri ağırlığı 0,34 ve akıllılık ana kriteri ağırlığı 0,28 olarak tespit edilmiştir. Sürdürülebilirlik modeli (Model 2) kapsamında en yüksek lokal (local) ağırlıklar "Karbon Emisyonlarının Azaltılması", "Kirlilik Önleme" ve "Erişilebilirlik" kriterlerine ait olsa da bu kriterlerin global ağırlıkları diğer boyutlara göre daha düşük seviyede kalmıştır. Akıllılık modeli (model 3) çerçevesinde ise en yüksek ağırlıklara sahip kriterler "Rota Planlama ve Optimizasyon", "Modlar Arası Bağlanabilirlik" ve "Gerçek Zamanlı Veri Bilgisi" olmuştur. Son olarak, dirençlilik modeli (Model 4) ise kurulan dört modelde en önemli model olarak öne çıkmıştır. En yüksek lokal (local) ve global ağırlığa sahip kriter

“Hızlılık” olurken, onu “Sağlamlık”, “Yedeklilik” ve “Kaynak Yönetimi” kriterleri izlemiştir.

FUCOM-F yöntemiyle belirlenen kriter ağırlıkları doğrultusunda gerçekleştirilen MACONT-F analizi ise dört sürdürülebilir entegre hareketlilik yönteminin bütünsel performansını değerlendirmiştir. Bu analiz sonucunda, “tramvay / *e-scooter”* entegrasyonu en yüksek tercih edilebilirlik skoruna ulaşarak ilk sırada yer almıştır. Bunu bir başka *e-scooter* entegresini içeren “otobüs / *e-scooter”* entegrasyonu izlemiştir. MACONT-F analizinden elde edilen sıralama sonuçlarının tutarlılığını test etmek amacıyla karşılaştırmalı analiz sürecinde Bulanık TOPSIS, Bulanık CRADIS ve Bulanık MARCOS yöntemleri uygulanmıştır. Bu yöntemlerle yapılan değerlendirme sonucunda alternatiflerin sıralamaları karar modeliyle tamamen örtüşmüştür. Özellikle en yüksek ve en düşük performans gösteren seçenekler de dahil olmak üzere tüm yöntemlerde aynı sıralama tespit edilmiştir. Tüm yöntemlerde “tramvay / *e-scooter”* alternatifi birinci sırada yer alırken, “otobüs / paylaşımlı bisiklet” alternatifi son sırada kalmıştır. Bu bulgular, analiz sürecinde kullanılan karar modelinin güvenilir ve tutarlı sonuçlar ürettiğini açıkça ortaya koymaktadır. Analiz sonucu, raylı sistemlerle entegre mikro hareketlilik araçlarının sürdürülebilir, akıllı ve dirençli bir ulaşım sistemine geçişte daha etkili bir çözüm sunduğunu göstermektedir.

Önerilen karar modeli dikkate alındığında sürdürülebilir entegre hareketlilik yöntemlerinin başarısında özellikle dirençlilik boyutunun belirleyici olduğu tespit edilmiştir. FUCOM-F yöntemiyle yapılan ağırlıklandırma sonucunda, en yüksek global ağırlıklara sahip dirençlilik kriterleri, toplu taşıma ile mikro hareketlilik entegrasyonunun sürdürülebilir ve teknolojik faktörlerin yanı sıra sistemin beklenmedik durumlara karşı hazır olma kapasitesi, hızlı ve etkili yanıt verebilme yeteneğiyle doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, sürdürülebilir kent içi hareketliliğin sadece gündelik işleyişte değil aynı zamanda kriz anlarında da sürdürülebilir hizmet sunabilmesi için dirençlilik odaklı kriterlerin önceliklendirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Bunun yanı sıra, günümüz modern kent içi ulaşım sistemlerinde mevcut akıllı ulaşım uygulamalarının entegrasyon süreci ile bu entegrasyonu mümkün kılacak teknolojilerin nasıl geliştirileceği konusu da kritik bir önem taşımaktadır. Akıllı ulaşım çözümlerinin; veri odaklı yönetim, gerçek zamanlı bilgi paylaşımı, yapay zekâ destekli analizler ve rota optimizasyonu gibi unsurlar aracılığıyla sistemsel entegrasyona sağladığı katkı, geleceğin

ulaşım planlamalarında dijitalleşme stratejilerinin vazgeçilmez bir parçası hâline gelmesi gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır. Bu nedenle, kent içi hareketlilik politikalarının yalnızca fiziksel altyapıya değil dijital altyapı ve kullanıcı etkileşimine de odaklanması gerektiği kaçınılmazdır. Öte yandan, sürdürülebilirlik kriterleri bu çalışmada geleneksel ulaşım sistemlerinde olduğu gibi çevresel ve sosyal etkileriyle önemini korumaya devam etmektedir. Ancak elde edilen bulgular, sürdürülebilirlik boyutunun, dirençlilik ve akıllılık boyutlarına kıyasla daha sınırlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum, modern ulaşım sistemlerinde sürdürülebilirliğin önemsenmeye devam ettiğini ancak karar verme süreçlerinde önceliğin ulaşımın kesintiye uğramadan sağlanması, sistemin esnekliği, teknolojik kapasitesi ve krizlere uyum kabiliyeti gibi dinamik unsurlara kaymakta olduğuna işaret etmektedir.

Bu tez çalışmasının, sınırlılıklarından birisi elde edilen bulguların Kayseri ili özelinde gerçekleştirilen bir örnek olay analizine dayanmasıdır. Bu nedenle sonuçlar, Kayseri'nin kentsel yapısı, ulaşım altyapısı ve mevcut mikro hareketlilik uygulamalarıyla yakından ilişkilidir. Dolayısıyla bulgular, Kayseri'nin toplu taşıma yoğunluğu ve mikro hareketlilik altyapısına özgüdür. Farklı kentlerde ulaşım sistemlerinin türü, yolculuk talebi, altyapı kapasitesi veya kullanıcı profilleri değişkenlik gösterebileceğinden, bu sonuçların diğer şehirler için doğrudan genellenmesi sınırlıdır. Bununla birlikte modelde kullanılan kriterlerin uluslararası literatür, politika raporları ve önceki araştırmalarla uyumlu biçimde belirlenmiş olması ve bu kriterlerin farklı kentlerde test edilmiş göstergelere dayanması, sonuçların belirli ölçüde genellenebilir olduğunu ifade etmektedir. Benzer biçimde, uygulamada en yaygın kullanılan toplu taşıma ve mikro hareketlilik araçlarının (tramvay, otobüs, e-scooter ve paylaşımlı bisiklet) alternatif olarak seçilmesi, farklı kentlerde benzer entegrasyon modellerinin değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Bu açıdan, çalışma yalnızca Kayseri özelinde bir örnek olay analizi sunmakla kalmamakta aynı zamanda benzer ulaşım altyapısına sahip kentlerde karar vericiler için fikir oluşturmaktadır. Buradan hareketle, karar vericilere sürdürülebilir, akıllı ve dirençli entegre hareketlilik yöntemlerine yönelik hareketlilik stratejilerinin benimsenmesi konusunda yol gösterici olacağı düşünülmektedir. Geliştirilen karar modeli, özellikle mikro hareketlilik araçlarının toplu taşıma sistemleriyle entegrasyonunu çok boyutlu olarak ele alması açısından literatüre ve uygulayıcılara katkı sunmaktadır. Bununla birlikte, çalışmanın yöntemsel açıdan sınırlılıkları da bulunmaktadır. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) literatürünün sürekli gelişmekte olduğu ve farklı disiplinlerde çok sayıda

