KAYSERİ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ULUSLARASI TİCARET VE LOJİSTİK ANABİLİM DALI

SÜRDÜRÜLEBİLİR KENT BAKIŞ AÇISIYLA SON ADIM TESLİMAT SENARYOLARININ BULANIK Z-AHP VE BULANIK Z-WASPAS İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

DOKTORA TEZİ

FATMANUR ÖZER

DANIŞMAN
PROF. DR. NESLİHAN DEMİREL



2025

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

SÜRDÜRÜLEBİLİR KENT BAKIŞ AÇISIYLA SON ADIM TESLİMAT SENARYOLARININ BULANIK Z-AHP VE BULANIK Z-WASPAS İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Doktora Tezi

Hazırlayan
Fatmanur ÖZER

Danışman
Prof. Dr. Neslihan DEMİREL

Jüri Üyeleri
1. Prof. Dr. Neslihan DEMİREL
2. Doç. Dr. Fulya ZARALI
3. Doç. Dr. Yılmaz DELİCE
4. Doç. Dr. Tunahan AVCI
5. Dr. Öğretim Üyesi Eda ÇINAROĞLU

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.

Fatmanur ÖZER

İmza

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

T.C.
Kayseri Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğü

Anabilim Dalı : Uluslararası Ticaret ve Lojistik
Program Adı : Doktora
Tez Başlığı : Sürdürülebilir Kent Bakış Açısıyla Son Adım Teslimat Senaryolarının Bulanık Z-Ahp ve Bulanık Z-Waspas ile Değerlendirilmesi

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmasının a) Giriş, b) Ana bölümler ve c) Sonuç kısımlarından oluşan (Kapak, Önsöz, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) toplam 203 sayfalık kısmına ilişkin 05/12/2025 tarihinde ***Turnitin*** intihal programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan özgünlük raporuna göre tezin benzerlik oranı**: % 2'**dır.

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. 05/12/2025

Danışman	Öğrenci
Prof. Dr. Neslihan DEMİREL	Fatmanur ÖZER
İmza	İmza

KILAVUZA UYGUNLUK

"Sürdürülebilir Kent Bakış Açısıyla Son Adım Teslimat Senaryolarının Bulanık Z-Ahp ve Bulanık Z-Waspas ile Değerlendirilmesi" başlıklı Doktora tezi, Kayseri Üniversitesi Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Fatmanur ÖZER

İmza

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Neslihan DEMİREL

İmza

Uluslararası Ticaret ve Lojistik ABD Başkanı

Dr. Öğretim Üyesi Ayhan DURAK

İmza

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Prof. Dr. Neslihan DEMİREL danışmanlığında Fatmanur ÖZER tarafından hazırlanan "Sürdürülebilir Kent Bakış Açısıyla Son Adım Teslimat Senaryolarının Bulanık Z-Ahp ve Bulanık Z-Waspas ile Değerlendirilmesi" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından Kayseri Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Uluslararası Ticaret ve Lojistik Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

28 / 11 / 2025

JÜRİ:

Danışman	: **Prof. Dr. Neslihan DEMİREL**	İmza
Üye	: **Doç. Dr. Fulya ZARALI**	İmza
Üye	: **Doç. Dr. Yılmaz DELİCE**	İmza
Üye	: **Doç. Dr. Tunahan AVCI**	İmza
Üye	: **Dr. Öğretim Üyesi Eda ÇINAROĞLU**	İmza

ONAY:

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

……. /……../ ……

Doç. Dr. Ahmet TERZİ

İmza

Enstitü Müdürü

ÖN SÖZ / TEŞEKKÜR

Doktora tez çalışmamın hazırlanması sürecinde, bilgi ve deneyimleriyle beni yönlendiren, her aşamada yapıcı eleştiri ve önerileriyle çalışmama değer katan tez danışmanım Prof. Dr. Neslihan Demirel'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Kendisi, yalnızca akademik anlamda değil, araştırma disiplinim ve bakış açımın gelişmesinde de önemli bir rol oynamıştır.

Tez izleme komitesi ve jüri üyeleri Doç. Dr. Fulya Zaralı ve Doç. Dr. Yılmaz Delice'ye, çalışmam hakkındaki kıymetli değerlendirmeleri, yol gösterici eleştirileri ve yapıcı katkıları için teşekkür ederim. Sağladıkları geri bildirimler, bu tezin son hâlini almasına önemli ölçüde katkı sağlamıştır.

Doktora eğitimim süresince bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım Doç. Dr. Burak Gülmez'e desteği için teşekkür ederim. Bu tez çalışmasında değerlendirmelerini ve uzmanlıklarını benimle paylaşan, uzman görüşü süreçlerine gönüllü olarak katkı sağlayan tüm uzmanlara da teşekkür ederim. Verdikleri zaman ve sağladıkları bilgiler, çalışmanın uygulama boyutunun şekillenmesinde belirleyici olmuştur.

Akademik yolculuğum boyunca manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim, sabırları, anlayışları ve koşulsuz destekleriyle beni güçlendiren sevgili aileme; özellikle annem, babam ve canım kardeşime sonsuz teşekkür ederim. Onların varlığı, bu sürecin en zorlu dönemlerinde dahi yoluma devam edebilmemi sağlamıştır.

Son olarak, doktora sürecinde birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum, fikir alışverişinde bulunduğum ve moral desteğini hissettiğim tüm arkadaşlarıma ve meslektaşlarıma teşekkür ederim.

Bu çalışma, katkı ve destekleriyle yanımda olan tüm bu kişi ve kurumların ortak emeği sayesinde ortaya çıkmıştır.

Fatmanur ÖZER, Kayseri, 2025

SÜRDÜRÜLEBİLİR KENT BAKIŞ AÇISIYLA SON ADIM TESLİMAT SENARYOLARININ BULANIK Z-AHP VE BULANIK Z-WASPAS İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Fatmanur ÖZER

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

ÖZET

E-ticaretin hızla büyümesi, kentsel teslimat taleplerini artırarak geleneksel lojistik sistemler üzerinde operasyonel, ekonomik, sosyal ve çevresel baskılar oluşturmaktadır. Kitle kaynaklı teslimat modelleri, paylaşım ekonomisi ilkelerine dayanan alternatif çözümler sunmaktadır. Bu tez, sürdürülebilir kentsel lojistik perspektifinden son adım teslimatta kitle kaynaklı çözümlerin çok kriterli karar verme yöntemleriyle değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Çalışmada mikro-hub kullanımı, taşıma araçları paylaşımı, PUDO noktaları ve kitle kaynaklı işgücü entegrasyonunu içeren beş farklı senaryo tanımlanmıştır. Bu senaryolar, ekonomik, çevresel, sosyal ve teknik boyutları kapsayan 18 kriter altında değerlendirilmiştir. Bulanık Z-AHP yöntemiyle kriter ağırlıkları belirlenmiş, Bulanık Z-WASPAS yöntemiyle alternatifler sıralanmıştır. Uzman belirsizliği ve güvenilirlik düzeylerini birlikte modelleyen Z-sayılar kullanılmıştır. Analiz sonuçları, mikro-hub ve taşıma araçlarının kitle kaynaklı kullanımı ile kitle kaynaklı teslimatın birleştirildiği entegre modelin (A5) en yüksek performansı sergilediğini göstermiştir. Sonuçlar, Bulanık Z-TOPSIS, Bulanık Z-VIKOR ve Bulanık Z-CODAS yöntemleriyle doğrulanmış ve yüksek metodolojik tutarlılık sağlanmıştır. Sonuçlar, entegre lojistik sistemlerin sürdürülebilirlik açısından belirgin avantajlar sağladığını ortaya koymuştur. Kitle kaynaklı son adım teslimatının kentsel lojistikte çevresel etkileri azaltma ve hizmet düzeyini iyileştirme potansiyelini ortaya koyarken, belediyeler ve lojistik işletmeler için uygulanabilir bir seçim ve politik tasarım aracına işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir Kentsel Lojistik, Kitle Kaynaklı Teslimat, Bulanık Z-AHP, Bulanık Z-WASPAS, Son Adım Teslimat

EVALUATION OF LAST-MILE DELIVERY SCENARIOS FRAME SUSTAINABLE URBAN PERSPECTIVE WITH FUZZY Z-AHP AND FUZZY Z-WASPAS

Fatmanur ÖZER

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

ABSTRACT

E-commerce's rapid expansion has intensified urban delivery demand, imposing operational, economic, social, and environmental pressures on traditional logistics systems. Crowdsourced delivery models, grounded in the principles of the sharing economy, offer alternative solutions. This thesis evaluates crowdsourced solutions for last-mile delivery from a sustainable urban logistics perspective using multi-criteria decision-making (MCDM) methods. Five scenarios are defined, encompassing the use of micro-hubs, shared transport vehicles, pick-up and drop-off (PUDO) points, and the integration of crowdsourced labour. These scenarios are assessed against 18 criteria spanning economic, environmental, social, and technical dimensions. Criterion weights are determined using the Fuzzy Z-AHP method, and alternatives are ranked using the Fuzzy Z-WASPAS method. Z-numbers are employed to jointly model expert uncertainty and reliability. The analysis indicates that the integrated model (A5)—combining micro-hub deployment and crowdsourced vehicle use with crowdsourced delivery—exhibits the highest performance. The results are validated via Fuzzy Z-TOPSIS, Fuzzy Z-VIKOR, and Fuzzy Z-CODAS, demonstrating high methodological consistency. Overall, the findings reveal that integrated logistics systems provide clear advantages in terms of sustainability. Crowdsourced last-mile delivery shows potential for reducing environmental impacts while improving service levels, thereby offering a practical tool for selection and policy design for municipalities and logistics operators.

Keywords: Sustainable Urban Logistics, Crowdsourced Delivery, Fuzzy Z-AHP, Fuzzy Z-WASPAS, Last-Mile Delivery

İÇİNDEKİLER

SÜRDÜRÜLEBİLİR KENT BAKIŞ AÇISIYLA SON ADIM TESLİMAT SENARYOLARININ BULANIK Z-AHP VE BULANIK Z-WASPAS İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK ..... **i**
TEZ İNTİHAL RAPORU TESLİM FORMU ..... **ii**
KILAVUZA UYGUNLUK ..... **iii**
KABUL VE ONAY TUTANAĞI ..... **iv**
ÖN SÖZ / TEŞEKKÜR ..... **v**
ÖZET ..... **vi**
ABSTRACT ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **viii**
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ ..... **xii**
TABLOLAR LİSTESİ ..... **xiv**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **xvi**
GİRİŞ **1**

BİRİNCİ BÖLÜM
SON ADIM LOJİSTİK

1.1. Son Adım Lojistiğin Tanımı ve Kapsamı 5
1.2. Son Adım Lojistik Teması 6
1.2.1. Yeni Teknolojiler ve Yenilikçi Uygulamalar 7
1.2.1.1. Ürün Teslimat Çözümleri 8
1.2.1.2. Yenilikçi Taşıma Araçları 14
1.2.1.3. Yeni İş Modelleri 18
1.2.1.4. İş birliğine Dayalı Yaklaşımlar 21
1.2.2. Operasyonel Optimizasyon 23
1.2.2.1. Rotalama 23
1.2.2.2. Ulaşım Planlaması 24

1.2.2.3. Çizelgeleme 25
1.2.2.4. Tesis Yeri Seçimi 26
1.2.3. Tedarik Zinciri Yapıları 26
1.2.3.1. Lojistik ve Tedarik Zinciri Tasarımı 27
1.2.3.2. Kentsel Yük Terminalleri 27
1.2.3.3. Kentsel Planlama 28
1.2.3.4. Kentsel Yük Yapıları 29
1.2.3.5. Ağ Tasarımı 29
1.2.4. Performans Ölçümü 30
1.2.4.1. Çevresel Performans 30
1.2.4.2. Müşteri Odaklı Performans 30
1.2.4.3. Ekonomik Performans 30
1.2.5. Politikalar 31
1.3. Son Adım Lojistik Süreçlerinde Önerilen Çerçeve 31
1.3.1. Son Adım Lojistik 32
1.3.2. Son Adım Dağıtım 33
1.3.3. Son Adım Sipariş Karşılama 34
1.3.4. Son Adım Taşıma 34
1.3.5. Son Adım Teslimat 35

İKİNCİ BÖLÜM

SÜRDÜRÜLEBİLİR KENTSEL LOJİSTİK

2.1. Kentsel Lojistik Kavramı ve Kapsamı 36
2.2. Sürdürülebilirlik ve Sürdürülebilirliğin Bileşenleri 39
2.3. Sürdürülebilir Kent Kavramı 42
2.4. Sürdürülebilir Kentsel Lojistik 43
2.5. Sürdürülebilir Kentsel Lojistikte Son Adım Yönetimi 43

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

KİTLE KAYNAKLI SİSTEMLER VE SON ADIM LOJİSTİKTE UYGULAMA ALANLARI

3.1. Kitle Kaynaklı Sistemlerin Tanımı ve Kapsamı 45
3.2. Son Adım Lojistikte Kitle Kaynak Kullanımı 46

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
LİTERATÜR TARAMASI

4.1. Son Adım Lojistikte Kitle Kaynak Kullanımı 51
4.2. Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinde Z- Bulanık Sayıların Kullanılması 63

BEŞİNCİ BÖLÜM
YÖNTEM

5.1. Karar Verme Yaklaşımları 77
5.2. Bulanık Mantık 79
5.2.1. Bulanık Mantık ve Bulanık Küme 79
5.2.2. Bulanık Karar Verme 80
5.2.3. Bulanık Üçgensel Sayılar 81
5.2.4. Yamuk Bulanık Sayılar 82
5.3. Bulanık Z Sayılar 83
5.4. Bulanık Z-AHP Yöntemi 85
5.5. Bulanık Z-WASPAS Yöntemi 88

ALTINCI BÖLÜM
UYGULAMA VE ANALİZ

6.1. Uygulamanın Amacı ve Önemi 91
6.2. Kriterlerin Belirlenmesi 92
6.2.1. Ekonomik Kriterler 92
6.2.2. Çevresel Kriterler 93
6.2.3. Sosyal Kriterler 94
6.2.4. Teknik Kriterler 95
6.3. Alternatiflerin Oluşturulması 97
6.4. Yöntem 101
6.5. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi 104
6.6. Alternatif Senaryolarının Sıralanması 110
6.7. Sonuçların Yorumlanması 121
6.8. Duyarlılık Analizi 124
6.9. Karşılaştırmalı Analizler 127

YEDİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

KAYNAKÇA 135

EKLER 152

TEZ İNTİHAL RAPORU 188

ÖZGEÇMİŞ 192

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simgeler

CO_2 : Karbon di-oksit

Kısaltmalar

LHS : Lojistik hizmet sağlayıcı

ÇKKV : Çok Kriterli Karar Verme

Bulanık Z-AHP : Bulanık Z- Analytic Hiyerarşi Süreci

Bulanık Z-WASPAS : Bulanık Z-Weighted Aggregated Sum Product Assessment

B2C : İşletmeden tüketiciye

VR : Virtual Reality/ Sanal gerçeklik

AI : Artificial Intelligence/ Yapay zekâ

AR : Augmented Reality/ Artırılmış gerçeklik

CDP : Collection and Delivery Point/ Toplama ve dağıtım noktaları

UAHD : Unattended Home Delivery/ Katılımsız ev teslimatı

AHD : Attended Home Delivery/ katılımlı ev teslimatı

PUDO : Teslim alma bırakma noktası

T&T : Tıkla ve topla

C2C : Müşteriden müşteriye

IoT : Nesnelerin interneti

EV : Elektrikli araçlar

FCEV : Fuel Cell Electric Vehicles/ Yakıt hücreli elektrikli araçlar

EL-V : Elektrikli L-kategorisi araçlar

CEP : Kurye, ekspres ve paket

RFID : Radyo frekansı ile tanımlama

GPS : Küresel konumlama sistemi

BİT : Bilgi ve iletişim teknolojileri

B2B : İşletmeden işletmeye

TSP : Traveling Salesman Problem/ Gezgin Satıcı Problemi

ARP : Araç Rotalama Problemi

HARP : Heterojen Araç Rotalama Problemi

UCC : Urban Consalidation Center/ Kentsel Konsolidasyon Merkezi

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Ürün teslim çözümleri 14
Tablo 1.2. Yenilikçi kargo taşıma araçların karşılaştırmalı özellikleri 18
Tablo 5.1. Kriterlerin ikili karşılaştırmaları için üçgensel bulanık Z-sayı kısıtlama ölçeği 87
Tablo 5.2. Üçgensel Z-bulanık sayılarıyla birlikte güvenilirlik ölçeği 88
Tablo 6.1. Kriterler seti 96
Tablo 6.2. Bulanık Z-sayıların klasik bulanık sayılara çevrilmesi 106
Tablo 6.3. Kriterler için ikili karar matrisi 106
Tablo 6.4. Bulanık Z-AHP için geometrik ortalama değerleri 107
Tablo 6.5. Normalize ağırlık vektörü ve durulaştırılmış normalize kriter ağırlıkları 108
Tablo 6.6. Durulaştırılmış kriter ağırlıkları 109
Tablo 6.7. Durulaştırılmış normalize kriter ağırlığı 110
Tablo 6.8. Bulanık Z-sayıların sıradan bulanık sayılara çevrilmesi 111
Tablo 6.9. Başlangıç karar matrisi 114
Tablo 6.10. Normalize karar matrisi 115
Tablo 6.11. Bulanık Z-WASPAS için en büyük skor değerini veren bulanık sayılar . 116
Tablo 6.12. Bulanık Z-WASPAS - kriter 1 için normalize karar matrisi değerleri 116
Tablo 6.13. Bulanık Z-WASPAS - ağırlıklı toplam modeli için normalize edilmiş bulanık karar matrisi 117
Tablo 6.14. Bulanık Z-WASPAS - ağırlıklı çarpım modeli için normalize edilmiş bulanık karar matrisi 118
Tablo 6.15. Bulanık Z-WASPAS - kriter 1 için ağırlıklı toplam karar matrisi değerleri 119
Tablo 6.16. Bulanık Z-WASPAS - kriter 1 için ağırlıklı çarpım karar matrisi değerleri 119
Tablo 6.17. Bulanık Z-WASPAS - ağırlıklı toplam modeli ve ağırlıklı çarpım modeli bulanık karar matrisi son durumu 119
Tablo 6.18. Bulanık Z-WASPAS için her bir alternatife ait bütünleşik fayda fonksiyonu değerleri 120
Tablo 6.19. Bulanık Z-WASPAS - alternatif 1 için bütünleşik fayda fonksiyonu değeri 120

Tablo 6.20. Bulanık Z-WASPAS - alternatiflerin skor değerleri ve sıralamaları 121
Tablo 6.21. $\lambda = 0$ Değerine dayalı duyarlılık hesaplamaları 124
Tablo 6.22. Bulanık Z-TOPSIS için sonuç tablosu 127
Tablo 6.23. Bulanık Z-VIKOR için S, R, Q değerleri 127
Tablo 6.24. Bulanık Z-CODAS için alternatiflerin sıralanması 128
Tablo 6.25. Alternatiflerin farklı yöntemlere göre sıralamaları 128

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Son adım lojistik çerçevesi 32
Şekil 1.2. Son adım dağıtım aşamaları 34
Şekil 5.1. Bulanık üçgensel sayı, M 82
Şekil 5.2. Basit bir bulanık Z-sayısı gösterimi, $Z = A, B$ 84
Şekil 5.3. Bir Z-sayısından dönüştürülmüş klasik bulanık sayı 85
Şekil 6.1. Alternatif 1 için senaryo 98
Şekil 6.2. Alternatif 2 için senaryo 99
Şekil 6.3. Alternatif 3 için senaryo 100
Şekil 6.4. Alternatif 4 için senaryo 100
Şekil 6.5. Alternatif 5 için senaryo 101
Şekil 6.6. Karar modeli 103

GİRİŞ

Küreselleşme hem tüketicilerin hem de işletmelerin alışkanlıklarında köklü dönüşümlere yol açarak ülkeler arası ticaretin kolaylaşmasını sağlamıştır. Küreselleşmeyle birlikte teknolojik gelişmeler, çevrim içi alışverişin önem kazanmasına neden olmuş, fiziksel mağazalara ihtiyaç duymadan tüketiciler ürün satın alabilme imkânı bulmaya başlamıştır. Nitekim 2021 yılı itibariyle Avrupa'daki internet kullanıcılarının %74'ü çevrim içi alışveriş yapmıştır. Bu eğilim doğrultusunda, tüketicilerin çevrim içi alışverişten beklentileri de evrilmiş, kişiselleştirilmiş hizmetler ve daha yüksek düzeyde kolaylık talebi öne çıkmaya başlamıştır. Tüketici ve işletme yapılarındaki bu yapısal değişim, COVID-19 pandemisi ve buna bağlı olarak uygulanan kısıtlamalarla daha da hız kazanmış, çevrim içi alışverişin toplumsal kabul düzeyi önemli ölçüde artmıştır. Bu çerçevede işletmeler, rekabet üstünlüğü elde edebilmek adına teslimat süreçlerini daha hızlı ve ekonomik hale getirmeye yönelik stratejiler geliştirmeye başlamıştır.

Tüm bu gelişmelerin lojistik faaliyetlere olan etkisi özellikle de son adım teslimat (last-mile delivery) süreçlerinde belirgin şekilde hissedilmektedir. Son adım teslimat, siparişin tüketiciye ulaştırılmasının son adımını tanımlayan bir kavramdır. Küresel ölçekte mal teslimatına yönelik artan talep, doğal olarak son adım teslimat hizmetlerine olan talebi de artırmaktadır. Son adım teslimat, tedarik zincirinin en maliyetli ve en verimsiz halkası olarak değerlendirilmektedir (Gevaers vd., 2014). Ayrıca, bu süreç kentsel alanlarda hava ve gürültü kirliliği, trafik sıkışıklığı ve kazalar gibi çeşitli çevresel ve sosyal dışsallıklara neden olmaktadır. Artan kent nüfusu ve hızlı kentleşme eğilimi göz önünde bulundurulduğunda, söz konusu olumsuzlukların gelecekte daha da artacağı öngörülmektedir. Öyle ki, 2030 yılına gelindiğinde dünya nüfusunun yaklaşık %60'ının kentsel alanlarda yaşayacağı Avrupa Komisyonu'nun kentleşmeye ait tahminleri arasında yer almaktadır. Bu nedenle, son adım lojistik faaliyetlere ilişkin hem içsel hem de dışsal maliyetlerin azaltılmasına yönelik acil ve sürdürülebilir çözümler geliştirilmesi gerekmektedir.

Son yıllardaki özellikle ulaşım teknolojilerindeki ilerlemeler, akıllı lojistik uygulamaları ve teslimat sürelerini minimize eden stratejiler sayesinde, lojistik operasyonlar önemli ölçüde verim kazanmış, teslimat süreçleri daha hızlı ve güvenilir hale gelmiştir. Bu gelişmeler, lojistik sektöründe daha entegre bir yapı oluşmasına zemin hazırlamıştır. Bu dönüşümün en dikkat çeken çıktılarından biri ise son adım lojistik faaliyetlerinde alternatif modellerin ortaya çıkması olmuştur. Bu modellerden biri olan kitle kaynaklı lojistik (crowdsourced logistics), özellikle bireysel gönderilerin son adım teslimatında kullanılması nedeniyle öne çıkmakta ve lojistik hizmet sağlayıcıların (LHS) operasyonlarını etkinleştirmede ve faaliyetlerinin çevresel etkilerini azaltıcı çözümler üretmelerinde fayda sağlamaktadır. Kitle kaynaklı lojistik, geleneksel lojistik yapıların sunduğu sınırlı esnekliğe karşın daha çevik, erişilebilir ve düşük maliyetli çözümler sunarak lojistik alanında yenilikçi bir yaklaşım oluşturmaktadır. Bu doğrultuda LHS'lerin ve e-perakendecilerin kitle kaynaklı stratejileri kapsamlı bir şekilde analiz etmeleri, bu tür sistemlerin perakendecilere, müşterilere, topluma ve kendilerine sağlayacağı potansiyel faydaları değerlendirmeleri gerekmektedir. Geleneksel son adım lojistik yapılarıyla kıyaslandığında, bu iş birlikçi stratejilerin sağlayabileceği operasyonel ve çevresel kazanımlar, lojistik sektörünün geleceğine yön verebilecek niteliktedir.

Her ne kadar son adım lojistik süreçlerinde iyileştirme yapılması karmaşık ve çok disiplinli bir yaklaşım gerektirse de literatürde bu alandaki mevcut sorunlara yönelik kapsamlı incelemeler yapılmakta ve sektörü dönüştürmeye yönelik yenilikçi çözüm önerileri geliştirilmektedir. Bu bağlamda, oldukça parçalı bir yapıya sahip olan bu araştırma alanına bütüncül ve sistematik bir bakış açısıyla yaklaşılması hem bilimsel hem de uygulamaya yönelik katkılar açısından kritik öneme sahiptir. Geleneksel sistemler, genellikle tam zamanlı çalışanlara ya da sabit sözleşmeli sürücülere dayandığı için esneklik konusunda sınırlıdır. Oysaki kitle kaynaklı lojistik platformları, LHS'ler ve e-perakendeciler ile bağımsız kuryeleri dijital ortamda eşleştirerek görev dağılımını gerçek zamanlı şekilde gerçekleştirebilmektedir. Bununla birlikte, bu sistemlerin uzun vadeli stratejik etkileri, özellikle emek arzındaki belirsizlik, hizmet sürekliliği, ücretlendirme adaleti ve yasal düzenlemeler bağlamında hala tam anlamıyla anlaşılmamıştır. Ayrıca çevresel faydanın ne ölçüde olduğu da kullanılan algoritmalar, güzergâh verimliliği ve taşıma davranışları gibi değişkenlere bağlıdır. Bu nedenle, kitle kaynaklı stratejilerin sürdürülebilir kentsel lojistik üzerindeki potansiyel katkısının bütüncül olarak değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu tezde, sürdürülebilir kentsel lojistik bağlamında kitle kaynaklı farklı iş birliklerine dayalı senaryoların değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, karar verme sürecindeki belirsizlikleri ve öznel yargıları modelleyen bir karar destek çerçevesi geliştirilmiştir. Çalışma konusu, çevresel, ekonomik, sosyal ve teknik sürdürülebilirlik boyutlarını aynı anda gözeten, birbirleriyle etkileşimli çok sayıda kriter tarafından belirlenmekte ve bu durum karmaşık bir karar verme süreci doğurmaktadır. Bu nedenle, belirsizliği ve uzman görüşlerindeki öznel yargıları temsil etmeye elverişli olan Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yaklaşımı, özellikle bulanık uzantılarıyla, alternatif kitle kaynaklı teslimat senaryolarının sistematik biçimde değerlendirilmesi ve önceliklendirilmesi için uygun bir araçtır. Tezde, kriter ağırlıklarının belirlenmesinde Bulanık Z- Analytic Hiyerarşi Süreci (Bulanık Z-AHP) yöntemi kullanılmış olup senaryoların performans değerlendirmesi ise Bulanık Z-Weighted Aggregated Sum Product Assessment (Bulanık Z-WASPAS) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemler, karar vericilerin değerlendirmelerindeki belirsizliklerini ve bu değerlendirmelere ilişkin güven düzeylerini modellemeye olanak tanıyarak analiz sürecinin güvenilirliğini artırmaktadır. ÇKKV literatüründe nispeten yeni olan ve üstünlükleri nedeniyle farklı karar problemlerine uygulanmaya başlanılan bu yöntemlerin literatürde ne kitle kaynaklı lojistik problemlerine ne de sürdürülebilir kentsel lojistik kapsamında uygulamasına rastlanmamıştır.

Bu kapsamda tezde benimsenen çerçeve gerek akademik literatürdeki boşlukları doldurmak gerekse karar alıcılar, şehir planlamacıları ve lojistik sektörü profesyonelleri için uygulanabilir stratejiler sunmak amacı taşımaktadır. Günümüzde artan kentleşme ve çevrim içi alışveriş talebiyle birlikte daha dayanıklı, esnek ve çevresel açıdan sürdürülebilir lojistik ağlarının inşası, sadece rekabet avantajı değil, aynı zamanda toplumsal bir gereklilik hâline gelmektedir.

Tez, yedi bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde tez araştırmasının problemi, amacı, kapsamı, önemi ve izlenen yöntem özetlenerek sürdürülebilir kent bakış açısıyla son adım lojistik sorunsalı çerçevelenmektedir. Birinci bölümde son adım lojistiğe ilişkin temel tanım ve kapsamlar, ikinci bölümde sürdürülebilir kent hedefleriyle uyumlu kentsel lojistik anlayışı ve üçüncü bölümde de kitle kaynaklı sistemler ve son adım lojistikte uygulama alanları üzerinde durulmuştur. Dördüncü bölümde literatür taraması, beşinci bölümde kullanılan yöntemin metodolojisi sunulmaktadır. Altıncı bölümde kriterlerin

belirlenmesi, Bulanık Z-AHP ile kriter ağırlıklandırılması ve Bulanık Z-WASPAS ile senaryoların değerlendirilmesine ilişkin adımlar açıklanmaktadır. Duyarlılık ve karşılaştırmalı analizler yapılmaktadır. Yedinci bölümde ise çalışmanın genel sonuçları, yönetsel ve akademik çıkarımlar, kısıtlar ve gelecekte yapılabilecek araştırmalara yönelik öneriler ortaya konulmaktadır.

BİRİNCİ BÖLÜM

SON ADIM LOJİSTİK

Bu bölümde araştırmanın arka planı ile son adım lojistiğe ilişkin temel tanım ve kavramlar sunulmaktadır.

1.1. Son Adım Lojistiğin Tanımı ve Kapsamı

"Son adım" (last mile) kavramı ilk olarak telekomünikasyon sektöründe, bir ağın son bağlantı noktasını tanımlamak üzere ortaya çıkmış olup zamanla lojistik bağlamında, özellikle işletmeden tüketiciye (B2C) uzanan teslimat zincirinin son halkasını ifade edecek şekilde evrilmiştir. Günümüzde son adım lojistik (last-mile logistics), bir siparişin, müşteri talebinin siparişe dönüştüğü noktadan (order penetration point) itibaren tüketicinin belirlediği nihai teslimat noktasına kadar olan süreci kapsayan dağıtım aşaması olarak tanımlanmaktadır. Bu süreç, yalnızca fiziksel teslimatı değil, aynı zamanda sipariş toplama, ayıklama, paketleme gibi arka plan faaliyetleriyle birlikte ele alınmakta, diğer bir ifadeyle bu faaliyetleri de kapsamaktadır. Literatürde son adım lojistik kavramı için "son mil lojistik", "son kilometre lojistik", "son adım teslimat" ve "son mil teslimatı" gibi çeşitli terimler de kullanılagelmiş olup bu terimler temelde tedarik zincirinin nihai aşamasına işaret etmektedir. Literatürde yapılan mevcut tanımların çoğu, sürecin özgün yapısal karmaşıklıklarını ve özellikle çevrim içi ticaret ortamında ortaya çıkan yeni ihtiyaçları yeterince kapsamamaktadır. Örneğin, bazı tanımlarda teslimatın başlangıç noktası açıkça belirtilmemekte, mağaza içi sipariş karşılama gibi alternatifler dışarıda bırakılmakta ya da teslimatın yöneldiği nihai varış noktası (örneğin teslimat kutusu, teslimat noktası, toplama-bırakma noktası) yeterince detaylandırılmamaktadır. Bu kavramsal tutarsızlıklar, son adım lojistik süreçlerine ilişkin modellerin tasarımında problemlere yol açmaktadır (Gevaers vd., 2011). Lim ve diğerleri tarafından son adım lojistik aşağıdaki biçimde tanımlanmaktadır (Lim vd., 2018):

"Son adım lojistik, işletmeden tüketiciye yönelik bir teslimat sisteminde, siparişin

tüketiciye özgülenerek ayrıldığı sipariş giriş noktası (order penetration point) ile tüketicinin belirlediği nihai teslimat noktası arasında gerçekleşen, ürünlerin toplanması, paketlenmesi, taşınması ve teslim edilmesini kapsayan süreçtir."

Bu tanım, yalnızca fiziksel teslimatı değil, tedarik zinciri içindeki bilgi ve ürün akışının bütünsel döngüsünü de içermektedir. Süreç genel hatlarıyla üç alt aşamada incelenebilir; ürün temini (source), sipariş hazırlama (make) ve teslimat (deliver). Bu alt aşamalar, siparişin kaynağından alıcıya ulaşmasına kadar olan süreci oluşturan, toplama, paketleme ve teslim alt fazlarıyla örtüşmektedir. Son adım lojistik yapılarının analizinde kullanılan "dağıtım yapısı" (distribution structure) terimi, siparişin hazırlanmasından tüketiciye teslimine kadar olan sürecin bütününü ifade etmektedir. Bu yapı, sipariş toplama (depo ya da mağaza bazlı), taşıma biçimi (perakendecinin filosu ya da LHS) ve teslimat yöntemi (doğrudan teslimat ya da tüketici tarafından teslim alma) gibi öğeleri içermektedir. Bu yapıların seçiminde etkili olan koşul değişkenleri, ürün ve tüketici özellikleriyle uyumlu stratejik kararların verilmesinde kritik öneme sahiptir (Boyer vd., 2004).

Son adım lojistik kavramı akademik literatürde özellikle 2000'li yılların başından itibaren yaygınlaşmaya başlamıştır. Çevrim içi ticaretin hızla büyümesiyle birlikte LHS'ler, son adım lojistikte hız ve maliyet odaklı yoğun bir rekabetle karşı karşıya kalmıştır. Müşterinin evine veya tercih ettiği teslimat noktasına siparişin teslimi, çok sayıda çalışmada tedarik zincirinin en pahalı ve en verimsiz halkası olarak tanımlanmaktadır (Tiwapat vd., 2018).

1.2. Son Adım Lojistik Teması

Son adım lojistik, özellikle son yıllarda literatürde ve uygulamada artan bir ilgi gören, hızla gelişen bir araştırma teması haline gelmiştir. Bu ilginin temel dinamikleri arasında, kentleşme oranındaki keskin artış, dijitalleşmenin tetiklediği çevrim içi ticaret hacmindeki büyüme, tüketici davranışlarında gözlemlenen esneklik ve hız odaklı paradigma kaymaları, dağıtım sistemindeki teknolojik yenilikler ve lojistik sistemlerin sürdürülebilirlik ekseninde yeniden yapılandırılması ihtiyacı yer almaktadır. Bu zamana kadar yapılan çalışmalarda son adım lojistikle alakalı ortak uzlaşı, teslimat sürecinin en son ve genellikle en karmaşık kısmı olduğudur (Gevaers vd., 2011). Son adım lojistik, yalnızca tedarik zinciri yönetimi ya da mühendislik alanıyla sınırlı kalmayan, çok disiplinli yapısı nedeniyle farklı araştırma alanlarının kesişiminde konumlanan bir çalışma sahasıdır. Literatürde öne çıkan temalar, bu alanın kapsamlı ve parçalı yapısını

anlamada kritik bir rol oynamaktadır. Aşağıda literatürde sıkça ele alınan başlıca temalar ve bunlara ait alt temalar sistematik biçimde sunulmuştur (Olsson vd., 2019).

1.2.1. Yeni Teknolojiler ve Yenilikçi Uygulamalar

Günümüzde son adım lojistik uygulamaları, teknolojik gelişmelerin yön verdiği dinamik bir dönüşüm süreci içerisindedir. Ancak bu dönüşüm, yalnızca teknik ilerlemelerle sınırlı olmayıp aynı zamanda sosyal, ekonomik ve hukuki yapıların bu yeniliklere ne ölçüde uyum sağlayabileceği sorusunu da beraberinde getirmektedir (Demir vd., 2022). Son adım lojistik mekanizmalarının yakın gelecekteki dönüşümünü şekillendirmesi beklenen teknolojik eğilimler, lojistik sektöründe hızla artan şeffaflık, verimlilik ve ölçeklenebilirlik talepleri doğrultusunda önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, blok zincir teknolojisi, sanal gerçeklik (Virtual Reality – VR) sistemleri, artırılmış gerçeklik (Augmented Reality – AR) uygulamaları ve yapay zekâ (Artificial Intelligence – AI) destekli otomasyon çözümleri son adım lojistik alanında öne çıkan teknolojik gelişmeler arasında yer almaktadır. Blok zincir teknolojisi, tedarik zincirinin tüm aşamalarında güvenli, şeffaf ve izlenebilir veri yapıları oluşturarak, taraflar arasındaki güven ilişkisini güçlendirme ve operasyonel koordinasyonu artırma potansiyeline sahiptir. Bu teknoloji, özellikle çok aktörlü lojistik yapılarında işlemlerin doğrulanabilirliği ve müdahaleye kapalı kayıt sistemi sayesinde operasyonel bütünlüğün sağlanmasına katkı sunmaktadır. Öte yandan VR ve AR tabanlı sistemler, özellikle depo yönetimi, ürün takibi ve teslimat doğruluğu gibi süreçlerde hem operasyonel verimliliği artırmakta hem de müşteri deneyimini yeniden tanımlamaktadır. Gerçek zamanlı görsel geri bildirim, rota senaryolarının simülasyonu ve teslimat ortamının dijital olarak modellenmesi gibi olanaklar, bu teknolojilerin lojistik değer zinciri içerisindeki önemini artırmaktadır. Yapay zekâ ve otomasyon sistemleri ise ölçeklenebilir ve maliyet etkin çözümler sunarak otonom araçlardan gerçek zamanlı karar destek sistemlerine kadar geniş bir uygulama yelpazesi ile teslimat süreçlerinde dönüşüme zemin hazırlamaktadır. Dinamik rota planlaması, talep tahminleme, kaynak optimizasyonu ve trafik öngörüsü gibi işlevlerle yapay zekâ, son adım lojistiğin hem hızını hem de güvenilirliğini artırmaya yönelik kritik katkılar sunmaktadır. Bu teknolojik gelişmeler ve yenilikçi uygulamalar birlikte değerlendirildiğinde, lojistik sektörünün geleceğinde daha hızlı, çevresel dışsallıklar azaltılmış ve tüketici beklentilerine duyarlı bir teslimat altyapısına geçişin mümkün olabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, bu dönüşüm süreci sadece teknik

gelişmelerle sınırlı olmayıp hukuksal düzenlemeler, finansal erişilebilirlik ve altyapı yeterlilikleri gibi çok boyutlu engellerle de karşı karşıyadır. Özellikle kırsal alanlarda son adım lojistik uygulamalarının geliştirilmesi açısından, söz konusu teknolojilerin yerel ölçekli uyarlanabilirliklerinin artırılması büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, yenilikçi çözümlerin sadece büyük şehirlerde değil, ulaşım altyapısının sınırlı olduğu bölgelerde de etkili biçimde kullanılabilmesi için kamu politikalarının ve destekleyici düzenlemelerin bütüncül biçimde ele alınması gerekmektedir (Shuaibu vd., 2025).

Bu tema ayrıca, son adım lojistik süreçlerinde ürün teslim alma çözümlerini, yenilikçi taşıma araçlarını, yeni iş modellerini ve iş birliğine dayalı yaklaşımları kapsamaktadır ve son adım süreçlerinde dijitalleşme, otomasyon ve yenilikçi sistem tasarımlarının etkilerini incelemektedir. Teknolojik gelişmeler, teslimat verimliliğini artırma, maliyet düşürme ve sürdürülebilirliği sağlama potansiyeli taşımaktadır (Olsson vd., 2019).

1.2.1.1. Ürün Teslimat Çözümleri

Geleneksel ev teslimat modelleri, teslimat zamanlamasında müşteriyle koordinasyon gerektirmesi, trafik sıkışıklığı gibi dışsal faktörlere duyarlılığı ve yüksek operasyonel maliyetleri nedeniyle lojistik performansı olumsuz yönde etkilemektedir. Ürün teslim alma çözümleri bu olumsuzluklardan yola çıkarak ortaya atılan yenilikçi çözümlerdendir. Ürün teslim alma çözümleri; self-servis sistemler, toplama ve dağıtım noktaları ve katılımsız ev teslimatı adı verilen teslimat uygulamalarını içermektedir.

Bu bağlamda son yıllarda öne çıkan self-servis teslimat sistemleri, özellikle otomatik kargo dolapları (automated parcel locker) aracılığıyla, teslimatın fiziksel temas gerektirmeden ve zaman kısıtı olmaksızın gerçekleştirilmesini mümkün kılan alternatif bir model olarak konumlanmaktadır. Self-servis sistemler hem tüketici açısından zaman bağımsızlığı ve teslimat güvenliği sağlamakta hem de LHS'ler açısından teslimatları konsolide ederek rota optimizasyonuna ve maliyet etkinliğine katkı sunmaktadır. Bu sistemlerin işlevselliği, yüksek sipariş hacmi durumunda, yoğun nüfuslu kentsel alanlarda ve hızlı teslimat beklentisinin baskın olduğu pazarlarda daha da belirginleşmektedir. Ayrıca, teslimat başarısızlık oranlarını düşürmesi, bu modellerin çevresel etkileri azaltma potansiyelini de beraberinde getirmektedir. Küresel ölçekte birçok lojistik aktör, self-servis sistemleri stratejik yatırımlarının merkezine yerleştirmiştir. Örneğin Amazon, bu çözümleri otomatik depo çözümleriyle eşdeğer stratejik önemde görürken, FedEx, 2017 yılı itibariyle 19 tam otomasyonlu tesis ve 69 yeniden dağıtım merkezi inşa etmiş, bu

merkezlerin önemli bir bölümüne self-servis teslimat altyapısını entegre etmiştir. Çin'de özellikle JD.com başta olmak üzere birçok çevrim içi ticaret devi, ülke genelinde yaygın self-servis istasyonları kurarak teslimat ağlarını genişletmiştir. Hive-box Technology, yalnızca 2017 yılı sonunda 100'ü aşkın şehirde 75.000 yerleşim bölgesini kapsayan ve 8 milyonu aşkın kargo dolabını içeren bir ağ tesis etmiştir. Öte yandan, Çin Postası ile Alibaba ve Cainiao Logistics'in oluşturduğu ortaklık, "Express Easy" şirketini satın almış ve bu satın alma sonucunda Express Easy self-servis sistemleri, pazarında ikinci büyük sağlayıcı konumuna gelmiştir. Bu gelişme kamu-özel sektör iş birliğinin bu alandaki potansiyelini ortaya koymaktadır. Tüm bu gelişmeler ışığında, self-servis teslimat sistemleri, son adım lojistikte teslimat esnekliği, maliyet etkinliği, operasyonel ölçeklenebilirlik ve çevresel sürdürülebilirlik boyutlarında stratejik avantaj sağlayan, yüksek potansiyelli bir yenilik olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, özellikle kentsel dağıtım altyapısının yeniden kurgulanmasında ve son kullanıcı memnuniyetinin artırılmasında, bu sistemlerin rolü giderek kritikleşmektedir (Zhou vd., 2020).

Son yıllarda çevrim içi ticaretin hızla artmasıyla birlikte, toplama ve dağıtım noktaları (Collection and Delivery Point – CDP), son adım lojistikte giderek daha fazla tercih edilen bir teslimat alternatifi haline gelmiştir (Collins, 2015). CDP sistemleri genel olarak iki ana kategoriye ayrılmaktadır; kilitli teslimat noktaları (locker points) ve hizmet noktaları (service points) (Weltevreden, 2008). Kilitli teslimat noktaları, halka açık alanlara yerleştirilen ve müşterilerin ürünlerini günün herhangi bir saatinde, doğrudan teslim almasına olanak tanıyan otomatik kutulardır. Bu sistem, teslimat sırasında fiziksel etkileşimi ortadan kaldırarak zaman esnekliği sunarken; ödeme, iade ve teslim alma işlemlerini tek noktada toplama avantajı sağlamaktadır. Ancak güvenlik riskleri nedeniyle genellikle ödeme seçeneği sunulmamakta ve teslimatlar için daha yüksek risk içermektedir (J. Xu vd., 2011). Karşılaştırmalı analizler, hizmet noktalarının, yüz yüze hizmet sunması nedeniyle tüketici memnuniyeti açısından daha avantajlı olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak bu modelin sınırlı hizmet saatleri gibi operasyonel kısıtları mevcuttur. Diğer yandan, kilitli dolap sistemleri, 7/24 erişilebilirlik sunmaları bakımından zaman bağımsız teslim alma ihtiyacına etkili bir çözüm sağlamaktadır (Tiwapat vd., 2018). CDP sistemlerinin yaygınlaşması, ilk teslimat başarısızlığı oranlarının azaltılması gibi önemli katkılar sunmakta; bu sayede son adım lojistik operasyonlarının etkinliği artmaktadır. Aynı zamanda, bu sistemlerin sunduğu çeşitli hizmet opsiyonları ve zaman esnekliği hem LHS'ler hem de tüketiciler açısından önemli

operasyonel avantajlar doğurmaktadır (McLeod vd., 2006).

Katılımsız ev teslimatı (Unattended Home Delivery - UAHD), alıcının teslimat sırasında fiziksel olarak evde bulunmaması durumunda ortaya çıkan teslimat başarısızlıklarını ve dar teslimat zaman pencerelerine (time window) bağlı operasyonel sınırlılıkları azaltmayı amaçlayan yenilikçi bir teslimat modelidir. Bu yöntemde kargolar, alıcının kapısına, posta kutusuna veya önceden belirlenmiş komşu bir adrese bırakılmak suretiyle teslim edilmektedir. UAHD, geleneksel katılımlı ev teslimatına (Attended Home Delivery - AHD) kıyasla, çeşitli açılardan önemli operasyonel avantajlar sunmaktadır. Özellikle teslimat zamanlaması açısından bakıldığında, UAHD zaman bağımsız bir yapı sunduğu için daha yüksek verimlilik sağlamaktadır. Bu yaklaşım, sabit zaman dilimlerine bağlı kalmaksızın esnek bir teslimat akışı sağladığından araç rotalarının optimizasyonuna olanak tanımakta ve toplam lojistik maliyetlerin düşürülmesine katkı sunmaktadır. Buna ek olarak, UAHD modeli, teslimat başarısızlığı oranlarını azaltmakta ve teslimat sürecinde anlamlı tasarruflar sağlamaktadır. Ancak bu sistemin en belirgin zafiyetlerinden biri, güvenlik endişeleridir. Özellikle kolay bozulabilen veya yüksek değerli ürünlerin teslimatında, paketin açık alanda bırakılması müşteri açısından güvenlik riski oluşturabilmektedir. Tüm bu yönleriyle UAHD, yüksek teslimat yoğunluğuna sahip bölgelerde operasyonel esneklik ve maliyet avantajı sağlayan bir model olarak öne çıkmakta, ancak uygulanabilirliğinin artırılması için güvenlik altyapılarının da eş zamanlı geliştirilmesini gerektirmektedir (Tiwapat vd., 2018). Son adım lojistikte ürün teslim alma uygulamaları, teslimat sürecinin gerçekleştiği fiziksel koşullara ve operasyonel parametrelere bağlı olarak farklı biçimlerde sınıflandırılmaktadır. Bu yöntemler genellikle, alıcının bulunduğu coğrafi konum, teslimatın yönlendirildiği nihai varış noktası ya da teslimatı gerçekleştiren taşıma aracının niteliği gibi değişkenler esas alınarak adlandırılmaktadır. Yılmaz & Demirel (2023)'e göre ürün teslim alma çözümlerine getirilen bir başka sınıflandırma da ev dışı teslimattır (out-of-home delivery). Ev dışı teslimat; kargo dolabı, teslimat noktası, T&T (tıkla ve topla), araç içi teslimat, kabul/teslimat kutusu ve teslim alma bırakma noktası (PUDO) olarak sınıflandırılmaktadır. T&T yöntemi, çevrim içi ticaret bağlamında hibrit bir teslimat modeli olarak öne çıkmakta olup süreç müşterinin dijital ortamda sipariş vermesiyle başlamakta ve ürünün fiziksel olarak müşteri tarafından teslim alınmasıyla sonlanmaktadır (Gielens vd., 2021). Bu yöntemde, paket teslimatı alıcıya doğrudan yönlendirilmek yerine, müşterinin belirli bir teslimat noktasına gitmesi esasına dayalıdır.

Bu nedenle, yöntem doğası gereği mağaza merkezli bir müşteri mobilitesi içermektedir. T&T uygulaması, geleneksel fiziksel mağaza alışverişiyle dijital satın alma sürecini bütünleştirerek iki aşamalı bir tüketim deneyimi sunmaktadır. Müşteri ürünü önceden çevrim içi olarak seçip ödemesini gerçekleştirmekte, ardından belirlenen bir teslimat noktasından ürünü bizzat teslim almaktadır. Bu yapı, özellikle son adım lojistik süreçlerinde operasyonel verimliliği artırma, teslimat başarısızlıklarını azaltma ve lojistik yükün merkezi teslimat noktalarında yoğunlaştırılması yoluyla kentsel lojistik baskıyı hafifletme potansiyeline sahiptir (Yılmaz & Demirel, 2023). Teslimat noktası olarak genellikle PUDO lokasyonları ya da otomatik kargo dolapları kullanılmakta; bu sayede teslimat süreci, müşterinin mekânsal hareketliliğine entegre biçimde yapılandırılmaktadır. (González-Varona vd., 2020) tarafından tanımlandığı üzere, kargo dolapları, geleneksel teslimat yöntemlerinin yol açabileceği çeşitli çevresel ve operasyonel sorunlara alternatif bir çözüm sunmaktadır. Özellikle karbon emisyonlarının artışı, trafik yoğunluğu, hatalı adres kaynaklı teslimat başarısızlıkları ve kent içi park yeri yetersizlikleri, bu sistemin geliştirilmesinde temel etkenler arasında yer almaktadır. Söz konusu otomatik dolaplar, müşterilerin sipariş ettikleri ürünleri günün her saatinde, insan etkileşimine ihtiyaç duymadan teslim alabilmelerine olanak tanımaktadır. Bu sistemde, müşteriler teslimat noktası tercihini kargo dolabı olarak belirlediklerinde, genellikle ikamet veya iş yerlerine yakın konumlandırılmış bir dolap noktasından paketlerini kolaylıkla alabilmektedir. LHS açısından ise bu model, operasyonel verimlilik ve maliyet etkinliği sağlamaktadır. Özellikle aynı bölgedeki çok sayıda müşteriye bireysel teslimat seferleri düzenlemek yerine, tüm paketlerin tek bir kargo dolabına yönlendirilmesi, teslimatları konsolide etme ve dağıtım tur sayısını azaltma imkânı sunmaktadır. Bununla birlikte, teslimat mesafelerinin azalması ve araç kullanım süresinin düşmesi sayesinde, ekolojik ayak izinin azaltılması yönünde de önemli kazanımlar elde edilmektedir. Bu durum, kentsel lojistik faaliyetlerin çevresel sürdürülebilirlik ilkeleriyle daha uyumlu hâle gelmesine katkı sunmaktadır. Kargo dolaplarının sunduğu bu çok yönlü faydalar, özellikle yoğun nüfuslu şehirlerde kent içi mikro lojistik çözümler bağlamında kritik bir araç olarak konumlanmasını sağlamaktadır (Yılmaz & Demirel, 2023). Teslimat noktaları (delivery points), müşterilerin sipariş ettikleri ürünleri doğrudan teslim alabilecekleri, aynı zamanda ev dışı teslimat imkânı sunan lojistik mikro-merkezler olarak tanımlanmaktadır. Literatürde bu yapılar genellikle LHS'nin yerel perakende mağazalar, marketler ya da anlaşmalı ticari işletmelerle iş birliği yaparak oluşturduğu sabit teslim

alma alanları şeklinde ele alınmaktadır (Zenezini vd., 2018). Kargo dolapları da bu kapsamda değerlendirilebilecek birer teslimat noktasıdır ve ev dışı teslimat alternatifi olarak işlev görmektedir. Ancak her iki modelin operasyonel özellikleri ve kullanım koşulları arasında bazı farklılıklar söz konusudur. Örneğin, kargo dolapları genellikle belirli boyut sınırlamaları içeren yapılar olup büyük hacimli ürünlerin teslimatı açısından sınırlı kapasiteye sahiptir. Buna karşılık, geleneksel teslim alma noktalarında (örneğin mağaza içi teslimatlar) bu tür bir boyut sınırlaması bulunmamaktadır. Hizmet süresi açısından da farklılık gözlemlenmektedir: kargo dolapları genellikle 7/24 erişilebilirlik sağlayarak müşterilere zaman bağımsız teslim alma imkânı tanırken; mağaza tabanlı teslimat noktaları yalnızca ilgili perakende işletmenin çalışma saatleriyle sınırlı hizmet sunmaktadır. Bu nedenle, tercih edilen teslimat noktasının niteliği, müşterinin zaman esnekliği, paket boyutu ve lojistik yoğunluk gibi çeşitli kriterlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir (Yılmaz & Demirel, 2023). PUDO noktaları, temel olarak teslimat noktası mantığıyla işleyen bir ev dışı teslimat yöntemidir. Ancak fonksiyonel kapsamı itibarıyla daha geniş hizmetler sunmaktadır. Bu sistemde müşteriler, sadece siparişlerini teslim almakla kalmayıp aynı zamanda iadelerini ya da bireysel gönderilerini de aynı noktaya bırakabilmektedir. Böylelikle, PUDO noktaları çift yönlü lojistik etkileşimi mümkün kılan, çok işlevli mikro lojistik merkezleri olarak değerlendirilmektedir. PUDO aracılığıyla teslimat, özellikle müşterinin teslimat anında evde bulunmaması gibi geleneksel ev teslimat modellerinin karşılaştığı temel operasyonel sorunları minimize etmektedir (Kawa, 2020). Bu yönüyle, teslimat başarısızlık oranlarını düşürmekte ve LHS'lerin operasyonel verimliliğini artırmaktadır. Ek olarak, sistem müşteriden müşteriye (C2C) gönderilere de olanak tanıması bakımından, yalnızca son adım lojistik için değil, diğer lojistik gereksinimlerinin karşılanmasında da etkin bir çözüm sunmaktadır. Tıpkı kargo dolapları ve diğer teslimat noktaları gibi, PUDO noktaları da ev dışı teslimat sistemleri kategorisinde yer almakta; ancak çok yönlü hizmet kapasitesi ile bu yaklaşımlar arasında işlevsel bir farklılaşma yaratmaktadır. Giderek yaygınlaşan bu sistem, özellikle kent merkezlerinde yük dengelemesi, zaman esnekliği ve dağıtım maliyetlerinin düşürülmesi gibi hedefler doğrultusunda stratejik önem kazanmaktadır (Yılmaz & Demirel, 2023). Kabul/teslimat kutuları (reception/delivery boxes), LHS tarafından paketlerin alıcıya ulaştırılması amacıyla kullanılan, genellikle bireysel konutların ön bahçelerine ya da apartman ve mahalle gibi ortak yaşam alanlarına kurulan, kilitlenebilir yapıda sabit sistemlerdir. Bu kutular, teslimat sırasında alıcının fiziksel

olarak evde bulunma zorunluluğunu ortadan kaldırarak teslimat başarısızlığı riskini minimize eden alternatif bir ev dışı teslimat çözümü sunmaktadır. (Deutsch & Golany, 2018), bu sistemleri iki temel biçimde tanımlamaktadır: Kabul kutusu, müşterinin konutunun dışında sabit olarak monte edilmiş, genellikle bir anahtar ya da elektronik şifreyle erişilen kişisel bir donanımdır. Buna karşılık teslimat kutusu, LHS'ye ait olup müşterinin evine geçici olarak bağlanan taşınabilir bir kutu sistemidir. Her iki uygulama da operasyonel olarak benzer işlevlere sahip olmakla birlikte, yerleşim biçimi ve sahiplik açısından ayrışmaktadır. Kabul ve teslimat kutuları, yapısal açıdan kargo dolaplarına benzer bir işlev görmektedir; ancak en büyük fark, bu kutuların müşteriye fiziksel olarak çok daha yakın bir noktaya konumlandırılabilmesidir. Bu özellik, sistemin geleneksel eve teslimat modellerinden ayrışmasını sağlamaktadır; çünkü teslimat anında müşterinin evde bulunma gerekliliğini ortadan kaldırarak hem hizmet esnekliği hem de kullanıcı konforu sunmaktadır. Araç içi teslimat (in-car or in-boot delivery), ev dışı teslimat sistemleri kapsamında geliştirilen yenilikçi yöntemlerden biri olup LHS'lerin, müşterilere ait park halindeki araçlara erişerek gönderileri doğrudan aracın bagaj bölümüne bırakmasını esas almaktadır (Mangiaracina vd., 2019). Bu teslimat modelinde, araç uygun bir dijital erişim teknolojisi ile donatılmış olup kurye tarafından tek kullanımlık bir erişim kodu aracılığıyla güvenli biçimde açılmaktadır. Bu yöntem sayesinde, müşterilerin siparişlerini teslim almak için evde bulunma zorunluluğu ortadan kaldırılırken, teslimat sürecinde hem esneklik hem de zaman etkinliği sağlanmaktadır. Araç içi teslimat, özellikle yoğun şehir yaşamında ve sabit teslimat noktalarına erişimin kısıtlı olduğu durumlarda lojistik operasyonlara önemli katkılar sunmaktadır. Ayrıca bu model, geleneksel teslimat yöntemlerine kıyasla teslimat başarısızlığı riskini azaltma, müşteri memnuniyetini artırma ve araç tabanlı mikro lojistik çözümleri destekleme potansiyeline sahiptir. Tüm anlatılan ürün teslim çözüm yöntemlerinin özellikleri Tablo 1.1'de gösterilmiştir.

Tablo 1.1. *Ürün teslim çözümleri*

Yöntem	Tanım	Avantajlar	Dezavantajlar
Self-servis sistemler (otomatik kargo dolapları)	Müşterilerin paketlerini günün her saati, insan etkileşimi olmadan teslim alabildiği otomatik dolaplardır	7/24 erişim, teslimat başarısızlığını azaltma, rota optimizasyonu, düşük operasyonel maliyet	Paket boyutu sınırlı, güvenlik riski, ilk yatırım maliyeti yüksek
Toplama ve Dağıtım Noktaları (CDP)	Genel olarak ev dışı teslimat noktalarını ifade eden üst kavramdır; literatürde çoğunlukla kilitli dolaplar ve hizmet noktalarını kapsayan "collection and delivery points" yapısını tanımlar. Kilitli dolap, halka açık alandaki dolapları, hizmet noktası; anlaşmalı mağaza veya tesis içinde teslimat noktasını ifade eder	Kilitli dolaplar: 7/24 erişim Hizmet noktası: karşılamalı (yüz yüze) hizmet, iade imkânı	Kilitli dolaplar: güvenlik riski Hizmet noktası: sınırlı hizmet saati, personele bağlı operasyon
Katılımsız Ev Teslimatı (UAHD)	Paketlerin kapıya, posta kutusuna veya komşuya bırakıldığı teslimat yöntemi	Zaman bağımsız teslimat, esneklik ve optimizasyon, düşük maliyet	Güvenlik riski, hassas veya değerli ürünler için uygun değil
Teslim Alma- Bırakma Noktası (PUDO)	CDP yapısı içinde değerlendirilen ve özellikle çift yönlü akışa (paket teslim alma, iade ve bireysel gönderi bırakma) imkân tanıyan çok işlevli noktalar; literatürde bazı çalışmalarda CDP ile eş anlamlı, bazı çalışmalarda ise bu yapının alt türü olarak kullanılmaktadır	Çift yönlü lojistik, teslimat başarısızlığını azaltma, C2C gönderim imkânı	Hizmet saatleri kısıtlı olabilir, ek ziyaret gerektirebilir
Kabul/teslimat Kutuları	Evlerin önüne veya ortak alanlara yerleştirilen kilitli sabit paket kutularıdır	Müşteriye çok yakın konum, teslimat başarısızlığını önleme	Kurulum ve bakım maliyeti, sınırlı kapasite, hırsızlık veya vandalizm riski
Araç İçi Teslimat	Park halindeki araçların bagajına tek kullanımlık dijital kod ile teslimat yapılması	Evde bulunma zorunluluğunu ortadan kaldırma, zaman tasarrufu sağlama	Araç erişim teknolojisi gerektirir, güvenlik ve mahremiyet endişeleri, uygun park alanı bulma

1.2.1.2. Yenilikçi Taşıma Araçları

Sanayi tarihindeki büyük kırılmalardan biri olarak kabul edilen Endüstri 4.0, siber-fiziksel sistemler, nesnelerin interneti (IoT), yapay zekâ ve büyük veri analitiği gibi teknolojiler aracılığıyla üretimden dağıtıma kadar tüm tedarik zincirini dönüştürme potansiyeline sahiptir. Bu teknolojik oluşum, özellikle kentsel alanlarda lojistik süreçlerin yeniden yapılandırılmasını gerektirmekte ve zaman, maliyet ve çevresel etkinlik

bakımından akıllı sistemlerin geliştirilmesine zemin hazırlamaktadır. Ancak mevcut kentsel lojistik uygulamaları, bu dönüşüm sürecine ayak uydurmakta çeşitli zorluklarla karşı karşıyadır. Geleneksel teslimat araçlarının neden olduğu trafik sıkışıklığı, hava kirliliği ve park yeri sorunları, sürdürülebilir lojistik hedeflerini sekteye uğratmaktadır. (Dablanc vd., 2011) tarafından Paris'te gerçekleştirilen ampirik bir çalışmada, şehir içi teslimat kamyonlarının toplam trafik sıkışıklığının %15 ila %20'sinden sorumlu olduğu ve kent içi emisyonların yaklaşık %60'ının bu araçlardan kaynaklandığı ortaya konulmuştur. (Boussier vd., 2011) ise yoğun şehir merkezlerinde park alanlarına erişim kısıtlarının teslimat süreçlerini daha da zorlaştırdığını belirtmektedir. Endüstri 4.0 kapsamında geliştirilen yenilikçi lojistik teknolojileri, bu sorunlara karşı çevik, ölçeklenebilir ve müşteri odaklı çözümler sunma potansiyeline sahiptir. Zaman kısıtı olmayan teslimat sistemleri, gerçek zamanlı veri paylaşımına dayalı rota optimizasyonu, otonom araçlar, mikro mobilite çözümleri (e-bisikletler, drone sistemleri) ve düşük emisyonlu taşıma araçları gibi uygulamalar hem tüketici beklentilerini karşılamada hem de çevresel etkilerin azaltılmasında stratejik bir rol oynamaktadır. Dolayısıyla, lojistik sistemlerinin dijitalleşmesi ve otonom teknolojilerle entegrasyonu, yalnızca operasyonel verimliliği artırmakla kalmamakta; aynı zamanda karbon ayak izinin azaltılması, trafik yükünün hafifletilmesi ve kentsel yaşam kalitesinin yükseltilmesi açısından da önemli faydalar sağlamaktadır. Bu çerçevede, yenilikçi taşıma araçları, kentsel lojistiğin sürdürülebilirliği için kritik bir bileşen haline gelmektedir (Mohammad vd., 2023). Kentsel lojistikte sürdürülebilirlik ve etkinlik hedefleri doğrultusunda, son adım teslimat operasyonlarında geleneksel motorlu taşıtlara alternatif olarak yenilikçi taşıma araçlarının kullanımı giderek artmaktadır. Bu araçlar; elektrikli araçlar (EV), elektrikli bisikletler (e-bike), kargo bisikletleri, üç tekerlekli taşıtlar (tricycles), otonom teslimat robotları ve insansız hava araçları (İHA/drone) gibi farklı teknolojilere dayanmaktadır. Söz konusu araçlar hem karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik çevresel katkıları hem de dar sokaklı veya yoğun trafiğe sahip kentsel bölgelerdeki operasyonel avantajları nedeniyle lojistik sektörü açısından stratejik değer taşımaktadır (Olsson vd., 2019).

