T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SIFIR ATIK YAKLAŞIMI ODAKLI EVSEL KATI ATIK KAYNAKTA AYIRMA YÖNETİM ALTERNATİFLERİNİN BEŞİKTAŞ İLÇESİ ÖZELİNDE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ DESTEKLİ ARAŞTIRILMASI

Gül Sümeyra AKÇAY HAN

DOKTORA TEZİ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

Danışman

Doç. Dr. Ömer APAYDIN

Ocak, 2024

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SIFIR ATIK YAKLAŞIMI ODAKLI EVSEL KATI ATIK KAYNAKTA AYIRMA YÖNETİM ALTERNATİFLERİNİN BEŞİKTAŞ İLÇESİ ÖZELİNDE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ DESTEKLİ ARAŞTIRILMASI

Gül Sümeyra AKÇAY HAN tarafından hazırlanan tez çalışması 15.01.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliği Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ömer APAYDIN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Ömer APAYDIN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Kaan YETİLMEZSOY, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Nihal BEKTAŞ, Üye
Gebze Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr.M. Talha GÖNÜLLÜ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Hüseyin Kurtuluş ÖZCAN, Üye
İstanbul Üniversitesi (Cerrahpaşa) _____

Danışmanım Doç. Dr. Ömer APAYDIN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Sıfır Atık Yaklaşımı Odaklı Evsel Katı Atık Kaynakta Ayırma Yönetim Alternatiflerinin Beşiktaş İlçesi Özelinde Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Destekli Araştırılması" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Gül Sümeyra AKÇAY HAN

İmza

Oğlum Ender'e

TEŞEKKÜR

Çevre Mühendisi olarak mezun olup, yerel yönetimlerde mesleğime aynı zamanda yükseklisans eğitimine başladığım zamanlardan itibaren Kentsel Katı Atıkların Yönetilmesi üzerine çalışmalarıma devam ettim. Bu nedenle doktora tezimde Kentsel Katı Atıkların Sıfır Atık Yönetim Sistemi'ne göre son çıkan yönetmelikler ve yöntemlerden hareketle hem ikamet ettiğim hem de çalıştığım İlçe olan Beşiktaş için bir çalışma yaparak ülkemizde yapılacak çalışmalar için altlık oluşmasını amaçladım.

Tez çalışmamda gerekli teknik bilgi, veriler ve saha çalışmalarında tüm olanakları sağlayan başta kurumum Beşiktaş Belediyesi'ne, Belediye Başkan Yardımcısı merhum Doğan Ender TOPÇUOĞLU'na, Emlak İstimlak Müdürlüğü'nden Harita Mühendisi Can ÇAKIR'a, Harita Mühendisleri Cansu ZEYBEK, Ayçin ÇAKMAK'a, Temizlik İşleri Müdürlüğü'nden Çevre Mühendisleri Reşat KAĞIT ve Dursun ERDOĞAN'a, Biyolog Serkan ÇELİK'e, Park ve Bahçeler Müdürlüğünden Peyzaj Mimarı Perihan RUŞEN'e ve birlikte çalıştığım tüm mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim. Uzun yıllardır hem iş hem de doktora sürecinden yardımsever ve destekleyici yakın zamanda doktorasını tamamlayacak olan dostum Çevre Yüksek Mühendisi Fatma Zehra ŞÜKÜR'e, doktora eğitimimiz sırasında tanıştığımız artık dost olduğumuz Dr. Serpil ÖZTAŞ'a, Gebze Teknik Üniversitesi Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü'nden Dr. Öğr. Üyesi Meltem ÇELEN'e çok teşekkür ederim.

Yükseklisans eğitimimi aldığım Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde danışmanım olan ve doktora sürecimde tez izleme jürimde yer alan, uzun yıllardır hep desteğim olan hocam Prof. Dr. Nihal BEKTAŞ'a, tez izleme jürimde yer alan nazik ve destekleyici tavrıyla hep destek olan hocam Prof.Dr. Kaan YETİLMEZSOY'a çok teşekkür ederim.

Doktora tezimi oluştururken konu seçiminden itibaren yöntem ve gelişmelerle ilgili beni yönlendiren, farklı mühendislik dallarının bilgilerinden yararlanıp multidisipliner bir tez oluşturmamı sağlayan süreç boyunca desteğini hep gösteren ve üzerimde çok emeği olan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ömer APAYDIN'a şükranlarımı sunarım.

Varlığı bana hep güven ve huzur veren dosttan öte kardeşim olan Endüstri Mühendisi Hayriye ORDUKAYA'ya, bugünlere gelmemde çok emeği olan hep kol kanat geren anneme, babama ve abime şükranlarımı sunarım.

Benimle beraber doktora eğitiminin tüm zorluğuna şahit olan ve hayatımı hep kolaylaştırmaya çalışan sevgili eşim Volkan HAN'a ve biricik oğlumuz Ender HAN'a, bize kazandırdığı tüm haklar için Mustafa Kemal ATATÜRK'e, sabrımı arttırana sonsuz teşekkürlerimle…

Çevre Yüksek Mühendisi

Gül Sümeyra Akçay Han

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR iv
SİMGE LİSTESİ viii
KISALTMA LİSTESİ ix
ŞEKİL LİSTESİ xi
TABLO LİSTESİ xii
HARİTA LİSTESİ xiii
ÖZET xiv
ABSTRACT xvi
1 GİRİŞ 1
1.1 Giriş 1
1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı 2
2 KATI ATIK YÖNETİMİ 4
2.1 Giriş 4
2.2 Katı Atıkların Sınıflandırılması 4
2.2.1 Evsel Nitelikli Katı Atıklar 5
2.2.2 Endüstriyel Katı Atıklar 5
2.2.3 Tehlikeli Atıklar 6
2.2.4 Tıbbi Atıklar 6
2.2.5 İnşaat ve Yıkıntı Atıkları 6
2.2.6 Özel Atıklar 6
2.2.7 Tarımsal Atıklar 6
2.3 Katı Atıkların Yönetimi 6
2.3.1 Entegre Katı Atık Yönetimi 8
2.3.2 Atık Toplama ve Taşıma Sistemleri 12
2.3.3 Atıkların Kaynağında Ayrılması ve Geri Dönüşümü 13
2.4 Ülkemizdeki Katı Atık Yönetimine Genel Bakış 15
3 SIFIR ATIK YÖNETİMİ 20
3.1 Sıfır Atık Yönetimi 20
3.2 Ülkemizde Sıfır Atık Yönetimi 24
4 MATERYAL METOD 28
4.1 Konut Yoğunluğu ile Ilgili Material ve Yöntem 28
4.2 Analitik Hiyerarşi Prosesi ile İlgili Materyal ve Yöntem 35

4.3 CBS ile İlgili Materyal ve Yöntem 39
4.3.1 CBS Yapısının Katı Atık Yönetiminde Kullanılması 39
4.4 Sıfır Atık Yönetimi ile İlgili Materyal Metod 46
5 SONUÇ VE ÖNERİLER **60**
5.1 Beşiktaş İlçesi İçin Konut Yoğunluğunun Belirlenmesi 60
5.2 AHP ile Kaynakta Ayırma Yöntemine Karar Verme 61
5.3 Beşiktaş İlçesi İçin Sıfır Atık Yönetim Çalışmaları 70
5.4 Katı Atık Yönetim Maliyetlerinin Değerlendirilmesi 76
5.5 Öneriler 79
KAYNAKÇA **82**
A BEŞİKTAŞ İLÇESİ KATI ATIK TOPLAMA İŞLEMİ İLE İLGİLİ FOTOĞRAFLAR **98**
B BEŞİKTAŞ İLÇESİ ARC GIS 10.5 NETWORK ANALYST MODÜLÜ İLE PİLOT MAHALLELER İÇİN YAPILAN ROTA ÇALIŞMALAR **100**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **109**

SİMGE LİSTESİ

CR	Consistancy Ratio, Tutarlılık Oranı
λmax	En büyük temel değer
ϒ	Katı atık birim hacim ağırlığı, kg/m^3
RoR	Konut Oranı, Rate of Residence
NoR	Konut Sayısı, Number of Resdence
n	Örnek Sayısı, Number of Sample
RI	Rastgele Tutarlılık Değeri, Random Consistancy Index
CW	Sınıf Genişliği, Class Width
NoC	Sınıf Sayısı, Number of Class
range	Sınıfın en büyük değeri ile en küçük değeri arasındaki fark
λ	Temel değer
CI	Tutarlılık Değeri, Consistancy Index

KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa Birliliği
AHP	Analitik Hiyerarşi Süreci, Analitik Hierarchy Process
ANP	Analitik Ağ Süreci, Analytical Network Process
AI	Yapay Zeka, Artificial Intellegence
BK	Belediye Kanunu
BWM	En Iyi En Kötü Yöntem, Best Worst Method
BCM	Temel Kriter Yöntemi, Base Criterion Method
BMP	Biyometanizasyon, Bio-metanization Process
CBS	Coğrafi Bilgi SİstemI
COPRAS	Karmaşık Orantısal Değerlendirme, Complex Proportional Assessment
C2C	Beşikten Beşiğe, Cradde to craddle
CP	Composting pProcess, Kompostlaştırma
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
FUCOM	Tam Tutarlılık Yöntemi, Full Consistency Method
GIS	Coğrafi Bilgi Sistemi, Geographical Information System
İSTAÇ A.Ş	İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret A.Ş
KKA	Kentsel Katı Atık
KKAY	Kentsel Katı Atık Yönetimi
MARCOS	Alternatiflerin Ölçülmesi ve Uzlaşma Çözümüne Göre Sıralanması, Measurement of Alternatives and Ranking According to the Compromise Solution
MCDM	Çok kriterli Karar verme Modelleri, Multicriteria Decision Models
MRF	Maddesel Geri Dönüşüm Tesisi, Material Recovery Facility
MSW	Belediye katı atığı, Municipal Solid Waste

MSWM	Kentsel Katı atık Yönetimi, Municipal Solid Waste Managem
ODN	Diğer Yoğun Mahalle, Other Dense Neighborhood
RDN	Konut Yoğun mahalle, Residence Dense Neighborhood
SAY	Sıfır Atık Yönetimi
SLF	Düzenli Depolama, Sanitary Landfill
SWC	Katı atık tpoplama, Solid Waste Collection
SWARA	Ağırlık Değerlendirme Oranı Analizi, Weight Assessment Ratio Analysis
TOPSIS	İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralaması Tekniği, Technique for Order of Preference by the Similarity to the Ideal Solution
TP	Isıl işlemler, Thermal Processes
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UHK	Ulusal Hıfzıssıhha Kanunu
WDN	İşyeri yoğun mahalle, Workplace Dense Neighborhood
YMÇYP	Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımlarının Planlaması
YSA	Yapay Sinir Ağı
ZWM	Sıfır Atık Yönetimi, Zero Waste Management

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Katı atık yönetim sistemi elemanlarının ilişkisi 7

Şekil 2.2 Atık hiyerarşisi 8

Şekil 2.3 Türkiye'de 2001-2018 yılları arasındaki kentsel katı atık ve birim katı atık miktarındaki değişim 18

Şekil 2.4 Türkiye'deki büyükşehir belediyelerinin kentsel katı atık yönetimi kapsamında sorumluluk süreçleri. 18

Şekil 3.1 Sıfır Atık Döngüsü 25

Şekil 4.1 Beşiktaş İlçesi'nin Türkiye'deki konumu 29

Şekil 4.2 Beşiktaş İlçesi'nin İstanbul ilindeki konumu 29

Şekil 4.3 Konut ve işyeri yoğunluğunun belirlenmesine ilişkin akım şeması ... 30

Şekil 4.4 Beşiktaş İlçesi'nde 2020 yılında toplanan katı atık miktarının haftalık değişimi 34

Şekil 4.5 Beşiktaş İlçesi'nde 2017'den 2020'ye kadar üretilen kentsel katı atık miktarı ve birim katı atığın aylık değişimleri 35

Şekil 4.6 Tezde uygulanan AHP süreci 38

Şekil 4.7 Netcad programı ile ilçe haritasına entegre edilen konteyner bilgilerinin sistemde görünümü 42

Şekil 4.8 Sıfır atık yönetim sistemi işlem aşamları 52

Şekil 4.9 Büyükşehirlerde kentsel katı atıkların üçlü toplama sistemi kapsamında kaynakta ayrılması süreçlerinde belediye sorumluluk kapsamı 55

Şekil 5.1 AHP Modelinin hiyerarşisi 62

Şekil A1 770 lt kapasiteli Galvaniz Çöp Konteyneri- 13+1,5 m^3 çöp aracı 98

Şekil A2 3000-3750 lt kapasiteli Yerüstü Çöp Konteyneri 98

Şekil A3 33000-3750 lt kapasiteli Konteyner Toplama Aracı (ÇAÇA) 99

Şekil A4 7 m^3 kapasiteli Konteyner Toplama Aracı (ÇAÇA) 99

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Türkiye'de katı atıkları kapsayan yürürlülükte olan kanun ve yönetmeliklerin listesi 17

Tablo 2.2 Türkiye'de katı atık yönetiminde kullanılan bertaraf yöntemlerinin 2016 yılında gerçekleşen ve 2023 yılı için hedeflenen oranlarının karşılaştırılması 19

Tablo 3.1 Sıfır atık gelişimine ilişkin dönüm noktaları ve olaylar..... 23

Tablo 3.2 Geleneksel atık yönetimi ile sıfır atık yönetimi arasındaki farklar 26

Tablo 4.1 Beşiktaş İlçesindeki mahallelere ve sıfır atık yönetimi kapsamında inşa edilen konut ve iş yeri sayısına bağlı olarak ön çalışmalar 32

Tablo 4.2 Mahallelerdeki konut ve işyeri sayısına göre konut ağırlıklı (RDN), işyeri ağırlıklı (WDN) ve hem iş yeri hem konut (ODN) olan sınıfları . 33

Tablo 4.3 AHP standart tercih tablosu..... 37

Tablo 4.4 Ortalama rasgele tutarlılık değerleri 39

Tablo 4.5 Beşiktaş İlçesi'nin Katı Atık Karakterizasyonu 47

Tablo 5.1 Kentsel katı atık toplama yöntemlerinin, bertaraf yöntemlerine dayalı olarak "sıfır atık vizyonlu olarak" kaynakta ayırma yöntemleriyle karşılaştırılması. 62

Tablo 5.2 Karar değişkenlerine bağlı kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi 63

Tablo 5.3 Karar değişkenlerine bağlı kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi ve sütu toplamları..... 64

Tablo 5.4 Karar noktalarına bağlı olarak ikili karşılaştırılan kriterlerin normalizasyonu ve ağırlık vektörü..... 64

Tablo 5.5 MRF için karar noktalarının karşılaştırılması..... 66

Tablo 5.6 CP için karar noktalarının karşılaştırılması ve öncelik vektörü 67

Tablo 5.7 BMP için karar noktalarının ikili karşılaştırılması ve öncelik vektörü... 68

Tablo 5.8 TP için karar noktalarının ikili karşılaştırılması ve öncelik vektörü..... 68

Tablo 5.9 SLF için karar noktalarının ikili karşılaştırılması ve öncelik vektörü 69

Tablo 5.10 Kentsel katı atık toplama yöntemi değerlendirmesi öncelik matrisi..... 70

Tablo 5.11 Optimize edilmiş mevcut rotalar (Kentsel katı atıkların karışık olarak tek tip konteynerde toplandığı)..... 72

Tablo 5.12 Sıfır atık yönetimi yaklaşımı için gerekli kamyon kapasitesi 72

Tablo 5.13 Sıfır atık yönetimi yaklaşımı için gerekli konteyner sayısı (Senaryo 3). 74

Tablo 5.14 Sıfır atık yönetimi yaklaşımı için gerekli kamyon hacmi ve sayısı (Senaryo 3) 75

Tablo 5.15 Katı atık bertaraf maliyetleri..... 76

HARİTA LİSTESİ

Harita 4.1 Beşiktaş İlçesi'nin Arc GIS 10.5 ile mahallelerin haritası 44

Harita 4.2 Beşiktaş İlçesi mahalleleri genel katmanlar üzerinden Network analyst modülüne geçiş 45

Harita 4.3 Beşiktaş İlçesi mahalleleri genel katmanlar üzerinden Network analyst modülüne geçiş 2 45

Harita 4.4 Beşiktaş İlçesi Mevcut Konteyner Yerleri ArcMap Görünümü..... 49

Harita 4.5 Beşiktaş İlçesi'nde konut yoğunluğuna bağlı olarak oluşturulan mahalle sınıflarından seçilen üçünün konumu..... 51

Harita 4.6 Sıfır atık sistemine göre 3 farklı toplama yöntemi için yerleştirilen konteyner türlerini belirleme..... 56

Harita 4.7 Sıfır atık senaryosuna göre oluşturulan konteyner yerlerinin bilgilerinin girişi 56

Harita 4.8 Network Analyst modülü kullanımı (New vehicle routing problem)... 57

Harita 4.9 Sıfır atık senaryosuna göre oluşturulan konteyner toplama sistemine göre toplama aracı bilgileri girişi 57

Harita 4.10 Sıfır atık senaryosuna göre oluşturulan konteyner toplama sistemine göre toplama aracı özellikleri girişi 58

Harita 4.11 Rota başlangıç ve bitiş noktalarının belirlenmesi 58

Harita 4.12 Rota oluşturduktan sonra herhangi bir hata olup olmadığı gösteren son ekran 59

Harita B1 Konaklar Mahallesi için karışık toplama rotaları 101

Harita B2 Konaklar Mahallesi için karışık toplama rotaları 101

Harita B3 Konaklar Mahallesi için sıfır atık yaklaşımı ile toplama rotaları 102

Harita B4 Konaklar Mahallesi için sıfır atık yaklaşımı ile toplama rotaları 102

Harita B5 Konaklar Mahallesi için sıfır atık yaklaşımı ile toplama rotaları 103

Harita B6 Nisbetiye Mahallesi için karışık toplama rotaları..... 103

Harita B7 Nisbetiye Mahallesi için karışık toplama rotaları..... 104

Harita B8 Nisbetiye Mahallesi için sıfır atık yaklaşımı ile toplama rotaları..... 104

Harita B9 Nisbetiye Mahallesi için sıfır atık yaklaşımı ile toplama rotaları..... 105

Harita B10 Nisbetiye Mahallesi için sıfır atık yaklaşımı ile toplama rotaları..... 105

Harita B11 Sinanpaşa Mahallesi için karışık toplama rotaları..... 106

Harita B12 Sinanpaşa Mahallesi için sıfır atık yaklaşımı ile toplama rotaları..... 106

Harita B13 Sinanpaşa Mahallesi için sıfır atık yaklaşımı ile toplama rotaları..... 107

Harita B14 Sinanpaşa Mahallesi için sıfır atık yaklaşımı ile toplama rotaları..... 108

ÖZET

Sıfır Atık Yaklaşımı Odaklı Evsel Katı Atık Kaynakta Ayırma Yönetim Alternatiflerinin Beşiktaş İlçesi Özelinde Coğrafi Bilgi Sistemi Destekli Araştırılması

Gül Sümeyra AKÇAY HAN

Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Doç. Dr. Ömer Apaydın

Katı atık yönetiminin beşikten beşiğe mantığıyla, sıfır atık odaklı olarak yapılması, arzu edilen bir durumu ortaya koymaktadır. Uluslararası sözleşmeler kapsamında atık yönetimi seçeneklerinin çeşitliliği konusunda da bir vizyonun belirlendiği bilinmektedir. Bu çalışmada; Türkiye'de 2019 yılında yürürlüğe giren Sıfır Atık Yönetmeliği gerekliliklerine uygun kaynakta ayırma odaklı çalışmalar Beşiktaş İlçesi özelinde yapılmıştır. Beşiktaş İlçesi'nde bulunan mahalleler istatistiksel olarak konut yoğunluğuna göre; konut yoğun, işyeri yoğun ve diğer olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Her gruptan birer mahallede, mevcut sistem araçları kullanılarak, Sıfır Atık Yönetim sistemi kapsamında kaynakta üçlü ayırma yapılması durumu analiz edilmiştir. Bu analizler; ArcGIS 10.5 platformu üzerinde Beşiktaş İlçesi dijital yol haritaları kullanılarak mevcut katı atık toplama konteyner nokta/numaraları, her cadde ve caddedeki katı atık yükleri gibi nitelik verilerini içeren tematik katmanlar oluşturularak coğrafi bilgi sistemi destekli yapılmıştır. Seçilen katı atık toplama rotalarına alternatif olan yeni rotaların

toplama maliyetlerine etkisi ArcGIS 10.5 platformunda çalışan ArcMap programı kullanılarak analiz edilmiştir.

Bu çalışmada ayrıca; atıkların kaynağında ayrıştırılmasına yönelik dört farklı yöntem, yaygın olarak kullanılan beş atık bertaraf yöntemine göre analitik hiyerarşi süreci kullanılarak analiz edilmiştir. Analitik hiyerarşi analizi sonucunda altılı, dörtlü, üçlü, ikili ayırma için sırasıyla 0,347, 0,286, 0,200 ve 0,101 oranları elde edilmiştir. Karışık toplamanın atık bertaraf yöntemleri için ise 0,066 oranı elde dilmiştir. Kaynakta atıkların üçlü ayrılması Sıfır Atık Yönetmeliği minimum kriterlerinden biri olarak seçilmiştir. Beşiktaş ilçesinde konut yoğunluğuna göre sınıflandırılan her bir mahalleden birer örnekte kaynakta üçlü ayırma uygulanmıştır. Seçilen mahalleler için hem mevcut rotalar hem de üçlü ayırma durumunda planlanan rotalar için güzergah optimizasyonları yapılmıştır. Katı atık toplama aracı rota optimizasyonları için ArcGIS Ağ Analisti işlevi kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Beşiktaş İlçesi, coğrafi bilgi sistemi, kaynakta ayırma, güzergâh optimizasyonu, Sıfır Atık Yönetmeliği.

ABSTRACT

Geographic Information System Supported Investigation of Municipal Solid Waste Source Separation Management Alternatives Focused on Zero Waste Approach in Beşiktaş District

Gül Sümeyra AKÇAY HAN

Department of Environmental Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Supervisor: Doç. Dr. Ömer Apaydın

Solid waste management with a cradle-to-cradle logic and a focus on zero waste reveals a desired situation. It is known that a vision has been determined regarding the diversity of waste management options within the scope of international agreements. In this study; Studies focused on separation at source by the requirements of the Zero Waste Regulation, which came into force in 2019 in Türkiye, were carried out specifically in Beşiktaş District. Neighborhoods in Beşiktaş District are statistically based on housing density; They are divided into three groups: residential intensive, workplace intensive and other. In one neighborhood from each group, the triple separation at the source within the scope of the Zero Waste Management system was analyzed using existing system tools. These analyses; It was made supported by the Geographic Information System by creating thematic layers containing attribute data such as existing solid waste collection container points/numbers, solid waste loads in each street and street, using digital road maps of Beşiktaş District on the Arc GIS 10.5 platform. The

impact of new routes, which are alternatives to the selected solid waste collection routes, on collection costs was analyzed using the ArcMap program running on the Arc GIS 10.5 platform.

In this study also; five different methods for separating waste at source were analyzed using the analytical hierarchy process according to five commonly used waste disposal methods. As a result of the analytical hierarchy analysis, rates of 0.347, 0.286, 0.200 and 0.101 were obtained for six, quadruple, triple and double separation, respectively. For the waste disposal methods of mixed collection, a ratio of 0.066 was obtained. Triple separation of waste at source has been chosen as one of the minimum criteria of the Zero Waste Regulation. In Beşiktaş district, triple separation at source was applied to one sample from each neighborhood classified according to residence density. Route optimizations were made for the selected neighborhoods for both existing routes and planned routes in case of triple separation. ArcGIS Network Analyst function was used for solid waste collection vehicle route optimizations.

Keywords: Beşiktaş District, source separation, Zero Waste Regulation, geographic information systems, route optimization,

1
GİRİŞ

1.1 Giriş

Günümüz dünyasında katı atık yönetim sisteminin üretim odaklı süreçlerden çevre koruma odaklı süreçlere doğru evrilmesi ihtiyacı kaçınılmaz bir gerçeklik olarak karşımızda durmaktadır [1]. Atık üretiminin önümüzdeki yıllarda artmaya devam etmesi bekleniyor. Sürdürülebilir atık yönetiminin, olumsuz çevresel etkileri en aza indirmeyi amaçlayan sürdürülebilir kalkınmanın önemli bir parçası olduğu zaten bilinmektedir. Atık yönetimi ile ilgili sorunlar geçmişten günümüze kadar uzansa da sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için yapılan çalışmalar artarak devam etmektedir [2]. Atık önleme aşamasından nihai bertaraf yöntemi olarak kabul edilen düzenli depolamaya kadar olan atık yolculuğunun, sıfır atık felsefesi çerçevesinde atık hiyerarşisi kapsamında ele alınmasının gerekliliğini giderek daha iyi anlaşılmaktadır [3]. Atık yönetim sistemini sürdürülebilirlik açısından optimize etmek ve sistemi daha döngüsel bir ekonomiye taşımak için atık yönetiminin farklı aşamalarının daha iyi anlaşılması önemlidir [4]. Kaynakların geri kazanılması yalnızca sıfır atık konseptini genişletme fırsatı yaratmakla kalmaz, aynı zamanda kentsel katı atık yönetimi (KKAY) sürecinin tamamı için mali destek te sağlar. Ancak tek bir atık yönetim stratejisi yoktur ve kaynaktan başlayarak her yerleşim yeri için uygun bir KKAY sisteminin geliştirilmesi esastır [3]. Katı atıkların sıfır atık yönetimi (SAY) kapsamında yönetilmesinin hayati önem taşıdığı iyi bilinmektedir [1].

SAY son on yılın en vizyoner atık yönetim sistemidir; ancak bu sistem %100 atık geri kazanımı yerine %0 atık oluşturmayı amaçlamaktadır. Sıfır atık toplumlarına ulaşmak için üç stratejik planın kapsamlı bir şekilde geliştirilmesi gerekmektedir: 1) beşikten beşiğe tasarım ve ürün yönetimi yoluyla sürdürülebilir üretim; 2) doğal kaynakların işbirlikçi ve sorumlu tüketimi; ve 3) Kaynakların korunması yoluyla SAY [1]. Geleneksel atık yönetiminde atık, kaynak yaşam döngüsünün sonu olarak kabul edilir. Bunun aksine SAY sisteminde kaynak yaşam döngüsünün geçiş aşamasındaki veya ara aşamasındaki bir kaynak olarak kabul edilir.

Güzergah optimizasyonu süreçleriyle hem atıkların kalite kayıplarını hem de egzoz gazı emisyonlarını azaltmak mümkündür [5-10]. Ayrıca atık yönetimi süreçlerinin planlanmasında coğrafi bilgi sistemlerinin (CBS) [6, 11-14] kullanılması, kullanıcı dostu ve güncellenebilir olması nedeniyle atık yönetimi süreçlerinin SAY kapsamında yürütülmesine katkı sağlayabilir. SA odaklı şehirlerde atık yönetimine yönelik geliştirilen stratejilerin sosyo-ekonomik bağlamda uygun, sosyo-politik bağlamda yönetilebilir, politik-teknolojik ve ekonomik-teknolojik bağlamda sürdürülebilir olması beklenmektedir. Dünyanın birçok şehrinde artan kaynak tüketimi ve kaynak geri kazanımındaki büyük eksiklikler, karar vericilerin mevcut kalkınma paradigmasının kesinlikle sürdürülemez olduğu sonucuna varmasına yol açmıştır [15].

Katı atık yönetimine ilişkin çalışmalar son yirmi yılda sürdürülebilir ve öngörülebilir bir şekilde hızla gelişmektedir. Sürdürülebilir atık yönetimi çözümlerinin öngörülebilir bir yapıda planlanmasında kullanılan matematiksel modeller bu gelişim sürecinde önemli bir işleve sahiptir [14]. Sürdürülebilir entegre atık yönetimi süreçlerinin planlanması ve işletilmesinde optimizasyon modellemesi [16-19], çok amaçlı yaklaşımlar [20-23], çok kriterli karar analizi [24-27] ve yapay sinir ağları [28-34] karar vericilere yardımcı olabilecek kullanıcı dostu bir formatta yaygın olarak kullanılmaktadır. Entegre atık yönetimi, atığın üretilmesinden başlayarak toplanması, aktarılması ve taşınmasına, sızıntı suyunun arıtılmasına, atıkların biyolojik geri kazanımına ve termal geri kazanımına ve atık bertaraf sahalarının seçimine kadar uzanan birçok süreç gerektirdiğinden karmaşıktır. Bu tür karmaşık sistemlere sürdürülebilir ve kullanıcı dostu çözümler sunmak amacıyla diğer matematiksel modeller gibi çok kriterli karar analizi (MCDA) modelleri de kullanılmaktadır.

1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu tezin amacı; Türkiye'de 12 Temmuz 2019 tarihinde yürürlüğe giren Sıfır Atık Yönetmeliği gerekliliklerinin, İstanbul'un 39 ilçesinden biri olan Beşiktaş'ta uygulanabilirliğinin, ilçe belediyesi gereklilikleri kapsamında araştırılmasıdır. Bu kapsamda Beşiktaş İlçesinin sayısal yol haritası temin edilmiş ve katı atık toplama süreçleri ile ilgili CBS verilerileri ArcGIS yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Eş zamanlı olarak; katı atık kaynakta ayırma yöntemlerinin, konut yoğunluğuna bağlı

olarak istatistiksel analizi yapılmıştır (Beşiktaş İlçesi'ndeki konut sayısı ve işyeri sayısı göz önüne alınarak). Beşiktaş İlçesi'nde bulunan 23 mahalle konut yoğun (RDN), işyeri yoğun (WDN) ve diğer mahalleler (ODN) olmak üzere üç sınıfta gruplandırılmıştır. Katı atık bertaraf yöntemleri dikkate alınarak, hangi kaynakta ayırma yönteminin, sürdürülebilir atık bertarafı açısından daha uygun olduğuyla ilgili analiz yapılmıştır. Bu analiz için; kaynakta ayırma yöntemleri (Karışık toplama, ikili, üçlü, dörtlü, altılı ayırarak toplama yöntemleri) karar noktası, bertaraf yöntemleri (MRF, CP, TP, BMP, SLF) karar noktasını etkileyen faktörler olarak kabul edilmiş ve analitik hiyerarşi süreci (AHP) uygulanmıştır. AHP analiz sonuçlarına gore en yüksek oranlardan birine sahip olan ve SAY minimum gerekliliklerini sağlayan kaynakta üçlü ayırma yöntemi, seçilen mahalleler için modellenmiştir. Her mahalle için nüfus ve mevcut araç gereç durumu dikkate alınarak atık yükleri, toplama taşıma ihtiyaçları tahminleri yapılmıştır. ArcGIS yazılımı üzerinde Network Analyst Modülü kullanılarak katı atık toplama araçlarınn hem mevcut hem de üçlü ayırma yöntemine göre oluşturulan güzergahları optimize edilmiştir.