yöntemin uygulandığı dikkate alındığında, bu tezde önerilen karar modeli diğer ÇKKV yaklaşımları ile karşılaştırmalı olarak yeniden test edilebilir. Ayrıca çalışmada tercih edilen Triangular Fuzzy Numbers- Üçgensel Bulanık Sayılar (TFN'ler) yerine Z-sayılar, nötrosofik sayılar veya diğer belirsizlik temelli hesaplama yöntemleriyle model zenginleştirilebilir. Kullanılan üç ana kriter grubu ve bu gruplara ait alt kriterler, çalışmanın yürütüldüğü örnek vakaya uyarlanmıştır. Bu nedenle, farklı şehirler veya ülkelerde yapılacak uygulamalar kapsamında kriter seti yeniden yapılandırılabilir ve kapsam genişletilebilir. İleride yapılacak araştırmalarda otonom araçlar, istasyonlu/istasyonsuz mikro hareketlilik araçları ve araç paylaşım modelleri gibi farklı entegre ulaşım alternatiflerinin analize dahil edilmesi, geliştirilen karar destek modelinin kapsamını daha da zenginleştirebilir.

KAYNAKÇA

Abduljabbar, R. L., Liyanage, S., & Dia, H. (2021). The role of micro-mobility in shaping sustainable cities: A systematic literature review. *Transportation research part D: transport and environment*, *92*, 102734. https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102734

Agrawal, R., Majumdar, A., Majumdar, K., Raut, R. D., & Narkhede, B. E. (2022). Attaining sustainable development goals (SDGs) through supply chain practices and business strategies: A systematic review with bibliometric and network analyses. Business Strategy and the Environment, 31(7), 3669-3687. https://doi.org/10.1002/bse.3057

Alam, T., Gupta, R., Nasurudeen Ahamed, N., Ullah, A., & Almaghthwi, A. (2024). Smart mobility adoption in sustainable smart cities to establish a growing ecosystem: Challenges and opportunities. *MRS Energy & Sustainability*, *11*(2), 304-316. https://doi.org/10.1557/s43581-024-00092-4

Aldosari, O., Ali, Z. M., Abdel Aleem, S. H., & Mostafa, M. H. (2024). Optimizing microgrid performance: Strategic integration of electric vehicle charging with renewable energy and storage systems for total operation cost and emissions minimization. *Plos one*, *19*(10), e0307810. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0307810

Alkharabsheh, A., Moslem, S., Oubahman, L., & Duleba, S. (2021). An integrated approach of multi-criteria decision-making and grey theory for evaluating urban public transportation systems. *Sustainability*, *13*(5), 2740. https://doi.org/10.3390/su13052740

Altintasi, O., & Yalcinkaya, S. (2022). Siting charging stations and identifying safe and convenient routes for environmentally sustainable e-scooter systems. *Sustainable Cities and Society*, *84*, 104020. https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104020

Aman, J. J., Smith-Colin, J., & Zhang, W. (2021). Listen to E-scooter riders: Mining rider satisfaction factors from app store reviews. *Transportation research part D: transport and environment*, *95*, 102856. https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102856

Ameli, M., Lebacque, J. P., & Leclercq, L. (2022). Evolution of multimodal final user equilibrium considering public transport network design history. *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, *10*(1), 923-953. https://doi.org/10.1080/21680566.2021.1973610

Amghar, R., Jaber, S., Moghaddam, S. H. M., Bhouri, N., & Ameli, M. (2024). Resilience as a service for transportation networks: Definition and basic concepts. *Transportation Research Record*, *2678*(1), 177-189. https://doi.org/10.1177/03611981231170180

Amiri, A. S., Babaei, A., & Khedmati, M. (2025). Country-Level Assessment of COVID-19 Performance: A Cluster-Based MACONT-CRITIC Analysis. *Applied Soft Computing*, 112762. https://doi.org/10.1177/03611981231170180

Ashraf, A., & Idrisi, M. J. (2024). Smart and sustainable public transportation-a need of developing countries. *International Journal of Networked and Distributed Computing*, *12*(1), 144-152. https://doi.org/10.1007/s44227-024-00023-2

Attard, M., & Shiftan, Y. (2015). *Transport and pandemic experiences.* Emerald Group Publishing.

Avrupa Komisyonu. (2020, December). *Sustainable and smart mobility strategy – putting European transport on track for the future.* https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0789

Avrupa Komisyonu. (2021a, July). *10 key areas for action to make the vision a reality*. https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/mobility-strategy_en

Avrupa Komisyonu. (2021b, December). *The benefits of micro-mobility for cities*. https://urban-mobility-observatory.transport.ec.europa.eu/news-events/news/benefits-micro-mobility-cities-2021-12-10_en?prefLang=ro

Avrupa Komisyonu. (2024, December). *Recommendations on urban logistics*. https://transport.ec.europa.eu/document/download/b818ff86-2463-4949-9413-d3ca559f60b9_en?filename=EGUM_Recommendations_SG4_D1_SULP.pdf#page=6.57

Awewomom, J., Dzeble, F., Takyi, Y. D., Ashie, W. B., Ettey, E. N. Y. O., Afua, P. E., ... & Akoto, O. (2024). Addressing global environmental pollution using environmental control techniques: a focus on environmental policy and preventive environmental management. *Discover Environment*, *2*(1), 8. https://doi.org/10.1007/s44274-024-00033-5

Badia, H., & Jenelius, E. (2023). Shared e-scooter micromobility: Review of use patterns, perceptions and environmental impacts. *Transport reviews*, *43*(5), 811-837. https://doi.org/10.1080/01441647.2023.2171500

Bain, P. G., Kroonenberg, P. M., Johansson, L. O., Milfont, T. L., Crimston, C. R., Kurz, T., ... & Park, J. (2019). Public views of the Sustainable Development Goals across countries. *Nature sustainability*, *2*(9), 819-825. https://doi.org/10.1038/s41893-019-0365-4

Banister, D. (2005). *Unsustainable transport: City transport in the new century*. Routledge.

Bellman, R. E., & Zadeh, L. A. (1970). Decision-making in a fuzzy environment. *Management science*, *17*(4), B-141. https://doi.org/10.1287/mnsc.17.4.B141

Ben Ali, M., & Boukettaya, G. (2023). Urban Transport Solutions for a Sustainable and Smart Mobility Future: Macro-Environmental Analysis. In *Smart Cities for Sustainability: Approaches and Solutions* (pp. 49-70). Emerald Publishing Limited.

BM Kalkınma Ajansı. (2025a, January). *SDGs history.* https://sdgs.un.org/goals#history

BM Kalkınma Ajansı. (2025b, January). SDG11 *targets and indicators*. https://sdgs.un.org/goals/goal11#targets_and_indicators

Brand, C., Dons, E., Anaya-Boig, E., Avila-Palencia, I., Clark, A., de Nazelle, A., ... & Panis, L. I. (2021). The climate change mitigation effects of daily active travel in cities. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *93*, 102764. https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102764

Büyüközkan, G., Feyzioğlu, O., & Göçer, F. (2018). Selection of sustainable urban transportation alternatives using an integrated intuitionistic fuzzy Choquet integral approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *58*, 186-207. https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.12.005

Cao, Y., Li, S., Lv, C., Wang, D., Sun, H., Jiang, J., ... & Cheng, X. (2023). Towards cyber security for low-carbon transportation: Overview, challenges and future directions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *183*, 113401. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113401

Chapman, G. R., Cully, A., Kosiol, J., Macht, S. A., Chapman, R. L., Fitzgerald, J. A., & Gertsen, F. (2020). The wicked problem of measuring real-world research impact: Using sustainable development goals (SDGs) and targets in academia. *Journal of Management & Organization*, *26*(6), 1030-1047. https://doi.org/10.1017/jmo.2020.16

Chauke, S., Sobiyi, K., & Mbohwa, C. (2018). Three pillars of sustainability: An overview. In *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management* (Vol. 2018, No. SEP, pp. 2578-2579).