Taşıma araçları pazarında son yıllarda yaşanan yenilikler, geleneksel ulaşım sistemleri üzerinde dönüştürücü bir etki yaratmıştır. Yeni motor teknolojileri, otonom taşıma sistemleri ve alternatif teslimat yöntemleri, otomotiv endüstrisinin son yüzyılda sunduğu en önemli gelişmeler arasında yer almaktadır. Bu kapsamda, elektrikli ve hibrit araçlar ve yakıt hücreli elektrikli araçlar da (Fuel Cell Electric Vehicles – FCEV), dışsal olumsuz

etkileri azaltma potansiyeline sahip yenilikçi teknolojiler olarak öne çıkmaktadır. Söz konusu araçlar, özellikle çevre ve gürültü kirliliğinin azaltılması yönünde olumlu etkiler sunmakta olup ticarileşme açısından olgunluk seviyesine ulaşmış durumdadır. Elektrikli araçların en önemli kısıtı, batarya kapasitelerinin sınırlı olması (ortalama menzil <150 km, bazı istisnalar hariç) ve uzun şarj süreleridir. Bu nedenle araştırmalar, batarya performansının artırılması ve son adım teslimatta rota optimizasyonunun geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmaktadır. FCEV ise hidrojenin yüksek tepkiselliğine bağlı olarak güvenlik endişeleri barındırsa da, günümüzde kullanılan güvenlik sistemleri yüksek derecede güvenilir kabul edilmektedir. Bununla birlikte, bu araçların yaygınlaşması için gerekli yakıt ikmal altyapısı henüz sınırlı düzeydedir. FCEV'ler, 600–700 km gibi yüksek menzil ve kısa dolum süresi avantajıyla öne çıkmaktadır. Hibrit araçlar ise fosil yakıt ve elektrikli batarya sistemini entegre eden yapıları sayesinde yüksek menzil sunmakta ve görece düşük yatırım maliyetiyle pazarda en yaygın tercih edilen seçenek olarak öne çıkmaktadır. Öte yandan, elektrikli L-kategorisi araçlar (EL-V) –mopedler, elektrikli motosikletler, üç veya dört tekerlekli küçük araçlar, quad ve trisikletler– hafif mobilite çözümleri olarak kentsel lojistikte önemli birer yenilikçi alternatif sunmaktadır. EL-V'ler, düşük çevresel etki, dar alanlarda yüksek manevra kabiliyeti, sınırlı park alanı ihtiyacı ve küçük hacimli gönderilerde etkin kullanım imkânı sağlamaktadır. Geleneksel araçlara kıyasla daha hafif ve kompakt yapıları sayesinde teslimat süresini kısaltmakta, park yeri arama süresini ortadan kaldırmakta, yakıt tüketimini düşürmekte ve hava ve gürültü kirliliğini azaltmaktadır. Bisiklet ve üç tekerlekli araçlar kategorisinde son yıllarda kargo bisikletleri önemli bir gelişim göstermiştir. Elektrikli çekiş teknolojisinin entegrasyonu sayesinde bu araçların taşıma kapasiteleri artmış ve yeni nesil modellerde geleneksel motorlu araçlara yakın performans seviyelerine ulaşılmıştır. Bu nedenle, elektrik destekli kargo bisikletleri, EL-V sınıfında değerlendirilmektedir. Tam elektrikli araçlar, özellikle son adım teslimat operasyonlarında ortaya çıkan kentsel dışsallıkların (hava kirliliği, gürültü ve trafik sıkışıklığı) azaltılmasında kritik bir role sahiptir. Ticari EV'lerin satın alma maliyetleri, geleneksel dizel kamyonlara kıyasla daha yüksek olsa da operasyonel maliyetleri düşüktür. Bakım giderleri büyük ölçüde bataryaların ömrü ve uzun dönem maliyetleriyle ilişkilidir; ayrıca araçların şarj edilmeden kat edebileceği mesafenin sınırlı olması önemli bir kısıt olarak değerlendirilmektedir. Otonom araçlar ve talep üzerine otonom taşıma çözümleri, önümüzdeki yılların en çekici teknolojik gelişmeleri arasında görülmektedir. Bu sistemler, insan müdahalesi olmadan araç yönlendirilmesine olanak

tanımaktadır. Literatürde tam otomasyondan yarı otonom seviyelere kadar farklı otomasyon düzeyleri tanımlanmakta olup yarı ve tam otonom araçlar hâlen test aşamasındadır. Günümüzde birçok şirket, bu teknolojiyi yük taşımacılığı da dâhil olmak üzere çeşitli lojistik uygulamalar için yatırım önceliğine almıştır. Askerî alandan sivil kullanıma adapte edilen otonom ve insansız sistemler; İnsansız Hava Araçları (Unmanned Aerial Vehicles – UAV), kara temelli insansız sistemler ve deniz temelli insansız sistemler olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılmaktadır. UAV'ler, son yıllarda sivil uygulamalarda en yaygın kullanılan insansız sistemlerdir. Hem kamu hem de özel sektörde UAV'ler yeni operasyonel fırsatlar sunmakta; DHL ("PaketKopter"), Amazon ("Prime Air"), Google ("Project Wing") ve GeoPost ("GeoDrone") gibi firmalar, kargo teslimatı için drone tabanlı pilot projeler gerçekleştirmektedir. Bununla birlikte, kentsel lojistikte drone'lara yönelik altyapı, mevzuat ve operasyonel destek sistemleri konularında yeni zorluklar da ortaya çıkmaktadır. Literatürde dikkat çeken bir diğer yenilikçi yaklaşım, kentsel alanlarda son adım teslimat için geliştirilen kara tabanlı drone-robot sistemleridir. Ayrıca, farklı tipte UAV'ler ve hibrit insansız sistemlere ilişkin çeşitli proje çalışmaları halen devam etmektedir (Ranieri vd., 2018). Bu bölümde ele alınan yenilikçi taşıma araçlarının temel özellikleri Tablo 1.2'de özetlenmektedir.

Tablo 1.2. *Yenilikçi kargo taşıma araçların karşılaştırmalı özellikleri*

Araç Türü	Ortalama Menzil	Emisyon Etkisi	Altyapı Gereksinimi	Operasyonel Avantajlar	Temel Kısıtlar
Elektrikli Araç (EV)	<150 km (bazı modeller hariç)	Sıfır egzoz emisyonu, düşük gürültü	Şarj istasyonu ağı	Düşük işletme maliyeti, sessiz çalışma	Uzun şarj süresi, sınırlı menzil, batarya ömrü
Hibrit Araç	Yüksek (yakıt + batarya)	Dizel/benzin + elektrik hibrit	Akaryakıt istasyonu + şarj imkânı	Yüksek menzil, düşük yatırım maliyeti	Fosil yakıt kullanımına devam
Yakıt Hücreli Elektrikli Araç (FCEV)	600–700 km	Sıfır egzoz emisyonu	Hidrojen dolum istasyonu (küresel ölçekte yetersiz)	Kısa dolum süresi, yüksek menzil	Hidrojen altyapısı eksikliği, güvenlik algısı
Elektrikli L-Kategorisi Araçlar (EL-V)	50–100 km	Düşük emisyon, düşük gürültü	Basit şarj altyapısı	Dar sokaklarda yüksek manevra, düşük park ihtiyacı	Sınırlı yük kapasitesi
Elektrikli Kargo Bisikleti	30–60 km	Düşük emisyon, sıfıra yakın gürültü	Basit şarj altyapısı	Küçük gönderilerde hızlı teslimat, park sorunu yok	Hava koşullarına bağımlı, düşük kapasite
Otonom Kara Aracı	Modele göre değişir	Emisyon teknolojisine bağlı	Sensör, iletişim altyapısı	İnsan müdahalesi olmadan teslimat	Mevzuat, test aşaması
İnsansız Hava Aracı (UAV)	10–20 km	Sıfır egzoz emisyonu, düşük gürültü	İniş/kalkış alanı, drone istasyonu	Trafikten bağımsız, hızlı teslimat	Hava koşulları, regülasyon kısıtları

1.2.1.3. Yeni İş Modelleri

Kentsel son adım lojistikte görülen teknolojik ve davranışsal dönüşümler, yalnızca taşıma araçlarını ve altyapıyı değil aynı zamanda iş modellerini de yeniden tanımlamaktadır. Yeni iş modelleri, lojistik aktörlerinin değer yaratma, gelir elde etme ve kaynakları paylaşma biçimlerinde köklü değişiklikler getirmektedir. Yeni iş modelleri kitle lojistiği, abonelik tabanlı teslimat, hibrit modeller ve sürdürülebilirlik odaklı iş modelleri olarak sınıflandırılabilir.

Kurye, ekspres ve paket (CEP) hizmetleri, yolcu taşımacılığı ve e-ticaret alanlarında geleneksel iş modellerinin yeniden yapılandırılması ve tamamen yeni iş modellerinin geliştirilmesi, kitle lojistiği (crowd logistics) gibi yenilikçi stratejilerin ortaya çıkmasına zemin hazırlamaktadır. Kitle lojistiği ya da kitle taşımacılık (crowdshipping), bireylerin gündelik faaliyetleri sırasında düşük bir ücret karşılığında taşıyıcı rolünü üstlendiği bir lojistik yaklaşımı olarak tanımlanmaktadır. Bu modelde, bireyler kendi teslimat

ihtiyaçlarıyla birlikte başkalarına ait gönderileri de alarak genellikle yakın çevrelerindeki alıcılara ulaştırmaktadır. Örneğin, Amazon tarafından geliştirilen bir konseptte, müşterilerin kendi siparişlerini teslim alırken aynı zamanda komşularına ait paketleri de teslim etmesi öngörülmüştür. Bu yaklaşım hem lojistik ağın esnekliğini artırmakta hem de son adım teslimat operasyonlarında maliyet ve zaman tasarrufu sağlamaktadır. Kitle lojistiği hizmet sağlayıcıları, yükün alıcısı ile hizmeti yerine getiren bireyler arasında aracılık rolü üstlenmektedir. Günümüzde hızla değişen müşteri taleplerinin yalnızca hizmet kapasitesini değil, aynı zamanda yenilik kapasitesini de karşılaması gerekmektedir. Radyo frekansı ile tanımlama (RFID), küresel konumlama sistemi (GPS) ve akıllı telefon gibi teknolojiler, kitle lojistiğinde bu esnekliği mümkün kılmakta; müşterilerin hizmet taleplerini her zaman ve her yerden, örneğin akıllı telefonlar aracılığıyla iletebilmesini sağlamaktadır. Bu modelde, bireyler araçlarındaki boş alan gibi atıl kaynaklarını kullanarak taşıyıcı rolünü üstlenebilmekte ve lojistik operasyonlara dâhil olabilmektedir. Kitle lojistiği, geleneksel lojistik firmaları yerine genellikle bilgi ve iletişim teknolojileri (BİT) firmaları tarafından sunulan yenilikçi bir hizmet türü olup kaynak paylaşımına dayalı, esnek ve müşteri odaklı teslimat çözümlerinin gelişimini teşvik etmektedir.

Lojistik alanında somut bir iş modelinin tanımlanması, strateji geliştirme ve eylem planlarının oluşturulmasında kritik bir araç olarak değerlendirilmektedir. Ancak kitle lojistiği bağlamında mevcut literatür incelendiğinde, konuya ilişkin bilimsel araştırmaların sınırlı olduğu ve bu hizmet modelinin temelini oluşturan iş modellerinin henüz kapsamlı biçimde analiz edilmediği görülmektedir. Bu eksiklik hem uygulama alanı hem de akademik bilgi üretimi açısından önemli bir boşluk yaratmaktadır. Bu nedenle, kitle lojistiği iş modellerinin doğası ve karakteristik özelliklerinin sistematik olarak değerlendirilmesi, sürdürülebilir bir kitle lojistiği uygulamasına yönelik yeni bir kavramsal çerçevenin geliştirilmesi açısından temel bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. Böyle bir model, bir taraftan paydaşlar arası iş birliğini güçlendirecek bir taraftan da kaynakların etkin kullanımını destekleyerek kentsel lojistikte çevresel ve operasyonel sürdürülebilirliğe katkı sağlayacaktır (Frehe vd., 2017).

Kültürel değerler ülkeler arasında farklılık göstermekte olup bu farklılıklar iş modellerinin başarısını veya başarısızlığını doğrudan etkileyebilmektedir. Hızla gelişen ekonomilerde, kitle lojistiği tabanlı teslimat modellerinin son adım teslimat süreçlerinde

kullanılması, karşılaşılan operasyonel zorlukların aşılmasına önemli katkılar sağlamaktadır (Alharbi vd., 2022).

Abonelik tabanlı teslimat (subscription -based delivery), kökeni 17. ve 18. yüzyıllardaki kitap ve gazete aboneliklerine dayanan ve zaman içinde kavramsal çerçevesi genişleyen bir iş modelidir. Literatürde, abonelik kavramı çoğunlukla tanımlı bir ürün, içerik veya hizmetin düzenli aralıklarla ve tekrarlayan bir ücret karşılığında sunulması olarak ele alınmaktadır. Günümüzde işletmeden tüketiciye (B2C) gıda, kişisel bakım ve tüketim malları gibi kategorilerde; işletmeden işletmeye (B2B) ise yazılım endüstrisinde Software-as-a-Service gibi biçimlerde yaygın olarak uygulanmaktadır. Geleneksel ürün sahipliği anlayışının aksine, abonelik modeli değer yaratma sürecini ürün odaklılıktan müşteri değeri odaklılığa kaydırmaktadır. Bu yaklaşımda hedef, müşterinin ürünü tek seferlik satın alması değil, ürün veya hizmetin sunduğu faydanın sürekli olarak sağlanmasıdır. Bu model, Endüstri 4.0 ile birlikte gelişen veri erişilebilirliği, nesnelerin interneti ve yüksek bağlanabilirlik teknolojilerinden beslenerek, müşteri tercihleri doğrultusunda kişiselleştirilmiş teslimat planlarının oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Lojistik bağlamında abonelik tabanlı teslimat, talep öngörülebilirliğini artırarak rota optimizasyonu, envanter yönetimi ve maliyet kontrolünde önemli avantajlar sunmaktadır. Ayrıca, müşteri sadakati ve yaşam boyu değerinin yükseltilmesine katkıda bulunurken, veri analitiği ile entegre edildiğinde operasyonel sürdürülebilirliği güçlendirmektedir (Schuh vd., 2020).

Hibrit İş Modelleri (Hybrid Business Models), aynı organizasyon bünyesinde iki veya daha fazla farklı değer yaratma mantığının (örneğin kâr odaklı ve sosyal amaçlı, ürün tabanlı ve hizmet tabanlı) bir arada uygulanması ile ortaya çıkan yapılardır (Velu, 2015; Reuter, 2022). Bu yaklaşım, tek bir iş modeli yapısının sınırlarını aşarak finansal ve sosyal/çevresel değer üretmeyi hedeflemektedir. Özellikle dijitalleşme, paylaşım ekonomisi ve sürdürülebilirlik baskıları, hibrit modellerin yaygınlaşmasında belirleyici rol oynamaktadır (Bocken vd., 2014). Velu (2015), hibrit modelleri aynı organizasyonda birden fazla iş modelinin eşzamanlı olarak işletilmesi olarak tanımlamakta ve bu yapının inovasyon süreçlerinde stratejik esneklik sağladığını belirtmektedir. Reuter et al. (2022) ise hibrit modellerin hem "kar amaçlı" hedefleri hem de toplumsal/amaç odaklı hedefleri dengeleyerek uzun vadeli değer yaratma kapasitesine dikkat çekmektedir. Bu çerçevede, lojistik sektöründe hibrit iş modelleri; geleneksel teslimat altyapılarının (örneğin, lojistik

merkezler, filo yönetimi) dijital platformlar, kitle kaynaklı teslimat veya abonelik tabanlı hizmetlerle entegre edilmesi gibi uygulamalar üzerinden şekillenmektedir. Bununla birlikte, hibrit yapıların yönetiminde iki temel zorluk öne çıkmaktadır. Bunlar, iş modelleri arasında kaynak paylaşımı ve önceliklendirme çatışmaları ile pazar konumlandırmasında belirsizliktir. Araştırmalar, hibrit yapıların başarıyla uygulanabilmesi için net bir değer önerisi, esnek organizasyonel yapı ve teknoloji destekli operasyonel entegrasyonun kritik olduğunu göstermektedir (Zollo vd., 2013). Sonuç olarak, hibrit iş modelleri lojistikte yenilikçi teslimat çözümlerinin (örneğin, drone temelli hizmet modelleri, dağıtım merkezleri, otonom teslimat çözümleri) geleneksel operasyonel modellerle bütünleştirilmesini mümkün kılarak rekabet avantajı sağlamakta ve sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sunmaktadır.

Sürdürülebilirlik odaklı iş modelleri, işletmenin değer yaratma–sunma–yakalama mantığını çevresel ve sosyal hedeflerle bütünleştirerek yeniden kurgulamaktadır. Böylece ekonomik performans ile emisyon azaltımı, kaynak verimliliği ve toplumsal etki aynı çekirdek mimaride buluşturulmaktadır. Bu yaklaşım, "iş modeli" perspektifini sürdürülebilir inovasyon literatürüyle kesiştirerek (örneğin, değer önermesinin tasarımı, yukarı–aşağı akışların örgütlenmesi ve finansal mantığın uyumu) kalıcı sürdürülebilir değerin pazara taşınmasını hedeflemektedir (Mais & Bauernhansl, 2024). Son adım lojistik bağlamında sürdürülebilirlik odaklı iş modellerinin operasyonelleşmesi; mikro-hublar ve konsolidasyonla araç-km ve boş dolaşımın azaltılması, düşük/sıfır emisyonlu araçların (EV, e-bisiklet/kargo bisikleti) ölçekli devreye alınması, teslimat noktaları/kargo dolapları ile ilk deneme başarısızlıklarının düşürülmesi, kitle kaynaklı teslimat ağlarının kapsama ve esnekliği artırırken emisyon etkisini algoritmik rotalama ve teşvik tasarımıyla sınırlaması, şeffaflık/izlenebilirlik için blok zincir ve güvenli veri alanlarının kullanımı ve işletmelerin değer yakalama biçimlerinde abonelik veya kullanım başına ücret gibi hizmet temelli gelir modellerini yaygınlaştırması gibi tasarım seçenekleri üzerinden görünür hâle gelmektedir (Geissdoerfer vd., 2018).

1.2.1.4. İş birliğine Dayalı Yaklaşımlar

Son adım lojistikte artan talep oynaklığı, çok-aktörlü ekosistem yapısı ve kentsel dışsallıklar (emisyon, gürültü, tıkanıklık) tek-aktörlü optimizasyonun sınırlarına işaret etmekte, bu nedenle iş birliğine dayalı tasarımlar stratejik bir zorunluluk hâline gelmektedir. Bu yeni perspektif yalnızca kapasite değil, aynı zamanda veri, risk, gelir ve

sorumluluğun da paylaşıldığı, ikili sözleşmelerin ötesinde çok-taraflı dijital ekosistemlerle yürütülen düzenekleri kapsamaktadır. Literatür, iş birliğinin itici güçleri (düzenleyici çerçeveler, dijital platform yetkinlikleri, talep oynaklığı, sürdürülebilirlik baskıları) ve engellerine (güven/şeffaflık eksikliği, veri yönetişimi ve rekabet endişeleri, adil maliyet–fayda paylaşımı, hukuki sorumluluk) odaklanmakta, ekonomik (maliyet düşüşü, kapasite kullanımı), hizmet alanında (zamanında teslim, ilk denemede başarı) ve çevresel ve kentsel (CO_2 emisyonu, gürültü, tıkanıklık) çıktılar üzerindeki etkileri nicel çerçevelerde ortaya koymaktadır. Son dönemdeki ilerlemeler, tarafsız/çok-taraflı yönetişim yapıları (tarafsız hub'lar, ortak kargo dolabı ağları), birlikte çalışabilir açık ara yüzler ve veri alanları, gizlilik korumalı maliyet/gelir paylaşım kuralları ile algoritmik ortak rotalama ve teşvik-uyumlu sözleşme tasarımları gibi pratik araçlarla somutlaşmaktadır. Bu bulgular, firma-ötesi sistem verimliliğine geçiş için iş birliğinin yalnızca kapasiteyi değil, veri, risk ve değeri de kapsayan bütüncül modellerle kurgulanması gerektiğini göstermektedir (Olsson vd., 2019). Uygulamada fiziksel organizasyon temelli iş birliği; kentsel konsolidasyon merkezleri, mikro depolar/hub'lar, toplama noktaları, CDP'ler, PUDO'lar ve kargo dolapları gibi tesislerin ortak kullanımına dayanan aranjmanlar etrafında sınıflandırılmaktadır (Özer & Demirel, 2025).

Son adım lojistikte iş birlikçi stratejiler, birbiriyle rekabet eden LHS'lerin bilgi, altyapı, araç, yük ve işgücü gibi temel kaynakları paylaşıma ve ortak planlamaya açarak sistem düzeyinde rekabet üstünlüğü yaratmayı amaçlayan yönetişim ve operasyon tasarımlarıdır. Bu çerçevede, veri paylaşımı (data sharing), ortak tesisler üzerinden altyapı paylaşımı (infrastructure sharing), araç paylaşımı (vehicle sharing), yük havuzu (load pooling; farklı göndericilerin yüklerinin aynı turda konsolide edilmesi) ve işgücü paylaşımı (labor sharing) gibi uygulamalar öne çıkmaktadır. Bu düzenekler, müşteri hizmet düzeyinin (zamanında teslim, ilk denemede başarı) iyileştirilmesi, operasyonel verimliliğin (tur konsolidasyonu, doluluk oranı) artırılması, kentsel erişimin kolaylaştırılması ve nakliye maliyetleri ile çevresel dışsallıkların (CO_2 emisyonu, gürültü, tıkanıklık vb.) azaltılması yönünde anlamlı kazanımlar üretmektedir. Varlık ve kapasite paylaşımı, artan konsolidasyon sayesinde daha yüksek kapasite kullanım oranı sağlamaktadır. Bu durum da araç-km ve tur sayısını, filo büyüklüğü ihtiyacını ve kısmi teslimat sıklığını düşürmektedir. Böylece birim başına maliyet ve emisyon azalırken, ağın ölçek ve kapsam ekonomileri güçlenmektedir. Bu stratejiler, çoğu zaman dijital veri paylaşım platformları ve standartlaştırılmış ara yüzler üzerinden işletilmektedir. Böylece çok aktörlü planlama

ve gerçek zamanlı koordinasyon mümkün olmaktadır. Bu bağlamda ortak teslimat (joint delivery), yüksek bilişim teknolojileri entegrasyonu altında araç, tesis ve işgücünün birlikte kullanıldığı, görev tahsisinin algoritmik olarak koordine edildiği bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Ortak teslimat kurguları, sabit ve değişken maliyetleri (araç, yakıt, zaman, personel) aşağı çekerken, tekil firmaların tek başlarına erişemeyeceği hizmet seviyesi ve kapsama hedeflerine, ortak değer yaratımı yoluyla ulaşılmasını mümkün kılmaktadır (Özbekler, 2021).

1.2.2. Operasyonel Optimizasyon

Operasyonel optimizasyon, son adım süreçlerinin iyileştirilmesi ve optimum operasyonel kararların üretilmesine odaklanan bir araştırma eksenidir. Ağırlıklı olarak, matematiksel modelleme ve optimizasyon tekniklerine dayanmakta ve dört alt tema etrafında kümelenmektedir. Bunlar, rotalama, ulaşım planlaması, çizelgeleme ve tesis yeri seçimidir (Olsson vd., 2019).

1.2.2.1. Rotalama

Operasyonel optimizasyon araştırmalarında ve buna bağlı olarak lojistikte, en hızlı ve en etkili formülasyonlar arasında Gezgin Satıcı Problemi (Traveling Salesman Problem-TSP) ve Araç Rotalama Problemi (ARP) yer almaktadır. TSP'nin amacı, aynı düğümde başlayıp yine orada sonlanan ve her düğümü tam bir kez ziyaret eden bir turu toplam maliyeti en aza indirecek biçimde belirlemektir. ARP'de ise bu hedefe ek olarak, her bir turda ziyaret edilen müşterilerin toplam talebinin, o turu gerçekleştiren aracın kapasitesini aşmaması kısıtı bulunmaktadır. Her iki problem de kombinatoryal eniyileme sınıfına aittir ve NP-zor nitelik taşımaktadır. Dolayısıyla, problem boyutu (ağın düğüm/kenar sayısı) büyüdükçe optimal çözüm elde etmek hesaplama açısından hızla olanaksızlaşmakta ve pratikte sezgisel ya da metasezgisel yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Son dönemde ARP, son adım lojistiğin gerçekçi kısıt ve belirsizliklerini içerecek biçimde zenginleştirilmiştir. Zengin ARP başlığı altında, çoklu amaç fonksiyonları, zaman pencereleri, heterojen/çok kademeli filolar, sürücü regülasyonları, dinamik talepler ve stokastik seyahat/talep koşulları birlikte modellenmektedir. Bu çerçevede yaygın bir sınıf, stokastik talep içeren modellerdir. Gerçek talep, müşteri noktasında açığa çıkar ve araç kapasitesi aşıldığında depo/ikmal noktasına geri dönüş ve turun sürdürülmesi gerekebilir. Son adım uygulamalarında öne çıkan bir diğer varyant, toplama–bırakma yapısına sahip modellerdir. Burada taşıyıcı, müşteri lokasyonlarında aynı durakta eşzamanlı toplama ve

bırakma yapabilir ya da akışlar ara depo, aktarma merkezi (cross-dock) ve ara merkezler üzerinden senkronize edilmektedir. Buna paralel olarak, son adımda dış kaynak kullanımı eğilimi güçlenmiştir. Dış kaynaklı ARP'de her bir müşteriye, işletmenin özel filosu ile mi yoksa haricî bir taşıyıcıya devredilerek mi hizmet sağlanacağı kararı rotalama ile eş zamanlı verilmektedir. Bu mekanizmalar, kapasite kullanımını artırma, boş dönüşleri azaltma ve hizmet seviyesini korurken maliyet ve emisyonu düşürme amaçlarıyla, son adım bağlamında hesaplamalı olarak zor olan rotalama kararlarını gerçekçi operasyon kısıtları altında çözülebilir kılmaya yöneliktir. Son adım teslimat faaliyetleri çoğunlukla heterojen bir filonun kullanılmasını gerektirmektedir. Bu bağlamda Heterojen Araç Rotalama Problemi (HARP), farklı kapasite, sabit maliyet ve seyahat maliyetlerine sahip karma bir filonun, bir müşteri kümesine toplam maliyeti en aza indirecek şekilde hizmet vermesini varsaymaktadır. Yük türüne özgü kapasite kısıtlı ARP ise yalnızca belirli yüklerin taşınmasına izin veren araçların (örneğin, her bölmesi belirli bir yük türüne ayrılmış çok bölmeli araçlar) kullanılmasını öngörmektedir. Son dönemde, HARP'nin daha çevreci araç tiplerini (örneğin, elektrikli ve hibrit taşıtlar) içeren türevleri de literatürde giderek daha fazla incelenmektedir (Giuffrida vd., 2022).

1.2.2.2. Ulaşım Planlaması

Seyahat planlayıcıları, yolculuk yapan bireylere yönelik tasarlanmış çözümler olup farklı ulaşım türleri arasındaki aktarma seçeneklerini görselleştirme, karşılaştırma ve seçme imkânı sağlamaktadır. Ancak bu tür sistemler yük ve kargo taşımacılığı için gereken operasyonel verimliliği sağlama konusunda yetersiz kalmaktadır. Yük lojistiği kapsamında, taşıyıcıların kararlarını eniyileyecek veri entegrasyonu ve optimizasyon fonksiyonlarını barındıran, kapsamlı ve bütünleşik platformlara ihtiyaç duyulmaktadır. Veri aktarım standartlarının birbiriyle uyumlu olmaması, yerel taşımacılık işletmelerini çok çeşitli sistemler kullanmaya zorlamakta ve bu durum, son adım teslimatta iş birliğine açık büyük taşıyıcıların farklı bilgi teknolojileri altyapılarına uyum sağlama zorunluluğunu doğurmaktadır. Taşıyıcılar arasındaki bütünlük eksikliği, yol ağındaki mevcut yük akışlarının dağılımının tam olarak bilinmemesine yol açmaktadır. Bu nedenle işletmeler, araç konum takibi ve rota planlaması gibi işlevler sunan gelişmiş filo yönetim sistemlerine yönelmektedir. Son adım teslimatta tedarik zincirlerini optimize etmeye yönelik çevrim içi rota planlama araçları bulunsa da, çoğu taşıyıcı kararlarını hâlâ yalnızca maliyet ve zaman kriterlerine dayandırmakta ve çevresel etkileri göz ardı

etmektedir. Çevresel sürdürülebilirliği merkeze alan yaklaşımlar ise literatürde sınırlı örneklerle temsil edilmekte, bu örnekler çevre dostu teslimat seçeneklerinin potansiyelini ortaya koymaktadır (Sierpiński & Staniek, 2019). Bu bağlamda, ulaşım planlaması kapsamında etkinlik artışının bazı temel kaldıraçları öne çıkmaktadır. Konsolidasyon politikaları kapsamında, Kentsel Konsolidasyon Merkezleri (Urban Consalidation Center-UCC) ve mikro-hub'lar aracılığıyla gönderiler son adım öncesinde birleştirilip bu sayede bırakma noktaları coğrafi olarak yoğunlaşmaktadır. Duruş başına bırakılan paket sayısı artmakta, tur başına araç-km ve duruş sayısı azalmaktadır. Atıl kapasitenin kullanımı ve yük havuzu uygulamaları (yük paylaşımı, load pooling) ile farklı göndericilerin aynı yön ve doğrultudaki yükleri turlarda bir araya getirilip araç içi boş hacim ve ağırlık kapasitesi daha yüksek oranda değerlendirilebilmektedir. Böylece kısmi yük (Less-than-Truckload-LTL) turlarının payı azalmaktadır. Randevulu veya zaman dilimi temelli ev teslimatında talep, kapasitesi sınırlı zaman dilimlerine (slot) yönlendirilip slotların fiyatlandırılması ve teklif kurallarıyla talep biçimlendirme yapılmaktadır. Bu sayede, pik saatlerdeki yük birikimi (peak load) yumuşatılmakta ve rota ile kurye planları daha dengeli hale getirilmektedir. Yükleme eniyilemesinde, kısıtlı araç hacminde iki veya üç boyutlu yerleştirme (bin packing) algoritmalarıyla hacim ve ağırlık dağılımı optimize edilip istif kuralları (kırılgan veya üstüne yük bindirilemez ürünler vb.) gözetilerek hasarsız yerleşim sağlanmakta, tur başına taşıma kapasitesi yükseltilmektedir. Farklı taşıma modlarının birlikte kullanımı filo-mod karması kapsamında, e-bisiklet, kargo bisikleti, EV, küçük hacimli dağıtım araçlarının bir arada kullanımıyla son adım uygun segmente atanıp kısa mesafe ve yüksek yoğunluk bölgelerinde mikro mobilite tercih edilerek erişim ve park süreleri kısaltılmaktadır. Böylece emisyon ve gürültü etkileri azalmakta kentsel lojistikte sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlanmaktadır (Olsson vd., 2019).

1.2.2.3. Çizelgeleme

Çizelgeleme, son adım lojistikte görevlerin sıralanması ile araç, kurye, drone gibi kaynakların zaman ekseninde tahsisini kapsamaktadır. Amaç, gecikme, toplam hizmet süresi veya ceza maliyetlerini en aza indirirken hedeflenen hizmet seviyesini korumaktır. Klasik teslimat çizelgelemenin yanında, literatürde kamyon–drone eşgüdümü (drone'nun fırlatma ve buluşma zamanlarının ayarlanması, bekleme sürelerinin senkronizasyonu) ve kurye–kargo dolabı eş zamanlaması (kargo dolabı erişim pencereleri ve doluluk

kısıtlarıyla uyumlu zamanlama) öne çıkmaktadır. Tipik kısıt kümesi, zaman pencereleri, hazırlık, kurulum ve servis süreleri, dinlenme ve mesai düzenlemeleri, rota süresi üst sınırları ve hizmet düzeyi anlaşmalarından (zamanında teslim, ilk denemede teslim başarısı vb.) türeyen ceza fonksiyonlarını içermektedir. Karar değişkenleri, her görevin başlangıç ve zamanlama anı, görevler arası sıra, araç–görev ve drone–görev eşleştirmeleri ile kalkış ve dönüş zamanlamalarını kapsamaktadır (Savelsbergh & Ulmer, 2024).

1.2.2.4. Tesis Yeri Seçimi

Tesis yeri seçimi, işletmeler açısından rekabet konumlanması, maliyet yapısı ve bunların yol açtığı ekonomik ve çevresel etkiler üzerinde belirleyici olan, yüksek etkili bir stratejik tasarım kararıdır. Kurulan tesis ağının konum mimarisi, kapasite, filo/mod karması ve zaman pencereleri gibi taktik kararları, rota ve müşteri–tesis tahsisi gibi operasyonel kararları doğrudan şekillendirmektedir. Tesis yeri seçimi, bir talep noktaları kümesine hizmet vermek üzere bir ya da birden çok tesisin açılacağı lokasyonların ve gerekiyorsa hangi talebin hangi tesise tahsis edileceğinin, verilen kısıtlar (bütçe, kapasite, hizmet seviyesi, erişilebilirlik vb.) ve optimalite ölçütleri (toplam maliyetin ve mesafenin minimizasyonu, en kötü durum mesafesinin sınırlandırılması, kapsama maksimizasyonu vb.) altında en iyilenmesini konu almaktadır. Bu tür seçimler, hastane ve itfaiye istasyonu gibi acil hizmet tesislerinden otobüs ve tren durağı, kamyon terminali, akaryakıt istasyonu, kan bankası merkezi, perakende mağaza, kütüphane ve park, posta ofisi, havaalanı ve düzenli depolama sahasına kadar geniş bir konumlandırma yelpazesinde uygulanmaktadır (Rabe vd., 2021). Son adım lojistikte konsolidasyon merkezleri, mikro-depolar/mikro-hub'lar, kargo dolapları ve PUDO noktalarının konumlandırılması hizmet düzeyi, maliyet ve emisyon üzerinde belirleyici etkiye sahiptir. Bu çerçevede kapsama ve yer çekimi modelleri, konum-rotalama ve envanter-rotalama ile bütünleşik tasarımlar, erişilebilirlik ve eşitlik, yaya-bisiklet erişimi ile yerel düzenlemelerle birlikte değerlendirilebilmektedir (Olsson vd., 2019).

1.2.3. Tedarik Zinciri Yapıları

Son yıllarda çevrim içi ve internet temelli işlemlerin kayda değer biçimde artması son adım lojistik faaliyetlerini doğrudan etkilemiş olup ortaya çıkan pazar dinamiklerini taşıyacak yenilikçi dağıtım modellerini gündeme taşımıştır. Bu yönelim, bir yandan son adım lojistiğin katkıda bulunduğu ekolojik bozulma baskısına, diğer yandan hızla kentleşen toplumların son adım lojistik hizmet sağlayıcılarına yüklediği erişim, kapasite

ve düzenleme temelli kısıtlara verilen bir yanıt olarak okunmaktadır (Lim vd., 2016). Olsson vd. (2019), son adım lojistik alanında yenilik ve denemelerin çoğalmasına rağmen, dağıtım yapıları ile bunlara bağlı tasarım değişkenlerine ilişkin bilginin hem sınırlı hem de dağınık kaldığını, bu parçalı görünümün sistem tasarımını zorlaştırarak uygulayıcılar için belirsizlik ürettiğini ortaya koymaktadır. Kentlerde uygulanan son adım dağıtım yapıları için bütünleştirici bir sınıflandırma ve karşılaştırma çerçevesinin eksikliği, tedarik zinciri yapıları tartışmasını stratejik hâle getirmektedir. Tedarik zinciri yapıları, son adım lojistiğe özgü olarak lojistik ve tedarik zinciri tasarımı, kentsel yük terminalleri, kentsel planlama, kentsel yük yapıları ve ağ tasarımından oluşan beş alt temada incelenebilir.

1.2.3.1. Lojistik ve Tedarik Zinciri Tasarımı

Lojistik ve tedarik zinciri tasarımı alt teması, tedarik zincirinin başlıca bileşenlerinin bütünleşik biçimde kurgulanmasına odaklanır. Bu kapsamda sipariş karşılama (fulfillment), dağıtım tasarımları, merkez-uydu (hub-and-spoke) sistemleri, son adım lojistik modelleri ve dağıtım sistemine özgü lojistik güçlükler (kapasite, konsolidasyon, erişim ve düzenleyici kısıtlar vb. unsurlar) birlikte ele alınmaktadır. Bu kapsamda, düğüm konumları, akış yapısı ve kapasite kararları birlikte gözetilerek hizmet seviyesi, maliyet ve sürdürülebilirlik hedefleri eşzamanlı eniyilenmektedir (Olsson vd., 2019).

1.2.3.2. Kentsel Yük Terminalleri

Kentsel yük terminalleri, son adım akışlarını destekleyen ara düğümler bütününü ifade eder ve kentsel dağıtım merkezleri (Urban Distribution Centre-UDC), kentsel konsolidasyon merkezleri (Urban Consolidation Centre-UCC), mobil depolar ve yükleme/indirme rampaları gibi farklı tesis türlerini kapsamaktadır. Bu tesisler, konsolidasyon, kısa süreli elleçleme, geçici depolama ve kentsel alanda güvenli yükleme–boşaltma gibi işlevlerle, dağıtım verimliliğini ve hizmet seviyesini artırmayı amaçlamaktadır (Olsson vd., 2019).

Artan kentleşmeyle birlikte kentsel alanların sürdürülebilirliği için gerekli tüketim mallarının taşınması ve tesliminin stratejik önemi belirginleşmekte olup bu eğilim kentsel yük taşımacılığının temel itici güçlerini kapsamaktadır. Kentsel yük dağıtımı, kent ortamlarında malların toplanması, taşınması ve son noktalara dağıtılmasını tanımlayan bütüncül bir sistem ve süreç çerçevesini kapsamaktadır.
Bu çerçeve, uluslararası ve ulusal ticaretin desteklenmesini, yerel işletmeler ile

tüketicilerin günlük gereksinimlerinin karşılanmasını, depo ve dağıtım merkezleri, perakende mağazalar, işletmeler ve haneler arasındaki lojistik akışların yürütülmesini kapsamaktadır. Ayrıca deniz limanları, havaalanları, demiryolu sahaları, üretim tesisleri ve depo/dağıtım merkezleri gibi yük üreten tesislerden kentsel bölgelere yönelen taşımaları ve bu taşımaların kentsel karayolu ile demiryolu ağları üzerinde gerçekleştirilmesini içermektedir (Nathanail vd., 2016a) Yük terminallerinin etkinliği, terminal sahası içinde yürütülen çok sayıdaki faaliyetin (elleçleme, konsolidasyon, sevkiyat planlama vb.) bütüncül performansına bağlıdır. Özellikle kentler arası terminallerin rolü ve performansı, kentsel dağıtımın verimliliğini büyük ölçüde belirlemekte ve çoğu durumda kent lojistiği sistem mimarisinin nasıl biçimleneceğini tayin etmektedir. Banliyö ve kentler arası kuşakta konumlanan terminaller, yakın çevredeki kentlere doğru mal akışında bölgesel geçit işlevi görerek, dağıtımın zaman ve maliyet boyutlarında kritik katkılar sunmaktadır. Bu bağlamda, gönderi ataması ve sevkiyat planlaması terminal düzeyinde yapılarak malların bölgesel varış noktalarına daha yüksek verimle yönlendirilmesi sağlanmaktadır. Konsolidasyon merkezleri, farklı göndericiler ile taşıyıcıların/LHS'lerin iş birliğini mümkün kılan düğümler olarak parçalı akışları birleştirirken, modlar arası terminaller, uzun mesafe taşımacılığının (denizyolu, demiryolu) ölçek ve maliyet avantajlarını son adım karayolu dağıtımı ile kesintisiz biçimde bütünleştirerek modlar arası akışın uyumlu işlemesini sağlamaktadır. Bu entegrasyonun sonuçları arasında daha yüksek araç doluluk oranları, daha düşük trafik sıkışıklığı ve azaltılmış çevresel emisyonlar yer almaktadır (Nathnail vd., 2016b).

1.2.3.3. Kentsel Planlama

Kentsel planlama çalışmalarının odağında yer alan kentsel yük faaliyetlerinin mekânsal, çevresel ve operasyonel etkileri ile bu etkilerin yönetilmesini amaçlayan park rejimleri ve uygulamalarına ilişkin değerlendirmeler yer almaktadır (Olsson vd., 2019). Kentsel planlama alt teması, son adım lojistik performansını belirleyen mekânsal ve düzenleyici araçların bütüncül tasarımını kapsamaktadır. Bu kapsam, kentsel yük faaliyetlerinin yoğunluk ve maruz kalım durumlarını dikkate alan arazi kullanım kararları (UCC/mikro-hub konumları, lojistik koridorları), kaldırım/park şeridi tahsisi ve yükleme–boşaltma rampaları için zaman pencereleri ve fiyatlama rejimleri, düşük emisyon bölgeleri ve erişim kısıtlarıyla uyumlu filo–mod karmasının yönlendirilmesi, ev dışı teslimat altyapısının imar ve izin süreçlerine entegrasyonu ile iade–tersine lojistik akışlarının

kentsel dolaşım planlarıyla eşgüdümünü kapsamaktadır. Planlama kararları; ilk denemede teslim oranı, araç-km, CO_2 emisyonu, park ve servis süresi, trafik tıkanıklığına katkı ve gürültü maruziyeti gibi göstergelerle izlenen performans hedefleriyle ilişkilendirilmekte olup talep yönetimi (randevulu/slot temelli teslimat), konsolidasyon teşvikleri ve dijital kaldırım tahsisi gibi araçlar yoluyla lojistik etkinlik ile kentsel yaşam kalitesi arasındaki dengeyi optimize etmeyi kapsamaktadır. Bu çerçeve, dağıtım verimliliği, çevresel sürdürülebilirlik ve kamusal alanın adil kullanımı arasında kanıta dayalı bir uzlaşıyı gerektirmektedir.

1.2.3.4. Kentsel Yük Yapıları

Kentsel alanlarda yük hareketliliği son yıllarda belirgin biçimde artış göstermektedir. Bu artış, ulaşıma bağlı dışsallıkları yoğunlaştırarak sera gazı emisyonları, trafik sıkışıklığı, hava ve gürültü kirliliği, trafik kazaları ve özellikle karayolu altyapısında yıpranma gibi sorunları derinleştirmektedir. Mevcut tahminler, ulaştırma sektörünün küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %20–25'ini oluşturduğunu göstermektedir. Artan taşıma talebi aynı zamanda zaman ve maliyet kayıplarını büyütmektedir. Özellikle kentsel yük akışındaki yükseliş eğilimi, tedarik zincirinin kritik olmakla birlikte görece verimsiz ve yüksek maliyetli bileşeni olan son adım lojistik üzerinde belirgin bir baskı oluşturmaktadır (Bosona, 2020). Kentsel yük yapıları, kentsel yük taşımacılığı için model tasarımına odaklanmış olup özellikle sürdürülebilirlik perspektifinden geliştirilen modelleri ve kentsel yük stratejilerine ilişkin çalışmaları kapsamaktadır (Olsson vd., 2019).

1.2.3.5. Ağ Tasarımı

Ağ tasarımı alt teması, son adım lojistiğe yönelik ağların kurgulanmasına odaklanmayı ifade etmekte olup son adım tedarik ağları, lojistik ağlar ve ulaşım ağlarının tasarımına ilişkin araştırmaları içermektedir (Olsson vd., 2019).

Kentlerin ölçeği, nüfus yoğunluğu ve mekânsal/kurumsal karmaşıklığı arttıkça, kentsel lojistik ağlarının bu kısıtlı ortamlarda kârlı biçimde işleyebilmek için daha verimli, esnek ve dayanıklı olacak şekilde evrilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda işletmeler, son adım stratejilerini yeniden tanımlamakta ve merkezi dağıtım merkezinin ötesinde, müşteriye daha yakın konumlanan uydu tesisleri ile ikinci bir dağıtım katmanının eklendiği çok kademeli dağıtım ağları kurmaya yönelmektedir. Ayrıca, yerel hizmet gereklilikleri ve politika kısıtlarına uyum sağlamak amacıyla heterojen filo (farklı kapasite ve özelliklere

sahip araç türleri) kullanımına geçilmesi ve yeni teslim alma–bırakma çözümlerinin uygulanması zorunlu hâle gelmektedir.

1.2.4. Performans Ölçümü

Performans ölçümü, son adım lojistiğinin farklı boyutlardaki performansının değerlendirilmesine odaklanan çalışmaları ifade etmekte ve üç alt temayı kapsamaktadır (Olsson vd., 2019).

1.2.4.1. Çevresel Performans

Çevresel performans alt teması, perakende kanallarının, ürün teslim alma çözümlerinin, son adım lojistik yeniliklerinin ve kentsel yük trafiğinin çevresel etkilerinin nicel olarak değerlendirilmesini kapsamaktadır (Olsson vd., 2019). Hava kirleticileri, sera gazı emisyonları ve gürültüde azalma çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması için değerlendirilen çevresel performans göstergeleridir (Comi & Savchenko, 2021). Ayrıca enerji verimliliği (taşımacılıkta yıllık enerji tüketimi, yıllık yenilenebilir enerji payı) de çevresel performans içerisinde değerlendirmesi yapılabilen bir başka göstergedir (Garus vd., 2022).

1.2.4.2. Müşteri Odaklı Performans

Müşteri odaklı performans alt teması, son adım lojistikte müşteri perspektifinden performansı değerlendiren çalışmaları ifade etmektedir. Özellikle müşteri memnuniyeti, hizmet kalitesi, müşteri gereksinimleri, müşteri deneyimi ve tüketicilerin ulaşım modu tercihleri gibi göstergelerin ölçülmesini kapsamaktadır (Olsson vd., 2019).

1.2.4.3. Ekonomik Performans

Ekonomik performans alt teması, son adım lojistiğinin maliyet bileşenleri ile kârlılık göstergeleri açısından nicel olarak değerlendirilmesini kapsamaktadır (Olsson vd., 2019). Kar maksimizasyon performansının değerlendirilmesinde esas alınan boyutlar; gelir/fiyatlandırma stratejisinin tutarlılığı ve esnekliği, iş değeri yaratma kapasitesi, pazar büyüklüğü ve erişilebilirliği ve satış oranları (örneğin geri dönüşler ve tekrar satın alma) olarak sıralanabilir. Dağıtım maliyet düzeyi; işgücü maliyeti (kurye ücretleri, fazla mesai, yan haklar), araç ve enerji maliyeti (yakıt/elektrik, bakım-onarım, lastik, amortisman), zaman ve duruş maliyeti (ücretli park, ceza), tesis ve elleçleme maliyeti (sıralama, konsolidasyon, micro-hub/kargo dolabı kira veya hizmet bedelleri), malzeme maliyeti (paketleme, etiket), sigorta ve güvenlik maliyeti (kargo sigortası, kayıp/hasar, güvenlik

ekipmanı), tersine lojistik maliyeti (iadelerin toplanması, elleçlenmesi), geçiş maliyetleri (köprü, otoyol, şehir içi erişim) ile belirlenebilir. Dağıtım maliyet performans değerlendirmesi, süre, mesafe, yoğunluk, kaçırılan teslimatlar, iade ve rota planlaması kullanılarak doğrudan nicel bir şekilde yapılabilmektedir.

1.2.5. Politikalar

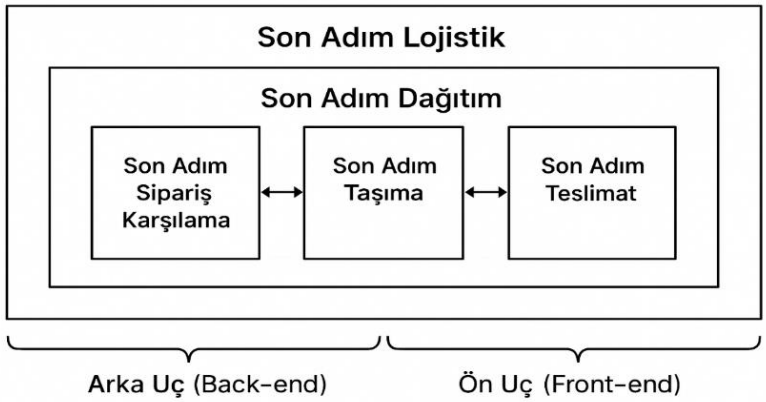
Politika teması, son adım lojistikte uygulanabilir politika araçlarının değerlendirilmesini konu alan çalışmaları kapsamaktadır. Bu kapsam, yük konsolidasyonu politikaları altında en uygun teslimat filosunun/bileşiminin (araç türü ve teknoloji karması) belirlenmesine yönelik analizler ile perakende sektöründe karbon emisyonlarının azaltımına dönük mevcut politika araçlarının etkililiği, uygulanabilirliği ve sınırlarının irdelenmesini kapsamaktadır (Olsson vd., 2019). Kentsel son adım lojistiğin yönetimi; erişim kısıtları (düşük emisyon bölgeleri, zaman pencereleri), kaldırım/park şeridi tahsisi ve fiyatlaması, yolculuk ve yoğunluk temelli ücretlendirme araçları (trafik sıkışıklığı ücreti, şehir içi yol fiyatlaması), filo ve mod dönüşüm teşvikleri (EV/e-bisiklet/kargo bisikleti destekleri), konsolidasyon ve mikro-hub'ların planlara entegrasyonu ile veri yönetişimi–standartlarını kapsamaktadır. Politikalar; ekonomik araçlar (teşvik, sübvansiyon, vergi/harç), düzenleyici araçlar (erişim yasakları, servis saatleri, yükleme-rampa zorunlulukları), altyapı araçları (UCC/mikro-hub, kargo dolabı/PUDO ağı, dijital kaldırım tahsisi vb.), bilgi araçları (açık veri, izlenebilirlik, gerçek zamanlı slot yönetimi) olarak sınıflandırılmaktadır. Uygun tasarlanmış politika paketleri, araç-km ve boş dolaşımı azaltarak çevresel performansı, ilk denemede teslim oranını ve hizmet kalitesini artırırken birim dağıtım maliyetini düşürmeyi amaçlamaktadır. Bu politikaların etkinliği, kamu–özel sektör iş birliği çerçeveleri, pilot uygulamalar ve performans temelli izleme–değerlendirme sistemleri ile güçlendirilmektedir.

1.3. Son Adım Lojistik Süreçlerinde Önerilen Çerçeve

Son adım lojistik süreçlerinde önerilen bütüncül çerçeve, birbiriyle ilişkili beş bileşenden oluşmaktadır. Bunlar; makro düzeyde son adım lojistik, son adım dağıtım ve çekirdeği oluşturan üç ardışık operasyonel bileşen olan son adım sipariş karşılama (last-mile fulfillment), son adım taşıma ve son adım teslimattır (Şekil 1.1). Çekirdek üçlü, kısa vadeli planlama ufkuna sahip operasyonel literatürü kapsamaktadır ve bütünsel olarak son adım dağıtım başlığı altında kümelenmektedir. Son adım dağıtım, taktik niteliği ve orta vadeli planlama ufku ile çekirdeği genişletmektedir. En geniş şemsiye olan son adım

lojistik ise uzun vadeli, stratejik tasarım ve yönetim meselelerini ele alarak sistemi çevresiyle birlikte bütüncül biçimde görünür kılmaktadır. Çerçeve, aynı zamanda arka uç (back-end) ve ön uç (front-end) perspektiflerinden okunabilmektedir. Arka uç göndericiye, ön uç alıcıya dönük süreçleri ifade etmektedir (Olsson vd., 2019).

Şekil 1.1. *Son adım lojistik çerçevesi*



1.3.1. Son Adım Lojistik

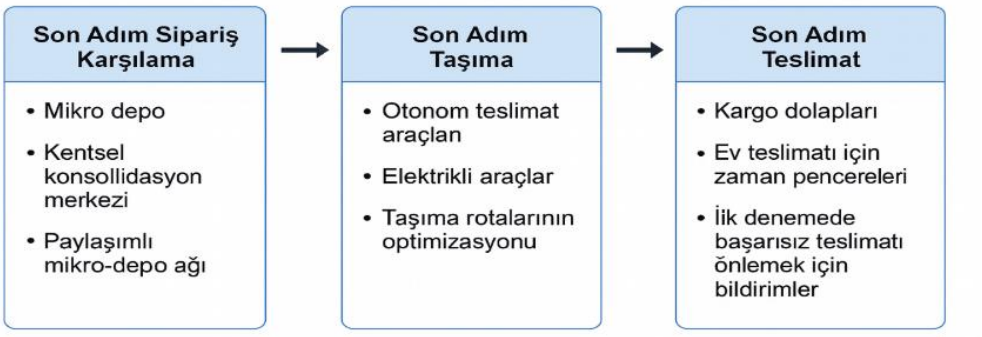
Son adım lojistik, özellikle son on yılda hem akademide hem de uygulamada hızla yükselen bir araştırma alanı olarak değerlendirilmektedir. Bu artış, kentleşme ve nüfus büyümesi, e-ticaret hacmindeki genişleme, tüketici davranışlarında hız ve esneklik yönünde gözlenen dönüşüm, yenilikçi uygulamalar ve sürdürülebilirliğe artan ilgi tarafından tetiklenmektedir. Literatürde pek çok tanımı bulunsa da ortak uzlaşı, son adım lojistiğin tedarik zincirinin son kesitini yani son dağıtım merkezinden alıcının tercih ettiği varış noktasına kadar uzanan bölümü ifade ettiğidir. Bu kesit, çoğu çalışmada tedarik zincirinin en maliyetli, en az verimli ve çevresel etkisi en yüksek parçası olarak belirtilmektedir. Çeşitli koşullara bağlı olarak bu son aşamanın toplam tedarik zinciri maliyetinin %13–75'ini oluşturduğu raporlanmaktadır. Son adım lojistik performansı, tüketici yoğunluğu ve zaman pencereleri, trafik sıkışıklığı, teslimatların parçalanma düzeyi ile gönderi boyutu ve homojenliği gibi çoklu etmenlere bağlıdır. Bununla bağlantılı olarak, son adım faaliyetleri sera gazı emisyonları, hava kirliliği, gürültü ve kentsel tıkanıklık gibi önemli dışsallıklar üretmektedir. Bu çerçevede, son adımın yapısal ve işletimsel boyutlarının daha iyi anlaşılması ve ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirliğin güçlendirilmesi için analitik ve uygulamalı çalışmalara duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır (Olsson vd., 2019). Son adım lojistiğin doğasında, hizmet hızı ile çevresel sürdürülebilirlik arasında dengelenmesi güç ödünleşimler bulunmaktadır.

Daha kısa teslimat süreleri, birim gönderi başına enerji tüketimi ve emisyonları artırma eğilimindedir. Buna karşılık kullanıcılar düşük karbon ayak izi beklentisini sürdürürken hız ve kolaylıktan feragat etmeye çoğunlukla isteksiz görünmektedir. Bu nedenle etkin ve sürdürülebilir son adım lojistik yönetimi, söz konusu çelişen hedeflerin birlikte gözetildiği karar süreçleri ve işletme politikalarının sistematik biçimde tasarlanmasını gerektirmektedir. Öte yandan kentlerin daha katı çevresel düzenlemelere yönelmesi ve müşteri ve paydaş baskısının çevresel etkinin azaltılmasına dönük artması, son adım lojistiği hem uygulamada hem de akademide öncelikli bir yenilik ve araştırma alanı hâline getirmektedir.

1.3.2. Son Adım Dağıtım

Küresel ölçekte artan kentleşme, kentsel alanlarda yük dağıtımı ve hizmet sunumuna ilişkin taşıma faaliyetlerini yükseltmektedir. Bunun sonucunda trafik sıkışıklığı ve gürültü, emisyonlar ve sera gazı salınımları ile trafik kazası riski gibi sosyal, çevresel ve ekonomik etkiler belirginleşmektedir. Bu etkilerin azaltılabilmesi için kentlerin dönüşümünü hızlandırması ve özellikle de yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve uygulanmasına imkân veren yenilikçi kentsel yük operasyonlarını desteklemesi gerekmektedir. Söz konusu olumsuzlukların en görünür biçimde yansıdığı katman, son adım dağıtımdır. Bu aşamada lojistik maliyet yükü yoğunlaşmaktadır. Bu durum, tedarikçileri ve paydaşları taşıma maliyetlerini en aza indirmeye, aynı zamanda sosyal–çevresel–ekonomik etkileri azaltırken hizmet düzeyini kabul edilebilir sınırlar içinde sürdürmeye yöneltmektedir. Buna paralel olarak, daha yüksek iş birliği ve entegrasyon, yeni teknolojilerin benimsenmesi ve kaynakların verimli kullanımı yoluyla çözüm arayışları sürdürülmektedir (Oliveira vd., 2017). Son adım dağıtım, ürünlerin nihai tüketim noktasına ulaşıncaya dek farklı kanallar boyunca yürütülen elleçleme, taşıma ve depolama faaliyetlerini kapsamaktadır (Olsson vd., 2019). Bu süreçlerin genel akışı Şekil 1.2'de özetlenmektedir.

Şekil 1.2. *Son adım dağıtım aşamaları*



1.3.3. Son Adım Sipariş Karşılama

Sipariş karşılama, e-ticaret işletmeleri için hem en maliyet yoğun hem de en kritik operasyonlardan birisidir (M. Xu vd., 2008). Tedarik zincirinin son halkasını oluşturan son adım içinde, ürünün teslimata hazır hâle getirilmesine yönelik süreçler (stok tahsisi, toplama, ayıklama, paketleme, konsolidasyon ve sevke hazırlık) son adım sipariş karşılama bileşeni altında toplanmaktadır. E-ticaret lojistik sağlayıcıları, yüksek sipariş karşılama maliyetlerini fiyat duyarlı talep ile dengelemekte, ücretsiz teslimat baskılarına yanıt vermektedir. Aynı zamanda kısa teslimat çevrimleri, bireysel zaman pencereleri, izlenebilirlik ve kişiselleştirme gereksinimleri ile alternatif teslimat noktası seçeneklerini karşılamak durumunda bulunmaktadır. Buna ek olarak, ilk denemede başarısız teslimatlar ve iade oranlarının düzeyi operasyonel yük ve maliyetler üzerinde ilave baskı oluşturmaktadır (Janjevic & Winkenbach, 2020). Sipariş karşılama ile taşıma arasında güçlü operasyonel bağımlılıklar bulunduğundan, literatürdeki çalışmalar çoğunlukla bu iki bileşeni birlikte modellemektedir. Ayrıca, yük terminalleri ve dağıtım merkezlerinde sipariş karşılama süreçlerinin yeniden tasarımı yoluyla elleçleme verimliliğinin artırılabildiği ve LHS'ler ile çevrim içi perakendeciler arasında hedef uyumunun güçlendirilebildiği gösterilmektedir (Olsson vd., 2019). Son adım sipariş karşılama performansının izlenmesinde sipariş çevrim süresi, karşılama oranı, sipariş başı maliyet ve ilk denemede teslim oranı gibi göstergelerin kullanılması önerilmektedir.

1.3.4. Son Adım Taşıma

Son adım taşıma, malların son tüketim noktasına doğru hareketinin hafif veya ağır ticari araçlar, elektrikli araçlar, bisikletler/kargo bisikletleri, üç tekerlekli araçlar ve drone'lar gibi farklı taşıma türleriyle yürütülmesini kapsamaktadır. Bu bileşen, son adım sipariş karşılama ile son adım teslimat arasında işlev gören operasyonel ara yüzü oluşturarak son adım lojistik sisteminin bütünsel performansını etkilemektedir. Son adım taşıma sipariş

karşılama hem de son kullanıcıya teslimat süreçleri ile sıkı bağları nedeniyle, sistemin maliyet, hız ve sürdürülebilirlik performansını belirleyen merkezî bir bileşen olarak değerlendirilmektedir. Mevcut literatür, özellikle rotalama ve araç teknolojileri ekseninde, operasyonel kararların sistem düzeyindeki etkilerini nicel olarak ortaya koymaktadır (Olsson vd., 2019).

1.3.5. Son Adım Teslimat

Son adım teslimat, alıcının tercih ettiği nihai varış noktasına fiziksel teslim için gerekli tüm faaliyetleri kapsamaktadır ve sistemin alıcıyla temas eden ön yüzünü temsil etmektedir. Bu bileşen, son adım taşıma ile güçlü bir işlevsel bağımlılık içinde bulunmaktadır. Bu nedenle literatürde çoğunlukla birlikte ele alınmaktadır. Kentleşme ve e-ticaret hacmindeki artış, parsiyel ve paket akımlarında sürekli bir büyümeyi tetiklemektedir. Söz konusu eğilim, depo–saha ara yüzünün yeniden tasarlanmasını ve son adım kapasitesinin esnek biçimde ölçeklenmesini gerektirmektedir. Talep artışıyla kent merkezlerine giren araç sayısının yükselmesi, tıkanıklık, hava kirliliği ve güvenlik etkilerini artırmaktadır. Artan toplumsal farkındalık ve düzenlemeler (düşük veya sıfır emisyon bölgeleri, teşvik ve erişim kısıtları) çevresel açıdan daha sorumlu operasyonları zorunlu kılmaktadır. Bazı yargı alanlarında elektrikli araçlara yönelik ayrıcalıklar (belirli şerit erişimi) filo elektrifikasyonunu teşvik etmektedir. Katılımlı (attended) ev teslimatı, trafik, park kısıtları ve evde bulunmama nedeniyle işgücü yoğun ve maliyetli bir yöntem olarak değerlendirilmektedir. Buna karşılık katılımsız ve self-servis çözümler ilk denemede teslim oranını yükseltmekte ve yeniden denemeleri azaltmaktadır. Çevrim içi perakendenin aynı gün ya da ertesi gün teslimat vaatleri operasyonları dar zaman pencerelerine sıkıştırmakta, haftalık veya mevsimsel pikler ise mikro-depolar, esnek araç ve işgücü havuzları ve zaman penceresi fiyatlaması gibi kısa sürede ölçeklenebilir tasarımları gerektirmektedir (Boysen vd., 2021). Sonuç olarak son adım teslimat, hız–maliyet–sürdürülebilirlik ekseninde eşzamanlı yönetimini gerektiren bir tasarım problemi haline gelmektedir.