2
KATI ATIK YÖNETİMİ

2.1 Giriş

Katı atık 1983 yılında yürürlülüğe giren Çevre Kanunu'na göre "oluştuğu andan itibaren üreticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ile özellikle çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken maddeler" olarak tanımlanabilir [32].

Daha sonra benzer bir tanım 1991 yılında yürürlülüğe giren Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde yer bulmuştur [33].

Katı atıkların karışık toplanması ve bertarafı hava, toprak ve su kirliliğine yol açtığı gibi enerji ve kaynak kaybına da yol açmaktadır. Toplumdaki çevre bilgisi ve kurallar, atıkların kaynağında ayrıştırılması eğilimlerini etkileyen önemli faktörlerdir. Mahalle sakinlerinin atıkları kaynağında ayırma eğilimi, çevre eğitimi ve kural koymaya yönelik politikalardan olumlu etkilenmektedir [34].

Atıkların kaynağında ayrıştırılmasıyla yeniden kullanım ve geri dönüşüm oranlarının arttırılmasının mümkün olabileceği bir gerçektir. Araştırmada atık ayrıştırma için uygun koşulların bulunmamasının bireylerin bu sürece katılımını engelleyebileceği ortaya konmuş, bireylerin atık ayrıştırma konusunda yerel şartlardan memnun kaldıklarında atık ayrıştırma ve geri dönüşüme yönelme eğilimlerinin artacağı anlaşılmıştır [35].

Atık, geleneksel atık yönetiminde kaynak yaşam döngüsünün sonu olarak kabul edilir. Bunun aksine sıfır atık yönetim sisteminde kaynak yaşam döngüsünün geçiş aşamasındaki veya ara aşamasındaki bir kaynak olarak kabul edilir.

2.2 Katı Atıkların Sınıflandırılması

Katı atık kaynakları sekiz ana başlık altında toplanabilir.

1-Konutlar
2-Ticari işletmelerin olduğu yerler

3-Eğitim kurumları

4-İnşaatlar ve yıkıntılar

5-Belediye hizmetleri (arıtım işlemleri hariç)

6-Arıtma tesisleri, belediyenin yakma tesisleri

7-Belediye katı atıkları (Municipal solid wastes, MSW) ya da diğer adıyla "Evsel katı atıklar"

8-Endüstriyel kaynaklar

9-Tarımsal kaynaklar [36].

2.2.1 Evsel Nitelikli Katı Atıklar

Hanelerde süre gelen günlük yaşamın içinde yeme, içme, temizlik, hijyen, satın alınan malzemelerin ambalajları vb. yapılan faaliyetler sonucu oluşan atıkların hepsini kapsamaktadır. Evsel nitelikli katı atıklar çoğunlukla insanların günlük faaliyetleri sonucu oluşan mutfaklardan, pazarlardan, sokaklardan oluşan atıklardır. Yemek artıkları, ambalaj atıkları (kağıt-karton-metal-plastikvb.). Evsel katı atıklar tehlikesiz atıklar kapsamında olup, evlerde oluşan atıkları içermektedir. Kentsel katı atık kapsamında yerel yönetimler tarafından süreçleri yönetilmektedir [37].

Kentsel katı atıklar 2872 sayılı Çevre Kanunda "tehlikeli ve zararlı atık kapsamına girmeyen; konut, sanayi, işyeri, piknik alanları gibi yerlerden gelen atık" olarak tanımlanmıştır başlıca aşağıdaki bileşenleri içerir: Ticari ve kurumsal atıklar (iş yerleri, okullar ve diğer kamu binalarından gelen atıklar) evsel nitelikli endüstriyel atıklar, bahçe, hal ve pazaryeri atıkları (yeşil atıklar), cadde, kaldırım ve meydan süprüntüleri ve hacimli atıklardır (mobilya ve beyaz eşya vb.) [38].

2.2.2 Endüstriyel Katı Atıklar

Endüstriyel katı atıklar bir üretim faaliyeti sonucu kullanılmaz hale gelen katı atıklardır. Harfiyat, üretim, sanayi, yedek parça vb sektörlerde kullanılan malzemeler ve faaliyetlerden kaynaklanan atıklardır [39].

2.2.3 Tehlikeli Atıklar

Atık Yönetimi Yönetmeliğinde (Ek-3/A); "patlayıcı, oksitleyici, yüksek oranda alevlenir, alevlenir, tahriş edici, zararlı, toksik, kanserojen, aşındırıcı (korozif), enfeksiyon yapıcı, üreme sistemine toksik, mutajenik, hassaslaştırıcı ve ekotoksik" olarak tanımlanan atıklardır [40].

2.2.4 Tıbbi Atıklar

Tıbbi atıklar her türlü canlıyı kapsayan sağlık kuruluşlarında yapılan teşhis tedavi ve benzeri faaliyetler sonucu oluşan enfeksiyon bulaştırma kapasitesine sahip kesici, delici özelliği bulunan ve tehlikeli atık sınıfında değerlendirilebilen katı atıklar olarak tanımlanmaktadır [41].

2.2.5 İnşaat ve Yıkıntı Atıkları

İnşaat ve yapının tamirat, tadilat veya afet durumunda yıkımı esnasında oluşan moloz, demir, kereste ve diğer yapı malzemelerinden oluşan atıklara verilen bir isimdir [42].

2.2.6 Özel Atıklar

Özel atıklar (batarya, elektronik, vb) evsel tehlikeli atıklar (piller, ampuller, boya, madeni yağ, kimyasal içerikli temizlik ürünleri) kentsel katı atıkların çeşitleri olarak tanımlanan atıklardır [22].

2.2.7 Tarımsal Atıklar

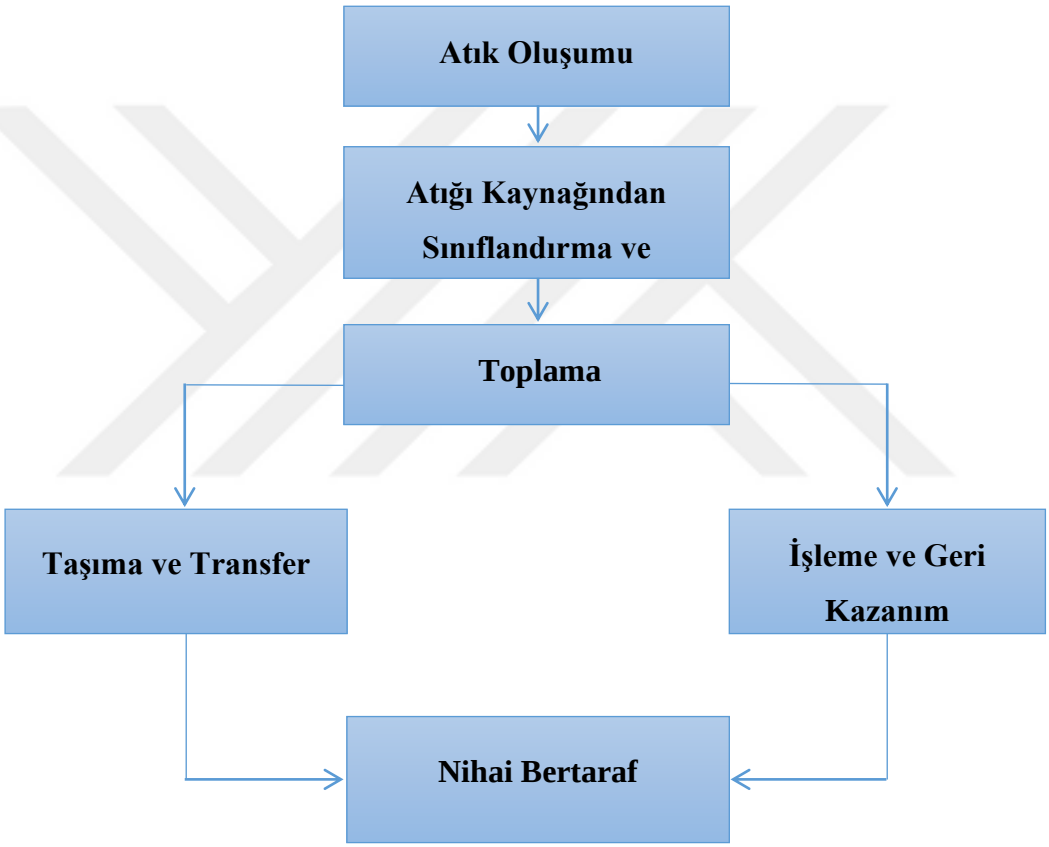
Tarla ve diğer bitkiler, meyve bahçeleri, üzüm bağları, mandıralar, besi yerleri, çiftlikler vb yerlerden çıkan karışık besin atıkları, tarımsal atıklar, tehlikeli atıklar olarak tanımlanmaktadır [39].

2.3 Katı Atıkların Yönetimi

Katı atık oluşumu insan yaşamının doğal bir sonucudur ve bu atıkların ortadan kaldırılması yaşam kalitesinin artmasıyla doğru orantılıdır. Başlangıçta katı atık yönetimi teknikleri, halk sağlığını korumanın bir yolu olarak basitçe yaşanabilir alanların yakınındaki atıkları ortadan kaldırmayı amaçlıyordu [43]. Kontrolsüz imhanın tehlikeleri fark edildikten sonra, esas olarak düzenli düzenli depolama yoluyla önlemler tasarlandı ve uygulandı. Sonrasında malzeme gerikazanımı ve enerji geri kazanım teknolojileri modern sistemlere dahil edilmiştir [44].

Üretim, kaynakta ayırma, depolama, toplama, aktarma ve taşıma, işleme ve geri kazanım ve bertarafı içerir [45]. İnsanlar tarafından artık ihtiyaç duyulmadığı takdirde uzaklaştırılan, uzaklaştırılmasından bertaraf edilmesine kadar geçen süreçte canlılara ve çevreye zarar vermeden hiyerarşideki yöntemlerin uygulanmasını içermektedir [46].

Katı atık yönetimi süreci Şekil 2.1'de görüldüğü gibi atığın üretimi, taşınması, depolanması, toplanması, transferi, işlenmesi ve bertarafını kapsayan teknolojileri içermektedir [39].



Şekil 2.1 Katı atık yönetim sistemi elemanlarının ilişkisi

Kentsel katı atıkların içeriğinin çok heterojen olması ve miktarının çok olması atık yönetimi politikalarının dönüşmesine sebep olmuştur. Sadece çevrenin korunmasından ziyade gelişmiş yönetim uygulamalarında kaynakta azaltma yeniden kullanım değerli maddelerin geri dönüştürülmesi kaynakların geri kazanımı yer almaktadır.

2.3.1 Entegre Katı Atık Yönetimi

Günümüzde mevcut olan atık yönetim sistemleri, modern uygarlığımızın gelişmesinden çok önce tasarlanmıştı. Zamanla depolama, kompost ulaştırma, geri dönüşüm ve ileri arıtma gibi yenilikler uygulanmaya başlandı. Sıfır atık, gerçek anlamda sürdürülebilir atık yönetimi sistemleri elde etmek için 21. yüzyılın en bütünsel yeniliği olmuştur [47].

Entegre atık yönetimi, belli bir atık yönetimi hedefine yönelik olarak gerekli uygun yöntem, teknoloji ve yönetim programlarının seçilmesi ve uygulanması olarak tanımlanabilir. Entegre atık yönetimi kentsel katı atık yönetiminde toplum ve çevre sağlığı açısından kanun ve yönetmeliklerde belirtilen kriterlerin sağlanmasıdır.

Atık yönetimine ilişkin en eski hiyerarşi, Hollandalı politikacı Lansink' in Hollanda parlamentosunda leader of "Ladder of Lansink" konseptini önerdiği 1979 yılına kadar uzanmaktadır Lansink merdiveni Şekil 2.2 de görüldüğü gibi en üste azalt ve en altta atık depolama olmak üzere atık yönetimi ve kaynak koruma seçenekleri için bir tercih sırasını açıklığa kavuşturmuştur. Lansink merdiveni ilkesi yavaş yavaş bugün atık hiyerarşisi olarak bilinen terime dönüşmüş ve hem Avrupa Birliği genelinde hem de küresel olarak atık mevzuatının vazgeçilmez bir parçası olmuştur.



Şekil 2.2 Atık hiyerarşisi

Düzenli depolama yerine önleme, yeniden kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanıma öncelik vererek çevresel etkileri azaltmayı amaçlamaktadır [48].

Önleme atığın oluşmadan önlenmesi, önoluşmasının önüne geçilemedii takdirde ortaya çıkan atık miktarının azaltılması olarak tanımlanmaktadır. Bu noktada ürünlerin üretilmeden önce düşünülmesi ve birincil hammadde kullanımın azaltılması hedeflenmelidir. Gereksiz ambalajlama yapılmaması, tüketicilerin uyarılması vb önlemler sağlanmalıdır.

Yeniden kullanım bir ürünün kullanıldıktan sonra hiçbir işleme tabi tutulmadan aynı amaçla kullanılmaya devam edilmesine yapılan tanımlamadır. Ambalajlı su şişelerinin depozitolu üretilip tekrar kullanılması örnek verilebilir.

Geri dönüşüm, Organik atıklar da dahil olmak üzere atıkların tekrar işlenerek üretildiği amaç ya da başka amaçlarla ürün, malzemelere dönüştürülüpsisteme geri dönemsi olraka tanımlanmaktadır.

Geri kazanım Oluşan atığın enerji olarak sisteme kazandırılmasıdır. İse atığın enerji şeklinde sisteme geri kazandırılmasıdır. Termal yöntemelr, ısı ve elektrik kazanılması, anaerobik çürütme geri kazanıma örnek olarak verilebilir. Amaç için

Nihai Bertaraf Atık hiyerarşisinde atığın düzenli depolanması olarak tanımlanabilir.

Atık hiyerarşisi yorumlandığında atık oluşturmanın kaynağında önlenmesi, önlenemiyorsa azaltılması önceliklidir. Eğer atık oluşumu engellenemiyorsa tekrar kullanma, geri dönüşüm, geri kazanım, enerji kazanım olarak alternatifler seçilmelidir. Depolama oranı olabildiğince düşürülmelidir. Bunların sağlanması durumunda entegre katı atık yönetimi başarıya ulaşabilmektedir.

Şemsiye bir kavram olan atık yönetiminin yukarıda sayılan bileşenlerinden sadece biri olan geri dönüşüm, yarattığı ekonomik etkileri ile ön plana çıkmaktadır. Atık yönetiminin en önemli başlıklarından biri olan ve atıkları oluşmadan, kaynağında önlemeye yönelik faaliyetleri içeren önleme ise Ulusal Geri Dönüşüm Stratejisinde ele alınmamaktadır.

Geri dönüşüm konusunda diğer önemli bir kavram ise üretici sorumluluğu ilkesidir ve bu kavram atıklardan kaynaklanan her tür maliyetin atık üreticileri (üretici, tüketici gibi) tarafından karşılanmasını öngörmektedir. Bu yaklaşım

“kirleten öder” prensibinin bir yansımasıdır. Atık yönetimine ilişkin diğer ilkelerden bazıları ise kendine yeterlilik, uygun teknolojilerin seçilmesi ve kullanılması ve atıkların kaynağına mümkün olan en yakın alanda bertaraf edilmesidir [49].

Güncel ekolojik literatür atık yönetiminin hem ekonomik hem de sosyal kalkınma açısından önemini vurgulamakta ve atığın iyi yönetilirse bir kaynak, yanlış yönetilirse çevresel risk haline gelebileceğini savunmaktadır.

Ülkelerin gelir düzeyine göre katı atıkların miktarı ve içeriği değişiklik göstermektedir. Yüksek gelirli ülkelerde kağıt plastik ve diğer organik olmayan malzemeler daha fazla olmaktayken düşük ve orta gelirli ülkelerde organik atık miktarı daha fazladır [50].

Gelişmekte olan ülkelerde 1990’lı yıllarda yaygın olarak entegre sürdürülebilir atık yönetimi benimsenmiştir. Entegre sürdürülebilir atık kavramı doğrudan Brundtlandt komisyonu tarafından 1987’de önerilen sürdürülebilir kalkınma kavramından gelmektedir ve komisyonun katı atıkların çevreye duyarlı yönetimi çerçevesi için önerilen hedefler atıkların en aza indirilmesi, atıkların yeniden kullanımını ve geri dönüşümünü en üst düzeye çıkarmak ve çevreye duyarlı atık bertarafı ve gideriminin teşvik edilmesi olarak belirlenmiştir. Ancak son yıllarda komisyonun önerdiği hedeflere yönelik çok az ilerleme kaydedilmiştir tam tersine atık oluşumu önemli ölçüde küresel olarak artmıştır. Daha yüksek atık oluşumu, daha fazla kaynak tüketimi ve atmosfere sera gazı emisyonunun daha fazla salınımı anlamına gelmektedir.

Avrupa ülkeleri enerji kazanımına öncelik vererek katı atıkların düzenli depolama sahalarına atılmasını önemli ölçüde azalttı. Portekiz’de 2006 yılında çıkan kanuna atık geri kazanımının bertaraf yöntemi olarak yaygınlağına işaret etmektedir [51].

Ev, okul, ofis ve mağaza vb konut ticari ve kurumsal alanlarda oluşan kentsel katı atık miktarının katlanarak arttığı görülmektedir. O nedenle gelişmekte olan ülkelerin belediye idaresinde acilen detaylı bir düzenlemeye ihtiyaç vardır. Kentsel katı atık yönetim sistemleri sosyal, finansal, kültürel ve psikolojik vb faktörlerden etkilenerek ülkelere göre farklılık göstermektedirler.

Sorun gelişmekte olan ülkelerde hala çok yaygın olan bir gerçek olan çöp depolama alanlarının hala nihai bertaraf yöntemi olarak kullanılmasının doğal kaynakların kirlenmesine ve halk sağlığı sorunlarına yol açtığına işaret etmiştir [52].

Sürdürülebilir kentsel atığın yönetiminin kurucu ilkeleri azaltma, yeniden kullanma, geri dönüştürmeye atıfta bulunan 3R kuralları 1995 yılında Depart tarafından önerilmiştir [53].

Sıfır atık için geri dönüşüm, geri kazanım ve yeniden değerlendirme temel araçlar olarak kabul edilmiştir.

Atıkların yeniden kullanımı, atık olan herhangi bir malzemenin yapısal özelliğini veya şeklini değiştirmeden kullanılmasıdır [54, 55].

Yeniden kullanım, Avrupa Konseyi Direktifi 2008'de atık olmayan ürün veya bileşenlerin tasarlandıkları amaç için yeniden kullanıldığı herhangi bir işlem olarak tanımlanmaktadır [56].

Atık geri dönüşümü, ayırma, toplama ve atıkların yeri ürünler üretmek için yeniden kullanılabilecek hammaddeye dönüştürülmesi sürecini içeren bir dizi faaliyet olarak tanımlanmıştır [54, 55].

Geri dönüşüm, Avrupa konseyi direktifi 2008'de atık malzemelerin orjinal veya başka amaçlarla ürün, malzeme ve maddeler halinde yeniden işlendiği herhangi bir geri kazanım işlemi olarak tanımlanmaktadır [56].

Atıklardan gaz, ısı veya elektrik biçimindeki enerji geri kazanımı, atıkların çöp depolama sahasına veya depolama sahalarına gönderilmesinden önce yapılabilir.

Bertaraf/düzenli depolama sahası, birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ülkenin kentsel katı atığı yönetmek için kullandığı en yaygın tekniklerden biridir. Depolama sahası yalnızca değerli toprakları işgal etmekle kalmayıp, aynı zamanda atmosfere sera gazı da salınmaktadır. Ayrıca atık depolama teknolojilerinden kaynaklanan su kirliliği riski de bulunmaktadır. Atık teknolojileri boru sonu çözümleri olarak hareket ettikleri için önemlidir.

Mevcut atık giderim teknolojilerini iyileştirmek, piroliz ve gazlaştırma gibi yeni ortaya çıkan atık arıtma teknolojilerini geliştirmek için önemli miktarda araştırma ve geliştirme çalışmaları yürütülmektedir atık giderim teknolojileri genel olarak 4 gruba ayrılabilir [55].

Biyolojik giderim organik atık fraksiyonlarını ayrıştırmak ve kompost üretmek için bakterileri kullanan bir giderim teknolojisidir. Biyolojik giderim teknolojileri atık yönetimi ve toprak düzenleyiciler, biyoyakıtlar formu kaynakların geri kazanılması açısından önemlidir. Biyolojik olarak oksijensiz ortamda parçalanabilen organik atıklardan biyogaz üretilebilir, yerel ihtiyaçlara göre biyoyakıt olarak kullanılabildiği gibi elektriğe dönüştürülebilir.

Termal arıtma (ısıl işlemler) yakma, piroliz, gazlaştırma ve plazma ark dahil, karbon bazlı kentsel katı atık ayrıştırma ve sentez gazı üretmek için oksijensiz olarak kontrollü yüksek sıcaklık kullanan bir giderim teknolojisidir. Isıl işlem teknolojileri atıklardan enerji ve elektrik üretimi konusunda oldukça verimlidir. Atık yakmanın en önemli avantajları her türlü atığı yönetmesi, atık hacmini önemli ölçüde azaltması ve atıktan enerji üretmesidir. Yakmanın en önemli dezavantajları yüksek sermaye ve işletme maliyetleri gerektirmesi, emisyon Sıfır atık son yıllarda atık yönetimi araştırmalarında en çok çalışılan ancak en çok tartışılan konulardan biridir [57].

2.3.2 Atık Toplama ve Taşıma Sistemleri

Atık toplama sistemleri içinde en çok tercih edilen yöntem mekanizmalı araçlar ile belediyeler tarafından yerleştirilmiş konteynerlerden toplamaktır [58].

Son yıllarda atık miktarının çok olduğu bölgelerde belirli yerlere konulmuş olan yer üstü konteynerleri ile atık miktarının çok fazla olup yer üstü konteyner konulacak kadar yer olmadığında büyük yer altı konteynerlerinin kendilerine uygun mıknatıslı araçlarla toplanması da son yıllarda kullanılan yöntemlerdendir [59].

Daha önce ve hatta günümüzde çoğu alanda talep analiz edilmeden katı atık toplama işlemi yapılmakta ve toplama yollarının yapımı sürücülere bırakılmaktadır. Bu nedenle, çöp toplamak daha uzun sürer ve uygun bir izleme sisteminin olmaması nedeniyle birçok bölge genellikle dışarıda bırakılır.

Bu nedenle, uygun şekilde izlenen bir atık toplama sistemine duyulan ihtiyaç zamanla artmakta ve uygun katı atık toplama ve taşımanın bulunmasına yönelik çalışmalar yürütülmektedir.

Atıkların Toplanma aşaması katı atık yönetiminin en karmaşık ve pahalı sürecidir. Ülkemizde toplama araçlarının optimizasyonu rota, sefer ve sürelerin en iyi duruma getirmesi olarak ifade edilmektedir. İstanbul'da 2011 yılında yapılan bir çalışmada evsel atık yönetimi faaliyetlerinde toplama ve taşıma maliyetleri toplam atık yönetimi maliyetinin yüzde 64,58'ünü oluşturmaktadır [60].

Katı atıkların karışık toplanması ve bertarafı hava, toprak ve su kirliliğine yol açtığı gibi enerji ve kaynak kaybına da yol açmaktadır. Toplumdaki çevre bilgisi ve kurallar, atıkların kaynağında ayrıştırılması eğilimlerini etkileyen önemli faktörlerdir. Mahalle sakinlerinin atıkları kaynağında ayırma eğilimi, çevre eğitimi ve kural koymaya yönelik politikalardan olumlu etkilenmektedir [34].

2.3.3 Atıkların Kaynağında Ayrılması ve Geri Dönüşümü

Atıkların kaynağında ayrıştırılmasıyla yeniden kullanım ve geri dönüşüm oranlarının arttırılmasının mümkün olabileceği bir gerçektir. Araştırmada atık ayrıştırma için uygun koşulların bulunmamasının bireylerin bu sürece katılımını engelleyebileceği ortaya konmuş, bireylerin atık ayrıştırma konusunda yerel şartlardan memnun kaldıklarında atık ayrıştırma ve geri dönüşüme yönelme eğilimlerinin artacağı anlaşılmıştır, kişisel tutumlarına bağlıdır [35].

Akıllı konteynerlerin gerçek zamanlı atık durumlarına dayalı olarak yalnızca dolu konteynerleri boşaltmak üzere tasarlanmışsa, bir atık toplama rotası daha verimli hale getirilebilir. Yine, yönlendirme problemi hesaplama açısından oldukça zordur ve büyük sistemler söz konusu olduğunda optimal (kesin) yöntemler uygulanamaz.

Yapılan bir çalışmanın sonuçlarına göre, organik atıkların kompostlaştırma yoluyla bertaraf edilmesi, plastik, kağıt, cam gibi malzemelerin geri dönüştürülmesi ve geri kalan atıkların bertarafı için düzenli depolama sahasına (SLF) geçilmesi gerekmektedir. Kentsel katı atıkların (KKA) düzenli depolama alanlarına göndermek yerine geri dönüşüm süreçlerinde kullanılması, yeni ürünler elde edilmesi veya enerji geri kazanımı amacıyla kullanılması karbon azaltımı açısından önemli yaklaşımlardır [61, 62].

Kentsel katı atıkların bertarafı için biyolojik geri dönüşüm, termal geri kazanım ve mekanik geri dönüşüm gibi birçok yöntem olmasına rağmen atıktaki organik madde miktarı her zaman değişken ve belirsizdir. Örneğin, plastik atık ve belediyeye ait organik katı atık karışımı ısıl işlemle (örn. yakma ve piroliz) geri kazanılabilir [63] ancak plastik atıkların mekanik geri dönüşümünün daha sürdürülebilir olduğu bilinmektedir.

Ayrıca atık su çamurunun ve evsel organik atıkların kombine anaerobik arıtımı gibi yöntemler umut vericidir [64]. Ön arıtma teknolojisinin kombinasyonu, yalnızca yüksek verimliliğe sahip hedef ürünler üretmek için değil, aynı zamanda farklı kaynaklardan gelen atıkların kullanılmasını sağlamak için tasarlanmıştır [62, 65]. KKAY kapsamında elde edilen ürünler sadece kendi sisteminde değil aynı zamanda sürdürülebilir kentsel peyzaj ve toprak yapısının iyileştirilmesinde de kullanılabilir [66].

Ancak 2017 verilerine göre Amerika Birleşik Devletleri'nde üretilen MSW'nin %52,1'i hâlâ çöplüklere atılıyor. Yani gelişmiş ülkelerde bile atık depolama alanlarının atık bertarafı için kullanımı hakimdir. KKA bertaraf yöntemleri sonucunda geliştirilmesi planlanan değerli ürünler, ticari uygulamalar, yerel ekonomi ve enerji kısıtlamaları nedeniyle birbirleriyle yeterince entegre edilememiştir [67].

Bu olumsuzlukların ortadan kaldırılması için atılan adımlar her geçen gün artıyor. Avrupa Birliği ve Türkiye'nin, MSW'ye yönelik ana strateji olarak 2030 yılına kadar %65 oranında atık ayırma ve bertaraf etme hedefi umut vericidir [68].

Bu hedeflere ulaşmak ve atık bertaraf sürecinden kaliteli ürünler elde etmek için atıkların kaynağında ayrıştırılması ve ayrı toplanmasının önemi yadsınamaz. Günümüzde MSW, aktarma istasyonlarına karışık olarak veya ayrı ayrı biriktirilerek taşınmaktadır. Karışık atıkların sınıflandırılmasının daha zor ve daha fazla emek gerektirdiğini belirtmek gerekir. Şu anda, MSW ayıklama hala manuel ve otomatik ayırmanın bir kombinasyonudur ve yavaş yavaş yapay zeka (AI), robotik ayırma ve çoklu sensörlü füzyona doğru gelişmektedir [69, 70].

Katı atık yönetimine yönelik çalışmalar son yirmi yılda sürdürülebilir ve öngörülebilir bir şekilde hızla gelişmektedir. Sürdürülebilir atık yönetimi çözümlerinin öngörülebilir bir yapıda planlanmasında kullanılan matematiksel modeller bu gelişmede önemli bir işleve sahiptir [71].

Lan Vu, Bolingbroke,Wai Ng, Fallah (2019) Coğrafi bilgi sistemi (CBS) ve yapay sinir ağı (YSA) atık tahmin modelini Austin,Teksas(ABD)'den alınan verileri kullanarak şehrin dört alt bölgesinde 2023 yılı için geri dönüşüm ve katı atık üretim oranını tahmin etmek için doğrusal olmayan bir YSA ve CBS araç rotalama problemi ağ analizi kullanılarak dört ana alt bölgenin her birinde minimum seyahat mesafesi ile en uygun atık toplama rotalarını belirlenmiş, tek bölmeli kamyonlarla çift bölmeli kamyonların seyahat mesafesi ve emisyon değerleri karşılaştırılmıştır [72].

Bing ve diğerleri, 2014 coğrafi bilgi sistemlerinin gelecekteki kentsel katı atık sistem senaryolarının çevresel etkiler ve maliyetler açısından etkilerini araştırmak için etkili bir karar destek aracını olduğunu göstermiştir [73].

2.4 Ülkemizdeki Katı Atık Yönetimine Genel Bakış

Ülkemizde atık yönetimi, 1930'lardan beri "Kamu Hijyen Kanunu" (UHK, 1930) yayımlanarak yasal düzenlemelere konu olmuş ve belediyeler görevlendirilmiştir. "Belediye Kanunu" (BK, 1930) yayımlanarak uygulama yetkisi kazanmıştır.

Bu kanunun uygulanması sırasında yıllar içinde nüfus artışı ve atık türleriyle ilgili değişimler yaşanmıştır Çevre ile ilgili sorunlarının 1970'li yıllarda artması nedeniyle dünyada çevre odaklı bir yaklaşım oluşmuştur Türkiye'ye yansıması olarak 1991 yılında kurulan Çevre Bakanlığı ile bakanlığın görev alanına dahil edilmiştir [74].

Katı atık yönetimi ile ilgili 2872 sayılı Çevre Kanunun işaret ettiği yönde Büyükşehir ve İlçe Belediyeleri'nin belli başlı sorumlulukları bulunmaktadır. Örneğin Büyükşehirlerde bulunan İlçe Belediyeleri katı atık yönetim planı doğrultusunda sorumluluk alanları olan ilçelerinde oluşan atıkları toplamak ve aktarma istasyonuna ulaştırmakla yükümlüdür. Büyükşehir Belediyeleri ise kendilerine ulaştırılan katı atıkları bertaraf edecek bertaraf tesislerini yönetmek ya

da yönettirmekle sorumludur. Ayrıca bu bertaraf sürecinde oluşan harcamalardan da sorumludur.