Chen, C. T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1), 1-9. https://doi.org/10.1016/S0165-0114(97)00377-1

Chen, C., He, F., Yu, R., Wang, S., & Dai, Q. (2023). Resilience assessment model for urban public transportation systems based on structure and function. *Journal of Safety Science and Resilience*, *4*(4), 380-388. https://doi.org/10.1016/j.jnlssr.2023.10.001

Chen, F., & Chopra, S. S. (2025). Integrating socio-demographic factors for equitable resilience in networked-urban infrastructure systems. *npj Urban Sustainability*, *5*(1), 1-14. https://doi.org/10.1038/s42949-025-00195-y

Chen, X., Hickman, M., & Lu, Y. (2025). Behavior Analysis of Shared Micro-Mobility Service in Mobility as a Service: Empirical Evidence from a Large-Scale Trial in a University Community. *Transportation Research Record*, 03611981251327580. https://doi.org/10.1177/03611981251327580

Chen, X., Ma, S., Chen, L., & Yang, L. (2024). Resilience measurement and analysis of intercity public transportation network. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *131*, 104202. https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104202

Ciliberti, F., Pontrandolfo, P., & Scozzi, B. (2008). Logistics social responsibility: Standard adoption and practices in Italian companies. *International Journal of Production Economics*, *113*(1), 88-106. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.02.049

Clune, W. H., & Zehnder, A. J. (2020). The evolution of sustainability models, from descriptive, to strategic, to the three pillars framework for applied solutions. *Sustainability Science*, *15*(3), 1001-1006. https://doi.org/10.1007/s11625-019-00776-8

Corti, F., Iacono, S. D., Astolfi, D., Pasetti, M., Vasile, A., Reatti, A., & Flammini, A. (2024). A comprehensive review of charging infrastructure for Electric Micromobility Vehicles: Technologies and challenges. *Energy Reports*, *12*, 545-567. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.06.026

Cui, C., & Zhang, Y. (2024). Integration of shared micromobility into public transit: A systematic literature review with grey literature. *Sustainability*, *16*(9), 3557. https://doi.org/10.3390/su16093557

Curl, A., & Fitt, H. (2020). Same, but different? Cycling and e-scootering in a rapidly changing urban transport landscape. *New Zealand Geographer*, *76*(3), 194–206. https://doi.org/10.1111/nzg.12271

Çakır, E., & Tolga, Ç. (2024). *New Multi Criteria Decision Making Methodology EFEE Under Uncertainty on Paris City Micromobility.* Springer Nature.

Demir, G., & Moslem, S. (2025). Fuzzy multicriteria decision making for assessing public transportation systems for sustainable transportation. In *Intelligent Urban Mobility* (pp. 229-258). Academic Press.

Demir, G., Damjanović, M., Matović, B., & Vujadinović, R. (2022). Toward sustainable urban mobility by using fuzzy-FUCOM and fuzzy-CoCoSo methods: the case of the SUMP podgorica. *Sustainability*, *14*(9), 4972. https://doi.org/10.3390/su14094972

Desaulniers, G., & Hickman, M. D. (2007). Public transit. C. Barnhart & G. Laporte (Eds.) içinde, *Handbooks in operations research and management science* (ss. 69-127). North-Holland.

Dhanani, R. (2022, July). *A brief history of sustainability.* https://thesustainableagency.com/blog/the-history-of-sustainability/

Dozza, M., Violin, A., & Rasch, A. (2022). A data-driven framework for the safe integration of micro-mobility into the transport system: Comparing bicycles and e-scooters in field trials. *Journal of Safety Research*, *81*, 67-77. https://doi.org/10.1016/j.jsr.2022.01.007

Dragu, V., Ruscă, A., & Roşca, M. A. (2025). The Spatial Accessibility of High-Capacity Public Transport Networks—The Premise of Sustainable Development. *Sustainability*, *17*(1), 343. https://doi.org/10.3390/su17010343

Du, M., Jiang, X., & Chen, A. (2022). Identifying critical links using network capacity-based indicator in multi-modal transportation networks. *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, *10*(1), 1126-1150. https://doi.org/10.1080/21680566.2021.2023371

Ecer, F. (2014). A hybrid banking websites quality evaluation model using AHP and COPRAS-G: a Turkey case. *Technological and Economic Development of Economy*, *20*(4), 758-782. https://doi.org/10.3846/20294913.2014.915596

Ecer, F. (2018). An integrated Fuzzy AHP and ARAS model to evaluate mobile banking services. *Technological and Economic Development of Economy*, *24*(2), 670-695. https://doi.org/10.3846/20294913.2016.1255275

Ecer, F., & Torkayesh, A. E. (2022). A stratified fuzzy decision-making approach for sustainable circular supplier selection. *IEEE Transactions on Engineering Management*, *71*, 1130-1144. https://doi.org/10.1109/TEM.2022.3151491

Ecer, F., Küçükönder, H., Kaya, S. K., & Görçün, Ö. F. (2023). Sustainability performance analysis of micro-mobility solutions in urban transportation with a novel IVFNN-Delphi-LOPCOW-CoCoSo framework. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *172*, 103667. https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103667

Edgar. (2024, January). *GHG emissions of all world countries.* https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2024

Elassy, M., Al-Hattab, M., Takruri, M., & Badawi, S. (2024). Intelligent transportation systems for sustainable smart cities. *Transportation Engineering*, 100252. https://doi.org/10.1016/j.treng.2024.100252

Erker, R. S., Koman, K., & Majcen, B. (2009). Economic instruments for reducing co2 emissions and their consequences. *Central European Public Administration Review*, *7*(1). https://doi.org/10.17573/cepar.v7i1.121

ERTRAC. (2021, July). *Urban mobility resilience roadmap.* https://www.ertrac.org/wp-content/uploads/2022/07/ERTRAC-Urban-Mobility-Resilicience-Roadmap-V3.pdf

Fan, Z., & Harper, C. D. (2022). Congestion and environmental impacts of short car trip replacement with micromobility modes. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *103*, 103173. https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103173

FAO. (2015, December). *The state of food and agriculture.* https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/4704f05c-5ce0-40d0-b568-27be1de6a227/content

Ferguson, B., & Sanguinetti, A. (2024, February). *Micromobility and public transit environmental design integration.* https://escholarship.org/uc/item/4tr5c0dm

Fu, X., van Lierop, D., & Ettema, D. (2025). Shared micromobility in multimodal travel: Evidence from three European cities. *Cities*, *158*, 105664. https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105664

Fuady, S. N., Pfaffenbichler, P. C., Charalampidou, G., & Susilo, Y. O. (2025). Micromobility as a catalyst for sustainable urban transportation: A backcasting approach on decarbonisation and energy consumption. *Sustainable Futures*, *9*, 100406. https://doi.org/10.1016/j.sftr.2024.100406

Garroussi, Z., Legrain, A., Gambs, S., Gautrais, V., & Sansò, B. (2023). Data privacy for mobility as a service. *arXiv preprint arXiv:2310.10663*. https://doi.org/10.48550/arXiv.2310.10663

Garroussi, Z., Legrain, A., Gambs, S., Gautrais, V., & Sansò, B. (2025). A systematic review of data privacy in mobility as a service (MaaS). *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, *31*, 101254. https://doi.org/10.1016/j.trip.2024.101254

Ghosh, P., & Chakravarty, T. (2024). Sustainable development goals: challenges, opportunities, and the way forward. V. Dutta & P. Ghosh (Eds.) içinde, *Sustainability: Science, Policy, and Practice in India: Challenges and Opportunities* (ss. 235-241). Springer International Publishing.