İKİNCİ BÖLÜM

SÜRDÜRÜLEBİLİR KENTSEL LOJİSTİK

Bu bölüm, sürdürülebilir kent hedefleriyle uyumlu kentsel lojistik anlayışını çerçevelemekte ve çalışmanın sonraki bölümlerinde ele alınacak kitle kaynaklı teslimat stratejilerinin oluşturulmasına teorik zemin hazırlamaktadır. Ayrıca bu bölüm, paydaşlar arasındaki farklılaşan öncelikleri çevresel-ekonomik-sosyal-teknik göstergeler seti üzerinden sistematikleştirmekte ve izleyen bölümlerde kullanılacak yöntemsel çerçeveye (ölçüt tasarımı ve değerlendirme) zemin hazırlamaktadır.

2.1. Kentsel Lojistik Kavramı ve Kapsamı

Kentsel lojistik, özellikle son yirmi yılda araştırmacılar ve uygulayıcıların gündeminde yer alan, planlama ile işletme kararlarının iç içe geçtiği bir çalışma alanı hâline gelmiştir. Günümüzde kentsel lojistiğe ilişkin iki temel yaklaşım literatürde öne çıkmaktadır. İlk yaklaşım, Taniguchi ve arkadaşlarının (2001) çizdiği çerçevedir. Buna göre kentsel lojistik, "kentsel alanlarda özel sektörün yürüttüğü lojistik ve taşımacılık faaliyetlerinin, piyasa ekonomisi koşulları içinde, trafik ortamı, sıkışıklık ve enerji tüketimi gibi kısıtlar gözetilerek bütünsel olarak optimize edilmesi hedefidir." İkinci yaklaşım ise Ambrosini ve Routhier (2004) ile Anderson ve arkadaşlarının (2005) çizgisini izlemektedir. Bu bakış, optimizasyondan ziyade örgütlenme ve yönetişim boyutuna odaklanmaktadır. Buna göre kentsel lojistik, kent içi yük taşımacılık sistemlerinin iyileştirilmesine yönelik farklı örgütlenmeleri, lojistik düzenekleri, paydaşları ve planlama araçlarını çok disiplinli bir zeminde anlamayı, çözümlemeyi ve birbirleriyle eşgüdümlü biçimde ilişkilendirerek söz konusu faaliyetlerin yol açtığı olumsuz dışsallıkları azaltmayı amaçlamaktadır. Alan yaklaşık kırk yıllık bir birikime sahip olmakla birlikte, uygulamaya doğrudan etki eden eşgüdümlü araştırma girişimleri esasen 20. yüzyılın sonuna doğru belirginleşmiştir. Bu tarihsel dönüşüm, kentsel lojistiğin günümüzde yalnızca işletme verimliliğini değil, aynı zamanda trafik güvenliği, enerji verimliliği, çevresel emisyonlar ve toplumsal refah gibi

hedefleri birlikte gözeten politika ve uygulama setleriyle ele alınmasını gerekli kılmaktadır (Gonzalez-Feliu vd., 2014).

Günümüzde kentsel lojistik alanında, önemli bir bölümü araştırma programlarının çıktısı olan çok sayıda uygulama gözlemlenmektedir. Ancak bunların tamamı kalıcı ya da operasyonel ölçekte sürdürülen girişimler değildir. Bu durumun temelinde, kentsel lojistiğin çok paydaşlı yapısı, hedef ve beklentilerin çeşitliliği ve bu çeşitliliğin eşgüdümlü eylemler üretmesini güçleştiren yönetim zorlukları yatmaktadır. Kamusal paydaşlar (siyasetçiler, kent planlayıcıları, toplu taşıma yöneticileri ile bölgesel ya da ulusal teknik birimler), kolektif refah perspektifinden hareketle, kentsel alanları cezalandırmadan ve mümkün olduğunda istihdam yaratmayı da gözeterek, yük taşımacılığına atfedilen başlıca olumsuz dışsallıkları (sıkışıklık, hava kirliliği, sera gazı salınımları ve gürültü) azaltmayı amaçlamaktadır. Buna karşılık özel sektör paydaşları (yükleyiciler, taşımacılık ve lojistik işletmeleri, perakendeciler, toptancılar, zanaatkârlar, gayrimenkul aktörleri ve hizmet sektörü), öncelikle ekonomik verimlilik ve hizmet kalitesini artırmaya odaklanmaktadır. Çevresel hususları dikkate alsalar da karar denkleminde bunları çoğu zaman birincil ölçüt olarak konumlandırmazlar. Bu heterojenlik, "sürdürülebilirlik" kavramının paydaşlar arasında farklı yorumlanmasına yol açmaktadır. Her ne kadar belgeler (örneğin, Kyoto Protokolü) ortak bir referans sunsa da, ekonomik, çevresel ve sosyal bileşenlere atfedilen göreli önemler değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, geliştirilen öneri ve çözümlerin tekil ve herkesçe paylaşılan bir vizyon üzerinden değerlendirilmesi çoğu zaman güçleşmektedir. Üstelik söz konusu gerilimler, kentsel yük taşımacılığının yüksek kısıtlı çalışma ortamı ve yolcu taşımacılığıyla yoğun etkileşimi nedeniyle daha da belirgin hâle gelmektedir. Literatürde sıkça vurgulandığı üzere, dışsallıkların kaynağı çoğu zaman bizzat yük taşımacılığı değil, yolcu taşımacılığının neden olduğu tıkanıklık ve mekânsal kısıtların etkin olmayan yük operasyonlarını tetiklemesidir. Bu bağlam, paydaşlar arası iş birliği mekanizmalarının ve bütüncül değerlendirme çerçevelerinin tasarımını stratejik bir öncelik hâline getirmektedir (Gonzalez-Feliu vd., 2014).

Literatürde kentsel yük taşımacılığı ile kentsel lojistik arasındaki ilişki farklı biçimlerde konumlandırılmaktadır. Anand, van Duin ve Tavasszy (2014), kentsel yük taşımacılığını kentsel lojistiğin bir alt kümesi olarak ele almakta ancak odak noktasının özellikle araç hareketleri ve mal teslim operasyonları olduğunu vurgulamaktadır. Bunun tersine Alho,

Silva ve Sousa (2014), kentsel lojistik ile kentsel yük taşımacılığı arasında önemli örtüşmeler bulunduğunu, fakat ilkinin ikincisinin basit bir üst çerçevesi olarak görülemeyeceğini savunur. Tartışmayı daha da zenginleştiren ve kullanım sıklığı artan bir kavram olarak son adım teslimat, çoğu çalışmada özellikle B2C ev teslimatlarıyla ilişkilendirilmektedir (Janjevic & Ndiaye, 2014). Bu farklı tanımlamalar, kavramsal sınırların bağlama ve amaca göre değişebildiğine işaret etmektedir. Bu nedenle tez kapsamında kavramların açıkça ayrıştırılması ve ilişkilerinin net biçimde kurulması önem taşımaktadır. Bu bağlamda kentsel lojistik, araç–yük akımları, taşınan malların özellikleri ve yöntemsel/araştırma yaklaşımı olmak üzere üç temel bileşene odaklanan bir çerçeve olarak ele alınmaktadır (Cardenas vd., 2017).

Kentsel yük dağıtımı (Urban Goods Distribution, UGD), kentsel lojistiğin önemli bir alt alanını oluşturmaktadır. UGD, malların kentsel alan içinde, kentten dışarı ve kente doğru daha etkin nasıl dağıtılabileceğini incelemektedir. Fernandez-Barcelo ve Campos-Cacheda (2012), kentsel yük dağıtımını tekerlekli araçlarla gerçekleştirilen mal taşımaları ile bu taşımaları destekleyen faaliyetlerin kentsel çevreye yönelik ya da kentsel çevre içinde yürütülen bir süreç olarak tanımlamaktadır. Uygulamada UGD, kente giren yük akımlarını, konsolidasyon ve ayrıştırma için kullanılan tesisleri, bu faaliyetlerin maliyet yükünü, ortaya çıkan dışsallıkları ve trafik akımları ile yaşanabilirlik üzerindeki etkiler doğrultusunda kamu otoritelerince yürütülen politikaları birlikte ele almaktadır. Kentsel lojistik, yenilikçi kentsel yük dağıtımı politikalarının performansını da incelemektedir. Bu tür politikaların değerlendirilmesine yönelik evrensel ve birleştirici bir maliyet fonksiyonunun bulunmayışı, uygulama öncesi nicel değerlendirmeyi güçleştirmektedir. Bu güçlüklerin nedenleri arasında, çoklu paydaş yapısı nedeniyle güvenilir, tutarlı ve karşılaştırılabilir verinin bulunmayışı, sosyal ve çevresel maliyetlerin hesaba katılması gerekliliği, son adım teslimat ve toplama süreçlerine kıyasla daha geniş bir coğrafi kapsama sahip olunması ve lojistik sistemin hem son adım teslimat/toplama hem de kente yük erişimi boyutlarıyla birlikte ele alınması gereği yer almaktadır (Cardenas vd., 2017).

UGD, kentsel alana girişteki ilk temas noktalarına kadar uzanan lojistik sistemlerle ilgilenmekte olup kent içindeki ağ tasarımı, yer seçimi, kentsel erişim noktaları ve mevcut kentsel altyapının bulunduğu bölgeler söz konusu olduğunda kent içi süreçleri kapsamaktadır. Son adım teslimat ve toplama ise kentsel sınırlar içinde gerçekleştirilen mikro-dağıtım ve paket alma faaliyetlerini ifade etmektedir (Cardenas vd., 2017).

2.2. Sürdürülebilirlik ve Sürdürülebilirliğin Bileşenleri

Günümüzde nüfus artışı, kentleşme ve iç göç gibi dinamikler nedeniyle ihtiyaçlar yalnızca çeşitlenmekle kalmamakta, aynı zamanda hızla artmaktadır. Buna karşılık doğal kaynaklar giderek azalmakta, kirlenmekte ve kimi durumlarda geri dönüşsüz biçimde yok olma eğilimi göstermektedir. Bu koşullar altında "sürdürülebilirlik" kavramı, gündelik yaşamdan kamu politikalarına, özel sektörden sivil topluma kadar geniş bir yelpazede bir referans çerçevesi hâline gelmektedir. Sürdürülebilirlik, en yalın biçimiyle devamlılığı sağlama yeteneğini ve farklı alanlardaki ilişkilerin uyumlu biçimde kurgulanmasını ifade etmektedir. Terimin tarihsel kökleri, yenilenebilir doğal kaynakların dengeli kullanımına dayanan ormancılık geleneğine kadar uzanmaktadır. Nitekim von Carlowitz (1713), "sürdürülebilir verim" ilkesini sistematik biçimde ele alan erken dönem çalışmalardan birini ortaya koymaktadır (von Carlowitz, 1713). Bununla birlikte, kavramın politika gündeminde yükselişi esas olarak 1970'ler sonrasında ivme kazanmıştır. Bu dönemde çevre sorunlarının ölçeği artmakta, kaynak sınırlılıkları görünür hâle gelmekte ve kamuoyu duyarlılığı belirginleşmektedir. Club of Rome tarafından desteklenen ve Meadows ve arkadaşları tarafından hazırlanan "Büyümenin Sınırları (Limits to Growth)" çalışması, söz konusu kırılmanın yakın dönemli ve etkili örneklerinden biri olarak gösterilmektedir (Meadows et al., 1972). Kavramsal çerçevenin uluslararası düzeyde yaygınlık kazanması ise Brundtland Raporu ile eşzamanlıdır. WCED (1987) tarafından yayımlanan bu rapor, sürdürülebilir kalkınmayı, "bugünün gereksinimlerini karşılarken gelecek kuşakların gereksinimlerini karşılama kapasitesini tehlikeye atmayan bir kalkınma biçimi" olarak tanımlamaktadır (WCED, 1987). Rapordan itibaren sürdürülebilirlik, üç boyut altında kurumsallaşmaktadır. Bunlar çevresel (ekosistem bütünlüğü, emisyonlar, kaynak kullanımı), ekonomik (verimlilik, rekabetçilik, mali sürdürülebilirlik) ve sosyal (eşitlik, kapsayıcılık, güvenlik, yaşam kalitesi) bileşenlerdir. Bu bileşenlerin bütüncül ve dengeleyici biçimde ele alınması, sürdürülebilirlik ilkelerinin sahada uygulanabilmesi açısından kritik önem taşımaktadır (Şen vd., 2018).

Ekonomik sürdürülebilirlik, ekonomik kaynakların uzun dönemde kullanılabilirliğinin korunmasını, bu doğrultuda maliyetlerin asgari düzeyde tutulmasını ve üretim sisteminin makroekonomik çevreyle uyumlu biçimde işlemesini ifade etmektedir. Bu çerçevede, ekonomik açıdan sürdürülebilir bir ekonomi; mal ve hizmet üretimini süreklilik içinde sürdürebilmekte, tarımsal ve sanayi üretimini tahrip edecek ileri sektörel dengesizliklerden kaçınmakta, iç ve dış borç stoklarını yönetilebilir seviyelerde tutmakta

ve mali yapısını istikrarlı kılabilmektedir. Çevresel sürdürülebilirlik düşüncesinin arka planında, özellikle 1960'larda iktisat politikalarını şekillendiren kalkınmacı ideoloji ve bunun meydana getirdiği sorunlar ile 1970'lerde ivmelenen çevre hareketi yer almaktadır. Kalkınmacı yaklaşım, çevresel sorunları büyümenin kaçınılmaz ve katlanılabilir sonuçları olarak ele almaktadır. Çözümünü ise ikincil ve ertelenebilir bir mesele olarak konumlandırmaktadır. Çevre literatüründe bu çizgi, "tepki ve tedavi stratejisi" olarak tanımlanmaktadır (Bozlağan, 2005). Ekolojik sürdürülebilirliğin kurucu metinlerine dayanan bir çerçeve, Daly (1991) tarafından sistematikleştirilmektedir. Daly, çevresel sürdürülebilirliği üç başlıkta ele almaktadır; (i) yenilenebilir kaynaklar için sürdürülebilir ürün/hasat düzeylerinin gözetilmesi, (ii) çevre kirliliği açısından atık oluşumunun ekosistemin özümseme kapasitesini aşmaması ve sürdürülebilir atık bertarafının sağlanması, (iii) yenilenemeyen kaynakların tüketiminin, mümkün olduğunca yenilenebilir ikamelerin geliştirilmesi ile dengelenmesi. Bu ilkelerin anlamlı olabilmesi, söz konusu süreçlerin süresiz biçimde devam ettirilebilmesine bağlıdır ve aksi hâlde sürdürülebilirlikten söz edilememektedir. Benzer şekilde, çevresel sürdürülebilirlik, yalnızca doğal varlıkların korunmasını değil, ekosistemlerin dış etkilere karşı dayanıklılığının artırılmasını da konu edinmektedir (Hostovský, 2014). Bu bağlamda çevresel sürdürülebilirlik, doğal kaynakların ve ekosistemlerin korunması hedefini izleyen stratejiler bütünü olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca biyolojik sistemlerin çeşitliliği ve üretkenliğinin sürdürülmesi temel amaçlar arasında yer almaktadır. Çevresel açıdan sürdürülebilir bir sistem, istikrarlı bir doğal kaynak tabanını güvence altına almaktadır. Bu çerçevede yenilenebilir kaynakların taşıma kapasitesini aşan kullanımından kaçınmakta, yenilenemeyen kaynakları ise yalnızca uygun yatırımlarla geliştirilen ikamelerle telafi edilebildiği ölçüde tüketmektedir. Ayrıca biyolojik çeşitliliği ve atmosferik dengeyi gözetmekte ve doğrudan ekonomik varlık olarak sınıflandırılmasa dahi ekosistem hizmetlerini korumaktadır (Cömertler & Cömertler, 2021). Bu çerçeve, tezin ilerleyen bölümlerinde kullanılacak gösterge setlerinin (örneğin emisyonlar, kaynak kullanımı, gürültü, yaşam kalitesi) belirlenmesine ve politik/operasyonel değerlendirme adımlarının tasarımına yön vermektedir.

Sosyal sürdürülebilirlik, sürdürülebilirliğin toplumsal boyutunu merkeze almakta olup başta gıda, barınma, sağlık/ilaç, geçim olanakları ve bir arada yaşama kapasitesi olmak üzere ortak insani gereksinimlerin nasıl ve ne ölçüde karşılandığına odaklanmaktadır. Bu çerçeve, sürdürülebilirlik stratejilerinin sosyal amaçlarına (eşitlik, kapsayıcılık, sosyal

bütünleşme ve refahın sürdürülmesi) tekabül etmektedir. Sürdürülebilirlik kavramı, uzun süre ekonomik ve çevresel boyutlarıyla öne çıkmakta ve bu nedenle sosyal boyut tarihsel olarak ikincil planda kalmaktadır. Özellikle 1980'lerin ikinci yarısından itibaren, sürdürülebilir kalkınma tartışmalarıyla birlikte sosyal boyutun görünürlüğü artmakta ve WCED (1987) çevresel sorunların kavramsallaştırılmasının yanı sıra yoksulluk ve eşitsizlik gibi sosyoekonomik unsurlarla ilişkisini de gündeme taşımaktadır. Bununla birlikte sosyal boyut, günümüzde dahi çoğu bağlamda diğer iki boyut kadar ağırlık kazanamamakta ve sıklıkla destekleyici bir eksen olarak ele alınmaktadır. Sosyal sürdürülebilirlik, toplumsal sistemlerin adil, kapsayıcı ve dayanıklı biçimde işlemesini hedeflemektedir. Bu çerçevede amaç; gelir dağılımında adalet, sağlık ve eğitim hizmetlerinin etkin sunumu, cinsiyete dayalı eşitlik, siyasal hesap verebilirlik ve katılımcı yönetişim ilkelerinin kurumsallaştırılmasını kapsamaktadır (Harris, 2000). Sosyal sürdürülebilirliğin temel bileşenleri iki ana başlık altında toplanmaktadır. Birincisi, yaşam kalitesinin artırılmasıdır. Bu kavram öznel unsurlar içermekle birlikte, başlıca temel ihtiyaçların (barınma, yeterli ve sağlıklı gıdaya erişim, temiz su, istihdam olanakları) güvence altına alınmasını ve yaşam standartlarının kalıcı biçimde yükseltilmesini bünyesinde barındırmaktadır. Diğeri ise sosyal adaletin tesis edilmesi yani toplum bireylerinin eşit fırsatlara sahip olmasını sağlamak üzere kamu hizmetleri ve ülke kaynaklarından hakkaniyete dayalı biçimde yararlanmasını sağlamaktır. Bu doğrultuda yoksul ve dezavantajlı gruplara yönelik pozitif koruma ve destek mekanizmaları geliştirilmektedir. Tüm bu süreçlerin demokratik ve katılımcı bir ortamda yürütülmesi, sosyal sürdürülebilirliğin olmazsa olmaz koşullarını oluşturmaktadır (Şen vd., 2018). Sosyal açıdan sürdürülebilir bir sistem, başta sağlık ve eğitim olmak üzere sosyal hizmetlerin yeterli düzeyde sunulmasını ve bu hizmetlerin adil/eşit dağıtımını güvence altına almaktadır; ayrıca siyasal hesap verebilirlik, katılımcılık ve toplumsal cinsiyet eşitliğinin kurumsallaşmasını temin etmektedir (Cömertler & Cömertler, 2021).

Literatürde sürdürülebilirlik ölçütleri arasında teknik/teknolojik sürdürülebilirlik, değerlendirmenin konusu ve kapsamına bağlı olarak zorunlu bir boyut hâline gelebilmektedir. Teknik sürdürülebilirlik, ekonomik, sosyal ve çevresel sürdürülebilirlik tanımlarında yer alan fayda ve denge unsurlarının, ilgili sistemin teknik özellikleri üzerinden birbirini destekleyici biçimde ve zaman içinde kesintisiz olarak sürdürülmesini amaçlayan bir çerçeveyi ifade etmektedir. Bu amaç doğrultusunda, inceleme konusu yapılan alan için gerekli görülen teknik nitelikler, teknik sürdürülebilirliğin sağlanmasını

mümkün kılan alt faktörler olarak ele alınmaktadır. Uygulamada teknik sürdürülebilirliğin çok farklı bağlamlarda değerlendirildiği görülmektedir. Bu tez bağlamında teknik sürdürülebilirlik, son adım lojistikte kullanılan altyapı ve teknolojilerin ekonomik, çevresel ve sosyal hedefleri uzun vadede destekleyecek biçimde çalışabilir ve ölçeklenebilir olmasını güvence altına alan bir tamamlayıcı boyut olarak ele alınmaktadır.

Bu tez bağlamında sürdürülebilirlik, özellikle kentsel sistemler ve son adım lojistik uygulamalarıyla ilişkilendirilmektedir. Kentsel ölçekte alınan kararlar; enerji tüketimi, sera gazı salınımları, gürültü ve hava kalitesi gibi çevresel etkiler üzerinde doğrudan belirleyici olmaktadır. Aynı zamanda ekonomik verimlilik ve hizmet düzeyi hedefleri ile toplumsal refah, iş güvenliği ve erişilebilirlik gibi sosyal amaçlar dengelenmek durumundadır. Dolayısıyla sürdürülebilirlik, bu çalışmada yalnızca bir "hedef" değil, ölçüt tasarımı, değerlendirme ve politika üretimi süreçlerini yönlendiren üst bir ilke olarak konumlandırılmaktadır.

2.3. Sürdürülebilir Kent Kavramı

Birleşmiş Milletler Çevre Programı'nın (UNEP, 2018) projeksiyonlarına göre, 2050 yılına gelindiğinde dünya nüfusunun %66'sı kentlerde yaşayacaktır. Bu oran günümüzde yaklaşık %54 düzeyindedir. Bu durum, küresel kentsel nüfusa yaklaşık 2,4 milyar kişinin eklenmesi anlamına gelmektedir. Buna bağlı olarak mevcut kentsel çevrelerin kayda değer biçimde genişlemesi ve yeni kentsel alanların oluşturulması gerekmektedir. Kentler, yeryüzü yüzeyinin %2'sinden daha azını kaplamakla birlikte, küresel ölçekte mevcut doğal kaynakların %75'inden fazlasını tüketmektedir. UNEP (2018), kentlerle ilişkili malzeme tüketiminin 2010 yılındaki 40 milyar ton düzeyinden 2050'de yaklaşık 90 milyar tona yükseleceğini tahmin etmektedir. Bu kaynaklar arasında birincil enerji, hammadde, fosil yakıt, su ve gıda yer almaktadır. Bu nedenle kentlerin büyüme, performans, rekabetçilik ve kentlilerin geçim koşulları bakımından çeşitli güçlüklerle karşılaşması beklenmektedir. Hızlı kentleşme, atık yönetimi, kıt kaynaklar, hava kirliliği ve insan sağlığı açısından kaygı yaratan trafik sıkışıklığı nedeniyle yaşanabilirliğin bozulmasına yol açmakta, ayrıca yaşlanan kamu altyapısı sorununu gündeme getirmektedir. Bu sorunlara yanıt üretmek üzere sürdürülebilir kent yaklaşımı, kentlerin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarda daha dengeli bir gelişim izlemesini hedefleyen bir çerçeve olarak öne çıkmaktadır (Toli & Murtagh, 2020). Genel olarak sürdürülebilir

kent, kaynak tüketimini ve çevresel etkileri en aza indirirken kentlilerin yaşam kalitesini, erişilebilirliği ve ekonomik canlılığı uzun vadede korumayı amaçlayan, bütüncül biçimde planlanmış kentsel sistemler olarak tanımlanmaktadır. Bu tezde sürdürülebilir kent yaklaşımı, özellikle kentsel lojistik ve son adım teslimatın çevresel, ekonomik, sosyal ve teknik etkilerinin birlikte gözetildiği bir referans çerçevesi olarak ele alınmaktadır.

2.4. Sürdürülebilir Kentsel Lojistik

Sürdürülebilir kentsel lojistik, güncel siyasal, toplumsal, ekonomik ve çevresel tartışmalarla doğrudan kesiştiği için yazında giderek daha görünür bir tema hâline gelmektedir. Özellikle kentsel alanlarda kırılgan nüfus gruplarının varlığı ve toplumsal duyarlılığın artması nedeniyle çevresel sorunlar önemini korumakta, yeni ve ayrıntılı bulgular ortaya çıktıkça bu sorunların görünürlüğü daha da artmaktadır. Aynı zamanda kentsel lojistik, kentsel ekonomilerin temel bir bileşeni olarak konumlanmakta ve sektörün stratejik önemi pekişmektedir. Bu çerçevede, kent yollarındaki trafik hacmini azaltırken hızlı teslim hizmetlerini koruma ve geliştirme gibi zaman zaman çelişen hedefler arasında denge kurma gereksinimi öne çıkmaktadır. Daha geniş ölçekte, üretim zincirlerinin artan parçalanması ve mal/bilgi akışlarının çoğalması üzerine kurulu güncel ekonomik düzen içinde kentsel lojistik ayrılmaz bir rol üstlenmekte ve bunun çok boyutlu çevresel ve sosyoekonomik etkileri bulunmaktadır. Sürdürülebilirlik perspektifinden bakıldığında politika yapıcıların yanıt aradığı başlıca sorular şu şekilde özetlenebilir; (i) ekonomik etkinlik ile olumsuz dışsallıkların (emisyon, gürültü, sıkışıklık) azaltılması arasında nasıl denge kurulacağı, (ii) yeni lojistik hizmetlerin (örneğin, hızlı teslimat, platform temelli modeller) kentsel faaliyet yapısı ve çalışma koşulları üzerindeki etkileri, ve (iii) sanayisizleşme ile lojistik alanların ticaret/konuta dönüşümünün mekânsal örgütlenme ile kullanıcılar üzerindeki sonuçlarıdır (Strale, 2019). Bu sorular, sürdürülebilir kentsel lojistiğin yalnızca taşımacılık faaliyetlerinin iyileştirilmesi değil, kentsel mekânın kullanımı, istihdam yapısı ve yaşam kalitesine ilişkin kararların da bütüncül biçimde ele alındığı çok katmanlı bir tasarım problemi olduğunu göstermektedir.

2.5. Sürdürülebilir Kentsel Lojistikte Son Adım Yönetimi

Çevrim içi ticaret, kentte ve kırsalda yaşayan bireylerin evden çıkmadan tek tıkla ürün sipariş edebilmesini mümkün kılmaktadır. Bu siparişin tamamlanması, ürünün değer yaratımında yer alan geniş bir ağın devreye girmesine yol açmakta ve ağın nihai halkasını

son adım lojistik oluşturmaktadır. Değer zincirinin bu son bölümünde CO_2 emisyonlarının kayda değer bir payı ortaya çıkmakta ve başarılı bir sürdürülebilir son adım için dikkate alınması gereken çok sayıda karar değişkeni bulunmaktadır. Süreçte belediyeler, müşteriler, kamuoyu ve hizmet talep eden kurumlar gibi paydaşların devreye girmesi, sürdürülebilirlik gündemini daha da görünür hâle getirmektedir. Ayrıca alternatif araçlarla taşınacak malların özellikleri (örneğin, hacim, ağırlık, kırılganlık) dikkate alındıkça, yeni paydaş talepleriyle birlikte karmaşıklık düzeyi de artmaktadır. Özellikle kamyon temelli son adım iş modeli, tedarik zincirinin görece verimsiz ve çevresel açıdan olumsuz bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Bu algıya tüketici tercihleri, teslimat zaman pencereleri, personel yetersizliği, ürün çeşitliliği ve ilave hava/gürültü kirliliği gibi etmenler katkı sunmaktadır.

Son adım lojistiği uygulamalarının önemli bir bölümü kentlerde yürütülmekte ve kentsel yaşamı doğrudan etkilemektedir. Taşımacılık, lojistiğin en temel ve maliyetli faaliyeti olarak konumlanmakta ve kentsel hareketlilik kaynaklı emisyonlar ile trafik yoğunluğu sürdürülebilirlik açısından kritik önemde olmaktadır. Perakende sektöründe e-ticaretin payı yükseldikçe, kentsel hareketlilikten doğan toplam emisyonlar içinde yük taşımacılığı kaynaklı pay da artmaktadır. Ayrıca, son adıma özgü yanlış park ve/veya yetersiz park alanlarının işgali gibi durumlar, yaşam kalitesi ve kentsel güvenlik üzerinde olumsuz etkiler üretmektedir. Başlangıçta seyahat süresi, maliyet ve trafik odaklı bir alan olan kentsel lojistiğin, günümüzde çevresel–sosyal etkiler ve yaşam kalitesi başlıklarına doğru genişlemekte olduğu gözlenmektedir (Yılmaz vd., 2022). Bu genişleyen çerçeve, son adım yönetiminde benimsenen araç, model ve politikaların sürdürülebilir kentsel lojistik hedefleriyle uyumlu olarak yeniden değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu tezde geliştirilen kitle kaynaklı son adım teslimat stratejileri de söz konusu sürdürülebilirlik yönelimi içinde konumlandırılmaktadır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

KİTLE KAYNAKLI SİSTEMLER VE SON ADIM LOJİSTİKTE UYGULAMA ALANLARI

Bu bölüm, kitle kaynaklı sistemler (crowdsourcing) ve ilişkili kitle kaynaklı son adım lojistik hizmetlerini kavramsal ve işlevsel bir çerçevede ele almakta olup paydaş yapısı, iş modeli, operasyonel kurgular ve uygulama alanlarını sürdürülebilirlik boyutlarıyla birlikte sistematikleştirmektedir. Bölüm 3'te tanımlanan kentsel lojistik çerçevesi üzerine inşa edilen bu bölüm, Bölüm 6–7'deki ölçüt tasarımı ve değerlendirme adımlarına giriş işlevi görmektedir.

3.1. Kitle Kaynaklı Sistemlerin Tanımı ve Kapsamı

Web 2.0 teknolojilerindeki hızlı ilerleme, çok sayıda sosyo-teknik sistemin hem uygulayıcıların hem de araştırmacıların gündemine girmesine yol açmaktadır. Bu bağlamda kitle kaynak kullanımı, uygulamada geniş ölçekte benimsenen ancak literatürde hâlen daha yoğun inceleme bekleyen olgulardan biri olarak öne çıkmaktadır. Bu terim, Howe tarafından 2006 yılında Wired dergisinde ortaya konmuş olup, bir kurumun eskiden çalışanları tarafından yürütülen bir işlevi açık çağrı ile belirsiz sayı ve nitelikteki kişilerin oluşturduğu bir ağa "dışarıdan gördürmesi" biçiminde tanımlanmaktadır. Yaklaşımın temelinde, hemen herkesin değerli bilgi ve girdiler sunma potansiyeline sahip olduğu varsayımı yatmaktadır. Kitle kaynak kullanımı, kalabalık içinde dağılmış yeterlilik ve uzmanlığı harekete geçirmeyi amaçlamakta ve çeşitli biçimlerde gerçekleşebilmektedir. Bazı platformlar daha rekabetçi bir yapıya (örneğin, "fikir yarışmaları", "tasarım yarışmaları") sahipken, uygulama yalnızca yarışma formatıyla sınırlı değildir; Wikipedia örneğinde olduğu gibi iş birlikçi bir tarz da sergilenebilmektedir (Howe, 2006). Tipik süreçte bir organizasyon, yerine getirilmesini istediği görevleri tanımlamakta ve bunları çevrim içi ortamda kalabalığa duyurmaktadır. Böylece ilgili bireyler, belirli bir ücret ya da başka teşvikler karşılığında görevleri tekil ya da iş birlikçi biçimde üstlenmektedir.

Görevler tamamlandıktan sonra çıktılar platforma sunulmakta ve organizasyon bu çıktıları nitelik bakımından değerlendirmektedir. Bazı kitle kaynaklı projeler, açık bir ücretlendirme ya da ödüllendirme düzeni içermekteyken, Wikipedia veya Dell IdeaStorm gibi örneklerde katkıların karşılıksız gerçekleştirildiği görülmektedir (Zhao & Zhu, 2014).

Kitle kaynak kullanımının ivmesi, bireylerin pasif gözlemciler olmaktan çıkıp etkin katkı sağlayıcılara dönüştüğü Web 2.0 ekosisteminden beslenmektedir. İnternet ve web araçlarındaki gelişmelere paralel olarak kullanım alanı hızla yaygınlaşmaktadır. İş dünyasında çok sayıda şirket bu potansiyeli fark ederek kampanyalar başlatmakta, aynı zamanda pek çok sivil ve toplumsal amaçlı kuruluş, modeli etkili bir problem çözme yaklaşımı olarak benimsemektedir. Kitle kaynak kullanımı, açık kaynak yazılım ve dış kaynak kullanımı (outsourcing) ile akraba görünmekle birlikte, mülkiyet, teşvik ve yönetim düzeneklerindeki farklar nedeniyle bu alanların bulguları doğrudan aktarılamamaktadır. Bu bağlamda Jain (2010), kitle kaynak kullanımı alanındaki başlıca önemli noktaları teşvik mekanizmalarının tasarımı, gönderi/yük yönetimi, kontrol kaybının yönetilmesi, fikir/çıktı kalitesinin güvence altına alınması ve güven ilişkisinin oluşturulup sürdürülmesi olarak sıralamaktadır (Zhao & Zhu, 2014).

3.2. Son Adım Lojistikte Kitle Kaynak Kullanımı

Önceki başlıkta tanımlanan kitle kaynak kullanımı yaklaşımı, lojistik bağlamına uyarlandığında, daha önce işletmenin kendi personeli ve filosu tarafından yerine getirilen belirli teslimat işlevlerinin, çevrim içi platformlar aracılığıyla geniş bir kullanıcı kitlesine devredilmesi anlamına gelmektedir. Bu yaklaşım, işletmelerin kurum dışındaki kitlenin bilgi ve becerilerinden yararlanarak değer yaratma kapasitesini artırmalarını sağlayan etkili bir yöntem olarak çok sayıda alanda uygulanmaktadır. Modelin temel bileşenleri; göreve ihtiyaç duyan bir organizasyon, bu görevi üstlenmeye istekli bir kitle ve iki taraf arasındaki işi ile etkileşimi kolaylaştıran çevrim içi bir ortamdan oluşmaktadır. Söz konusu düzenek, hem organizasyon hem de katkı sunan kitle açısından karşılıklı fayda üretmektedir (Howe, 2006). Bu yaklaşım, işletmelerin kitlelerin kolektif bilgi ve kaynaklarından yararlanmasını mümkün kılmakta ve eşzamanlı olarak katılımcılara da değer sunmaktadır. Kitle kaynak kullanımı kavramı, internet, küresel konumlama sistemleri (GPS) ve mobil iletişim teknolojilerindeki ilerlemelerle kolaylaşmakta ve çok sayıda alanda başarıyla uygulanmaktadır. Son yıllarda kitle kaynak kullanımı ve paylaşım

ekonomisi farklı alanlarda yaygınlık kazanmakta ve çeşitli sektörlerdeki verimsizliklerin giderilmesine katkı sağlamaktadır (Alnaggar vd., 2021).

Kitle kaynak kullanımı sağlık, gazetecilik ve toplu taşımacılık dâhil pek çok alana yayılmaktadır. Özellikle lojistikte, kitle kaynaklı son adım teslimat, giderek artan daha hızlı ve maliyet-etkin hizmet talebini karşılamak açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır. Son adım lojistikte amaç, malların veya hizmetlerin doğru alıcıya, doğru zamanda ve doğru şekilde ulaştırılmasını sağlamaktır. Kitle kaynak kullanımında başlıca iki paydaş bulunmaktadır; dış kaynak kullanan şirketler ve kitle kaynaklı kuryeler (crowdshippers). Kitle kaynaklı kuryeler, görev seçimi yoluyla gelirini en üst düzeye çıkarmayı hedeflerken şirketler ise, gönderi atamalarını kitle kaynaklı kuryelere yönlendirerek son adım maliyetlerini düşürmeyi amaçlamaktadır. Kitle kaynaklı teslimat, bağımsız çalışanların kendi araçlarını kullanarak, belirli sürelerle ve garantili saatlik ücret karşılığında teslimat yapmasına olanak tanımaktadır. Bu yeni iş modelinde, firmaların kendi filo ve sürücülerini bulundurma ve işletme gereksinimini ortadan kaldırdığı için bakım, sigorta ve yönetim kalemlerinde önemli maliyet tasarrufları sağlamaktadır. Önemli olan, bu avantajların yalnızca şirketler nezdinde kalmaması, müşteriler açısından da hizmet esnekliği ve erişilebilirlik gibi olumlu sonuçlar üretmesidir. Amazon ve Walmart gibi büyük e-ticaret işletmeleri, kitle kaynaklı teslimata dayalı yenilikçi teslimat hizmetlerini benimsemektedir. Bu kapsamda bağımsız serbest sürücülerin özellikle aynı gün teslimat odağında paketleri son kullanıcıya ulaştırması sağlanmaktadır. Son on yılda, kitle kaynaklı teslimata dayalı son adım stratejilerine geçişi somutlaştıran çok sayıda girişim ortaya çıkmıştır. Deliv, DoorDash, Hitch ve Postmates gibi şirketler, geleneksel posta ve yüksek ücretli kurye seçeneklerine kıyasla daha maliyet-etkin çözümler sunarak taşımacılık hizmetlerini dönüştürmektedir (Alnaggar vd., 2021).

Kitle kaynaklı teslimatın son adım süreçlerinde kullanımı, işletmelere mevcut teslimat uygulamalarını maliyet-etkin, hızlı, esnek ve talebe duyarlı biçimde iyileştirme olanağı sunmaktadır. Tekil koli teslimatına ilişkin artan talep, sürdürülebilir lojistiğe yönelik ilgiyi güçlendirmekte ve geleneksel teslimat hizmetlerinden kitle kaynaklı modellere yönelimi teşvik etmektedir. Bu yaklaşım, teslimat operasyonlarının çevresel etkisini anlamlı ölçüde azaltma potansiyeli taşımaktadır (Huang & Ardiansyah, 2019). İster Amazon ve Walmart gibi büyük ölçekli işletmeler, ister yerel bir bakkal/market gibi küçük perakendeciler söz konusu olsun, çevrim içi siparişlerin dağıtım lojistiğinde son

adım teslimat en maliyetli bileşenlerden biri olmaktadır. Müşterilerin daha hızlı ve daha ucuz teslimat talebi arttıkça, bu sürecin etkin yönetimi giderek daha kritik hâle gelmektedir. Özellikle pik talep dönemlerinde, hızlı (aynı gün) teslimatı uygulamak pek çok güçlük içermektedir. BI Intelligence (2017) verilerine göre, müşterilerin %25'i aynı gün teslimat seçeneği bulunmadığında çevrim içi siparişini tamamlamamaktadır. Buna karşın perakendecilerin yalnızca %20'si aynı gün teslimat sunmaktadır. Bu durum, talebe dayalı teslim hizmetlerinin sağlanmasındaki yapısal zorluklara işaret etmektedir (Fatehi & Wagner, 2022).

Amazon, Amazon Flex programı kapsamında bağımsız (kitle kaynaklı) kuryelerden yararlanmakta ve sürücülere saatlik 18–25 $ ücret ödemektedir. Şirket, depolarına ek olarak açık otopark gibi atıl alanları da "teslimat istasyonu" olarak kullanmaktadır ve Flex sürücülerini Amazon Now ile Amazon Fresh teslimatlarında görevlendirmektedir. Walmart ise benzer biçimde, kitle kaynaklı Spark teslimat programı (drive4spark.com) aracılığıyla başlıca pazarlarda ve ürün kategorilerinde hızlı teslimat hizmeti sunmaktadır (Fatehi & Wagner, 2022). Yeni iş modellerinin ortaya çıkması ve CEP taşımacılığı, yolcu taşımacılığı ve e-ticaretteki geleneksel modellerin yeniden düzenlenmesi, kitle kaynaklı lojistik gibi yaklaşımların gelişmesine zemin hazırlamaktadır. Örneğin Amazon, bir müşterinin kendi paketlerinin yanı sıra aynı çevrede ikamet eden komşuların gönderilerini de alıp teslim edebileceği uygulamalar üzerinde çalışmaktadır. Bu yenilik, hâlihazırda gerçekleşecek özel bir yolculuğun marjinal kapasitesini son adım teslimat için kullanmaya dayanmaktadır ve üçlü kazanım üretmektedir. Bunlar, müşteriler açısından adrese teslim hizmet kalitesi, kitle kaynaklı kuryeler için ek gelir olanağı ve hizmet platformu için gelir artışı ile ağ etkinliğidir. Bu çerçeve, kent içi dağıtımın maliyet–hizmet dengesi üzerinde olumlu etkiler yaratmayı amaçlamakta ve operasyonel esneklik ile kapasite kullanımını iyileştirmektedir (Dündar, 2021).

Kitle kaynak lojistiği (crowdsourced logistics), literatürde ve uygulamada kitle lojistiği (crowd logistics), kitle kaynaklı teslimat (crowdshipping) ve iş birlikçi lojistik (collaborative logistics) adlarıyla da anılmaktadır. Bu yaklaşım, yolcu ve sürücülerin gerçekleştirdikleri seyahatlerde veya kullandıkları araçlarda mevcut boş veya atıl taşıma kapasitelerinin, müşterilerin koli, paket, yiyecek gibi gönderilerinin taşınması için kullanılmasını teşvik etmektedir. Böylelikle önceden planlanmış yolculukların artık kapasitesi değerlendirilmekte, verimlilik en üst düzeye çıkarılmakta ve trafik sıkışıklığı

ile emisyonlar azaltılmaktadır. Bu yeni iş modelinde lojistik hizmet, gönüllülerden/bağımsız katılımcılardan oluşan bir kitle tarafından dış kaynak yöntemiyle üretilmekte ve taraflar arasındaki etkileşim dijital bir platform üzerinden yürütülmektedir. Carbone vd. (2017) kitle kaynak lojistiğini, zaman ve mekân faydası yaratan ve bu faydayı güvence altına alan, birbiriyle ilişkili lojistik faaliyetler paketinin sunumu olarak tanımlamaktadır. Bu çerçevede kitle kaynak lojistiği; kitlenin sahip olup o anda kullanmadığı lojistik kaynaklardan yararlanılarak icra edilen taşıma ve depolama gibi geleneksel faaliyetlerden oluşmaktadır (Carbone vd., 2017). Rai vd. (2017) ise kitle kaynak lojistiği, zaman ve/veya hacim bakımından boş kapasiteye sahip, gönüllü olarak katılan ve ücret alan, şirket dışındaki "bilinmeyen" bireyleri kullanarak lojistik hizmetlerde arz ve talebi eşleştiren, bilgi bağlantılı etkin bir pazaryeri kavramı olarak ortaya koymaktadır. (Buldeo Rai vd., 2017), kitle kaynak lojistiğin yedi temel unsurdan oluştuğunu belirtmektedir; (i) teknolojik altyapı, (ii) boş/fazla kapasite, (iii) kitle ağı, (iv) tanımsız karakter (işgücünün belirsizliği), (v) şirket dışılık, (vi) ücret, (vii) gönüllülük. Kitle kaynak lojistikte arz ile talebin eşleştirilmesi ve koordine edilmesi için bir platform ara yüzü üzerinden çalışan teknolojik altyapı kritik önem arz etmektedir. Paydaşlar platforma internet erişimi olan herhangi bir cihazla ulaşabilmektedir. Bu altyapı, mal–bilgi–finans akışlarını birbirine bağlayan temel bileşen olarak konumlanmaktadır. Modelin odağı, lojistik amaçlı planlanmamış yolculuklarda mevcut atıl kapasitenin lojistik hizmet üretimi için kullanılmasıdır. Böylelikle ekonomik ve çevresel kazanımlar hedeflenmekte olup ayrıca "boş kapasite" boş zaman anlamına da gelebildiğinden, bireylere teslimat görevleri yoluyla zamanlarını değerlendirme olanağı sunulmaktadır. Kitle ağı, lojistik kapasiteye sahip ve kullanılabilir durumdaki bireyleri (örneğin, araç sürücüleri, depo/alan sahipleri, seyahat hâlindeki yolcular) ifade etmektedir. Kitle kaynak lojistiğinin doğası gereği bu işgücü tanımsız/heterojen bir nitelik taşımakta ve söz konusu belirsizlik hizmet kalitesinin güvence altına alınmasını güçleştirebilmektedir. Resmî bir işe alma süreci bulunmadığından kitle kaynaklı kuryeler daimî çalışan statüsüne geçmemekte ve daima şirket dışı konumda kalmaktadır. Bu durum platformlar açısından yükümlülüklerin sınırlı olması nedeniyle avantaj olarak değerlendirilebilmektedir. Kitle, çoğu durumda düşük ücret karşılığında hizmet sunmaktadır, ancak daha hızlı teslimat, esneklik, kişiselleştirme ve maliyet verimliliği gibi ilave değerler sağlandığında emsaline uygun ücretlendirme gerekmektedir. Son olarak katılım gönüllülük esasına dayanmakta ve bireyler hangi görevi üstleneceklerine kendileri karar vermekte, sabit sözleşme

bulunmadığından çalışma düzenliliği anlık isteklilik düzeyine bağlı değişmektedir (Buldeo Rai vd., 2017). Kitle kaynak lojistiği, bireysel ya da kurumsal müşterilerin kitle kaynaklı kuryeler tarafından yerine getirilecek lojistik taleplerini platform üzerinden yayımladığı kapıdan kapıya (door-to-door) ve mağazadan kapıya (store-to-door) gibi farklı hizmet türlerine uygulanabilmektedir. Kapıdan kapıya modelinde, sisteme kayıtlı kitle planladıkları yolculukları platformda paylaşmakta, müşteriler de alım ve/veya teslim taleplerini bu akışa bağlamaktadır. Mağazadan kapıya modelinde ise, işletmeden müşteriye olan kanalda, kitle kaynaklı kuryeler kullanılarak aynı gün teslimata odaklanılmaktadır (Dündar, 2021). Sampaio vd. (2019), kitle kaynak lojistiğinin son adım teslimatlarda nasıl devreye alınabileceğini ve geleneksel uygulamalarla hangi şekillerde hibritleştirilebileceğini şu şekilde anlatmıştır; (i) Kent dışındaki bir dağıtım merkezinin, geleneksel bir dağıtım şirketinden hizmet alması ve/veya toplu taşımadaki kullanılabilir kapasiteden yararlanması mümkün olmaktadır. (ii) Kent içinde özel aracıyla seyahat eden kitle, mal akışının belirli bir bölümünü üstlenebilmektedir. (iii) Profesyonel bir teslimat şirketi, günlük işe gidiş-geliş yapan bir yolcuyu varış noktasına (iş/evi) yakın bir lokasyona paket taşıma göreviyle yetkilendirebilmektedir. (iv) Bireyler, bisiklet kiralama hizmetlerinde sağlanan indirim karşılığında teslimat yapabilmektedir. (v) Komşular, müşterinin yerine paket kabulü, geçici depolama ve son teslim süreçlerine gönüllü olarak dâhil olabilmektedir. (vi) Kentin çeşitli bölgelerine ya da büyük yerleşkelere teslimat dolapları yerleştirilerek teslimat başarı oranı artırılabilmektedir. Bu düzenekler, kitle kapasitesi ile kurumsal altyapının tamamlayıcı biçimde çalışmasını sağlayarak başarısız teslimat olasılığını azaltmayı ve hizmet düzeyini yükseltmeyi amaçlamaktadır (Sampaio vd., 2019).

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde sürdürülebilir kent bakış açısıyla son adım lojistik problemleri ve kitle kaynaklı teslimat modellerine ilişkin literatür incelenmiştir. Ayrıca bulanık Z-kümeler yaklaşımı (Z-sayılar) ile AHP ve WASPAS kullanımına dair uygulamalar derlenmiştir.

4.1. Son Adım Lojistikte Kitle Kaynak Kullanımı

Devari vd. (2017), müşterilerin sosyal ağlarını kullanarak kitle kaynaklı son adım teslimatın potansiyel faydalarını ortaya koymaktadır. Sosyal ağa dayalı, arkadaşlar veya tanıdıklar aracılığıyla paket teslimine yönelik tutumları ölçen bir anketten elde edilen bulgularla modellenen yaklaşım, bu yöntemin teslimat maliyetlerini ve toplam emisyonları belirgin biçimde azalttığını; aynı zamanda hızlı ve güvenilir teslimatı mümkün kıldığını göstermektedir. Ayrıca önerilen yöntem, son adım teslimatta yaygın olan mahremiyet kaygılarını ve evde bulunmama sorununu hafifletmektedir.

P. Chen & Chankov (2017), isteğe bağlı son adım teslimattaki güçlükleri gidermeye yönelik bir seçenek olarak kitle kaynaklı teslimatın hizmet düzeyi ve varlık kullanımı bakımından performansını incelemektedir. Bu amaçla geliştirilen benzetim modelinde iki temel parametre değerlendirilmektedir: (i) paket teslim eden kitle kaynaklı kuryelerinin sayısının paket sayısına oranı olarak tanımlanan arz/talep oranı, (ii) kuryelerin kabul ettiği azami sapma süresi. Bulgular, yüksek arz/talep oranının kuryelerin çok az sapma süresiyle yüksek hizmet düzeyine ulaşmasını sağladığını göstermektedir. Buna karşılık, arz/talep oranının görece düşük olduğu durumlarda azami sapma süresinin artırılması hizmet düzeyini yükseltebilse de teslimat siparişleri için kuryeler arasında yoğun rekabet doğurma riski taşımaktadır.

Fan vd. (2017), mevcut navigasyon sistemlerinin varış noktasına yakın son adımda yetersiz kalabildiği durumlarda yerel sürücü bilgisinden yararlanmayı amaçlayan CrowdNavi adlı tamamlayıcı bir hizmet önermektedir. 3G/4G ağları üzerinden

sürücülerden kitle kaynaklı sürüş verileri toplanarak yerel sürüş örüntüleri çıkarılmakta, bu sayede kullanıcıların hedeflerine ulaşmaları için en uygun yerel güzergâhlar önerilmektedir.

Castillo vd. (2018), e-ticaretin son 20 yıldaki yükselişiniin hızlı tepki verebilen çok kanallı dağıtım sistemlerine olan ihtiyacı artırdığını belirtmiştir. Bu bağlamda bazı şirketler, dağıtım stratejilerini güçlendirmek için paylaşım ekonomisine dayalı kitle kaynak lojistik uygulamalarını denemektedir. Çalışma, dinamik piyasa koşulları altında bir dağıtım merkezinden New York City genelinde 1.000 müşteriye aynı gün teslimat simülasyonları yürüterek kitle kaynak lojistiğinin etkililiğini geleneksel tahsisli filo tasarımı ile karşılaştırmaktadır. Bulgular, işletmelerin belirli koşullar altında kitle kaynak lojistiğinden stratejik fayda elde edebileceğine işaret etmektedir.

Giret vd. (2018), kentsel sürdürülebilir taşımacılık bağlamında son adım teslimatı iyileştirmek üzere, özel lojistik hareketlerin (otomobil/kamyon) gereksinimini azaltan kitle kaynaklı yaklaşım önermektedir. Kent içinde kendi ihtiyaçları doğrultusunda hareket eden vatandaşların geçici teslimatçı olarak konumlandırıldığı modelde, çok-etmenli sistem teknikleri ve karmaşık ağ tabanlı algoritmalar kullanılarak farklı ulaşım türleri ve ağları (toplu taşıma, özel araç, paylaşımlı eko-araçlar vb.) için entegre biçimde rota optimizasyonu yapılmaktadır. Sunulan yöntem, vatandaş hareketlerini teslimat ihtiyaçlarıyla eşleştirerek paket kaynaklı hareket sayısını düşürmekte; gerçekleştirilen testler, çözümün uygulanabilirliğini göstermiş, teslimat kamyonlarına olan ihtiyacın ortadan kalktığı senaryolarda CO_2 emisyonlarında belirgin azalma sağlandığı sonucuna varılmıştır.

Gdowska vd. (2018), e-ticaretin öngörülen büyümesi karşısında hızlı, ucuz ve güvenilir teslimatı sağlamak için tedarik zincirlerinin uyarlanması gereğini vurgulayarak son adım teslimatı başarı için kritik aşama olarak konumlandırmaktadır. Önerilen yapı, profesyonel filonun kitle taşımacılık ile kısmen ya da tamamen desteklendiği yenilikçi bir modelde, mağaza içi alışveriş yapan kuryelerin küçük bir ücret karşılığında teslimat üstlenmesini temel almaktadır. Literatürdeki varsayımlardan ayrışarak kuryelerin atanan görevleri reddetme özgürlüğü olduğu kabul edilmekte ve kurye–müşteri eşleştirme ile rotalama için iki düzeyli bir metodoloji geliştirilmektedir. Amaç, aynı gün teslimat bağlamında, her kuryenin belirli bir müşteriye teslimatı üstlenme istekliliğini olasılıksal olarak modelleyerek toplam teslimat maliyetini en aza indirmektir. Analiz, kuryelerin kabul

veya ret davranışlarının, kurye ücretleri ile kalan gönderilerin profesyonel filo tarafından taşınmasından doğan maliyetler üzerinden toplam maliyete etkisini ortaya koymaktadır.

K. Huang & Ardiansyah, (2019b), e-ticaret kaynaklı artan talep karşısında son adım teslimatta kısmi kitle kaynaklı entegrasyonun planlanmasına odaklanmaktadır. Önerilen yapı, transfer noktasından nihai müşteriye teslimatın bir bölümünü kitle kaynak ile yöneterek esneklik ve sermaye gereksinimini azaltmayı amaçlamaktadır. Hangi müşterinin hangi dış ortak aracılığıyla ve hangi transfer noktasından hizmet alacağına ilişkin kararlar karma tam sayılı programlama (MIP) modeliyle biçimlendirilmiştir. Büyük ölçekli örnekler için geliştirilen sezgisel algoritma, sayısal deneylerde kabul edilebilir sürede yüksek kaliteli çözümler üretmiştir. Bulgular, iyi planlanmış kitle kaynaklı entegrasyonun son adım teslimatta maliyet avantajı ve operasyonel esneklik sağlayabildiğini göstermektedir.

Guo vd. (2019), e-ticaretin hızla büyümesine paralel artan paket trafiğinin kent içi son adım lojistiği üzerindeki baskısını ve buna bağlı enerji ve sera gazı etkilerini vurgulayarak sürdürülebilir çözümlere ihtiyaç olduğunu belirtmektedir. Çalışmada, paylaşım ekonomisi temelli kitle kaynaklı teslimatın bu sorunları hafifletmede etkili olabileceği, ancak faydaların gerçekleşmesi için kitle kaynaklı teslimat ile geleneksel dağıtım ağların yakından entegre edildiği hibrit bir kentsel lojistik sistemine geçiş gerektiği ileri sürülmektedir. Analiz sonuçları, kitle kaynaklı teslimatın geleneksel ağa tamamlayıcı olarak eklenmesinin son adım maliyetlerini düşürebildiğini göstermektedir.

Karpun (2019), genellikle kurye teslimatıyla özdeşleşen son adım lojistiğinin tedarik zincirinin zayıf halkası olduğunu belirtmiş ve çözüm olarak serbest çalışan taşeronlara dayalı kitle kaynaklı bir model önermektedir. Önerilen yaklaşımda ürünler, ayrıştırma merkezinde bekletilmeden, müşteriye doğru hareket hâlindeki bağımsız kuryeye hızla devredilmekte, bu da depoların pazarlara yakınlaştırılmasını ve kent içinde çoklu teslim noktalarının örgütlenmesini gerektirmektedir. Dijital kitle taşımacılık platformları aracılığıyla heterojen lojistik akışlara ilişkin bilginin bütünleştirilmesi, ağ esnekliğinin artırılması ve sürdürülebilirliğin korunması hedeflenmektedir. Rusya'daki lojistik operatör–kitle kaynaklı platform iş birlikleri incelenmiş olup Ukrayna pazarı için Glovo ile iş birliği temelinde bir uygulama şeması önerilmiştir. Bulgular, kitle kaynaklı modelin son adım maliyetlerini düşürme, şeffaflığı ve teslimat hızını artırma yoluyla müşteri

hizmet kalitesini iyileştirme potansiyeline işaret etmektedir. Ancak etkinlik, tedarik zinciri paydaşları arasında güven ve koordinasyonun sağlanmasına bağlıdır.

Ballare & Lin (2020), e-ticaret ve aynı gün teslimatın tetiklediği kentsel yük hareketliliğinin trafik sıkışıklığı, gürültü, kirlilik ve sera gazı emisyonları gibi olumsuz dışsallıklarını azaltma amacıyla, mikro-hub + kitle kaynaklı teslimat uygulamasının performansını incelemektedir. Önerilen yapı, geleneksel hub-and-spoke modele kıyasla sevk edilen kamyon ve kitle kaynaklı kurye sayısının, yakıt tüketiminin ve işletme maliyetlerinin düşürülmesini hedeflemekte olup performans değerlendirmesi bu iki model arasında karşılaştırmalı olarak yürütülmektedir. Ayrıca, ağ boyutunun önerilen model üzerindeki etkisi sınanarak, mikro-hub sayısı ve yerleşiminin verimlilik ve çevresel sonuçlar üzerindeki rolü analiz edilmiştir.

Simoni vd. (2020), e-ticaret bağlamında geleneksel sistemlere alternatif bir seçenek olan kitle taşımacılığın kentsel trafik ve emisyonlar üzerindeki etkilerini, Roma şehir merkezindeki paket dağıtımları için simülasyon tabanlı bir yaklaşımla incelemektedir. Hibrit dinamik trafik simülasyonu kullanılarak, makro ölçekte tıkanma, kuyruk taşmaları ve sinyal etkileşimleri; mikro ölçekte ise teslimat araçlarının güzergâh izlemesi birlikte modellenmiştir. Bulgular, kitle taşımacılığın sürdürülebilirlik etkilerinin kullanılan taşıma türüne (özel araç, toplu taşıma), sapma uzunluğuna, park davranışına ve gün içi trafik dalgalanmalarına duyarlı olduğunu göstermektedir. Özel araçla yapılan kitle taşımacılık, benzer toplu taşıma senaryolarına kıyasla genelde daha olumsuz dışsallıklar üretirken, sapmaların sınırlandırılması, uygun park seçeneklerinin sağlanması ve düşük yoğunluklu teslimatların teşvik edilmesi, kitle taşımacılık dışsallıklarını anlamlı ölçüde azaltabilmektedir.

Buldeo Rai vd. (2021), çevrim içi ve çok kanallı perakendenin gelişimiyle tüketici deneyiminde lojistiğin (özellikle de tedarik zincirinin son adımının) ön plana çıktığını ve bu aşamanın finansal ve çevresel etkilerinin kritik olduğunu vurgulamaktadır. Çalışmada, kitle kaynak lojistiğine yönelik tüketici tercihleri ve algıları, Belçika nüfusunu temsil eden 1.000 kişilik bir örneklem üzerinde yürütülen anketle incelenmiş olup veriler betimsel istatistikler ve iki aşamalı kümeleme analiziyle değerlendirilmiştir. Bulgular, tüketicilerin komşu aracılığı ve perakendeci çalışanları tarafından teslimata görece destek verdiğini, ancak genel ilginin düşük kaldığını göstermektedir. Çalışma, üç hizmet türünü

ve dört tür kitleyi (komşular, perakendeci çalışanları, kitle kuryeler ve diğer aktörler) birlikte ele alarak tüketici bakış açısını literatüre kazandırmaktadır.

Seghezzi vd. (2021), B2C e-ticarette son adım teslimatın küçük hacimli siparişler ve yüksek hizmet düzeyi gereklilikleri nedeniyle lojistik süreçlerin en maliyetli ve zorlu bileşeni hâline geldiğini vurgulamaktadır. Bu bağlamda, açık çağrı yoluyla teslimatların sıradan bireylerden oluşan bir ağa devredildiği kitle kaynak lojistiği, yenilikçi bir çözüm olarak ele alınmaktadır. Yenilikçi yaklaşımın toplum açısından önemli kazanım potansiyeli bulunsa da yaygınlaşmanın önkoşulunun firmalar için ekonomik sürdürülebilirlik olduğu belirtilmiştir. Çalışma, kentsel bir alanda "pony express" tarzı kitle kaynaklı girişimin ekonomik kârlılığını incelemekte olup kitle kaynak tabanlı teslimat maliyetlerini geleneksel pony express kuryeleri ile karşılaştırmaktadır.

B. Huang vd. (2021) çevrim içi ticarette kritik bir aşama olan son adım lojistikte, özellikle yaş meyve-sebze gibi bozulabilir ürünler için zamanında dağıtımı güvence altına alacak makul kurye atamasının önemli bir sorun olduğunu belirtmiştir. Çalışmada, taze ürünler için son adım atama problemi ele alınmaktadır. Önerilen yaklaşım zaman ve mekân faktörlerini dikkate alarak günlük siparişler için kurye atamasını etkinleştirmekte ve hizmet kalitesini iyileştirmektedir. Analizler, sunulan çözümün hem uygulanabilir hem de operasyonel açıdan etkin olduğunu göstermektedir.

Pourrahmani & Jaller (2021), teslimat görevlerinin sıradan kuryeler gibi davranan geniş aktör kitlelerine dağıtıldığı kitle taşımacılık stratejisine ilişkin literatüre katkı sunarak, özellikle çok sayıda uygulama tabanlı platformun ortaya çıktığı son adım teslimat faaliyetlerine odaklanmaktadır. Çalışma, platform hizmet ve özelliklerini karşılaştırarak dört tipolojik ayrıştırıcı faktör (platform/hizmet türü, teslimat türü, teslimat modu, fiyatlandırma stratejisi) ile altı kategoride fırsat ve zorluk alanı tanımlamaktadır. Bulgular, pratikte gözlenen güçlükler ile bilimsel çözümler arasında bir uyumsuzluk bulunduğunu, özellikle kurye çalışma koşulları ve fiyatlandırma gibi konuların literatürde yeterince ele alınmadığını göstermektedir. Mevcut çalışmaların çoğunun varsayımsal örnekler üzerine kurulu keşifsel nitelikte olması, ampirik vaka temelli araştırmalara duyulan ihtiyacı ortaya koymaktadır.

Fatehi & Wagner (2022), e-ticaretin hız ve düşük maliyet beklentileri altında perakendecilerin zamanında teslimatı verimli biçimde sağlamada zorlandığı bağlamında, bağımsız kitle kaynaklı kuryelere dayalı talep üzerine teslimat için bir optimizasyon

modeli önermektedir. Model, kitle kaynak kullanımı yaklaşımını kuyruk ve rotalama teorileriyle bütünleştirerek talep, sürücü mevcudiyeti, hizmet süreleri ve trend/mevsimsellik içeren trafik kaynaklı belirsizlikleri ele almaktadır. Belirli bir teslimat zaman penceresi ve hedef zamanında teslim güven düzeyi verildiğinde, optimal kitle kaynaklı kurye atamaları ile optimal saatlik ücretler analitik olarak türetilmektedir. Bulgular, kitle kaynaklı teslimatın müşteri taahhütlerini korurken teslimat maliyetlerini anlamlı ölçüde azaltabildiğini göstermektedir.

Ghaderi, Zhang, vd. (2022), kentsel alanlarda son adım teslimat sorunlarına sürdürülebilir bir çözüm olarak kitle taşımacılık yaklaşımını ele almakta olup düşük finansal teşvik ve ek seyahat çabası nedeniyle katılım isteksizliği gibi pratik zorlukları vurgulamaktadır. Çalışmada, kargo dolaplarının yer seçimi ve görevlerin tahsisine yönelik bir model ile işleri tekil veya ortak kümelere ayırıp iş birlikçi kullanımına göre dolapları puanlayan iki aşamalı bir dolap sıralama-seçim algoritması önerilmektedir. Ardından, tekil veya ortak teslimat için işleri taşıyıcılara atayan ikinci bir atama algoritması sunulmaktadır. Gerçek dünya vaka çalışmasına dayalı küçük ve büyük boyutlu örneklerde yürütülen deneyler, kesin çözümün yalnızca küçük boyutlara ölçeklenebildiğini, buna karşın önerilen algoritmaların düşük hesaplama maliyetiyle optimal sonuçlar ürettiğini göstermektedir. .

