



**AKILLI ŞEHİR UYGULAMALARINDA KENTSEL KATI  
ATIK YÖNETİMİ YALOVA (MERKEZ) ÖRNEĞİ**

**Sedat ÇİL**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AKILLI ŞEHİR UYGULAMALARINDA KENTSEL KATI ATIK YÖNETİMİ  
YALOVA (MERKEZ) ÖRNEĞİ**

Sedat ÇİL  
0000-0001-6802-6328

Prof. Dr. Feza KARAER  
(Danışman)

DOKTORA TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2025  
Her Hakkı Saklıdır

## ÖZET

Doktora Tezi

### AKILLI ŞEHİR UYGULAMALARINDA KENTSEL KATI ATIK YÖNETİMİ YALOVA (MERKEZ) ÖRNEĞİ

Sedat ÇİL

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Feza KARAER

Bu doktora çalışması, Yalova şehir merkezine ait kentsel katı atık toplama verilerinden oluşturulan veri setleri temelinde, sürdürülebilir atık yönetimi için yenilikçi bir model geliştirmeyi amaçlamaktadır. Araştırmada, özellikle seçilen bölgede yapılan modelleme çalışmaları kapsamında, Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojileri ve K-means kümeleme algoritması kullanılarak atık toplama süreçlerinin optimizasyonu sağlanmıştır. Konteynerlerin kapasite, doluluk oranı ve konum verileri titizlikle analiz edilmiş; Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) entegrasyonu ve gerçek zamanlı veri analitiği ile toplama rotaları dinamik olarak optimize edilmiştir. Bu sayede, operasyonel maliyetler, karbon emisyonları ve lojistik giderler önemli ölçüde azaltılmıştır. Heterojen yapıdaki konteynerlerin yol açtığı bakım zorlukları, estetik problemler ve trafik yoğunluğu gibi sorunlar, yeni nesil konteyner uygulamaları ile giderilmiştir.

Araştırmanın bulguları, yerel yönetimlerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine uyumlu politika geliştirmelerine ve çevre mühendisleri ile şehir plancılarının uygulamalı çözümler üretmesine olanak sağlamaktadır. Çalışmanın kapsamı, saha verilerinin toplanması, analizi ve yorumlanmasında kullanılan yöntemlerin dikkatle belirlenmesini içermektedir. Ayrıca, ekonomik analizler ve çevresel etki değerlendirmeleri, karar vericilere yol gösterici nitelikte bilgiler sunarak, gelecekteki projelere ışık tutmaktadır.

Bu model, sürdürülebilir şehir planlaması ve çevresel koruma alanlarında uygulamaların genişletilmesi için örnek teşkil etmekte olup, atık yönetimi süreçlerinde teknolojinin etkin kullanımını göstererek, toplumsal ve ekolojik faydaların artırılmasına katkıda bulunmaktadır. Bu çalışma, gelecekteki projeler için de sağlam bir temel sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı Şehirler, Kentsel Katı Atık Yönetimi, IoT Teknolojisi, Sürdürülebilirlik, K-means Algoritması

2025, vii + 92 sayfa

## **ABSTRACT**

PhD Thesis

### **URBAN SOLID WASTE MANAGEMENT IN SMART CITY APPLICATIONS: A CASE STUDY OF YALOVA CITY CENTER**

**Sedat ÇİL**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Environmental Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. Feza KARAER

This doctoral research is based on data sets generated from urban municipal solid waste collection in Yalova city centre and aims to develop an innovative model for sustainable waste management. In the study, modelling exercises conducted in a specifically selected area employed Internet of Things (IoT) technologies and the K-means clustering algorithm to optimise waste collection processes. The capacities, fill levels, and location data of containers were meticulously analysed; by integrating Geographic Information Systems (GIS) and real-time data analytics, collection routes were dynamically refined. Consequently, operational costs, carbon emissions, and logistical expenses have been significantly reduced. The challenges arising from the heterogeneity of containers—such as maintenance difficulties, aesthetic issues, and traffic congestion—have been addressed through the implementation of next-generation container applications.

The research findings enable local authorities to develop policies aligned with sustainable development objectives and provide environmental engineers and urban planners with practical solutions. The study encompasses the careful determination of methodologies employed for the collection, analysis, and interpretation of field data. Furthermore, economic analyses and environmental impact assessments offer guiding insights for policymakers, thereby informing future projects. This model serves as an exemplar for the expansion of sustainable urban planning and environmental protection initiatives, demonstrating the effective utilisation of technology in waste management processes and contributing to enhanced societal and ecological benefits. Finally, the research provides a robust foundation for forthcoming endeavours in this field.

**Key words:** Smart Cities, Municipal Solid Waste Management, IoT Technology, Sustainability, K-means Clustering Algorithm

**2025, vii + 92 pages.**

## TEŞEKKÜR

Bu doktora tezi, yıllarca süren adanma, sabır ve birlikte çalışmanın bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır ve bu yolculuk boyunca bana destek veren, hayatıma değer katan çok değerli kişilere şükranlarımı sunuyorum. Bu çalışmanın başarılı bir şekilde tamamlanmasında katkıda bulunan herkese teşekkürlerimi sunuyorum.

Öncelikle, Bursa Uludağ Üniversitesi'nden danışman hocam Prof. Dr. Feza Karaer'e en derin teşekkürlerimi sunarım. Onun sarsılmaz desteği, bilimsel rehberliği ve akademik uzmanlığı bu tezin gelişiminde çok önemli bir rol oynamıştır. Prof. Karaer'in rehberliği, sadece akademik bilgilerimi derinleştirmekle kalmamış, yenilikçi bakış açıları kazanmama da vesile olmuştur.

Bursa Uludağ Üniversitesi'nden Prof. Dr. Nezh Kâmil Salihoglu'na destekleri, yapıcı geri bildirimleri ve özellikle bana sürekli ilham ve motivasyon sağladığı için sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Onun bilgi birikimi ve akademik disiplini, bu yolculuk boyunca benim için çok önemli bir rehber olmuştur.

Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden Prof. Dr. Fatih Cavdur'a, bu araştırmanın analitik ve metodolojik yönlerindeki katkıları için içtenlikle teşekkür ederim. Prof. Cavadurun uzmanlığı, bu çalışmanın bilimsel düzeyini artırmış ve kritik aşamalarda çok değerli öneriler sunmuştur.

Bursa Mudanya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden Araştırma Görevlisi Gülveren Tabansız Göç'e, çalışmanın kritik dönemlerinde sunduğu teknik destek, yapıcı geri bildirimler ve iş birliği ruhu için çok teşekkür ederim. Çabalarının bu çalışmanın niteliğini artırmada büyük etkisi olmuştur.

Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Nihal Bektaş'a, yol gösterici bilgisi ve değerli katkıları için şükranlarımı sunuyorum

Gebze Teknik Üniversitesi'nden Prof. Dr. Salim Öncel'e, doktora eğitimime başlamam konusundaki yol göstericiliği ve şeffaf rehberliği için sonsuz teşekkür ederim. Onun desteği, bu akademik yolculuğun başlangıcında kritik bir motivasyon kaynağı olmuştur.

Ayrıca sabırları ve sevgileriyle bana her zaman destek olan aileme en derin teşekkürlerimi sunuyorum. Sevgili eşim Melek Teke Çil, hayatımın her anında yanımda olup beni desteklediğin için minnettarım. Çocuklarım Melike Irmak Çil ve Kemal Yiğit Çil, sevginiz ve varlığınız benim için en büyük ilham kaynağı olmuştur.

Sevgili annem Güzel Çil ve babam Turan Çil, bana her zaman sevgi, şefkat ve destek sundunuz. Hayatım boyunca sizin emeğiniz ve öğütlerinizle şekillendim. Sizin sabrınız, özveriniz ve bana olan inancınız, bugün başardıklarımın temelinde yatmaktadır.

Sevgili kardeşim Çağrı Çil, her zaman yanımda oldun ve moral verdin. Paylaşımın, dayanışman ve bana sunduğun destek için çok teşekkür ederim. Hayatımda seni yanımda hissetmek benim için büyük bir mutluluk kaynağı olmuştur.

Son olarak, Yalova Belediyesi'ndeki çalışma arkadaşlarıma, bana güçlü bir veri seti oluşturmamda yardımcı oldukları için teşekkür ediyorum. Ayrıca, ilkokuldan bugünlere kadar hayatıma dokunmuş olan ve bana öğretmenlik yapan tüm eğitimcilerime minnettarım. Onların emekleri, bu çalışmanın temellerini oluşturmuş ve akademik yolculuğumu şekillendirmiştir.

Bu tezin başarısı, bütün bu değerli insanların bilgi, deneyim ve sevgisine dayanıyor. Hepinize sonsuz teşekkür ederim.

Sedat ÇİL  
02/01/2025



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
TEŞEKKÜR.....	x
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	4
2.1. Akıllı Şehir Uygulamaları: Teorik Çerçeve ve Çalışma Prensipleri.....	4
2.2. Akıllı Şehirlerin Teorik Temelleri .....	4
2.3. Akıllı Şehirlerin Çalışma Prensipleri ve Uygulama Alanları.....	5
2.4. Akıllı Şehirlerin Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ile İlişkisi .....	6
2.5. Nesnelerin İnterneti (IoT) Teknolojisi: Teorik Çerçeve ve Çalışma Prensipleri .....	7
2.6. IoT Teknolojisinin Çalışma Prensipleri .....	7
2.7. Literatürde IoT Teknolojisinin Atık Yönetimindeki Uygulamaları.....	7
2.8. Teorik Olarak IoT'nin Atık Yönetiminde Sağladığı Avantajlar .....	8
2.9. IoT Teknolojisinin Teorik Çerçevesi ve Atık Yönetimindeki Uygulamaları .....	9
2.10. IoT Teknolojisinin Sürdürülebilirlik ve Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ile İlişkisi.....	9
2.11. Rota Optimizasyonu ve Akıllı Şehir Uygulamalarında Katı Atık Toplama Sistemleri: Teorik Çerçeve ve Çalışma Prensipleri .....	10
2.12. Rota Optimizasyonunun Teorik Temelleri.....	10
2.13. Akıllı Şehir Uygulamalarında Rota Optimizasyonu .....	11
2.14. CBS ve Rota Optimizasyonunun Entegrasyonu .....	12
2.15. Rota Optimizasyonunun Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ile İlişkisi.....	12
2.16. Literatürde Rota Optimizasyonu ve Atık Toplama Sistemleri Üzerine Çalışmalar .....	13
2.17. K-means Kümeleme Algoritması: Teorik Çerçeve ve Çalışma Prensipleri.....	13
2.18. K-means Algoritmasının Teorik Dayanağı ve Avantajları .....	14
2.19. K-means Algoritmasının Uygulamaları ve Sınırlılıkları.....	15
2.20. Sürdürülebilirlik, Çevre ve Atık Yönetimi: Teorik Çerçeve ve Çalışma Prensipleri .....	16
2.21. Sürdürülebilir Atık Yönetimi Sistemlerinin Teorik Temelleri.....	16
2.22. Çevre ve Atık Yönetiminin Çalışma Prensipleri.....	17
2.23. Sürdürülebilirlik ve Atık Yönetimi Arasındaki İlişki .....	17
2.24. Döngüsel Ekonomi Yaklaşımı ve Atık Yönetimi .....	17
2.25. Diğer Literatür Taraması.....	18
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	22
3.1. Çalışma Yapılan Bölge .....	22
3.1.1 Coğrafi Yapı ve Fiziki Özellikler.....	23
3.1.2. Yalova'nın Coğrafi, Tarihsel ve Ekonomik Özellikleri ile Sürdürülebilir Gelişim Süreci.....	23
3.2. Veri Setlerinin Hazırlanması.....	26
3.2.1. Yalova Belediyesi Kentsel Katı Atık Verileri.....	26

3.2.2. Konteyner Verileri .....	30
3.2.3. Yakıt Tüketimi Verileri.....	31
3.2.3. Belediye Bütçesi ve Harcama Verileri .....	32
3.2.4. Personel Maliyetleri .....	32
3.2.5. Vatandaş Talepleri ve Şikayetler .....	32
3.3. Kümeleme Çalışması Veri Bilgileri (Adnan Menderes Mahallesi) .....	32
4. BULGULAR .....	36
4.1. Atık Toplama Operasyon Bulguları .....	36
4.1.1 Yalova Atık Toplama Operasyon Bulguları .....	36
4.1.2. Yalova Adnan Menderes Mahallesi Atık Toplama Operasyon Bulguları .....	44
4.2. Emisyon Bulguları .....	56
4.3. Kümeleme Çalışması Bulguları .....	57
5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....	75
5.1. Çalışma Sınırları .....	77
5.2. Literatüre Katkı .....	77
5.3. Belediyelere ve Çevre Otoritelerine Sağladığı Katkı .....	78
5.4. Gelecekte Yapılabilecek Çalışmalar .....	80
KAYNAKLAR .....	87
EKLER.....	91
EK.1. Bölge, Alt Bölge ve Mıntikalara Göre Hazırlanan Veri Seti .....	91
ÖZGEÇMİŞ.. .....	92

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
%	Yüzde
<sup>0</sup> C	Derece (Celcius)
CH <sub>4</sub>	Metan
CO <sub>2</sub>	Karbon Dioksit
kg	Kilogram
km	Kilometre
km <sup>2</sup>	Kilometre kare
L	Litre
m	Metre
m <sup>3</sup>	Metreküp
N <sub>2</sub> O	Di Azot Monoksit
t	Ton

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
GIS	Geographical Information System
GPRS	General Packet Radio Servive
GPS	Global Positioning System
ICT	Information and Communication Technology
IoT	Internet of Think
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ITRF	International Earht Rotate and Referans Service
KBS	Kent Bilgi Sistemi
KKYS	Kentsel Katı Atık Yönetim Sistemi
KLM	Keyhole Biçimlendirme Dili
M.Ö.	Milattan Önce
RFID	Radio Frequency Identification
SDG	Sustanibility Development Goals
SKH	Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri
TL	Türk Lirası
TSP	Traveling Salesman Problem
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UN	United National
USD	Amerikan Doları
VRP	Vehicle Routing Problem

## ŞEKİLLER DİZİNİ

		<b>Sayfa</b>
Şekil 3.1.	Çalışma Yapılan Bölge Uydu Görüntüsü	23
Şekil 3.2.	Atık Operasyon Verilerinin CBS Sistemine İşlenmesi	29
Şekil 3.3.	Atık Toplama Bölgeleri ve Alt Bölgeleme Görüntüsü	30
Şekil 3.4.	Yalova Çöp Konteyner Dağılımları Google Map Haritalandırılması	31
Şekil 3.5.	Emissia Copert Emisyon Hesaplama Program Görüntüsü	32
Şekil 3.6.	Yalova Adnan Menderes Mahallesi Atık Toplama Operasyon Veri Seti.	34
Şekil 3.7.	Yalova Adnan Menderes Mahallesi Konteyner Ziyaret Süreleri Veri Seti	35
Şekil 4.1.	Yalova'da Konteyner Dağılımları	37
Şekil 4.2.	Atık Toplama Operasyonun Anlık Olarak İncelenmesi	38
Şekil 4.3.	Atık Toplama Operasyonun Raporlanması	39
Şekil 4.4.	Atık Toplama Araçlarının Rotalama Raporlanması	41
Şekil 4.5.	2021 Yılı İçin Atık Toplama Performans Raporu	42
Şekil 4.6.	Rota Raporu Genel Veri Seti	43
Şekil 4.7.	Yalova Adnan Menderes Mahallesi Atık Toplama Aylık Veri Sonuçları (2021)	47
Şekil 4.8.	Yakıt Tüketime Bağlı Olarak Aylık Performans Sonuçları (2021)	48
Şekil 4.9.	Adnan Menderes Mahallesi Atık Toplama Yoğunluk Haritası	49
Şekil 4.10.	Adnan Menderes Mahallesi Toplanan Atık ile Yapılan Yapılan Mesafe İlişkisi	51
Şekil 4.11.	Adnan Menderes Mahallesi Denetlenmiş Görev ile Toplanan Atık İlişkisi	52
Şekil 4.12.	Adnan Menderes Mahallesi Alınan Yakıt Toplanan Atık İlişkisi	53
Şekil 4.13.	Adnan Menderes Mahallesi Konteyner Toplama Süreleri Veri Seti (2021)	54
Şekil 4.14.	Adnan Menderes Mahallesi Konteyner Sayıları ve Hacimleri	55
Şekil 4.15.	Adnan Menderes Mahallesi Konteyner Toplama Süreleri	56
Şekil 4.16.	3000 litre, 100 metre Yürüme Mesafesine Göre Konteyner Kümelemesi	61
Şekil 4.17.	3000 litre, 50 metre Yürüme Mesafesine Göre Konteyner Kümelemesi	62
Şekil 4.18.	1000 litre, 100 metre Yürüme Mesafesine Göre Konteyner Kümelemesi	63
Şekil 4.19.	1000 litre, 50 metre Yürüme Mesafesine Göre Konteyner Kümelemesi	64
Şekil 4.20.	800 litre, 100 metre Yürüme Mesafesine Göre Konteyner Kümelemesi	65

Şekil 4.21.	800 litre, 50 metre Yürüme Mesafesine Göre Konteyner Kümelemesi	66
Şekil 4.22.	540 litre, 100 metre Yürüme Mesafesine Göre Konteyner Kümelemesi	67
Şekil 4.23.	540 litre, 50 metre Yürüme Mesafesine Göre Konteyner Kümelemesi	68
Şekil 4.24.	Toplam Yıllık Kat Edilen Mesafe Karşılaştırılması	71
Şekil 4.25.	Atık Toplama Sıklığı Karşılaştırılması	72
Şekil 4.26.	Bir Atık Toplama Tur Süresi Karşılaştırılması	73
Şekil 4.27.	Atık Toplama Maliyet Karşılaştırılması	74
Şekil 4.28.	Toplanan Atık Başına Emisyon Karşılaştırması	75



## ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa
Çizelge	4.1. Yalova Adnan Menderes Mahallesi Atık Toplama Operasyon Sonuçları	46
Çizelge	4.2. Atık Toplama Emisyon Sonuçları	58
Çizelge	4.3. Önerilen Algoritmaların Sonuçları, Farklı Ayarlar İçin Konteyner Sayısı, Konteyner Doluluk Oranları	60
Çizelge	4.4. Senaryon Modelleri ile Mevcut Durum Karşılaştırma Sonuçları	69



## 1. GİRİŞ

Bu çalışma gelişmekte olan ÷lkelerdeki yerel yönetimlerin karşılaştığı atık yönetimi zorluklarına ve bu zorlukların akıllı şehir teknolojileri kullanılarak nasıl üstesinden gelinebileceğine dair kapsamlı bir inceleme sunmaktadır. Dünya Bankası'na (2018) göre, 2018 yılında yıllık 2,01 milyar ton olan küresel belediye katı atık üretiminin, 2050 yılına kadar 3,40 milyar tona ulaşması öngörülmektedir ve bu artış, nüfus artış hızının iki katından daha fazladır. Bu hızlı artış, kentleşmenin getirdiği ek sorunlarla birleştiğinde, özellikle düşük bütçeli belediyeler için sürdürülebilir atık yönetim sistemlerine olan ihtiyacı ortaya koymaktadır.

Birleşmiş Milletler 'in "2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi" (SDG 11.6), şehirlerin çevresel etkilerini azaltmayı ve atık yönetimi ile geri dönüşüm sistemlerini iyileştirerek atık miktarını önemli ölçüde azaltmayı (SDG 12.5) hedeflemektedir (Birleşmiş Milletler, 2015). Bu çalışma, akıllı şehir teknolojilerini kullanarak belediye atık yönetimi verimliliğini artırmayı amaçlamakta olup, SDG 11 ve SDG 13 (İklim Eylemi) kapsamında çevresel ayak izini azaltarak iklim hedeflerine katkıda bulunmaktadır. Araştırmada K-means kümeleme algoritması kullanılarak, verilerin denetimsiz öğrenme yoluyla kategorize edilmesi sağlanmıştır (Cassiano, 2014; Assef, 2022). Bu kapsamda, kentsel çevrelerdeki atık konteynerlerinin kapasite ve konumsal dağılımları arasındaki ilişkiler analiz edilerek konteyner yerleşimlerinin optimizasyonu hedeflenmiştir.

Wilson ve Velis (2015) tarafından vurgulandığı gibi, yetersiz atık yönetimi ciddi çevresel etkilere yol açmakta, kirliliği önlemek için etkin bertaraf yöntemlerinin gerekli olduğunu göstermektedir. Kümeleme teknikleri, atık yönetimi süreçlerinde lojistik optimizasyonu, depolama alanı incelemeleri ve atık üretim davranışlarının tahmin edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Assef vd., 2022). K-means algoritması, ilk olarak Steinhaus (1956) ve Lloyd (1982) tarafından geliştirilen temel çalışmalara dayanmaktadır ve günümüzde atık yönetimi süreçlerinin optimizasyonunda merkezi bir rol oynamaktadır (Jain, 2010; İkotun vd., 2022). Bu çalışmada, Yalova'dan bir yıl boyunca toplanan atık verileri, belediye katı atık verilerindeki kalıpları tespit etmek amacıyla analiz edilmiştir.

Bu kalıplar, paydaşlara, çevre mühendislerine, şehir plancıları ve yerel yönetim yetkililerine önemli bilgiler sunmaktadır.

Verimli atık toplama sistemleri, atık üretim oranları ve türleri gibi kriterlere dayanmakta olup, bu faktörler gelir düzeyi, coğrafya, mevsimler ve demografik değişkenler gibi unsurlarla şekillenmektedir. Adeleke et al. (2021) ve Khadka et al. (2021) çalışmalarında da vurgulandığı üzere, atık üretimi gelir düzeyi, yaş, eğitim durumu, aile büyüklüğü ve istihdam gibi demografik özelliklere bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu analiz, kentsel atık yönetimi sistemlerinin verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırmayı, böylece çevresel ve halk sağlığına olumlu katkılar sağlamayı amaçlamaktadır.

Bu çalışma, literatürde tespit edilen önemli araştırma boşluklarını ele almayı hedeflemektedir. Güteryüz (2020)'nin İstanbul'daki kentsel atık yönetimine dair incelemesi, önemli içgörüler sunsa da gerçek zamanlı veri analitiği ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojisinin entegrasyonunu içermemiştir. Benzer şekilde, Assef et al. (2022) çeşitli kümeleme metodolojilerini incelemiş, ancak bu teorik çerçevelerin atık yönetim sistemlerine pratik uygulamalarını yeterince detaylandırmamıştır. Ikotun et al. (2023) tarafından yapılan çalışma da belediye katı atık yönetim stratejilerine yeterince odaklanmamıştır. Buna karşılık, bu araştırma, Yalova'da gerçek zamanlı IoT verileri ve CBS teknolojisinin entegre edilmesiyle atık konteyner tahsisatını optimize etmekte ve operasyonel verimliliği artırarak CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmaktadır. Bu çalışma, SDG 11 (Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar) ve SDG 13 (İklim Eylemi) hedeflerine uygun olarak sürdürülebilir küresel kalkınma hedeflerine ulaşmada yeni bir yaklaşım sunmaktadır.

Ayrıca, bu çalışma, Yalova'daki atık toplama süreçlerini optimize etmek için K-means kümeleme yaklaşımını uygulayarak literatürdeki boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır. Atık üretim oranları, işletme maliyetleri, taşıma masrafları, halkın katılımı ve kurumsal duyarlılık gibi belirsizlikleri hesaba katan ek bir model geliştirilmiştir (Morrissey & Browne, 2004; Kaza vd., 2018). Zhang et al. (2019), döngüsel ekonomi yaklaşımının önemine vurgu yapmıştır. Çalışma, 2021 yılından elde edilen mevsimsel değişkenliklerin

atık üretim modelleri üzerindeki etkilerini de ele almaktadır. Ayrıca, bu çalışma, özellikle düşük gelirli ülkelerde belediye bütçelerinin en yüksek maliyet kalemlerinden biri olan atık toplama ve taşıma masraflarının maliyet etkilerini incelemektedir (Aparcana, 2017; Harfadli vd., 2024). Şehir büyüklüğü, atık üretim oranı, araç özellikleri ve nüfus yoğunluğu gibi faktörler bu maliyetlerin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Verilerin Kent Bilgi Sistemleri (KBS) ve CBS ile entegrasyonu, akıllı şehir çerçevelerini geliştirirken, ulusal desteklerin atık yönetimi verimliliğini artırdığı belirtilmektedir.

Bu araştırmanın sonuçları, politika yapıcıların Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SKH) ile uyumlu politikalar geliştirmelerine yardımcı olabilecek bulgular sunmakta ve küresel sürdürülebilirlik çabalarına katkı sağlamaktadır. Yerel yönetimler, bu bulguları kullanarak atık yönetimi hizmetlerini iyileştirebilir ve kamu memnuniyetini artırabilir. Çevre mühendisleri, çevre verimliliği ölçümleri için doğru veri toplama süreçlerine odaklanmalı, şehir plancıları atık yönetimini akıllı şehir çerçevelerine entegre edebilmelidir. Endüstri mühendisleri, insan davranışlarını nicel verilerle birleştirerek etkili atık yönetim stratejileri geliştirebilir. İnşaat mühendisleri ve mimarlar ise sürdürülebilir uygulamaları teşvik eden yapılar tasarlamalıdır. Bu disiplinler arası yaklaşım, atık yönetim sistemlerini ve kentsel sürdürülebilirliği önemli ölçüde ilerletebilir.

## **2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI**

### **2.1. Akıllı Şehir Uygulamaları: Teorik Çerçeve ve Çalışma Prensipleri**

Akıllı şehir (Smart City) kavramı, hızla artan kentleşme ve buna bağlı olarak ortaya çıkan sorunlarla başa çıkmak için bilgi ve iletişim teknolojilerinin (ICT) entegre edilmesini amaçlayan bir şehir yönetim modelidir. Akıllı şehirler, sensörler, IoT, büyük veri analitiği, bulut bilişim, yapay zeka ve coğrafi bilgi sistemleri CBS gibi teknolojilerin birleşimi ile şehir yönetimini optimize etmeyi, yaşam kalitesini artırmayı ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamayı hedefler. Akıllı şehirler, kaynak yönetimini verimli hale getiren, enerji tüketimini optimize eden ve atık yönetimi, trafik, sağlık, güvenlik gibi çeşitli alanlarda teknoloji tabanlı çözümler sunan bir şehir yapısını temsil etmektedir (Caragliu vd., 2011).

### **2.2. Akıllı Şehirlerin Teorik Temelleri**

Akıllı şehirler, çeşitli teorik temellere dayanmaktadır. Bu temellerin en önemlisi, sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda şehirlerin çevresel, ekonomik ve sosyal etkilerini minimize etmeyi amaçlayan bir yaklaşımı içermektedir (UN, 2015). Nam ve Pardo (2011), akıllı şehir kavramını “teknoloji, insanlar ve kurumlar arasındaki etkileşimi optimize ederek, kamu hizmetlerinin kalitesini artırmak ve vatandaşların yaşamlarını iyileştirmek amacıyla bir platform oluşturan şehir yönetimi modeli” olarak tanımlamaktadır. Bu teorik çerçeve, şehirlerin sadece teknoloji ile değil, aynı zamanda sosyal yeniliklerle de gelişmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Akıllı şehirlerin üç temel bileşeni şu şekildedir:

1. Teknoloji: IoT, sensörler, yapay zekâ ve büyük veri analitiği gibi gelişmiş teknolojilerin entegre edilmesi.
2. İnsan Sermayesi: Eğitimli bir iş gücü ve yenilikçi girişimciler aracılığıyla teknolojik gelişmelerin desteklenmesi.

3. Yönetişim ve Politikalar: Kamu ve özel sektör iş birlikleriyle, şeffaf ve verimli bir yönetim sistemi kurulması (Hollands, 2008).

### 2.3. Akıllı Şehirlerin Çalışma Prensipleri ve Uygulama Alanları

Akıllı şehirler, sensörler ve diğer teknolojik cihazlar aracılığıyla toplanan büyük miktarda verinin analiz edilerek, şehir yönetimi süreçlerinde kullanılmasını sağlar. Bu sistemler, gerçek zamanlı veri toplama ve analiz etme yeteneği sayesinde, kamu hizmetlerinin daha hızlı ve verimli bir şekilde sunulmasını sağlar (Batty vd., 2012). Akıllı şehir uygulamaları, başlıca şu alanlarda yoğunlaşmaktadır:

1. Akıllı Ulaşım Sistemleri: Trafik yönetimi, toplu taşıma optimizasyonu ve akıllı otopark sistemleri, akıllı şehirlerin en önemli uygulama alanlarından biridir. Zhang et al., (2011), büyük veri analitiği ve IoT tabanlı sensörlerin, trafik yoğunluğunu gerçek zamanlı olarak izlediğini ve bu sayede trafik akışını optimize ettiğini belirtmektedir. Ayrıca, akıllı trafik ışıkları ve sürücüsüz araçlar gibi teknolojiler, ulaşım sistemlerinin daha verimli hale getirilmesini sağlamaktadır.
2. Akıllı Enerji Yönetimi: Akıllı şehirler, enerji tüketimini optimize ederek enerji verimliliğini artırmayı hedefler. Bu amaçla akıllı sayaçlar, enerji tüketim verilerini toplar ve analiz eder, bu sayede enerji kullanımını optimize eden çözümler sunulur (Faruque & Vatanparvar 2016). Akıllı enerji sistemleri, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunu da destekleyerek, karbon emisyonlarını azaltmada önemli bir rol oynar.
3. Akıllı Atık Yönetimi: Atık yönetimi, akıllı şehir uygulamalarında önemli bir yer tutmaktadır. IoT tabanlı sensörler, çöp konteynerlerinin doluluk oranlarını izleyerek, atık toplama rotalarının optimize edilmesini sağlar. Bu uygulama, yakıt tüketimini azaltarak operasyonel maliyetlerde %20'ye varan tasarruf sağlamaktadır (Al Memun vd., 2017). Ayrıca, bu sistemler çevresel

sürdürülebilirliği artırarak şehirlerin karbon ayak izini azaltmada etkili olmaktadır (Güleryüz, 2020).

4. Akıllı Su Yönetimi: Akıllı su yönetimi sistemleri, su kaynaklarının daha verimli kullanılması amacıyla sensörler aracılığıyla su tüketimini izler ve kontrol eder. Huang et al. (2015) tarafından yapılan bir çalışma, akıllı su sayaçlarının su kaybını %15 oranında azaltarak, kaynak yönetiminde önemli bir ilerleme sağladığını ortaya koymaktadır.

#### **2.4. Akıllı Şehirlerin Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ile İlişkisi**

Akıllı şehir uygulamaları, sürdürülebilir kalkınma hedefleri (SDG) ile doğrudan ilişkilidir. SDG 11 (Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar), şehirlerin çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliğini artırmayı hedeflemekte olup, akıllı şehir uygulamaları bu hedefe önemli katkılar sağlamaktadır (UN, 2015). Örneğin, akıllı ulaşım sistemleri ve akıllı atık yönetimi gibi uygulamalar, şehirlerin çevresel etkilerini azaltarak karbon emisyonlarını minimize eder (Johnson & Smith, 2019). SDG 13 (İklim Eylemi) kapsamında, akıllı şehirler iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir rol oynar, çünkü enerji verimliliğini artırarak ve yenilenebilir enerji kaynaklarını entegre ederek sera gazı emisyonlarını azaltır (Kang vd., 2023).

Akıllı şehirlerin bir diğer önemli yönü, düşük bütçeli belediyeler için sağladığı sürdürülebilir çözümlerdir. Akıllı şehir teknolojileri, kaynak kullanımını optimize ederek maliyetleri düşürmekte ve kamu hizmetlerinin verimliliğini artırmaktadır. Aparcana (2017), düşük ve orta gelirli ülkelerde akıllı şehir uygulamalarının maliyet tasarrufu sağlayarak yerel yönetimlerin bütçelerini daha verimli kullanmalarına yardımcı olduğunu vurgulamaktadır. Özellikle atık yönetimi ve enerji sistemlerinde sağlanan tasarruflar, düşük bütçeli belediyeler için sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır.

## **2.5. Nesnelerin İnterneti (IoT) Teknolojisi: Teorik Çerçeve ve Çalışma Prensipleri**

Nesnelerin İnterneti (IoT), günümüzde bilgi teknolojileri ve veri yönetimi alanındaki en önemli gelişmelerden biri olarak kabul edilmektedir. IoT, fiziksel cihazların, sensörlerin ve diğer elektronik ekipmanların internet üzerinden birbirine bağlanarak veri alışverişinde bulunmasını ve bu verilerin merkezi bir platformda işlenmesini sağlamaktadır. IoT teknolojisi, bağlantılı cihazlardan toplanan büyük miktarda veriyi gerçek zamanlı olarak analiz ederek, bu verilerin karar alma süreçlerinde kullanılmasına olanak tanımaktadır. Bu bağlamda, IoT teknolojisi akıllı şehir uygulamaları, sağlık, tarım ve özellikle atık yönetimi gibi birçok alanda devrim niteliğinde gelişmeler sunmaktadır.

## **2.6. IoT Teknolojisinin Çalışma Prensibi**

IoT sistemlerinin temel çalışma prensibi, sensörler ve cihazlar aracılığıyla veri toplamak ve bu verileri analiz ederek belirli görevlerin optimize edilmesini sağlamaktır. IoT sistemlerinde sensörler, atık konteynerleri gibi fiziksel nesnelere yerleştirilir ve bu sensörler doluluk oranları, sıcaklık, konum gibi çeşitli verileri toplar. Toplanan bu veriler, kablosuz ağlar veya mobil veri iletişim sistemleri aracılığıyla merkezi bir veritabanına gönderilir. Bu veriler daha sonra analiz edilerek, atık toplama süreçlerinin optimize edilmesi, yakıt tüketiminin azaltılması ve verimliliğin artırılması için kullanılır (Al Memun vd., 2017).