Gillis, D., Semanjski, I., & Lauwers, D. (2016). How to monitor sustainable mobility in cities? Literature review in the frame of creating a set of sustainable mobility indicators. *Sustainability*, *8*(1), 29. https://doi.org/10.3390/su8010029

Global Carbon Project. (t.y.). *Sanayi devriminden günümüze CO2 emisyonları.* 4 Mart 2025 tarihinde https://www.globalcarbonproject.org/ adresinden erişildi.

Guitouni, A., & Martel, J. M. (1998). Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. *European Journal of Operational Research*, *109*(2), 501-521. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00073-3

Guo, S., & Zhao, H. (2017). Fuzzy best-worst multi-criteria decision-making method and its applications. *Knowledge-Based Systems*, *121*, 23-31. https://doi.org/10.1016/j.knosys.2017.01.010

Hansmann, R., Mieg, H. A., & Frischknecht, P. (2012). Principal sustainability components: empirical analysis of synergies between the three pillars of sustainability. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, *19*(5), 451-459. https://doi.org/10.1080/13504509.2012.696220

Hapriyanto, A. R., & Azmi, H. (2025). Implementation of Green Infrastructure in Sustainable Transportation in Supporting Urban Mobility: A Literature Review. *Engineering Proceedings*, *84*(1), 25. https://doi.org/10.3390/engproc2025084025

Höfer, R. (2009). History of the Sustainability Concept–Renaissance of Renewable Resources. R. Höfer (Ed.) içinde, *Sustainable solutions for modern economies* (ss. 1-9). RSC Publishing.

Hua, W., & Ong, G. P. (2017). Network survivability and recoverability in urban rail transit systems under disruption. *IET Intelligent Transport Systems*, *11*(10), 641-648. https://doi.org/10.1049/iet-its.2017.0102

Huang, E., Yin, Z., Broaddus, A., & Yan, X. (2024). Shared e-scooters as a last-mile transit solution? Travel behavior insights from Los Angeles and Washington DC. *Travel Behaviour and Society*, *34*, 100663. https://doi.org/10.1016/j.tbs.2023.100663

Huang, K., Xu, L., Chen, Y., Cheng, Q., & An, K. (2020). Customized Bus Route Optimization with the Real□Time Data. *Journal of Advanced Transportation*, *2020*(1), 8838994. https://doi.org/10.1155/2020/8838994

Hwang, C. L., & Yoon, K. P. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications, a state-of-the-art survey.* SpringerVerlang.

ITDP. (2021, June). *Maximizing micromobility***.** https://itdp.org/publication/maximizing-micromobility/

ITF. (2020, January). *Safe micromobility.* https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/safe-micromobility_1.pdf

Javadiansr, M., Davatgari, A., Rahimi, E., Mohammadi, M., Mohammadian, A., & Auld, J. (2024). Coupling shared E-scooters and public transit: A spatial and temporal analysis. *Transportation Letters*, *16*(6), 581-598. https://doi.org/10.1080/19427867.2023.2227447

Kager, R., Bertolini, L., & Te Brömmelstroet, M. (2016). Characterisation of and reflections on the synergy of bicycles and public transport. *Transportation*

Research Part A: Policy and Practice, *85*, 208-219. https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.01.015

Kahraman, C. (2008). Multi-criteria decision making methods and fuzzy sets. C. Kahraman (Ed.) içinde, *Fuzzy multi-criteria decision making: Theory and Applications with Recent Developments* (ss. 1-18). Springer International Publishing.

Kalakoni, A. M. P., Christoforou, Z., & Farhi, N. (2022). A novel methodology for micromobility system assessment using multi-criteria analysis. *Case Studies on Transport Policy*, *10*(2), 976-992. https://doi.org/10.1016/j.cstp.2022.03.010

Karaca, M., Demirtaş, Ö., & Delice, Y. (2025). Hastane hizmet kalitesinin bulanık swara ve bulanık fucom yöntemlerine dayalı olarak değerlendirilmesine yönelik model önerisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *40*(2), 1385-1400. https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1533978

Kaya, I., Çolak, M., & Terzi, F. (2019). A comprehensive review of fuzzy multi criteria decision making methodologies for energy policy making. *Energy Strategy Reviews*, *24*, 207-228. https://doi.org/10.14744/planlama.2024.54872

Kaya, Ö. (2025). Footprints of the Future: Cleaner and Faster Transportation with Shared E-Scooter Operational Models. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *14*(1), 16. https://doi.org/10.3390/ijgi14010016

Kays, H. M., & Sadri, A. M. (2022). Towards unifying resilience and sustainability for transportation infrastructure systems: conceptual framework, critical indicators, and research needs. *arXiv preprint arXiv:2208.10039*. https://doi.org/10.48550/arXiv.2208.10039

Kayseri Ulaşım. (2024, Aralık). *Sayısal veriler.* https://www.kayseriulasim.com/SayisalVeriler/Kategori

Keijer, M. J. N., & Rietveld, P. (2000). How do people get to the railway station? The Dutch experience. *Transportation Planning and Technology*, 23(3), 215-235. https://doi.org/10.1080/03081060008717650

Klir, G., & Yuan, B. (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic*. Prentice hall.

Kong, H., Chao, H., Fu, W., Lin, D., & Zhang, Y. (2025). Relationship between shared micromobility and public transit: The differences between shared bikes and shared E-bikes. *Journal of Transport Geography*, *123*, 104149. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2025.104149

Konieczny, P., Dobrucka, R., & Mroczek, E. (2013). Using carbon footprint to evaluate environmental issues of food transportation. *LogForum*, *9*(1), 3-10. Retrieved from http://www.logforum.net

Krishankumar, R., & Ecer, F. (2023). Selection of IoT service provider for sustainable transport using q-rung orthopair fuzzy CRADIS and unknown weights. *Applied Soft Computing*, *132*, 109870. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.109870

Kundu, P., Görçün, Ö. F., Garg, C. P., Küçükönder, H., & Çanakçıoğlu, M. (2024). Evaluation of public transportation systems for sustainable cities using an integrated fuzzy multi-criteria group decision-making model. *Environment, Development and Sustainability*, *26*(11), 27655-27684. https://doi.org/10.1007/s10668-023-03776-y

Küresel Amaçlar. (t.y.). Sürdürülebilir kalkınma için küresel amaçlar. 10 Mart 2025 tarihinde https://www.kureselamaclar.org/ adresinden erişildi.