Seghezzi & Mangiaracina (2022), B2C e-ticarette yüksek maliyet ve yüksek hizmet düzeyi beklentileriyle karakterize edilen son adım teslimata yönelik kitle kaynaklı lojistik tabanlı uygulamanın maliyet etkisini incelemektedir. Teslimatları aynı turda birden çok müşteriye ulaştıran sürücü temelli bir analitik model geliştirilmiştir. Model, talep üretimi ve atamalar yoluyla kitle kaynak lojistiği ile geleneksel kamyonet son adım teslimat maliyetlerini hesaplamaktadır. Söz konusu model, Milano (İtalya) kenti için yürütülen bir vaka çalışmasına uygulanmış ve temel değişken/parametreler üzerinde duyarlılık analizleri yürütülmüştür. Bulgular, kitle kaynaklı lojistiğin geleneksel son adım teslimata kıyasla yaklaşık %11 maliyet tasarrufu sağladığını göstermektedir.

Dündar (2022), tedarik zincirlerinin küreselleşmesi ve e-ticaret hacmindeki artışın şehir içi son adım teslimatlarda küçük hacimli yük sayısını yükselterek kapasite baskısı, teslimat gecikmeleri, trafik tıkanıklığı, emisyon artışı ve müşteri memnuniyetsizliği gibi sorunları derinleştirdiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda kitle kaynak lojistiği, düşük yatırım gereksinimi ile aracısız ve hızlı süreç yönetimi sayesinde maliyet avantajları sağlayan yeni bir iş modeli olarak sunulmakta olup gönüllü katılımcıların kendi

kaynaklarıyla hizmet ürettiği, dijital platformlar üzerinden talep-arz eşleştirmesi, ödeme ve izleme işlemlerinin gerçek zamanlı olarak yürütüldüğü bir yapı tarif edilmektedir. Esnek taşıma modlarının kullanımı sayesinde kitle kaynak lojistiğinin sürdürülebilirlik parametrelerine (düşük emisyon, daha az trafik sıkışıklığı, artan hava kalitesi) katkı potansiyeli vurgulanmaktadır.

Ghaderi, Tsai, vd. (2022), çalışmalarında sürdürülebilir kentsel yük taşımacılığı bağlamında, mobil cihazlarla bağlantılı geniş gönüllü kitlesinin son adım teslimatın daha çevreci biçimlerde yürütülmesi için fırsatlar sunduğunu belirtmekte ve kayıtlı kitle kaynaklı kuryelere son adım teslimat atamasına yönelik bütünleşik bir çerçeve önermektedir. Hâkim yaklaşımdan farklı olarak, önerilen çerçeve özel teslim turları yerine bireylerin günlük seyahatleri üzerinden teslimat gerçekleştirmektedir. Çerçeve, mobil cihazlardan elde edilen coğrafi konum verileri ile çıkarılan hareketlilik örüntülerini kullanan gerçek dünya kitle taşımacılık verileriyle doğrulanmış olup deneyler, kârlılık, hesaplama süresi ve çevresel performans bakımından tatmin edici sonuçlar ortaya koymuştur.

Mousavi vd. (2022), kitle kaynaklı kurye erişilebilirliğine ilişkin belirsizlik altında, mobil depo konumlarının önceden seçildiği ve paketlerin son aşamada kitle kaynaklı kuryelere devredildiği iki kademeli bir son adım teslimat modeli önermektedir. Problem, kitle kaynaklı kurye mevcudiyetindeki belirsizliği yakalamak üzere iki aşamalı stokastik tamsayılı programlama olarak biçimlendirilmiştir. Toronto verisi üzerinde yürütülen çalışma, deterministik modelin ortalamada kapasiteli araç rotalama probleminden %20 daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır. Stokastik modelin deterministiğe göre %3,35–%6,08 aralığında iyileşme sunduğu ve kitle kaynaklı kurye belirsizliği arttıkça bu kazanımların büyüdüğü gösterilmiştir.

M. Silva & Pedroso (2022), bir şirketin ürün teslimat faaliyetlerinin bir bölümünü gönüllü sürücülere dış kaynak kullanımı yoluyla devrettiği kitle taşımacılık bağlamında, toplam maliyeti (firma araç/sürücü maliyetleri + gönüllü sürücü ödemeleri) en aza indirecek esnek ücretlendirme şemasının planlama aşamasında belirlenmesini ele almaktadır. Siparişler ve teslimata gönüllü sürücülerin sabit zaman pencereleri içinde gün boyunca rastlantısal olarak ortaya çıktığı stokastik ve dinamik ortamda, belirsizliğin endojen olduğu (gönüllü sürücü erişilebilirliğinin ödenen ücretten etkilenmesi) varsayımı altında bir derin pekiştirmeli öğrenme algoritması geliştirilmiştir. Makine öğrenmesi ve tamsayılı

eniyileme teknikleri bir arada kullanılmış olup dış örneklem performansları, yöntemin büyük ölçekli belirsiz veri örneklerini işlemeye elverişli olduğunu ve daha iyi çözümler ürettiğini göstermiştir.

Zhang vd. (2023), farklı varış noktaları ve zaman pencerelerine sahip siparişler ile önceden planlanmış güzergâhlara sahip kitle kaynaklı sürücülerin eşleştirilmesini ele alan bir son adım teslimat problemine odaklanmaktadır. Bir platformda müşteriler depodan varış noktasına teslim taleplerini ilan ederken, sürücüler belirli bir ödül karşılığında güzergâhlarından sınırlı sapmalara isteklidir. Sürücüler, kârlarına göre sipariş gruplarına; siparişler ise sürücülerin depoya varış zamanlarına göre sürücülere yönelik tercih listelerine sahiptir. Bu bağlamda sürücü–sipariş eşleştirmesi, sürücüler arasında tanımlanan iş birlikçi olmayan bir oyun olarak modellenmiş olup Nash dengesi taraflar arasında kararlı eşleştirmeyi temsil etmektedir. Çalışma, kararlı eşleştirmeleri bulmak üzere iki kesin algoritma ve büyük ölçekli örnekler için bir sezgisel yöntem önermektedir. Analizler, önerilen yaklaşımların yüksek verimlilik sergilediğini göstermektedir.

Elsokkary vd. (2023), kentsel lojistikte son adım teslimatın e-ticaretle artan hız, doğruluk ve maliyet baskıları altında kitle kaynaklı çözümlerle ele alınmasını incelemektedir. Literatürde yaygın olan açgözlü atama yaklaşımlarının ve bağımsız performans varsayımlarının sınırlılıklarına karşı, uluslararası gönderiler için toplam hizmet kalitesini (Quality of Service-QoS) maksimize eden bir çerçeve önerilmektedir. QoS; atanan görev sayısı, kat edilen mesafe, zamanında teslim ve çalışan itibarı/görev tamamlama güvenirliğinin doğrusal olmayan bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Çerçevede, her çalışanın komşu görev kümelerine atanmasını sağlayan Genetik Algoritma tabanlı bir atama mekanizması geliştirilmiştir. Deneysel değerlendirmeler, önerilen yöntemin %100 görev tahsis oranına ulaşırken QoS ve bileşenleri açısından açgözlü yöntemleri geride bıraktığını ve ortalama %21,1 oranında görev tamamlama güveninde artış sağladığını göstermektedir.

M. Silva vd. (2023), şirket filosundaki kapasiteli araç ve sürücülere ek olarak küçük ücret karşılığında kendi araçlarıyla teslimat yapmaya istekli gönüllü sürücülerin kullanılabildiği kitle taşımacılık iş modelinde, toplam maliyetin (firma araç maliyetleri + gönüllü sürücü ödemeleri) en aza indirilmesini konu edinmektedir. Müşteri siparişleri ile gönüllü sürücü arzının sabit zaman pencereleri içinde gün boyunca rastlantısal olarak ortaya çıktığı stokastik ve dinamik son adım ortamında, büyük ölçekli örnekleri ele

alabilen derin pekiştirmeli öğrenme temelli bir yaklaşım önerilmiştir. Eylem seçimi, karma tamsayılı eniyileme olarak biçimlendirilmiş olup önerilen derin pekiştirmeli öğrenme yöntemi, belirsizlik altında eniyileme yaklaşımları olan örnek-ortalaması yaklaşımı ve dağıtıma karşı sağlam eniyileme ile karşılaştırılmıştır. Dış örneklem değerlendirmeleri, derin pekiştirmeli öğrenme yaklaşımının etkinliğini göstermektedir.

Shahin vd. (2024), dijital platformlar ile akıllı telefon/internet yaygınlığının çevrim içi satışları hızla büyüttüğünü ve bunun teslimat süreleri üzerindeki rekabeti artırarak son adım teslimat sistemlerine baskı oluşturduğunu vurgulamaktadır. Mevcut ilgiye karşın, son adım teslimat alanında kapsamlı ve sistematik bir derleme çalışması eksikliği bulunduğu belirtilmekte olup bu doğrultuda, optimizasyon literatürü odağında kapsamlı bir inceleme yürütülmektedir. İnceleme, amaç fonksiyonlarının tanımlanması, duyarlılık analizlerinin tasarımı ve son adım teslimatın diğer operasyonel sorunlarla entegrasyonu gibi alanlarda araştırma boşluklarını ortaya koymakta ve gelecekteki çalışmalara yön vermek üzere yapılandırılmış bir gündem sunmaktadır.

Sawik (2024), otomatik kargo dolabı sistemleri, kılcal dağıtım ağları, kitle taşımacılık ve son adım teslimatın tedarik zinciri yönetimiyle entegrasyonuna odaklanarak verimliliği artırma, maliyetleri düşürme ve müşteri memnuniyetini iyileştirme hedeflerini ele almaktadır. Mevcut literatüre ilişkin bir derleme ile tesis yeri seçimi ve araç rotalama problemleri gibi temel kavramlar sentezlenmiş olup çok ölçütlü amaçları (maliyet minimizasyonu, teslim süresi ve kapasite eniyilemesi, hizmet düzeyi ve araç kullanımının azaltılması vb.) dikkate alan kavramsal matematiksel programlama modelleri formüle edilmiştir. Araç rotalama ile tesis yeri seçiminin birlikte ele alındığı önerilen metodoloji, bir lojistik şirketi vakası üzerinde gösterilmiştir.

Alromema vd. (2025)'nin çalışmasının amacı, kent içi son adım lojistikte kitle kaynaklı teslimatın başarısı için kritik olan kurye katılımının sürekliliğini etkileyen etmenleri Suudi Arabistan bağlamında incelemektir. Sosyal değişim kuramı ile Genişletilmiş Teknoloji Kabul ve Kullanımının Birleştirilmiş Kuramı'nın bütünleştirildiği özgün bir kuramsal çerçeve geliştirilmiş olup 345 katılımcıdan anket yoluyla derlenen veriler IBM SPSS Amos 26.0 ile yapısal eşitlik modellemesi kullanılarak analiz edilmiştir. Bulgular, çaba beklentisi, hedonik motivasyon ve iş özerkliğinin kuryelerin katılıma devam etme niyetini anlamlı biçimde artırdığını; buna karşılık itibar etkisi, ekonomik yarar ve algılanan endişelerin genel örneklemde belirleyici olmadığını göstermektedir. Aralıklı ve

bağlı çalışanlar arasında güdülenme farklılıkları saptanmış olup ekonomik yararın genel olarak niyet üzerinde anlamlı etkisi bulunmazken, erkek ve bağlı kuryelerde niyeti olumlu etkilediği belirlenmiştir.

Odeh vd., (2025), kitle kaynaklı platformlarda zaman ve bütçe kısıtları altında son adım teslimatın yönetimine odaklanarak artan talep karşısında sınırlı iş gücü ve bütçenin zaman ve kritik görevlerde başarısızlıklara ve yönetişim zorluklarına (itibar, bütünlük, şeffaflık) yol açtığını saptamaktadır. Bu boşluğu gidermek üzere, "Blok zincir Tabanlı Hibrit Kitle Kaynaklı Açık Artırma Temelli Son Adım Teslimat" çerçevesi önerilmektedir. Bu çerçeve, zincir üstü şeffaflık ve merkeziyetsizlik sağlayan, insansız hava araçları + kara araçları hibrit teslim modunu kullanmaktadır. Çerçeve; (i) görevlerin anında ele alınması, (ii) aciliyet temelli teşviklerle başarı olasılığının artırılması ve (iii) yetersiz bütçeli görevlerin açık artırma mekanizmasıyla desteklenerek uzun vadeli başarısızlığın önlenmesi hedeflerini bütünleştirmekte, ayrıca platform kârının kötüye kullanımını sınırlamak için geri besleme temelli suiistimal karşıtı bir düzenek içermektedir. Değerlendirmeler, kötü niyetli davranışın varlığında dahi %74'e varan zamanında tamamlama oranı ve en yakın karşılaştırmaya kıyasla %15 daha düşük yakıt tüketimi elde edildiğini göstermektedir.

Çelik vd. (2025), matematiksel modelleme ve benzetime dayalı araştırmalarda sıklıkla göz ardı edilen kullanıcı deneyimi boyutunu merkeze alarak, Türkiye'de çevrim içi platformlardan elde edilen kullanıcı yorumları üzerinden kitle kaynaklı kuryeler ile geleneksel kuryeleri karşılaştırmaktadır. Duygu analizi ve konu modelleme teknikleriyle yapılan inceleme, kitle kaynaklı teslimatta memnuniyet düzeylerinin yüksek oynaklık sergilediğini ve başlangıçta görece yüksek olan memnuniyetin zamanla istikrarlı biçimde azaldığını ortaya koymaktadır. Geleneksel kuryelerde memnuniyet daha düşük seviyelerde olmakla birlikte daha istikrarlıdır. Türk kullanıcıların öncelikleri doğruluk, paket güvenliği ve kolaylık olarak belirlenmiş olup ayrıca zaman içinde izleme/takip etme yeteneklerine verilen önemin maliyete kıyasla arttığı saptanmıştır. Bulgular, kitle kaynaklı teslimat uygulamalarında hizmet tutarlılığı ve takip kabiliyetlerinin güçlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Dahlan vd. (2025), gerçek zamanlı trafik kesintilerinin son adım teslimat üzerindeki gecikme ve maliyet etkilerini ele alarak, sosyal medya kaynaklı kitle verisini araç rotalama problemine entegre eden "Kitle Kaynaklı Uyarlanabilir Araç Yönlendirme

Çerçevesi" önermektedir. Çerçeve, etki şiddetine göre tweet sınıflandırması yapan bir makine öğrenmesi modeliyle ilgili trafik bilgilerini süzmekte ve bu veriyi uyarlamalı "trafik araç rotalama problemi" adlı matematiksel modele dâhil etmektedir. Jakarta'daki bir paket dağıtım ağı üzerinde farklı trafik bozulma düzeylerini içeren vaka çalışması, sosyal medya verisinin matematiksel modele entegrasyonunun yol kapanmalarından kaçınmayı sağlayarak verimliliği belirgin biçimde artırdığını göstermektedir. Sonuçlar, Kitle Kaynaklı Uyarlanabilir Araç Yönlendirme Çerçevesinin dinamik son adım teslimat koşullarına nispeten düşük maliyetli ve etkin bir çözüm sunduğunu ortaya koymaktadır.

Saleh vd. (2025), talep dalgalanmaları ve belirsiz kurye erişilebilirliği altında kitle kaynaklı teslimat platformlarında kurye–sipariş eşleştirme ve reaktif çizelgeleme sorununu ele almakta olup bağlı (committed) ve aralıklı (occasional) kuryelerden oluşan işgücünde, gün içindeki talep eğilimlerine yanıt olarak bağlı kuryelerin vardiyalarının uzatılmasına yönelik kararları öğrenme temelli yaklaşımlarla karşılaştırmaktadır. Saleh vd. (2024)'te Derin Q-Ağı ile Markov Karar Süreci olarak biçimlendirilen probleme, bu çalışmada politika gradyan sınıfından Yakınsal Politika Optimizasyonu ve Avantaj Oyuncu Eleştirmeni eklenmiştir. Beklenen ödül, kayıp istek sayısı ve vardiya uzatma maliyetleri üzerinden karşılaştırmalı analiz yapılmıştır. Bulgular, Yakınsal Politika Optimizasyonunun kırpma amaç fonksiyonu sayesinde en yüksek toplam ödülü sağladığını, kayıp istekleri ve uzatma maliyetlerini en aza indirdiğini göstermektedir. Avantaj Oyuncu Eleştirmeni, Derin Q-Ağından daha yüksek ödül üretse de politikayı doğrudan eniyilemede ve zamanında teslim önceliklendirmede zorlanmıştır. Derin Q-Ağı ise aşırı ölçüde vardiya uzatmalarına dayanma eğilimi göstermiştir.

Elmay vd. (2025), kitle kaynaklı son adım teslimatta işgücü erişilebilirliği veya yeterliliği belirsizliğinin, paket izleme yetersizliğinin ve paydaşlar arası güven eksikliğinin bütüncül biçimde ele alındığı makine öğrenmesi + blokzincir + dijital ikizler entegrasyonuna dayalı bir çerçeve önermektedir. Yaklaşımda paketlerin teslimat başarısının, zincir dışı ortamda (IPFS ve akıllı sözleşme olaylarıyla güvence altına alınmış) makine öğrenmesi modelleriyle öngörülmesiyle, bu öngörülerin Hizmet Kalitesi (QoS) metriğiyle birlikte blokzincir üzerindeki görev atama mekanizmasına beslenmesi ve başarılı tamamlama olasılığı yüksek çalışanlara atama yapılması sağlanmaktadır. Paket dijital ikizleri ile gerçek zamanlı durum/izleme sağlanarak şeffaflık ve güven artırılmaktadır. Gerçek

veriyle yapılan değerlendirmede görev başarı oranında %48, hizmet kalitesinde %41, çalışan itibarında %26 ve teslimat kalitesinde %16 iyileşme elde edilmiştir.

Aslam & Li (2025), 2015–2023 döneminde 39 yayından seçilen 72 makaleyi sistematik biçimde inceleyerek son adım lojistiğinin güncel durumunu ve teknoloji temelli dönüşümünü değerlendirmektedir. Sistematik literatür taraması kapsamında robotik mobil depolama/sipariş karşılama merkezleri, drone'lar, kitle kaynaklı çözümler ve mikro-sipariş karşılama taktikleri gibi yöntemlerin uygulamaları analiz edilmiştir. Bulgular iki ana eğilime işaret etmektedir: (i) lojistik sorunların çözümünde robotik ve drone'lar dâhil teknoloji odaklı yaklaşımların yükselişi (ii) sipariş karşılama ve teslimatta kitle kaynaklı ve mikro-sipariş karşılama gibi yenilikçi stratejilerin ortaya çıkışı. Çalışma, yanıt verebilirlik, zaman duyarlılığı ve ürün duyarlılığı gibi lojistik özellikler üzerindeki etkileri vurgulayan geliştirilmiş bir son adım çerçevesi önermekte olup işletmeler ile araştırmacılar için operasyonel verimliliği artırmaya yönelik pratik yönlendirmeler sunmaktadır.

Gajda vd. (2025), toplu taşıma ağlarındaki günlük yolcuların kitle kaynaklı kurye olarak konumlandırıldığı, çevresel etkisi düşük bir son adım teslimat modelini ele almakta ve bu problemi "Toplu Taşıma Tabanlı Kitle Kaynaklı Teslimat Problemi" (Toplu Taşıma Tabanlı Crowdshipping Problemi) olarak tanımlamaktadır. Teslimat döneminin başında kargolar seçili toplu taşıma istasyonlarına yönlendirilmekte, yolcular kendi rutin güzergâhlarından sapmadan bu kargoları toplayıp varış noktalarına taşımakta olup ulaşmayan gönderiler için şirket tarafından yedek hizmet garanti edilmektedir. Amaç, her pakete en uygun zamanlama ve güzergâhı atayarak toplam teslimat maliyetini en aza indirmektir. Bu amaçla bir karma tam sayılı doğrusal programlama formülasyonu sunulmuş ve büyük ölçekli örnekleri çözmek üzere Uyarlamalı Geniş Komşuluk Araması Algoritması geliştirilmiştir. Geniş örnek seti üzerinde yapılan deneyler, sezgisel yaklaşımın kesin modele kıyasla etkin performans sergilediğini gösterirken, duyarlılık analizi kitle taşımacılık ve yedek teslim maliyetlerinin toplam sistem maliyeti üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır.

Elmay vd. (2026), geleneksel lojistikte artan talep kaynaklı sürdürülebilirlik, maliyet ve gecikme sorunlarına karşı, İHA–kara aracı entegrasyonuna dayalı kitle kaynaklı son adım teslimat için enerji-farkındalıklı, güvenli ve şeffaf bir çerçeve önermektedir. Önerilen sistemde, İHA'nın uçuş ortamı ve taşıdığı yük verilerini içeren rastgele orman tabanlı bir

enerji tüketim modeli geliştirilmiş olup teslimat başarısı olasılığını dikkate alan Gale–Shapley tabanlı görev atama mekanizmasıyla Hizmet Kalitesi (QoS) ve Teslimat Kalitesi (QoD) eniyilenmiştir. Dijital ikizler aracılığıyla paket depolama ve durum izleme gerçek zamanlı ve şeffaf biçimde sağlanmıştır. Deneysel sonuçlar, yöntemin en az %37 QoS artışı, en az %45 teslimat başarısı artışı ve çalışan itibarında iyileşme sağladığını göstermektedir.

4.2. Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinde Z- Bulanık Sayıların Kullanılması

Bu bölümde Z-bulanık sayıların farklı ÇKKV yöntemleri ile karar problemlerine uygulanmasına ilişkin çalışmalar incelenmiştir.

King vd. (2012), belirsiz ortamda ÇKKV sorunlarına yönelik olarak, bulanık sayıları güven derecesi ile birlikte modelleyen Z-sayı kavramına dayalı yeni bir yöntem önermektedir. Dilsel karar problemlerini ele alan yaklaşımda, Z-sayılar üzerinde tanımlanan aritmetik işlemler sayesinde karar süreci adım adım ve sistematik biçimde yürütülmektedir. Sunulan sayısal örnek, yöntemin uygulanabilirliğini ve etkinliğini göstererek, Z-sayı temelli ÇKKV'nin belirsizlik ve karar verici güvenini birlikte temsil etmede sağladığı avantajları ortaya koymaktadır.

Azadeh vd. (2013a), belirsiz ortamlarda AHP uygulamalarındaki açığı ele alarak Z-sayı temelli yeni bir AHP yöntemi önermektedir. Zadeh'in tanımladığı Z-sayı, (A, B) sıralı çiftiyle ifade edilen bir yapıdır. Burada A bulanık kısıtı, B ise bu kısıta ilişkin güvenilirlik derecesini temsil etmektedir. Bu temsil, insan bilgisini belirsizlik ve güven boyutlarıyla birlikte daha güçlü biçimde ifade etmeye olanak tanımaktadır. Önerilen Z-sayı AHP yaklaşımı, dilsel yargılarla ifade edilen karar problemlerini adım adım işleyebilmektedir. Çalışmada, üniversitelerin değerlendirilmesi için kriterlerin belirlenmesine yönelik bir model geliştirilmiştir. Bu çerçeve, klasik ve bulanık AHP'ye kıyasla karar verici güvenini doğrudan içselleştirerek değerlendirme sağlamlığına katkı sunmaktadır.

Xiao (2014), karar verme ve risk değerlendirme gibi alanlarda değerlendirme ile buna ilişkin güvenilirliği birlikte temsil eden Z-sayıların kullanımına dayalı bir çok kriterli bulanık karar verme yöntemi önermektedir. Her alternatif–kriter değerlendirmesi, değerlendiriciden gelen değer ve güven bileşenlerini içeren bir Z-sayı olarak tanımlanmakta olup burada güvenilirlik, değerlendirmeye ait bulanık sayının belirsizlik izi ile ifade edilen aralık değerli bulanık kümeye dönüştürülmektedir. Ardından, bu aralık değerli temsilin kütle merkezi, K–M algoritması kullanılarak hesaplanmakta ve karar

matrisindeki Z-sayılar kesin sayılara dönüştürülerek seçim yapılmaktadır. Sayısal bir örnek, yöntemin adımlarını ve etkinliğini göstermektedir.

Sahrom & Dom (2015), belirsizlik ve öznel yargıları kapsamada yaygın kullanılan melez AHP–Bulanık Veri Zarflama Analizi (VZA) yaklaşımını Z-sayı uzantısıyla genişleterek Z-sayı kullanımının etkisi ve uygulanabilirliğini incelemektedir. Bu kapsamda, iki farklı çarpma ilişkisi kullanılarak bulanık sayılara ait güvenilirlik bileşeni ($\tilde{R}$), kısıt bileşeni ($\tilde{A}$) içine entegre edilmekte olup devamında ölçüt ağırlıkları Z–VZA sürecine dâhil edilmektedir. Önerilen AHP–Z–VZA yöntemi, 20 köprü yapısının risk önceliğinin sıralandığı sayısal bir örnekle uygulanmıştır. Sonuçlar, melez AHP–Bulanık VZA'nın Z-sayı uzantısıyla risk sıralamasında yüksek ölçüde uygulanabilir olduğunu ve incelenen alternatiflerin özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik yararlı bilgi sağladığını göstermiştir.

Yaakob & Gegov (2015), karar verme uygulamalarında belirsizliği yeterince işleyemeyen geleneksel TOPSIS yaklaşımına yönelik bir iyileştirme sunmaktadır. Tip1-Tip2 ve Z-bulanık kümeler ile TOPSIS'in belirsizlik ve kusurlu bilgiyi içerecek biçimde genişletildiği çalışmalara karşın, mevcut yöntemlerin karar vericinin etki derecesini göz ardı ettiği belirtilmektedir. Bu eksikliği gidermek amacıyla, karar verici güvenilirliğini Z-sayılar ile temsil eden ve insan duyarlılığını veya etki derecesini yansıtmak üzere bulanık kural tabanı kullanan yeni bir TOPSIS türevi önerilmektedir. Önerilen yöntemin sıralama geçerliliği Spearman rho korelasyon katsayısı ile karşılaştırmalı olarak sınanmış olup sonuçlar, kural tabanı içermeyen mevcut TOPSIS sürümlerine kıyasla daha üstün sıralama performansı sağlandığını göstermektedir.

Yaakob & Gegov (2016), grup karar verme ortamında gerçek sıralamayla tutarlı sonuç üretebilme kaygısına yanıt olarak, karar verici güvenilirliğini dikkate alan Z-sayı temelli yeni bir TOPSIS türevi (Z-TOPSIS) önermektedir. Yöntem, karar problemlerinin bilgisini biçimselleştirmede anlamlı ve sezgisel bir yapı sunarken, bulanık kümeler literatürüyle köprü kurarak Z-sayılar üzerinden alternatiflerin sıralamasını güçlendirmektedir. Hisse senedi seçimi örneğinde uygulanan Z-TOPSIS'in pratikliği ve etkinliği Spearman rho sıralama korelasyonu ile karşılaştırmalı olarak doğrulanmış olup analiz, önerilen yöntemin yerleşik TOPSIS varyantlarına kıyasla daha üstün sıralama performansı sağladığını göstermiştir.

Kang vd. (2016), tedarikçi seçimi çalışmalarında klasik bulanık yöntemlerin uzmanlardan elde edilen bilginin güvenilirliğini dikkate almadığını saptayarak Zadeh'in Z-sayı

kavramını temel alan bir değerlendirme çerçevesi önermiştir. Çalışmada önce bulanık Z-sayıların klasik bulanık sayılara dönüşümü gösterilmiş, ardından değerlendirme matrisindeki öncelik ağırlıklarının hesaplanmasında genetik algoritma kullanılmıştır. Son aşamada yöntem bir tedarikçi seçimi problemine uygulanarak etkinliği ampirik olarak ortaya konmuştur.

H. Peng & Wang (2017), Z-sayılar ve dilsel modelleri birleştirerek tereddütlü belirsiz dilsel Z-sayılar (HULZN) kavramını tanıtmakta ve ağırlık bilgisi kısmen bilinen çok kriterli grup karar verme (ÇKGKV) problemlerine yönelik yenilikçi bir yöntem önermektedir. Nitel bilgiyi nicel araçlarla işleyebilmek için dilsel ölçek fonksiyonu kullanılmış olup HULZN'ler için işlem ve uzaklık ölçüleri tanımlanmış, ardından iki güç toplulaştırma operatörü geliştirilmiştir. Bu operatörler VIKOR modeliyle bütünleştirilerek yeni bir ÇKGKV yaklaşımı elde edilmiştir. Kurumsal kaynak planlama sistemi seçimi örneğiyle yöntem gösterilmiş ve duyarlılık analizi ile mevcut bir yöntemle karşılaştırmalar, önerilen yaklaşımın uygulanabilirliğini ve geçerliliğini doğrulamıştır.

Khalif vd. (2017), Z-sayılar için bulanık benzerliğe dayalı bulanık TOPSIS yaklaşımını sunmaktadır. Klasik bulanık TOPSIS'te sıralama için yakınlık katsayısı kullanılırken, önerilen yöntemde bulanık pozitif ideal çözüm (FPIS) ve bulanık negatif ideal çözüm (FNIS) ile aday değerlendirmeleri arasındaki bulanık benzerlik hesaplanarak sıralama yapılır. Gerçek bilgideki belirsizlik ve güvenilirlik derecesi gereksinimini karşılamak üzere Z-sayılar entegrasyonu benimsenmiştir. Böylece dilsel karar problemlerinde uzman bilgisinin daha isabetli temsil edilmesi amaçlanmıştır. Şirket performansı değerlendirmesine yönelik sayısal örnek, tekniğin uygulanışını göstermekte olup sonuçlar, önerilen yöntemin performans değerlendirmesinde yüksek ölçüde uygulanabilir olduğunu ortaya koymaktadır.

Ku Khalif vd. (2017), sezgisel vektörel kütle merkezi temelli durulaştırma geliştirmiş ve tutarlı bulanık tercih ilişkileri ile Z-sayılara uyarlanmış bulanık TOPSIS'i bütünleştiren melez bir bulanık ÇKKV modeli önermektedir. Z-sayıların değerlendirme değerine eşlik eden güvenilirlik derecesini temsil etmesi sayesinde, yalnızca bulanıklığın yetersiz kaldığı gerçek verideki belirsizlik daha isabetli biçimde modellenmiştir. Böylece dilsel yargılara dayalı karar verme süreçlerinde insan sezgisinin gereksinimleri karşılanmıştır. Önerilen yaklaşım, bir personel seçimi problemi üzerinde uygulanarak yöntemin pratik uygulanabilirliği ve geçerliliği gösterilmiştir.

J. Wang vd. (2017), her iki bileşeni de dilsel terimler olan bir Z-sayı biçimini tanımlayarak dilsel Z-sayılar kavramını ortaya koymaktadır. Bu yapı için işlem kuralları, puan/doğruluk (score/accuracy) temelli karşılaştırma yöntemi ve uzaklık ölçüsü geliştirmektedir. Ardından, ölçütler arası etkileşimi dikkate alan Choquet integrali tabanlı genişletilmiş TODIM yaklaşımı önerilerek dilsel Z-sayılı ÇKKV problemleri ele alınmakta olup tıbbi sorgu uygulaması seçimi örneği üzerinden yöntemin uygulanabilirliği gösterilmektedir. Karşılaştırmalı analizler, önerilen yöntemin farklı karar verici ve bilişsel ortamlarda geçerli ve uygulanabilir olduğunu, nihai sıralamaların gerçek karar süreçlerine daha yakın sonuçlar ürettiğini ve sınırlı rasyonalite ile ölçüt etkileşimini içselleştirerek klasik yöntemlere kıyasla üstünlük sağladığını göstermektedir.

Karthika & Sudha (2018), Z-sayı bileşenleri üçgensel bulanık sayılarla (değer ve güvenilirlik) temsil edilerek Bulanık AHP (FAHP) temelli bir karar modelini ele almakta olup her ölçüte göre alternatiflerin Z-sayılarla değerlendirildiği bir çerçeve sunmaktadır. Önerilen yaklaşımda, klasik üçgensel bulanık sayılar uygun bir dönüşümle kesin değerlere indirgenmekte ve AHP ile karar analizi yürütülmektedir. Yöntem, bir risk değerlendirmesi örneği üzerinde uygulanarak analiz edilmiş ve Z-sayı destekli FAHP'nin belirsizlik ile bilgi güvenilirliğini birlikte ele alarak pratik karar problemlerinde kullanılabilirliği gösterilmiştir.

Forghani vd. (2018), tedarik zinciri yönetiminde kritik bir süreç olan tedarikçi seçiminde belirsizlik ve kusurlu bilgiyi dikkate alan bütünleşik bir yaklaşım önermektedir. İlk aşamada, ilaç sektöründe tedarikçi seçim kriterlerinin sayısı Temel Bileşenler Analizi ile azaltılmakta olup ardından seçili kriterlerin önemi ve güvenilirliği karar verici grubunca değerlendirilmektedir. Kriter–tedarikçi–ürün bazlı önem değerleri, Z-sayı kavramına dayalı Z-TOPSIS yöntemiyle elde edilmekte ve bu skorlar, çok ürün/çok tedarikçi ortamında tedarikçi seçimi ile temin miktarlarını belirlemek üzere karma tam sayılı doğrusal programlama modeline girdi olarak kullanılmaktadır. Bir ilaç firmasında yürütülen uygulama, yöntemin pratik geçerliliğini göstermiştir.

Chatterjee & Kar (2018), hızla artan enerji tüketimi ve fosil yakıt kıtlığı bağlamında, özellikle Hindistan gibi gelişmekte olan ülkeler için yenilenebilir enerji alternatiflerinin çok kriterli bir yaklaşımla seçimini ele almakta ve COPRAS-Z metodolojisini önermektedir. Yöntemde, karar vericilerin belirsiz yargıları ve güvenilirlik dereceleri Z-sayı temsilleriyle modele dâhil edilmekte olup ölçüt ağırlıklarının (öznel + nesnel)

belirlenmesinin ardından bulanık sayılar durulaştırılarak alternatifler COPRAS'a göre önem ve fayda derecesi esaslı olarak sıralanmaktadır. Duyarlılık analizi, öznel/nesnel ağırlık katsayıları değiştirilerek ölçüt ve alternatif sıralamalarındaki değişimi incelemektedir. Ayrıca önerilen yaklaşım mevcut ÇKKV yöntemleriyle karşılaştırılarak geçerlilik ve tutarlılık değerlendirilmiştir.

Aboutorab vd. (2018), ÇKKV için geliştirilen Best Worst Method (BWM)'in bilgi belirsizliği durumlarında yetersiz kaldığı noktaları ele alarak belirsizlik ve güvenilirliği birlikte temsil eden Z-sayılar ile bütünleştirilmiş Z-BWM yaklaşımını önermektedir. ZBWM, dilsel bilgi ve büyük veri bağlamlarında karar verici yargılarını Z-sayıların bulanık ve güvenilirlik bileşenleriyle modele dâhil ederek daha sağlam ağırlıklandırma sağlamaktadır. Tedarikçi geliştirme problemi üzerinde yapılan uygulama ve deneysel karşılaştırmalar, Z-BWM'nin klasik BWM'ye kıyasla daha düşük tutarsızlık ürettiğini göstermektedir.

H.G. Peng & Wang (2018), güvenilirlik boyutunu içeren Z-sayılarla, ağırlık bilgisi tamamen bilinmeyen koşullarda ÇKGKV için yenilikçi bir yöntem geliştirmektedir. Z-sayıların işlenmesinde güvenilir nicel desteği sağlamak üzere normal bulut modeli kullanılmış olup bu çerçevede Z-sayıların potansiyel bilgisi açığa çıkarılarak normal Z+-değer kavramı önerilmiş, buna ilişkin işlemler, uzaklık ölçüsü ve güç toplulaştırma operatörleri tanımlanmıştır. Tanımlanan uzaklık ve toplulaştırma operatörleri, MOORA + Tam Çarpımsal Form ile bütünleştirilerek yeni bir ÇKGKV yöntemi oluşturulmuştur. Hava kirliliği potansiyeli değerlendirmesine yönelik örnek uygulama, yaklaşımın uygulanabilirliğini göstermiş ayrıca duyarlılık analizi ve mevcut yöntemlerle karşılaştırmalar, yöntemin geçerlilik ve sağlamlığını doğrulamıştır.

Shen & Wang (2018), karar verme doğruluğunu etkileyen bilgi güvenilirliğini klasik bulanık kümelere kıyasla doğrudan içselleştiren Z-sayı çerçevesinde uzaklık ölçüsü sorununu ele almaktadır. Z-sayının rastlantısallık ve bulanıklık özelliklerini eşzamanlı dikkate alan kapsamlı ağırlıklı uzaklık ölçüsü tanımlanmış olup bunun üzerine Z-bilgi ortamına uyarlanmış ve Z-VIKOR yöntemi geliştirilmiştir. Önerilen yaklaşım, Z-sayıların doğrudan hesaplanmasını kolaylaştırmakta ve bölgesel döngüsel ekonomi geliştirme planı seçimi örneği üzerinde gösterildiği üzere uygulamada geçerli ve etkin sonuçlar üretmektedir. Karşılaştırmalı analizler, yöntemin mevcut alternatiflere göre üstünlük ve uygulanabilirlik sergilediğini doğrulamaktadır.

Kahraman & Otay (2018), bulanık ve dilsel ölçütlerin hâkim olduğu belirsiz ortamda güneş PV santrali yer seçimi sorununu ele alarak, dört düzeyli bir hiyerarşi üzerinde Z-bulanık sayılara dayalı AHP yöntemi önermektedir. Başlangıç/işletme-bakım maliyetleri, eğim ve otoyollara uzaklık gibi çoklu (çoğu çatışan) ölçüt ve alt ölçütler dikkate alınmıştır. Önerilen yaklaşım, Türkiye'den seçilen gerçek bir vaka üzerinde uygulanarak yöntemin uygulanabilirliği ve etkinliği gösterilmiştir.

Gardashova (2019), belirsiz bilgi altında çok kriterli karar verme için dönüşüm yapmadan doğrudan Z-sayılarla çalışan bir Z-TOPSIS yöntemi önermektedir. Literatürdeki yaklaşımlar çoğunlukla Z-bilgiyi bulanık ya da kesin sayılara indirgerken önerilen yöntem Z-sayıların avantajlarını ve özelliklerini doğrudan içselleştirmektedir. Yöntem, bir araç seçimi problemi üzerinde Z-sayı yazılım aracıyla uygulanmış olup hesaplamalar, yaklaşımın uygulanabilir ve geçerli sonuçlar ürettiğini göstermiştir.

F. Wang & Mao (2019), karar analizinde bilgilerin güvenilirliğinin ölçülmesi gereğini vurgulayarak değerlendirme ve buna eşlik eden güven derecesini birlikte temsil eden Z-sayılar çerçevesinde, ağırlık bilgisi kısmen bilinmeyen ÇKGKV problemleri için TOPSIS ve güç toplulaştırma operatörlerine dayalı yeni bir yaklaşım önermektedir. Karar vericilerin (KV) dilsel terimlerle ifade ettiği değerlendirmeler Z-sayı biçiminde modellenmekte olup KV ağırlıkları benzerlik ölçüsüne dayalı bir eniyileme modeliyle, ölçüt ağırlıkları ise KV'lerin sağladığı kısmi bilgiye dayanan doğrusal programlama ve uzaklık ölçüsü ile belirlenmektedir. Ardından, tüm KV'lerden gelen karar matrisleri, önerilen operatörlerle bütüncül bir değerlendirme matrisine dönüştürülmekte ve alternatifler Z-değerlendirmenin özelliklerini gözeten TOPSIS mantığıyla sıralanmaktadır. Tedarikçi seçimi üzerine gerçekleştirilen uygulama ve mevcut yöntemlerle karşılaştırmalar, yaklaşımın uygulanabilirliğini ve geçerliliğini doğrulamaktadır.

Xian vd. (2019), dilsel bilgiyi etkin biçimde işlemek için klasik bulanık sayının ötesine geçerek kısıt + güvenilirliği birlikte temsil eden Z-sayıları, sezgisel belirsiz dilsel kümeler ile birleştirip sezgisel Z-dilsel küme (IZLS) kavramını önermektedir. IZLS için işlem kuralları ile yeni puan ve doğruluk işlevleri tanımlanmış olup farklı kategori öncelik ilişkilerinden türetilen öznitelik ağırlıklarıyla iki IZL değişkeni arasındaki Minkowski uzaklığı geliştirilmiştir. Devamında, alternatif tercihleri ile karar vericilerin iyimserlik düzeyini birlikte dikkate alan, çift parametreli genişletilmiş TOPSIS yöntemi

sunulmuştur. Yatırım stratejisi ve tıbbi tanı vaka çalışmaları, yöntemin uygulanabilirliğini göstermiş olup karşılaştırmalar, önerilen yaklaşımın üstünlüklerini ortaya koymuştur.

Kahraman vd. (2019), hukuk bürolarının performansının kesin sayısal değerlendirmeler yerine dilsel yargılarla karşılaştırmalı ölçülmesini ele almakta ve belirsiz bilginin hâkim olduğu bu ortamda Z-bulanık sayılara dayalı AHP yaklaşımını önermektedir. Z-bulanık sayılar, klasik bulanık sayılara kıyasla karar verici değerlendirmesinin güvenilirliğini de içselleştirerek daha gerçekçi bir temsil sunmak üzere tercih edilmiştir. Önerilen yöntemle büroların göreli performansları hesaplanmakta ve elde edilen performans skorlarına dayanarak borç dosyalarının bürolara tahsisi yapılmaktadır. Bu çerçeve, ÇKKV sürecinde öznel yargıların sistematik biçimde modele dâhil edilmesini ve adil veya etkin bir dosya dağıtımını mümkün kılmaktadır.

Krohling vd. (2019), ÇKKV bağlamında Z-sayıları işleyebilen bir yaklaşım sunmaktadır. Önerilen çerçevede Z-sayılar standart bir prosedürle bulanık sayılara dönüştürülmekte, ardından bulanık TODIM ve bulanık TOPSIS'in doğrudan uzantıları olan Z-TODIM ve Z-TOPSIS yöntemleri tanıtılmaktadır. İki vaka çalışması üzerinde yapılan uygulamalar, önerilen yöntemlerin uygulanabilirliğini göstermiş olup ayrıca yöntemleri destekleyen bir grafik arayüz geliştirilerek farklı bilgi alanlarında kullanım kolaylığı sağlanmıştır.

Shen vd. (2020), KV'lerin bilişsel düzey, deneyim ve bilgi birikimindeki farklılıklar nedeniyle karar bilgilerinin tam güvenilir olmaması sorununu ele alarak bilgi güvenilirliğini temsil eden Z-sayı çerçevesinde yönlendirilmiş uzaklık ve pişmanlık teorisini içeren Z–MABAC yaklaşımını önermektedir. Yöntem, Z-sayının rastlantısallık ve bulanıklık bileşenlerini eşzamanlı dikkate alırken Z-bileşenleri arasındaki farkların her zaman tamamlayıcı kabul edilemeyeceği durumlar için tercih belirsizliğini modellemektedir. Bölgesel döngüsel ekonomi geliştirme programı seçimi üzerinden gösterilen uygulama, yöntemin karmaşık çok kriterli grup karar problemlerini rasyonel ve etkili biçimde çözebildiğini ve geniş bir uygulama potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Yildiz & Kahraman (2020), klasik bulanık kümelerin (T2, sezgisel, tereddütlü, Pisagor, nötrösöfik) AHP'ye getirilen uzantıları bağlamında, Buckley'nin bulanık AHP modeline atıf yaparak Z-bulanık sayı temelli bir AHP yaklaşımı önermektedir. Önerilen Z-bulanık AHP ile ikili karşılaştırmalarda karar verici yargılarının hem belirsizlik hem de

güvenilirlik boyutu birlikte modellenmekte olup yöntem bir örnek uygulama üzerinden gösterilmektedir.

Qiao vd. (2020), gerçek dünyaya ilişkin bilişsel bilgiyi bulanık kısıt ve güvenilirlik kısıtı ile birlikte ifade eden Z-sayılar için ÇKKV bağlamında hesaplaması basit bir sıralama yöntemi önermektedir. Bu amaçla, aralık sayıların olasılık derecesi kavramından esinlenerek Z-sayıların kapsamlı olasılık derecesi tanımlanmakta, buna dayalı üstünleme (outranking) ilişkileri ve ağırlık edinim algoritması geliştirilmektedir. Ardından, Z-değerlendirme altında PROMETHEE II'nin genişletilmiş bir sürümü sunulmakta ve seyahat planı seçimi örneğiyle yöntem gösterilmektedir. Duyarlılık analizi ve karşılaştırmalı analizler, önerilen yaklaşımın uygulanabilirliğini ve mevcut yöntemlere kıyasla üstün performansını doğrulamaktadır.

Das vd. (2020), güvenlik yönetiminde temel adımlardan olan tehlike tanımlama ve önceliklendirmeyi, klasik FMEA'nın (arıza modu ve etki analizi) (O-S-D oluş (O), şiddet (S) ve tespit edilebilirlik (D) üzerinden risk öncelik numarası (RPN)) bilinen sınırlılıklarını aşacak biçimde yeniden ele almaktadır. Uzman puanlamalarındaki belirsizlik ve güvenilirlik sorunlarını Z-sayı çerçevesiyle modelleyen yaklaşım, risk faktörü ağırlıklarını belirlerken öznel ve nesnel bileşenleri birlikte kullanmaktadır. Tanımlanan tehlikelerin sıralanması için VIKOR yöntemi Z-bilgi ortamına uyarlanarak maksimum grup faydası ve asgari pişmanlık ilkeleri içselleştirilmiştir. Önerilen yöntem, sanal prototipleme temelli EOT vinç operasyonları üzerinde uygulanmıştır. Duyarlılık analizi ve mevcut yöntemlerle karşılaştırmalar, tehlike önceliklendirmesinde yöntemin geçerliliğini ve üstünlüğünü ortaya koymuştur.

Jiang vd. (2020), hastane yönetiminde hizmet kalitesini iyileştirmeye yönelik performans ölçümünde çok sayıda gösterge ve çok paydaşlı değerlendirme gereksinimini dikkate alarak dilsel Z-sayılar ve DEMATEL temelli geniş katılımlı bir değerlendirme yaklaşımı geliştirmektedir. Önerilen genişletilmiş Z-DEMATEL yöntemi, neden–sonuç ilişkileri üzerinden kilit performans göstergelerini belirlemektedir. Bir rehabilitasyon hastanesinde yürütülen vaka çalışması, yöntemin etkililiğini göstererek olay/hatalar, kazalar/istenmeyen olaylar, hastane enfeksiyonu, hemşirelik teknolojisi geçiş oranı ve kalış süresi göstergelerinin ilgili uygulama için kilit performans göstergeler olduğunu ortaya koymuştur.

Liu vd. (2020) nükleer enerji projelerinde tedarikçi seçimini Z-sayı bağlamında çok aşamalı bir karar destek çerçevesiyle ele almaktadır. Ölçütler arası simetrik bağımlılıkları dikkate alarak ağırlıkları belirlemek için Z-ANP, risk tercihi ve karar verici psikolojisini içselleştirerek alternatifleri sıralamak için Z-TODIM yaklaşımlarını önermektedir. Nükleer güç projesinde nükleer sınıf kablo tedariki vakası üzerinde yöntem uygulanmış olup karşılaştırmalı analizler, önerilen çerçevenin pratiklik, sağlamlık ve üstünlük sergilediğini göstermiştir.

Tüysüz & Kahraman (2020), negatif ideal çözüme olan maksimum uzaklık ilkesine dayanan CODAS yöntemini belirsizlik altında kısıt ve güvenilirlik işlevlerini içeren Z-bulanık çerçeveye uyarlamaktadır. Bu kapsamda, Öklidyen ve Taksicab (Manhattan) uzaklıklarıyla tanımlanan negatif ideallere göre değerlendirme yapılmakta; ölçüt ağırlıkları Z-bulanık ikili karşılaştırma matrisi üzerinden elde edilmektedir. Önerilen Z-bulanık CODAS yaklaşımı, bir tedarikçi seçimi problemi üzerinde örneklenmiş olup ayrıca bulanık SAW yöntemiyle karşılaştırmalı analiz sunularak yöntemin uygulanabilirliği ve ayrıştırıcı gücü gösterilmiştir.

Tüysüz & Kahraman (2020b), sosyal sürdürülebilir kalkınma faktörlerinin nicel değerlendirilmesi için Z-bulanık sayılar ile bulanık AHP'yi bütünleştiren bir ÇKKV yaklaşımı önermektedir. Bu yönüyle sosyal sürdürülebilirlik alanında Z-bulanık sayıların ilk kullanım örneklerinden birini sunmaktadır. Uygulama ve duyarlılık analizi ile gösterildiği üzere, önerilen çerçeve sosyal sürdürülebilir kalkınma faktörlerinin sıralanmasına yönelik araştırmalar için pratik bir rehberlik sağlamaktadır.

Božanić vd. (2020) Belgrad'daki muharebe harekâtları sırasında bir tugay komuta merkezi için yer seçimi problemine yönelik, inşaat ve askeri mühendislik alanına özgü ölçütleri içeren melez bir karar modeli önermiştir. Modelde, ölçüt ağırlıklarının belirlenmesi için Z-bulanık FUCOM, alternatiflerin sıralanması için ise Z-bulanık MABAC kullanılmıştır. Böylece Z-sayılar aracılığıyla uzman yargılarındaki belirsizlik ve güvenilirlik boyutları karar sürecine dâhil edilmiştir. Uygulama, Z-temelli FUCOM–MABAC bütünleşiminin operasyonel koşullarda komuta merkezi konumlandırmasına ilişkin sağlam ve ayrıştırıcı sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

Akhavein vd. (2021), çevresel ve sosyal boyutlara bağımlı ekonomik büyüme bağlamında, toplu üretim ve altyapı odaklı bir şirkette sürdürülebilirlik endekslerini dikkate alarak proje sepeti seçimine yönelik, belirsizlik altında Z-bilgiyi içeren melez bir

yaklaşım (Z-DEMATEL–Z-VIKOR) geliştirmektedir. Uzman yargılarındaki belirsizlik ve güvenilirlik derecesi Z-DEMATEL ile endeks ağırlıklarına yansıtılırken, aday projelerin sıralaması Z-VIKOR ile yapılmıştır. Kesin, bulanık ve Z-sayılı üç senaryo üzerinde yürütülen sayısal örnekler, Z-sayının uzman görüşlerine duyulan güven olasılığını içermesi sayesinde sonuçların gerçek dünyaya daha yakın ve daha güvenilir olduğunu göstermektedir.

Zhu & Hu (2021), müşteri gereksinimlerini karşılamada ve sürdürülebilir değer yaratmada öne çıkan Akıllı Ürün-Hizmet Sistemleri bağlamında, paydaşların öznel yargılarına dayanan ve belirsiz/güvenilirliği değişken sürdürülebilir değer önermelerinin değerlendirilmesi sorununu ele almaktadır. Bu amaçla, rough-Z-sayı, DEMATEL ve grup karar verme stratejisini bütünleştiren bir çerçeve önerilmiştir. Yeni tanımlanan rough-Z-sayı, paydaş bazlı değerlendirmelerde hem belirsizlik ve güvenilirliğin temsilini hem de farklı paydaşlardan gelen risk değerlendirmelerinin birleştirilmesini/öznel etkilerin yönetimini sağlamaktadır. Ardından geliştirilen rough-Z-DEMATEL, birlikte-üretken sürdürülebilir değer önermelerinin risk önceliklendirmesini belirlemektedir. Deneysel ve karşılaştırmalı analizler, önerilen yaklaşımın belirsizlik-güvenilirlik karakterizasyonu ile öznellik yönetiminde üstün performans gösterdiğini ortaya koymaktadır.

W. Wang vd. (2021), denizcilik sektöründe insan güvenilirliğini artırmaya yönelik insan hata olasılığı (HEP) değerlendirme ve tahminine odaklanarak klasik HEART (Human Error Assessment and Reduction Technique) tekniğinin uzman özgüveni ve hata üreten koşullar (EPC) arası bağımlılıkları yeterince içselleştirememesi sorununu ele almaktadır. Bu amaçla Z-sayılar ve DEMATEL bütünleştirilerek melez HEART çerçevesi (H-HEART-F) geliştirilmiştir. Petrol/kimyasal tankerlerinde yükleme operasyonu üzerinde yürütülen uygulama, yöntemin uygulanabilirliğini göstermiş olup duyarlılık ve karşılaştırma analizleri, önerilen yaklaşımın etkinliğini doğrulamıştır.

Mao vd. (2021), geleneksel kalite fonksiyonu dağıtımının uzman görüşlerini ifade etme, müşteri gereksinimlerini ağırlıklandırma ve mühendislik özelliklerini sıralama konularındaki zayıflıklarını gidermek amacıyla, dilsel Z-sayılar ile EDAS yöntemini bütünleştiren yeni bir kalite fonksiyonu dağıtımı yaklaşımı önermektedir. Müşteri gereksinimleri ile mühendislik özellikleri arasındaki ilişkilere dair belirsiz uzman değerlendirmeleri dilsel Z-sayılarla modellenmiş olup mühendislik özelliklerinin nihai önceliklendirilmesi için EDAS genişletilmiştir. Müşteri gereksinimlerinin göreli

ağırlıkları SWARA yöntemiyle türetilmiştir. Vaka çalışması ve karşılaştırmalı analizler, önerilen dilsel Z-EDAS tabanlı kalite fonksiyonu dağıtımı yaklaşımının uzman değerlendirmelerini esnek biçimde temsil ederken mühendislik özellikleri için daha makul ve güvenilir bir önceliklendirme ürettiğini göstermektedir.

Sergi & Ucal Sari (2021), vatandaş beklentilerini karşılamak üzere kamu hizmetlerinde Endüstri 4.0 araçlarının uygulanabilirliğini değerlendirerek dijitalleşme önceliklerini belirlemek için bulanık Z-AHP ve bulanık Z-WASPAS yaklaşımlarını birlikte kullanmaktadır. Azaltılmış maliyet, hızlı yanıt, erişilebilirlik, hizmet süresinin kısaltılması, bilgiye erişimin artması ve kalite artışı kriterleri esas alınmış olup öncelikle bulanık Z-AHP ile kriter ağırlıkları elde edilmiş, ardından sağlık hizmetleri, atık bertarafı, toplu taşıma, bilgi hizmetleri, sosyal bakım ve vatandaş şikâyet çözüm merkezleri bulanık Z-WASPAS ile karşılaştırılmıştır. Bulgular, kamu hizmetleri arasında sağlık hizmetlerinin dijitalleşmede baskın öneme sahip olduğunu göstermektedir.

Karaşan vd. (2021), çok süreçli ve çok aktörlü yapısı nedeniyle uygulama sürecinde pek çok risk barındıran blok zincir teknolojisi için risklerin önceliklendirilmesini çok kriterli karar verme çerçevesinde ele almakta olup belirsizlik, kararsızlık ve tereddütlü uzman yargılarını temsil etmek üzere tereddütlü bulanık Z-sayılarla yeniden kurgulanmış DEMATEL ve bilişsel haritalama yöntemlerini önermektedir. Önerilen yaklaşımda risk faktörlerinin bağımlılık ilişkileri tereddütlü bulanık Z-DEMATEL ile belirlenmiş, ağırlıkları tereddütlü bulanık Z-bilişsel haritalama ile türetilmiş ve böylece blok zincir teknolojisi uygulama sürecine özgü riskler sistematik biçimde önceliklendirilmiştir. Ayrıca başlangıç vektörü değişimlerine dayalı duyarlılık analizi ile bulguların sağlamlığını göstermektedir.

H. Peng vd. (2022), belirsiz ve çok boyutlu bilginin hâkim olduğu otel seçimi problemini ÇKKV çerçevesinde ele alarak Z-sayılara dayalı yeni ölçüm ve birleştirme teknikleri geliştirmektedir. Z-sayıların üç boyutlu yapısını doğrudan işlemek üzere, içerdiği olası olasılık dağılımlarını belirleyen bir eniyileme modeli sunulmaktadır. Değerlendirme bilgilerinin bütünleştirilmesi için Z-sayı Choquet integral izdüşüm operatörleri tanıtılmakta olup ardından, MOORA + Tam Çarpımsal Formun iyileştirilmiş bir sürümü ile ikili değerlendirmeye dayalı yenilikçi bir ÇKKV yöntemi geliştirilmektedir. İçerik temelli ve iş birlikçi filtreleme yaklaşımlarıyla bu iki yöntem otel seçimi problemlerine

uygulanmıştır. Duyarlılık ve karşılaştırma analizleri, önerilen yöntemlerin uygulanabilirlik ve geçerliliğini doğrulamıştır.

İlbahar vd. (2022), hidrojenin karbon-nötr ekonomi için kritik bir enerji taşıyıcısı olması bağlamında, ekonomik–teknolojik–çevresel–sosyal ölçütler altında hidrojen depolama alternatiflerinin çok kriterli ve belirsiz ortamda değerlendirilmesini ele almakta olup uzman yargılarındaki belirsizlik ve güvenilirliği Z-bulanık çerçeveyle modelleyen DEMATEL–bilişsel haritalama–VIKOR bileşik yöntemini önermektedir. Önerilen yaklaşımda Z-bulanık DEMATEL ile ölçütler arası bağımlılıklar çıkarılmış, Z-bulanık bilişsel haritalama ile ölçüt ağırlıkları belirlenmiş, ardından Z-bulanık VIKOR ile en uygun alternatif seçilmiştir. Karbon nanotüpler Türkiye için en uygun depolama seçeneği olarak belirlenmiştir. Karşılaştırmalı analizler ve duyarlılık analizleri, yöntemin esnekliğini ve kararların sağlamlığını doğrulamaktadır.

Sari & Tüysüz (2022), COVID-19'un yayılımı karşısında mesleklerin bulaşma riski ve önlem alma kapasitesi gibi çatışan ölçütler altında önceliklendirilmesini, insan yargılarındaki belirsizlik ve kesin olmama koşullarında ele almaktadır. Bu amaçla, uzman değerlendirmelerinin kısıt ve güvenilirlik boyutlarını temsil eden aralık değerli tip-2 bulanık sayılar kullanılarak bulanık AHP & TOPSIS temelli yeni bir yöntem önerilmiştir. Beş uzman, 14 meslek ve yedi ölçüt içeren gerçek bir vaka çalışması ile yöntem uygulanmış olup karşılaştırmalı analiz yaklaşımın geçerliliğini doğrulamıştır.

Z. Liu vd. (2022), sürdürülebilirlik ve kaynak koruma hedefleriyle tersine lojistik süreçlerini dış kaynağa devreden işletmeler için üçüncü taraf tersine LHS seçimini ele almakta olup uzman değerlendirmelerindeki belirsizlik ve güvenilirliği dilsel Z-sayı ile ifade eden, iki tutum parametreli geliştirilmiş ELECTRE II yöntemi önermektedir. Yöntemde, alternatiflerin tercih düzeyleri ve üstünleme ilişkilerinin belirlenmesinde ideal nokta yaklaşımı entegre edilmiştir. Karar vericilerin risk/kâr tercihleri ile iyimserlik derecesini yansıtan iki parametre karar sürecine dâhil edilmiştir. Üçüncü taraf tersine LHS seçimine yönelik sayısal örnek, yöntemin adımlarını ayrıntılandırmaktadır. Ayrıca çift tutum parametresi üzerindeki duyarlılık analizi, göstergelerin etkisini ve sonuçların sağlamlığını ortaya koymaktadır. Karşılaştırmalar, önerilen yaklaşımın etkin ve üstün bir sıralama performansı sağladığını göstermektedir.

Rahmati vd. (2022), yönetim kontrol sistemini finansal ve finansal olmayan boyutlarda sınıflandırarak iş stratejisiyle ilişkisini ve finansal performans üzerindeki etkisini

incelemektedir. Risklerin tanımlanması ve önceliklendirilmesinde klasik FMEA temel alınmış olup RPN yaklaşımının sınırlılıklarını gidermek üzere Z-sayı tabanlı Z-SWARA (kriter ağırlıkları) ve Z-WASPAS (alternatif/senaryo değerlendirmesi) ile bütünleşik bir karar yöntemi önerilmiştir. Bulgular, finansal olmayan boyutta müşteri memnuniyetinin, finansal boyutta ise maliyet standartlarının en yüksek ağırlığa sahip olduğunu göstermektedir. Üç uzman görüşü ve FMEA sonuçlarına göre, işletmelerde başlıca risk kaynağı pazar/endüstri değişimleridir.

Sun vd. (2022), nitelik ağırlıklarının bilinmediği durumlar için Z-sayıların karma ortamında EDAS yöntemini önermiştir. Ayrıca kriter ağırlıklarının nesnel belirlenmesi amacıyla CRITIC yöntemi kullanılmıştır. Önerilen yaklaşım bir vaka çalışmasıyla sınanmış ve uygulanabilirlik, geçerlilik ile karmaşık karar problemlerini çözme kapasitesi ortaya konmuştur.

Gai vd. (2023), yeşil tedarik zinciri yönetiminde genellikle ayrı ele alınan tedarikçi seçimi ve sipariş tahsisini bütüncül biçimde çözmek için iki aşamalı çok kriterli programlama yaklaşımı önermektedir. Birinci aşamada, çoklu nitel ölçütler altında dilsel Z-sayılara dayalı MULTIMOORA ile tedarikçiler sıralanmakta (nihai karar değil, girdi niteliğinde) olup ikinci aşamada bu sıralama, çift amaçlı doğrusal olmayan tam sayılı bir modele beslenerek seçilecek tedarikçiler, verilecek sipariş miktarları ve üretim konfigürasyonu birlikte belirlenmektedir. Karşılaştırmalı analizler, önerilen bütünleşik modelin amaçlar arası tutarlılığı sağladığını ve alternatif nicel yöntemlere kıyasla üstün performans sunduğunu göstermektedir.

Božanić vd. (2023), petrol ve türevlerine yönelik küresel talebin artmasıyla çıkarım, işleme ve taşımaya eşlik eden petrol sızıntısı risklerinin yönetimini, çevresel ve ekonomik etkilerin birlikte dikkate alındığı ÇKKV problemi olarak ele almaktadır. Bu amaçla, ölçüt ağırlıklarının belirlenmesinde seviye bazlı ağırlık değerlendirmesi, strateji sıralamasında ise Z-sayı genişletilmiş MABAC kullanılan yeni bir model önerilmiştir. Libya'daki El Sharara sahasında yürütülen vaka çalışmasında uzmanlarca seçilen altı kriter ve dokuz strateji değerlendirilmiş olup sızıntının türü ve hacmi en kritik ölçüt olarak belirlenmiş, en uygun müdahale stratejisinin drenajın bloke edilmesi olduğu saptanmıştır. Model, ağırlık katsayılarındaki ve p, q parametrelerindeki değişimlere duyarlılık analiziyle sınanmıştır. Elde edilen bulgular, bulanık yöntemler ve Z-sayı temsilleriyle yapılan karşılaştırmalarla geçerlilik ve sağlamlık açısından desteklenmiştir.