## **2.7. Literatürde IoT Teknolojisinin Atık Yönetimindeki Uygulamaları**

IoT teknolojisi, atık yönetimi alanında verimliliği artırmak ve çevresel etkileri en aza indirmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle büyük şehirlerdeki atık toplama süreçlerinde IoT sensörleri, doluluk oranlarını ve atık konteynerlerinin durumunu gerçek zamanlı olarak izleyerek, toplama rotalarının optimize edilmesine olanak tanımaktadır. Al Memun vd., (2017) tarafından yapılan çalışma, Malezya'nın Kuala Lumpur şehrinde geliştirilen bir IoT tabanlı atık izleme sistemini tanıtmaktadır. Bu sistem, atık konteynerlerine yerleştirilen ultrasonik sensörler aracılığıyla konteyner

doluluk oranlarını izleyerek, atık toplama araçlarına gerçek zamanlı veri sağlamaktadır. Pilot uygulama kapsamında, doluluk oranlarının belirli bir seviyeye ulaştığı konteynerler, merkeze sinyal göndererek atık toplama rotalarının optimize edilmesine olanak tanımıştır. Sonuç olarak, çalışma, atık toplama süreçlerinde %20 maliyet tasarrufu sağlandığını ve gereksiz seferlerin önlenerek operasyonel verimliliğin artırıldığını ortaya koymuştur.

Benzer bir çalışmada, Hannan vd., (2011), RFID ve GPRS teknolojilerini kullanarak geliştirdikleri sistemle atık toplama araçlarının izlenebilirliğini artırmıştır. RFID etiketleri ile donatılmış atık konteynerleri, toplama araçları tarafından izlenebilir hale getirilmiş ve toplama rotaları bu verilere dayalı olarak optimize edilmiştir. Çalışma, sistemin uygulanmasıyla birlikte toplama rotalarında %15 iyileşme sağlandığını ve operasyonel maliyetlerin önemli ölçüde düştüğünü rapor etmektedir. Ayrıca, RFID tabanlı sistemlerin izlenebilirlik ve veri doğruluğunu artırarak, atık yönetimi süreçlerinde daha verimli kararlar alınmasına olanak tanıdığı vurgulanmıştır.

## **2.8. Teorik Olarak IoT'nin Atık Yönetiminde Sağladığı Avantajlar**

IoT teknolojisinin atık yönetimi üzerindeki teorik katkıları, üç ana başlık altında toplanabilir: verimlilik artışı, maliyet tasarrufu ve çevresel sürdürülebilirlik. İlk olarak, IoT tabanlı sensör sistemleri, atık toplama süreçlerinde doluluk oranlarının gerçek zamanlı olarak izlenmesi sayesinde atık toplama rotalarını optimize ederek operasyonel verimliliği artırmaktadır (Assef vd., 2022). Bu sayede, toplama araçları gereksiz seferlerden kaçınmakta ve yakıt tüketimi minimuma indirilmektedir. İkinci olarak, IoT sistemleri maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Çöp konteynerlerinin doluluk oranlarına dayalı olarak rotaların optimize edilmesi, yakıt maliyetlerini düşürmekte ve iş gücü verimliliğini artırmaktadır (Aparcana, 2017). Bu özellikle düşük bütçeli belediyeler için kritik bir avantajdır, çünkü IoT tabanlı sistemler, atık toplama ve yönetim maliyetlerini minimize ederek yerel yönetimlerin bütçelerini daha verimli kullanmalarına olanak tanımaktadır.

Üçüncü olarak, IoT teknolojisi çevresel sürdürülebilirliğe önemli katkılarda bulunmaktadır. Gerçek zamanlı veri izleme ve analiz süreçleri, atık toplama süreçlerinde enerji verimliliğini artırarak karbon emisyonlarının azaltılmasını sağlamaktadır (Johnson & Smith, 2019). Bu, Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SDG 11 ve SDG 13) doğrultusunda şehirlerin çevresel etkilerini en aza indirmeyi ve iklim değişikliği ile mücadele etmeyi hedefleyen küresel girişimlere doğrudan katkı sağlamaktadır. IoT tabanlı atık yönetimi sistemleri, atık toplama süreçlerinde enerji tüketimini azaltarak, sera gazı emisyonlarını düşürmekte ve çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmaktadır.

## **2.9. IoT Teknolojisinin Teorik Çerçevesi ve Atık Yönetimindeki Uygulamaları**

IoT teknolojisinin temel prensibi, çeşitli cihazların ve sensörlerin internet üzerinden birbirleriyle bağlantılı olması ve bu cihazların topladığı verilerin merkezi bir sistem tarafından analiz edilmesidir. IoT, atık yönetimi sistemlerinde kullanılmaya başladığında, çöp konteynerlerinin doluluk oranlarını izleyen sensörler, atık toplama araçlarının konumunu takip eden GPS sistemleri ve bu verileri analiz eden merkezi yazılımlar ile bütünleşmiş bir yapıya dönüşmektedir. Bu entegrasyon, atık toplama süreçlerinde gereksiz seferlerin azaltılması ve kaynak kullanımının optimize edilmesi gibi önemli avantajlar sağlamaktadır (Gouveia & Gunther, 2005).

## **2.10. IoT Teknolojisinin Sürdürülebilirlik ve Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ile İlişkisi**

IoT tabanlı atık yönetimi sistemlerinin en önemli faydalarından biri, çevresel sürdürülebilirliğe olan katkısıdır. IoT teknolojisi, atık toplama süreçlerinde yakıt tüketimini azaltarak karbon emisyonlarını düşürmekte ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri (SDG) ile uyumlu hale gelmektedir (Johnson & Smith, 2019). Örneğin, SDG 11 (Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar) hedefi, şehirlerdeki atık yönetimi uygulamalarının geliştirilmesi ve çevresel etkilerin azaltılmasını amaçlamaktadır. IoT teknolojisinin sunduğu gerçek zamanlı veri izleme ve analiz olanakları, şehirlerin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasında önemli bir araç olarak görülmektedir. SDG 12

(Sorumlu Tüketim ve Üretim) kapsamında ise IoT sistemleri, atıkların daha verimli toplanmasını ve yönetilmesini sağlayarak kaynak kullanımını optimize etmekte, bu da atık miktarını azaltarak geri dönüşüm oranlarını artırmaktadır (Lee & Kim, 2019).

IoT teknolojisi, aynı zamanda yerel yönetimlerin atık yönetim maliyetlerini düşürmelerine yardımcı olmakta ve özellikle düşük bütçeli belediyeler için sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır. Aparcana (2017), düşük ve orta gelirli ülkelerde belediyelerin atık yönetimi süreçlerinde karşılaştıkları en büyük zorluklardan birinin yüksek maliyetler olduğunu belirtmiştir. IoT tabanlı sistemlerin bu maliyetleri düşürme potansiyeli, özellikle gelişmekte olan ülkelerde yerel yönetimler için büyük bir avantaj sağlamaktadır.

### **2.11. Rota Optimizasyonu ve Akıllı Şehir Uygulamalarında Katı Atık Toplama Sistemleri: Teorik Çerçeve ve Çalışma Prensipleri**

Rota optimizasyonu, özellikle katı atık yönetim sistemlerinde, operasyonel verimliliği artırmak ve maliyetleri düşürmek için kullanılan kritik bir yöntemdir. Atık toplama süreçlerinde optimize edilmiş rotalar, gereksiz yakıt tüketimini önleyerek hem maliyet hem de çevresel etkileri minimize etmeyi amaçlar. Akıllı şehir uygulamaları, bu tür lojistik süreçlerin iyileştirilmesi için IoT , CBS ve büyük veri analitiği gibi teknolojileri entegre ederek rota optimizasyonunu daha etkin hale getirmektedir. Akıllı atık toplama sistemleri, sensörler ve gerçek zamanlı veri analitiği kullanarak atık toplama araçlarının rotalarını dinamik olarak yönetir ve atık konteynerlerinin doluluk oranlarına dayalı olarak en verimli güzergahları belirler (Al Mamun vd., 2017; Hannan vd., 2011).

### **2.12. Rota Optimizasyonunun Teorik Temelleri**

Rota optimizasyonu, matematiksel modelleme ve operasyon araştırmaları disiplinlerine dayanan bir optimizasyon problemidir. Dijkstra (1959) tarafından geliştirilen ve en kısa yol algoritmalarının temelini oluşturan algoritmalar, bu optimizasyon sürecinin teorik çerçevesini sağlar. Atık toplama sistemlerinde rota optimizasyonu, klasik Gezgin Satıcı Problemi (Traveling Salesman Problem- TSP) ve Araç Rotalama Problemi (Vehicle

Routing Problem- VRP) ile yakından ilişkilidir. Bu tür problemler, belirli bir başlangıç noktasından hareket eden bir aracın, tüm duraklara en kısa mesafeden uğrayarak, toplam maliyeti minimize etmesini hedefler (Golden vd., 2008). Katı atık yönetiminde, bu duraklar çöp konteynerleri veya toplama noktaları olarak değerlendirilir ve algoritmalar, atık toplama araçlarının minimum mesafeyi katederek tüm konteynerleri toplamasını sağlamak için kullanılır.

Teorik olarak, rota optimizasyonu üç temel hedefi gerçekleştirmeye çalışır:

1. Toplam mesafenin minimize edilmesi: Araçların daha az mesafe kat etmesi hem yakıt tüketimini hem de karbon emisyonlarını azaltır (Golden vd., 2008).
2. Zamanın optimize edilmesi: Atık toplama süreçlerinde verimli rotalar sayesinde toplama süresi kısaltılır ve iş gücü verimliliği artırılır.
3. Maliyetlerin azaltılması: Yakıt maliyetlerinin yanı sıra bakım ve işçilik maliyetleri de optimize edilmiş rotalar ile minimuma indirgenir (Gouveia & Gunther, 2005).

### **2.13. Akıllı Şehir Uygulamalarında Rota Optimizasyonu**

Akıllı şehirler, sensör teknolojileri ve IoT tabanlı sistemleri kullanarak rota optimizasyonunu gerçek zamanlı olarak yönetir. IoT sensörleri, atık konteynerlerinin doluluk oranlarını sürekli olarak izler ve bu veriler, merkezi bir platforma gönderilerek analiz edilir. Bu veriler aracılığıyla, atık toplama araçlarının rotaları dinamik olarak güncellenir ve sadece dolu konteynerlerin bulunduğu noktalara gitmeleri sağlanır. Bu yöntem, gereksiz seferlerin önüne geçerek operasyonel verimliliği artırır (Al Mamun vd., 2017). Akıllı atık toplama sistemlerinde sensörler, çöp konteynerlerinin %80 doluluğa ulaştığında atık toplama aracına sinyal gönderir ve bu araçlar en kısa sürede optimize edilmiş rotalar üzerinden konteynerleri boşaltır (Hannan vd., 2011).

## **2.14. CBS ve Rota Optimizasyonunun Entegrasyonu**

Akıllı şehir uygulamalarında rota optimizasyonunun önemli bir diğer bileşeni, CBS'nin entegrasyonudur. CBS, atık toplama rotalarını belirlemek ve bu rotaları optimize etmek için coğrafi verileri analiz eden bir teknolojidir. CBS tabanlı sistemler, atık toplama noktalarının konumlarını, yol ağlarını, trafik durumunu ve diğer coğrafi faktörleri analiz ederek, toplama araçlarının güzergahlarını optimize eder (Zhang vd., 2024). CBS ve IoT verilerinin birleşimi, şehirlerdeki atık toplama operasyonlarını daha verimli hale getirir ve toplama işlemlerini çevresel etkileri minimize edecek şekilde düzenler (Capó vd., 2020).

## **2.15. Rota Optimizasyonunun Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ile İlişkisi**

Rota optimizasyonu, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine (SDG) ulaşmada önemli bir araçtır. SDG 11 (Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar), şehirlerin çevresel etkilerini azaltmayı hedeflemekte olup, atık toplama süreçlerinde rota optimizasyonu bu hedefe doğrudan katkı sağlar. Optimize edilmiş rotalar, atık toplama araçlarının yakıt tüketimini ve karbon emisyonlarını azaltarak, çevreye olan olumsuz etkileri minimize eder (Kang vd., 2023). SDG 12 (Sorumlu Tüketim ve Üretim) kapsamında ise, verimli atık toplama sistemleri, atıkların daha hızlı ve sürdürülebilir bir şekilde toplanmasını sağlayarak geri dönüşüm süreçlerini destekler (Johnson & Smith, 2019). SDG 13 (İklim Eylemi) doğrultusunda ise, rota optimizasyonu ile yakıt tüketimi ve sera gazı emisyonları azaltılarak, iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir adım atılmaktadır (Kaza vd., 2018).

Düşük bütçeli belediyeler için ise rota optimizasyonu, operasyonel maliyetlerin düşürülmesi ve kaynakların daha verimli kullanılması açısından kritik bir avantaj sunmaktadır. Aparcana (2017), düşük gelirli ülkelerde atık toplama sistemlerinin, belediye bütçelerinin önemli bir kısmını oluşturduğunu ve rota optimizasyonu sayesinde bu maliyetlerin %20'ye kadar azaltılabileceğini belirtmiştir. Bu sistemler, yerel

yönetimlerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmalarını sağlayarak, aynı zamanda maliyet etkinliği sunmaktadır.

## **2.16. Literatürde Rota Optimizasyonu ve Atık Toplama Sistemleri Üzerine Çalışmalar**

Literatürde rota optimizasyonu ve atık toplama sistemleri üzerine yapılan çalışmalar, bu teknolojilerin şehirlerdeki atık yönetim sistemlerine sağladığı katkıları kapsamlı bir şekilde ele almıştır. Güteryüz (2020), İstanbul'da atık toplama rotalarının optimize edilmesi için K-means kümeleme algoritmasını kullanmış ve atık toplama maliyetlerinde %25 oranında azalma sağlandığını rapor etmiştir. Bu çalışma, rota optimizasyonunun büyük şehirlerde operasyonel verimliliği artırmak için nasıl kullanılabileceğini göstermektedir. Capó et al. (2020) ise, büyük veri setlerinde rota optimizasyonunu hızlandırmak için geliştirilmiş bir K-means varyantı kullanarak, atık toplama süreçlerinde önemli iyileştirmeler sağlamıştır. Çalışma, veri analitiği ve kümeleme tekniklerinin, lojistik süreçlerde nasıl kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

## **2.17. K-means Kümeleme Algoritması: Teorik Çerçeve ve Çalışma Prensipleri**

K-means kümeleme algoritması, veri biliminde en yaygın kullanılan denetimsiz öğrenme tekniklerinden biri olup, çok boyutlu veri setlerini belirli kümelere ayırarak veri analizi yapmayı amaçlar. Bu algoritma, bir veri kümesindeki noktaları, her bir noktayı en yakın küme merkezine (centroid) atayarak belirli gruplar halinde toplar. K-means algoritmasının temel amacı, veri kümesi içindeki verilerin birbirine olan benzerliklerine dayanarak kümeler oluşturmak ve her kümenin merkezini belirlemektir (Jain, 2010). Bu yöntem, veri noktalarının kümeler içindeki varyansını minimize ederken, kümeler arası varyansı maksimize etmeyi hedefler. İlk olarak Steinhaus (1956) ve Lloyd (1982) tarafından teorik olarak ortaya konulan bu algoritma, özellikle büyük veri setlerinde ve çok boyutlu veri kümelerinde verimli bir şekilde kullanılmaktadır.

K-means Algoritmasının Çalışma Prensipleri

K-means algoritması, başlangıçta rastgele seçilen

$k$

$k$  adet küme merkezi (centroid) ile başlar ve veri noktalarını bu merkezlere atayarak kümeler oluşturur. Algoritmanın temel adımları şu şekildedir:

**Başlangıç Kümelerinin Belirlenmesi:** Algoritma, veri setindeki

$k$

$k$  adet küme merkezi rastgele olarak seçilir. Bu küme merkezleri, başlangıç noktası olarak belirlenir.

**Veri Noktalarının Kümelere Atanması:** Her veri noktası, kendisine en yakın küme merkezine atanır. Bu yakınlık, genellikle Öklid uzaklığı (Euclidean distance) kullanılarak hesaplanır (Lloyd, 1982).

**Küme Merkezlerinin Güncellenmesi:** Tüm veri noktaları kümelere atandıktan sonra, her küme için yeni merkez hesaplanır. Bu yeni merkez, kümeye atanan veri noktalarının ortalama değerini temsil eder.

**Tekrar:** Bu adımlar, veri noktalarının kümelere atamaları ve küme merkezlerinin güncellenmesi şeklinde tekrar eder. Algoritma, küme merkezlerinin değişmediği veya değişikliklerin minimum düzeye indiği noktada durur.

Algoritma, veri noktalarını en uygun kümelere atayana kadar yinelemeli olarak çalışır. Bu süreç, iteratif bir optimizasyon problemi olarak tanımlanabilir ve algoritmanın çıktısı, veri kümesindeki noktaların hangi kümelere ait olduğunu gösteren bir yapı oluşturur. K-means algoritmasının temel amacı, kümeler içindeki verilerin benzerliğini maksimize ederken, kümeler arası farkları mümkün olduğunca belirgin hale getirmektir (Forgy, 1965).

## **2.18. K-means Algoritmasının Teorik Dayanağı ve Avantajları**

K-means kümeleme algoritması, özellikle büyük veri setlerinde hızlı ve verimli sonuçlar üretmesiyle bilinir. Diğer kümeleme algoritmalarına kıyasla hesaplama açısından daha düşük karmaşıklığa sahiptir ve büyük ölçekli veri setlerinde uygulanabilirliği yüksektir (Capó vd., 2020). Bu nedenle, K-means algoritması genellikle veri analitiği, makine

öğrenimi, görüntü işleme ve atık yönetimi gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Steinhaus (1956) tarafından önerilen ilk teorik temeller, Lloyd (1982)'nin daha sonra algoritmayı geliştirmesiyle güçlendirilmiştir.

Teorik olarak, K-means algoritması, her bir veri noktasının kendisine en yakın küme merkezine atanması prensibine dayanır ve bu süreçte küme içi tutarlılığı (intra-cluster homogeneity) artırmayı hedefler. Öklid uzaklığını minimize etmek için tasarlanmış olan algoritma, verilerin kümeler içinde sıkı bir şekilde gruplanmasını sağlar ve bu sayede veri seti üzerinde yapılacak analizlerde daha anlamlı sonuçlar elde edilmesine olanak tanır (Jain, 2010).

### **2.19. K-means Algoritmasının Uygulamaları ve Sınırlılıkları**

K-means algoritması, atık yönetiminde verimliliği artırmak ve lojistik süreçleri optimize etmek için sıklıkla kullanılmaktadır. Güteryüz (2020) tarafından İstanbul'da yapılan çalışmada, atık toplama konteynerlerinin verimli bir şekilde gruplandırılması ve rotaların optimize edilmesi amacıyla K-means algoritması kullanılmıştır. Bu çalışma, atık toplama süreçlerinde maliyetlerin %25 oranında azalmasını sağlamıştır. Ikotun et al. (2023) ise K-means algoritmasının büyük veri setleri üzerindeki performansını incelemiş ve algoritmanın çok sayıda veri noktası üzerinde etkili bir şekilde çalıştığını, ancak yüksek boyutlu veri setlerinde belirli sınırlamaları olduğunu vurgulamıştır. Bu sınırlamalar, algoritmanın başlangıç merkezlerinin rastgele seçilmesi ve sonuçların başlangıç noktalarına bağlı olarak değişiklik göstermesiyle ilgilidir (Forgy, 1965). Ayrıca, algoritmanın yalnızca küresel yapıya sahip kümeler için etkili olduğu, ancak daha karmaşık veya doğrusal olmayan veri yapılarına sahip kümeler için yetersiz kalabileceği belirtilmiştir (Bai vd., 2020).

K-means algoritması, başlangıçta seçilen küme merkezlerine çok duyarlıdır ve yanlış seçilen başlangıç noktaları, algoritmanın kötü sonuçlar üretmesine yol açabilir. Bu nedenle, Cassiano (2014) gibi çalışmalar, algoritmanın performansını artırmak için daha

gelişmiş merkez seçme teknikleri önererek, kümeleme sonuçlarının doğruluğunu artırmayı amaçlamaktadır.

## **2.20. Sürdürülebilirlik, Çevre ve Atık Yönetimi: Teorik Çerçeve ve Çalışma Prensipleri**

Sürdürülebilirlik hem çevresel hem de sosyal ve ekonomik faktörlerin dengeli bir şekilde yönetilmesi üzerine kurulu olan bir kavramdır. 1987 yılında Brundtland Raporu ile gündeme gelen sürdürülebilirlik, günümüzün en önemli küresel hedeflerinden biridir ve insan faaliyetlerinin gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde yönetilmesini amaçlar (WCED, 1987). Çevresel sürdürülebilirlik ise bu genel kavramın bir alt başlığı olup, doğal kaynakların korunması ve çevresel bozulmanın önlenmesi için insan faaliyetlerinin çevre dostu bir şekilde düzenlenmesini ifade eder. Bu bağlamda, atık yönetimi sürdürülebilirlik stratejilerinde önemli bir yere sahiptir. Atık yönetimi sistemleri, çevre üzerindeki olumsuz etkileri azaltmayı, kaynakları verimli kullanmayı ve geri dönüşüm oranlarını artırmayı amaçlayan bir dizi süreçten oluşur (Wilson & Velis, 2015).

## **2.21. Sürdürülebilir Atık Yönetimi Sistemlerinin Teorik Temelleri**

Sürdürülebilir atık yönetimi, atıkların çevreye zarar vermeden yönetilmesi ve atıkların minimuma indirilmesi üzerine kuruludur. Bu sistemler, hiyerarşik bir yapı üzerine inşa edilmiştir ve "önleme, yeniden kullanım, geri dönüşüm ve enerji geri kazanımı" aşamalarından oluşur (Morrissey & Browne, 2004). Atıkların bertaraf edilmeden önce mümkün olduğunca geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanılması, bu süreçlerin temel hedeflerindedir. Kaza et al. (2018), sürdürülebilir atık yönetimi sistemlerinin başarılı olabilmesi için, halk katılımı, kurumsal duyarlılık ve teknolojik yeniliklerin entegre edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu teorik çerçeve, atık yönetiminin yalnızca teknik bir süreç olmadığını, aynı zamanda toplumsal ve politik bir süreç olduğunu ortaya koymaktadır.

## **2.22. Çevre ve Atık Yönetiminin Çalışma Prensipleri**

Atık yönetimi sistemleri, toplanan atıkların geri dönüşüm, enerji geri kazanımı veya nihai bertaraf gibi çeşitli işlemlerden geçirilmesini kapsar. Bu süreçler, çevresel etkilerin azaltılmasını ve kaynakların korunmasını sağlamak için optimize edilir. Atık toplama ve taşıma süreçleri, sürdürülebilir atık yönetimi sistemlerinin önemli bir parçasını oluşturur. Hannan et al. (2011), atık toplama süreçlerinde verimliliği artırmak için sensörler ve IoT tabanlı teknolojilerin kullanımını önermektedir. Atık konteynerlerinin doluluk oranlarının izlenmesi ve rotaların optimize edilmesi, bu süreçlerin çevresel etkilerini azaltmada önemli rol oynar. Ayrıca, sürdürülebilir atık yönetimi, kaynakların etkin bir şekilde kullanılması ve enerji geri kazanımı gibi çevresel hedeflere ulaşılmasını sağlamaktadır (Johnson & Smith, 2019).

## **2.23. Sürdürülebilirlik ve Atık Yönetimi Arasındaki İlişki**

Sürdürülebilirlik ile atık yönetimi arasındaki ilişki, atıkların azaltılması, geri dönüşüm ve enerji geri kazanımı süreçlerinin optimize edilmesiyle doğrudan bağlantılıdır. SDG 12 (Sorumlu Tüketim ve Üretim), atık üretiminin azaltılmasını ve geri dönüşüm oranlarının artırılmasını hedefler. Bu kapsamda, atık yönetimi sistemlerinin verimli hale getirilmesi, doğal kaynakların korunmasına katkı sağlar ve çevresel bozulmayı azaltır (UN, 2015). SDG 11 (Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar) kapsamında ise, şehirlerde atık yönetimi süreçlerinin optimize edilmesi, şehirlerin sürdürülebilir kalkınmasına katkıda bulunur (Gülyüz, 2020). Atık yönetimi süreçlerinin iyileştirilmesi, aynı zamanda karbon emisyonlarının azaltılmasına da katkı sağlar ve bu da SDG 13 (İklim Eylemi) ile doğrudan ilişkilidir (Kang vd., 2023).

## **2.24. Döngüsel Ekonomi Yaklaşımı ve Atık Yönetimi**

Sürdürülebilir atık yönetimi sistemleri, döngüsel ekonomi yaklaşımı ile de yakından ilişkilidir. Döngüsel ekonomi, kaynakların sürekli olarak yeniden kullanılmasını ve atıkların minimuma indirilmesini hedefleyen bir ekonomik modeldir (Zhang vd., 2019). Bu model, atıkların bir sorun olarak değil, geri dönüştürülebilecek ve yeniden

kullanılabilecek değerli kaynaklar olarak ele alınmasını sağlar. Faccio et al. (2011), döngüsel ekonomi yaklaşımının, atık yönetimi süreçlerine entegre edilmesinin, hem çevresel hem de ekonomik faydalar sağladığını belirtmektedir. Atıkların geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanılması, enerji tüketimini azaltır, doğal kaynakları korur ve ekonomik sürdürülebilirliği destekler.

Ayrıca, Morrissey & Browne (2004), sürdürülebilir atık yönetimi sistemlerinin başarılı olabilmesi için sosyal, ekonomik ve çevresel unsurların bir arada ele alınması gerektiğini savunmaktadır. Atık yönetimi sistemleri sadece teknik çözümler sunmakla kalmamalı, aynı zamanda halk katılımı, toplumsal farkındalık ve eğitim gibi unsurları da içermelidir.

## **2.25. Diğer Literatür Taraması**

Türkiye'de bu alana yönelik akademik ilgi de giderek artmaktadır. Son yıllarda, Türkiye'deki üniversitelerde akıllı atık yönetimi, akıllı şehir uygulamaları ve sürdürülebilir atık toplama sistemleri üzerine 30'a yakın yüksek lisans ve doktora tezi tamamlanmıştır. Bu çalışmalar, Türkiye'nin atık yönetimi alanında teknolojik ve sürdürülebilir çözümler geliştirme konusundaki kararlılığını yansıtmaktadır. Bu literatür taraması, söz konusu alanlarda yapılan çalışmaları ve bu çalışmaların sonuçlarını kapsamlı bir şekilde ele alarak, bu alandaki gelişmeleri değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Literatürde atık yönetimi, IoT çözümleri, rota optimizasyonu, kümeleme algoritmaları ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile ilgili yapılan çeşitli çalışmalar, bu alanlardaki gelişmeleri ve mevcut boşlukları anlamak açısından önemli katkılar sunmaktadır. Bu bağlamda, Aparcana (2017), düşük ve orta gelirli ülkelerde gayri resmi atık toplama sektörünün belediye atık yönetim sistemlerine entegrasyonu üzerine önemli bir çalışma gerçekleştirmiştir. Araştırma, gayri resmi sektörün toplam atık yönetim sisteminin %30'unu oluşturduğunu ve geri dönüşüm oranlarının %10-15 aralığında seyrettiğini ortaya koymuştur. Çalışma, çeşitli ülkelerdeki atık yönetim sistemlerinden elde edilen verilerle sosyo-ekonomik analizler yaparak, bu sektörün formel sistemlere entegrasyonunun çevresel ve ekonomik açıdan nasıl faydalar sağlayabileceğini

değerlendirmiştir. Bu bulgular, sürdürülebilir atık yönetimi politikalarının geliştirilmesine katkıda bulunurken, gayri resmi sektörün formal süreçlere dahil edilmesi gerekliliğini vurgulamaktadır.

Bai et al. (2020) ise klasik K-means algoritmasını yüksek boyutlu veri setlerinde kümelenemeyen verilerin başarıyla gruplandırılabilmesi için geliştirilen çoklu kümeleme algoritmaları ile iyileştirmiştir. Simülasyon verileri üzerinde yapılan testler sonucunda, K-means algoritmasının %70 başarı oranı ile kümelenemeyen verileri doğru bir şekilde gruplandırabildiği ve işlem hızında %30 oranında bir iyileşme sağlandığı tespit edilmiştir. Bu geliştirilmiş algoritma, büyük veri setlerinin etkin bir şekilde işlenmesinde ve özellikle akıllı şehir uygulamaları gibi yüksek hacimli verilerin analiz edilmesinde kullanılabilir. Çalışma, K-means algoritmasının zayıf yönlerini geliştirerek yüksek performanslı veri kümelendirme tekniklerine katkı sağlamaktadır.

Atık toplama süreçlerinde gerçek zamanlı izlenebilirlik üzerine odaklanan Faccio et al. (2011), atık toplama araçlarının rotalarını optimize etmek için çok hedefli bir model geliştirmiştir. Gerçek zamanlı izlenebilirlik verilerine dayalı olarak atık toplama süreçlerinin optimizasyonu sağlanmış ve %20 maliyet tasarrufu, %15 yakıt tasarrufu ile birlikte atık toplama rotalarında %25 oranında iyileşme sağlanmıştır. Bu model, şehirlerdeki atık yönetim sistemlerinin daha sürdürülebilir ve maliyet etkin bir şekilde optimize edilmesine yönelik önemli bulgular sunmaktadır. Gerçek zamanlı veriler, optimizasyon algoritmalarıyla analiz edilerek atık toplama süreçlerinde önemli kazanımlar elde edilmiştir.

Caramia et al. (2023), atık toplama süreçlerinin optimizasyonuna yönelik iki aşamalı bir model sunarak bu alanda önemli bir katkı sağlamıştır. İlk aşamada kümeleme algoritmalarıyla atık toplama noktaları belirlenmiş, ikinci aşamada ise bu noktaların rotaları optimize edilmiştir. Sonuç olarak, toplama noktalarında %25 artış, yakıt tüketiminde %18 azalma ve operasyonel maliyetlerde %22 oranında tasarruf sağlanmıştır. IoT tabanlı sensör verilerinin kullanıldığı bu çalışma, büyük ölçekli şehirlerde atık toplama süreçlerinin iyileştirilmesi ve maliyetlerin azaltılması açısından önemli bir çözüm sunmaktadır. Çalışmada kullanılan kümeleme teknikleri ve genetik algoritmalar,

veri işleme sürecinin etkinliğini artırmakta ve sonuçlar şehirlerin atık yönetimi politikalarına entegre edilebilmektedir.

Paul et al. (2019), bütünleşmiş atık yönetimi sistemlerinin optimizasyonu için çok kriterli bir model geliştirmiştir. Bu model, atık toplama, geri dönüşüm ve nihai bertaraf süreçlerini bütünleştirerek maliyetleri azaltmayı ve çevresel etkileri minimuma indirmeyi hedeflemektedir. Çalışmada, atık yönetim sistemlerinde %30 maliyet tasarrufu ve %20 oranında karbon emisyonu azaltımı sağlanmıştır. Farklı şehirlerden toplanan atık yönetimi verileri simülasyon ortamında test edilmiş ve sürdürülebilir atık yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine katkıda bulunmuştur. Çalışma, bütünleşmiş atık yönetimi süreçlerinin daha sürdürülebilir ve çevre dostu bir şekilde yönetilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Nepal'in Katmandu kentinde yapılan Khadka et al. (2021) çalışması, sosyo-ekonomik ve demografik faktörlerin şehirdeki atık üretimi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada, ticari bölgelerin günlük atık üretiminde %40'lık bir paya sahip olduğu ve şehirde günlük ortalama 600 ton atık üretildiği belirlenmiştir. Çok değişkenli analizlerle atık üretimi ve demografik veriler arasındaki ilişki incelenmiş, şehirdeki atık yönetimi stratejilerinin bu faktörler doğrultusunda optimize edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu çalışma, şehir planlama politikalarına önemli bir katkı sağlayarak atık yönetimi süreçlerinin demografik yapıya uygun olarak yeniden düzenlenmesi gerektiğini göstermektedir.

Letelier et al. (2022), Şili'nin Santiago şehrinde geri dönüşüm atık toplama noktalarının optimizasyonuna yönelik gerçekleştirdikleri çalışmada, geri dönüşüm oranlarını artırmayı ve toplama noktalarının verimliliğini iyileştirmeyi amaçlamıştır. Çalışma, geri dönüşüm oranlarında %20 iyileşme ve toplama noktalarının %15 oranında artırıldığını göstermektedir. Veri setleri şehir planlama verileri ve geri dönüşüm atıklarından toplanarak analiz edilmiş ve kümeleme algoritmaları kullanılarak verimlilik artırılmıştır. Bu araştırma, geri dönüşüm toplama süreçlerinin iyileştirilmesine yönelik önemli bir

çözüm sunmakta ve şehir planlamasında geri dönüşüm oranlarının artırılması gerektiğini vurgulamaktadır.