Lafont-Torio, J., Martín, J. M. M., Fernández, J. A. S., & Soriano, D. R. (2024). Perceptions of progress toward achieving the sustainable development goals: Insights from cooperative managers. *Sustainable Technology and Entrepreneurship*, *3*(1), 100055. https://doi.org/10.1016/j.stae.2023.100055

Le Boennec, R., & Salladarré, F. (2023). Investigating the use of privately-owned micromobility modes for commuting in four European countries. *Journal of Cleaner Production*, *431*, 139760. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139760

Litman, T. (2025). *The future isn't what it used to be: changing trends and their implications for transport planning.* Victoria transport policy institute. https://www.vtpi.org/future.pdf

Lootsma, F. A. (1980). Saaty's priority theory and the nomination of a senior professor in operations research. *European Journal of Operational Research*, *4*(6), 380-388. https://doi.org/10.1016/0377-2217(80)90189-7

Lopez, L. M., Ishizaka, A., Qin, J., & Alvarez-Carrillo, P. A. (2023). *Multi-criteria decision-making sorting methods: Applications to real-world problems*. Academic Press.

Macharis, C., & Van Mierlo, J. (2013). *Sustainable mobility and logistics*. Brussels: VUB Press.

Malthus, T. (2023). An essay on the principle of population. *British Politics and the Environment in the Long Nineteenth Century*. Routledge.

Mangan, J., & Lalwani, C. (2016). *Global logistics and supply chain management.* John Wiley & Sons.

Marsh, G. P. (1864). *Man and nature, or physical geography as modified by human action by George P. Marsh*. Sampson Low, Son and Marston.

Martínez-Hernández, J. A., Gámez-García, D. C., & Saldaña-Márquez, H. (2024). Operational LCA of a street with active mobility strategies in northern Mexico. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *135*, 104374. https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104374

McDonald, J.F. (1996). *Fundamental of urban economics.* Pearson College.

McKinnon, A. (2010). Environmental sustainability - A new priority for logistics managers. In A. McKinnon, S. Cullinane, M. Browne & A. Whiteing (Eds.) içinde, *Green logistics - Improving the environmental sustainability of logistics* (ss. 3-26). Kogan Page Publishers.

McKinsey. (2023, January). *Shared mobility: Sustainable cities, shared destinies.* https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/shared-mobility-sustainable-cities-shared-destinies

Mitrović Simić, J., Stević, Ž., Zavadskas, E. K., Bogdanović, V., Subotić, M., & Mardani, A. (2020). A novel CRITIC-Fuzzy FUCOM-DEA-Fuzzy MARCOS model for safety evaluation of road sections based on geometric parameters of road. *Symmetry*, *12*(12), 2006. https://doi.org/10.3390/sym12122006

Møller, T. H., Simlett, J., & Mugnier, E. (2020, December). *Micromobility: Moving cities into a sustainable future.* Retrieved from https://www.ey.com/content/dam/ey-

unified-site/ey-com/en-gl/insights/automotive/documents/ey-gl-micromobility-moving-cities-into-a-sustainable-future-01-2025.pdf

Montes, A., Geržinic, N., Veeneman, W., van Oort, N., & Hoogendoorn, S. (2023). Shared micromobility and public transport integration-A mode choice study using stated preference data. *Research in Transportation Economics*, *99*, 101302. https://doi.org/10.1016/j.retrec.2023.101302

Moslem, S., Stević, Ž., Tanackov, I., & Pilla, F. (2023). Sustainable development solutions of public transportation: An integrated IMF SWARA and Fuzzy Bonferroni operator. *Sustainable Cities and Society*, *93*, 104530. https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104530

Mozos-Blanco, M. Á., Pozo-Menéndez, E., Arce-Ruiz, R., & Baucells-Aletà, N. (2018). The way to sustainable mobility. A comparative analysis of sustainable mobility plans in Spain. *Transport Policy*, *72*, 45-54. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.07.001

Murzyna, V. (2023, January). How does real-time data support sustainable mobility. *Goodvision.* https://blog.goodvisionlive.com/how-does-real-time-data-support-sustainable-mobility

NACTO. (2024, July). *A micromobility record: 157 million trips on bike share and scooter share in 2023.* https://nacto.org/latest/a-micromobility-record-157-million-trips-on-bike-and-scooter-share-in-2023/

Neelis, I., Neuts, B., Nesterova, N., & Farkić, J. (2024). *Sustainable mobility within nature areas: Literature review.* Interreg North-West Europe.

Nigro, A., Bertolini, L., & Moccia, F. D. (2019). Land use and public transport integration in small cities and towns: Assessment methodology and application. *Journal of Transport Geography*, *74*, 110-124. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.11.004

Novák, V. (2020). The concept of linguistic variable revisited. S.N. Shahbazova, M. Sugeno & J. Kacprzyk (Eds.) içinde, *Recent developments in fuzzy logic and fuzzy sets: Dedicated to Lotfi A. Zadeh* (ss. 105-118). Springer International Publishing.

OECD. (2024a, June). *Sustainable accessibility for all.* https://www.itf-oecd.org/sustainable-accessibility-for-all

OECD. (2024b, December). *Transport system resilience summary and conclusions.* https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/transport-system-resilience.pdf

Oeschger, G., Carroll, P., & Caulfield, B. (2020). Micromobility and public transport integration: The current state of knowledge. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *89*, 102628. https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102628

Oeschger, G., Caulfield, B., & Carroll, P. (2023). Investigating the role of micromobility for first-and last-mile connections to public transport. *Journal of Cycling and Micromobility Research*, *1*, 100001. https://doi.org/10.1016/j.jcmr.2023.100001

Oeschger, G., Caulfield, B., & Carroll, P. (2025). User characteristics and preferences for micromobility use in first-and last-mile journeys in Dublin, Ireland. *Travel Behaviour and Society*, *38*, 100926. https://doi.org/10.1016/j.tbs.2024.100926

Önden, İ., Deveci, M., Kara, K., Yalçın, G. C., Önden, A., Eker, M., & Hasseb, M. (2024). Supplier selection of companies providing micro mobility service under type-2 neutrosophic number based decision making model. *Expert Systems with Applications*, *245*, 123033. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.123033

Öztaş Karlı, R. G. (2024). Paylaşımlı mikromobilite sistemlerinin başarı faktörlerinin AHP ve DEMATEL yöntemleriyle değerlendirilmesi. *Planlama*, *34*(3).

Pamucar, D., & Ecer, F. (2020). Prioritizing the weights of the evaluation criteria under fuzziness: The fuzzy full consistency method–FUCOM-F. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, *18*(3), 419-437. https://doi.org/10.22190/FUME200602034P

Pamucar, D., Ecer, F., & Deveci, M. (2021). Assessment of alternative fuel vehicles for sustainable road transportation of United States using integrated fuzzy FUCOM and neutrosophic fuzzy MARCOS methodology. *Science of the Total Environment*, *788*, 147763. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147763

Pamučar, D., Stević, Ž., & Sremac, S. (2018). A new model for determining weight coefficients of criteria in mcdm models: Full consistency method (fucom). S*ymmetry*, *10*(9), 393. https://doi.org/10.3390/sym10090393

Pant, S. B. (2013). *Transportation network resiliency: A study of self-annealing*. Utah State University.