Alam vd. (2023), araştırmacıların Z-sayı yaklaşımının güçlü yanları, üstünlükleri ve ilgi alanlarından hareketle, bulanık kümeler bağlamında karar verme üzerine bir inceleme gerçekleştirmiştir. Çalışma, Z-sayı temelli karar verme modellerinin literatüre katkılarını ve başlıca güçlü yönlerini uygulama alanlarıyla birlikte sistematik biçimde değerlendirmekte olup Z-sayı kullanımının, bilgiye eşlik eden güvenilirlik derecesini içselleştirerek karar sürecini daha kapsamlı hâle getirdiğini ve böylece güvenilirliği artırdığını göstermektedir. Ayrıca, yöntemin gelecekteki olası uygulama alanlarına ilişkin öneriler sunulmuştur.

Aliyeva (2025), Z-sayıları içeren dinamik grup yaklaşımına dayalı ÇKKV yöntemi önermektedir. Çalışmanın karma yapısı, birden çok paydaşın katılımını ve karar vermenin zaman boyutunu dikkate alacak şekilde dinamik değerlendirmeyi içermektedir. Yaklaşım, bulanık sayılar ile Z-sayıları birleştirerek hem belirsizliği hem de değerlendirme güvenilirliğini içselleştirimektedir. Tedarikçi seçimi problemi üzerinde gerçekleştirilen uygulamada, alternatifler farklı zaman dilimlerinde grup halinde değerlendirilmiş ve dönemler arası puanlamalar birleştirilerek nihai sıralama elde edilmiştir. Bu çerçeve, çok paydaşlı ve zamana yayılmış değerlendirmelerde daha sağlam ve gerçekçi kararlar üretme potansiyeli sunmaktadır.

Literatürde son yıllarda bulanık Z- sayıların farklı karar problemlerine uygulandığı çalışmalar yer alsa da son adım lojistikte farklı teslimat modelleri veya araçlarının değerlendirilmesi problemlerine ve/veya kitle kaynak kullanımı senaryolarına uygulandığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Dahası, kitle kaynaklı teslimat senaryolarının kapsamlı bir değerlendirmesinin yapıldığı bir çalışma ile karşılaşılmamıştır. Mevcut çalışmalar çoğunlukla tekil modellere odaklanmaktayken, bu tez çalışması beş farklı senaryoyu sürdürülebilirlik perspektifinden sistematik olarak karşılaştırmıştır. Bu tez kapsamında, sürdürülebilirlik bakış açısıyla son adım lojistik faaliyetlerinde kitle kaynak kullanımına dayalı hibrit senaryolar ilk kez bulanık Z- sayılar ile değerlendirilmiştir. Çok yöntemli sağlamlık analizinin uygulanması bakımından ise üç farklı Bulanık Z-ÇKKV yönteminin (TOPSIS, VIKOR, CODAS) de aynı probleme uygulanması ve sonuçların yüksek tutarlılık göstermesi bulguların geçerliliğini ve sağlamlığını güçlendirmiştir.

BEŞİNCİ BÖLÜM

YÖNTEM

Bu bölüm kuramsal çerçeveyi sunmaktadır. Uygulama, veri ve sonuçlar bir sonraki bölümde yer almaktadır. Odak; karar verme yaklaşımlarının temel ilkeleri, bulanık mantık ve Z sayılar ile bunların Bulanık Z-AHP ve Bulanık Z-WASPAS yöntemlerinde kullanımına yöneliktir.

5.1. Karar Verme Yaklaşımları

Bireyler hem mesleki hem de özel yaşamlarında, belirsizlik ve birden çok seçenek karşısında karar verme durumuyla sürekli olarak karşılaşmaktadır. Karar verme günümüzde neredeyse tüm alanlarda karmaşık bir süreç hâline gelmektedir. Geleceğe ilişkin belirsizliklerin artması ve rekabetin hızla yoğunlaşması ile birlikte, karar verme süreci güçleşmektedir. Teknolojik dönüşüm ve bilgi hacmindeki artış yeni tür problem alanları doğurmaktadır. Bu bağlamda güçlük, çoğu zaman "karar vermek"ten ziyade, karar vericinin (KV) eldeki problem için en uygun alternatifi belirlemesinde ortaya çıkmaktadır. Nitekim KV'ler, en iyi seçeneği saptarken çoğu kez birbiriyle çatışabilen ve farklı önem derecelerine sahip tüm kriterleri göz önünde bulundurmak zorunda kalmaktadır. Bu gereksinim, çok ölçütlü ve belirsizlik içeren durumlarda sistematik karar verme çerçevelerinin kullanılmasını gerekli kılmaktadır (Arslankaya, 2019).

KV'lerin, alternatifler arasından en iyi seçimi yapabilmeleri için eldeki tüm kaynakları etkin biçimde kullanmaları, bütün alternatifleri sistematik olarak değerlendirmeleri ve bu değerlendirmeyi mümkün olduğunca sayısal/analitik yöntemlere dayandırmaları gerekmektedir. Karar sürecine, KV'lerin deneyimleri, kişisel kanaatleri ve stratejik hedefleri dâhil olmaktadır. Bunun yanında çok sayıda nicel ve nitel ölçüt de modele entegre edilmektedir. Öte yandan, KV'nin psikolojik durumu, içinde bulunduğu sosyal çevre ve gelecek beklentileri karar üzerinde etkili olabilmektedir. Bu nedenle karar verme, yalnızca teknik bir optimizasyon değil, çok ölçütlü ve davranışsal etmenleri de

içeren bileşik bir süreç olarak ele alınmalıdır. Bu bağlamda, nesnel veri ile öznel yargıyı birlikte işleyebilen yapılandırılmış değerlendirme çerçevelerinin kullanımı önem arz etmektedir (Arslankaya, 2019). Karar vermek, yani mevcut alternatifler arasından bir seçimi ilan etmek, özünde daha önce işletilmiş bir sürecin nihai çıktısını ifade etmektedir. Karar verme süreci sistematik biçimde aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır (Yıldırım & Önder, 2018):

- *Amaç belirleme / sorun tanımlama:* Karar bağlamının, kapsamın ve kısıtların açıkça ortaya konulması sağlanmaktadır.
- *İrdeleme ve öncelik belirleme:* Amaç ve alt amaçların hiyerarşisinin kurulması, kritik unsurların önceliklendirilmesi yapılmaktadır.
- *Alternatiflerin belirlenmesi:* Uygulanabilir seçeneklerin üretilmesi ve netleştirilmesi sağlanmaktadır.
- *Alternatiflerin irdelemesi ve değerlemesi:* Seçeneklerin güçlü–zayıf yönleri ile beklenen etkilerinin sistematik değerlendirmesi yürütülmektedir.
- *Seçim ölçütlerinin belirlenmesi (ve gerekirse ağırlıklandırılması):* Kararı yönetecek ölçüt seti tanımlanmakta, önem dereceleri tespit edilmektedir.
- *Seçim / kararın verilmesi:* Ölçütler altında alternatiflerin karşılaştırılması sonucunda en uygun seçeneğe karar verilmektedir.

Gerekli hâllerde, kararın uygulanması sonrasında geri besleme ve iyileştirme adımları işletilerek sürecin sürekliliği sağlanmaktadır. Bir karar eyleminin kurulabilmesi için gerekli temel unsurlar aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

- *Karar verici(ler):* Mevcut seçenekler arasından seçimi gerçekleştiren kişi, grup ya da kurumu yansıtmaktadır. Yetki ve sorumluluk sınırları açıkça belirlenmektedir.
- *Amaç(lar):* KV'lerin faaliyetleri sonucunda ulaşılması hedeflenen durumları ifade etmektedir. Amaç hiyerarşisi ve öncelikler tanımlanmaktadır.
- *Karar kriter(leri):* Seçimi oluşturmada kullanılan, değerler sistemini ve değerlendirme boyutlarını temsil etmektedir. Nicel–nitel, fayda–maliyet türleri ve ağırlıklar belirlenmektedir.

- *Seçenekler (alternatifler):* KV'lerin seçebileceği ve kontrol edilebilir nitelikteki eylem kümesini oluşturmaktadır. Uygulanabilirlik koşulları tanımlanmaktadır.
- *Olaylar (durumlar/koşullar):* Kontrol edilemeyen değişkenleri ve seçimleri etkileyen çevresel şartları (örneğin, talep, piyasa, hava durumu, mevzuat) ifade etmektedir. Belirsizlik düzeyi ve olasılıklar göz önüne alınmaktadır.
- *Sonuç(lar):* Her bir seçenek–olay eşleşmesi altında ortaya çıkan değerleri (çıktı, fayda, maliyet, risk) yansıtmaktadır. Performans göstergeleri ve değerlendirme ölçütleri ile ölçülmektedir.

Bu unsurların açık ve tutarlı biçimde dokümante edilmesi, karar sürecinin izlenebilir, karşılaştırılabilir ve gerekçelendirilebilir olmasını sağlamaktadır. Sonuçların oluşturduğu matrise karar matrisi adı verilir (Yıldırım & Önder, 2018). Denklem 5.1'deki karar matrisinde *A* satırları *K* sütunları göstermekte olup *m* kriter sayısını *n* ise alternatif sayısını ifade etmektedir.

$$D = \begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ A_m \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} K_1 & K_2 & \dots \quad K_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \end{array} \tag{5.1}$$

Tek bir karar, bu sınıflandırmalardan yalnızca birine dâhil olabileceği gibi eşzamanlı olarak birden fazlasına da dâhil olabilmektedir. Örneğin, üst kademe tarafından verilen kararların önemli bir bölümü, doğası gereği stratejik, çoğu kez programlanamayan ve belirsizlik koşulları altında alınan kararlardan oluşmaktadır. Bu çoklu aidiyet, karar analizinde bağlamın ve kısıtların birlikte ele alınmasını gerekli kılmaktadır (Yıldırım & Önder, 2018).

5.2. Bulanık Mantık

5.2.1. Bulanık Mantık ve Bulanık Küme

Bulanık mantık, ilk kez L. A. Zadeh'in 1965 tarihli makalesiyle literatürde sistematik biçimde kavramsallaştırılmıştır. Bu çalışmada bulanık kümeler tanımlanmış, bunların işlemleri, kavramları ve özellikleri biçimsel olarak ortaya konmuştur (Zadeh, 1965). Zamanla, gerçek dünyadaki kararların doğası gereği belirsizlik ve muğlaklık içermesi

nedeniyle yaklaşımın önemi artmıştır. Klasik (keskin) mantık, olguları çoğu zaman ikili sınırlara ayırırken, insan yargıları dereceli ifadelerle (örneğin, *düşük–orta–yüksek*) tarif edilmektedir. Bulanık mantık bu boşluğu, dilsel değişkenler, üyelik fonksiyonları ve yaklaşık çıkarım mekanizmalarıyla kapatmakta, böylece sayısal veriler kadar uzman deneyimi ve öznel değerlendirmelerin de modele dâhil edilmesini sağlamaktadır. Bu çerçevede makineler, yalnızca kesin sayılarla değil, sembolik ve nitel ifadelerle temsil edilen bilgiyi de işleyebilmekte, karar süreçleri insan benzeri biçimde modelleştirilebilmektedir. Yaklaşımın sağlam matematiksel zemini Bulanık Kümeler Kuramı olup, tipik süreç bulanıklaştırma → kural tabanlı çıkarım → durulaştırma adımlarından oluşmaktadır. Bulanık küme, evrensel küme X üzerindeki her bir öğeye 0 ile 1 arasında bir üyelik derecesi atayan bir yapıdır. Bu atama, $\mu_A : X \rightarrow [0,1]$ biçimindeki üyelik fonksiyonu ile yapılır. $\mu_A(x)$ değeri, x in A kümesine ne ölçüde ait olduğunu gösterir. Klasik kümeler, özel olarak $\mu_A(x) \epsilon \{0,1\}$ koşulunu sağlayan bulanık kümelerdir. Ayrıca üyelik derecesi olasılık değil anlamsal (dereceli) aitlik düzeyini ifade etmektedir.

Klasik (keskin) küme için üyelik fonksiyonu, gösterge fonksiyonu (indicator) olarak tanımlanır:

$$A \rightarrow \mu = \begin{cases} x \in ise, 1 \\ x \notin ise, 0 \end{cases}$$

Bulanık küme A, evrensel küme E üzerinde

$\mu_{\tilde{A}} : E \rightarrow [0,1]$

Biçimindeki bir üyelik fonksiyonu ile tanımlanır; $\mu_{\tilde{A}}(x)$ değeri x in $\tilde{A}$ ya aitlik derecesini (0: hiç ait değil, 1: tam ait) gösterir.

Bulanık A kümesindeki x elemanı için üyelik derecesi şu şekilde gösterilir:

$\tilde{A} = \{ (x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in E \}$

$\mu_{\tilde{A}}(x) = 0$ ise, x kümenin üyesi değildir.

$\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ ise, x tam üyedir.

$\mu_{\tilde{A}}(x) \in (0,1)$ ise, x kısmi üyedir.

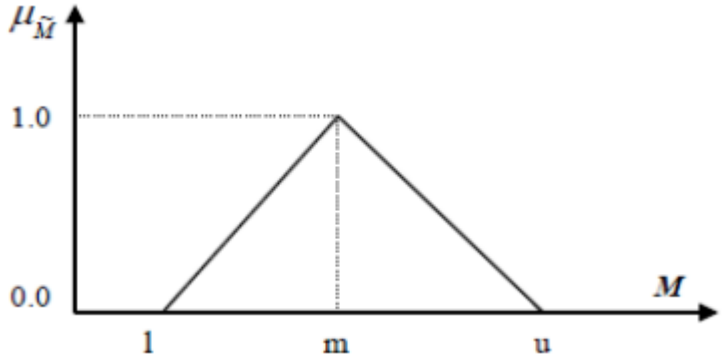
5.2.2. Bulanık Karar Verme

Gündelik yaşamda karşılaşılan pek çok durumda, verilerin eksik, çelişkili ya da erişilemez olması nedeniyle karar ortamı belirsizlik içermektedir. Ayrıca tercihlerin kişi ve bağlama göre değişkenlik göstermesi, belirsizliği artırmakta ve bu koşullarda verilen kararların sağlamlık ve gerçekçilik düzeyini düşürmektedir. Bu tür durumlarda, belirsizlik ve muğlaklığı nicel olarak temsil edebilen bulanık karar verme yaklaşımlarının kullanılması, kararların daha tutarlı ve uygulanabilir sonuçlar üretmesine katkı sağlamaktadır. İnsan bilişi, karar verirken sezgiler, deneyimler ve bağlamsal ipuçları ile yaklaşık çıkarım yapabilmekte ve olguları "düşük–orta–yüksek" gibi dereceli nitelemelerle değerlendirebilmektedir. Buna karşın sayısal hesaplama sistemleri temelde ikili (0–1) mantık üzerinde çalışmakta ve ara olasılık/aitlik derecelerini doğrudan işleyememektedir. Bulanık mantık, bu boşluğu dilsel değişkenler, üyelik fonksiyonları ve kural tabanlı çıkarım mekanizmaları aracılığıyla doldurmakta; böylece sayısal verilerin yanı sıra uzman yargısı ve nitel bilgilerin de modele entegre edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu sayede "ara ihtimaller" ve dereceli doğruluk kavrayışı karar sürecine yansıtılmaktadır. Bununla birlikte, bulanık karar verme yaklaşımlarının sınırsız olduğu varsayılmamalıdır. Elde edilecek sonuçlar; üyelik fonksiyonlarının seçimi, kural tabanının tasarımı ve parametre ayarlarının niteliğine duyarlı olmaktadır. Bu nedenle uygulamalarda geçerleme, duyarlılık ve güçlülük analizleri ve mümkünse uzman görüşüyle kalibrasyon yapılması gerekmektedir. Uygun biçimde kurulduğunda ise bulanık mantık tabanlı yöntemler, belirsizlik ve muğlaklığın belirgin olduğu karar problemlerinde daha gerçekçi ve uygunluk–uygulanabilirlik dengesini gözeten çözümler üretebilmektedir (Arslankaya, 2019).

5.2.3. Bulanık Üçgensel Sayılar

Üç gerçek sayı ile tanımlanan ve kesin olmayan değerlendirmeleri temsil etmek için yaygın biçimde kullanılan özel bir bulanık sayı türüdür. (l, m, u) üçlüsüyle ifade edilmektedir. Burada l olası en küçük (alt sınır), m en olası ve u olası en büyük (üst sınır) değeri göstermektedir. Bulanık üçgensel sayılar, karar verme süreçlerinde dilsel yargıları ve belirsizliği esnek ve hesaplanabilir bir biçimde modellemek amacıyla kullanılmaktadır.

Şekil 5.1. *Bulanık üçgensel sayı,* $\widetilde{M}$



Bulanık üçgensel sayının üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

$$\mu\left(\frac{x}{\widetilde{M}}\right) = \begin{cases} 0, & x < l \\ \frac{(x-l)}{(m-l)}, & 1 \le x \le m \\ \frac{(u-x)}{(u-m)}, & m \le x \le u \\ 0, & x > u \end{cases} \tag{5.2}$$

5.2.4. Yamuk Bulanık Sayılar

Yamuk (trapezoidal) bulanık sayılar, literatürde yaygın kullanılan sıradan bulanık sayı türlerinden biridir ve $\tilde{A} = (a, m_1, m_2, b)$ olarak yazılıp a, m_1, m_2, b dört parametreyle tanımlanmaktadır. Bu gösterimde,

- **Destek (support):** üyeliğin sıfırdan farklı olduğu aralık $[a, b]$ dir. Dolayısıyla, $a - m_1$ ve $m_2 - b$ bölümleri desteği oluşturmaktadır.
- **Çekirdek (core):** Üyeliğin 1 olduğu değerler kümesi $[m_1, m_2]$ olup fonksiyonun özünü ifade etmektedir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a, \\ \frac{x-a}{m_1-a}, & a \le x \le m_1, \\ 1, & m_1 \le x \le m_2, \\ \frac{b-x}{b-m_2}, & m_2 \le x \le b, \\ 0, & x > b \end{cases} \tag{5.3}$$

Özel durumda $m_1 = m_2$ olduğunda $\tilde{A}$ üçgensel bulanık sayıya indirgenir. Dolayısıyla trapezoidal sayılara uygulanan temel aritmetik ve karşılaştırma işlemleri, üçgensel sayılar için kullanılanlarla benzerlik göstermektedir.

5.3. Bulanık Z Sayılar

Z-sayılar, Zadeh tarafından 2011'de sıralı bir bulanık küme çifti olarak tanımlanan yapılardır ve $Z = (\tilde{A}, \tilde{B})$ şeklinde gösterilmektedir. Uygulamada sadelik için $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ çoğunlukla üçgensel ya da yamuk bulanık sayılar olarak ele alınmaktadır (Zadeh, 2011). Bu yapıda;

Birinci bileşen $\tilde{A}$ gerçek değerli belirsiz bir değişken X in alabileceği değerlere ilişkin bulanık bir kısıtı temsil eder. Başka bir deyişle "$X\ \tilde{A}\ dır$" önermesinin oluşturduğu kısıtlama $R(X)$ ile ifade edilmektedir.

İkinci bileşen $\tilde{B}$ ise [0,1] aralığı üzerinde tanımlı $\mu_{\tilde{B}} : [0,1] \rightarrow [0,1]$ biçimindeki üyelik fonksiyonuna sahip bir bulanık sayıdır. Birinci bileşene ilişkin güvenilirlik düzeyini (olasılık ya da inanç ölçüsüne getirilen bulanık kısıt) modellenmektedir. Böylece $\tilde{B}$, "$X\ \tilde{A}\ dır$" ifadesinin ne denli güvenilir olduğuna dair bilgi sağlar.

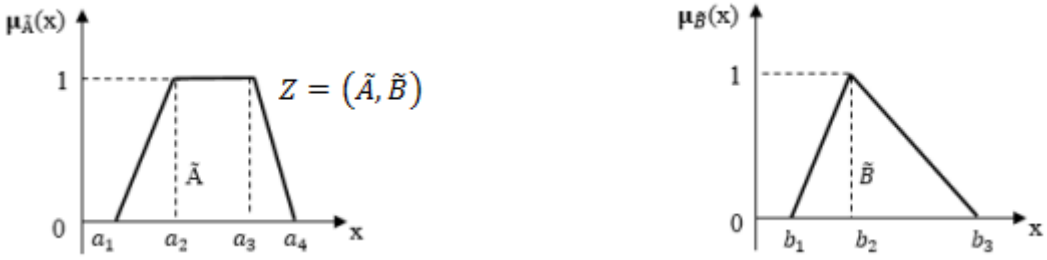
Bu çerçevede Z-sayı, $Z = (\tilde{A}, \tilde{B})$, değer kısıtı ($\tilde{A}$) ile bu kısıtın güvenilirliği ($\tilde{B}$) bilgisini birlikte taşıyarak belirsizliğin hem içerik hem de güven boyutlarını aynı modelde birleştirmektedir.

Zadeh (2011)'e göre 5.4 denklemindeki ifade X in olasılık ölçüsü üzerinde tanımlanan ve olasılıksal bir kısıt olarak yorumlanan bir bulanık kısıttır. Bu kısıtta $\tilde{A}$ nın üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}}(x)\ her\ x\ \in \mathbb{R}\ için\ X\ in\ \tilde{A}$ ya aitlik derecesini sağlar. Söz konusu aitlik dereceleri, X in dağılımıyla birlikte ele alınarak "$X\ \tilde{A}\ dır$" önermesine ilişkin olasılıksal kısıtın tanımlanmasında kullanılmaktadır.

$$R(X): X\ is\ A\ \rightarrow Poss(X = x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \qquad (5.4)$$

Şekil 5.2'de görüldüğü üzere basit bir bulanık Z-sayısı $Z = (\tilde{A}, \tilde{B})$, değer kısıtını temsil eden $\tilde{A}$ yamuk üyelik fonksiyonu ile güvenilirlik bileşenini temsil eden $\tilde{B}$ ise üçgensel üyelik fonksiyonu ile modellenebilmektedir. Bu seçim, sadelik ve hesaplama kolaylığı sağlamak üzere literatürde sık kullanılan bir yapı olarak tercih edilmektedir.

Şekil 5.2. *Basit bir bulanık Z-sayısı gösterimi,* $Z = (\tilde{A}, \tilde{B})$



Şekil 5.2'de $\mu_{\tilde{A}}(x)$ bir yamuk üyelik fonksiyonu ve $\mu_{\tilde{B}}(x)$ bir üçgensel üyelik fonksiyonu olmak üzere, $\tilde{A} = \{\langle x, \mu_{\tilde{A}}(x)\rangle | \mu(x) \in [0,1]\}$ ve $\tilde{B} = \{\langle x, \mu_{\tilde{B}}(x)\rangle | \mu(x) \in [0,1]\}$ şeklinde tanımlanmaktadır. Bu tanım altında, $Z = (\tilde{A}, \tilde{B})$ biçimindeki bir bulanık Z-sayısının, tek bileşenli sıradan bir bulanık sayıya dönüştürülmesi için metinde verilen Denklem 5.5 – 5.8'deki dönüşüm adımları uygulanmaktadır. Böylelikle güvenilirlik bileşeni $\tilde{B}$ nin etkisini içselleştiren eşdeğer bir üyelik fonksiyonu elde edilmektedir.

Öncelikle, güvenilirlik bileşeninin net bir değere dönüştürülmesi için Denklem 5.5 uygulanmaktadır.

$$\alpha = \frac{b_1 + 2b_2 + b_3}{4} \tag{5.5}$$

Bir sonraki adımda, önceki adımda elde edilen güvenilirlik derecesi kısıtlamaya eklenerek, ağırlıklı Z-sayısı tanımlanmaktadır. $\tilde{Z}^{\alpha}$ olarak gösterilir.

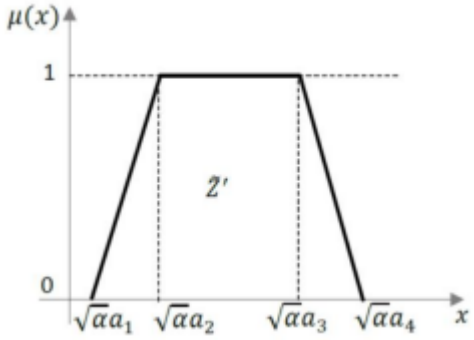
$$\tilde{Z}^{\alpha} = \{\langle x, \mu_{\tilde{A}^{\alpha}}(x)\rangle | \mu_{\tilde{A}^{\alpha}}(x) = \alpha\mu_{\tilde{A}}(x), |\mu(x) \in [0,1]\} \tag{5.6}$$

Ağırlıklandırılmış Z-sayısı ($\tilde{Z}^{\alpha}$) diğer bir ifadeyle ağırlıklı kısıt, metinde verilen Denklem 5.7 ve Denklem 5.8 uygulanarak tek bileşenli standart bir yamuk bulanık sayıya dönüştürülmektedir. Bu dönüşüm sonucunda güvenilirlik etkisi α kısıtın parametrelerine içselleştirilmekte, ortaya çıkan eşdeğer bulanık sayı $\tilde{Z}'$ (Şekil 5.3) biçiminde ifade edilmekte ve izleyen ÇKKV hesaplarında doğrudan kullanılabilmektedir.

$$\tilde{Z}' = \left\{\langle x, \mu_{\tilde{Z}'}(x)\rangle | \mu_{\tilde{Z}'}(x) = \mu_{\tilde{A}}\left(\frac{x}{\sqrt{\alpha}}\right), \mu(x) \in [0,1]\right\} \tag{5.7}$$

$$\tilde{Z}' = \left(\sqrt{\alpha}a_1, \sqrt{\alpha}a_2, \sqrt{\alpha}a_3, \sqrt{\alpha}a_4\right) \tag{5.8}$$

Şekil 5.3. *Bir Z-sayısından dönüştürülmüş klasik bulanık sayı*



Bu tez çalışmasında, hesaplama adımlarında yer alan belirsiz bilgilerin temsili için, bilgiye eşlik eden güvenilirlik bileşenini de içselleştirdiğinden diğer bulanık uzantılara kıyasla üstünlük sağlayan bulanık Z-sayılar tercih edilmektedir. Z-sayı yaklaşımı, değer kısıtı ile bu kısıta ilişkin güvenilirlik düzeyini birlikte modele dâhil ederek karar süreçlerinde daha gerçekçi ve sağlam bir belirsizlik temsili sunmaktadır.

5.4. Bulanık Z-AHP Yöntemi

Bulanık Z-Sayısı Analitik Hiyerarşi Süreci (Bulanık Z-AHP), uzman yargılarındaki hem belirsizliği hem de güvenilirliği birlikte ele almak için bulanık mantık, Z-sayılar ve klasik Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yaklaşımlarının güçlü yanlarını birleştiren gelişmiş bir ÇKKV yöntemidir (Azadeh vd., 2013b). Klasik AHP'nin kesin, ikili karşılaştırmalara dayanmasına, Bulanık AHP'nin (BAHP) ise güvenilirlik boyutunu dikkate almaksızın dilsel/bulanık ifadeleri modele katmasına karşın, Bulanık Z-AHP, modele belirsizliğin ikinci bir katmanını—uzmanın güven düzeyini—entegre ederek yapıyı zenginleştirir. (Gardashova, 2014) göre Z-sayılar, belirsizliği ve güvenilirliği yakalayarak insan bilgisini ifade etmede daha yetkindir. Tüysüz ve Kahraman (2024) da Z-sayıların, uzman tereddüdü veya güvenini modeli açık biçimde dâhil etmesi sayesinde önceliklendirme sonuçlarının sağlamlığını artırdığını vurgulamaktadır.

Bulanık Z-AHP Yönteminin Adımları:

Bulanık Z-AHP yöntemi, uzman yargılarındaki belirsizlik ve güvenilirliği birlikte ele almak üzere aşağıdaki adımları izler (Kahraman vd., 2019b; Sergi & Ucal Sari, 2021).

Adım 1: ÇKKV problemi açıkça tanımlanır. Genel hedefi, kararı etkileyen kriterleri, alt kriterleri ve mevcut alternatifleri kapsayan hiyerarşik yapıyı oluşturulur.

Adım 2: Kriterlerin ve alternatiflerin önemini ifade etmek için dilsel bir ölçek kullanılır. Bu ölçek, öznel yargıları bulanık kümeler olarak temsil eder. Buna paralel olarak, her yargının güvenilirlik veya kesinlik düzeyini modellemek için ayrı bir güven ölçeği uygulanır. Her iki dilsel ölçek de önceden tanımlı bulanık üyelik fonksiyonlarına (bkz. Tablo 5.1 ve 5.2) karşılık gelmelidir.

Adım 3: Uzmanlardan, her iki ölçeğe dayalı dilsel ifadeler kullanıp ikili karşılaştırma yargıları toplayarak karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Her karşılaştırma, bulanık bir önem değeri (kısıtlama) ve bulanık bir güvenilirlik değeri (kesinlik) içeren bir Z sayısı olarak temsil edilir.

Adım 4: Matrislerdeki Z-sayısı girdileri, uygun bir dönüştürme yöntemi kullanarak karşılık gelen sıradan bulanık sayılara dönüştürülür. Bu adım, böylece hem önem hem de güvenilirlik bileşenlerinin sonraki analiz için kullanılacak tek bir bulanık değere entegre edilmesini sağlamaktadır.

Adım 5: Bulanık ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılığı değerlendirilir. $\tilde{A} = [a_{ij}]$ bulanık karşılaştırma matrisi ve $A = [a_{ij}]$ onun durulaştırılmış karşılığı olmak üzere, eğer A standart tutarlılık koşulunu sağlıyorsa (örneğin, tutarlılık oranı $< 0{,}1$), $\tilde{A}$ bulanık matrisinin de tutarlı olduğu varsayılmaktadır.

Adım 6: Nihai ağırlıkları hesaplamak için Buckley'in bulanık AHP uzantısı uygulanır:

- *Adım 6.1* Bulanık ikili karşılaştırma matrisinin her satırı için geometrik ortalamayı hesaplayarak bulanık öncelik vektörü elde edilir.
- *Adım 6.2* Bu vektör, satırlar boyunca toplanıp ve her bir değeri bu toplamla bölme yoluyla normalize edilir.
- *Adım 6.3* Bulanık bölme işlemiyle normalize edilmiş bulanık ağırlık vektörü elde edilir.
- *Adım 6.4* Ağırlıklar kütle merkezi (centroid) yöntemi ile durulaştırarak kesin değerler hesaplanır.
- *Adım 6.5* Durulaştırılmış ağırlıklar, toplamları 1 olacak şekilde yeniden normalize edilir.
- *Adım 6.6* Kriter ve alt kriter düzeylerinin her biri için 6.1–6.5 adımları tekrarlanır.

- *Adım 6.7* Klasik AHP'nin sentez prosedürü ile tüm düzeyler boyunca ağırlıklar toplanarak alternatiflerin nihai sıralaması elde edilir.

Bu süreç, özellikle KV'lerin öznel değerlendirmelerini farklı güven dereceleriyle ifade ettiği durumlarda daha kapsamlı bir değerlendirme yapılmasına olanak tanımaktadır. Bulanık Z-AHP, uzman görüşlerinin yalnızca bulanık olmakla kalmayıp aynı zamanda çeşitli güvenilirlik veya kesinlik düzeyleri taşıdığı durumlarda özellikle değerlidir. Klasik AHP, tüm uzman girdilerini eşit derecede güvenilir varsaydığından bu tür ortamlarda yanlı veya eksik sonuçlar üretebilmektedir. Bulanık AHP, bulanıklığı modele dâhil ederek bir iyileştirme sağlasa da güven boyutunu ihmal etmektedir. Buna karşılık Bulanık Z-AHP, yargıların güvenilirliğine dayalı farklı ağırlıklandırma yapılmasına imkân tanıyarak bu boşluğu gidermektedir.

Örneğin yeşil tedarikçi seçiminde, uzmanlar bazı çevresel göstergeler konusunda emin olmayabilir; Bulanık Z-AHP hem göstergenin önemini hem de uzmanın değerlendirmesine duyduğu inanç derecesini birlikte dikkate almaktadır (Tüysüz ve Kahraman, 2024). Benzer biçimde, enerji kaynağı seçimi veya dijital dönüşüm önceliklendirmesi bağlamlarında (Nuriyev, 2020) ile (Sergi & Ucal Sari, 2021) belirsizliği etkin biçimde modellemek ve kararların sağlamlığını artırmak amacıyla Z-AHP çerçevesini uygulamışlardır.

Tablo 5.1. *Kriterlerin ikili karşılaştırmaları için üçgensel bulanık Z-sayı kısıtlama ölçeği*

Dilsel İfadeler	**Üçgensel bulanık Z-sayı kısıtlama ölçeği**
Eşit derecede önemli (EI)	(1, 1, 1;1)
Biraz daha fazla önemli (WI)	(1, 3, 5;1)
Kuvvetli derecede önemli (MI)	(3, 5, 7;1)
Çok kuvvetli derecede önemli (GI)	(5, 7, 9;1)
Tamamıyla önemli (AI)	(7, 9, 9;1)
Eğer faktör i, faktör j ile karşılaştırıldığında üsttekilerin karşıt değerleri kendisine atanmış üstteki bulanık sayılardan birine sahip ise j, i ile karşılaştırıldığında karşıt değere sahiptir (R)	Yukarıdakilerin karşıt değerleri

Ölçekte kullanılan dilsel ifadeler; eşit derecede önemli (Equally important-EI), biraz daha fazla önemli (Weakly more important-WI), kuvvetli derecede önemli (Moderately more

important-MI), çok kuvvetli derecede önemli (Greatly more important-GI), tamamıyla önemli (Absolutely more important-AI) şeklindedir.

Tablo 5.2. *Üçgensel Z-bulanık sayılarıyla birlikte güvenilirlik ölçeği*

Dilsel İfadeler	**Üçgensel bulanık Z-sayı güvenilirlik ölçeği**
Kesinlikle güvenilir (AR)	(1, 1, 1;1)
Son derece güvenilir (SR)	(0.7, 0.8, 0.9;1)
Çok yüksek derecede güvenilir (VHR)	(0.6, 0.7, 0.8;1)
Yüksek derecede güvenilir (HR)	(0.5, 0.6, 0.7;1)
Oldukça güvenilir (FR)	(0.4, 0.5, 0.6;1)
Zayıf derecede güvenilir (WR)	(0.3, 0.4, 0.5;1)
Çok zayıf derecede güvenilir (VWR)	(0.2, 0.3, 0.4;1)
Son derece güvenilmez (SU)	(0.1, 0.2, 0.3;1)
Kesinlikle güvenilmez (AU)	(0, 0.1, 0.2;1)

Güvenilirlik ölçeğinde kullanılan dilsel ifadeler; kesinlikle güvenilir (Absolutely reliable-AR), son derece güvenilir (Strongly reliable -SR), çok yüksek derecede güvenilir (Very highly reliable-VHR), Yüksek derecede güvenilir (Highly reliable-HR), oldukça güvenilir (Fairly reliable-FR), zayıf derecede güvenilir (Weakly reliable-WR), çok zayıf derecede güvenilir (Very weakly reliable-VWR), son derece güvenilmez (Strongly unreliable-SU), kesinlikle güvenilmez (Absolutely unreliable-AU) şeklindedir.

5.5. Bulanık Z-WASPAS Yöntemi

Geleneksel WASPAS yöntemi, kesin girdiler için tasarlanmış olup dilsel belirsizlik ve öznel uzman değerlendirmelerini ele alacak bir mekanizmaya sahip değildir. Bu sınırlılıkları aşmak amacıyla, Bulanık Z-WASPAS yöntemi, WASPAS çerçevesine bulanık küme teorisini ve Z-sayıları entegre ederek karar vericilerin girdi değerlerinin hem belirsizliğinin hem de güvenilirliğinin modellenmesine imkân tanımaktadır. Bulanık Z-WASPAS, belirsizlik altında karar vermede aşağıdaki üstünlükleri sağlamaktadır:

- Z-sayılar aracılığıyla uzman değerlendirmelerinin belirsizliğini ve güvenilirliğini eşzamanlı olarak yakalar.

- WSM'nin (toplamsal akıl yürütme) ve WPM'nin (çarpımsal akıl yürütme) güçlü yönlerini birleştirerek daha esnek tercih modellemesi sunar.
- Özellikle risk değerlendirmesi, sürdürülebilirlik analizi ve politika planlaması gibi karmaşık karar ortamlarında önceliklendirme doğruluğunu ve sağlamlığını artırır (Dogan vd., 2023; Sergi & Ucal Sari, 2021).

Bulanık Z-WASPAS Yönteminin Adımları:

Adım 1: Z-sayı temelli karar matrisinin oluşturulması:

Başlangıçta, karar matrisi, her bir alternatifin tanımlanan kriterlere göre dilsel terimler kullanılarak değerlendirilmesiyle oluşturulur. Bu dilsel ifadeler, sırasıyla Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'de verilen dilsel ölçeklere dayalı olarak hem performans derecelendirmesini (kısıtlama) hem de ilişkili güveni (güvenilirlik) yakalamaktadır.

Adım 2: Z-sayıların bulanık sayılara dönüştürülmesi:

Karar matrisindeki, bir çift bulanık küme (performans, güvenilirlik) olarak temsil edilen her Z-sayısı çifti, uygun bir dönüştürme yöntemi kullanılarak klasik bir bulanık sayıya dönüştürülür. Bu adım, sonraki hesaplamalarda bulanık aritmetiğin kullanılmasını sağlar.

Adım 3 — Bulanık karar matrisinin normalizasyonu:

Kriterler arasında karşılaştırılabilirliği sağlamak için, karar matrisindeki bulanık değerler normalize edilir.

- Fayda (pozitif) kriterleri için, normalizasyon, her bulanık değerin ilgili sütundaki maksimum değere bölünmesiyle yapılır:

$$\tilde{\tilde{x}}_{ij} = \frac{\tilde{\tilde{x}}_{ij}}{enb\tilde{\tilde{x}}_{ij}} \tag{5.9}$$

- Maliyet (negatif) kriterleri için, normalizasyon, sütundaki minimum değerin ilgili her bulanık değere bölünmesiyle yapılır:

$$\tilde{\tilde{x}}_{ij} = \frac{enk\tilde{\tilde{x}}_{ij}}{\tilde{\tilde{x}}_{ij}} \tag{5.10}$$

Adım 4: WSM ve WPM bileşenlerinin uygulanması:

Hem Ağırlıklı Toplam Modeli (WSM) hem de Ağırlıklı Ürün Modeli (WPM), normalize edilmiş bulanık karar matrisi kullanılarak uygulanır.

- *Adım 4.1. WSM hesaplaması:* Her normalize bulanık değer, karşılık geldiği ilgili kriterin bulanık ağırlığıyla çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize matrisi elde edilir.

$$\tilde{\tilde{x}}_{ijWSM} = \tilde{\tilde{x}}_{ij}\tilde{w}_j \tag{5.11}$$

- *Adım 4.*2. *WPM hesaplanması:* WPM matrisini oluşturmak için her normalize edilmiş bulanık değerin, ilgili kritere karşılık gelen bulanık ağırlığının üssüne yükseltilmelidir.

$$\tilde{\tilde{x}}_{ijWPM} = \tilde{\tilde{x}}_{ij}^{\tilde{w}_j} \tag{5.12}$$

Adım 5: WASPAS modeli kullanılarak fayda puanlarının toplanması:

Her alternatif için toplam bulanık fayda puanı, WSM ve WPM sonuçlarının ağırlıklı bir toplama şeması ile birleştirilerek hesaplanır.

$$\tilde{U}_i = \lambda \sum_{j=1}^{n} \tilde{\tilde{x}}_{ij}\tilde{w}_j + (1-\lambda) \prod_{j=1}^{n} \tilde{\tilde{x}}_{ij}^{\tilde{w}_j} \tag{5.13}$$

Burada λ toplamsal (WSM) ve çarpımsal (WPM) bileşenlerin göreli etkisini karar vericinin ayarlamasına imkân veren denge parametresidir. Karar verici tarafından belirlenen bu değer $[0, 1]$ arasındadır. Genellikle, WSM ve WPM yaklaşımlarının bütünleşik fayda fonksiyonunda eşit etkiye sahip oldukları varsayılıp değeri $\lambda = 0{,}5$ olarak alınır.

Adım 6: Fayda değerinin durulaştırılması:

Bir önceki adımda elde edilen bulanık fayda değeri U_i sentroid yöntemiyle durulaştırılarak kesin değerlere dönüştürülür.

$$\alpha = \frac{b_1 + 2b_2 + b_3}{4} \tag{5.14}$$

Adım 7: Alternatiflerin sıralanması:

Son olarak alternatifler, durulaştırılmış fayda puanlarına göre azalan sırada sıralanır. En yüksek puana sahip alternatif en uygun çözüm olarak belirlenir.

ALTINCI BÖLÜM

UYGULAMA VE ANALİZ

Bu bölümde, sürdürülebilir kent bağlamında son adım teslimatta kitle kaynaklı çözümlerin önceliklendirilmesini inceleyen uygulamaya yer verilmiştir. Bu kapsamda, çalışmanın amacı ve önemi kısaca açıklanmış olup ardından uygulama çerçevesi, değerlendirilen alternatifler ve seçim kriterleri sunulmuştur. Değerlendirmeler, 3 kişilik bir uzman grubuyla yürütülüp uzman görüşleri ayrı ayrı alınıp derlenmiştir. Kitle kaynak kullanımı için oluşturulan alternatif senaryolar bu bölüm kapsamında açıklanmış olup Bulanık Z-AHP ve Bulanık Z-WASPAS yöntemleri kriterlerin ağırlıklandırılması ve stratejilerin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Son aşamada, probleme yönelik bulanık Z-AHP ve bulanık Z-WASPAS ile elde edilen bulgular, Bulanık Z-TOPSIS, Bulanık Z-VIKOR ve Bulanık Z-CODAS yaklaşımlarından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak yöntemsel tutarlılık ve duyarlılık analizleri yapılmıştır.

6.1. Uygulamanın Amacı ve Önemi

Bu çalışmadaki uygulamanın temel amacı, sürdürülebilir kent bakış açısıyla son adım teslimatta kitle kaynaklı çözümler arasından, çok kriterli bir değerlendirme çerçevesiyle önceliklendirme yapmaktır. Çalışma, ekonomik, çevresel, sosyal ve teknik sürdürülebilirlik boyutlarını kapsayan kriterler altında, alternatif kitle kaynak lojistiği modellerinin hangi koşullarda daha üstün performans sergilediğini nesnel ve tekrar edilebilir biçimde ortaya koymayı hedeflemektedir.

Uygulamanın önemi dört düzeyde ele alınabilir;

(i) Kitle kaynak kullanımına dayalı son adım lojistik uygulamaları fiziksel alanların, taşıma araçlarının ve kuryelerin paylaşımına olanak tanıyan alternatif modeller olarak geliştirilmiştir ve politika yapıcılara, LHS'lere ve e-perakendecilere yatırım ve iş birlikçi uygulama kararlarında yol gösterici niteliktedir.

(ii) Kentsel lojistik açısından, trafik sıkışıklığı, emisyonlar ve gürültü gibi dışsallıkların azaltılması ile teslimat erişilebilirliğinin artırılması beklenmektedir.

(iii) İşletme ve ekosistem açısından, çevrim içi ticaret aktörleri ve platformlar için operasyonel maliyetlerin düşürülmesi, kapasite esnekliği ve hizmet seviyesinin iyileştirilmesi için yol göstericidir.

(iv) Kamusal ve toplumsal açıdan refah seviyesi, adil hizmet dağılımı, yerel istihdam olanakları ve güvenlik veya etik standartlarının korunması kritik görülmektedir.

Yöntemsel katkı olarak, Bulanık Z-AHP ile uzman belirsizliği ve güven derecelerini içeren bir yapıda kriter ağırlıkları elde edilmekte olup ardından Bulanık Z-WASPAS ile hem toplamsal (WSM) hem çarpımsal (WPM) yaklaşımların birleşiminden türeyen bütünleşik skor aracılığıyla alternatifler sıralanmaktadır. Bu yapı, belirsiz ve dilsel verilerin hâkim olduğu kentsel lojistik kararlarında sağlam ve duyarlı sonuçlar üretmeyi amaçlamaktadır.

Pratik katkı bakımından çalışma, belediyeler, çevrim içi ticaret şirketleri ve platform işletmecileri için uygulanabilir bir karar destek şablonu sunmaktadır. Ele alınan stratejiler son adım lojistikte kaynak kullanımının farklı uygulamalarını melezleyerek hangi kriter kümelerinde hangi stratejilerin öne çıktığı somutlaştırılmıştır. Ayrıca, önerilen çerçeve farklı senaryo ve veri setleriyle kolayca yeniden kullanılabilir.

6.2. Kriterlerin Belirlenmesi

Sürdürülebilir kentsel son adım lojistiğinde kitle kaynaklı teslimat alternatiflerinin değerlendirilmesi için kullanılan kriterler, literatür taraması, uzman görüşmeleri ve sürdürülebilirlik çerçevelerinden hareketle belirlenmiştir. Kriterlerin seçiminde, ekonomik verimlilik, çevresel etki, sosyal kabul edilebilirlik ve operasyonel uygulanabilirlik boyutları birlikte göz önünde bulundurulmuştur. Belirlenen kriterler dört ana başlık altında toplanmıştır. Bunlar, ekonomik kriterler, çevresel kriterler, sosyal kriterler ve teknik kriterlerdir.

6.2.1. Ekonomik Kriterler

Ekonomik kriterler, kitle kaynaklı teslimat sistemlerinin mali sürdürülebilirliğini ve işletme açısından uygulanabilirliğini değerlendirmek üzere tanımlanmıştır.

K1 - Teslimat Maliyeti: Kullanılacak teslimat alternatifine bağlı olarak son müşteriye ulaşmada oluşan toplam maliyettir. Bu maliyet; kurye ücretleri, yakıt/enerji giderleri, araç kullanım maliyetleri ve mesafe temelli değişken giderleri kapsamaktadır. Kitle kaynaklı modellerde, geleneksel filolara kıyasla esneklik ve düşük sabit maliyet avantajı beklenirken teşvik ödemeleri ve platform komisyonları gibi yeni maliyet kalemleri de dikkate alınmalıdır.

K2 - Depolama ve Sınıflandırma Maliyeti: Kitle taşımacılık alternatifinde kullanılacak mikro-hub, PUDO noktası veya işgücü kiralama gibi unsurlara bağlı olarak ortaya çıkan depolama, konsolidasyon ve ayrıştırma maliyetleridir. Mikro-hub kullanımı durumunda kira, enerji ve personel giderleri, iş birlikçi modellerde ise ortak kullanım sayesinde maliyet paylaşımı söz konusu olmaktadır.

K3 - Sermaye Maliyeti: Kitle kaynaklı sistemin kurulması ve işletilmesi için gerekli teknolojik altyapı (platform yazılımı, GPS/rota optimizasyon araçları, veri yönetim sistemleri) ve fiziksel varlıkların (mikro-hub, araç filosu, gönüllü kitle taşımacı) edinim maliyetidir. Geleneksel sistemlere kıyasla başlangıç yatırımı görece düşük olsa da dijital altyapı ve entegrasyon maliyetleri belirleyici olmaktadır.

K4 - Yönetim Maliyeti: Kitle kaynaklı depolama, sınıflama ve teslimat süreçlerinin etkin koordinasyonu için gereken yönetim, denetim ve kalite kontrol faaliyetlerinin maliyetidir. Platform üzerinden yapılan görev atama, performans izleme, iletişim ve sorun çözme süreçleri bu kapsamda değerlendirilmektedir.

K5 - Ek Maliyetler: Hasar, kayıp ve gecikmelerden doğan riskleri karşılamak üzere alınan sigorta hizmetleri ve garanti maliyetleridir. Kitle kaynaklı modellerde, profesyonel kuryelere kıyasla artan belirsizlik nedeniyle bu maliyetler daha kritik hale gelebilmektedir.

6.2.2. Çevresel Kriterler

Çevresel kriterler, kitle kaynaklı teslimat sistemlerinin çevre üzerindeki etkilerini ölçmek üzere tanımlanmıştır. Sürdürülebilir kentsel lojistiğin en temel hedeflerinden biri, teslimat faaliyetlerinin yarattığı çevresel dışsallıkların minimize edilmesidir.

K6 - Depolama ve Sınıflandırmanın Çevresel Etkisi: Mikro-hub ve konsolidasyon merkezlerinin faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonlar, enerji tüketimi ve atık üretimidir.

Merkezi konsolidasyon sayesinde araç-km azalsa da tesis işletme kaynaklı karbon ayak izi değerlendirilmelidir.

K7 - Teslimat Faaliyetlerinin Çevresel Etkisi: Son adım teslimat sürecinde kullanılan araçlardan (özel araç, bisiklet, e-bisiklet, drone, elektrikli araç) kaynaklanan sera gazı emisyonları, enerji tüketimi ve hava kalitesi üzerindeki etkidir. Kitle kaynaklı modellerde, var olan bireysel yolculukların kapasitesinin kullanılması emisyon artışını sınırlayabilirken, ek sapma ve boş dönüşler riskleri de göz önünde bulundurulmalıdır.

K8 - Çevresel Görüntü Kirliliği: Teslimat araçları ve mikro-hub yapılarının kent mekânında yarattığı estetik ve düzen bozukluğudur. Özellikle yoğun kullanılan alanlarda park eden araçlar, düzensiz konumlandırılmış teslimat noktaları kentsel görünümü olumsuz etkileyebilmektedir.

6.2.3. Sosyal Kriterler

Sosyal kriterler, kitle kaynaklı teslimat sistemlerinin toplumsal kabul edilebilirliğini, kullanıcı güvenini ve kentsel yaşam kalitesine etkisini değerlendirmek üzere tanımlanmıştır.

K9 - Güvenilirlik/Gizlilik: Teslimat yapan kişiye veya yerel işletmeye duyulan güven ile müşteri gizliliğinin korunmasıdır. Kitle kaynaklı modellerde, profesyonel kuryelere kıyasla kimlik doğrulama, geçmiş performans ve hesap verebilirlik mekanizmaları güveni etkileyen kritik unsurlardır. Ayrıca, teslimat sırasında kişisel bilgilerin (adres, telefon, sipariş içeriği) korunması da bu kriter kapsamında değerlendirilmektedir.

K10 - Trafik Problemleri: Teslimat araçlarının neden olduğu park yeri sorunları, kaza riskleri, trafik sıkışıklığı ve gürültü gibi kentsel hareketlilik üzerindeki olumsuz etkilerdir. Kitle kaynaklı modellerde, profesyonel filolara kıyasla daha küçük ve çevik araçların kullanılması bu etkileri azaltabilirken, koordinasyonsuz bireysel teslimatlar artış riski de taşımaktadır.

K11 - Gönüllü Kitle Kaynaklı Olmaya İsteklilik: Gönüllü işletmelerin veya bireylerin kitle kaynaklı teslimat için kurye olarak kullanılma istekliliğidir. Bu kriter, sistemin arz tarafındaki sürdürülebilirliğini doğrudan etkilemektedir. Teşvik yapıları, esneklik, sosyal tanınırlık ve katılım kolaylığı bu istekliliği belirleyen faktörlerdir.

K12 - Müşteri Odaklılık: Müşteri ilişkileri yönetiminde müşteri merkezli hizmetlerin oluşturulmasıdır. Kitle kaynaklı teslimat modellerinde müşteri deneyiminin (teslimat

hızı, iletişim, esneklik, sorun çözme) ne ölçüde desteklendiği ve kişiselleştirilebildiği bu kriter kapsamında değerlendirilmektedir.

6.2.4. Teknik Kriterler

Teknik kriterler, kitle kaynaklı teslimat sistemlerinin operasyonel uygulanabilirliğini, teknolojik altyapı gereksinimlerini ve hizmet kalitesi performansını ölçmek üzere tanımlanmıştır.

K13 - Teslimat Hızı/Süresi: Son müşteriye ulaşma hızı veya süresidir. Kitle kaynaklı modellerde, dinamik rota optimizasyonu ve yakın konumdaki kuryelerin anında devreye alınması sayesinde özellikle aynı gün teslimat performansı iyileştirilebilmektedir.

K14 - Şeffaflık: Teslimat sürecinin müşteri ve platform tarafından gerçek zamanlı izlenebilirliğidir. GPS tabanlı takip, bildirim sistemleri ve dijital onay mekanizmaları şeffaflığı artıran unsurlardır.

K15 - Doğruluk: Teslimatın hatasız ve hasarsız gerçekleştirilmesidir. Kitle kaynaklı modellerde, profesyonel eğitim eksikliği nedeniyle paket hasarı, yanlış teslimat veya kayıp riskleri artabilmektedir. Bu nedenle platform kontrol mekanizmaları ve kurye değerlendirme sistemleri kritik önem taşımaktadır.

K16 - Teknolojik Kitle Ağı: Talep ve arzı eşleştiren, görev atama ve ödeme işlemlerini gerçekleştiren dijital platform altyapısıdır. Platformun kullanıcı dostu ara yüzü, rota optimizasyon algoritmaları, gerçek zamanlı veri işleme kapasitesi ve sistem güvenilirliği bu kriter kapsamında değerlendirilmektedir.

K17 - Esneklik: Teslimat zamanı ve yerinin müşteri taleplerine göre uyarlanabilme kapasitesidir. Kitle kaynaklı modellerde, geniş kurye havuzu ve dinamik görev atama sayesinde esneklik avantajı sağlanabilmektedir.

K18 - Coğrafi Yakınlık: Teslimat noktasının müşteriye yakınlığıdır. Mikro-hub, PUDO veya bu noktaların müşterinin günlük hareketlilik güzergâhı üzerinde veya kolayca erişilebilir konumlarda bulunması kullanıcı deneyimini doğrudan etkilemektedir.

Belirlenen bu 18 kriter (Tablo 7.1), sürdürülebilir kentsel son adım lojistikte kitle kaynaklı teslimat alternatiflerinin çok boyutlu değerlendirmesine olanak tanımaktadır. Kriterler arasındaki ağırlık ilişkileri Bulanık Z-AHP yöntemiyle belirlenirken alternatif

senaryoların performans değerlendirmesi Bulanık Z-WASPAS yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

Tablo 6.1. *Kriterler seti*

Alan	Kriter	Açıklama	Referans
Ekonomik	Teslimat Maliyeti (K1)	Son müşteriye ulaştırırken kullanılacak teslimat alternatifine göre katlanılacak maliyet	(Krstić vd., 2021); (Tadić vd., 2024); (C.-N. Wang vd., 2023)
	Depolama ve Sınıflandırma Maliyeti (K2)	Kitle kaynak kullanımında teslimat alternatifine göre kiralanacak işgücü ya da micro-hub ın maliyeti	(Novotná vd., 2022a); (Kozoderović vd., 2024)
	Sermaye Maliyeti (K3)	Kitle kaynağın kullanımı için gerekli maliyet	(Tran & Gavade, 2025); (Kozoderović vd., 2024)
	Yönetim Maliyeti (K4)	Kitlenin depolama/sınıflandırma ve teslimatı verimli yönetebilmesi için gerekli maliyet	(Tran & Gavade, 2025); (Krstić vd., 2021)
	Ek Maliyetler (K5)	Hasar ve kayıplardan kaynaklanan kayıpları karşılamak için sigorta hizmeti ve garanti maliyetleri	(Tran & Gavade, 2025); (Krstić vd., 2021)
Çevresel	Depolama ve Sınıflandırmanın çevresel etkisi (K6)	Micro-hub faaliyetlerinden kaynaklı emisyonlar nedeniyle	(Tran & Gavade, 2025); (Kozoderović vd., 2024)
	Teslimat faaliyetlerinin çevresel etkisi (K7)	Teslimat faaliyetlerinden kaynaklı emisyonların neden olduğu kirlilik	(Tran & Gavade, 2025)
	Çevresel görüntü kirliliği (K8)	Araç ve micro-hub ın kent içinde oluşturduğu çirkin görüntü ve düzensizlik	(Krstić vd., 2021); (Kozoderović vd., 2024)
			(Kozoderović vd., 2024); (Yin vd., 2022)
Sosyal	Güvenilirlik/Gizlilik (K9)	Teslimat yapacak kişi ya da lokal işletmeye güven ve müşteri gizliliği	(Veljović vd., 2024); (Silva vd., 2023); (Tran & Gavade, 2025)
	Trafik problemleri (K10)	Dağıtım araçlarının neden olduğu park yeri sorunu, kaza riski, trafik sıkışıklığı, gürültü vb. problemler	(Krstić vd., 2021)
	Gönüllü crowdsourcer istekliliği (K11)	Kitle kaynaklı teslimat için kullanılacak gönüllü işletme ya da bireylerin istekliliği	(Fatima vd., 2025); (Yin vd., 2022)
	Müşteri odaklılık (K12)	Müşteri ilişkileri yönetiminde hizmetlerin müşteri merkezli oluşturulması	(Fatima vd., 2025)

Tablo 6.1. *Kriterler seti (devamı)*

Alan	Kriter	Açıklama	Referans
Teknik	**Teslimat hızı/süresi (K13)**	**Son müşteriye ulaşma hızı veya süresi**	**(Krstić vd., 2021); (Kozoderović vd., 2024)**
	Şeffaflık (K14)	**Müşteri siparişine ilişkin bilginin açık ve tam zamanlı olması**	**(Kozoderović vd., 2024); (Yin vd., 2022)**
	Doğruluk (K15)	**Teslimatın hatasız ve hasarsız gerçekleşmesi**	**(Yin vd., 2022)**
	Teknolojik kitle ağı (K16)	**Talep ve arzın eşleşmesini sağlayan platform**	
	Esneklik (K17)	**Teslimat zamanını ve yerini uyarlayabilme**	**(Yin vd., 2022)**
	Coğrafi yakınlık (K18)	**Teslimat noktasının müşteriye yakınlığı**	**(Tran & Gavade, 2025); (Krstić vd., 2021); (Kozoderović vd., 2024)**
			(Yin vd., 2022)

6.3. Alternatiflerin Oluşturulması

Farklı sürdürülebilir kentsel son adım lojistik koşulları altında kitle kaynaklı teslimat senaryolarının performansını değerlendirmek amacıyla, uzman görüşleri, ilgili literatür ve temsili gerçek dünya uygulamalarından hareketle beş farklı senaryo oluşturulmuştur. Her bir senaryo, hizmet yapısı, platform koordinasyon mekanizması, çevresel yönelim ve paydaş katılım düzeyi açısından farklılaşan özgün bir operasyonel konfigürasyonu yansıtmaktadır.

A1 - Mikro-Hub'ın Diğer Lojistik Hizmet Sağlayıcılarla Kitle Kaynaklı Kullanıldığı Alternatif:

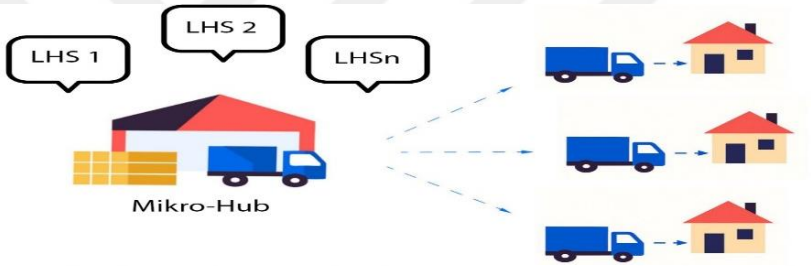
Mikro-hub'lar, kentsel alanda nihai teslimat noktasına 1–5 km uzaklıkta konumlandırılan mikro konsolidasyon merkezleridir. Dağıtım merkezleri ile şehir içindeki son teslimat noktalarını birbirine bağlayan bir lojistik öğe olarak değerlendirilebilirler. Kentsel alanlarda sürdürülebilir son adım teslimatın etkili, verimli ve hızlı olabilmesi için mikro-hub kullanımı, bu süreçte uygulanabilir rasyonel çözümlerden biridir. Tedarik zincirinin en önemli ve maliyetli aşamalarından biri olan teslimatta mikro-hub kullanımı, uygulamanın daha az çaba gerektirmesini ve kolay yönetilmesini sağlamaktadır (Novotná vd., 2022b). İş birliğine dayalı mikro-hub'larda, iki veya daha fazla lojistik hizmet sağlayıcısı, lojistik tesisleri, teslimat araçları, optimizasyon ve planlama yöntemleri ve

araç bilgileri gibi fiziksel veya fiziksel olmayan kaynakları paylaşarak ortak lojistik teslimat hedeflerine ulaşmak için işbirliği yapabilir ve çabalarını paylaşabilir (Hribernik vd., 2020).

Bu sürdürülebilir kitle kaynaklı teslimat alternatifi stratejisinde, yalnızca mikro-hub'lar depolama ve sınıflama için paylaşılmakta olup şirketler son lokasyonlara teslimatı kendi kuryeleri ve teslimat araçlarıyla gerçekleştirmektedir.

Senaryo 1, teslimatların minimum platform kontrolüyle bağımsız kuryeler tarafından gerçekleştirildiği tamamen merkezi olmayan bir kitle kaynaklı teslimat modelini temsil etmektedir. Bu strateji, maksimum esnekliğe vurgu yapsa da tutarsız hizmet kalitesi ve sınırlı çevresel denetim gibi sorunlarla karşılaşabilir (Şekil 6.1).

Şekil 6.1. *Alternatif 1 için senaryo*



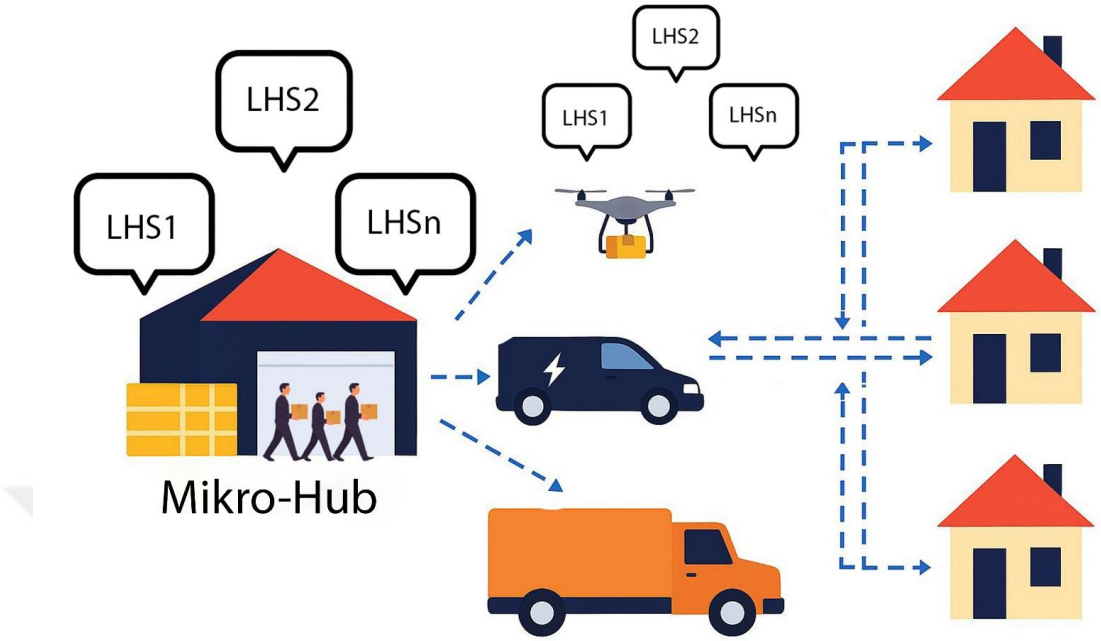
A2 - Mikro-Hub ve Taşıma Araçlarının (Drone, Otomatik Yönlendirmeli Araç (AGV), E-Bisiklet, Kamyon vb.) Diğer Lojistik Hizmet Sağlayıcılarla Kitle Kaynaklı Kullanıldığı Alternatif:

Kentsel alanlarda mikro-hub'ların yaygın kullanımının yanı sıra, elektrikli kargo bisikletleri, kargo drone'ları ve e-bisikletler de sürdürülebilir çözümler olarak öne çıkmaktadır. Bu araçlar enerjiyi minimize etmekte, trafik sıkışıklığı yaratmamakta, kirlilik oluşturmamakta ve daha az kamusal alan kaplamaktadır (Athanasopoulos vd., 2024).