Zhang et al. (2019), Çin'deki akıllı atık yönetimi sistemlerinin uygulanmasında karşılaşılan engelleri ve bu süreçte ortaya çıkan fırsatları analiz etmiştir. Çalışma, atık yönetimi süreçlerinin %40 oranında iyileştirilebileceğini ve maliyetlerde %25 oranında bir azalma sağlanabileceğini öngörmektedir. Veri madenciliği teknikleri kullanılarak elde edilen bulgular, teknolojik yeniliklerin akıllı şehir uygulamalarına entegrasyonunun önemini vurgulamaktadır. Bu çalışma, akıllı atık yönetimi sistemlerinin daha geniş çapta uygulanması için önemli stratejik öneriler sunmakta ve teknolojik yeniliklerin sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu hale getirilmesi gerektiğini belirtmektedir.

Son olarak, Williams (2005) tarafından gerçekleştirilen çalışma, modern atık işleme ve bertaraf yöntemlerini ele almaktadır. Atık yakma, geri dönüşüm, kompostlama ve düzenli depolama gibi yöntemlerin çevresel ve ekonomik etkilerini inceleyen çalışma, enerji geri kazanım oranlarının %25-30 arasında olduğunu ve düzenli depolama alanlarının ton başına 1,5 kg CO<sub>2</sub> emisyonuna sebep olduğunu ortaya koymuştur. Bu araştırma, atık bertaraf süreçlerinin çevresel etkilerini azaltmak için stratejik öneriler sunmakta ve atık yönetimi sistemlerinin daha çevre dostu hale getirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

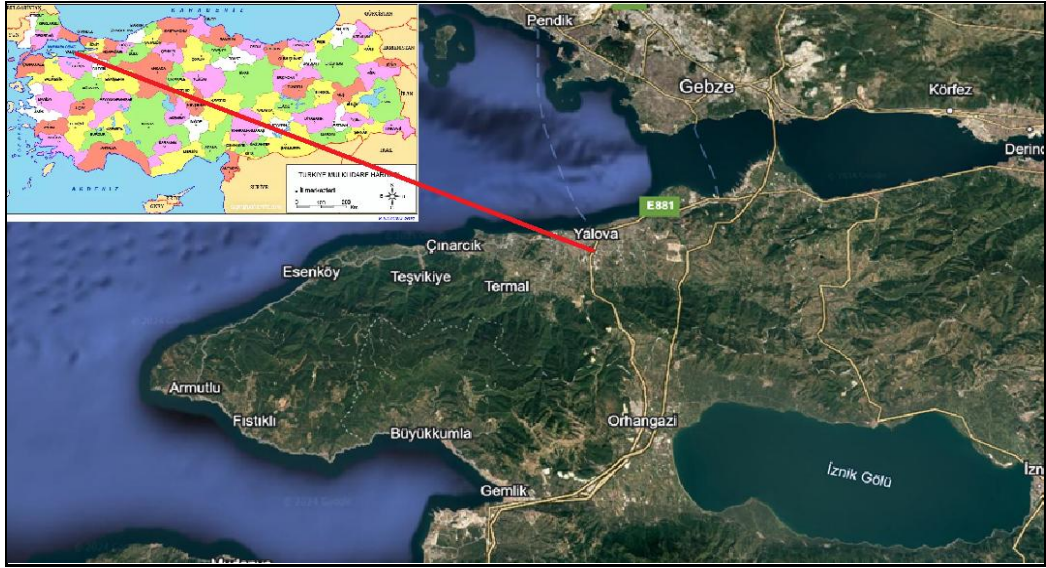
Viktorin et al. (2023) ise, büyük ölçekli atık yönetim sorunlarına çözüm sunmak amacıyla atık toplama noktalarının optimal yerlerini belirlemek için hiyerarşik kümeleme algoritmaları geliştirmiştir. Yapılan analizler sonucunda atık toplama verimliliğinde %20 artış ve maliyetlerde %15 azalma sağlandığı belirlenmiştir. Bu çalışma, atık toplama süreçlerinde optimizasyon tekniklerinin uygulanabilirliğini göstermekte ve şehirlerde atık yönetimi stratejilerinin iyileştirilmesi için önemli katkılar sunmaktadır.

Bulunur (Aparcana, 2017). Düşük bütçeli belediyeler için, sürdürülebilir atık yönetimi çözümleri, maliyetleri minimuma indirirken, çevresel etkileri de azaltmaktadır. Bu çözümler, yerel yönetimlerin kaynaklarını daha verimli kullanmalarını sağlayarak, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmalarına yardımcı

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Çalışma Yapılan Bölge

Yalova ili, Marmara Bölgesi'nin kuzeybatısında yer alıp, coğrafi konumu ve iklim özellikleri itibarıyla hem doğal zenginliklere hem de stratejik avantajlara sahip bir bölgedir. İlin fiziki coğrafyası hem tarımsal faaliyetlerin hem de sanayi ve turizmin gelişmesi açısından büyük önem arz etmektedir. Marmara Denizi'ne kıyısı bulunan Yalova, hem deniz hem de kara ulaşımında kilit bir noktada yer almakta olup, İstanbul, Kocaeli ve Bursa gibi büyük şehirlerle olan yakınlığı ile ticaret ve ulaşımında önemli bir kavşak noktasını temsil eder. İlin toplam yüzölçümü 847 km<sup>2</sup>'dir ve coğrafi yapısı itibarıyla tarıma elverişli topraklara ve zengin doğal kaynaklara sahiptir (TÜİK, 2021).



Şekil 3.1. Çalışma Yapılan Bölge Uydu Görüntüsü

### **3.1.1 Coğrafi Yapı ve Fiziki Özellikler**

Yalova ili, doğusunda Kocaeli, güneyinde Bursa, batısında Marmara Denizi ve kuzeyinde İstanbul ile çevrelenmiştir. Bu coğrafi konum, ilin doğal bir geçiş noktası olmasını sağlamaktadır. İlin genel yüzey şekilleri ise engebeli bir yapıya sahiptir. Kuzeydoğu yönünde Marmara kıyısı boyunca alçak kıyı ovaları yer alırken, güney ve güneydoğusunda Samanlı Dağları'nın uzantıları ile dağlık ve ormanlık alanlar bulunmaktadır. En yüksek noktası Beşpınar Tepesi olup, 926 m yüksekliğindedir (Ertuğrul, 2010). İlin fiziki yapısı, deniz seviyesinden başlayarak yüksek dağlara kadar uzanan bir topografik çeşitliliği beraberinde getirir. Bu da tarım, turizm ve sanayi açısından farklı alanlarda gelişim potansiyeli sunmaktadır.

Yalova'nın kuzey ve batı kıyıları boyunca uzanan alüvyon ovalar, ilin tarımsal üretimi için verimli topraklar sağlamaktadır. Bu alüvyon ovaları, özellikle meyve ve sebze üretimi için elverişli olup, Yalova'nın Türkiye'nin en önemli süs bitkisi üretim merkezlerinden biri olmasını da destekleyen temel coğrafi özelliklerden biridir (Ercan, 2014). Ayrıca, ilin kıyı kesimlerinde yer alan doğal limanlar ve koylar, Yalova'nın deniz ticareti açısından stratejik bir öneme sahip olmasını sağlamaktadır.

### **3.1.2. Yalova'nın Coğrafi, Tarihsel ve Ekonomik Özellikleri ile Sürdürülebilir Gelişim Süreci**

Yalova, Marmara Bölgesi'nde yer alan stratejik bir şehir olarak coğrafi, tarihsel ve ekonomik yapısı ile dikkat çekmektedir. İklim çeşitliliği, doğal kaynakları ve tarihsel süreçte farklı medeniyetlere ev sahipliği yapmış olması, ilin ekonomik ve sosyal gelişimine önemli katkılar sunmuştur. Aynı zamanda Yalova, sürdürülebilir kalkınma politikaları ve çevresel yatırımlarıyla öne çıkan bir il olma özelliği taşımaktadır (Ertuğrul, 2010; Kahraman, 2008). Yalova, Akdeniz ve Karadeniz iklimleri arasında bir geçiş bölgesinde yer almaktadır. Bu iklimsel çeşitlilik, ilin tarımsal üretim potansiyelini artırmakta ve özellikle meyve ve süs bitkisi üretiminde önemli avantajlar sunmaktadır. Ertuğrul (2010), Yalova'nın yıllık ortalama sıcaklığının 14-15°C arasında değiştiğini ve

yıllık yağış miktarının 750-800 mm civarında olduğunu belirtmektedir. Yağışların büyük bir kısmı kış ve sonbahar aylarında gerçekleşirken, yaz aylarında Akdeniz ikliminin etkisiyle kuraklık gözlenmektedir. Bu iklim özellikleri, ilin tarım sektöründe çeşitliliği teşvik etmektedir (Bilge, 2010).

Yalova'nın tarihsel geçmişi MÖ 3000'li yıllara kadar uzanmaktadır. Erdoğan (2004), bölgedeki en eski yerleşim izlerinin Tunç Çağı'na ait olduğunu ve Hititler, Frigler, Lidyalılar gibi medeniyetlerin bu bölgeden geçtiğini ifade etmektedir. Lidya Krallığı döneminde, Yalova'nın Marmara Denizi kıyısındaki stratejik konumu, ticaret yolları üzerinde önemli bir geçiş noktası haline gelmesine katkı sağlamıştır (Kahraman, 2008). Roma ve Bizans dönemlerinde ise bölge, özellikle termal su kaynakları ile tanınmıştır. Soysal (2015), Roma döneminde Yalova'nın termal turizm açısından önemli bir sağlık merkezi olduğunu ve İmparator Trajanus ile Hadrianus'un bölgeyi sıkça ziyaret ettiğini belirtmektedir. Bizans döneminde de bu termal kaynaklar kullanılmıştır.

Osmanlı İmparatorluğu döneminde, Yalova stratejik önemi ve verimli toprakları ile öne çıkmıştır. Bilge (2010), Yalova'nın Osmanlı döneminde tarım ürünlerinin İstanbul'a sevk edildiği önemli bir liman şehri olduğunu vurgulamaktadır. Cumhuriyet'in ilanından sonra, Mustafa Kemal Atatürk'ün Yalova'ya verdiği önem ve şehre yaptığı yatırımlar, bölgenin modernleşme sürecine önemli katkılar sunmuştur (Çetinkaya, 1998). Atatürk'ün "Yalova benim kentimdir" ifadesi, ilin Cumhuriyet dönemi modernleşme projelerinde oynadığı rolü vurgulamaktadır (Koç, 2007).

Yalova, su kaynakları açısından zengin bir il olup, tarımsal sulama ve içme suyu temininde bu kaynaklar önemli rol oynamaktadır. TÜİK verilerine göre, Yalova'daki su kaynaklarının %85'i yüzey sularından sağlanmaktadır. Gökçedere, Sugören ve Termal Kaplıcaları gibi su kaynakları, ilin hem tarım hem de turizm sektörlerine katkıda bulunmaktadır (Soysal, 2015).

Atıksu ve katı atık yönetimi, Yalova'da çevresel sürdürülebilirlik politikalarının temel bileşenlerinden birini oluşturmaktadır. TÜİK verilerine göre, Yalova'da günlük yaklaşık

420 ton evsel katı atık üretilmektedir. Bilge (2010), atık yönetiminin etkin bir şekilde sürdürülebilmesi için geri dönüşüm oranlarının artırılmasının önemli olduğunu vurgulamaktadır. Yalova'daki ileri biyolojik arıtma tesisleri, bölgedeki çevresel kirliliğin önlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Ercan, 2014). Özellikle sanayi kuruluşlarının atık yönetimi politikalarına uyum sağlaması, çevresel farkındalığın artmasına katkı sunmaktadır.

Yalova'nın ekonomisi, tarım, sanayi ve hizmet sektörlerine dayanmaktadır. Özellikle süs bitkisi üretimi ve seracılık faaliyetleri, ilin ekonomik yapısında önemli bir yere sahiptir. Bilge (2010), Yalova'nın Türkiye genelinde süs bitkisi üretiminde lider konumda olduğunu ve bu durumun ilin tarımsal üretimine büyük katkılar sağladığını belirtmektedir. Sanayi sektöründe ise Yalova, kimya, lojistik ve metal sanayi gibi alanlarda yoğunlaşmakta olup, ihracat hacmi giderek artmaktadır. Kahraman (2008), Yalova'nın ihracat yapılan ülkeler arasında Avrupa Birliği ülkelerinin önemli bir yer tuttuğunu vurgulamaktadır.

Yalova'nın sosyal yapısı, ilin ekonomik ve demografik dinamiklerini şekillendirmektedir. TÜİK verilerine göre, ilin nüfusu 290.000'in üzerindedir ve genç nüfus oranı oldukça yüksektir. Gökalp (2019), genç nüfusun yüksek olmasının eğitim ve istihdam politikaları açısından önemli fırsatlar sunduğunu ifade etmektedir. Eğitim düzeyi açısından Yalova'daki okuryazarlık oranı %98'in üzerinde olup, bu durum ilin nitelikli iş gücü potansiyelini artırmaktadır.

Yalova'nın sağlık altyapısı ve sağlık turizmi potansiyeli, ilin ekonomik ve sosyal gelişimine katkı sunmaktadır. Termal ilçesindeki termal kaplıcalar, sağlık turizmi açısından önemli bir cazibe merkezi oluşturmaktadır. Küçük ve ark. (2018), termal kaynakların sağlık turizmi potansiyeline olan katkısını vurgulamakta ve bu kaynakların özellikle kas-iskelet sistemi hastalıklarının tedavisinde kullanıldığını ifade etmektedir. Ayrıca, Yalova'daki modern hastane altyapısı ve sağlık hizmetlerinin kalitesi, yerel halkın ve sağlık turizmi kapsamında gelen ziyaretçilerin ihtiyaçlarını karşılamaktadır.

Yalova, çevresel sürdürülebilirlik açısından dikkat çekici bir il olup, doğal kaynakların korunmasına yönelik çeşitli projeler yürütülmektedir. Ercan (2014), özellikle su yönetimi ve atık yönetimi alanlarında yapılan çevre yatırımlarının, ilin çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasında önemli katkılar sunduğunu belirtmektedir. Katı atık yönetiminde akıllı şehir uygulamalarının henüz tam anlamıyla yaygınlaşmadığı gözlemlenmekte olup, bu durum, saha uygulamalarında manuel toplama sistemlerinin baskın olmasına yol açmaktadır (Demirtaş ve ark., 2020). İilde yapılacak çevresel yatırımların artırılması, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada önemli bir adım olacaktır.

Sonuç olarak, Yalova'nın coğrafi, tarihsel ve ekonomik özellikleri ile çevresel sürdürülebilirlik politikaları, ilin gelecekteki kalkınma projeksiyonlarında önemli bir rol oynamaktadır. Doğal kaynakların korunması, tarım, sanayi ve turizm sektörlerindeki çeşitlilik, Yalova'yı hem ulusal hem de uluslararası düzeyde cazip bir merkez haline getirmektedir. Atıksu yönetimi, geri dönüşüm projeleri ve çevre dostu politikalar ile Yalova'nın sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşması beklenmektedir.

### **3.2. Veri Setlerinin Hazırlanması**

Bu çalışma, Yalova Belediyesi Kentsel Katı Atık Yönetim Sistemi (KKAYS) verilerinin bir yıl boyunca (2021 yılı) toplanarak analiz edilmesini amaçlamaktadır. Toplanan veriler, Yalova Belediyesi'nin mevcut GBS altyapısına entegre edilerek, kapsamlı bir veri seti oluşturulmuş ve bu verilerden yola çıkarak atık toplama ve yönetim süreçlerinin optimize edilmesine yönelik analizler yapılmıştır. Aşağıda, veri hazırlama aşamaları detaylı olarak açıklanmıştır:

#### **3.2.1. Yalova Belediyesi Kentsel Katı Atık Verileri**

Yalova Belediyesi'nin mevcut atık yönetim sisteminde bir yıl boyunca toplanan veriler (2021 yılı) çalışma sistemine işlenmiştir. Bu veriler, belediyenin Oracle tabanlı Giga SOFT V 2.0 CBS altyapısında saklanarak analiz edilecek şekilde yapılandırılmıştır. 2021

yılına ait katı atık verilerinin hazırlanması, atık toplama süreçlerinin verimliliğini artırmak amacıyla saha ölçümleri ve belediyenin mevcut veri tabanlarından yararlanılarak yürütülmüştür. Toplanan veriler, atık toplama sıklığı, bölgesel atık üretim hacimleri ve kaynak yönetimi gibi kritik unsurları içermektedir.

### ***Bölge, Alt Bölge ve Mıntıka Tanımlamaları***

KKAYS için Yalova Belediyesi sınırları içerisindeki atık toplama alanları bölgelere, alt bölgelere ve mıntikalara ayrılmıştır. Yalova Belediyesi CBS veri tabanında;

- 9 adet bölge,
- 18 adet alt bölge,
- 53 adet mıntıka (çalışma alanı) tanımlanmıştır.

Bu bölgelerden, 11 mıntıkaya haftada 6 gün sefer düzenlenirken, 42 mıntıkaya ise haftada 3 gün sefer düzenlendiği tespit edilmiştir. Bu dağılım, farklı mıntikalardaki atık üretim yoğunluğuna göre optimize edilmiştir.

Her bir bölge, alt bölge ve mıntıkaya ait çeşitli demografik ve coğrafi veriler, Yalova Belediyesi'nin Oracle tabanlı CBS sistemine aktarılmıştır. İşlenen veriler şunlardır:

- Nüfus verileri,
- Bağımsız birim verileri (mesken, ticarethane, kamu kurumu, hastane vb.),
- Cadde ve sokak sayıları,
- Cadde ve sokakların uzunlukları,
- Cadde ve sokaklardaki konteyner sayıları ve toplam konteyner hacimleri.

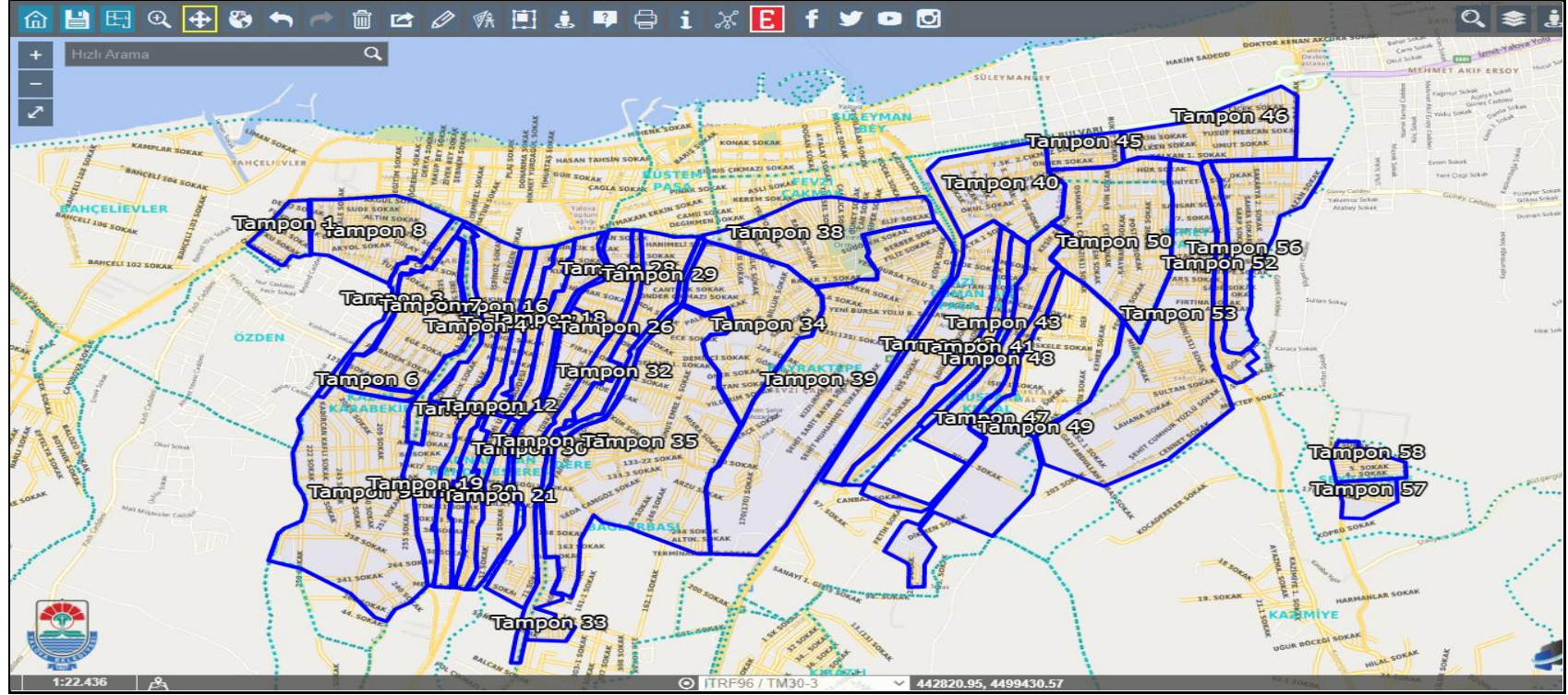
The screenshot displays a GIS application interface for Yalova. The main map shows a network of roads and several waste collection points (tampon) marked with blue lines and numbered labels (e.g., Tampon 6, Tampon 8, Tampon 12, Tampon 16, Tampon 18, Tampon 21, Tampon 23, Tampon 26, Tampon 29, Tampon 32, Tampon 34, Tampon 35, Tampon 38, Tampon 39, Tampon 40, Tampon 43, Tampon 44, Tampon 46, Tampon 47, Tampon 48, Tampon 49, Tampon 52, Tampon 53, Tampon 55, Tampon 56, Tampon 57, Tampon 58). The interface includes a search bar at the top, a list of search results below the map, and a sidebar on the right with search criteria. The search results table is as follows:

Bağımsız Bi.:	Mahalle	Yol	Yol Türü	Kapı No	Kat No	İç Kapı	Kullanım	Kullanım	Kullanım
3508900051	İSMET PAŞA	35	Sokak	6		1	Özel	Bilinmeyen	Meske
3508000084	İSMET PAŞA	35	Sokak	6		2	Özel	Bilinmeyen	Meske
3507700098	İSMET PAŞA	35	Sokak	6		3	Özel	Bilinmeyen	Meske

Şekil 3.2. Atık Operasyon Verilerin CBS Sistemine İşlenmesi

Yalova Belediyesi sınırları içerisindeki bu verilerin tek tek sisteme işlenmesi sonucu 15 binden fazla veri, CBS veri tabanına aktarılmıştır. Bu kapsamlı veri girişi, katı atık toplama süreçlerinin detaylı bir şekilde analiz edilmesine olanak tanımıştır. Şekil 3.2. de atık operasyon verilerin CBS veri tabanına aktarılması işleminin ekran görüntüsü gösterilmiştir

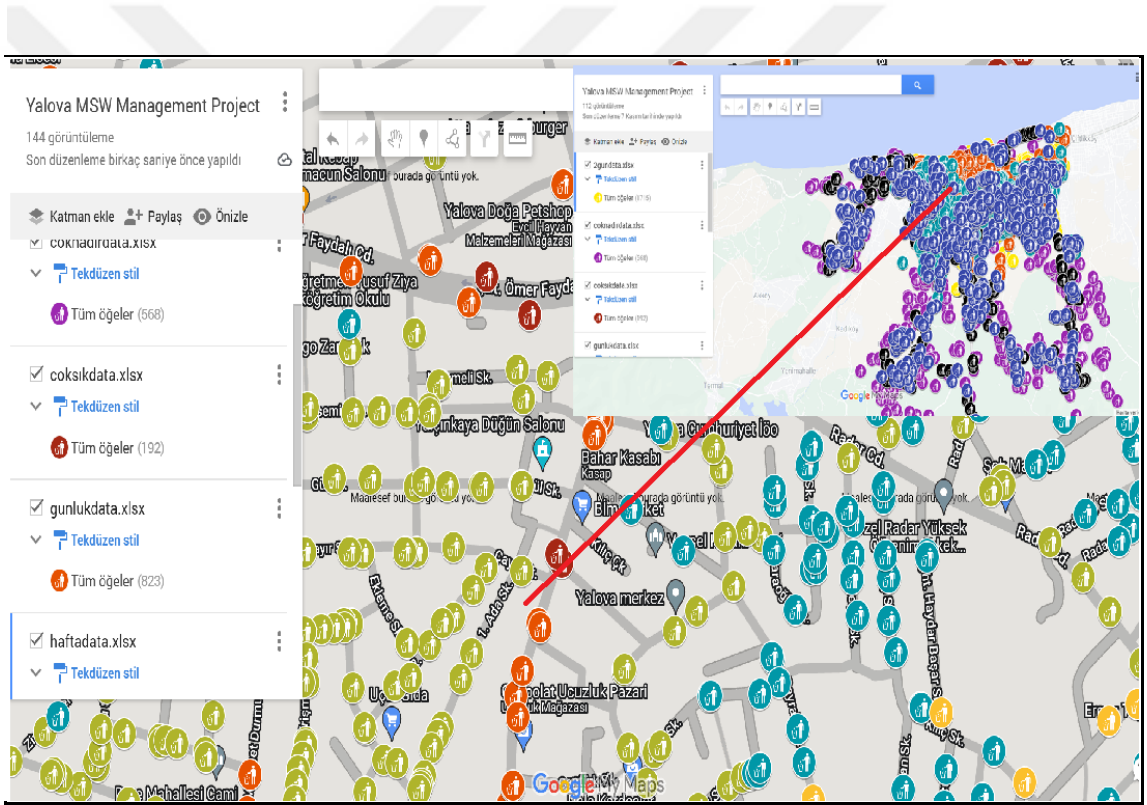
Atık toplamada kullanılan araçlara bağlı olarak haftanın yedi günü çalışma yapılan bölgeler için Şekil 3.3'te gösterilen bölge ve alt bölgelere ayrılmış toplama alanları gösterilmiştir. Yapılan çalışmalara göre tüm bölgelere ait varlık ve işletme verileri EK.1'de veri seti tablosu olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Atık Toplama Bölgeleri ve Alt Bölgeleme Görüntüsü

### 3.2.2. Konteyner Verileri

Yalova Belediyesi sınırları içerisindeki yaklaşık 7,100 adet atık konteyneri, ITRF96/TM30-3 Harita Sistemine X ve Y koordinatları ile birlikte CBS cihazları kullanılarak saha ölçümleriyle manuel olarak sisteme aktarılmıştır. Bu veriler, KLM ve Excel formatında saklanarak, farklı analiz platformlarına aktarılabilir hale getirilmiştir. Konteynerlerin konum bilgileri, konteyner doluluk oranları ile birlikte atık toplama rotalarının optimize edilmesi için temel veri kaynağı olarak kullanılmıştır. Elde edilen veriler Google Maps. Google My Maps lisanssız kullanımlarında harita olarak elde edilmiştir. Şekil 3.4.'te Yalova çöp konteynerlerini dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Yalova Çöp Konteyner Dağılımları Google Map Haritalandırılması

Buna göre, kırmızı renk 24 saati, mavimsi; 24-36 saati, yeşil; 36-48 saati, koyu yeşil; 48-72 saat arasında toplama sıklıklarını göstermektedir.

### 3.2.3. Yakıt Tüketimi Verileri

Yalova Belediyesi Makine İkmal Biriminden, belediyenin yıllık yakıt (motorin) tüketim miktarlarına ilişkin veriler alınmıştır. 2021 yılı içerisinde toplam 1 milyon 20 litre motorin tüketildiği, bunun 360 bin litresinin temizlik hizmetlerinde, 220 bin litresinin ise doğrudan çöp toplama hizmetlerinde kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu yakıt tüketim verileri, atık toplama araçlarının enerji verimliliği ve karbon emisyonu analizlerinde kullanılmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Category	Fuel	Segment	Euro Standard	Emission				Grand Total				
				Urban Peak	Rural	Highway	Total	Urban Off Peak	Urban Peak	Rural	Highway	T...
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 12 - 14 t	Euro VI D/E	0.4342	0.1579	0.1184	0.7895	109.5381	1,306.3987	149.8109	103.5975	1,66

Şekil 3.5. Emissia Copert Emisyon Hesaplama Programı Görüntüsü

Operasyonel süreçlerin optimizasyonu için maliyet ve insan faktörleri de analiz edilmiştir. Şekil 3.5’de akaryakıt tüketimine bağlı olarak emisyon hesaplanması için yapılan işlem süreç başlangıcı gösterilmiştir. Bunun için lisansız çevrim içi paylaşılan EMISIA COPERT 5.1.1 yazılımı kullanılarak, yakıt tüketimini azaltmaya yönelik analizler gerçekleştirilmiş ve IPCC hesaplama yöntemi kullanılarak yıllık yakıt tüketim oranları hesaplanmıştır. Bu analizler, operasyonel süreçlerde maliyet ve çevresel etkiler açısından önemli veriler sunmuştur.

### **3.2.3. Belediye Bütçesi ve Harcama Verileri**

Yalova Belediyesi Mali Hizmetler Performans Raporuna göre 2021 yılı toplam bütçesinin 310 milyon TL olduğu, bu bütçeden temizlik hizmetleri için ayrılan kısmın ise 20 milyon 310 bin TL (bütçenin %6,55'i) olduğu tespit edilmiştir. Bu bütçe verileri, temizlik hizmetlerinin belediye bütçesi üzerindeki yükünü ortaya koymakta ve atık yönetimi süreçlerinde maliyet optimizasyonu yapılması gerektiğini vurgulamaktadır.

### **3.2.4. Personel Maliyetleri**

2021 yılında temizlik hizmetlerinde çalışan personelin toplam maliyetinin 14 milyon 465 bin TL olduğu, çöp toplama hizmetine ayrılan personel maliyetinin ise 6 milyon 409 bin TL olduğu görülmüştür. Bu veriler, temizlik hizmetlerinin personel maliyetlerini optimize etmek amacıyla yapılacak analizler için kritik önem taşımaktadır.

### **3.2.5. Vatandaş Talepleri ve Şikayetler**

Sosyal veri altlığı olarak, Yalova Belediyesi Hizmet Masaları ve Çağrı Merkezi'ne gelen talepler ve şikayetler analiz edilmiştir. 2021 yılı boyunca toplam 38 bin adet talep ve şikâyet geldiği, bu taleplerin %14,76'sının temizlik işleri ile ilgili olduğu tespit edilmiştir. Bu sosyal veriler, atık toplama hizmetlerinin halk memnuniyeti üzerindeki etkilerini değerlendirmede kullanılacaktır.

## **3.3. Kümeleme Çalışması Veri Bilgileri (Adnan Menderes Mahallesi)**

31 Aralık 2020 ile 1 Ocak 2022 tarihleri arasında gerçekleştirilen veri toplama ve işleme süreci, kesintisiz bir sistematik içinde yürütülmüştür. Yalova ili özelinde, kentsel katı atık yönetimi faaliyetleri tüm yıl boyunca ve günün her saatinde devam etmiş, atık toplama işlemleri belirli periyotlarla detaylı bir şekilde takip edilmiştir. Bu süreçte kullanılan ana ekipmanlardan biri, arka yüklemeli hidrolik sıkıştırma haznesine sahip 13+1,5 m<sup>3</sup> kapasiteli kamyon olmuştur. Araç, Euro-6 emisyon standartlarına uygun bir 9 litrelik

motora sahiptir ve operasyon sırasında 100 kilometrede ortalama 56 litre yakıt tüketmektedir. Aynı araç ve ekip (bir sürücü ve iki işçi) süreç boyunca görevlendirilmiş, bu sayede veri tutarlılığı sağlanmıştır. 2021 yılı boyunca konteyner yerleştirme düzenleri, konteyner sayıları, türleri ve kapasiteleri gibi tüm veriler detaylı şekilde kaydedilmiş ve analize dahil edilmiştir. Kümeleme çalışması içinde atık toplama verileri ve konteyner ziyaret sıklığı olmak üzere iki tane veri seti kullanılmıştır.

Rota ID	Rota İsi	Araç	Tarih	Rota Statüsü	Atık Mikti	Akaryakıt	Toplam Yol (km)	Toplam Zaman (saat)	Atanan Görev Sayısı	Tamamlanan Görev Sayısı	Görev Tamamlama Oranı
169277	1 AC 77 Af01.01.2021	Completed	1	9,62	0	69	5,57	286	246	86,01%	
169605	2 AC 77 Af02.01.2021	Completed	1	9,14	0	70	5,38	288	222	77,08%	
169907	3 AC 77 Af03.01.2021	Completed	1	9,32	0	71	6,25	286	231	80,77%	
170222	4 AC 77 Af04.01.2021	Completed	1	11,68	0	81	6,38	288	226	78,47%	
170571	5 AC 77 Af05.01.2021	Completed	1	10,66	245	72	6,21	286	243	84,97%	
170909	6 AC 77 Af06.01.2021	Completed	1	9,70	0	71	5,32	288	232	80,56%	
171237	7 AC 77 Af07.01.2021	Completed	1	9,18	0	71	6,02	286	245	85,66%	
171537	8 AC 77 Af08.01.2021	Completed	1	9,60	0	74	6,00	288	235	81,60%	
171870	9 AC 77 Af09.01.2021	Completed	1	8,88	0	68	5,22	286	250	87,41%	
172140	10 AC 77 Af10.01.2021	Completed	1	9,40	0	70	4,50	288	221	76,74%	
172451	11 AC 77 Af11.01.2021	Completed	1	10,84	0	75	6,80	288	119	41,32%	
172773	12 AC 77 Af12.01.2021	Completed	1	11,88	282	72	6,52	288	237	82,29%	
173104	13 AC 77 Af13.01.2021	Completed	1	11,10	0	69	5,15	286	226	79,02%	
173452	14 AC 77 Af14.01.2021	Completed	1	12,82	0	71	6,28	288	227	78,82%	
173780	15 AC 77 Af15.01.2021	Completed	1	9,10	0	72	6,48	286	249	87,06%	
174095	16 AC 77 Af16.01.2021	Completed	1	10,50	0	75	6,25	288	241	83,68%	
174393	17 AC 77 Af17.01.2021	Completed	1	9,24	0	67	4,54	286	234	81,82%	
174698	18 AC 77 Af18.01.2021	Completed	1	12,58	0	76	7,24	288	231	80,21%	
175076	19 AC 77 Af19.01.2021	Completed	1	9,84	220	74	5,89	286	242	84,62%	
175437	20 AC 77 Af20.01.2021	Completed	1	10,54	0	74	6,30	288	234	81,25%	
175809	21 AC 77 Af21.01.2021	Completed	1	9,36	0	78	6,64	286	241	84,27%	
176160	22 AC 77 Af22.01.2021	Completed	1	9,10	0	76	6,67	288	237	82,29%	

**Şekil 3.6.** Yalova Adnan Menderes Mahallesi Atık Toplama Operasyon Veri Seti

Atık toplama operasyonları, mevsimsel etkilerin atık üretim ve toplama desenleri üzerindeki potansiyel etkileri dikkate alınarak planlanmıştır. Atık konteynerlerinin tam konum bilgileri, Trimble GR 10 GPS cihazı ve TCS el terminali ile manuel olarak ölçülmüş ve Yalova Belediyesi'nin CBS veri tabanına işlenmiştir. Bu kapsamda, EVREKA yazılımı kullanılarak iki temel veri seti oluşturulmuştur. Birinci veri seti Şekil 3.6.'da gösterilmiş olup operasyonel bilgileri içermekte ve atık toplama işlemlerine ilişkin kilometre, yakıt tüketimi ve toplama sıklıkları gibi verileri kapsamaktadır. İkinci veri seti ise sahadan toplanan konteyner özelliklerine dayalı ortalama ziyaret sürelerini içermektedir.

