KAYSERİ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ULUSLARARASI TİCARET ve LOJİSTİK ANABİLİM DALI

SÜRDÜRÜLEBİLİR KENT LOJİSTİĞİNDE PAYLAŞIMLI BİSİKLET SİSTEMİ İSTASYONU YER SEÇİMİ İÇİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME VE OPTİMİZASYONA DAYALI HİBRİT BİR YAKLAŞIM

DOKTORA TEZİ

NİMET ELMACIOĞLU

DANIŞMANLAR

PROF. DR. OĞUZ ÖCAL

PROF. DR. NESLİHAN DEMİREL



2025

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

SÜRDÜRÜLEBİLİR KENT LOJİSTİĞİNDE PAYLAŞIMLI BİSİKLET SİSTEMİ İSTASYONU YER SEÇİMİ İÇİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME VE OPTİMİZASYONA DAYALI HİBRİT BİR YAKLAŞIM

Doktora Tezi

Hazırlayan
Nimet ELMACIOĞLU

Danışmanlar
Prof. Dr. Oğuz ÖCAL
Prof. Dr. Neslihan DEMİREL

Jüri Üyeleri
1. Prof. Dr. Oğuz ÖCAL
2. Prof. Dr. Mehmet Duran TOKSARI
3. Doç. Dr. Yasemin KAYA
4. Doç. Dr. Yılmaz DELİCE
5. Doç. Dr. Volkan HAN

Bu çalışma; TÜBİTAK tarafından 125M277 kodlu proje ve YÖK 100/2000 Projesi kapsamında desteklenmiştir.

Kasım, 2025
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

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

Nimet ELMACIOĞLU

İmza

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

T.C.
Kayseri Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğü

Anabilim Dalı : Uluslararası Ticaret ve Lojistik
Program Adı : Doktora
Tez Başlığı : Sürdürülebilir Kent Lojistiğinde Paylaşımlı Bisiklet Sistemi İstasyonu Yer Seçimi İçin Çok Kriterli Karar Verme ve Optimizasyona Dayalı Hibrit Bir Yaklaşım

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmasının a) Giriş, b) Ana bölümler ve c) Sonuç kısımlarından oluşan (Kapak, Önsöz, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) toplam 103 sayfalık kısmına ilişkin 08/12/2025 tarihinde ***Turnitin*** intihal programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan özgünlük raporuna göre tezin benzerlik oranı**: % 4'** tür.

Uygulanan filtrelemeler:

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

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

Gereğini bilgilerinize arz ederim. 08/12/2025

Danışman
Prof. Dr. Oğuz ÖCAL
İmza

Öğrenci
Nimet ELMACIOĞLU
İmza

KILAVUZA UYGUNLUK

"**Sürdürülebilir Kent Lojistiğinde Paylaşımlı Bisiklet Sistemi İstasyonu Yer Seçimi İçin Çok Kriterli Karar Verme ve Optimizasyona Dayalı Hibrit Bir Yaklaşım**" başlıklı Doktora tezi, Kayseri Üniversitesi Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Nimet ELMACIOĞLU

İmza

Tez Danışman

Prof. Dr. Oğuz ÖCAL

İmza

Uluslararası Ticaret ve Lojistik ABD Başkanı

Dr. Öğr. Üyesi Ayhan DURAK

İmza

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Prof. Dr. Oğuz ÖCAL ve Prof. Dr. Neslihan DEMİREL danışmanlığında Nimet ELMACIOĞLU tarafından hazırlanan "**Sürdürülebilir Kent Lojistiğinde Paylaşımlı Bisiklet Sistemi İstasyonu Yer Seçimi İçin Çok Kriterli Karar Verme ve Optimizasyona Dayalı Hibrit Bir Yaklaşım**" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından Kayseri Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Uluslararası Ticaret ve Lojistik Anabilim Dalında **Doktora tezi** olarak kabul edilmiştir.

10 /11 / 2025

JÜRİ:

Danışman	**: Prof. Dr. Oğuz ÖCAL**
Üye	**: Prof. Dr. Mehmet Duran TOKSARI**
Üye	**: Doç. Dr. Yasemin KAYA**
Üye	**: Doç. Dr. Yılmaz DELİCE**
Üye	**: Doç. Dr. Volkan Han**

ONAY:

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

……. /……../ ……

Doç. Dr. Ahmet TERZİ

Enstitü Müdürü

İmza

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, TÜBİTAK 1002–Hızlı Destek Programı kapsamında sağlanan proje desteği ile Yükseköğretim Kurulu tarafından yürütülen 100/2000 Doktora Burs Programı çerçevesinde sağlanan burs desteği ile gerçekleştirilmiştir. Söz konusu programların yürütülmesinde emeği geçen tüm yetkili ve idari personele derin şükranlarımı sunarım. Ayrıca tez çalışmasının tamamlanmasına veri, lojistik veya kurumsal destek sağlayarak katkıda bulunan Kayseri Ulaşım A.Ş. yönetimine ve bu süreçteki desteklerinden dolayı Bayram SARI'ya özel teşekkürlerimi arz ederim.

Çalışmanın tüm aşamalarında bilimsel rehberlikleri, yapıcı eleştirileri ve yönlendirmeleri için danışmanlarım Prof. Dr. Oğuz ÖCAL ve Prof. Dr. Neslihan DEMİREL'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Tez savunma sürecinde değerli görüş, öneri ve değerlendirmeleriyle çalışmaya son halini vermemde önemli katkılar sağlayan, saygıdeğer jüri üyelerim; Prof. Dr. Mehmet Duran TOKSARI, Doç. Dr. Yasemin KAYA, Doç. Dr. Yılmaz DELİCE ve Doç. Dr. Volkan HAN'a minnettarım. Araştırma sürecinde bilimsel paylaşımları ve dostluklarıyla katkı sağlayan dönem arkadaşlarım Dr. Salih ÖZDEMİR, Dr. Fatmanur ÖZER, Dr. Gülder SARAÇOĞLU ve Dr. İmeda PAKSADZE'ye teşekkür ederim.

Bu süreçte maddi ve manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim aileme; annem Hatice ELMACIOĞLU'na, babam Adnan ELMACIOĞLU'na, kardeşlerim Erol ELMACIOĞLU, Burçin ELMACIOĞLU ve Kübra ELMACIOĞLU'na, ayrıca sevgili yeğenlerim Vera ELMACIOĞLU ve Adnan Erel ELMACIOĞLU'na içtenlikle teşekkür ederim. Aziz hatırasını daima saygıyla andığım merhum amcam Halil ELMACIOĞLU'nu bu çalışmanın sonunda minnet ve şükranla anıyorum.

Nimet ELMACIOĞLU, Kayseri, 2025

SÜRDÜRÜLEBİLİR KENT LOJİSTİĞİNDE PAYLAŞIMLI BİSİKLET SİSTEMİ İSTASYONU YER SEÇİMİ İÇİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME VE OPTİMİZASYONA DAYALI HİBRİT BİR YAKLAŞIM

Nimet ELMACIOĞLU

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

ÖZET

Bu tez çalışmasında, kent içi sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin güçlendirilmesine katkı sağlamak amacıyla Paylaşımlı Bisiklet Sistemi (PBS) istasyonu yer seçimi problemi ele alınmıştır. Çalışmanın temel amacı, yer seçimi kararını yalnızca nüfus erişimi odaklı değil aynı zamanda belirlenen kriterlere göre açılacak istasyonların hizmet performansını da eş zamanlı optimize edecek şekilde çok amaçlı bir çözüm seti sunmaktır. Bu kapsamda, ilk olarak istasyon yer seçiminde önem arz eden kapsamlı bir kriter seti oluşturulmuş ve bu kriterler IDOCRIW yöntemiyle ağırlıklandırılmış, alternatif lokasyonların performansı CoCoSo yöntemiyle değerlendirilmiştir. Elde edilen performans değerlendirme sonuçlarının karşılaştırmalı analizleri farklı Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. ÇKKV ile alternatif lokasyonlara ilişkin belirlenen performans sıralamaları maksimum kapsama modeli şeklinde geliştirilen optimizasyon problemine entegre edilerek hibrit bir karar verme yaklaşımı sunulmuştur. Modelde hali hazırda açılmış olan mevcut istasyonlar da yeni açılacak istasyonların yer seçiminde dikkate alınmıştır. Kapsanan nüfus ile açılması planlanan istasyonların ÇKKV'den elde edilen performans değerlerinin maksimizasyonunun eş zamanlı olarak karar çerçevesinde dikkate alınmasını sağlamak üzere pareto analizi yaklaşımı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, PBS yer seçimi için önerilen hibrit yaklaşımın kısa sürede etkin sonuçlar ürettiğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir Ulaşım, Mikro-Hareketlilik, Paylaşımlı Bisiklet Sistemi, Çok Kriterli Karar Verme, Maksimum Kapsama Modeli

A HYBRID APPROACH BASED ON MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING AND OPTIMIZATION FOR SHARED BICYCLE STATION SITE SELECTION IN SUSTAINABLE URBAN LOGISTICS

Nimet ELMACIOĞLU

Kayseri Üniversity Institute of Graduate Education
Doctoral Thesis, November, 2025
Thesis Advisor: Prof. Dr. Oğuz ÖCAL
Second Advisor: Prof. Dr. Neslihan DEMİREL

ABSTRACT

In this thesis, the station location selection problem for Bike Sharing Systems (BSS) is addressed with the aim of contributing to the enhancement of sustainable urban transportation. The primary objective of the study is to propose a multi-objective solution framework that optimizes not only population coverage but also service performance of the stations to be established based on predefined criteria. In this context, a comprehensive set of criteria critical to station location selection was first identified, weighted using the IDOCRIW method, and the performance of alternative locations was evaluated through the CoCoSo approach. The resulting performance assessments were comparatively analyzed using different Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) techniques. The performance rankings obtained for alternative locations through MCDM were integrated into the optimization problem formulated as a maximum coverage model, thereby presenting a hybrid decision-making framework. Existing stations currently in operation were also taken into account in determining the locations of newly planned stations. A Pareto-analysis-based approach was adopted to ensure the simultaneous consideration of maximizing the covered population and the MCDM-derived performance values of the prospective stations in the decision-making process. The findings demonstrate that the proposed hybrid approach yields efficient and effective results in a short time for BSS station location planning.

Keywords: Sustainable Transportation, Micro-Mobility, Bicycle Sharing System, Multi-Criteria Decision-Making, Maximum Coverage Model

İÇİNDEKİLER

SÜRDÜRÜLEBİLİR KENT LOJİSTİĞİNDE PAYLAŞIMLI BİSİKLET SİSTEMİ İSTASYONU YER SEÇİMİ İÇİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME VE OPTİMİZASYONA DAYALI HİBRİT BİR YAKLAŞIM

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK ..... **i**
TEZ İNTİHAL RAPORU TESLİM FORMU ..... **ii**
KILAVUZA UYGUNLUK ..... **iii**
KABUL VE ONAY TUTANAĞI ..... **iv**
TEŞEKKÜR ..... **v**
ÖZET ..... **vi**
ABSTRACT ..... **vii**
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ ..... **xi**
TABLOLAR LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **xiv**
GİRİŞ **1**

BİRİNCİ BÖLÜM
SÜRDÜRÜLEBİLİR KENTLEŞME

1.1. Sürdürülebilirlik Kavramı 6
1.2. Sürdürülebilir Kentleşme Kavramı 8
1.3. Sürdürülebilir Kentsel Gelişme Göstergeleri 10
1.3.1. Birleşmiş Milletler Kent Refah Endeksi 11
1.3.2. Arcadis Sürdürülebilir Kent Endeksi 12
1.3.3. Çevresel Performans Endeksi 13
1.3.4. Yeşil Kent Endeksi 15
1.4. Sürdürülebilir Ulaşım 16
1.4.1. Yeni Nesil Sürdürülebilir Ulaşım Alternatifi: Mikro-Hareketlilik 20
1.4.2. Mikro-Hareketlilik ile Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri Uyumu 22

İKİNCİ BÖLÜM
PAYLAŞIMLI BİSİKLET SİSTEMİ

2.1. Paylaşımlı Bisiklet Sistemi Tarihçesi ve Gelişimi 26
2.1.1. Birinci Nesil Paylaşımlı Bisiklet Sistemi 26
2.1.2. İkinci Nesil Paylaşımlı Bisiklet Sistemi 27
2.1.3. Üçüncü Nesil Paylaşımlı Bisiklet Sistemi 28
2.1.4. Dördüncü Nesil Paylaşımlı Bisiklet Sistemi 29
2.1.5. Beşinci Nesil Paylaşımlı Bisiklet Sistemi 29
2.2. Paylaşımlı Bisiklet Sisteminin Dünyadaki Örnekleri 30
2.2.1. Kopenhag Örneği 30
2.2.2. Amsterdam Örneği 32
2.2.3. Utrecht Örneği 34
2.2.4. Antwerp Örneği 35
2.3. Paylaşımlı Bisiklet Sisteminin Türkiye'deki Örnekleri 37
2.3.1. İstanbul Örneği 38
2.3.2. Kocaeli Örneği 39
2.3.3. İzmir Örneği 40
2.3.4. Çanakkale Örneği 41
2.3.5. Kayseri Örneği 42

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

3.1. Kent İçi Ulaşım Sistemlerine Yönelik Literatür Araştırması 46
3.2. Paylaşımlı Bisiklet Sistemine Yönelik Literatür Araştırması 51
3.3. IDOCRIW ve CoCoSo Yöntemlerine Yönelik Literatür Araştırması 59

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
YÖNTEM

4.1. Önerilen Model 62
4.2. IDOCRIW Yöntemi 63
4.2.1. Entropi Yöntemi 64
4.2.2. CILOS Yöntemi 66
4.3. CoCoSo Yöntemi 68
4.4. Karşılaştırmalı Analiz Yöntemleri 71

4.4.1. TOPSIS Yöntemi 71
4.4.2. ARAS Yöntemi 72
4.4.3. COPRAS Yöntemi 72
4.4.4. VIKOR Yöntemi 73
4.5. BORDA Sayım Yöntemi 73
4.6. Maksimum Kapsama Modeli 74
4.7. Pareto Analizi 76

BEŞİNCİ BÖLÜM

SÜRDÜRÜLEBİLİR KENT LOJİSTİĞİNDE PAYLAŞIMLI BİSİKLET SİSTEMİ İSTASYONU YER SEÇİMİ İÇİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME VE OPTİMİZASYONA DAYALI HİBRİT BİR YAKLAŞIM

5.2. Kriter Setinin Belirlenmesi 78
5.3. Alternatif İstasyon Yerlerinin Belirlenmesi 80
5.4. Uygulama 81
5.4.1. IDOCRIW Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi 82
5.4.2. CoCoSo Yöntemi ile Alternatiflerin Sıralanması 87
5.4.3. Karşılaştırmalı Analiz 89
5.4.4. BORDA Sayım Yöntemi Sonuçları 91
5.4.5. Matematiksel Model 93

SONUÇ 100
KAYNAKÇA 104
TEZ İNTİHAL RAPORU 127
ÖZGEÇMİŞ 130

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AHP	: Analytic Hierarchy Process
ANP	: Analytic Network Process
ARAS	: Additive Ratio Assessment
BM	: Birleşmiş Milletler
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CPS	: Global Positioning System
CILOS	: Criterion Impact Loss
COPRAS	: Complex Proportional Assessment
CPI	: City Prosperity Index
CRITIC	: Criteria Importance Through Intercritera Correlation
CoCoSo	: Combined Compromise Solution
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
DEMATEL	: The Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory
EDAS	: Evaluation based on Distance from Average Solution
EPI	: Environmental Performance Index
GAMS	: General Algebraic Modeling System
GPS	: Global Positioning System
IDOCRIW	: Integrated Determination of Objective Criteria Weights
MARCOS	: Measurement of Alternatives and Ranking according to COmpromise Solution
PBS	: Paylaşımlı Bisiklet Sistemi
SKH	: Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri
SKHP	: Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik Planı
SWARA	: Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis

TOPSIS	: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
VIKOR	: VIseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje
WPM	: Weighted Product Model
WSM	: Weighted Sum Model

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Kopenhag bisiklet göstergeleri (Mobilitetsredegørelse, 2023) 32
Tablo 2.2. Türkiye'deki PBS örnekleri (Türkiye Bisiklet Yolu Ağı Master Planı) 38
Tablo 2.3. Kayseri ulaşım hizmetleri yolculuk sayıları (Kayseri Ulaşım A.Ş. 2023 Faaliyet Raporu) 43
Tablo 2.4. Yıllara ve yaş aralıklarına göre KayBis kullanımları (Kayseri Ulaşım A.Ş.) 44
Tablo 3.1. PBS istasyonu yer seçimi literatürü 57
Tablo 5.1. Kriter seti ve literatür ile ilişkileri 79
Tablo 5.2. Alternatif PBS istasyonlarının koordinatları 81
Tablo 5.3. Başlangıç karar matrisi (Citysurf-Kayseri) 82
Tablo 5.4. Entropi yöntemine ilişkin normalize edilmiş karar matrisi 83
Tablo 5.5. Entropi değerleri ve kriter ağırlıkları 83
Tablo 5.6. CILOS fayda yönlü karar matrisi 84
Tablo 5.7. CILOS yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları 84
Tablo 5.8. IDOCRIW yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları 84
Tablo 5.9. CoCoSo yöntemine ilişkin normalize edilmiş karar matrisi 87
Tablo 5.10. CoCoSo yöntemi sonuçları 87
Tablo 5.11. TOPSIS yöntemi sonuçları 89
Tablo 5.12. ARAS yöntemi sonuçları 90
Tablo 5.13. COPRAS yöntemi sonuçları 90
Tablo 5.14. VIKOR yöntemi sonuçları 91
Tablo 5.15. Borda Sayım Yöntemi sonuçları 91
Tablo 5.16. Notasyonlar 93
Tablo 5.17. Kapsanan nüfusun farklı değerleri için modelin davranışı 96
Tablo 5.18. Farklı performans değerleri için modelin davranışı 98

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Sürdürülebilirlik bileşenleri 7
Şekil 1.2. Kentsel alanlarda yaşayan nüfusun oranı (Ourworldindata, 2023) 9
Şekil 1.3. Kent refah endeksi boyutları (Cdindex, 2025) 12
Şekil 1.4. Çevresel performans endeks puanları (EPI, 2024) 14
Şekil 1.5. Ulaşım türlerinin ürettiği sera gazları-Yolcu km başına kg 16
Şekil 1.6. Geleneksel ulaşım planları ve SKHP (Böhler vd., 2014) 19
Şekil 1.7. Bireysel mikro-hareketlilik araçları 21
Şekil 1.8. Sürdürülebilir kalkınma hedefleri (Küresel Amaçlar, 2024) 23
Şekil 2.1. İkinci nesil PBS 28
Şekil 2.2. Kopenhag bisiklet yolu (Visit Copenhagen, 2025) 31
Şekil 2.3. Amsterdam bisiklet ağ haritası (Gemeentee Amsterdam, 2025) 33
Şekil 2.4. Antwerp bisiklet barometresi (Provincieantwerpen, 2025) 36
Şekil 2.5. İzmir bisiklet yolları ve Bisim istasyonları (İzmir Büyükşehir Belediyesi, 2020) 41
Şekil 2.6. KayBis sistemi (Kayseri Büyükşehir Belediyesi, 2023) 43
Şekil 4.1. Yöntem uygulama adımlarının akış diyagramı 63
Şekil 5.1. Kayseri haritası 78
Şekil 5.2. Alternatif PBS istasyonları 81
Şekil 5.3. Kriterlerin önem sıralaması 85
Şekil 5.4. Genel sıralama sonuçları 92

GİRİŞ

Kentler, ekonomik faaliyetlerin, nüfusun ve tüketim kalıplarının yoğunlaştığı karmaşık mekânlar olarak Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SKH)'nin hayata geçirilmesinde belirleyici bir konuma sahiptir. Birleşmiş Milletler (BM)'in yayımladığı kentleşme verilerine göre, günümüzde dünya nüfusunun yaklaşık %50'si kentlerde yaşamakta olup bu oranın 2050 yılına kadar %68'e ulaşması beklenmektedir (UN DESA, 2018). Dünya yüzeyinin küçük bir bölümünü kaplamalarına rağmen, enerji talebinin ve sera gazı emisyonlarının önemli bir kısmı kentlerde üretilmektedir. Bu durum kentlerin yalnızca sosyo-ekonomik gelişmenin değil aynı zamanda çevresel baskıların da odağı haline gelmesine yol açmaktadır (Dünya Bankası, 2010). Bu çerçevede kentleşme olgusu, basit bir nüfus artışı dinamiğinin ötesinde, üretim–tüketim ilişkileri, mekânsal örgütlenme, hareketlilik biçimleri ve kaynak kullanımı üzerinde doğrudan etkileri bulunan çok boyutlu bir dönüşüm süreci olarak ele alınmaktadır (Bai vd., 2014). Bu dönüşümün en kritik bileşenlerinden biri kent lojistiğidir. Kent lojistiği, kentsel alanda ürün, hizmet ve bilgi akışlarının planlanması, yönetilmesi ve kontrol edilmesine yönelik faaliyetlerin bütününü kapsamaktadır. Özellikle yük taşımacılığı, son adım lojistiği, depolama ve kentsel servis akışları gibi süreçler üzerinden kentsel yaşam kalitesini, ekonomik verimliliği ve çevresel performansı doğrudan etkilemektedir (Hu vd., 2019). Geleneksel lojistik yaklaşımlar, çoğunlukla maliyet ve operasyonel verimlilik odaklı iken, sürdürülebilir kent lojistiği yaklaşımı, çevresel etkilerin azaltılması, sosyal refahın artırılması ve ekonomik rekabetçiliğin korunmasını birlikte gözeten bütüncül bir çerçeve sunmaktadır (Paddeu vd., 2017). Bu bakış açısı kentsel lojistik faaliyetlerinin enerji tüketimi, sera gazı emisyonları, hava ve gürültü kirliliği, trafik sıkışıklığı ve kamusal alan kullanımı üzerindeki etkilerini sistematik biçimde değerlendirmeyi ve kent politikaları ile uyumlu hale getirmeyi gerektirmektedir. Bu nedenle sürdürülebilir kent lojistiği yalnızca yük hareketlerinin rasyonelleştirilmesi ile sınırlı olmayan aynı zamanda kentsel hareketliliğin tüm bileşenlerini kapsayan stratejik bir planlama alanı olarak

konumlanmaktadır Eftihia (Nathanail vd., 2017). Kentsel lojistik, ulaşım altyapısının kullanımı, ağ tasarımı, depolama alanlarının konumlandırılması ve dağıtım stratejilerinin yanı sıra bireylerin ve firmaların seyahat ve taşıma tercihlerini de dolaylı olarak şekillendirmektedir. Bu durum sürdürülebilir kent lojistiği politikalarının, kentsel ulaşım sistemleri ile güçlü bir etkileşim içinde tasarlanmasını zorunlu kılmaktadır. Özellikle düşük karbonlu ve erişilebilir ulaşım çözümlerinin geliştirilmesini sürdürülebilir kent lojistiği vizyonunun temel bileşeni haline getirmektedir.

Sürdürülebilir kent lojistiğinin bütüncül yapısı içerisinde ulaşım sistemleri, kentsel hareketliliğin çevresel, ekonomik ve sosyal etkilerini şekillendiren belirleyici bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Ulaşım; enerji tüketimi, emisyon seviyeleri, gürültü kirliliği, kamusal alan kullanımı ve trafik güvenliği gibi çok sayıda gösterge üzerinde doğrudan etkili olması nedeniyle sürdürülebilirlik tartışmalarının en kritik bileşenlerinden biridir. Artan kent nüfusu ve yoğunlaşan hareketlilik, ulaşım sistemlerinin geleneksel yapılarının sınırlarını görünür kılmaktadır. Bu durumu fosil yakıt tüketimi, karbon emisyonları, trafik sıkışıklığı ve çevresel bozulma gibi sorunları daha karmaşık ve çok boyutlu hale getirmektedir (Abubakar ve Dano, 2020). Özellikle motorlu araç sayısındaki hızlı artış, kentlerde enerji talebinin artmasına, hava kalitesinin bozulmasına ve gürültü kirliliğine neden olmaktadır (Bauman vd., 2017). Öte yandan ulaşım sistemleri sürdürülebilirlik hedeflerinin gerçekleştirilmesinde stratejik bir role sahiptir. Enerji tüketimi, sera gazı salınımı, hava kirliliği ve kent yaşam kalitesi üzerinde doğrudan belirleyici etkide bulunmaktadır. Bu sorunların etkileri yalnızca bireysel kullanıcılar ile sınırlı kalmamaktadır ve yerel yönetimler, ulaşım planlamacıları, özel sektör dahil tüm kent sakinleri bu olumsuzluklardan doğrudan etkilenmektedir (Tiwari ve Sharma, 2024). Bu çerçevede, kentlerin sürdürülebilirlik heedeflerine ulaşabilmesi için ulaşım stratejilerinin geliştirilmesini gerektirmektedir. Sürdürülebilir ulaşım yaklaşımı, ulaşım talebinin etkin yönetimini, düşük karbonlu ve enerji verimli ulaşım türlerinin teşvik edilmesini, toplu taşıma öncelikli planlamayı ve mekânsal kararlarla uyumlu hareketlilik politikalarının geliştirilmesini kapsamaktadır (Litman, 2024). Bu yaklaşım, kentsel lojistik faaliyetlerinin çevresel ve mekânsal etkilerini azaltmayı amaçlayan bütüncül süaaaardürülebilirlik stratejilerinin tamamlayıcı bir bileşenidir. Bu nedenle ulaşım politikaaaalarının sürdürülebilirlik ilkeleriyle uyumlu biçimde tasarlanması, kent lojistiğiniaaan verimliliği ve çevresel etkilerinin azaltılması açısından stratejik bir gereklilik hâaaaline gelmektedir. Bu kapsamda karbon emisyonlarını ve bireysel ulaşım

maliyetlerini azaaaaltan, toplu taşımayı tamamlayan ve kentsel hareketlilik üzerinde olumlu dışsallıklar yaratan alternatif ulaşım türleri, sürdürülebilir ulaşım planlamasında giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Kısa mesafeli yolculuklara hizmet eden ve motorlu araç bağımlılığını azaltan bu alternatifler sürdürülebilir kent lojistiği hedeflerinin uygulanabilirliği açısından kritik bir rol üstlenmektedir.

Sürdürülebilir ulaşım stratejileri içerisinde Mikro-hareketlilik çözümleri arasında Paylaşımlı Bisiklet Sistemleri (PBS) öne çıkmaktadır. PBS, kısa mesafeli yolculukları motorlu taşıtlardan bisiklete kaydırarak enerji tüketimini azaltmakta, fosil yakıt bağımlılığını düşürmekte ve karbon emisyonlarının azaltılmasına doğrudan katkı sağlamaktadır. Literatürde, PBS'nin sürdürülebilir ulaşım performansını iyileştiren çok boyutlu faydaları geniş biçimde ortaya konmuştur. Örneğin, Şangay'da gerçekleştirilen bir uygulama, sistemin yıllık yaklaşık 8.358 ton yakıt tasarrufu sağladığını ve bu sayede karbondioksit ile azot oksit emisyonlarında anlamlı düşüşler meydana geldiğini göstermektedir (Zhang ve Mi, 2018). PBS'nin çevresel etkilerinin ötesinde, sosyal ve ekonomik kazanımları da sürdürülebilir kent lojistiği hedefleriyle uyumludur. Sistem; bireylerin günlük hareketliliklerini kolaylaştırarak erişilebilirliği artırmakta, fiziksel aktivite yoluyla halk sağlığını desteklemekte, toplu taşıma hatlarına erişimi güçlendirerek toplu taşıma kullanımını teşvik etmekte ve kent içi ulaşım maliyetlerini azaltmaktadır. Özellikle toplu taşımayla entegrasyon, PBS'nin kent içi hareketlilik ağında tamamlayıcı bir işlev üstlenmesini sağlamaktadır. Literatür, PBS'nin ilk ve son adım yolculuklarında etkili bir çözüm sunduğunu, böylece toplu taşıma istasyonları ile kentsel destinasyonlar arasındaki bağlantıyı güçlendirdiğini ortaya koymaktadır (Glass vd., 2020; Zhao vd., 2020). Bu yönleriyle PBS, sürdürülebilir kent lojistiğinin yalnızca ulaşım altyapısını optimize eden değil aynı zamanda çevresel etkileri azaltan, toplumsal refahı artıran ve kentsel kaynak kullanımını daha verimli hâle getiren stratejik bir bileşenini oluşturmaktadır. PBS altyapısının güçlü olduğu kentlerde çok modlu ulaşım çözümlerinin entegrasyonu daha etkin biçimde gerçekleşmekte ve ulaşım ağının sürdürülebilirliği ile lojistik süreçlerin verimliliği arasında olumlu bir etkileşim yaratılmaktadır (Xu vd., 2023). Bu nedenle PBS, çağdaş kent lojistiği politikalarında yalnızca bir mikro-hareketlilik çözümü olarak değil aynı zamanda kentsel sürdürülebilirlik hedeflerinin uygulanabilirliğini artıran bütünleşik bir planlama aracı olarak değerlendirilmektedir. PBS'nin bu potansiyelinin tam olarak ortaya çıkabilmesi, fiziksel altyapının mekânsal planlama ilkeleriyle uyumlu biçimde tasarlanmasını zorunlu kılmaktadır. Özellikle

istasyon yer seçimi; erişilebilirlik, talep düzeyi, güvenlik, hizmet alanı genişliği ve toplu taşıma bağlantıları gibi çok sayıda faktörün aynı anda değerlendirilmesini gerektiren stratejik bir karardır. İstasyonların mekânsal dağılımı, sistemin kullanım düzeyini, operasyonel verimliliğini ve sürdürülebilirlik hedeflerine katkı kapasitesini doğrudan belirlemektedir. Dolayısıyla PBS'nin etkinliği, yalnızca bisikletlerin sayısı ve teknolojik altyapı ile değil istasyonların doğru konumlandırılmasıyla da yakından ilişkilidir. PBS altyapısının güçlü olduğu kentlerde çok modlu ulaşım çözümlerinin entegrasyonu daha etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Böylece bireylerin toplu taşımaya yönelimi artmakta ve kentsel alanda sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda daha bütüncül bir ulaşım planlaması mümkün hale gelmektedir (Xu vd., 2023).

PBS üzerine yapılan çalışmalar son yıllarda hızla artmasına rağmen, PBS altyapısının mekânsal planlanmasına ilişkin araştırmalar incelendiğinde önemli metodolojik ve uygulamaya dönük boşluklar bulunduğu görülmektedir. Literatürde PBS istasyon yer seçimi çoğunlukla tek bir yöntemle ele alınmakta ve karar verme sürecinin çok boyutlu doğasını tam olarak yansıtmayan yaklaşımlar ağırlık kazanmaktadır. Kriter ağırlıklarının uzman görüşlerine dayalı öznel yöntemlerle belirlendiği, alternatif istasyonların değerlendirilmesinde sınırlı sayıda Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinin kullanıldığı ve yöntemler arası tutarlılığın sistematik biçimde test edilmediği çalışmalar dikkat çekmektedir. Ayrıca istasyon performansının yalnızca ÇKKV sıralaması ile değerlendirilerek mekânsal kapsama etkisinin hesaba katılmadığı araştırmalar literatürde hâlâ yaygın durumdadır. Bu durum, karar vericilerin hem çok kriterli değerlendirmeyi hem de nüfus temelli kapsama düzeyini aynı çerçevede analiz edebileceği bütünleşik modellere duyulan ihtiyacı artırmaktadır Öte yandan PBS'nin etkinliği büyük ölçüde istasyonların mekânsal dağılımına bağlı olmasına rağmen mevcut çalışmaların önemli bir bölümü optimizasyon modellerini sınırlı veri setleri üzerinden kurgulamakta ve istasyon ağırlıklarını doğrudan modele dahil eden hibrit bir yapı geliştirmemektedir. Bu eksiklik, özellikle yerel yönetimlerin karar verme süreçlerinde güvenilir, esnek ve uygulanabilir bir karar destek yaklaşımına duyulan ihtiyacı güçlendirmektedir. Dolayısıyla çalışmanın temel problemi, PBS istasyon yer seçimi kararının çok boyutlu yapısını hem metodolojik hem de uygulama düzeyinde bütüncül bir bakış açısıyla ele alan bir karar destek çerçevesinin literatürde yeterince geliştirilmemiş olmasıdır.

Bu tez çalışmasının temel amacı, sürdürülebilir kent lojistiği perspektifi doğrultusunda

PBS istasyon yer seçimine yönelik bütünleşik bir karar destek yaklaşımı geliştirmektir. Bu amaç doğrultusunda çalışmada kriter ağırlıklarının belirlenmesi için Integrated Determination of Objective CRIteria Weights (IDOCRIW) yöntemi, alternatif istasyonların değerlendirilmesi için Combined Compromise Solution (CoCoSo) yöntemi tercih edilmiştir. Farklı ÇKKV yöntemleri, benimsedikleri matematiksel yaklaşımlara bağlı olarak sonuçlarda değişkenlik gösterebilir. Bu nedenle çalışmada elde edilen sıralama sonucu Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), Additive Ratio Assessment (ARAS), Complex Proportional Assessment (COPRAS) ve VIseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Farklı yöntemlerle elde edilen sıralamalar Borda Sayım Yöntemi ile birleştirilerek nihai sıralama oluşturulmuştur. Son aşamada ise alternatif istasyon yerlerinin performans değerleri modele dahil edilerek kapsanan nüfusu maksimize eden bir maksimum kapsama modeli geliştirilmiştir. Model iki farklı analiz üzerinden değerlendirilmiştir. İlk aşamada temel maksimum kapsama modeli uygulanarak kapsanan nüfus en üst seviyeye çıkarılmakta; devamında ise elde edilen kapsama düzeyi sabit tutulmak suretiyle istasyonlara ait performans değerleri maksimize edildiği ikinci aşama çözümü gerçekleştirilmektedir. Diğer analizde ise, ilk aşamada açılan istasyonların performans değerleri maksimize edilmekte: devamında ise elde edilen performans düzeyi sabit tutularak kapsanan nüfusun maksimize edildiği ikinci aşama çözümü gerçekleştirilmektedir. Böylece karar vericilere hem çok kriterli hem de nüfus temelli kapsamayı göz önünde bulunduran bütünleşik bir karar destek yapısı sunulmuştur.

Tez çalışmasının ilerleyen bölümleri şu şekilde yapılandırılmıştır: Birinci bölümde çalışmanın kuramsal altyapısının sağlam bir temele oturtulabilmesi amacıyla sürdürülebilir kent kavramı ele alınmış ve bu kavramın temel bileşenleri ayrıntılı biçimde açıklanmıştır. İkinci bölümde tezin odak noktası olan PBS ayrıntılı olarak incelenmiştir. PBS tarihçesi ile Dünya'da ve Türkiye'deki başarılı kent uygulamalarına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde kapsamlı bir literatür araştırması sunulmuştur. Dördüncü bölümde ÇKKV yöntemleri ve maksimum kapsama modeli açıklanmıştır. Beşinci bölümde ise belirlenen yöntemler doğrultusunda PBS istasyon yer seçim süreci açıklanmıştır. Önerilen karar modeli, uygulama aşamalarıyla birlikte detaylı bir biçimde sunulmuştur. Sonuç bölümünde ise değerlendirmeler yapılmış, tezin sınırlılıklarına değinilmiş ve öneriler sunulmuştur.

BİRİNCİ BÖLÜM

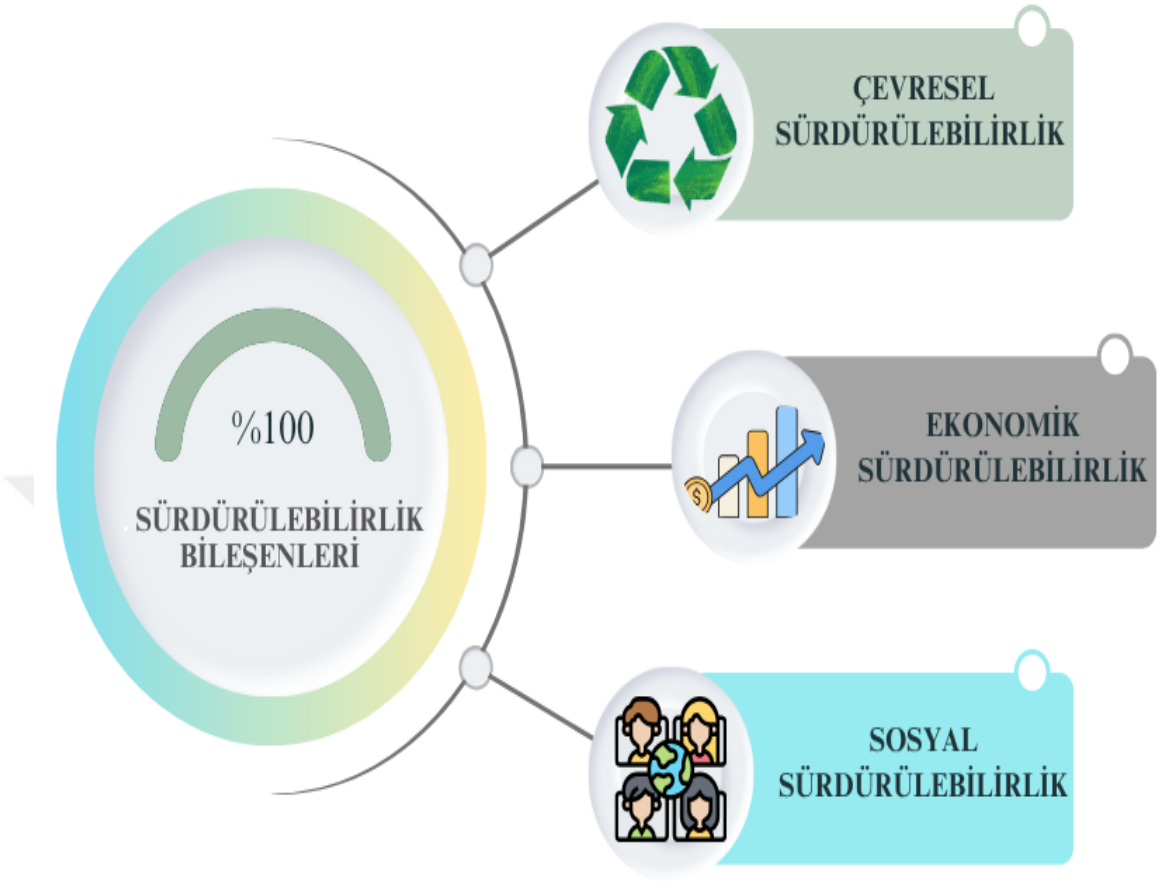
SÜRDÜRÜLEBİLİR KENTLEŞME

Sürdürülebilirlik kavramı, doğal kaynakların bilinçli ve verimli kullanılması, ekosistem dengesinin korunması ve gelecek kuşakların yaşam kalitesinin güvence altına alınması gerekliliğinden doğmuştur. Bu yaklaşım yalnızca günümüzün ihtiyaçlarını karşılamayı değil aynı zamanda uzun vadede sosyal, ekonomik ve çevresel dengelerin sağlanmasını hedefleyen stratejik bir planlamayı zorunlu kılmaktadır. Bu bölümde sürdürülebilirlik kavramı kapsamlı biçimde ele alınarak sürdürülebilir kent, sürdürülebilir kentsel gelişme göstergeleri ve sürdürülebilir ulaşım incelenmiştir.

1.1. Sürdürülebilirlik Kavramı

Sürdürülebilirlik hem çevresel hem de insani nedenlerle büyük bir öneme sahiptir. Sürdürülebilirliğin temelini ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlar oluşturmaktadır. Bu üç unsur sürdürülebilirlik süreçlerinde birbirini tamamlayan ve ayrılmaz bir bütün olarak ele alınması gereken kritik bileşenlerdir (Zheng vd., 2014). Bu nedenle sürdürülebilirliğin sağlanması ekonomik, çevresel ve sosyal olmak üzere üç temel boyut üzerinde kapsamlı ve dengeli bir şekilde çalışmayı gerektirmektedir. Bu üç boyutun birlikte değerlendirilmesi, sürdürülebilir kalkınmanın bütüncül bir anlayışla hayata geçirilmesini mümkün kılmaktadır (Arya vd., 2020). Bu doğrultuda sürdürülebilirlik, yerel, bölgesel ve küresel ölçekte iş birliğinin sağlanması, etkin politika ve stratejilerin geliştirilmesi ile toplumun tüm kesimlerinin sürece aktif katılım göstermesiyle doğrudan ilişkilidir. Şekil 1.1'de sürdürülebilirliğin temel bileşenleri sunulmaktadır.

Şekil 1.1. *Sürdürülebilirlik bileşenleri*



Çevresel sürdürülebilirlik, ekosistem dengesinin korunmasını ve doğal kaynakların bilinçli bir şekilde yönetilerek gelecek nesillerin de bu kaynaklardan yararlanabilmesini amaçlamaktadır. Yenilenebilir ve yenilenemeyen kaynakların kullanımı, çevre kirliliği ve atık yönetimi gibi konular sürdürülebilirlik perspektifinden ele alınmakta ve çeşitli kısıtlamalar öngörülmektedir (Goodland, 1995). Söz konusu düzenlemeler ekolojik dengeyi koruma ve çevresel tahribatın önüne geçme hedefi taşımaktadır.

Ekonomik sürdürülebilirlik, finansal ve doğal kaynakların verimli kullanımını, uzun vadeli ekonomik büyümenin sağlanmasını ve ekonomik sistemlerin dayanıklılığını ifade etmektedir. Ekonomik sürdürülebilirlik yalnızca finansal sermaye akışını ve ticaretin kolaylaştırılmasını değil aynı zamanda bireylerin ekonomik faaliyetlere katılımını artıran bilgi, beceri ve yetkinliklerin geliştirilmesini de kapsamaktadır. Bu yaklaşım ekonomik kalkınmanın çevresel ve sosyal boyutlarla dengeli bir şekilde ilerlemesini sağlayarak sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada kritik bir rol oynamaktadır (Theis ve Tomkin, 2015).

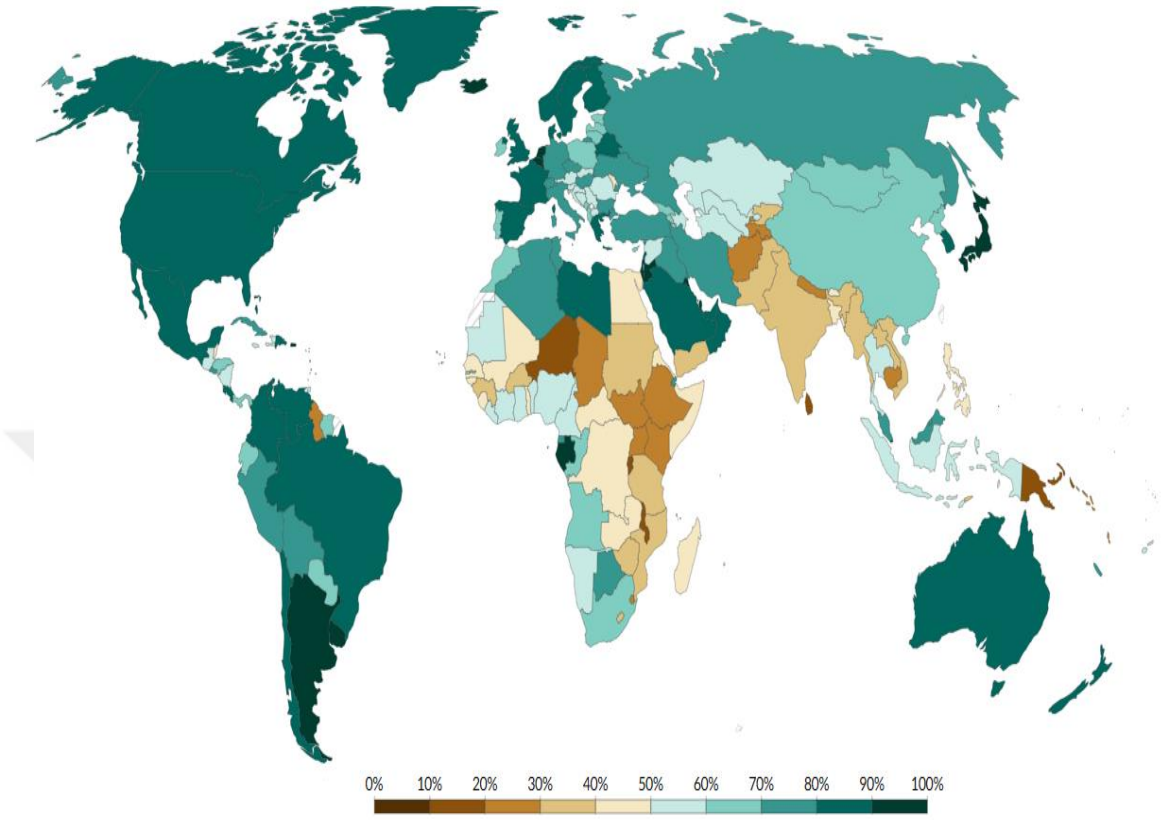
Sosyal sürdürülebilirlik araştırmalarının temelinin, 1987 yılında yayımlanan Brundtland Raporu (WCED, 1987) üzerine inşa edildiğini öne sürülmektedir (Vallance vd., 2011). Bu rapor sürdürülebilir kalkınmayı tanımlamakta ve ekonomik kalkınmanın yalnızca büyüme odaklı değil aynı zamanda ekolojik hedeflerle uyumlu olması gerektiğini vurgulamaktadır. İnsani geçim kaynaklarının sürdürülebilirliği, bu yaklaşımın temel bileşenlerinden biri olarak ele alınmakta ve sosyal sürdürülebilirliğin sağlanması için ekonomik, çevresel ve toplumsal dinamikler arasında dengeli bir ilişki kurulmasının zorunluluğuna işaret edilmektedir.