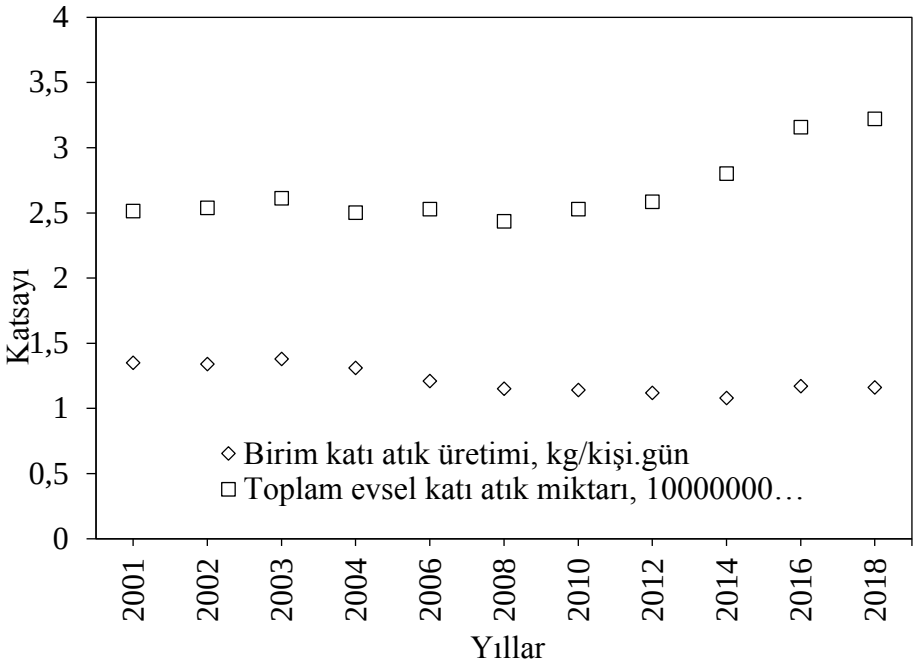
Ancak, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nin 14.03.1991 tarihli Resmi Gazete No: 20814'te (KAKY, 1991) yayımlanmasına kadar geri dönüşüm malzemelerinin ayrılması konusunda herhangi bir zorunluluk yoktu. Ayrıca 2004 yılında Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği'nin yayımlanmasıyla belediyeler sorumlu hale gelmiş ve AB ile müzakere kapsamında Avrupa Birliği Yönetmeliğindeki hedeflere ulaşmak için katı atık yönetimi düzenlemelerinde önemli iyileştirmeler yapılmıştır. Türkiye'de ambalaj atıkları büyük ölçüde belediyeler tarafından yapılan kapıdan kapıya sistemle toplanmaktadır. Belediye Kanunu 3 Temmuz 2005 yılında kabul edilip belediyeler çevre ve çevre sağlığı, temizlik ve katı atık hizmetleri vb. yükümlü olmuşlardır. Aynı kanunun Belediyenin yetki ve imtiyazları olarak geçen 15. Maddesi g bendinde ise "katı atıkların toplanması, taşınması, ayrıştırılması, geri kazanımı, ortadan kaldırılması ve depolanması ile ilgili bütün hizmetleri yapmak ve yaptırmak" olarak belirlenmiştir [75].

Türkiye'de katı atık yönetiminin mevcut durumunun belirlenmesi amacıyla 2005 yılında uluslararası bir konsorsiyum tarafından "Türkiye için Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımlarının Planlaması (YMÇYP)" AB Projesi'nde ele alınmıştır. Bu projeye göre; Türkiye'de yaygın olarak kullanılan atık toplama metodunun, kaldırım kenarına bırakılan plastik torbalar ve çok katlı binalarda yaşayan nüfusa hizmet veren büyük atık konteynerlerinden oluştuğundan bahsedilmektedir. Türkiye'de atık toplama sıklığının şehirlerde her gün; küçük yerleşimlerde haftada 1-3 sefere kadar değiştiği belirtilmiştir. Türkiye genelinde toplama araçlarının hacmi genellikle 7 m^3 ile 13 m^3 arasında değişmektedir. Atıklar büyükşehirlerde genellikle her gün, nüfus yoğunluğu daha az olan yerlerde haftada 2-3 seferde toplanmaktadır. Toplanma sıklığının fazla olması maliyetleri de doğru orantılı olarak etkilemekte ve yerel yönetimlerin bütçelerine yük oluşturmaktadır. Ülkemizde Tablo 2.1'de görüldüğü gibi kanuni düzenlemeler olmasına rağmen yerel yönetimer tarafından atık yönetimi konusunu şehrin temiz tutulması ve atıkların sıklıkla toplanıp, rotaların çalışanlar tarafından belirlenmesi yönünde uygulanmaktadır.

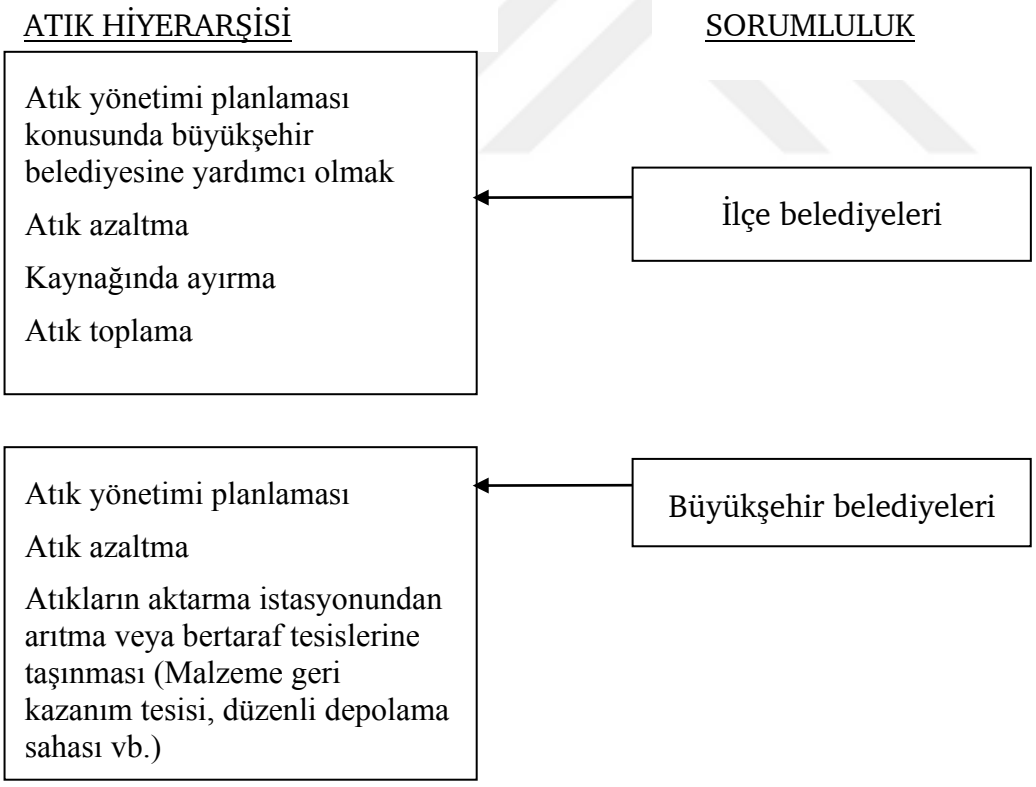
Tablo 2.1 Türkiye'de katı atıkları kapsayan yürürlülükte olan kanun ve yönetmeliklerin listesi

Kanun- Yönetmelik Adı	**Resmi Gazete Tarih-Sayı**
2872 Çevre Kanunu	11.08.1983-18132
Büyükşehir Belediye Kanunu	23.07.2004-25531
Belediye Kanunu	13.07.2005-25874
Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik	26.03.2010-27533
Atık Yönetimi Yönetmeliği	02.04.2015
Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği	27.12.2017-30283
Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği	22.05.2012-28300
Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği	31.08.2004-25569
Hafriyat Toprağı, İnşaatve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği	18.03.2004-25406
Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği	25.11.2006-26357
Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Yönetmeliği	30.12.2009-27448
Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği	25.01.2017-29959
Sıfır Atık Yönetmeliği	12.07.2019-30829

Türkiye üst-orta gelir grubundaki ülkeler arasındadır [76]. Türkiye'de 1395 belediyede yapılan envanter çalışmasına göre üretilen yıllık katı atık miktarı 32 milyon tondur [77]. Ayrıca Türkiye'de kişi başına oluşan günlük katı atık miktarı 1,16 kg olarak belirlenmiştir. Toplanan atıkların toplamda yüzde 67,2'si düzenli depolama sahalarına, yüzde 20,2'si belediye çöplüklerine, yüzde 12,3'ü geri dönüşüm tesislerine, yüzde 0,2'si ise katı atık toplama hizmeti veren belediyelere gönderilmektedir. Bu atıkların açıkta yakılarak, gömülerek, dereye veya çöp sahasına dökülerek bertaraf edildiği belirtilmiştir. Birim katı atık üretimi Şekil 2.4'te görüldüğü gibi kişi başına günlük 1,16 ile 1,38 kg arasında değişmekte olup, üretilen günlük toplam katı atık miktarı 32,21 milyon tona ulaşmaktadır [77].



Şekil 2.3 Türkiye'de 2001-2018 yılları arasındaki kentsel katı atık ve birim katı atık miktarındaki değişim



Şekil 2.4 Türkiye'deki büyükşehir belediyelerinin kentsel katı atık yönetimi kapsamında sorumluluk süreçleri [78].

Ülkemizde marketten alışveriş yapmanın yaygınlaşması ile beraber ambalaj atıklarının miktarı da doğru orantılı olarak artmıştır. Artan ambalaj atıklarını yönetebilmek adına 2004 yılında o zaman ismi Çevre ve Orman Bakanlığı olan bakanlık tarafından Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği hazırlanmıştır. Avrupa birliği kriterleri ile, yönetmeliklerin yönlendirdiği şekilde ambalaj atıkları ekonomiye kazandırılması amacıyla belli kriterler ve oranlar belirlenmiştir. İlgili yönetmelikte yıllara göre belirlenen hedeflerin özeti Tablo 2.2'de belirtilmiştir.

Değerlendirilebilir atıkların ayrı toplanması konusunda yıllar içinde konulan hedeflerin çok altında oranlarda toplama yapılması nedeniyle aşağıdaki tablodaki rakamlara ulaşılmış, düzenli depolama tesislerine giden atık oranlarının hızlıca düşürülmesi için Sıfır Atık Yönetim Sistemi gündeme gelmiştir.

Tablo 2.2 Türkiye'de katı atık yönetiminde kullanılan bertaraf yöntemlerinin 2016 yılında gerçekleşen ve 2023 yılı için hedeflenen oranlarının karşılaştırılması

Bertaraf işlemi	**2016 yılında gerçekleşen (Kütlesel % olarak)**	**2023 yılı için hedeflenen (Kütlesel % olarak)**
Oluşan ambalaj atıklarının diğer atıklardan ayrı toplanması	7.4	12
Toplanan kentsel atıkların termal yöntemler ile geri kazanımı	0.3	8
Toplana kentsel atıkların mekanik ve biyolojik olarak bertarafı	5.6	11
Toplanan kentsel atıkların düzenli depolama ile bertarafı	86.7	65

3
SIFIR ATIK YÖNETİMİ

3.1 Sıfır Atık Yönetimi

Sıfır atık kavramı, atılan tüm malzemelerin başkalarının kullanması için kaynak olacak şekilde tasarlandığı sürdürülebilir doğal döngüleri taklit etmek amacıyla insanlara yaşam tarzlarını ve uygulamalarını değiştirme konusunda rehberlik eden etik, ekonomik ve vizyoner bir hedeftir. Ürünlerin, ambalajların ve malzemelerin çevreyi veya insan sağlığını tehdit edecek şekilde yanmadan ve toprağa, suya veya havaya boşaltılmasından sorumlu bir şekilde üretilmesi ve tüketilmesi, yeniden kullanılması ve geri kazanılması yoluyla tüm kaynakların korunması esastır [79].

Sıfır atık anlayışının öncüleri olarak George Washington Carver ve Henry Ford kabul edilebilir. Carver 1893 yılında lisans öğrencisi iken yayımladığı bir makalede, doğada hiçbir atık materyalin olmadığını belirtmiş ve ağaç yapraklarından çiftlik gübresine kadar birçok atığın nasıl tekrar hammadde olarak kullanılabileceğini açıklayan sunumlar yapmış, atıkları "kılık değiştirmiş bir başka kaynak" olarak tanımlamıştır [80].

Sıfır atık terimi ilk kez 1973 yılında Dr. Paul Palmer tarafından kimyasallardan kaynakların geri kazanılması için kullanılmıştır. Sıfır atık sisteminde malzeme akışı döngüseldir, yani aynı malzemeler optimum tüketim seviyesine kadar tekrar tekrar kullanılır [81].

Sıfır Atık yaklaşımı "enerji, hammaddeler ve insan kaynaklarında %100 etkin kullanım, sıfır katı atık, sıfır zararlı atık, sıfır emisyon, üretim ve yönetim faaliyetlerinde sıfır atık, ürün yaşam döngüsünde sıfır atık sağlanmasını hedef alır.

Sıfır atık, atık ve malzemelerin hacmini ve toksisitesini sistematik olarak önlemek, ortadan kaldırmak geri kazanmak yakma veya düzenli depolamaya gitmeyecek şekilde tüm kaynakları korumayı hedefler.

Sıfır atık anlayışının doğuşuna neden olan faktör doğada tamamen bir geri dönüşüm sisteminin varlığı ve atığın olmamasıdır. İnsanoğlu da doğada bir benzeri olan bu döngüyü kendi oluşturduğu üretim döngüsü için de gerçekleştirebilir. Bunu sağlamak için doğal döngüde olduğu gibi, bir üretim

faaliyetinin atığı başka bir üretim faaliyetinin kaynağı olmalıdır ya da bunu sağlayacak yeni endüstri kolları oluşturulmalıdır [80]. Sıfır atık hedeflerine ulaşmak için sıfır atık tasarımı ve üretimine odaklanmalıdır. Ürünler, beşikten beşiğe prensibi uygulanarak tasarlanıp üretilirse bir gün tüm kaynakların atıklardan geri kazanılması daha kolay olacak ve böylece sıfır atık tasarımı, etkin kaynak kullanımı, optimum geri dönüşüm imkanı sağlanacaktır.

İstenmeyen ve aşırı atık oluşmasını engellemek, önlemek ve sürdürülebilir tüketim mümkündür. Sürdürülebilir tüketimin yanı sıra, atık oluşumunun ortadan kaldırılması için mevcut verimsiz üretim sistemlerinin sistematik bir şekilde dönüştürülmesi de gerekmektedir.

Beşikten beşiğe yaklaşımı ve yeşil mühendislik ilkeleri optimum kaynak kullanımı gibi bütünsel uygulamalar yer almaktadır. Bu segmentlerde israfın önlenmesi atıkların azaltılması, sürdürülebilir tasarım üretim ve tüketim motivasyonlarıyla mümkün olduğu ortaya konulmuştur [82].

Dünya çapında birçok kuruluş sıfır atık kavramını benimseyerek çöp sahalarına sıfır atık atılması hedefini belirledi. Avustralya'nın Canberra kentindeki topluluk istişare süreci bu radikal fikrin çıkmasına neden oldu. Belediyeler 1995 yılında ilk atık yok, atık faturası yok kuralını 2010 yılına kadar önerdiler ve Canberra dünyada resmi sıfır atık hedefini benimseyen ilk şehir olmuştur [83, 84].

İkinci fazda vatandaşların kaynak tüketimi ve davranışları konusunda sorumluluk sahibi olmasını sağlar sürdürülebilir tüketim uygulamaları yerel ve küresel toplumlar için oldukça önemlidir. Mevcut aşırı tüketim uygulamaları muazzam miktarda atık üretmektedir, sorumlu davranış ve sürdürülebilir tüketim uygulamaları yoluyla atıkların önemli bir kısmı en aza indirilebilir, önlenebilir sürdürülebilir tüketim uygulamaları tüketim faaliyetleri sırasında bireysel tutumları ve karar almayı güçlendirir. Önceki çalışmalarda, israfın azaltılmasına yol açan sürdürülebilir tüketim ve davranış kalıplarının bireysel tutumlara bağlı olduğunu göstermiştir [85].

Sıfır atık yönetimi, son on yılın en vizyoner atık yönetim sistemidir; ancak bu sistem %100 atık geri kazanımı yerine %0 atık oluşturmayı amaçlamaktadır. Sıfır atık toplumlarına ulaşmak için üç stratejik planın kapsamlı olması gerekir: a. beşikten beşiğe tasarım ve ürün yönetimi yoluyla sürdürülebilir üretim; b. doğal

kaynakların işbirlikçi ve sorumlu tüketimi ve c. kaynak tasarrufu yoluyla sıfır atık yönetimidir [86].

Japonya, Almanya, Singapur ve ABD gibi birçok gelişmiş ülke, sakinlerinin ürettiği kentsel katı atıkları geri dönüştürmek için atık ayırmayı kaynağında başlatarak sürdürülebilir kentsel katı atık yönetimine ulaşmıştır [87].

Sıfır atık odaklı şehirlerde atık yönetimine yönelik geliştirilen stratejilerin sosyo-ekonomik bağlamda uygun, sosyo-politik bağlamda yönetilebilir, politik-teknolojik ve ekonomik-teknolojik bağlamda sürdürülebilir olması beklenmektedir. Dünyanın birçok şehrinde artan kaynak tüketimi ve kaynak geri kazanımındaki büyük eksiklikler, mevcut kalkınma paradigmasının kesinlikle sürdürülemez olduğu sonucuna yol açmıştır [88].

Atık minimizasyonu girişimlerini desteklemek amacıyla Yeni Zelanda Sıfır Atık Vakfı kurularak, Yeni Zelanda'nın sıfır hareketi başlatılmıştır. Vakfın hedefi ürünlerin yeniden kullanılması, onarılması ve geri dönüştürülmek üzere üretildiği, israfı en aza indiren ve sonucunda ortadan kaldıran bir kapalı döngü malzeme ekonimisidir [89].

O tarihten bu yana sıfır atık programları dünyanın farklı gelişmiş ülkelerinde uygulanmaya başlandı. Ayrıca sıfır atık kavramı farklı ülkelerde farklı dillerde benzer terimlerle benimsenmiş ve kullanılmıştır [90].

Sıfır atık, atıkları bertaraf edilmesi veya yakılması gereken malzeme olarak görmez, onları yeniden kullanılabilecek bir kaynak olarak ele alır ve böylece atığın potansiyelinden tam olarak yararlanılır [91].

Connet makalesinde sıfır atık stratejisini atık yakma tesislerine hayır, mega depolama alanlarına hayır, tek kullanımlık topluma hayır ve sürdürülebilir bir topluma evet sloganı ile 3R (azalt, yeniden kullan, geri dönüştür) ilkesine ek olarak 2R'nin (yeniden tasarlama ve sorumluluk) gerekli olduğunu öne sürmüştür. İdealist hedeflere gerçekçi bir zaman çerçevesinde ulaşmak için on öneride bulunmuştur: adımlar şunlardır: 1-kaynakta ayırma, 2-kapıdan kapıya toplam sistemi, 3-kompostlama, geri dönüşüm, azaltma 4-eski binaların yeniden kullanımı, onarımı 5-atık azaltma girişimleri, 6-ekonomik teşvikler, 7-artık ayırma, 8-sıfır atık araştırma tesisleri, 9-endüstriyel sorumluluk ve 10-geçici

depolama alanıdır. Temeldeki amaç atıkların boru sonu yönetiminden, tasarım, kullanma ve nihai olarak kaynakların yönetimine doğru değişmesidir [92].

Sıfır atık gelişimine ilişkin dönüm noktaları ve olaylar Tablo 3.1.'de verilmiştir [86].

Tablo 3.1 Sıfır atık gelişimine ilişkin dönüm noktaları ve olaylar

Yıllar	**Ülke**	**Önemli Olay**
1970'ler	ABD	Sıfır atık terimi Paul Palmer tarafından bulunmuştur.
1986	ABD	Kitlesel yakmaya kaşı ulusal koalisyon kurulmuştur.
1988	ABD	Seattle attığın kadar öde sistemini uygulamaya başlamıştır.
1989	ABD	California entegre atık yönetim yasası atık oranlarını azaltmayı sağlamak şartıyla kabul edilmiştir.
1990	İsveç	Thomas Lindquist, genişletilmiş üretici sorumluluğunu tanıtmıştır.
1995	Avusturalya	Canberra 2010'a kadar atık yok yasasını kabul etti.
1997	Yeni Zelanda/ABD	Yeni Zelanda Sıfır Atık Vakfı kurulmuştur, California'da sıfır atık hakkında Kaynak Kurtarma Derneği tarafından konferans organize edilmiştir.
1998	ABD	Sıfır atık Kuzey Karolina, Seattle ve Washington'da yol gösterici ilkeler olarak dahil edilmiştir.
1999	ABD	California Kaynak Kurtarma Derneği sıfır atıkla ilgili konferanslar düzenlemiştir.
2000	ABD	Yakma fırını alternatifleri için küresel ittifak kurulmuştur.
2001	ABD	Grassroots rcycling network, Cinzen'in sıfır atık gündemini yayınlamıştır.
2001	Avusturalya	Towand'ın 2020 vizyonu için beşikten beşiğe kitabı, sıfır atık eylem planları yayınlanmıştır.
2002	Yeni Zelanda	ZWIA kurulmuştur. İlk sıfır atık zirvesi Yeni Zelanda'da düzenlenmiştir.

Tablo 3.1 Sıfır atık gelişimine ilişkin dönüm noktaları ve olaylar (devamı)

Yıllar	**Ülke**	**Önemli Olay**
2004	Avusturalya/ABD	Grassroots rcycling network, (Grnn sıfır atığın iş ilkellerini benimsemiştir.) ZWSA Güney Avusturalya'da kurulmuştur.
2008	ABD	Sierra club, sıfır atık üretici sorumluluğu politikasını benimsemiştir.
2012	ABD	Trashed belgesel filminin prömiyeri Cannes Film Festivali'nde yapılmıştır.
2017	ABD	ABD'de kurulan sıfır atık iş konseyi 2017 tarihli sıfır atık geliştirme ve genişletme yasasını kabul etmiştir.
2018	ÇİN	0-1 Ocak 2018 tarihinden itibaren Çin 24 kategoride katı atık ithalatını yasaklamıştır. Çin daha önce kabul ettiği %10 kıyasla kabul edilebilir kirlilik seviyesini %0,5 olarak belirleyerek plastik ithalatını durdurdu.
2018	Küresel C40/İngiltere	23 küresel şehir ve bölge sıfır atığa doğru ilerliyor taahhütü 2030 yılına kadar en az 87 Milyon ton atığın bertaraf edilmesinin önleneceğini öngörmüştür.
2018	Avusturalya	Avusturalya hükümeti, Avusturalya'daki tüm ambalajların 2025 yılına kadar geri dönüştürülebilir, kompostlanabilir veya yeniden kullanılabilir olacağını hedeflemiştir.
2019	Singapur	Singapur 2019'u sıfır atığa geçiş yılı olarak belirlemiştir.

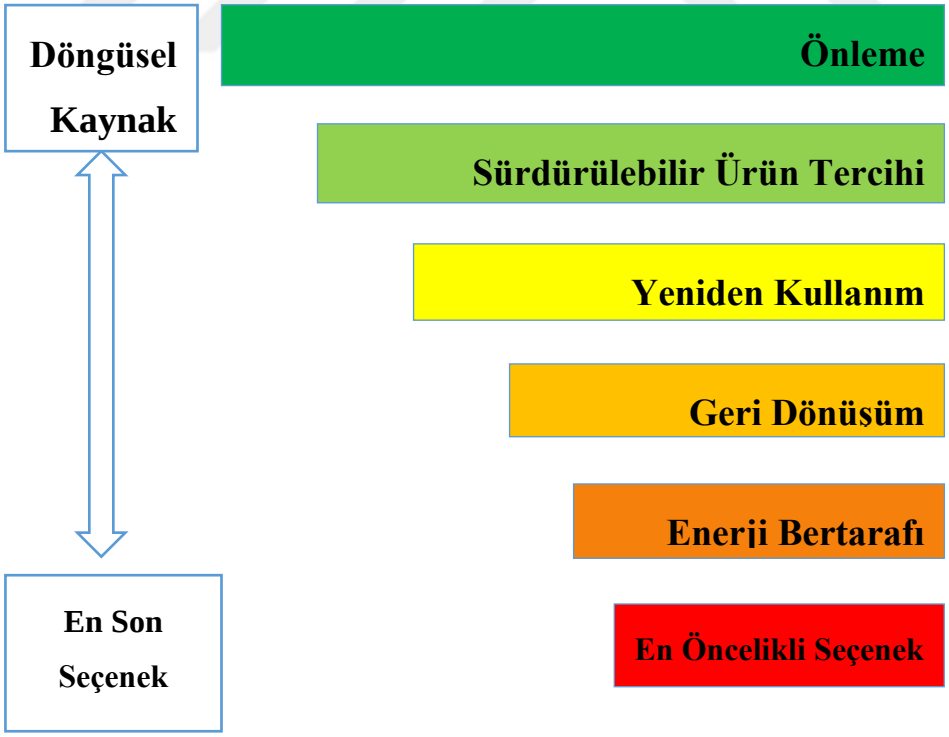
3.2 Ülkemizde Sıfır Atık Yönetimi

Türkiye üst-orta gelir grubundaki ülkeler arasındadır [96]. 1395 belediyeden elde edilen verilere göre Türkiye'de üretilen yıllık katı atık miktarı 32 milyon tondur [94]. Ayrıca ülkemizde kişi başına oluşan günlük katı atık miktarı 1,16 kg olarak belirlenmiştir. Toplanan atıkların toplamda yüzde 67,2'si düzenli depolama sahalarına, yüzde 20,2'si belediye çöplüklerine, yüzde 12,3'ü geri dönüşüm tesislerine, yüzde 0,2'si ise katı atık toplama hizmeti veren belediyelere gönderiliyor. Bu atıkların açıkta yakılarak, gömülerek, dereye veya çöp sahasına dökülerek bertaraf edildiği belirtilmektedir. Birim katı atık üretimi kişi başına

günlük 1,16 ile 1,38 kg arasında değişmekte olup, üretilen günlük katı atık miktarı 32,21 milyon tona ulaşmaktadır [94].

Hane düzeyinde kaynakta ayrı toplamanın yaygınlaştırılması için 2017 yılı eylül ayında başlatılan Sıfır Atık Yönetimi projesi neticesinde 12 Temmuz 2019 tarihinde Sıfır Atık Yönetmeliği yayınlanmıştır. Yönetmelik kapsamında detaylı planlamalar yapılmış nüfusa göre kamu kurum ve kuruluşlarına, il ve ilçe belediyelerine, özel sektör kurumlarına, oteller vb. yerlere kriterler belirlenmiş ve uyum takvimi yayınlanmıştır.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından sıfır atık yönetimine yönelik atılan ilk somut adım bakanlık hizmet binasına yönelik sıfır atık yönetim planı hazırlanmış ve kurumda aşamalı olarak uygulanmıştır. Ardından Sıfır Atık Projesi, 2018-2023 dönemini içeren Sıfır Atık Yönetimi Eylem Planı çerçevesinde 2018 yılında başlayarak aşamalı olarak; kamu kurumlarında, terminallerde (havaalanı, otogar, tren garı vb.), eğitim kurumlarında (üniversite, okul vb.), alışveriş merkezlerinde, hastanelerde, eğlence, dinlenme tesislerinde (otel, restoran vb) ve büyük iş yerlerinde uygulanması ve 2023 yılında tüm Türkiye'de uygulanması hedeflenmiştir.



Şekil 3.1 Sıfır Atık Döngüsü [1]

Ardından Sıfır Atık Yönetmeliği'nin yayınlanması ile Sıfır atık yönetim sistemi kurulan yerlerde oluşan Atık Yönetimi Yönetmeliğinin EK-4 atık listesinde (20 kodlu evlerden kaynaklanan ve benzeri ticari, endüstriyel ve kurumsal atıklar) yer alan atıklar bu sistem kapsamına alınmıştır.

Sıfır atık yönetiminin başarılı olabilmesi için, öncelikle atığın tanımlanması, kaynağında ayrılıp toplanması, toplanan atıklar için geçici atık depolama alanının kurulmuş olması, atıklardan sorumlu personellerin belirlenmesi, personel eğitimi ve son olarak lisanslı firma araştırılması, atıkların geri kazanıma gönderilmesi ve tüm bu süreçlerle ilgili kayıt tutulması aşamaları gerçekleştirilmelidir [86].

Tablo 3.2 Geleneksel atık yönetimi ile sıfır atık yönetimi arasındaki farklar

Geleneksel atık yönetimi	**Sıfır atık yönetimi**
Atık yaşam döngüsünün sonu olarak kabul edilir	Atık geçiş aşamasındaki bir kaynak veya kaynak yaşam döngüsünün bir ara aşaması olarak kabul edilir
Atığı temel olarak teknolojik bir sorun olarak algılar ve bu nedenle çoğunlukla mühendislik çözümlerine güvenir	Atıkları hem sosyal hem de teknolojik bir sorun olarak algılar bu nedenle mühendislik çözümlerinin yanı sıra sosyal teknolojik çözümler arar (yeniden kullanım ve geri dönüşüm vb.)
Büyük ölçüde depolama ve yakma teknolojilerine bağımlıdır, kaynağın tükenmesine izin verir, atıklardan kaynakların geri kazanılması yani atıktan enerji dönüşüm sağlanır	Yakma teknolojileri yerine kaynakların korunması yani atıktan enerjiye dönüştürmek yerine geri dönüşümün sağlanmasını amaçlar
Sınırlı iş fırsatları	Nispeten daha fazla sayıda iş fırsatı

Atık, geleneksel atık yönetiminde kaynak yaşam döngüsünün sonu olarak kabul edilir. Bunun aksine sıfır atık yönetim sisteminde kaynak yaşam döngüsünün geçiş aşamasındaki veya ara aşamasındaki bir kaynak olarak kabul edilir.

Sıfır atık yönetim sisteminin sürdürülebilirliğinin büyük ölçüde atıkların kaynağında ayrıştırılıp ayrı toplanmasına bağlı olduğu düşünülmektedir. Atıkların kaynağında ayrıştırılması ve ayrı toplanması, atıkların kapalı bir döngü içerisinde en verimli şekilde kullanılmasına olanak sağlayacaktır [88].

4
MATERYAL METOD

Tezin materyal metodu dört ana başlık altında incelenmektedir. İlk olarak konut yoğunluğunun tahmin edilmesine yönelik materyal ve yöntem, ikinci olarak kaynakta ayırma yöntemine karar verilmesi amacıyla kullanılan AHP ile ilgili materyal ve yöntem, üçüncü olarak CBS ile ilgili materyal ve yöntem ve dördüncü olarak sıfır atık yönetimi ile ilgili materyal ve yöntem bu tez kapsamında planlanmıştır.