2021 yılı boyunca toplanan veriler, eksikliklerin giderilmesi ve analiz için uygun hale getirilmesi amacıyla SPSS 28 İstatistik Programı kullanılarak temizlenmiştir. Eksik veriler, Expectation-Maximization (EM) algoritması kullanılarak tamamlanmış ve bu süreçle birlikte olası hatalar en aza indirilmiştir. Ayrıca tanımlayıcı istatistiklerle, konteynerlerin hacimleri, dağılımları ve ortalama ziyaret süreleri gibi önemli veriler analiz edilmiştir. Şekil 3.7.'de konteyner ziyaret sürelerine ilişkin veri seti tablosu gösterilmiştir.

Rota	Bölge Kodu	Enlem	Boylam	type_new_id	Kapasite It	Toplamalar arasındaki Ortalama Zaman (Saat)
Adnan Menderes ortak 2.	40,651727	29,263174	155	240	23	
Adnan Menderes ortak 2.	40,651509	29,263059	157	770	30	
Adnan Menderes ortak 2.	40,651503	29,263059	156	540	30	
Adnan Menderes ortak 2.	40,651494	29,263059	156	540	31	
Adnan Menderes ortak 2.	40,650761	29,262757	155	240	31	
Adnan Menderes ortak 2.	40,650761	29,262767	156	540	31	
Adnan Menderes ortak 2.	40,650768	29,262421	156	540	29	
Adnan Menderes ortak 2.	40,650799	29,262113	158	800	29	
Adnan Menderes ortak 2.	40,649463	29,262236	156	540	32	
Adnan Menderes ortak 2.	40,649455	29,262232	157	770	33	
Adnan Menderes ortak 2.	40,649298	29,262607	155	240	41	
Adnan Menderes ortak 2.	40,649299	29,262621	156	540	40	
Adnan Menderes ortak 2.	40,649383	29,263178	155	240	31	
Adnan Menderes ortak 2.	40,649377	29,263171	156	540	31	
Adnan Menderes ortak 2.	40,649955	29,263880	157	770	30	
Adnan Menderes ortak 2.	40,649968	29,263884	155	240	30	
Adnan Menderes ortak 2.	40,650353	29,263919	156	540	37	
Adnan Menderes ortak 2.	40,650365	29,263920	156	540	37	
Adnan Menderes ortak 2.	40,650805	29,263975	158	800	33	
Adnan Menderes ortak 2.	40,651360	29,263972	156	540	30	
Adnan Menderes ortak 2.	40,651598	29,263952	156	540	29	
Adnan Menderes ortak 2.	40,651962	29,263969	158	800	30	

**Şekil 3.7.** Yalova Adnan Menderes Mahallesi Konteyner Ziyaret Süreleri Veri Seti

Yalova Belediyesi'nin CBS verileri, bölgedeki nüfus yoğunluğuna göre konteyner yerleşimlerini ve toplama rotalarını optimize etmek amacıyla analiz edilmiştir. GIGA SOFT v2.0 yazılımı kullanılarak nüfus ve alan bilgileri değerlendirilmiş, kümelenme analizleri ile operasyonel veriler daha etkin bir şekilde işlenmiştir. Veriler KLM dosyası olarak Google Map uygulaması kullanılarak görselleştirilmiş ve mevcut atık toplama

operasyonları modellenmiştir. Haritalandırma sürecinde oluşturulan katmanlı haritalar, operasyonel verilerin daha iyi analiz edilmesini sağlamıştır.

Veri toplama ve işleme sürecinde kullanılan yöntemler, operasyonel süreçlerin ölçülmesi ve değerlendirilmesi için detaylı bir çerçeve sunmaktadır. Atık toplama rotalarının planlanması, konteyner yerleşimlerinin düzenlenmesi ve yakıt tüketim oranlarının belirlenmesi için sistematik bir yaklaşımla veri analizi gerçekleştirilmiştir.

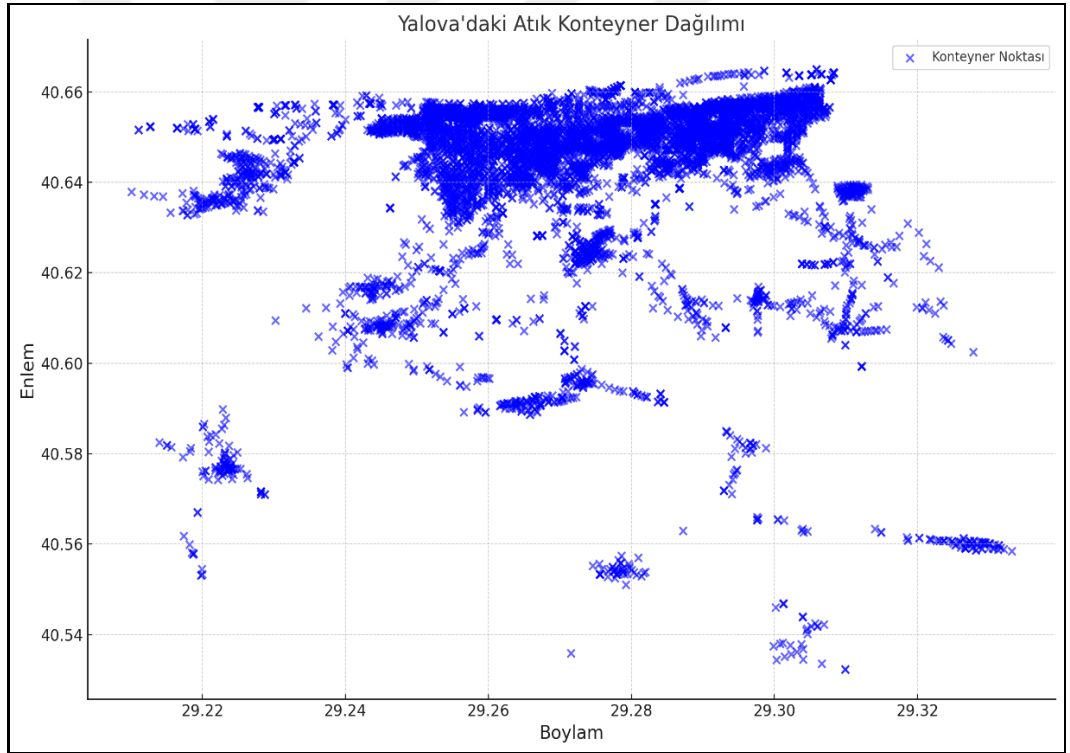


## 4. BULGULAR

### 4.1. Atık Toplama Operasyon Bulguları

#### 4.1.1 Yalova Atık Toplama Operasyon Bulguları

Yalova ilindeki katı atık yönetimi kapsamında yapılan bu çalışmada, konteynerlerin kapasiteleri, türleri, coğrafi konumları ve toplama operasyonları gibi temel veriler analiz edilmiştir. Konteynerlerin türleri (galvaniz, plastik gibi) ve kapasiteleri (540 litre, 770 litre, 800 litre vb.) gibi parametreler dikkate alınarak bölge bazlı atık toplama süreçleri değerlendirilmiştir. Ayrıca, konteynerlerin coğrafi konum bilgileri (enlem ve boylam) ile toplama operasyonlarının sıklıkları arasındaki ilişkiler ele alınmıştır.



Şekil 4.1. Yalova'da Konteyner Dağılımı

Şekil 4.1'de yer alan verilere göre, konteyner kapasiteleri 540 litreden başlayarak 3000 litreye kadar değişmektedir. Bu kapasite farklılıkları, konteynerlerin kullanım yoğunluğu

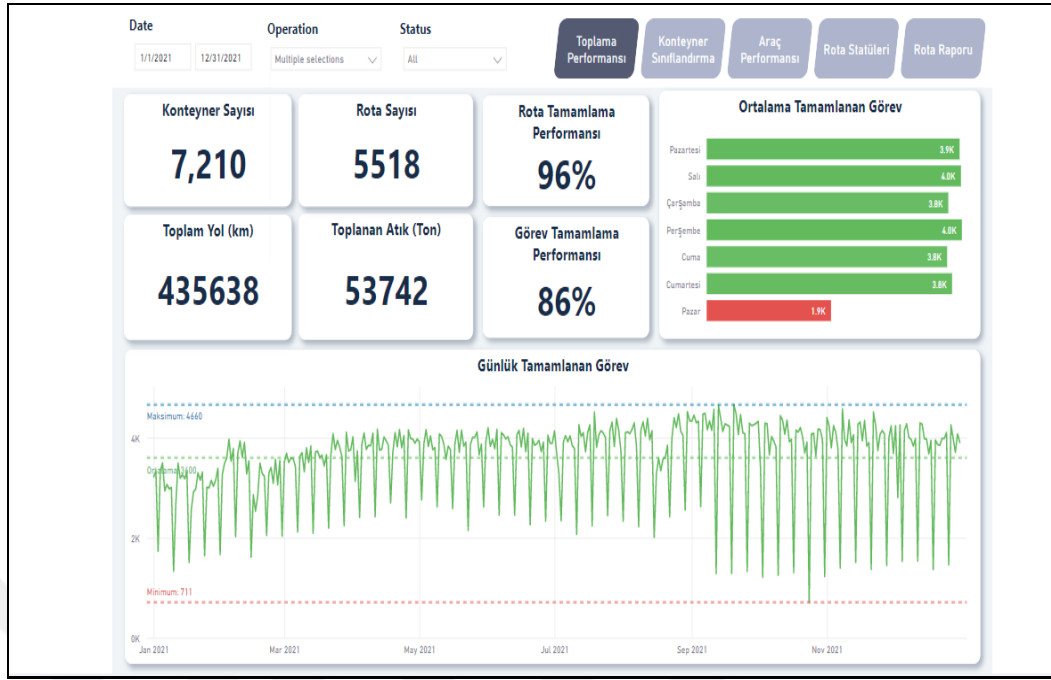
ve operasyonel verimliliği üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Konteyner türleri arasında galvaniz ve plastik gibi malzeme farklılıkları bulunmaktadır. Bu durum, konteynerlerin dayanıklılığı, maliyeti ve bölgesel ihtiyaçlara uygunluğu gibi faktörlerin analiz edilmesi açısından önemlidir.



**Şekil 4.2.** Atık Toplama Operasyonun Anlık Olarak İzlenmesi

Atık toplama operasyonlarının sıklıkları, haftalık veya günlük periyotlar şeklinde düzenlenmiştir. Anlık atık toplama operasyonlarının anlık olarak izlenmesi Şekil 4.2’de gösterilmiştir

Konteyner kapasitelerindeki artışın ziyaret sıklıkları ve toplama süreleri üzerindeki etkisi de değerlendirilmiştir. Daha büyük kapasiteli konteynerlerin daha az sıklıkla ziyaret edilmesi gerektiği, buna karşın daha küçük kapasiteli konteynerlerin daha sık boşaltılması gerektiği gözlemlenmiştir. Bu bulgu, kapasite planlaması ve operasyonel verimlilik arasındaki ilişkiyi açıkça ortaya koymaktadır.



**Şekil 4.3.** Atık Toplama Operasyonun Raporlanması

Atık toplama operasyonuna için 2021 yılına göre rapor Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Elde edilen veriler, sistemin operasyonel etkinliği, görev tamamlama oranları ve genel lojistik performansı hakkında önemli bilgiler sunmaktadır.

Sistemin toplamda 7.210 konteynerle çalıştığı görülmektedir. Bu sayı, hizmet alanının genişliği ve nüfus yoğunluğu hakkında önemli bir fikir vermektedir. Geniş bir konteyner ağı, atık toplama işlemlerinin düzenli ve etkili bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Sistem, 5.518 farklı rota tamamlayarak operasyonların lojistik açıdan iyi bir şekilde planlandığını göstermektedir. Araçlar toplamda 435.638 kilometre yol kat etmiş olup, bu mesafe sistemin ölçeği ve enerji tüketimi açısından kritik bir göstergedir. Yol mesafesinin optimizasyonu hem maliyetleri azaltmak hem de karbon ayak izini düşürmek için büyük önem taşımaktadır.

Sistemin toplamda 53.742 ton atık topladığı görülmektedir. Bu miktar, sistemin etkinliğini ve kapsama alanını değerlendirmek için temel bir göstergedir. Rota tamamlama performansı yüzde 96 seviyesinde olup, operasyonel verimliliğin oldukça

yüksek olduğunu göstermektedir. Görev tamamlama performansı ise yüzde 86 olarak belirlenmiştir. Bu oran, genel olarak operasyonların hedeflenen standartlara uygun yürütüldüğünü ifade ederken, rota tamamlama performansından düşük olması bazı operasyonel eksiklikler veya aksaklıkların mevcut olabileceğine işaret etmektedir.

Günlük tamamlanan görev sayıları incelendiğinde, minimum görev sayısının 711 olduğu görülmektedir. Bu durum, haftanın belirli günlerinde, özellikle Pazar günlerinde operasyonel yoğunluğun önemli ölçüde azaldığını göstermektedir. Maksimum görev sayısı ise 4.660 olarak kaydedilmiş olup, haftanın diğer günlerinde, özellikle hafta içi, operasyonel yoğunluğun zirveye çıktığını ifade etmektedir. Grafikteki düzenli dalgalanmalar, haftalık planlama ve operasyonel değişikliklerin etkisini göstermektedir. Hafta içindeki düzenli artışlar ve hafta sonundaki düşüşler, operasyonların belirli bir program dahilinde yürütüldüğünü göstermektedir.

Hafta içi ve hafta sonu ortalama tamamlanan görev sayıları incelendiğinde, Pazartesi ve diğer hafta içi günlerinde ortalama 3.900 ila 4.000 arasında görev tamamlandığı görülmektedir. Bu durum, atık üretimindeki artışla ilişkilendirilebilir. Pazar günlerinde ise ortalama görev sayısı 1.900'e düşmekte olup, hafta sonu operasyonlarında belirgin bir azalma görülmektedir. Bu, çalışanların ve araçların dinlenme sürelerini planlamak için uygulanan bir stratejiyi işaret etmektedir.

Genel olarak, bu veriler, atık toplama sisteminin yüksek bir operasyonel başarıya sahip olduğunu göstermektedir. Ancak görev tamamlama performansındaki düşüş, saha operasyonları veya planlamada iyileştirme gerekliliğine işaret etmektedir. Günlük tamamlanan görevlerdeki dalgalanmalar, sistemin haftalık operasyonel değişikliklere göre optimize edildiğini gösterse de hafta sonu hizmetlerinde iyileştirmeler yapılabilir.



**Şekil 4.4.** Atık Toplama Araçlarının Rotalama Raporlaması

Şekil 4.4'te Atık toplama araçlarının rotalama raporlaması gösterilmiştir buna göre tamamlama performansı ve araç bazlı operasyonel etkinliğin analizine odaklanmaktadır. Veriler, sistemin genel olarak yüksek bir operasyonel başarı sergilediğini göstermektedir. Rota tamamlama oranı %96,41 olarak belirlenmiş olup, tamamlanamayan rotaların oranı %3,59'dur. Bu düşük tamamlanamama oranı, operasyonel süreçlerin büyük ölçüde etkili bir şekilde yürütüldüğünü göstermektedir. Ancak, bu %3,59'luk kısmın nedenleri analiz edilerek sistem performansı daha da iyileştirilebilir.

Araç bazında incelendiğinde, her bir araç yüksek bir başarı oranı sergilemektedir. Araçların tamamlanan rota sayıları genellikle yüksek olup, tamamlanamayan rotaların sayısı düşüktür. Bu veriler, sistemin etkinliğini sürdürmek için araçların teknik durumlarının düzenli olarak kontrol edilmesinin ve bakım süreçlerinin optimize edilmesinin önemini vurgulamaktadır.

Aylık performans analizi, rota tamamlama sayılarında genel olarak tutarlı bir performans sergilendiğini göstermektedir. Tamamlanan rotalar aylık olarak 440 ile 500 arasında değişmektedir. En yüksek performans, ağustos ayında 501 rota ile gerçekleşirken, en

düşük performans şubat ayında 423 rota ile kaydedilmiştir. Bu durum, mevsimsel faktörlerin ve operasyonel yoğunluğun etkisini ortaya koymaktadır. Her ayda az miktarda tamamlanamayan rota bulunması, operasyonel süreçlerin daha da optimize edilebileceğine işaret etmektedir.

Genel olarak, sistemin yüksek performansı dikkat çekmektedir. Ancak tamamlanamayan rotaların nedenleri detaylı bir şekilde incelenerek bu alanlarda iyileştirme yapılabilir. Araçların teknik ve lojistik süreçlerinin düzenli bir şekilde optimize edilmesi hem maliyet etkinliğini artırabilir hem de sistemin sürdürülebilirliğine katkıda bulunabilir.



**Şekil 4.5.** 2021 Yılı İçin Atık Toplama Performans Raporu

Şekil 4.5'te 2021 yılına ait katı atık toplama sisteminin operasyonel performansı gösterilmiştir. Toplamda 53.742 ton atık toplanmış, araçlar tarafından 435.638 kilometre yol kat edilmiş ve bu süreçte 36.581 saatlik bir operasyonel süre harcanmıştır. Sistemde tamamlanan görev sayısı 1.314.034 olarak kaydedilmiş ve rota tamamlama oranı %96 olarak belirlenmiştir.

Araç bazında yapılan incelemeler, toplanan atık miktarı, tamamlanan görev ve katedilen mesafe gibi metriklerde araçlar arasında farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur. En yüksek performansa sahip araçlar 4.055 tona kadar atık toplarken, diğer araçlarda bu miktar daha düşük seviyelerde kalmıştır. Tüm araçların genel performansı, sistemin yüksek bir etkinlik ile çalıştığını göstermektedir.

Sistemin geniş kapsamı, yüksek görev tamamlama oranı ve düzenli operasyonel süreçleri, atık toplama operasyonlarının etkin bir şekilde yönetildiğini ortaya koymaktadır.

Date		Operation		Status		Toplama Performansı		Konteyner Sınıflandırma		Araç Performansı		Rota Statüleri		Rota Raporu	
1/1/2021 - 12/31/2021		Multiple selections		All											
Rota ID	Tarih	Rota Statüsü	Atık Döküm Sayısı	Atık Miktarı (Ton)	Akaryakıt (L)	Toplam Yol (km)	Toplam Zaman (saat)	Atanan Görev Sayısı	Tamamlanan Görev Sayısı	Görev Tamamlama Oranı					
170639	05/01/2021	Completed	4	22.75	0	108	5.50	142	72	50.70%					
190696	02/03/2021	Completed	4	21.86	0	107	7.31	146	134	91.78%					
266550	20/08/2021	Completed	4	30.70	0	121	6.76	169	141	83.43%					
174781	18/01/2021	Completed	3	17.58	79	78	7.62	111	93	83.78%					
178772	29/01/2021	Completed	3	56.64	0	129	6.62	154	116	75.32%					
179804	01/02/2021	Completed	3	10.78	0	115	6.20	51	42	82.35%					
185628	17/02/2021	Completed	3	44.38	0	113	7.65	345	247	71.59%					
185745	17/02/2021	Completed	3	17.54	0	116	6.67	122	117	95.90%					
199796	24/03/2021	Completed	3	23.45	0	67	6.96	398	398	100.00%					
218213	05/05/2021	Completed	3	17.41	0	93	7.91	356	345	96.91%					
235722	15/06/2021	Completed	3	16.79	0	109	7.16	161	158	98.14%					
238327	21/06/2021	Completed	3	14.52	0	100	7.42	255	249	97.65%					
260225	07/08/2021	Completed	3	20.38	0	110	7.50	136	135	99.26%					
265407	18/08/2021	Completed	3	20.80	78	105	7.15	307	245	79.80%					
269373	26/08/2021	Completed	3	17.20	82	105	6.73	314	272	86.62%					
269489	26/08/2021	Completed	3	65.56	0	111	7.56	179	177	98.88%					
273441	03/09/2021	Completed	3	14.22	0	145	9.33	235	230	97.87%					
273444	03/09/2021	Completed	3	14.16	85	152	9.21	194	179	92.27%					
273882	04/09/2021	Completed	3	16.02	0	152	9.47	185	173	93.51%					
273887	04/09/2021	Completed	3	17.92	0	149	9.79	227	219	96.48%					
274802	06/09/2021	Completed	3	13.64	93	154	9.06	196	191	97.45%					
275292	07/09/2021	Completed	3	18.52	52	156	8.65	192	179	93.23%					
275787	08/09/2021	Completed	3	16.26	49	148	10.15	217	214	98.62%					
276279	09/09/2021	Completed	3	16.78	0	149	9.80	214	212	99.07%					
276775	10/09/2021	Completed	3	13.94	0	147	9.55	202	199	98.51%					
<b>Total</b>			<b>6074</b>	<b>53741.73</b>	<b>171203</b>	<b>435638</b>	<b>36580.63</b>	<b>1495506</b>	<b>1314034</b>	<b>85.85%</b>					

**Şekil 4.6.** Rota Raporu Genel Veri Seti

Şekil 4.6. da 2021 yılına ait Rota raporu genel veri seti gösterilmiştir. Bu veri seti, bir katı atık toplama sistemine ait operasyonel süreçleri ayrıntılı şekilde incelemektedir. Sistemin performansını belirleyen çeşitli bileşenler aşağıda değerlendirilmiştir:

**Rota Statüsü ve Tarih Bilgisi:** Veri setinde her bir rotanın tamamlanma durumu "Completed" olarak kaydedilmiş ve operasyonel tarihler belirtilmiştir. Bu bilgiler, sistemin zaman bazlı performansını değerlendirmek için temel oluşturmaktadır.

**Atık Döküm Sayısı ve Atık Miktarı:** Her bir rota için döküm sayısı ve toplanan atık miktarı (ton cinsinden) kaydedilmiştir. Atık miktarları, rota başına 17 ton ila 22 ton arasında değişmektedir. Bu parametreler, atık toplama verimliliğini ve rota başına düşen atık yükünü anlamak için kritik öneme sahiptir.

**Akaryakıt Tüketimi (Litre):** Her bir rotada tüketilen akaryakıt miktarı litre bazında sunulmuştur. Akaryakıt tüketiminin rota uzunluğuyla ilişkili olduğu gözlemlenebilir. Bu bilgi, operasyonların maliyet etkinliğini ve çevresel sürdürülebilirliğini değerlendirmek için önemlidir.

**Toplam Yol (km):** Rotalar sırasında kat edilen toplam yol uzunlukları, kilometre cinsinden verilmiştir. Yol uzunlukları genellikle 100-150 kilometre arasında değişmekte olup, lojistik planlamanın etkinliğini değerlendirmede kritik bir göstergedir.

**Toplam Zaman (Saat):** Her rota için harcanan toplam süre saat bazında verilmiştir. Bu değer, 5,5 ila 9,6 saat arasında değişmekte olup, operasyonel süreçlerin hızını ve verimliliğini değerlendirmek için kullanılmıştır.

**Atanan Görev Sayısı ve Tamamlanan Görev Sayısı:** Her rotada atanan görev sayısı ile tamamlanan görev sayısı arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Tamamlanan görev sayılarının genellikle yüksek olduğu ve atanan görevlerin büyük oranda tamamlandığı gözlemlenmiştir.

**Görev Tamamlama Oranı:** Rota bazında görev tamamlama oranları, %50,7 ile %100 arasında değişmektedir. Genel görev tamamlama oranı %88,55 olarak hesaplanmıştır. Bu oran, sistemin genel etkinliğini değerlendirmek için temel bir metriktir.

**Toplam Değerler:** Tüm operasyonlar sonucunda 6.074 atık dökümü gerçekleştirilmiş, toplamda 53.741 ton atık toplanmış, 435.638 kilometre yol kat edilmiş ve 36.580 saatlik operasyon süresi harcanmıştır. Ayrıca, toplamda 1.314.034 görev tamamlanmıştır

#### 4.1.2. Yalova Adnan Menderes Mahallesi Atık Toplama Operasyon Bulguları

Çalışma kapsamında, 15.020 kişilik bir nüfusa hizmet veren bu bölgede 961 ton kentsel katı atık toplandığı belirlenmiştir. Operasyon sırasında toplam 25.929 kilometre yol kat edilmiş, toplam 107.584 görev atanmış ve bu görevlerin %90,85'si tamamlanmıştır. Atık toplama işlemlerinin ortalama süresi ise 396,95 dakika olarak hesaplanmıştır.

Yıl boyunca toplam 366 çöp sahasına taşıma gerçekleştirilmiş olup, aylık ortalama yaklaşık 30,5 sefer düzenlenmiştir. Temmuz ayında 34 sefer ile en yüksek değer kaydedilmiş, diğer aylarda ise sefer sayısı nispeten istikrarlı bir seyir izlemiştir.

Toplanan atık miktarı açısından, yıl boyunca toplam 3962 ton atık toplanmıştır. Nisan ayında 418 ton ile en yüksek atık miktarı kaydedilmiş olup, bu durum mevsimsel atık üretimindeki dalgalanmalara işaret edebilir. Şubat ayında ise 270 ton ile en düşük toplama hacmi görülmüştür; bu durum, kış aylarında dış mekân faaliyetlerinin azalması ve tüketim alışkanlıklarındaki değişikliklerle ilişkilendirilebilir.

Yakıt tüketimi aylık olarak değişiklik göstermiş ve yıl boyunca toplam 14.341 litre yakıt kullanılmıştır. Mart ayında 1465 litre ile en yüksek yakıt tüketimi, aynı zamanda 2320 km ile en uzun mesafe kat edilen ay olarak kaydedilmiştir. Öte yandan, aralık ayında 1002 litre ile en düşük yakıt tüketimi görülmüş, bu da soğuk aylarda atık tüketimin azalmasına bağlıdır.

Yıl boyunca toplam 2268 saatlik operasyon süresi kaydedilmiş olup, aylık farklılıklar toplanan atık miktarı ve atanan görev sayılarıyla uyumlu bir seyir izlemiştir. Ağustos ayında 212 saat ile en yüksek operasyon süresi kaydedilmiş, bu da o dönemde atanan ve tamamlanan görev sayısının yüksekliğiyle ilişkilendirilebilir.

Çizelge4.1'de 2021 yılında Yalova'nın Adnan Menderes ilçesindeki belediye katı atık toplama operasyonlarına ilişkin kapsamlı bir sonuç veri seti sunulmaktadır.

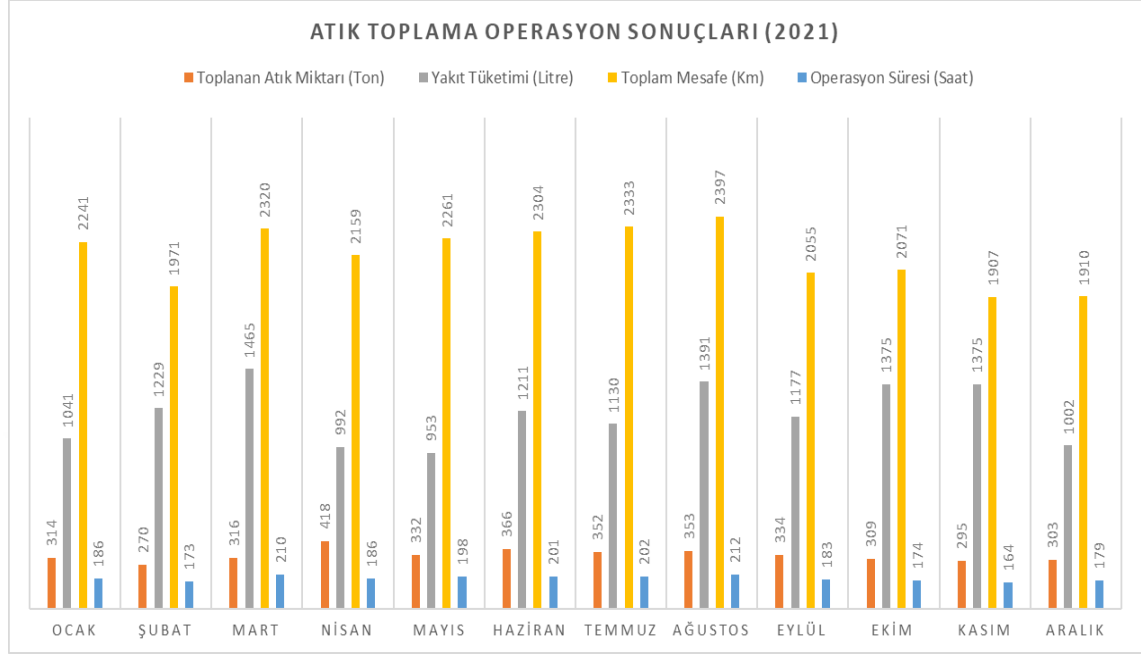
#### Cizelge4.1. Yalova Adnan Menderes Mahallesi Atık Toplama Operasyon Sonuçları

Veri	Döküm Sahasına Toplam Gidiş	Toplanan Atık Miktarı (Ton)	Yakıt Tüketimi (Litre)	Toplam Mesafe (Km)	Operasyon Süresi (Saat)	Atanan Görev Sayısı	Tamamlanan Görev	Görev Tamamlama Oranı (%)
Ocak	31	314	1041	2241	186	8902	7210	81,00%
Şubat	27	270	1229	1971	173	8328	7914	95,09%
Mart	32	316	1465	2320	210	9744	9389	96,67%
Nisan	32	418	992	2159	186	9557	9236	96,61%
Mayıs	32	332	953	2261	198	9818	9061	92,15%
Haziran	32	366	1211	2304	201	10014	8851	88,05%
Temmuz	34	352	1130	2333	202	9869	8598	86,93%
Ağustos	32	353	1391	2397	212	9557	8549	89,93%
Eylül	29	334	1177	2055	183	8195	7454	90,79%
Ekim	30	309	1375	2071	174	7814	7278	93,05%
Kasım	28	295	1375	1907	164	7719	6972	90,15%
Aralık	27	303	1002	1910	179	8067	7247	89,81%
<b>Toplam</b>	<b>366</b>	<b>3962</b>	<b>14341</b>	<b>25929</b>	<b>2268</b>	<b>107584</b>	<b>97759</b>	<b>90,85%</b>

Görev performansı, tamamlanan görevlerin atanan görevlere oranı olarak hesaplanmış ve yıl boyunca ortalama %90,85 olarak kaydedilmiştir. Mart ayında %96,67 ile en yüksek performans görülmüş, bu da o dönemdeki görevlerin etkin bir şekilde tamamlandığını göstermektedir. Ocak ayında ise %81,00 ile en düşük görev performansı oranı kaydedilmiştir

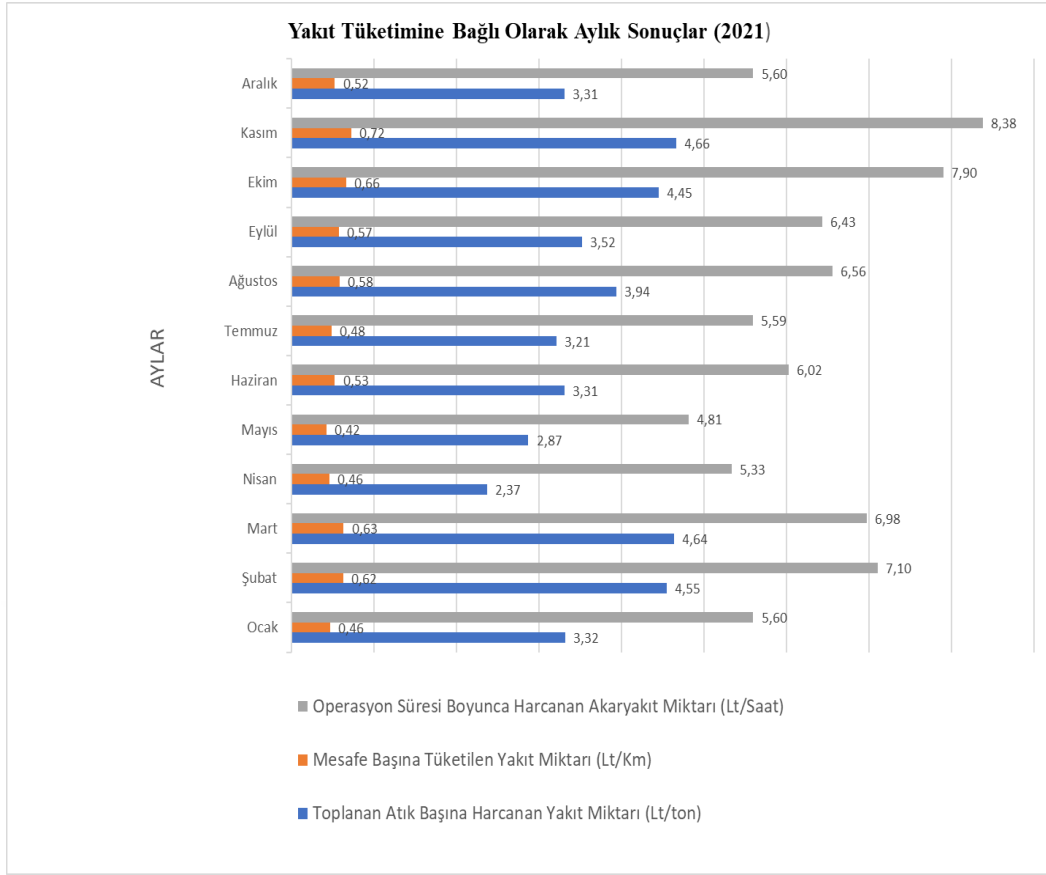
Adnan Menderes Mahallesi 2021 yılı belediye katı atık toplama operasyonlarına ilişkin veriler, toplanan atık miktarı ile akaryakıt tüketimi arasındaki ilişkiyi analiz etme imkânı sunmaktadır. Yıl boyunca toplam 3.962 ton atık toplanmış ve 14.341 litre akaryakıt

tüketilmiştir. Şekil 4.7’de çalışma yapılan bölgeye ait aylık bazda operasyon verileri gösterilmiştir.