1.2. Sürdürülebilir Kentleşme Kavramı

Artan kentleşme yalnızca nüfus yoğunluğunun artmasına neden olmamış, aynı zamanda doğal kaynakların hızla tükenmesi, çevresel kirlilik, artan enerji talebi, ulaşımda yaşanan sorunlar, atık yönetimi yetersizlikleri ve mevcut altyapı sistemleri üzerindeki baskının artması gibi çok boyutlu ve birbirine bağlı küresel sorunları da beraberinde getirmiştir. Kentleşme, ekonomik büyüme ve sosyal olanakların artışı gibi olumlu etkiler sağlasa da kontrolsüz ve plansız bir biçimde gerçekleştiğinde ekosistemler üzerinde geri dönüşü zor tahribatlara yol açabilmektedir. Günümüzde dünya nüfusunun yaklaşık %50'si kentlerde yaşamaktadır ve Birleşmiş Milletler (BM) verilerine göre bu oranın 2050 yılına kadar yaklaşık %68'e ulaşacağı öngörülmektedir (BM, 2018). Avrupa kıtasında ise nüfusun yaklaşık %75'i kentsel alanlarda ikamet etmektedir. Bu oran bölge genelinde gelişmiş ulaşım altyapısı, sanayi yoğunluğu ve hizmet sektörünün baskınlığı ile doğrudan ilişkilidir. Türkiye'de ise kentleşme oranı küresel eğilimlere paralel şekilde artmakta, sanayileşme, tarım sektöründe istihdamın azalması, hizmet sektörünün büyümesi ve iç göç gibi dinamikler, bu süreci hızlandırmaktadır (ÇSB, 2024). Bu durum önümüzdeki yıllarda kentlerin hem nüfus hem de ekonomik faaliyetler açısından daha da yoğunlaşacağını ve kentsel alanlarda sürdürülebilirlik odaklı planlamaların kaçınılmaz hale geleceğini göstermektedir. Bu nedenle artan kentsel nüfusun ihtiyaçlarını karşılayacak sürdürülebilir altyapı yatırımları, yenilikçi ulaşım çözümleri ve çevre dostu politikaların hayata geçirilmesi, önümüzdeki yılların en kritik kentsel yönetim öncelikleri arasında yer almaktadır.

Şekil 1.2'de 2023 yılı itibarıyla dünya genelinde kentsel alanlarda yaşayan nüfusun oranı sunulmaktadır.

Şekil 1.2. *Kentsel alanlarda yaşayan nüfusun oranı (Ourworldindata, 2023)*



Şekil 1.2'de sunulan harita, dünya genelinde kentsel alanlarda yaşayan nüfusun payını ülkelere göre göstermektedir. Renk skalası, kentleşme oranlarının coğrafi dağılımını vurgulamaktadır. Genel olarak Kuzey Amerika, Avrupa ve Güney Amerika'da kentleşme oranlarının oldukça yüksek olduğu, bu bölgelerin büyük bir kısmının %70'in üzerinde kentsel nüfusa sahip olduğu gözlemlenmektedir. Özellikle gelişmiş ülkelerde sanayileşme ve altyapı gelişimi ile paralel olarak kentleşme oranlarının tarihsel süreçte arttığı bilinmektedir. Buna karşılık Afrika kıtasında ve Güney Asya'da daha düşük kentleşme oranları dikkat çekmektedir. Bu bölgelerde kentleşmenin daha yavaş ilerlediği ve kırsal nüfusun görece daha yüksek olduğu görülmektedir.

Artan kent nüfusu, sürdürülebilir kent planlaması, altyapı yönetimi ve ulaşım sistemlerinin yeniden kurgulanmasını zorunlu kılmaktadır. Fakat bu hızlı kentleşme süreci çevresel sürdürülebilirlik, altyapı yetersizliği, ulaşım, barınma ve sosyal eşitsizlikler gibi pek çok sorunu da beraberinde getirmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde plansız kentleşme nedeniyle gecekondu bölgelerinin yaygınlaşması, hava kirliliği, su ve enerji kaynaklarının yetersizliği gibi sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Bu

nedenle kentleşme oranının artışıyla birlikte kentlerin sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi ve sosyal, ekonomik ve çevresel boyutların dengeli bir şekilde ele alınması büyük önem taşımaktadır (Dünya Bankası, 2023).

Sürdürülebilir kentleşme, yalnızca fiziksel yapıların iyileştirilmesini değil aynı zamanda yeşil alanların korunması, toplumsal refahın artırılması, ulaşım ve enerji sistemlerinin çevre dostu hale getirilmesi gibi çok boyutlu bir yaklaşımı gerektirmektedir. Bu nedenle sürdürülebilir kent planlaması ekolojik dengeyi gözeten, kaynak verimliliğini ön planda tutan ve sosyal adaleti destekleyen politikalarla şekillendirilmelidir. Sürdürülebilirlik ilkesinin temel çerçevesine uygun olarak sürdürülebilir kent yaklaşımı, kentlerin uzun vadeli yaşanabilirliğini sağlamak, kaynakların etkin kullanımını teşvik etmek ve ekolojik dengeyi korumak amacıyla çeşitli bileşenleri içermektedir. Wheeler (2004)'e göre bu yaklaşımın temel bileşenlerinden biri, kentlerin düzensiz büyümesini önleyerek arazi kullanımını planlı bir şekilde yönetmek ve doğal alanları korumaktır. Aynı zamanda insan odaklı kent tasarımı uygulamalarının benimsenmesi, estetik ve işlevselliğin yanı sıra erişilebilirliği artırarak kent yaşam kalitesini yükseltmektedir. Konut politikalarının sürdürülebilir olması da büyük önem taşımakta ve farklı gelir gruplarına hitap eden enerji verimli ve çevre dostu malzemelerle inşa edilen yapılar, sürdürülebilir kentleşmenin temel bileşenleri arasında yer almaktadır. Tüm bu bileşenlerin yanında, düşük emisyonlu, entegre ve erişilebilir ulaşım sistemlerini içeren sürdürülebilir ulaşım politikaları sürdürülebilir kentleşmenin vazgeçilmez bir parçası olarak değerlendirilmektedir.

1.3. Sürdürülebilir Kentsel Gelişme Göstergeleri

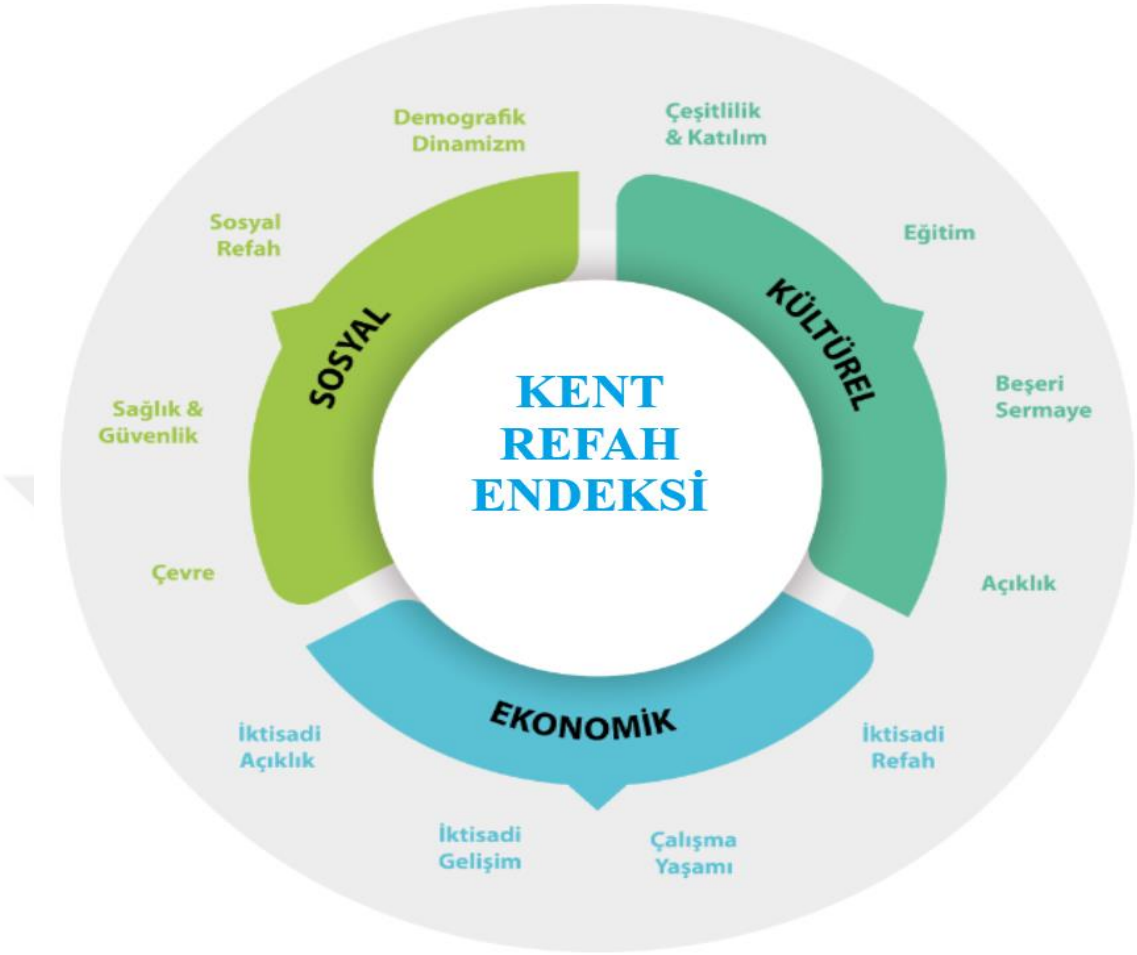
Sürdürülebilir kentsel gelişme, çevresel, ekonomik ve sosyal boyutların dengeli biçimde yönetilmesini gerektiren çok boyutlu bir süreçtir. Bu sürecin etkinliğini değerlendirmek amacıyla geliştirilen sürdürülebilir kentsel gelişme endeksleri, kentlerin mevcut durumunu ölçmenin yanı sıra politika yapıcılar için stratejik yol haritaları sunmaktadır. Ulaşım, enerji verimliliği, altyapı kalitesi, doğal kaynak kullanımı, hava kalitesi ve toplumsal refah gibi göstergeleri bir araya getiren bu endeksler, kentsel performansın bütüncül bir perspektifle analiz edilmesine imkân tanımaktadır. Özellikle sürdürülebilir ulaşım bileşenleri, düşük karbon salımı, erişilebilirlik ve kapsayıcılık kriterleri aracılığıyla bu endekslerde kritik bir yer tutmaktadır. Mikro-hareketlilik çözümleri, paylaşımlı ulaşım sistemleri ve entegre toplu taşıma ağları gibi yenilikçi yaklaşımların etkisi de söz konusu endeksler aracılığıyla nicel olarak değerlendirilebilmekte ve böylece

kentlerin sürdürülebilirlik hedeflerine ne ölçüde yaklaştığı somut verilerle ortaya konulmaktadır (Mori ve Christodoulou, 2012). Bu endeksler yalnızca mevcut durumu ortaya koymakla kalmayıp aynı zamanda geleceğe yönelik stratejik planlama süreçlerinde de önemli bir referans noktası oluşturmaktadır. Kentlerin karşı karşıya olduğu iklim değişikliği, hızlı nüfus artışı, altyapı yetersizlikleri ve çevresel bozulma gibi küresel ölçekteki sorunlar, bu göstergelerin daha sistematik biçimde kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Uluslararası karşılaştırmalara imkân tanıyan bu endeksler farklı coğrafi, sosyoekonomik ve kültürel bağlamlardaki kentlerin güçlü ve zayıf yönlerini ortaya çıkararak iyi uygulama örneklerinin yaygınlaştırılmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca bu göstergeler aracılığıyla kent yönetimlerinin performanslarının izlenmesi, hesaplanabilmesi ve sürdürülebilirlik politikalarının etkinliğinin ölçülmesi mümkün hale gelmektedir. Tez çalışmasının devamında Birleşmiş Milletler Kent Refah Endeksi, Arcadis Sürdürülebilir Kent Endeksi, Çevresel Performans Endeksi ve Yeşil Kent Endeksi ayrıntılı olarak ele alınacaktır. Bu endeksler kapsadıkları göstergelerin çeşitliliği, uluslararası kabul görmüş metodolojilere dayanmaları ve farklı coğrafi bağlamlarda karşılaştırmalı analiz yapma imkânı sunmaları nedeniyle seçilmiştir.

1.3.1. Birleşmiş Milletler Kent Refah Endeksi

Kent Refah Endeksi (City Prosperity Index – CPI) kentlerin sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda mevcut durumlarını değerlendirmek ve potansiyel gelişim alanlarını belirlemek amacıyla geliştirilmiş çok boyutlu bir ölçüm aracıdır (BM-Habitat, 2012). Endeks yetkililere, yerel ve ulusal paydaşlara refah seviyesini artırmak, uzun vadeli planlamalar yapmak ve kanıta dayalı politikalar geliştirmek için veri temelli bir çerçeve sunmaktadır. Küresel bir izleme mekanizması olarak CPI hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde uygulanabilmekte ve kentlerin mekânsal, sosyal, ekonomik ve çevresel performanslarının karşılaştırılmasına imkân tanımaktadır (Wong, 2015). 2020 yılı itibarıyla Endeks, dünyanın tüm bölgelerine yayılmış ve 54 ülkede, 539 kent performansının değerlendirilmesinde kullanılmıştır (BM-Habitat, 2020). CPI, verimlilik, yaşam kalitesi, altyapı geliştirme, eşitlik ve sosyal kapsayıcılık, çevresel sürdürülebilirlik ve yönetişim olmak üzere altı temel boyuttan oluşmaktadır. Bu boyutlar, ekonomik üretkenlik, gelir dağılımı, sosyal adalet, çevre koruma, kamusal alan erişimi, eğitim, sağlık ve altyapı kalitesi gibi göstergeler aracılığıyla ölçülmektedir. CPI boyutları Şekil 1.3'te sunulmaktadır.

Şekil 1.3. *Kent refah endeksi boyutları (Cdindex, 2025)*



CPI, kentlerin yalnızca belirli bir zamandaki durumunu yansıtmaktan öte yıllar içerisindeki değişim ve gelişim dinamiklerini göstergeler aracılığıyla izlenebilir hale getirmektedir.

1.3.2. Arcadis Sürdürülebilir Kent Endeksi

Arcadis tarafından hazırlanan Sürdürülebilir Kent Endeksi 2022 (Sustainable Cities Index, SCI), 14 Haziran 2022 tarihinde yayımlanan beşinci baskısıyla küresel ölçekte 100 şehrin sürdürülebilirlik performansını kapsamlı bir biçimde değerlendirmiştir. Endeks, kentlerin çevresel, sosyal ve ekonomik altyapılarını ölçerek "gezegen", "insan" ve "kâr" olmak üzere üç temel boyut altında analiz yapmaktadır. Bunlardan ilki olan "gezegen" boyutu, kentlerin çevresel sürdürülebilirlik düzeyini ölçmektedir. Bu kapsamda yenilenebilir enerji kullanım oranı, sera gazı emisyon düzeyi, hava kalitesi, iklim değişikliğine uyum kapasitesi, sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin varlığı, kentsel yeşil alanların miktarı ve erişilebilirliği, çevresel hedeflerin belirlenmesi ve uygulanması,

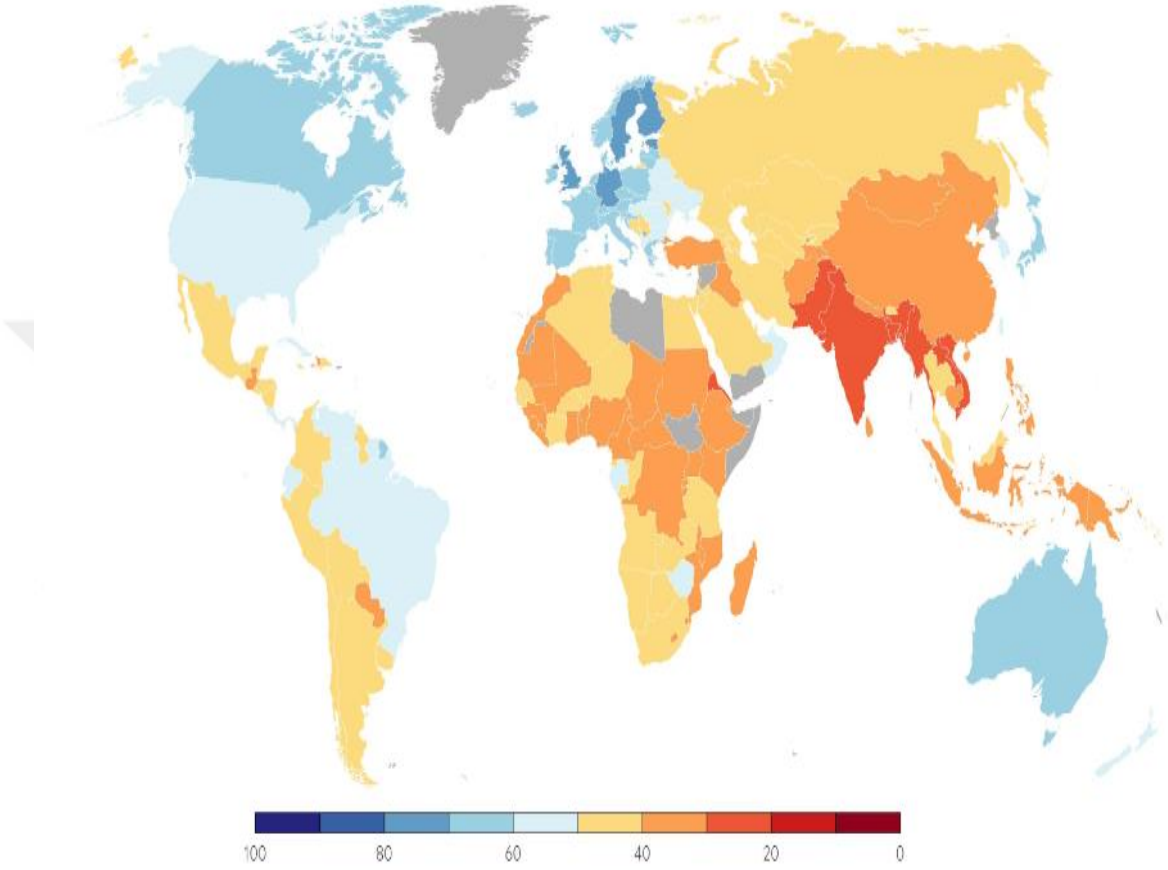
kentsel gelişim politikalarının sürdürülebilirlik boyutu ile altyapı yatırımlarının düzeyi gibi göstergeler incelenmektedir. "İnsan" boyutu, kentsel yaşamın sosyal boyutunu değerlendirmektedir. Bu kapsamda yaşam kalitesi, sosyal performans göstergeleri, sağlık, eğitim ve diğer temel hizmetlere erişim, toplumsal kapsayıcılık ve güvenlik, gelir dağılımında eşitlik, istihdam olanaklarının çeşitliliği ve erişilebilirliği ile toplu taşıma ve ulaşım altyapısının verimliliği ölçülmektedir. "Kâr" boyutu ise kentlerin ekonomik sürdürülebilirliğini ele almaktadır. Bu çerçevede kişi başına düşen gayrisafi yurt içi hasıla, konutların erişilebilirliği ve karşılanabilirliği ile yerel ekonomide alım gücü düzeyi değerlendirme kapsamına alınmaktadır. 2022 yılı itibarıyla hesaplamalara "ilerleme" başlıklı dördüncü bir boyut eklenerek BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SKH) doğrultusundaki gelişim hızları da ölçülmektedir (Arcadis, 2024). 2024 yılı sonuçlarına göre sıralamada ilk üçte Amsterdam, Rotterdam ve Kopenhag yer alırken, İstanbul 80. sırada konumlanmıştır. Bu sonuç İstanbul'un ekonomik potansiyeline karşın çevresel ve sosyal göstergelerde daha yüksek performans sergilemesi gerektiğine işaret etmektedir. Arcadis raporu, her kentin sürdürülebilirlik yolculuğunda mevcut konumunu belirlemekle kalmayıp aynı zamanda yıllar içerisindeki ilerleme düzeyini de ortaya koyarak politika yapıcılar ve kent planlamacıları için stratejik bir yol haritası sunmaktadır.

1.3.3. Çevresel Performans Endeksi

Çevresel Performans Endeksi (Environmental Performance Index – EPI), ülkelerin çevresel sürdürülebilirlik performanslarını nesnel ve karşılaştırılabilir bir biçimde değerlendirmek amacıyla geliştirilen bileşik bir göstergedir. İlk kez 2006 yılında Yale Üniversitesi Çevre Hukuku ve Politikası Merkezi ile Columbia Üniversitesi Uluslararası Yer Bilimi Bilgi Ağı Merkezi tarafından yayımlanan EPI, sürdürülebilir kalkınma politikalarının etkilerini ölçmede veri odaklı bir referans noktası haline gelmiştir (Wendling vd., 2020). Endeks 2022 yılı itibarıyla üç ana politika hedefi çerçevesinde şekillenmiştir. Bu politika hedefleri altında, 11 konu kategorisine ayrılmış 40'tan fazla göstergeyle ülkeler puanlanmakta ve küresel bir sıralamaya tabi tutulmaktadır (EPI, 2022). Endeks yalnızca toplam puanları değil aynı zamanda hava kalitesi, su kaynakları, atık yönetimi, biyolojik çeşitlilik gibi alanlardaki performans farklılıklarını da ortaya koyarak karar vericiler için politika önceliklerini belirleme açısından önemli bir araç sunmaktadır (Zhand ve Wu, 2022). Günümüzde sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada EPI gibi veri temelli göstergeler, şeffaflık, hesap verebilirlik ve politika

etkinliğini artırma açısından vazgeçilmez araçlar olarak öne çıkmaktadır (Munda, 2012). Şekil 1.4'te 180 ülkenin Çevresel Performans Endeks puanları sunulmaktadır.

Şekil 1.4. *Çevresel performans endeks puanları (EPI, 2024)*



2024 yılı EPI sonuçlarına göre, çevresel sürdürülebilirlik açısından en başarılı ülkeler genellikle Avrupa kıtasında yer almaktadır. Listenin ilk sırasında yer alan Estonya, çevresel performans açısından küresel lider konumundadır. Estonya'yı sırasıyla Lüksemburg, Almanya, Finlandiya ve Birleşik Krallık takip etmektedir. Bu ülkeler hava kalitesi, sera gazı emisyonlarının kontrolü, biyolojik çeşitliliğin korunması ve sürdürülebilir enerji politikaları gibi alanlarda gösterdikleri yüksek performans sayesinde üst sıralarda yer almışlardır. Bu ülkelerin çevresel verilerde şeffaflık sağlaması ve uluslararası veri tabanlarına düzenli katkıda bulunmaları da sıralamalarını olumlu yönde etkilemiştir. Endeksin son sıralarında yer alan ülkeler, çevresel sürdürülebilirlik açısından ciddi zorluklarla karşı karşıyadır. Listenin sonunda sırasıyla Pakistan, Laos, Myanmar, Hindistan ve Vietnam yer almaktadır. Bu ülkelerde özellikle hava kalitesi, su kaynaklarının korunması ve biyolojik çeşitlilik gibi temel çevresel göstergelerde düşük performans sergilenmiştir. Türkiye ise 180 ülke arasında 143. sırada yer almaktadır.

Türkiye'nin bu düşük performansı öncelikle kötü hava kalitesi, artan sera gazı emisyonları ve yetersiz biyolojik çeşitlilik koruma politikalarına dayanmaktadır. Türkiye'nin özellikle Korunan Alanlar Dünya Veri Tabanı'na sunduğu verilerin %95'ten fazlasına kamu erişimini kısıtlaması, bu alandaki şeffaflık eksikliğini gözler önüne sermektedir (Farhadinia vd., 2022). Türkiye ile Hindistan ve Çin'in benzer şekilde veri paylaşımında bulunmaması, bu ülkelerin koruma çabalarının uluslararası ölçekte yeterince raporlanamamasına neden olmaktadır.

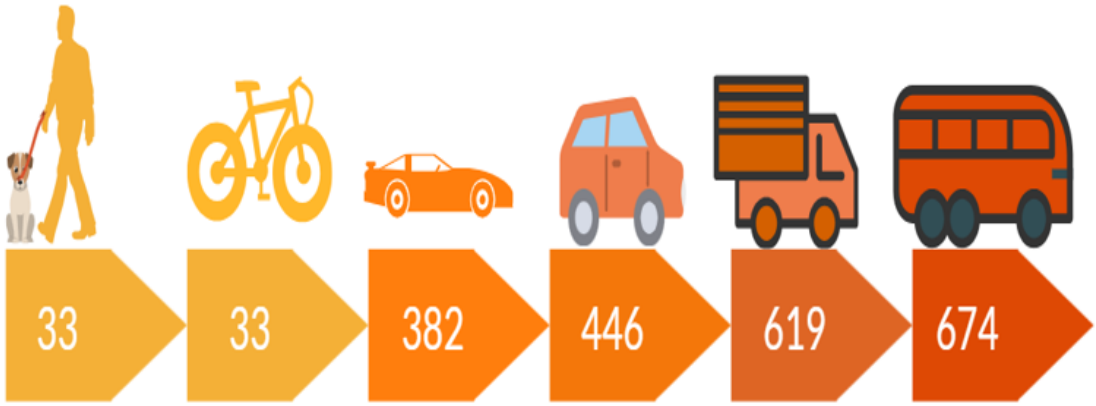
1.3.4. Yeşil Kent Endeksi

Yeşil Kent Endeksi, kentlerin çevresel sürdürülebilirlik düzeylerini değerlendirmek amacıyla *The Economist Intelligence Unit* tarafından Siemens desteğiyle geliştirilmiş kapsamlı bir analiz aracıdır. Endeksin temel amacı, kentlerin çevresel performanslarını ölçmek, karşılaştırmak ve iyi uygulamaların yaygınlaştırılmasına katkı sağlamaktır (Pace vd., 2016). İlk olarak 2009 yılında Avrupa'daki 30 büyükşehir üzerinde uygulanan *European Green City Index* daha sonraki yıllarda Latin Amerika, Kuzey Amerika, Asya, Afrika, Avustralya ve Yeni Zelanda'daki toplam 120'den fazla kent üzerinde uygulanmıştır (Watson, 2009). Endeks bölgesel farklılıklara göre yaklaşık otuz göstergeye dayanmaktadır. Bu göstergeler arasında; karbon emisyonları, enerji kullanımı, binaların verimliliği, ulaşım, atık yönetimi, su kullanımı, hava kalitesi ve çevresel yönetişim gibi alanlar yer almaktadır. Gösterge sistemi hem nicel hem de nitel verileri içermektedir. Nicel göstergeler kentlerin mevcut çevresel durumunu yansıtırken nitel göstergeler çevre politikalarına ilişkin taahhütleri ve stratejik yaklaşımları değerlendirmektedir. Nicel veriler, ulusal istatistik ofisleri ve yerel yönetim kaynaklarından elde edilmekte, eksik veriler ulusal ortalamalar kullanılarak tamamlanmaktadır. Nitel veriler ise uzmanlar tarafından belirlenen kriterlere göre analiz edilmekte ve puanlanmaktadır. Tüm göstergeler kategori bazında ağırlıklandırılarak birleştirilmekte ve nihai endeks puanı 0 ile 100 arasında ifade edilmektedir (The Green City Index, 2012). Yeşil Kent Endeksi, gönüllülük esasına dayalı olmayan, bağımsız veri kaynaklarına dayalı yapısı sayesinde bilimsel geçerliliği ve karşılaştırılabilirliği yüksek bir çerçeve sunmaktadır. Bununla birlikte endeksin yalnızca çevresel boyuta odaklanması, sürdürülebilirliğin sosyal ve ekonomik yönlerini dışarıda bırakması açısından önemli bir sınırlılık oluşturmaktadır (Venkatesh, 2014).

1.4. Sürdürülebilir Ulaşım

Geleneksel ulaşım sistemleri, kentlerin büyümesi ve nüfus yoğunluğunun artmasıyla birlikte çeşitli çevresel ve yapısal sorunlara yol açmaktadır. Trafik sıkışıklığı, hava kirliliği ve fosil yakıt tüketimi gibi olumsuz etkiler, sürdürülebilir ulaşım modellerine olan ihtiyacı her geçen gün daha da artırmaktadır. Bu nedenlerden dolayı yenilikçi ve çevre dostu ulaşım çözümleri, kentlerde hareketliliğin daha verimli ve erişilebilir hale getirilmesine katkı sağlamaktadır. Kentlerin genişleme dinamikleri genellikle ulaşım ağları etrafında şekillenmektedir. Yüksek kapasiteli karayolları ile ana ulaşım hatlarına yakın bölgeler, yerleşim ve ticaret merkezlerinin yoğunlaştığı alanlar haline gelmektedir. Ulaşım altyapısının etkin bir şekilde planlanması, kent içi hareketliliği kolaylaştırırken ekonomik kalkınmayı teşvik etmekte ve yaşam kalitesini artırmaktadır. Bu nedenle sürdürülebilir bir kent içi ulaşım politikası oluşturulurken erişilebilirliği artıran ve çevresel etkileri minimize eden ulaşım modellerinin benimsenmesi büyük önem taşımaktadır (Brown, 2013). Kentlerde artan nüfus, motorlu taşıt kullanımının yaygınlaşması ve kent içi hareketliliğin artması, ulaşımın sürdürülebilir bir şekilde planlanmasını zorunlu kılmaktadır. Sürdürülebilir ulaşım politikalarının geliştirilebilmesi için farklı ulaşım türlerinin çevresel etkilerinin karşılaştırılması gerekmektedir. Şekil 1.5'te çeşitli ulaşım modlarının yolcu-km başına ürettiği sera gazı miktarları sunulmaktadır.

Şekil 1.5. *Ulaşım türlerinin ürettiği sera gazları-Yolcu km başına kg*



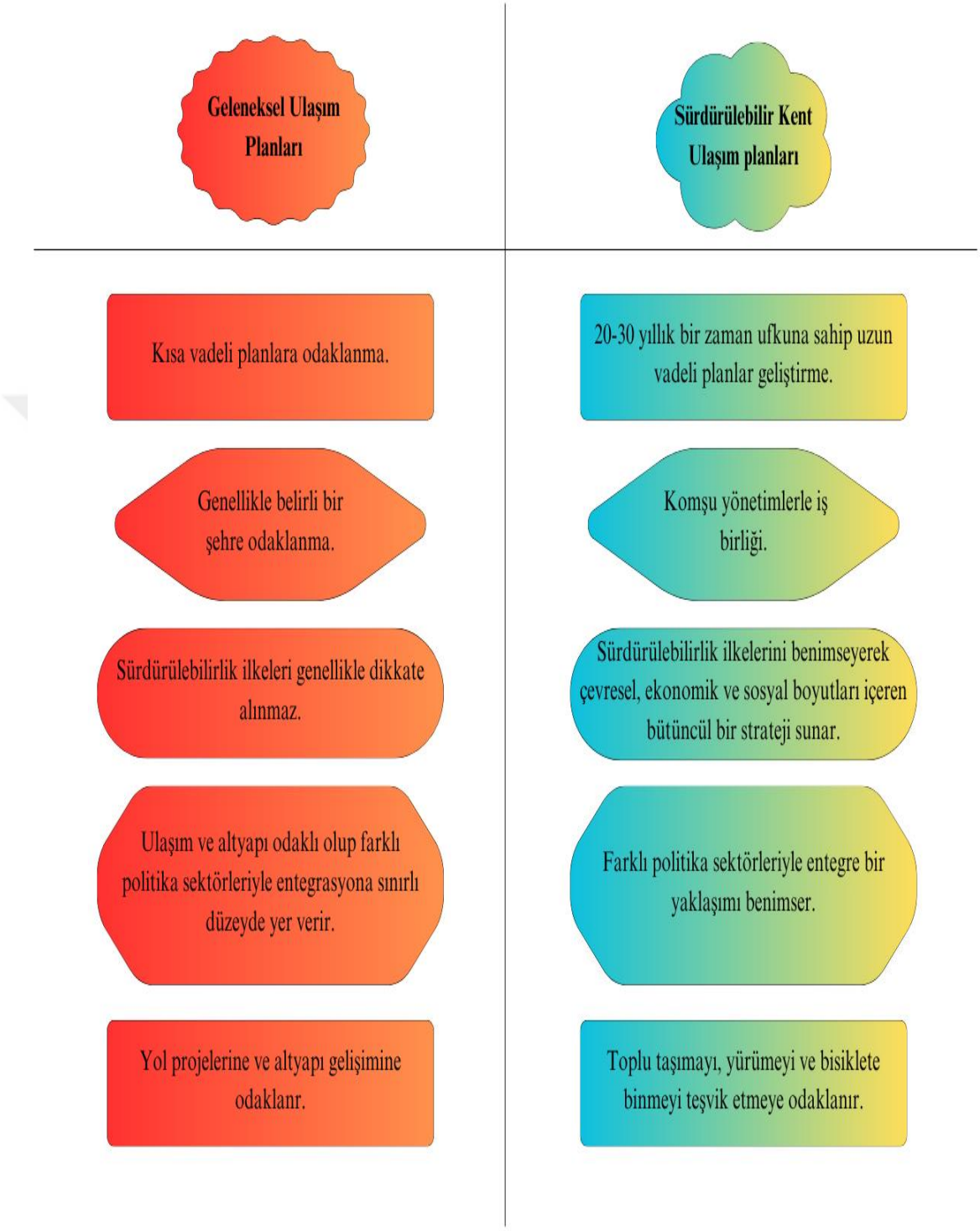
Şekil 1.5'te sunulan verilere göre en düşük sera gazı salımı, yürüme ve bisiklet gibi insan gücüne dayalı ulaşım türlerinde gözlenmektedir. Bu durum, aktif ulaşım modlarının hem çevresel açıdan düşük karbon ayak izine sahip olması hem de bireylerin fiziksel sağlığını desteklemesi bakımından sürdürülebilir ulaşım politikalarının temel bileşenlerinden biri

olduğunu ortaya koymaktadır. Toplu taşıma araçları incelendiğinde ise boş otobüslerin sera gazı salımının (1326 kg) oldukça yüksek olduğu dikkat çekerken dolu otobüslerin (85 kg) ve ortalama doluluk oranına sahip otobüslerin (674 kg) çok daha düşük emisyon değerleri ile çevre açısından daha sürdürülebilir bir ulaşım alternatifi sunduğu görülmektedir (Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2024). Bu bulgular, toplu taşıma sistemlerinde doluluk oranlarının artırılmasının emisyon azaltımı açısından kritik bir strateji olduğunu göstermektedir.

Dolayısıyla bireysel araç kullanımının azaltılması, toplu taşıma ile aktif ulaşım modlarının teşvik edilmesi ve bu ulaşım türleri arasındaki entegrasyonun güçlendirilmesi, sürdürülebilir ulaşım hedeflerinin gerçekleştirilmesinde stratejik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda Paylaşımlı Bisiklet Sistemi (PBS), kent sakinlerine hem çevre dostu hem de sağlıklı bir ulaşım alternatifi sunmaktadır. Geleneksel bisiklet kullanımından farklı olarak PBS, kullanıcıların belirli istasyonlardan bisiklet kiralayıp diledikleri başka bir istasyona bırakabildiği ve ortak kullanıma dayalı bir sistemdir. PBS düşük karbon salımı, esnek kullanım imkânı, toplu taşıma ile kolay entegrasyon ve kısa mesafeli yolculuklarda yüksek verimlilik gibi avantajlarıyla öne çıkmaktadır (Caulfield vd., 2017). Ayrıca PBS özellikle yoğun trafik bölgelerinde bireysel araç kullanımını ikame ederek karbon salımının ve trafik sıkışıklığının düşürülmesini sağlamaktadır. Bu nedenle kent içi yaşam kalitesini artıran, ekonomik ve çevresel açıdan sürdürülebilir bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. Çalışmalar trafik sıkışıklığının topluma olan maliyetinin oldukça yüksek olduğunu ve bu durumun ekonomik verimliliği doğrudan olumsuz etkilediğini göstermektedir. Avrupa ölçeğinde yapılan tahminler, trafik sıkışıklığının yıllık maliyetinin 270 milyar avroyu bulduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca ulaşım ağlarındaki akıcılığın sağlanmasının ekonomik büyümeyi desteklediği ve verimlilik üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğu belirtilmektedir. Örneğin yüksek düzeyde trafik sıkışıklığı yaşayan bölgelerde serbest akışkanlığa sahip bir ulaşım altyapısına geçilmesi, çalışanların üretkenliğini %30 oranında artırabilmektedir (Hartgen ve Fields, 2009). Trafik sıkışıklığının en belirgin olduğu alanlar genellikle büyük kent merkezleri ve çevre bölgeleridir. Bu durum özellikle iş gücü hareketliliğini, ticari faaliyetleri ve günlük yaşamın akışını olumsuz etkileyerek kent sakinlerinin yaşam kalitesini düşürmektedir. Trafik sıkışıklığını gidermek amacıyla yol kapasitesinin artırılması, uzun vadede talebin de artmasına yol açarak sıkışıklığı azaltmak yerine daha da kötüleştirebilmektedir (Mutlu vd., 2019). Dolayısıyla bu soruna yönelik çözüm yaklaşımlarının yalnızca altyapı

genişletme odaklı değil daha kapsamlı ve sürdürülebilir ulaşım politikaları çerçevesinde ele alınması gerekmektedir. Avrupa Komisyonu 2013 yılında kentsel hareketlilik kapsamında SKHP (Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik Planı) konseptini oluşturmuş ve bu yaklaşım Avrupa genelinde kentler tarafından benimsenmiştir (Garcia-Ayllon vd., 2022). SKHP, kentlerde ve çevrelerinde yaşayan bireylerin ve işletmelerin hareketlilik ihtiyaçlarını daha iyi yaşam kalitesi sağlamak amacıyla karşılamaya yönelik stratejik bir planlama yaklaşımıdır. Bu plan, mevcut ulaşım altyapısını entegrasyon, katılım ve değerlendirme ilkeleri doğrultusunda optimize etmeyi hedeflemektedir ve trafik akışını, kentsel erişilebilirliği ve farklı politika alanları arasındaki uyumu dikkate almaktadır. Yerel, bölgesel ve ulusal düzeyde çok paydaşlı iş birliğine dayalı olarak geliştirilen SKHP, sürdürülebilir ulaşım modellerini teşvik ederek güvenli, verimli ve çevre dostu bir kentsel hareketlilik sistemi oluşturmayı amaçlamaktadır. 2023 yılında güncellenen SKHP konsepti, Avrupa Birliği'nin yeni stratejileri ve politika öncelikleriyle uyumlu hale getirilmiş ve kentsel hareketlilik planlarının daha kapsamlı, yenilikçi ve etkili bir şekilde uygulanmasını teşvik edecek yönergeler geliştirilmiştir. Güncellenen politikalar, yerel yönetimlerin ve paydaşların teknik kapasitesini artırmayı, kentsel alanlarda sıfır emisyonlu ve entegre ulaşım çözümlerini desteklemeyi amaçlamaktadır. Kentlerin SKHP uygulamalarını izleyebilmesi ve sürdürülebilir kentsel hareketlilik hedeflerine ulaşmada ilerlemelerini ölçebilmesi için bir dizi gösterge belirlenmiştir. Bu göstergeler toplu taşıma kullanım oranları, sıfır emisyonlu ulaşım araçlarının yaygınlığı, aktif ulaşım modlarının (yaya ve bisiklet) altyapı durumları ve kentsel yük taşımacılığı verimliliği gibi temel parametreleri kapsamaktadır. SKHP, kentlerin hareketlilik sistemlerinin güçlü ve zayıf yönlerini analiz ederek iyileştirme stratejileri geliştirmelerine olanak sağlamaktadır. Böylece kentsel alanlarda sürdürülebilir, güvenli ve erişilebilir ulaşım politikalarının hedeflenen doğrultuda ilerleyip ilerlemediği düzenli olarak değerlendirilmekte ve gerektiğinde düzeltici önlemler alınabilmektedir (European Union, 2024). Geleneksel ulaşım planları ile SKHP arasındaki farklar Şekil 1.6'da sunulmaktadır.

Şekil 1.6. *Geleneksel ulaşım planları ve* SKHP *(Böhler vd., 2014)*



Şekil 1.6 incelendiğinde, geleneksel ulaşım planlarının tarihsel olarak bireysel araç kullanımını merkeze alan trafik yönetimi ve altyapı genişletme odaklı bir anlayış çerçevesinde şekillendiği gözlemlenmektedir. Bu çerçevede geleneksel ulaşım planlaması, ulaşım ağlarını fiziksel olarak genişleterek sorunlara çözüm üretmeye çalışırken erişilebilirlik, çevresel sürdürülebilirlik ve toplumsal refah gibi unsurlara değinmemektedir. Buna karşılık SKHP, yalnızca ulaşım altyapısının geliştirilmesine odaklanmak yerine hareketliliği insan merkezli bir yaklaşımla ele alarak erişilebilirlik ve yaşam kalitesini artırmayı hedeflemektedir. Ulaşım sistemlerini bir bütün olarak ele alarak farklı ulaşım türlerinin dengeli bir şekilde geliştirilmesini teşvik etmektedir. Kent içi ulaşımı yalnızca motorlu araçlara bağımlı olmaktan çıkararak toplu taşıma, bisiklet ve yaya dostu çözümlerle entegre bir sistem oluşturmayı amaçlamaktadır.

1.4.1. Yeni Nesil Sürdürülebilir Ulaşım Alternatifi: Mikro-Hareketlilik

Tarih boyunca ulaşımın sağlanabilmesi için çeşitli amaçlara hizmet eden farklı taşıtlar geliştirilmiştir. Özellikle kısa mesafeli ulaşımda 1900'lü yıllarda elektrikli taşıtlar, bisikletler ve itme gücüyle çalışan skuterler (scooter) tercih edilmiştir. Bu araçlar mikro-hareketliliğin ilk örnekleri arasında değerlendirilmektedir (Sovacool, 2009). 1920'lerden itibaren bireysel otomobillerin ulaşım sektöründe baskın hale gelmesiyle birlikte alternatif ulaşım araçları geri planda kalmıştır. Fakat son yıllarda artan trafik yoğunluğu, çevresel kaygılar ve sürdürülebilir ulaşım politikalarının ön plana çıkmasıyla birlikte mikro-hareketlilik yeniden gündeme gelmiş ve kent içi ulaşımda önemli bir alternatif olarak değerlendirilmeye başlanmıştır (Gössling, 2020).

Mikro-hareketlilik özellikle ilk ve son adımı kapsayan kısa mesafeli ulaşım ihtiyaçlarına yönelik yenilikçi, sürdürülebilir ve ekonomik çözümler sunan bir ulaşım modeli olarak öne çıkmaktadır. Geleneksel ulaşım sistemlerine alternatif olarak mikro-hareketlilik çözümleri kent içi hareketliliği daha verimli, erişilebilir ve çevre dostu hale getirmektedir. Mikro-hareketlilik sistemleri bireylerin, kısa mesafeli yolculuklarını özel araçlara olan bağımlılıklarını azaltarak gerçekleştirmelerini sağlamakta ve böylece kent içi trafik yoğunluğunu hafifletmeye katkı sunmaktadır. Mikro-hareketlilik sistemleri, elektrikli skuterler, bisikletler, kaykaylar ve diğer hafif motorlu taşıtlar gibi hızı saatte 45 km'yi ve kütlesi 350 kilogramı aşmayan bireysel ulaşım araçlarını kapsamaktadır (Abduljabbar vd., 2021). Kentleşmenin artması ve ulaşım sistemlerinin çevresel etkilerinin daha fazla tartışılması mikro-hareketlilik geleceğin ulaşım sistemleri içinde daha merkezi bir konum

kazanmasını zorunlu kılmaktadır. Bireysel mikro-hareketlilik yaygın örnekleri arasında yer alan araçlar Şekil 1.7'de sunulmaktadır.

Şekil 1.7. *Bireysel mikro-hareketlilik araçları*



Şekil 1.7'de yer alan bireysel mikro-hareketlilik araçlarının yanı sıra mikro-hareketlilik paylaşım sistemleri de son yıllarda ulaşım literatüründe önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Mikro-hareketlilik paylaşım sistemleri, kullanıcıların kısa mesafeli seyahat ihtiyaçlarını karşılamanın yanı sıra trafik yoğunluğunu azaltma, hava kalitesini iyileştirme ve karbon emisyonlarını düşürme gibi çevresel ve ekonomik fayda sunarak sürdürülebilir ulaşım politikalarıyla doğrudan ilişkilendirilmektedir.

1.4.2. Mikro-Hareketlilik ile Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri Uyumu

Sürdürülebilir kalkınma kavramı ilk kez 1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından yayımlanan "Our Common Future" (Ortak Geleceğimiz) başlıklı raporla sistematik bir çerçevede tanımlanmıştır. Raporda sürdürülebilir kalkınma, "gelecek kuşakların kendi ihtiyaçlarını karşılama olanaklarını tehlikeye atmaksızın, günümüzün ihtiyaçlarını karşılayan kalkınma" olarak ifade edilmiştir (WCED, 1987). Bu tanım sürdürülebilirliğin ekonomik, sosyal ve çevresel olmak üzere birbirini tamamlayan üç temel boyutunu içeren bütüncül bir yaklaşımı benimsemektedir. Böylece kalkınmanın yalnızca ekonomik büyüme ile sınırlı olmadığı, sosyal eşitlik, yoksullukla mücadele, çevresel koruma ve doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimi gibi unsurların da bu sürecin ayrılmaz parçaları olduğu vurgulanmıştır. Bu anlayış doğrultusunda Birleşmiş Milletler (BM), 2000–2015 dönemini kapsayan Binyıl Kalkınma Hedefleri'ni uygulamaya koymuştur. Sekiz ana hedeften oluşan bu çerçeve, küresel ölçekte yoksulluğun azaltılması, eğitim ve sağlık hizmetlerine erişimin artırılması, toplumsal cinsiyet eşitliğinin sağlanması ve çevresel sürdürülebilirliğin güçlendirilmesi gibi alanlarda somut ilerlemeler sağlamayı amaçlamıştır. Bu hedefler, küresel kalkınma politikalarında sosyal adaletin ve yoksullukla mücadelenin önceliklendirildiği önemli bir dönüm noktası olarak değerlendirilmektedir (UNDP, 2015).