4.1 Konut Yoğunluğu ile Ilgili Material ve Yöntem

Konutlarda atıkların ayrıştırılması daha kolayken, konutlarda atıkların ayrı bileşenlerde toplanması iş yerlerine göre daha zor olabilmektedir. Bu nedenle konutlarda ve işyerlerinde farklı atık ayrıştırma yöntemleri uygulanabilmektedir. Herhangi bir çalışma alanında konut ve işyeri sayılarına göre konut yoğunluğunun belirlenmesi amacıyla üç sınıflı istatistiksel analiz yapılabilmektedir. İstatistiksel analiz yöntemlerine göre [95, 96], çalışma alanı konut olarak kullanılan bağımsız birimlerin yoğunluğuna göre sınıflandırılabilmektedir.

Beşiktaş İlçesi İstanbul İli'nin Avrupa yakasında olup, doğuda İstanbul Boğazı, kuzeyde Sarıyer İlçesi, batıda Şişli İlçesi, güneyde Beyoğlu İlçesi ile çevrilidir. Boğaz'ın hemen karşısında Üsküdar İlçesi bulunmaktadır. Yüzölçümü (11 km²) bakımından küçük bir ilçe olmasına rağmen Boğaz boyunca 8375 m kıyı şeridi ile 1520 hektarlık alanı kaplamaktadır. Dolmabahçe Sarayı, Yıldız Sarayı ve Çırağan Sarayı gibi birçok tarihi eserin de bulunduğu bir ilçedir.

Beşiktaş ilçesinin 2019 adrese dayalı nüfus kayıt sistemi (ADNKS) verilerine nüfusu 182649 kişidir. İlçenin yüz ölçümü 1520 hektar olup, 12.6 km'lik alana yerleşmiştir. Sınırları 12.6 km'lik alana yayılır ve 23 mahalleden oluşur. Beşiktaş İlçesi'nin son 10 yıllık nüfus değişimine baktığımızda 2008'den 2010'a kadar 1000 kişi düşmüş ve 2010 'dan sonra 3000 kişi birden yükselmiştir. 2011'de kiraların yükselmesi ile ilgili 1000 kişilik bir düşüş, 2015'e kadar 4000 kişi yükselişi ve 2015'de 190 binin üzerine çıkan ilçe nüfusunun aniden düşüşe

geçtiğini görmekteyiz [97]. İklim: Beşiktaş ilçesinde yıllık ortalama sıcaklık gündüz 18 santigrat derece, gece ise 14 santigrat derecedir.

En düşük sıcaklıklar Ocak ayında yaşanmış ve gündüz ve gece sırasıyla 9 ve 5 santigrat derece ölçülmüştür. Yıllık ortalama yağış 83 mm olurken, en yüksek yağış 135.55 mm (Ocak ayında), en düşük yağış ise 25.63 mm (Ağustos ayında) olarak gerçekleşti. Nem ise yıllık ortalama %72 olup, en yüksek %77 (Ocak) ve en düşük %68 (Temmuz ve Eylül aylarında) ölçülmüştür (Dünya hava durumu, 22 Şubat 2023).

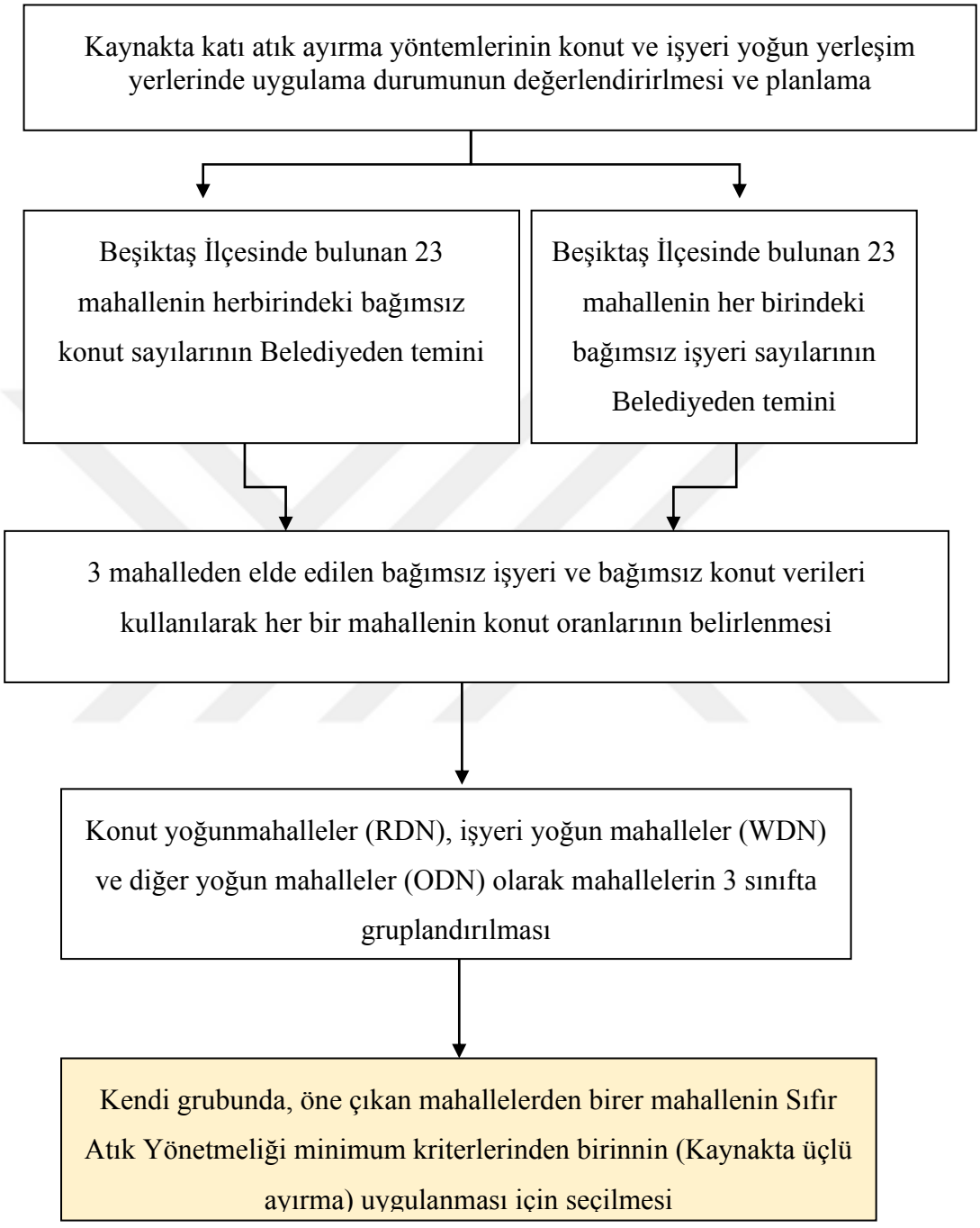


Şekil 4.1 Beşiktaş İlçesi'nin Türkiye'deki konumu



Şekil 4.2 Beşiktaş İlçesi'nin İstanbul ilindeki konumu

Bu tezde ikamet yoğunluğuna göre planlama yapılmıştır. Konut yoğunluğuna göre istatistiksel analiz yapılabilmesi amacıyla örnek yerleşim alanı olarak Beşiktaş İlçesi seçilmiştir.



Şekil 4.3 Konut ve işyeri yoğunluğunun belirlenmesine ilişkin akım şeması [78]

Bu çalışmada; Şekil 4.3'te verilen akım şeması kapsamında konut yoğunluğu ile ilgili analiz yapılmıştır. Burada amaç; konut yoğun ve işyeri yoğun mahallelerin belirlenmesidir. Bu kapsamda denklem 4.1'de görülen konut yoğunluk oranı

(RoR), her bir mahallelede bulunan bağımsız konut (NoR) ve bağımsız işyeri sayıları (NoW) gözönüne alınarak hesaplanabilir (bakınız Tablo 4.1, sütunlar sırasıyla 3, 4, 5 ve 7).

$$\mathrm{RoR} = \frac{\mathrm{NoR}}{\mathrm{NoR} + \mathrm{NoW}} \tag{4.1}$$

Tablo 4.1'den görüldüğü gibi; RoR'nin en düşük değeri 0,3114 (Sinanpaşa Mahallesi), en yüksek değeri ise 0,9374 (Ulus Mahallesi) olarak belirlenmiştir. Sıfır Atık Yönetmeliği kapsamında, kaynakta ayırma kriterlerini karşılayacak bir atık yönetim planı için Beşiktaş İlçesi'nde bulunan 23 mahalleden elde edilen RoR değerleri gözönüne alınarak istatistiksel olarak sınıflandırma yapılabilir. Sınıf sayısı (NoC), örnek sayısına (n) bağlı olarak denklem 4.2'den hesaplanabilir [78]. Burada mahallenin RoR değerleri kullanılacağından n=23'tür.

$$\mathrm{NoC} = \sqrt{\mathrm{n}} \tag{4.2}$$

n=23 için NoC=4.796 (tam sayı olarak 5 alınabilir). Sınıf genişliği (CW), sınıf aralığı (Range= örneklemin en büyük değeri-örneklemin en küçük değeri=0.9374-0.3114=0.626) ve sınıf sayısına bağlı olarak denklem 4.3 kullanılarak bulunabilir.

$$\mathrm{CW} = \frac{\mathrm{Range}}{\mathrm{NoC}} \tag{4.3}$$

NoC=5 için sınıf genişliği 0.1252 bulunur (0.626/5=0.1252). İstatistiksel olarak sınıf sayısı 5 olmasına rağmen, bu çalışmada mahalleleri konut yoğunluğu bakımından üç sınıfa ayırmanın atık yönetim süreçlerinin planlama kolaylığı sağlayacağı varsayılmıştır. NoC=3 kabul edilerek sınıf genişliği 0.209 olarak hesplanmış ve Tablo 4.2'de görüldüğü gibi mahalleler konut yoğunluğua bağlı olarak üç sınıfta toplanmıştır. Tablo 4.2'deki sınıf alt ve üst oranları arasında kalan mahalleler Tablo 4.1'in 7 nolu sütunu gözönüne alınarak belirlenmiştir. Tablo 4.2'den anlaşılacağı üzere;2 mahalle WDN, 14 mahalle ODN ve 7 mahalle RDN sınıfında yer almaktadır.

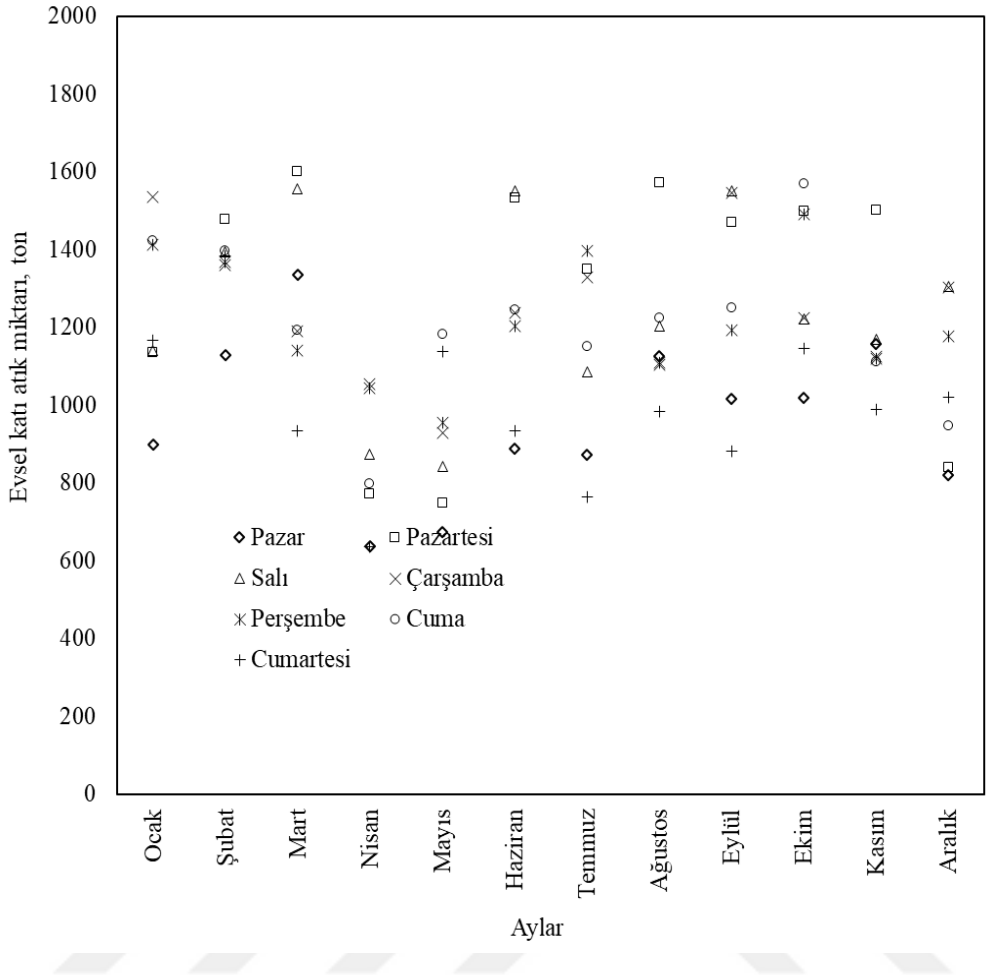
Tablo 4.1 Beşiktaş İlçesindeki mahallelere ve sıfır atık yönetimi kapsamında inşa edilen konut ve iş yeri sayısına bağlı olarak ön çalışmalar

Mahalle Adı	**Mahalle Nüfusu**	**İş Yeri Sayısı (NoR)**	**Konut Sayısı (NoR)**	**(NoR)+ (NoR)**	**Kişi Başına Düşen Atık Miktarı**	**Konut Oranı (RoR)**	**Mahallenin Kategorisi**
(1)	(2)	3	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Abbasağa	5502	373	2690	3063	2,05	0,8782	RDN
Akat	15161	1380	6777	8157	2,24	0,8308	ODN
Arnavutköy	3788	530	2314	2844	1,64	0,8136	ODN
Balmumcu	3455	981	1159	2140	2,98	0,5416	ODN
Bebek	5734	640	3026	3666	1,89	0,8254	ODN
Cihannuma	3882	1057	2141	3198	1,81	0,6695	ODN
Dikilitaş	16889	1405	7722	9127	2,19	0,8461	RDN
Etiler	11703	1233	5381	6614	2,17	0,8136	ODN
Gayrettepe	14417	1679	5841	7520	2,47	0,7767	ODN
Konaklar	15881	636	4996	5632	3,18	0,8871	RDN
Kuruçeşme	3039	305	1454	1759	2,09	0,8266	ODN
Kültür	4755	969	2354	3323	2,02	0,7084	ODN
Levazım	6166	675	3103	3778	1,99	0,8213	ODN
Levent	3045	1503	1145	2648	2,66	0,4324	WDN
Mecidiye	10250	1096	4934	6030	2,08	0,8182	ODN
Muradiye	4903	198	2886	3084	1,7	0,9358	RDN
Nisbetiye	12262	1605	5585	7190	2,2	0,7768	ODN
Ortaköy	9440	556	4656	5212	2,03	0,8933	RDN
Sinanpaşa	2480	2594	1173	3767	2,11	0,3114	WDN
Türkali	10356	958	5333	6291	1,94	0,8477	RDN
Ulus	7041	200	2997	3197	2,35	0,9374	RDN
Vişnezade	6317	1023	3591	4614	1,76	0,7783	ODN
Yıldız	6573	683	2935	3618	2,24	0,8112	ODN
Toplam	**183039**	**22279**	**84193**	-	-	-	-
Ortalama	**7958.22**	**968.65**	**3660.57**	**4629.22**	**2,16**	**0,7731**	-
Standart sapma	**4541.45**	**564.99**	**1877.10**	**2058.35**	**0,37**	**0,1535**	-

Tablo 4.2 Mahallelerdeki konut ve işyeri sayısına göre konut ağırlıklı (RDN), işyeri ağırlıklı (WDN) ve hem iş yeri hem konut (ODN) olan sınıfları

Sınıflar	Sınıf alt değeri	Sınıf üst değeri	Frekans	Mahalle Kategorisi
1	0,3114	0,5201	2	WDN
2	0,5201	0,8315	14	ODN
3	0,8315	1,1429	7	RDN
		Toplam	**23**	**-**

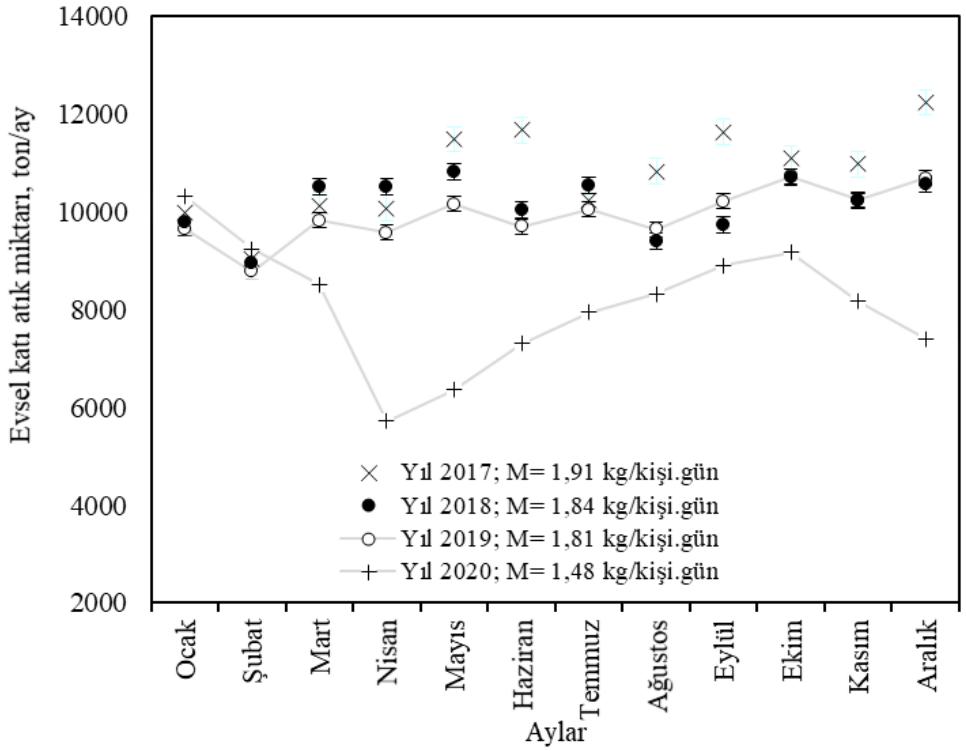
Bu çalışmada pandemi sürecinde yerleşik nüfus ve gün içerisinde misafir olarak gelen nüfus ile ilk etapta yerleşik nüfusun oluşturduğu kentsel katı atıklar belirlenerek toplama sistemi yeniden düzenlenmiştir. İstanbul için kişi başına düşen atık miktarı Çevre Durum Raporu'ndan 1,3 kg olarak elde edildi. Bu veriler ışığında 182649 nüfuslu Beşiktaş ilçesinin yıllık kentsel katı atık miktarının 86.670-ton olduğu hesaplanmıştır. Beşiktaş ilçesinde hacmi 0,77 m^3 olan konteynerler (galvanizli, plastik ve çok amaçlı konteynerler) kullanılarak toplanıyor. Beşiktaş İlçesi'nde toplanan KKA miktarının 2020 yılı için değişimi Şekil 4.5'te sunulmaktadır.



Şekil 4.4 Beşiktaş İlçesi'nde 2020 yılında toplanan katı atık miktarının haftalık değişimi [78].

Şekil 4.4 verisi incelendiğinde; en yüksek katı atık üretiminin olduğu Pazar günlerinin mart ayında (1336 ton), en yüksek katı atık üretiminin olduğu Pazartesi günlerinin mart ayında (1600 ton), en yüksek katı atık üretiminin olduğu salı günlerinin mart ayında (1557 ton), en yüksek katı atık üretiminin olduğu çarşamba günlerinin eylül ayında (1336 ton), en yüksek katı atık üretiminin olduğu perşembe günlerinin ekim ayında (1492 ton), en yüksek katı atık üretiminin olduğu cuma günlerinin ekim ayında (1336 ton) ve en yüksek katı atık üretiminin olduğu cumartesi günlerinin şubat ayında (1384 ton) olduğu anlaşılmaktadır.

Ayrıca Beşiktaş İlçesi'nde 2017'den 2020'ye kadar üretilen evsel katı atık miktarı ve birim katı atığın aylık değişimi Şekil 4.5'de verilmiştir.



Şekil 4.5 Beşiktaş İlçesi'nde 2017'den 2020'ye kadar üretilen kentsel katı atık miktarı ve birim katı atığın aylık değişimleri [78].

Şekil 4.5'den; aylık ortalama katı atık üretiminin en yüksek değerinin ocak ayında (12239 ton/ay), en düşük değerinin ise nisan ayında (5715 ton/ay) olduğu anlaşılmaktadır. Belediye araçlarıyla ortalama 12 ayda toplanan katı atık miktarının ise 10795 ton/ay olduğu görülmektedir. Kentsel katı atıkların biriktirildiği konteynerlerden sokak toplayıcılarının topladığı miktar burada yer almamaktadır. Kovid-19 salgını nedeniyle uygulanan sokağa çıkma yasağı nedeniyle en düşük atık toplama işlemi Nisan 2020'de gerçekleşmiştir. Kovid-19 salgını nedeniyle oluşan katı atık miktarı nedeniyle toplanan katı atık miktarı kütlesel olarak %43 azalmıştır. 2017-2020 yılları arasında birim katı atık üretiminin 1,48 ile 1,91 kg/kişi-gün arasında değiştiği görülmektedir.

4.2 Analitik Hiyerarşi Prosesi ile İlgili Materyal ve Yöntem

Karar vermeyi gerektiren çeşitli çağdaş problemler çoğu zaman birden fazla kriterden etkilenir. Bu tür problemlerin çözümünde kriterlerin değerlendirilmesi, alternatiflerin önceliklendirilmesi ve etkili kriterlere göre en iyi performansa sahip alternatifin seçilmesi amacıyla çok kriterli karar verme modelleri (MCDM)

kullanılmaktadır. Kullanıcı dostu bir yapıya sahip olan MCDM yöntemleri, atık tedarik zincirinde güvenilir araçlar olarak kabul edilmekte ve alternatif ayırma yöntemleri ve kriter ağırlıkları yöntemi olarak iki ana grupta değerlendirilmektedir [98, 99]. Alternatif sıralama yöntemlerine örnek olarak ideal çözüme benzerliğe göre tercih sırası tekniği (TOPSIS) [100], karmaşık orantısal değerlendirme (COPRAS) [101] ve alternatiflerin ölçümü ve uzlaşmacı çözüme göre sıralama (MARCOS) verilebilir [102]. Kriter ağırlıklandırma yöntemlerine örnek olarak, AHP [103,104], analitik ağ süreci (ANP) [105], ağırlık değerlendirme oranı analizi (SWARA) [106], en iyi en kötü yöntem (BWM) [107], tam tutarlılık yöntemi (FUCOM) [108] ve temel kriter yöntemi (BCM) [109, 110]. Kriter ağırlığını belirlemek için karar verici(ler), kriterleri ikili karşılaştırmalar yaparak değerlendirir. Bu yaklaşımın temel zorluğu, çok sayıda ikili karşılaştırma gerektirmesidir [110]. AHP, hiyerarşik bir yapıyı takip eden bir karar problemini analiz etmek için formüle edilmiş çok kriterli bir metodolojidir.

AHP yöntemi karmaşık karar problemlerinde, alternatiflerin ve kriterlerin ikili kıyaslanmaları sonucu kriter ağırlıklarının belirlenip alternatiflerin görece önem değerleri hesaplanarak sıralamalarının belirlenmesinde ve en iyi alternatifin seçilmesinde sıklıkla kullanılan MCDM yöntemlerindendir. AHP yöntemi 1980 yılında Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiştir [110].

AHP, bir karar problemini analiz etmek için formüle edilmiş çok kriterli bir metodolojiye sahip, karar vermeye yardımcı bir yöntem olarak kullanılır. AHP, karar vericinin yargısına dayalı olarak bir oran ölçeğinde belirli bir dizi alternatif için görece öncelikleri ölçmeyi amaçlar ve aynı zamanda karar vericinin sezgisel yargılarının önemine ve tutarlılığına vurgu yapar. Karar verme sürecinde alternatif çözümlerle yapılan karşılaştırmaların değerlendirilmesi karar verici, kararlarını bilgi ve deneyime dayandırdığı ve buna göre kararlar verdiği için AHP yaklaşımı, karar vericinin davranışıyla örtüşür. Bu yaklaşımın gücü, somut ve soyut faktörleri sistematik bir şekilde organize etmesi ve karar verme sorunlarına yapılandırılmış ancak görece basit bir çözüm sunmasıdır. Ek olarak, bir problemin mantıksal bir şekilde büyük ölçekten kademeli adımlarla daha küçük ölçeğe doğru ayrılarak, basit ikili karşılaştırma kararları yoluyla seçenekler arasında küçükten büyüğe bağlantı kurulabilir [71, 111, 112]. Bu tezde uygulanan AHP süreciyle ilgili akım şeması Şekil 4.7'de verilmiştir.

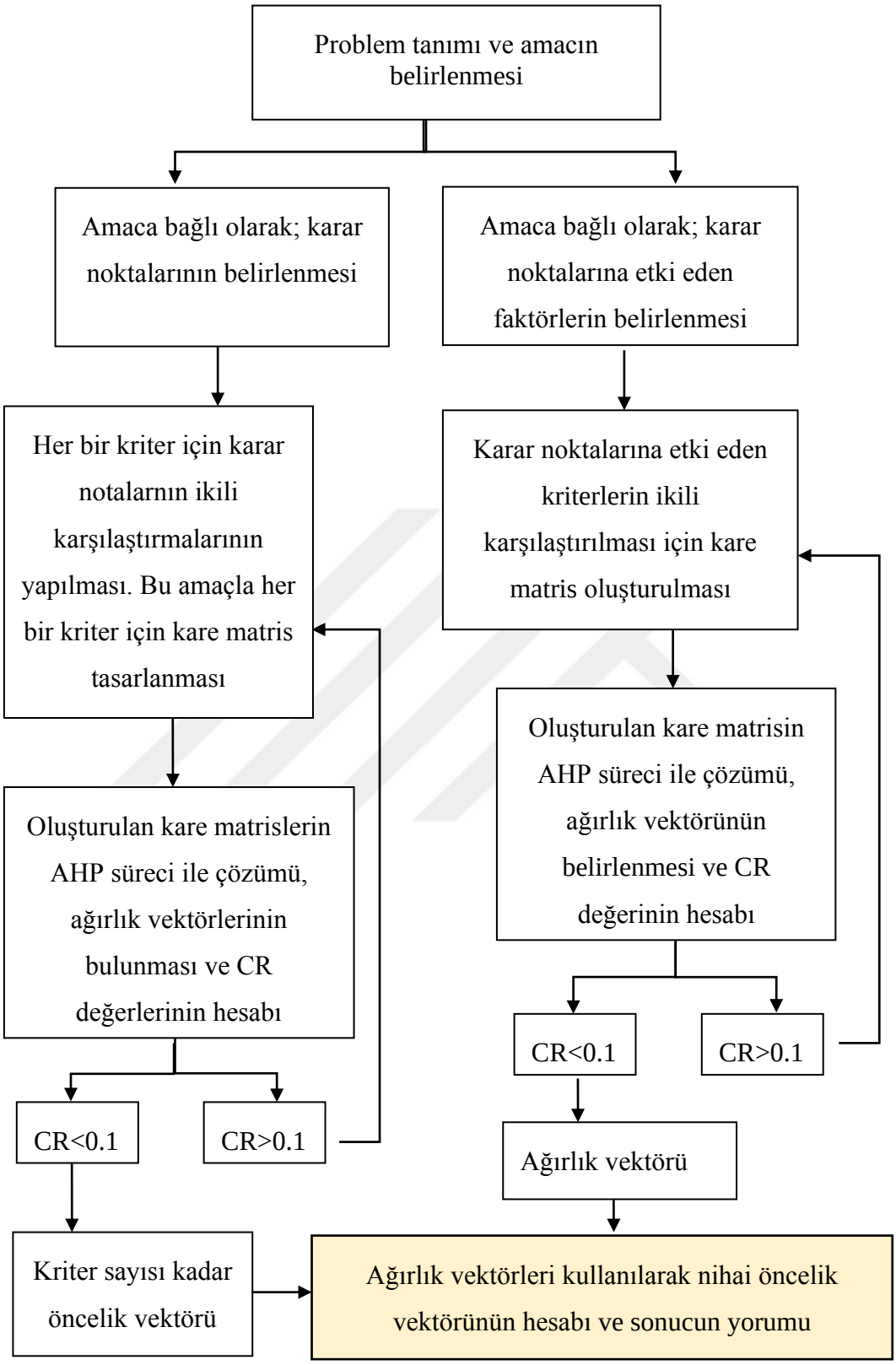
AHP ile karar vermede, ikili karşılaştırma yaparken Saaty (1980) tarafından önerilen ve Tablo 4.3'te verilen standart tercih ölçekleri kullanılmaktadır.

Tablo 4.3 AHP standart tercih tablosu

Önem Değerleri	Değer Tanımları	Açıklama
1	Eşit Önemde	Her iki alternatifin eşit önem durumu.
3	Biraz Daha Önemli (Az Üstünlük)	Tecrübe ve yargıya göre ilk alternatifin ikinciye göre orta derecede üstünlük kabulü.
5	Oldukça Önemli (Fazla Üstünlük)	Tecrübe ve yargıya göre ilk alternatifin ikinciden fazlaca üstünlük kabul durumu.
7	Çok Önemli (Çok Üstünlük)	İlk alternatifin ikinciye göre güçlü bir şekilde tercih edilmesi ve baskınlığı durumu.
9	Son Derece Önemli (Kesin Üstünlük)	İlk alternatifin ikinciye göre tercih kanıtlarının çok büyük güvenilirlilik durumu.
2,4,6,8	Ara Değerler (Uzlaşma Değerleri)	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere ardışık yargı arasına düşen değerler.

Karşılaştırma, her karar öğesi için gerçekleştirilir. Bu süreçte hangi alternatifin ve özelliğin daha çok tercih edildiğini bilmek önemlidir. AHP ile karar verme sürecinde yapılacak işlemlerde ikili karşılaştırılan parametre sayısına (n) bağlı olarak oluşturulmuş Tablo 4.4'te verilen ortalama rasgele tutarlılık değerlerinin de kullanılması gerekmektedir [112, 113].

Kriterlerin belirlenmesi aşamasında konunun uzmanlarının görüşünün alınması ve uzman görüşlerine göre ikili matrislerin yapılması aşamasında AHP için değerlendirme yapabilecekleri döküman kendilerine iletilmiş ve uzmanlardan gelen dönüşler doğrultusunda matrislere göre öncelik vektörünün hesaplanması yapılmıştır.