Pedroza-Perez, D., Toutouh, J., & Luque, G. (2024, July). Redesigning road infrastructure to integrate e-scooter micromobility as part of multimodal transportation. *Association for Computing Machinery.* https://doi.org/10.1145/3638529.3654142

Peng, H., Nishiyama, Y., & Sezaki, K. (2022). Assessing environmental benefits from shared micromobility systems using machine learning algorithms and Monte Carlo simulation. *Sustainable Cities and Society*, *87*, 104207. https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104207

Prism Sustainability Directory. (2025). *Data-driven optimization of public transit networks for resilience.* https://prism.sustainability-directory.com/scenario/data-driven-optimization-of-public-transit-networks-for-resilience/

Purvis, B., Mao, Y., & Robinson, D. (2019). Three pillars of sustainability: In search of conceptual origins. *Sustainability Science*, *14*, 681-695. https://doi.org/10.1007/s11625-018-0627-5

Puška, A., Nedeljković, M., Prodanović, R., Vladisavljević, R., & Suzić, R. (2022b). Market assessment of pear varieties in Serbia using fuzzy CRADIS and CRITIC methods. *Agriculture*, *12*(2), 139. https://doi.org/10.3390/agriculture12020139

Puška, A., Stević, Ž., & Pamučar, D. (2022a). Evaluation and selection of healthcare waste incinerators using extended sustainability criteria and multi-criteria analysis methods. *Environment, Development and Sustainability*, *24*(9), 11195-11225. https://doi.org/10.1007/s10668-021-01902-2

Quak, H., & Nesterova, N. (2014). Woman, work and transport. T. Wright, L. Budd & S. Ison (Eds.) içinde, *Towards zero emission urban logistics: Challenges and issues for implementation of electric freight vehicles in city logistics* (ss. 265-294). Emerald Group Publishing Limited.

Riaz, M., Kausar, R., Jameel, T., & Pamucar, D. (2024). Cubic picture fuzzy topological data analysis with integrating blockchain and the metaverse for uncertain supply chain management. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, *131*, 107827. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.107827

Rodrigue, J. P. (2020). *The geography of transport systems*. Routledge.

Rollandi, A., Papandrea, M., Bignami, F., Di Maggio, L., Günther, F., Quattrini, A., ... & Bettini, A. (2025). Inclusive microMob: Enhancing urban mobility through micromobility solutions. *Smart Cities*, *8*(2), 69. https://doi.org/10.3390/smartcities8020069

Rześny-Cieplińska, J. (2023). Overview of the practices in the integration of passenger mobility and freight deliveries in urban areas. *Case Studies on Transport Policy*, *14*, 101106. https://doi.org/10.1016/j.cstp.2023.101106

Sachs, J. D. (2012). From millennium development goals to sustainable development goals. *The Lancet*, *379*(9832), 2206-2211. Retrieved from https://www.thelancet.com/

Saha, A., Görçün, Ö. F., Pamucar, D., Arya, L., & Simic, V. (2024). Evaluation of shared micro-mobility systems for sustainable cities by using a consensus-based Fermatean fuzzy multiple objective optimization and full multiplicative form. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, *134*, 108662. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.108662

Saliara, K. (2014). Public transport integration: The case study of Thessaloniki, Greece. *Transportation Research Procedia*, *4*, 535-552. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.11.041

Schuete, N., & Rudolph, C. (2024). *Shared micro-mobility as integrated part of intermodal transit: Aspects of collaboration between providers and municipalities*. Springer Nature Switzerland.

Schwinger, F. C., Jarke, M., Ziefle, M., & Rose, T. (2024). *Ride-sharing and micromobility in intermodal transportation: Data-driven integration, assessment, and facilitation of mobility as a service*. Fachgruppe Informatik.

Shapiro, A. F., & Koissi, M. C. (2017). Fuzzy logic modifications of the analytic hierarchy process. *Insurance: Mathematics and Economics*, *75*, 189-202. https://doi.org/10.1016/j.insmatheco.2017.05.003

Stanković, M., Stević, Ž., Das, D. K., Subotić, M., & Pamučar, D. (2020). A new fuzzy MARCOS method for road traffic risk analysis. *Mathematics, 8*(3), 457. https://doi.org/10.3390/math8030457

Stević, Ž., Pamučar, D., Puška, A., & Chatterjee, P. (2020). Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to COmpromise solution (MARCOS). *Computers & Industrial Engineering,* 140, 106231. https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106231

Strale, M. (2019). Sustainable urban logistics: What are we talking about?. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *130*, 745-751. https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.10.002

Tahmasbi, B., Hajian, P., Tahmasbi, F., & He, Q. (2024). Measuring integrated accessibility for sustainable mobility: A fuzzy set approach case study. *Computational Urban Science*, *4*(1), 35. https://doi.org/10.1007/s43762-024-00146-w

Taiebat, M., & Xu, M. (2019). Synergies of four emerging technologies for accelerated adoption of electric vehicles: Shared mobility, wireless charging, vehicle-to-grid, and vehicle automation. *Journal of Cleaner Production*, *230*, 794-797. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.142

Tammaru, T., Sevtsuk, A., & Witlox, F. (2023). Towards an equity-centred model of sustainable mobility: Integrating inequality and segregation challenges in the green mobility transition. *Journal of Transport Geography*, *112*, 103686. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2023.103686

Teoman, S. (2020). Achieving the customized" rights" of logistics by adopting novel technologies: a conceptual approach and literature review. *UTMS Journal of Economics*, *11*(2), 231-242. https://hdl.handle.net/10419/281885

Thakkar, J. J. (2021). *Multi-criteria decision making*. Springer International Publishing.

Tzouras, P. G., Delialis, P., & Iliopoulou, C. (2025). Assessing the Impact of Micromobility Measures on Last-Mile Network Resilience Using Agent-Based Simulation. *Procedia Computer Science*, *257*, 945-950. https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.03.121

Ulitskaya, I., Vasilyeva, J., Telushkina, E., & Glagoleva, S. (2022). Development of the logistics system of urban public passenger transport. *Transportation Research Procedia*, *63*, 2857-2865. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.332

Ulutaş, A. (2022). A fuzzy hybrid MCDM model to solving the transportation company selection problem. Z. Živković (Ed.) içinde, *An international serial publication for theory and practice of management science* (ss. 44-52). University of Belgrade.

UNDP. (2021, July). *Smart, sustainable and resilient cities: The power of nature-based solutions.* https://www.unep.org/resources/report/smart-sustainable-and-resilient-cities-power-nature-based-solutions

Useche, S. A., O'Hern, S., Gonzalez-Marin, A., Gene-Morales, J., Alonso, F., & Stephens, A. N. (2022). Unsafety on two wheels, or social prejudice? Proxying behavioral reports on bicycle and e-scooter riding safety–A mixed-methods study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *89*, 168-182. https://doi.org/10.1016/j.trf.2022.06.015

Vilalta-Perdomo, E., Michel-Villarreal, R., Thierry-Aguilera, R., Krejci, C., Rainer, J., & Burgos, D. (2023). The impact of logistics performance on the achievement of the UN Sustainable Development Goal 2: Zero hunger. *Center for Open Science*, 1-24. https://doi.org/10.31235/osf.io/3ykgx

Wang, F. (2021). Preference degree of triangular fuzzy numbers and its application to multi-attribute group decision making. *Expert Systems with Applications*, *178*, 114982. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114982

Wang, K., Qian, X., Fitch, D. T., Lee, Y., Malik, J., & Circella, G. (2023). What travel modes do shared e-scooters displace? A review of recent research findings. *Transport Reviews*, *43*(1), 5-31. https://doi.org/10.1080/01441647.2021.2015639

Wang, N., Wu, M., & Yuen, K. F. (2024). Modelling and assessing long-term urban transportation system resilience based on system dynamics. *Sustainable Cities and Society*, *109*, 105548. https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105548

Wanganoo, L., Shukla, V., & Mohan, V. (2022). Intelligent micro□mobility e□scooter: revolutionizing urban transport. In P. Agrawal, V. Madaan, A. Sharma, D. Sharma, A. Agarwal & S. Kautis (Eds.) içinde, *Trust□based communication systems for internet of things applications* (ss. 267-290). Scrivener Publishing LLC.