Bu sürdürülebilir kitle kaynaklı teslimat alternatifinde, mikro-hub'lar depolama ve sınıflandırma için kullanılmakta olup aynı zamanda LHS'lerle paylaşımlı taşıma araçları da devreye alınmaktadır.

Senaryo 2, platform tarafından kısmi koordinasyonu içermekte olup gerçek zamanlı rota desteği ve performans izleme sağlarken kurye özerkliğini korumaktadır. Bu hibrit model, ölçeklenebilirlikten ödün vermeden verimliliği artırmayı amaçlamaktadır (Şekil 6.2).

Şekil 6.2. *Alternatif 2 için senaryo*



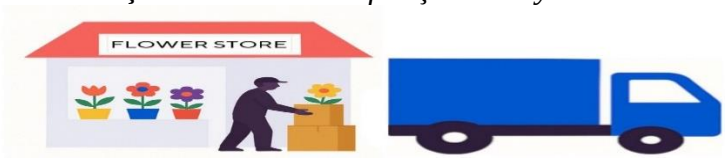
A3 - Lojistik Hizmet Sağlayıcısının Esnaf Lokasyonunu Teslim Alma-Bırakma Noktası (PUDO) Olarak Kullandığı Alternatif:

PUDO noktaları (Teslim alma-bırakma noktası) son müşterinin self-servis ile paketini alıp bırakabilmesine olanak tanıyarak müşteri hizmet seviyesini iyileştirmede önemli bir rol oynamaktadır. Yüksek nakliye maliyetleri, teslimat bekleme süreleri ve uzak bölgelerdeki lojistik zorluklar, PUDO noktalarının azaltmayı hedeflediği konular arasında yer almaktadır. Son müşteriler, kurye beklemek yerine paketlerini istedikleri zaman herhangi bir yerel mağazadan alabilmektedir (Yunis, 2025).

Bu sürdürülebilir kitle kaynaklı teslimat alternatifinde, LHS veya e-perakendeci kendi şubesini açmak yerine, yerel bir çiçekçi, kuru temizleme veya butik gibi mekânları teslim alma ve bırakma noktası olarak kullanmaktadır.

Senaryo 3, kuryelerin çevre dostu ulaşım yöntemlerini (örneğin bisiklet, elektrikli araçlar) kullanmaya teşvik edildiği çevre dostu bir teslimata odaklanmaktadır. Bu model, sürdürülebilirlik hedefleri ve kentsel emisyon azaltma hedefleriyle güçlü bir şekilde örtüşmektedir (Şekil 6.3).

Şekil 6.3. *Alternatif 3 için senaryo*



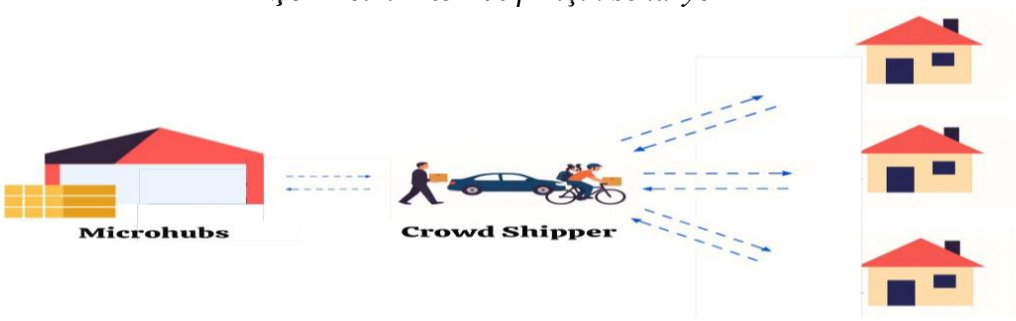
A4 - Teslim Alma ve Bırakma Noktasının Lojistik Hizmet Sağlayıcısına Ait Olduğu ve Kitle Kaynaklı Teslimatın Yapıldığı Alternatif:

Orijinal rotalarından saparak küçük bir bedel (ücret) karşılığında teslimat yapan gönüllü kişilere kitle taşıyıcılar denilmektedir. Kitle taşıyıcıların dağıtıma dâhil edilmesiyle sosyal, çevresel, ekonomik ve teknik faydalar elde edilebilmektedir. Kitle taşıyıcılar kuryelerden daha ucuz olduğundan, lojistik şirketleri son adım teslimat maliyetlerini minimize edebilmekte ve hizmet sürelerini daha verimli hale getirebilmektedir. Kitle taşıyıcıların son adım teslimata entegre edilmesi, kentsel alanlarda büyük kamyonların yerini alabilmekte, trafik sıkışıklığını, park sorunlarını azaltabilmekte ve gürültü ile hava kirliliğini düşürebilmede aktif rol oynayabilmektedir (Mousavi vd., 2022).

Bu sürdürülebilir kitle kaynaklı teslimat alternatifinde, mikro-hub LHS'ye ait olup bağlı kuryeler yerine gönüllüler (yaya, araçlı, bisikletli) teslimat veya toplama işlemini gerçekleştirmektedir.

Senaryo 4, platform tarafından düzenlenen bir modeli temsil etmekte olup dinamik fiyatlandırma ve rota optimizasyonu merkezi olarak kontrol edilmektedir. Bu model, teslimat tutarlılığını ve verimliliği iyileştirirken kurye bağımsızlığını azaltabilmektedir (Şekil 6.4).

Şekil 6.4. *Alternatif 4 için senaryo*



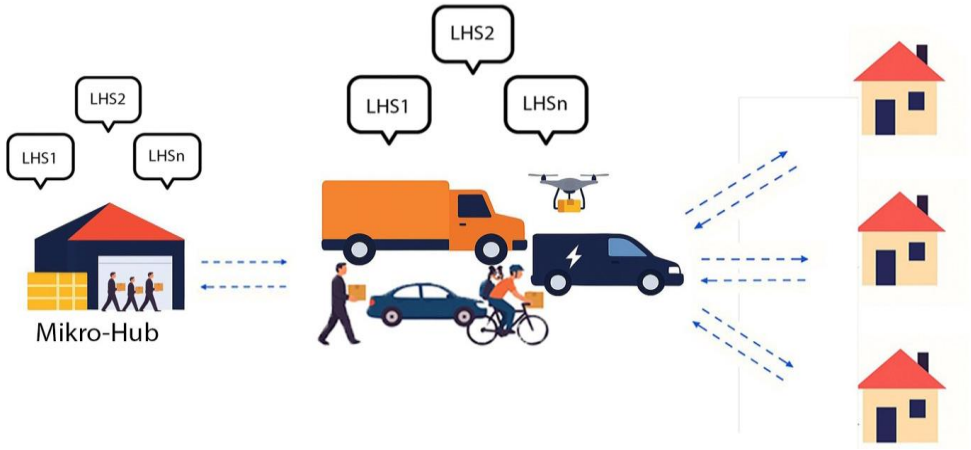
A5 - Mikro-Hub ve Taşıma Araçlarının (Drone, AGV, E-Bisiklet, Kamyon vb.) Diğer Lojistik Hizmet Sağlayıcılarla Kitle Kaynaklı Kullanıldığı ve Kitle Kaynaklı Teslimatın Yapıldığı Alternatif:

Tüketicilerin daha hızlı ve ucuz teslimat isteği, kentsel lojistikte son adım teslimatın her alanında kitle kaynaklı çözümlerin kullanılmasını sağlamıştır (Elsokkary vd., 2023b).

Bu sürdürülebilir kitle kaynaklı teslimat alternatifinde, mikro-hub depolama ve sınıflandırma için taşıma araçlarıyla birlikte paylaşımlı LHS'ler kullanmaktadır. Ayrıca, resmi kuryelerle birlikte gönüllüler (yaya, araçlı, bisikletli) teslimat veya toplama işlemini gerçekleştirmektedir.

Senaryo 5, kitle kaynaklı kuryelerin daha geniş kentsel hareketlilik ağına sorunsuz biçimde entegre edildiği tam entegre bir lojistik sistemini simüle etmektedir. Bu model, çok modlu ulaşım entegrasyonunu ve güçlü politika uyumunu içeren geleceğe yönelik bir vizyonu yansıtmaktadır (Şekil 7.5).

Şekil 6.5. *Alternatif 5 için senaryo*



Bu senaryolar, operasyonel esneklik, çevresel etki ve lojistik kontrol arasındaki dengeleri yakalamak üzere tasarlanmıştır ve bulanık Z-WASPAS yöntemi kullanılarak yapılacak çok kriterli değerlendirmenin temelini oluşturmaktadır. Bu alternatifleri karşılaştırarak, bu tez çalışması sürdürülebilir kentsel lojistik perspektifinden en uygun kitle kaynaklı teslimat konfigürasyonunu belirlemeyi amaçlamaktadır.

6.4. Yöntem

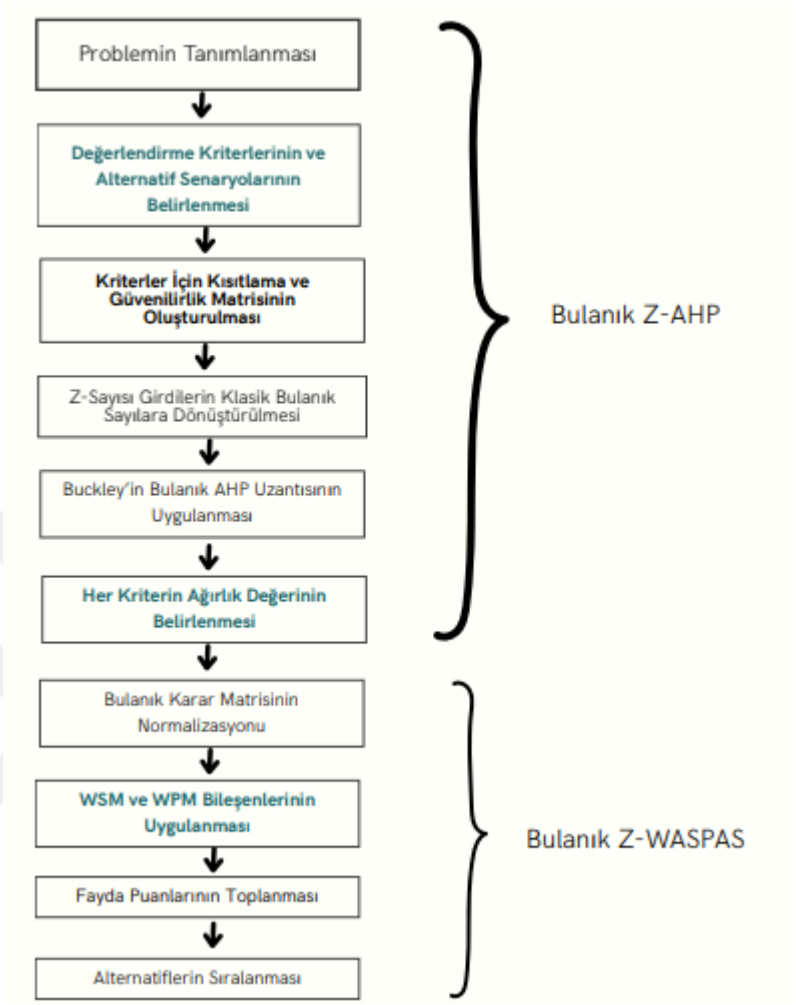
AHP, Saaty tarafından 1980'de tanıtılan, karmaşık ortamlarda yapılandırılmış ve rasyonel karar vermeyi desteklemek üzere tasarlanmış (Saaty, 1980), yaygın olarak kullanılan bir ÇKKV yöntemidir. AHP yöntemi, uygulamasının görece sade olması ve fayda ile maliyet türü kriterleri eşzamanlı olarak değerlendirmeye imkân tanıması sayesinde, karar verme problemlerinin çözümünde etkili bir araç olarak kullanılmaktadır (Koç & Tosun, 2019). Başlangıcından bu yana AHP, özellikle mühendislik, yönetim ve lojistikte olmak üzere

geniş bir yelpazede alana uygulanmıştır. Uzman tabanlı değerlendirmelerdeki içsel belirsizlik ve öznelliğe yanıt olarak, yıllar içinde klasik AHP yönteminin çeşitli uzantıları önerilmiştir. Bunlar arasında, (Azadeh vd., 2013b) tarafından geliştirilen bulanık Z-AHP, hem tahmini değeri hem de uzman yargılarının güvenilirliğini daha iyi yakalamak için bulanık mantığı Z sayısı kavramıyla bütünleştiren yeni ve sağlam bir değişken olarak ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada, bulanık Z-AHP, karar verme ortamlarında belirsizlik ve kesinsizliği ele alma konusundaki üstün yeteneği nedeniyle değerlendirme kriterlerinin göreceli önemini belirlemek için kullanılmıştır. Daha sonra, bulanık Z-AHP'den türetilen ağırlıklı kriterler, alternatif kitle kaynaklı teslimat senaryolarını sıralamak için bulanık Z-WASPAS tabanlı bir değerlendirme modelinde kullanılmıştır. WASPAS yönteminin etkinliği, genişletilebilmesi ve birçok problemin çözümünde kullanılabilmesinin yanı sıra, yöntemin kendi içinde duyarlılık analizi yapması ve bu sayede, alternatifler sıralanırken tutarlılığın kontrol edilebilmesi, yöntemin avantajlı özelliklerindendir (Chakraborty ve Zavadskas, 2014). Ayrıca bulanık WASPAS yöntemi, WSM ve WPM yaklaşımlarının avantajlarını da barındırmaktadır. Zavadskas vd., (2012) tarafından önerilen orijinal WASPAS modelinin gelişmiş bir uzantısı olan bulanık Z-WASPAS yöntemi, (Sergi & Ucal Sari, 2021) tarafından verilerdeki belirsizlik ve kısmi güvenilirlik gibi karmaşık karar verme sorunlarını ele almak için Z- sayıların ve bulanık mantığın dahil edilmesiyle daha da geliştirilmiştir.

Önerilen sıralama yaklaşımının sağlamlığını doğrulamak ve performansını diğer tekniklerle karşılaştırmak amacıyla, bulanık Z-WASPAS yönteminden elde edilen sonuçlar, çeşitli alternatif bulanık Z sayısı tabanlı ÇKKV yöntemleriyle karşılaştırılmıştır (Şekil 6.6). Bunlar şunlardır;

- Bulanık Z-TOPSIS, Hwang ve Yoon (1981) tarafından ortaya atılan ve daha sonra Yaakob ve Gegov (2016) tarafından uyarlanan klasik İdeal Çözüme Benzerlik Sıralama Performansı Tekniği (TOPSIS) yönteminin bir uzantısıdır.
- Bulanık Z-VIKOR, Opricovic (1979) tarafından önerilen ve Shen ve Wang (2018) tarafından genişletilen VlseKriterijuska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) yöntemine dayanmaktadır.
- Bulanık Z-CODAS, Ghorabaee vd. tarafından geliştirilen Ortamsal Mesafe Tabanlı Değerlendirme (CODAS) yönteminden geliştirilmiştir. (2016) ve daha da ileri götürülerek Tuysuz ve Kahraman (2020) tarafından geliştirilmiştir.

Şekil 6.6. *Karar modeli*



Bu tezdeki ele alınan sürdürülebilir kentsel lojistik açısından farklı kitle kaynaklı teslimat senaryolarının değerlendirilmesine yönelik problem, ekonomik verimlilik, çevresel etki, sosyal kabul ve teknik uygulanabilirlik gibi birbirini kısmen dışlayan hedeflerin eşzamanlı göz önünde bulundurulmasını gerektirdiğinden doğası gereği çok kriterli ve belirsizlik içeren bir yapıya sahiptir. Bu bağlamda ÇKKV yaklaşımı, KV'lerin farklı boyutlara ilişkin tercihlerini açık, izlenebilir ve tekrar üretilebilir bir çerçevede bütünleştirmeye olanak tanımaktadır. ÇKKV'nin tercih edilmesinin gerekçesi, tek değişkenli optimizasyonun göz ardı ettiği ölçütler arası ödünleşimleri görünür kılması ve hem nicel hem nitel göstergeleri aynı ölçekte karşılaştırılabilir hâle getirebilmesidir. Özellikle sürdürülebilir kentsel lojistikte, "güvenilirlik", "toplumsal kabul" ya da "etik uygunluk" gibi ölçülemeyen fakat karar kalitesini belirleyen boyutların modele dâhil edilmesi kritik önem taşımaktadır.

Bu tez çalışmasında bulanık Z-WASPAS yönteminin seçilmesi, sürdürülebilir lojistik değerlendirmesinin çok kriterli yapısının ve karar alma süreçlerinde insan yargısıyla ilişkili içsel belirsizliğin etkili bir şekilde ele alınması ihtiyacına dayanmaktadır. Son adım lojistik planlamasında, KV'lerin genellikle maliyet verimliliği, çevresel etki ve operasyonel esneklik gibi çeşitli ve çelişkili performans göstergelerini belirsiz, kesin olmayan veya öznel bilgiler altında dikkate almaları gerekmektedir. AHP veya TOPSIS gibi geleneksel ÇKKV teknikleri, dilsel değişkenleri ve uzman belirsizliğini tam olarak hesaba katma kabiliyetleri bakımından sınırlıdır. Bulanık mantığı Z sayısı kavramıyla entegre ederek, bulanık Z-WASPAS yöntemi çift katmanlı belirsizlik modelleme yapısı aracılığıyla karar alma sağlamlığını artırmaktadır. Z sayısı formülasyonu hem bir değerlendirmenin tahmini değerinin hem de onunla ilişkili güven düzeyinin ifade edilmesine olanak tanır ve böylece uzman görüşlerinin daha ayrıntılı ve gerçekçi bir temsilini sunmaktadır. Ayrıca WASPAS, katkısal ve çarpımsal toplama prensiplerini dengelemek için ağırlıklı toplam modeli (WSM) ve ağırlıklı ürün modelini (WPM) birleştirerek alternatiflerin ayırt edici gücünü ve sıralama doğruluğunu artırmaktadır. Sürdürülebilirlik kriterlerinin karmaşık ve birbirine bağlı olduğu kitle kaynaklı teslimat stratejilerinin değerlendirilmesi bağlamında, bulanık Z-WASPAS yöntemi, tutarlı ve gerekçelendirilebilir önceliklendirmeler oluşturmak için uygun bir analitik araç sunmaktadır. Hibrit yapısı, KV'lerin görüşlerini daha esnek bir şekilde dâhil edebilmelerini sağlarken, teknik, sosyal, çevresel ve ekonomik performans göstergelerinin değerlendirilmesindeki belirsizliği de hesaba katmaktadır.

6.5. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Tez çalışmasında, kriterlerin göreli önem ağırlıklarının belirlenmesi için Bulanık Z-AHP yöntemi kullanılmıştır. Değerlendirme süreci, sürdürülebilir son adım lojistik alanında deneyime sahip üç uzman ile gerçekleştirilmiştir. Uzmanlar; alanda akademik çalışmaları olan bir akademisyen (Uzman 1), bir lojistik operasyon yöneticisi (Uzman 2) ile bir e-ticaret firmasında son adım lojistikten sorumlu yöneticiden (Uzman 3) oluşmaktadır. Her uzman, kriterlerin ikili karşılaştırmalarını dilsel terimler kullanarak değerlendirmiş olup aynı zamanda her yargı için güvenilirlik düzeylerini de belirtmiştir. İkili karşılaştırma matrisleri, farklı uzmanlardan elde edilen değerlendirmelerin geometrik ortalaması alınarak oluşturulmuştur. Ek1'de Uzman 1'in Uzman 2'nin ve Uzman 3'ün kısıtlama karar kriterleri için yaptığı ikili karşılaştırma matrisi örnek olarak sunulmaktadır. Benzer

şekilde, Ek2'de sırasıyla Uzman 1, Uzman 2 ve Uzman 3'ün güvenilirlik fonksiyonu için oluşturduğu ikili karşılaştırma matrisi gösterilmektedir. Oluşturulan bu matris tabloları Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'deki dilsel ölçekler kullanılarak oluşturulmuştur.

Ek 1 ve Ek 2'deki dilsel ifadeler, Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'den yararlanılarak karşılık gelen bulanık Z-sayılara dönüştürülmekte ve ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmaktadır. Dönüştürülen bu matrisler Ek 3 ve Ek 4'de gösterilmiştir.

Bulanık Z-sayılar Denklem 5.5 - 5.8 kullanılarak eşdeğer klasik bulanık sayılara dönüştürülmektedir. Örnek olarak, Uzman 1'in kriter 1-kriter 2 ikilisini ele alalım. Bu ikiliye karşılık gelen klasik üçgen bulanık sayıyı bulmak için Denklem 5.5 yardımıyla ilk olarak güvenilirlik net bir sayıya dönüştürülmektedir.

$$a = \frac{0{,}70 + 2 * 0{,}80 + 0{,}90}{4} = 0{,}80$$

Bir sonraki adımda, kısıtlamaya güvenilirliğin ağırlığı eklenerek, ağırlıklı Z sayısı ($\tilde{Z}^a$) bulunup ağırlıklı Z-sayısı, yani ağırlıklı kısıtlama, Denklem 5.8 kullanılarak klasik üçgen bulanık sayıya ($\tilde{Z}'$) çevrilmektedir.

$\tilde{Z}' = \left(\sqrt{\alpha}a_1, \sqrt{\alpha}a_2, \sqrt{\alpha}a_3, \sqrt{\alpha}a_4\right)$ = $(\sqrt{0{,}80} * 1{,}00\ , \sqrt{0{,}80} * 1{,}00\ , \sqrt{0{,}80} * 1{,}00)$

= (0,894 , 0,894 , 0,894)

Bu işlemler her 3 uzman için de yapılıp matris oluşturulmaktadır (Tablo 6.2).

Tablo 6.2. *Bulanık Z-sayıların klasik bulanık sayılara çevrilmesi*

		K1			K2			K3			K4		
Uzman1	**K1**	1.00	1.00	1.00	0.89	0.89	0.89	0.89	2.68	4.47	3.00	5.00	7.00
Uzman2	**K1**	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.78	2.32	3.87	2.51	4.18	5.86
Uzman3	**K1**	1.00	1.00	1.00	3.00	5.00	7.00	2.68	4.47	6.26	4.47	6.26	8.05
Uzman1	**K2**	0.89	0.89	0.89	1.00	1.00	1.00	0.89	0.89	0.89	3.00	5.00	7.00
Uzman2	**K2**	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Uzman3	**K2**	0.14	0.20	0.33	1.00	1.00	1.00	0.84	2.51	4.18	0.89	0.89	0.89
Uzman1	**K3**	0.18	0.30	0.89	0.89	0.89	0.89	1.00	1.00	1.00	5.00	7.00	9.00
Uzman2	**K3**	0.16	0.26	0.78	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Uzman3	**K3**	0.13	0.18	0.30	0.17	0.28	0.84	1.00	1.00	1.00	0.63	1.90	3.16
Uzman1	**K4**	0.14	0.20	0.33	0.14	0.20	0.33	0.11	0.14	0.20	1.00	1.00	1.00
Uzman2	**K4**	0.12	0.17	0.28	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Uzman3	**K4**	0.10	0.13	0.18	0.89	0.89	0.89	0.13	0.21	0.63	1.00	1.00	1.00

Kriterler için Uzman 1, Uzman 2 ve Uzman 3'ün kararlarının geometrik ortalamaları alınarak ikili karşılaştırma matrisi hazırlanmıştır (Tablo 6.3).

Tablo 6.3. *Kriterler için ikili karar matrisi*

Kriter		**K1**			**K2**			**K3**			**K4**	
K1	1.00	1.00	1.00	1.39	1.65	1.84	1.23	3.03	4.77	3.23	5.08	6.91
K2	0.50	0.56	0.67	1.00	1.00	1.00	0.91	1.31	1.55	1.39	1.65	1.84
K3	0.15	0.24	0.59	0.53	0.63	0.91	1.00	1.00	1.00	1.47	2.57	3.05
K4	0.12	0.16	0.26	0.50	0.56	0.67	0.24	0.31	0.50	1.00	1.00	1.00
K5	0.11	0.14	0.20	0.24	0.29	0.38	0.24	0.31	0.50	0.29	0.41	0.86
K6	0.43	0.66	1.37	0.83	1.19	1.41	0.45	0.77	1.31	1.68	2.16	2.42
K7	0.73	0.95	1.37	1.16	2.41	3.38	1.16	1.82	2.16	1.10	2.72	4.28
K8	0.34	0.63	1.20	0.35	0.66	1.34	0.37	0.74	1.83	1.07	1.54	1.83
K9	0.29	0.60	1.47	0.48	0.57	0.83	0.65	1.31	2.50	0.45	1.10	2.24
K10	0.74	0.98	1.53	0.71	0.94	1.48	0.66	1.26	2.34	1.01	2.50	3.93
K11	0.67	1.14	1.65	1.14	1.71	1.91	1.52	1.70	1.85	0.89	1.65	2.82
K12	0.26	0.34	0.54	0.28	0.37	0.63	0.23	0.45	0.91	0.89	1.29	1.52
K13	1.26	1.97	2.34	0.81	2.43	4.04	1.12	2.53	3.56	1.41	3.19	4.48
K14	0.13	0.16	0.28	0.49	0.54	0.64	0.25	0.32	0.52	0.89	1.18	1.85
K15	0.65	0.78	0.94	1.36	1.61	1.80	0.78	1.09	1.76	1.00	1.29	1.85
K16	0.59	1.00	1.71	1.00	2.08	2.92	0.92	1.22	1.91	1.52	1.70	1.85
K17	0.15	0.23	0.57	0.93	0.93	0.93	0.45	0.53	0.77	1.24	2.12	2.81
K18	0.54	0.64	0.93	0.80	1.66	2.33	0.86	1.79	2.51	2.12	2.81	3.42

Buckley'in klasik bulanık AHP yönteminin adımları uygulanarak geometrik ortalama hesabı yapıldıktan sonra normalleştirilmiş ağırlık vektörü elde edilmektedir (Tablo 6.4).

Tablo 6.4. *Bulanık Z-AHP için geometrik ortalama değerleri*

Kriter	Geometrik Ortalama		
K1	0,903	1,454	2,049
K2	0,654	0,868	1,221
K3	0,455	0,697	1,099
K4	0,298	0,409	0,639
K5	0,242	0,317	0,498
K6	0,728	1,081	1,501
K7	0,848	1,442	2,036
K8	0,348	0,526	0,922
K9	0,688	1,031	1,495
K10	0,671	1,071	1,658
K11	0,600	0,836	1,131
K12	0,446	0,607	0,868
K13	1,423	2,306	3,101
K14	0,366	0,483	0,745
K15	0,731	0,956	1,240
K16	0,701	1,026	1,502
K17	0,513	0,794	1,242
K18	0,721	1,094	1,520
Toplam	11,335	16,998	24,467
Tersi	0,088225	0,058832	0,040871
Artan Sıra	0,040871	0,058832	0,088225

Örnek olarak kriter 1 için geometrik ortalama hesabı gösterilmektedir. İkili karşılaştırma matrisindeki her bir $\tilde{a}_{ij}$ parametresi için geometrik ortalama hesaplanmaktadır. Böylece, (n × n) boyutlu bir matris, (n × 1)'lik bir matrise dönüştürülmektedir.

$$\tilde{r}_i = \left[\prod_{j=1}^{n} \tilde{a}_{ij}\right]^{1/n}, i = 1,2,\dots,m \qquad (6.1)$$

=(1,00*1,390*1,230*3,229*4,445*0,316*0,316*1,201*0,502*0,354*0,563*1,587*0,185*3,037*0,942*0,585*1,193*0,928)$^{1/18}$ = 0,903

=(1,00*1,648*3,032*5,078*6,411*0,656*0,455*2,297*1,238*0,556*0,813*2,561*0,219*5,327*1,146*1,00*2,942*1,339)$^{1/18}$ = 1,454

=(1,00*1,843*4,769*6,911*7,799*1,003*0,587*4,272*2,510*0,737*1,390*3,302*0,343*6,868*1,359*1,710*4,626*1,587)$^{1/18}$ = 2,049

Tablo 6.5. *Normalize ağırlık vektörü ve durulaştırılmış normalize kriter ağırlıkları*

Kriter	Normalize Ağırlık Vektörü		
K1	0,037	0,086	0,181
K2	0,027	0,051	0,108
K3	0,019	0,041	0,097
K4	0,012	0,024	0,056
K5	0,010	0,019	0,044
K6	0,030	0,064	0,132
K7	0,035	0,085	0,180
K8	0,014	0,031	0,081
K9	0,028	0,061	0,132
K10	0,027	0,063	0,146
K11	0,025	0,049	0,100
K12	0,018	0,036	0,077
K13	0,058	0,136	0,274
K14	0,015	0,028	0,066
K15	0,030	0,056	0,109
K16	0,029	0,060	0,133
K17	0,021	0,047	0,110
K18	0,029	0,064	0,134

Örnek olarak, kriter 1'in normalize ağırlık vektörünün ($\widetilde{w}_1$) hesaplanışı gösterilmektedir. Her bir $\tilde{r}_i$ 'nin vektör toplamı bulunduktan sonra, toplam vektörünün tersi bulunup artan sırayla dizilmektedir. Ardından i kriterinin bulanık ağırlığını ($\widetilde{w}_i$) bulmak için her bir $\tilde{r}_i$ ters vektörle çarpılmaktadır.

$$\widetilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \oplus \ldots \oplus \tilde{r}_n)^{-1}$$

(0,903*0,040) = 0,037

(1,454*0,058) = 0,086

(2,049*0,088) = 0,181

$\widetilde{w}_1$ = (0,037 , 0,086 , 0,181)

Kriter 1 için bulanık ağırlık değerleri bulunduktan sonra, durulaştırılmış kriter ağırlıkları hesaplanmaktadır. Öncelikle, Denklem 5.5'de verilen durulaştırma yöntemi kullanılarak normalleştirilmiş ağırlık vektörü durulaştırılmaktadır (Tablo 6.6).

Tablo 6.6. Durulaştırılmış kriter ağırlıkları

W1	0,097192	**W10**	0,074934
W2	0,059145	**W11**	0,055659
W3	0,04939	**W12**	0,041534
W4	0,029172	**W13**	0,150786
W5	0,022767	**W14**	0,034385
W6	0,07235	**W15**	0,062952
W7	0,095981	**W16**	0,070485
W8	0,039363	**W17**	0,055986
W9	0,070331	**W18**	0,073057
Durulaştırılmış Kriter Ağırlıkları Toplamı (Wi)			1,155469

$$w_1 = \frac{0,037+2*0,086+0,181}{4} = 0,097$$

$$w_2 = \frac{0,027+2*0,051+0,108}{4} = 0,059$$

$$w_3 = \frac{0,019+2*0,041+ 0,097}{4} = 0,049$$

$$w_4 = \frac{0,012+2* 0,024+0,056}{4} = 0,029$$

$$w_5 = \frac{0,010+2*0,019+ 0,044}{4} = 0,022$$

$$w_6 = \frac{0,030+2* 0,064+0,132}{4} = 0,072$$

$$w_7 = \frac{0,035+2*0,085+ 0,180}{4} = 0,095$$

$$w_8 = \frac{0,014+2*0,031+ 0,081}{4} = 0,039$$

$$w_9 = \frac{0,028+2* 0,061+ 0,132}{4} = 0,070$$

$$w_{10} = \frac{0,027+2* 0,063+ 0,146}{4} = 0,074$$

$$w_{11} = \frac{0,025+2* 0,049+ 0,100}{4} = 0,055$$

$$w_{12} = \frac{0,018+2*0,036+ 0,077}{4} = 0,041$$

$$w_{13} = \frac{0,058+2* 0,136+ 0,274}{4} = 0,150$$

$$w_{14} = \frac{0,015+2*0,028+ 0,066}{4} = 0,034$$

$$w_{15} = \frac{0,030+2*0,056+0,109}{4} = 0,062$$

$$w_{16} = \frac{0,029+2*0,060+ 0,133}{4} = 0,070$$

$$w_{17} = \frac{0,021+2*0,047+0,110}{4} = 0,055$$

$$w_{18} = \frac{0,029+2*0,064+0,134}{4} = 0,073$$

Daha sonra durulaştırılmış ağırlıkların toplamları 1'e eşit olacak şekilde, normalizasyon işlemi yapılmaktadır. Durulaştırılmış kriter ağırlıklarının toplamı 1,155 olmaktadır. Her bir w_i değeri, 1,155 olarak bulunan ağırlık toplamına bölündükten sonra durulaştırılmış normalize kriter ağırlıkları elde edilmektedir (Tablo 6.7).

Tablo 6.7. *Durulaştırılmış normalize kriter ağırlığı*

K1	Teslimat maliyeti	0,084115
K2	Depolama ve sınıflandırma maliyeti	0,051187
K3	Sermaye maliyeti	0,042745
K4	Yönetim maliyeti	0,025247
K5	Ek maliyetler	0,019704
K6	Depolama ve sınıflandırmanın çevresel etkisi	0,062615
K7	Teslimat faaliyetlerinin çevresel etkisi	0,083066
K8	Çevresel görüntü kirliliği	0,034066
K9	Güvenilirlik/gizlilik	0,060868
K10	Trafik problemleri	0,064852
K11	Gönüllü kitle kaynaklı kurye istekliliği	0,04817
K12	Müşteri odaklılık	0,035945
K13	Teslimat hızı/süresi	0,130498
K14	Şeffaflık	0,029759
K15	Doğruluk	0,054482
K16	Teknolojik kitle ağı	0,061001
K17	Esneklik	0,048453
K18	Coğrafi yakınlık	0,063227

6.6. Alternatif Senaryolarının Sıralanması

Kriter ağırlıkları belirlendikten sonra, alternatiflerin puanlanması ve önceliklendirilmesi Bulanık Z-WASPAS prosedürü izlenerek gerçekleştirilmiştir. Bölüm 5.5'de anlatılan adımlar izlenerek matris oluşturulup işlemler yapılmaktadır. Bulanık Z-WASPAS yönteminin ilk aşamasında, karar matrisi dilsel terimler aracılığıyla oluşturulmuştur. Uzmanlar, her alternatifi belirlenen kriterler kapsamında değerlendirirken, bu yargılara ilişkin güvenilirlik düzeylerini de belirtmiştir. Kısıtlama ve güvenilirlik fonksiyonları için Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'de sunulan dilsel ölçekler esas alınarak KV'lerden değerlendirmeler toplanmıştır. Uzman 1, Uzman 2 ve Uzman 3'ten alınan cevaplara göre oluşturulan kısıtlama matrisi sırasıyla Ek 5'de, güvenilirlik matrisi Ek 6'da gösterilmiştir.

Dilsel ifadelerle bildirilen değerlendirmeler, ilgili dilsel ölçeklerde tanımlı bulanık Z-sayılar yardımıyla sayısallaştırılmıştır. Bunu takiben, karar matrisindeki Z-sayılar Denklem 5.5 – 5.8 kullanılarak sıradan bulanık sayılara dönüştürülmüş ve Tablo 6.8'de sunulan başlangıç karar matrisi elde edilmiştir.

Tablo 6.8. *Bulanık Z-sayıların sıradan bulanık sayılara çevrilmesi*

		A1			**A2**			**A3**			**A4**			**A5**		
Uzman1	**K1**	0,20	0,33	1,00	7,00	9,00	9,00	0,20	0,33	1,00	7,00	9,00	9,00	7,00	9,00	9,00
Uzman2	**K1**	0,77	2,32	3,87	0,77	2,32	3,87	0,08	0,11	0,18	0,71	0,71	0,71	7,00	9,00	9,00
Uzman3	**K1**	0,13	0,21	0,63	0,13	0,21	0,63	2,51	4,18	5,86	4,47	6,26	8,05	0,13	0,21	0,63
Uzman1	**K2**	7,00	9,00	9,00	5,00	7,00	9,00	7,00	9,00	9,00	5,00	7,00	9,00	3,00	5,00	7,00
Uzman2	**K2**	2,51	4,18	5,86	4,47	6,26	8,05	0,08	0,11	0,18	0,77	2,32	3,87	7,00	9,00	9,00
Uzman3	**K2**	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,77	2,32	3,87	0,08	0,11	0,18	0,77	2,32	3,87
Uzman1	**K3**	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	1,00	1,00	1,00	0,11	0,11	0,14	0,89	0,89	0,89
Uzman2	**K3**	0,08	0,11	0,18	2,51	4,18	5,86	0,08	0,11	0,18	0,71	0,71	0,71	4,47	6,26	8,05
Uzman3	**K3**	0,13	0,21	0,63	0,77	2,32	3,87	0,77	2,32	3,87	0,71	0,71	0,71	2,51	4,18	5,86
Uzman1	**K4**	0,71	2,12	3,54	3,87	5,42	6,97	0,71	2,12	3,54	2,32	3,87	5,42	5,42	6,97	6,97
Uzman2	**K4**	0,77	2,32	3,87	2,51	4,18	5,86	0,77	2,32	3,87	2,51	4,18	5,86	4,47	6,26	8,05
Uzman3	**K4**	0,71	0,71	0,71	0,08	0,11	0,18	0,71	0,71	0,71	0,13	0,21	0,63	0,08	0,11	0,18
Uzman1	**K5**	0,10	0,14	0,24	0,14	0,24	0,71	0,14	0,24	0,71	0,77	2,32	3,87	0,77	2,32	3,87
Uzman2	**K5**	0,71	0,71	0,71	2,51	4,18	5,86	0,77	2,32	3,87	0,71	0,71	0,71	4,47	6,26	8,05
Uzman3	**K5**	0,77	2,32	3,87	0,08	0,11	0,18	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,08	0,11	0,18
Uzman1	**K6**	0,84	2,51	4,18	0,84	2,51	4,18	0,84	2,51	4,18	2,51	4,18	5,86	0,84	2,51	4,18
Uzman2	**K6**	0,08	0,11	0,18	2,51	4,18	5,86	0,77	2,32	3,87	0,77	2,32	3,87	7,00	9,00	9,00
Uzman3	**K6**	0,71	0,71	0,71	4,47	6,26	8,05	4,47	6,26	8,05	0,77	2,32	3,87	7,00	9,00	9,00
Uzman1	**K7**	0,10	0,13	0,18	2,68	4,47	6,26	0,10	0,13	0,18	2,51	4,18	5,86	2,68	4,47	6,26

Tablo 6.8. *Bulanık Z-sayıların sıradan bulanık sayılara çevrilmesi (devamı)*

		A1			**A2**			**A3**			**A4**			**A5**		
Uzman2	**K7**	0,77	2,32	3,87	4,47	6,26	8,05	0,77	2,32	3,87	2,51	4,18	5,86	7,00	9,00	9,00
Uzman3	**K7**	0,71	0,71	0,71	0,77	2,32	3,87	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	2,51	4,18	5,86
Uzman1	**K8**	0,14	0,24	0,71	0,71	0,71	0,71	0,14	0,24	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
Uzman2	**K8**	0,71	0,71	0,71	2,51	4,18	5,86	0,77	2,32	3,87	0,77	2,32	3,87	4,47	6,26	8,05
Uzman3	**K8**	0,71	0,71	0,71	0,77	2,32	3,87	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	2,51	4,18	5,86
Uzman1	**K9**	0,13	0,21	0,63	0,63	1,90	3,16	3,54	4,95	6,36	3,54	4,95	6,36	4,43	5,69	5,69
Uzman2	**K9**	2,51	4,18	5,86	4,47	6,26	8,05	2,51	4,18	5,86	4,47	6,26	8,05	7,00	9,00	9,00
Uzman3	**K9**	0,77	2,32	3,87	0,13	0,21	0,63	0,13	0,21	0,63	0,71	0,71	0,71	0,08	0,11	0,18
Uzman1	**K10**	0,09	0,09	0,11	2,68	4,47	6,26	0,09	0,09	0,11	7,00	9,00	9,00	7,00	9,00	9,00
Uzman2	**K10**	2,51	4,18	5,86	4,47	6,26	8,05	0,71	0,71	0,71	2,51	4,18	5,86	7,00	9,00	9,00
Uzman3	**K10**	0,13	0,21	0,63	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,77	2,32	3,87	0,77	2,32	3,87
Uzman1	**K11**	0,77	0,77	0,77	2,32	3,87	5,42	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	2,32	3,87	5,42
Uzman2	**K11**	0,71	0,71	0,71	4,47	6,26	8,05	0,71	0,71	0,71	2,51	4,18	5,86	7,00	9,00	9,00
Uzman3	**K11**	0,13	0,21	0,63	2,51	4,18	5,86	4,47	6,26	8,05	2,51	4,18	5,86	4,47	6,26	8,05
Uzman1	**K12**	0,84	0,84	0,84	2,68	4,47	6,26	0,89	2,68	4,47	0,89	2,68	4,47	4,47	6,26	8,05
Uzman2	**K12**	0,77	2,32	3,87	2,51	4,18	5,86	0,77	2,32	3,87	0,71	0,71	0,71	7,00	9,00	9,00
Uzman3	**K12**	4,47	6,26	8,05	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
Uzman1	**K13**	5,00	7,00	9,00	7,00	9,00	9,00	5,00	7,00	9,00	5,00	7,00	9,00	7,00	9,00	9,00
Uzman2	**K13**	2,51	4,18	5,86	4,47	6,26	8,05	0,77	2,32	3,87	2,51	4,18	5,86	7,00	9,00	9,00
Uzman3	**K13**	4,47	6,26	8,05	0,77	2,32	3,87	2,51	4,18	5,86	0,77	2,32	3,87	0,77	2,32	3,87
Uzman1	**K14**	2,68	4,47	6,26	4,18	5,86	7,53	2,68	4,47	6,26	4,47	6,26	8,05	7,00	9,00	9,00
Uzman2	**K14**	2,51	4,18	5,86	2,51	4,18	5,86	0,77	2,32	3,87	0,71	0,71	0,71	4,47	6,26	8,05

Tablo 6.8. *Bulanık Z-sayıların sıradan bulanık sayılara çevrilmesi (devamı)*

		A1			**A2**			**A3**			**A4**			**A5**		
Uzman3	**K14**	4,47	6,26	8,05	0,77	2,32	3,87	0,77	2,32	3,87	2,51	4,18	5,86	0,77	2,32	3,87
Uzman1	**K15**	5,00	7,00	9,00	5,00	7,00	9,00	5,00	7,00	9,00	7,00	9,00	9,00	7,00	9,00	9,00
Uzman2	**K15**	0,77	2,32	3,87	4,47	6,26	8,05	0,71	0,71	0,71	2,51	4,18	5,86	7,00	9,00	9,00
Uzman3	**K15**	2,51	4,18	5,86	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,77	2,32	3,87	0,71	0,71	0,71
Uzman1	**K16**	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,77	2,32	3,87	0,77	2,32	3,87
Uzman2	**K16**	0,77	2,32	3,87	4,47	6,26	8,05	0,77	2,32	3,87	0,71	0,71	0,71	7,00	9,00	9,00
Uzman3	**K16**	0,71	0,71	0,71	2,51	4,18	5,86	0,77	2,32	3,87	0,77	2,32	3,87	2,51	4,18	5,86
Uzman1	**K17**	0,14	0,24	0,71	0,71	2,12	3,54	0,77	2,32	3,87	0,14	0,24	0,71	0,71	2,12	3,54
Uzman2	**K17**	0,77	2,32	3,87	4,47	6,26	8,05	0,77	2,32	3,87	2,51	4,18	5,86	7,00	9,00	9,00
Uzman3	**K17**	0,77	2,32	3,87	0,77	2,32	3,87	2,51	4,18	5,86	0,77	2,32	3,87	2,51	4,18	5,86
Uzman1	**K18**	0,08	0,11	0,18	0,13	0,21	0,63	7,00	9,00	9,00	0,13	0,21	0,63	0,13	0,21	0,63
Uzman2	**K18**	0,77	2,32	3,87	4,47	6,26	8,05	0,71	0,71	0,71	2,51	4,18	5,86	7,00	9,00	9,00
Uzman3	**K18**	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,77	2,32	3,87	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71

Uzman 1, Uzman 2 ve Uzman 3'ün kararlarının geometrik ortalamaları alınarak ikili başlangıç karar matrisi oluşturulmuştur (Tablo 6.9).

Tablo 6.9. *Başlangıç karar matrisi*

Kriter	A1			A2			A3			A4			A5		
K1	0,270	0,547	1,348	0,882	1,640	2,804	0,340	0,535	1,023	2,808	3,416	3,714	1,837	2,575	3,714
K2	2,316	2,986	3,340	2,510	3,141	3,714	0,751	1,318	1,853	0,672	1,212	1,853	2,534	4,711	6,249
K3	0,207	0,274	0,469	1,203	2,056	2,727	0,393	0,634	0,891	0,382	0,382	0,415	2,157	2,861	3,481
K4	0,729	1,516	2,131	0,913	1,354	1,953	0,729	1,516	2,131	0,904	1,506	2,718	1,238	1,685	2,172
K5	0,381	0,615	0,864	0,303	0,476	0,911	0,426	0,729	1,246	0,729	1,051	1,246	0,647	1,168	1,785
K6	0,359	0,579	0,814	2,110	4,036	5,821	1,426	3,318	5,071	1,146	2,827	4,445	3,448	5,880	6,972
K7	0,379	0,594	0,788	2,103	4,022	5,801	0,379	0,594	0,788	1,645	2,313	2,895	3,613	5,522	6,911
K8	0,414	0,490	0,707	1,112	1,901	2,522	0,426	0,729	1,246	0,729	1,051	1,246	1,995	2,646	3,218
K9	0,627	1,270	2,430	0,710	1,358	2,525	1,039	1,634	2,867	2,236	2,798	3,309	1,343	1,777	2,107
K10	0,301	0,423	0,743	2,040	2,705	3,291	0,350	0,350	0,381	2,388	4,439	5,888	3,361	5,731	6,795
K11	0,411	0,487	0,702	2,966	4,664	6,347	1,348	1,508	1,640	1,696	2,384	2,984	4,174	6,021	7,324
K12	1,426	2,300	2,966	1,682	2,365	2,960	0,788	1,640	2,305	0,765	1,103	1,308	2,808	3,416	3,714
K13	3,829	5,681	7,514	2,894	5,078	6,547	2,134	4,083	5,888	2,134	4,083	5,888	3,361	5,731	6,795
K14	3,111	4,893	6,658	2,011	3,847	5,548	1,172	2,890	4,545	1,995	2,646	3,218	2,894	5,078	6,547
K15	2,134	4,083	5,888	2,510	3,141	3,714	1,357	1,518	1,651	2,388	4,439	5,888	3,260	3,855	3,855
K16	0,322	0,464	0,598	0,881	1,168	1,545	0,332	0,690	1,055	0,751	1,563	2,197	2,388	4,439	5,888
K17	0,439	1,084	2,197	1,348	3,137	4,795	1,146	2,827	4,445	0,650	1,318	2,522	2,316	4,306	5,712
K18	0,350	0,565	0,794	0,737	0,977	1,533	1,565	2,455	2,910	0,608	0,854	1,378	0,855	1,103	1,591

Başlangıç karar matrisi normalize edilerek Tablo 6.10'da sunulan normalize karar matrisi elde edilmiştir.

Tablo 6.10. *Normalize karar matrisi*

Kriter	A1			A2			A3			A4			A5		
K1	0,073	0,160	0,480	0,237	0,480	0,999	0,092	0,157	0,364	0,756	1,000	1,323	0,495	0,754	1,323
K2	0,371	0,634	1,318	0,402	0,667	1,466	0,120	0,280	0,731	0,107	0,257	0,731	0,405	1,000	2,466
K3	0,059	0,096	0,217	0,345	0,719	1,264	0,113	0,221	0,413	0,110	0,133	0,192	0,620	1,000	1,613
K4	0,268	0,900	1,722	0,336	0,804	1,578	0,268	0,900	1,722	0,332	0,894	2,196	0,455	1,000	1,754
K5	0,213	0,526	1,186	0,170	0,408	1,250	0,239	0,624	1,710	0,408	0,900	1,710	0,362	1,000	2,449
K6	0,052	0,099	0,236	0,303	0,686	1,688	0,205	0,564	1,471	0,164	0,481	1,289	0,495	1,000	2,022
K7	0,055	0,108	0,218	0,304	0,728	1,606	0,055	0,108	0,218	0,238	0,419	0,801	0,523	1,000	1,913
K8	0,128	0,185	0,354	0,345	0,719	1,264	0,132	0,276	0,625	0,226	0,397	0,625	0,620	1,000	1,613
K9	0,189	0,454	1,087	0,215	0,485	1,129	0,314	0,584	1,282	0,676	1,000	1,480	0,406	0,635	0,942
K10	0,044	0,074	0,221	0,300	0,472	0,979	0,052	0,061	0,113	0,351	0,775	1,752	0,495	1,000	2,022
K11	0,056	0,081	0,168	0,405	0,775	1,520	0,184	0,250	0,393	0,232	0,396	0,715	0,570	1,000	1,754
K12	0,384	0,674	1,056	0,453	0,692	1,054	0,212	0,480	0,821	0,206	0,323	0,466	0,756	1,000	1,323
K13	0,510	0,991	1,963	0,385	0,886	1,710	0,284	0,712	1,538	0,284	0,712	1,538	0,447	1,000	1,775
K14	0,467	0,964	2,140	0,302	0,758	1,783	0,176	0,569	1,461	0,300	0,521	1,034	0,435	1,000	2,104
K15	0,362	0,920	1,806	0,426	0,708	1,139	0,230	0,342	0,506	0,405	1,000	1,806	0,554	0,868	1,182
K16	0,055	0,105	0,251	0,150	0,263	0,647	0,056	0,155	0,442	0,128	0,352	0,920	0,405	1,000	2,466
K17	0,077	0,252	0,949	0,236	0,728	2,070	0,201	0,656	1,919	0,114	0,306	1,089	0,405	1,000	2,466
K18	0,120	0,230	0,507	0,253	0,398	0,979	0,538	1,000	1,859	0,209	0,348	0,881	0,294	0,449	1,016

Bu tezde tüm kriterler fayda türünde kabul edildiğinden, normalizasyon hesapları bu varsayım altında yürütülmüştür. Örneğin Kriter 1 için, önce Tablo 6.10'da yer alan her bir bulanık sayı değeri $\tilde{x}_{ij}$ arasından en büyük olanı belirlenmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, Kriter 1'in bir fayda kriteri olmasıdır. Bu nedenle maksimum değer esas alınmıştır. Eğer söz konusu kriter maliyet türünde olsaydı, bu kez en küçük değerin seçilmesi gerekecekti. En büyük (veya en küçük) değerin belirlenmesi amacıyla, $\tilde{x}_{ij}$ için Denklem 5.14 kullanılarak skor değerleri hesaplanabilir. Her bir kriter için elde edilen

skorlar incelendiğinde, maksimum skoru veren bulanık sayılar Tablo 6.11'de sunulmuştur.

Tablo 6.11. *Bulanık Z-WASPAS için en büyük skor değerini veren bulanık sayılar*

Kriter	**Maksimum değer**			**Kriter**	**Maksimum değer**		
K1	2,808	3,416	3,714	**K10**	3,361	5,731	6,795
K2	2,534	4,711	6,249	**K11**	4,174	6,021	7,324
K3	2,157	2,861	3,481	**K12**	2,808	3,416	3,714
K4	1,238	1,685	2,718	**K13**	3,829	5,731	7,514
K5	0,729	1,168	1,785	**K14**	3,111	5,078	6,658
K6	3,448	5,880	6,972	**K15**	3,260	4,439	5,888
K7	3,613	5,522	6,911	**K16**	2,388	4,439	5,888
K8	1,995	2,646	3,218	**K17**	2,316	4,306	5,712
K9	2,236	2,798	3,309	**K18**	1,565	2,455	2,910

Bunu takiben, her bir kriter–alternatif çifti için $\tilde{x}_{ij}$ değerleri, ilgili kriterdeki maksimum $\tilde{x}_{ij}$ değerine bulanık bölme uygulanarak normalize edilmiştir.

Örneğin, Kriter 1 ele alındığında Tablo 6.12'deki değerlerin hesaplamaları şekildedir;

Tablo 6.12. *Bulanık Z-WASPAS - kriter 1 için normalize karar matrisi değerleri*

Kriter	**A1**			**A2**			**A3**			**A4**			**A5**		
K1	0,073	0,160	0,480	0,237	0,480	0,999	0,092	0,157	0,364	0,756	1,000	1,323	0,495	0,754	1,323

K1-A1: $\left(\frac{0,270}{3,714}, \frac{0,547}{3,416}, \frac{1,348}{2,808}\right)$ = (0,073, 0,160, 0,480)

K1-A2: $\left(\frac{0,882}{3,714}, \frac{1,640}{3,416}, \frac{2,804}{2,808}\right)$ = (0,237, 0,480, 0,999)

K1-A3: $\left(\frac{0,340}{3,714}, \frac{0,535}{3,416}, \frac{1,023}{2,808}\right)$ = (0,092, 0,157, 0,364)

K1-A4: $\left(\frac{2,808}{3,714}, \frac{3,416}{3,416}, \frac{3,714}{2,808}\right)$ = (0,756, 1,000, 1,323)

K1-A5: $\left(\frac{1,837}{3,714}, \frac{2,575}{3,416}, \frac{3,714}{2,808}\right)$ = (0,495, 0,754, 1,323)

Denklemler 5.11 ve 5.12 kullanılarak, WSM ve WPM yaklaşımlarına karşılık gelen ağırlıklı normalize karar matrisleri oluşturulmuş olup sonuçlar sırasıyla Tablo 6.13 ve Tablo 6.14'de sunulmuştur.

Tablo 6.13. *Bulanık Z-WASPAS - ağırlıklı toplam modeli için normalize edilmiş bulanık karar matrisi*

Kriter	A1			A2			A3			A4			A5		
K1	0,003	0,014	0,087	0,009	0,041	0,181	0,003	0,013	0,066	0,028	0,086	0,239	0,018	0,064	0,239
K2	0,010	0,032	0,142	0,011	0,034	0,158	0,003	0,014	0,079	0,003	0,013	0,079	0,011	0,051	0,266
K3	0,001	0,004	0,021	0,006	0,029	0,123	0,002	0,009	0,040	0,002	0,005	0,019	0,012	0,041	0,156
K4	0,003	0,022	0,097	0,004	0,019	0,089	0,003	0,022	0,097	0,004	0,022	0,124	0,006	0,024	0,099
K5	0,002	0,010	0,052	0,002	0,008	0,055	0,002	0,012	0,075	0,004	0,017	0,075	0,004	0,019	0,108
K6	0,002	0,006	0,031	0,009	0,044	0,224	0,006	0,036	0,195	0,005	0,031	0,171	0,015	0,064	0,268
K7	0,002	0,009	0,039	0,011	0,062	0,288	0,002	0,009	0,039	0,008	0,036	0,144	0,018	0,085	0,344
K8	0,002	0,006	0,029	0,005	0,022	0,103	0,002	0,009	0,051	0,003	0,012	0,051	0,009	0,031	0,131
K9	0,005	0,028	0,143	0,006	0,029	0,149	0,009	0,035	0,169	0,019	0,061	0,195	0,011	0,039	0,124
K10	0,001	0,005	0,032	0,008	0,030	0,143	0,001	0,004	0,017	0,010	0,049	0,256	0,014	0,063	0,296
K11	0,001	0,004	0,017	0,010	0,038	0,152	0,005	0,012	0,039	0,006	0,019	0,071	0,014	0,049	0,175
K12	0,007	0,024	0,081	0,008	0,025	0,081	0,004	0,017	0,063	0,004	0,012	0,036	0,014	0,036	0,101
K13	0,030	0,134	0,537	0,022	0,120	0,468	0,017	0,097	0,421	0,017	0,097	0,421	0,026	0,136	0,486
K14	0,007	0,027	0,141	0,005	0,022	0,117	0,003	0,016	0,096	0,004	0,015	0,068	0,007	0,028	0,138
K15	0,011	0,052	0,198	0,013	0,040	0,125	0,007	0,019	0,055	0,012	0,056	0,198	0,017	0,049	0,129
K16	0,002	0,006	0,033	0,004	0,016	0,086	0,002	0,009	0,059	0,004	0,021	0,122	0,012	0,060	0,327
K17	0,002	0,012	0,104	0,005	0,034	0,227	0,004	0,031	0,210	0,002	0,014	0,119	0,008	0,047	0,270
K18	0,004	0,015	0,068	0,007	0,026	0,131	0,016	0,064	0,249	0,006	0,022	0,118	0,009	0,029	0,136

Tablo 6.14. *Bulanık Z-WASPAS - ağırlıklı çarpım modeli için normalize edilmiş bulanık karar matrisi*

Kriter	A1			A2			A3			A4			A5		
K1	0,622	0,855	0,973	0,771	0,939	1,000	0,649	0,853	0,963	0,951	1,000	1,010	0,880	0,976	1,010
K2	0,899	0,977	1,007	0,906	0,980	1,010	0,796	0,937	0,992	0,786	0,933	0,992	0,907	1,000	1,024
K3	0,761	0,908	0,972	0,902	0,987	1,004	0,809	0,940	0,984	0,807	0,921	0,970	0,955	1,000	1,009
K4	0,928	0,997	1,007	0,940	0,995	1,006	0,928	0,997	1,007	0,940	0,997	1,010	0,957	1,000	1,007
K5	0,934	0,988	1,002	0,925	0,983	1,002	0,939	0,991	1,005	0,961	0,998	1,005	0,956	1,000	1,009
K6	0,675	0,863	0,958	0,854	0,976	1,016	0,810	0,964	1,012	0,787	0,954	1,008	0,911	1,000	1,021
K7	0,594	0,828	0,949	0,808	0,973	1,017	0,594	0,828	0,949	0,773	0,929	0,992	0,890	1,000	1,023
K8	0,846	0,949	0,985	0,917	0,990	1,003	0,848	0,961	0,993	0,886	0,972	0,993	0,962	1,000	1,007
K9	0,803	0,953	1,002	0,816	0,957	1,003	0,858	0,968	1,007	0,950	1,000	1,011	0,888	0,973	0,998
K10	0,634	0,849	0,959	0,839	0,954	0,999	0,648	0,839	0,942	0,858	0,984	1,016	0,902	1,000	1,019
K11	0,750	0,884	0,957	0,914	0,988	1,010	0,845	0,934	0,977	0,864	0,955	0,992	0,945	1,000	1,014
K12	0,929	0,986	1,001	0,941	0,987	1,001	0,888	0,974	0,996	0,886	0,960	0,986	0,979	1,000	1,005
K13	0,832	0,999	1,040	0,770	0,984	1,032	0,709	0,955	1,025	0,709	0,955	1,025	0,802	1,000	1,034
K14	0,951	0,999	1,011	0,924	0,992	1,009	0,892	0,984	1,006	0,924	0,982	1,001	0,947	1,000	1,011
K15	0,895	0,995	1,018	0,911	0,981	1,004	0,852	0,941	0,980	0,906	1,000	1,018	0,937	0,992	1,005
K16	0,680	0,873	0,961	0,777	0,923	0,988	0,683	0,894	0,977	0,761	0,939	0,998	0,887	1,000	1,026
K17	0,755	0,938	0,999	0,854	0,985	1,015	0,839	0,981	1,014	0,788	0,946	1,002	0,906	1,000	1,019
K18	0,753	0,910	0,980	0,832	0,942	0,999	0,920	1,000	1,018	0,811	0,934	0,996	0,849	0,950	1,000

Örnek olarak Kriter 1 için, ağırlıklı toplam (WSM) ve ağırlıklı çarpım (WPM) modellerine ait karar matrisi değerleri hesaplanmıştır (bkz. Tablo 6.13 ve Tablo 6.14). Bu amaçla, Kriter 1'e karşılık gelen normalize karar matrisi değerleri, Tablo 6.7'de $\widetilde{w}_1$ verilen bulanık ağırlığı ile bulanık çarpma işlemi kullanılarak Tablo 6.15'de sunulmuştur.

Tablo 6.15. Bulanık Z-WASPAS - kriter 1 için ağırlıklı toplam karar matrisi değerleri

Kriter	A1			A2			A3			A4			A5		
K1	0,073	0,160	0,480	0,237	0,480	0,999	0,092	0,157	0,364	0,756	1,000	1,323	0,495	0,754	1,323
$\widetilde{w}_1$	(0,037, 0,086, 0,181)														
$\widetilde{\tilde{x}}_{i1}\widetilde{w}_1$	0,003	0,014	0,087	0,009	0,041	0,181	0,003	0,013	0,066	0,028	0,086	0,239	0,018	0,064	0,239

Kriter 1'e ait normalize karar matrisi değerleri, Tablo 6.7'de verilen $\widetilde{w}_1$ bulanık ağırlığı kullanılarak bulanık üs alma yolu ile dönüştürülmüş olup elde edilen sonuçlar Tablo 6.16'da sunulmuştur.

Tablo 6.16. *Bulanık Z-WASPAS - kriter 1 için ağırlıklı çarpım karar matrisi değerleri*

Kriter	A1			A2			A3			A4			A5		
K1	0,073	0,160	0,480	0,237	0,480	0,999	0,092	0,157	0,364	0,756	1,000	1,323	0,495	0,754	1,323
$\widetilde{w}_1$	(0,037, 0,086, 0,181)														
$\widetilde{\tilde{x}}_{i1}^{\widetilde{w}_1}$	0,622	0,855	0,973	0,771	0,939	1,000	0,649	0,853	0,963	0,951	1,000	1,010	0,880	0,976	1,010

Denklem 5.13 kullanılarak, her alternatif için bütünleşik fayda fonksiyonu değeri $\widetilde{U}_i$ hesaplanmıştır. Her bir alternatif için elde edilen WSM ve WPM bulanık karar matrisi değerlerinin, toplam ve çarpım işlemleri uygulandıktan sonraki; ancak λ ve $1-\lambda$ katsayılarıyla ölçeklendirilmeden önceki hali Tablo 6.17'de sunulmuştur.