Şekil 4.6 Tezde uygulanan AHP süreci

Tablo 4.4 Ortalama rasgele tutarlılık değerleri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

4.3 CBS ile İlgili Materyal ve Yöntem

Coğrafi bilgi sistemi yeryüzünde mevcut olan ve sonradan olusan her türlü veriyi elde etmeye, depolamaya, haritalamaya ve analiz etmeye yarayan bilgisayar tabanlı bir sistem olup; veri girişi, veri toplama ve saklama, veri idaresi ve analizi, sonuçların görüntülenmesi ve çıktı alınması (harita, raporlar, vs.) sağlamaktadır [113].

CBS bir alfasayısal veritabanında mevcut olan bilgiyi her coğrafi kodlu öğeyle ilişkilendiren, uzayla ilgili verileri üretebilen yönetebilen ve analiz edebilen güçlü bir bilgisayarlı araçtır [114].

CBS, yeryüzü referanslı ve konuma dayalı gözlemlerle elde edilen, grafik ve grafik olmayan bilgilerin kullanılması ile, bilgileri toplayan ve depolayan, dijital ortamda verileri işleyip, analizini yapıp daha sonrasında da yeni verilere ulaşmamızı sağlayan, planlama, yönetim ve karar aşamasında destek amaçlı kullanılan ve tüm bunları görüntüleme imkanı veren bir yöntem bilimdir. İnsan, zaman, mekan araştırmaları ile ilgilenen tüm meslek grupları, bilim dalları ve firma araştırmalarında kullanılabilmektedir [115, 116].

4.3.1 CBS Yapısının Katı Atık Yönetiminde Kullanılması

Geniş kapsamlı olarak uygulanan Coğrafi Bilgi Sistemleri "karmaşık planlama ve yönetim sorunlarının çözülebilmesi için tasarlanan ve mekândaki konumu belirlenmiş verilerin toplanması, yönetilmesi, işlenmesi, analiz edilmesi ve karar verme süreci için modellenmesi ve görüntülenebilmesini sağlayan donanım, yazılım ve yöntemler sistemi" olarak tanımlanmıştır [117]. Güzergâh optimizasyonu işlemleriyle hem atıklardaki kalite kayıplarının hem de egzoz gazı emisyonlarının azaltılması mümkündür [118, 119].

Ayrıca atık yönetimi süreçlerinin planlanmasında coğrafi bilgi sistemleri (CBS) araçlarının [120, 121, 122] kullanılması, kullanıcı dostu ve güncellenebilir olması nedeniyle atık yönetimi süreçlerinin SAY kapsamında yürütülmesine katkı sağlayabilir.

Geçmişte toplama rotalarınının tasarımı manuel olarak yapılıyordu gerçek hayattaki atık toplama problemine göre atıklar tanımlanmış bir yol ağının caddeler boyunca konteynerler bulunmaktadır konteynerler, kapasitesi yüksek kompaktörlü kamyonlardan oluşan bir araç filosu tarafından toplanmalıdır.

Her bir konteynerdeki atığın kütlesi ve hacmi hakkında net bir bilgi mevcut değildir. Belediye katı atık miktarı son derece değişkendir ve atık birikimi, bir konteyneri paylaşan kişi sayısı, kişi başına düşen gelir, yaşam tarzı, mevsimsel koşullar gibi çeşitli faktörlere bağlıdır.

Literatürde araç filosunun büyüklüğü genellikle optimizasyon problemlerinin bir parçasıdır ancak uygulamada bir atık toplama sisteminin genellikle belirli bir sabit sayıda aracı vardır ve bunları mümkün olduğu kadar etkin bir şekilde kullanmaktadır şu ana kadar sınırlı sayıda araç içeren toplama sistemi için az sayıda araştırma yapıldığı görülmüştür.

Literatürde incelenen modellerle yapılan çalışmalarda genellikle ambalaj atıklarının kaynakta ayrı toplanması için yerleştirilen konteynerler model üzerinden belli metreler (75-100-150 m.) vb. girilerek potansiyel yerler belirlenmektedir.

Her sokak bir öznitelik tablosunda uzunluk, ortalama toplama aracı hızı, sokak genişliği, trafik yönü, araç erişimi, konteyner hacmi gibi değişkenler dizisine göre tanımlandı. Hesaplanan atık yüklerine göre halihazırda yerleştirilmiş olan konteynerlerin her gün toplanması planlanmıştır. VRP çözücü konteynerleri birbirine bağlayan çizgiler çizer ve toplamak için rotayı hesaplar.

Bunlardan biri, yönlendirme, seyahat yönlendirmeleri, en yakın tesis ve hizmet alanı analizi ile ağ tabanlı uzamsal analiz sağlayan güçlü bir uzantı olan ArcGIS Network Analyst'tir. ArcGIS Network Analyst, kullanıcıların dönüş kısıtlamaları, hız limitleri, yükseklik kısıtlamaları dahil gerçekçi ağ koşullarını dinamik olarak modellemesini sağlar.

Arc GIS network analyst, yol ağlarının gerçekçi bir biçimde modellenmesi ve bu modeller üzerinde güzergâh analizleri gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. En kısa yol, en yakın hizmetin bulunması maliyet analizleri ve filo yönetimi analizi ile çoklu rota planlaması yapılır. Duraklar arası optimum rota oluşturulur.

En iyi rota tanımlaması en hızlı, en kısa, en düşük maliyetli vb olarak kullanıcı için farklılık gösterebilir. Bu nedenle en iyi rota en az dirence sahip rota olarak tanımlanabilir.

Trabzon merkez belediyesindeki katı atıkların toplanması doktora tezi kapsamında incelenmiş ve 39 mahallede optimizasyonu yapılmıştır. Bu çalışmada optimizasyon çalışmalarının katı atık işlemlerinde kullanılması durumunda maliyetlerinin yol olarak %12, zaman olarak %22 ve toplama taşımada %34 tasarruf sağlanacağını ortaya koyarak ülkemizde de kullanılmaya başlanmış, uygulamaya geçen yerler olmuştur [123].

Geçtiğimiz yıllarda, atık toplamayı optimize etmek ve sistem maliyetlerini en aza indirmek için coğrafi bilgi sistemi (GIS), ağ analizi, araç rotalama problemi (VRP) başarıyla uygulanmıştır [124]. Yukarıda belirtilen GIS çalışmalarının çoğu, genel sistem maliyetlerini düşürme yeteneklerine dair kanıtlar sunmaktadır.

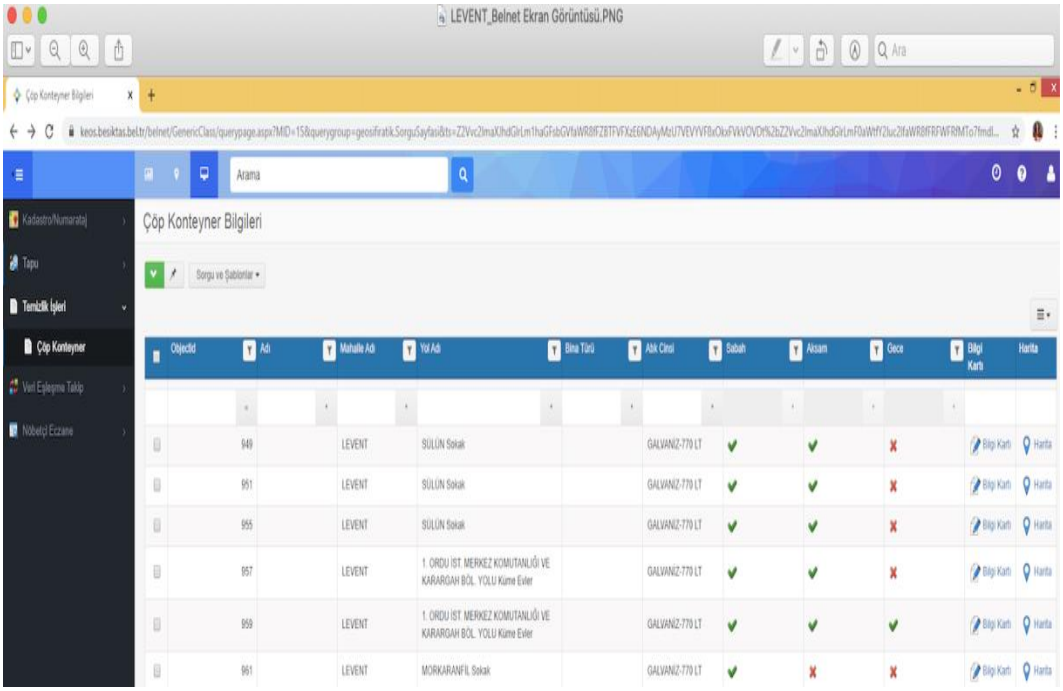
Literatürde bildirilen CBS kullanan VRP'lerin girdileri tipik olarak malzeme parametrelerini (atık hacmi ve yoğunluğu, vb.) ve diğer jeo-mekansal parametreleri (yol ağı, hız sınırı, yön kısıtlamaları, vb.) içerir. CBS çalışmalarında her bir toplama noktasındaki atık hacmi, genellikle ortalama atık üretim oranları ile atık bileşimi ve yoğunluğu temel alınarak hesaplanır [125, 126, 127].

Maimoun ve ark. (2016), çöp toplama sıklığının azaltılmasının ekonominin yanı sıra çevre için de faydalar getirdiğini belirtmiştir. Toplama sıklığının kamyon güzergahları üzerindeki etkileri Zbib ve Wøhl (2019) tarafından da incelenmiştir. Atık toplama sıklığının kamyonun seyahat mesafesini önemli ölçüde etkilediğini bulmuşlardır (iki bölmeli bir kamyonun toplama sıklığını iki haftada bir toplamadan aylık toplamaya değiştirirken seyahat mesafelerinde %25'e varan fark elde edilmiştir [127, 128]. Herhangi bir hizmet alanında, toplama noktalarındaki atık hacmi ve atık yoğunluğu toplama sıklığı ile dolaylı olarak ilişkilidir.

Beşiktaş Belediyesi'nden temin edilen 1/1000 ölçekli 79 Paftadan oluşan hali hazır haritaların sayısallaştırılması, paftaların birleştirilmesi, yolların orta noktalarının belirlenmesi, yolların tek ya da çift yönlü olarak güncellenmesi, mahalle sınırlarının belirlenmesi ve mahalle alanlarının tespiti işlemleri yapılmıştır. Kullanılan sayısal haritaların projeksiyonu Universal Transvers Mercator 3º Datum International Terrestrial Frame 96 (ITRF 96) Dilim 30º olarak ayarlanmıştır.

Sayısal yol haritası üzerinde sorgulamaları yaparken kullanmak üzere 1/1000 ölçekli Beşiktaş İlçesi hali hazır haritaları altlık olarak kullanılarak Net Cad 8.0 GIS üzerinde yeni haritalar tabakalar hazırlanmıştır. Sayısal yol haritalarına ilave olarak hazırlanan tabakalarda yol eğimi, konteyner noktaları, bina sayısı, hane halkı sayısı, cadde ve sokaklar tek veya çift yönlü olmaları şeklinde sıralanabilir.

Cadde ve sokaklarda konteyner tespiti yapılmıştır, Netcad 8.0 harita programı kullanılarak iki boyutlu sayısallaştırılmış Beşiktaş İlçe haritası ile tespit edilmiştir. Emlak İstimlak Müdürlüğü'nden temin edilen mevcut haritadaki adrese gidilerek başlanmıştır. Konteyner tipi, vardiya ve/veya alınan vardiyalar bilgi kartına işlenmiştir, konteynerler haritaya kaydedilmiştir. Bu sayede cadde ve cadde atık yükünün bulunması sağlanmıştır.



Şekil 4.7 Netcad programı ile ilçe haritasına entegre edilen konteyner bilgilerinin sistemde görünümü

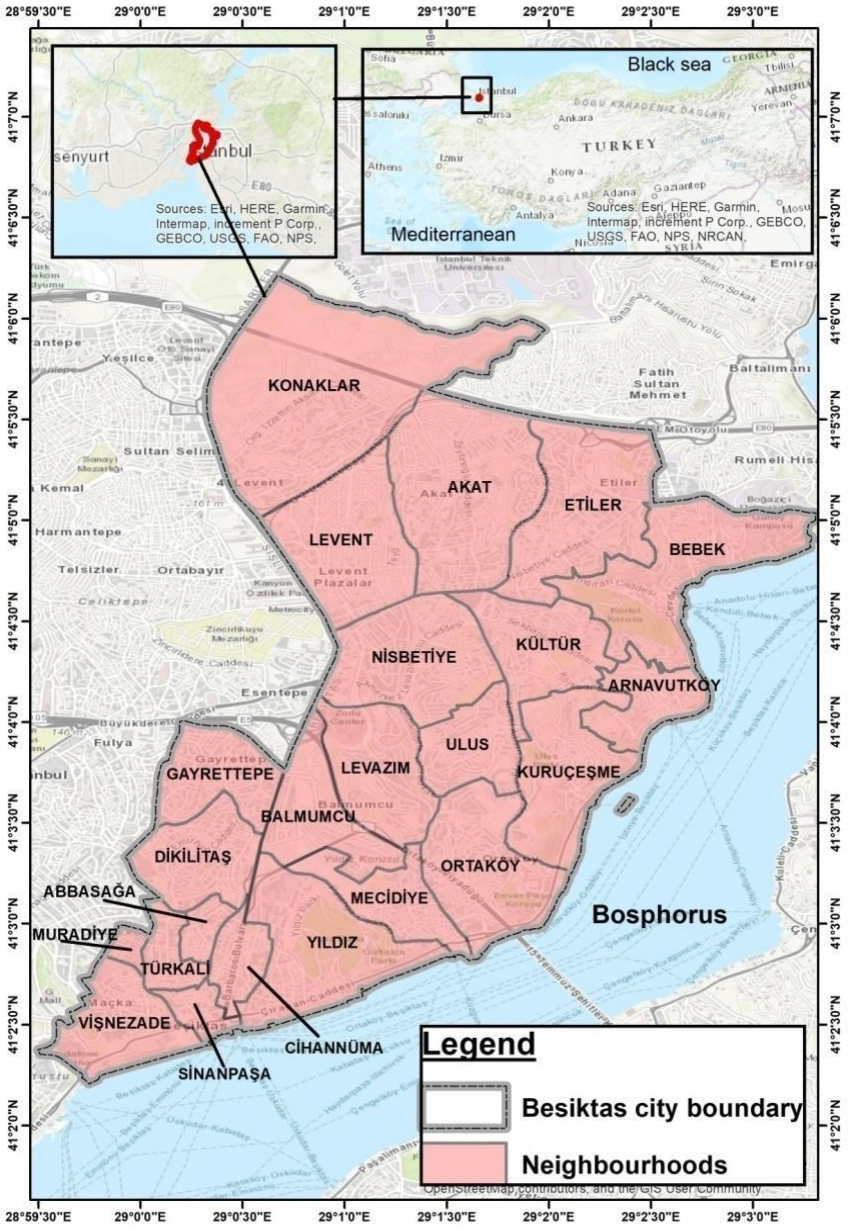
Mevcut yerlerin koordinatları kullanılarak mahallenin öznitelik bilgilerine göre atık yüküne bağlı olarak konteynerler gerekli sayıya göre sahada inceleme yapılarak yerleri belirlenmiştir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nden Beşiktaş İlçe haritası ESRI Arc GIS programında temin edilmiştir, ESRI ArcGIS 10.5 bu çalışmada kullanılan CBS yazılım uygulamasıdır. Network Analyst modülünün VRP (Araç rotalama problemi) ile rotalar oluşturuldu.

Çöp kamyonları güzergahları analiz edildi. Birincil verilerin sayısallaştırılmasından sonra, bir ağ analizi görevi gerçekleştirildi. Bu görev ArcGIS yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Rota izlemede ve ayrıca iki veya daha fazla yer arasında en kısa yolu oluşturmada yardımcı olur.

Konteynerleri toplamak için gereken süreyi tespit etmek ve ilk noktadan son noktaya kadar yolu optimize etmek mümkün olmuştur. Öncelikle Arc GIS network analyst modülü aracılığıyla bir sokak ağı oluşturulmuştur, ikincil olarak konteyner noktalarından organik, ambalaj ve diğer atıklar olarak oluşan 3 farklı atığın konteyner konumlarını optimize edilmiştir ve son olarak üç farklı atık türü için farklı kamyonlarla atıkların toplanması için optimum rota oluşturulmuştur.

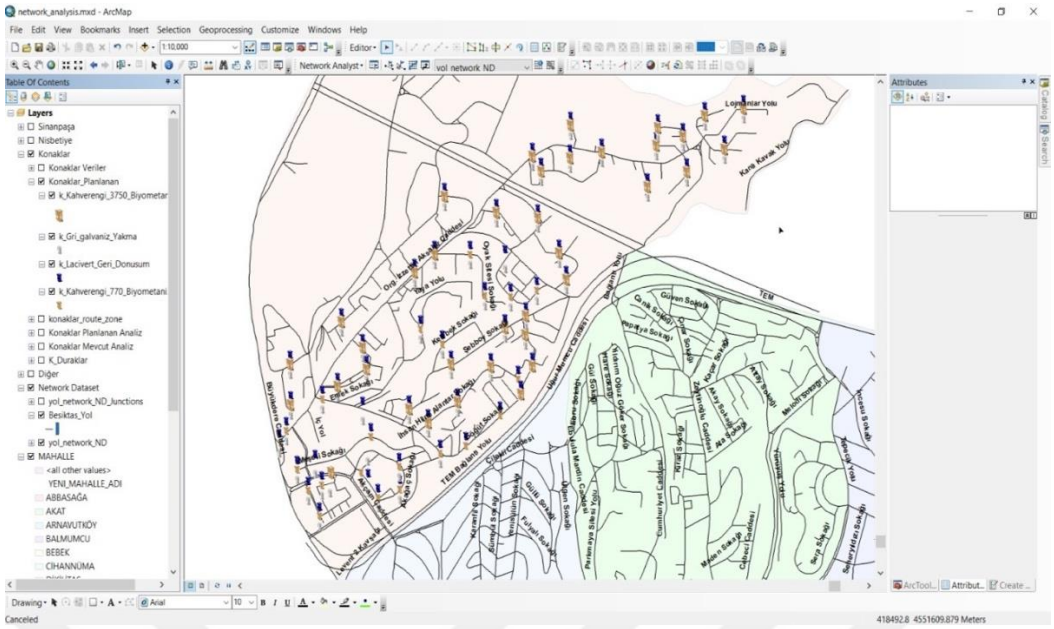
Kaynağında organik, ambalaj ve diğer atıklar olmak üzere farklı atık türünün ayrı toplanmasını, konteynerlerinin sayısının toplama süresini, yakıt tüketimini optimize etmeyi en kısa rotayı en iyi rota olarak seçmiştir.

Çalışma alanındaki yerleşim ve nüfus yoğunluğu dikkate alınarak konteyner lokasyonları yerlerine göre sayısal haritalara işlenmiştir. Konteynerlerin coğrafi koordinatları ve hangi mahalle sınırları içerisinde sokağın veya caddenin hangi noktasında olduğu sayısal haritalar üzerinde sorgulanabilmekte ve coğrafi veriler kullanılarak değişiklikler yapılabilmektedir.

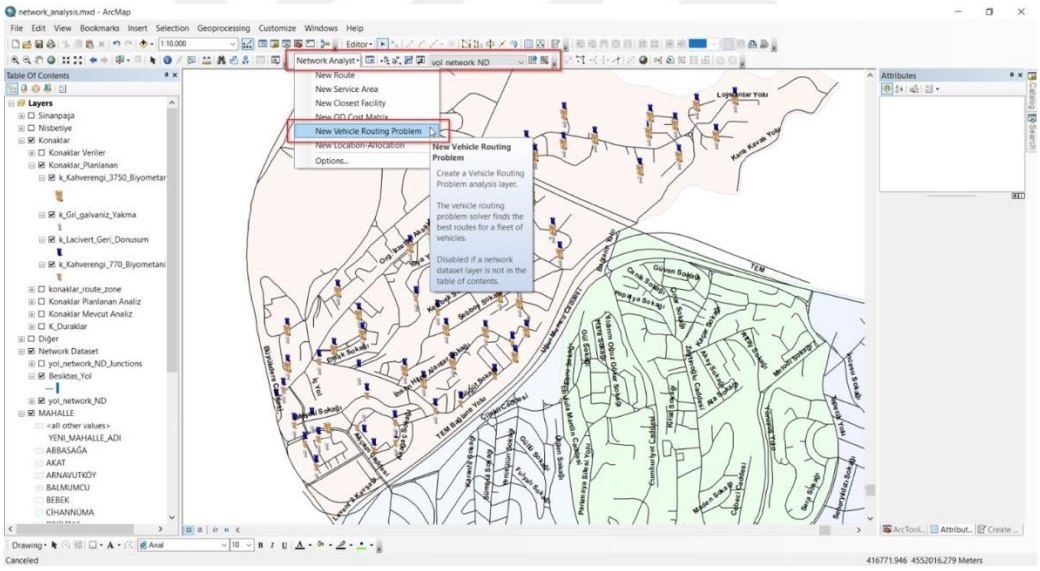


Harita 4.1 Beşiktaş İlçesi'nin Arc GIS 10.5 ile mahallelerin haritası

Yazılım olarak ArcGIS 10.5 kullanılmıştır. Coğrafi verileri oluşturan, görüntüleyen ve analiz eden, atık toplama süreci için araç rotalama problemlerini çözen ve sonuçları gösteren bir yazılım programıdır. ArcGIS Ağ Analisti Fonksiyonu, her rotayla ilişkili araçların seyahat mesafeleri ve çalışma sürelerine göre en uygun rotaları belirlemek için kullanılır. CBS, belediye atık toplama hizmetlerinin optimize edilmesi de dahil olmak üzere birçok atık yönetimi çalışmasında kullanılmıştır [129-132].



Harita 4.2 Beşiktaş İlçesi mahalleleri genel katmanlar üzerinden Network analyst modülüne geçiş



Harita 4.3 Beşiktaş İlçesi mahalleleri genel katmanlar üzerinden Network analyst modülüne geçiş 2

ArcGIS Desktop 10.5, CBS destekli bir yöntemdir. Rota, servis alanı ve en yakın tesis olarak ağ sorununu çözen ArcGIS Network Analyst gibi OD Maliyet Matrisi çözücüleri, VRP veya yer tahsisi sorunu birçok uzantıya sahiptir. Yönlendirme çözücüleri dijkstra algoritması verilerine ve çözülmüş işlemlere dayanmaktadır. VRP çözümleyicisi, ağ boyunca tüm toplama düğümleri (toplama alanı) ve depo

konumları arasındaki en kısa yol maliyetlerinin başlangıç, varış matrisini oluşturarak başlar.

Algoritma, bu maliyet matrisini kullanarak düğümleri birer birer en uygun rotaya yerleştirerek bir başlangıç çözümü oluşturur. Başlangıç çözümü daha sonra her rotadaki düğümlerin yeniden sıralanmasıyla, düğümlerin bir rotadan diğerine taşınmasıyla ve rotalar arasında düğümlerin değiştirilmesiyle geliştirilir. CBS kapsamındaki çalışmalar 3 aşamada gerçekleştirilmiştir:

Bu platformda SAY çalışmalarında kullanılabilecek yol, konteyner, nüfus, mahalle özellikleri gibi veriler ArcGIS 10.5'e aktarılmıştır (bkz. Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7). Bu çalışmada kullanılan sayısallaştırma haritasının izdüşümü Türkiye koordinat sistemine (GCS_WGS_84) göre ayarlanmıştır. CBS kapsamındaki çalışmalar üç aşamada gerçekleştirildi: 1. ArcGIS 10.5 kullanılarak cadde ve cadde özellikleri (genişlik, yön, eğim vb.), caddelerdeki konteyner özellikleri (konumu, türü, sayısı ve hacmi vb.) sokaktaki birim katı atık miktarı gibi mevcut veriler toplanmıştır, 2. Sıfır atık yönetimi tabanlı herhangi bir mahallede planlanan kentsel katı atık yönetimi sağlanmıştır. Toplama sistemi altyapısına uygun konteyner konumu, özellikleri ve türlerinin ArcGIS platformunda güncellenmesi. 3. ArcGIS ağ analisti fonksiyonunu kullanarak karayolu ağındaki belirli kapasitelere sahip konteynerlerin belirli araçlarla toplama sürecinin optimizasyonu yapıldı.

Haritaların hazırlanmasında kullanılan verilerinin, CBS modüllerinin kullanabileceği formatı İstanbul Büyükşehir Belediyesi Harita Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Şekil 4.6'da ilgili programa ait görsel verilmiştir. Ağ veri kümeleri oluşturularak ve ArcGIS'teki ağ analisti uzantısı kullanılarak optimum yol analizi yapıldı. Mevcut optimizasyonu yapabilmek için en az maliyetli yolun bulunmasına yönelik Arc Map kullanıldı [117].

4.4 Sıfır Atık Yönetimi ile İlgili Materyal Metod

Tezin bu bölümünde İstanbul İli Beşiktaş İlçesi'nde sahada yapılan tespitler göz önüne alınarak elde edilen veriler değerlendirilerek katı atık oluşumunun sıfır atık yaklaşımına göre yeniden konumlandırılması toplama ve taşıma süreçlerinin yeni bir yaklaşımla programlanması, değerlendirilebilir atıkların düzenli depolama

sahasına gönderilmesinin engellenmesi hedeflemiştir. Beşiktaş İlçesi katı atık karakterizasyonu Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5 Beşiktaş İlçesi'nin Katı Atık Karakterizasyonu

i	Katı Atık Bileşenleri	Katı Atığın Kütlesel Oranları	Katı Atık Bileşenlerinin Özgül Ağırlığı, kg/m³
1	Kağıt ve karton	27.55±3.01	110±108
2	Cam	4.65±0.02	194±381
3	Plastikler	13.08±0.57	100±106
4	Metaller	1.19±0.22	540±1216
-	$P_{rec.4\ (ilk\ dört\ bileşen)}$	46.47	-
-	İlk dört bileşen (rec.4)	-	126
5	Yiyecek atıkları	34.95±2.13	825±703
6	Elektrikli&elektronik atıklar	0.14±0.16	270±209
7	Evsel tehlikeli atıklar	1.24±0.19	220±109
8	Tekstil atıkları	1.48±0.03	185±119
9	Çocuk bezi	1.16±0.23	400±226
10	Diğer organikler	12.80±0.06	300±160
11	Diğer inorganikler	1.76±0.09	810±809
-	$P_{diğer.6(diğer\ altı\ bileşen)}$	53.53	-
-	Diğer altı bileşen	-	656

Tablo 4.5'te görüldüğü gibi katı atık bileşenlerinden dördünün (metal, karton ve kağıt, cam ve plastik veya rec.4) bir kapta, organik atıkların diğer kapta ve geri kalan 6 bileşenin (tekstil vb.) ise başka bir konteynerde toplanması (Türkiye'deki sıfır atık yönetmeliğinin minimum gerekliliklerinden biridir) öngörülmektedir. Bu çalışmadaki en önemli süreçlerden biri, farklı özgül ağırlıklara sahip 11 katı atık bileşeni için özgül ağırlığın belirlenmesidir. Sıfır atık yönetimi kapsamında minimum KKA gereksinimi sürecinde kullanılması planlanan 0.77 m^3 hacimli konteyner ihtiyacının belirlenmesi amacıyla [68], seçilen atık bileşeninin toplam kütle oranı ve atık bileşenlerinin toplanmaya yönelik ortalama özgül ağırlıkları sırasıyla denklem 4.4 ve denklem 4.5 kullanılarak hesaplanmıştır [78].

$$P_c = \sum_{i=1}^{n} p_i \quad (4.4)$$

$$\gamma_c = \frac{\sum_{i=1}^{n} p_i \gamma_i}{\sum_{i=1}^{n} p_i} \quad (4.5)$$

Pc, seçilen atık bileşenin toplam kütle fraksiyonudur, %

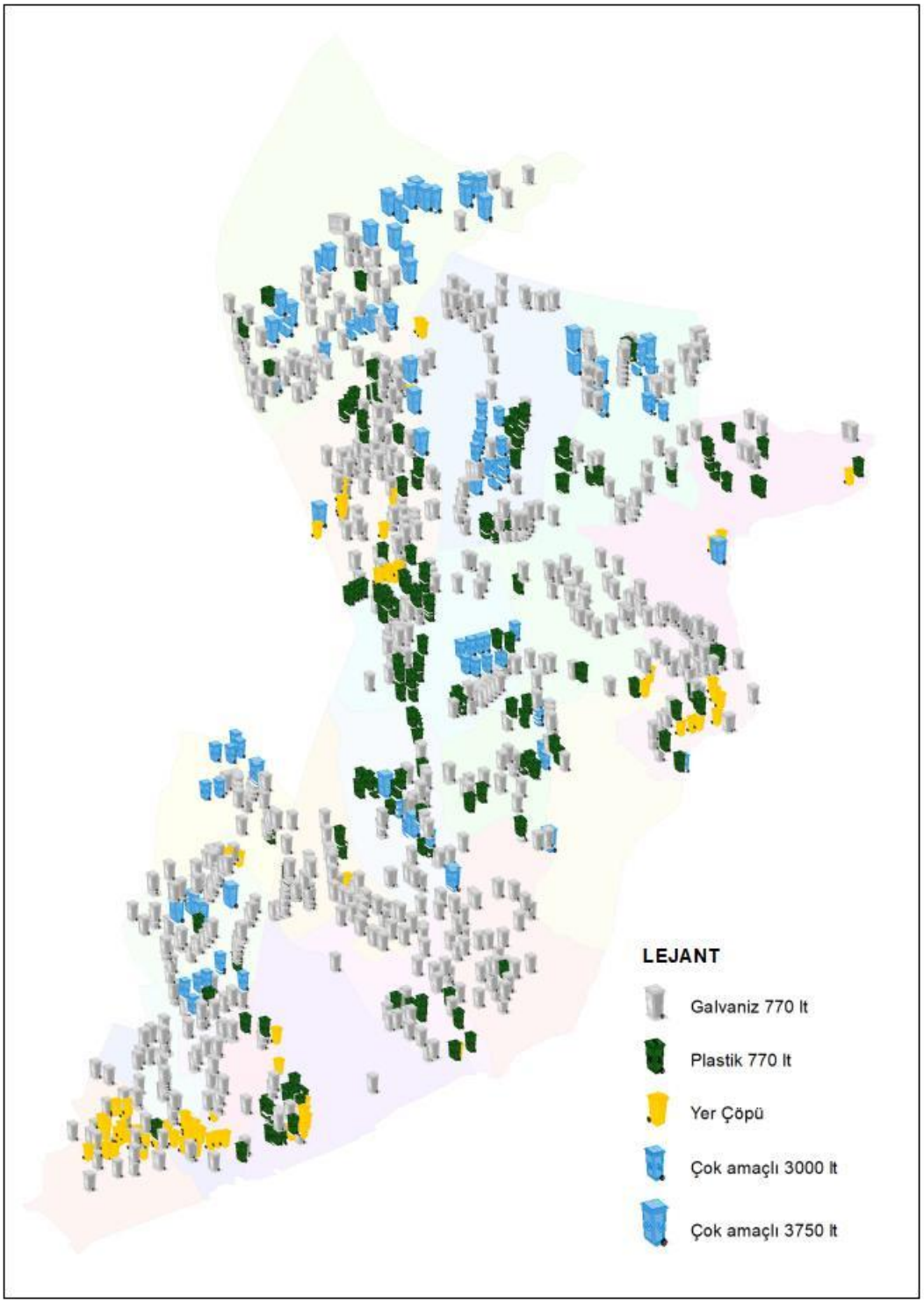
γ_c seçilen atık bileşeninin ortalama özgül ağırlığıdır, kg/m^3

p_i, herhangi bir i KKA bileşeninin kütlesel oranıdır, %

γi herhangi bir i KKA bileşeninin özgül ağırlığıdır, kg/m^3

i, i'inci KKA bileşenidir (Tablo 4.5'in ilk sütunu. i=1, kağıt ve kartonu temsil eder, i=5, organik mutfak atıklarını temsil eder, vb.).