WCED, S. W. S. (1987, January). World commission on environment and development. *Our Common Future*, *17*(1), 1-91. https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf

Wen, Z., Liao, H., & Zavadskas, E. K. (2020). MACONT: Mixed aggregation by comprehensive normalization technique for multi-criteria analysis. *Informatica, 31*(4), 857-880. https://doi.org/10.15388/20-INFOR417

Winkler, L., Pearce, D., Nelson, J., & Babacan, O. (2023). The effect of sustainable mobility transition policies on cumulative urban transport emissions and energy demand. *Nature Communications*, *14*(1), 2357. https://doi.org/10.1038/s41467-023-37728-x

Xu, X., Chen, A., Xu, G., Yang, C., & Lam, W. H. (2021). Enhancing network resilience by adding redundancy to road networks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *154*, 102448. https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102448

Xu, Z., Zhang, C., & Chopra, S. S. (2023). Robustness assessment of public bus transit system with a response-integrated approach for a resilient public transport system in Hong Kong. *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, *11*(1), 361-375. https://doi.org/10.1080/21680566.2022.2071354

Yin, K., Wu, J., Wang, W., Lee, D. H., & Wei, Y. (2023). An integrated resilience assessment model of urban transportation network: A case study of 40 cities in China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *173*, 103687. https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103687

You, G. (2022). Sustainable vehicle routing problem on real-time roads: The restrictive inheritance-based heuristic algorithm. *Sustainable Cities and Society*, *79*, 103682. https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103682

Younes, H., Zou, Z., Wu, J., & Baiocchi, G. (2020). Comparing the temporal determinants of dockless scooter-share and station-based bike-share in Washington, DC. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *134*, 308-320. https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.02.021

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, *8*(3), 338-353. https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X

Zadeh, L. A. (1978). Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, *1*(1), 3-28. https://doi.org/10.1016/0165-0114(78)90029-5

Zagorskas, J., & Turskis, Z. (2024). Enhancing sustainable mobility: Evaluating new bicycle and pedestrian links to car-oriented industrial parks with ARAS-G MCDM approach. *Sustainability*, *16*(7), 2994. https://doi.org/10.3390/su16072994

Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2011). Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: An overview. *Technological and Economic Development of Economy,* 17(2), 397-427. https://doi.org/10.3846/20294913.2011.593291

Zawieska, J., & Pieriegud, J. (2018). Smart city as a tool for sustainable mobility and transport decarbonisation. *Transport Policy*, *63*, 39-50. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.11.004

Zhang, Y., Kasraian, D., & van Wesemael, P. (2023). Built environment and micro-mobility. *Journal of Transport and Land Use*, *16*(1), 293-317. https://www.jstor.org/stable/48758162

Ziemba, P., & Gago, I. (2022). Compromise multi-criteria selection of E-scooters for the vehicle sharing system in Poland. *Energies*, *15*(14), 5048. https://doi.org/10.3390/en15145048

Zuo, T., & Wei, H. (2019). Bikeway prioritization to increase bicycle network connectivity and bicycle-transit connection: A multi-criteria decision analysis approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *129*, 52-71. https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.08.003

EKLER

EK1. Sürdürülebilirlik Alt Kriterleri Karşılaştırmalı Önem ve TFN İfadeleri	
Açıklama	**Uzman 1**
Kod	MC11>MC14=MC12=MC16>MC18=MC15=MC19>MC13=MC17
Dilsel İfade	EÖ, AÖ, AÖ, AÖ, OÖ, OÖ, OÖ, ÇÖ, ÇÖ
TFN'ler	(1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2) (3/2, 2, 5/2) (3/2, 2, 5/2) (5/2, 3, 7/2) (5/2, 3, 7/2)
Uzman 2	
Kod	MC12> MC11= MC18> MC19=MC16>MC15=MC13=MC14=MC17
Dilsel İfade	EÖ, AÖ, AÖ, OÖ, OÖ, ÇÖ, ÇÖ, ÇÖ, ÇÖ
TFN'ler	(1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2) (3/2, 2, 5/2) (5/2, 3, 7/2) (5/2, 3, 7/2) (5/2, 3, 7/2) (5/2, 3, 7/2)
Uzman 3	
Kod	MC12=MC11>MC18=MC16=MC17>MC14=MC15>MC19=MC13

Dilsel İfade	EÖ, EÖ, AÖ, AÖ, AÖ, OÖ, OÖ, ÇÖ, ÇÖ
TFN'ler	(1, 1, 1) (1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2) (3/2, 2, 5/2) (5/2, 3, 7/2) (5/2, 3, 7/2)
Uzman 4	
Kod	MC11>MC12=MC19>MC18>MC13=MC15>MC14=MC16=MC17
Dilsel İfade	EÖ, AÖ, AÖ, OÖ, ÇÖ, ÇÖ, KÖ, KÖ, KÖ
TFN'ler	(1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2) (5/2, 3, 7/2) (5/2, 3, 7/2) (7/2, 4, 9/2) (7/2, 4, 9/2) (7/2, 4, 9/2)
Uzman 5	
Kod	MC11>MC12=MC18=MC19>MC17>MC15=MC13>MC14=MC16
Dilsel İfade	EÖ, AÖ, AÖ, AÖ, OÖ, ÇÖ, ÇÖ, KÖ, KÖ
TFN'ler	(1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2) (5/2, 3, 7/2) (5/2, 3, 7/2) (7/2, 4, 9/2) (7/2, 4, 9/2)

EK2. Akıllılık Alt Kriterleri Karşılaştırmalı Önem ve TFN İfadeleri	
Açıklama	**Uzman 1**
Kod	MC23=MC21>MC25=MC22>MC26=MC24
Dilsel İfade	EÖ, EÖ, AÖ, AÖ, OÖ, OÖ
TFN'ler	(1, 1, 1) (1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2) (3/2, 2, 5/2)
Uzman 2	
Kod	MC23>MC25>MC21=MC24>MC26>MC22
Dilsel İfade	EÖ, AÖ, OÖ, OÖ, ÇÖ, KÖ
TFN'ler	(1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2) (3/2, 2, 5/2) (5/2, 3, 7/2) (7/2, 4, 9/2)

Uzman 3	
Kod	MC21=MC25=MC23>MC26>MC24=MC22
Dilsel İfade	EÖ, EÖ, EÖ, AÖ, OÖ, OÖ
TFN'ler	(1, 1, 1) (1, 1, 1) (1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2) (3/2, 2, 5/2)
Uzman 4	
Kod	MC23>MC21>MC25=MC22>MC26>MC24
Dilsel İfade	EÖ, AÖ, OÖ, OÖ, ÇÖ, KÖ
TFN'ler	(1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2) (3/2, 2, 5/2) (5/2, 3, 7/2) (7/2, 4, 9/2)
Uzman 5	
Kod	MC21>MC25=MC26>MC23>MC22>MC24
Dilsel İfade	EÖ, AÖ, AÖ, OÖ, ÇÖ, KÖ
TFN'ler	(1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2) (5/2, 3, 7/2) (7/2, 4, 9/2)