Binyıl Kalkınma Hedefleri'nin tamamlanmasının ardından sürdürülebilir kalkınma yaklaşımının daha kapsayıcı, yapısal ve uzun vadeli bir perspektifle ele alınması amacıyla BM Genel Kurulu tarafından 2015 yılında 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi kabul edilmiştir. Bu gündem doğrultusunda, 17 hedef ve bunlara bağlı 169 alt hedef belirlenmiş, hedefler tüm dünya ülkeleri için ortak ancak her ülkenin kendi koşullarına uyarlayabileceği esnek bir çerçeve olarak tasarlanmıştır (BM, 2020). Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SKH) yoksulluğun ve açlığın ortadan kaldırılmasından temiz enerjiye erişime, iklim değişikliği ile mücadeleden barış, adalet ve güçlü kurumların inşasına kadar geniş bir konu yelpazesini kapsamaktadır. Bu hedefler, yalnızca hükümetlerin değil özel sektörün, sivil toplum kuruluşlarının, akademik çevrelerin ve bireylerin de aktif katkı sağlaması gereken küresel bir eylem planı niteliği taşımaktadır. Belirlenen 17 hedef, küresel düzeyde sürdürülebilir kalkınma vizyonunun somutlaştırılması açısından kritik öneme sahiptir ve Şekil 1.8'de sunumaktadır.

Şekil 1.8. *Sürdürülebilir kalkınma hedefleri (Küresel Amaçlar, 2024)*



Mikro-hareketlilik, sürdürülebilir kentleşme, çevresel koruma ve ekonomik büyüme gibi çok sayıda küresel hedefe doğrudan katkı sağlayan yenilikçi bir ulaşım yaklaşımıdır. Çevresel etkilerin azaltılması, toplumsal refahın artırılması ve ekonomik fırsatların çeşitlendirilmesi açısından stratejik bir rol üstlenmektedir. Mikro-hareketlilik taşıtlarının kullanımının yaygınlaştırılması, bireylerin günlük yaşamda daha aktif olmalarına olanak tanıyarak fiziksel aktivite düzeyini artırmakta ve buna bağlı olarak sağlık üzerinde önemli olumlu etkiler yaratmaktadır. Düzenli fiziksel aktivitenin, hareketsiz yaşam tarzına bağlı

olarak ortaya çıkan obezite, tip 2 diyabet, hipertansiyon ve kardiyovasküler hastalıklar gibi sağlık sorunlarının önlenmesinde kritik bir rol oynadığı bilinmektedir (Seidman, 2017). Ayrıca özel araç kullanımının azalmasıyla birlikte hava kirliliğinin de azalması, solunum yolu hastalıklarının yayılımını düşürerek halk sağlığının korunmasına katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda mikro-hareketlilik her yaştan birey için sağlıklı yaşamı teşvik eden ve refahı artırmayı hedefleyen "SKH-3: Sağlıklı Bireyler" ile doğrudan uyum içindedir. SKH-3, bireylerin yaşam boyu sağlıklarını güvence altına almayı amaçlayan geniş bir kapsama sahiptir. Hedefler arasında üreme sağlığı, anne ve yenidoğan bakımı, çocuk sağlığının korunması ve geliştirilmesi, bulaşıcı ve bulaşıcı olmayan hastalıkların önlenmesi ve tedavisi, ruh sağlığının iyileştirilmesi, trafik kazalarından kaynaklanan yaralanma ve ölümlerin azaltılması, evrensel sağlık hizmetlerine erişimin sağlanması, çevresel faktörlerin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması ve sağlık sistemlerinin güçlendirilmesi yer almaktadır.

Kent içi ulaşım sistemlerinin sürdürülebilir ilkeler doğrultusunda yeniden kurgulanmasında mikro-hareketlilik çözümleri kritik bir araçtır. Bireysel motorlu araç kullanımının azaltılması, yalnızca trafik sıkışıklığını ve otopark ihtiyacını azaltmakla kalmayıp aynı zamanda kent merkezlerindeki sınırlı kamusal alanların daha verimli kullanılmasına olanak tanımaktadır. Bu durum kent planlamasında yaya öncelikli ulaşım yollarının, bisiklet altyapısının, yeşil alanların ve sosyal etkileşim mekânlarının artırılmasına imkân tanımaktadır. Mikro-hareketlilik sistemlerinin toplu taşıma ağlarıyla entegre edilmesi ise ulaşım modları arasında kesintisiz geçişi kolaylaştırmakta, bireylerin ulaşım alternatiflerini çeşitlendirmekte ve mevcut toplu taşıma altyapısının verimliliğini artırmaktadır. Bu tür bütünleşik çözümler, "SKH-11.2: Herkes için güvenli, uygun fiyatlı, erişilebilir ve sürdürülebilir ulaşım sistemleri sağlanması" hedefiyle doğrudan örtüşmektedir (Almulhim vd., 2024). SKH-11.2 kapsamında uluslararası kuruluşlar, kamu kurumları, yerel yönetimler ve özel sektör tarafından yürütülen çeşitli projeler; toplu taşıma altyapısının güçlendirilmesi, akıllı trafik sistemlerinin geliştirilmesi, emisyon hacimlerinin azaltılması, ulaştırma ve otomotiv sektörüne yönelik nitelikli ara eleman yetiştirilmesi gibi tematik alanlarda yoğunlaşmaktadır.

Küresel ölçekte artan karbon emisyonları ve iklim değişikliğinin olumsuz etkileri, ulaşım sektörünün düşük karbonlu dönüşümünü zorunlu kılmaktadır. Mikro-hareketlilik uygulamaları, fosil yakıtla çalışan motorlu araçlara kıyasla oldukça düşük düzeyde sera

gazı salımı yapmaları nedeniyle çevresel sürdürülebilirlik stratejilerinin merkezinde yer almaktadır. Özellikle kentlerdeki kısa mesafeli yolculukların önemli bir bölümünün mikro-hareketlilik araçları ile karşılanması, toplam karbon ayak izini önemli ölçüde azaltarak ekosistem üzerindeki baskıyı hafifletmektedir. Bu yaklaşım, düşük karbonlu ulaşım sistemlerine geçişi hızlandırmakta ve iklim değişikliği ile mücadelede etkili bir politika aracı sunmaktadır. Dolayısıyla mikro-hareketlilik, insan faaliyetlerinden kaynaklanan iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin azaltılmasını hedefleyen "SKH-13: İklim Eylemi" ile güçlü bir bağa sahiptir (Sena vd., 2024). Bu hedef; iklim krizinin olumsuz etkilerini azaltmak, uyum kapasitesini güçlendirmek ve düşük karbonlu kalkınma modellerine geçişi hızlandırmak için küresel, ulusal ve yerel ölçekte bütüncül önlemler alınmasını önermektedir.

Bunun yanı sıra mikro-hareketlilik, ekonomik boyutuyla da dikkat çekmektedir. Paylaşımlı bisiklet ve elektrikli skuter sistemleri, bakım, yazılım geliştirme, istasyon yönetimi ve lojistik gibi alanlarda yeni istihdam olanakları yaratmakta ve yerel işletmelerin müşteri erişimini artırarak kentsel ekonomiye dolaylı katkı sağlamaktadır. Ayrıca ulaşımda erişim eşitliğinin güçlenmesine katkıda bulunarak sosyal kapsayıcılığı teşvik etmektedir. Özellikle düşük gelirli bireyler için uygun fiyatlı ve kolay erişilebilir ulaşım seçenekleri sunması, sosyal adaletin güçlendirilmesi açısından önem arz etmektedir.

Sonuç olarak mikro-hareketlilik, günümüz kentlerinin karşı karşıya olduğu ulaşım, çevresel sürdürülebilirlik ve sosyal kapsayıcılık gibi çok boyutlu sorunlara yönelik bütüncül çözümler sunan yenilikçi ve etkili bir ulaşım paradigmasıdır. Hem bireysel hem de paylaşımlı kullanım modelleri aracılığıyla özel araç bağımlılığını azaltmakta, enerji verimliliğini artırmakta, karbon salımını düşürmekte ve yaşam kalitesini yükseltmektedir. Bu nedenle mikro-hareketlilik politikalarının, geniş ölçekli ulaşım planlamalarına entegre edilmesi, altyapı yatırımlarıyla desteklenmesi ve kullanıcı odaklı teşvik mekanizmalarıyla güçlendirilmesi, sürdürülebilir ve yaşanabilir kentler inşa etme sürecinde temel stratejik öncelikler arasında yer almalıdır.

İKİNCİ BÖLÜM

PAYLAŞIMLI BİSİKLET SİSTEMİ

Sürdürülebilir ulaşım çözümlerine olan ilginin artmasıyla birlikte bisikletler, ekonomik, çevre dostu ve fiziksel aktiviteyi teşvik eden bir ulaşım aracı olarak öne çıkmaktadır. Bisiklet kullanımı, bireylerin günlük yaşamlarında daha sağlıklı ve aktif bir yaşam tarzı benimsemelerine katkı sağlarken aynı zamanda trafik sıkışıklığını ve karbon emisyonlarını azaltma potansiyeli sunmaktadır. Bu doğrultuda kent içi ulaşımda bisikletin entegrasyonunu kolaylaştıran ve kullanıcılar arasında bisikletin erişilebilirliğini artıran Paylaşımlı Bisiklet Sistemi (PBS) mikro-hareketliliği destekleyen yenilikçi bir çözüm olarak tüm dünyada giderek yaygınlaşmaktadır. Bu bölümde; PBS tarihçesi, gelişimi, dünyadaki ve Türkiye'deki örnekleri incelenmiştir.

2.1. Paylaşımlı Bisiklet Sistemi Tarihçesi ve Gelişimi

PBS tarihi incelendiğinde, bu sistemin beş farklı nesilden oluştuğu ve altıncı nesil sisteminin geliştirilmesine yönelik araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin sürdüğü görülmektedir. Her bir nesil bir önceki nesilde karşılaşılan teknik, operasyonel veya kullanıcı deneyimine ilişkin sorunları çözmeye odaklanarak geliştirilmiştir.

2.1.1. Birinci Nesil Paylaşımlı Bisiklet Sistemi

PBS'nin ilk örneği 1965 yılında Hollanda'nın Amsterdam kentinde 50 bisiklet ile hayata geçirilen "Beyaz Bisikletler" sistemidir (Chen, 2018). Bu nesil, kent sakinlerinin ulaşım ihtiyaçlarını karşılamak üzere bisikletlerin herhangi bir kayıt, ücret ya da kullanıcı takibi olmaksızın herkesin kullanımına açık şekilde kamuya sunulması esasına dayanmaktadır. Kullanıcılar, kent genelinde rastgele konumlandırılmış bu bisikletleri istedikleri noktadan alıp gidecekleri yere kadar kullanabilmekte ve ardından başka bir kullanıcının erişimine açık olacak şekilde bırakmaktaydı. Sistem herhangi bir denetim veya izleme mekanizması içermemesi nedeniyle kısa sürede ciddi sorunlarla karşılaşmış ve birçok bisikletin zarar

görmesiyle sonuçlanmıştır. Güvenlik ve sürdürülebilirlik açısından gerekli altyapının oluşturulamamış olması nedeniyle birinci nesil PBS uygulamaya alındıktan sadece birkaç gün sonra başarısızlığa uğrayarak sona ermiştir (DeMaio, 2009). Bu deneyim, gelecekteki tasarım ve yönetimde güvenlik, izlenebilirlik ve kullanıcı sorumluluğu gibi unsurların ne kadar önemli olduğunu ortaya koymuştur.

2.1.2. İkinci Nesil Paylaşımlı Bisiklet Sistemi

İkinci nesil PBS, denetimsizlik ve kullanıcı kimliği eksikliği gibi yapısal sorunlardan ders alınarak geliştirilmiştir. Bu neslin ilk örnekleri 1991 yılında Danimarka'nın Farsø ve Grenå kentlerinde ve ardından 1993 yılında Nakskov'da sınırlı sayıda bisiklet ve birkaç istasyon ile uygulamaya konulmuştur (Nielsen, 1993). Bu nesilde, bisikletler belirli noktalarda konumlandırılmıştır. Kullanıcılara bir ücret karşılığında bisikletleri ödünç alma imkânı sunulmuştur. Böylece PBS daha organize ve kontrollü bir yapıya kavuşturulmuştur ve denetimsizlik sorununa kısmi bir çözüm getirilmiştir. En bilinen ve kapsamlı ikinci nesil PBS, 1995 yılında Danimarka'nın başkenti Kopenhag'da hayata geçirilen "Bycyklen" sistemidir. Kamu ve özel sektör iş birliğiyle başlatılan bu sistem dönemin en büyük ölçekli sistemi olarak dikkat çekmiştir (Shaheen ve Guzman, 2011). İstasyon bazlı çalışan sistem, organizasyonel açıdan daha yapısal bir model sunmuş olsa da çalınma ve hasar gibi güvenlik sorunlarının tamamen ortadan kaldırılması mümkün olmamıştır. Bu sınırlılıklara rağmen "Bycyklen" sistemi zamanla teknolojik gelişmeleri bünyesine entegre ederek hizmet vermeye devam etmiş ve sürdürülebilirliğini uzun yıllar koruyabilmiştir (Brink, 2017).

Şekil 2.1. *İkinci nesil PBS*



Şekil 2.1'de sunulan sistemde, kullanıcının bozuk para yerleştirmesiyle birlikte anahtar mekanizması devreye girmekte ve bisikletin istasyondan ayrılmasına olanak sağlanmaktadır. İkinci nesil sistem, dayanıklı bisiklet tasarımı, istasyon bazlı erişim ve mekanik kilitleme gibi yeniliklerle önemli bir ilerleme sağlamış olsa da eksiklikleri, sistemin daha ileri düzeyde dijital çözümler içeren üçüncü nesil sisteme evrilmesine zemin hazırlamıştır.

2.1.3. Üçüncü Nesil Paylaşımlı Bisiklet Sistemi

Üçüncü nesil PBS, teknolojik altyapının gelişmesiyle birlikte kullanıcı takibi, güvenlik ve operasyonel yönetim açısından önemli bir dönüşüm sürecini beraberinde getirmiştir. Bu nesilde bisikletlerin dijital olarak izlenebilmesi, kullanıcı kimliklerinin tanımlanması ve ödeme süreçlerinin otomatikleştirilmesi gibi yenilikler ön plana çıkmıştır. Üçüncü nesil uygulamalar ilk olarak 1996 yılında İngiltere'deki Portsmouth Üniversitesi'nde, manyetik kart kullanımıyla hayata geçirilmiştir. Fransa'nın Rennes kentinde, 1998 yılında "Vélo à la Carte" adıyla anılan daha gelişmiş bir PBS hizmete sunulmuştur (Midgley, 2011). Bu nesilde elektronik kilit sistemleri, akıllı kartlar, güneş enerjisiyle çalışan kiosklar, telekomünikasyon altyapısı ve cep telefonu erişimi gibi yenilikçi teknolojiler entegre edilmiştir. Üçüncü nesil sistemlerin önemli bir özelliği, istasyon

temelli bir yapıda çalışması ve kullanıcıların bisikletlere akıllı kart veya mobil uygulama yoluyla erişim sağlamasıdır. Bu sayede her bir kullanıcı hareketi kayıt altına alınabilir hâle gelmiştir ve hırsızlık gibi sorunlar büyük ölçüde azalmıştır. Üçüncü nesil sistemin sunduğu yeniliklerden biri de gerçek zamanlı veri iletimi sayesinde bisikletlerin konumunun ve durumunun sürekli izlenebilmesidir. Kullanıcılara bisikletlerin uygunluk durumu ve istasyon konumları hakkında anlık bilgi sunulmuştur. Bu gelişme, sistemin erişilebilirliğini ve operasyonel verimliliğini artırmıştır (Gaegauf, 2014).

2.1.4. Dördüncü Nesil Paylaşımlı Bisiklet Sistemi

Dördüncü nesil PBS, teknolojik gelişmelerin ve kullanıcı beklentilerindeki değişimlerin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Mobil uygulamalar, Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System-GPS), gerçek zamanlı veri paylaşımı ve yenilenebilir enerji kullanımı ile desteklenmiştir. Bu neslin ilk örneklerinden biri Danimarka'nın başkenti Kopenhag'da uygulamaya konulan "GoBike" sistemidir. Kullanıcılar akıllı telefon uygulamaları aracılığıyla bisiklet rezervasyonu yapabilmekte ve istasyonlardaki uygunluk durumunu kontrol edebilmektedir. Ödeme, kilit açma ve yer ayırma işlemlerini mobil ortamda gerçekleştirebilmektedir. GPS entegrasyonu sayesinde bisikletlerin anlık konumu izlenebilir hâle gelmiştir. Bu durum sistemin güvenliği ve yönetilebilirliğini önemli ölçüde artırmıştır (Shaheen vd., 2013). Üçüncü nesil sistemin temel bileşenlerini bünyesinde barındıran dördüncü nesil, bu yapıyı bir adım ileri taşıyarak özellikle toplu taşıma ile entegrasyon yönünde gelişme göstermiştir. Bu entegrasyon sayesinde bisikletler, kentsel ulaşım sisteminin ayrılmaz bir parçası hâline gelmiştir. Kullanıcıların farklı ulaşım modları arasında kolay geçiş yapabilmeleri sağlanmıştır. Gelişen bu yapılarla birlikte kredi kartı, abonman kartları ve toplu taşıma kartları gibi çoklu ödeme seçenekleri de sisteme entegre edilerek kullanıcı deneyimi iyileştirilmiştir (Brink, 2017).

2.1.5. Beşinci Nesil Paylaşımlı Bisiklet Sistemi

Beşinci nesil PBS, önceki nesillerin sınırlılıklarını aşmak ve mikro-hareketliliği daha esnek, erişilebilir ve düşük maliyetli hâle getirmek amacıyla geliştirilmiştir. Bu neslin temel farkı istasyon tabanlı altyapıya ihtiyaç duymadan çalışmalarıdır. 2016 yılında Çin'in Şanghay kentinde ilk kez uygulamaya konulan bu sistem, kısa sürede birçok ülkede yaygınlık kazanmıştır (Shen vd., 2018). İstasyonsuz yapıları sayesinde bisikletlerin herhangi bir yere bırakılabilmesi mümkün hâle gelmiştir. Bu gelişme hem

kullanıcıların esnekliğini artırmış hem de istasyon kurulumuna bağlı maliyetleri önemli ölçüde azaltmıştır. GPS entegrasyonu ve mobil uygulamalar aracılığıyla bisikletin yeri, kilitlenmesi, açılması ve ödeme işlemleri kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir (Jahanshahi vd., 2019). Beşinci nesil sistem, fiziksel altyapıdaki dönüşümle değil aynı zamanda veri yönetimi ve yapay zekâ destekli algoritmalarla da öne çıkmaktadır. GPS sistemleri sayesinde kullanıcı verileri toplanmakta ve bu veriler hem sistem yöneticileri hem de kullanıcılar için analiz edilerek hizmetin etkinliği artırılmaktadır. Düşük maliyetli yapısı, dinamik veri paylaşımı ve dijital altyapısı ile beşinci nesil PBS, kentsel ulaşım ağlarının akıllı ve sürdürülebilir bir parçası hâline gelmiştir. Sistemin tüm avantajlarına rağmen kontrol mekanizmalarından yoksun olması çeşitli olumsuzluklara yol açmıştır. Özellikle kullanıcıların bisikletleri gelişigüzel alanlara bırakması, yaya geçişlerini engellemesi ve toplu taşıma istasyonları çevresinde yoğun bisiklet yığılmalarının oluşması gibi durumlar birçok kentte düzenleyici müdahaleleri zorunlu kılmıştır (Chen vd., 2018).

2.2. Paylaşımlı Bisiklet Sisteminin Dünyadaki Örnekleri

PBS birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde farklı büyüklükteki kentlerde kullanıcı ihtiyaçlarına göre özelleştirilmiş istasyonlu ve istasyonsuz sistemler başarıyla uygulanmaktadır. Bu bölümde; dünyadaki çeşitli kentlerde uygulamaya konulan PBS örnekleri incelenerek mevcut durum ve potansiyeller değerlendirilmiştir.

2.2.1. Kopenhag Örneği

Kopenhag, bisiklet odaklı ulaşım politikaları sayesinde yalnızca Avrupa'da değil küresel ölçekte de öncü kentlerden biri konumuna gelmiştir. 2002 yılında yayımlanan 'Bisiklet Politikası 2002–2012' belgesiyle bisikleti günlük ulaşımın merkezî bir unsuru hâline getirme hedefi, stratejik düzeyde ele alınmıştır. Bu belgeyi 2006–2016 dönemini kapsayan 'Bisiklet Yolu Öncelik Planı' ve her iki yılda bir yayımlanan 'Bisiklet Hesapları' raporları izlemiştir. 2007 yılında ise "Eko-Metropolis – Kopenhag 2015" vizyonuyla şehrin 'dünyanın bisikletçiler için en iyi kenti' olma hedefi ilan edilmiştir. Bu vizyon doğrultusunda 2015 yılına kadar işe ya da okula yapılan yolculukların %50'sinin bisikletle gerçekleştirilmesi, bisiklet kazalarının %50 oranında azaltılması ve bisiklet kullanıcılarının en az %80'inin trafikte kendini güvende hissetmesi gibi ölçülebilir hedefler belirlenmiştir (Gössling, 2015). 2023 tarihli Mobilite Raporu'na göre bu

hedeflerin büyük ölçüde başarıya ulaştığı görülmektedir. Kentteki tüm ulaşım türleri arasında bisiklet kullanım oranı %26'ya, işe veya okula giden Kopenhaglılar arasında ise bu oran %55'e ulaşmıştır. Ayrıca kent merkezine yönelik yolculuklarda bisikletin payı %65'e kadar çıkmaktadır. Günlük toplam bisikletli ulaşım mesafesi ise 1,44 milyon km'yi aşmaktadır. Bisiklet altyapısına kişi başı yıllık ortalama 40 avro yatırım yapılmıştır. Son yıllarda tamamlanan 12 yaya ve bisiklet köprüsü ile 167 km bölgesel bisiklet yolları, bu politikanın fiziksel çıktıları arasında yer almaktadır (Mobilitetsredegørelse, 2023). Şekil 2.2'de Kopenhag'ta yer alan bisiklet yoluna örnek sunulmaktadır.

Şekil 2.2. *Kopenhag bisiklet yolu (Visit Copenhagen, 2025)*



Tablo 2.1'de Kopenhag kentinde bisiklet altyapısına yönelik çeşitli göstergelerin 2020, 2021 ve 2022 yıllarındaki durumları ile 2025 yılına yönelik hedeflerinin karşılaştırmalı olarak sunulduğu ve bu göstergeler aracılığıyla şehrin sürdürülebilir ulaşım vizyonu doğrultusunda kaydettiği gelişimin ayrıntılı biçimde ortaya konduğu bir veri seti yer almaktadır.

Tablo 2.1. *Kopenhag bisiklet göstergeleri (Mobilitetsredegørelse, 2023)*

Göstergeler	2020	2021	2022	2025 Hedefi
Toplam bisiklet yolları (km)	386	388	392	423
Toplam bisiklet şeritleri (km)	33	33	33	18
Toplam yeşil bisiklet rotaları (km)	64	65	65	115
Süper bisiklet yolları (km)	30	35	55	145
Yenilenen bisiklet yolları (km)	9,5	5,8	19	-
Yeni bisiklet park yerleri (adet)	2600	1800	1100	37.000–72.000
Tüm yolculuklarda bisiklet oranı	%26	%21	%26	>%25

Tablo 2.1 toplam bisiklet yolu uzunluğu, süper bisiklet yolları, yenilenen altyapılar ve bisiklet park yerlerinin sayısı gibi nicel göstergelerle şehrin bisiklet odaklı ulaşım politikalarının yıllar içindeki etkisini sunmaktadır. Özellikle süper bisiklet yolları ve yeşil bisiklet rotalarında kaydedilen artış, kent planlamasında bisikletin öncelikli ulaşım modu olarak benimsendiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca tüm yolculuklarda bisiklet kullanım oranının istikrarlı biçimde yüksek kalması, Kopenhag'ın sürdürülebilir ulaşım hedeflerine ulaşma konusundaki kararlılığını desteklemektedir.

Kopenhag'ta PBS, Ocak 1995'te "Bycyklen" ile hayata geçirilmiştir. Bu sistem başlangıçta şehrin çeşitli noktalarına yerleştirilen sekiz adet istasyonda konumlandırılan 1.000 özel tasarımlı bisikletten oluşmaktadır. PBS, zamanla 2.000 bisiklet ve 110 istasyona ulaşarak kapsamını genişletmiştir. "Bycyklen" ikinci nesil PBS için önemli bir örnektir. Kopenhag Belediyesi, Ekim 2014'te nesnelerin interneti teknolojileriyle donatılmış yeni nesil bir "CityBike" programını uygulamaya koymuştur. Yeni sistemde elektrik destekli bisikletlere entegre edilmiş GPS ve tablet bilgisayarlar yer almaktadır. Uygulama, dördüncü nesil PBS kapsamında değerlendirilmektedir (Kovačević, 2023).

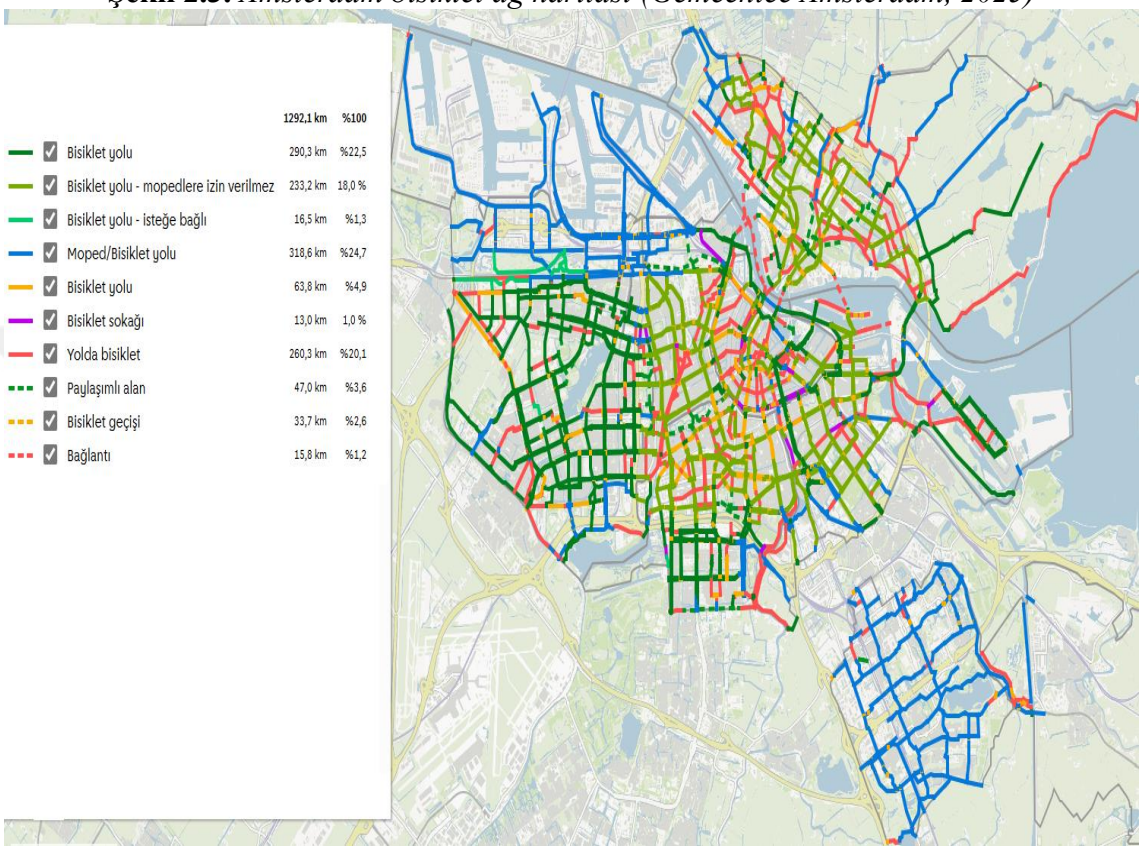
Kopenhag, yalnızca bisiklet altyapısıyla değil, sürdürülebilir ulaşım, çevresel denge ve toplumsal refahı birlikte ele alan referans niteliğinde bir kentsel hareketlilik örneği olarak öne çıkmaktadır.

2.2.2. Amsterdam Örneği

Amsterdam, bisikletin kent yaşamına entegre edildiği ve bisikletli ulaşım kültürünün günlük yaşamın ayrılmaz bir parçası hâline geldiği öncü kentlerden biridir. Kentte PBS tarihi, 1965 yılında hayata geçirilen ancak vandalizm nedeniyle kısa sürede sonlandırılan "Beyaz Bisikletler" girişimiyle başlamıştır (Shaheen ve Guzman, 2011). Günümüzde Amsterdam güçlü altyapısı, planlama tecrübesi ve sürdürülebilir ulaşım vizyonuyla bisikletli kentleşme açısından küresel bir referans noktası konumundadır. Amsterdam'da

bisiklet sürmek yalnızca tercih edilen bir ulaşım şekli değil kent planlamasıyla desteklenen bir yaşam tarzıdır (Cao vd., 2024). Şekil 2.3'te Amsterdam bisiklet ağ haritası sunulmaktadır.

Şekil 2.3. *Amsterdam bisiklet ağ haritası (Gemeentee Amsterdam, 2025)*



Amsterdam'da günlük yaklaşık iki milyon km bisiklet yolculuğu gerçekleştirilmektedir. Kentte günlük ortalama 665.000 bisiklet yolculuğu yapılmaktadır. Yapılan toplam ulaşımın %36'sı bisikletle gerçekleştirilmektedir (Gemeente Amsterdam, 2017). 2017 yılında birden fazla özel girişim tarafından piyasaya sunulan PBS, kısa sürede 5.000'den fazla bisikletin dolaşıma girmesini sağlamıştır. Bu hızlı yayılım ve altyapısal gelişmelere rağmen kentin mevcut bisiklet kullanım dinamikleri, sistemin kabul görmesini sınırlamıştır. Amsterdam'da yüksek düzeydeki bireysel bisiklet sahipliği sistemlerin benimsenmesinde önemli bir engel oluşturmuştur. Belediye PBS'nin turistlerden çok yerel halk için bir çözüm sunması gerektiğini vurgulamış olsa da kültürel olarak bisiklet sahipliğine duyulan bağlılık, davranış değişimini zorlaştırmıştır (Waes vd., 2020). Belediye, sistemi daha etkili ve yerel ihtiyaçlara duyarlı hâle getirmek amacıyla yeni stratejiler geliştirme yoluna gitmiştir. Bisikletlerin kent yaşamına entegrasyonu sürecinde karşılaşılan yapısal ve kültürel zorluklar, sistemin daha kontrollü ve denetimli biçimlerde

uygulanmasını gündeme getirmiştir. Bu doğrultuda 2021–2023 yılları arasında çeşitli pilot uygulamalar hayata geçirilmiş ve kullanıcı davranışlarını, memnuniyet düzeylerini ve operasyonel verimliliği ölçmeye yönelik somut veriler toplanmıştır. "Deelfiets" başlıklı pilot çalışmada kullanıcıların en çok memnun kaldığı alanların tren ve metro istasyonlarına yakın konumlar olduğu, en düşük memnuniyetin ise turistik bölgelerdeki düzensiz park edilen araçlardan kaynaklandığı belirtilmiştir. Ayrıca kullanıcıların %56'sı park yerlerinden memnun değilken, %43'ü sistemin kullanışlı olduğunu belirtmiştir (Rapportage Deelfiets, 2024). Belediye, kullanıcı deneyimlerinin geliştirilmesi adına belirlenmiş sabit park alanlarının artırılmasını önermektedir. Anketlerde kullanıcıların %43'ünün Amsterdam sakini olması, PBS'nin artık turist odaklı değil, kentlilere yönelik pratik bir ulaşım aracı olduğunu göstermektedir. Ayrıca yolculukların önemli bir kısmının toplu taşıma ile entegre biçimde gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır (Rapportage Deelfiets, 2024).

Amsterdam bisiklet altyapısı bakımından küresel ölçekte bir model teşkil etse de PBS uygulanmasında çeşitli zorluklar yaşamıştır. Bu deneyim yerel kültürel normların, kamusal alan politikalarının ve teknolojik çözümlerin uyumlu bir biçimde kurgulanması gerektiğini göstermektedir.

2.2.3. Utrecht Örneği

Hollanda'nın ilk resmi bisiklet yolu 1885 yılında Utrecht'te inşa edilmiştir ve bu durum kentin bisiklet kültüründeki öncü rolünü ortaya koymaktadır (Mobiliteitsplan 2040, 2021). Günümüzde Utrecht'te yaklaşık 420 km'lik bisiklet yolu ağı mevcuttur. Kentteki bisiklet kullanımı günlük yaşamın ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Verilere göre her gün yaklaşık 90.000 kişi işe ya da okula bisikletle gitmektedir ve kent merkezine yapılan ziyaretlerin %56'sı bisiklet aracılığıyla gerçekleşmektedir. Bu oran, bisiklet kullanımının en çok tercih edilen ulaşım biçimi olduğunu göstermektedir (Gemeente Utrecht, 2021). Bisikletin kent içi hareketliliğe entegrasyonu aynı zamanda halk memnuniyetine de yansımaktadır. Yapılan anketlerde Utrecht sakinlerinin %87'si kent merkezine bisikletle ulaşımı uygun bulurken, %94'ü bir veya daha fazla bisiklete sahip olduğunu belirtmiştir (Gemeente Utrecht, 2021). Bununla birlikte kentin en yoğun güzergâhlarında günlük bisiklet trafiği 33.000'i aşmaktadır. Utrecht'in altyapı yatırımları da dikkat çekicidir. Özellikle Utrecht merkez istasyonu çevresinde 30.000'in üzerinde bisiklet park alanı bulunmaktadır ve bölge dünyanın en büyük bisiklet otoparkı olarak kayıtlara geçmiştir.

Kent genelinde ise 21 adet bisiklet park alanı mevcuttur ve bunların 18'i denetimli olarak işletilmektedir (Mobiliteitsplan 2040, 2021).

Utrecht Belediyesi'nin "Mobiliteitsplan 2040" adlı uzun vadeli stratejik ulaşım planında bisikletin rolü daha da güçlendirilmiştir. Bu plan, özel araç kullanımını azaltmak, ulaşımın karbon ayak izini düşürmek ve sağlıklı yaşam biçimlerini teşvik etmek amacıyla mikro-hareketlilik çözümlerine yatırım yapmaktadır. Bu sistemlerin yaygınlaştırılması, özellikle toplu taşıma ile entegrasyonunun sağlanması yoluyla son adım ulaşımı desteklemektedir. Kentte yalnızca altyapı yatırımlarıyla sınırlı kalmayan aynı zamanda kullanıcı davranışlarını ve sistem etkinliğini değerlendirmeye yönelik yenilikçi yaklaşımlar da benimsenmiştir. Söz konusu stratejik çerçevenin deneysel temellerle desteklenmesi amacıyla Utrecht Üniversitesi iş birliğiyle yaşayan laboratuvar uygulaması yürütülmüş ve bu kapsamda "Donkey Republic" adlı şirket aracılığıyla 700 bisikletle akıllı PBS test edilmiştir. Sistem, GPS takip modülleri, kilitlerin uzaktan açılıp kapatılmasını sağlayan mobil uygulama entegrasyonu ve kullanıcı davranışlarını izlemeye yönelik dijital altyapısıyla yenilikçi bir model sunmuştur. Bu süreç serbest sistemin kent içi hareketliliğe katkı düzeyini anlamak açısından önemli bilgiler sağlamıştır (Long ve Waes, 2021).

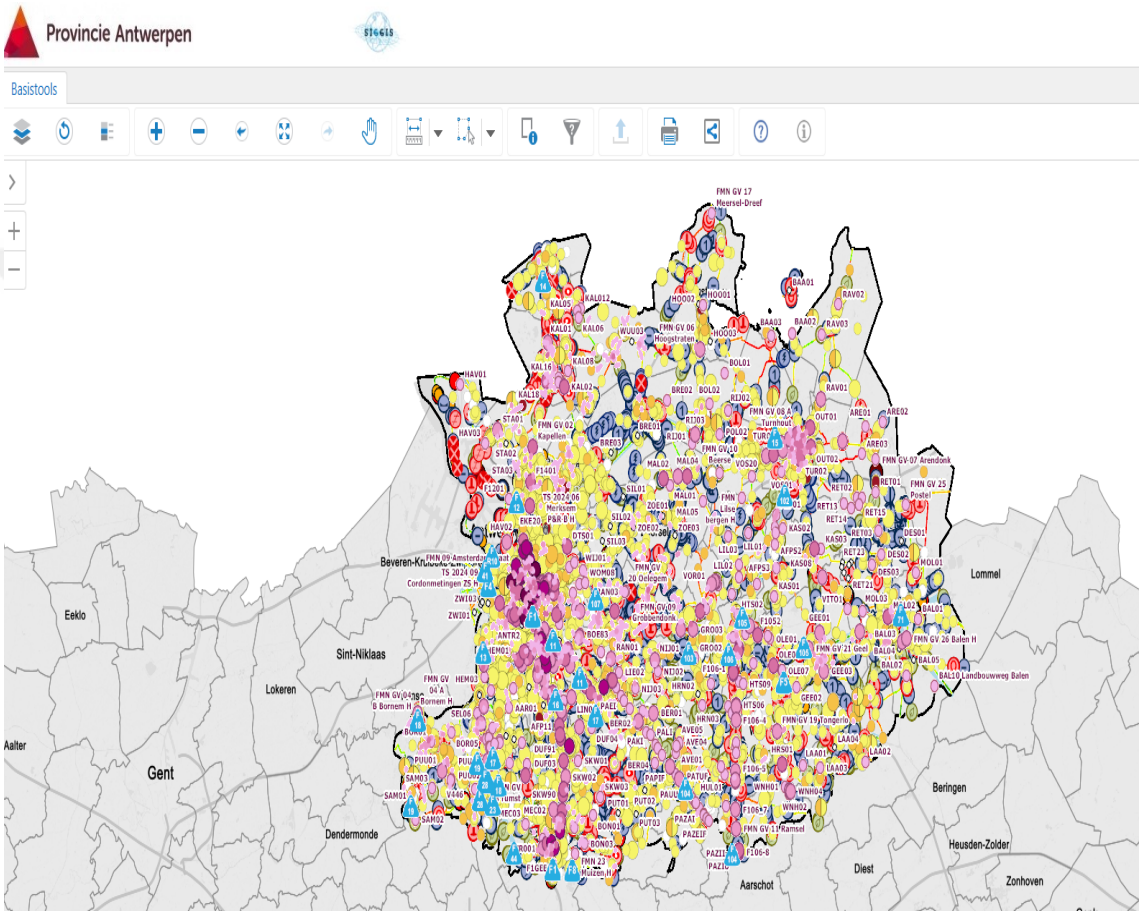
Utrecht'te aktif olarak kullanılan PBS arasında "Donkey Republic" ön plana çıkmakta ve kullanıcıların GPS tabanlı mobil uygulama aracılığıyla bisiklet kiralayabildiği açık bir yapı sunmaktadır. Ayrıca Hollanda genelinde demiryolu istasyonlarına entegre çalışan "OV-fiets" sistemi, Utrecht'te de yoğun biçimde kullanılmaktadır. Kargo bisikletlerine yönelik olarak ise "Cargoroo" ve mahalle temelli "Bakfiets" uygulamaları kent genelinde yaygınlaşmaktadır. Son olarak 2026 yılı itibarıyla Utrecht ve çevresindeki U10 bölgesinde yaklaşık 1.500 elektrikli bisikleti kapsayan yeni bir bölgesel sistemin devreye alınması planlanmaktadır (Goedopweg.nl, 2024; Donkey.bike, 2024).

2.2.4. Antwerp Örneği

Kent yönetimi, bisiklet yolları ve park alanlarının artırılmasının yanı sıra araç paylaşım sistemlerini yaygınlaştırmış ve kent içi hız sınırlarını çoğu caddede 30 km/s'ye düşürerek bisikletlilerin güvenliğini artırmaya yönelik altyapı reformları gerçekleştirmiştir. Kentte araçsız turistik rotaların oluşturulması ve bisiklet yolu ağının genişletilmesi doğrultusunda stratejik çalışmalar yürütülmektedir. Bu çabalar sonucunda 2015'ten 2018'e kadar bölgede bisiklet kullanımında %21 oranında artış kaydedilmiştir

(Fietsberaad Vlaanderen, 2019). Kent için oluşturulan çevrim içi bisiklet barometresi, yaklaşık 4000 km'lik bisiklet rotasını haritalandırmakta ve altyapı kalitesi, trafik yoğunluğu ile kaza verilerini bütünleşik haritalar ve grafiklerle kullanıcıya sunmaktadır. Şekil 2.4'te Antwerp bisiklet barometresi sunulmuştur.

Şekil 2.4. *Antwerp bisiklet barometresi (Provincieantwerpen, 2025)*



Şekil 2.4'te yer alan platform, hareketlilik politikalarının geliştirilmesinde nesnel veri temelli bir araç olarak kullanılmaktadır.

Kentte yer alan "Velo" akıllı telefon uygulaması, istasyonlara erişimi kolaylaştırmaktadır (Kishchenko vd., 2016). Velo Antwerp, 10 yıllık faaliyet süresi boyunca kentsel hareketlilik açısından kayda değer başarılara imza atmıştır. Sistem 305 istasyonda hizmet veren 4.200 bisikletlik bir filoya sahiptir. Uzun süreli kullanım tercihinde bulunan 113.206 yıllık aboneye ek olarak toplam 444.271 günlük ve haftalık kısa süreli kullanıcıya ulaşılmıştır. Kuruluşundan bu yana sistem aracılığıyla gerçekleştirilen toplam yolculuk sayısı 40.238.834'tür (Clear Channel Belgium, 2023).

Bu veriler Antwerp'in bisiklet odaklı ulaşım sistemine olan yatırımının kullanım oranları ve kullanıcı çeşitliliği açısından başarıya ulaştığını ortaya koymaktadır.

2.3. Paylaşımlı Bisiklet Sisteminin Türkiye'deki Örnekleri

PBS, son yıllarda Türkiye'de de kent içi ulaşım stratejilerinin önemli bir parçası haline gelmiştir. Kentleşme, trafik yoğunluğu, çevresel kaygılar ve sağlıklı yaşam arayışı, yerel yönetimleri, alternatif ulaşım çözümleri geliştirmeye yönlendirmiştir. T.C. Sağlık Bakanlığı tarafından hazırlanan "Türkiye Sağlıklı Beslenme ve Hareketli Hayat Programı", 29 Eylül 2010 tarihli ve 27714 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Başbakanlık Genelgesi ile yürürlüğe girmiş olup halen uygulanmaktadır. Bu kapsamda Fiziksel Aktivitenin Teşviki Projesi aracılığıyla 2025 yılına kadar fiziksel olarak inaktif nüfus oranının %10 azaltılması hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda, üç yıl içerisinde bisiklet kullanım oranını belirlenen hedef gruplarda %5 artırmak amacıyla Millî Eğitim Bakanlığı'na bağlı okullar, kriterlere uygun bisiklet yolları inşa eden belediyeler, resmî kurumlar ve sivil toplum kuruluşlarına bisiklet desteği sağlanmaktadır. Bu çerçevede 2015–2018 yılları arasında okullar, üniversiteler, belediyeler, kamu kurumları ve ilgili sivil toplum kuruluşlarına toplam 330.000 adet bisiklet dağıtılmıştır (Sağlık Bakanlığı, 2018).

Türkiye'de PBS uygulamalarının yaygınlaşması merkezi yönetimin stratejik hedefleri ve yerel yönetimlerin çevreci ulaşım politikaları ile doğrudan ilişkilidir. Belediyeler, PBS'leri yalnızca ulaşım altyapısının bir unsuru olarak değil, aynı zamanda turizm, spor ve çevre bilincini artırıcı bir araç olarak da konumlandırmaktadır. Özellikle sahil şeridi bulunan kentlerde ve üniversite kampüslerinde PBS kullanımı, kısa mesafe ulaşım ihtiyacına düşük maliyetli ve sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır. Türkiye'deki PBS örnekleri Tablo 2.2'de sunulmuştur.

Tablo 2.2. *Türkiye'deki PBS örnekleri (Türkiye Bisiklet Yolu Ağı Master Planı)*

Kent	PBS Adı	Açılış Yılı	İstasyon Sayısı	Bisiklet Sayısı
Kayseri	KayBis	2009	51	750
Konya	KOBİS	2010	40	400
İstanbul	İsbike	2012	300	1500
Antalya	Antbis	2013	6	40
Kocaeli	Kobis	2014	79	535
İzmir	Bisim	2014	60	890
Bursa	Nilespit	2015	21	187
Çanakkale	Çabis	2016	17	92
Mersin	Kent Bis	2016	6	150
Antalya	Manbis	2016	5	40
Tekirdağ	Rodostobis	2017	1	30
Eskişehir	Espedal	2017	3	30
Gaziantep	GaziBis	2017	7	108
Denizli	Pakbis	2018	9	64
Yozgat	Yobis	2018	10	57
Nevşehir	Nevşehir Bel.	2018	3	500
Sakarya	Sakbis	2019	15	100
Muğla	Marvelos	2019	1	4
Batman	Batbis	2021	6	55

Türkiye'de uygulanan bu örnekler teknik altyapı, işletim modeli ve kullanıcı kitlesi açısından farklılık göstermektedir. Ancak ortak hedef olarak; bireysel araç kullanımını azaltmak, karbon salımını düşürmek ve sürdürülebilir bir kent yaşamı sağlamak amaçlanmaktadır. Bu bölümde; Türkiye'deki çeşitli kentlerde uygulamaya konulan PBS örnekleri incelenerek mevcut durum ve potansiyeller değerlendirilmiştir.