Tablo 6.17. *Bulanık Z-WASPAS - ağırlıklı toplam modeli ve ağırlıklı çarpım modeli bulanık karar matrisi son durumu*

	$\sum_{j=1}^{n} \widetilde{\tilde{x}}_{ij}\widetilde{w}_j$			$\prod_{j=1}^{n} \widetilde{\tilde{x}}_{ij}^{\widetilde{w}_j}$		
A1	0,093	0,409	1,852	0,012	0,264	0,798
A2	0,145	0,638	2,898	0,073	0,609	1,124
A3	0,091	0,429	2,020	0,017	0,326	0,853
A4	0,141	0,587	2,505	0,052	0,517	1,022
A5	0,222	0,914	3,793	0,195	0,894	1,271

Toplama ve çarpma dâhil tüm aritmetik işlemler bulanık sayılar üzerinde yürütüldüğünden, söz konusu işlemler sırasıyla bulanık toplama ve bulanık çarpma operatörleriyle gerçekleştirilmiştir. Karar verici tarafından belirlenen ve birleşik optimallik katsayısını ifade eden λ [0,1] aralığında değer alır. Uygulamada, WSM ve

WPM yaklaşımlarının bütünleşik fayda fonksiyonuna eşit katkı sunduğu varsayımı sıkça benimsendiğinden, bu çalışmada $\lambda = 0{,}5$ seçilmiştir (Ecer, 2020). λ ve $(1-\lambda)$ ile ağırlıklandırma sonrasında elde edilen bütünleşik fayda değerleri Tablo 6.18'de sunulmuştur.

Tablo 6.18. *Bulanık Z-WASPAS için her bir alternatife ait bütünleşik fayda fonksiyonu* değerleri

ALTERNATİF	$\widetilde{U}_i$		
A1	0,052	0,336	1,325
A2	0,109	0,623	2,011
A3	0,054	0,377	1,436
A4	0,096	0,552	1,763
A5	0,208	0,904	2,532

Örnek olarak Alternatif 1 için bütünleşik fayda fonksiyonu değeri hesaplanmış ve ilgili hesaplama adımları Tablo 6.19'da ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Tablo 6.19. *Bulanık Z-WASPAS - alternatif 1 için bütünleşik fayda fonksiyonu değeri*

ALTERNATİF	**A1**		
$\sum_{j=1}^{n} \tilde{\tilde{x}}_{ij}\widetilde{w}_j$	0,093	0,409	1,852
λ	0,5		
$\lambda \sum_{j=1}^{n} \tilde{\tilde{x}}_{ij}\widetilde{w}_j$			
$\prod_{j=1}^{n} \tilde{\tilde{x}}_{ij}^{\widetilde{w}_j}$	0,012	0,264	0,798
$1-\lambda$	0,5		
$(1-\lambda)\prod_{j=1}^{n} \tilde{\tilde{x}}_{ij}^{\widetilde{w}_j}$			
$\widetilde{U}_i$	(0,052 , 0,336 , 1,325)		

Bütünleşik fayda değerleri, Denklem 5.14 kullanılarak durulaştırılmış ve her alternatif için bir skor elde edilmiştir. Elde edilen bu durulaştırılmış skorlar azalan düzende sıralanmış olup böylece en iyi alternatif belirlenmiştir (Tablo 6.20).

Tablo 6.20. *Bulanık Z-WASPAS - alternatiflerin skor değerleri ve sıralamaları*

Alternatif	Skor Değeri	Normalize Skor Değeri	Sıralama
A1	0,512922312	0,135145008	5
A2	0,842005455	0,221851987	2
A3	0,561474511	0,147937564	4
A4	0,741357847	0,195333309	3
A5	1,137587693	0,299732132	1

6.7. Sonuçların Yorumlanması

Elde edilen bulgular, sürdürülebilir kentsel son adım lojistikte kitle kaynaklı teslimat modellerinin tasarımı ve uygulanmasına ilişkin önemli çıkarımlar sunmaktadır. Analiz sonuçları hem yöntemsel hem de uygulamaya yönelik açılardan değerlendirildiğinde, literatürdeki mevcut boşlukları doldurmakta ve KV'ler için somut yönlendirmeler sağlamaktadır.

Bulanık Z-AHP analizi sonucunda elde edilen kriter ağırlıkları, sürdürülebilir kentsel lojistikte KV'lerin önceliklerini yansıtmaktadır. Teslimat hızı/süresi (K13) en yüksek ağırlığa sahip kriter olarak belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında ortaya çıkan sonuçlar, e-ticaret bağlamında müşteri beklentilerinin belirleyici rolünü ortaya koymaktadır. Teslimat maliyeti (K1) ve teslimat faaliyetlerinin çevresel etkisi (K7) sırasıyla ikinci ve üçüncü en önemli kriterler olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, sürdürülebilir lojistikte ekonomik ve çevresel boyutların eşzamanlı optimizasyonunun gerekliliğini göstermektedir. Trafik sorunları (K10), coğrafi yakınlık (K18) ve teknolojik kitle ağı (K16) gibi kriterlerin orta-yüksek ağırlıklara sahip olması, kentsel lojistikte altyapı, teknoloji ve erişilebilirlik boyutlarının stratejik önemini yansıtmaktadır. Yönetim maliyeti (K4) ve ek maliyetler (K5) gibi kriterlerin görece düşük ağırlıklara sahip olması, uzmanların bu faktörleri ikincil önemde değerlendirdiğini göstermektedir. Ancak bu, söz konusu kriterlerin önemsiz olduğu anlamına gelmemekte, yalnızca diğer performans boyutlarının karar sürecinde daha belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır.

A5 alternatifinin (Mikro-Hub ve Taşıma Araçlarının Kitle Kaynaklı Kullanımı + Kitle Kaynaklı Teslimat) tüm değerlendirme yöntemlerinde birinci sırada yer alması, entegre ve iş birliğine dayalı lojistik sistemlerin sürdürülebilirlik performansı açısından belirgin avantajlar sağladığını göstermektedir. Bu alternatifte, hem mikro-hub hem de taşıma araçlarının paylaşımlı kullanımını ve aynı zamanda gönüllü kitle kaynaklı teslimatı birleştirerek en kapsamlı ve entegre yaklaşımı temsil etmektedir. Yoğun iş birlikçi

stratejilerin üstünlüğü birtakım faktörlerden kaynaklanmaktadır. Özellikle en yüksek ağırlığa sahip kriterler bağlamında daha net görülmektedir. Teslimat hızı/süresi (K13) açısından bakıldığında, mikro-hub'ların stratejik noktalarda konumlandırılması ve gönüllü kuryelerin esnek katılımı, son adım mesafesini kısaltmakta ve teslimat sürelerinin kısaltılmasını sağlamaktadır. Talep dalgalanmalarına, pik saatlere veya kampanya dönemlerine gönüllü kuryelerle hızlı tepki verilebilmesi, sistemin hizmet düzeyi ve zamanında teslim performansını güçlendirmektedir. Teslimat maliyeti (K1) kriteri açısından, hem tesis hem araç hem de işgücünün paylaşımlı kullanımı; sabit maliyetleri düşürmekte, kapasitenin daha verimli kullanılmasına imkân tanımakta ve birim başına maliyetleri aşağı çekmektedir. Bu yönüyle A5, geleneksel kurye ağına dayalı daha kapalı modellere kıyasla hem ölçek ekonomisinden hem de esnek kapasite yönetiminden eşzamanlı olarak faydalanmaktadır. Çevresel etki (K7) bakımından da A5 senaryosu, sürdürülebilirlik hedefleriyle en uyumlu yapı olarak öne çıkmaktadır. Mikro-hub tabanlı konsolidasyon sayesinde dağıtım turlarının sayısı ve toplam kat edilen mesafe azalmakta; e-bisiklet ve elektrikli araç gibi düşük emisyonlu taşıtların yaygın kullanımı, hem hava kirliliğini hem de karbon ayak izini azaltmaktadır. Bunun yanında, trafik sorunları (K10), coğrafi yakınlık (K18) ve teknolojik kitle ağı (K16) gibi orta-yüksek önem düzeyine sahip kriterlerde de A5'in avantajı belirgindir. Mikro-hub'ların kentsel merkezi bölgelere yakın konumlanması, yoğun trafik alanlarında teslimat verimliliğini artırmakta; güçlü dijital platform altyapısı ve geniş kitle ağı, sipariş–kurye eşleşmesini hızlandırarak hem coğrafi erişilebilirliği hem de ağ etkinliğini yükseltmektedir. Dolayısıyla A5, yüksek ağırlığa sahip teslimat hızı, maliyet ve çevresel etki kriterlerinde sağladığı üstün performansı; trafik, erişilebilirlik ve teknolojik ağ altyapısı gibi destekleyici boyutlardaki görece iyi performansla birleştirerek, sürdürülebilir kentsel son adım lojistikte bütüncül ve dengeli bir çözüm seti sunmaktadır. Bu çok boyutlu üstünlük, diğer senaryolara kıyasla A5'in sistematik olarak en üst sırada yer almasını açıklamakta ve kentsel lojistikte entegrasyon düzeyi arttıkça sürdürülebilirlik performansının da güçlendiğine işaret etmektedir.

A2 senaryosu (Mikro-Hub ve Taşıma Araçlarının Paylaşımı, Geleneksel Kurye Sistemi) tüm yöntemlerde ikinci sırada yer almakta ve bu durum, özellikle tesis ve araç paylaşımının teslimat maliyeti (K1) ve belirli ölçüde çevresel etki (K7) üzerindeki olumlu etkisiyle açıklanabilmektedir. Mikro-hub ve araç paylaşımı, konsolidasyon ve rota kısaltma sayesinde maliyet ve emisyonları azaltmakta, ancak işgücünün geleneksel kurye sistemiyle sınırlı kalması, teslimat hızı (K13) ve talep dalgalanmalarına esneklik

açısından A5'e kıyasla daha sınırlı bir performans üretmektedir. Buna rağmen, kitle kaynaklı işgücünün tamamen devreye alınamadığı durumlarda A2 senaryosu, yüksek ağırlıklı maliyet ve çevresel etki kriterlerinde sağladığı iyileşmeler nedeniyle güçlü bir "geçiş senaryosu" olarak öne çıkmaktadır.

A4 senaryosu (LHS'nin Kendi Mikro-Hub'u + Kitle Kaynaklı Teslimat) üçüncü sırada yer almakta ve merkezi kontrol ile esnek işgücü arasında "kısmi entegrasyon" niteliği taşımaktadır. Kitle kaynaklı teslimat, teslimat hızı (K13) ve hizmet düzeyi açısından A4'e belirgin bir katkı sağlamakta; ancak mikro-hub altyapısının yalnızca LHS'ye ait olması, tesis ve araç paylaşımından kaynaklanabilecek maliyet avantajlarını sınırlamaktadır. Bu durum özellikle maliyet (K1) ve belirli ölçüde çevresel etki (K7) açısından A4'ü A2 ve A5'in gerisinde bırakmaktadır. Bununla birlikte, kitle kaynaklı işgücünün sisteme dâhil edilmesi, teknolojik kitle ağı (K16) ve esneklikle ilişkili sosyal/teknik kriterlerde A4'ün, yalnızca altyapı paylaşımına dayalı senaryolara göre daha iyi konumlanmasını sağlamaktadır.

Sınırlı entegrasyon içeren modellerden A3 (PUDO Noktaları) ve A1 (Yalnızca Mikro-Hub Paylaşımı) genel olarak en düşük performansı sergilemiştir. A3 senaryosunda PUDO noktaları, belli ölçüde operasyonel esneklik sunsa da son kullanıcının pakete erişmek için ek yolculuk yapma zorunluluğu, teslimat hızı/süresi (K13) ve kullanıcı açısından algılanan hizmet düzeyini olumsuz etkilemektedir. Ayrıca, son kullanıcı yolculuklarının artması ve bu yolculukların çoğunlukla bireysel araçlarla yapılma ihtimali, çevresel etki (K7) açısından da modelin performansını zayıflatmaktadır. A1 senaryosunun zayıf performansı ise, iş birliğinin yalnızca depolama aşamasında kalması ve taşıma ile işgücü bileşenlerine yeterince yansımamasından kaynaklanmaktadır. Mikro-hub paylaşımı belirli bir verimlilik sağlayabilse de, yüksek ağırlıklı teslimat hızı (K13), maliyet (K1) ve çevresel etki (K7) kriterlerinde, taşıma ve işgücünde entegrasyon sağlamayan bu modelin katkısı sınırlı kalmaktadır.

Kriter ağırlıklarıyla birlikte değerlendirildiğinde, elde edilen sıralama; KV'lerin teslimat hızı, maliyet ve çevresel etkiyi önceliklendirdiği bir bağlamda, entegrasyon düzeyi yüksek, çok bileşenli ve kitle kaynaklı çözümlerin sistematik olarak öne çıktığını göstermektedir. Yönetim maliyeti (K4) ve ek maliyetler (K5) gibi görece düşük ağırlıklı kriterlerde entegre modellerin daha dezavantajlı olabileceği varsayılsa da, bu kriterlerin ağırlıklarının düşük olması, genel sıralama üzerinde belirleyici bir etki yaratmamaktadır.

Dolayısıyla, sonuçlar; sürdürülebilir kentsel son adım lojistikte tesis, taşıma ve işgücü bileşenlerinde kademeli ama mümkün olduğunca yüksek düzeyde entegrasyonun, ağırlığı yüksek kritik performans göstergeleri (hız, maliyet, çevresel etki) üzerinde belirgin üstünlük sağladığını ortaya koymaktadır.

Kısmi entegrasyon modellerinin performansına bakılacak olursa, A2 alternatifi (Mikro-Hub ve Taşıma Araçlarının Paylaşımı, Geleneksel Kurye Sistemi), tüm yöntemlerde ikinci sırada yer almıştır. Bu bulgu, altyapı paylaşımının tek başına da anlamlı sürdürülebilirlik kazanımları sağlayabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, A5 ile arasındaki performans farkı düşük ve kitle kaynaklı teslimatın entegrasyonunun sağladığı ek değeri ortaya koymaktadır. A4 alternatifi (LHS'nin Kendi Mikro-Hub'u + Kitle Kaynaklı Teslimat), üçüncü sırada yer almıştır. Bu model, merkezi kontrol ile esnek işgücü arasında bir denge kurmakta ancak tam entegrasyon seviyesine ulaşamamaktadır. Sınırlı entegrasyon modellerinin zayıf performansına gelinecek olursa A3 alternatifi (PUDO Noktaları) ve A1 alternatifi (Yalnızca Mikro-Hub Paylaşımı), genel olarak düşük performans sergilemiştir. Bu bulgular, sürdürülebilir kentsel lojistikte parçalı çözümlerin yeterli olmadığını ve bütüncül yaklaşımlara ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

PUDO modelinin özellikle son kullanıcının ek seyahat yapma gereksinimi ve zaman kısıtları, bu modelin sürdürülebilirlik performansını düşürmektedir. A1 modelinin zayıf performansı, iş birliğinin yalnızca depolama aşamasında kalmasının ve teslimat süreçlerinde sağlanamamasının olumsuz etkilerini yansıtmaktadır.

6.8. Duyarlılık Analizi

Belirlenen λ değerlerine göre sonuçların duyarlılığını incelemek amacıyla, fayda fonksiyonları, skor değerleri ve sıralamalar λ'nin alt ve üst sınırları olan λ =0 ve λ =1 arasındaki değerler hesaplanmıştır. Fayda fonksiyonları dar bir aralıkta değişse de bu farklılık, sıralamaları etkilememektedir. Sonuçlar Tablo 6.21'de sunulmuştur.

Tablo 6.21. $\lambda = 0$ *Değerine dayalı duyarlılık hesaplamaları*

Alternatif	Skor Değeri	Normalize Skor Değeri	Sıralama
A1	0,334828298	0,125774608	5
A2	0,604160756	0,226946416	2
A3	0,380983779	0,143112412	4
A4	0,527778108	0,198254106	3
A5	0,814378586	0,305912458	1

$\lambda = 0{,}1$ Değerine dayalı duyarlılık hesaplamaları

Alternatif	Skor Değeri	Normalize Skor Değeri	Sıralama
A1	0,370447101	0,128236825	5
A2	0,651729696	0,225607777	2
A3	0,417081925	0,144380295	4
A4	0,570494056	0,197486621	3
A5	0,879020407	0,304288482	1

$\lambda = 0{,}2$ Değerine dayalı duyarlılık hesaplamaları

Alternatif	Skor Değeri	Normalize Skor Değeri	Sıralama
A1	0,406065903	0,130340794	5
A2	0,699298636	0,224463907	2
A3	0,453180072	0,145463703	4
A4	0,613210004	0,196830805	3
A5	0,943662229	0,302900792	1

$\lambda = 0{,}3$ Değerine dayalı duyarlılık hesaplamaları

Alternatif	Skor Değeri	Normalize Skor Değeri	Sıralama
A1	0,441684706	0,132159399	5
A2	0,746867576	0,223475181	2
A3	0,489278218	0,146400168	4
A4	0,655925951	0,196263937	3
A5	1,00830405	0,301701316	1

$\lambda = 0{,}4$ Değerine dayalı duyarlılık hesaplamaları

Alternatif	Skor Değeri	Normalize Skor Değeri	Sıralama
A1	0,477303509	0,133747009	5
A2	0,794436516	0,222612041	2
A3	0,525376365	0,147217685	4
A4	0,698641899	0,195769071	3
A5	1,072945872	0,300654194	1

$\lambda = 0{,}6$ Değerine dayalı duyarlılık hesaplamaları

Alternatif	Skor Değeri	Normalize Skor Değeri	Sıralama
A1	0,548541114	0,136385449	5
A2	0,889574395	0,221177593	2
A3	0,597572658	0,148576311	4
A4	0,784073795	0,194946657	3
A5	1,202229515	0,298913989	1

$\lambda = 0{,}7$ Değerine dayalı duyarlılık hesaplamaları

Alternatif	Skor Değeri	Normalize Skor Değeri	Sıralama
A1	0,584159917	0,137493548	5
A2	0,937143335	0,220575151	2
A3	0,633670804	0,14914691	4
A4	0,826789742	0,194601258	3
A5	1,266871336	0,298183133	1

$\lambda = 0{,}8$ Değerine dayalı duyarlılık hesaplamaları

Alternatif	Skor Değeri	Normalize Skor Değeri	Sıralama
A1	0,61977872	0,13848941	5
A2	0,984712275	0,220033728	2
A3	0,669768951	0,149659715	4
A4	0,86950569	0,194290843	3
A5	1,331513158	0,297526304	1

$\lambda = 0{,}9$ Değerine dayalı duyarlılık hesaplamaları

Alternatif	Skor Değeri	Normalize Skor Değeri	Sıralama
A1	0,655397523	0,139389267	5
A2	1,032281215	0,2195445	2
A3	0,705867097	0,150123084	4
A4	0,912221638	0,194010354	3
A5	1,396154979	0,296932796	1

$\lambda = 1$ değerine dayalı duyarlılık hesaplamaları

Alternatif	Skor Değeri	Normalize Skor Değeri	Sıralama
A1	0,691016325	0,140206362	5
A2	1,079850155	0,219100268	2
A3	0,741965244	0,150543835	4
A4	0,954937586	0,193755661	3
A5	1,460796801	0,296393874	1

Tablo 6.21'de görüldüğü üzere, λ değeri 0 ile 1 arasında değiştiğinde fayda fonksiyonlarında ve mutlak skor değerlerinde farklılıklar gözlemlenmekte ancak alternatiflerin göreceli sıralaması korunmaktadır. Her iki uç durumda da A5 alternatifi en yüksek performansı sergilerken sıralama A5 > A2 > A4 > A3 > A1 şeklinde sabit kalmaktadır. Bu sonuç, önerilen değerlendirme çerçevesinin λ parametre seçimine karşı sağlam olduğunu ve elde edilen sonuçların metodolojik varsayımlardaki değişikliklere duyarlı olmadığını göstermektedir.

Duyarlılık analizinin sonuçları, karar vericilerin WSM veya WPM yaklaşımlara farklı ağırlıklar vermek istemeleri durumunda dahi, alternatiflerin göreceli üstünlük

sıralamasının değişmeyeceğini ortaya koymaktadır. Bu durum, A5 senaryosunun sürdürülebilir kentsel son adım lojistikte kitle kaynaklı teslimat uygulamaları için stratejik öncelik taşıdığını güçlü biçimde desteklemektedir.

6.9. Karşılaştırmalı Analizler

Önerilen yöntemin sonuçları, önerilen Bulanık Z-AHP ve Bulanık Z-WASPAS yaklaşımının farklı Z-ÇKKV yöntemleri altında tutarlı sonuçlar üretip üretmediğini ve belirsizlik–güvenilirlik bileşenlerini yönetme performansının uyumluluğunu değerlendirmek amacıyla yapılmıştır. Bu bağlamda Bulanık Z-TOPSIS, Bulanık Z-VIKOR ve Bulanık Z-CODAS yöntemleri ele alınan probleme uygulanmıştır (Tablo 6.22-6.24). Karşılaştırmalı analizde, kriter ağırlıkları için Bulanık Z-AHP ile elde edilen sonuçlar kullanılmış olup yalnızca alternatiflerin sıralama mekanizmaları farklılaştırılmıştır. Bu sayede, yöntemsel farklılıkların sıralama sonuçları üzerindeki etkisi izole edilmiş ve değerlendirme tutarlılığı sağlanmıştır.

Tablo 6.22. *Bulanık Z-TOPSIS için sonuç tablosu*

Alternatif	CC	Sıralama
A1	0,059786916	5
A2	0,092546302	2
A3	0,064968103	4
A4	0,080756341	3
A5	0,120743768	1

Bulanık Z-VIKOR yönteminin uygulanması sonucunda S, R, Q değerleri küçükten büyüğe sıralanarak alternatifler arasındaki üç sıralama listesi belirlenmiştir (Tablo 6.23).

Tablo 6.23. *Bulanık Z-VIKOR için S, R, Q değerleri*

	Q		S		R	
	İndeks	Sıra	İndeks	Sıra	İndeks	Sıra
A1	0,653	3	0,873	4	0,101	3
A2	0,387	2	0,589	2	0,084	2
A3	1,000	5	0,946	5	0,156	4
A4	0,848	4	0,721	3	0,156	4
A5	0,000	1	0,207	1	0,065	1

Tablo 6.24. *Bulanık Z-CODAS için alternatiflerin sıralanması*

Alternatif	Sıralama
A1	5
A2	2
A3	4
A4	3
A5	1

Dört farklı ÇKKV yönteminden elde edilen skor değerleri ve sıralamalar Tablo 6.25'de karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır.

Tablo 6.25. *Alternatiflerin farklı yöntemlere göre sıralamaları*

	Bulanık Z-WASPAS	**Bulanık Z-TOPSIS**	**Bulanık Z-VIKOR**	**Bulanık Z-CODAS**
	Skor değerleri/Sıralama	Skor değerleri/Sıralama	Skor değerleri/Sıralama	Skor değerleri/Sıralama
A1	0,1351 / 5	0,0597 / 5	0,653 / 3	-1,180 / 5
A2	0,2218 / 2	0,0925 / 2	0,387 / 2	0,227 / 2
A3	0,1479 / 4	0,0649 / 4	1,000 / 5	-0,855 / 4
A4	0,1953 / 3	0,0807 / 3	0,848 / 4	0,050 / 3
A5	0,2997 / 1	0,1207 / 1	0,000 / 1	1,956 / 1

Karşılaştırmalı analiz sonuçları, Bulanık Z-WASPAS yönteminin sürdürülebilir kentsel son adım lojistikte kitle kaynaklı teslimat senaryolarının değerlendirilmesinde uygun ve güvenilir bir karar destek aracı olduğunu doğrulamaktadır. A5 alternatifinin dört farklı yöntemde gösterdiği tutarlı üstünlük, bu senaryonun stratejik öncelik taşıdığına ilişkin güçlü kanıt sunmaktadır.

Tablo 7.25'deki sonuçlar incelendiğinde, dört yöntemin üçünde (Bulanık Z-WASPAS, Bulanık Z-TOPSIS ve Bulanık Z-CODAS) A5 alternatifinin birinci sırada yer aldığı görülmektedir. Benzer şekilde, A2 alternatifi bu üç yöntemde de ikinci sırada yer almaktadır. Bu yüksek tutarlılık, A5 ve A2 senaryolarının sürdürülebilir kentsel son adım lojistikte kitle kaynaklı teslimat uygulamaları açısından güçlü üstünlüklerini doğrulamaktadır.

Yöntemsel sağlamlık ve tutarlılık açısından bakıldığında, dört farklı Bulanık Z-ÇKKV yönteminin (WASPAS, TOPSIS, VIKOR, CODAS) kullanılması analiz bulgularının metodolojik sağlamlığını ortaya koymaktadır. VIKOR yöntemindeki kısmi farklılaşma çözüm yaklaşımının grup faydası ve bireysel pişmanlık dengesini farklı biçimde ele

almasından kaynaklanmaktadır. Ancak A5 ve A2 alternatiflerinin üstünlüğünün VIKOR'da da korunması, bulguların genel geçerliliğini desteklemektedir. Duyarlılık analizi ($\lambda = 0\,, 0{,}1, 0{,}2 \ldots\,, 1$) sonuçları, sıralamanın WSM ve WPM ağırlıklarındaki değişikliklere karşı dirençli olduğunu göstermektedir.

Uygulamadan yapılan çıkarımlara göre belediyeler, e-ticaret şirketleri ve platform işletmecileri, sürdürülebilir son adım lojistik için mikro-hub paylaşımı, çok modlu taşıma ve kitle kaynaklı teslimatın birlikte uygulandığı entegre modellere yatırım yapmalıdır. Tam entegrasyon hemen mümkün değilse, öncelikle altyapı paylaşımı (A2 senaryosu) ile başlanabilir ve zamanla kitle kaynaklı teslimat entegrasyonuna geçilebilir. Entegre modellerin başarısı, dijital platform altyapısının kalitesi, düzenleyici çerçevelerin esnekliği ve paydaşlar arası iş birliği kültürünün geliştirilmesine bağlıdır. Bu boyutlar, uygulamada eşgüdümlü ele alınmalıdır.

YEDİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez, sürdürülebilir kentsel lojistik perspektifinden kitle kaynaklı son adım teslimat modellerinin değerlendirilmesine yönelik kapsamlı bir analitik çerçeve sunmaktadır. E-ticaretin hızla büyümesi ve kentsel teslimat taleplerindeki artış karşısında, geleneksel lojistik sistemlerin esneklik, maliyet ve çevresel sürdürülebilirlik açısından karşılaştığı zorluklar, yenilikçi çözümlere olan ihtiyacı artırmaktadır. Kitle kaynaklı teslimat modelleri, paylaşım ekonomisi ilkelerinden hareketle, âtıl kaynakların (bireysel araçlar, zaman, yerel işletme mekânları) lojistik amaçlı kullanımıyla bu zorlukları aşma potansiyeline sahiptir.

Tez çalışmasında, mikro-hub kullanımı, taşıma araçları paylaşımı, PUDO noktaları ve kitle kaynaklı işgücü entegrasyonunu içeren beş farklı iş birlikçi strateji tanımlanmış ve bunlar ekonomik, çevresel, sosyal ve teknik sürdürülebilirlik boyutlarını kapsayan 18 kriter altında değerlendirilmiştir. Değerlendirme süreci, Bulanık Z-AHP yöntemiyle kriter ağırlıklarının belirlenmesi ve Bulanık Z-WASPAS yöntemiyle alternatiflerin sıralanması olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Bulanık Z-AHP ve Bulanık Z-WASPAS yöntemlerine dayanan çok kriterli değerlendirme çerçevesi sayesinde uzman yargılarındaki hem belirsizliği hem de güvenilirliği modelleyerek karar süreçlerinde daha gerçekçi ve sağlam sonuçlar üretilmesi sağlanmıştır.

Kriter ağırlıkları analizi, teslimat hızı, maliyet ve çevresel etkinin karar vericiler açısından öncelikli faktörler olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, kitle kaynaklı teslimat sistemlerinin tasarımında operasyonel etkinlik, ekonomik verimlilik ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerinin eşzamanlı optimizasyonunun gerekliliğini vurgulamaktadır.

Analiz sonuçları, A5 senaryosunun (Mikro-Hub ve Taşıma Araçlarının Kitle Kaynaklı Kullanımı + Kitle Kaynaklı Teslimat) en yüksek performansı sergilediğini ortaya koymuştur. Bu senaryo, altyapı paylaşımı, çok modlu taşıma esnekliği ve gönüllü kurye

entegrasyonunu birleştirerek, sürdürülebilir kentsel lojistikte en kapsamlı ve dengeli yaklaşımı temsil etmektedir. İkinci sırada A2 senaryosu (Mikro-Hub ve Taşıma Araçlarının Paylaşımı) yer alırken, PUDO tabanlı ve sınırlı entegrasyon içeren modeller (A3 ve A1) düşük performans sergilemiştir.

Sonuçlar, Bulanık Z-TOPSIS, Bulanık Z-VIKOR ve Bulanık Z-CODAS yöntemleriyle karşılaştırılarak sağlamlık testine tabi tutulmuş ve yüksek metodolojik tutarlılık sağlanmıştır. Duyarlılık analizi, sonuçların λ parametre değişikliklerine karşı dirençli olduğunu göstermiştir. Bu tez çalışması, Bulanık Z-ÇKKV yöntemlerini (özellikle Z-AHP ve Z-WASPAS) sürdürülebilir kentsel son adım lojistik bağlamında uygulayarak Z-sayıların hem belirsizliği hem de uzman güvenilirliğini modellemesi sayesinde karar süreçlerinde daha gerçekçi ve sağlam sonuçlar üretilmesini sağlamıştır. Çok boyutlu sürdürülebilirlik çerçevesi sağlayarak ekonomik, çevresel, sosyal ve teknik boyutları birlikte ele alan 18 kriterlik değerlendirme çerçevesi, kitle kaynaklı teslimat modellerinin bütüncül performans analizine imkân tanımıştır. Bu çerçeve, gelecek çalışmalar için referans niteliği taşımaktadır. Dört farklı Bulanık Z-ÇKKV yönteminin (WASPAS, TOPSIS, VIKOR, CODAS) birlikte kullanılması ve sonuçların yüksek benzerlik göstermesi, metodolojik sağlamlığı güçlendirmiştir. λ parametresi üzerinden yürütülen duyarlılık analizi, sonuçların ağırlık değişikliklerine karşı dirençli olduğunu göstermiş ve karar vericilere esnek parametre seçimi imkânı sunmuştur. Bulanık Z-AHP'nin, uzman yargılarındaki belirsizliği ve güven düzeylerini birlikte modellemesi, klasik AHP ve Bulanık AHP yaklaşımlarına kıyasla daha zengin bir bilgi temsili sağlamıştır.

Uygulamaya yönelik katkılara bakıldığında, entegre modellerin önceliği ortaya konulmuş, A5 senaryosunun üstünlüğü, sürdürülebilir kentsel lojistikte mikro-hub paylaşımı, çok modlu taşıma ve kitle kaynaklı teslimatın birlikte uygulanmasının stratejik önem taşıdığını göstermiştir. A2 senaryosunun ikinci sırada yer alması, tam entegrasyonun hemen mümkün olmadığı durumlarda, altyapı paylaşımıyla başlanıp kademeli olarak kitle kaynaklı teslimat entegrasyonuna geçilebileceğini göstermektedir. Teslimat hızı (K13), maliyet (K1) ve çevresel etki (K7) kriterlerinin yüksek ağırlıklara sahip olması, kitle kaynaklı sistemlerin tasarımında bu boyutların öncelikli değerlendirilmesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Elde edilen sonuç, sürdürülebilir kentlerin inşasında kitle kaynak kullanımının yoğun olduğu stratejilerin önemini gözler önüne sermektedir. Mikro-hub kurulumu için

belediyeler arazi tahsisi, vergi indirimleri ve düşük faizli kredi gibi teşvikler sağlamalıdır. Paylaşımlı kullanımı kolaylaştıracak düzenleyici çerçeveler geliştirilmelidir. Çevre dostu teslimat modellerine öncelik verilerek e-bisiklet, kargo bisikleti ve elektrikli araçların kentsel lojistikte kullanımını teşvik eden politikalar (şarj istasyonu altyapısı, bisiklet şeritleri, düşük emisyon bölgelerinde erişim ayrıcalıkları) hayata geçirilmelidir. Dijital platform düzenlemeleri yapılarak kitle kaynaklı teslimat platformlarının işleyişine ilişkin standartlar (kurye güvenliği, sigorta yükümlülükleri, veri gizliliği, adil ücretlendirme) belirlenmelidir. Platform işletmecilerinin kentsel lojistik planlamasına aktif katılımı teşvik edilmelidir. Pilot uygulama ve ölçeklendirme desteği yapılarak sınırlı coğrafi alanlarda pilot uygulamalar desteklenerek, yerel koşullara uygun modellerin test edilmesi ve başarılı örneklerin ölçeklendirilmesi sağlanmalıdır.

İş birliği kültürünün geliştirilmesi için LHS'ler, e-ticaret şirketleri ve platform işletmecileri arasında güvene dayalı iş birliği mekanizmaları kurulmalıdır. Veri paylaşımı, kaynak paylaşımı ve ortak rotalama uygulamaları yaygınlaştırılmalıdır. Teknolojik altyapı yatırımları hayata geçirilerek gerçek zamanlı rota optimizasyonu, dinamik görev atama, talep tahmini ve performans izleme sistemleri için dijital platform altyapılarına yatırım yapılmalıdır. Yapay zekâ ve makine öğrenmesi destekli karar sistemleri entegre edilmelidir. Kurye seçimi, eğitimi, performans değerlendirmesi ve teşvik yapıları için standart süreçler geliştirilmelidir. Ayrıca geri bildirim mekanizmaları ve kalite kontrol prosedürleri etkinleştirilmelidir. Müşteri deneyimine dayalı teslimat hızı, şeffaflık, esneklik ve güvenilirlik boyutlarında müşteri beklentilerini karşılayan hizmet standartları belirlenmeli ve sürekli iyileştirme yaklaşımı benimsenmelidir.

Ücretlendirme ve teşvik tasarımı kapsamında kuryelerin katılım motivasyonunu artıracak adil, şeffaf ve performans temelli ücretlendirme sistemleri oluşturulmalıdır. Çevre dostu teslimat araçlarının kullanımı için ek teşvikler sunulmalıdır. Güven ve güvenlik mekanizmaları için kurye kimlik doğrulama, paket güvenliği, müşteri mahremiyeti ve itibar yönetimi için sağlam sistemler kurulmalıdır. Anlaşmazlık çözüm prosedürleri netleştirilmelidir. Veri analizi ve sürekli iyileştirme için operasyonel veriler düzenli olarak analiz edilerek, darboğazlar, verimsizlikler ve iyileştirme fırsatları belirlenmeli ve sistematik iyileştirmeler yapılmalıdır. Paydaş katılımı ve iletişim bağlamında kuryeler, müşteriler, LHS'ler ve kamu otoriteleriyle düzenli iletişim kanalları kurulmalı ve paydaş geri bildirimleri sistem tasarımına entegre edilmelidir.

Tez çalışması bazı sınırlıkları da bünyesinde barındırmaktadır. Değerlendirmeler genel bir kentsel lojistik bağlamında yürütülmüş olup belirli bir şehir veya bölgeye özgü veriler kullanılmamıştır. Yerel faktörlerin (nüfus yoğunluğu, altyapı düzeyi, düzenleyici çerçeve) stratejilerin performansı üzerindeki etkileri ampirik olarak test edilmemiştir. Talep dalgalanmaları, kurye erişilebilirliğindeki belirsizlik, hava durumu, trafik koşulları gibi dinamik ve stokastik faktörler modelde dikkate alınmamıştır. Gerçek dünya uygulamalarında bu değişkenlerin performans üzerinde önemli etkileri olabilir. Stratejilerin uzun vadeli sürdürülebilirlikleri (kurye arzının sürekliliği, teknolojik değişimler, toplumsal kabul) değerlendirilmemiştir.

Gelecek çalışmalarda, talep belirsizliği, kurye erişilebilirlik değişkenliği ve trafik koşulları gibi dinamik faktörlerin dahil edildiği simülasyon tabanlı değerlendirme modelleri geliştirilebilir. Ayrık olay simülasyonu veya ajan tabanlı modelleme yaklaşımları kullanılabilir. ÇKKV yöntemleriyle elde edilen önceliklendirmenin, matematiksel optimizasyon modelleri (rota optimizasyonu, tesis yeri seçimi, envanter-rotalama) ve simülasyon araçlarıyla entegre edildiği melez karar destek sistemleri tasarlanabilir. Uzman yargılarının yanı sıra, geçmiş operasyonel verilerden öğrenen makine öğrenmesi algoritmalarıyla kriter önem düzeylerinin belirlenmesi araştırılabilir. Bulanık Z-sayıların yanı sıra, aralık-değerli sezgisel bulanık kümeler, Pisagor bulanık kümeler veya nötrosofik kümeler gibi gelişmiş belirsizlik temsil yapılarının kentsel lojistik değerlendirmelerinde karşılaştırmalı performansı incelenebilir. Belirli bölgelerde ve şehirlerde pilot uygulama çalışmaları yürütülerek, senaryoların gerçek koşullardaki performansları ölçülüp model tahminleri doğrulanabilir. Farklı nüfus yoğunluğu, altyapı düzeyi ve düzenleyici çerçevelere sahip şehirlerde karşılaştırmalı vaka çalışmaları yapılarak, yerel faktörlerin senaryo performansları üzerindeki etkisi araştırılabilir. Farklı ürün kategorileri (gıda, ilaç, elektronik, moda) için kitle kaynaklı teslimat modellerinin performans farklılıkları ve özelleştirilmiş tasarım gereksinimleri incelenebilir. Senaryoların tam yaşam döngüsü boyunca (kurulum, işletme, bakım vb.) ekonomik ve çevresel etkileri kapsamlı biçimde değerlendirilebilir.

Tüketicilerin kitle kaynaklı teslimat modellerine yönelik kabul düzeyleri, güven algıları ve kullanım niyetleri nicel ve nitel yöntemlerle (anketler, denemeler, nöroekonomi çalışmaları) araştırılabilir. Gönüllü kuryelerin katılım motivasyonlarını etkileyen faktörler (ücret, esneklik, sosyal tanınırlık, teşvik yapıları), uzun dönem katılım

sürekliliği ve işgücü arzının istikrarı incelenebilir. LHS'ler, e-ticaret şirketleri, platform işletmecileri ve kamu otoriteleri arasında etkili iş birliği modellerinin tasarımı, güven inşası ve çatışma çözüm mekanizmaları araştırılabilir. Kitle kaynaklı teslimat modellerinin iş güvenliği, adil ücretlendirme, sosyal güvence ve emek hakları üzerindeki etkileri sosyolojik ve etik perspektiflerden değerlendirilebilir. Blok zincir teknolojisinin, kitle kaynaklı teslimat sistemlerinde güven, şeffaflık, veri bütünlüğü ve akıllı sözleşme yönetimi açısından potansiyeli incelenebilir. Gerçek zamanlı talep tahmini, dinamik fiyatlandırma, rota optimizasyonu ve öngörücü bakım için yapay zekâ ve makine öğrenmesi algoritmalarının kitle kaynaklı sistemlere entegrasyonu araştırılabilir. Kentsel lojistik sistemlerinin dijital ikiz modellerinin oluşturulması ve farklı senaryoların sanal ortamda test edilmesi, risk değerlendirmesi ve kapasite planlaması için kullanılması değerlendirilebilir.

KAYNAKÇA

Aboutorab, H., Saberi, M., Asadabadi, M. R., Hussain, O., & Chang, E. (2018). ZBWM: The Z-number extension of Best Worst Method and its application for supplier development. *Expert Systems with Applications*, *107*, 115-125. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.04.015

Akhavein, A., RezaHoseini, A., Ramezani, A., & BagherPour, M. (2021). Ranking Sustainable Projects through an Innovative Hybrid DEMATEL-VIKOR Decision-Making Approach Using *Z* -Number. *Advances in Civil Engineering*, *2021*(1), 6654042. https://doi.org/10.1155/2021/6654042

Alam, N. M. F. H. N. B., Ku Khalif, K. M. N., Jaini, N. I., & Gegov, A. (2023). The Application of Z-Numbers in Fuzzy Decision Making: The State of the Art. *Information*, *14*(7), 400. https://doi.org/10.3390/info14070400

Alharbi, A., Cantarelli, C., & Brint, A. (2022). Crowd Models for Last Mile Delivery in an Emerging Economy. *Sustainability*, *14*(3), 1401. https://doi.org/10.3390/su14031401

Aliyeva, K. (2025). *APPLICATION OF FUZZY DYNAMIC GROUP MULTICRITERIA DECISION MAKING BASED ON Z-NUMBERS*. https://doi.org/10.24412/1932-2321-2025-182-92-104

Alnaggar, A., Gzara, F., & Bookbinder, J. H. (2021). Crowdsourced delivery: A review of platforms and academic literature. *Omega*, *98*, 102139. https://doi.org/10.1016/j.omega.2019.102139

Alromema, M., Al Hanbali, A., Baubaid, A., AlGhazi, A., Khan, N. T., & Saleh, Z. (2025). Factors influencing couriers' acceptance of crowdsourcing in last-mile delivery in Saudi Arabia. *The International Journal of Logistics Management*, 1-24. https://doi.org/10.1108/IJLM-05-2024-0316

Arslankaya, S. (2019). *Çok kriterli karar verme yöntemlerinde güncel yaklaşımlar*. Hiperlink.

Aslam, M. A., & Li, Z. (2025). A Way of Optimization of Last-Mile Logistics Operations. A Knowledge-Driven Literature review. *Journal of the Knowledge Economy*. https://doi.org/10.1007/s13132-025-02680-2

Athanasopoulos, K., Chatziioannou, I., Boutsi, A.-M., Tsingenopoulos, G., Soile, S., Chliverou, R., Petrakou, Z., Papanikolaou, E., Karolemeas, C., Kourmpa, E., Papadaki, K., Tzika, E., Ioannidis, C., Potsiou, C., & Vlastos, T. (2024). Integrating Cargo Bikes and Drones into Last-Mile Deliveries: Insights from Pilot Deliveries in Five Greek Cities. *Sustainability*, *16*(3), 1060. https://doi.org/10.3390/su16031060

Azadeh, A., Saberi, M., Atashbar, N. Z., Chang, E., & Pazhoheshfar, P. (2013a). Z-AHP: A Z-number extension of fuzzy analytical hierarchy process. *2013 7th IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies (DEST)*, 141-147. https://doi.org/10.1109/DEST.2013.6611344

Azadeh, A., Saberi, M., Atashbar, N. Z., Chang, E., & Pazhoheshfar, P. (2013b). Z-AHP: A Z-number extension of fuzzy analytical hierarchy process. *2013 7th IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies (DEST)*, 141-147. https://doi.org/10.1109/DEST.2013.6611344

Bocken, N. M. P., Short, S. W., Rana, P., & Evans, S. (2014). A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. *Journal of Cleaner Production*, *65*, 42-56. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.039

Bosona, T. (2020). Urban Freight Last Mile Logistics—Challenges and Opportunities to Improve Sustainability: A Literature Review. *Sustainability*, *12*(21), 8769. https://doi.org/10.3390/su12218769

Boussier, J., Cucu, T., Ion, L., & Breuil, D. (2011). Simulation of goods delivery process. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, *41*(9), 913-930. https://doi.org/10.1108/09600031111175852

Boyer, K. K., Frohlich, M. T., & Hult, G. T. M. (2004). *Extending the supply chain: How cutting-edge companies bridge the critical last mile into customers' homes* (1st ed). American Management Association.

Boysen, N., Fedtke, S., & Schwerdfeger, S. (2021). Last-mile delivery concepts: A survey from an operational research perspective. *OR Spectrum*, *43*(1), 1-58. https://doi.org/10.1007/s00291-020-00607-8

Božanić, D., Pamucar, D., Badi, I., & Tešić, D. (2023). A decision support tool for oil spill response strategy selection: Application of LBWA and Z MABAC methods. *OPSEARCH*, *60*(1), 24-58. https://doi.org/10.1007/s12597-022-00605-0

Božanić, D., Tešić, D., University of Defense in Belgrade, Military Academy, Belgrade, Serbia, Milić, A., & University of Defense in Belgrade, Military Academy, Belgrade, Serbia. (2020). Multicriteria Decision Making Model with Z-Numbers Based on FUCOM and MABAC model. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, *3*(2), 19-36. https://doi.org/10.31181/dmame2003019d

Buldeo Rai, H., Verlinde, S., Merckx, J., & Macharis, C. (2017). Crowd logistics: An opportunity for more sustainable urban freight transport? *European Transport Research Review*, *9*(3), 39. https://doi.org/10.1007/s12544-017-0256-6

Carbone, V., Rouquet, A., & Roussat, C. (2017). The Rise of Crowd Logistics: A New Way to Co-Create Logistics Value. *Journal of Business Logistics*, *38*(4), 238-252. https://doi.org/10.1111/jbl.12164

Cardenas, I., Borbon-Galvez, Y., Verlinden, T., Van De Voorde, E., Vanelslander, T., & Dewulf, W. (2017). City logistics, urban goods distribution and last mile delivery and collection. *Competition and Regulation in Network Industries*, *18*(1-2), 22-43. https://doi.org/10.1177/1783591717736505

Chatterjee, K., & Kar, S. (2018). A multi-criteria decision making for renewable energy selection using Z-numbers in uncertain environment. *Technological and Economic Development of Economy*, *24*(2), 739-764. https://doi.org/10.3846/20294913.2016.1261375

Collins, A. T. (2015). Behavioural Influences on the Environmental Impact of Collection/Delivery Points. Içinde B. Fahimnia, M. G. H. Bell, D. A. Hensher, & J. Sarkis (Ed.), *Green Logistics and Transportation* (C. 4, ss. 15-34). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-17181-4_2

Comi, A., & Savchenko, L. (2021). Last-mile delivering: Analysis of environment-friendly transport. *Sustainable Cities and Society*, *74*, 103213. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103213

Cömertler, S., & Cömertler, N. (2021). Akıllı Kentlerde Çevresel, Sosyal ve Ekonomik Sürdürülebilirlik, Kopenhag Örneği. *Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi (MBUD)*, *6*(1), 178-194. https://doi.org/10.30785/mbud.780116

Çelik, İ., Aydemir, E., Cebeci, H. İ., & Güner, S. (2025). Last-mile delivery performance of crowdsourced couriers: Text mining of user comments. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 1-22. https://doi.org/10.1080/13675567.2025.2472745

Dablanc, L., Diziain, D., & Levifve, H. (2011). Urban freight consultations in the Paris region. *European Transport Research Review*, *3*(1), 47-57. https://doi.org/10.1007/s12544-011-0049-2

Dahlan, A. F., Cheng, C.-Y., Sae-chai, P., Jientrakul, R., & Yuangyai, C. (2025). Crowdsourced adaptive vehicle routing framework for Last-Mile delivery in dynamic traffic environments. *Annals of Operations Research*. https://doi.org/10.1007/s10479-025-06806-2

Das, S., Dhalmahapatra, K., & Maiti, J. (2020). Z-number integrated weighted VIKOR technique for hazard prioritization and its application in virtual prototype based EOT crane operations. *Applied Soft Computing*, *94*, 106419. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106419

Demir, E., Syntetos, A., & Van Woensel, T. (2022). Last mile logistics: Research trends and needs. *IMA Journal of Management Mathematics*, *33*(4), 549-561. https://doi.org/10.1093/imaman/dpac006

Deutsch, Y., & Golany, B. (2018). A parcel locker network as a solution to the logistics last mile problem. *International Journal of Production Research*, *56*(1-2), 251-261. https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1395490

Dogan, O., Ucal Sari, I., & Oztaysi, B. (2023). Interval Type 2 Fuzzy Z-AHP and Interval Type 2 Fuzzy-Z WASPAS: Selection of Industry 4.0 Sub-Technologies. Içinde C. Kahraman & S. Cebi (Ed.), *Analytic Hierarchy Process with Fuzzy Sets Extensions* (C. 428, ss. 71-99). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-39438-6_4

Dündar, A. O. (2021). Kitle Kaynak Lojistiğin Son Adım Teslimatlarda Uygulanması Üzerine Bir Araştırma. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, *24*(2), 511-527. https://doi.org/10.29249/selcuksbmyd.998149

Elmay, F., Kadadha, M., Mizouni, R., Singh, S., Mourad, A., & Otrok, H. (2025). Predictive safe delivery with machine learning and digital twins collaboration for decentralized crowdsourced systems. *Journal of Network and Computer Applications*, *240*, 104196. https://doi.org/10.1016/j.jnca.2025.104196

Elsokkary, N., Otrok, H., Singh, S., Mizouni, R., Barada, H., & Omar, M. (2023). Crowdsourced last mile delivery: Collaborative workforce assignment. *Internet of Things*, *22*, 100692. https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100692

Fatehi, S., & Wagner, M. R. (2022). Crowdsourcing Last-Mile Deliveries. *Manufacturing & Service Operations Management*, *24*(2), 791-809. https://doi.org/10.1287/msom.2021.0973

Fatima, R., Amjad Alam, K., Siddique, A., Mahboob Alam, T., & Shaukat, K. (2025). Exploring Critical Factors of Crowd-Based Requirement Engineering Using Fuzzy DEMATEL-ANP Method. *IEEE Access*, *13*, 101745-101763. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3576723

Forghani, A., Sadjadi, S. J., & Farhang Moghadam, B. (2018). A supplier selection model in pharmaceutical supply chain using PCA, Z-TOPSIS and MILP: A case study. *PLOS ONE*, *13*(8), e0201604. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201604

Frehe, V., Mehmann, J., & Teuteberg, F. (2017). Understanding and assessing crowd logistics business models – using everyday people for last mile delivery. *Journal of Business & Industrial Marketing*, *32*(1), 75-97. https://doi.org/10.1108/JBIM-10-2015-0182

Gai, L., Liu, H., Wang, Y., & Xing, Y. (2023). Green supplier selection and order allocation using linguistic Z-numbers MULTIMOORA method and bi-objective non-linear programming. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, *22*(2), 267-288. https://doi.org/10.1007/s10700-022-09392-1

Gajda, M., Gallay, O., Mansini, R., & Ranza, F. (2025). Optimizing last-mile delivery through crowdshipping on public transportation networks. *Transportation*

Research Part C: Emerging Technologies, *179*, 105250. https://doi.org/10.1016/j.trc.2025.105250

Gardashova, L. A. (2014). Application of Operational Approaches to Solving Decision Making Problem Using Z-Numbers. *Applied Mathematics*, *05*(09), 1323-1334. https://doi.org/10.4236/am.2014.59125

Gardashova, L. A. (2019). Z-Number Based TOPSIS Method in Multi-Criteria Decision Making. İçinde R. A. Aliev, J. Kacprzyk, W. Pedrycz, Mo. Jamshidi, & F. M. Sadikoglu (Ed.), *13th International Conference on Theory and Application of Fuzzy Systems and Soft Computing—ICAFS-2018* (C. 896, ss. 42-50). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04164-9_10

Garus, A., Alonso, B., Raposo, M. A., Grosso, M., Krause, J., Mourtzouchou, A., & Ciuffo, B. (2022). Last-mile delivery by automated droids. Sustainability assessment on a real-world case study. *Sustainable Cities and Society*, *79*, 103728. https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103728

Geissdoerfer, M., Vladimirova, D., & Evans, S. (2018). Sustainable business model innovation: A review. *Journal of Cleaner Production*, *198*, 401-416. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.240

Gevaers, R., Van De Voorde, E., & Vanelslander, T. (2011). Characteristics and Typology of Last-mile Logistics from an Innovation Perspective in an Urban Context. İçinde C. Macharis & S. Melo (Ed.), *City Distribution and Urban Freight Transport*. Edward Elgar Publishing. https://doi.org/10.4337/9780857932754.00009

Gevaers, R., Van De Voorde, E., & Vanelslander, T. (2014). Cost Modelling and Simulation of Last-mile Characteristics in an Innovative B2C Supply Chain Environment with Implications on Urban Areas and Cities. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *125*, 398-411. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.1483

Gielens, K., Gijsbrechts, E., & Geyskens, I. (2021). Navigating the Last Mile: The Demand Effects of Click-and-Collect Order Fulfillment. *Journal of Marketing*, *85*(4), 158-178. https://doi.org/10.1177/0022242920960430

Giuffrida, N., Fajardo-Calderin, J., Masegosa, A. D., Werner, F., Steudter, M., & Pilla, F. (2022). Optimization and Machine Learning Applied to Last-Mile Logistics: A Review. *Sustainability*, *14*(9), 5329. https://doi.org/10.3390/su14095329

Gonzalez-Feliu, J., Semet, F., & Routhier, J.-L. (Ed.). (2014). *Sustainable Urban Logistics: Concepts, Methods and Information Systems*. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-31788-0

González-Varona, J. M., Villafáñez, F., Acebes, F., Redondo, A., & Poza, D. (2020). Reusing Newspaper Kiosks for Last-Mile Delivery in Urban Areas. *Sustainability*, *12*(22), 9770. https://doi.org/10.3390/su12229770

Hribernik, M., Zero, K., Kummer, S., & Herold, D. M. (2020). City logistics: Towards a blockchain decision framework for collaborative parcel deliveries in micro-hubs. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, *8*, 100274. https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100274

Huang, K., & Ardiansyah, M. N. (2019). A decision model for last-mile delivery planning with crowdsourcing integration. *Computers & Industrial Engineering*, *135*, 898-912. https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.06.059

İlbahar, E., Çolak, M., Karaşan, A., & Kaya, İ. (2022). A combined methodology based on Z-fuzzy numbers for sustainability assessment of hydrogen energy storage systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, *47*(34), 15528-15546. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.01.010

Janjevic, M., & Winkenbach, M. (2020). Characterizing urban last-mile distribution strategies in mature and emerging e-commerce markets. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *133*, 164-196. https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.01.003

Jiang, S., Shi, H., Lin, W., & Liu, H.-C. (2020). A large group linguistic Z-DEMATEL approach for identifying key performance indicators in hospital performance management. *Applied Soft Computing*, *86*, 105900. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105900

Kahraman, C., & Otay, I. (2018). SOLAR PV POWER PLANT LOCATION SELECTION USING A Z- FUZZY NUMBER BASED AHP. *International*

Journal of the Analytic Hierarchy Process, *10*(3). https://doi.org/10.13033/ijahp.v10i3.540

Kahraman, C., Oztaysi, B., & Cevik Onar, S. (2019a). Performance Comparisons of Law Offices and Optimum Allocation of Debt Files Using Z-Fuzzy AHP. *Proceedings of the 2019 Conference of the International Fuzzy Systems Association and the European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT 2019)*. Proceedings of the 2019 Conference of the International Fuzzy Systems Association and the European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT 2019), Prague, Czech Republic. https://doi.org/10.2991/eusflat-19.2019.62

Kahraman, C., Oztaysi, B., & Cevik Onar, S. (2019b). Performance Comparisons of Law Offices and Optimum Allocation of Debt Files Using Z-Fuzzy AHP. *Proceedings of the 2019 Conference of the International Fuzzy Systems Association and the European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT 2019)*. Proceedings of the 2019 Conference of the International Fuzzy Systems Association and the European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT 2019), Prague, Czech Republic. https://doi.org/10.2991/eusflat-19.2019.62

Karaşan, A., Kaya, İ., Erdoğan, M., & Çolak, M. (2021). A multicriteria decision making methodology based on two-dimensional uncertainty by hesitant Z-fuzzy linguistic terms with an application for blockchain risk evaluation. *Applied Soft Computing*, *113*, 108014. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.108014

Karthika, R., & Sudha, A. S. (2018). A Decision Making Problem on FAHP with Z-Numbers. *International Journal of Mathematics Trends and Technology*, *57*(4), 243-248. https://doi.org/10.14445/22315373/IJMTT-V57P534

Kawa, A. (2020). Out-of-Home Delivery as a Solution of the Last Mile Problem in E-commerce. Içinde P. Golinska-Dawson, K.-M. Tsai, & M. Kosacka-Olejnik (Ed.), *Smart and Sustainable Supply Chain and Logistics – Trends, Challenges, Methods and Best Practices* (ss. 25-40). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61947-3_2

Khalif, K. M. N. K., Gegov, A., & Abu Bakar, A. S. (2017). Z-TOPSIS approach for performance assessment using fuzzy similarity. *2017 IEEE International*

Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), 1-6. https://doi.org/10.1109/FUZZ-IEEE.2017.8015458

Kozoderović, J., Andrejić, M., & Pajić, V. (2024). Strategic Selection of Crowd Logistics Platforms: A Multi-Criteria Decision-Making Approach. *Mechatronics and Intelligent Transportation Systems*, *3*(4). https://doi.org/10.56578/mits030404

Krohling, R. A., Pacheco, A. G. C., & Dos Santos, G. A. (2019). TODIM and TOPSIS with Z-numbers. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, *20*(2), 283-291. https://doi.org/10.1631/FITEE.1700434

Krstić, M., Tadić, S., Kovač, M., Roso, V., & Zečević, S. (2021). A Novel Hybrid MCDM Model for the Evaluation of Sustainable Last Mile Solutions. *Mathematical Problems in Engineering*, *2021*, 1-17. https://doi.org/10.1155/2021/5969788

Ku Khalif, K. M. N., Gegov, A., & Abu Bakar, A. S. (2017). Hybrid fuzzy MCDM model for Z-numbers using intuitive vectorial centroid. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, *33*(2), 791-805. https://doi.org/10.3233/JIFS-161973

Lim, S. F. W. T., Jin, X., & Srai, J. S. (2018). Consumer-driven e-commerce: A literature review, design framework, and research agenda on last-mile logistics models. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, *48*(3), 308-332. https://doi.org/10.1108/IJPDLM-02-2017-0081

Liu, Y.-H., Peng, H.-M., Wang, T.-L., Wang, X.-K., & Wang, J.-Q. (2020). Supplier Selection in the Nuclear Power Industry with an Integrated ANP-TODIM Method under Z-Number Circumstances. *Symmetry*, *12*(8), 1357. https://doi.org/10.3390/sym12081357

Liu, Z., Wang, W., Wang, D., & Liu, P. (2022). A modified ELECTRE II method with double attitude parameters based on linguistic Z-number and its application for third-party reverse logistics provider selection. *Applied Intelligence*, *52*(13), 14964-14987. https://doi.org/10.1007/s10489-022-03315-8

Mais, F., & Bauernhansl, T. (2024). Design Options for Sustainable and Open Business Models: A Taxonomy-Based Analysis. *Sustainability*, *16*(11), 4790. https://doi.org/10.3390/su16114790

Mangiaracina, R., Perego, A., Seghezzi, A., & Tumino, A. (2019). Innovative solutions to increase last-mile delivery efficiency in B2C e-commerce: A literature review. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, *49*(9), 901-920. https://doi.org/10.1108/IJPDLM-02-2019-0048

Mao, L.-X., Liu, R., Mou, X., & Liu, H.-C. (2021). New Approach for Quality Function Deployment Using Linguistic Z-Numbers and EDAS Method. *Informatica*, 565-582. https://doi.org/10.15388/21-INFOR455

McLeod, F., Cherrett, T., & Song, L. (2006). Transport impacts of local collection/delivery points. *International Journal of Logistics Research and Applications*, *9*(3), 307-317. https://doi.org/10.1080/13675560600859565

Mohammad, W. A., Nazih Diab, Y., Elomri, A., & Triki, C. (2023). Innovative solutions in last mile delivery: Concepts, practices, challenges, and future directions. *Supply Chain Forum: An International Journal*, *24*(2), 151-169. https://doi.org/10.1080/16258312.2023.2173488

Nathanail, E., Gogas, M., & Adamos, G. (2016). Assessing the Contribution of Urban Freight Terminals in Last Mile Operations. *Transport and Telecommunication Journal*, *17*(3), 231-241. https://doi.org/10.1515/ttj-2016-0021

Nathnail, E., Gogas, M., & Adamos, G. (2016). Urban Freight Terminals: A Sustainability Cross-case Analysis. *Transportation Research Procedia*, *16*, 394-402. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.11.037

Novotná, M., Švadlenka, L., Jovčić, S., & Simić, V. (2022a). Micro-hub location selection for sustainable last-mile delivery. *PLOS ONE*, *17*(7), e0270926. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0270926

Novotná, M., Švadlenka, L., Jovčić, S., & Simić, V. (2022b). Micro-hub location selection for sustainable last-mile delivery. *PLOS ONE*, *17*(7), e0270926. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0270926

Nuriyev, M. (2020). FUZZY INFORMATION AND Z-NUMBER-BASED APPROACHES TO ENERGY RESOURCE SELECTION. *International Journal of Energy Economics and Policy*, *10*(4), 392-398. https://doi.org/10.32479/ijeep.9250

Odeh, E., Mizouni, R., Singh, S., Otrok, H., & Bentahar, J. (2025). Reliable Crowdsourced Last Mile Delivery: Blockchain-Enabled Framework With Feedback. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, *26*(9), 13980-13992. https://doi.org/10.1109/TITS.2025.3565821

Oliveira, C., Albergaria De Mello Bandeira, R., Vasconcelos Goes, G., Schmitz Gonçalves, D., & D'Agosto, M. (2017). Sustainable Vehicles-Based Alternatives in Last Mile Distribution of Urban Freight Transport: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, *9*(8), 1324. https://doi.org/10.3390/su9081324

Olsson, J., Hellström, D., & Pålsson, H. (2019). Framework of Last Mile Logistics Research: A Systematic Review of the Literature. *Sustainability*, *11*(24), 7131. https://doi.org/10.3390/su11247131

Özer, F., & Demirel, N. (2025). A review of collaborative strategies in last-mile logistics from an urban sustainability perspective. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *14*(3), 1171-1184. https://doi.org/10.28948/ngumuh.1680127

Peng, H., & Wang, J. (2017). Hesitant Uncertain Linguistic Z-Numbers and Their Application in Multi-criteria Group Decision-Making Problems. *International Journal of Fuzzy Systems*, *19*(5), 1300-1316. https://doi.org/10.1007/s40815-016-0257-y

Peng, H., Wang, X., & Wang, J. (2022). New MULTIMOORA and Pairwise Evaluation-Based MCDM Methods for Hotel Selection Based on the Projection Measure of Z-Numbers. *International Journal of Fuzzy Systems*, *24*(1), 371-390. https://doi.org/10.1007/s40815-021-01141-7

Peng, H.-G., & Wang, J.-Q. (2018). A Multicriteria Group Decision-Making Method Based on the Normal Cloud Model With Zadeh's Z -Numbers. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, *26*(6), 3246-3260. https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2018.2816909

Qiao, D., Shen, K., Wang, J., & Wang, T. (2020). Multi-criteria PROMETHEE method based on possibility degree with Z-numbers under uncertain linguistic environment. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, *11*(5), 2187-2201. https://doi.org/10.1007/s12652-019-01251-z

Rabe, M., Gonzalez-Feliu, J., Chicaiza-Vaca, J., & Tordecilla, R. D. (2021). Simulation-Optimization Approach for Multi-Period Facility Location Problems with Forecasted and Random Demands in a Last-Mile Logistics Application. *Algorithms*, *14*(2), 41. https://doi.org/10.3390/a14020041

Rahmati, S., Mahdavi, M. H., Ghoushchi, S. J., Tomaskova, H., & Haseli, G. (2022). Assessment and Prioritize Risk Factors of Financial Measurement of Management Control System for Production Companies Using a Hybrid Z-SWARA and Z-WASPAS with FMEA Method: A Meta-Analysis. *Mathematics*, *10*(2), 253. https://doi.org/10.3390/math10020253