EK3. Dirençlilik Alt Kriterleri Karşılaştırmalı Önem ve TFN İfadeleri	
Açıklama	**Uzman 1**
Kod	MC31=MC34>MC33>MC32
Dilsel İfade	EÖ, EÖ, AÖ, OÖ
TFN'ler	(1, 1, 1) (1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2)
Uzman 2	
Kod	MC32>MC33>MC34>MC31
Dilsel İfade	EÖ, OÖ, ÇÖ, KÖ
TFN'ler	(1, 1, 1) (3/2, 2, 5/2) (5/2, 3, 7/2) (7/2, 4, 9/2)
Uzman 3	
Kod	MC32>MC33=MC34>MC31
Dilsel İfade	EÖ, AÖ, AÖ, ÇÖ

TFN'ler	(1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (5/2, 3, 7/2)
Uzman 4	
Kod	MC31>MC34>MC33>MC32
Dilsel İfade	EÖ, AÖ, OÖ, KÖ
TFN'ler	(1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2) (7/2, 4, 9/2)
Uzman 5	
Kod	MC31>MC34>MC33>MC32
Dilsel İfade	EÖ, AÖ, OÖ, KÖ
TFN'ler	(1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2) (7/2, 4, 9/2)

TEZ İNTİHAL RAPORU

Çok Modlu Mikro Hareketlilik Sistemlerinin Dirençli Sürdürülebilir Ve Akıllı Kent Lojistiği Çerçevesinde Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımıyla Modellenmesi

Yazar Salih Özdemir

Gönderim Tarihi: 05-Kas-2025 08:13ÖS (UTC+0300)
Gönderim Numarası: 2804456289
Dosya adı: Tez_intihal.docx (4.02M)
Kelime sayısı: 22883
Karakter sayısı: 165427

Çok Modlu Mikro Hareketlilik Sistemlerinin Dirençli Sürdürülebilir Ve Akıllı Kent Lojistiği Çerçevesinde Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımıyla Modellenmesi

ORİJİNALLİK RAPORU

%4	%4	%3	%1
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	Güllüce, Selin. "Ödeme Kaydedici Cihazlar için kullanılan Bulut Sisteminin Bütünleşik Bulanık Dematel ve Bulanık Kalite Fonksiyon Yayılımı Yöntemleri Ile iyileştirilmesi", Sakarya Universitesi (Turkey), 2022 Yayın	%1
2	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	<%1
3	Karlı, Rukiye Gizem Öztaş. "Akıllı kentsel hareketlilik bağlamında paylaşımlı mikromobiliteye yönelik mod değiştirme potansiyelinin analizi", Bartin University (Turkey), 2024 Yayın	<%1
4	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	<%1
5	polen.itu.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1

41	acikerisim.erbakan.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
42	ijerdergisi.com İnternet Kaynağı	<%1
43	tr.scribd.com İnternet Kaynağı	<%1
44	www.manualzz.com İnternet Kaynağı	<%1
45	www.undp.org İnternet Kaynağı	<%1
46	Çelik, Zeliyha. "Ditiyooksamid ve Tiyooksamid Formaldehit Reçineleriyle Gümüş Iyonlarının Çözeltilerden Geri Kazanımı", Sakarya Universitesi (Turkey), 2022 Yayın	<%1

Alıntıları çıkart Kapat
Bibliyografyayı Çıkart Kapat
Eşleşmeleri çıkar < 7 words

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**Salih ÖZDEMİR**

EĞİTİM BİLGİLERİ

Derece	**Kurum**	**Mezuniyet Yılı**
Lisans	**Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, İktisat**	**2017**
Yüksek Lisans	**Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Ana Bilim Dalı**	**2020**
Doktora	**Kayseri Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Uluslararası Ticaret ve Lojistik Ana Bilim Dalı**	**2025**

YAYINLAR

Makaleler

Özdemir, S. (2019). Alternatif ve nükleer enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki nedensellik ilişkisi: Fransa örneği. *Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi*, *4*(3), 302-313.

Topcu, M., & Özdemir, S. (2019). Türkiye ve Avro Bölgesi Arasındaki İkili Ticaretin Analizi: Marshall-Lerner Koşulu Geçerli mi? *İzmir İktisat Dergisi*, *34*(4), 481-489.

Özdemir, S., Topcu, M., & Emirmahmutoglu, F. (2022). Bilateral J-Curve between Turkey and The Eurozone. *Journal of Mehmet Akif Ersoy University Economics and Administrative Sciences Faculty*, *9*(2), 1420-1432.

Ozdemir, S., Demirel, N., Zaralı, F., & Çelik, T. (2024). Multi-criteria assessment framework for evaluation of Green Deal performance. *Environmental Science and Pollution Research*, *31*(3), 4686-4704.

Ozdemir, S. (2024). Unveiling environmental resilience: A data-driven multi-criteria decision-making approach. *Environmental Impact Assessment Review*, *108*, 107607.

Özdemir, S., & Elmacıoğlu, N. (2025). Türkiye'nin Çevresel Dirençliliğinin Değerlendirilmesi: İklim Adaptasyonu ve Sürdürülebilirlik Üzerine Çok Kriterli Analiz. *Verimlilik Dergisi*, *59*(2), 417-432.

Topcu, M., Ozdemir, S., & Demirel, N. (2025). Exploring the role of socio-economic factors in European Green Deal performance. *Environmental Conservation*, 1-8.

Kitapta Bölüm

Öcal, O., Elmacıoğlu N., & Özdemir, S. (2024). Vergi politikaları çerçevesinde sosyal harcamaların toplumsal etkileri. E. Öz, M. Eşgünoğlu Bulmuş, A. Buyrukoğlu & C. Sevinç Ceyhan (Eds.) içinde, *Ekonomik kriz ve vergi politikaları* (ss. 108-125). Ekin Basın Yayın Dağıtım.

Özdemir, S. & Topcu, E. (2025). Ticaret Savaşlarının Türkiye'de Lojistik Maliyetlere Etkisi, Ocal, O. & Han, V. (Ed.), *Küreselleşme ve Sürdürülebilirlik: Türkiye'nin Uluslararası Ticaret ve Lojistik Stratejileri* (s. 178-193). Türkiye: NEUPRESS. ISBN: 978-625-8684-43-8

Özdemir, S., & Demirel, N. (2024). Sürdürülebilir ulaşım stratejilerinin iklim değişikliği eylem planlarındaki yeri ve önemi. N.S. Tülüce (Ed.) içinde, *Sosyal ekonomik ve çevresel kalkınma için sürdürülebilirlik bilimi* içinde (ss. 171-195). Çizgi Kitabevi.

Bildiriler

S. Özdemir, *Türkiye'nin Lojistik Rekabetçiliğinin Değerlendirilmesi: Agility Gelişmekte Olan Pazarlar Lojistik Endeksi Üzerine Bir İnceleme.* Uluslararası Ticaret ve Lojistik 2024 Kongresi, 19-20 Aralık 2024.

S. Özdemir, N. Demirel & T. Çelik, *Sürdürülebilirlik Performansının Değerlendirilmesinde Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi ve Yeşil İnsan Kaynakları Yönetimi İlişkisi*. 1. Uluslararası İnsan Kaynakları Yönetimi Kongresi, 14-15 Ekim 2023.

S. Özdemir, N. Aktaş, T. Çelik & N. Demirel, *Investigating the Causal Linkages Among Economic Growth, Transportation, and CO_2 Emission in Turkey.* 2nd International Symposium on Sustainable Logistics "Circular Economy", 23 Haziran 2022, 24 Haziran 2022, 978-605-9613-12-5, 10 – 10

SALİH ÖZDEMİR

DOKTORA TEZİ

2025

Uygulama ve Proje Odaklı, İş Dünyası ile Bütünleşen Üniversite