2.3.1. İstanbul Örneği

Coğrafi konumu, bulunduğu bölge ile sahip olduğu tarihsel bağlar, barındırdığı kültürel ve tarihi miras, dinamik demografik yapısı ve güçlü ekonomik potansiyeli ile İstanbul, küresel ölçekte en önemli metropol alanlardan biri konumundadır. Türkiye nüfusunun yaklaşık beşte birine ev sahipliği yapan İstanbul, ülkenin ekonomik, sosyal ve kültürel gelişiminin merkezlerinden biri olarak öne çıkmaktadır (İstanbul Kalkınma Ajansı, 2022). 2024 yılı itibarıyla İstanbul'un nüfusu 15.701.602 kişiye ulaşmıştır (TÜİK, 2025). Aynı yıl içerisinde İstanbul'u ziyaret eden turist sayısı ise 18.582.322 olarak kaydedilmiştir (İstanbul İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2024). Artan nüfus yoğunluğu ve turizm hareketliliği İstanbul'da özellikle ulaşım altyapısı üzerinde önemli bir baskı yaratmaktadır. Kent içi ulaşımda yaşanan yoğunluk; trafik sıkışıklığı, toplu taşımanın kapasite sınırlarına ulaşması ve çevresel etkiler gibi sorunları beraberinde getirmektedir. Bu durum sürdürülebilirlik çözümlerinin gerekliliğini ortaya koymaktadır. İstanbul'da

sürdürülebilir ulaşım hedefleri doğrultusunda geliştirilen çevreci ulaşım altyapılarından biri olan bisiklet yolları kent içi hareketliliği destekleyen önemli bir unsur olarak öne çıkmaktadır. 2024 yılı itibarıyla İstanbul genelinde mevcut bisiklet yolu uzunluğu 532 km'ye ulaşmıştır. Ek olarak projelendirme süreci tamamlanmış olan yeni bisiklet yolu ile proje çalışmaları devam eden güzergâh da bulunmaktadır. İstanbul'da kent içi sürdürülebilir ulaşımı desteklemek amacıyla kurulan İsbike, 2012 yılında faaliyet göstermeye başlamıştır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından yürütülen İsbike, Avrupa yakasında 102 istasyon ve yaklaşık 1.120 bisiklet, Anadolu yakasında ise 38 istasyon ve 380 bisikletlik bir filoya sahiptir (Eren vd., 2018). Bu altyapısal gelişmelerin yanı sıra bisikletli ulaşımın yalnızca fiziksel imkanlarla değil aynı zamanda toplumsal farkındalık ve katılımla da desteklenmesi gerektiği açıktır. Bu doğrultuda, sürdürülebilir ulaşımın teşviği ve bisikletli ulaşım konusunda toplumsal farkındalığın artırılması amacıyla Avrupa Hareketlilik Haftası kapsamında İstanbul'da düzenlenen çeşitli etkinlikler gerçekleştirilmiştir. "Bike to University" etkinliği ile üniversite öğrencileri ve personelin bisikletle ulaşımı teşvik edilmiş, yaklaşık 5 km'lik bir parkurda bisiklet sürüşü organize edilmiştir. "Araçsız Gün etkinliği ile Üsküdar–Salacak sahil hattı araç trafiğine kapatılarak bisiklet temalı festival etkinlikleri düzenlenmiştir. Ek olarak, 2024 yılında bisiklet çalıştayı gerçekleştirilmiştir (İBB, 2024). "Tour de France, L'Étape by Tour de France" uluslararası bisiklet yarışı, kentin bisiklet sporuna ev sahipliği yapma kapasitesini göstermesi açısından önemli bir etkinlik olmuştur. Küçüksu Kasrı'ndan başlayan yarış 109 km, 59 km ve 6 km olmak üzere üç farklı parkurda, bireysel ve aile katılım kategorilerinde gerçekleştirilmiştir.

2.3.2. Kocaeli Örneği

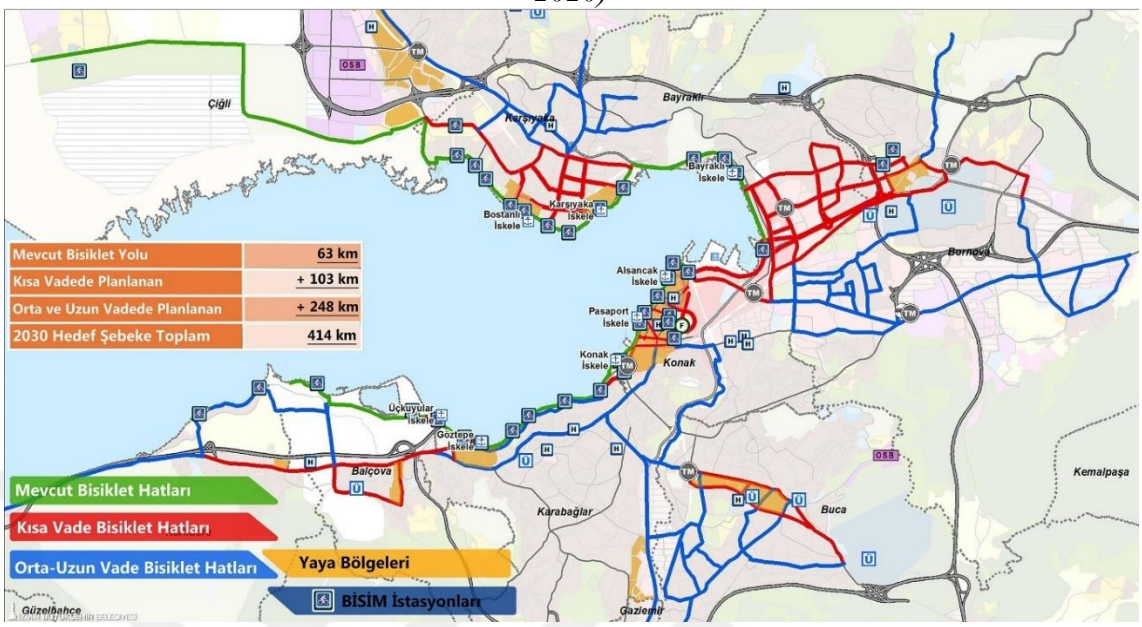
Sanayi ve lojistik potansiyeliyle öne çıkan Kocaeli, sürdürülebilir ulaşım politikaları çerçevesinde bisikletli ulaşımı teşvik eden uygulamalarıyla dikkat çekmektedir. Kocaeli Büyükşehir Belediyesi tarafından son 16 yıl içerisinde toplam 72 km'lik bisiklet yolu inşa edilerek mevcut ulaşım altyapısı güçlendirilmiş ve kent genelinde bisiklet kullanım oranının artırılması hedeflenmiştir (Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, 2022). Bu kapsamda 2014 yılında bisikletli ulaşımı destekleyecek teknolojik altyapının oluşturulması amacıyla Kocaeli Akıllı Bisiklet Sistemi (Kobis) devreye alınmıştır. Sistemin ilk fazında 15 istasyon, 180 adet park ünitesi ve 100 bisiklet hizmete sunulmuştur. Devam eden süreçte kapsamı genişletilen Kobis, 2020 yılı itibarıyla 12 ilçede toplam 74 istasyon, 864

park ünitesi ve 520 bisiklet ile hizmet vermeye başlamıştır. Bu gelişim, Kobis'in kent genelinde entegre bir PBS hâline geldiğini ve ulaşım sistemine eklemlenerek kullanıcı erişilebilirliğini artırdığını göstermektedir (Kobis, 2024). Kocaeli'nin bisikletli ulaşımı teşvik eden bu yaklaşımı, çevresel sürdürülebilirlik, trafik yoğunluğunun azaltılması ve bireysel hareketliliğin desteklenmesi açısından önemli katkılar sunmaktadır.

2.3.3. İzmir Örneği

Türkiye'nin 4.479.525 nüfusu ile en kalabalık üçüncü kenti olan İzmir, sosyal, kültürel ve ekonomik dinamizmini yansıtan politikalarla, bisikletli ulaşımda dönüşümü yerel ölçekte başarıyla gerçekleştirmektedir (TUİK, 2024). Uygulanan politikalar, çevreci ve erişilebilir ulaşımı önceliklendiren kent vizyonunun bir parçası olarak dikkat çekmektedir. İzmir Büyükşehir Belediyesi, sürdürülebilir ulaşım hedefleri doğrultusunda önemli adımlar atarak "Bisiklet ve Yaya Eylem Planı"nı, "2030 İzmir Ana Ulaşım Planı" kapsamında tamamlamıştır. Eylem planı kapsamında, güvenli bisiklet yollarının oluşturulması, bisiklet park alanlarının artırılması ve toplu taşıma ile entegrasyonun sağlanması gibi somut stratejiler belirlenmiştir. Bu yaklaşım, İzmir'in sürdürülebilir ulaşım vizyonunun bir parçası olarak bisikletli ulaşımı teşvik etmekte ve kent genelinde çevresel, ekonomik ve toplumsal faydalar yaratmayı amaçlamaktadır (İzmir Büyükşehir Belediyesi, 2020). Mevcut durumda kent içi 63 km uzunluğunda bisiklet yolu bulunurken, kısa vadede 103 km yeni yolun tamamlanması hedeflenmektedir. Söz konusu mevcut ve planlanan bisiklet yollarının dağılımı, Şekil 2.5'te sunulmaktadır. PBS ise bu altyapı çalışmalarını tamamlayıcı nitelikte Bisim markası altında kent genelinde faaliyet göstermektedir. Kullanıcı dostu mobil uygulamalar ve çevrim içi ödeme seçenekleri sayesinde sistem, yerli ve yabancı ziyaretçiler tarafından da tercih edilmektedir. Ayrıca İzmir, bisiklet kullanımını artırmak amacıyla farkındalık kampanyaları, eğitim programları ve etkinlikler düzenleyerek toplumsal benimsenmeyi güçlendirmektedir (İzmir Büyükşehir Belediyesi, 2020). Planlanan yeni bisiklet yolları ve istasyon sayısındaki artış kentin gelecekte bisikletli ulaşımda Türkiye'deki öncü kentlerinden biri olma potansiyelini güçlendirmektedir.

Şekil 2.5. *İzmir bisiklet yolları ve Bisim istasyonları (İzmir Büyükşehir Belediyesi, 2020)*



İzmir'de bisiklet ulaşımının desteklenmesi sadece yol altyapısı ile sınırlı kalmamakta aynı zamanda park alanları gibi tamamlayıcı unsurları da kapsamaktadır. İzmir genelinde 127 noktada bisiklet park alanı bulunmaktadır ve bu alanların toplam kapasitesi 1.664'tür (İzmir Büyükşehir Belediyesi, 2023). Kentte bisiklet aparatlı otobüsler de hizmet etmektedir. 120 otobüs hattı üzerinde bu sistem entegre biçimde kullanılmaktadır (Eren, 2020). Bu uygulama toplu taşıma ile bisikletli ulaşımı birbirine bağlayarak çok modlu (multimodal) taşımacılığın geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Kentte bisikletli ulaşımın yaygınlaştırılmasında önemli bir yere sahip olan BİSİM, 2014 yılında 14 istasyon ve 311 bisikletle hizmete girmiştir. İstasyonlar ağırlıklı olarak sahil kesimleri boyunca bisiklet yollarına entegre biçimde konumlandırılmıştır. Sistem, kullanıcı talebine paralel olarak genişletilmiş ve 2019 yılı sonunda 39 istasyona ulaşmıştır. 2022 itibarıyla sistem 60 istasyon ve 890 bisikletle faaliyet göstermektedir. "Bisiklet kenti İzmir" hedefi doğrultusunda geliştirilen bu sistem yaklaşık 3 milyon kiralama sayısına ulaşmış, 2021 yılı itibarıyla ise 373 bin kayıtlı üyeye hizmet vermiştir (İzmir Büyükşehir Belediyesi, 2021).

2.3.4. Çanakkale Örneği

Tarihi ve doğal dokusuyla öne çıkan Çanakkale'de, sürdürülebilir ulaşım stratejileri kapsamında bisikletli ulaşıma yönelik önemli adımlar atılmıştır. Çanakkale Belediyesi tarafından kurulan Çanakkale Akıllı Bisiklet Sistemi (Çabis), 2014–2019 yıllarını

kapsayan Stratejik Plan doğrultusunda geliştirilerek ilk olarak 2016 yılında faaliyete geçirilmiştir. Çabis, başlangıçta 5 istasyon, 42 park yeri ve 35 bisikletle hizmet vermeye başlamıştır. Yoğun kullanıcı ilgisi ve artan talep doğrultusunda, 2017 yılında yapılan yatırımlarla sisteme 6 istasyon, 42 park yeri ve 37 bisiklet daha eklenmiştir. Böylece 2016–2017 yılları arasında toplamda 11 istasyon, 84 park yeri ve 72 bisikletten oluşan entegre bir sistem oluşturulmuştur. Sistem zaman içinde yapılan yeni yatırımlar sayesinde genişlemeye devam etmiş ve günümüzde 17 istasyon, 114 park yeri ve 92 bisikletle hizmet verir duruma gelmiştir. Bu gelişme, Çanakkale'nin bisikletli ulaşımı teşvik eden sürdürülebilir kent vizyonunu kararlı bir şekilde sürdürdüğünü ortaya koymaktadır (Çanakkale Belediyesi, 2025).

2.3.5. Kayseri Örneği

Kayseri, Türkiye'nin nüfus bakımından en kalabalık 15. ilidir. 2024 yılı itibarıyla Kayseri'nin toplam nüfusu 1.452.458'dir (TÜİK, 2024). Bu doğrultuda kent nüfusunun ulaşım gereksinimlerini karşılamak ve toplu taşıma altyapısını etkin şekilde yönetmek amacıyla çeşitli ulaşım modları geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Kayseri Büyükşehir Belediyesi bünyesinde faaliyet gösteren Kayseri Ulaşım A.Ş. 2023 yılı itibarıyla kent içi ulaşım hizmetlerini raylı sistem, otobüs işletmesi ve PBS aracılığıyla bütüncül ve entegre bir şekilde yürütmektedir.

Raylı sistemler 2023 yılında toplam 50,6 milyon yolcu tarafından tercih edilmiştir. Sistem 75 istasyon, 80 araç, 160.931 sefer ve 6,6 milyon km kat edilen mesafeyle hizmet sunmuştur. Otobüs işletmesi ise aynı yıl içerisinde 96,9 milyon yolcuya hizmet sunmuştur. Bu kapsamda 3.237.488 sefer düzenlenmiş, 943 araç ile 62,1 milyon km yol kat edilmiştir. Sistemde toplam 6.448 durak noktası yer almakta ve bu yönüyle otobüs işletmesi, Kayseri'nin en yaygın erişim ağına sahip ulaşım modunu temsil etmektedir. Genişleyen durak altyapısı ve filonun sürekli yenilenmesi, bu modun kentsel ulaşımda hâlen kritik bir rol oynadığını göstermektedir.

Kayseri'de KayBis, Türkiye'de kamu kaynaklı olarak hayata geçirilen ilk akıllı PBS olma özelliğini taşımaktadır. 2009 yılında kent içi ulaşım ağına entegre edilmek ve topluma bisiklet kullanımı alışkanlığı kazandırmak amacıyla kurulan sistem, Türkiye'de bu alandaki öncü uygulamalardan biri olarak dikkat çekmektedir. Sisteme ait bir istasyon görseli Şekil 2.6'da sunulmuştur.

Şekil 2.6. *KayBis sistemi (Kayseri Büyükşehir Belediyesi, 2023)*



Kayseri Ulaşım A.Ş. tarafından yürütülen bu girişim, Kayseri Ulaşım Ana Planı çerçevesinde toplu taşımayı destekleyecek biçimde tasarlanmış ve kent içindeki yolcu çekim merkezlerine erişimi kolaylaştırmak üzere konumlandırılmıştır. İlk etapta ithal sistemlerle başlatılan uygulama, yapılan Ar-Ge çalışmaları sayesinde 2015 yılında tamamen yerli üretimle geliştirilen "Akıllı Bisiklet Kiralama Sistemi"ne dönüştürülmüştür (Kayseri Ulaşım A.Ş.). KayBis, 2023 yılında 90 km bisiklet yolu ağı, 1.000 bisiklet, 81 istasyon, 1.173.097 kullanım ve 8.333.000 km kat edilen mesafe ile hizmet vermeye devam etmiştir. Sistemde 110.342 bireysel kullanıcı kayıt altına alınmıştır. KayBis'in kullanıcı dostu yapısı, çevreci ulaşım anlayışı ve dijital altyapıya entegre hizmet modeli, özellikle kısa mesafeli ulaşım ihtiyacına yanıt vermektedir. Sistem kent merkezindeki yoğun alanlarda ve toplu taşıma ile entegrasyon sağlanan bölgelerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Kayseri Ulaşım A.Ş., 2023). Tablo 2.3'te Kayseri'de ulaşım hizmetlerindeki yıllara göre yolculuk sayıları sunulmuştur.

Tablo 2.3. *Kayseri ulaşım hizmetleri yolculuk sayıları (Kayseri Ulaşım A.Ş. 2023 Faaliyet Raporu)*

Yıl	Otobüs	Raylı Sistem	KayBis
2021	57.121.734	27.318.192	383.670
2022	94.362.098	45.285.292	520.242
2023	96.938.788	50.634.002	1.173.097

Tablo 2.3'te yer alan Kayseri kent içi ulaşımında kullanılan farklı ulaşım türlerine ilişkin yıllık yolculuk sayıları incelendiğinde otobüs kullanım sayısı 2021 yılında 57,1 milyon iken, 2022 yılında yaklaşık %65 oranında artarak 94,3 milyona ulaşmıştır. Bu artış eğilimi 2023 yılında da devam etmiştir ve yolculuk sayısı 96,9 milyona yükselmiştir. Bu durum otobüs sisteminin kent genelinde hâlen en yoğun kullanılan toplu taşıma modu olduğunu göstermektedir. Raylı sistem kullanımında da benzer şekilde artış gözlemlenmiştir. 2021 yılında 27,3 milyon olan yolculuk sayısı, 2022'de %65 artışla yaklaşık 45,3 milyona, 2023'te ise yaklaşık %11,8 oranında artarak 50,6 milyona çıkmıştır. Raylı sistemin istikrarlı bir şekilde kullanıcı kazandığı, özellikle pandemi sonrası dönemde toplu taşıma talebinin yeniden arttığı görülmektedir. KayBis kullanım sayılarındaki artış sürdürülebilir ulaşım politikalarının etkisini ortaya koymaktadır. 2021 yılında yalnızca 383.670 olan kullanım sayısı, 2022 yılında %35'lik bir artışla 520.242'ye çıkmış, 2023 yılında ise yaklaşık %125 artışla 1.173.097'ye ulaşmıştır. Bu artış kullanıcı farkındalığının ve altyapı yatırımlarının olumlu etkilerine işaret etmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde Kayseri'de toplu taşıma ve mikro-hareketlilik sistemlerinin etkinliği, kullanım istatistikleriyle doğrulanmakta ve raylı sistemin yüksek yolcu kapasitesi, otobüs ağının yaygın erişimi ve çevreci niteliği sayesinde kent içi ulaşımda çok modlu bir yapı başarıyla işletilmektedir. Yerel düzeydeki başarı, sistemin operasyonel etkinliğini ortaya koyarken aynı zamanda farklı kentlerde uygulanabilirliğine yönelik önemli bir örnek teşkil etmektedir. KayBis Türkiye'nin farklı kentlerine anahtar teslim akıllı bisiklet sistemleri kurarak yerel yönetimlerin sürdürülebilir ulaşım politikalarına katkı sunmaktadır. Bu kapsamda 8 kentte kurulum gerçekleştirilmiş ve sistem yaygınlaştırılmıştır. Uluslararası düzeyde bu girişim, Uluslararası Toplu Taşımacılar Birliği tarafından "Sürdürülebilir Gelişme Ödülü"ne layık görülmüştür (Kayseri Büyükşehir Belediyesi, 2024). Tablo 2.4'te KayBis sisteminin kullanıcılarının yıllar itibarıyla yaş gruplarına göre dağılımı sunulmuştur.

Tablo 2.4. *Yıllara ve yaş aralıklarına göre KayBis kullanımları (Kayseri Ulaşım A.Ş.)*

Yaş Aralığı	2015	2016	2017	2018	2019	2021
16–18 arası	%0,14	%0,14	%0,19	%0,33	%0,57	%0,31
18–25 arası	%13,19	%40,43	%49,16	%57,43	%59,09	%31,5
25–30 arası	%46,71	%33,79	%27,62	%21,44	%19,95	%22,05
30–35 arası	%14,65	%9,33	%8,18	%7,16	%6,98	%7,35
35–40 arası	%8,42	%5,64	%5,39	%4,9	%4,86	%4,06
40 üzeri	%16,98	%10,67	%9,46	%8,73	%8,55	%7,77

Tablo 2.4'te yer alan veriler 2015–2021 yılları arasında KayBis'in kullanıcı yaş profiline ilişkin dağılımlarını ortaya koymaktadır. 18–25 yaş aralığı tüm yıllar boyunca yüksek kullanıcı oranına sahip grup olarak öne çıkmaktadır. Özellikle 2016 yılında bu oran %40'lara ulaşırken 2018 ve 2019 yıllarında ise %57,43 ve %59,09 gibi oldukça yüksek seviyelere erişmiştir. Bu durum öğrencilerin veya genç çalışan nüfusun sisteme olan yoğun ilgisini göstermektedir. 25–30 yaş aralığı, 2015 yılında %46,71 ile en baskın grubu oluştururken izleyen yıllarda bu oranın kademeli şekilde azaldığı gözlenmiştir. Bu düşüş söz konusu yaş grubunun kullanım alışkanlıklarının değişmesiyle açıklanabilir. 16–18 yaş grubu kullanım oranı tüm yıllarda oldukça düşüktür ve %1'in altında kalmıştır. 30 yaş ve üzeri gruplarda kullanım oranları görece düşük seviyelerde seyretmiştir. Özellikle 40 yaş ve üzeri kullanıcıların oranı 2015 yılında %16,98 iken 2021 yılında bu oran %7,77'ye kadar gerilemiştir. Bu durum, sistemin daha çok genç kullanıcı kitlesine hitap ettiğini göstermektedir. 2021 yılına gelindiğinde, 18–25 yaş aralığındaki kullanıcı oranında ciddi bir düşüş dikkat çekmektedir. Bu azalma pandemi sonrası değişen kullanıcı alışkanlıkları, uzaktan eğitim veya çalışma koşulları, hizmet kapsamındaki değişiklikler ya da demografik yapıdaki dönüşümlerle ilişkilendirilebilir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde; tez konusuna ilişkin literatür araştırmasına yer verilmektedir. İlgili literatür kent içi ulaşım sistemleri, Paylaşımlı Bisiklet Sistemi (PBS), IDOCRIW ve CoCoSo olmak üzere üç ana başlık altında incelenmiştir.

3.1. Kent İçi Ulaşım Sistemlerine Yönelik Literatür Araştırması

Kent içi ulaşım sistemleri; sürdürülebilirlik, erişilebilirlik, çevresel etkiler ve kullanıcı memnuniyeti gibi çok boyutlu hedeflerin eş zamanlı olarak gözetilmesini zorunlu kılan karmaşık yapılar hâline gelmiştir. Artan nüfus, motorlu taşıtlara olan bağımlılık ve çevresel kaygılar yerel yönetimleri kent içi ulaşım altyapılarını daha verimli, entegre ve kullanıcı odaklı bir biçimde planlamaya yönlendirmektedir. Bu doğrultuda ulaşım planlamasında hem teknik hem de sosyal ölçütlerin bütüncül olarak değerlendirilmesini sağlayan Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri son yıllarda öne çıkan analitik araçlardan biri hâline gelmiştir. Literatürde toplu taşımanın değerlendirilmesinden PBS istasyonu yer seçilmesine kadar geniş bir yelpazede farklı ÇKKV yöntemlerinin uygulanmakta olduğu görülmektedir. Bu bölümde; kent içi ulaşım sistemlerinin değerlendirilmesinde ÇKKV yöntemlerinin kullanıldığı akademik çalışmalar incelenmiştir.

Farkas (2009), Cercado kentinde metro güzergâhlarının belirlenmesine yönelik olarak Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) destekli bir ÇKKV modeli geliştirmiştir. Çalışmada mühendislik ve jeolojik özellikler, ekolojik uygunluk, bağlantı endeksi, nüfus yoğunluğu ve tahmini inşaat maliyetleri kriter olarak tanımlanmış ve bu kriterler doğrultusunda güzergâh yerleri değerlendirilmiştir.

Babakan vd. (2013), Tahran kentinde ulaşım koridoru için en uygun toplu taşıma modunun seçilmesine yönelik olarak Analitik Ağ Süreci (Analytic Network Process-

ANP), TOPSIS ve CBS temelli bütünleşik bir ÇKKV modeli geliştirmiştir. Maliyet, zaman, güvenlik, esneklik, güvenilirlik, çevresel etki ve taşıma kapasitesi gibi kriterler dikkate alınarak alternatif olarak otobüs, taksi, metrobüs ve metro seçenekleri değerlendirilmiştir. Çalışma bulgularına göre metrobüs sistemi en yüksek puanı almış ve onu sırasıyla metro, otobüs ve taksi takip etmiştir.

Liu vd. (2013), metro sistemleri ile havalimanları arasındaki bağlantı hizmetlerini değerlendirmek amacıyla The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL), DEMATEL tabanlı ANP ve VIKOR yöntemlerini bir araya getiren bir model geliştirmiştir. Analizde özellikle fiziksel altyapı, hizmet deneyimi ve yeniden tercih etme eğilimi kriterlerinin diğer kriterler üzerinde yüksek düzeyde etkili olduğu ortaya konmuştur. Bulgulara göre hizmet kalitesini artırmada öncelikli adım fiziksel altyapının işlevselliğini iyileştirmektir.

Curiel-Esparza vd. (2016), Avrupa kentlerinin karşı karşıya kaldığı ekonomik, sosyal ve çevresel sorunları dikkate alarak sürdürülebilir kentsel hareketlilik politikalarının iyileştirilmesine yönelik destek sistemi geliştirmiştir. Çalışmada Delphi tekniği, Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process-AHP) ve VIKOR yöntemlerinin entegre edildiği hibrit bir ÇKKV modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen karar destek çerçevesi sürdürülebilirlik temelli iyileştirme senaryoları arasında en uygun olanı belirlemeyi hedeflemiştir. Analiz sonuçlarına göre, bisiklet ağı iyileştirmesi, başlangıç maliyetleri dışındaki birçok alt kriterde en yüksek performansı göstererek ilk sırada yer almıştır. Onu sırasıyla yeraltı ulaşımının geliştirilmesi, kent merkezinin yayalaştırılması, toplu taşımanın sübvanse edilmesi, otobüs ağının iyileştirilmesi ve ücretsiz otopark politikası takip etmiştir.

Nassereddine ve Eskandari (2017), Tahran'daki toplu taşıma kullanıcılarının memnuniyet düzeyini ölçmeye yönelik Delphi, Grup AHP ve PROMETHEE yöntemlerini bir araya getiren bütünleşik bir ÇKKV modeli geliştirilmiştir. Çalışmada kullanıcı görüşlerine dayanan memnuniyet anketleriyle elde edilen veriler değerlendirilmiş ve toplu taşıma hizmet kalitesinin iyileştirilmesine yönelik öneriler sunulmuştur. Duyarlılık analizi ile kriter ağırlıklarının karar sürecine etkisi değerlendirilmiş ve ulaşım türleri arasındaki öncelik sıralamasında metro sistemi en öncelikli ulaşım modu olarak belirlenmiştir. Metro sistemini sırasıyla taksi, metrobüs, otobüs ve minibüs seçenekleri takip etmiştir.

Kiciński ve Solecka (2018), Polonya'nın Krakow kentinde gerçekleştirilen gerçek bir vaka üzerinden ulaşım senaryolarını analiz etmişlerdir. Çalışmada altı yeni toplu taşıma senaryosu mevcut durum ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Karar verme sürecinde AHP ve ELECTRE III yöntemleri kullanılmıştır. Analizde otobüs, tramvay ve raylı sistem entegrasyonlarına yönelik çözümler çeşitli kombinasyonlarla ele alınmıştır.

Feizi vd. (2020), kentlerin ulaşım performansını ve sürdürülebilir büyümesini değerlendirmek amacıyla TOPSIS tabanlı ÇKKV modeli geliştirilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki (ABD) 46 kent üzerinde gerçekleştirilen analizde, ulaşım sistemlerinin çok boyutlu etkilerini değerlendirebilmek amacıyla ağ performansı, trafik güvenliği, çevresel etki ve fiziksel aktivite gibi kriterler dikkate alınmıştır. Analiz sonucunda, en yüksek sürdürülebilir ulaşım performansına sahip kentler sırasıyla Baltimore, Virginia Beach ve Minneapolis olarak belirlenmiştir.

Hamurcu ve Eren (2020), Kırıkkale kentinde sürdürülebilir ulaşım çözümlerine yönelik toplu taşıma projelerinin önceliklendirilmesi amacıyla AHP ve TOPSIS yöntemlerinin birlikte kullanıldığı ÇKKV modeli geliştirilmiştir. Analizde, elektrikli belediye otobüsü, hafif raylı sistem ve mevcut araçların modernizasyonu ve ağ optimizasyonu olmak üzere üç proje alternatifi değerlendirilmiştir. Analiz sürecinde sürdürülebilirlik boyutuna ait alt kriterler dikkate alınmıştır. Analiz sonuçları, elektrikli belediye otobüsünün sürdürülebilirlik açısından en uygun proje alternatifi olduğunu ortaya koymuştur.

Samaie vd. (2020), Tahran kentindeki araç kaynaklı çevresel sorunların çözümüne yönelik hibrit araçların yaygınlaştırılmasına ilişkin sürdürülebilir kalkınma temelli çevre politikalarını değerlendirmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında 2002–2018 yılları arasındaki araç gelişimi çevresel, ekonomik, sosyal ve teknik boyutlar çerçevesinde analiz edilmiştir. İkinci aşamada politika endeksleri tanımlanmış ve söz konusu endeksler hem devlet hem de araç alıcıları perspektifinden bulanık TOPSIS yöntemi ile sıralanmıştır. Son aşamada ise oyun teorisi yöntemi kullanılarak bu iki paydaş arasındaki etkileşim değerlendirilmiştir.

Sobhani vd. (2020), gelişmekte olan ülkelerde sıkça kullanılan küçük ölçekli ulaşım modlarının sürdürülebilirlik ve rekabet gücünü değerlendirmek amacıyla AHP-TOPSIS tabanlı bütünleşik bir ÇKKV modeli geliştirmiştir. Çalışma Dakka kentinde Rickshaw, Easy Bike ve Leguna olarak adlandırılan üç yaygın küçük ölçekli ulaşım modlarının üzerinde gerçekleştirilmiştir. İlk olarak politik, ekonomik, sosyal, teknolojik, yasal ve

çevresel boyutları içeren küçük ölçekli ulaşım modlarını etkileyen sürdürülebilirlik faktörleri belirlenmiştir. Ardından söz konusu faktörlerin önem derecelerinin hesaplanmasında AHP, ulaşım araçlarının performans sıralamasında ise TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Analiz sonuçları, Rickshaw'ın en rekabetçi ve sürdürülebilir küçük ölçekli ulaşım modu olduğunu göstermektedir.

Alkharabsheh vd. (2021), toplu taşıma sistemlerinin arz kalitesini daha etkili değerlendirebilmek amacıyla gri-AHP yöntemini kullanmışlardır. Önerilen yöntem Ürdün'ün başkenti Amman'daki toplu taşıma sistemine ilişkin bir uygulama ile test edilmiş ve sistemin arz kalitesine dair çeşitli kriterler sıralanarak iyileştirme alanları belirlenmiştir. Sonuçlar seyahat güvenliği kriterinin ikinci düzeyde, hat sıklığı kriterinin ise üçüncü düzeyde geliştirilmesi gereken unsurlar olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle hat sıklığının artırılması kent içi otobüs sisteminin güvenilirliğini artırmakta ve bu doğrultuda sefer planlarının yeniden düzenlenmesi gerekliliğine işaret etmektedir. Çalışmanın bulguları ulaşım sorunlarının çözümünde, karar vericilerin ulaşım kalitesine odaklanarak harekete geçmeleri gerektiğini vurgulamaktadır.

Görçün (2021), kentsel raylı taşıtların seçimine yönelik Criteria Importance Through Intercritera Correlation (CRITIC) ile Evaluation based on Distance from Average Solution (EDAS) yöntemlerinden oluşan bütünleşik bir ÇKKV modeli geliştirmiştir. Türkiye'nin farklı kentlerinde görev yapan toplu taşıma yöneticilerinden oluşan uzman bir kurul aracılığıyla karar sürecini doğrudan etkileyen kriterler belirlenmiş ve mevcut raylı taşıt tipleri bu kriterler doğrultusunda değerlendirilmiştir. Analiz sonucu, çevresel faktörlerin diğer kriterlere kıyasla daha yüksek bir öneme sahip olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle kent içi raylı sistem araçlarının neden olduğu CO_2 emisyonlarının karar sürecinde belirleyici bir unsur olarak öne çıktığı görülmektedir.

Sinniah vd. (2021), Malezya'nın Johor Bahru kentinde otobüs sistemine dayalı toplu taşıma altyapısının rekabet gücünü değerlendirmek amacıyla bütünleşik bir model geliştirmiştir. Çalışmada toplu taşıma sistemine ilişkin mevcut durumu değerlendirebilmek için bir öz değerlendirme çerçevesi geliştirilmiştir. İlk aşamada değişkenler arasındaki yapısal ilişkileri ortaya koymak amacıyla Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis-PCA) uygulanmış ve göstergeler üç kategori altında gruplandırılmıştır. Sonrasında otobüs sisteminin genel performansı, TOPSIS ve bulanık mantık temelli algoritmalarla değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda, rekabet gücü

sınıflamasının önceki çalışmaya kıyasla Bronz seviyesinden Gümüş seviyesine yükseldiği görülmüştür. Araştırma toplu taşıma sistemlerinin performansını yalnızca planlama öncesi değil, uygulama sonrası da değerlendirme ve anında revize etmenin karar vericiler açısından anlamlı ve gerekli olduğunu vurgulamaktadır.

Goyal vd. (2022), Hindistan'daki otobüs duraklarının performansını değerlendirmek ve sıralamak amacıyla belirsizlik temelli bütünleşik bir ÇKKV modeli geliştirmiştir. Çalışmada öncelikle önemli kriterlerin belirlenmesi için bulanık Delphi yöntemi kullanılmıştır. Ardından kriter ağırlıklarının hesaplanmasında bulanık AHP yöntemi uygulanmıştır. Otobüs duraklarının performansı ise TOPSIS, VIKOR ve ELECTRE teknikleri kullanılarak belirlenmiştir.

Wang vd. (2022), karayolu taşımacılığının sürdürülebilirliğini değerlendirmek ve karşılaştırmalı analiz yapmak amacıyla entropi tabanlı CoCoSo yönteminden oluşan bütünleşik bir ÇKKV modeli geliştirmiştir. Kriter ağırlıkları Entropi yöntemi ile ülkelerin sürdürülebilirlik performans sıralamaları ise CoCoSo yöntemi belirlenmiştir. Analiz sonucunda Japonya, Almanya ve Fransa sürdürülebilirlik açısından en yüksek performansı gösteren ülkeler olarak öne çıkarken, İzlanda, ABD ve Letonya en düşük performanslı ülkeler olarak belirlenmiştir

Ghoushchi vd. (2023), Tahran'da sürdürülebilir ulaşım araçlarını değerlendirmek için küresel bulanık küme çerçevesinde geliştirilmiş Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) ve Measurement of Alternatives and Rankingaccording to COmpromise Solution (MARCOS) yöntemlerine dayalı bütünleşik bir ÇKKV modeli geliştirmiştir. Kriter ağırlıkları küresel bulanık küme SWARA yöntemi kullanılarak ve alternatiflerin performans sıralaması küresel bulanık küme MARCOS yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Analiz sonucu çevresel kriterlerin sürdürülebilir ulaşım sistemi seçiminde en yüksek ağırlığa sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca sera gazı emisyonlarını azaltma potansiyeli nedeniyle otonom araçlar sürdürülebilirlik açısından en uygun ulaşım alternatifi olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak, kent içi ulaşım sistemlerine yönelik karar verme süreçlerinde farklı ÇKKV yöntemlerinin literatürde daha yaygın ve etkin bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. Literatürde sunulan çalışmalar toplu taşıma modlarının seçiminden PBS istasyonu yer seçimine, sürdürülebilir ulaşım politikalarının geliştirilmesinden sistem performansının değerlendirilmesine kadar geniş bir yelpazede ÇKKV yöntemlerinin uygulanabilirliğini

ve karar vericilere sağladığı analitik katkıları ortaya koymaktadır. Özellikle hibrit yapılar kullanılması karar süreçlerinin çok boyutlu yapısını anlamada ve daha dengeli sonuçlara ulaşmada önemli rol oynamaktadır. Genel olarak kent içi ulaşım sistemlerinin sürdürülebilirlik, erişilebilirlik ve kullanıcı odaklılık kriterleri doğrultusunda geliştirilmesinde ÇKKV yöntemleri, akademik ve uygulamalı düzeyde güçlü bir karar destek aracı olarak öne çıkmaktadır.

3.2. Paylaşımlı Bisiklet Sistemine Yönelik Literatür Araştırması

PBS, elli yılı aşkın bir süredir varlığını sürdürmektedir. Son on beş yıl içerisinde hem literatürde hem de uygulamalarda daha belirgin bir şekilde öne çıkmaktadır. Çevresel sürdürülebilirlik ve sağlıklı ulaşım altyapısına katkılarıyla tanınan PBS günümüzde 92 ülkede toplam 1590 kentte aktif olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerin büyük bir bölümü Çin, Kuzey Amerika ve Avrupa'da yoğunlaşmıştır (Meddin vd., 2020). Son yıllarda PBS'nin etkinliğini artırmaya yönelik çeşitli bilimsel yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu bölümde; PBS üzerine farklı yöntemlerle yapılan akademik çalışmalar, incelenmiştir.

Croci ve Rossi (2014), İtalya'nın Milano kentinde faaliyet gösteren BikeMi sistemine yönelik bir ekonometrik analiz gerçekleştirmiştir. Analiz, sistemin kullanım verileri ve çekici noktaların yerlerine ilişkin CBS verilerine dayanmaktadır. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, PBS'nin yakın çevresinde metro ve tren istasyonları, üniversiteler, müzeler, sinemalar ile trafik kısıtlaması uygulanan alanların bulunmasının kullanım sıklığını anlamlı biçimde artırdığını ortaya koymuştur.

O'Brien vd. (2014), Avrupa, Orta Doğu, Asya, Avustralya ve ABD'de yer alan 38 farklı sistemden elde edilen verileri incelemiştir. Çalışmada seçilen sistemlerdeki kullanım özelliklerini değerlendirmek ve karşılaştırmalı bir temel oluşturmak için birkaç yıllık süreçte her bir PBS istasyonu yeri ile bisiklet doluluk oranlarını içeren bir veri tabanı oluşturulmuştur. Analiz kapsamında doluluk oranlarının zaman içerisindeki değişimleri incelenmiştir. Ek olarak coğrafi ayak izi, günlük ve haftalık kullanım düzeyleri ile doluluk oranlarındaki mekânsal farklılıklar temel alınarak PBS için bir sınıflandırma yöntemi önerilmiştir.

Caulfield vd. (2017), İrlanda'nın Cork kentindeki PBS kullanım eğilimlerini analiz etmiştir. Çalışmada, sistemin performansına ilişkin verilerin değerlendirilmesinde lojistik regresyon modeli kullanılmıştır. Elde edilen bulgular ortalama yolculuk sürelerinin kısa

olduğunu ve düzenli kullanıcıların alışılmış seyahat kalıplarını benimsediğini ortaya koymaktadır. Analiz sonuçları, hava koşullarının sistem kullanımı üzerinde etkili olduğunu daha iyi hava koşullarında daha uzun yolculukların tercih edildiğini göstermiştir.

Ciancio vd. (2017), PBS için deterministik ve stokastik talep koşullarını dikkate alan model önerisinde bulunmuştur. Önerilen model, bütçe kısıtı altında daha düşük maliyetli bir ilk yatırım düzeyini gözeterek PBS istasyonu yeri ve her istasyonda başlangıçta bulunması gereken bisiklet sayısını belirlemektedir. Çalışma kapsamında hem deterministik hem de stokastik versiyonlar karma tamsayılı doğrusal programlama modeli şeklinde formüle edilmiştir.

İlhan ve Fietkiewicz (2017), İspanya'nın Barselona kentinde faaliyet gösteren Bicing sistemini değerlendirmiştir. Araştırma etnografik saha çalışması, nitel görüşmeler ve Barselona'da yaşayan ya da iş, eğitim veya diğer amaçlarla geçici olarak bulunan bireylerle gerçekleştirilen nicel bir çevrim içi anket verilerine dayanmaktadır. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular hizmetin güçlü ve zayıf yönlerini ortaya koymakta ve kullanıcı deneyimlerine dayalı olarak sistemin değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır.

Hu vd. (2019), ABD'nin Boulder kentindeki BCycle sisteminin değerlendirilmesi ve optimizasyonuna odaklanmıştır. Çalışmada bisiklet kullanıcılarının geçmiş seyahat kayıtları ile doluluk-boşluk durumuna ilişkin veriler kullanılmıştır. Elde edilen bulgular kullanıcı grupları arasında önemli ölçüde farklı seyahat kalıplarının bulunduğunu ve istasyonlar arasında arz-talep dengesizliği gibi yapısal sorunların varlığını ortaya koymuştur. Sonuçlar, yıllık kullanıcıların genellikle kent içi erişim sağlayan yerel profesyonellerden oluştuğunu ve 24 saatlik kullanıcıların ise daha çok turistik bölgelere odaklanan ziyaretçiler olduğunu göstermiştir.

Jahanshahi vd. (2019), İran'ın Meşhed kentinde uygulanmakta olan PBS performansını değerlendirmek ve gelecekteki istasyonu yerini seçmek amacıyla analiz gerçekleştirmiştir. Kriter ağırlıkları, bulanık üyelik haritaları, CBS ve AHP entegrasyonu ile belirlenmiştir. İstasyonların performans sıralaması VIKOR yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

Yuan vd. (2019), istasyon sayısı ve kapasitesi gibi alt kriterler içeren bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önermiştir. Çalışmada, stokastik talep koşullarına yanıt verebilmek amacıyla senaryo tabanlı bir yöntem uygulanmıştır. Model, Çin'in Pekin

kentinde gerçekleştirilen bir vaka analizi ile test edilmiştir. Önerilen modelin çıktıları ile gerçek hayatta uygulanan PBS sonuçları karşılaştırılmıştır.

Salih-Elamin ve Al-Deek (2020), PBS'nin etkinliğini artırmaya yönelik istasyon talep düzeyini ve kapsanan coğrafi alanı maksimize ederken aynı zamanda bisikletlerin yeniden dağıtım gereksinimlerini minimize etmeyi amaçlayan çok amaçlı bir optimizasyon modeli geliştirmiştir. Model özellikle merkezilik ölçütleri ile istasyon göreli önemi gibi çoklu kriterlere odaklanarak karar verme sürecini desteklemektedir.

Shui ve Szeto (2020), PBS planlama sürecine yönelik olarak geliştirdikleri yeni sekiz adımlı bir çerçeveye dayanarak PBS planlama problemlerini stratejik, taktik ve operasyonel olmak üzere üç karar düzeyi kapsamında incelemiş ve bu problemleri sistematik biçimde sınıflandırmıştır. Çalışmada mevcut literatürdeki araştırma boşlukları ayrıntılı bir şekilde tartışılmıştır. Gelecekteki araştırmalar için ise çeşitlilik, gerçekçilik, bütünsellik ve teknolojik gelişmeler olmak üzere dört ana başlık altında yönelimler önerilmiştir. İncelemede ilk olarak, e-bisikletler, bisiklet süper otoyolları ve istasyonsuz bisikletler gibi yeni teknolojilerin ve altyapı türlerinin mevcut çalışmalarda yeterince ele alınmadığı belirlenmiştir. Bu kapsamda farklı bisiklet ve altyapı türlerinin entegre edildiği sistemlerin planlanmasına yönelik potansiyel araştırma alanları vurgulanmıştır. İkinci olarak PBS'nin çok modlu ulaşım ağlarına entegrasyonu ele alınmış ve bisikletin diğer ulaşım modlarıyla birlikte nasıl işlediği ya da onları nasıl ikame edebileceği tartışılmıştır. Üçüncü olarak çok seviyeli PBS planlama problemlerinin potansiyelini ortaya koyan bir liste sunulmuş ve bu problemlerin entegre planlama çerçevesinde daha kapsamlı biçimde ele alınması gerektiği vurgulanmıştır. Son olarak literatürde yeni PBS planlama problemi türlerine ve daha gerçekçi modellemelere ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. PBS'nin sürdürülebilir ulaşım sistemleri içindeki önemi göz önünde bulundurulduğunda bu konudaki akademik çalışmaların artarak devam etmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Angelelli (2021), PBS için bir simülasyon modeli geliştirmiştir. Çalışmanın amacı, PBS planlama ve operasyon süreçlerini ayrıntılı analiz edebilecek bir yapı sunmaktır. Kiralama ve iade talepleri, stokastik süreçler aracılığıyla modellenmiş ve sistemin dinamik doğası simülasyon ortamında yansıtılmıştır. Geliştirilen model, İtalya'nın Brescia kentinde faaliyet gösteren Brescia Mobilità kurumu ile iş birliği içerisinde Bicimia üzerinden uygulanmıştır.

Caggiani vd. (2021), PBS istasyon performans değerlendirmesine odaklanan bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada veri zarflama analizi temelli bir metodoloji geliştirilmiştir. Önerilen yöntem İsveç'in Malmö kentinde faaliyet gösteren Malmöbybike PBS üzerinde uygulanarak test edilmiştir. Modelin uygulanmasında PBS kullanım eğilimlerine ilişkin mekânsal analizler ve istasyon verileri dikkate alınmıştır.

Neumann-Saavedra vd. (2021), bisikletlerin yeniden dağıtım sürecinde stokastik programlama yönteminin sağladığı katkıları ve mevcut sınırlılıklarını ortaya koymuştur. Çalışmada, geliştirilen planların uygulama sonrasında ne ölçüde etkili olduğunu değerlendirmek hedeflenmiştir. San Francisco, Boston ve Minneapolis'teki PBS verileri kullanılarak talep dalgalanmalarının analizi gerçekleştirilmiş ve sistemin operasyonel verimliliği değerlendirilmiştir.