Bu çalışmada; Beşiktaş İlçesi'nde kentsel katı atıkların toplanmasından sorumlu olan Beşiktaş Belediyesi'nin ev ve işyerlerinden kaynaklanan katı atık toplama noktaları ve atık miktarlarını içeren bir veri tabanı oluşturuldu. Mevcut katı atık toplama araçlarının turları incelenerek, atıkların en kısa sürede, sıfır atık yönetimi Beşiktaş Belediyesi'nce yönetmeliğe uygun olarak halen etkin bir şekilde revize edilmektedir. Çalışma sahasındaki mevcut konteyner noktaları ve özellikleri ArcMap program görseli Harita 4.4'da verilmiştir.

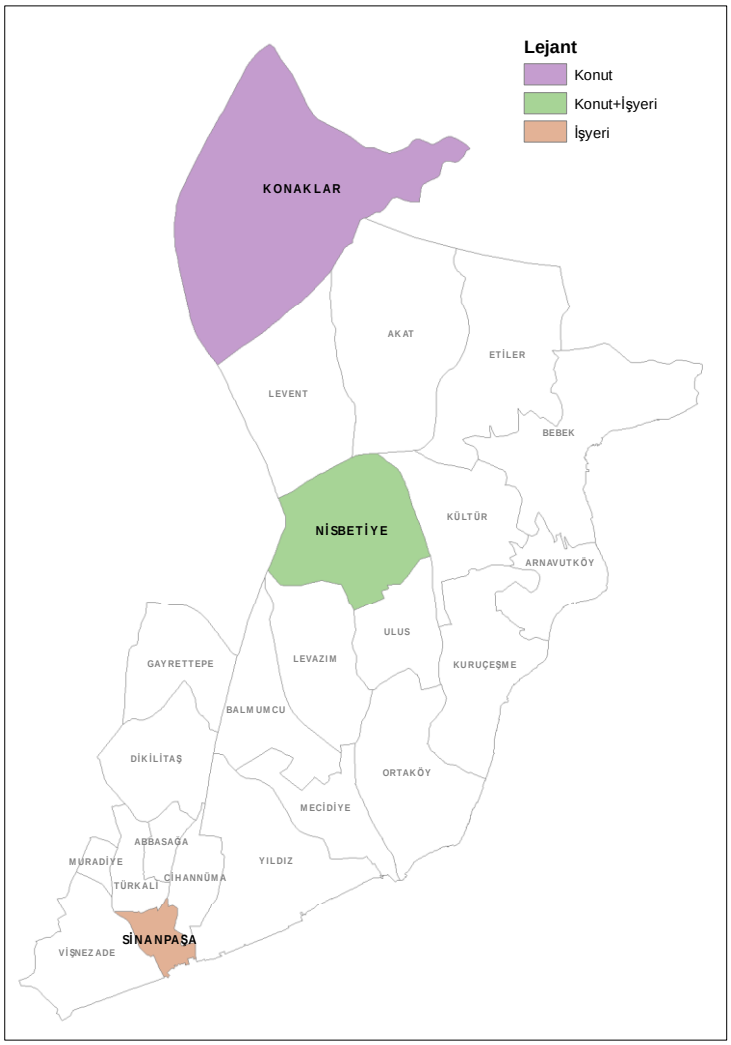


Harita 4.4 Beşiktaş İlçesi Mevcut Konteyner Yerleri ArcMap Görünümü

Sayısal harita çalışma için önemli bir materyaldir. Hazırlanan katmanlar dijital yol, park, konteyner, bina ve mahalle olarak oluşturulmuştur.

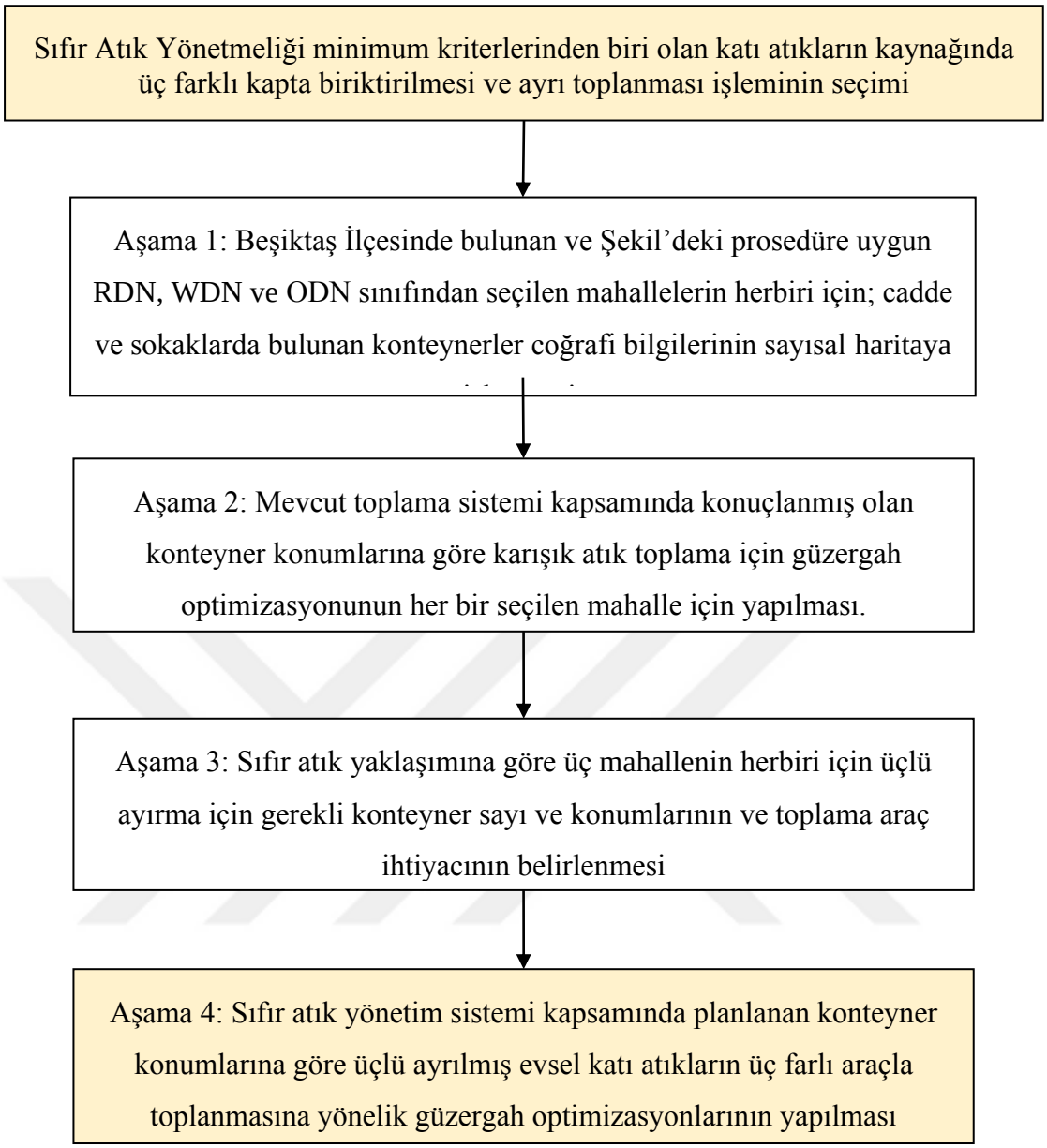
2019 yılının son çeyreğinde saha çalışması gerçekleştirilerek cadde ve sokaklarda bulunan tüm konteynerlerin yeri tespit edilmiş olup NetCAD programında konteynerin bulunduğu yer cadde, sokak ve numarataj bilgilerine göre haritaya işlenmiştir. Aynı zamanda evsel katı atıkların toplamasını yapan çöp kamyonlarının şoförlerine verilen çizelgeler doğrultusunda araçların rotaları ve atık yüklerinin sağlaması yapılmaya çalışılmıştır. Sahada çöp konteynerlerinin yerleri belirlenirken aynı zamanda çöp konteyneri atık yükleri takip edilerek yaklaşık olarak belirlenmiş ve kaydedilmiştir. Atık karakterizasyonunun mahallelere göre değişkenlik göstermesinden sokak ve cadde başına düşen nüfus ve çöp toplama sürecinde 2019 yılı verilerine göre analiz edilen mevcut sistem verileri ve belediyenin saha gözlem verileri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Sahadan elde edinilen bilgiler ışığında ortalama bir dolu konteyner atığın 150 kg olduğu kabul edilerek doluluk oranlarına göre sokak ve cadde atık yükleri hesaplanmıştır. Bunun yanı sıra sıfır atık yaklaşımına göre ambalaj atıkları, organik atık, diğer atık gibi atık türlerinin toplanması için konteyner sayısı, yerleşimi gibi hususlar da program veri yapısında yeralmaktadır.

Bu çalışmada; SA Yönetmeliği minimum gerekliliklerini sağlamak amacıyla, Beşiktaş İlçesi'nin konut yoğunluğuna göre oluşturulan mahalle gruplarının herbirinden birer örnek mahalle seçilerek yapılmıştır. Konut yoğun mahalle (RDN) Konaklar, işyeri yoğun mahalle olarak (WDN) Sinanpaşa ve diğer yoğun mahalle (ODN) olarak ise Nisbetiye seçilmiştir. SAY minimum kriterlerinden birini karşılamak üzere, konut yoğunluğuna bağlı olarak oluşturulan model kapsamında seçilen mahallerle ilgili görsel Harita 4.5'te verilmiştir.



Harita 4.5 Beşiktaş İlçesi'nde konut yoğunluğuna bağlı olarak oluşturulan mahalle sınıflarından seçilen üçünün konumu

Sıfır atık çalışmaları kapsamında yapılan işlerle ilgili akım şeması Şekil 4.8'de verilmişitr.



Şekil 4.8 Sıfır atık yönetim sistemi işlem aşamları

Sıfır atık yönetim sistemi ile ilgili Şekil 4.8'de verilen işlem aşamaları ile ilgili detaylı açıklamalar burada verilmiştir:

Aşama 1: Sayısallaştırmada amaç; 1/1000 ölçekli paftalardan müteşekkil halihazır haritaların sayısallaştırılması, paftaların birleştirilmesi, yol orta noktalarının belirlenmesi, yolların çift ya da tek yönlü oluşlarının güncellenmesi, mahalle sınırlarının belirlenmesi, mahalle alanlarının tespitidir. Belediye atık yönetimi için gerekli parametreleri içermektedir.

ArcGIS Network Analyst, kullanıcıların günün farklı saatlerinde dönüş kısıtlamaları, hız sınırları, yükseklik kısıtlamaları ve trafik koşulları da dahil olmak üzere gerçekçi ağ koşullarını dinamik olarak modellenmesini sağlar. Sürüş zamanı analizi, noktadan noktaya yönlendirme ve rota yönleri yürütmek için bile kullanılabilir. Cadde ve sokak özellikleri, genişlik, yön, eğim vb. bilgiler, her sokak ve caddenin öznitelik tablosuna değişken olarak tanımlanmıştır. Cadde ve sokaklarda bulunan konteynerlerin konumları belirlenmiştir. Atık üretimi(kg/kişi-gün), atık içeriği konteynerdeki atık miktarı, cadde ve sokağa düşen atık yoğunluğu verileri kullanılmıştır. İncelenen alandaki belediyenin kaynakta ayırmasını iyileştirmek için en uygun modeli belirlemek için bir CBS'nin kullanıldığı bir model önermektedir. Konteyner sayısı, yerleştirilmesi ve farklı atık fraksiyonları için yerlerin yanı sıra organik madde, ambalaj atıkları ve geri kalan atık fraksiyonu kaplarını toplamak için daha kısa bir yolun tasarımı gibi hususları içerir.

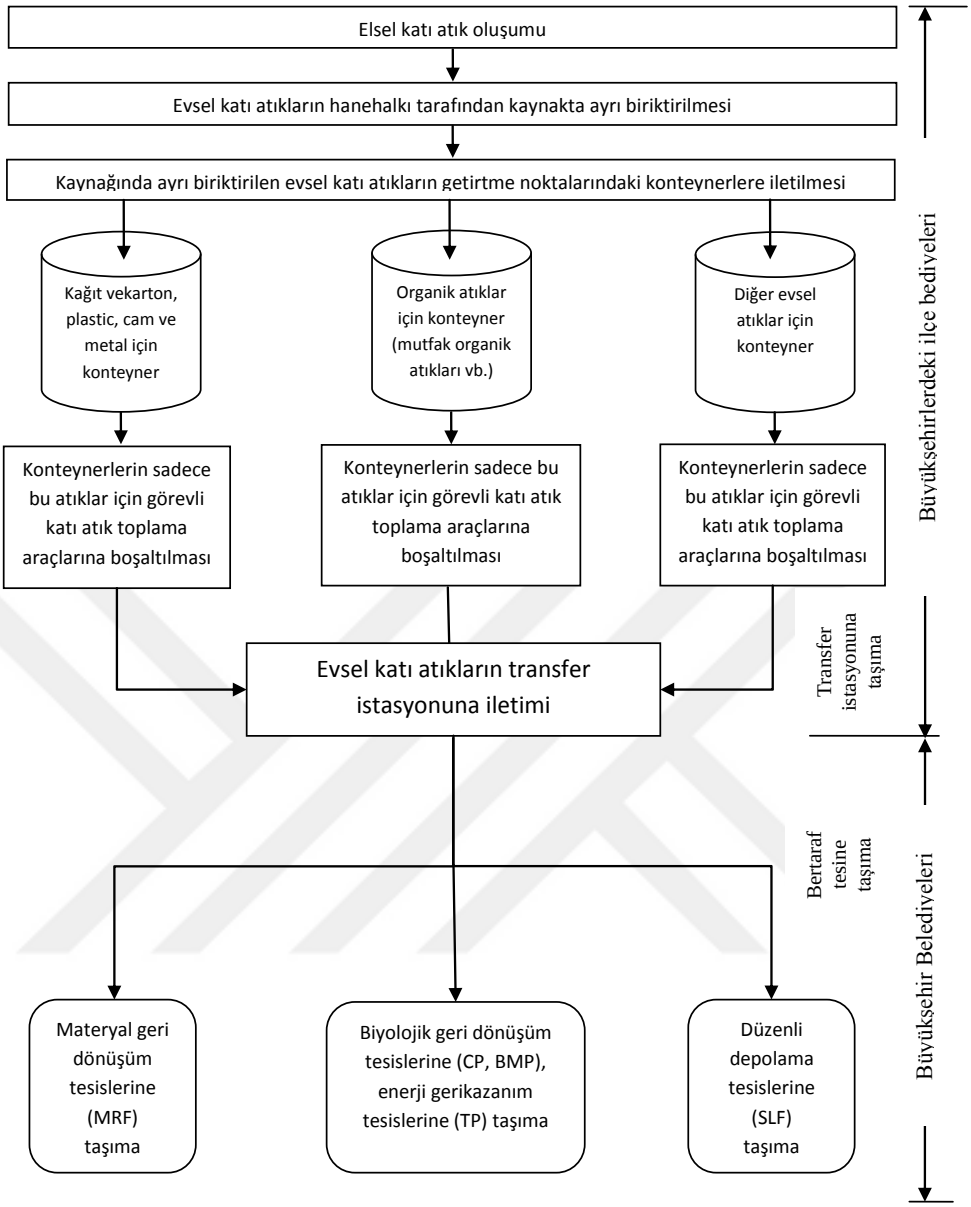
Aşama 2: Arc GIS network analyst modülü kullanılarak yol ağı üzerindeki sokaklar, gerçek yerlerinde bulunan konteyner noktalarını içerir. Araçların ve kapasitelerinin tanımlanması için network analyst modülünde araç rotalama yapılır. İlk rotalama mevcut sistemin en kısa yol ile toplanmasıdır. Bir rota analizi katmanının bileşenleri rota analizinde durak olarak kullanılan ağ konumlarının ağ analisti penceresindeki rota katmanı, analiz tamamlanana kadar boştur en iyi rota bulunduğunda, Ağ Analist Penceresinde görüntülenir.

Aşama 3: Sıfır atık yaklaşımına göre cadde ve sokaklar özelinde konteynerler organik, ambalaj ve diğer atık konteynerlerinin sayısı hesaplanmıştır. Sakin sayısı, atık yoğunluğu ve cadde-sokağın konteyner konulabilecek yerlerine uygun olarak konteyner tasarımı koordinatlara göre yeniden tasarlanmıştır. Araç giremeyen sokaklara konteyner konulmadı, sakinler tarafından verimli şekilde kullanılan ve değiştirilmemesi gereken sokaklara ekleme yaparken sakinlere fiziki uygunluk dikkate alındı. Ek konteyner maliyeti oluşturmamaya çalışarak hesaplamalar yapıldı mevcut sayıların hacmi karşılayacağı şekilde en uygun yerlere yerleştirildi. Bir rota oluşturmak, seçilen empedansa bağlı olarak en hızlı, en kısa veya en doğal rotayı bulmak anlamına gelir. Empedans zaman ise, en iyi rota en hızlı yoldur. Bu nedenle, en iyi yol, empedansın kullanıcı tarafından seçildiği en az maliyetli yol olarak tanımlanabilir.

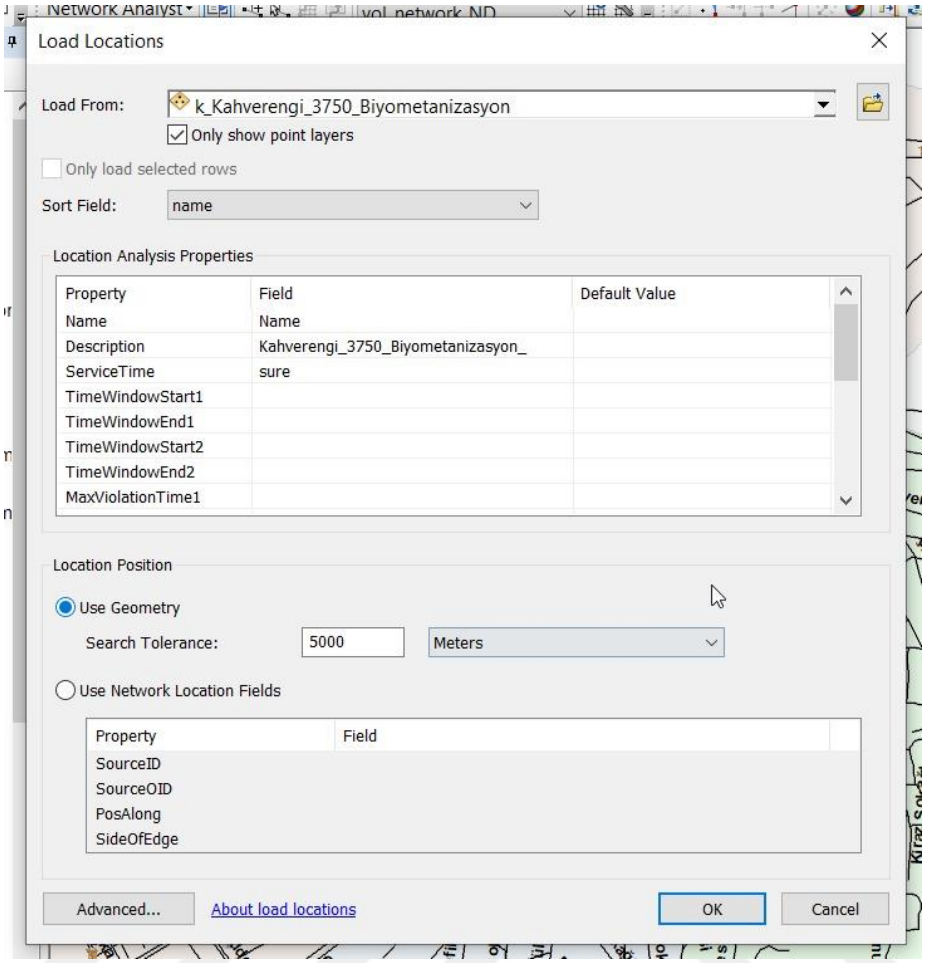
Aşama 4: Sıfır atık yaklaşımına göre (Organik atık, ambalaj atık, diğer atık) toplamak için daha kısa, en hızlı rotayı bulmak gerekiyordu. Network Analyst modülünden yeni rota oluşturulabilir. Bu çalışmada atık miktarlarını hesaplayarak mevcut konteyner sayılarına göre sıfır atık yaklaşımına en iyi toplama yolu için toplama süresini, araç hacmini ve yakıtını azaltmaktadır. Çalışmamız en kısa rotayı seçti, rota uzunluğu önemli görüldü. Sonuç olarak tüm atıkları değerlendirmek üzere ayrı ayrı toplayıp, düzenli depolama yapmayacak şekilde organize etmek önemli bir gelişme oldu. Veriler gerçek olup sahada birebir gözlemler yapılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Bir konteynerden atık almak için harcanan zaman arkadan yüklemeli kamyonun toplanacak konteynere ulaşması ile başlayıp, park etmesi, konteyneri araca yüklemek, konteynerin boşaltılması ve alındığı yere tekrar konulması süresini kapsar. Her konteyner için süre 2 dakika olarak hesaplandı. İlçenin coğrafi yapısı ve sahada yapılan denemelerde kamyonun ortalama hızı 20km/sa olduğu görüldü.

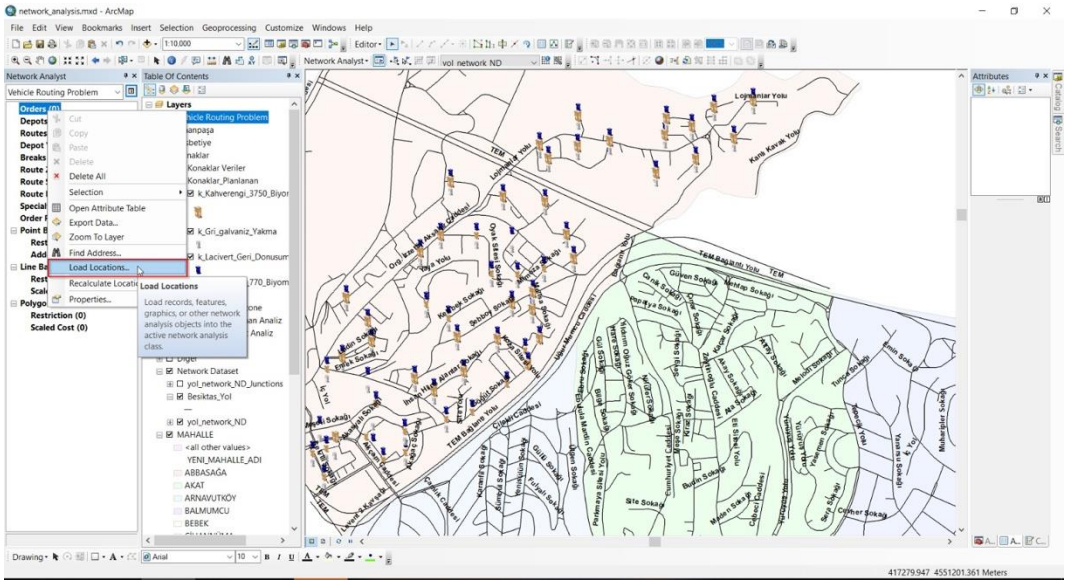
Tezde Türkiye'deki sıfır atık yönetmeliğinin minimum gereklilikleri esas alınarak kaynakta ayırma tüm yönleriyle incelenmiş ve katı atık toplama prosesinin optimizasyonu kapsamında değerlendirilmiştir [132]. Üçlü ayırma yöntemi ile ilgili Büyükşehir belediyeleri ve büyükşehirdeki ilçe belediyeleri sorumlulukları kapsamında hazırlanan akım şeması Şekil 4.10'da verilmişitr. Şekil 4.9'a göre, ilçe belediyelerinin SAY kapsamında, mücavir alanda oluşması muhtemel katı atıkların aktarma istasyonuna kadar olan tüm aşamalarından sorumludur. Sıfır atık sistemine göre üç farklı kapta biriktirme ve ayrı toplama yöntemi için yerleştirilen konteyner türleri ile ilgili bilgi girişinin görseli Harita 4.6'da, oluşturulan konteyner yerleri ile ilgili bilgi giriş görseli Harita 4.7'de, güzergah optimizasyonu için kullanılan ve ArcGIS platformunda bir modül olarak çalışan Network Analyst modülü ile ilgili görsel Harita 4.8'de, katı atık toplama aracı özellikleri ile ilgili bilgi girişi görseli Harita 4.9'da, üçlü toplama senaryolarına göre toplama aracı detay özellikleri ile ilgili bilgi girişi görseli Harita 4.10'da, güzergah başlangıç ve bitiş noktalarının belirlenmesi ile ilgili görsel Harita 4.11'de ve Toplama güzergah süreci ile ilgili son kontrol ekranı ile ilgili görsel Harita 4.12'de verilmiştir.



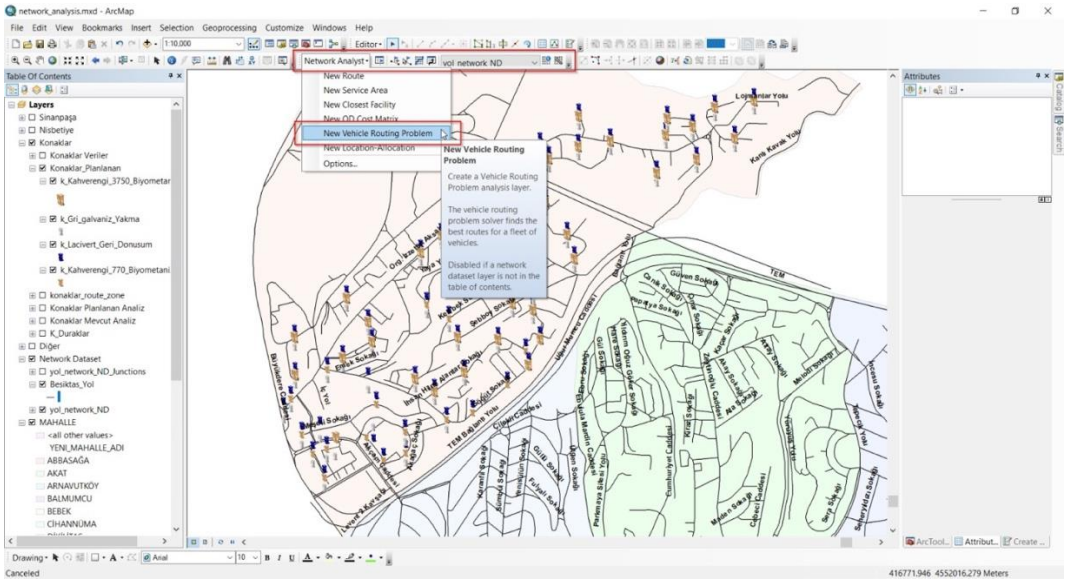
Şekil 4.9 Büyükşehirlerde kentsel katı atıkların üçlü toplama sistemi kapsamında kaynakta ayrılması süreçlerinde belediye sorumluluk kapsamı [78].