**Şekil 4.7.** Yalova Adnan Menderes Atık Toplama Aylık Veri Sonuçları (2021)

Ton başına yaklaşık 3,62 litre akaryakıt tüketimi olmuştur. Aylık veriler incelendiğinde, mart ayında 316 ton atık toplanmış ve 1.465 litre akaryakıt tüketilmiştir; bu da ton başına yaklaşık 4,63 litreye denk gelmektedir. Nisan ayında ise 418 ton atık toplanmış ve 992 litre akaryakıt tüketilmiştir; bu da ton başına yaklaşık 2,37 litreye karşılık gelmektedir. Bu farklılıklar, atık toplama güzergahlarının uzunluğu, araçların doluluk oranları ve operasyonel verimlilik gibi faktörlerin akaryakıt tüketimi üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Akaryakıt tüketime bağlı olarak aylık performans sonuçları Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.8.** Yakıt Tüketime Bağlı Olarak Aylık Performans Sonuçları (2021)

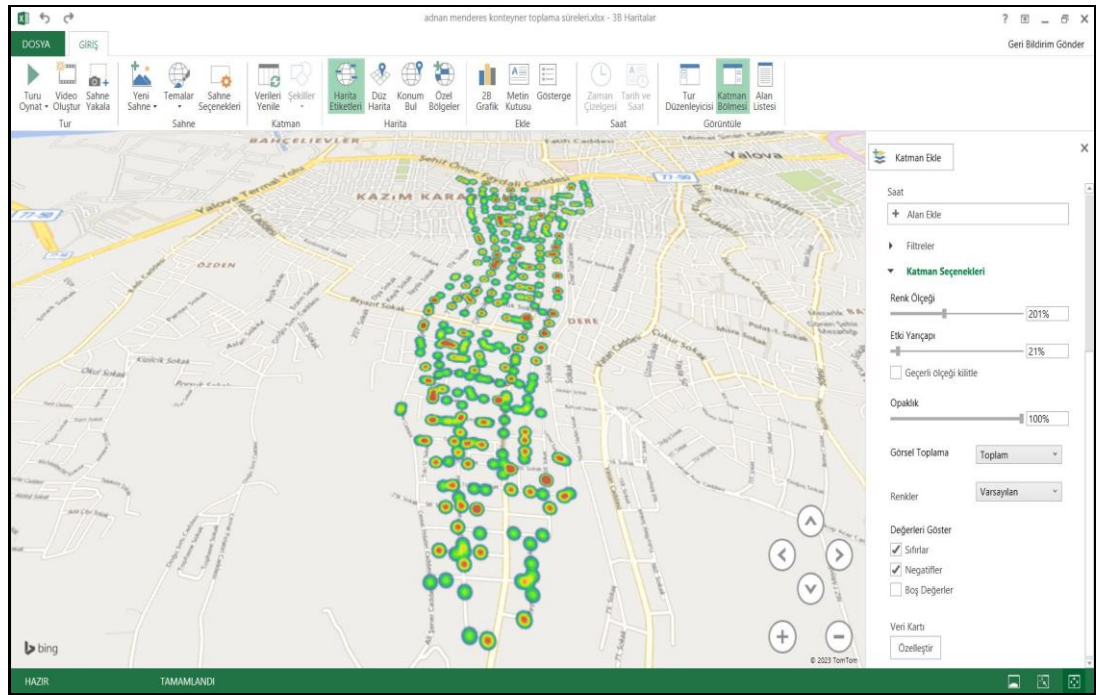
Özellikle Nisan ayında, toplanan atık miktarının yüksek olmasına rağmen akaryakıt tüketiminin nispeten düşük olması, güzergâh optimizasyonu ve operasyonel verimliliğin artırılmasıyla akaryakıt tüketiminin azaltılabileceğini göstermektedir. Bu sonuçlara göre atık toplama süreçlerinde akaryakıt tüketimini azaltmak için güzergâh planlamasının ve operasyonel verimliliğin önemini vurgulamaktadır. Akıllı atık toplama sistemlerinin kullanımıyla

Atık toplama operasyonunda ayrıca elde edilen gerçek zamanlı veriler Excel programı kullanılarak yoğunluk haritasına dönüştürülmüştür. Bu yoğunluk haritası, mahalledeki atık toplama operasyonlarının mevcut durumu hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır.

Haritada, mahalledeki atık toplama noktalarının yoğunluğu renk skalası ile görselleştirilmiştir. Daha yoğun bölgeler sıcak renklerle (örneğin kırmızı ve turuncu),

daha düşük yoğunluklu bölgeler ise soğuk renklerle (örneğin yeşil) temsil edilmiştir. Bu görselleştirme, mahalle genelindeki atık üretim yoğunluğunu açıkça göstermektedir.

Özellikle sıcak renklerle işaretlenen bölgeler, atık üretiminin daha yoğun olduğu alanlar olup, bu durum nüfus yoğunluğu, ticari faaliyetler veya yerleşim düzeni gibi faktörlerle ilişkilendirilebilir. Yoğunluk haritası, Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Yoğunluk haritası 2021 yılında kayıt altında alınan bir yıllık verilere göre oluşturulmuştur.



**Şekil 4.9.** Adnan Menderes Mahallesi Atık Toplama Yoğunluk Haritası

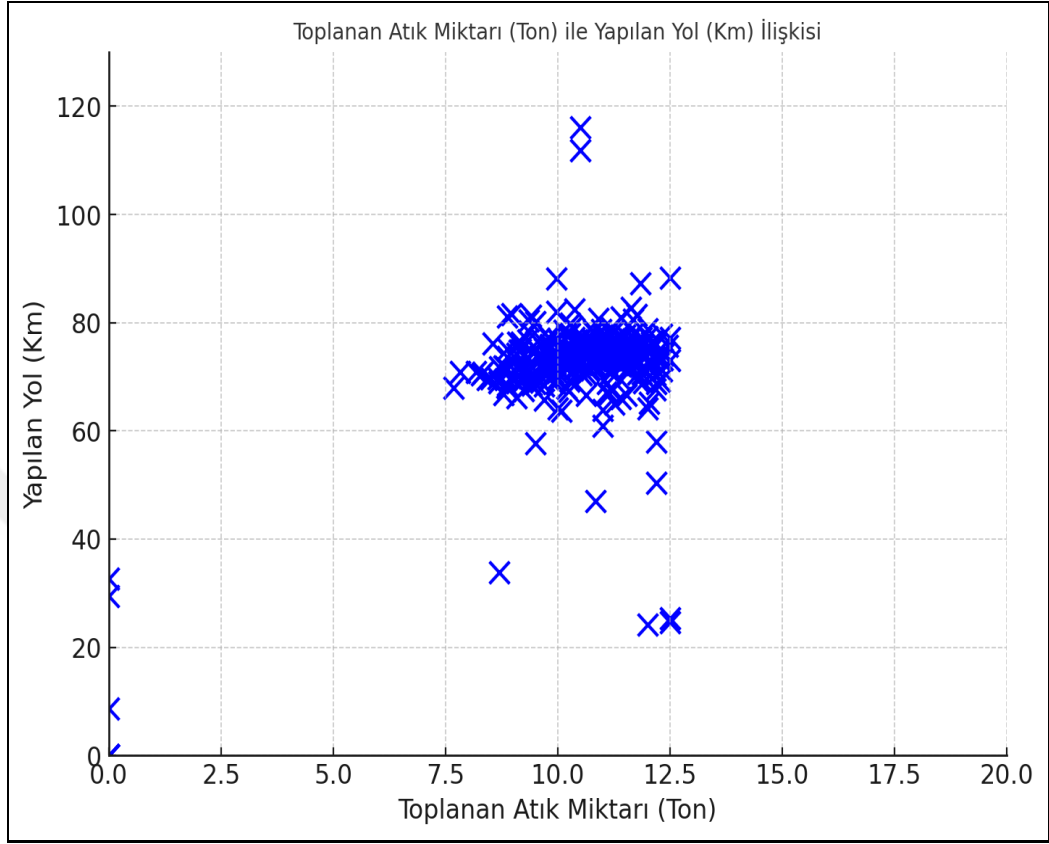
Mahalle genelindeki atık toplama noktalarının düzenli bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Bu düzenleme, kullanıcıların konteynerlere erişimini kolaylaştırarak operasyonel verimliliği artırmaktadır. Ancak yoğun bölgelerde, atık toplama ihtiyaçlarının daha sık olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışma yapılan bölgede farklı hacimde ve özellikte bulunan 478’den fazla çöp konteynerinin gerçek zamanlı ziyaret sıklık süresinde göre de ayrıca bir analiz yapılmıştır.

Atık konteynerlerinin boşaltma ve araç içi hidrolik sıkıştırma zamanları dikkate alındığında özellikle kısa mesafelerdeki dur-kalk ve hidrolik sıkıştırma süreçlerinin oldukça zaman aldığı işlem sırasında trafik ve diğer araçların parklanması gibi dış etkilerden dolayı zaman zaman hizmette aksamalar olduğu ve çalışan işçilerin taşan çöp konteynirlerinin etrafını temizlemede zorluklar yaşadığı gözleme dayalı saha çalışmalarında ortaya çıkan bir bulgu olmuştur.

Veri setinde gerçek zamanlı değerler analiz edildiğinde; atık toplama operasyonunda kullanılan temel metrikler arasındaki ilişkileri ortaya çıkarmıştır. Toplanan atık miktarı, yapılan mesafe, yakıt tüketimi ve görev tamamlama oranları gibi parametrelerin operasyon verimliliği üzerindeki etkileri analiz edilerek, bu metrikler arasındaki etkileşimin şehir atık yönetiminde nasıl bir iyileştirme sağlayabileceği ortaya konmuştur. Bu bağlamda, çalışma dört temel başlık üzerinden ele alınmış ve bu başlıkların operasyon verimliliği üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Toplanan Atık ile Yapılan Mesafe İlişkisi, Denetlenmiş Görevler ile Toplanan Atık İlişkisi, Alınan Yakıt ile Toplanan Atık İlişkisi ve Toplam Süre ile Görev Tamamlama Oranı İlişkisi olarak sonuç grafikleri elde edilmiştir.

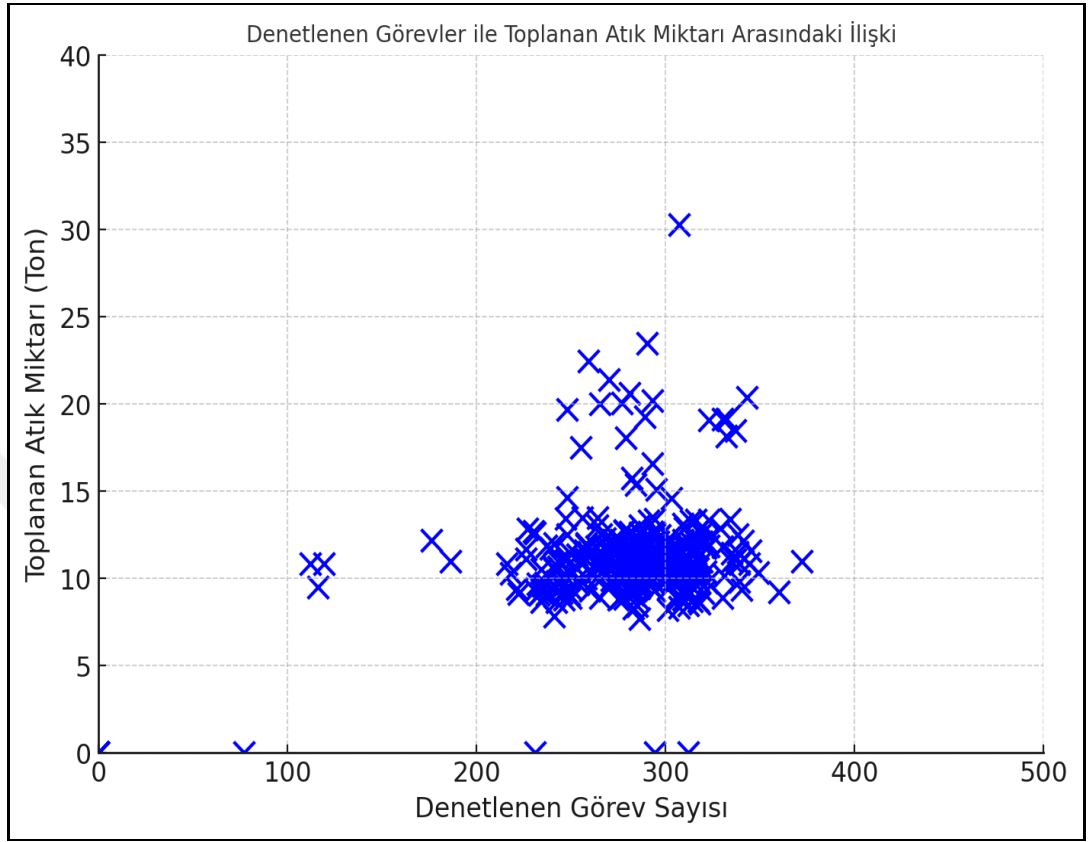
### ***Toplanan Atık (kg) ile Yapılan Mesafe (km) İlişkisi***



**Şekil 4.10.** Adnan Menderes Mahallesi Toplanan Atık (kg) ile Yapılan Mesafe (km) İlişkisi

Bu analizde, toplanan atık miktarı ile yapılan toplam mesafe arasındaki ilişki incelenmiştir. Sonuçlar, daha uzun mesafelerin daha fazla atık toplama potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir. Bu durum, atık toplama noktalarının daha stratejik bir şekilde yerleştirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Aynı zamanda, bu bulgu rota optimizasyonu yapılarak daha verimli bir atık toplama sistemi tasarlanabileceğini göstermektedir. Analiz sonucunda en yoğun atık toplama mesafe aralığı 65 ile 85 km arasında olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Şekil 4.8’de Toplanan atık ile yapılan mesafe arasındaki ilişkiyi konu alan diyagram gösterilmiştir

### *Denetlenmiş Görevler ile Toplanan Atık (kg) İlişkisi*

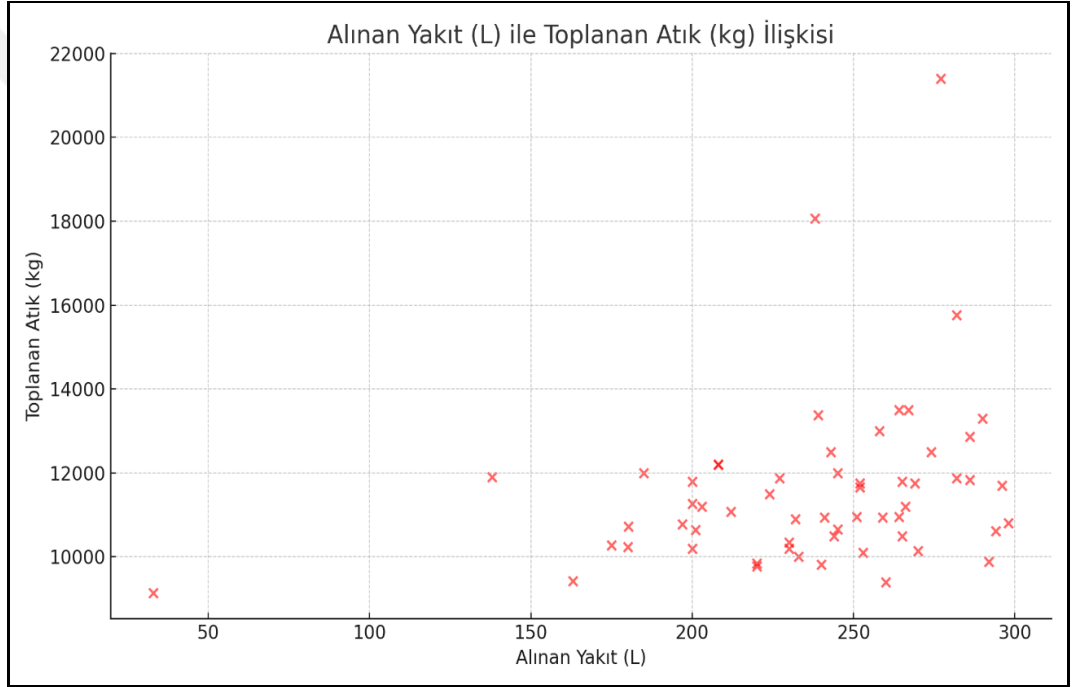


**Şekil 4.11.** Adnan Menderes Mahallesi Denetlenmiş Görevler ile Toplanan Atık (kg) İlişkisi

Denetimli görev sayısı ve toplanan atık miktarı arasındaki ilişkiyi inceleyen bu analiz, görevlerin etkin bir şekilde tamamlanmasının daha fazla atık toplama kapasitesine yol açtığını göstermiştir. Bu bulgu, operasyon ekiplerinin görev tamamlama oranlarını arttırarak toplama verimliliğini optimize edebileceğini ortaya koymaktadır. Bu kapsamda, görevlerin zamanlaması ve rotaların şekillendirilmesi gibi faktörlerin operasyonel planlamada önemli bir yer tuttuğu vurgulanmaktadır. Şekil 4.11’de Denetlenmiş görevler ile toplanan atık miktarı arasındaki ilişkiye gösteren diyagram gösterilmiştir.

### *Alınan Yakıt (L) ile Toplanan Atık (kg) İlişkisi*

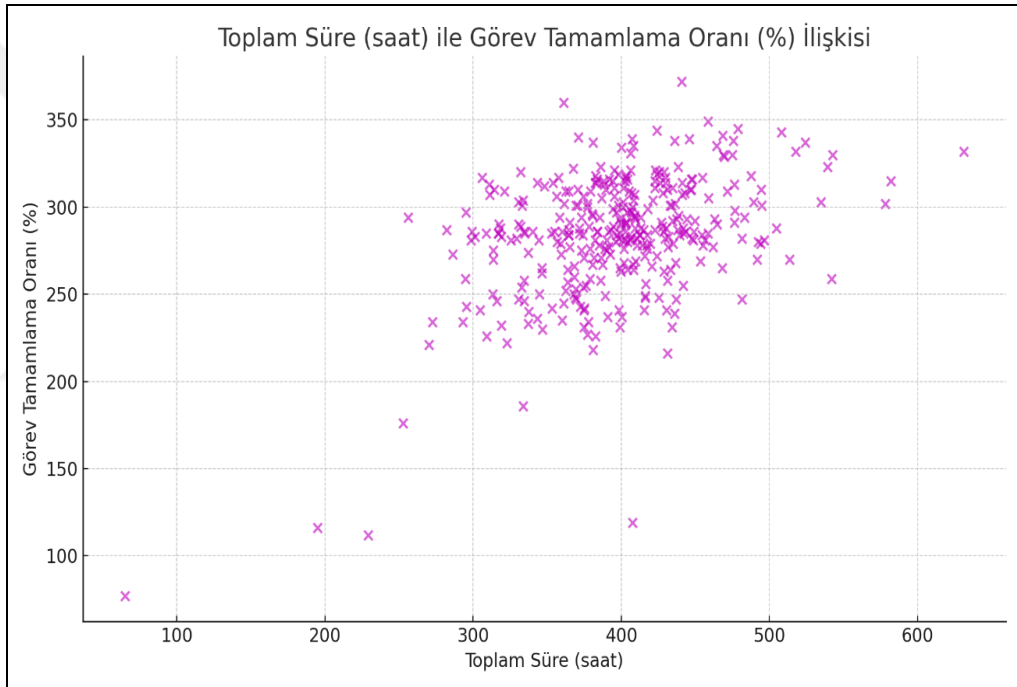
Alınan yakıt miktarı ile toplanan atık miktarı arasındaki ilişki incelendiğinde, yakıt tüketiminin toplama verimliliği üzerinde dolaylı bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Bu analiz, çevre dostu ve yakıt tasarrufu sağlayan teknolojilerin kullanılmasının operasyon maliyetlerini düşürebileceğini ve toplam verimliliği arttırabileceğini ortaya koymaktadır. Bu kapsamda, özellikle rota optimizasyonunun yakıt tüketimini azaltmada etkili olabileceği gösterilmektedir. Şekil 4.12’de bu iki parametre arasındaki ilişkili diyagram gösterilmiştir.



**Şekil 4.12.** Adnan Menderes Mahallesi Alınan Yakıt (Lt) Toplanan Atık (kg) İlişkisi

### ***Toplam Süre (saat) ile Görev Tamamlama Oranı (%) İlişkisi***

Operasyonlarda harcanan toplam süre ile görev tamamlama oranı arasındaki ilişki incelendiğinde, daha uzun çalışma sürelerinin daha yüksek görev tamamlama oranlarına yol açtığı görülmüştür. Bu durum, ekiplerin verimli çalışmasını sağlamak için mola sürelerinin ve vardiya planlamalarının optimize edilmesi gerektiğini göstermektedir. Ayrıca, teknolojik desteklerin (IoT cihazları, rota takibi vb.) kullanılması ekip verimliliğini arttırmak için önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır.



**Şekil 4.13.** Adnan Menderes Mahallesi Konteynır Toplama Süreleri Veri Seti (2021)

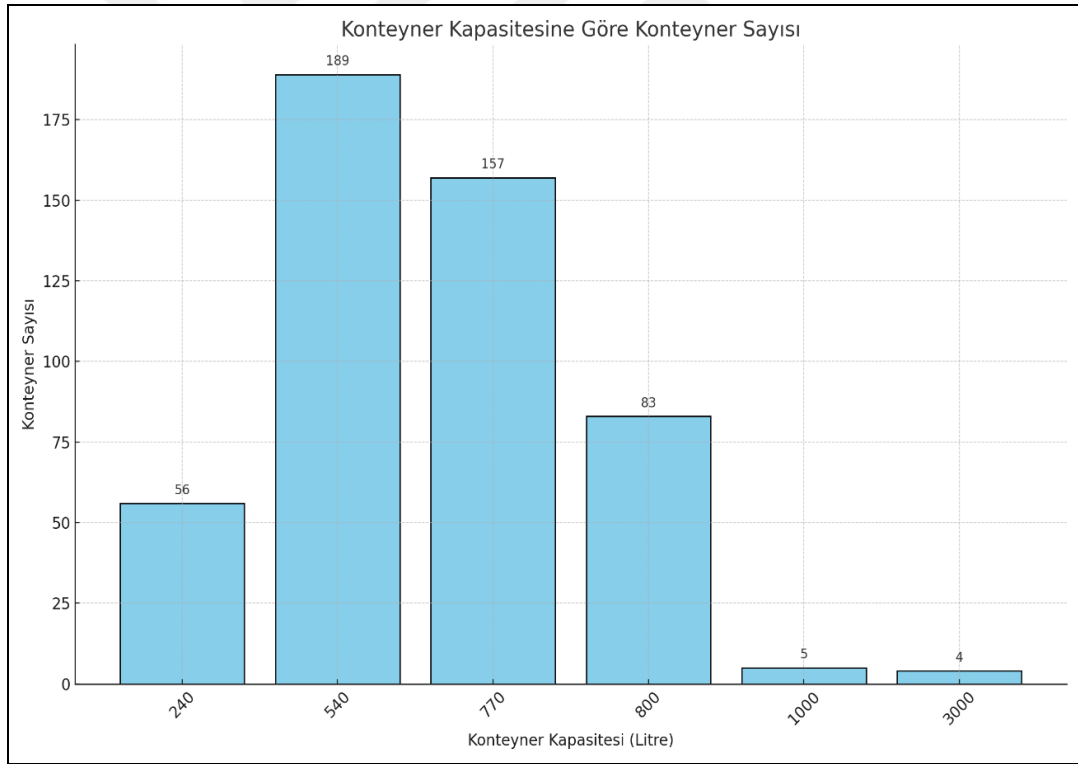
Atık toplama operasyonlarında kullanılan temel metrikler arasındaki ilişkileri detaylı bir şekilde ortaya koymuştur. Yapılan analizler, operasyonel verimliliğin artırılması için çeşitli iyileştirme alanları sunmaktadır. Şekil 4.11’de Toplam operasyon süresi ile görev tamamlama diyagramı gösterilmiştir. Toplanan atık miktarının, yapılan mesafe ve görev tamamlama oranı gibi metriklerle pozitif bir ilişki gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu bulgular, rota planlaması, yakıt tüketimi ve ekip verimliliğinin optimize edilmesinin şehir

yönetiminde daha etkili atık toplama sistemleri tasarlanmasına katkı sağlayabileceğini göstermektedir.

Adnan Menderes bölgesindeki konteyner toplama verilerine dayalı olarak yapılan analizler, konteyner kapasitesine göre konteyner sayısı ve toplama sıklıkları arasındaki ilişkileri açık bir şekilde ortaya koymaktadır.

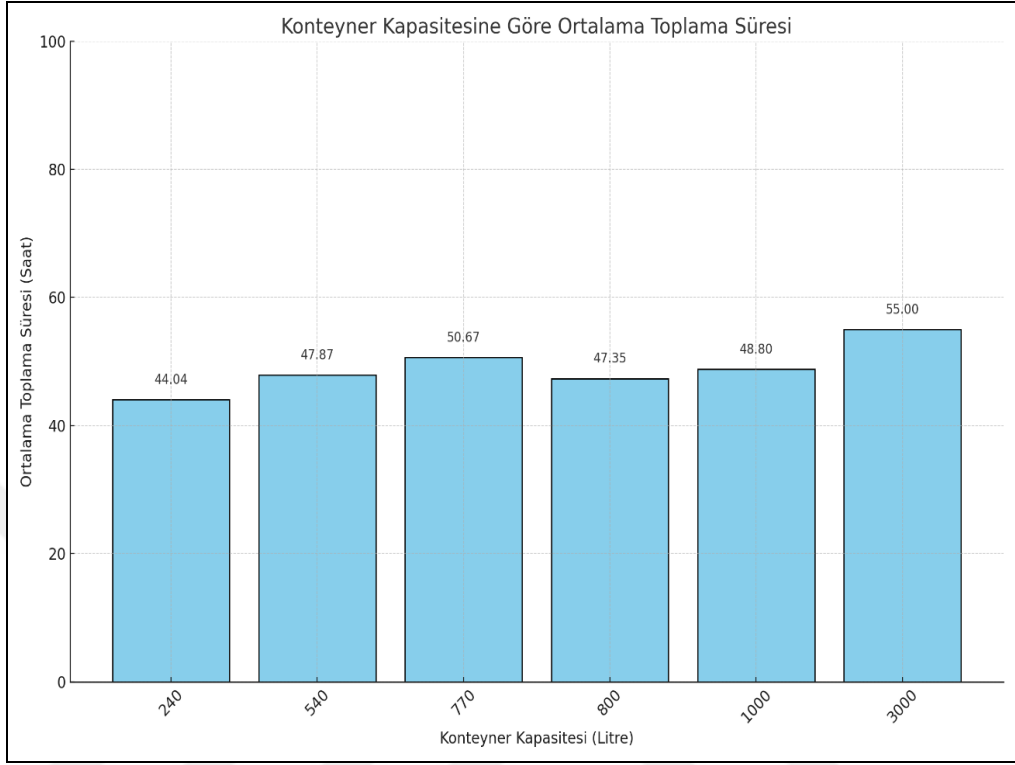
### ***Konteyner Kapasitesine Göre Konteyner Sayıları***

Adnan Menderes Mahallesinde; 240 litrelik 56 adet, 540 litrelik 189 adet, 770 litrelik 157 adet, 800 litrelik 83 adet, 1000 litrelik 5 adet ve 3000 litrelik 4 adet olmak üzere toplam 494 adet konteyner bulunmaktadır. Konteyner dağılımları Şekil 4.14’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.14.** Adnan Menderes Mahallesi Konteyner Sayıları ve Hacimleri

### ***Konteyner Kapasitesine Göre Konteyner Sayıları***



**Şekil 4.15.** Adnan Menderes Mahallesi Konteynır Toplama Süreleri

Bu durum, özellikle 3000 litre kapasiteli konteynerlerin konumları ve kullanım yoğunluklarının daha ayrıntılı bir şekilde incelenmesini gerektirmektedir. Bu bağlamda, şehirdeki atık toplama rotalarını optimize etmek ve toplama verimliliğini artırmak amacıyla kümeleme analizi yapılması gerektiği ortaya konmuştur. Konteyner toplama sıklığı Şekil 4.15'te gösterilmiştir.

Yapılan incelemelerde, daha küçük kapasiteli konteynerlerin daha sık toplandığı, büyük kapasiteli konteynerlerin ise toplama aralıklarının daha uzun olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, 3000 litre kapasiteye sahip konteynerlerin, diğer konteynerlere kıyasla daha az sayıda bulunmasına rağmen ortalama toplama sıklığının daha fazla olduğu dikkat çekmektedir.

Kümeleme analizi, atık toplama süreçlerinde, benzer toplama sıklıklarına ve konteyner hacimlerine sahip bölgelerin bir araya getirilmesi ile daha verimli rota planlaması yapılmasını sağlayabilir

#### **4.2. Emisyon Bulguları**

Emisyon hesaplamaları ağır hizmet sınıfında (12-14 ton) yer alan ve Euro VI motor standardına uygun dizel yakıt kullanan çöp kamyonları üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu araçların yıllık toplam yakıt tüketimi 171.203 litre olarak belirlenmiştir. Operasyonel veriler arasında toplam kat edilen mesafe (435.638 kilometre), operasyon süresi (36.581 saat) ve farklı sürüş türlerine (şehir içi, kırsal, otoyol) ait oranlar yer almıştır. Analizlerde COPERT yazılımı kullanılmış, yakıt türüne, motor standardına ve sürüş koşullarına uygun emisyon faktörleri modele dahil edilmiştir. Şehir içi, kırsal ve otoyol sürüşlerine ait hız profilleri ve yakıt tüketim oranları da dikkate alınmıştır. Yakıt tüketimi ile emisyon miktarı arasındaki ilişki, yazılımın sunduğu parametreler aracılığıyla modellenmiştir.

COPERT yazılımı farklı sürüş türleri için yıllık emisyonları hesaplamış ve toplam değerler sunmuştur. Çizelge 4.1’de temel emisyon değerlerine ilişkin sonuç gösterilmiştir. Buna Göre; CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O gibi sera gazları, küresel ısınma potansiyelleri dikkate alınarak CO<sub>2</sub> eşdeğeri birimlerine dönüştürülmüştür. Yıllık toplam karbon dioksit emisyonu 1.669-ton olarak hesaplanmıştır. Bu emisyonların %78.2’si şehir içi sürüşlerden, %9’u kırsal sürüşlerden ve %6.2’si otoyol sürüşlerinden kaynaklanmıştır. Diğer sera gazlarından CH<sub>4</sub> (metan) emisyonu 0.78-ton, N<sub>2</sub>O (diazot monoksit) emisyonu ise 0.12-ton olarak belirlenmiştir. Tüm kaynaklar bir araya getirildiğinde toplam sera gazı emisyonu 1.792-ton CO<sub>2</sub> eşdeğeri olarak hesaplanmıştır.