Nikiforiadis vd. (2021), PBS istasyonu yer seçilmesine yönelik operatör perspektifini de dikkate alan metodolojik bir yöntem geliştirmiştir. Yöntem istasyon yerleşimini planlamada, talep düzeyini ve alan kapsamını maksimize ederken aynı zamanda gün içerisinde bisikletlerin yeniden dağıtım ihtiyacını minimize etmeyi hedeflemektedir. Geliştirilen model, Yunanistan'ın Selanik kentinde test edilmiştir. Analiz sonuçları seçilen istasyonu yerleri modelde tanımlanan üç temel hedefe atanan ağırlıklara bağlı olarak farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur.

Zhong vd. (2021), PBS ile metro arasındaki transfer etkinliğini artırmaya yönelik bir analiz gerçekleştirmiştir. Araştırma kapsamında, üç farklı kombine seyahat modu ele alınmış ve her bir mod için zaman ve ekonomik maliyetleri içeren transfer maliyet fonksiyonları analiz edilmiştir. Çalışmada tesis sayısı ve başlangıçtaki bisiklet sayıları önceden tahmin edilerek ilk tahsis planına dayalı olarak sistemin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda sürüş hacmini artırmak, transfer maliyetlerini ve işletme maliyetlerini azaltmak amacıyla iki seviyeli programlama modeli oluşturulmuştur. Modelin çözümünde sezgisel algoritma kullanılmıştır.

Beigi vd. (2022), Washington'da faaliyet gösteren Capital Bikeshare kapsamında bir optimizasyon modeli geliştirmiştir. Çalışmanın amacı PBS için karar süreçlerini analiz etmek üzere sistematik bir model sunmak ve bu doğrultuda istasyonların günlük yeniden tahsisini ve bisiklet tedarik sisteminin yeniden dengelenmesini sağlamaktır. Önerilen model, deterministik tamsayı programlama biçiminde formüle edilmiş ve sistemin operasyonel verimliliğini artırmaya yönelik bir çözüm aracı olarak sunulmuştur.

Cheng vd. (2022), Çin'in Nanjing kentinde bir aylık süreyle elde edilen PBS seyahat verisi kullanılarak zamansal otokorelasyon ve mekânsal otokorelasyon etkilerini modelleyebilmek amacıyla genelleştirilmiş karma model önerilmiştir. Sonuçlar, yapılı çevre değişkenlerinin bisiklet-metro entegre kullanımı üzerinde belirgin doğrusal olmayan etkiler yarattığını göstermiştir.

Cueva vd. (2022), PBS istasyonu yer ve sayısını belirlemeye yönelik bir yazılım aracı geliştirmiştir. Modelin pratik uygulanabilirliği Cuenca kentinde gerçekleştirilen vaka çalışması ile ortaya konmuştur.

Mix vd. (2022), PBS talebini modellemek amacıyla bir yöntem geliştirmiştir. Çalışma iki aşamalı bir yapıya sahiptir. İlk aşamada farklı gezi türleri ve haftanın dönemlerine göre bisiklet seyahatlerinin oluşturulmasını tahmin eden çoklu regresyon modelleri geliştirilmiştir. İkinci aşamada maksimum kapsama modeli uygulanmıştır. Önerilen model, Şili'nin Santiago kentinde faaliyet gösteren PBS verileri kullanılarak test edilmiştir. Sonuçlar konut ve ofis arazi kullanımlarıyla ilişkili yapılı çevrenin PBS kullanımı üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. İstasyonların yakınında uzun bisiklet yolunun bulunması kullanıcı talebini artıran önemli bir unsur olarak öne çıkmıştır.

Wang vd. (2022), Minnesota eyaletinde yer alan Minneapolis–St. Paul Metropol Bölgesi'nde faaliyet gösteren Nice Ride Minnesota PBS istasyon aktiviteleri ile çeşitli çevresel ve sosyoekonomik faktörler arasındaki ilişkileri incelemiştir. 2011 yılında istasyonlara ait gidiş-dönüş seyahat sayıları kullanılmıştır. İstasyon bazında günlük ortalama seyahat sayısı üzerindeki marjinal etkilerin analizinde Log-lineer Regresyon ve Negatif Binom Regresyon modelleri uygulanmıştır. Analiz sonuçlarına göre istasyon kullanım sıklığının; mahallelerin sosyodemografik özellikleri, merkezi iş alanına yakınlık, su kaynaklarına ve parkurlara erişim, diğer PBS istasyonları ile mesafe ve ekonomik faaliyet göstergeleri ile anlamlı şekilde ilişkili olduğunu göstermiştir.

Zhang vd. (2022), farklı istasyonlara tahsis edilen toplam bisiklet sayısını maksimize etmeye yönelik yeniden dengeleme problemine odaklanmıştır. Çalışmada gerçekçi operasyonel koşullar altında bisikletlerin yeniden tahsisini sağlamak amacıyla meta-öğrenme algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem, sistemdeki bisikletlerin istasyonlar arasında dengeli dağıtılmasını sağlayarak kaynak kullanımının optimizasyonunu sağlamıştır.

Chen vd. (2024), ABD'nin Washington'da faaliyet gösteren Capital Bikes sistemine ilişkin yaşam döngüsü değerlendirmesi gerçekleştirmiştir. Çalışmada, karbon emisyonlarının kaynakları ve sistem türlerine bağlı çevresel etkileri ortaya konmuştur. Çalışmada istasyonlu sistem ile istasyonsuz sistemin karşılaştırması yapılmıştır. Sonuçlara göre bir bisikletin üretim süreci, en yüksek karbon emisyonuna yol açmaktadır. Bunun yanı sıra bir bisikletin günde ortalama 0,07 kg karbondioksit emisyonu tasarrufu sağladığı belirlenmiştir. Sistemin emisyon bakımından net pozitif etki yaratabilmesi için bir bisikletin en az 591 gün kullanılmasının gerekli olduğu ifade edilmiştir.

Fan ve Harper (2024), mikro-hareketliliğe sahip bir bölgedeki toplu taşıma hizmet arzını tahmin etmeye yönelik yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Yöntem otobüs sefer saatleri ve PBS verileri temel alınarak yapılandırılmıştır. Ek olarak dezavantajlı topluluklar için hareketlilik erişimini artırmayı amaçlayan paydaş tercihlerini dikkate alan iki amaçlı bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Model ABD'nin Pittsburgh kentinde vaka çalışması kapsamında uygulanmıştır. Analiz bulguları PBS istasyonunun yer aldığı mahallelerde, toplu taşıma hizmet düzeyinin anlamlı biçimde iyileştiğini ortaya koymuştur.

Ngeni vd. (2024), PBS talebinin tahmin edilmesine yönelik olarak rastgele orman algoritması kullanmıştır. Modelin doğruluğunu test etmek amacıyla akıllı konum veritabanı kullanılmıştır. Ek olarak makine öğrenmesi modellerinin tahmin sonuçlarını daha anlaşılır kılmak için açıklanabilir yapay zekâ teknikleri çalışmaya entegre edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, sera gazı emisyonları en belirleyici değişken olarak öne çıkmıştır.

Tezin konusunu oluşturan ve PBS istasyonları için en uygun yer seçimi problemini ÇKKV yöntemleri ve matematiksel model kullanarak ele alan çalışmalar Tablo 3.1'de sunulmaktadır.

Tablo 3.1. *PBS* istasyonu yer *seçimi literatürü*

Yazar/lar	Uygulama Alanı	Problemin Kapsamı	Yöntem
Lin ve Yang (2011)	-	PBS istasyonu yer seçimi	Ağ Optimizasyonu
Martinez vd. (2012)	Lizbon	PBS istasyonu yer seçimi	Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama
Romero vd. (2012)	Santander	PBS istasyonu yer seçimi	Genetik Algoritma
Ghandehari vd. (2013)	İran	PBS istasyonu yer seçimi	AHP, SAW ve CBS
Deng vd. (2015)	Wuhan	PBS istasyonu yer seçimi	AHP
Frade ve Ribeiro (2015)	Coimbra	PBS istasyonu yer seçimi	Maksimum Kapsama Modeli
Pan ve Dou (2016)	Nanjing	Gelecekteki bisiklet talebinin tahmini ve PBS istasyonu yer seçimi	Ağ Optimizasyonu
Çetinkaya (2017)	Gaziantep	PBS istasyonu yer seçimi	Bulanık-AHP ve TOPSIS
Park ve Sohn (2017)	Seul	PBS istasyonu yer seçimi	P-Ortanca ve Maksimum Kapsama Modeli
Kabak vd. (2018)	İzmir	PBS mevcut durumunun değerlendirilmesi ve PBS istasyonu yer seçimi	MOORA ve CBS
Mete vd. (2018)	Gaziantep	PBS istasyonu yer seçimi	Maksimum Kapsama, P-Merkez ve P-Ortanca
Jahanshahi vd. (2019)	Meşhed	PBS mevcut durumunun değerlendirilmesi ve PBS istasyonu yer seçimi	CBS, AHP ve VIKOR
Eren (2020)	İzmir	Mevcut istasyonların arazi kullanım türlerine göre analizi ve PBS istasyonu yer seçimi	CBS, AHP ve VIKOR
Salih-Elamin ve Al-Deek (2020)	Washington	PBS istasyonu yer seçimi ve talep kapsamının maksimize edilmesi.	Maksimum Kapsama Modeli, TOPSIS ve AHP
Eren ve Katanalp (2021)	İzmir	Arazi kullanımına bağlı olarak PBS istasyonu yer seçimi	CBS, AHP, VIKOR ve Psikometrik-VIKOR
Bahadori vd. (2022)	Lizbon	PBS istasyonu yer seçimi	AHP, TOPSIS ve CBS
Bencekri vd. (2024)	Seul	PBS istasyonu yer seçimi	CRITIC

Tablo 3.1'de sunulduğu üzere son yıllarda PBS istasyonu yer seçimi, literatürde farklı yöntemlerle ele alınmıştır. Ancak literatür incelendiğinde, bu konuya ÇKKV yöntemleriyle yaklaşan çalışmaların büyük çoğunluğunun kapsamlı veriye erişimde yaşanan zorluklar nedeniyle uzman görüşüne dayalı öznel yöntemlerle yürütüldüğü görülmektedir. Bu tez çalışması, veri temelli bir ÇKKV yöntemi benimseyerek literatürdeki geleneksel yöntemlerden ayrılmaktadır. Tezde kriter ağırlıklandırması için IDOCRIW yöntemi ve alternatif istasyonların performans sıralaması için CoCoSo yöntemi kullanılmıştır. IDOCRIW ve CoCoSo yöntemlerinin birlikte kullanıldığı çalışmalar farklı disiplinlerde uygulanmış olmakla birlikte literatürde bugüne kadar PBS istasyonu yer seçiminde bu yöntem dikkate alınmamıştır. Literatürde farklı karar verme problemlerine yönelik IDOCRIW-CoCoSo'ya dayanan çalışmalar sonraki bölümde sunulmuştur. Tezde, IDOCRIW ve CoCoSo yöntemlerinin yanı sıra TOPSIS, ARAS, COPRAS ve VIKOR yöntemleri kullanılarak karşılaştırmalı analiz yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Borda Sayım Yöntemi ile birleştirilmiştir. Böylece farklı yöntemlerle elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak değerlendirmelerin güvenilirliği artırılmıştır. Son olarak tezde, ÇKKV yöntemleri ve maksimum kapsama modelinin ile entegre edilmesi yoluyla geliştirilen hibrit ve optimize bir yaklaşım ortaya konmuştur. Model ile PBS istasyonlarının en fazla nüfusu kapsayacak şekilde yerleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu yöntemin yerel yönetimlerin sınırlı kaynaklarını daha verimli kullanmasında yol gösterici olacağı, PBS talebini artırarak ulaşımda çevresel etkilerin azaltılmasına ve sürdürülebilir kent lojistiğine katkı sağlayacağı ve böylece kentlerde yaşam kalitesinin yükselmesine ve kentlerin karbon ayak izinin azalmasına ışık tutacağı düşünülmektedir.

Tez çalışmasının literatüre özgün katkısı yalnızca yöntemsel düzlemle sınırlı kalmamaktadır. Uygulama açısından da önemli bir yenilik sunmaktadır. Çalışmada analizler için kullanılan kentsel veriler CBS'den elde edilmiştir ve bu yönüyle kuramsal modellerin ötesine geçilmiştir. Karar verme süreci yalnızca literatürde sıkça kullanılan geleneksel kriterlerle sınırlı kalmamıştır. Analiz, kapsamlı bir literatür araştırması ile belirlenen çok sayıda kriteri kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Özellikle mevcut çalışmalarda sıklıkla göz ardı edilen 'kullanıcı güvenliği' unsuru bu çalışmada karar modeline bütüncül bir biçimde entegre edilmiştir. Literatürde güvenlik kriteri çoğunlukla yalnızca bisikletlerin hırsızlığa karşı korunmasına indirgenirken, bu tez çalışmasında bisiklet sürücüleri için mahallede gerçekleşen trafik kaza sayıları da karar verme sürecine dahil edilmiştir. Bu yönüyle çalışma kent içi sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin

planlanmasında insan odaklı bir yaklaşımı benimseyerek literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmakta ve karar destek sistemlerinin geliştirilmesine yönelik yeni bir bakış açısı sunmaktadır. ÇKKV ve optimizasyon yaklaşımlarını entegre eden hibrit karar verme modeli, yöntemin uygulanabilirliğini göstermek amacıyla Kayseri ili örneği üzerinde test edilmiştir.

3.3. IDOCRIW ve CoCoSo Yöntemlerine Yönelik Literatür Araştırması

Günümüzde karmaşık karar problemleri karşısında ÇKKV yöntemleri, alternatiflerin çeşitli ve çoğu zaman birbiriyle çelişen kriterler altında değerlendirilmesini sağlayarak karar süreçlerine sistematik bir yaklaşım sunmaktadır. Bu yöntemler özellikle sürdürülebilirlik, ulaşım, tedarik zinciri ve kaynak tahsisi gibi alanlarda etkin çözümler üretmektedir. Bu kapsamda kriter ağırlıklarının nesnel olarak belirlenmesine odaklanan IDOCRIW yöntemi, Entropi ve (Criterion Impact Loss) CILOS yöntemlerinin güçlü yönlerini bütünleştirerek daha dengeli ve etkileşim temelli ağırlıklandırma sağlamaktadır (Zavadskas ve Podvezko, 2016). CoCoSo yöntemi ise, sıralama ve ağırlıklı toplam yaklaşımlarını sentezleyerek alternatiflerin değerlendirilmesinde esnek ve istikrarlı çözümler sunmaktadır (Ecer, 2021). CoCoSo yöntemi ağırlık tercihlerinden ve sıralama stratejilerinden görece bağımsız olmasıyla ön plana çıkmaktadır. Bu bölümde; IDOCRIW ve CoCoSo yöntemlerinin kullanımına ilişkin literatür incelenmiştir.

Eslami vd. (2021), baraj inşaatının çevresel etkilerini azaltmaya yönelik stratejilerin belirlenmesinde kriter ağırlıklarını IDOCRIW, alternatiflerin performans sıralamasını ise CoCoSo yöntemiyle belirlemiştir. İran'da bulunan Toprak Barajı'na ilişkin vaka çalışmasında dört ana kriter dikkate alınmıştır. Sonuçlar, iyileştirme stratejileri arasında atık bertarafının başka bir yere taşınmasının öncelikli seçenek olarak belirlendiğini göstermiştir.

Luo vd. (2021), Çin'de yer alan turistik destinasyonlara ilişkin çevrim içi kullanıcı yorumlarını temel alarak turizm cazibe merkezi seçimi sürecinde duygu analizi temelli bir karar modeli geliştirmiştir. Çalışmada kriter ağırlıklarının IDOCRIW, alternatiflerin performans sıralaması ise CoCoSo yöntemi ile belirlenmiştir. Önerilen model, çevrim içi yorumlara dayalı duygu analizi sonuçlarını karar sürecine entegre ederek turistik bölgelerin cazibe düzeylerinin daha bütüncül ve veri odaklı bir yöntemle değerlendirilmesine olanak sağlamıştır. Söz konusu model, turistik yerlerin seçiminde gerçek veriye dayalı bir vaka çalışmasıyla test edilmiştir.

Ali vd. (2022), COVID-19 pandemisinin etkilerinin gelişmekte olan ülkelerin enerji sistemlerinin planlanmasına yönelik kriter ağırlıkları IDOCRIW yöntemi ile alternatiflerin performans sıralamaları CoCoSo yöntemi ile belirlenmiştir. Bangladeş'teki şebeke dışı alanlara ilişkin vaka çalışması kapsamında toplam beş kritere dayalı 15 farklı model oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar, güneş enerjili ev sistemi ve mini şebeke sistemlerinin öncelikli alternatifler olduğunu ortaya koymuştur.

Çiftaşlan ve Rençber (2022), Türkiye'de faaliyet gösteren bankaların finansal performansları CAMELS çerçevesinde değerlendirmiştir. Bu kapsamda kriter ağırlıkları IDOCRIW, bankaların performans sıralaması ise CoCoSo yöntemi ile belirlenmiştir. Çalışmada 2010–2020 dönemine ait yıllık verilere dayalı olarak sekiz banka, 20 farklı finansal kriter üzerinden analiz edilmiştir.

Mogaji ve Mudashiru (2024), Nijerya'nın jeolojik ortamında yeraltı suyu potansiyelini değerlendirmek için Python tabanlı IDOCRIW-CoCoSo modelleme algoritmasını kullanmıştır. Kriter ağırlıkları IDOCRIW, alternatiflerin performans sıralaması ise CoCoSo yöntemi ile belirlenmiştir. Elde edilen yeraltı suyu potansiyeli doğrulama analizleri, sondaj verimi üzerinden %75, depolama verileri üzerinden ise %80 doğruluk ile sonuçlanmıştır.

Özdemir (2024), ülkelerin çevresel dirençliliğini değerlendirmek amacıyla kriter ağırlıklarını IDOCRIW, alternatiflerin performans sıralamalarını CoCoSo yöntemiyle belirlemiştir. Analiz sonucunda fosil yakıt sübvansiyonları, kaynak verimliliği ve su stresi en önemli kriterler olarak öne çıkarken pestisit kullanımı en önemsiz kriter olarak belirlenmiştir. Tek sıralama elde etmek için uygulanan Borda Sayım Yöntemi, İsviçre ve Birleşik Krallık'ın en dirençli ülkeler olduğunu, Rusya, Türkiye ve Çin'in ise en düşük çevresel direnç düzeyine sahip ülkeler arasında yer aldığını ortaya koymuştur.

Parthasarathy vd. (2024), e-araç geri dönüşüm teknikleri arasında en iyi performans gösteren alternatifleri belirlemek amacıyla IDOCRIW ve tereddütlü bulanık küme altında CoCoSo yöntemleri kullanmıştır. Vaka çalışması, hidrometalurjik geri kazanımın sosyo-ekonomik tüketici perspektifinden en iyi geri dönüşüm sürecini temsil ettiğini göstermiştir.

Yukarıda sunulan çalışmalar IDOCRIW ve CoCoSo yöntemlerinin farklı sektör ve uygulama alanlarındaki karar verme problemlerinde geniş bir yelpazede başarıyla kullanıldığını ortaya koymaktadır. IDOCRIW yöntemi kriterler arasındaki etkileşimi

dikkate alarak daha nesnel ve dengeli ağırlıklandırma sağlamasıyla öne çıkarken, CoCoSo yöntemi farklı sıralama stratejilerini birleştiren yapısı sayesinde karar vericilere esnek ve kararlı çözümler sunmaktadır. Sürdürülebilirlikten enerji planlamasına, çevresel dirençlilikten altyapı yatırımlarına kadar uzanan bu uygulamalar söz konusu yöntemlerin karar destek sistemleri içerisindeki etkinliğini ve çok yönlülüğünü kanıtlamaktadır. Bu nedenlerle IDOCRIW ve CoCoSo yöntemlerinin entegrasyonu karmaşık karar problemlerine yönelik bütüncül, veri odaklı ve güvenilir çözümler sunan güçlü bir çerçeve oluşturmaktadır. Bu bağlamda bu tezde de PBS istasyonları seçiminde IDOCRIW ve CoCoSo yöntemleri tercih edilmiştir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

YÖNTEM

Bu bölümde; araştırmanın metodolojik temelini oluşturan yöntemler detaylı olarak sunulmuş ve söz konusu yöntemlerin karar verme sürecindeki işlevleri bütüncül bir yaklaşımla ele alınmıştır.

4.1. Önerilen Model

Bu tez çalışması kapsamında ÇKKV yöntemlerinden IDOCRIW ve CoCoSo tekniklerinin bütüncül ve entegre bir şekilde uygulanması esas alınmaktadır. Kriter ağırlıklarının ve alternatif istasyon yerlerinin performans sıralamasının belirlenmesinde veri odaklı bir metodoloji izlenmiştir. Analiz süreci CBS tabanlı veriler aracılığıyla yürütülerek mekânsal bilgilerin karar verme sürecine etkin bir şekilde entegrasyonu sağlanmıştır. Elde edilen bulguların geçerliliğini ve analizlerin sağlamlığını artırmak amacıyla TOPSIS, ARAS, COPRAS ve VIKOR yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Farklı yöntemlerden elde edilen sıralama sonuçları uzlaşmacı karar verme yaklaşımı kapsamında Borda Sayım Yöntemiyle bütünleştirilerek değerlendirilmiştir. Analizin bir sonraki aşamasında Paylaşımlı Bisiklet Sistemi'nin (PBS) erişilebilirlik düzeyini en üst düzeye çıkarmayı amaçlayan maksimum kapsama modeli uygulanmıştır. Bu doğrultuda model iki aşamalı bir pareto analizi ile çözülmektedir: ilk aşamada kapsanan nüfusu maksimize eden temel maksimum kapsama modeli çözülmekte; ikinci aşamada ise bu kapsama düzeyini korurken istasyonların performans değerleri maksimize edilmektedir. Sonraki analizde ise ilk aşamada istasyonların performans değerini maksimize eden model çözülmekte; ikinci aşamada ise bu değer korunurken kapsanan nüfus maksimize edilmektedir.

Tez çalışmasında benimsenen metodolojik çerçeve Şekil 4.1'de ayrıntılı olarak sunulmaktadır.

Şekil 4.1. *Yöntem uygulama adımlarının akış diyagramı*



Şekil 4.1'de yer alan akış diyagramı önerilen yöntemin aşamalarını sistematik biçimde göstermektedir. Bu adımlar ilgili alt başlıklarda kapsamlı şekilde ele alınmıştır.

4.2. IDOCRIW Yöntemi

IDOCRIW yöntemi, Zavadskas ve Podvezko (2016) tarafından geliştirilmiştir. Yöntem kriter ağırlıklarının belirlenmesinde hem nesnel hem de yapısal özellikleri dikkate alan

bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır. Bu yöntem veri yapısının daha kapsamlı bir şekilde analiz edilmesini sağlamak amacıyla Entropi yöntemi (Shannon, 1948) ile CILOS yönteminin (Zavadskas ve Podvezko, 2016) öne çıkan yönlerini bir araya getirmektedir. Literatürde yaygın olarak kullanılan Entropi yöntemi, kriterler arası bilgi miktarını esas alarak kriter ağırlıklarını belirlemeye yönelik nesnel bir yapı sunmaktadır. Bu yöntemde her bir alternatifin diğerlerine göre gösterdiği ayırt edici performans değeri karşılaştırmalı avantajı ortaya koymakta ve aynı standart değerlerde bile hangi alternatifin öne çıktığını belirlemeye olanak tanımaktadır. CILOS yöntemi ise bir kriterin üstün değer aldığı durumda, diğer kriterlerin göreli önem düzeylerinde meydana gelebilecek etki kaybını hesaplamaya dayanmaktadır. Bu yöntem, bir kriterin maksimum veya minimum değeri alması durumunda diğer kriterlerin önem derecelerinde yaşanabilecek anlamlılık kayıplarını ölçerek daha dengeli bir değerlendirme yapılmasını sağlamaktadır. Böylece kriterler arasındaki etki ilişkileri daha gerçekçi bir biçimde analiz edilmektedir.

IDOCRIW yöntemi Entropi yönteminin bazı sınırlılıklarını ortadan kaldırmakla birlikte CILOS yönteminin avantajlarını da bünyesinde koruyarak daha sağlam ve güvenilir bir ağırlıklandırma mekanizması sunmaktadır. Bu iki yöntemin bütünleştirilmesiyle kriter ağırlıkları arasında aşırı büyük ya da aşırı küçük farklılıkların oluşması engellenmektedir. Sonuçta da daha istikrarlı, tutarlı ve yüksek doğruluk düzeyine sahip kapsamlı kriter ağırlıkları elde edilmektedir. IDOCRIW yöntemi aşağıda detaylandırılan sistematik adımlar doğrultusunda uygulanmaktadır.

4.2.1. Entropi Yöntemi

Entropi yöntemi, Shannon (1948) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem bilgi teorisine dayalı olarak sistemdeki düzensizliği ya da belirsizliği ölçmeyi hedeflemekte ve yaygın biçimde kullanılmaktadır. Entropi yöntemi uzman ya da karar vericilerin öznel değerlendirmelerine ihtiyaç duymadan yalnızca kriter değerleri arasındaki dağılımı dikkate alarak kriterlerin taşıdığı bilgi miktarını nesnel biçimde hesaplamaya olanak tanımaktadır (Ding vd., 2018). Bu yöntem bir kriterin değeri ne kadar farklılık gösteriyorsa o kriterin önem düzeyinin de o ölçüde yüksek olduğunu varsaymaktadır. Bu nedenle Entropi yöntemi endeks değerleri arasındaki farklılıklara dayanarak hangi kriterin daha fazla bilgi içerdiğini ortaya koymaktadır ve buna bağlı olarak kriter ağırlıklarını belirlemektedir. Entropi yönteminin subjektif ağırlıklandırma yöntemlerine kıyasla en önemli avantajı, karar verme sürecinden insan etkisini tamamen ortadan

kaldırarak ağırlıkların nesnel temellere dayanmasını sağlamasıdır (Taheriyoun vd., 2010). Bu durum özellikle uzman görüşlerinin çelişkili ya da sınırlı olduğu durumlarda karar sürecinin güvenilirliğini ve geçerliliğini artırmaktadır. Sonuç olarak Entropi yöntemi ÇKKV süreçlerinde kriter ağırlıklarının nesnel ve veri odaklı bir biçimde belirlenmesine imkân tanıyan etkili bir yöntem olarak değerlendirilmektedir.

Entropi yöntemi aşağıda sıralanan adımlar doğrultusunda uygulanmaktadır:

Adım 1: Karar matrisi oluşturma. Karar matrisi oluşturma aşaması Denklem (4.1)'de sunulmuştur.

$$X = [x_{ij}]_{m\times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} (i = 1, 2, \dots, m;\ j = 1, 2, \dots, n) \qquad (4.1)$$

$[x_{ij}]_{m\times n}$ karar matrisi, değerlendirme sürecinin ilk adımını oluşturmaktadır. Bu matris m adet alternatifi ve n adet kriteri kapsamaktadır. Karar matrisinde yer alan x_{ij} değeri, $i.$ alternatifin $j.$ kritere ilişkin performans skorunu ifade etmektedir.

Karar matrisinde yer alan farklı kriterlerin ölçü birimlerinin farklı olması nedeniyle analiz sürecinde öncelikli olarak karar matrisinin normalize edilmesi gerekmektedir. Normalizasyon işlemi tüm kriterlerin karşılaştırılabilir bir ölçeğe getirilmesini sağlamaktadır.

Adım 2: Karar matrisinin normalize edilmiş forma dönüştürülmesi. Karar matrisinin normalizasyonu Denklem (4.2) kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} x_{ij}} \qquad (4.2)$$

Denklem (4.2)'de r_{ij} i'nci alternatifin j'nci kritere göre normalize edilmiş değerini temsil etmektedir. Bu işlemle her bir alternatifle ilgili kritere göre karşılaştırılabilirliği sağlanmaktadır.

Adım 3: E_j derecelerinin hesaplanması. Entropi derecesi, Denklem (4.3) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$E_j = -\frac{1}{ln_n}\sum_{i=1}^{n} r_{ij} ln(r_{ij})\ j = 1, 2, \dots, m; 0 \leq E_j \leq 1 \quad (4.3)$$

Adım 4: Kriterlerin farklılaşma derecelerinin hesaplanması. d_j değerleri Denklem (4.4) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$d_j = 1 - E_j \quad (4.4)$$

Adım 5: Her bir kriterin nihai ağırlığının hesaplanması. Entropi ağırlığı, W_j olarak ifade edilmektedir ve Denklem (4.5) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^{m} d_j}, \sum_{j}^{m} w_j = 1 \quad (4.5)$$

Entropi yöntemine ilişkin adımlar Denklem (4.5) ile tamamlanmıştır. CILOS yöntemine ait detaylı prosedür ise bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak sunulmaktadır.

4.2.2. CILOS Yöntemi

CILOS yöntemi, Zavadskas ve Podvezko (2016) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde optimum sonuca ulaşıncaya kadar her bir kriterin etkisinin ne ölçüde kayba uğradığı değerlendirilmektedir. CILOS yöntemi bir kriterin değeri maksimum veya minimum düzeye ulaştığında diğer kriterlerin bu durumdan nasıl etkilendiğini analiz etmeye odaklanmaktadır. Yöntem, karar sürecinde her bir kriterin göreli etki kaybını dikkate alarak kriter ağırlıklarının daha gerçekçi biçimde belirlenmesine katkı sunmaktadır.

CILOS yöntemi aşağıda sıralanan adımlar doğrultusunda uygulanmaktadır:

Adım 6: Minimizasyon yönlü kriterleri maksimizasyon türlerine dönüştürme. Minimize edilmesi gereken kriterler Denklem (4.6) kullanılarak maksimize forma dönüştürülmektedir.

$$\overline{r}_{ij} = \frac{\frac{min}{i} r_{ij}}{r_{ij}} \quad (4.6)$$

Bu dönüşümle amaçlanan, her bir kriterin optimal değerine ulaşacak şekilde yeniden yapılandırılmasıdır. r_{ij}, dönüştürülmüş minimize kriter değerini temsil etmektedir ve yeni

karar matrisinin oluşturulmasında kullanılmaktadır. Yeni matris, Denklem (4.7) ile tanımlanmaktadır.

$$X = \|x_{ij}\| \tag{4.7}$$

Maksimize kriterler için herhangi bir dönüşüm işlemine gerek yoktur ve kriterler mevcut haliyle değerlendirme sürecine doğrudan dahil edilmektedir.

Adım 7: Kriterlerin maksimum değerlerinin bulunması. Her bir kriter sütunu içerisindeki en yüksek değerlerin belirlenmesi için Denklem (4.8) kullanılmaktadır. İşlem, matris içerisinde yer alan her bir kriterin maksimum değerini tespit etmeye yöneliktir ve sonraki hesaplamalarda referans noktası olarak kullanılmaktadır.

$$x_j = max_i x_{ij} = x_{kij} \tag{4.8}$$

Adım 8: Kare matrisin oluşturulması. 'B' matrisi, 'X' matrisinden i'nci kritere karşılık gelen maksimum değerlere ait x_{kij} değerlerinin seçilmesiyle oluşturulmaktadır. Bu işlem sonucunda Denklem (4.9)'da sunulduğu üzere k_i satırdan oluşan kare bir 'B' matrisi elde edilmektedir.

$$B = \|b_{ij}\|, \; b_{ii} = x_i, b_{ij} = x_{kij} \tag{4.9}$$

Elde edilen kare matriste, bir kritere ait maksimum değerler ana köşegen üzerinde yer almaktadır.

Adım 9: 'P' matrisin oluşturulması. 'P' matrisi, her bir kriterin göreli etki kaybını göstermektedir. Hesaplama, Denklem (4.10) kullanılarak yapılmaktadır.

$$P = \|p_{ij}\|, p_{ij} = \frac{x_j - b_{ij}}{x_j} = \frac{b_{ii} - b_{ij}}{b_{ii}}, P_{ij} = 0; i, j = 1, 2, \dots, m \tag{4.10}$$

Adım 10: 'F' matrisinin oluşturulması. Kriter ağırlıklarını tanımlayan 'F' matrisi oluşturma süreci Denklem (4.11) ile gerçekleştirilmektedir.

$$F = \begin{bmatrix} -\sum_{i=1}^{m} P_{i1} & P_{12} & \cdots & P_{1m} \\ P_{21} & -\sum_{i=1}^{m} P_{i2} & \cdots & P_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{m1} & P_{m2} & \cdots & -\sum_{i=1}^{m} P_{im} \end{bmatrix}_{m \times m} \quad (4.11)$$

Adım 11: CILOS ağırlıklarının belirlenmesi. CILOS ağırlıklarının belirlenmesi için Denklem (4.12) kullanılarak doğrusal denklem sistemi çözülmektedir.

$$F \times q_j = 0 \quad (4.12)$$

Adım 12: IDOCRIW ağırlıklarının hesaplanması. Kriterlerin nihai IDOCRIW ağırlıkları (W_j), Denklem (4.13) kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu işlemde Denklem (4.5) ile elde edilen Entropi ağırlıkları (w_j) ile Denklem (4.12) aracılığıyla hesaplanan CILOS ağırlıkları (q_j) birleştirilerek her iki yöntemin avantajlarını yansıtan bütünleşik bir ağırlıklandırma yapılmaktadır.

$$W_j = \frac{q_j w_j}{\sum_{j=1}^{m} q_j W_j} \quad (4.13)$$

Bu bütünleşik ağırlıklandırma yöntemi, her bir kriterin ayırt edicilik düzeyini vurgularken diğer kriterlerde meydana gelen yüksek etki kayıplarının toplam değerlendirme üzerindeki etkisini dengeleyici bir rol üstlenmektedir. Entropi yönteminden elde edilen bilgiye dayalı ağırlıklar ile CILOS yönteminden hesaplanan etki kaybı temelli ağırlıkların entegrasyonu sonucunda karar sürecini daha sağlıklı yansıtan bütünleşik ağırlıklar elde edilmektedir.

4.3. CoCoSo Yöntemi

CoCoSo yöntemi, Yazdani vd. (2019) tarafından geliştirilmiştir. CoCoso birden fazla skor toplama fonksiyonunun entegrasyonu esasına dayanan bir sıralama modelidir ve karar vericilerin farklı önceliklerini yansıtabilecek uzlaşma temelli bir değerlendirme çerçevesi sunmaktadır (Hashemkhani vd., 2020). CoCoSo yöntemi temel olarak ağırlıklı toplamsal değerlendirme yaklaşımı ile üstel ağırlıklı çarpımsal modelin bütünleştirilmiş

bir yapısı üzerine kuruludur. Yöntemin temel avantajı, karar sürecinde uygun bir uzlaşma skorunun bütüncül bir çerçevede hesaplanmasını sağlamasıdır.

CoCoSo yöntemi aşağıda sıralanan adımlar doğrultusunda uygulanmaktadır:

Adım 1: Karar matrisi oluşturma. Karar matrisi oluşturma aşaması Denklem (4.14)'te sunulmuştur.

$$X = [x_{ij}] = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{matrix} \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad \text{i = 1,2, …, m; j= 1, 2, …, n} \qquad (4.14)$$

$[X_{ij}]$ karar matrisi değerlendirme sürecinin ilk adımını oluşturmaktadır. Bu matris m adet alternatifi ve n adet kriteri kapsamaktadır. Karar matrisinde yer alan x_{ij} değeri, i. Alternatifin j. kritere ilişkin performans skorunu ifade etmektedir. Bu değer, alternatiflerin her bir kritere göre değerlendirilmesini ve karşılaştırılmasını mümkün kılan temel veri bileşenidir.

Adım 2. Karar matrisinin normalize edilmiş forma dönüştürülmesi. Normalizasyon, Denklem (4.15) kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

$$\overline{X}_{ij} = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{matrix} \begin{bmatrix} \overline{x}_{11} & \overline{x}_{12} & \dots & \overline{x}_{1n} \\ \overline{x}_{21} & \overline{x}_{22} & \dots & \overline{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \overline{x}_{m1} & \overline{x}_{m2} & \dots & \overline{x}_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \qquad (4.15)$$

Burada $\overline{X}_{ij}$, i. alternatife ait j. kriterle ilişkili olarak normalize edilmiş karar matrisi değerini temsil etmektedir.

Normalizasyon işlemi kriter türlerine göre farklılık göstermektedir. Fayda kriterleri için normalizasyon işlemi Denklem (4.16) kullanılarak, maliyet kriterleri için ise Denklem (4.17) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$x_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{ij}^{-}}{x_{ij}^{+} - x_{ij}^{-}} \qquad (4.16)$$

Burada; $x_{ij}^{-} = \frac{\min(x_{ij})}{1 \leq i \leq n}, x_{ij}^{+} = \frac{\max(x_{ij})}{1 \leq i \leq n}$

$$x_{ij} = \frac{x_{ij}^{+} - x_{ij}}{x_{ij}^{+} - x_{ij}^{-}} \tag{4.17}$$

Adım 3. S_i ve P_i değerlerinin hesaplanması. Her bir alternatif için hem ağırlıklı karşılaştırılabilirlik dizisi (S_i) hem de kuvvet-ağırlıklı karşılaştırılabilirlik dizileri (P_i) toplamları, Denklem (4.18) ve Denklem (4.19) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} \left(w_j \overline{x}_{ij}\right) \tag{4.18}$$

$$P_i = \sum_{j=1}^{n} \left(\overline{x}_{ij}\right)^{w_j} \tag{4.19}$$

Adım 4. Alternatiflerin göreli ağırlıklarının hesaplanması. Göreli ağırlık değerleri, Denklem (4.20-4.22) kullanılarak elde edilmektedir. Bu aşamada, üç farklı değerlendirme puanı stratejisi hesaplanmaktadır.

$$\varphi_{ia} = \frac{P_i + S_i}{\sum_{i=1}^{m} P_i + S_i} \tag{4.20}$$

Denklem (4.20) Weighted Sum Model (WSM) ve Weighted Product Modeli (WPM) temsil etmektedir.

$$\varphi_{ib} = \frac{S_i}{\underline{minS_i}} + \frac{P_i}{\underline{minP_i}} \tag{4.21}$$

Denklem (4.21), WSM ve WPM'ye göre elde edilen göreli puanların optimumla karşılaştırılmasını ifade etmektedir.

$$\varphi_{ic} = \frac{\lambda(S_i) + (1-\lambda)(P_i)}{\left(\frac{\lambda \underline{maxS_i}}{i} + (1-\lambda)\frac{\underline{maxP_i}}{i}\right)}; 0 \leq \lambda \leq 1, \quad \lambda = 0.5 \tag{4.22}$$

Denklem (4.22), WSM ve WPM modellerinden elde edilen puanlar arasında dengeli bir uzlaşmayı temsil etmektedir.

Adım 5. Alternatiflerin performans puanlarını (φ_i) hesaplanma. Performans puanları, Denklem (4.23) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\varphi_i = (\varphi_{ia} \cdot \varphi_{ib} \cdot \varphi_{ic})^{\frac{1}{3}} + \frac{1}{3}(\varphi_{ia} \cdot \varphi_{ib} \cdot \varphi_{ic}) \tag{4.23}$$

Alternatifler performans puanlarına göre sıralanmakta ve daha yüksek bir performans puanı tercih edilmektedir.

4.4. Karşılaştırmalı Analiz Yöntemleri

Karar verme süreçlerinde kullanılan yöntemlerin çeşitliliği, her bir yöntemin farklı varsayımlara ve önceliklendirme yapısına dayanmasından kaynaklanmaktadır. Tek bir yönteme dayalı analizler yerine birden fazla yöntemin bir arada kullanılması kararların sağlamlığını ve güvenilirliğini artırmaktadır. MacCrimmon (1968), en iyi seçeneğin belirlenmesi sürecinde birden fazla yöntemin birlikte kullanılmasının yalnızca tek bir yönteme dayanmaktan daha makul ve geçerli bir yaklaşım olduğunu vurgulamıştır. Bu nedenle karşılaştırmalı analiz teknikleri, karar alternatiflerinin farklı yöntemlerle sıralanarak tutarlılıklarının test edilmesine olanak tanımakta ve karar vericilere daha kapsamlı bir bakış açısı sunmaktadır (Zavadskas ve Turskis, 2011).

Tezde karşılaştırmalı analiz için kullanılan ÇKKV yöntemlerinden TOPSIS, ARAS, COPRAS ve VIKOR yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

4.4.1. TOPSIS Yöntemi

TOPSIS yöntemi, Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilmiştir. Kavramsal yapısı sade ve uygulaması görece kolay bir ÇKKV yöntemidir. Bu yöntem karar problemlerinde pozitif ideal çözüme (PIS) en yakın ve negatif ideal çözüme (NIS) en uzak mesafede bulunan alternatiflerin en uygun seçenek olarak belirlenmesini esas alır. Pozitif ideal çözüm, fayda kriterlerinin maksimum, maliyet kriterlerinin ise minimum değerlere sahip olduğu teorik en iyi alternatifi temsil etmektedir. Negatif ideal çözüm, bu durumun tersini ifade eden en olumsuz seçenektir. TOPSIS yöntemi, karar matrisindeki öznitelik bilgilerinden tam anlamıyla yararlanmakta ve alternatifler arasında nicel bir sıralama oluşturmaktadır (Behzadian vd., 2012). Kriterler arası bağımsızlık varsayımına ihtiyaç

duymaması, yöntemi birçok karar problemi için esnek ve uygulanabilir kılmaktadır (Chen ve Hwang, 1992). Bu yönüyle TOPSIS yöntemi özellikle çok sayıda alternatifin değerlendirildiği ve kriterlerin hem fayda hem de maliyet biçiminde ifade edildiği durumlarda sıkça tercih edilen etkili bir sıralama yöntemidir.

4.4.2. ARAS Yöntemi

ARAS yöntemi, Zavadskas ve Turksis (2010) tarafından geliştirilmiştir. Yöntem alternatifleri fayda teorisi temelinde değerlendirmekte ve her bir alternatifin genel performansını belirli bir fayda fonksiyonu aracılığıyla hesaplamaktadır. Yöntem alternatifleri, toplam fayda düzeyine göre sıralayarak en uygun seçeneği belirlemeyi amaçlamaktadır (Ghenai vd., 2020). ARAS yönteminin temel dayanak noktası, her alternatifin toplam performans değerinin, tüm kriterler göz önünde bulundurularak hesaplanmasıdır. Bu toplam fayda değeri, en yüksek performansa sahip alternatifin performansına oranlanarak normalize edilmektedir. Böylece her bir alternatifin göreli etkinliği, ideal seçeneğe olan yakınlığı üzerinden değerlendirilmektedir. Bu oranlama süreci, karar vericilerin farklı kriterler altındaki değerlendirmeleri bütüncül biçimde ele almasını sağlamaktadır (Shariati et al., 2014). ARAS yönteminin bir diğer avantajı hem fayda hem de maliyet türündeki kriterlerle çalışabilmesidir. Bununla birlikte yöntemin hesaplama adımlarının görece basit olması ve sezgisel olarak anlaşılabilir bir yapıya sahip olması onu özellikle uygulamalı çalışmalar için uygun hale getirmektedir. Literatürde ARAS yöntemi; lojistik, sürdürülebilirlik, tedarik zinciri yönetimi ve enerji sektörü gibi farklı alanlarda karar problemlerinin çözümünde yaygın biçimde uygulanmaktadır (Ghram ve Frikha, 2019).

4.4.3. COPRAS Yöntemi

COPRAS yöntemi, Zavadskas vd. (1996) tarafından geliştirilmiştir. Yöntem, maksimize ve minimize edilmek istenen kriterleri aynı anda değerlendirebilmesi bakımından öne çıkmaktadır. Özellikle kriterlerin maksimize edici ve minimize edici endeks değerleri, sonuç değerlendirmesi üzerinde ayrı ayrı ele alınmakta böylece her iki kriter türü için de net bir karşılaştırma yapılabilmektedir (Alinezhad ve Khalili, 2019). COPRAS yönteminin başlıca avantajları arasında, diğer ÇKKV yöntemlerine kıyasla daha az hesaplama gerektirmesi nedeniyle kullanım kolaylığı sağlaması ve hem nicel hem nitel kriterleri değerlendirebilme yeteneği yer almaktadır (Chakraborty, 2013). Ayrıca bazı yöntemlerde negatif değerlerin değerlendirilmesi için dönüşüm yapılması gerekirken

COPRAS bu gerekliliği ortadan kaldırmakta ve karar verme sürecini basitleştirmektedir. Yöntemin en önemli üstünlüğü, alternatiflerin fayda derecelerini yüzdesel olarak gösterebilmesidir. Bu sayede alternatifler arasındaki fark net bir şekilde ortaya konmakta ve hangi alternatifin diğerlerine göre ne kadar iyi ya da kötü olduğu açıkça görülebilmektedir (Podvezko, 2011). Sonuç olarak COPRAS yöntemi, sunduğu teorik esneklik ve uygulama kolaylığı sayesinde maksimize ve minimize edici kriterlerin birlikte değerlendirildiği karar problemlerinde etkin ve güvenilir bir araç olarak öne çıkmaktadır.

4.4.4. VIKOR Yöntemi

VIKOR yöntemi, Opricovic (1998) tarafından geliştirilmiştir. VIKOR yöntemi çatışan ve farklı birimlere sahip kriterlerin yer aldığı ÇKKV problemlerini çözmek amacıyla geliştirilmiştir. Yöntem çatışma çözümü sürecinde; uzlaşmanın kabul edilebilir olduğu, karar vericinin ideale en yakın çözümü arzuladığı ve alternatiflerin tüm belirlenen kriterlere göre değerlendirildiği varsayımına dayanmaktadır (Opricovic ve Tzeng, 2007). VIKOR yönteminin temelinde çözüm uzayında pozitif ve negatif ideal noktaların tanımlanması yer almaktadır. Bu bağlamda yöntem çatışan ve karşılaştırılamayan kriterlerin varlığında, sonlu sayıda uygulanabilir alternatif arasından sıralama yapmak ve seçimde bulunmak üzere tasarlanmıştır. Çerçeve, alternatiflerin ideale olan yakınlık derecesine dayalı çok kriterli bir sıralama endeksi hesaplamakta ve her alternatifin her kritere göre değerlendirilmesinin ardından en uygun uzlaşık sıralamayı belirlemektedir (Mardani vd., 2016). Bu kapsamda elde edilen uzlaşık çözüm, pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözümden en uzak olan uygulanabilir çözüm olarak tanımlanmaktadır. Uzlaşma ise alternatifler arasında karşılıklı ödünler verilerek varılan ortak kabul anlamına gelmektedir.