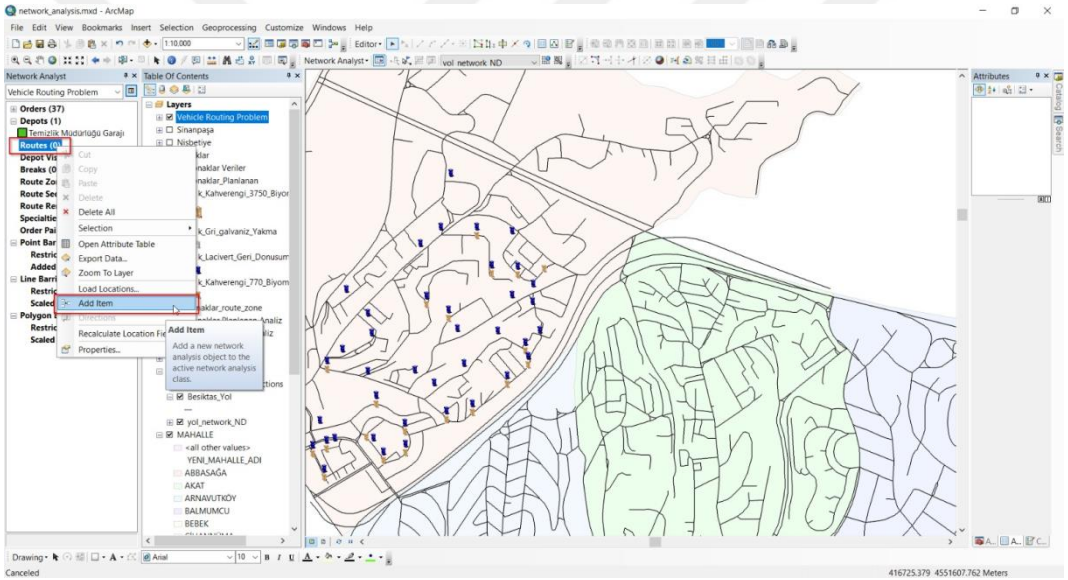
Harita 4.6 Sıfır atık sistemine göre 3 farklı toplama yöntemi için yerleştirilen konteyner türlerini belirleme



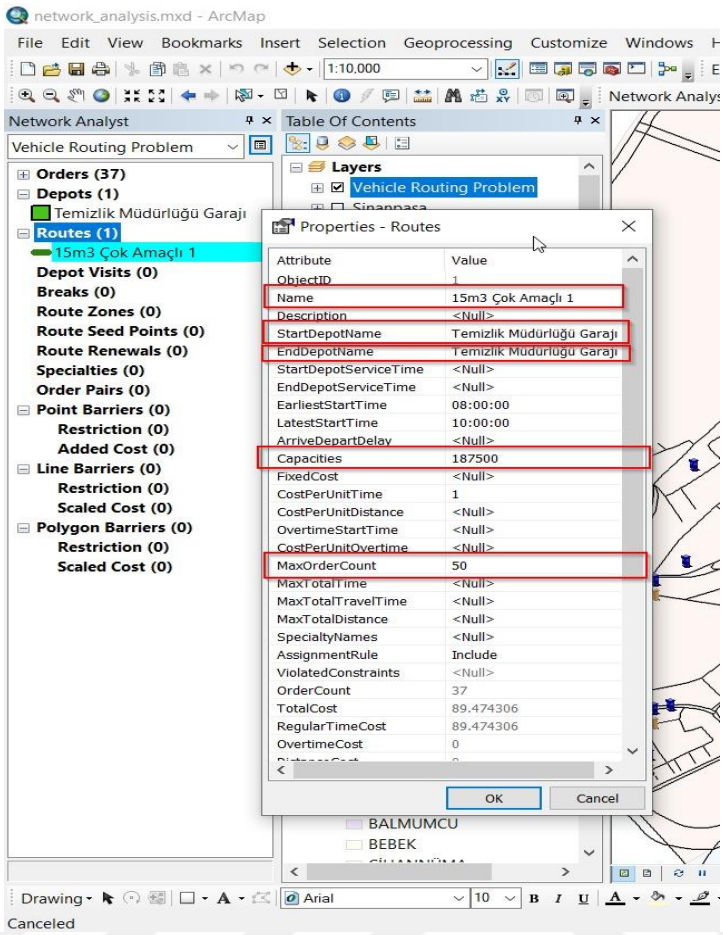
Harita 4.7 Sıfır atık senaryosuna göre oluşturulan konteyner yerlerinin bilgilerinin girişi



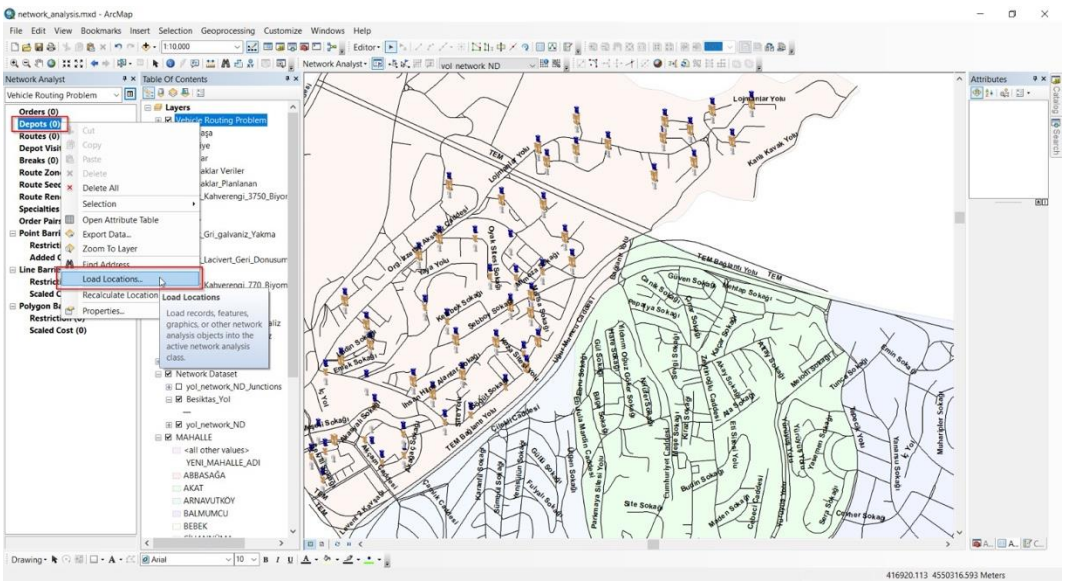
Harita 4.8 Network Analyst modülü kullanımı (New vehicle routing problem)



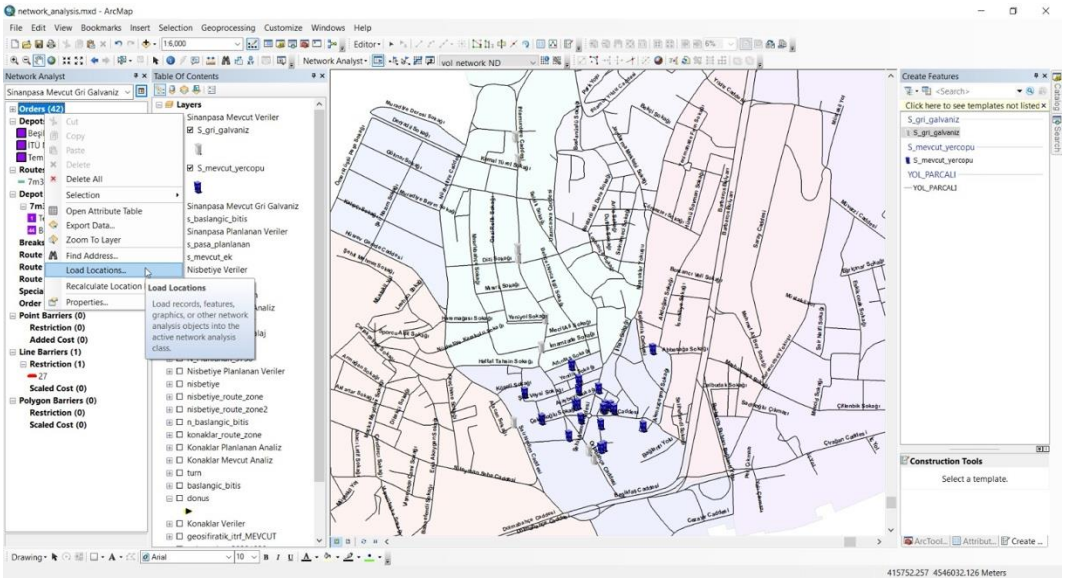
Harita 4.9 Sıfır atık senaryosuna göre oluşturulan konteyner toplama sistemine göre toplama aracı bilgileri girişi



Harita 4.10 Sıfır atık senaryosuna göre oluşturulan konteyner toplama sistemine göre toplama aracı özellikleri girişi



Harita 4.11 Rota başlangıç ve bitiş noktalarının belirlenmesi



Harita 4.12 Rota oluşturduktan sonra herhangi bir hata olup olmadığı gösteren son ekran

5
SONUÇ VE ÖNERİLER

Katı atıkların kaynağında ayrı toplanmasına ilişkin mevcut veriler, sıfır atık yönetmeliğinin asgari gerekliliklerinin karşılanmasının mümkün olduğunu gösterdi. Ayrıca mevcut karma toplama sisteminin optimizasyonu sonucunda elde edilmesi beklenen projeksiyonlar bu bölümde detaylı olarak incelenmiştir. Geri dönüştürülebilir atıklar için ayrı toplama amacıyla ayrı toplama kapları konulmasına rağmen atıklar beklendiği gibi kaynağında ayrıştırılmamış, geri dönüştürülebilir atıklar için ayrılan konteynerler ayrı toplama araçlarıyla toplanarak geri dönüşüm merkezlerine teslim edilmiştir. Karışık atıklar Avrupa yakasındaki Baruthane Aktarma istasyonuna aktarılmıştır. Bugün karışık katı atıklar Baruthane aktarma istasyonuna, oradan da İstanbul Büyükşehir Belediyesi sorumluluğundaki Seymenler Düzenli Depolama Sahası'na taşınmaktadır.

5.1 Beşiktaş İlçesi İçin Konut Yoğunluğunun Belirlenmesi

Çalışmada konut yoğunluğuna göre istatistiksel analiz yapılabilmesi amacıyla örnek yerleşim alanı olarak Beşiktaş İlçesi seçilmiştir. Beşiktaş İlçesi için 23 mahalledeki bağımsızl konut ve işyeri sayıları dikkate alınarak konut yoğunluğuna göre bir sınıflandırma yapılmıştır. Bu durumda n = 23 (Beşiktaş İlçe Belediyesi mücavir alanındaki mahalle sayısı) için RoR'nin en düşük değeri 0.3114, en yüksek değeri ise 0.9374 olarak belirlenmiştir (Sınıf sayısı 4,79 olarak hesaplanmış ve tam sayı değeri 5 olarak alınmıştır (Denklem 4.2'den NoC = 5). Dağılım aralığı denklem 3'ten 0.626 olarak hesaplandı. Ayrıca sınıf aralığı (Denklem 4.3'ten) 5 ve 3 numaralı sınıflar için sırasıyla 0,1252 ve 0,2087 olarak hesaplanmıştır. Tablo 4.2'de verilen sonuçlar tüm sınıflar için diğer hesaplamaların benzer şekilde yapılmasıyla elde edilmiştir. Tablo 4.2'de görüldüğü gibi Beşiktaş İlçesindeki mahalleler ilk sınıf (0.3114–0.5201), ikinci sınıf (0.5201–0.8315) ve üçüncü sınıf (0.8315–1.229) olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır. Sınıf başına mahalle sayısı Tablo 4.2'nin 5. sütununda verilmiştir.

Beşiktaş İlçesi'ndeki 23 mahallenin hangi gruba ait olacağı bilgisi Tablo 4.1'in 7 ve 8 nolu sütunlarında belirtilmiştir.

Örneğin Konaklar Mahallesi'nin konut oranı 0.8871 olduğundan üçüncü sınıfta yer almaktadır ve bu sınıf konut yoğun mahalle (RDN) olarak isimlendirilmiştir.

5.2 AHP ile Kaynakta Ayırma Yöntemine Karar Verme

Yukarıdan aşağıya bir belediye katı atık yönetim sisteminin düzenlenmesi ve sakinlerin aşağıdan yukarıya doğru ayırma davranışlarını sınırlamak için motivasyon dinamizmini, kaynak ayrımını teşvik etmek için pratik bir yaklaşım olduğuna inanılmaktadır. Ayırma teknikleri üzerine yapılan araştırmalar, kaynakta ayırma eksikliklerinin yalnızca tamamlayıcısı ve alternatifidir [56]. Hangi kentsel katı atık yönetim sistemi kullanılırsa kullanılsın, insanların yaşadığı her yerde yönetilmesi gereken atıklar olacaktır. Oluşan atıkların oluştukları yerde yönetilmesi gerektiği görüşü bu tezin vurgulamayı amaçladığı en önemli gerçeklerden biridir. Atık hiyerarşisi ve sıfır atık vizyonu nedeniyle hangi tür toplama yönteminin, hangi tür bertaraf yöntemine fayda sağladığını belirlemek gerekmektedir. Tablo 5.1'de kentsel katı atık toplama yöntemlerinin, bertaraf yöntemlerine göre durumu, sıfır atık vizyonu odaklı olarak analiz edilmiştir.

Tablo 5.1'de planlanan kaynakta ayrı biriktirme ve ayrı toplama yöntem senaryoları ile ilgili detaylı açıklama burada verilecektir. Tablo 4.5'te madde grupları da dikkate alınarak senaryolarla ilgili açıklamalar yapılmıştır:

Senaryo 1: Altı farklı konteyner (kağıt, metal, plastik, cam, mutfaktaki organik maddeler ve diğerleri).

Senaryo 2: Dört farklı konteyner (kağıt, metal+plastik+cam, mutfak organikleri ve diğeri).

Senaryo 3: Üç farklı konteyner (kağıt+metal+plastik+cam, mutfak organikleri, ve diğer atıklar).

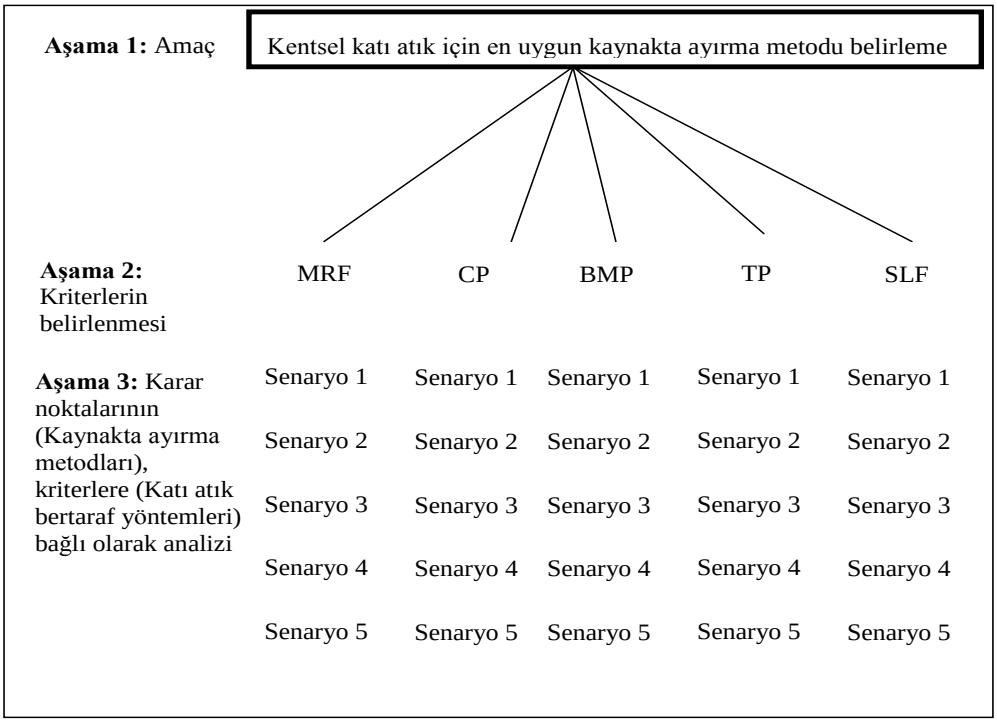
Senaryo 4: İki farklı konteyner (kağıt+metal+plastik+cam+mutfak organikleri, ve diğer atıklar)

Senaryo 5: Yalnızca bir çöp konteyner (Karışık KKA, tüm atıklar aynı konteynerde).

Tablo 5.1 Kentsel katı atık toplama yöntemlerinin, bertaraf yöntemlerine dayalı olarak "sıfır atık vizyonlu olarak" kaynakta ayırma yöntemleriyle karşılaştırılması.

Kaynakta ayrı biriktirme ve ayrı toplama yöntemi	**Kentsel katı atık bertaraf yöntemleri**				
	Maddesel geri dönüşüm tesisi (MRF)	**Kompostlaştırma tesisi (CP)**	**Biyometanizasyon tesisi (BMP)**	**Termal işlem tesisleri (TP)**	**Düzenli depolama tesisi (SLF)**
Senaryo 1	+	+	+	+	+
Senaryo 2	+	+	+	+	+
Senaryo 3	+	+	+	+	+
Senaryo 4	+	-	-	-	+
Senaryo 5	-	-	-	-	-

Tablo 5.1'deki varsayımlar ve sıfır atık vizyonu kapsamındaki bilgiler ışığında hazırlanan AHP süreci ile ilgili model Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1 AHP Modelinin hiyerarşisi

Şekil 5.1’den görülebileceği gibi amaç, KKA kaynakta ayırma yönteminin seçimidir. Dolayısıyla karar noktaları da kaynakta ayırma yöntemleridir. Ayrıca kentsel katı atık bertaraf yöntemleri de karar noktalarını etkileyen kriterler olarak kabul edilmiştir. Aşama 3 ise, karar vericilerin her bir kriteri karar noktaları kapsamında analiz etmeleri gerektiğini ifade etmektedir. Bu bağlamda, karar noktalarını etkileyen faktörlerin ikili karşılaştırmaları Tablo 5.2’de, matrisin sütun toplamalı görünümü Tablo 5.3’te verilmiştir. İkili karşılaştırma matrisinin normalizasyonu sonucu oluşan matris Tablo 5.4'te verilmiştir. Kriterlerin ikili karşılaştırılması neticesinde elde edilen normalize edilmiş matristen elde edilen ağırlık vektörü Tablo 5.4'ün son sütununda (sütun no 7) bulunmaktadır.

Tablo 5.2 Karar değişkenlerine bağlı kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

	MRF	**CP**	**BMP**	**TP**	**SLF**
MRF	1	3	3	9	9
CP	1/3	1	1	8	8
BMP	1/3	1	1	8	8
TP	1/9	1/8	1/8	1	2
SLF	1/9	1/8	1/8	1/2	1

Tablo 5.2.’de, Kentsel katı atık bertaraf yöntemlerinin, kaynağında atık ayırma yöntemlerine göre kaynak koruma perspektifinden nasıl etkilendiğini göstermektedir.

Tablo 5.3 Karar değişkenlerine bağlı kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi ve sütu toplamları

	MRF	**CP**	**BMP**	**TP**	**SLF**
MRF	1	3	3	9	9
CP	1/3	1	1	8	8
BMP	1/3	1	1	8	8
TP	1/9	1/8	1/8	1	2
SLF	1/9	1/8	1/8	1/2	1
Toplam	1.89	5.25	5.25	26.5	28

Tablo 5.4 Karar noktalarına bağlı olarak ikili karşılaştırılan kriterlerin normalizasyonu ve ağırlık vektörü

	MRF	**CP**	**BMP**	**TP**	**SLF**	**Ağırlık vektörü**
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
MRF	0.53	0.57	0.57	0.34	0.32	0.466664
CP	0.18	0.19	0.19	0.30	0.29	0.229005
BMP	0.18	0.19	0.19	0.30	0.29	0.229005
TP	0.06	0.02	0.02	0.04	0.07	0.043121
SLF	0.06	0.02	0.02	0.02	0.04	0.032205
Toplam	1	1	1	1	1	1

AHP ile karar verme problemi çözüm sürecinde MS Excel kullanılarak şu adımlar gerçekleştirilmiştir: 1-Kriterlelerle ilgili ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması (Tablo 5.2); 2- Kriterlerle ilgili öncelik vektörünün elde edilmesi

(Tablo 5.3 ve Tablo 5.4); 3- Temel değerin (λmax) hesaplanması; 4- tutarlılık indeksinin (CI) hesaplanması; 6- Rastgele tutarlılık oranının (RI) uygun değerinin Tablo 4.4'ten seçilmesi; ve 7- karşılaştırmaların tutarlı olup olmadığını kontrol etmek için ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılığının kontrol edilmesi (Denk.15). Bu öğelere ilişkin hesaplamalar, örneklendirme amacıyla aşağıda açıklanacaktır. İkili karşılaştırma matrisinin normalizasyonu, matrisin her bir elemanının sütun toplamına bölünmesiyle gerçekleştirilir. Örneğin Tablo 5.4'teki 0.53 değeri, Tablo 5.3'deki 1'in 1.89'a bölünmesiyle elde edilir. Tablo 5.3'deki sütun öğelerinin toplamı 1.89'dur (1+1/3+1/3+1/9+1/9= 1.89). Tablo 5.4'teki öncelik vektörü satır aritmetik ortalamalarından elde edilebilir. Örneğin, Tablo 5.4.'teki MRF kriterine göre beş MSW bertaraf yönteminin önceliği, satırların toplamının (0.53+0.57+0.57+0.34+0.32=2.33) ayırma yöntemi sayısına (5 adet değer) bölünmesiyle 0.466664 olarak bulunur (0.466664 =2.33/5). Tablo 5.4'te belirtilen kriterlerin ikili karşılaştırılması neticesinde elde edilen öncelik vektörü denklem 5.1'de verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} 0.466664 \\ 0.229005 \\ 0.229005 \\ 0.043121 \\ 0.032205 \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

Denklem 5.2'den temel değer hesabı için gerekli matris hesaplanmıştır.

$$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 & 9 & 9 \\ 1/3 & 1 & 1 & 8 & 8 \\ 1/3 & 1 & 1 & 8 & 8 \\ 1/9 & 1/8 & 1/8 & 1 & 2 \\ 1/9 & 1/8 & 1/8 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \text{x} \begin{bmatrix} 0.466664 \\ 0.229005 \\ 0.229005 \\ 0.043121 \\ 0.032205 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.52 \\ 1.22 \\ 1.22 \\ 0.22 \\ 0.16 \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

Denklem 5.2'den elde edilen matrisin elemanları, denklem 5.1'deki öncelik vektörünün elemanlarına karşılıklı olarak bölünerek denklem 5.3 elde edilebilir. Aritmetik ortalaması temel değeri vermektedir ve denklem 5.3'de görülmektedir. ibi ilgili öncelik vektör elemanlarına bölünür. S3.

$$\begin{bmatrix} 2.52/0.466664 \\ 1.22/0.229005 \\ 1.22/0.229005 \\ 0.22/0.043121 \\ 0.16/0.032205 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5.397095 \\ 5.310697 \\ 5.310697 \\ 5.023818 \\ 5.057247 \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

Daha sonra denklem 5.3'de elde edilen matrisin değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak temel değer (λ_{max}) elde edilir (denklem 5.4).

$$\lambda_{max}=(5.397095+5.310697+5.310697+5.023818+5.05724715)/5=5.22 \quad (5.4)$$

Denklem 10'da gösterildiği gibi tutarlılık indeksi CI bulunur.

$$CI= (\lambda -n)/(n-1)=(5.22-5)/(5-1)=0.05498 \quad (5.5)$$

Tablo 4.4'ten rastgele tutarlılık oranının (RI) seçilir (n=5 için, RI = 1.12). Daha sonra denklem 5.6'de gösterildiği gibi tutarlılık oranı (CR) hesaplanır.

$$CR=CI/RI=0.05498 /1.12 =0.0491<0.1 \text{ (uygun)} \quad (5.6)$$

CR değeri 0.1'den küçük olduğundan kriterlerin ikili karşılaştırması için planlanan ikili karşılaştırma kare matrisinin kabul edilebilir olduğuna karar verilir.

Kriterlerin ikili karşılaştırılması sürecinde uygulanan AHP süreci; her bir kritar için karar noktalarının ikili karşılaştırılması için de yapılarak bütün controller aynı şekilde yapılması gerekmektedir. Bu nedenle; MRF için karar noktalarının ikili karşılaştırma kare matrisi ve öncelik vektörü 5.5'te verilmiştir. MRF açısından karar noktalarının ikili karşılaştırılmasının tutatarlılık analizi yapılmış ve denklem denklem 5.7-5.9'te verilmiştir. Denklem 5.9'dan anlaşıldığı üzere, MRF için yapılan karar noktalarının ikili karşılaştırılması tutarlıdır. MRF için elde edilen öncelik vektörü kullanılabilir.

Tablo 5.5 MRF için karar noktalarının karşılaştırılması

MRF	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Öncelik vektörü
Senaryo 1	1.00	1.00	3.00	5.00	9.00	0.388335
Senaryo 2	1.00	1.00	2.00	3.00	7.00	0.307955
Senaryo 3	1/3	½	1.00	2.00	5.00	0.161412
Senaryo 4	1/5	1/3	1/2	1.00	5.00	0.107346
Senaryo 5	1/9	1/7	1/5	1/5	1.00	0.034952
Toplam	2.64	2.98	6.70	11.20	27.00	1.00

$$\lambda=(5.232148+5.14951+5.168679+5.059658+5.031015)/5=5.13 \quad (5.7)$$

$$CI = (\lambda - n)/(n-1) = (5.13 - 5)/(5 - 1) = 0.03205 \quad (5.8)$$

Tablo 4.4’den RI=1.12.

$$CR=CI/RI=0.03205/1.12 =0.029<0.10 \text{ (uygun)} \quad (5.9)$$

CP için karar noktalarının ikili karşılaştırma kare matrisi ve öncelik vektörü 5.6’da verilmiştir. CP açısından karar noktalarının ikili karşılaştırılmasının tutatarlılık analizi yapılmış ve denklem denlem 5.10-5.12’de verilmiştir. Denklem 5.12’den anlaşıldığı üzere, CP için yapılan karar notalarının ikili karşılaştırılması tutarlıdır. CP için elde edilen öncelik vektörü kullanılabilir.

Tablo 5.6 CP için karar noktalarının karşılaştırılması ve öncelik vektörü

CP	**Senaryo 1**	**Senaryo 2**	**Senaryo 3**	**Senaryo 4**	**Senaryo 5**	**Öncelik vektörü**
Senaryo 1	1.00	1.00	2.00	3.00	3.00	0.312509
Senaryo 2	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	0.269651
Senaryo 3	½	1.00	1.00	3.00	3.00	0.238072
Senaryo 4	1/3	1/3	1/3	1.00	1.00	0.089884
Senaryo 5	1/3	1/3	1/3	1.00	1.00	0.089884
Toplam	3.17	3.67	4.67	11.00	11.00	1.00

$$\lambda=(5.112205+5.041825+5.054264+5.041825+5.041825)/5=5.06 \quad (5.10)$$

$$CI= (\lambda –n)/(n-1)=(5.06-5)/(5-1)=0.0146 \quad (5.11)$$

Tablo 4.4’den RI=1.12.

$$CR=CI/RI=0.0146/1.12 =0.013<0.10 \text{ (uygun)} \quad (5.12)$$

BMP için karar noktalarının ikili karşılaştırma kare matrisi ve öncelik vektörü Tablo 5.7’de verilmiştir. BMP açısından karar noktalarının ikili karşılaştırılmasının tutatarlılık analizi yapılmış ve denklem denklem 5.13-5.15’de verilmiştir. Denklem 20’den anlaşıldığı üzere, BMP için yapılan karar notalarının ikili karşılaştırılması tutarlıdır. BMP için elde edilen öncelik vektörü kullanılabilir.

Tablo 5.7 BMP için karar noktalarının ikili karşılaştırılması ve öncelik vektörü

BMP	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Öncelik vektörü
Senaryo1	1.00	1.00	2.00	3.00	3.00	0.312509
Senaryo 2	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	0.269651
Senaryo 3	½	1.00	1.00	3.00	3.00	0.238072
Senaryo 4	1/3	1/3	1/3	1.00	1.00	0.089884
Senaryo 5	1/3	1/3	1/3	1.00	1.00	0.089884
Toplam	3.17	3.67	4.67	11.00	11.00	1.00

$$\lambda=(5.112205+5.041825+5.054264+5.041825+5.041825)/5=5.06 \quad (5.13)$$

$$CI= (\lambda -n)/(n-1)=(5.06-5)/(5-1)=0.0146 \quad (5.14)$$

Tablo 4.4'ten RI=1.12.

$$CR=CI/RI=0.0146/1.12 =0.013<0.10 \text{ (uygun)} \quad (5.15)$$

TP için karar noktalarının ikili karşılaştırma kare matrisi ve öncelik vektörü 5.8'de verilmiştir. TP açısından karar noktalarının ikili karşılaştırılmasının tutarlılık analizi yapılmış ve denklem 5.16-5.18'de verilmiştir. Denklem 5.18'den anlaşıldığı üzere, TP için yapılan karar notalarının ikili karşılaştırılması tutarlıdır. TP için elde edilen öncelik vektörü kullanılabilir.

Tablo 5.8 TP için karar noktalarının ikili karşılaştırılması ve öncelik vektörü

TP	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Öncelik vektörü
Senaryo1	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	0.262412
Senaryo 2	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	0.262412
Senaryo 3	1.00	1/2	1.00	2.00	3.00	0.232412
Senaryo 4	½	1/2	½	1.00	1/3	0.108626
Senaryo 5	1/3	1/3	1/3	3.00	1.00	0.134137
Toplam	3.83	3.33	3.83	10.00	10.33	1.00

$$\lambda=(5.247087+5.247087+5.359846+4.897159+5.311167)/5=5.21 \quad (5.16)$$

$$CI= (\lambda -n)/(n-1)=(5.21 -5)/(5-1)=0.05312 \quad (5.17)$$

Tablo 4.4’den RI=1.12.

$$CR=CI/RI=0.05312/1.12 =0.047<0.10 \text{ (uygun)} \quad (5.18)$$

SLF için karar noktalarının ikili karşılaştırma kare matrisi ve öncelik vektörü 5.9’da verilmiştir. SLF açısından karar noktalarının ikili karşılaştırılmasının tutatarlılık analizi yapılmış ve denklem denklem 5.19-5.21’de verilmiştir. Denklem 5.21’den anlaşıldığı üzere, SLF için yapılan karar notalarının ikili karşılaştırılması tutarlıdır. SLF için elde edilen öncelik vektörü kullanılabilir.

Tablo 5.9 SLF için karar noktalarının ikili karşılaştırılması ve öncelik vektörü

SLF	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo5	Öncelik vektörü
Senaryo 1	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	0.352445
Senaryo 2	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	0.228916
Senaryo 3	1.00	1/2	1.00	2.00	3.00	0.181269
Senaryo 4	1/2	1/2	1/2	1.00	3.00	0.155182
Senaryo 5	1/3	1/3	1/3	1/3	1.00	0.082188
Toplam	3.83	3.33	3.83	7.33	13.00	1.00

$$\lambda=(5.945509+4.764374+5.292042+4.410489+4.722424)/5=5.03 \quad (5.19)$$

$$CI= (\lambda –n)/(n-1)=(5.03 -5)/(5-1)=0.00674 \quad (5.20)$$

Tablo 4.4’den RI=1.12.

$$CR=CI/RI=0. 00674/1.12 =0.006<0.10 \text{ (uygun)} \quad (5.21)$$

Karar noktaları ve faktörlerin analizi sonucunda elde edilen öncelik matrisi Tablo 5.10’da verilmiştir. Tablo 5.10’daki nihai öncelik vektörünün hesaplanmasında, kriterlerin ikili karşılaştırılmasından elde edilen öncelik vektörü ile kriterlerin karar noktalarının ikili karşılaştırılması kapsamında değerlendirilmesi sürecinde elde edilen beş öncelik vektörünün çarpımı kullanılmaktadır. Tablo 5.10'da, her bir kriterle ilgili öncelik vektörü ve ilgili karar noktaları düzeyleri görülmektedir. Nihai öncelik vektörünün ilk satırında bulunan 0.347 değeri (0,467*0,3883349+...+0,032*0,352445=0,347), her satırdaki elemanların sırasıyla karar noktalarını etkileyen kritere karşılık gelen değerlerle işleme tabi tutulmasıyla elde edilmektedir.

Tablo 5.10 Kentsel katı atık toplama yöntemi değerlendirmesi öncelik matrisi

Kaynakta katı atık ayırma yöntemi	**MRF (0.467)**	**CP (0.229)**	**BMP (0.229)**	**TP (0.043)**	**SLF (0.032)**	**Nihai öncelik vektörü**
Senaryo 1	0.3883349	0.312509	0.312509	0.262412	0.352445	0.347
Senaryo 2	0.3079550	0.269651	0.269651	0.262412	0.228916	0.286
Senaryo 3	0.1614122	0.238072	0.238072	0.232412	0.181269	0.200
Senaryo 4	0.1073456	0.089884	0.089884	0.108626	0.155182	0.101
Senaryo 5	0.0349523	0.089884	0.089884	0.134137	0.082188	0.066

Tablo 5.10'a göre katı atık kaynakta ayırma yöntemlerinin tercih öncelik sırası; ilk tercih senaryo 1 (0.347), ikinci tercih senaryo 2 (0.286), üçüncü tercih senaryo 3, (0.20) dördüncü tercih senaryo 4 (0.101) ve beşinci tercih senaryo 5 (0,066) olarak elde edilmişitr. Karar vericilerin öncelikle altılı ayırmayı, ikinci olarak dörtlü ayırmayı, üçüncü olarak üçlü ayırmayı tercih etmeye karar vermeleri beklenmektedir. İlk üç tercih karar verme sürecinde 0.82 (%82) oranında bir paya sahiptir. SAY minimum kriterlerinden biri üçlü ayırmadır ve AHP analizi neticesinde üçlü ayırmanı 0.20 (%20) oranına karşılık geldiği ve Beşiktaş İlçesi atık yönetim sistemi için büyük yatırımlar yapılmaksızın sürdürülebilir ve yapılabilir bir seçenek olarak değerlendirilebileceği düşünülmektedir. Bu tez çalışmasında üçlü ayırma tercih edilmiş ve atık yönetim sisteminin analizi bu sisteme göre irdelenmiştir.