Şehir içi sürüşlerin, trafik yoğunluğu ve düşük hız gibi faktörlerin etkisiyle en yüksek emisyon seviyelerine yol açtığı gözlemlenmiştir. Çöp toplama operasyonları sırasında toplamda 53.742-ton atık toplanmış ve araçlar 435.638-kilometre yol kat etmiştir. Bu analiz, ağır hizmet çöp kamyonlarının operasyonel süreçlerinde ürettikleri sera gazı emisyonlarını detaylı şekilde değerlendirmiştir. Şehir içi sürüşlerin emisyonların büyük bir kısmını oluşturduğu belirlenmiş, yakıt tüketiminin azaltılması ve rota optimizasyonu

gibi stratejilerin emisyonların azaltılmasında etkili olabileceği görülmüştür. Çizelge 4.2.'de akaryakıt tüketiminden kaynaklı emisyon sonuç tablosu gösterilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Atık Toplama Emisyon Sonuçları

<b>Kategori</b>	<b>Değer</b>
<b>Şehir İçi Emisyon</b>	%78,2
<b>Kırsal Emisyon</b>	%9,0
<b>Otoyol Emisyon</b>	%6,2
<b>CH<sub>4</sub> (Metan) Emisyonu</b>	0.78 ton
<b>N<sub>2</sub>O (Diazot Monoksit)</b>	0.12 ton
<b>Toplam Sera Gazı Emisyonu</b>	1.792 ton CO <sub>2</sub> eşdeğeri
<b>Yakıt Tüketimi</b>	171.203 litre
<b>Kat Edilen Toplam Mesafe</b>	435.638 kilometre
<b>Toplanan Atık Miktarı</b>	53.742 ton

### 4.3. Kümeleme Çalışması Bulguları

Veri setleri ile birlikte geliştirilen kümeleme algoritması Türkiye'nin Yalova ilinde bulunan en büyük mahallelerden biri olan Adnan Menderes Mahallesi'nden elde edilen gerçek hayat verileri üzerinde uygulanmıştır. Mahalle, toplamda 878 bağımsız birim ve 15.020 nüfusu barındırmaktadır. Algoritma, atık toplama operasyonlarının performans ölçüleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek üzere, farklı parametre ayarlarıyla çalıştırılmıştır. Yalova Belediyesinin CBS ve KBS sistemlerine entegre edilen bu veri setleri, ITRF/96 3 UTM X Y Koordinat Sistemi kullanılarak canlı nüfus verilerine dönüştürülmüştür. K-Means kümeleme algoritması kullanılarak, çeşitli boyutlardaki konteynerler (550, 800, 1,000 ve 3,000 litre) ve yürüme mesafeleri (50 ve 100 metre) dikkate alınarak nokta tabanlı atık üretim kapasite gereksinimleri belirlenmiştir.

Parametre ayarları iki temel değişkeni içermektedir: konteyner kapasiteleri ve maksimum yürüyüş mesafesi. Konteyner tasarımları açısından, 540 litre, 800 litre, 1.000 litre ve 3.000 litre kapasitelerde dört farklı alternatif belirlenmiştir. Ergonomi ve insani konular üzerine uzmanların önerileri dikkate alınarak, maksimum yürüyüş mesafesi 50 metre ve

100 metre olmak üzere iki farklı değerle sınırlandırılmıştır. Bu parametre kombinasyonlarına göre algoritma toplamda sekiz farklı senaryoda çalıştırılmıştır.

Sonuçlar, konteyner sayısının 105 ile 272 arasında değiştiğini göstermektedir. Bu değerler, sırasıyla en büyük konteyner kapasitesi (3.000 litre) ve en uzun maksimum yürüyüş mesafesi (100 metre) kombinasyonu ile en küçük konteyner kapasitesi (540 litre) ve en kısa yürüyüş mesafesi (50 metre) kombinasyonlarına karşılık gelmektedir.

Konteyner kapasitelerinin artırılması, konteyner sayısında sınırlı bir azalma sağlarken, maksimum yürüyüş mesafesinin artırılması daha belirgin iyileşmeler sunmaktadır. Örneğin, 540 litrelik konteynerlerin maksimum yürüyüş mesafesi 50 metreden 100 metreye çıkartıldığında, 73 konteyner tasarrufu sağlanabilirken, 3.000 litrelik konteynerlerde bu fark yalnızca 23 konteyner olmuştur. Ancak, artan konteyner kapasitesinin birim maliyetinin de dikkate alınması gerekmektedir.

Çalışmanın operasyonel boyutları kadar insani etkileri de değerlendirilmelidir. Konteyner kapasitelerinin ve yürüyüş mesafelerinin artırılması, maliyet performansını iyileştirse de insani koşulları ve ergonomik etkileri göz ardı etmeden uygulanmalıdır. Bu nedenle, çalışma sırasında uzman görüşleri de dikkate alınmış ve insani koşulları iyileştirecek çözümler önerilmiştir. Çizelge 4.2.'de önerilen algoritmaya göre Adnan Menderes Mahallesiindeki konteynırların yürüme 50 metre ve 100 metre yürüme mesafelerine göre yerleşim sayıları sonuçları verilmiştir. Sonuçlar her bir seçenek için ayrıca haritalandırılmıştır.

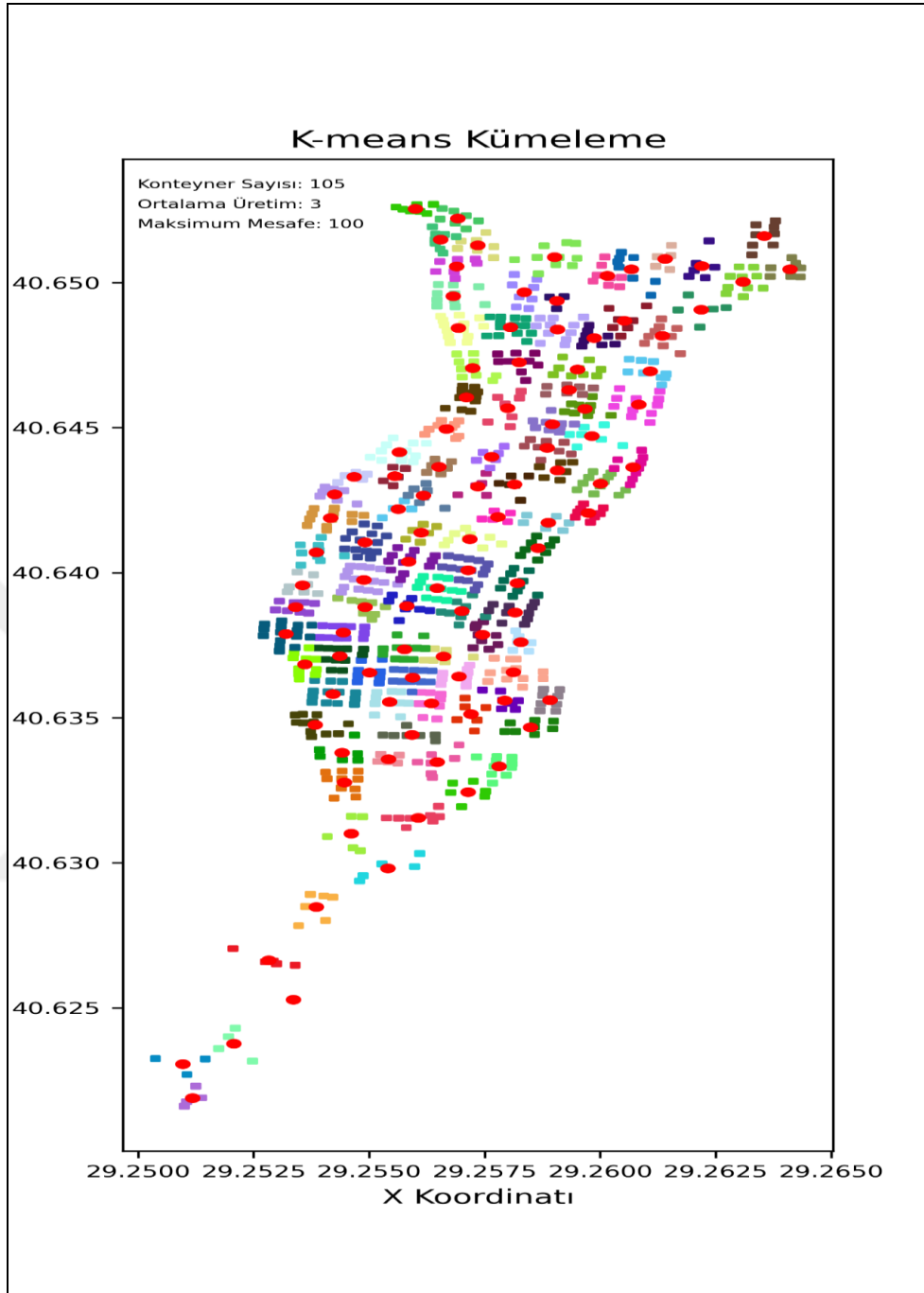
Mevcut Katı Atık Toplama Sistemine göre değerlendirildiğinde konteynır hacminin artırılması ve sayısının azaltılması daha uygun sonuçlar vereceğinden 3000 litre, 100 metre yürüme mesafesi, 1000 litre, 100metre yürüme mesafesi ve mevcut durumunun karşılaştırılması yapılmıştır.

Sonuçlar, 1,000 litrelik ve 3,000 litrelik konteynerlerin 100 metrelik yürüme mesafesiyle atık toplama ve taşıma yönetimi için en etkili olduğunu göstermiştir.

**Çizelge 4.3.** Önerilen algoritmanın sonuçları; farklı ayarlar için konteyner sayısı, konteyner doluluk oranları

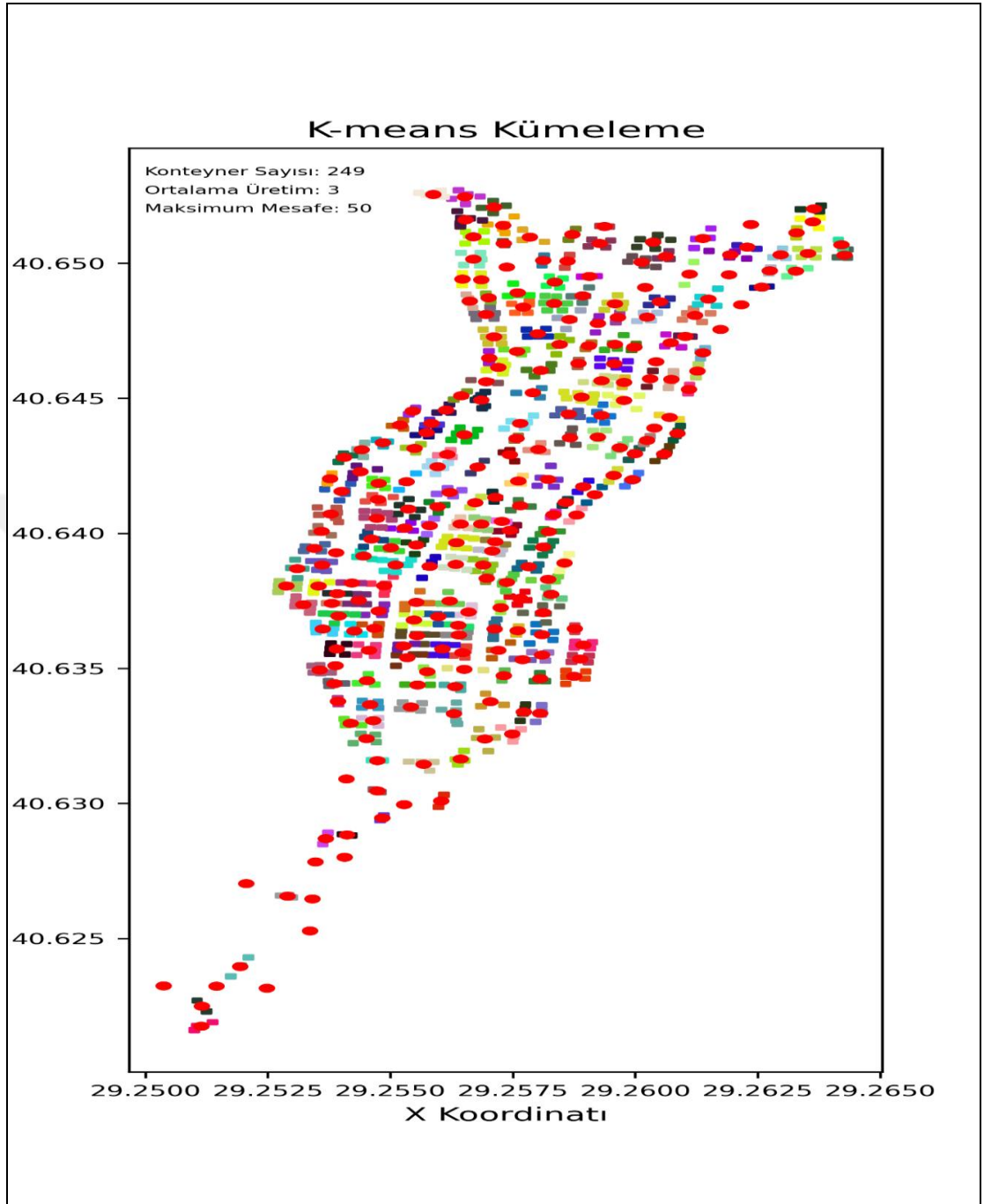
Seçenekler	Konteyner Sayısı	Container Utilization	Yürüme Mesafesi (m)
540 lt. 50 m.	272	0.01	0.00
		0.33	20.33
		0.91	48.92
800 lt. 50 m.	256	0.01	0.00
		0.24	21.21
		0.75	46.40
1,000 lt. 50 m.	251	0.01	0.00
		0.19	21.69
		0.55	49.08
3,000 lt. 50 m.	249	0.01	0.00
		0.06	21.73
		0.18	49.08
540 lt. 100 m.	199	0.01	0.00
		0.45	25.78
		0.91	66.77
800 lt. 100 m.	129	0.01	0.00
		0.47	34.21
		0.99	86.55
1,000 lt. 100 m.	124	0.01	1.23
		0.39	35.19
		0.92	87.43
3,000 lt. 100 m.	105	0.01	0.00
		0,15	38.89
		0.35	99.49

Çizelge 4.3.'de verilen sonuçlar toplam sekiz adet harita modelde görselleştirmiştir. Buna göre haritada ifade edilen her bir kırmızı nokta atık üretim hızına bağlı olarak kümeleme noktasını, yani konteyner ihtiyaçlarının gerekli olduğu koordinatları X Y düzleminde işaret etmektedir



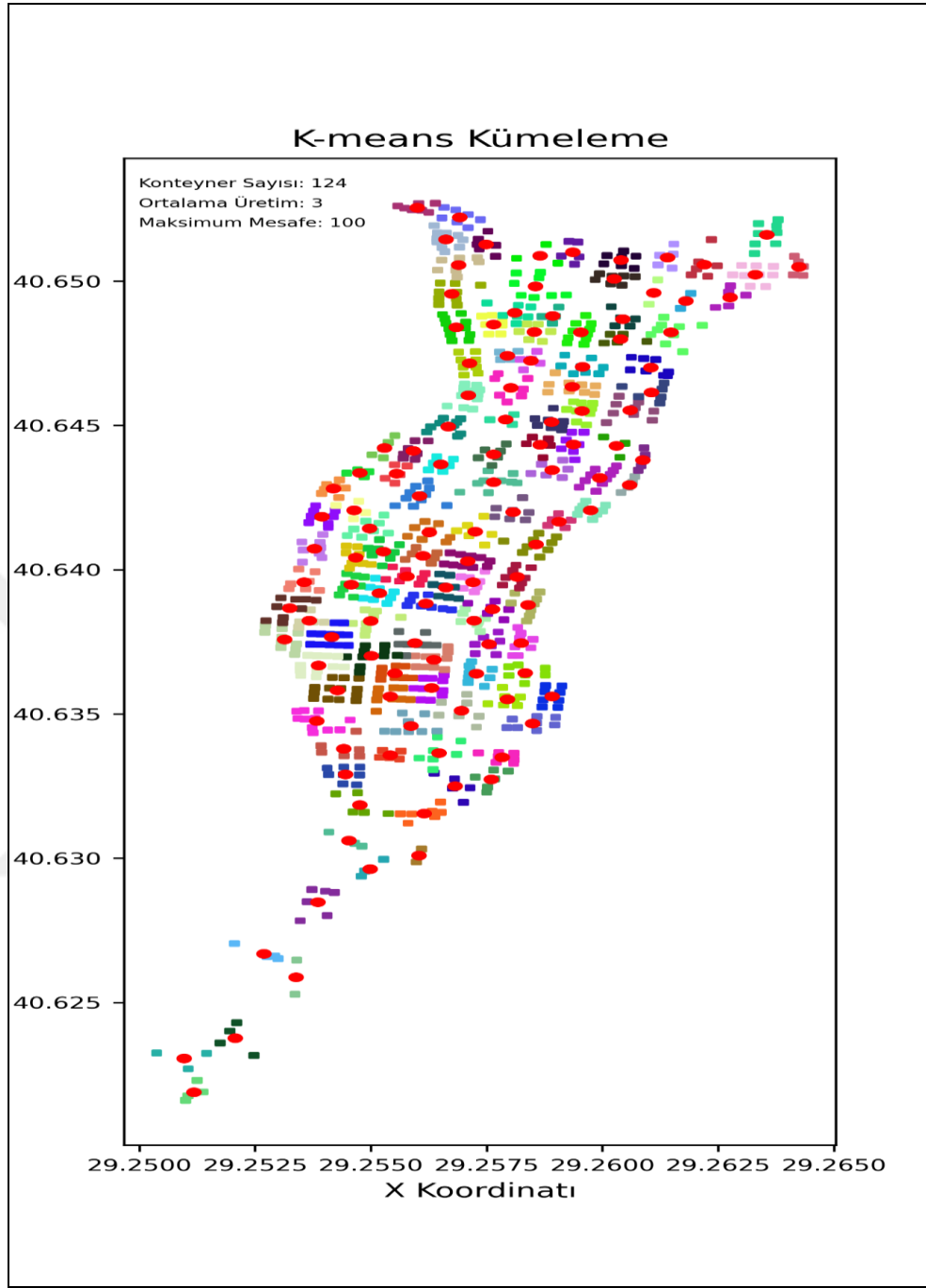
**Şekil 4.16.** 3000 litre, 100 metre Yürüme Mesafesine Göre Konteyner Kümelemesi

Şekil 4.16’da 3000 litre ve 100 metre yürüme mesafesine göre 105 adet konteynerın yerleşim haritası gösterilmiştir.



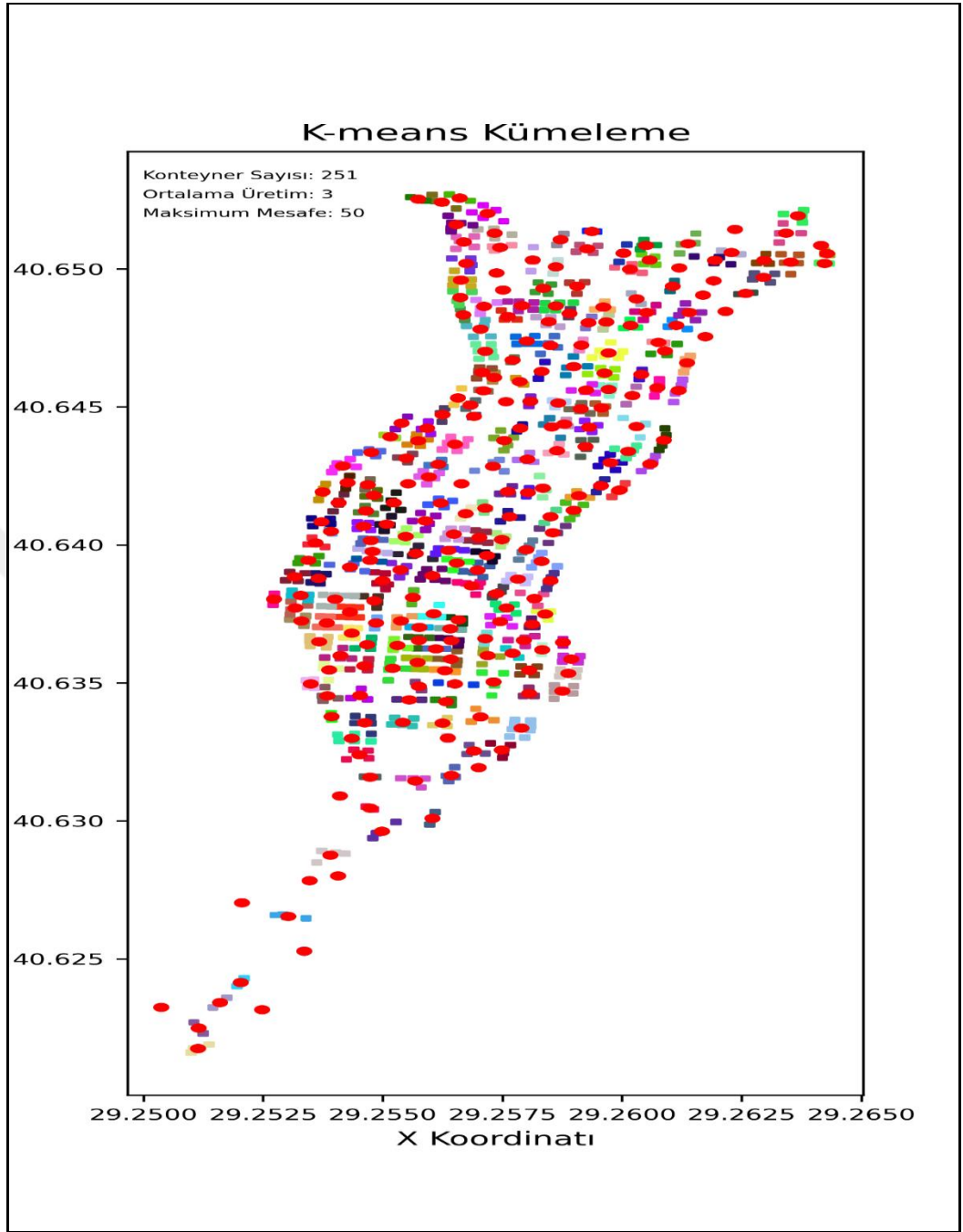
**Şekil 4.17.** 3000 litre, 50 metre Yürüme Mesafesine Göre Konteyner Kümelemesi

Şekil 4.16'da 3000 litre ve 100 metre yürüme mesafesine göre 249 adet konteynerin yerleşim haritası gösterilmiştir



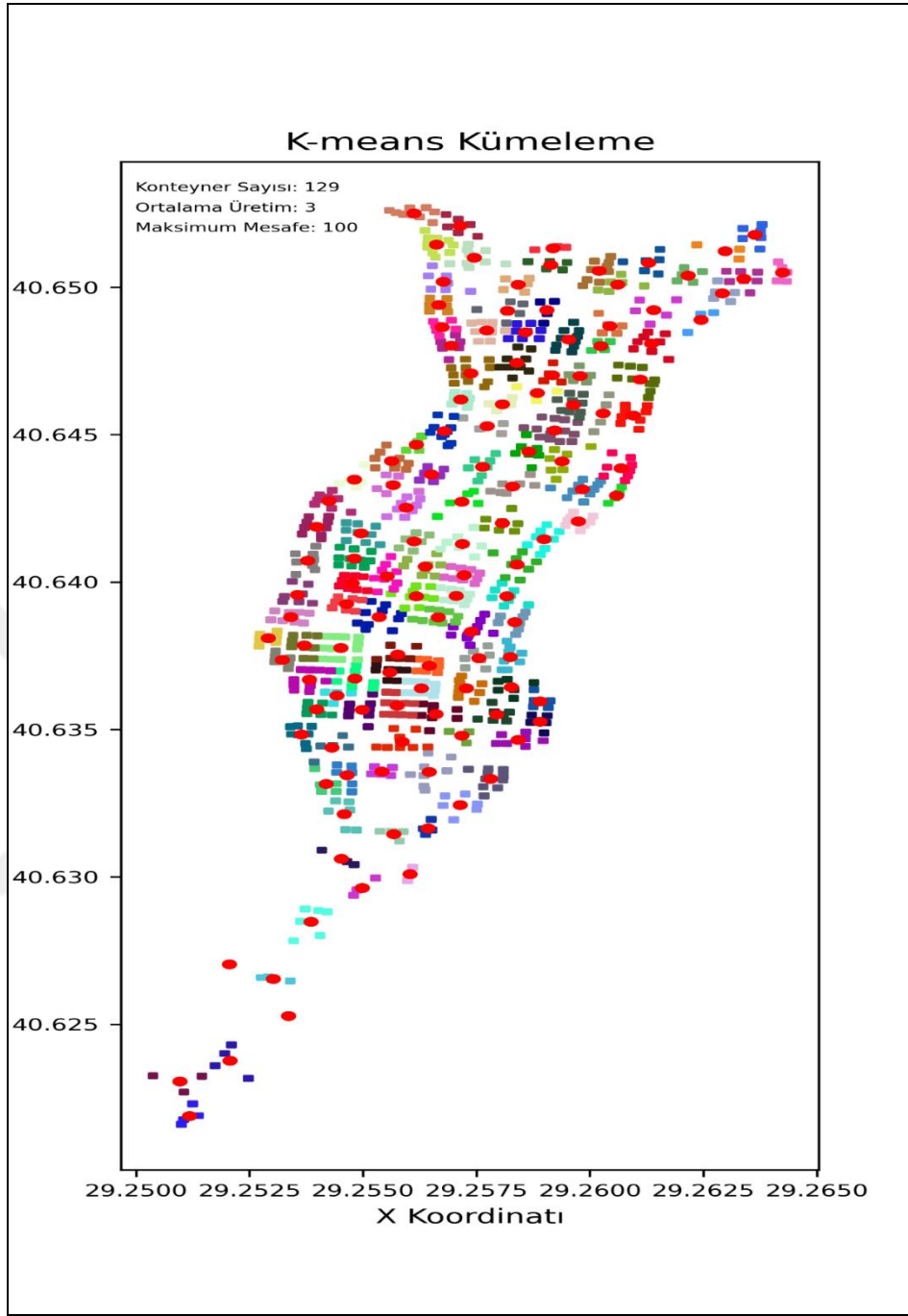
**Şekil 4.18.** 1000 litre, 100 metre Yürüme Mesafesine Göre Konteyner Kümelemesi

Şekil 4.18'de 1000 litre ve 100 metre yürüme mesafesine göre 124 adet konteynerın yerleşim haritası gösterilmiştir



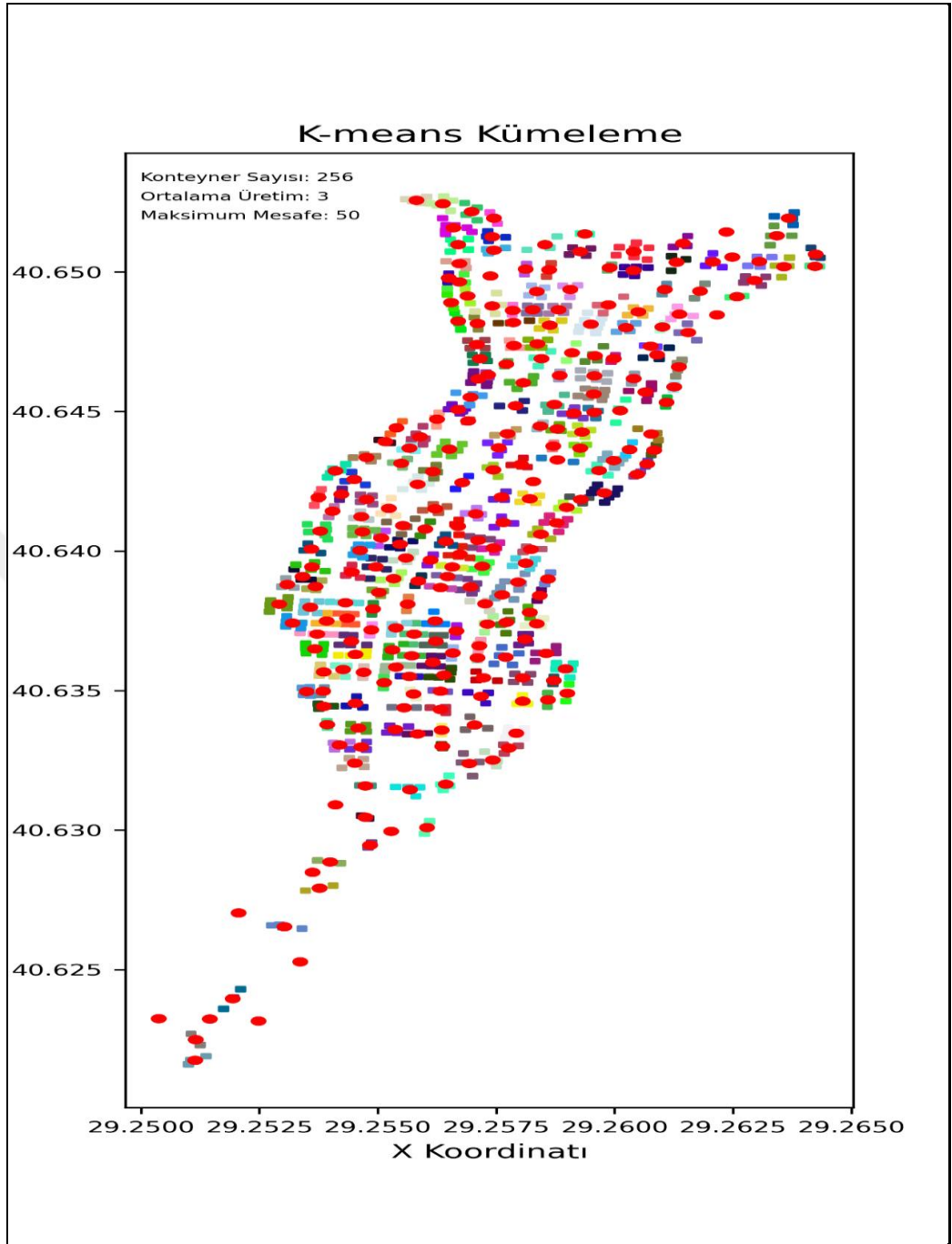
**Şekil 4.19.** 1000 litre, 50 metre Yürüme Mesafesine Göre Konteyner Kümelemesi

Şekil 4.19'da 1000 litre ve 50 metre yürüme mesafesine göre 251 adet konteynerin yerleşim haritası gösterilmiştir



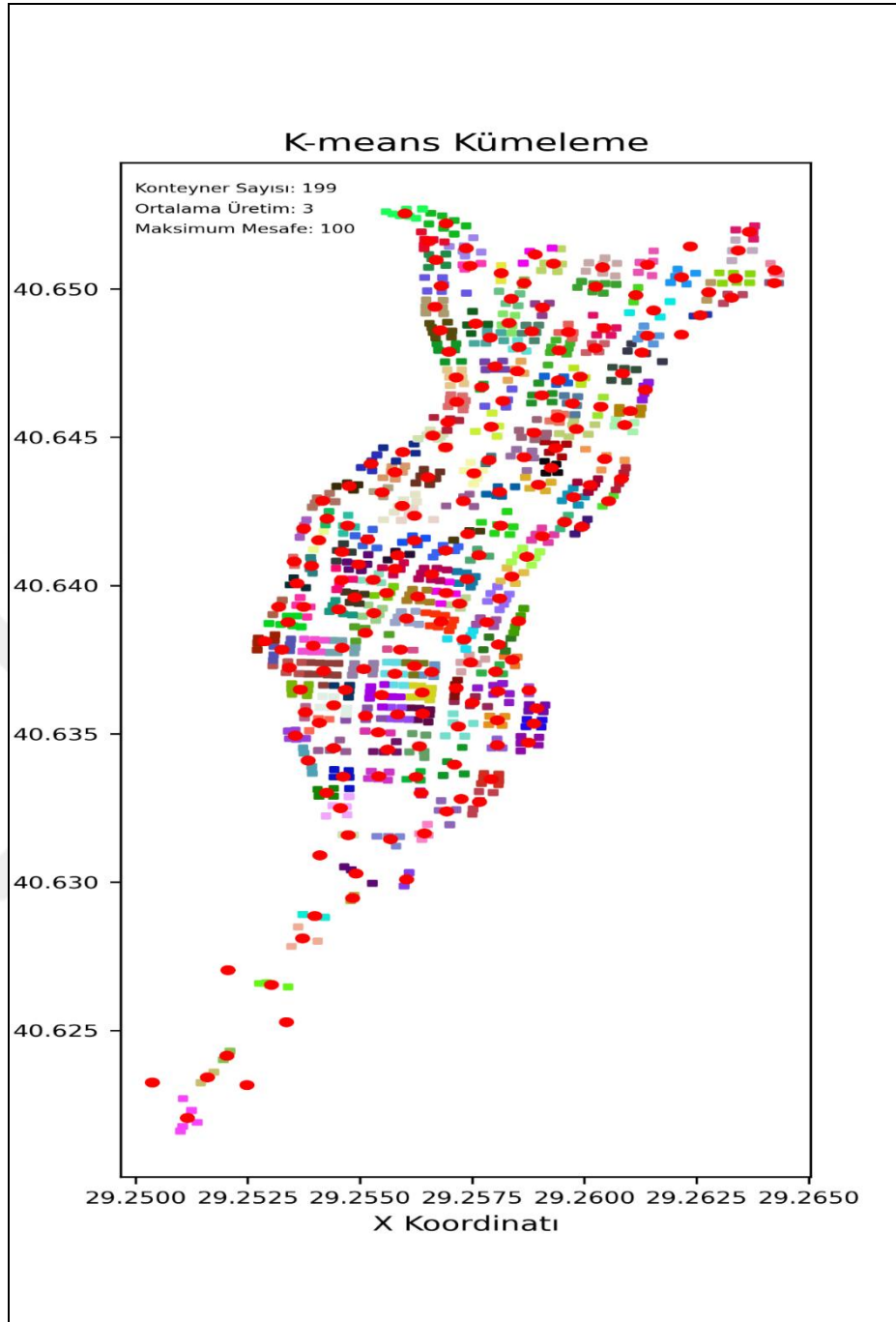
**Şekil 4.20.** 800 litre, 100 metre Yürüme Mesafesine Göre Konteyner Kümelemesi