4.5. BORDA Sayım Yöntemi

Borda Sayım Yöntemi, Jean-Charles de Borda (1784) tarafından geliştirilmiştir. Literatürde ÇKKV yöntemleri ile alternatiflerin sıralanmasına yönelik çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar tek bir yöntem kullanılarak gerçekleştirilebildiği gibi birden fazla yöntemin bir araya getirilmesiyle de yapılabilmektedir. Bu çalışmalarda çeşitli yöntemlerle elde edilen sıralamaları bir araya getirerek bütüncül bir sıralama sunmak amacıyla Borda Sayım Yöntemi kullanılmaktadır (Gandhi vd., 2018). Bu yöntemde en az tercih edilen alternatife 0 puan, en çok tercih edilen alternatife ise (n–1)

puan verilmektedir (n= alternatif sayısı). Borda Sayım Yöntemi Denklem (4.24) kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

$$B_i = \sum_{k=1}^{n} n - r_{ik} \tag{4.24}$$

Denklemde r_{ik}, k. kriter altındaki i. alternatifin sırasını ifade etmektedir. Sıralama işlemi en yüksek puanı alan alternatiften başlanarak yapılmaktadır.

4.6. Maksimum Kapsama Modeli

Maksimum kapsama modeli, Church ve ReVelle (1974) tarafından geliştirilmiştir. Yer seçimi literatüründe önemli bir yer edinen maksimum kapsama modeli, sınırlı sayıda kaynak ile hizmet sunumunun mekânsal etkinliğini en üst düzeye çıkarmayı hedefleyen stratejik bir karar modelidir. Modelin temel amacı, sınırlı sayıda tesisin önceden belirlenmiş bir hizmet mesafesi veya erişim süresi içerisinde mümkün olan en fazla sayıda talep noktasını kapsayacak şekilde konumlandırılmasıdır (Church ve ReVelle 1974). Maksimum kapsama modeli tüm talep noktalarının kapsanmasını zorunlu kılmak yerine mevcut kaynakların optimum düzeyde kullanımını esas alarak karar vericilere gerçekçi ve uygulanabilir bir çözüm alternatifi sunmaktadır. Özellikle geniş coğrafi alanlara yayılmış demografik yapıları farklılık gösteren ve hizmet ihtiyacı bakımından heterojen talep noktalarının bulunduğu durumlarda tüm talepleri kapsayacak biçimde tesis yerleştirmenin ekonomik ve operasyonel olarak sürdürülebilir olmadığı görülmektedir (ReVelle ve Eiselt, 2005). Bu nedenle sınırlı sayıda tesisle mümkün olan en fazla talebi karşılamayı amaçlayan bu model, kaynakların etkin dağıtımı açısından stratejik bir araç olarak öne çıkmaktadır. Maksimum kapsama modeli, geleneksel kapsama modellerine kıyasla daha esnek ve uyarlanabilirdir ve etkin çözümler üretme kapasitesine sahiptir. Sonuç olarak maksimum kapsama modeli, sınırlı kaynakların stratejik dağılımını esas alarak politikaların mekânsal planlamasında karar vericilere bilimsel bir temel sunmakta ve konum teorisinin uygulamalı boyutunda önemli bir referans çerçevesi oluşturmaktadır.

maksimum kapsama modeli matematiksel formülasyonu aşağıdaki gibidir (Church ve ReVelle, 1974):

Amaç Fonksiyonu:

$$\max Z = \sum_{i \in I} a_i y_i \tag{4.25}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq y_i \ \ \forall_i \in I \tag{4.26}$$

$$\sum_{j \in J} x_j = P \tag{4.27}$$

$$x_j \in \{0,1\} \forall_j \in J \tag{4.28}$$

$$y_i \in \{0,1\} \forall_i \in I \tag{4.29}$$

Burada;

I: Talep noktalarının kümesini,

J: Olası tesis yerlerinin kümesini,

S: Talep noktasının "kapsanmamış" kabul edildiği maksimum mesafeyi,

d_{ij}: i talep noktası ile j tesis yeri arasındaki en kısa mesafeyi,

x_j: Tesisin j noktasında açılıp açılmadığını gösteren ikili değişkeni (1: açılmış, 0: açılmamış),

y_i: i talep noktasının kapsanıp kapsanmadığını gösteren ikili değişkeni (1: kapsanmış, 0: kapsanmamış),

a_i: i talep noktasında hizmet verilecek nüfusu,

P: Açılabilecek toplam tesis sayısını,

$N_i = \{j \in J \mid d_{ij} \leq S\}$: i talep noktasına hizmet verebilecek tesis yerlerinin kümesini ifade etmektedir.

Modelin amacı, belirlenen hizmet mesafesi S içinde mümkün olan en fazla nüfusun kapsanmasını sağlamaktır. Denklem (4.26), bir talep noktasının kapsanmış sayılabilmesi için mesafe dahilinde en az bir tesisin açılmış olması gerektiğini belirtmektedir. Denklem (4.27), açılabilecek toplam tesis sayısının P ile sınırlandığını göstermektedir. Denklem (4.28) ve (4.29) ise karar değişkenlerinin ikili doğasını tanımlamaktadır.

4.7. Pareto Analizi

Çok amaçlı optimizasyon, birbirleriyle çelişen birden fazla performans ölçütünün eşzamanlı olarak iyileştirilmeye çalışıldığı matematiksel problemlerin genel adıdır. Tek amaçlı optimizasyonda amaç fonksiyonunun tek boyutlu bir değer üretmesi sayesinde çözümler kolaylıkla karşılaştırılabilirken, çok amaçlı problemler doğası gereği birden fazla ve çoğu zaman birbiriyle rekabet eden hedef içerir. Bu nedenle amaçlar arasında kaçınılmaz olarak bir ödünleşme ortaya çıkar ve herhangi bir çözümün mutlak anlamda tüm hedeflerde eşzamanlı olarak en iyi performansı göstermesi çoğu zaman mümkün değildir (Liu vd., 2020). Pareto analizinin önemli bir özelliklerinden biri, mutlak anlamda tek bir "en iyi" çözüm yerine, bir çözüm ailesi üretmesidir. Bu durum karar vericilere problem bağlamında farklı politikaları, tercihleri veya öncelik setlerini dikkate alarak çözüm seçebilme esnekliği sağlar. Literatürde Pareto optimal çözümlere ulaşmak için farklı yöntemler geliştirilmiştir; bunlar arasında ağırlıklandırma, ε-kısıt yöntemi, ideal-nadir nokta yöntemleri, hedef programlama ve evrimsel çok amaçlı algoritmalar yer almaktadır (Pereira vd., 2022). Pareto temelli yöntemler özellikle kent planlaması, mühendislik tasarımı, lojistik optimizasyon, yer belirleme problemleri, enerji sistemleri, veri bilimi ve operasyon araştırması gibi alanlarda yaygın şekilde kullanılmaktadır. Çünkü bu alanlarda farklı paydaşların öncelikleri sık sık çatışmakta, performans ölçütleri arasında belirgin ödünleşmeler bulunmakta ve doğrusal bir hedef sıralaması yapmak çoğu zaman mümkün olmamaktadır (Guo ve Zhang, 2022). Bu nedenle pareto analizi, çok amaçlı problemlerde karar vericileri tek bir çözüme zorlamak yerine, optimal çözümler kümesini göstererek seçim özgürlüğü sunan, matematiksel olarak sağlam ve pratikte yüksek uygulama değerine sahip bir yaklaşımdır.

BEŞİNCİ BÖLÜM

SÜRDÜRÜLEBİLİR KENT LOJİSTİĞİNDE PAYLAŞIMLI BİSİKLET SİSTEMİ İSTASYONU YER SEÇİMİ İÇİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME VE OPTİMİZASYONA DAYALI HİBRİT BİR YAKLAŞIM

Bu bölümde; Paylaşımlı Bisiklet Sistemi (PBS) istasyonu yer seçimi için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemi ile maksimum kapsama modelini entegre eden bir çerçeve sunulmuş ve Kayseri ili üzerinde uygulanmıştır.

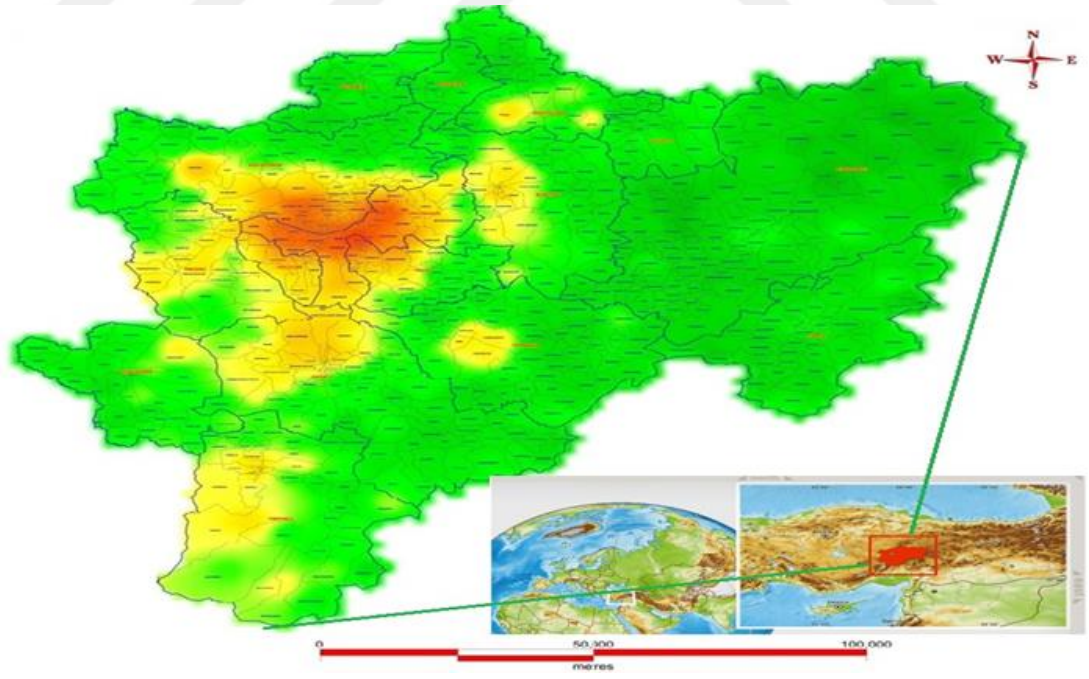
5.1. Çalışma Alanı

Kayseri konumu, nüfusu, sanayi ve tarım potansiyeli açısından Türkiye'nin en önemli kentlerinden biridir. Türkiye'nin nüfus bakımından 14. yüzölçümü açısından ise 8. büyük kenti konumundadır (Elmacıoğlu ve Seçme, 2023). Kentin yüzölçümü 16.970 km²'dir.

Kent aynı zamanda güçlü bir ulaşım altyapısına sahiptir. Kara yolu, demir yolu ve hava yolu bağlantıları sayesinde Türkiye'nin farklı bölgelerine erişim kolaylığı sunmaktadır. Kayseri Erkilet Havalimanı, iç hatların yanı sıra uluslararası uçuşlara da hizmet vermektedir. Demir yolu hattı ile Ankara, Sivas ve Adana gibi illere doğrudan bağlantı sağlanırken kara yolu ağı sayesinde hem kuzey-güney hem de doğu-batı yönlü ticaret akışı desteklenmektedir. 2024 yılı itibarıyla kentin toplam nüfusu 1.452.458 kişidir. Bu yapısıyla Kayseri, demografik ve coğrafi açıdan bölgesel kalkınmada stratejik bir yere sahiptir (Kayseri Valiliği, 2024). Kayseri, sahip olduğu geniş ulaşım ağı, yoğun kent içi hareketliliği ve genç nüfus oranı ile mikro-hareketlilik çözümlerine uygun bir potansiyele sahiptir. Bu doğrultuda, 2022 yılında Kayseri Büyükşehir Belediyesi tarafından hazırlanan İklim Değişikliği Azaltım ve Uyum Eylem Planı, "Yeşil ve Akıllı Kent Ulaşımı" başlığı altında kentin ulaşım kaynaklı sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik somut stratejiler ortaya koymuştur. Planın Amaç 4.2 – Güvenli Yaya Ulaşımının

Özendirilmesi kapsamında yer alan “Bisiklet kullanımının teşviki ve bisiklet yollarının geliştirilmesi” eylemi, mikro-hareketlilik yaygınlaştırılmasını hedeflemektedir. Bu eylemle, 2035 yılına kadar kent içi yolculukların %10’unun, 2053 yılına kadar ise %30’unun yaya veya mikro-hareketlilik türlerine dönüşmesi amaçlanmaktadır (Özdemir ve Demirel, 2024). Ayrıca, Amaç 4.1 – Toplu Taşımada Yaygınlaşma stratejisiyle raylı sistemlerin genişletilmesi ve aktarma merkezlerinde entegrasyonun güçlendirilmesi, düşük emisyonlu ulaşım biçimlerinin desteklenmesine katkı sağlamaktadır (Kayseri Büyükşehir Belediyesi, 2023). Bu bağlamda PBS altyapısının geliştirilmesi ve stratejik yerlere yeni istasyonların eklenmesi hem toplu taşımayla entegrasyonu kolaylaştıracak hem de ulaşım kaynaklı karbon salımlarının azaltılmasına destek olacaktır. Dolayısıyla PBS sisteminin planlanan ulaşım politikalarıyla uyumlu biçimde genişletilmesi, Kayseri’nin 2053 yılına kadar sera gazı emisyonlarını en az %77 oranında azaltma hedefiyle doğrudan ilişkilidir. Bu bütüncül yaklaşım, ilin çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasına ve kentsel yaşam kalitesinin artırılmasına önemli katkılar sunmaktadır. Şekil 5.1’de kentin haritası sunulmaktadır.

Şekil 5.1. *Kayseri haritası*



5.2. Kriter Setinin Belirlenmesi

Kayseri Büyükşehir Belediyesi iştiraklerinden biri olan Kayseri Ulaşım A.Ş. bünyesinde görev yapan uzman görüşleri ile literatürdeki çalışmalar sentezlenerek kapsamlı bir kriter

seti oluşturulmuştur. Bu doğrultuda belirlenen kriterler, kent ulaşım sistemlerinin sürdürülebilirliğini sağlamaya yönelik stratejik hedeflerle uyumlu olarak PBS istasyonu yer seçimini en uygun şekilde gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır. Ulaşım altyapısının etkinliği, erişilebilirlik, çevresel etkiler ve kullanıcı güvenliği gibi çeşitli boyutları dikkate alan 17 adet kriter belirlenmiştir ve tezde kullanılan bu kriterler Tablo 5.1'de sunulmuştur.

Tablo 5.1. *Kriter seti ve literatür ile ilişkileri*

Kriter Kodu	**Kriter Tanımı**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**⊕**
N1	Otobüs duraklarına yakınlık	Δ	Δ	Δ					Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		Δ
N2	Tramvay duraklarına yakınlık			Δ	Δ		Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		Δ
N3	Mevcut istasyonlara yakınlık							Δ					Δ		Δ
N4	Önemli kavşaklara yakınlık							Δ							Δ
N5	Üniversite ve Liselere yakınlık	Δ	Δ	Δ		Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		Δ	Δ	Δ	Δ
N6	Öğrenci yurtlarına yakınlık									Δ					Δ
N7	Kütüphanelere yakınlık														Δ
N8	Hastanelere yakınlık											Δ			Δ
N9	Belediyelere yakınlık											Δ			Δ
N10	Genç nüfus miktarı					Δ									Δ
N11	Yeşil alanlara yakınlık		Δ				Δ		Δ	Δ		Δ	Δ		Δ
N12	Tarihi ve Turistik alanlara yakınlık			Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
N13	Sinema/Tiyatrolara yakınlık														Δ
N14	Alışveriş merkezlerine yakınlık					Δ	Δ		Δ				Δ	Δ	Δ
N15	Restoranlara yakınlık		Δ											Δ	Δ
N16	Bisiklet yollarına yakınlık		Δ			Δ	Δ	Δ			Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
N17	Gerçekleşen trafik kazası sayısı														Δ

Δ: Kaynak: [1] Leigh vd., (2009), [2] Wuerzer vd., (2012), [3] Croci ve Rossi (2014), [4] Frade ve Riberio (2015), [5] Çetinkaya 2017, [6] Kabak vd., (2018), [7] Jahanshahi vd., (2019), [8] Guler ve Yomralıoğlu (2020), [9] Alkılınç vd., (2021), [10] Bahadori vd., (2022), [11] Eren ve Katanalp (2022), [12] Ekundayo (2023), [13] Hagwall (2023), [⊕] Mevcut çalışma

Tablo 5.1'de sunulan bu kriterler, PBS'nin kent genelindeki yayılımında maksimum faydanın sağlanması, kullanıcı talebinin karşılanması ve çevreci ulaşım türlerinin teşvik edilmesi açısından temel değerlendirme ölçütlerini oluşturmaktadır.

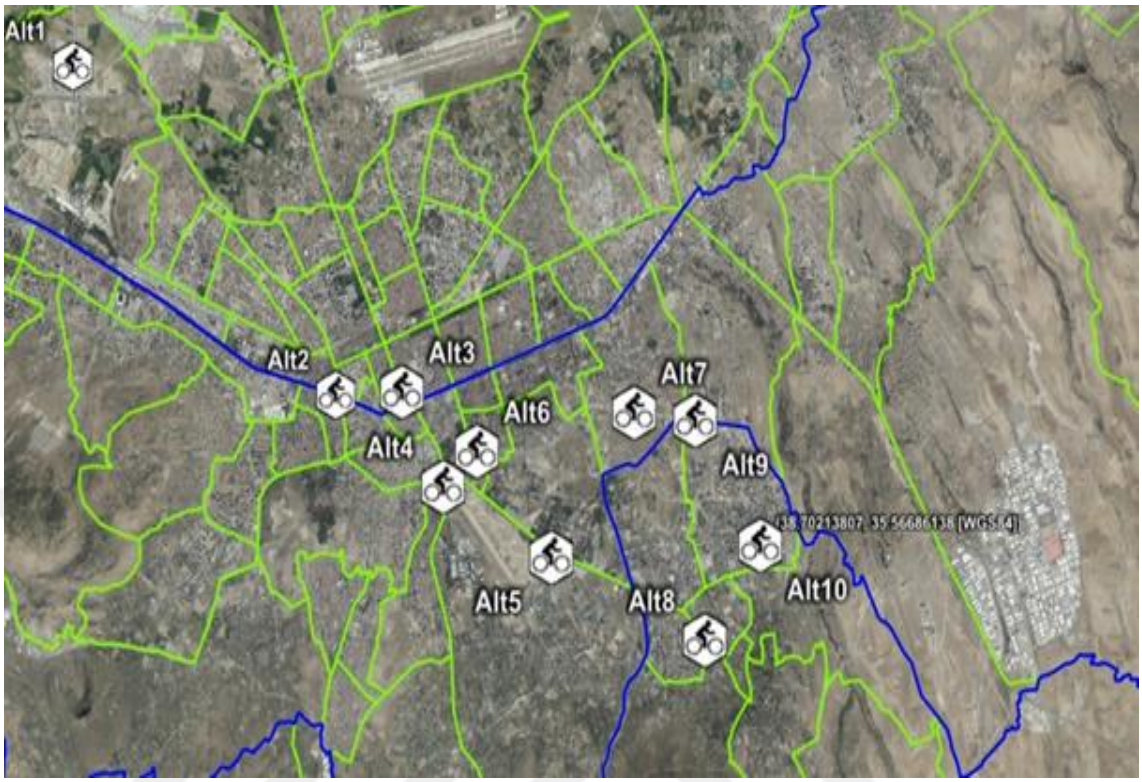
5.3. Alternatif İstasyon Yerlerinin Belirlenmesi

Kayseri'de PBS kapsamında kurulması planlanan istasyonların yerlerinin belirlenmesi süreci kapsamlı bir analiz, mekânsal değerlendirme teknikleri ve disiplinler arası iş birliği çerçevesinde yürütülmüştür. Bu süreçte yalnızca mevcut ulaşım ihtiyaçlarının karşılanması değil aynı zamanda kentin uzun vadeli sürdürülebilir ulaşım stratejileri ile uyum sağlanması da hedeflenmiştir. Alternatif noktaların belirlenmesi amacıyla Kayseri Ulaşım A.Ş. bünyesinde görev yapan ulaşım planlama uzmanları, kent planlamacıları ve mühendislerle bir dizi teknik değerlendirme toplantısı gerçekleştirilmiş ve bu toplantılar, saha gözlemleri, CBS verileri ve istatistiksel analizlerle desteklenmiştir.

Belirleme aşamasında geliştirilen yöntem, mekânsal karar verme sürecini daha etkin, objektif ve rasyonel hale getirmek üzere tasarlanmıştır. Kent genelinde yaya ve araç trafiğinin yoğun olduğu bölgeler, toplu taşıma aktarma merkezleri, üniversite kampüsleri, ortaöğretim kurumları, büyük ölçekli sağlık tesisleri, yeşil alanlar, alışveriş merkezleri, turistik çekim noktaları ve kültürel etkinlik alanları stratejik öncelikli kriterler olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca mevcut bisiklet yolu ağı, planlanan bisiklet yolu projeleri ve genç nüfusun yoğun olarak yaşadığı bölgeler dikkate alınarak erişilebilirliğin artırılması, sistemin kullanım oranlarının yükseltilmesi ve hizmet alanının dengeli bir şekilde yaygınlaştırılması hedeflenmiştir.

Bu bağlamda belirlenen alternatif istasyonlar, kentin mevcut ulaşım altyapısını tamamlayacak şekilde konumlandırılmıştır. Stratejik olarak seçilen bu noktalar hem kullanıcı deneyimini iyileştirecek hem de sistemin finansal ve operasyonel verimliliğini artıracak potansiyele sahiptir. Seçilen alternatif yerler, mevcut talep noktalarını karşılayabilecek ulaşım merkezlerine yakınlıklarıyla ve kapsama alanı içindeki kullanıcı potansiyeliyle değerlendirilmeye uygun görülmüştür. Çalışmanın bu aşamasında elde edilen konum bilgileri, coğrafi koordinatlar ve mekânsal dağılım verileri, CBS ortamında işlenerek görselleştirilmiştir ve alternatif istasyonların kent genelindeki dağılımı, Şekil 5.2'de harita üzerinde sunulmuştur.

Şekil 5.2. *Alternatif PBS istasyonları*



Analiz kapsamında önerilen alternatif istasyonların koordinat bilgileri Tablo 5.2'de sunulmuştur.

Tablo 5.2. *Alternatif PBS istasyonlarının koordinatları*

Alternatif Kodu	Alternatif İsmi	Koordinat
Alt1	Şehir Hastanesi	38.76994400, 35.41218300
Alt2	Koçak	38.72322381, 35.47170854
Alt3	Medrese	38.72366339, 35.48663460
Alt4	Esenyurt	38.71023000, 35.49592000
Alt5	Millet Bahçesi	38.70028100, 35.52025900
Alt6	Gültepe	38.71525551, 35.50350298
Alt7	Hulusi Akar	38.72074800, 35.53887800
Alt8	Cemil Baba	38.68877474, 35.55454425
Alt9	15 Temmuz	38.71966258, 35.55253699
Alt10	Mevlana	38.70213807, 35.56686138

5.4. Uygulama

Bu bölümde; PBS istasyonu yer seçimine yönelik geliştirilen karar modelinin uygulama süreci detaylandırılmıştır.

5.4.1. IDOCRIW Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Bu bölümde; PBS istasyonu yer seçimine yönelik sürdürülebilirlik perspektifiyle dikkate alınan performans kriter ağırlıkları, IDOCRIW yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Alternatifler ile kriterleri içeren başlangıç karar matrisi Tablo 5.3'te sunulmuştur.

Tablo 5.3. *Başlangıç karar matrisi (Citysurf-Kayseri)*

Kriter/ Alternatif	**N1**	**N2**	**N3**	**N4**	**N5**	**N6**	**N7**	**N8**	**N9**
Alt1	110	140	1800	480	1700	600	1450	45	8000
Alt2	35	20	507	45	180	300	900	670	1110
Alt3	130	220	120	120	55	90	380	360	250
Alt4	110	1600	880	170	210	250	700	350	1220
Alt5	75	600	550	110	370	1110	920	550	2495
Alt6	135	1100	620	290	430	1300	480	375	745
Alt7	60	20	915	880	235	890	1380	1255	3055
Alt8	130	40	860	600	520	290	950	890	780
Alt9	100	80	860	555	450	710	715	750	2965
Alt10	120	40	470	150	580	490	1500	300	1750

Kriter/ Alternatif	**N10**	**N11**	**N12**	**N13**	**N14**	**N15**	**N16**	**N17**
Alt1	632	1335	1340	2005	1040	125	7040	128
Alt2	1666	25	1010	2180	1200	300	30	14
Alt3	1040	140	20	910	250	50	65	49
Alt4	3451	180	560	1415	1420	25	35	28
Alt5	2009	30	690	3240	2660	770	304	34
Alt6	1692	485	415	1045	1030	130	260	15
Alt7	4177	245	1595	1685	1120	470	200	61
Alt8	835	320	280	5265	4555	60	1500	7
Alt9	14150	685	2545	2900	2510	900	680	72
Alt10	14148	555	1235	4484	4240	180	1590	70

Denklem (4.2) aracılığıyla hesaplanan Entropi yöntemine ait normalize edilmiş karar matrisi Tablo 5.4'te sunulmuştur.

Tablo 5.4. *Entropi yöntemine ilişkin normalize edilmiş karar matrisi*

Kriter/Alternatif	**N1**	**N2**	**N3**	**N4**	**N5**	**N6**	**N7**	**N8**	**N9**
Alt1	0,11	0,04	0,24	0,14	0,36	0,10	0,15	0,01	0,36
Alt2	0,03	0,01	0,07	0,01	0,04	0,05	0,10	0,12	0,05
Alt3	0,13	0,06	0,02	0,04	0,01	0,01	0,04	0,06	0,01
Alt4	0,11	0,41	0,12	0,05	0,04	0,04	0,07	0,06	0,05
Alt5	0,07	0,16	0,07	0,03	0,08	0,18	0,10	0,10	0,11
Alt6	0,13	0,28	0,08	0,09	0,09	0,22	0,05	0,07	0,03
Alt7	0,06	0,01	0,12	0,26	0,05	0,15	0,15	0,23	0,14
Alt8	0,13	0,01	0,11	0,18	0,11	0,05	0,10	0,16	0,03
Alt9	0,10	0,02	0,11	0,16	0,10	0,12	0,08	0,14	0,13
Alt10	0,12	0,01	0,06	0,04	0,12	0,08	0,16	0,05	0,08

Kriter/Alternatif	**N10**	**N11**	**N12**	**N13**	**N14**	**N15**	**N16**	**N17**
Alt1	0,01	0,33	0,14	0,08	0,05	0,04	0,60	0,27
Alt2	0,04	0,01	0,10	0,09	0,06	0,10	0,00	0,03
Alt3	0,02	0,04	0,00	0,04	0,01	0,02	0,01	0,10
Alt4	0,08	0,05	0,06	0,06	0,07	0,01	0,00	0,06
Alt5	0,05	0,01	0,07	0,13	0,13	0,26	0,03	0,07
Alt6	0,04	0,12	0,04	0,04	0,05	0,04	0,02	0,03
Alt7	0,10	0,06	0,16	0,07	0,06	0,16	0,02	0,13
Alt8	0,02	0,08	0,03	0,21	0,23	0,02	0,13	0,01
Alt9	0,32	0,17	0,26	0,12	0,13	0,30	0,06	0,15
Alt10	0,32	0,14	0,13	0,18	0,21	0,06	0,14	0,15

Kriterlere ait Entropi değerleri ve bu değerlere dayalı olarak elde edilen ağırlıklar Tablo 5.5'te sunulmuştur.

Tablo 5.5. *Entropi değerleri ve kriter ağırlıkları*

Kriter	**N1**	**N2**	**N3**	**N4**	**N5**	**N6**	**N7**	**N8**	**N9**
E_j	0,98	0,66	0,94	0,87	0,86	0,91	0,96	0,92	0,84
Kriter	**N10**	**N11**	**N12**	**N13**	**N14**	**N15**	**N16**	**N17**	
E_j	0,77	0,82	0,88	0,94	0,90	0,80	0,57	0,89	
Kriter	**N1**	**N2**	**N3**	**N4**	**N5**	**N6**	**N7**	**N8**	**N9**
W_j	0,01	0,14	0,03	0,05	0,06	0,04	0,01	0,03	0,06
Kriter	**N10**	**N11**	**N12**	**N13**	**N14**	**N15**	**N16**	**N17**	
W_j	0,09	0,07	0,05	0,03	0,04	0,08	0,17	0,05	

CILOS fayda yönlü karar matrisi Tablo 5.6'da sunulmuştur.

Tablo 5.6. *CILOS fayda yönlü karar matrisi*

Kriter/Alternatif	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9
Alt1	0,32	0,14	1800	0,09	0,03	0,15	0,26	1,00	0,03
Alt2	1,00	1,00	507	1,00	0,31	0,30	0,42	0,07	0,23
Alt3	0,27	0,09	120	0,38	1,00	1,00	1,00	0,13	1,00
Alt4	0,32	0,01	880	0,26	0,26	0,36	0,54	0,13	0,20
Alt5	0,47	0,03	550	0,41	0,15	0,08	0,41	0,08	0,10
Alt6	0,26	0,02	620	0,16	0,13	0,07	0,79	0,12	0,34
Alt7	0,58	1,00	915	0,05	0,23	0,10	0,28	0,04	0,08
Alt8	0,27	0,50	860	0,08	0,11	0,31	0,40	0,05	0,32
Alt9	0,35	0,25	860	0,08	0,12	0,13	0,53	0,06	0,08
Alt10	0,29	0,50	470	0,30	0,09	0,18	0,25	0,15	0,14

Kriter/ Alternatif	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16	N17
Alt1	632	0,019	0,015	0,454	0,240	0,200	0,004	0,055
Alt2	1666	1,000	0,020	0,417	0,208	0,083	1,000	0,500
Alt3	1040	0,179	1,000	1,000	1,000	0,500	0,462	0,143
Alt4	3451	0,139	0,036	0,643	0,176	1,000	0,857	0,250
Alt5	2009	0,833	0,029	0,281	0,094	0,032	0,099	0,206
Alt6	1692	0,052	0,048	0,871	0,243	0,192	0,115	0,467
Alt7	4177	0,102	0,013	0,540	0,223	0,053	0,150	0,115
Alt8	835	0,078	0,071	0,173	0,055	0,417	0,020	1,000
Alt9	14.150	0,036	0,008	0,314	0,100	0,028	0,044	0,097
Alt10	14.148	0,045	0,016	0,203	0,059	0,139	0,019	0,100

Normalizasyon işleminin ardından yalnızca kriterlerden oluşan bir kare matris elde edilmiştir. Bu kare matris, Denklem (4.10) aracılığıyla P matrisine dönüştürülmüştür. P matrisi üzerinde Microsoft Excel yardımıyla $f_q^T = 0$ denklemine ilişkin çözüm gerçekleştirilmiştir. Excel'de çözücü eklentisi aracılığıyla gerekli tanımlama ve seçimler yapılarak ve "Basit LP" seçilerek çözüm gerçekleştirilmiştir. Elde edilen CILOS ağırlıkları Tablo 5.7'de sunulmuştur.

Tablo 5.7. *CILOS yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları*

Kriter	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9
Ağırlık	0,058	0,072	0,064	0,055	0,056	0,060	0,071	0,055	0,054
Kriter	**N10**	**N11**	**N12**	**N13**	**N14**	**N15**	**N16**	**N17**	
Ağırlık	0,054	0,046	0,046	0,077	0,055	0,057	0,060	0,059	

IDOCRIW ağırlıkları, Denklem (4.13) kullanılarak hesaplanmıştır ve Tablo 5.8'de sunulmuştur.

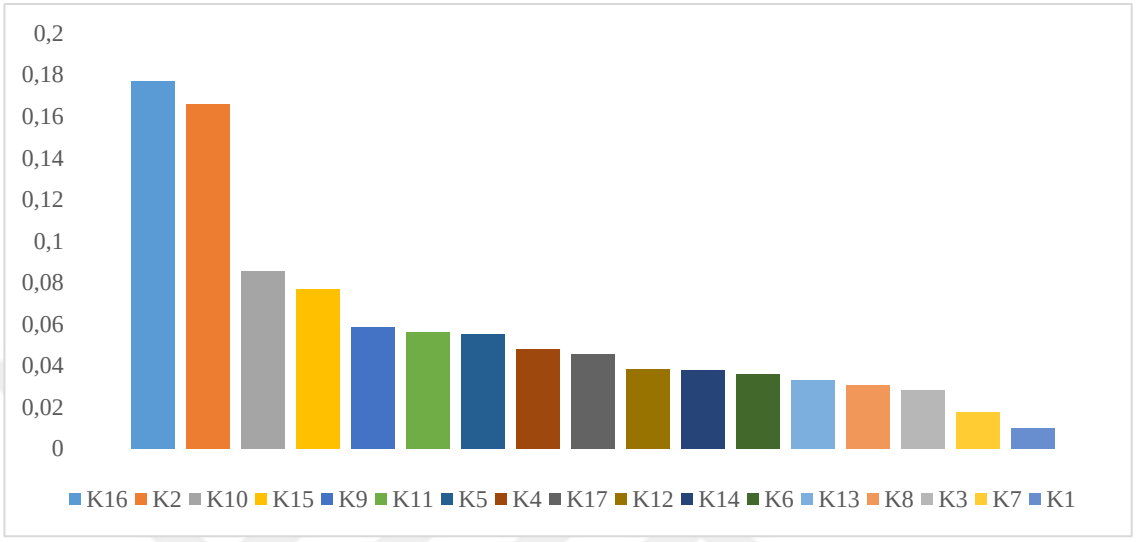
Tablo 5.8. *IDOCRIW yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları*

Kriter	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9
Ağırlık	0,010	0,166	0,028	0,048	0,055	0,036	0,017	0,031	0,059
Kriter	**N10**	**N11**	**N12**	**N13**	**N14**	**N15**	**N16**	**N17**	
Ağırlık	0,085	0,056	0,038	0,033	0,038	0,077	0,177	0,045	

Tablo 5.8'de IDOCRIW yöntemi kullanılarak belirlenen 17 kriterin ağırlıkları gösterilmektedir. Ağırlıklar, kriterlerin göreli önem derecelerini yansıtmakta olup yüksek değerler ilgili kriterin karar verme sürecinde daha belirleyici olduğunu ifade etmektedir.

IDOCRIW yöntemi ile elde edilen sonuçlara göre kriterlerin önem sıralaması Şekil 5.3'te sunulmuştur.

Şekil 5.3. *Kriterlerin önem sıralaması*



Şekil 5.3 tezde kullanılan kriterler arasından PBS istasyonu yer seçiminde hangi kriterlerin daha belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu tez çalışmasında elde edilen kriter ağırlıkları, PBS istasyonu yer seçimine yönelik literatürle büyük ölçüde örtüşmektedir. Özellikle N16 (Bisiklet yoluna yakınlık) kriterinin en yüksek ağırlığa sahip olması hem kuramsal hem de ampirik çalışmalarda vurgulanan bisiklet altyapısının önemini açıkça göstermektedir (Taylor ve Mahmassani 1996; Buck ve Buehler 2012; Faghih-Imani vd. 2014; Fishman vd. 2014; Wang vd. 2015). Pucher (2001), bisiklet altyapısının daha gelişmiş olduğu ülkelerde bisikletin ulaşım türleri içerisindeki payının daha yüksek olduğunu ve bu ülkelerde bisikletle seyahatin daha güvenli koşullarda gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Gårder vd. (1998), taşıt trafiğinden ayrılmış bisiklet yolunun kullanıcılar açısından güvenli sürüş sağladığını, Howard ve Burns (2001) ise bu yolların kullanım oranını önemli ölçüde artırdığını belirtmiştir. Dill ve Voros (2007), bisiklet yolu ile ilgili olumlu algıları, daha fazla bisiklet kullanımı ve daha fazla bisiklet kullanma isteğiyle ilişkilendirmiştir. Hunt ve Abraham (2007), güvenli güzergâhların sürüş güzergâhı seçiminde en etkili faktör olduğunu, Habib vd. (2014) ise bu altyapıların güvenlik ve konfor sağlayarak kullanıcı memnuniyetini doğrudan etkilediğini belirtmiştir. Kabak vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada da bisiklet yoluna yakınlık kriteri yüksek bir öncelik değeri ile tüm kriterler arasında ilk sırada yer almıştır. Güler ve Yomralıoğlu (2021), altyapıların sürekliliği sağlandığında

kullanıcı adaptasyonunun arttığını ve bisiklet kullanımını desteklediğini vurgulamıştır. Bahadori vd. (2022), çalışmalarında ele aldıkları kriterler arasında bisiklet yoluna yakınlığı ilk sıralarda göstermiştir.

Diğer taraftan N2 (Tramvay durağına yakınlık) kriteri, PBS'nin kent içi ulaşım ağlarıyla entegrasyonu açısından önemli bir role sahiptir. PBS'nin, tramvay gibi diğer toplu taşıma modlarıyla entegre edilmesi, kullanıcıların ulaşım süresini kısaltmakta ve sistemin tercih edilebilirliğini artırmaktadır. Bu durum ulaşım planlamasında çok modlu entegrasyon yönteminin önemini bir kez daha ortaya koymaktadır. Shaheen (2012), ABD ve Kanada'da PBS'nin toplu taşıma bağlantılarını güçlendirdiğini raporlamıştır. Yang vd. (2015), Nanjing banliyölerindeki yolcuların %62,8'inin metroya erişmek için PBS kullanmaya yöneleceği sonucuna ulaşmıştır. Bahadori vd. (2022), metro ve tren istasyonlarına yakınlığı önemli kriterler arasında sıralamıştır. Cheng ve Wei (2020) görüşme gerçekleştirdiği karar vericilerin yer seçiminde en çok önem verdiği kriterlerin metro ve otobüs duraklarına yakınlık olduğunu, Eren ve Katanalp (2022) PBS'nin metro ve demiryolu gibi sistemlerle bütünleşik şekilde tasarlanması gerektiğini vurgulamıştır.

N10 (Genç nüfus) kriteri demografik özelliklerin PBS kullanımına etkisini ortaya koymaktadır (Kabak vd. 2018; Bahadori vd. 2022; Cheng ve Wei 2020). Yapılan çalışmalar PBS kullanıcılarının yaş profillerinin ağırlıklı olarak genç bireylerden oluştuğunu göstermektedir (Fuller vd. 2011). Buck vd. (2013), Washington' da faaliyet gösteren Capital Bikeshare sistemini kullanan kısa süreli kullanıcılar ile yıllık üyelerin demografik özelliklerini bölgedeki genel bisikletçi profilleriyle karşılaştırarak kapsamlı bir kullanıcı profili ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, kullanıcıların daha genç bireylerden oluştuğunu ortaya koymuştur. Simons vd. (2013) 17–18 yaş aralığındaki bireylerin düşük maliyet, kolay erişim ve kısa seyahat süreleri nedeniyle PBS kullanımına daha eğilimli olduklarını ifade etmiştir. Wang vd. (2018), en yüksek bisiklet kullanım oranının 28–37 yaş grubunda olduğu sonucuna ulaşmıştır. Bu bulgular tezde genç nüfusun yüksek öncelikli kriter olmasını güçlü biçimde desteklemektedir.

Sonuç olarak IDOCRIW yöntemiyle elde edilen bu ağırlıklandırma sonuçları, PBS istasyonu yer seçimi sürecinin bilimsel temellere dayalı, sürdürülebilir ve kullanıcı odaklı bir şekilde yürütülmesine olanak sağlamıştır ve tezde elde edilen kriter ağırlıkları hem mekânsal hem de demografik faktörler açısından literatürle örtüşmektedir. Çeşitli

ülkelerden ve farklı kent yapılarından elde edilen ampirik bulgular çalışma sonuçlarını evrensel ilkelere dayandırmakta ve modelin güvenilirliğini artırmaktadır.

5.4.2. CoCoSo Yöntemi ile Alternatiflerin Sıralanması

CoCoSo yönteminin ilk adımı karar matrisinin normalizasyonu Denklem (4.16-4.17)'de açıklanan işlemler doğrultusunda gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar Tablo 5.9'da sunulmuştur.

Tablo 5.9. *CoCoSo yöntemine ilişkin normalize edilmiş karar matrisi*

Kriter/ Alternatif	**N1**	**N2**	**N3**	**N4**	**N5**	**N6**	**N7**	**N8**	**N9**
Alt1	0,25	0,92	1,00	0,48	0,00	0,58	0,04	1,00	0,00
Alt2	1,00	1,00	0,23	1,00	0,92	0,83	0,54	0,48	0,89
Alt3	0,05	0,87	0,00	0,91	1,00	1,00	1,00	0,74	1,00
Alt4	0,25	0,00	0,45	0,85	0,91	0,87	0,71	0,75	0,87
Alt5	0,60	0,63	0,26	0,92	0,81	0,16	0,52	0,58	0,71
Alt6	0,00	0,32	0,30	0,71	0,77	0,00	0,91	0,73	0,94
Alt7	0,75	1,00	0,47	0,00	0,89	0,34	0,11	0,00	0,64
Alt8	0,05	0,99	0,44	0,34	0,72	0,83	0,49	0,30	0,93
Alt9	0,35	0,96	0,44	0,39	0,76	0,49	0,70	0,42	0,65
Alt10	0,15	0,99	0,21	0,87	0,68	0,67	0,00	0,79	0,81
Kriter/ Alternatif	**N10**	**N11**	**N12**	**N13**	**N14**	**N15**	**N16**	**N17**	
Alt1	0,00	0,00	0,48	0,75	0,82	0,89	0,00	0,00	
Alt2	0,08	1,00	0,61	0,71	0,78	0,69	1,00	0,94	
Alt3	0,03	0,91	1,00	1,00	1,00	0,97	1,00	0,65	
Alt4	0,21	0,88	0,79	0,88	0,73	1,00	1,00	0,83	
Alt5	0,10	1,00	0,73	0,46	0,44	0,15	0,96	0,78	
Alt6	0,08	0,65	0,84	0,97	0,82	0,88	0,97	0,93	
Alt7	0,26	0,83	0,38	0,82	0,80	0,49	0,98	0,55	
Alt8	0,02	0,77	0,90	0,00	0,00	0,96	0,79	1,00	
Alt9	1,00	0,50	0,00	0,54	0,48	0,00	0,91	0,46	
Alt10	1,00	0,60	0,52	0,18	0,07	0,82	0,78	0,48	

CoCoSo yöntemine göre elde edilen alternatiflerin performans puanları Tablo 5.10'da sunulmuştur.

Tablo 5.10. *CoCoSo yöntemi sonuçları*

Alternatif	S_i	P_i	k_{ia}	k_{ib}	k_{ic}	k_i
Alt1	0,439	10,58	0,071	2,000	0,634	0,932
Alt2	0,744	16,61	0,112	3,263	0,998	1,580
Alt3	0,773	15,61	0,106	3,235	0,943	1,536
Alt4	0,695	15,68	0,106	3,063	0,942	1,472
Alt5	0,567	16,34	0,110	2,835	0,973	1,407
Alt6	0,636	14,61	0,099	2,828	0,877	1,350
Alt7	0,554	14,49	0,098	2,631	0,866	1,272
Alt8	0,552	14,35	0,097	2,612	0,857	1,261
Alt9	0,546	14,55	0,098	2,616	0,869	1,268
Alt10	0,552	15,42	0,104	2,713	0,919	1,331

IDOCRIW yöntemi ile gerçekleştirilen analiz sonucunda, istasyonu yer seçiminde kullanılacak 17 kriterin önem ağırlıkları belirlenmiştir (Tablo 5.6). Elde edilen sonuçlar karar verme sürecinde hangi kriterlerin daha belirleyici bir rol üstlendiğini ortaya

koymaktadır. Kriter ağırlıklarının dağılımı Şekil 5.1'de sunulmuş olup bu görsel dağılım karar vericilere, hangi faktörlerin öncelikli olarak dikkate alınması gerektiğine dair net bir bakış sağlamaktadır.

Belirlenen bu kriter ağırlıkları, CoCoSo yöntemi ile alternatif istasyonların performans sıralamasının yapılmasında kullanılmıştır. CoCoSo yönteminde hesaplanan k_i değeri, alternatiflerin tüm kriterler dikkate alınarak elde edilen nihai performans değerini ifade etmektedir. Analiz bulgularına göre Alt2 ve Alt3 tüm alternatifler arasında en yüksek bileşik performans değerine sahiptir. Bu durum, Alt2 ve Alt 3'ün hem yüksek öneme sahip kriterlerde güçlü performans gösterdiğini hem de diğer alternatiflere kıyasla bütüncül olarak en avantajlı konumda yer aldığını ortaya koymaktadır. Alt2 ve Alt3'ün üst sıralarda yer almasının temel nedeni, yüksek ağırlık değerine sahip erişilebilirlik, toplu taşıma entegrasyonu, bisiklet altyapısına yakınlık ve güvenlik gibi kriterlerde belirgin üstünlükler göstermeleridir. Alt2, özellikle otobüs ve tramvay duraklarına olan kısa mesafesi, önemli kavşaklara ve bisiklet yoluna yakınlığı ve en düşük kaza sayılarına sahip yerlerden biri olması ile öne çıkmaktadır. Bu nitelikler toplu taşıma ile ilk ve son adım bağlantısını kolaylaştırmakta, güvenli kullanım imkânı sağlamakta ve istasyonun talebini artırmaktadır. Alt3 ise daha dengeli bir erişim profiline sahiptir. Önemli kavşaklar, belediye binaları, hastaneler, kütüphaneler ve yurtlar gibi pek çok çekim noktasına eş zamanlı olarak yakın konumlanması ile üniversite ve liselere erişimde çok iyi değerler göstermesiyle dikkat çekmektedir. Tarihi alanlar, AVM'ler, restoranlar, sinema/tiyatrolara yakınlığı, bisiklet yoluna erişimi ve genç nüfusun yüksek olduğu bölgelerde yer alması, Alt3'ün hem çeşitlilik hem de talep yoğunluğu açısından avantajlı bir konuma gelmesini sağlamaktadır.