Ranieri, L., Digiesi, S., Silvestri, B., & Roccotelli, M. (2018). A Review of Last Mile Logistics Innovations in an Externalities Cost Reduction Vision. *Sustainability*, *10*(3), 782. https://doi.org/10.3390/su10030782

Reuter, E. (2022). Hybrid business models in the sharing economy: The role of business model design for managing the environmental paradox. *Business Strategy and the Environment*, *31*(2), 603-618. https://doi.org/10.1002/bse.2939

Sahrom, N. A., & Dom, R. M. (2015). A Z-number extension of the hybrid Analytic Hierarchy Process—Fuzzy Data Envelopment Analysis for risk assessment. *2015 International Conference on Research and Education in Mathematics (ICREM7)*, 19-24. https://doi.org/10.1109/ICREM.2015.7357019

Saleh, Z., Baubaid, A., Al Hanbali, A., & Alromema, M. (2025). Comparing Reinforcement Learning Algorithms for Online Couriers Scheduling in Crowdsourced Last-Mile Delivery. *Transportation Research Procedia*, *84*, 121-128. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2025.03.054

Sampaio, A., Savelsbergh, M., Veelenturf, L., & Van Woensel, T. (2019). Crowd-Based City Logistics. Içinde *Sustainable Transportation and Smart Logistics* (ss. 381-400). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814242-4.00015-6

Savelsbergh, M., & Ulmer, M. W. (2024). Challenges and opportunities in crowdsourced delivery planning and operations—An update. *Annals of Operations Research*, *343*(2), 639-661. https://doi.org/10.1007/s10479-024-06249-1

Schuh, G., Wenger, L., Stich, V., Hicking, J., & Gailus, J. (2020). Outcome Economy: Subscription Business Models in Machinery and Plant Engineering. *Procedia CIRP*, *93*, 599-604. https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.146

Sergi, D., & Ucal Sari, I. (2021a). Prioritization of public services for digitalization using fuzzy Z-AHP and fuzzy Z-WASPAS. *Complex & Intelligent Systems*, *7*(2), 841-856. https://doi.org/10.1007/s40747-020-00239-z

Sergi, D., & Ucal Sari, I. (2021b). Prioritization of public services for digitalization using fuzzy Z-AHP and fuzzy Z-WASPAS. *Complex & Intelligent Systems*, *7*(2), 841-856. https://doi.org/10.1007/s40747-020-00239-z

Shahin, R., Shahin, A., & Dulebenets, M. A. (2024). A Survey of Crowdsourcing in Last-Mile Delivery in the Optimization Literature. Içinde P. Štarchoň, S. Fedushko, & K. Gubíniová (Ed.), *Data-Centric Business and Applications* (C. 208, ss. 371-392). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-59131-0_17

Shen, K., & Wang, J. (2018). Z-VIKOR Method Based on a New Comprehensive Weighted Distance Measure of Z-Number and Its Application. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, *26*(6), 3232-3245. https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2018.2816581

Shen, K., Wang, X., Qiao, D., & Wang, J. (2020). Extended Z-MABAC Method Based on Regret Theory and Directed Distance for Regional Circular Economy Development Program Selection With Z-Information. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, *28*(8), 1851-1863. https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2019.2923948

Shuaibu, A. S., Mahmoud, A. S., & Sheltami, T. R. (2025). A Review of Last-Mile Delivery Optimization: Strategies, Technologies, Drone Integration, and Future Trends. *Drones*, *9*(3), 158. https://doi.org/10.3390/drones9030158

Sierpiński, G., & Staniek, M. (2019). ENVIRONMENTALLY SUSTAINABLE TRANSPORT PLANNING IN THE SUPPLY CHAIN'S FIRST AND LAST MILE SECTION. *Logistics and Transport*, *42*(2), 83-92. https://doi.org/10.26411/83-1734-2015-2-42-6-19

Silva, V., Amaral, A., & Fontes, T. (2023). Towards sustainable last-mile logistics: A decision-making model for complex urban contexts. *Sustainable Cities and Society, 96*, 104665. https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104665

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

Şen, H., Kaya, A., & Alpaslan, B. (2018). A Historical and Current Perspective on Sustainability. *Ekonomik Yaklasim, 29*(107), 1. https://doi.org/10.5455/ey.39101

Tadić, S., Krstić, M., & Radovanović, L. (2024). Assessing Strategies to Overcome Barriers for Drone Usage in Last-Mile Logistics: A Novel Hybrid Fuzzy MCDM Model. *Mathematics, 12*(3), 367. https://doi.org/10.3390/math12030367

Tiwapat, N., Pomsing, C., & Jomthong, P. (2018). Last Mile Delivery: Modes, Efficiencies, Sustainability, and Trends. *2018 3rd IEEE International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE)*, 313-317. https://doi.org/10.1109/ICITE.2018.8492585

Toli, A. M., & Murtagh, N. (2020). The Concept of Sustainability in Smart City Definitions. *Frontiers in Built Environment, 6*, 77. https://doi.org/10.3389/fbuil.2020.00077

Tran, T. P. A., & Gavade, S. A. (2025). Evaluating Sustainable Last Mile Delivery Solutions: A Multi-Criteria Decision Analysis. *Journal of Supply Chain Management Science*, *6*(1-2). https://doi.org/10.59490/jscms.2025.8009

Tüysüz, N., & Kahraman, C. (2020a). CODAS method using Z-fuzzy numbers. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, *38*(2), 1649-1662. https://doi.org/10.3233/JIFS-182733

Tüysüz, N., & Kahraman, C. (2020b). Evaluating social sustainable development factors using multi-experts Z-fuzzy AHP. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, *39*(5), 6181-6192. https://doi.org/10.3233/JIFS-189088

Veljović, M., Tadić, S., & Krstić, M. (2024). Last Word in Last-Mile Logistics: A Novel Hybrid Multi-Criteria Decision-Making Model for Ranking Industry 4.0 Technologies. *Mathematics, 12*(13), 2010. https://doi.org/10.3390/math12132010

Velu, C. (2015). Business model innovation and third-party alliance on the survival of new firms. *Technovation*, *35*, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.technovation.2014.09.007

Wang, C.-N., Chung, Y.-C., Wibowo, F. D., Dang, T.-T., & Nguyen, N.-A.-T. (2023). Sustainable Last-Mile Delivery Solution Evaluation in the Context of a Developing Country: A Novel OPA–Fuzzy MARCOS Approach. *Sustainability*, *15*(17), 12866. https://doi.org/10.3390/su151712866

Wang, F., & Mao, J. (2019). Approach to Multicriteria Group Decision Making with Z-Numbers Based on TOPSIS and Power Aggregation Operators. *Mathematical Problems in Engineering*, *2019*(1), 3014387. https://doi.org/10.1155/2019/3014387

Wang, J., Cao, Y., & Zhang, H. (2017). Multi-Criteria Decision-Making Method Based on Distance Measure and Choquet Integral for Linguistic Z-Numbers. *Cognitive Computation*, *9*(6), 827-842. https://doi.org/10.1007/s12559-017-9493-1

Wang, W., Liu, X., & Liu, S. (2021). A hybrid evaluation method for human error probability by using extended DEMATEL with Z-numbers: A case of cargo loading operation. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *84*, 103158. https://doi.org/10.1016/j.ergon.2021.103158

Weltevreden, J. W. J. (2008). B2c e-commerce logistics: The rise of collection-and-delivery points in The Netherlands. *International Journal of Retail & Distribution Management*, *36*(8), 638-660. https://doi.org/10.1108/09590550810883487

Xian, S., Yang, Z., & Guo, H. (2019). Double parameters TOPSIS for multi-attribute linguistic group decision making based on the intuitionistic Z-linguistic variables. *Applied Soft Computing*, *85*, 105835. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105835

Xiao, Z.-Q. (2014). Application of Z-numbers in multi-criteria decision making. *Proceedings 2014 International Conference on Informative and Cybernetics for Computational Social Systems (ICCSS)*, 91-95. https://doi.org/10.1109/ICCSS.2014.6961822

Xu, J., Hong, L., & Li, Y. (2011). Designing of Collection and Delivery Point for E-Commerce Logistics. *2011 International Conference of Information Technology,*

Computer Engineering and Management Sciences, 349-352. https://doi.org/10.1109/ICM.2011.23

Xu, M., Ferrand, B., & Roberts, M. (2008). The last mile of e-commerce – unattended delivery from the consumers and eTailers' perspectives. *International Journal of Electronic Marketing and Retailing*, *2*(1), 20. https://doi.org/10.1504/IJEMR.2008.016815

Yaakob, A. M., & Gegov, A. (2015). Fuzzy rule based approach with z-numbers for selection of alternatives using TOPSIS. *2015 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, 1-8. https://doi.org/10.1109/FUZZ-IEEE.2015.7337862

Yaakob, A. M., & Gegov, A. (2016). Interactive TOPSIS Based Group Decision Making Methodology Using Z-Numbers: *International Journal of Computational Intelligence Systems*, *9*(2), 311. https://doi.org/10.1080/18756891.2016.1150003

Yılmaz, Ş. F., & Demirel, N. (2023). EVALUATION OF OUT-OF-HOME LAST-MILE DELIVERY METHODS IN TERMS OF SUSTAINABILITY. 국제산업공학저널, *30*(5). https://doi.org/10.23055/IJIETAP.2023.30.5.9015

Yildiz, N., & Kahraman, C. (2020). Evaluation of Social Sustainable Development Factors Using Buckley's Fuzzy AHP Based on Z-Numbers. Içinde C. Kahraman, S. Cebi, S. Cevik Onar, B. Oztaysi, A. C. Tolga, & I. U. Sari (Ed.), *Intelligent and Fuzzy Techniques in Big Data Analytics and Decision Making* (C. 1029, ss. 770-778). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23756-1_92

Yin, C., Pan, L., & Li, X. (2022). A Novel Multi-Criteria Decision-Making Approach for Intellectual Property Risk Assessment in Crowdsourcing Design. *Journal of Circuits, Systems and Computers*, *31*(06), 2250105. https://doi.org/10.1142/S0218126622501055

Yunis. (2025). *XVI international scientific conference. Tokyo. Japan. 06-07.02.2025*. https://doi.org/10.5281/ZENODO.14882106

Zenezini, G., Lagorio, A., Pinto, R., Marco, A. D., & Golini, R. (2018). The Collection-And-Delivery Points Implementation Process from the Courier, Express and

Parcel Operator's Perspective. *IFAC-PapersOnLine*, *51*(11), 594-599. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.383

Zhang, N., Liu, Z., Li, F., Xu, Z., & Chen, Z. (2023). Stable Matching for Crowdsourcing Last-Mile Delivery. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, *24*(8), 8174-8187. https://doi.org/10.1109/TITS.2023.3266754

Zhao, Y., & Zhu, Q. (2014). Evaluation on crowdsourcing research: Current status and future direction. *Information Systems Frontiers*, *16*(3), 417-434. https://doi.org/10.1007/s10796-012-9350-4

Zhou, M., Zhao, L., Kong, N., Campy, K. S., Xu, G., Zhu, G., Cao, X., & Wang, S. (2020). Understanding consumers' behavior to adopt self-service parcel services for last-mile delivery. *Journal of Retailing and Consumer Services*, *52*, 101911. https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2019.101911

Zhu, G., & Hu, J. (2021). A rough-Z-number-based DEMATEL to evaluate the co-creative sustainable value propositions for smart product-service systems. *International Journal of Intelligent Systems*, *36*(8), 3645-3679. https://doi.org/10.1002/int.22431

Zollo, M., Cennamo, C., & Neumann, K. (2013). Beyond What and Why: Understanding Organizational Evolution Towards Sustainable Enterprise Models. *Organization & Environment*, *26*(3), 241-259. https://doi.org/10.1177/1086026613496433

EKLER

EK1

Ek 1. Kısıtlama karar kriterleri için ikili karşılaştırma matrisi

Uzman1 (K1-K9)

Kriter	**K1**	**K2**	**K3**	**K4**	**K5**	**K6**	**K7**	**K8**	**K9**
K1	EI	EI	WI	MI	GI	WI	EI	GI	WI
K2	-	EI	EI	MI	GI	EI	EI	WI	EI
K3	-	-	EI	GI	GI	EI	EI	WI	RWI
K4	-	-	-	EI	WI	RMI	RMI	EI	RWI
K5	-	-	-	-	EI	RMI	RMI	RWI	RMI
K6	-	-	-	-	-	EI	EI	GI	EI
K7	-	-	-	-	-	-	EI	GI	EI
K8	-	-	-	-	-	-	-	EI	RWI
K9	-	-	-	-	-	-	-	-	EI
K10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K18	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Uzman1 (K10-K18)

Kriter	K 10	K 11	K 12	K 13	K 14	K 15	K 16	K 17	K 18
K1	WI	RMI	WI	EI	WI	RMI	RWI	MI	EI
K2	WI	RMI	WI	RWI	EI	RMI	RWI	EI	EI
K3	RWI	RGI	WI	RWI	EI	RMI	RGI	EI	RWI
K4	RWI	RAI	RWI	RAI	RGI	RAI	RGI	RMI	RGI
K5	RWI	RGI	RWI	RAI	RGI	RAI	RGI	RGI	RGI
K6	WI	EI	WI	WI	WI	EI	WI	WI	WI
K7	WI	EI	WI	WI	WI	EI	WI	WI	WI
K8	RMI	RGI	RWI	RWI	RWI	RMI	RMI	RWI	RWI
K9	RWI	RWI	EI	RMI	EI	RMI	EI	EI	EI
K10	EI	RMI	MI	RWI	RWI	RWI	EI	RWI	RWI
K11	-	EI	GI	MI	AI	WI	EI	WI	WI
K12	-	-	EI	RWI	EI	RWI	RMI	EI	EI
K13	-	-	-	EI	AI	EI	EI	MI	MI
K14	-	-	-	-	EI	RWI	RWI	RWI	RWI
K15	-	-	-	-	-	EI	EI	MI	GI
K16	-	-	-	-	-	-	EI	MI	GI
K17	-	-	-	-	-	-	-	EI	GI
K18	-	-	-	-	-	-	-	-	EI

Uzman 2 (K1-K9)

Kriter	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
K1	EI	EI	WI	MI	MI	RAI	RAI	RWI	WI
K2	-	EI	EI	EI	EI	RWI	RWI	RWI	WI
K3	-	-	EI	EI	EI	RWI	RAI	RWI	WI
K4	-	-	-	EI	EI	RAI	RWI	RWI	WI
K5	-	-	-	-	EI	RWI	RAI	RWI	WI
K6	-	-	-	-	-	EI	GI	GI	GI
K7	-	-	-	-	-	-	EI	RWI	WI
K8	-	-	-	-	-	-	-	EI	GI
K9	-	-	-	-	-	-	-	-	EI
K10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K18	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Uzman 2 (K10-K18)

Kriter	K 10	K 11	K 12	K 13	K 14	K 15	K 16	K 17	K 18
K1	RGI	AI	EI	RAI	GI	EI	EI	WI	EI
K2	RGI	EI	EI	RWI	MI	EI	EI	EI	RWI
K3	RGI	EI	RWI	RAI	GI	EI	EI	WI	EI
K4	RMI	WI	EI	RWI	EI	EI	EI	EI	EI
K5	RGI	EI	RWI	RAI	GI	EI	EI	WI	EI
K6	EI	RGI	RWI	EI	EI	EI	EI	MI	EI
K7	RMI	WI	EI	EI	MI	EI	EI	WI	RWI
K8	EI	GI	RWI	EI	EI	EI	MI	EI	RWI
K9	EI	MI	EI	EI	EI	MI	WI	WI	EI
K10	EI	MI	EI	WI	WI	EI	RGI	RGI	RGI
K11	-	EI	RGI	RAI	EI	RGI	RAI	EI	RGI
K12	-	-	EI	EI	EI	EI	MI	EI	EI
K13	-	-	-	EI	GI	GI	GI	GI	GI
K14	-	-	-	-	EI	RWI	MI	RWI	EI
K15	-	-	-	-	-	EI	EI	EI	EI
K16	-	-	-	-	-	-	EI	WI	MI
K17	-	-	-	-	-	-	-	EI	EI
K18	-	-	-	-	-	-	-		EI

Uzman 3 (K1-K9)

Kriter	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
K1	EI	MI	MI	GI	AI	WI	WI	WI	RWI
K2	-	EI	WI	EI	MI	EI	RWI	MI	EI
K3	-	-	EI	WI	WI	WI	RWI	WI	RMI
K4	-	-	-	EI	WI	EI	RWI	EI	RWI
K5	-	-	-	-	EI	RWI	RMI	EI	RMI
K6	-	-	-	-	-	EI	RWI	WI	RMI
K7	-	-	-	-	-	-	EI	WI	EI
K8	-	-	-	-	-	-	-	EI	RMI
K9	-	-	-	-	-	-	-	-	EI
K10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K18	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Uzman 3 (K10-K18)

Kriter	K 10	K 11	K 12	K 13	K 14	K 15	K 16	K 17	K 18
K1	EI	RWI	GI	RWI	AI	AI	WI	WI	WI
K2	EI	EI	MI	RWI	EI	EI	RWI	EI	RWI
K3	WI	EI	MI	RWI	WI	WI	WI	EI	RWI
K4	RWI	RWI	EI	RWI	WI	WI	EI	RWI	RMI
K5	RWI	RWI	EI	RMI	EI	EI	EI	RWI	RMI
K6	RWI	EI	EI	RMI	EI	EI	EI	RWI	RMI
K7	EI	WI	MI	RWI	MI	MI	WI	EI	RWI
K8	RMI	RWI	EI	RMI	RWI	RWI	RWI	RMI	RGI
K9	EI	WI	MI	EI	MI	MI	WI	WI	EI
K10	EI	MI	MI	RWI	MI	MI	WI	WI	EI
K11	-	EI	EI	RMI	EI	EI	EI	EI	RWI
K12	-	-	EI	RMI	EI	EI	RWI	RWI	RMI
K13	-	-	-	EI	MI	GI	MI	MI	MI
K14	-	-	-	-	EI	EI	RWI	RWI	RMI
K15	-	-	-	-	-	EI	RWI	RWI	RMI
K16	-	-	-	-	-	-	EI	RWI	RWI
K17	-	-	-	-	-	-	-	EI	WI
K18	-	-	-	-	-	-	-	-	EI

EK 2

Ek2. Karar kriterlerinin güvenirliği için ikili karşılaştırma

Uzman1 (K1-K9)

Kriter	**K1**	**K2**	**K3**	**K4**	**K5**	**K6**	**K7**	**K8**	**K9**
K1	AR	SR	SR	AR	AR	AR	AR	AR	SR
K2	-	AR	SR	AR	AR	AR	AR	AR	SR
K3	-	-	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR
K4	-	-	-	AR	AR	AR	AR	AR	AR
K5	-	-	-	-	AR	AR	AR	AR	AR
K6	-	-	-	-	-	AR	HR	SR	VHR
K7	-	-	-	-	-	-	AR	SR	VHR
K8	-	-	-	-	-	-	-	AR	HR
K9	-	-	-	-	-	-	-	-	AR
K10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K18	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Uzman1 (K10-K18)

Kriter	K 10	K 11	K 12	K 13	K 14	K 15	K 16	K 17	K 18
K1	SR	AR	SR	AR	SR	VHR	AR	SR	SR
K2	SR	AR	SR	AR	SR	VHR	AR	SR	SR
K3	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR
K4	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR
K5	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR
K6	VHR	SR	VHR	SR	SR	AR	AR	SR	SR
K7	VHR	SR	VHR	SR	SR	AR	AR	SR	SR
K8	SR	AR	HR	AR	SR	AR	AR	SR	SR
K9	SR	AR	HR	AR	AR	AR	AR	SR	SR
K10	AR	SR	SR	SR	AR	SR	AR	VHR	VHR
K11	-	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR
K12	-	-	AR	SR	SR	AR	AR	AR	AR
K13	-	-	-	AR	AR	AR	AR	AR	AR
K14	-	-	-	-	AR	AR	SR	SR	SR
K15	-	-	-	-	-	AR	SR	AR	AR
K16	-	-	-	-	-	-	AR	AR	AR
K17	-	-	-	-	-	-	-	AR	SR
K18	-	-	-	-	-	-	-	-	AR

Uzman2 (K1-K9)

Kriter	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
K1	AR	AR	HR	VHR	VHR	AU	AU	WI	FR
K2	-	AR	AR	AR	AR	WR	WI	WI	FR
K3	-	-	AR	AR	AR	WR	AU	WI	FR
K4	-	-	-	AR	AR	AU	WR	WI	FR
K5	-	-	-	-	AR	WR	AU	WI	FR
K6	-	-	-	-	-	AR	SR	SR	SR
K7	-	-	-	-	-	-	AR	WI	FR
K8	-	-	-	-	-	-	-	AR	SR
K9	-	-	-	-	-	-	-	-	AR
K10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K18	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Uzman2 (K10-K18)

Kriter	K 10	K 11	K 12	K 13	K 14	K 15	K 16	K 17	K 18
K1	SU	AR	AR	AU	SR	AR	AR	FR	AR
K2	SU	AR	AR	WR	SR	AR	AR	AR	WR
K3	SU	AR	WR	AU	SR	AR	AR	FR	AR
K4	VWR	FR	AR	WR	AR	AR	AR	AR	AR
K5	SU	AR	WR	AU	SR	AR	AR	FR	AR
K6	AR	SU	WR	AR	AR	AR	AR	VHR	AR
K7	VWR	FR	AR	AR	VHR	AR	AR	FR	WR
K8	AR	SR	WR	AR	AR	AR	VHR	AR	WR
K9	AR	VHR	AR	AR	AR	VHR	FR	FR	AR
K10	AR	VHR	AR	FR	FR	AR	VWR	VWR	VWR
K11	-	AR	SU	AU	AR	SU	AU	AR	AU
K12	-	-	AR	AR	AR	AR	VHR	AR	AR
K13	-	-	-	AR	SR	SR	SR	SR	SR
K14	-	-	-	-	AR	WR	VHR	WR	AR
K15	-	-	-	-	-	AR	AR	AR	AR
K16	-	-	-	-	-	-	AR	FR	VHR
K17	-	-	-	-	-	-	-	AR	AR
K18	-	-	-	-	-	-	-	-	AR

Uzman3 (K1-K9)

Kriter	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
K1	AR	AR	SR	SR	AR	SR	SR	AR	AR
K2	-	AR	VHR	SR	VHR	SR	SR	VHR	SR
K3	-	-	AR	WR	WR	FR	FR	FR	WR
K4	-	-	-	AR	WR	FR	FR	FR	WR
K5	-	-	-	-	AR	WR	WR	HR	HR
K6	-	-	-	-	-	AR	HR	VHR	FR
K7	-	-	-	-	-	-	AR	VHR	FR
K8	-	-	-	-	-	-	-	AR	SR
K9	-	-	-	-	-	-	-	-	AR
K10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K18	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Uzman3 (K10-K18)

Kriter	K 10	K 11	K 12	K 13	K 14	K 15	K 16	K 17	K 18
K1	AR	SR	SR	SR	AR	AR	AR	SR	SR
K2	SR	AR	VHR	VHR	AR	AR	AR	SR	SR
K3	WR	FR	FR	WR	HR	HR	HR	WR	WR
K4	WR	FR	FR	WR	FR	FR	FR	WR	WR
K5	HR	VHR	VHR	FR	VHR	VHR	VHR	HR	HR
K6	FR	FR	FR	FR	VHR	VHR	VHR	HR	HR
K7	FR	WR	WR	FR	VHR	VHR	VHR	WR	WR
K8	SR	FR	FR	SR	FR	FR	FR	FR	FR
K9	FR	FR	HR	HR	AR	AR	AR	VHR	VHR
K10	AR	VHR	VHR	HR	VHR	VHR	VHR	VHR	HR
K11	-	AR	WR	VHR	WR	WR	WR	FR	FR
K12	-	-	AR	FR	WR	WR	WR	WR	FR
K13	-	-	-	AR	AR	AR	AR	VHR	VHR
K14	-	-	-	-	AR	HR	HR	WR	FR
K15	-	-	-	-	-	AR	WR	WR	FR
K16	-	-	-	-	-	-	AR	FR	FR
K17	-	-	-	-	-	-	-	AR	FR
K18	-	-	-	-	-	-	-	-	AR

EK 3

Ek 3. Kısıtlama değerlendirmelerinin bulanık üçgen Z-sayı karşılıkları

Uzman 1 (K1-K6)

Kriter	**K1**			**K2**			**K3**			**K4**			**K5**			**K6**		
K1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	3,00	5,00	7,00	5,00	7,00	9,00	1,00	3,00	5,00
K2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00	5,00	7,00	9,00	1,00	1,00	1,00
K3	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	5,00	7,00	9,00	5,00	7,00	9,00	1,00	1,00	1,00
K4	0,14	0,20	0,33	0,14	0,20	0,33	0,11	0,14	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	0,14	0,20	0,33
K5	0,11	0,14	0,20	0,11	0,14	0,20	0,11	0,14	0,20	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	0,14	0,20	0,33
K6	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00	3,00	5,00	7,00	1,00	1,00	1,00
K7	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00	3,00	5,00	7,00	1,00	1,00	1,00
K8	0,11	0,14	0,20	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	0,11	0,14	0,20
K9	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	3,00	5,00	7,00	1,00	1,00	1,00
K10	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	0,20	0,33	1,00
K11	3,00	5,00	7,00	3,00	5,00	7,00	5,00	7,00	9,00	7,00	9,00	9,00	5,00	7,00	9,00	1,00	1,00	1,00
K12	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	0,20	0,33	1,00
K13	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	7,00	9,00	9,00	7,00	9,00	9,00	0,20	0,33	1,00
K14	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	5,00	7,00	9,00	5,00	7,00	9,00	0,20	0,33	1,00
K15	3,00	5,00	7,00	3,00	5,00	7,00	3,00	5,00	7,00	7,00	9,00	9,00	7,00	9,00	9,00	1,00	1,00	1,00
K16	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	5,00	7,00	9,00	5,00	7,00	9,00	5,00	7,00	9,00	0,20	0,33	1,00
K17	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00	5,00	7,00	9,00	0,20	0,33	1,00
K18	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	5,00	7,00	9,00	5,00	7,00	9,00	0,20	0,33	1,00

Uzman 1 (K7-K12)

Kriter	K7			K8			K9			K10			K11			K12		
K1	1,00	1,00	1,00	5,00	7,00	9,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00
K2	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00
K3	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	0,11	0,14	0,20	1,00	3,00	5,00
K4	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	0,11	0,11	0,14	0,20	0,33	1,00
K5	0,14	0,20	0,33	0,20	0,33	1,00	0,14	0,20	0,33	0,20	0,33	1,00	0,11	0,14	0,20	0,20	0,33	1,00
K6	1,00	1,00	1,00	5,00	7,00	9,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00
K7	1,00	1,00	1,00	5,00	7,00	9,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00
K8	0,11	0,14	0,20	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	0,14	0,20	0,33	0,11	0,14	0,20	0,20	0,33	1,00
K9	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00
K10	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00	7,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	0,14	0,20	0,33	3,00	5,00	7,00
K11	1,00	1,00	1,00	5,00	7,00	9,00	1,00	3,00	5,00	3,00	5,00	7,00	1,00	1,00	1,00	5,00	7,00	9,00
K12	0,20	0,33	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	0,14	0,20	0,33	0,11	0,14	0,20	1,00	1,00	1,00
K13	0,20	0,33	1,00	1,00	3,00	5,00	3,00	5,00	7,00	1,00	3,00	5,00	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00
K14	0,20	0,33	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	0,11	0,11	0,14	1,00	1,00	1,00
K15	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00	3,00	5,00	7,00	1,00	3,00	5,00	0,20	0,33	1,00	1,00	3,00	5,00
K16	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00	7,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00
K17	0,20	0,33	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00
K18	0,20	0,33	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00

Uzman 1 (K13-K18)

Kriter	K13			K14			K15			K16			K17			K18		
K1	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	0,14	0,20	0,33	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00	7,00	1,00	1,00	1,00
K2	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	0,14	0,20	0,33	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K3	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	0,14	0,20	0,33	0,11	0,14	0,20	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00
K4	0,11	0,11	0,14	0,11	0,14	0,20	0,11	0,11	0,14	0,11	0,14	0,20	0,14	0,20	0,33	0,11	0,14	0,20
K5	0,11	0,11	0,14	0,11	0,14	0,20	0,11	0,11	0,14	0,11	0,14	0,20	0,11	0,14	0,20	0,11	0,14	0,20
K6	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00
K7	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00
K8	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	0,14	0,20	0,33	0,14	0,20	0,33	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00
K9	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K10	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00
K11	3,00	5,00	7,00	7,00	9,00	9,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00
K12	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K13	1,00	1,00	1,00	7,00	9,00	9,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00	3,00	5,00	7,00
K14	0,11	0,11	0,14	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00
K15	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00	5,00	7,00	9,00
K16	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00	5,00	7,00	9,00
K17	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00	0,14	0,20	0,33	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	5,00	7,00	9,00
K18	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00	0,11	0,14	0,20	0,11	0,14	0,20	0,11	0,14	0,20	1,00	1,00	1,00

Uzman 2 (K1-K6)

Kriter	K1			K2			K3			K4			K5			K6		
K1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	3,00	5,00	7,00	3,00	5,00	7,00	0,11	0,11	0,14
K2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00
K3	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00
K4	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,11	0,11	0,14
K5	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00
K6	7,00	9,00	9,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	7,00	9,00	9,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00
K7	7,00	9,00	9,00	1,00	3,00	5,00	7,00	9,00	9,00	1,00	3,00	5,00	7,00	9,00	9,00	0,11	0,14	0,20
K8	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	0,11	0,14	0,20
K9	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	0,11	0,14	0,20
K10	5,00	7,00	9,00	5,00	7,00	9,00	5,00	7,00	9,00	3,00	5,00	7,00	5,00	7,00	9,00	1,00	1,00	1,00
K11	0,11	0,11	0,14	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	5,00	7,00	9,00
K12	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00
K13	7,00	9,00	9,00	1,00	3,00	5,00	7,00	9,00	9,00	1,00	3,00	5,00	7,00	9,00	9,00	1,00	1,00	1,00
K14	0,11	0,14	0,20	0,14	0,20	0,33	0,11	0,14	0,20	1,00	1,00	1,00	0,11	0,14	0,20	1,00	1,00	1,00
K15	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K16	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K17	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	0,14	0,20	0,33
K18	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Uzman 2 (K7-K12)

Kriter	K7			K8			K9			K10			K11			K12		
K1	0,11	0,11	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	3,00	5,00	0,11	0,14	0,20	7,00	9,00	9,00	1,00	1,00	1,00
K2	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	1,00	3,00	5,00	0,11	0,14	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K3	0,11	0,11	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	3,00	5,00	0,11	0,14	0,20	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00
K4	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	1,00	3,00	5,00	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00
K5	0,11	0,11	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	3,00	5,00	0,11	0,14	0,20	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00
K6	5,00	7,00	9,00	5,00	7,00	9,00	5,00	7,00	9,00	1,00	1,00	1,00	0,11	0,14	0,20	0,20	0,33	1,00
K7	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	1,00	3,00	5,00	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00
K8	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	5,00	7,00	9,00	1,00	1,00	1,00	5,00	7,00	9,00	0,20	0,33	1,00
K9	0,20	0,33	1,00	0,11	0,14	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00	1,00	1,00	1,00
K10	3,00	5,00	7,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00	1,00	1,00	1,00
K11	0,20	0,33	1,00	0,11	0,14	0,20	0,14	0,20	0,33	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	0,11	0,14	0,20
K12	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	5,00	7,00	9,00	1,00	1,00	1,00
K13	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	7,00	9,00	9,00	1,00	1,00	1,00
K14	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K15	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	5,00	7,00	9,00	1,00	1,00	1,00
K16	1,00	1,00	1,00	0,14	0,20	0,33	0,20	0,33	1,00	5,00	7,00	9,00	7,00	9,00	9,00	0,14	0,20	0,33
K17	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	5,00	7,00	9,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K18	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	5,00	7,00	9,00	5,00	7,00	9,00	1,00	1,00	1,00

Uzman 2 (K13-K18)

Kriter	K13			K14			K15			K16			K17			K18		
K1	0,11	0,11	0,14	5,00	7,00	9,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00
K2	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00	7,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00
K3	0,11	0,11	0,14	5,00	7,00	9,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00
K4	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K5	0,11	0,11	0,14	5,00	7,00	9,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00
K6	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00	1,00	1,00	1,00
K7	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	0,20	0,33	1,00
K8	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00
K9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00
K10	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	0,11	0,14	0,20	0,11	0,14	0,20	0,11	0,14	0,20
K11	0,11	0,11	0,14	1,00	1,00	1,00	0,11	0,14	0,20	0,11	0,11	0,14	1,00	1,00	1,00	0,11	0,14	0,20
K12	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K13	1,00	1,00	1,00	5,00	7,00	9,00	5,00	7,00	9,00	5,00	7,00	9,00	5,00	7,00	9,00	5,00	7,00	9,00
K14	0,11	0,14	0,20	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00	7,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00
K15	0,11	0,14	0,20	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K16	0,11	0,14	0,20	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	3,00	5,00	7,00
K17	0,11	0,14	0,20	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K18	0,11	0,14	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Uzman 3 (K1-K6)

Kriter	K1			K2			K3			K4			K5			K6		
K1	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00	3,00	5,00	7,00	5,00	7,00	9,00	7,00	9,00	9,00	1,00	3,00	5,00
K2	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00	1,00	1,00	1,00
K3	0,14	0,20	0,33	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00
K4	0,11	0,14	0,20	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00
K5	0,11	0,11	0,14	0,14	0,20	0,33	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00
K6	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00
K7	0,20	0,33	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	3,00	5,00	7,00	1,00	3,00	5,00
K8	0,20	0,33	1,00	0,14	0,20	0,33	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00
K9	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00	1,00	3,00	5,00	3,00	5,00	7,00	3,00	5,00	7,00
K10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00
K11	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00
K12	0,11	0,14	0,20	0,14	0,20	0,33	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K13	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	3,00	5,00	7,00	3,00	5,00	7,00
K14	0,11	0,11	0,14	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K15	0,11	0,11	0,14	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K16	0,20	0,33	1,00	1,00	3,00	5,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K17	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00
K18	0,20	0,33	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	3,00	5,00	7,00	3,00	5,00	7,00	3,00	5,00	7,00

Uzman 3 (K7-K12)

Kriter	K7			K8			K9			K10			K11			K12		
K1	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	5,00	7,00	9,00
K2	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00	7,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00
K3	0,20	0,33	1,00	1,00	3,00	5,00	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00
K4	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00
K5	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	0,14	0,20	0,33	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00
K6	0,20	0,33	1,00	1,00	3,00	5,00	0,14	0,20	0,33	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K7	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	3,00	5,00	7,00
K8	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	0,14	0,20	0,33	0,14	0,20	0,33	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00
K9	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	3,00	5,00	7,00
K10	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00	3,00	5,00	7,00
K11	0,20	0,33	1,00	1,00	3,00	5,00	0,20	0,33	1,00	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K12	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	0,14	0,20	0,33	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K13	1,00	3,00	5,00	3,00	5,00	7,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	3,00	5,00	7,00	3,00	5,00	7,00
K14	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00	0,14	0,20	0,33	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K15	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00	0,14	0,20	0,33	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K16	0,20	0,33	1,00	1,00	3,00	5,00	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00
K17	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00
K18	1,00	3,00	5,00	5,00	7,00	9,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	3,00	5,00	7,00

Uzman 3 (K13-K18)

Kriter	K13			K14			K15			K16			K17			K18		
K1	0,20	0,33	1,00	7,00	9,00	9,00	7,00	9,00	9,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00
K2	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00
K3	0,20	0,33	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00
K4	0,20	0,33	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	0,14	0,20	0,33
K5	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	0,14	0,20	0,33
K6	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	0,14	0,20	0,33
K7	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00	7,00	3,00	5,00	7,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00
K8	0,14	0,20	0,33	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	0,14	0,20	0,33	0,11	0,14	0,20
K9	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00	3,00	5,00	7,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00
K10	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00	7,00	3,00	5,00	7,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00
K11	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00
K12	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	0,14	0,20	0,33
K13	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00	5,00	7,00	9,00	3,00	5,00	7,00	3,00	5,00	7,00	3,00	5,00	7,00
K14	0,14	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	0,14	0,20	0,33
K15	0,11	0,14	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	0,14	0,20	0,33
K16	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00
K17	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00
K18	0,14	0,20	0,33	3,00	5,00	7,00	3,00	5,00	7,00	1,00	3,00	5,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00

EK 4

Ek 4. Güvenilirlik değerlendirmelerinin bulanık üçgen Z-sayı karşılıkları

Uzman 1 (K1-K6)

Kriter	**K1**			**K2**			**K3**			**K4**			**K5**			**K6**		
K1	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K2	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K3	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K6	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K7	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,60	0,70
K8	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90
K9	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	0,70	0,80
K10	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	0,70	0,80
K11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90
K12	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	0,70	0,80
K13	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90
K14	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90
K15	0,60	0,70	0,80	0,60	0,70	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K16	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K17	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90
K18	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90

Uzman 1 (K7-K12)

Kriter	K7			K8			K9			K10			K11			K12		
K1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90
K2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90
K3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K6	0,50	0,60	0,70	0,70	0,80	0,90	0,60	0,70	0,80	0,60	0,70	0,80	0,70	0,80	0,90	0,60	0,70	0,80
K7	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	0,60	0,70	0,80	0,60	0,70	0,80	0,70	0,80	0,90	0,60	0,70	0,80
K8	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	0,50	0,60	0,70	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	0,50	0,60	0,70
K9	0,60	0,70	0,80	0,50	0,60	0,70	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	0,50	0,60	0,70
K10	0,60	0,70	0,80	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90
K11	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K12	0,60	0,70	0,80	0,50	0,60	0,70	0,50	0,60	0,70	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K13	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90
K14	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90
K15	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K16	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K17	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	0,60	0,70	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K18	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	0,60	0,70	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Uzman 1 (K13-K18)

Kriter	K13			K14			K15			K16			K17			K18		
K1	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	0,60	0,70	0,80	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90
K2	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	0,60	0,70	0,80	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90
K3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K6	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90
K7	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90
K8	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90
K9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90
K10	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	0,60	0,70	0,80	0,60	0,70	0,80
K11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K12	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K13	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K14	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90
K15	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K16	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K17	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90
K18	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00

Uzman 2 (K1-K6)

Kriter	K1			K2			K3			K4			K5			K6		
K1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,60	0,70	0,60	0,70	0,80	0,60	0,70	0,80	0,00	0,10	0,20
K2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,30	0,40	0,50
K3	0,50	0,60	0,70	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,30	0,40	0,50
K4	0,60	0,70	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,10	0,20
K5	0,60	0,70	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,30	0,40	0,50
K6	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,00	1,00
K7	0,00	0,10	0,20	1,00	3,00	5,00	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,00	0,10	0,20	0,70	0,80	0,90
K8	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	0,70	0,80	0,90
K9	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
K10	0,10	0,20	0,30	0,10	0,20	0,30	0,10	0,20	0,30	0,20	0,30	0,40	0,10	0,20	0,30	1,00	1,00	1,00
K11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,40	0,50	0,60	1,00	1,00	1,00	0,10	0,20	0,30
K12	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,30	0,40	0,50	1,00	1,00	1,00	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50
K13	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,00	0,10	0,20	1,00	1,00	1,00
K14	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00
K15	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K16	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K17	0,40	0,50	0,60	1,00	1,00	1,00	0,40	0,50	0,60	1,00	1,00	1,00	0,40	0,50	0,60	0,60	0,70	0,80
K18	1,00	1,00	1,00	0,30	0,40	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Uzman 2 (K7-K12)

Kriter	K7			K8			K9			K10			K11			K12		
K1	0,00	0,10	0,20	1,00	3,00	5,00	0,40	0,50	0,60	0,10	0,20	0,30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K2	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	0,40	0,50	0,60	0,10	0,20	0,30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K3	0,00	0,10	0,20	1,00	3,00	5,00	0,40	0,50	0,60	0,10	0,20	0,30	1,00	1,00	1,00	0,30	0,40	0,50
K4	0,30	0,40	0,50	1,00	3,00	5,00	0,40	0,50	0,60	0,20	0,30	0,40	0,40	0,50	0,60	1,00	1,00	1,00
K5	0,00	0,10	0,20	1,00	3,00	5,00	0,40	0,50	0,60	0,10	0,20	0,30	1,00	1,00	1,00	0,30	0,40	0,50
K6	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	0,10	0,20	0,30	0,30	0,40	0,50
K7	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	0,40	0,50	0,60	0,20	0,30	0,40	0,40	0,50	0,60	1,00	1,00	1,00
K8	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	0,30	0,40	0,50
K9	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	0,70	0,80	1,00	1,00	1,00
K10	0,20	0,30	0,40	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	0,70	0,80	1,00	1,00	1,00
K11	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,60	0,70	0,80	0,60	0,70	0,80	1,00	1,00	1,00	0,10	0,20	0,30
K12	1,00	1,00	1,00	0,30	0,40	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,10	0,20	0,30	1,00	1,00	1,00
K13	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,40	0,50	0,60	0,00	0,10	0,20	1,00	1,00	1,00
K14	0,60	0,70	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,40	0,50	0,60	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K15	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	0,70	0,80	1,00	1,00	1,00	0,10	0,20	0,30	1,00	1,00	1,00
K16	1,00	1,00	1,00	0,60	0,70	0,80	0,40	0,50	0,60	0,20	0,30	0,40	0,00	0,10	0,20	0,60	0,70	0,80
K17	0,40	0,50	0,60	1,00	1,00	1,00	0,40	0,50	0,60	0,20	0,30	0,40	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K18	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50	1,00	1,00	1,00	0,20	0,30	0,40	0,00	0,10	0,20	1,00	1,00	1,00

Uzman 2 (K13-K18)

Kriter	K13			K14			K15			K16			K17			K18		
K1	0,00	0,10	0,20	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,40	0,50	0,60	1,00	1,00	1,00
K2	0,30	0,40	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,30	0,40	0,50
K3	0,00	0,10	0,20	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,40	0,50	0,60	1,00	1,00	1,00
K4	0,30	0,40	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K5	0,00	0,10	0,20	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,40	0,50	0,60	1,00	1,00	1,00
K6	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	0,70	0,80	1,00	1,00	1,00
K7	1,00	1,00	1,00	0,60	0,70	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,40	0,50	0,60	0,30	0,40	0,50
K8	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	0,70	0,80	1,00	1,00	1,00	0,30	0,40	0,50
K9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	0,70	0,80	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60	1,00	1,00	1,00
K10	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60	1,00	1,00	1,00	0,20	0,30	0,40	0,20	0,30	0,40	0,20	0,30	0,40
K11	0,00	0,10	0,20	1,00	1,00	1,00	0,10	0,20	0,30	0,00	0,10	0,20	1,00	1,00	1,00	0,00	0,10	0,20
K12	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	0,70	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K13	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90
K14	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,30	0,40	0,50	1,00	1,00	1,00
K15	0,70	0,80	0,90	0,30	0,40	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K16	0,70	0,80	0,90	0,60	0,70	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,40	0,50	0,60	0,60	0,70	0,80
K17	0,70	0,80	0,90	0,30	0,40	0,50	1,00	1,00	1,00	0,40	0,50	0,60	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K18	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	0,70	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Uzman 3 (K1-K6)

Kriter	K1			K2			K3			K4			K5			K6		
K1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90
K2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	0,70	0,80	0,70	0,80	0,90	0,60	0,70	0,80	0,70	0,80	0,90
K3	0,70	0,80	0,90	0,60	0,70	0,80	1,00	1,00	1,00	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60
K4	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	0,30	0,40	0,50	1,00	1,00	1,00	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60
K5	1,00	1,00	1,00	0,60	0,70	0,80	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50	1,00	1,00	1,00	0,30	0,40	0,50
K6	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60	0,30	0,40	0,50	1,00	1,00	1,00
K7	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60	0,30	0,40	0,50	0,50	0,60	0,70
K8	1,00	1,00	1,00	0,60	0,70	0,80	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60	0,50	0,60	0,70	0,60	0,70	0,80
K9	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50	0,50	0,60	0,70	0,40	0,50	0,60
K10	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50	0,50	0,60	0,70	0,40	0,50	0,60
K11	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60	0,60	0,70	0,80	0,40	0,50	0,60
K12	0,70	0,80	0,90	0,60	0,70	0,80	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60	0,60	0,70	0,80	0,40	0,50	0,60
K13	0,70	0,80	0,90	0,60	0,70	0,80	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60
K14	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,60	0,70	0,40	0,50	0,60	0,60	0,70	0,80	0,60	0,70	0,80
K15	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,60	0,70	0,40	0,50	0,60	0,60	0,70	0,80	0,60	0,70	0,80
K16	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,60	0,70	0,40	0,50	0,60	0,60	0,70	0,80	0,60	0,70	0,80
K17	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50	0,50	0,60	0,70	0,50	0,60	0,70
K18	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50	0,50	0,60	0,70	0,50	0,60	0,70

Uzman 3 (K7-K12)

Kriter	K7			K8			K9			K10			K11			K12		
K1	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90
K2	0,70	0,80	0,90	0,60	0,70	0,80	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	0,60	0,70	0,80
K3	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60
K4	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60
K5	0,30	0,40	0,50	0,50	0,60	0,70	0,50	0,60	0,70	0,50	0,60	0,70	0,60	0,70	0,80	0,60	0,70	0,80
K6	0,50	0,60	0,70	0,60	0,70	0,80	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60
K7	1,00	1,00	1,00	0,60	0,70	0,80	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50
K8	0,60	0,70	0,80	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60
K9	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60	0,50	0,60	0,70
K10	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,40	0,50	0,60	1,00	1,00	1,00	0,60	0,70	0,80	0,60	0,70	0,80
K11	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60	0,60	0,70	0,80	1,00	1,00	1,00	0,30	0,40	0,50
K12	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60	0,50	0,60	0,70	0,60	0,70	0,80	0,30	0,40	0,50	1,00	1,00	1,00
K13	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,50	0,60	0,70	0,50	0,60	0,70	0,60	0,70	0,80	0,40	0,50	0,60
K14	0,60	0,70	0,80	0,40	0,50	0,60	1,00	1,00	1,00	0,60	0,70	0,80	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50
K15	0,60	0,70	0,80	0,40	0,50	0,60	1,00	1,00	1,00	0,60	0,70	0,80	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50
K16	0,60	0,70	0,80	0,40	0,50	0,60	1,00	1,00	1,00	0,60	0,70	0,80	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50
K17	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60	0,60	0,70	0,80	0,60	0,70	0,80	0,40	0,50	0,60	0,30	0,40	0,50
K18	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60	0,60	0,70	0,80	0,50	0,60	0,70	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60

Uzman 3 (K13-K18)

Kriter	K13			K14			K15			K16			K17			K18		
K1	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90
K2	0,60	0,70	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,80	0,90	0,70	0,80	0,90
K3	0,30	0,40	0,50	0,50	0,60	0,70	0,50	0,60	0,70	0,50	0,60	0,70	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50
K4	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50
K5	0,40	0,50	0,60	0,60	0,70	0,80	0,60	0,70	0,80	0,60	0,70	0,80	0,50	0,60	0,70	0,50	0,60	0,70
K6	0,40	0,50	0,60	0,60	0,70	0,80	0,60	0,70	0,80	0,60	0,70	0,80	0,50	0,60	0,70	0,50	0,60	0,70
K7	0,40	0,50	0,60	0,60	0,70	0,80	0,60	0,70	0,80	0,60	0,70	0,80	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50
K8	0,70	0,80	0,90	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60
K9	0,50	0,60	0,70	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	0,70	0,80	0,60	0,70	0,80
K10	0,50	0,60	0,70	0,60	0,70	0,80	0,60	0,70	0,80	0,60	0,70	0,80	0,60	0,70	0,80	0,50	0,60	0,70
K11	0,60	0,70	0,80	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60
K12	0,40	0,50	0,60	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60
K13	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	0,70	0,80	0,60	0,70	0,80
K14	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,60	0,70	0,50	0,60	0,70	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60
K15	1,00	1,00	1,00	0,50	0,60	0,70	1,00	1,00	1,00	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60
K16	1,00	1,00	1,00	0,50	0,60	0,70	0,30	0,40	0,50	1,00	1,00	1,00	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60
K17	0,60	0,70	0,80	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60	1,00	1,00	1,00	0,40	0,50	0,60
K18	0,60	0,70	0,80	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60	1,00	1,00	1,00

EK 5

Ek 5. Kısıtlama karar kriterler ve alternatifleri için ikili karşılaştırma matrisi

Uzman 1

Kriterler/Alternatifler	**A1**	**A2**	**A3**	**A4**	**A5**
K1	RWI	AI	RWI	AI	AI
K2	AI	GI	AI	GI	MI
K3	EI	EI	EI	RAI	EI
K4	WI	GI	WI	MI	AI
K5	RMI	RWI	RWI	WI	WI
K6	WI	WI	WI	MI	WI
K7	RGI	MI	RGI	MI	MI
K8	RWI	EI	RWI	EI	EI
K9	RWI	WI	GI	GI	AI
K10	RAI	MI	RAI	AI	AI
K11	EI	MI	EI	EI	MI
K12	EI	MI	WI	WI	GI
K13	GI	AI	GI	GI	AI
K14	MI	GI	MI	GI	AI
K15	GI	GI	GI	AI	AI
K16	RAI	RAI	RAI	WI	WI
K17	RWI	WI	WI	RWI	WI
K18	RMI	RWI	AI	RWI	RWI

Uzman 2

Kriterler/Alternatifler	A1	A2	A3	A4	A5
K1	WI	WI	RMI	EI	AI
K2	MI	GI	RMI	WI	AI
K3	RMI	MI	RMI	EI	GI
K4	WI	MI	WI	MI	GI
K5	EI	MI	WI	EI	GI
K6	RMI	MI	WI	WI	AI
K7	WI	GI	WI	MI	AI
K8	EI	MI	WI	WI	GI
K9	MI	GI	MI	GI	AI
K10	MI	GI	EI	MI	AI
K11	EI	GI	EI	MI	AI
K12	WI	MI	WI	EI	AI
K13	MI	GI	WI	MI	AI
K14	MI	MI	WI	EI	GI
K15	WI	GI	EI	MI	AI
K16	WI	GI	WI	EI	AI
K17	WI	GI	WI	MI	AI
K18	WI	GI	EI	MI	AI

Uzman 3

Kriterler/Alternatifler	A1	A2	A3	A4	A5
K1	RWI	RWI	MI	GI	RWI
K2	EI	EI	WI	RMI	WI
K3	RWI	WI	WI	EI	MI
K4	EI	RMI	EI	RWI	RMI
K5	WI	RMI	EI	EI	RMI
K6	EI	GI	GI	WI	AI
K7	EI	WI	EI	EI	MI
K8	EI	WI	EI	EI	MI
K9	WI	RWI	RWI	EI	RMI
K10	RWI	EI	EI	WI	WI
K11	RWI	MI	GI	MI	GI
K12	GI	EI	EI	EI	EI
K13	GI	WI	MI	WI	WI
K14	GI	WI	WI	MI	WI
K15	MI	EI	EI	WI	EI
K16	EI	MI	WI	WI	MI
K17	WI	WI	MI	WI	MI
K18	EI	EI	WI	EI	EI

EK 6

Ek 6. Kısıtlama karar kriterler ve alternatiflerinin güvenilirliği için ikili karşılaştırma matrisi

Uzman 1

Kriterler/Alternatifler	A1	A2	A3	A4	A5
K1	AR	AR	AR	AR	AR
K2	AR	AR	AR	AR	AR
K3	SR	SR	AR	AR	SR
K4	FR	HR	FR	HR	HR
K5	FR	FR	FR	HR	HR
K6	VHR	VHR	VHR	VHR	VHR
K7	SR	SR	SR	VHR	SR
K8	FR	FR	FR	FR	FR
K9	WR	WR	FR	FR	WR
K10	HR	SR	HR	AR	AR
K11	HR	HR	HR	HR	HR
K12	VHR	SR	SR	SR	SR
K13	AR	AR	AR	AR	AR
K14	SR	VHR	SR	SR	AR
K15	AR	AR	AR	AR	AR
K16	VWR	VWR	VWR	HR	HR
K17	FR	FR	HR	FR	FR
K18	VWR	WR	AR	WR	WR

Uzman 2

Kriterler/Alternatifler	A1	A2	A3	A4	A5
K1	HR	HR	VWR	FR	AR
K2	VHR	SR	VWR	HR	AR
K3	VWR	VHR	VWR	FR	SR
K4	HR	VHR	HR	VHR	SR
K5	FR	VHR	HR	FR	SR
K6	VWR	VHR	HR	HR	AR
K7	HR	SR	HR	VHR	AR
K8	FR	VHR	HR	HR	SR
K9	VHR	SR	VHR	SR	AR
K10	VHR	SR	FR	VHR	AR
K11	FR	SR	FR	VHR	AR
K12	HR	VHR	HR	FR	AR
K13	VHR	SR	HR	VHR	AR
K14	VHR	VHR	HR	FR	SR
K15	HR	SR	FR	VHR	AR
K16	HR	SR	HR	FR	AR
K17	HR	SR	HR	VHR	AR
K18	HR	SR	FR	VHR	AR

Uzman 3

Kriterler/Alternatifler	A1	A2	A3	A4	A5
K1	WR	WR	VHR	SR	WR
K2	FR	FR	HR	VWR	HR
K3	WR	HR	HR	FR	VHR
K4	FR	VWR	FR	WR	VWR
K5	HR	VWR	FR	FR	VWR
K6	FR	SR	SR	HR	AR
K7	FR	HR	FR	FR	VHR
K8	FR	HR	FR	FR	VHR
K9	HR	WR	WR	FR	VWR
K10	WR	FR	FR	HR	HR
K11	WR	VHR	SR	VHR	SR
K12	SR	FR	FR	FR	FR
K13	SR	HR	VHR	HR	HR
K14	SR	HR	HR	VHR	HR
K15	VHR	FR	FR	HR	FR
K16	FR	VHR	HR	HR	VHR
K17	HR	HR	VHR	HR	VHR
K18	FR	FR	HR	FR	FR

TEZ İNTİHAL RAPORU

SÜRDÜRÜLEBİLİR KENT BAKIŞ AÇISIYLA SON ADIM TESLİMAT SENARYOLARININ BULANIK Z-AHP VE BULANIK Z-WASPAS İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Yazar Fatmanur Özer

Gönderim Tarihi: 05-Ara-2025 02:57ÖS (UTC+0300)
Gönderim Numarası: 2836538971
Dosya adı: fatmanur_zer_tez_finall2.docx (2.2M)
Kelime sayısı: 36186
Karakter sayısı: 260744

SÜRDÜRÜLEBİLİR KENT BAKIŞ AÇISIYLA SON ADIM TESLİMAT SENARYOLARININ BULANIK Z-AHP VE BULANIK Z-WASPAS İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

ORİJİNALLİK RAPORU

%2	%2	%2	%
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

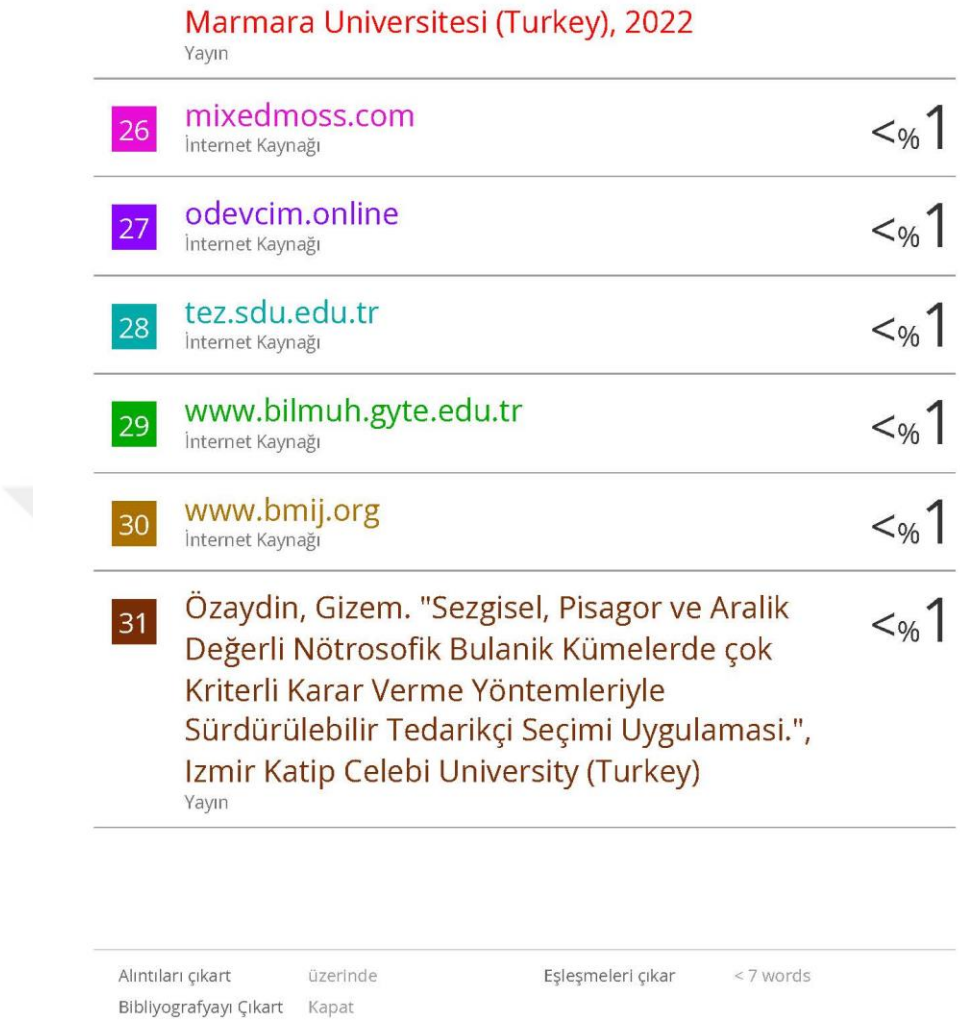
BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	Gürsoy, Necdet. "Bulanık Dematel be Bulanık Topsis Yöntemleri Ile Üretme Satın Alma Kararlarını Etkileyen Faktörlerin Incelenmesi ve Otomotiv Yedek Parça Sektöründe bir Uygulama", Sakarya Universitesi (Turkey), 2022 Yayın	%1
2	hdl.handle.net İnternet Kaynağı	<%1
3	openaccess.mef.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
4	docplayer.biz.tr İnternet Kaynağı	<%1
5	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	<%1
6	dspace.yildiz.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
7	Bark, Nuray. "Bulanık Mantık Yaklaşımı Ile Mobilya Sektöründe Tedarikçi Seçimi", Sakarya Universitesi (Turkey), 2022 Yayın	<%1

www.gmo.org.tr

8	İnternet Kaynağı	<%1
9	Acer, Aynur. "Bulanik Ahp Yontemi Ile Lojistik Yonetimine Cozum Yaklasimi Ve Bir Uygulama", Marmara Universitesi (Turkey) Yayın	<%1
10	Esatoğlu, Oğuzhan. "Üniform olmayan akımlarda su yüzeyi profillerinin deneysel ve sayısal araştırılması", Dokuz Eylul Universitesi (Turkey), 2024 Yayın	<%1
11	panel.bidgecongress.org İnternet Kaynağı	<%1
12	acikerisim.pau.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
13	acikerisim.sakarya.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
14	www.iksadkongre.com İnternet Kaynağı	<%1
15	Tekbaş, Hakan. "Davlumbaz motorlarında istatistiksel enerji verimliliği analizi ve Fuzzy TOPSİS yöntemi ile tedarikçi seçimi", Amasya University (Turkey), 2024 Yayın	<%1
16	ev.hedeffilo.com İnternet Kaynağı	<%1
17	"Intelligent and Fuzzy Techniques in Aviation 4.0", Springer Science and Business Media LLC, 2022 Yayın	<%1

18	Arslan, Zeynep. "Sürdürülebilir ve dirençli kentler oluşturulmasında mavi-yeşil altyapıların rolü. İstanbul Maltepe örneği", Mimar Sinan Fine Arts University (Turkey), 2024 Yayın	<%1
19	libratez.cu.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
20	www.koyumuz.net İnternet Kaynağı	<%1
21	www.nevoku.com İnternet Kaynağı	<%1
22	Ülke, Asli. "Ege Bölgesi Doğal Akarsularında Katı Madde Taşınımı İçin Ampirik, Regresyon ve Yapay Zeka Yöntemlerinin Uygulanması", Dokuz Eylul Universitesi (Turkey), 2024 Yayın	<%1
23	Aliyeva, Nigar. "Slow Food Hareketinin Gastronomi Turizminin Sürdürülebilirliği Ile Ilişkisi: Foça Örneği", Dokuz Eylul Universitesi (Turkey), 2024 Yayın	<%1
24	Karaduman, İlkay. "Stratejik Tedarik Zinciri Yönetimi'nde Bilişim Teknolojileri'nin Kullanımı: Perakendecilik Sektörü'nde bir Uygulama", Dokuz Eylul Universitesi (Turkey), 2024 Yayın	<%1
25	Uysal, Belma Seher. "Bulanik Mantik Yaklasimi Ile Yonetici Yetkinliklerinin olCulmesi",	<%1



Marmara Universitesi (Turkey), 2022
Yayın

26	mixedmoss.com İnternet Kaynağı	<%1
27	odevcim.online İnternet Kaynağı	<%1
28	tez.sdu.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
29	www.bilmuh.gyte.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
30	www.bmij.org İnternet Kaynağı	<%1
31	Özaydin, Gizem. "Sezgisel, Pisagor ve Aralik Değerli Nötrosofik Bulanik Kümelerde çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Sürdürülebilir Tedarikçi Seçimi Uygulamasi.", Izmir Katip Celebi University (Turkey) Yayın	<%1

Alıntıları çıkart üzerinde
Bibliyografyayı Çıkart Kapat
Eşleşmeleri çıkar < 7 words

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**Fatmanur ÖZER**
Uyruğu	**T.C.**

EĞİTİM BİLGİLERİ

Derece	**Kurum**	**Mezuniyet Yılı**
Lisans	**Erciyes Üniversitesi Endüstri Mühendisliği**	**2017**
Yüksek Lisans	**Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Uluslararası Ticaret ve Lojistik Yönetimi**	**2020**
Doktora	**Kayseri Üniversitesi Uluslararası Ticaret ve Lojistik**	**-**

İŞ DENEYİMLERİ

Derece	**Kurum**	**Görev Süresi**
Öğr.Gör.	**Kafkas Üniversitesi Sarıkamış MYO Lojistik Programı**	**2021**

YAYINLAR

Özer, F., & Büyükkeklik, A. (2020). Doğrusal bulanık regresyon modeli ile Türkiye'deki belediye atığı miktarının tahmini. Sosyoekonomi, 30(52), 473-490.

Özer, F., & Demirel, N. (2025). A review of collaborative strategies in last-mile logistics from an urban sustainability perspective. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14(3), 1171-1184.



Uygulama ve Proje Odaklı, İş Dünyası ile Bütünleşen Üniversite