Şekil 4.20'de 800 litre ve 100 metre yürüme mesafesine göre 129 adet konteynerın yerleşim haritası gösterilmiştir



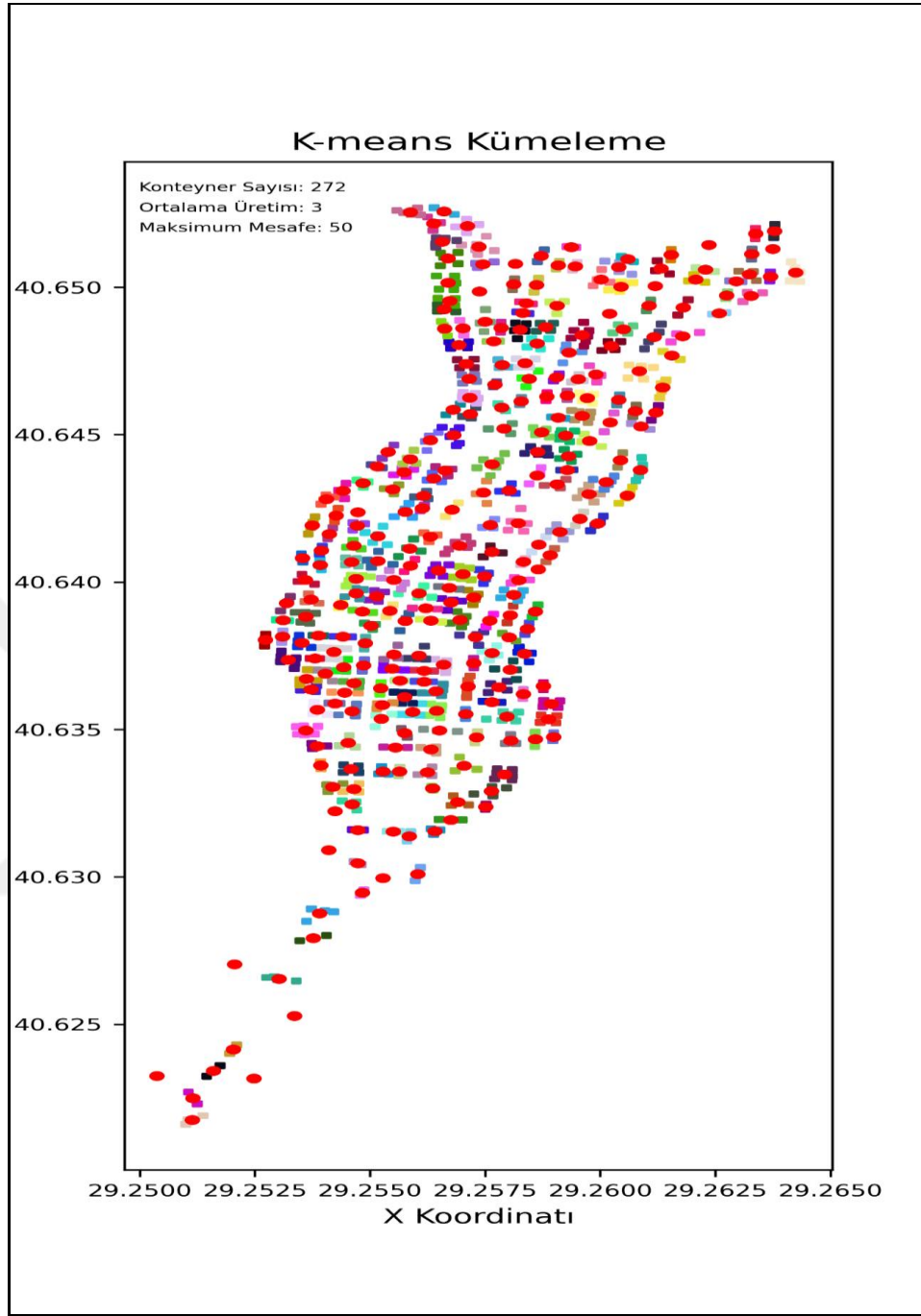
**Şekil 4.21.** 800 litre, 50 metre Yürüme Mesafesine Göre Konteyner Kümelemesi

Şekil 4.21’de 800 litre ve 500 metre yürüme mesafesine göre 256 adet konteynerin yerleşim haritası gösterilmiştir



**Şekil 4.22.** 540 litre, 100 metre Yürüme Mesafesine Göre Konteyner Kümelemesi

Şekil 4.22'de 540 litre ve 100 metre yürüme mesafesine göre 199 adet konteynerın yerleşim haritası gösterilmiştir



**Şekil 4.23.** 540 litre, 50 metre Yürüme Mesafesine Göre Konteyner Kümelemesi

Şekil 4.23'de 540 litre ve 50 metre yürüme mesafesine göre 272 adet konteynerin yerleşim haritası gösterilmiştir

Çalışmada kullanılan parametreler, operasyonların verimliliğini ve sürdürülebilirliğini değerlendirmek için temel ölçütler sunmaktadır. Mevcut durumda (Baseline), standart bir araçla gerçekleştirilen atık toplama operasyonlarında yıllık toplam yakıt tüketimi 366 litre, toplam kat edilen mesafe 25.929 kilometre ve atık toplama süresi 14.341 saat olarak hesaplanmıştır. Bu senaryoda ton başına CO<sub>2</sub> emisyonu 30 kg, yıllık toplam CO<sub>2</sub> emisyonu ise 7,91 kg olarak belirlenmiştir. Bu veriler, mevcut operasyonların maliyet ve çevresel etkilerini anlamak için referans bir değer sunmaktadır. 2021'e kadar, 480'den fazla atık konteynerinin 105 adet 3,000 litrelik kapasite ile değiştirilmesi, toplam rotaların %34, taşıma maliyetlerinin %42,21 ve ton başına CO<sub>2</sub> emisyonununun %33,5 azalabileceğini göstermiştir. Senaryo modelleri ile mevcut durum karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Senaryo Modelleri ile Mevcut Durumun Karşılaştırma Sonuçları

Senaryo	Döküm Sahasına Gidiş	Yakıt Tüketimi (lt/yıl)	Toplam Katedilem Mesafe (km)	Atık Toplama Sıklığı (saat)	Tur Başına Operasyon Süresi (saat)	Atık Toplama Maliyeti (USD/ton)	Atık Başına CO <sub>2</sub> Emisyonu (kg CO <sub>2</sub> /ton)
Baz	366	25929	14.341,00	24	6,19	32	30
3000 lt 100 m	244	17286	9.560,66	72	6,16	20,72	19,95
1000 lt 100m	294	20828	11.519,70	60	4,46	18,52	24,1

3000 litre kapasiteli hidrolik vinçli araçlarla gerçekleştirilen senaryoda, yakıt tüketimi 244 litreye, toplam kat edilen mesafe 17.286 kilometreye ve atık toplama süresi 9.560 saate düşmüştür. Bu senaryo, mevcut duruma kıyasla hem ekonomik hem de çevresel performans açısından önemli iyileştirmeler sunmaktadır. Ton başına CO<sub>2</sub> emisyonu 19,95 kg olarak hesaplanırken, yıllık toplam CO<sub>2</sub> emisyonu 5,26 kg seviyesine inmiştir. Bu

değerler, bu senaryonun hem maliyet etkinliği hem de karbon ayak izi azaltımı açısından en verimli seçenek olduğunu göstermektedir.

1000 litre kapasiteli standart araçlarla gerçekleştirilen bir diğer senaryoda ise yıllık yakıt tüketimi 294 litre, toplam kat edilen mesafe 20.828 kilometre ve atık toplama süresi 11.519 saat olarak belirlenmiştir. Ton başına CO<sub>2</sub> emisyonu 24,1 kg, yıllık toplam CO<sub>2</sub> emisyonu ise 6,35 kg olarak hesaplanmıştır. Bu senaryo, mevcut duruma kıyasla orta düzeyde iyileştirme sunmakla birlikte, 3000 litre kapasiteli senaryoya göre daha yüksek maliyet ve çevresel etki üretmektedir.

Çalışmada kullanılan parametreler, atık toplama süreçlerinin verimliliğini farklı boyutlarda analiz etmektedir. Bertaraf sahasına yapılan sefer sayıları ve yakıt tüketimi, araçların operasyonel performansını ortaya koyarken, toplam kat edilen mesafe ve atık toplama süresi gibi göstergeler operasyonların lojistik etkinliğini değerlendirmektedir. Bunun yanı sıra, ton başına maliyet ve CO<sub>2</sub> emisyonları, ekonomik ve çevresel etkilerin ölçülmesine olanak tanımaktadır.

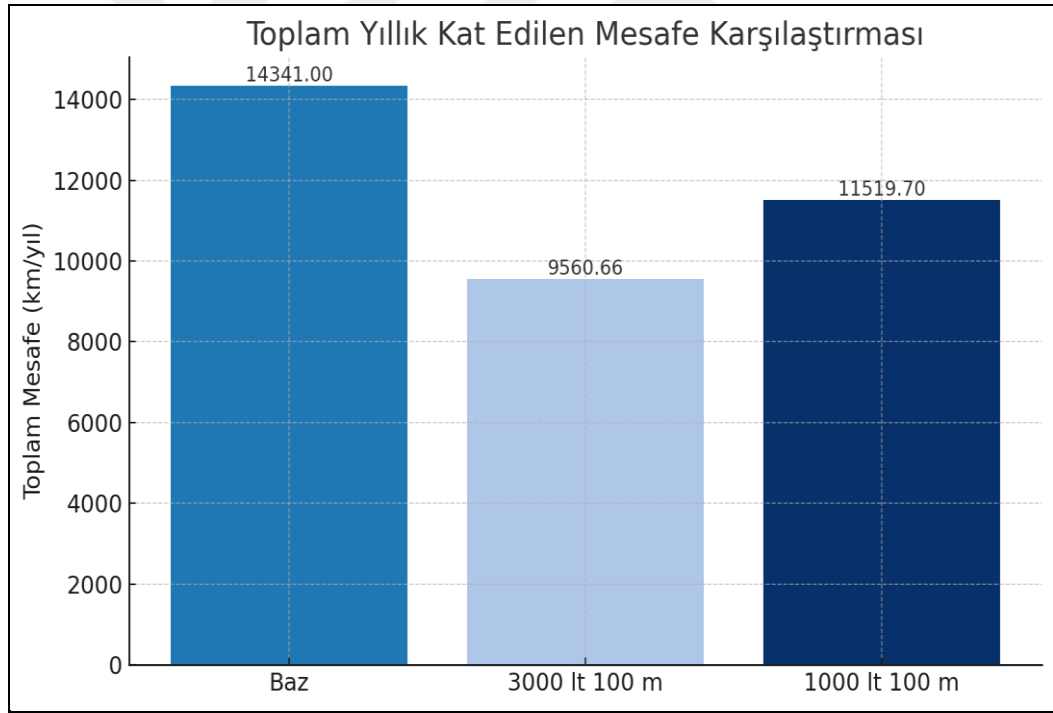
Bu analizler, farklı senaryoların operasyonel performanslarını kıyaslayarak atık toplama operasyonlarının optimize edilmesine yönelik önemli veriler sunmaktadır. Özellikle 3000 litre kapasiteli araçlarla yapılan modelleme hem ekonomik hem de çevresel avantajlar sağlaması nedeniyle öne çıkmaktadır.

Sonuçlar ayrıca kentsel katı atık yönetiminde farklı toplama senaryolarının operasyonel performansları, maliyet etkinlikleri ve çevresel etkilerini karşılaştırmalı bir yaklaşımla değerlendirmiştir. Değerlendirme, "Baz Senaryosu", "3000 lt 100 metre yürüme mesafesi" ve "1000 lt 100 metre yürüme mesafesi" olmak üzere üç farklı toplama sistemine dayandırılmıştır. Bulgular, bu sistemlerin operasyonel verimlilik, maliyet etkinliği ve çevresel etki bakımından önemli farklılıklar sunduğunu göstermektedir.

Bulgular kendi aralarında; toplam mesafe, atık toplama sıklıkları, operasyon süresi, toplama maliyetleri ve emisyon değerlerinin karşılaştırması olmak üzere beş farklı parametre üzerinden değerlendirilmiştir.

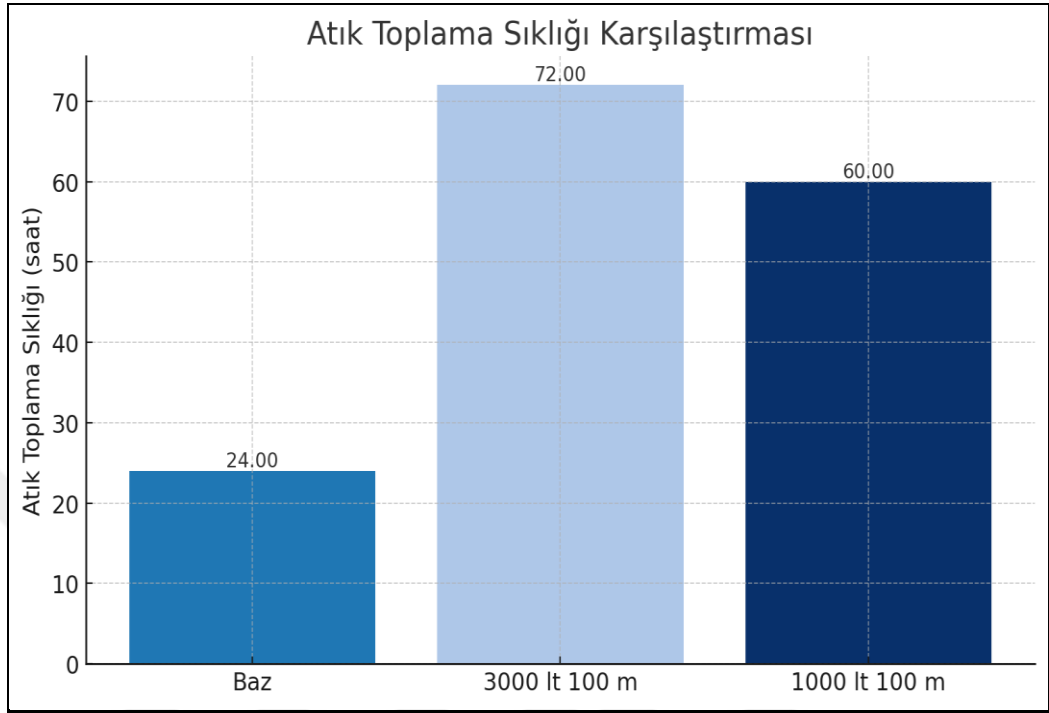
### ***Toplam Yıllık Kat Edilen Mesafe (km)***

Baz Senaryosunda toplam yıllık kat edilen mesafe 14.341 km olarak hesaplanmıştır. Bu değer, 3000 lt kapasiteli vinçli kamyon senaryosunda %33 oranında azalma göstererek 9.560,66 km'ye gerilemiştir. 1000 lt kapasiteli senaryoda ise toplam mesafe 11.519,7 km olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, daha büyük kapasiteli ekipmanların seyahat sayısını azaltarak şehir içi trafik yükünü düşürebileceğini ortaya koymaktadır. Şekil 4.24'te senaryolar arası karşılaştırma diyagramı gösterilmiştir.



**Şekil 4.24.** Toplam Yıllık Kat Edilen Mesafe Karşılaştırılması

### ***Atık Toplama Sıklığı (saat)***



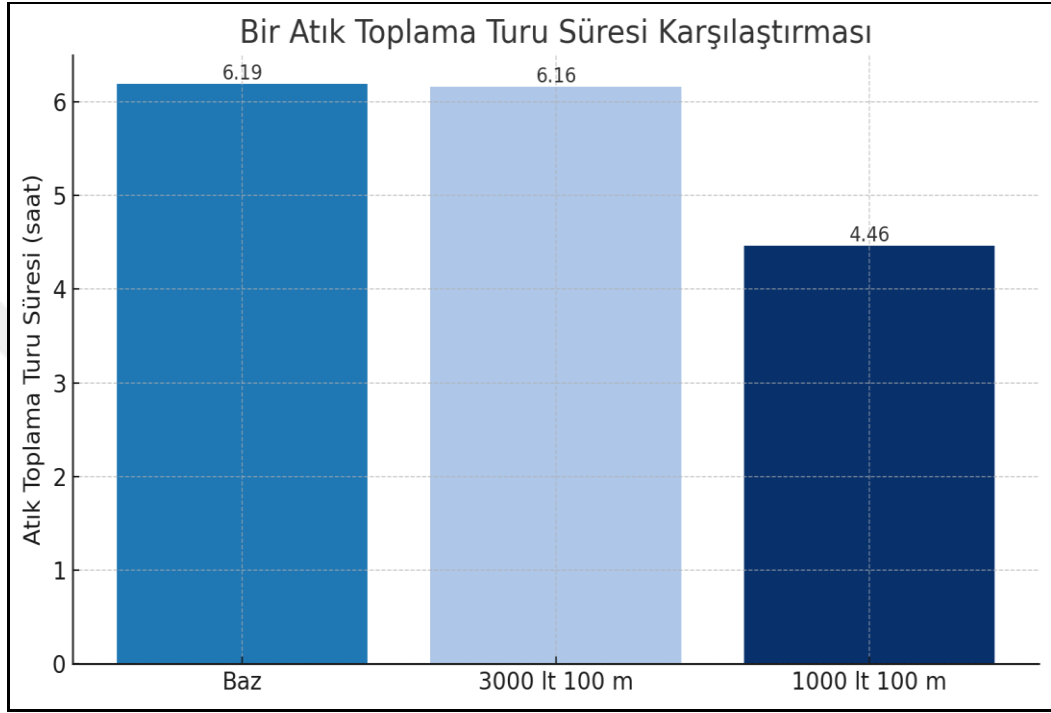
**Şekil 4.25.** Atık Toplama Sıklığı Karşılaştırması

Baz Senaryosunda atık toplama sıklığı 24 saat olarak belirlenmiştir. 3000 lt kapasiteli vinçli kamyon senaryosunda bu sıklık 72 saate çıkararak daha az toplama turuyla daha geniş bir alanda hizmet verilmesini sağlamıştır. 1000 lt kapasiteli standart kamyon senaryosunda ise toplama sıklığı 60 saat olarak tespit edilmiştir. Bu bulgular, daha büyük kapasiteli konteynerlerin ve ekipmanların toplama sıklığını azaltarak operasyonel verimliliği artırdığını göstermektedir. Şekil 4.25'te senaryolar arası karşılaştırma diyagramı gösterilmiştir.

### ***Bir Atık Toplama Turu Süresi (saat)***

Baz senaryosunda bir toplama turunun süresi 6,19 saat olarak hesaplanmıştır. 3000 lt kapasiteli vinçli kamyon senaryosunda bu süre 6,16 saate gerilemiştir. 1000 lt kapasiteli standart kamyon senaryosunda ise tur sürelerinin 4,46 saate kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Bu bulgu, daha küçük kapasiteli ancak daha sık toplama yapabilen

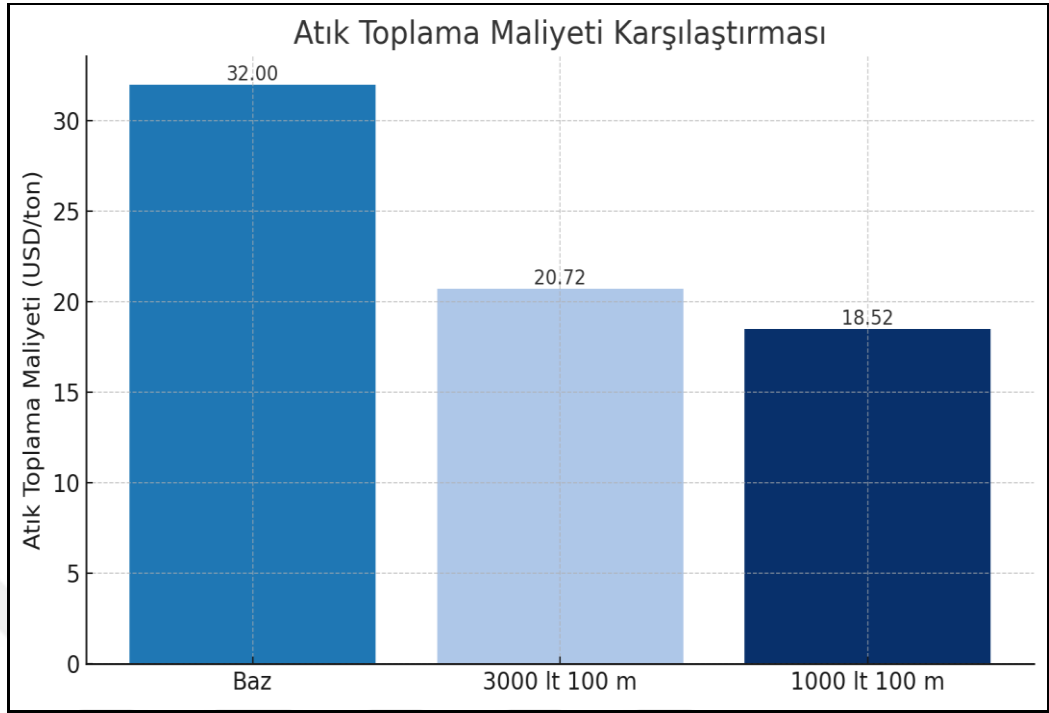
sistemlerin toplam operasyon sürelerini azaltabileceğini ortaya koymaktadır. Ancak bu durumun, şehir içi trafik ve operasyonel maliyetler üzerinde olumsuz etkileri olabileceği de dikkate alınmalıdır. Şekil 4.25'te senaryolar arası karşılaştırma diyagramı gösterilmiştir.



**Şekil 4.26.** Bir Atık Toplama Tur Süresi Karşılaştırılması

#### ***Atık Toplama Maliyeti (USD/ton)***

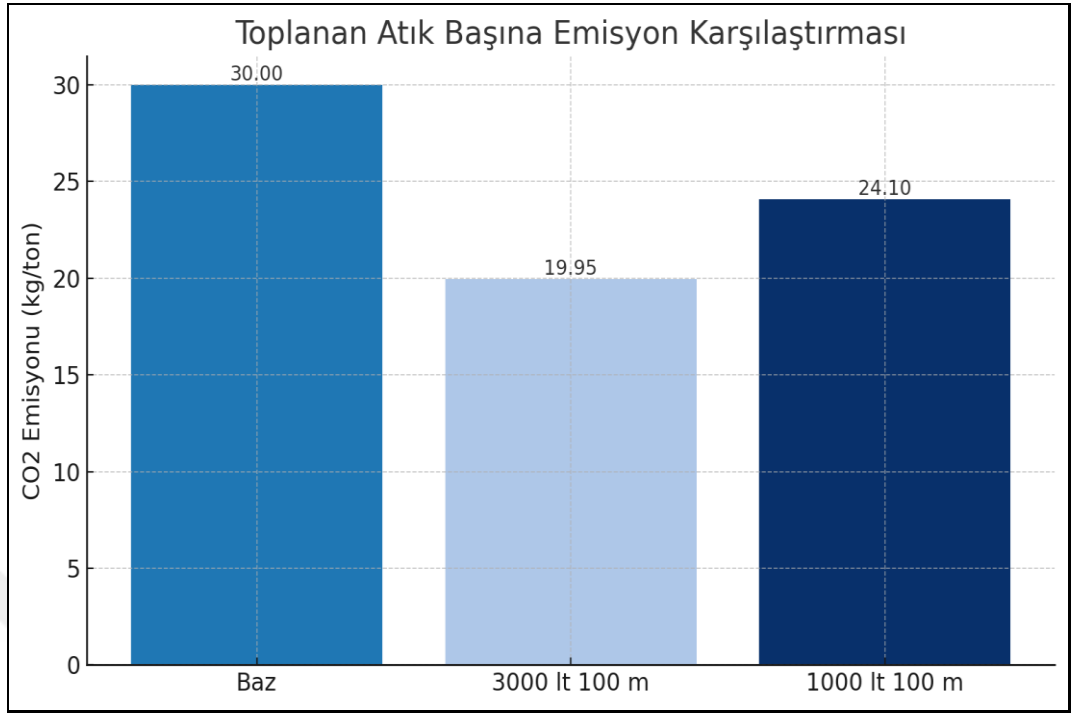
Atık toplama maliyeti Baz Senaryosunda 32 USD/ton olarak hesaplanmıştır. 3000 lt kapasiteli vinçli kamyon senaryosunda bu maliyet %35 oranında azalarak 20,72 USD/ton seviyesine gerilemiştir. 1000 lt kapasiteli standart kamyon senaryosunda ise maliyet 18,52 USD/ton olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, büyük kapasiteli ekipmanların ve teknolojik optimizasyonların toplam toplama maliyetlerini önemli ölçüde azaltabileceğini göstermektedir. Şekil 4.27'de senaryolar arası karşılaştırma diyagramı gösterilmiştir.



**Şekil 4.27.** Atık Toplama Maliyeti Karşılaştırması

***Toplanan Atık Başına CO<sub>2</sub> Emisyonu (kg/ton)***

Atık başına düşen CO<sub>2</sub> emisyonu Baz Senaryosunda 30 kg/ton olarak hesaplanmıştır. 3000 lt kapasiteli vinçli kamyon senaryosunda bu değer %33 oranında azalarak 19,95 kg/ton seviyesine gerilemiştir. 1000 lt kapasiteli standart kamyon senaryosunda ise emisyon değeri 24,1 kg/ton olarak hesaplanmıştır. Bu bulgular, daha az seyahat gerektiren büyük kapasiteli ekipmanların çevresel etkilerin azaltılmasında önemli rol oynadığını ortaya koymaktadır. Şekil 4.28’de senaryolar arası karşılaştırma diyagramı gösterilmiştir.



**Şekil 4.28.** Toplanan Atık Başına Emisyon Karşılaştırması

Analiz edilen senaryolar arasında özellikle 3000 lt kapasiteli 100 metre yürüme mesafeli atık yönetim senaryosu, operasyonel verimlilik, maliyet etkinliği ve çevresel etki bakımından en avantajlı alternatif olarak öne çıkmaktadır. Bu senaryo, daha az yakıt tüketimi, daha düşük CO<sub>2</sub> emisyonu ve daha düşük toplama maliyetleriyle belediyelerin sürdürülebilir atık yönetiminde teknolojik yatırımlarının çevresel ve ekonomik faydalarını maksimize edebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, şehirlerin trafik dinamikleri ve yerel koşulları dikkate alınarak toplama sistemlerinin optimize edilmesi önem arz etmektedir. Dolayısıyla, atık toplama ekipmanlarının kapasite ve teknik özelliklerinin yerel ihtiyaçlara uygun olarak belirlenmesi, sürdürülebilir bir atık yönetim sistemi için kritik bir unsurdur.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu araştırma, Türkiye'nin Yalova ilinde katı atık yönetiminin optimize edilmesine yönelik bir çerçeve sunmaktadır. CBS verilerini ve gerçek zamanlı nüfus istatistiklerini birleştirerek atık toplama sistemlerinde önemli iyileştirmeler sağlamayı amaçlayan çalışma, K-Means kümeleme algoritmasını kullanarak atık konteynerlerinin stratejik olarak yerleştirilmesini sağlamıştır. Temel bulgular, rota optimizasyonunun toplam seyahat mesafesini **%33,35** oranında, toplama maliyetlerini **%42,21** oranında ve CO<sub>2</sub> emisyonlarını **%33,50** oranında azaltabileceğini göstermektedir. Çalışma, yürüyüş mesafeleri ile konteyner büyüklükleri arasındaki korelasyonu ortaya koymuş; bu doğrultuda 1.000 litre ve 3.000 litre hacimli konteynerlerin 100 metre yürüme mesafesinde en etkili olduğu, 540 litre konteynerlerin ise minimum 50 metre mesafede yerleştirilmesi gerektiği, 3.000 litre konteynerlerin ise 1.000 metre mesafeye kadar uzatılabileceği tespit edilmiştir. Araştırma, atık yönetimi tasarımında yaya erişilebilirliğinin önemine vurgu yapmaktadır.

Bu çalışma, IoT teknolojisini kullanarak statik demografik verileri eyleme dönüştürülebilir bilgiye çevirmiş ve atık üretimi ile ilgili nüfus istatistiklerinin izlenmesinin önemini ortaya koymuştur. Çalışma, mevcut literatürdeki önemli boşlukları ele almakta, özellikle Güteryüz (2020), Assef et al. (2022) ve Ikotun et al. (2023)'ün çalışmalarına değinmektedir. Güteryüz'ün çalışması, İstanbul gibi bir megakent üzerine odaklanması açısından öncü nitelikte olmasına rağmen, yalnızca temel bir K-Means kümeleme metodolojisine dayanması ve gerçek zamanlı veri veya CBS teknolojisini içermemesi nedeniyle pratik uygulanabilirlik açısından sınırlıdır. Benzer şekilde, Assef ve ark. (2022), çeşitli kümeleme yöntemlerini incelemiş ancak bu teknikleri atık yönetimi stratejilerine çevirmekte yetersiz kalmıştır. Ikotun ve ark. (2023)'ün çalışması ise K-Means kümeleme varyantlarını kapsamlı bir şekilde incelemiş, ancak belediye katı atık yönetimi alanına dair uygulamalara odaklanmamıştır.

Bu çalışmadan farklı olarak, Viktorin ve ark. (2023), nüfus yoğunluğuna dayalı konteyner yerleşimini optimize etmeye yönelik hiyerarşik bir kümeleme çerçevesi geliştirmiştir.

Ancak bu çalışma, yürüyüş mesafelerini ve toplama maliyetlerini minimize etmeye odaklanırken, araştırmamız, gerçek zamanlı IoT verilerini CBS ile entegre ederek konteynerlerin Yalova özelinde nasıl optimize edilebileceğini ele almaktadır. Gerçek zamanlı nüfus verilerini saha gözlemleri ile birleştirerek, operasyonel verimliliğin artırılması ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması konusundaki önemi vurgulanmıştır. Ek olarak, Caramia ve ark. (2023), atık yönetimi için iki aşamalı bir optimizasyon modeli geliştirmiş ve bu model, atık üreticilerinin davranışlarını dikkate alarak karar alma süreçlerini iyileştirmeyi amaçlamıştır. Bu model, sera gazı emisyonlarını minimize ederken hizmet sunumunu da optimize etmeye yönelik bir matheuristik yaklaşım kullanmaktadır.

Bu araştırma, CBS ve IoT teknolojilerini entegre ederek katı atık yönetimini optimize etmek için gelişmiş bir çerçeve sunmaktadır. K-Means kümeleme algoritmasının kullanılması, atık konteynerlerinin yerleşiminde operasyonel maliyetlerin, yakıt tüketiminin ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Daha büyük konteynerlerin (1.000 ila 3.000 litre) daha uzun yürüyüş mesafelerinde (100 metreye kadar) kullanılması, Yalova'da daha verimli bir atık toplama sistemine olanak tanımış ve Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SDG 11: Sürdürülebilir Şehirler ve SDG 13: İklim Eylemi) ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bu yaklaşım, CO<sub>2</sub> emisyonlarının **%33,5** oranında azaltılmasını sağlamış ve düşük kaynaklara sahip belediyelerin sürdürülebilir çevre uygulamalarını benimseyebileceğini göstermiştir.

Bu çalışma, sayısal optimizasyonun ötesine geçerek atık yönetimi sistemlerine yönelik pratik ve gerçek zamanlı çözümler sunmaktadır. CBS tabanlı kentsel bilgi sistemlerinin demografik verilerle entegrasyonu, konteynerlerin hassas bir şekilde yerleştirilmesini sağlarken, IoT teknolojileri dinamik ve veri odaklı karar alma süreçlerine olanak tanımaktadır. Gelecek araştırmalar, bu çerçeveyi davranışsal modelleri de dahil ederek genişletebilir ve rota optimizasyonundaki ekolojik verimliliği daha da geliştirerek, kentsel atık yönetim sistemlerinin uzun vadeli sürdürülebilirliğine katkıda bulunabilir. Bu aynı zamanda, 2050 yılına kadar küresel karbon nötrlüğüne ulaşma hedeflerine de destek sağlayacaktır.

## 5.1. Çalışma Sınırları

Bu tez, Yalova ili özelinde katı atık yönetiminin optimizasyonunu amaçlayan bir çalışma olarak tasarlanmıştır. Araştırmanın sınırlılıkları, kullanılan veri setlerinin yerel nüfus, atık toplama verileri ve sınırlı bir coğrafi alanla kısıtlı olmasından kaynaklanmaktadır. Özellikle, kullanılan CBS ve IoT teknolojilerine dayalı olarak toplanan veriler, yalnızca Yalova'da gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar bu bölgeye özeldir. Bu, elde edilen sonuçların diğer bölgelerde doğrudan uygulanabilirliğini sınırlayabilir. Ayrıca, araştırma sürecinde kullanılan IoT cihazlarının ve sensörlerin etkinliği, teknolojiye bağlı potansiyel sorunlar ve veri doğruluğu gibi teknik kısıtlamalar göz önünde bulundurulmalıdır. Mevsimsel faktörler ve nüfus hareketliliği gibi değişkenler de araştırmanın kapsamı dahilinde incelenmiştir; ancak bu faktörlerin daha geniş bir zaman aralığında nasıl farklılık gösterebileceği bu çalışmada tam anlamıyla ele alınmamıştır.