Buna karşılık Alt8 ve Alt1 tüm alternatifler içerisinde en düşük performans değerlerini elde etmiştir. Bu düşük skorlar, söz konusu istasyon lokasyonlarının özellikle yüksek öneme sahip kriterlerde yeterli düzeyde performans sergileyemediğini ve bu nedenle yatırım önceliği açısından alt sıralarda yer alması gerektiğini göstermektedir. Alt8 her ne kadar güvenlik kriterinde veri setinin en iyi değerine sahip olsa da kültürel ve ticari çekim merkezlerine son derece uzak olması, bisiklet yoluna erişimde zayıf performans sergilemesi ve kamusal odak noktalarına olan mesafelerinin görece yüksek olması faktörleri alternatifin toplam puanını düşürmektedir. Alt1 ise pek çok kritik kriterde eş zamanlı olarak düşük performans göstermiştir. Önemli kavşaklara, üniversitelere,

belediyelere ve bisiklet yoluna uzaklığı son derece yüksektir ve genç nüfus oranı düşük, kaza sayısı ise yüksektir. Her ne kadar hastaneye çok yakın olsa da bu tek avantaj diğer temel kriterlerdeki zayıflıkları telafi etmekte yetersiz kalmış ve Alt1'in sıralamada alt seviyelerde kalmasına neden olmuştur.

Bu bulgular, IDOCRIW yöntemiyle elde edilen nesnel kriter ağırlıkları ile CoCoSo yöntemiyle hesaplanan alternatiflerin performans değerleri entegrasyonunun istasyonu yer seçimi sürecinde nesnelliği ve tutarlılığı artırdığını ortaya koymaktadır. Böyle bir bütünleşik yaklaşım, karar vericilerin yalnızca kriterlerin göreli önemine değil aynı zamanda her bir alternatif istasyonun bu kriterler karşısındaki performansına dayalı olarak karar vermesini mümkün kılmaktadır.

5.4.3. Karşılaştırmalı Analiz

Bu bölümde; CoCoSo yöntemiyle elde edilen bulguların geçerliliğini ve güvenirliliğini değerlendirmek amacıyla dört farklı ÇKKV yöntemi ile karşılaştırmalı analiz gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda literatürde yaygın olarak kullanılan TOPSIS, ARAS, COPRAS ve VIKOR yöntemleri uygulanarak alternatif istasyonların performans sıralamaları belirlenmiştir.

TOPSIS yöntemine göre elde edilen ideal ayırım (D_i^+), negatif ideal ayırım (D_i^-) ve ideal çözüme göreli yakınlık (C_i) değerleri Tablo 5.11'de sunulmuştur.

Tablo 5.11. *TOPSIS yöntemi sonuçları*

Alternatif	D_i^+	D_i^-	C_i
Alt1	0,113	0,093	0,451
Alt2	0,054	0,130	0,708
Alt3	0,057	0,137	0,706
Alt4	0,069	0,121	0,636
Alt5	0,074	0,107	0,591
Alt6	0,071	0,116	0,619
Alt7	0,075	0,112	0,597
Alt8	0,077	0,115	0,601
Alt9	0,076	0,105	0,582
Alt10	0,071	0,111	0,611

TOPSIS yöntemi sonuçlarına göre, en yüksek göreli yakınlık katsayısına (C_i) sahip alternatif Alt2 (0,708) olup, en uygun seçenek olarak belirlenmiştir. Bunu Alt3 (0,706) ve Alt4 (0,636) izlemektedir. Bu sonuç, Alt2 ve Alt3'ün ideal çözüme en yakın alternatifler olduğunu, dolayısıyla değerlendirme kriterleri açısından en yüksek performansı sergilediklerini göstermektedir.

ARAS yöntemine göre elde edilen optimallik fonksiyon değeri (S_i), fayda değeri (K_i) ve $\%K_i$ değerleri Tablo 5.12'de sunulmuştur.

Tablo 5.12. *ARAS yöntemi sonuçları*

Alternatif	S_i	K_i	$\%K_i$
Optimal	0,256		
Alt1	0,061	0,237	%23,71
Alt2	0,114	0,443	%44,32
Alt3	0,144	0,560	%56,01
Alt4	0,086	0,336	%33,61
Alt5	0,051	0,200	%20
Alt6	0,060	0,236	%23,55
Alt7	0,061	0,239	%23,88
Alt8	0,064	0,248	%24,82
Alt9	0,050	0,195	%19,52
Alt10	0,053	0,207	%0,74

ARAS yöntemi sonuçlarına göre, en yüksek fayda katsayısına (K_i) sahip alternatif Alt3 (0,560) olup en uygun seçenek olarak belirlenmiştir. Bunu Alt2 (0,443) ve Alt4 (0,336) alternatifleri izlemektedir. Bu sonuç, Alt3'ün ideal çözüme en yakın ve değerlendirme kriterleri açısından en yüksek performansa sahip alternatif olduğunu göstermektedir.

COPRAS yöntemine göre elde edilen önem değeri (Q_i) ve performans endeksi (P_i) değerleri Tablo 5.13'te sunulmuştur.

Tablo 5.13. *COPRAS yöntemi sonuçları*

Alternatif	Q_i	P_i
Alt1	0,058	30,946
Alt2	0,164	87,016
Alt3	0,188	100
Alt4	0,070	37,369
Alt5	0,070	36,928
Alt6	0,069	36,703
Alt7	0,093	49,209
Alt8	0,091	48,401
Alt9	0,093	49,448
Alt10	0,103	54,821

COPRAS yöntemi sonuçlarına göre, en yüksek göreli öncelik değerine sahip alternatif Alt3 (100) olup en uygun alternatif olarak belirlenmiştir. Bunu Alt2 (87,016) ve Alt10 (54,821) izlemektedir.

VIKOR yöntemine göre elde edilen pozitif ideal çözüm (S), negatif ideal çözüm (R) ve maksimum grup faydası (Q) değerleri Tablo 5.14'te sunulmuştur.

Tablo 5.14. *VIKOR yöntemi sonuçları*

Alternatif	S	R	Q
Alt1	0,561	0,068	0,839
Alt2	0,256	0,050	0,043
Alt3	0,227	0,064	0,266
Alt4	0,305	0,072	0,521
Alt5	0,433	0,050	0,316
Alt6	0,364	0,060	0,388
Alt7	0,446	0,064	0,584
Alt8	0,448	0,077	0,832
Alt9	0,454	0,057	0,478
Alt10	0,448	0,071	0,730

VIKOR yöntemi sonuçlarına göre, uzlaşık çözüm endeksi en düşük olan Alt2 (0,043) en uygun seçenek olarak belirlenmiştir. Bunu Alt3 (0,266) ve Alt5 (0,316) izlemektedir. Bu sonuç, Alt2'nin S ve R ölçütleri birlikte değerlendirildiğinde en dengeli uzlaşıyı sunduğunu, Alt3 ve Alt5'in ise göreli olarak güçlü alternatifler olduğunu göstermektedir.

Uygulanan karşılaştırmalı analiz yöntemlerinden elde edilen sonuçlar bütüncül olarak değerlendirildiğinde, alternatif istasyonlara ilişkin sıralamaların genel olarak benzer eğilimler sergilediği görülmektedir. Farklı yöntemlerin kullandığı matematiksel yaklaşımlar ve normalize edilmiş değerlendirme ölçütleri değişmekle birlikte, yüksek performans gösteren alternatiflerin büyük ölçüde örtüştüğü tespit edilmiştir. Bu durum kullanılan ÇKKV yöntemlerinin tutarlı ve güvenilir sonuçlar ürettiğini ve istasyon seçimi sürecinde belirlenen kriterlerin kararlılık gösterdiğini ortaya koymaktadır.

5.4.4. BORDA Sayım Yöntemi Sonuçları

CoCoSo yönteminin geçerliliğini değerlendirmek ve karşılaştırmalı analizlerden elde edilen sonuçları bütüncül bir sıralama ile ifade etmek amacıyla Borda Sayım Yöntemi uygulanmış, nihai sıralama sonuçları Tablo 5.15'te sunulmuştur.

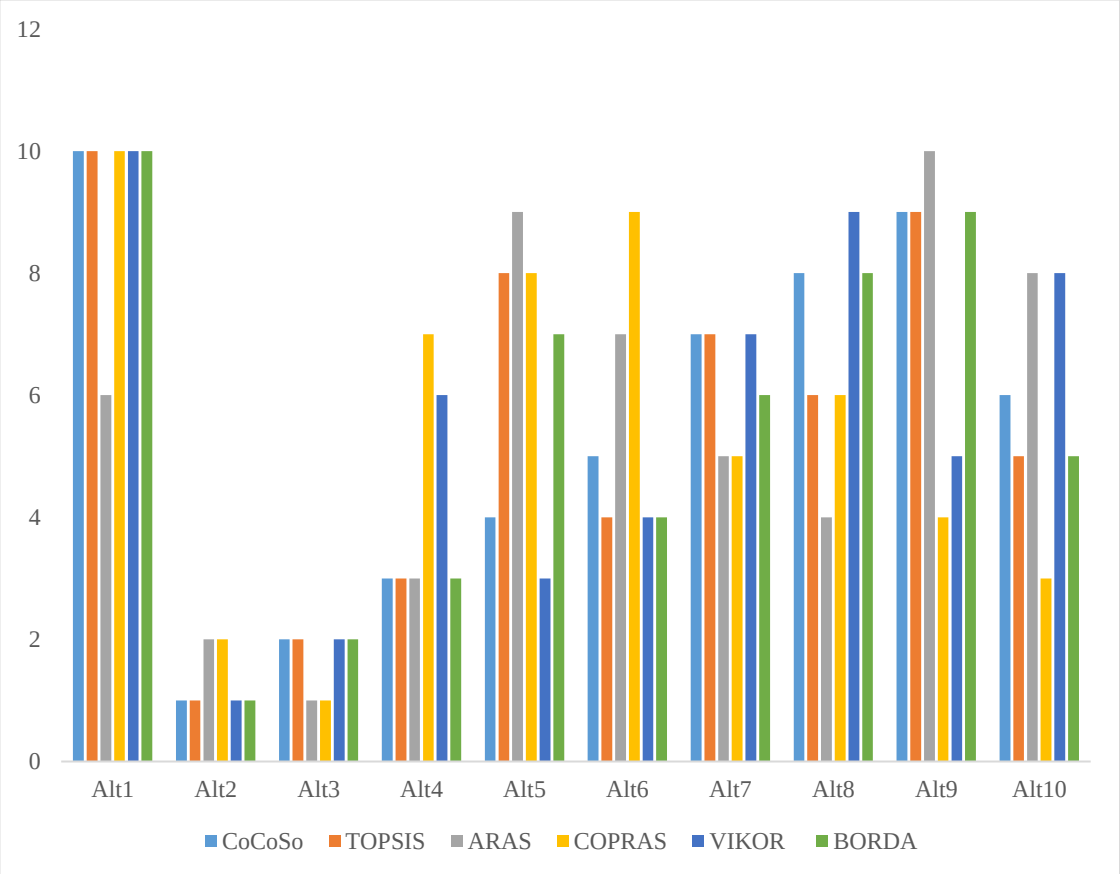
Tablo 5.15. *Borda Sayım Yöntemi sonuçları*

Alternatif	Toplam Puan	Nihai Sıralama
Alt1	4	10
Alt2	43	1
Alt3	42	2
Alt4	28	3
Alt5	18	7
Alt6	21	4
Alt7	19	6
Alt8	16	8
Alt9	14	9
Alt10	20	5

Bu yöntemle her alternatifin çeşitli yöntemlerdeki sıralamaları puanlanarak bir araya getirilmiş ve en yüksek toplam puana sahip alternatif en üst sıraya yerleşmiştir. Böylece

farklı yöntemlerin sonuçları, bütüncül bir yaklaşımla harmanlanarak nihai sıralama elde edilmiştir. Genel sıralama sonuçları Şekil 5.4'te sunulmaktadır. Şekilde yöntemler arasında oluşan sıralama benzerliklerini ve farklılıklarını açık bir biçimde ortaya koyulmaktadır. En önemli bulgulardan biri Alt2 ve Alt3'ün tüm yöntemlerde en iyi sıralama değerini alarak istikrarlı bir şekilde performansı en yüksek lokasyonlar olmasıdır. Bu durum ilgili alternatiflerin değerlendirme kriterleri açısından çok yönlü olarak üstün performans sergilediğini göstermektedir. Alt1 tüm yöntemlerde düşük performans göstererek alt sıralarda konumlanmıştır. Bu uyum farklı yöntemlerin benzer sonuçlar üretmesi açısından metodolojik tutarlılığın yüksek olduğunu göstermektedir.

Şekil 5.4. *Genel sıralama sonuçları*



Borda Sayım Yöntemi ile CoCoSo arasında gözlemlenen yüksek düzeydeki sıralama paralelliği önerilen çerçevenin geçerliliğini güçlendirmekte ve yöntemin karar verme süreçlerinde güvenilir bir araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

5.4.5. Matematiksel Model

Bu tez çalışmasında PBS istasyonu yer seçim problemi, maksimum kapsama modelinin genişletilmesiyle geliştirilmiş ve çok amaçlı optimizasyon yaklaşımıyla zenginleştirilmiştir. Model hem talep noktalarının kapsanmasını hem de alternatif istasyon lokasyonlarının performans değerlerini birlikte dikkate alan bütünleşik bir karar destek mekanizması sunmaktadır. Bu doğrultuda model iki aşamalı bir pareto tabanlı optimizasyon yaklaşımıyla çözülmektedir: ilk aşamada kapsanacak nüfusu maksimize eden temel maksimum kapsama modeli çözülmekte; ikinci aşamada ise bu kapsama düzeyini korurken istasyonların performans değerleri maksimize edilmektedir. Maksimum kapsama modelinde kullanılan parametrelerin ve karar değişkenlerinin açıklamaları Tablo 5.16'da sunulmuştur.

Tablo 5.16. *Notasyonlar*

Semboller	**Tanımlar**
Parametreler	
i	Talep noktaları; ($i \in$ I)
j	Tüm istasyonlar; ($j \in$ J)
k	Mevcut istasyonlar; ($k \in J', J' \subset$ J)
P	Kurulacak istasyon sayısı
w_j	j. istasyonun CoCoSo yöntemi ile hesaplanan performans değeri
a_i	i . talep noktasının nüfusu
s	Maksimum kabul edilebilir hizmet mesafesi
d_{ij}	Talep noktası i ile istasyon j arasındaki mesafe
d_{jk}	İstasyon j ile mevcut istasyon k arasındaki mesafe
d	Mevcut ve aday istasyonlar arasındaki kritik mesafe
N_i	$\{j \in J \mid d_{ij} \leq s\}$: Talep noktası i 'yi kapsayabilecek istasyonların kümesi
Karar Değişkenleri	
z_i	$\begin{cases} 1 \ eğer \ talep \ noktası \ i \ en \ az \ bir \ istasyon \ tarafından \ kapsanıyorsa \\ 0, aksi \ halde \end{cases}$
x_j	$\begin{cases} 1 \ eğer \ j \ istasyonu \ kurulursa \\ 0, aksi \ halde \end{cases}$
Y_{jk}	$\begin{cases} 1, eğer \text{ istasyon j ile mevcut istasyon k arasındaki mesafe } (d_{jk}) \\ kritik \ mesafeden \ (d) \ küçükse \\ 0, aksi \ halde \end{cases}$

PBS istasyonu yer seçimi için önerilen maksimum kapsama modeli aşağıda verilmiştir:

Amaç Fonskiyonu:

$$Max\ Z_1 = \sum_{i \in I} a_i * z_i \tag{5.30}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j \in J/J'} x_j = p \tag{5.31}$$

$$z_i \leq \sum_{j \in N_i} x_j \quad \forall_i \in I \tag{5.32}$$

$$x_j \leq 1 - \sum_{k \in J'} y_{jk}\ , \forall_j \in J \bigcup J' \tag{5.33}$$

$$x_j \in \{0,1\}, \forall_j \in J \bigcup J' \tag{5.34}$$

$$z_i \in \{0,1\}, \forall_i \in I \tag{5.35}$$

$$Y_{jk} \in \{0,1\}, \forall_j \in J \bigcup J', \forall_k \in J' \tag{5.36}$$

Modelin ilk aşamasında, Denklem (5.30)'da yer alan amaç fonksiyonu, kurulacak belirli sayıdaki istasyonun en yüksek toplam nüfusa ulaşmasını hedeflemektedir. Başka bir ifadeyle, Denklem (5.30) doğrudan nüfus ağırlıklı kapsama değerini maksimize ederek sistemin temel hizmet seviyesini belirlemektedir. Modelde yer alan temel kısıtlardan biri olan Denklem (5.31), açılmasına izin verilen istasyon sayısını kontrol etmektedir. Bu kısıt, bütçe ve yatırım planlaması gereği en fazla belirli sayıda (p adet) istasyonun seçilebileceğini tanımlamakta ve modelin karar uzayını mevcut kaynaklarla uyumlu hâle

getirmektedir. Denklem (5.32) ise kapsama ilişkisinin mekânsal yapısını belirlemektedir. Bir başka ifade ile bir mahallenin kapsanmış sayılabilmesi için ilgili mesafe eşiği içerisinde (s) en az bir istasyonun bulunması gerektiğini ifade etmektedir. Denklem (5.33), önerilen modelin literatürdeki klasik maksimum kapsama yapısından ayrıldığı noktayı oluşturmaktadır. Bu kısıt, aday bir istasyonun mevcut istasyonlardan birine belirlenen kritik mesafeden daha yakın olması hâlinde açılmasını engellemekte ve kent içi aşırı yığılmayı önleyerek mekânsal çeşitliliği artırmaktadır. Son olarak Denklem (5.34-5.36), modelde kullanılan karar değişkenlerinin ikili yapısını tanımlayarak matematiksel modelin bütünlüğünü sağlamaktadır.

Bu aşamada model GAMS 49.6.1 ile çözülmüş ve tüm kısıtları sağlayan maksimum kapsanan nüfus elde edilmiştir. Erişilen maksimum kapsama değeri Z_1 * = 275.306 olarak bulunmuş ve bu değer ikinci aşamanın pareto kısıtı için referans noktası olarak kabul edilmiştir. Optimum çözümde açılacak istasyonlar kümesi {Alt2, Alt3, Alt6, Alt8, Alt10} olarak belirlenmiş ve bu istasyonlara ait ÇKKV performans değeri 6,7466 olarak hesaplanmıştır. Bu beş istasyon aracılığıyla toplam 18 mahallenin kapsandığı görülmektedir.

Modelin ikinci aşamasında; Denklem (5.37) ile ifade edilen amaç fonksiyonu, ÇKKV yaklaşımıyla elde edilen aday istasyonların performans değerlerinin maksimize edilmesine odaklanmaktadır. Bu amaç fonksiyonu, CoCoSo yöntemiyle hesaplanan istasyon performans değerlerini dikkate alarak yalnızca nüfus odaklı değil aynı zamanda hizmet kalitesi açısından da üstün bir istasyon kombinasyonu seçmeyi hedeflemektedir. Denklem (5.38) ikinci amaç optimize edilirken ilk aşamada elde edilen kapsanan nüfustan belirli bir miktardan fazla ödün verilmesine izin vermemektedir.

Amaç Fonksiyonu:

$$Max\ Z_2 = \sum_{j \in J \setminus J'} w_j * x_j \tag{5.37}$$

Pareto Kısıtı:

$$\sum_{i \in I} a_i z_i \geq Z_1^* (1 - \varepsilon) \tag{5.38}$$

Modelde kapsanacak nüfus alt sınırı için %10 ödün verildiğinde, kapsanacak nüfus için alt sınır değeri 247.775 olarak belirlenmiştir. Model çözüldüğünde gerçekleşen kapsanan nüfus yine 275.306 olmuş ve açılan istasyon kümesi {Alt2, Alt3, Alt6, Alt8, Alt10} olarak sabit kalmıştır. Bu çözümde elde edilen ÇKKV performans değeri de değişmemiştir. Modelde kapsanacak nüfustan %20 ödün verildiğinde, alt sınır değeri 220.244 olarak belirlenmiştir. Bu model çözüldüğünde kapsanan nüfus değeri 225.396'dır. Açılacak istasyon kümesi {Alt2, Alt3, Alt4, Alt7, Alt10} olarak belirlenmiş ve elde edilen ÇKKV performans değeri 6,852 olarak hesaplanmıştır. Modelde kapsanacak nüfus için %30 ödün verildiğinde ise alt sınır değeri 192.714 olarak belirlenmiştir. Kapsanan nüfus ise 217.504 olarak gerçekleşmiştir. Açılacak istasyon kümesine bu aşamada Alt7 yerine Alt5 eklenmiştir ve açılacak istasyon kümesi {Alt2, Alt3, Alt4, Alt5, Alt10} olarak değişmiştir. Elde edilen ÇKKV performans değeri 6,919'a yükselmiştir. Modelde kapsanacak nüfustan %40 ödün verildiğinde ise kapsanacak nüfus için alt sınır 165.183 olarak tanımlanmıştır. Bu model çözüldüğünde kapsanan nüfus değeri 205.066 olmuş ve açılan istasyon kümesi {Alt2, Alt3, Alt4, Alt5, Alt10} olarak bir önceki senaryo ile aynı şekilde belirlenmiştir. Elde edilen ÇKKV performans değeri de yine 6,919 olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 5.17. *Kapsanan nüfusun farklı değerleri için modelin davranışı*

Ödün Değeri	Kapsama Alt Sınırı	Kapsanan Nüfus	Açılan İstasyon Kümesi	Performans Değeri
-	275.306	275.306	Alt2, Alt3, Alt6, Alt8, Alt10	6,7466
%10	247.775	275.306	Alt2, Alt3, Alt6, Alt8, Alt10	6,7466
%20	220.244	225.396	Alt2, Alt3, Alt4, Alt7, Alt10	6,852
%30	192.714	217.504	Alt2, Alt3, Alt4, Alt5, Alt10	6,919
%40	165.183	205.066	Alt2, Alt3, Alt4, Alt5, Alt10	6,919

Modelde kapsanacak nüfus alt sınırı için %10 ödün verildiğinde, kapsanacak nüfus için alt sınır değeri 247.775 olarak belirlenmiştir. Model çözüldüğünde kapsanan nüfus yine 275.306 olmuş ve açılan istasyon kümesi {Alt2, Alt3, Alt6, Alt8, Alt10} olarak sabit kalmıştır. Bu çözümde elde edilen ÇKKV performans değeri de değişmemiştir. Modelde kapsanacak nüfustan %20 ödün verildiğinde, alt sınır değeri 220.244 olarak belirlenmiştir. Bu model çözüldüğünde kapsanan nüfus değeri 225.396'dır. Açılacak istasyon kümesi {Alt2, Alt3, Alt4, Alt7, Alt10} olarak belirlenmiş ve elde edilen ÇKKV performans değeri 6,852 olarak hesaplanmıştır. Modelde kapsanacak nüfus için %30 ödün verildiğinde ise alt sınır değeri 192.714 olarak belirlenmiştir. Kapsanan nüfus ise 217.504 olarak gerçekleşmiştir. Açılacak istasyon kümesine bu aşamada Alt7 yerine Alt5

eklenmiştir ve açılacak istasyon kümesi {Alt2, Alt3, Alt4, Alt5, Alt10} olarak değişmiştir. Elde edilen ÇKKV performans değeri 6,919'a yükselmiştir. Modelde kapsanacak nüfustan %40 ödün verildiğinde ise kapsanacak nüfus için alt sınır 165.183 olarak tanımlanmıştır. Bu model çözüldüğünde kapsanan nüfus değeri 205.066 olmuş ve açılan istasyon kümesi {Alt2, Alt3, Alt4, Alt5, Alt10} olarak bir önceki senaryo ile aynı şekilde belirlenmiştir. Elde edilen ÇKKV performans değeri de yine 6,919 olarak gerçekleşmiştir.

Tezde gerçekleştirilen bir diğer analizde, Denklem (5.39)'da yer alan amaç fonksiyonu, kurulacak istasyonların performans değerlerinin maksimize edilmesi amaçlanmaktadır. Modelde yer alan temel kısıtlardan biri olan Denklem (5.40), açılmasına izin verilen istasyon sayısını belirlemektedir. Bu kısıt, bütçe ve yatırım planlaması gereği en fazla belirli sayıda (p adet) istasyonun seçilebileceğini tanımlamakta ve modelin karar uzayını mevcut kaynaklarla uyumlu hâle getirmektedir. Burada açılacak p adet istasyonun en fazla hizmet kalitesini sunacaklar arasından belirlenmesi amaçlanmaktadır. Denklem (5.41), modelde kullanılan karar değişkenlerinin ikili yapısını tanımlayarak matematiksel modelin bütünlüğünü sağlamaktadır.

Amaç Fonskiyonu:

$$Max\ Z_3 = \sum_{j \in J \setminus J'} w_j * x_j \tag{5.39}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j \in J/J'} x_j = p \tag{5.40}$$

$$x_j \in \{0,1\}, \forall_j \in J \setminus J' \tag{5.41}$$

Bu aşamada model GAMS 49.6.1 ile çözülmüştür. Çözülen model sonucunda Z_3* = 6,9191 değeri elde edilmiş ve bu değer bu analizin ikinci aşamanın pareto kısıtı için referans noktası olarak belirlenmiştir. Modelin bu aşamasında; Denklem (5.42) ile ifade edilen amaç fonksiyonu, kapsanan nüfusun en üst düzeye çıkarılmasını hedeflemektedir.

Denklem (5.43) bu amaç optimize edilirken Z_3 ile elde edilen performans değerinden belirli bir miktardan fazla ödün verilmesine izin vermemektedir.

Amaç Fonksiyonu:

$$Max\ Z_4 = \sum_{i \in I} a_i * z_i \tag{5.42}$$

Pareto Kısıtı:

$$\sum_{j \in J \setminus J'} w_j x_j \geq Z_3^* (1 - \varepsilon) \tag{5.43}$$

Bir başka ifadeyle 5.43 nolu kısıt, pareto kısıtı olarak modele eklenmiş olup alt sınır değiştirilerek modelin davranışı analiz edilmiştir. Yani, öncelikle ÇKKV ile elde edilen açılacak istasyonlara ait performans düzeyinden ödün verilmeden (ε=0) kapsanan nüfusunun artırılması amaçlanmıştır. Bu çözüm sonucunda kapsanan nüfus 217.504 olarak gerçeklemiştir. Açılan istasyon kümesi ise {Alt2, Alt3, Alt4, Alt5 ve Alt10} olarak belirlenmiştir.

Pareto kısıtının sağ taraf değerinin farklı ödün seviyelerinde değerlendirilmesi sonucunda modelin davranışı ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Bu kapsamda ε değeri sırasıyla 0,01, 0,02, 0,03 ve 0,04 olacak şekilde ele alınmıştır. Böylece hizmet kalitesi açısından verilen farklı seviyelerdeki ödünün kapsanan nüfus ile açılan istasyon kümesine olan etkisi değerlendirilmiştir. Bu çerçevede açılacak PBS'lere ilişkin ÇKKV ile elde edilen istasyon performanslarından farklı oranlarda verilecek ödün seviyelerinin optimum çözüme etkisi Tablo 5.18'de sunulmuştur.

Tablo 5.18. *Farklı performans değerleri için modelin davranışı*

Ödün Değeri	Performans Alt Sınırı	Performans Değeri	Açılan İstasyon Kümesi	Kapsanan Nüfus
-	6,9191	6,9191	Alt2, Alt3, Alt4, Alt5, Alt10	217.504
0,01	6,8498	6,852	Alt2, Alt3, Alt4, Alt7, Alt10	243.725
0,02	6,7806	6,844	Alt2, Alt3, Alt4, Alt8, Alt10	273.142
0,03	6,7114	6,747	Alt2, Alt3, Alt6, Alt8, Alt10	275.306
0,04	6,6422	6,747	Alt2, Alt3, Alt6, Alt8, Alt10	275.306

Modelde 6,9191 olarak ele alınan performans değerinden %1 oranında ödün verildiğinde açılacak istasyon kümesi {Alt2, Alt3, Alt4, Alt7, Alt10} olarak belirlenmiştir. Bu çözüm kapsamında açılan istasyonlara ilişkin performans değeri 6,852 olarak hesaplanmış,

kapsanan nüfus ise 243.725'e yükselmiştir. Bu aşamada ÇKKV performans kaybının çok sınırlı olmasına karşın kapsanan nüfus değerinde önemli bir iyileşme gerçekleştiği gözlenmektedir. Performans değerinden %2 oranında ödün verildiğinde sağ taraf değeri 6,7806 olarak tanımlanmış ve açılacak istasyon kümesi {Alt2, Alt3, Alt4, Alt8, Alt10} şeklinde değişmiştir. Bu senaryoda elde edilen performans değeri 6,844 olurken kapsanan nüfus 273.142'ye ulaşmıştır. Bu sonuç çok küçük bir performans esnekliğinin bile modelin kapsanan nüfus çıktısını kayda değer ölçüde artırmasına imkân tanıdığını göstermektedir. %3 oranındaki ödün seviyesinde sağ taraf değeri 6,7114 olarak belirlenmiştir. Açılacak istasyon kümesi {Alt2, Alt3, Alt6, Alt8, Alt10} olarak değişmiştir. Elde edilen performans değeri 6,747 olarak gerçekleşmiş, kapsanan nüfus ise 275.306'ya yükselmiştir. Son senaryo olan %4 ödün düzeyinde ise performans alt sınırı 6,6422 olarak tanımlanmıştır. Modelin optimum çözümü bir önceki senaryodaki çözüm kümesi ile aynı kalmıştır. Açılan istasyonlar yine {Alt2, Alt3, Alt6, Alt8, Alt10} şeklinde belirlenmiş ve bunlara ilişkin performans değeri 6,747 olarak sabit kalmıştır. Kapsanan nüfus da benzer şekilde 275.306 olarak korunmuştur. Bu durum açılacak istasyonlara ilişkin ÇKKV performans değerinin daha fazla gevşetilmesinin modelin çözüm yapısı ve çıktıları üzerinde ek bir iyileştirme sağlamadığını, çözümün bu düzeyde kararlı hale geldiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, açılacak istasyonlara ilişkin hizmet kalitesi hakkında fikir sunacak ÇKKV ile elde edilen performans değerlerinden belirli düzeylerde ödün verilmesi, açılan istasyon kümesinin değişmesine ve kapsanan nüfusun önemli bir şekilde artmasına yol açmaktadır. Bununla birlikte verilen ÇKKV performans esnekliğinin belirli bir eşikten sonra çözümü değiştirmediği ve modelin bu noktada istasyon seçimi bakımından durağanlaştığı görülmektedir.

Önerilen yaklaşımın karar vericilere birden fazla amacın hangisini önceliklendirdiğine bağlı olarak her iki yönlü gerçekleştirilen pareto analizi sayesinde yol gösterici olması hedeflenmiştir. Her iki modelin de oldukça kısa çözüm sürelerinde çalışması, yaklaşımın gerçek zamanlı ve senaryo tabanlı karar destek sistemlerine kolaylıkla entegre edilebileceğini göstermektedir. Bu kapsamlı analitik yapı, sürdürülebilir kent içi ulaşım planlamasında PBS'nin daha etkili, dengeli ve rasyonel bir şekilde tasarlanmasına önemli katkı sunmaktadır.

SONUÇ

Bu tez çalışması, kent içi sürdürülebilir ulaşım planlamasında giderek daha kritik bir yer edinen Paylaşımlı Bisiklet Sistemi (PBS) istasyon yer seçim problemini çok boyutlu, veriye dayalı ve analitik bir bakış açısıyla ele alarak literatüre hem yöntemsel hem de uygulamalı düzeyde önemli katkılar sunmuştur. Çevre dostu yapısı, düşük karbon ayak izi, esnek kullanım yapısı ve şehir içi hareketliliğe sağladığı yenilikçi çözümler nedeniyle bisiklet paylaşım sistemlerinin planlanması ve doğru konumlandırılması, sürdürülebilir ulaşım politikalarının temel bileşenlerinden biri haline gelmiştir. Buna karşın PBS yatırımlarının başarısı büyük ölçüde istasyonların doğru yerlere yerleştirilmesine bağlıdır. Yanlış konumlandırılmış istasyonlar potansiyel kullanıcıları sistemden uzaklaştırmakta, sistem verimliliğini düşürmekte ve hem ekonomik hem de çevresel faydaların azalmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, istasyon yer seçim sürecinin teknik, mekânsal, çevresel ve sosyo-ekonomik unsurları bir arada değerlendirebilen bütünleşik yöntemlerle desteklenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada PBS istasyon yer seçimi için hibrit bir çerçeve geliştirilmiştir. Bu çerçeve, ÇKKV ile optimizasyon tekniklerini birleştirerek çevresel ve toplumsal gereksinimlere dayalı karar alma sürecini desteklemektedir. Çalışmada PBS istasyon yer seçimi için uzman görüşleri ve literatür dikkate alınarak 17 değerlendirme kriteri belirlenmiş ve bu kriterler 10 alternatif lokasyon ile ilişkilendirilmiştir. Kriterlerin önem ağırlıkları IDOCRIW yöntemiyle hesaplanmıştır. PBS istasyon yeri seçiminde en yüksek önem ağırlıklarına sahip olan kriterler sırasıyla bisiklet yollarına yakınlık, tramvay duraklarına yakınlık ve genç nüfus oranıdır. Bu kriterler sistemin etkinliğini ve kullanıcıların istasyonlara erişimini doğrudan etkileyen faktörler olarak belirlenmiştir. Ardından CoCoSo yöntemi kullanılarak alternatiflerin performansları sıralanmıştır. Elde edilen sonuçlar Alt2 ve Alt3'ün en uygun alternatifler olarak belirlendiğini ortaya koymuştur. Elde edilen performans değerlendirmeleri, TOPSIS, ARAS, COPRAS ve VIKOR yöntemleri ile karşılaştırılmış ve Borda Sayım Yöntemi kullanılarak sıralamalar

birleştirilmiştir. Çeşitli yöntemler arasında elde edilen tutarlılık, önerilen değerlendirme sürecinin güvenilirliğini ve sağlamlığını göstermektedir.

Çalışmanın sonraki bölümünde ise CoCoSo ile elde edilen performans değerleri kapsama temelli matematiksel programlama modeline entegre edilmiştir. Modelin ilk aşamasında kurulacak belirli sayıdaki istasyonun en yüksek toplam nüfusa ulaşması hedeflenmektedir. Modelde yer alan temel kısıt, bütçe ve yatırım planlaması gereği en fazla belirli sayıda istasyonun seçilebileceğini tanımlamakta ve modelin karar uzayını mevcut kaynaklarla uyumlu hâle getirmektedir. Kurulan model GAMS 49.6.1 ile çözülmüş ve tüm kısıtlar altında maksimum kapsanan nüfus elde edilmiştir. Bu değer 275.306 olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuç, uygulanacak pareto temelli analiz için referans noktası olarak belirlenmiştir. Daha sonra, pareto kısıtı altında modelin çözüm yapısının nasıl değiştiği sistematik biçimde incelenmiştir.

Bir diğer analizde; ilk olarak geliştirilen model aracılığıyla açılan istasyonların performans ağırlıklarının maksimize edilmesi amaçlanmıştır. Modelin çözülmesiyle açılacak istasyonlara ilişkin maksimum ÇKKV performans değeri 6,9191 olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuç, uygulanacak pareto temelli analiz için referans noktası olarak belirlenmiştir. Daha sonra, pareto kısıtı altında modelin çözüm yapısının nasıl değiştiği sistematik biçimde incelenmiştir. Böylece hizmet kalitesi açısından verilen farklı seviyelerdeki ödünün kapsanan nüfus ile açılan istasyon kümesine olan etkisi değerlendirilmiştir.

Yapılan her iki yönlü pareto analizi, karar vericilere esnek bir değerlendirme zemini sunmakta ve hangi amacın önceliklendirildiğine bağlı olarak alternatif çözüm setleri geliştirme imkânı tanımaktadır. Modelin düşük çözüm sürelerinde sonuç üretmesi, yaklaşımın veriye dayalı, gerçek zamanlı ve senaryo tabanlı karar verme sistemlerine entegrasyonu açısından önemli bir avantaj sunmaktadır. Dolayısıyla önerilen bütünleşik model, sürdürülebilir kent içi ulaşım planlamasında PBS'nin konumlandırılmasına dair daha rasyonel, dengeli ve veri odaklı stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlamakta; kapsanan nüfus miktarı ile hizmet kalitesi parametrelerini aynı çerçevede optimize eden yenilikçi bir yaklaşım ortaya koymaktadır.

Tezin bulgularına bağlı olarak yerel yönetimler için birkaç önemli politika önerisi sunulabilir. İlk olarak PBS genişleme stratejilerinin geliştirilmesinde, bisiklet yollarına ve toplu taşıma duraklarına yakınlık gibi faktörlerin öncelikli olarak değerlendirilmesi,

sisteme olan talebi önemli ölçüde artıracaktır. Bu faktörler kullanıcıların istasyonlara kolay erişimini sağlamakla kalmayıp aynı zamanda sistemin kullanım sıklığını ve sürdürülebilirliğini de doğrudan etkileyen önemli unsurlardır. Bisiklet yollarına yakınlık, bisiklet kullanıcıları için güvenli ve rahat bir ulaşım imkânı sunarken toplu taşıma duraklarına yakınlık, diğer ulaşım araçlarıyla entegrasyonu güçlendirerek sistemin verimliliğini artıracaktır. İkinci olarak, PBS planlamasında mekânsal kısıtlama entegrasyonunun da dikkate alındığı optimizasyon çalışması gerekliliği söz konusudur. Mevcut istasyonlardan belirli bir mesafede yer alacak yeni istasyonlar sistemin daha geniş bir alana yayılmasına olanak tanıyacak ve böylece bisiklet kullanıcılarının ulaşım seçeneklerini çeşitlendirecektir. Bu tür mekânsal kısıtlamalar sistemin daha fazla kullanıcı tarafından tercih edilmesini sağlayabilir ve PBS etkinliğini artırabilir. Optimize edilmiş tesis lokasyonları kaynakların etkin kullanımını sağlarken daha fazla kitleye hizmet ulaştırılmasını da mümkün kılacaktır. Sonuç olarak önerilen yaklaşım sadece PBS gibi mikro-hareketlilik uygulamaları için değil aynı zamanda lojistik, sağlık hizmetleri veya acil durum istasyonu yer seçimi gibi birçok farklı alana da uyarlanabilir niteliktedir. Uygulanan analizler, karar vericilerin farklı hizmet düzeyleri ve öncelikler altında optimum yer seçimini gerçekleştirmesine olanak tanımaktadır. PBS kent sakinleri tarafından ne kadar çok tercih edilirse sürdürülebilir kent içi ulaşım sistemleri o kadar etkin hale gelecek ve kentlerin karbon ayak izi o kadar düşecektir.

Tez çalışmasının bazı sınırlamaları da bulunmaktadır. Çalışma deterministik bir yapıya sahiptir ve talep, kullanım yoğunluğu, trafik akışı ve çevresel koşullar gibi değişkenlerin stohastik karakteri modele dahil edilmemiştir. Bu faktörler, kullanıcı davranışlarını önemli ölçüde etkileyebileceği için bu tür dinamiklerin modele entegre edilmesi gelecekteki araştırmalar için önemli bir adım olacaktır. Kullanıcı mobilite desenleri ve hava durumu bağımlı kullanım istatistikleri gelecekteki araştırmalarla modele dahil edilerek daha dinamik bir karar verme süreci elde edilebilir.

Sonuç olarak bu tez çalışması, PBS istasyon yer seçimi için bütünleşik, esnek, güçlü ve uygulanabilir bir karar destek çerçevesi sunmakta; farklı veri kaynaklarını, çok kriterli değerlendirme yöntemlerini ve matematiksel optimizasyonu tek bir yapıda bir araya getirerek literatüre özgün bir katkı sağlamaktadır. Elde edilen bulgular, PBS yatırımlarının daha verimli, daha stratejik ve daha sürdürülebilir biçimde planlanmasını desteklemektedir. Aynı zamanda ulaşım planlaması, lojistik, sağlık hizmetleri ve acil

müdahale istasyonu yer seçim problemleri gibi çok çeşitli alanlara uyarlanabilir bir metodolojik altyapı sunmaktadır.

KAYNAKÇA

Abduljabbar, R. L., Liyanage, S., & Dia, H. (2021). The role of micro-mobility in shaping sustainable cities: A systematic literature review. *Transportation research part D: transport and environment*, 92, 102734. https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.s102734

Abubakar, I. R., & Dano, U. L. (2020). Sustainable urban planning strategies for mitigating climate change in Saudi Arabia. *Environment, Development and Sustainability*, 22(6), 5129-5152. https://doi.org/10.1007/s10668-019-00417-1

Ali, T., Aghaloo, K., Chiu, Y. R., & Ahmad, M. (2022). Lessons learned from the COVID-19 pandemic in planning the future energy systems of developing countries using an integrated MCDM approach in the off-grid areas of Bangladesh. *Renewable Energy*, 189, 25-38. https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.02.099

Alinezhad, A., & Khalili, J. (2019). COPRAS method. In *New methods and applications in multiple attribute decision making (Madm)* (pp. 87-91). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15009-9_12

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

Alkılınç, E., Cenani, Ş., & Çağdaş, G. (2021). Bisiklet paylaşım istasyonlarının belirlenmesi: CBS tabanlı çok kriterli karar verme yaklaşımı. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(2), 471-489. https://doi.org/10.25092/baunfbed.893434

Almulhim, A. I., Sharifi, A., Aina, Y. A., Ahmad, S., Mora, L., Filho, W. L., & Abubakar, I. R. (2024). Charting sustainable urban development through a systematic review of SDG11 research. *Nature Cities*, 1(10), 677-685. https://doi.org/10.1038/s44284-024-00117-6

Angelelli, E., Mor, A., Orsenigo, C., Speranza, M. G., & Vercellis, C. (2024). The impact of machine learning forecasting on strategic decision-making for bike sharing systems. *SSRN*. https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5066640

Arcadis. (2024, Haziran 12). *The Arcadis Sustainable Cities Index 2024*. https://www.arcadis.com/en/insights/perspectives/global/sustainable-cities-index-2024

Arya, P., Srivastava, M. K., & Jaiswal, M. P. (2020). Modelling environmental and economic sustainability of logistics. *Asia-Pacific Journal of Business Administration*, 12(1), 73-94. https://doi.org/10.1108/APJBA-11-2018-0204

Bahadori, M. S., Gonçalves, A. B., & Moura, F. (2022). A GIS-MCDM method for ranking potential station locations in the expansion of bike-sharing systems. *Axioms*, 11(6), 263. https://doi.org/10.3390/axioms11060263

Bai, X., Shi, P., & Liu, Y. (2014). Society: Realizing China's urban dream. *Nature*, 509(7499), 158-160. https://doi.org/10.1038/509423a

Bauman, A., Crane, M., Drayton, B. A., & Titze, S. (2017). The unrealised potential of bike share schemes to ınfluence population physical activity levels–a narrative review. *Preventive Medicine*, 103, S7-S14. https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2017.02.015

Behzadian, M., Otaghsara, S. K., Yazdani, M., & Ignatius, J. (2012). A state-of the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with Applications*, 39(17), 13051-13069. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.056

Beigi, P., Khoueiry, M., Rajabi, M. S., & Hamdar, S. (2022). Station reallocation and rebalancing strategy for bike-sharing systems: a case study of Washington DC. *In Canadian Society of Civil Engineering Annual Conference* (pp. 621-630). *Cham: Springer Nature Switzerland*. https://doi.org/10.1007/978-3-031-34027-7_41

Birleşmiş Milletler (2020). *The Sustainable Development Goals Report 2020*. https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/

Birleşmiş Milletler (2024, 3 Şubat). https://www.un.org/tr/desa/68-world-population-projected-live-urban-areas-2050-says-un/

BM-Habitat. (2012). State of the World's Cities 2012/2013: Prosperity of Cities. Routledge.

BM-Habitat. (2020). City Prosperity Index: Global monitoring framework. United Nations Human Settlements Programme. https://unhabitat.org

Borda, J. D. (1781). M'emoire sur les' elections au scrutin. Histoire de l'Acad'emie Royale des Sciences.

Brink, K. (2017). Nextbike: Bike sharing, five generations later: what's next. In *2017 annual polis conference*.

Brown, D. M. (2013). *Introduction to urban economics*. Elsevier.

Buck, D., & Buehler, R. (2012). Bike lanes and other determinants of capital bikeshare trips. *In 91st Transportation research board annual meeting* (pp. 703-706).

Buck, D., Buehler, R., Happ, P., Rawls, B., Chung, P., & Borecki, N. (2013). Are bikeshare users different from regular cyclists? A first look at short-term users, annual members, and area cyclists in the Washington, DC, region. *Transportation Research Record*, 2387(1), 112-119. https://doi.org/10.3141/2387-13

Caggiani, L., Camporeale, R., Hamidi, Z., & Zhao, C. (2021). Evaluating the efficiency of bike-sharing stations with data envelopment analysis. *Sustainability 2021*, 13, 881. Toward Sustainability, 203. https://doi.org/10.3390/su13020881

Cao, B., Sun, M., & Bardhan, R. (2024). Measuring shaded bike lanes for heat stress mitigation with deep learning: A case study in Amsterdam, Netherlands. *Urban Climate*, 57, 102126. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102126

Caulfield, B., O'Mahony, M., Brazil, W., & Weldon, P. (2017). Examining usage patterns of a bike-sharing scheme in a medium sized city. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 100, 152-161. https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.04.023

Caulfield, B., O'Mahony, M., Brazil, W., & Weldon, P. (2017). Examining usage patterns of a bike-sharing scheme in a medium sized city. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 100, 152-161. https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.04.023

CDIndex. (2024). *Şehir Gelişim Endeksi*. https://cdindex.net/tr

Chai, L., Zeng, C., Zhao, L., & Hu, J. (2023). Location Selection of Shared Bicycle Distribution Points Based on User Demand. *IEEE Access*, 11, 22629-22636. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3248304

Chatterjee, P., & Chakraborty, S. (2013). Gear material selection using complex proportional assessment and additive ratio assessment-based approaches: a comparative study. *International Journal of Materials Science and Engineering*, *1*(2), 104-111.

Chen, F., Turoń, K., Kłos, M., Czech, P., Pamuła, W., & Sierpiński, G. (2018). Fifth-generation bikesharing systems: examples from Poland and China. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. https://doi.org/10.20858/sjsutst.2018.99.1

Chen, S. J., & Hwang, C. L. (1992). Fuzzy multiple attribute decision making methods. In Fuzzy multiple attribute decision making: *Methods and Applications* (pp. 289-486). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-46768-4_5

Chen, Y., Zeng, D., Deveci, M., & Coffman, D. M. (2024). Life cycle analysis of bike sharing systems: A case study of Washington DC. *Environmental Impact Assessment Review*, 106, 107455. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107455

Cheng, L., Jin, T., Wang, K., Lee, Y., & Witlox, F. (2022). Promoting the integrated use of bikeshare and metro: A focus on the nonlinearity of built environment effects. *Multimodal transportation*, 1(1), 100004. https://doi.org/10.1016/j.multra.2022.100004

Cheng, M., & Wei, W. (2020). An AHP- DEA Approach of the bike- sharing spots selection problem in the free- floating bike- sharing system. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 7823971. https://doi.org/10.1155/2020/7823971

Church, R., & Velle, C. R. (1974). The maximal covering location problem. *Regional Science*, 32(1), 101-118. https://doi.org/10.1111/j.1435-5597.1974.tb00902.x

Ciancio, C., Ambrogio, G., & Laganá, D. (2017). A stochastic maximal covering formulation for a bike sharing system. *In Optimization and Decision Science: Methodologies and Applications: ODS*, Sorrento, Italy, September 4-7, (pp. 257-

265). *Springer International Publishing.* https://doi.org/10.1007/978-3-319-67308-0_26

City of Utrecht: https://www.utrecht.nl/city-of-utrecht/mobility/cycling/ Erişim Tarihi: 14.05.2025.

Cityindex. (2025, Ağustos 8). https://cityindex-keyem.marmara.edu.tr/

Citysurf-Kayseri. Kayseri Büyükşehir Belediyesi Coğrafi Bilgi Sistemleri Müdürlüğü. CitySurf (Vatandaşlar İçin). Erişim adresi: https://cbs.kayseri.bel.tr/sayfa/123/citysurf-vatandas-icin-indirme

Clear Channel Belgium. (2023). Velo Antwerpen blaast 10 kaarsjes uit!,: https://www.clearchannel.be/nl/corporate/velo-antwerpen-blaast-10-kaarsjes-uit/

Croci, E., & Rossi, D. (2014). Optimizing the position of bike sharing stations. *The Milan Case*. https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2461179

Cueva, F., Shi, P., & Cedillo, P. (2022). A data-driven optimization computational tool design for bike-sharing station distribution in small to medium-sized cities: a case study for cuenca, ecuador. *In Advances in Information Systems Development: Crossing Boundaries Between Development and Operations in Information Systems* (pp. 1-18). *Cham: Springer International Publishing*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-95354-6_1

Curiel-Esparza, J., Mazario-Diez, J. L., Canto-Perello, J., & Martin-Utrillas, M. (2016). Prioritization by consensus of enhancements for sustainable mobility in urban areas. *Environmental Science & Policy*, 55, 248-257. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.10.015

Çanakkale Belediyesi (2025, 6 Haziran). ÇABİS: Çanakkale Bisiklet Paylaşım Sistemi: https://cabis.canakkale.bel.tr/

Çetinkaya, C. (2017). Bike sharing station site selection for Gaziantep. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 35(3), 535-543.

Çiftaslan, M. E., & Rençber, Ö. F. (2022). IDOCRIW ve CoCoSo yöntemleri ile sistemik önemli bankaların performans analizi: Türkiye örneği. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(21. Uluslararası İşletmecilik Kongresi" Özel Sayısı), 54-72. https://doi.org/10.33437/ksusbd.1135258

DeMaio, P. (2009). Bike-sharing: History, impacts, models of provision, and future. *Journal of Public Transportation*, 12(4), 41-56. https://doi.org/10.5038/2375-0901.12.4.3

Deng, C., Wang, J. Y., & Zheng, W. G. (2015). Layout optimizing of public bicycle stations based on ahp in wuhan. *Applied Mechanics and Materials*, 737, 896-902. https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.12.006

Dill, J., & Voros, K. (2007). Factors affecting bicycling demand: initial survey findings from the Portland, Oregon, region. *Transportation Research Record*, 2031(1), 9-17. https://doi.org/10.3141/2031-02

Ding, Z., Zhu, M., Wu, Z., Fu, Y., & Liu, X. (2018). Combining AHP-entropy approach with GIS for construction waste landfill selection—a case study of Shenzhen. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(10), 2254. https://doi.org/10.3390/ijerph15102254

Donkey.bike. (2024, 10 Ekim). *Smart bike sharing for cities*. Donkey Republic. https://www.donkey.bike/

Ebrahimi, Z. D., Momenitabar, M., Nasri, A. A., & Mattson, J. (2022). Using a GIS-based spatial approach to determine the optimal locations of bikeshare stations: The case of Washington DC. *Transport Policy*, 127, 48-60. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2022.08.008

Ecer, F. (2021). A consolidated MCDM framework for performance assessment of battery electric vehicles based on ranking strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143, 110916. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110916

Edgeworth, F. Y. (1881). Mathematical Physics. P. Keagan London England.

Ekundayo, O. E. (2023). *Optimizing bike-sharing in Glasgow using a multi-criteria analysis approach* [Master's thesis, Master in Urban Climate & Sustainability]. Theseus. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/808275/Ekundayo_Olutayo_Ebenezer.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Elmacıoğlu, N., & Seçme, G. (2023). Gastronomi ve kent pazarlamasının Kayseri örneğinde incelenmesi. *Uluslararası Anadolu Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(2), 432-449. https://doi.org/10.47525/ulasbid.1249552

EPI (2024). *Çevresel Performans Endeksi*. https://epi.yale.edu/

Eren, E. (2020*). Farklı arazi kullanımlarına dayalı alternatif bisiklet paylaşım istasyonu yer seçimi için cbs tabanlı hibrit bir yaklaşım* (Tez no.635018) [Master Of Science Master Thesis. Adana Alparslan Turkes Science and Technology University]. Yükseköğretim KuruluUlusal Tez Merkezi

Eren, E., & Katanalp, B. Y. (2022). Fuzzy-based GIS approach with new MCDM method for bike-sharing station site selection according to land-use types. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103434. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103434

Eren, E., Katanalp, B. Y., Yıldırım, Z. B., & Uz, V. E. (2018). Türkiye'deki bisiklet paylaşım programları. *In SETSCI-Conference Proceedings* (Vol. 3, pp. 1507-1513). *SETSCI-Conference Proceedings*.

Eslami, V., Ashofteh, P. S., Golfam, P., & Loáiciga, H. A. (2021). Multi-criteria decision-making approach for environmental impact assessment to reduce the adverse effects of dams. *Water Resources Management*, 35(12), 4085-4110. https://doi.org/10.1007/s11269-021-02932-1

European Union. (2025, 3 Ocak). https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/urban-transport/sustainable-urban-mobility-planning-and-monitoring_en

Faghih-Imani, A., Eluru, N., El-Geneidy, A. M., Rabbat, M., & Haq, U. (2014). How land-use and urban form impact bicycle flows: Evidence from the bicycle-sharing system (BIXI) in Montreal. *Journal of Transport Geography*, 41, 306-314. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.01.013

Fan, Z., & Harper, C. D. (2024). Taking a multimodal approach to equitable bike share station siting. *Journal of Transport Geography*, 115, 103814. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2024.103814

Farhadinia, M. S., Waldron, A., Kaszta, Ż., Eid, E., Hughes, A., Ambarlı, H., ... & Macdonald, D. W. (2022). Current trends suggest most Asian countries are

unlikely to meet future biodiversity targets on protected areas. Communications Biology, 5(1), 1221. https://doi.org/10.1038/s42003-022-04061-w.

Farkas, A. (2009). Route/site selection of urban transportation facilities: an integrated GIS/MCDM approach. *In Proceedings-7th International Conference on Management, Enterprise and Benchmarking* (MEB 2009) (pp. 169-184). *Óbuda University, Keleti Faculty of Business and Management*.

Feizi, A., Joo, S., Kwigizile, V., & Oh, J. S. (2020). A pervasive framework toward sustainability and smart-growth: Assessing multifaceted transportation performance measures for smart cities. *Journal of Transport & Health*, 19, 100956. https://doi.org/10.1016/j.jth.2020.100956

Fishman, E., Washington, S., Haworth, N., & Mazzei, A. (2014). Barriers to bikesharing: an analysis from Melbourne and Brisbane. *Journal of Transport Geography*, 41, 325-337. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.08.005

Fontaine, P., Minner, S., & Schiffer, M. (2023). Smart and sustainable city logistics: Design, consolidation, and regulation. *European Journal of Operational Research*, 307(3), 1071-1084. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.09.022

Frade, I., & Ribeiro, A. (2015). Bike-sharing stations: A maximal covering location approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 82, 216-227. https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.09.014

Fuller, D., Gauvin, L., Kestens, Y., Daniel, M., Fournier, M., Morency, P., & Drouin, L. (2011). Use of a new public bicycle share program in Montreal, Canada. *American Journal of Preventive Medicine*, 41(1), 80-83. https://doi.org/10.1016/j.amepre.2011.03.002

Gaegauf, T. (2014). Bikeshare Technology White Paper.

Gandhi, N. S., Thanki, S. J., & Thakkar, J. J. (2018). Ranking of drivers for integrated lean-green manufacturing for Indian manufacturing SMEs. *Journal of Cleaner Production*, 171, 675-689. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.041

Garcia-Ayllon, S., Hontoria, E., & Munier, N. (2021). The contribution of MCDM to SUMP: The case of Spanish cities during 2006–2021. *International Journal of*

Environmental Research and Public Health, 19(1), 294. https://doi.org/10.3390/ijerph19010294

García-Palomares, J. C., Gutiérrez, J., & Latorre, M. (2012). Optimizing the location of stations in bike-sharing programs: *A GIS approach. Applied Geography*, 35(1-2), 235-246. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.07.002

Gårder, P., Leden, L., & Pulkkinen, U. (1998). Measuring the safety effect of raised bicycle crossings using a new research methodology. *Transportation Research Record*, 1636(1), 64-70. https://doi.org/10.3141/1636-10

Gemeente Amsterdam (2017). Van paaltjes naar platforms: Evaluatie en toekomstverkenning deelfietsen in Amsterdam. Gemeente Amsterdam, Verkeer en Openbare Ruimte. https://openresearch.amsterdam

Gemeente Amsterdam, "Fietsnetten Amsterdam," Erişim adresi: https://maps.amsterdam.nl/fietsnetten/

Gemeente Utrecht (2021). Mobiliteitsplan 2040: Utrecht, Gezond Bereikbaar. https://omgevingsvisie.utrecht.nl/fileadmin/uploads/documenten/zz-omgevingsvisie/thematisch-beleid/verkeer-mobiliteit/2021-07-mobiliteitsplan-2040.pdf

Ghandehari, M., Pouyandeh, V. H., & Javadi, M. M. (2013). Locating of bicycle stations in the city of Isfahan using mathematical programming and multi-criteria decision making techniques. International Journal of academic research in accounting, *Finance and Management Sciences*, 3(4), 18-26. http://dx.doi.org/10.6007/IJARAFMS/v3-i4/271

Ghenai, C., Albawab, M., & Bettayeb, M. (2020). Sustainability indicators for renewable energy systems using multi-criteria decision-making model and extended SWARA/ARAS hybrid method. *Renewable Energy*, 146, 580-597. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.157

Ghoushchi, S. J., Ab Rahman, M. N., Soltanzadeh, M., Rafique, M. Z., Hernadewita, Marangalo, F. Y., & Ismail, A. R. (2023). Assessing sustainable passenger transportation systems to address climate change based on MCDM methods in an uncertain environment. *Sustainability*, 15(4), 3558. https://doi.org/10.3390/su15043558

Ghram, M., & Frikha, H. (2019). Multiple criteria hierarchy process within ARAS method. *In 2019 6th International Conference on Control, Decision and Information Technologies* (CoDIT) (pp. 995-1000). *IEEE*. https://doi.org/10.1109/CoDIT.2019.8820401

Glass, C., Appiah-Opoku, S., Weber, J., Jones Jr, S. L., Chan, A., & Oppong, J. (2020). Role of bikeshare programs in transit-oriented development: Case of Birmingham, Alabama. *Journal of Urban Planning and Development*, 146(2), 05020002. https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000567

Goedopweg.nl. (2024). Deelfiets makkelijker en goedkoper voor reizigers in de regio https://goedopweg.nl/nl-nl/nieuws-en-kennis/nieuws/deelfiets-makkelijker-en-goedkoper-voor-reizigers-in-de-regio-utrecht

Goodland, R. (1995). The concept of environmental sustainability. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1-24.

Goyal, S., Agarwal, S., Singh, N. S. S., Mathur, T., & Mathur, N. (2022). Analysis of hybrid mcdm methods for the performance assessment and ranking public transport sector: a case study. *Sustainability*, 14(22), 15110. https://doi.org/10.3390/su142215110

Görçün, Ö. F. (2021). Evaluation of the selection of proper metro and tram vehicle for urban transportation by using a novel integrated MCDM approach. *Science progress*, 104(1), 0036850420950120. https://doi.org/10.1177/0036850420950120

Gössling, S. (2020). Integrating e-scooters in urban transportation: Problems, policies, and the prospect of system change. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 79, 102230. https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102230

Gössling, S., & Choi, A. S. (2015). Transport transitions in Copenhagen: Comparing the cost of cars and bicycles. *Ecological economics*, 113, 106-113. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2013.10.013

Guo, K., & Zhang, L. (2022). Multi-objective optimization for improved project management: Current status and future directions. *Automation in Construction*, *139*, 104256. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104256

Hagwall, R. (2023). Mapping Stockholm's Bike-share Future: A GIS-based Analysis of Bicycle-sharing Stations in Stockholm. https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-335733

Hamurcu, M., & Eren, T. (2020). Strategic planning based on sustainability for urban transportation: An application to decision-making. *Sustainability*, 12(9), 3589. https://doi.org/10.3390/su12093589

Hartgen, D. T., & Fields, M. G. (2009). Gridlock and growth: the effect of traffic congestion on regional economic performance (No. 371). http://reason.org/files/ps371_growth_gridlock_cities_full_study.pdf

Hashemkhani Zolfani, S., Yazdani, M., Ebadi Torkayesh, A., & Derakhti, A. (2020). Application of a gray-based decision support framework for location selection of a temporary hospital during COVID-19 pandemic. *Symmetry*, 12(6), 886. https://doi.org/10.3390/sym12060886

Howard, C., & Burns, E. K. (2001). Cycling to work in Phoenix: Route choice, travel behavior, and commuter characteristics. *Transportation Research Record*, 1773(1), 39-46. https://doi.org/10.3141/1773-05

Hu, Y., Zhang, Y., Lamb, D., Zhang, M., & Jia, P. (2019). Examining and optimizing the BCycle bike-sharing system–A pilot study in Colorado, US. *Applied Energy*, 247, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.04.007

Hunt, J. D., & Abraham, J. E. (2007). Influences on bicycle use. *Transportation*, 34(4), 453-470. https://doi.org/10.1007/s11116-006-9109-1

Hwang, C. L., Yoon, K., Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications a State of the Art Survey*, 58-191. https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3

Ilhana, A., & Fietkiewicza, K. J. (2017). Think green–bike! The bicycle sharing system in the smart city Barcelona. *Researchers Satisfaction to the Library Services* (The Case Study in the Library of Indonesia n Research and Development Center for Marine and Fisheries Product Competitiveness and Biotechnology), 309.

İstanbul İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü. (2024). İstanbul Turizm İstatistikleri 2024. İstanbul: T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı.

https://istanbul.ktb.gov.tr/Eklenti/130623,aralik-2024-turizm-istatistik-raporupdf.pdf?0

İstanbul Kalkınma Ajansı. (2023). 2024–2028 İstanbul Bölge Planı [PDF]. İstanbul: İstanbul Kalkınma Ajansı. https://www.istka.org.tr/media/133573/2024-2028-%C4%B0stanbul-b%C3%B6lge-plan%C4%B1-taslak.pdf

Jahanshahi, D., Minaei, M., Kharazmi, O. A., & Minaei, F. (2019). Evaluation and relocating bicycle sharing stations in mashhad city using multi-criteria analysis. *International Journal of Transportation Engineering*, 6(3), 265-283.

Kabak, M., Erbaş, M., Çetinkaya, C., & Özceylan, E. (2018). A GIS-based MCDM approach for the evaluation of bike-share stations. *Journal of Cleaner Production*, 201, 49-60. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.033

Kayseri Büyükşehir Belediyesi. (2023, 27 Ocak). Büyükkılıç: "İklim Değişikliği Azaltım ve Uyum Eylem Planımız Hazır". Erişim adresi: https://www.kayseri.bel.tr/haberler/buyukkilic-iklim-degisikligi-azaltim-ve-uyum-eylem-planimiz-hazir12509

Kayseri Ulaşım A.Ş. (2024). KayBis Hakkında. https://www.kayseriulasim.com/tr/FaaliyetAlanlarimiz/kaybis/hakkinda

Kayseri Ulaşım A.Ş. (2024, 12 Mart). 2023 Yılı Faaliyet Raporu. Kayseri Büyükşehir Belediyesi. https://www.kayseriulasim.com/Dflip/Index?deger=4

Kayseri Valiliği. (2024). Nüfus durumu. https://www.kayseri.gov.tr/nufus-durumu

Kiciński, M. M., & Solecka, K. (2018). Application of MCDA/MCDM methods for an integrated urban public transportation system–case study, city of Cracow. *Archives of Transport*, 46(2), 71-84. https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.2107

Kishchenko, K., De Roeck, M., Salens, M., & Van Maroey, C. (2019). The antwerp marketplace for mobility: Partnering with private mobility service providers as a strategy to keep the region accessible. *Transportation Research Procedia*, 39, 191-200. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.06.021

Knudsen, C., Moreno, E., Arimah, B., Otieno, R. O., Ogunsanya, O., Arku, G., ... & Leck, H. (2020). World cities report 2020: The value of sustainable urbanization. *United Nations, United Nation Human Settlements Programme*.

Københavns Kommune. (2023). Mobilitetsredegørelse 2023 Miljøforvaltningen. https://kk.sites.itera.dk/apps/kk_pub2/index.asp?mode=detalje&id=2619

Kobis (2025, 4 Şubat). https://kobis.com.tr/

Kocaeli Büyükşehir Belediyesi. (2022). https://www.kocaeli.bel.tr/haber/16-yilda-72-kmlik-bisiklet-yolu-insa-edildi-36400.html

Kovačević, A. (2023). The role of bike sharing in transport reform: learning from comparative experiences to develop a case study for Belgrade. *Slovak Journal of Public Policy and Public Administration*, 10(1), 29-46. https://doi.org/10.34135/sjpppa.230102

Küresel Amaçlar**.** (2024, 24 Aralık). *Hedefler İçin Ortaklıklar*. Küresel Amaçlar https://www.kureselamaclar.org/amaclar/amaclar-icin-ortakliklar/

Li, H., Xing, Y., Zhang, W., & Zhang, X. (2021). Investigating the impact of weather conditions and land use on dockless bike-share trips in Shanghai, China. *Journal of Urban Planning and Development*, 147(4), 05021031. https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000728

Lin, J. R., & Yang, T. H. (2011). Strategic design of public bicycle sharing systems with service level constraints. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 47(2), 284-294. https://doi.org/10.1016/j.tre.2010.09.004

Litman, T. (2024). Comprehensive transportation emission reduction planning. *Victoria Transport Policy Institute. https://vtpi. org/cterp. pdf*. Long, T. B., & van Waes, A. (2021). When bike sharing business models go bad: Incorporating responsibility into business model innovation. *Journal of Cleaner Production*, 297, 126679. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126679

Liu, C. H., Tzeng, G. H., Lee, M. H., & Lee, P. Y. (2013). Improving metro–airport connection service for tourism development: Using hybrid MCDM models. *Tourism Management Perspectives*, 6, 95-107. https://doi.org/10.1016/j.tmp.2012.09.004

Liu, H., Li, Y., Duan, Z., & Chen, C. (2020). A review on multi-objective optimization framework in wind energy forecasting techniques and applications. *Energy*

Conversion and Management, 224, 113324. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113324

Luo, Y., Zhang, X., Qin, Y., Yang, Z., & Liang, Y. (2021). Tourism attraction selection with sentiment analysis of online reviews based on probabilistic linguistic term sets and the IDOCRIW-COCOSO model. *International Journal of Fuzzy Systems*, 23(1), 295-308. https://doi.org/10.1007/s40815-020- 00969-9

MacCrimmon, K. R. (1968). Decisionmaking among multiple-attribute alternatives: a survey and consolidated approach (No. RM4823ARPA).

Mardani, A., Zavadskas, E. K., Govindan, K., Amat Senin, A., & Jusoh, A. (2016). VIKOR technique: A systematic review of the state of the art literature on methodologies and applications. *Sustainability*, *8*(1), 37. https://doi.org/10.3390/su8010037

Martinez, L. M., Caetano, L., Eiró, T., & Cruz, F. (2012). An optimisation algorithm to establish the location of stations of a mixed fleet biking system: an application to the city of Lisbon. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 54, 513-524. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.769

May, A. D. (2015). Encouraging good practice in the development of Sustainable Urban Mobility Plans. *Case Studies on Transport P olicy*, 3(1), 3-11. https://doi.org/10.1016/j.cstp.2014.09.001

Meddin, R., DeMaio, P., O'Brien, O., Rabello, R., Yu, C., Seamon, J., ... & Mason, J. (2020). The Meddin bike-sharing world map. *Google Maps*.

Mete, S., Cil, Z. A., & Özceylan, E. (2018). Location and coverage analysis of bike-sharing stations in university campus. *Business Systems Research: International journal of the Society for Advancing Innovation and Research in Economy*, 9(2), 80-95. https://doi.org/10.2478/bsrj-2018-0021

Midgley, P. (2011). Bicycle-sharing schemes: enhancing sustainable mobility in urban areas. *United Nations, Department of Economic and Social Affairs*, *8*, 1-12.

Mix, R., Hurtubia, R., & Raveau, S. (2022). Optimal location of bike-sharing stations: A built environment and accessibility approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 160, 126-142. https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.03.022

Mogaji, K. A., & Mudashiru, S. A. Groundwater Potentiality Assessment Applying Python-Based IDOCRIW-COCOSO Objective Modelling Algorithm in a Multi-Faceted Geologic Environment of Nigeria. *Available at SSRN 5051505*. http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5051505

Monitor Fietstevredenheid (2023). Onderzoek naar de tevredenheid van fietsers in Amsterdam. Onderzoek, Informatie en Statistiek (OIS). https://onderzoek.amsterdam.nl/publicatie/monitor-fietstevredenheid-2023

Mori, K., & Christodoulou, A. (2012). Review of sustainability indices and indicators: Towards a new City Sustainability Index (CSI). *Environmental impact assessment review*, *32*(1), 94-106. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2011.06.001

Mutlu, Ö., Durak, Z., & Akyer, H. (2020). Kademeli mesai saati ile trafik sıkışıklığının azaltılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(4), 730-736. https://doi.org/10.5505/pajes.2019.90922

Nassereddine, M., & Eskandari, H. (2017). An integrated MCDM approach to evaluate public transportation systems in Tehran. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 106, 427-439. https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.10.013

Nathanail, E., Adamos, G., & Gogas, M. (2017). A novel approach for assessing sustainable city logistics. *Transportation Research Procedia*, *25*, 1036-1045. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.477

Neumann-Saavedra, B. A., Mattfeld, D. C., & Hewitt, M. (2021). Assessing the operational impact of tactical planning models for bike-sharing redistribution. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 150, 216-235. https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.06.003

Ngeni, F., Kutela, B., Chengula, T. J., Ruseruka, C., Musau, H., Novat, N., ... & Kasomi, S. (2024). Prediction of bike-sharing station demand using explainable artificial intelligence. *Machine Learning with Applications*, 17, 100582. https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2024.100582

Nielsen, B. H., & Ministry of Transport Dänemark. (1993). The bicycle in Denmark: Present use and future potential. Ministry of Transport.

Nikiforiadis, A., Aifadopoulou, G., Grau, J. M. S., & Boufidis, N. (2021). Determining the optimal locations for bike-sharing stations: methodological approach and application in the city of Thessaloniki, Greece. *Transportation Research Procedia*, 52, 557-564. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.01.066

O'Brien, Oliver & Cheshire, James & Batty, Michael. (2014). Mining bicycle sharing data for generating insights into sustainable transport systems. *Journal of Transport Geography*. 34. 262–273. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2013.06.007

Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445-455. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1

Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2007). Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. *European journal of operational research*, *178*(2), 514-529. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.01.020

Ourworldindata, (2024, 25 Nisan). https://ourworldindata.org/urbanization

Ozdemir, S. (2024). Unveiling environmental resilience: A data-driven multi-criteria decision-making approach. *Environmental Impact Assessment Review*, 108, 107607. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107607

Özdemir, S., & Demirel, N., (2024). Sürdürülebilir ulaşım stratejilerinin iklim değişikliği eylem planlarındaki yeri ve önem. *Sosyal ekonomik ve çevresel kalkınma için sürdürülebilirlik bilimi* (pp.171-196), Konya: Çizgi.

Pace, R., Churkina, G., Rivera, M., & Grote, R. (2016). How green is a "Green City". *A review of existing indicators and approaches. IASS Work. Pap*, *27*.

Paddeu, D., Fancello, G., & Fadda, P. (2017). An experimental customer satisfaction index to evaluate the performance of city logistics services. *Transport*, *32*(3), 262-271. https://doi.org/10.3846/16484142.2016.1146998

Pan, Y., & Dou, W. (2016). Study on The Site Selection of Stations in Bike-Sharing System. *International Core Journal of Engineering*, *2*(9).

Park, C., & Sohn, S. Y. (2017). An optimization approach for the placement of bicycle-sharing stations to reduce short car trips: An application to the city of Seoul.

Transportation Research Part A: Policy and Practice, 105, 154-166. https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.08.019

Parthasarathy, T. N., Narayanamoorthy, S., Thilagasree, C. S., Marimuthu, P. R., Salahshour, S., Ferrara, M., & Ahmadian, A. (2024). An enhanced fuzzy IDOCRIW-COCOSO multi-attribute decision making algorithm for decisive electric vehicle battery recycling method. *Results in Engineering*, 22, 102272. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102272

Pereira, J. L. J., Oliver, G. A., Francisco, M. B., Cunha Jr, S. S., & Gomes, G. F. (2022). A review of multi-objective optimization: methods and algorithms in mechanical engineering problems. *Archives of Computational Methods in Engineering*, *29*(4), 2285-2308. https://doi.org/10.1007/s11831-021-09663-x

Podvezko, V. (2011). The comparative analysis of MCDA methods SAW and COPRAS. *Engineering Economics*, *22*(2), 134-146. http://dx.doi.org/10.5755/j01.ee.22.2.310

Provincie Antwerpen. (2025, 16 Nisan). Provinciale Fietsbarometer. https://www.provincieantwerpen.be/aanbod/drem/dienst-mobiliteit/fietsbeleid/fietsbarometer.html

Provincie Antwerpen. (2025, 19 Haziran). Fietsostrades. Provinicie Antwerpen Dienst Mobiliteit. https://www.provincieantwerpen.be/aanbod/drem/dienst-mobiliteit/fietsbeleid/fietsostrades.html

Pucker, J. (2001). Cycling safety on bikeways vs. roads. *Transportation Quarterly*, 55(4), 9-11.

Rapportage Deelfiets (2024). Rapportage Deelfiets: Evaluatie van de pilots en aanbevelingen voor de toekomst. Afdeling Mobiliteit & Public Space https://openresearch.amsterdam/image/2025/3/12/rapportage_deelfiets.pdf

Revelle, C.S. ve Eiselt H.A. (2005). Location Analysis: A Synthesis and Survey. *European Journal of Operational Research*, 165(1), 1-19. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2003.11.032

Romero, J. P., Ibeas, A., Moura, J. L., Benavente, J., & Alonso, B. (2012). A simulation-optimization approach to design efficient systems of bike-sharing. *Procedia-*

Social and Behavioral Sciences, 54, 646-655. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.782

Sağlık Bakanlığı. (2018). *Faaliyet Raporu.* https://sgb.saglik.gov.tr/TR-61530/faaliyet-raporlari.html

Salih-Elamin, R., & Al-Deek, H. (2021). A new method for determining optimal locations of bike stations to maximize coverage in a bike share system network. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 48(5), 540-553. https://doi.org/10.1139/cjce-2020-014

Samaie, F., Javadi, S., Meyar-Naimi, H., & Feshki-Farahani, H. (2020). Environmental sustainability policy on plug-in hybrid electric vehicle penetration utilizing fuzzy TOPSIS and game theory. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 22, 787-801. https://doi.org/10.1007/s10098-020-01821-2

Seidman, G. (2017). Does SDG 3 have an adequate theory of change for improving health systems performance?. *Journal of Global Health*, 7(1), 010302. https://doi.org/10.7189/jogh.07.010302

Sena, M. B., Costa, L., Leitão, A., & Silva, M. C. (2024). The United Nations SDG13 and the EU27 countries performance: A comparative analysis. *Environment, Development and Sustainability*, 1-24. https://doi.org/10.1007/s10668-024-05057-8

Shaheen, S. A., Cohen, A. P., & Martin, E. W. (2013). Public bikesharing in North America: Early operator understanding and emerging trends. *Transportation Research Record*, 2387(1), 83-92. https://doi.org/10.3141/2387-10

Shaheen, S., & Guzman, S. (2011). Worldwide bikesharing. *Access Magazine*, 1(39), 22-27.

Shaheen, S., Guzman, S., & Zhang, H. (2012). Bikesharing across the globe. In J. Pucher & R. Buehler (Eds.), *City cycling* (pp. 183–210). Cambridge: MIT Press.

Shannon C. E. A., (1948). Mathematical Theory of Communication. *Bell Syst. Tech*. J. 27, 379–423. https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x/

Shariati, S., Yazdani-Chamzini, A., Salsani, A., & Tamošaitienė, J. (2014). Proposing a new model for waste dump site selection: Case study of Ayerma Phosphate Mine. https://etalpykla.vilniustech.lt/handle/123456789/147159

Shen, Y., Zhang, X., & Zhao, J. (2018). Understanding the usage of dockless bike sharing in Singapore. *International Journal of Sustainable Transportation*, 12(9), 686-700. https://doi.org/10.1080/15568318.2018.1429696

Shih, H. S., Shyur, H. J., & Lee, E. S. (2007). An extension of TOPSIS for group decision making. *Mathematical and Computer Modelling*, 45(7-8), 801-813. https://doi.org/10.1016/j.mcm.2006.03.02

Shirzadi Babakan, A., Alimohammadi Sarab, A., & Taeai, M. (2013). Public transportation mode selection in an urban corridor: application of multi-criteria decision making methods. *Journal of Urban-Regional Studies and Research*, 5(18), 1-24.

Shui, C. S., & Szeto, W. Y. (2020). A review of bicycle-sharing service planning problems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 117, 102648. https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.102648

Sinniah, G. K., Li, X. Y., & Abdulkarim, S. (2021). The framework for assessing public transportation by using competitiveness index indicators. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1153, No. 1, p. 012012). *IOP Publishing.*

Sobhani, M. G., Imtiyaz, M. N., Azam, M. S., & Hossain, M. (2020). A framework for analyzing the competitiveness of unconventional modes of transportation in developing cities. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 137, 504-518. https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.02.001

Sovacool, B. K. (2009). Early modes of transport in the United States: Lessons for modern energy policymakers. *Policy and Society*, 27(4), 411-427. https://doi.org/10.1016/j.polsoc.2009.01.006

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (CSB). (2024, 24 Şubat). Çevresel Göstergeler. https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/menu/turkiye_bisiklet_yolu_agi_master_plani_cilt1_20211221042955.pdf

Taheriyoun, M., Karamouz, M., & Baghvand, A. (2010). Development of an entropy-based fuzzy eutrophication index for reservoir water quality evaluation. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 7(1), 1-14.

Taylor, D., & Mahmassani, H. (1996). Analysis of stated preferences for intermodal bicycle-transit interfaces. *Transportation Research Record*, 1556(1), 86-95. https://doi.org/10.1177/0361198196155600111

Theis, T., & Tomkin, J. (2015). Sustainability: A comprehensive foundation. *OpenStax; 2018.* https://cnx.org/contents/F0Hv_Zza@44.1:5iIFPU4K@4/Applications-ofPhase-Change-Materials-for-Sustainable-Energy

Tiwari, A., & Sharma, P. (2024). Preference-based grey theory model and its application in waste disposal selection: a case study. *Sādhanā*, 49(1), 64. https://doi.org/10.1007/s12046-023-02413-8

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2025). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS), 2024 sonuçları. Ankara: TÜİK. https://www.tuik.gov.tr

United Nations Development Programme (UNDP). (2015). *Human Development Report 2015: Work for Human Development*. http://hdr.undp.org

Vallance, S., Perkins, H. C., & Dixon, J. E. (2011). What is social sustainability? A clarification of concepts. *Geoforum*, 42(3), 342-348. https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2011.01.002

Van Waes, A., Farla, J., & Raven, R. (2020). Why do companies' institutional strategies differ across cities? A cross-case analysis of bike sharing in Shanghai & Amsterdam. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 36, 151-163. https://doi.org/10.1016/j.eist.2020.06.002

Venkatesh, G. (2014). A critique of the European green city index. *Journal of Environmental Planning and Management*, *57*(3), 317-328. https://doi.org/10.1080/09640568.2012.74152

Visit Copenhagen. Bike routes in Copenhagen. (2025, 4 Mart). https://www.visitcopenhagen.com/copenhagen/activities/bike-routes

Wang, C. N., Le, T. Q., Chang, K. H., & Dang, T. T. (2022). Measuring road transport sustainability using MCDM-based entropy objective weighting method. *Symmetry*, 14 (5), 1033. https://doi.org/10.3390/sym14051033

Wang, K., Akar, G., & Chen, Y. J. (2018). Bike sharing differences among millennials, Gen Xers, and baby boomers: Lessons learnt from New York City's bike share. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 116, 1-14. https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.06.001

Wang, X., Lindsey, G., Schoner, J. E., & Harrison, A. (2016). Modeling bike share station activity: Effects of nearby businesses and jobs on trips to and from stations. *Journal of Urban Planning and Development*, 142(1), 04015001. https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000273

Watson, J. (2009). European Green City Index: Assessing the Environmental Impact of Europe's Major Cities; a Research Project. Siemens AG.

Wendling, Z. A., Emerson, J. W., de Sherbinin, A., Esty, D. C., Hoving, K., & Ospina, C. (2020). *Environmental Performance Index* (Yale Center for Environmental Law & Policy). Yale University.

Wheeler, S. (2013). Planning for sustainability: creating livable, equitable and ecological communities. *Routledge*. https://doi.org/10.4324/9780203134559

Wolf, M. J., Esty, D. C., Kim, H., Bell, M. L., Brigham, S., Nortonsmith, Q., ... & Emerson, J. W. (2022). New insights for tracking global and local trends in exposure to air pollutants. *Environmental Science & Technology*, 56(7), 3984-3996. https://doi.org/10.1021/acs.est.1c08080

Wong, C. (2015). A framework for 'City Prosperity Index': Linking indicators, analysis and policy. *Habitat International*, 45, 3-9. https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2014.06.018

World Bank. (2023, 12 Mart). *World development indicators*. https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators#/

World Commission on Environment and Development (WCED) (1987). Our Common Future. *Oxford: Oxford University Press*

Xu, M., Di, Y., Yang, H., Chen, X., & Zhu, Z. (2023). Multi-task supply-demand prediction and reliability analysis for docked bike-sharing systems via transformer-encoder-based neural processes. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 147, 104015. https://doi.org/10.1016/j.trc.2023.104015

Yang, M., Liu, X., Wang, W., Li, Z., & Zhao, J. (2016). Empirical analysis of a mode shift to using public bicycles to access the suburban metro: Survey of Nanjing, China. *Journal of Urban Planning and Development*, 142(2), 05015011. https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000299

Yazdani, M., Zarate, P., Kazimieras Zavadskas, E., & Turskis, Z. (2019). A combined compromise solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems. *Management Decision*, 57(9), 2501-2519. https://doi.org/10.1108/MD-05-2017-0458

Yuan, M., Zhang, Q., Wang, B., Liang, Y., & Zhang, H. (2019). A mixed integer linear programming model for optimal planning of bicycle sharing systems: A case study in Beijing. *Sustainable Cities and Society*, 47, 101515. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101515

Zavadskas, E. K., & Kaklauskas, A. (1996). The new method of multicriteria evaluation of projects. https://etalpykla.vilniustech.lt/handle/123456789/128479

Zavadskas, E. K., & Podvezko, V. (2016). Integrated determination of objective criteria weights in MCDM. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, *15*(02), 267-283. https://doi.org/10.1142/S0219622016500036

Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision- making. *Technological and Economic Development of Economy*, 16(2), 159-172. https://doi.org/10.3846/tede.2010.10

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

Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A., & Šarka, V. (1994). The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects.

Zhang, C., Wu, F., Wang, H., Tang, B., Fan, W., & Liu, Y. (2022). A meta-learning algorithm for rebalancing the bike-sharing system in IoT smart city. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(21), 21073-21085. https://doi.org/10.1109/JIOT.2022.3176145.

Zhang, Y., & Mi, Z. (2018). Environmental benefits of bike sharing: A big data-based analysis. *Applied Energy*, 220, 296-301. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.101

Zhang, Y., & Wu, Z. (2022). Environmental performance and human development for sustainability: Towards to a new Environmental Human Index. *Science of the Total Environment*, *838*, 156491. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156491

Zhao, P., Yuan, D., & Zhang, Y. (2022). The public bicycle as a feeder mode for metro commuters in the megacity Beijing: Travel behavior, route environment, and socioeconomic factors. *Journal of Urban Planning and Development*, 148(1), 04021064. https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000785

Zheng, H. W., Shen, G. Q., & Wang, H. (2014). A review of recent studies on sustainable urban renewal. *Habitat International*, 41, 272-279. https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2013.08.006

Zhong, H., Liu, Z., Chen, J., Hao, J., & Wang, W. (2021). Layout model of bike-sharing facilities in the transfer-ınfluenced area of a subway station. *Applied Sciences*, 11(21). https://doi.org/10.3390/app112110188

TEZ İNTİHAL RAPORU

SÜRDÜRÜLEBİLİR KENT LOJİSTİĞİNDE PAYLAŞIMLI BİSİKLET SİSTEMİ İSTASYONU YER SEÇİMİ İÇİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME VE OPTİMİZASYONA DAYALI HİBRİT BİR YAKLAŞIM

Yazar Nimet Elmacıoğlu

Gönderim Tarihi: 08-Ara-2025 05:03ÖS (UTC+0300)
Gönderim Numarası: 2839905259
Dosya adı: Nimet_ELMACIO_LU-DOKTORA_TEZ_-2025-_savunma_sonras_-_Kopya.docx (7.32M)
Kelime sayısı: 24809
Karakter sayısı: 177621

SÜRDÜRÜLEBİLİR KENT LOJİSTİĞİNDE PAYLAŞIMLI BİSİKLET SİSTEMİ İSTASYONU YER SEÇİMİ İÇİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME VE OPTİMİZASYONA DAYALI HİBRİT BİR YAKLAŞIM

ORİJİNALLİK RAPORU

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

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	%1
2	acikerisim.bartin.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
3	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	<%1
4	Submitted to Artvin Ãoruh Ãniversitesi Öğrenci Ödevi	<%1
5	ppy.aegean.gr İnternet Kaynağı	<%1
6	hdl.handle.net İnternet Kaynağı	<%1
7	Hanoi Pedagogical University 2 Yayın	<%1
8	jrur.ut.ac.ir İnternet Kaynağı	<%1
9	studylib.ru İnternet Kaynağı	<%1
10	Submitted to Bolton Institute of Higher Education Öğrenci Ödevi	<%1
11	www.sp.gov.tr İnternet Kaynağı	



59	www.yumpu.com İnternet Kaynağı	<%1
60	Özdağ, Mücahit. "Enerji ve Sürdürülebilir Kalkınma; Türkiye Örneği", Hitit University (Turkey) Yayın	<%1

Alıntıları çıkart Kapat
Bibliyografyayı Çıkart Kapat
Eşleşmeleri çıkar < 7 words

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**Nimet Elmacıoğlu**

EĞİTİM BİLGİLERİ

Derece	**Kurum**	**Mezuniyet Yılı**
Lise	Mustafa Eminoğlu Anadolu Lisesi	**2009**
Lisans	Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi	**2014**
Yüksek Lisans	Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi	**2019**
Doktora	Kayseri Üniversitesi	**2025**

EĞİTİM BİLGİLERİ

Dil	Derece
İngilizce	C1

İŞ DENEYİMLERİ

Derece	**Kurum**	**Görev Süresi**
Müdür	Tokana Ahşap Ürünleri	**3 yıl**
Back-Ofis Müdürü	Millenicom	**1 yıl**

YAYINLAR

Bildik, E., & Elmacıoğlu, N. (2024). Küresel Ticaretin Nabzı: OECD ve BRICS Ülkelerinin Lojistik Performansının Tercih Seçim Endeksi (PSI) Yöntemiyle Değerlendirilmesi. *Uluslararası Ticaret ve Lojistik 2024 Kongresi*, ss. 21.

Bildik, E., & Elmacıoğlu, N. (2025). Sürdürülebilir Lojistik Kapsamında Lojistik Köy Yeri Seçimi: Kayseri Örneği. *5. Uluslararası Sürdürülebilir Lojistik ve Yeşil Mutabakat Sempozyumu*.

Elmacıoğlu, N., & Öcal, O. (2025). Lojistikte Yeni Perspektifler: Dijital İpek Yolu'nun Türkıye–Orta Asya Dış Ticaretine Etkileri. *SIRCON 2025*, ss. 44

Elmacıoğlu, N., & Öcal, O. (2024). Türkiye'nin Makroekonomik Performansının CRITIC ve MARCOS Yöntemleri ile Değerlendirilmesi. *Uluslararası Ticaret ve Lojistik 2024 Kongresi*, ss. 48.

Elmacıoğlu, N., & Seçme, G. (2023). Gastronomi ve kent pazarlamasının Kayseri örneğinde incelenmesi. *Uluslararası Anadolu Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(2), 432-449. https://doi.org/10.47525/ulasbid.1249552

Elmacıoğlu, N., Demirel, N., & Öcal, O. (2023). Evaluation of the Effective Criteria in Personnel Selection in the Logistics Sector Using the DEMATEL Method. *1. Uluslararası İnsan Kaynakları Yönetimi Kongresi*, 1(1), ss. 12.

Elmacıoğlu, N., Demirel, N., & Öcal, O. (2023). Sürdürülebilirlik Bakış Açısıyla Paket Teslimat Yöntemlerinin Seçim Kriterlerinin Bulanık AHP Yöntemi ile Belirlenmesi. *12. Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi. (ULTZK, 2023)*, Mersin, Türkiye, 16-17 Kasım 2023, 126-127.

Elmacıoğlu, N., Demirel, N., & Öcal, O. (2025). A Hybrid Framework for Improving Sustainable Urban Mobility: Integrating Multi-Criteria Decision-Making and Maximal Covering Location Problem for Bike-Sharing System Site Selection. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 41(1), 346-369.

Öcal, O., & Elmacıoğlu, N. (2024). Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları Kapsamında OECD Ülkelerinin Performanslarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Değerlendirilmesi. *Uluslararası Ticaret ve Lojistik 2024 Kongresi*, ss. 54.

Öcal, O., Elmacıoğlu, N., & Özdemir, S. (2024). Vergi Politikaları Çerçevesinde Sosyal Harcamaların Toplumsal Etkileri. *Ekonomik Kriz ve Vergi Politikaları*, ss. 108-125.

Özbolat, Ş., & Elmacıoğlu, N. (2024). Yıllara Göre Sürdürülebilirlik Performansının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Değerlendirmesi: Küresel Ekolojik Dinamiklerin Analizi. *Uluslararası Ticaret ve Lojistik 2024 Kongresi*, ss. 45.

Özbolat, Ş., & Elmacıoğlu, N. (2025). OECD Ülkelerinin Çevresel Performansının MEREC ve MARCOS Yöntemiyle Değerlendirilmesi. *5. Uluslararası Sürdürülebilir Lojistik ve Yeşil Mutabakat Sempozyumu*.

Özdemir, S., & Elmacıoğlu, N. (2025). Türkiye'nin Çevresel Dirençliliğinin Değerlendirilmesi: İklim Adaptasyonu ve Sürdürülebilirlik Üzerine Çok Kriterli Analiz. Verimlilik Dergisi, 59(2), 417-432. https://doi.org/10.51551/verimlilik.1572483

PROJELER

Tübitak 1002- Hızlı Destek- Yürütücü, 125M277, "Sürdürülebilir Kentsel Hareketliliği Geliştirmek İçin Hibrit Bir Çerçeve: Bisiklet Paylaşım Sistemi Konum Seçimi Için Gis Tabanlı Çok Kriterli Karar Verme ve Maksimum Kapsama Lokasyon Probleminin Entegrasyonu. "

BAP Hızlı Destek- Araştırmacı, SHD-2024-1153, "Türkiye'nin Sürdürülebilir Kalkınma Amaç-17 Performansını Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Değerlendirme".

NİMET ELMACIOĞLU

DOKTORA TEZİ

2025

Uygulama ve Proje Odaklı, İş Dünyası ile Bütünleşen Üniversite