Buna ek olarak, saha gözlemleri ve gerçek zamanlı demografik verilerin kullanımı sayesinde önemli bulgular elde edilse de, farklı bölgelerdeki sosyo-ekonomik yapılar, yerel yönetimlerin atık yönetimi politikaları ve vatandaşların katılım düzeyi gibi faktörler bu modelin geliştirilebilirliğini kısıtlayan diğer unsurlar olarak değerlendirilebilir. Çalışma, belirli bir dönem boyunca toplanan verilere dayandığı için, uzun vadeli değişiklikleri ve gelecekteki potansiyel atık üretim eğilimlerini yansıtmayabilir.

## 5.2. Literatüre Katkı

Bu çalışma, özellikle Yalova ili özelinde gerçekleştirilen ve atık yönetimi literatürüne birçok yenilikçi katkı sağlayan önemli bir araştırmadır. Literatüre sağladığı en önemli katkılardan biri, gerçek zamanlı demografik verilerle entegre edilen CBS ve IoT teknolojileri kullanılarak yapılan rota optimizasyonu modelinin geliştirilmiş olmasıdır. Mevcut literatürde, özellikle büyük veri ve IoT teknolojilerinin atık yönetimi süreçlerine entegrasyonu üzerine önemli çalışmalar yapılmış olsa da, bu araştırma, yerel ölçekli atık yönetimi süreçlerinin optimizasyonu için geliştirilen özgün bir modeli sunmaktadır. Çalışma, Güteryüz (2020) ve Assef et al. (2022) gibi önceki çalışmalara kıyasla daha

kapsamlı bir çerçeve ortaya koymuş, atık konteynerlerinin stratejik yerleştirilmesi ve rota optimizasyonunun, CO<sub>2</sub> emisyonları, toplama maliyetleri ve yolculuk mesafeleri üzerindeki etkilerini somut verilerle desteklemiştir.

Araştırmada kullanılan K-Means kümeleme algoritması ve geliştirilen optimizasyon modelleri, literatürde daha önce yapılan teorik çalışmalara önemli bir pratik katkı sağlamaktadır. Özellikle atık konteynerlerinin doğru şekilde yerleştirilmesi, yaya erişilebilirliğinin sağlanması ve toplama maliyetlerinin azaltılması gibi konularda bu çalışma, mevcut literatüre dayalı yenilikçi çözümler sunarak uygulamaya dönük bir perspektif kazandırmıştır. Ayrıca, IoT verilerinin kullanılmasıyla atık yönetiminin dinamik bir süreç haline getirilmesi, geleneksel statik yöntemlere kıyasla önemli bir katkı sunmaktadır.

### **5.3. Belediyelere ve Çevre Otoritelerine Sağladığı Katkı**

Bu araştırma, belediyeler ve çevre otoriteleri için atık yönetimi süreçlerini iyileştirmeye yönelik etkili bir yol haritası sunmaktadır. Geliştirilen rota optimizasyonu ve konteyner yerleştirme modeli, atık toplama sistemlerinin hem ekonomik hem de operasyonel açıdan daha sürdürülebilir hale gelmesine katkı sağlamaktadır. Belediyelerin atık toplama ve taşıma süreçlerinde karşılaştığı en büyük zorluklardan biri olan maliyetlerin azaltılmasına yönelik bu çalışma, pratik ve uygulanabilir çözümler sunmaktadır

#### ***Rota Optimizasyonu ile Maliyetlerin Azaltılması***

Atık toplama ve taşıma, belediyelerin bütçelerindeki en büyük harcama kalemlerinden birini oluşturmaktadır. Bu çalışmada geliştirilen rota optimizasyonu modeli, atık toplama süreçlerinde maliyetleri **%42,21** oranında azaltma potansiyeli sunmaktadır. Bu oran, düşük bütçeli belediyeler için kritik bir tasarruf imkânı sağlamaktadır.

Daha düşük maliyetlerle daha geniş alanlara hizmet sunma potansiyeli, kaynakların daha etkin kullanımına olanak tanımaktadır. Bu durum, özellikle bütçe kısıtlamalarıyla karşı karşıya olan belediyelerin, kaynaklarını diğer sosyal ve çevresel projelere

yönlendirebilmesini sağlamaktadır. Örneğin, rota optimizasyonu ile yakıt tüketiminin azalması, yalnızca maliyetleri düşürmekle kalmamakta, aynı zamanda çevresel etkilerin minimize edilmesine de katkıda bulunmaktadır.

### ***Konteyner Yerleşiminde Verimlilik ve Yaya Erişilebilirliği***

Araştırmada ortaya konulan bir diğer önemli bulgu, konteyner yerleşimi ile ilgili stratejik kararların, atık toplama sistemlerinin etkinliğini büyük ölçüde etkilediğidir. Çalışma, 540 litre kapasiteli konteynerlerin en az 50 metre, 3.000 litre kapasiteli konteynerlerin ise 1.000 metre mesafelerde yerleştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu veriler, şehir plancıları ve belediye yöneticilerine konteyner yerleşimi konusunda rehberlik etmektedir.

Yaya erişilebilirliği, vatandaşların atık toplama süreçlerine katılımını artıran önemli bir faktördür. Literatürde, atık toplama noktalarına erişimin kolaylaştırılmasının, geri dönüşüm oranlarını artırdığı ve halk memnuniyetini olumlu yönde etkilediği gösterilmiştir (Zhang ve arkadaşları, 2019). Bu çalışmada sunulan konteyner yerleşim stratejisi, sadece atık toplama süreçlerini optimize etmekle kalmamakta, aynı zamanda vatandaşların bu sürece daha aktif katılımını sağlamaktadır. Halkın, atık toplama noktalarına daha kolay ulaşması, geri dönüşüm ve atık ayrıştırma oranlarını artırarak genel atık yönetim sisteminin daha verimli hale gelmesine olanak tanımaktadır.

### ***CO<sub>2</sub> Emisyonlarının Azaltılması ve Çevresel Etkiler***

Araştırmanın en dikkat çekici bulgularından biri, geliştirilen model sayesinde CO<sub>2</sub> emisyonlarının **%33,50** oranında azaltılabileceğinin ortaya konulmasıdır. Bu oran, yalnızca yerel düzeyde değil, ulusal düzeyde de sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasında önemli bir katkı sağlamaktadır. Karbon emisyonlarının azaltılması, iklim değişikliği ile mücadelede kritik bir öneme sahiptir ve bu çalışma, belediyelere bu hedeflere ulaşmaları için somut bir yol sunmaktadır.

Karbon emisyonlarının azaltılmasında rota optimizasyonunun yanı sıra konteyner yerleşim stratejisinin de etkili olduğu görülmektedir. Örneğin, konteynerlerin stratejik

olarak yerleştirilmesi, atık toplama araçlarının gereksiz yolculuklarını azaltmakta ve böylece fosil yakıt tüketimini minimize etmektedir. Bu bulgu, çevre otoritelerine, şehirlerin çevresel ayak izini azaltmak için uygulanabilir bir model sunmaktadır. Ayrıca, bu modelin ulusal düzeyde uygulanabilirliği, Türkiye'nin karbon nötrlüğüne ulaşma hedeflerine önemli bir katkı sağlayabilir.

#### **5.4. Gelecekte Yapılabilecek Çalışmalar**

Sürdürülebilir atık yönetimi, modern şehirlerin karşılaştığı en kritik çevresel ve lojistik zorluklardan biri olarak ön plana çıkmaktadır. Bu çalışma, sürdürülebilir atık yönetimi sistemlerinin geliştirilmesi ve mevcut modellerin iyileştirilmesi için önemli bir başlangıç noktası sunmaktadır. Önerilen model, mevcut sistemlerin optimize edilmesi ve daha verimli hale getirilmesi için uygulanabilir bir çerçeve sağlamaktadır. Ancak, bu modelin farklı coğrafi, demografik ve ekonomik koşullarda nasıl performans göstereceği konusunda daha geniş kapsamlı araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Araştırmanın bulguları, yalnızca mevcut sistemleri optimize etmekle kalmamakta, aynı zamanda gelecekteki atık yönetim stratejileri için de bir temel oluşturmaktadır. Bu modelin diğer şehirlerde uygulanabilirliği üzerine yapılacak çalışmalar, farklı coğrafi ve sosyo-ekonomik koşullara uygun atık yönetim çözümlerinin geliştirilmesine olanak tanıyabilir. Örneğin, düşük ve orta gelirli bölgelerde bu modelin uygulanabilirliği üzerine daha fazla araştırma yapılması, küresel düzeyde daha sürdürülebilir atık yönetim sistemlerinin oluşturulmasına katkıda bulunabilir.

Ayrıca, IoT tabanlı sistemlerin bu modelle entegrasyonu, gerçek zamanlı veri analitiği sayesinde daha dinamik bir atık yönetim süreci sunabilir. Bu durum hem operasyonel verimliliği artırmakta hem de çevresel etkilerin daha etkin bir şekilde kontrol edilmesine olanak tanımaktadır. Literatürde, IoT ve büyük veri teknolojilerinin entegre edilmesinin, atık toplama süreçlerini optimize etme potansiyeline sahip olduğu belirtilmektedir (Ghosh vd., 2022). Bu teknolojilerin mevcut modelle birleştirilmesi, şehirlerin çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasında daha etkili bir yol haritası sağlayabilir.

### ***Modelin Farklı Coğrafyalara Uyarlanabilirliği***

Bu çalışmada geliştirilen model, özellikle büyük şehirler ve heterojen sosyo-ekonomik yapıya sahip bölgelerde uygulandığında, genelleştirilebilirliği konusunda daha kapsamlı sonuçlar elde edilmesine olanak tanıyacaktır. Literatürde, atık yönetimi sistemlerinin farklı coğrafi bölgelerde uygulanabilirliği üzerine yapılan çalışmalar, bölgesel farklılıkların ve yerel toplulukların alışkanlıklarının dikkate alınması gerektiğini göstermektedir (Shah vd., 2021). Bu bağlamda, modelin mevsimsel değişikliklere, nüfus hareketliliğine ve kentsel alanların demografik özelliklerine göre adapte edilebilirliği üzerine daha detaylı araştırmalar yapılması gerekmektedir.

### ***İnsan Davranışlarının ve Demografik Faktörlerin Etkisi***

Gelecekteki çalışmalar, atık üretim oranlarının sosyo-ekonomik durum, eğitim seviyesi ve aile büyüklüğü gibi demografik faktörlerle nasıl ilişkilendirilebileceğine odaklanmalıdır. Örneğin, Zhang ve arkadaşlarının (2020) yaptığı bir çalışmada, eğitim seviyesinin ve çevresel farkındalığın atık üretim miktarı üzerinde doğrudan bir etkisi olduğu ortaya konmuştur. Atık üretimi ile ilgili daha detaylı davranışsal modellerin geliştirilmesi, yalnızca yönetim süreçlerini iyileştirmekle kalmayacak, aynı zamanda toplumsal farkındalığın artmasına da katkıda bulunacaktır. Bu tür modellerin bütünlendirilmesi, bireylerin atık azaltma konusundaki katılımını artırarak, genel sistem performansını olumlu yönde etkileyecektir.

### ***IoT Teknolojilerinin Entegrasyonu ve Gerçek Zamanlı İzleme***

Gelişmiş teknolojiler, özellikle IoT tabanlı sistemler, atık yönetimi süreçlerinde operasyonel verimliliği artırma ve maliyetleri düşürme potansiyeline sahiptir. IoT cihazlarının atık üretim oranlarını ve toplama süreçlerini gerçek zamanlı olarak izlemesi sayesinde, sistemler daha dinamik ve sürdürülebilir hale getirilebilir (Ghosh vd., 2022). Bu tür teknolojiler, sadece anlık veri sağlamakla kalmaz, aynı zamanda uzun vadeli stratejik planlamalar için güçlü bir temel sunar. Gelecekte, bu sistemlerin farklı coğrafi

bölgelerde yaygınlaştırılması ve veri analitiği ile entegre edilmesi, şehirlerin karbon nötrlüğü hedeflerine ulaşmasında kritik bir rol oynayacaktır.

### ***Rota Optimizasyonu ve Ekolojik Verimlilik***

Rota optimizasyonu, atık toplama süreçlerinin maliyetlerini azaltmak ve operasyonel verimliliği artırmak için önemli bir teknolojik yaklaşımdır. Literatürde, rota optimizasyonunun IoT ve GBS gibi teknolojilerle entegre edilmesinin verimliliği önemli ölçüde artırdığına dair bulgular bulunmaktadır (Gupta vd., 2019). Özellikle bütçe kısıtlamaları ile karşı karşıya olan belediyeler için bu tür optimizasyonlar, kaynak kullanımını iyileştirmek ve atık yönetim sistemlerini daha sürdürülebilir hale getirmek açısından büyük avantajlar sunmaktadır. Bu kapsamda, rota optimizasyonuna yönelik yapılacak ileri araştırmalar, büyük veri analitiği ve makine öğrenimi algoritmalarını da kapsayarak sistemlerin daha geniş çapta uygulanabilirliğini artırabilir.

Günümüzde IoT tabanlı atık yönetimi sistemlerinin yaygınlaşmasına rağmen, literatürdeki birçok çalışma, bu teknolojilerin daha geniş çaplı uygulamalarda nasıl performans göstereceği üzerine daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğunu vurgulamaktadır (Assef vd., 2022). Örneğin, sensör verilerinin doğru bir şekilde toplanması ve analiz edilmesi, sistemin etkinliğini artırmak için kritik öneme sahiptir. Ayrıca, şehirlerin demografik yapısı, coğrafi özellikleri ve mevsimsel değişkenlikler gibi faktörler göz önünde bulundurularak IoT sistemlerinin nasıl adapte edilebileceği de önemli bir araştırma konusu olarak öne çıkmaktadır (Adeleke vd., 2021).

Sonuç olarak, IoT teknolojisi, atık yönetimi sistemlerinin verimliliğini artırma ve sürdürülebilirliği sağlama konusunda büyük bir potansiyele sahip olup, gelişmekte olan ülkelerde düşük bütçeli belediyelere önemli faydalar sunmaktadır. IoT tabanlı atık yönetimi çözümleri, operasyonel maliyetleri düşürmekle kalmayıp, aynı zamanda çevresel etkileri azaltarak sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasına katkı sağlamaktadır.

### ***K-means Algoritmasının Geliştirilmesi***

Atık yönetiminde sıkça kullanılan K-means algoritması, büyük veri kümelerinin etkili bir şekilde işlenmesine olanak tanıyan güçlü bir araçtır. Ancak, başlangıç merkezlerinin seçimine duyarlılık ve doğrusal olmayan veri yapılarında performans düşüşü gibi bazı sınırlamalara sahiptir (Capó vd., 2020). Literatürde, bu sınırlamaların üstesinden gelmek için çeşitli geliştirilmiş algoritmalar önerilmiştir. Örneğin, İkotun ve arkadaşlarının (2023) çalışması, yüksek boyutlu veri setlerinde K-means algoritmasının farklı varyantlarının performansını karşılaştırarak, çeşitli senaryolarda en uygun yöntemin seçilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Gelecekte, bu tür geliştirilmiş algoritmaların uygulanabilirliği ve pratik kullanımı üzerine daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

### ***Politika ve Toplum Katılımının Önemi***

Teknolojik çözümler ne kadar etkili olursa olsun, toplum katılımının teşvik edilmediği durumlarda sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak zorlaşabilir. Literatür, toplumsal farkındalığın ve bireysel davranış değişikliklerinin atık yönetimi sistemleri üzerindeki etkisini vurgulamaktadır (Korkmaz & Demirci, 2020). Bu kapsamda, halkın aktif katılımını teşvik edecek mekanizmalar geliştirilmesi, sistemlerin daha etkin bir şekilde işlenmesini sağlayabilir. Aynı zamanda, sürdürülebilir atık yönetimini destekleyen yasal düzenlemelerin ve politikaların analiz edilmesi, teknolojik yeniliklerin uygulanabilirliğini artırabilir.

Bu araştırma, sürdürülebilir atık yönetimi alanında hem teorik hem de pratik anlamda önemli katkılar sağlamaktadır. Geliştirilen model, modern atık yönetim sistemlerinin iyileştirilmesine yönelik uygulanabilir bir çerçeve sunmaktadır. Özellikle rota optimizasyonu ve konteyner yerleşim stratejileri, yalnızca operasyonel süreçlerin verimliliğini artırmakla kalmamakta, aynı zamanda maliyetlerin azaltılmasına ve çevresel etkilerin minimize edilmesine olanak tanımaktadır. Atık yönetimi süreçlerinin daha etkin bir şekilde organize edilmesi, belediyelerin bütçelerini daha verimli kullanmalarını

sağlamaktadır. Bu durum, özellikle düşük bütçeli belediyeler için kritik bir öneme sahiptir.

Araştırmanın ortaya koyduğu önemli bulgulardan biri, atık toplama ve taşıma süreçlerinde maliyetlerin %42,21 oranında azaltılabileceğidir. Bu oran, belediyelerin bütçe planlamalarında büyük bir esneklik sağlayarak, kaynakların daha etkin kullanılmasına olanak tanımaktadır. Atık yönetiminde maliyetlerin bu denli düşürülmesi hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir kazanım olarak değerlendirilmektedir. Benzer şekilde, karbon emisyonlarının %33,50 oranında azaltılabileceği bulgusu, bu modelin çevresel sürdürülebilirliğe yönelik katkısını somut bir şekilde ortaya koymaktadır. Karbon emisyonlarındaki azalma, iklim değişikliği ile mücadelede belediyelerin daha etkin bir rol üstlenmesine olanak tanımaktadır.

Bu çalışma, yalnızca belediyelere değil, aynı zamanda çevre otoritelerine ve politika yapıcılara da değerli veriler sunmaktadır. Geliştirilen model, çevresel ayak izini azaltmak ve atık yönetiminde daha etkili stratejiler geliştirmek için somut bir yol haritası oluşturmaktadır. Özellikle konteyner yerleşim stratejilerinde sunulan öneriler, atık toplama süreçlerinin vatandaşlar tarafından daha kolay erişilebilir hale getirilmesini sağlamaktadır. 540 litre kapasiteli konteynerlerin 50 metre, 3.000 litre kapasiteli konteynerlerin ise 1.000 metre mesafelerde yerleştirilmesi gerektiği bulgusu, bu alandaki uygulamaların iyileştirilmesi için yol gösterici niteliktedir. Konteynerlerin stratejik olarak yerleştirilmesi, yaya erişilebilirliğini artırarak vatandaşların atık toplama süreçlerine katılımını teşvik etmektedir. Literatürde, atık toplama noktalarına kolay erişimin geri dönüşüm oranlarını artırdığı ve halk memnuniyetini olumlu yönde etkilediği sıklıkla belirtilmiştir. Bu bağlamda, araştırmanın bulguları, şehir plancıları ve belediye yöneticileri için pratik uygulamalara dönüştürülebilir niteliktedir.

Araştırmanın bir diğer önemli katkısı, modelin farklı coğrafi ve demografik koşullara adapte edilebilirliğini ele almasıdır. Bu modelin farklı sosyo-ekonomik yapılar ve coğrafi özelliklere sahip bölgelerde uygulanabilirliği üzerine yapılacak gelecekteki çalışmalar, küresel düzeyde daha sürdürülebilir atık yönetimi sistemlerinin geliştirilmesine katkıda

bulunacaktır. Özellikle düşük ve orta gelirli ülkelerde bu tür modellerin uygulanabilirliği üzerine yapılacak araştırmalar, atık yönetimi sorunlarına yönelik daha geniş kapsamlı çözümler sunabilir.

Akıllı şehir teknolojileri, şehir yönetimi ve kamu hizmetleri sunumunda devrim niteliğinde değişiklikler getirirse de literatürde bu teknolojilerin daha geniş çaplı uygulanabilirliği ve uzun vadeli etkileri üzerine daha fazla araştırma yapılması gerektiği vurgulanmaktadır (Nam & Pardo, 2011). Özellikle, veri güvenliği, mahremiyet ve toplumsal eşitsizlikler gibi sorunların akıllı şehir projelerinde nasıl ele alınacağı konusunda daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, akıllı şehir sistemlerinin sosyal sürdürülebilirlik boyutları üzerinde de durulmalıdır. Şehirlerin sadece teknolojik açıdan değil, aynı zamanda sosyal ve ekonomik açıdan da dengeli bir şekilde gelişmesi, akıllı şehirlerin başarılı olmasının ön koşuludur (Hollands, 2008).

IoT (Nesnelerin İnterneti) tabanlı sistemlerin bütünleştirilmesi, araştırmanın bir diğer güçlü yönünü oluşturmaktadır. IoT cihazlarının gerçek zamanlı veri izleme ve analiz yetenekleri, atık toplama süreçlerinin daha dinamik bir yapıya kavuşmasını sağlamaktadır. Gerçek zamanlı veriler, atık toplama süreçlerinde rota optimizasyonunun daha hassas bir şekilde yapılmasına olanak tanımakta ve operasyonel süreçlerin verimliliğini artırmaktadır. Ayrıca, IoT tabanlı sistemlerin büyük veri analitiği ve GIS ile entegrasyonu, bu modelin çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasındaki etkisini daha da artırmaktadır. Literatürde, IoT ve büyük veri teknolojilerinin entegre edilmesinin atık toplama süreçlerinde maliyetleri düşürmek ve verimliliği artırmak açısından büyük bir potansiyele sahip olduğu sıklıkla vurgulanmaktadır.

Bu çalışmanın pratik uygulamaları kadar, teorik katkıları da göz ardı edilmemelidir. Özellikle atık yönetimde kullanılan rota optimizasyonu ve konteyner yerleşim modelleri, gelecekteki araştırmalar için önemli bir referans niteliği taşımaktadır. Bu modelin, atık yönetimi süreçlerinde insan davranışlarını ve demografik faktörleri daha fazla dikkate alacak şekilde genişletilmesi, daha kapsamlı ve etkili sistemlerin geliştirilmesine olanak tanıyabilir. Atık üretim oranlarının sosyo-ekonomik durum,

eğitim seviyesi ve aile büyüklüğü gibi faktörlerle nasıl ilişkilendirilebileceği üzerine yapılacak araştırmalar, modelin uygulanabilirliğini daha da artıracaktır.

Sonuç olarak, bu çalışma, sürdürülebilir atık yönetimi sistemlerinin geliştirilmesi ve mevcut modellerin iyileştirilmesi açısından önemli bir katkı sunmaktadır. Modelin farklı coğrafi ve demografik koşullara uyarlanabilirliği, IoT tabanlı gerçek zamanlı izleme sistemleri ve rota optimizasyonu gibi teknolojik yeniliklerle birleştirildiğinde, şehirlerin çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine daha hızlı ve etkin bir şekilde ulaşmasına olanak tanımaktadır. Gelecekte, bu tür yenilikçi yaklaşımların yaygınlaştırılması ve toplumsal farkındalığın artırılması, atık yönetimi sistemlerinin daha sürdürülebilir hale gelmesini sağlayacaktır. Bu alışma, yalnızca yerel düzeyde değil, aynı zamanda küresel atık yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi için de değerli bir kaynak niteliği taşımaktadır

## KAYNAKLAR

- Adeleke, O. A., Akinlabi, S. A., Jen, T. C., & Dunmade, I. (2021). An overview of factors affecting the rate of generation and physical composition of municipal solid waste. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1107(1), 012096. IOP Publishing.
- Al Mamun, A., Hannan, M. A., & Hussain, A. (2017). Real-time bin level detection for solid waste management. *Procedia Computer Science*, 98, 425-430.
- Aparcana, S. (2017). Approaches to formalization of the informal waste sector into municipal solid waste management systems in low- and middle-income countries: Review of barriers and success factors. *Waste Management*, 61, 593-607.
- Assef, F. M., Steiner, M. T. A., & de Lima, E. P. (2022). A review of clustering techniques for waste management. *Heliyon*, 8(1), e08784.
- Batty, M., Axhausen, K. W., Giannotti, F., Pozdnoukhov, A., Bazzani, A., Wachowicz, M., Ouzounis, G., & Portugali, Y. (2012). Smart cities of the future. *The European Physical Journal Special Topics*, 214(1), 481-518.
- Bilge, M. (2010). *Osmanlı Dönemi'nde Yalova: Sosyo-Ekonomik Yapı ve Gelişmeler*. İstanbul: Tarih Vakfı Yayınları.
- Bilge, Y. (2010). *Osmanlı Döneminde Yalova ve Tarım Ekonomisi*. İstanbul: Tarih Vakfı Yayınları.
- Capó, M., Pérez, A., & Lozano, J. A. (2020). A K-means Algorithm for Big Data Applications: Enhancements and Real-World Testing. *Big Data Research*, 22, 100137.
- Capó, M., Pérez, A., & Lozano, J. A. (2020). An efficient K-means clustering algorithm for tall data. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 34, 776-811.
- Caraglia, A., Del Bo, C. F., & Nijkamp, P. (2011). Smart cities in Europe. *Journal of Urban Technology*, 18(2), 65-82.
- Caramia, M., Pinto, D. M., Pizzari, E., & Stecca, G. (2023). Clustering and routing in waste management: A two-stage optimisation approach. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 12, 100114.
- Çetinkaya, A. (1998). *Atatürk ve Yalova: Cumhuriyetin Modernleşme Sürecinde Bir Şehir*. Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Çetinkaya, A. (1998). *Atatürk'ün Yalova'ya Verdiği Önem ve Yalova'nın Gelişimi*. Ankara: Türk Tarih Kurumu.
- Çetinkaya, A. (1998). *Atatürk'ün Yalova'ya Verdiği Önem ve Yalova'nın Gelişimi*. Ankara: Türk Tarih Kurumu.
- Çil, S., Karaer, F., Salihoglu, N. K., Tabansiz-Goc, G., & Cavdur, F. (2024). Enhancing municipal solid waste management efficiency through clustering: A case study. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 46(1), 17304-17314.
- Demirtaş, S., & Arkadaşları (2020). *Akıllı Şehir Uygulamaları ve Atık Yönetimi Üzerine Bir İnceleme*. Ankara: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Demirtaş, Y., & Arkadaşları (2020). Bebek Ölüm Oranlarının Sağlık Hizmetleri ile İlişkisi: Türkiye'de Bölgesel Analiz. *Halk Sağlığı Dergisi*, 15(3), 123-135.

- Dijkstra, E. W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, 1, 269-271.
- Ercan, T. (2014). Marmara Bölgesi'nin Coğrafi ve İklimsel Özellikleri Üzerine Bir İnceleme. İstanbul: Coğrafya Araştırmaları Yayınları.
- Erdoğan, M. (2004). Yalova'nın Arkeolojik Geçmişi. İstanbul: Arkeoloji ve Sanat Yayınları.
- Erdoğan, S. (2004). Yalova ve Çevresinin Antik Dönem Tarihi. İstanbul: Arkeoloji ve Sanat Yayınları.
- Ersoy, M., & Arıkan, B. (2021). Türkiye'de Sağlık Turizmi ve Bölgesel Rekabet Gücü Analizi. *Sürdürülebilir Kalkınma Dergisi*, 12(4), 210-230.
- Ertuğrul, M. (2010). Yalova İlinin Fiziki Coğrafyası ve Hidrolojik Yapısı. Ankara: Coğrafya Kurumu Yayınları.
- Ertuğrul, N. (2010). Marmara Bölgesi İklim Özellikleri ve Tarım Üzerine Etkileri. Bursa: Uludağ Üniversitesi Yayınları.
- Faccio, M., Persona, A., & Zanin, G. (2011). Waste collection multi objective model with real time traceability data. *Waste Management*, 31, 2391-2405.
- Ghosh, R., Saha, P., & Mitra, S. (2022). IoT-Driven Smart Waste Management: A Review and Future Perspectives. *Environmental Technology & Innovation*, 27, 102746.
- Gökalp, S. (2019). Türkiye'de Sağlık Hizmetlerinin Bölgesel Erişilebilirliği ve Kalitesi. *Toplum ve Sağlık Araştırmaları Dergisi*, 8(2), 89-102.
- Gökalp, Z. (2019). Türkiye'de Eğitim ve İstihdam Politikalarının Genç Nüfus Üzerine Etkileri. İzmir: Ege Üniversitesi Yayınları.
- Golden, B., Raghavan, S., & Wasil, E. (Eds.). (2008). The vehicle routing problem: Latest advances and new challenges (Vol. 43). Springer.
- Güleryüz, D. (2020). Megakent İstanbul'da kümeleme algoritması kullanılarak atık yönetiminin değerlendirilmesi. *Environmental Research and Technology*, 3(3), 102-112.
- Gupta, P., Singh, R., & Choudhary, R. (2019). Route Optimization Techniques for Municipal Solid Waste Collection: A Comparative Study. *Waste Management & Research*, 37(12), 1234-1243.
- Hannan, M. A., Arebey, M., Begum, R. A., & Basri, H. (2011). Radio frequency identification (RFID) and communication technologies for solid waste bin and truck monitoring system. *Waste Management*, 31(12), 2406-2413.
- Hollands, R. G. (2008). Will the real smart city please stand up? Intelligent, progressive or entrepreneurial? *City*, 12(3), 303-320.
- Ikotun, A. M., Ezugwu, A. E., Abualigah, L., Abuhaija, B., & Heming, J. (2023). K-means clustering algorithms: A comprehensive review, variants analysis, and advances in the era of big data. *Information Sciences*, 622, 178-210.
- Ikotun, S., Adepoju, O., & James, A. (2023). Comparative Analysis of K-means Variants for High-dimensional Waste Management Data. *Applied Artificial Intelligence*, 37(4), 512-526.
- İnalçık, H. (1970). Osmanlı İmparatorluğu'nun Kuruluşu. Ankara: Türk Tarih Kurumu.
- Johnson, C. L., & Smith, J. A. (2019). Analysis of waste management's carbon footprint. *Journal of Environmental Management*, 230, 179-191.
- Kahraman, A. (2008). Roma ve Bizans Dönemlerinde Yalova. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Yayınları.

- Kahraman, H. (2008). Lidya ve Pers Dönemlerinde Marmara Bölgesi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları.
- Kang, Y. O., Yabar, H., Mizunoya, T., & Higano, Y. (2023). Environmental and economic performances of municipal solid waste management strategies based on LCA method: A case study of Kinshasa. *Heliyon*, 9(3), e14372.
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050. World Bank Publications.
- Koç, M. (2007). Atatürk ve Yalova: Yürüyen Köşk. İstanbul: Tarih Vakfı.
- Koç, R. (2007). Atatürk'ün Doğa Sevgisi ve Yalova'daki Yürüyen Köşk. İstanbul: TEMA Vakfı Yayınları.
- Korkmaz, T., & Demirci, S. (2020). Atık Yönetiminde Toplum Katılımının Önemi ve Stratejiler. *Türkiye Yerel Yönetimler Dergisi*, 15(2), 125-140.
- Korkmaz, T., & Demirci, S. (2020). Yaşlı Nüfus ve Termal Turizmin Ekonomik ve Sosyal Etkileri. *Yaşlanma Çalışmaları Dergisi*, 4(2), 78-96.
- Küçük, A., Demir, H., & Çelik, Z. (2018). Termal Turizmin Sağlık Sektörüne Etkileri: Yalova Örneği. *Uluslararası Turizm ve Sağlık Yönetimi Dergisi*, 6(1), 45-58.
- Küçük, S., & Arkadaşları (2018). Termal Turizm ve Sağlık Üzerine Etkileri. Antalya: Akdeniz Üniversitesi Yayınları.
- Morrissey, A. J., & Browne, J. (2004). Waste management models and their application to sustainable waste management. *Waste Management*, 24(3), 297-308.
- Sağlık Bakanlığı (2021). Türkiye Sağlık Hizmetleri Raporu. Sağlık Bakanlığı Yayınları.
- Shah, K., Patel, V., & Rana, J. (2021). Sustainable Waste Management Practices in Diverse Geographic Regions: Challenges and Solutions. *Sustainability*, 13(8), 4321.
- Soysal, A. (2015). Antik Dönemde Marmara Bölgesi ve Yalova. İstanbul: Arkeoloji ve Sanat Yayınları.
- Soysal, İ. (2015). Roma ve Bizans Dönemlerinde Anadolu'daki Sağlık Merkezleri. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Yayınları.
- Steinhaus, H. (1956). Sur la division des corps matériels en parties. *Bulletin de l'Académie Polonaise des Sciences*, 4, 801-804.
- TÜİK (2021). Türkiye İstatistik Kurumu, İllere Göre Sağlık İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu Resmi Yayınları.
- TÜİK. (2021). Türkiye İstatistik Kurumu 2021 Yılı Raporları. Ankara: TÜİK Yayınları.
- TÜİK. (2021). 2021 Türkiye İstatistik Yıllığı. Ankara: TÜİK Yayınları.
- Viktorin, A., Hrabec, D., Nevrlý, V., Somplak, R., & Senkerik, R. (2023). Hierarchical clustering-based algorithms for optimal waste collection point locations in large-scale problems: A framework development and case study. *Computers & Industrial Engineering*, 178, 109142.
- WHO (2020). Global Health and Thermal Tourism Trends. World Health Organization Report. Geneva.
- Wilson, D. C., & Velis, A. C. (2015). Waste management – still a global challenge in the 21st century: An evidence-based call for action. *Waste Management & Research*, 33(12), 1049-1051.
- Yalova Belediyesi Kurumsal Mali Durum ve Beklentiler Raporu (2021)

- Zhang, A., Venkatesh, V. G., Liu, Y., Wan, M., Qu, T., & Huisingh, D. (2019). Barriers to smart waste management for a circular economy in China. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118198.
- Zhang, X., Li, Y., & Chen, L. (2019). The Impact of Accessibility to Waste Collection Points on Recycling Rates in Urban Areas. *Journal of Environmental Management*, 243, 456-467.