5.3 Beşiktaş İlçesi İçin Sıfır Atık Yönetim Çalışmaları

Katı atıklar oluştukları yerlerden alınarak sırasıyla toplanarak aktarma istasyonuna veya bertaraf merkezlerine taşınmaktadır [134,135]. Araştırmaların çoğu atık yönetimi maliyetlerine odaklandı; çok azı çevresel etkileri toplama veya nakliye maliyetiyle birlikte değerlendirmiştir. Araştırmaların çoğu nihai bertarafa odaklanıyor. Gerçek anlamda gelişmiş ülkelerde atık yönetimi maliyetlerinin

%50-75'i toplama ve taşımaya harcanırken, gelişmekte olan ülkelerde bu oran %70-90'lara ulaşabilmektedir [135,136]. MSW toplama süreci atık yönetiminin en önemli parçasıdır. Bu nedenle konuyla ilgili birçok çalışma yapılmış olup bunlardan bazılarının maliyetleri MSW toplama maliyeti ülkeden ülkeye veya bölgeden bölgeye değişmektedir ancak 9,3 ila 31,53 ABD Doları/ton arasındadır. Aynı tabloda toplam toplama, taşıma ve depolama maliyetleri 24 ile 99,47 ABD Doları/ton arasında verilmektedir. Katı atık toplamanın yaklaşık beş yaygın yöntemi (organik atık, kağıt, plastik, cam ve diğerleri) üzerine yapılan bazı çalışmalara göre [137, 138] SLF, yakma ve kompostlama maliyetleri 72 ABD Doları/ton, 14,53 ABD Dolarıdır. $/t (plastik veya kağıt) ve 47 US$/t (organik atık) sırasıyla. Ayrıca aynı çalışmalarda katı atık geri dönüşüm maliyetleri plastik, kağıt ve cam için sırasıyla 93,89 ABD Doları/ton, 67 ABD Doları/ton ve 20,12 ABD Doları/ton olarak tespit edilmiştir. Doğal olarak çoğu rota optimizasyon çalışması hem rota mesafesinin, süresinin hem de egzoz emisyonlarının en aza indirilmesiyle sonuçlanır [139, 140, 141].

AHP analizleri sonucunda atıkların kaynağında ayrıştırılması senaryolarından ilki (senaryo 1) öncelikli olarak bertaraf yöntemlerinin optimizasyonu için önerilmiştir (bkz. Tablo 4). Ancak bu çalışmada çalışma alanı olarak senaryo 1'e göre %14 daha düşük olan ve üçüncü sırada önerilen senaryo 3 seçilmiştir. Senaryo 3'ün seçilme nedenleri şunlardır: 1- İstanbul'da kurulan bertaraf tesisleri için Sıfır atık yönetimi odaklı atık giderim yöntemleri ihtiyacı (MRF, CP, BMP), 2- Beşiktaş İlçesi'nin kısa sürede Sıfır Atık Yönetmeliğine adapte edilmesi gerekliliği, 3- İlçedeki mevcut altyapının üçlü ayrıştırmaya uygun olması, 4- Öncelikli olarak Önerilen senaryo 1 için ek yatırım yapılması gerekliliği (İlçedeki toplama araçları karışık atıklar veya tek tip atıklar için tasarlanmıştır). Beşiktaş İlçesi'nde katı atık toplama işlemi saha gözlemlerine dayalı anlık rotalar kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Çoğu zaman tek güzergahı birden fazla mahalleyi kapsayan toplama araçlarına rastlamak mümkündür.

Bu nedenle bu çalışmada mevcut güzergahların belirlenmesinden ziyade, hangi mahallelerde karma toplama yapılması durumunda optimize güzergahların nasıl haritalandırılacağının belirlenmesi önceliklendirilmiş ve uygulanmıştır. Daha önceki çalışmalarda [140, 142, 143], toplama işleminin optimize edilmesi durumunda hem rota mesafesinin hem de rota süresinin azalacağı bilinmektedir.

Bu çalışmada 3 mahallede toplam 7 güzergah optimize edilmiş (EK B) (1'den 7'ye kadar güzergahlar) ve karma toplama durumunda güzergah süresi ve güzergah mesafeleri belirlenerek Tablo 5.4'te sunulmuştur.

Tablo 5.11 Optimize edilmiş mevcut rotalar (Kentsel katı atıkların karışık olarak tek tip konteynerde toplandığı)

Rota İsmi	**Rota Uzunluğum**	**Rota süresi, dakika**	**Toplama aracı kapasitesi, m^3**
Rota 1	5805	154	13
Rota 2	10722	178	13
Rota 3	6814	68	20
Rota 4	3653	35	15
Rota 5	7735	257	15
Rota 6	7274	194	20
Rota 7	7492	106	7

Beşiktaş İlçesi'nde yerleşik nüfusun %16'sı örnek olarak seçilmiş mahallelerde yaşamaktadır ve güzergahlar bu mahallelerin içinde kalmaktadır. Mevcut optimize edilmiş rotalara alternatif olarak 15 yeni rota (Tablo 5.12'deki 8'den 22'ye kadar olan rotalar) (EK A), Sıfır Atık Yönetmeliği''ye göre kaynakta ayırma senaryosu 3 için optimize edilmiştir.

Tablo 5.12 Sıfır atık yönetimi yaklaşımı için gerekli kamyon kapasitesi

Rota İsmi	**Rota Uzunluğum**	**Rota süresi, dakika**	**Tolama aracı kapasitesi, m^3**	**Atık Türü**
Rota 8	11324	89	7	Organik
Rota 9	8590	71	7	Organik
Rota 10	7249	89	7	Diğer
Rota 11	9513	96	7	Diğer

Tablo 5.12 Sıfır atık yönetimi yaklaşımı için gerekli kamyon kapasitesi (devamı)

Rota İsmi	**Rota Uzunluğum**	**Rota süresi, dakika**	**Tolama aracı kapasitesi, m^3**	**Atık Türü**
Rota 12	7427	76	7	Ambalaj
Rota 13	10729	75	7	Ambalaj
Rota 14	17077	159	7	Organik
Rota 15	5655	39	7	Organik
Rota 16	7002	101	7	Diğer
Rota 17	8774	106	7	Diğer
Rota 18	7926	78	7	Ambalaj
Rota 19	6966	72	7	Ambalaj
Rota 20	8309	76	7	Organik
Rota 21	8383	91	7	Diğer
Rota 22	8309	61	7	Ambalaj

Gerekli konteyner sayısı hem katı atık kütle yüzdeleri hem de her atık bileşeninin birim hacim ağırlıkları dikkate alınarak hesaplanmıştır (Tablo 4.1.'den). Konteyner sayısının hesaplanmasında mevcut güzergahlarda toplanan ortalama kentsel katı atık kütleleri dikkate alınmıştır. Konteyner sayısını hesaplamak için atık bileşenlerinin kütle yüzdeleri ve özgül ağırlıkları kullanıldı. Çalışmada atıkların kaynağında ayrıştırılması amacıyla Beşiktaş İlçesi'nde en yaygın kullanım olan 0,77 m^3 hacmindeki konteynerler seçilmiştir. Geri dönüştürülebilir dört bileşenin (metal, plastik, cam ve kağıt) ve diğer altı bileşenin (Tablo 4.1.) ortalama atık kütle yüzdeleri Denklem 7 kullanılarak hesaplandı. Organik mutfak atıklarının kütle yüzdeleri i = 5 için Tablo 4.1.'den alınmıştır. Dört geri dönüştürülebilir bileşenin ve diğer altı bileşenin ortalama özgül ağırlığı Denklem 8 kullanılarak hesaplandı. Organik mutfak atıklarının özgül ağırlığı Tablo 4.1'den i = 5 için alınmıştır. Beşiktaş İlçesi'ndeki 23 mahalleden 3'ü seçilerek 15 güzergahta oluşan atık miktarının kaynakta ayrıştırılması senaryosu 3'ü

modellemek için konteyner sayısı ve gerekli toplama aracı hacmi denklemler kullanılarak hesaplanmıştır ve gerekli konteyner sayısı Tablo 5.6. ve gerekli kamyon hacmi ve sayısı Tablo 5.7.'de verildi. (EK)

Tablo 5.13 Sıfır atık yönetimi yaklaşımı için gerekli konteyner sayısı (Senaryo 3)

Rotalar	**Mahalle kategorisi**	**Wr,kg/rota**	**Gerekli olan konteyner sayısı 0.77 m^3 hacimli**			
			Ambalaj	**Organik**	**Diğer**	**Toplam**
Rota 8	RDN	5,000	27	3	5	35
Rota 9	RDN	3,200	18	2	3	23
Rota 10	RDN	2,560	14	2	3	19
Rota 11	RDN	2,560	14	2	3	19
Rota 12	RDN	4,300	23	3	4	30
Rota 13	RDN	3,140	17	2	3	22
Rota 14	ODN	7,680	42	5	5	52
Rota 15	ODN	2,400	13	2	2	17
Rota 16	ODN	2,887	16	2	3	21
Rota 17	ODN	2,887	16	2	3	21
Rota 18	ODN	4,300	23	3	4	30
Rota 19	ODN	4,061	22	3	4	29
Rota 20	WDN	2,160	12	2	3	17
Rota 21	WDN	1,198	7	1	1	9
Rota 22	WDN	1,433	8	1	2	11
Toplam		-	272	35	11	355

Tablo 5.14 Sıfır atık yönetimi yaklaşımı için gerekli kamyon hacmi ve sayısı (Senaryo 3)

Rotalar	**Mahalle kategorisi**	**Wr,kg/rota**	**NoVi, kamyon ve rota /gün**		
			Ambalaj, Vi:13 m^3	**Organik, Vi:7 m^3**	**Diğer**
Rota 8	RDN	5000	0,6	0,3	0,2
Rota 9	RDN	3200	0,4	0,2	0,1
Rota 10	RDN	2560	0,3	0,2	0,1
Rota 11	RDN	2560	0,3	0,2	0,1
Rota 12	RDN	4300	0,5	0,3	0,2
Rota 13	RDN	3140	0,4	0,2	0,1
Rota 14	ODN	7680	1,0	0,4	0,2
Rota 15	ODN	2400	0,3	0,2	0,1
Rota 16	ODN	2887	0,4	0,2	0,1
Rota 17	ODN	2887	0,4	0,2	0,1
Rota 18	ODN	4300	0,5		
Rota 19	ODN	4061	0,5		
Rota 20	WDN	2160	0,3		
Rota 21	WDN	1198	0,2		
Rota 22	WDN	1433	0,2		

Çalışma alanında optimize edilen bu 15 güzergah için AHP analizinden elde edilen Senaryo 3'ün uygulanacağı öngörülmektedir. Sıfır atık yönetmeliğinin asgari şartı olan Senaryo 3 için konteyner sayıları Beşiktaş İlçesi'ndeki 23 mahalleden 3'ü dikkate alınarak hesaplandı. Kaynağında ayırma senaryosu 3'te (Şekil 4.8'de) Sıfır Atık Yönetmeliği minimum kriterlerinden dört geri

dönüştürülebilir parametrenin (kağıt, metal, plastik ve cam), organik mutfak atıklarının ve diğer atıkların üç farklı konteynerde toplanması öngörüdü.

5.4 Katı Atık Yönetim Maliyetlerinin Değerlendirilmesi

Katı atık yönetimi toplama, taşıma, aktarma ve bertaraf süreçlerini içeren bir yapıya sahiptir. Her sürecin toplam maliyet içindeki payı, hangi sürecin hangi kapsamda yapıldığıyla ilgilidir. Hem ülkemizde hemde uluslararası mecralarda, katı atık yönetim süreçleriyle ilgili maliyet bilgilerinden bir kısmı Tablo 5.15'te verilmişitr.

Tablo 5.15 Katı atık bertaraf maliyetleri

İşlem	**Özellik**	**Birim maliyet**	**Kaynak**
Toplama	55,000 hanehalkı	***0.22-1.06 USD/min	2022 (Bu tez çalışması)
	57,000 hanehalkı 57,000 hanehalkı	0.04-0.06 USD/km.t 9.3 USD/t	Apaydın, 2004 Apaydın, 2004
	Istanbul/Türkiye	18.1 USD /t	Karadağ and Şakar, 2003
	5,000 hanehalkı	0.07-0.21 USD /km.t	Modak and Everett, 1996
	-	7.96 USD /t	Agunwamba, 1998
	Istanbul/Türkiye	31.53 USD /t	Yaman, 2012
Taşıma	57,000 hanehalkı	0.02-0.04 USD/km.t 4.3 USD/t	Apaydın, 2004
	5,000 hanehalkı	0.03-0. USD/km.t	Modak and Everett, 1996
	Istanbul/Türkiye	8.16 USD /t	Yaman, 2012
	-	25.0-37.9 USD/t	Dilek et al., 2002

Tablo 5.15 Katı atık bertaraf maliyetleri (devamı)

İşlem	**Özellik**	**Birim maliyet**	**Kaynak**
Toplama ve taşıma	Tayland	*2.9-10.4 USD/t	Danteravanich and Siriwong, 1998
	İsveç	*21 USD/t	Ljungren, 1996
	İsveç	**105 USD/t	Ljungren, 1996
Transfer istasyonu	Istanbul/Türkiye	5 USD/t	İSTAÇ, 1997
	698,400 t /yıl	9.4 USD/m^3	Modak and Everett, 1996
	95,200 t/yıl	3.1 USD/m^3	
	22,509 t /yıl	5 USD/t	Movassaghi, 1993
	-	2.35 USD/t	Güllü, 1990
Toplama, taşıma ve düzenli depolama	New York	143 USD/ton	Clark, 1993
	Istanbul	49.40 USD/ton	Yaman, 2012
*Transfer istasyonu var	**Transfer istasyonu yok	***Transfer istasyonuna kadar	

Çalışma alanındaki katı atık toplama araçlarının rotalarının, CBS araçları kullanılarak yapılan optimizasyon sonucunda oluşturulan rotalardan farklı olduğu anlaşılmıştır. Mevcut toplama sistemi nedeniyle araçların aynı güzergah üzerinde birden fazla mahalleden geçtiği görülmüş ve sahada anlık güzergah değişikliklerine karar verilmiştir. Bu nedenle optimize edilmiş rotaları karşılaştırmak için herhangi bir rota bilgisi elde etmek mümkün olmadı. Sonuç olarak herhangi bir mahalledeki atık toplama noktalarında katı atıkların toplanması için en uygun güzergahın belirlenmesi amaçlandı ve güzergah optimizasyonu buna göre yapıldı. Tahsilat maliyetlerinin hesaplanmasında mevcut tahsilat sistemi ve yıllık harcamalar dikkate alınmaktadır. Hesaplanan birim maliyetler, katı atıkların toplanıp aktarma istasyonuna iletilmesi süreçlerinin maliyetini temsil etmektedir. Optimize edilen güzergahlarda araçlar garajdan ortalama 3276 m yol kat ederek ilk katı atık toplama noktasına, son atık toplama

noktasından ise ortalama 24112 m yol kat ederek Baruthane Katı Atık Transfer İstasyonuna ulaşmaktadır. Şişli'de bulunan ve 1995 yılından bu yana hizmet veren bir tesistir. Bilindiği üzere katı atık toplama, yönetim süreçlerinde en önemli maliyet kalemidir. Dolayısıyla Beşiktaş İlçesi'ndeki katı atık toplama işleminin birim maliyetlerinin de hesaplanması bekleniyor. Bu çalışmada mevcut katı atık birim maliyetleri yıllık çalışma saatleri dikkate alınarak hesaplanmış araç yakıt vb. maliyetleri araç kapasitesine bağlı olarak dakika başına 0,07 ile 0,41 dolar arasında değişmektedir. Toplam maliyet, toplama süresinin dakikası başına 0,1 ile 0,47 sent arasında değişmektedir. Ayrıca Beşiktaş İlçesi'nde bu çalışma kapsamında seçilen 3 mahallede optimize edilen tüm güzergahlara ilişkin diğer veriler Tablo 5.4.'te verilmektedir. Tablo 5.4.'ten görüleceği üzere mevcut güzergahlarda ilk konteyner noktasından garaja olan mesafe 0,52 ile 8,1 km arasında değişirken, sıfır atık kapsamında optimize edilen güzergahlarda 0,7 ile 6,4 km arasında değişmektedir. Mevcut güzergahlarda son konteyner noktasından aktarma istasyonuna olan mesafe 6,4 ile 15,8 km arasında değişirken, sıfır atık için optimize edilen güzergahlarda 27 ile 33,1 km arasında değişmektedir. Mevcut güzergahlarda KKA toplama aracı hızı değişiklik göstermektedir. 19,2 ile 35,74 km/saat arasında, sıfır atık esasına göre optimize edilen güzergahlarda ise 27,97 ile 28,66 km/saat arasında değiştiği tespit edildi.

Bu tezde tüm yerleşim yerlerinde uygulanabilecek bir analiz yapılmış olup, hangi atık bertaraf yönteminin hangi kaynakta ayırma yöntemine uygun olacağı tespit edilmiştir. Katı atıkların kaynağında altı farklı konteynerde ayrıştırılarak ayrı toplanmasının sıfır atık yönetimi için en uygun çözüm olacağı sonucuna varıldı. Böylece malzeme geri kazanımı (MRF) tesislerinde iş yükü azaltılacak ve malzeme geri dönüştürülebilir atıklar minimum kayıpla ikincil üretim süreçlerine entegre edilebilecektir. Organik atıkların biyometanizasyon (BMP) ve kompostlaştırma (CP) süreçlerinde verimli bir şekilde değerlendirilmesi mümkün olacaktır. Bu durumda hem termal prosesler (TP) hem de düzenli depolama (SLF) bertaraf yöntemlerinin yükü ve dolayısıyla bu tesislerin küresel ısınmaya olan etkileri azalacaktır.

Türkiye ve İstanbul özelinde bir değerlendirme yapılırsa sıfır atık ilkeleri kapsamında sıfır atık yönetmeliğinin asgari şartı, atıkların en az iki farklı kapta ayrı ayrı toplanmasıdır. Türkiye'de sıfır atık yönetmeliğinin asgari gerekliliğinin

uygulanması durumunda [133], bu, atıkların %60'ının malzeme geri kazanım tesislerine (MRF) gittiği anlamına gelmektedir. Kalan yüzde 40'lık kısım ise kompostlaştırma (CP), biyometanizasyon (BMP) ve düzenli depolama (SLF) tesislerinde değerlendirilerek bu tesislerin yükü azaltılacaktır. Kompostlaştırma tesislerinde cam sorunu da büyük oranda ortadan kalkacak, kompost kalitesi artacaktır.

Yerleşim yoğunluğuna bağlı olarak katı atıkların kaynakta ayrıştırılmasının modellenmesi: Bu çalışma kapsamında, katı atıkların yerleşim yoğunluğuna bağlı olarak kaynağında ayrıştırılması için bir yöntem önerilmiştir. Saha çalışması sırasında, yerleşim yerlerinde kentsel katı atık yönetiminin iki bileşene (geri dönüştürülebilir atıklar ve diğer tehlikesiz) ayrılması konusunda bölge sakinlerinin herhangi bir endişesinin olmayabileceği gözlemlenmiştir. Tam tersine işyerlerinde sıfır atık yönetim planı çerçevesinde kaynağında ayrıştırılan atık bileşenlerinin sayısı yerleşim yerlerine göre daha fazla olabiliyor. Bu gözlem ve araştırmaların sonuçlarına göre [144] Beşiktaş İlçesi'ndeki mahalleler ikamet yoğunluğuna göre RDN, WDN ve ODN olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır. Bu sınıflandırma tüm yerleşmeler için kolaylıkla uygulanıp modellenebilir. Beşiktaş İlçesi'ndeki mahalleler belirlenen yönteme göre sınıflandırılarak her sınıftan bir mahalle için sıfır atık yönetiminin gereklilikleri doğrultusunda analizler yapılmıştır.

5.5 Öneriler

Tüketim odaklı atık hiyerarşisi yerine kaynak tasarrufu odaklı sıfır atık yönetimine öncelik verilmesi, karmaşık bir yapıya sahip olan belediye katı atık yönetimine tazeleyici bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre mevcut toplama araçları, konteynerler vb. senaryo 3'e göre yeni bir MSW toplama sistemi kurmak için yeterlidir. Ayrıca hem mevcut toplama sistemi hem de MSW toplama aracının egzoz emisyonları Bu çalışmada optimize edilen toplama süreci de hesaplanmıştır. Sonuçlara göre senaryo 3 uygulandığında sera gazı emisyonları artabilecek. Ancak senaryo 3 uygulandığında, geri dönüştürülebilir atıkların MRF'de kolaylıkla ayrıştırılacağı, mutfak organik atıklarının CP veya BMP tesislerinde geri kazanılacağı ve daha az organik madde üretileceği dikkate alındığında, sera gazı emisyonlarında ciddi bir

azalma olacağı öngörülüyor. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre atık yönetim sisteminin sürdürülebilirliği, tüm paydaşların katkı sağlayacağı nitelikli beyin fırtınasından geçmektedir. Atık yönetimi süreçlerine ilişkin tüm paydaşların katkısının yüz yüze veya çevrimiçi anketler yoluyla alınabileceği düşünülmektedir. Elde edilecek verilerin matematiksel atık yönetim modellerine entegre edilmesi sürdürülebilir bir KWM sistemi için faydalı olacaktır. Yani kaynağında ne kadar çok bileşen ayrıştırılırsa o kadar kaliteli ikincil ürünler elde edilebilir ve bertaraf süreçleri kaynak tasarrufu odaklı yürütülebilir. Bu çalışmada kaynağında ayırmanın yüksek saflıkta gerçekleştirildiği varsayılmıştır. Atıkların ayrı ayrı toplanıp en uygun arıtma prosesine alındığı varsayılmaktadır. Ancak gerçekte atıklar ayrı ayrı toplansa bile saflık yüzdesi düşüktür. Ayrıca beklenen atıklar atık bertaraf süreçlerine istenilen düzeyde ulaşmamaktadır. Gelecekte yapılması gerekenlerden biri de atık üretimi ve yönetimi ile ilgili tüm paydaşların planlanan modeller kapsamında bilgilendirilmesi ve geri bildirimlerinin alınmasıdır.

Kaynakta ayırmaya dayalı AHP ile BKA bertaraf yöntemleri: Atık bertarafına dayalı kaynakta ayırma yöntemlerine göre analiz literatürde mevcut değildir ve bu konuda yapılan ilk çalışmadır. AHP ile değerlendirme sürecinde, MSW bertaraf yöntemleri için en uygun malzemenin en yüksek oranda hangi kaynakta ayırma yöntemiyle elde edilebileceği konusunda uzman bilgisinden yararlanılmıştır.

Burada modellenen konut yoğunluğuna göre kaynak ayırma prosesinin verimliliği konusunda gelecek çalışmalara ihtiyaç vardır. Literatürde bu konuyla ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle önerilen yöntemlerin hanelerden geri bildirim alınarak (anketler yoluyla) güncellenmesi gerekmektedir.

Konut yoğunluğuna göre sıfır atık yönetimi uygulanması durumunda yerleşik nüfusa ek olarak dışardan gelen nüfusun oluşturduğu atık yükünün takip edilmesi ve ona göre konteyner ve toplama aracı planlaması yapılması önerilmektedir.

Ahp ile bölgenin kentsel atık aktarma istasyonu ve bertaraf tesislerine olan mesafeleri göz önüne alındığında oluşturulan senaryolara göre en uygun yöntem belirlendiğinden sonraki süreçlerde de olası durum değişikliklerine göre senaryolar analiz edilmelidir.

Coğrafi bilgi sistemleri destekli rota oluşturulmasında araçların doluluk oranları artacak, gereksiz katedilen yollar olmayacak ve dolayısyla hem çevresel ham maddi anlamda önemli farklar elde edilecektir.

Sıfır atık yönetim sistemi her ne kadar mevzuat kapsamında 4 – 5 yıllık bir süreçte uygulanıyor olsa da her ilçe hatta her mahalle özelinde toplama verimliliği değişkenik göstermektedir. Toplama verimini etkileyen faktörlerle (hanelerin kaynağında ayırma oranı, ekipman yeterliliği, ekpmanların ulaşılabilir olması, yerel yönetimlerin konuya verdiği önem vb.) ilgili takiplerin yapılıyor olması, beklenen verimin alınmadığı durumlarda bilgilendrime ve anket çalışmaların yapılması ve eksiklerin giderilmesi yönünde çalışmalar mutlaka yapılmalıdır.

KAYNAKÇA

[1] A. Zaman, T. Ahsan, *Zero-Waste: Reconsidering waste management for the future,* 1st ed.; Routledge: NY, USA, 2020.

[2] C.H. Li, T.T. Lee, S.S.Y. Lau, "Enhancement of Municipal Solid Waste Management in Hong Kong through Innovative Solutions: A Review," *Sustainability*, vol.15, pp. 3310, 2023. https://doi.org/10.3390/su15043310.

[3] X. Zhang, C. Liu, Y. Chen, G. Zheng, "Source separation, transportation, pretreatment, and valorization of municipal solid waste: a critical review," *Environ. Dev. Sustain.*, vol. 24, pp. 11471–11513, 2022. doi: 10.1007/s10668-021-01932-w

[4] S. E. Taelman, D. Tonini, A. Wandl, J. Dewulf, "A Holistic Sustainability Framework for Waste Management in European Cities: Concept Development," *Sustainability*, vol. 10, pp. 2184, 2018. https://doi.org/10.3390/su10072184

[5] R. Giel, A. Dabrowska, "Estimating Time Spent at the Waste Collection Point by A Garbage Truck with A Multiple Regression Model" *Sustainability*, vol. 13, pp. 4272, 2021. https://doi.org/10.3390/su13084272.

[6] Ö. Apaydin, M.T Gönüllü, "Route optimization for solid waste collection: Trabzon (Turkey) case study," *Glob. Nest J.* vol. 9, pp. 6-11, 2007.

[7] S. Das, B.K. Bhattacharyya, "Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes," *Waste manage.* vol. 43, pp. 9-18, 2015, doi: 10.1016/j.wasman.2015.06.033.

[8] O. Hashemi-Amiri, M. Mohammadi, G. Rahmanifar, M. Hajiaghaei-Keshteli, G. Fusco, C. Colombaroni, "An allocation routing optimization model for integrated solid waste management," *Expert Syst. Appl.* vol. 227, 120364. 10.1016/j.eswa.2023.120364.

[9] G. Tavares, Z. Zsigraiova, V. Semiao, M. D. Carvalho, "A case study of fuel savings through optimisation of MSW transportation routes," *Manag. Environ. Qual.* vol. 19, pp. 444-454, 2008.doi: 10.1108/14777830810878632.

[10] V. Del Carmen-Niño, R. Herrera-Navarrete, A.L. Juárez-López, A.L., M.L. Sampedro-Rosas, M. Reyes-Umaña, "Municipal Solid Waste Collection: Challenges, Strategies and Perspectives in the Optimization of a Municipal Route in a Southern Mexican Town," *Sustainability,* vol. 15, pp. 1083, 2023. https://doi.org/10.3390/su15021083.

[11] S.M.D Islam, S.H. Rahman, M. Hassan, G. Azam, "Municipal Solid Waste Management using GIS Application in Mirpur Area of Dhaka City, Bangladesh," *Pollution,* vol. 2, pp. 141-151, 2016. doi: 10.7508/pj.2016.02.004

[12] J.A. Araiza-Aguilar, S. Cram-Heydrich, N. Ruiz-Rivera, O. Oropeza-Orozco, M.D. Fernandez-Lomelin, Rojas-Valencia, M.N. "GIS-based approach to zoning the risk associated with municipal solid waste management: application to regional scale," *Environ. Monit. Assess.* vol.193, pp. 69 2021. https://doi.org/10.1007/s10661-021-08864-y

[13] F. Villa, A. Arcidiacono, F. Causone, G. Masera, M. Tadi, M. Grosso, "GIS-Entering Rocinha: A GIS Approach for The Improvement Of Solid Waste Management In A Slum In Rio De Janeiro (Brazil)", *Detritus*, vol. 9, pp. 221-231, 2020. doi:10.31025/2611-4135/2020.13900.

[14] G. Manoharam, M.T. Ismail, I.A. Abir, M.K.M Ali, "Efficient Solid Waste Management in Prai Industrial Area through GIS using Dijkstra and Travelling Salesman Problem Algorithms," *Pertanika J Sci Technol*., vol. 29, pp. 1397-1418, 2021. doi: 10.47836/pjst.29.3.02.

[15] A.U. Zaman, S. Lehmann, "Urban growth and waste management optimization towards zero waste city," *City, Cult. Soc.*, vol. 2, pp. 177-182, 2011. https://doi.org/10.1016/j.ccs.2011.11.007.

[16] A. Singh, "Managing the uncertainty problems of municipal solid waste disposal," *J. Environ. Manag.* vol.. 240, pp. 259-265, 2019. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.025.

[17] S.T. Tan, S. Lee, C. Tin, H. Hashim, W.S Ho, J.S. Lim, "Optimal process network for municipal solid waste management in Iskandar Malaysia," *J. Clean. Prod.* vol. 71, pp. 48-58, 2014. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.005.

[18] W.P.Q. Ng, P.S Varbanov, J.J Klemeš, M. Hegyháti, B.Bertók, I. Heckl, H.L. Lam, "Waste to energy for small cities: economics versus carbon footprint," *Chem. Eng. Trans.*, vol. 35, pp. 889-894, 2013. doi: 10.3303/CET1335148.

[19] N. Juul, M. Münster, H. Ravn, M.L. Söderman, "Challenges when performing economic optimization of waste treatment: a review," *Waste Manag.* vol. 33, pp. 1918-1925, 2013. https://doi.org/10.1016/j.wasman. 2013.04.015.

[20] J.E. Santibañez-Aguilar, J. Martinez-Gomez, J.M Ponce-Ortega, "Optimal planning for the reuse of municipal solid waste considering economic, environmental, and safety objectives," *Am. Inst. Chem. Eng.*, vol. 61, pp. 1881-1899, 2015. https://doi.org/10.1002/aic.14785.

[21] A.M. Niziolek, O Önel, M.M Faruque Hasan, C.A. Floudas, "Municipal solid waste to liquid transportation fuels-part II: process synthesis and global optimization strategies," *Comput. Chem. Eng.* vol. 74, pp. 184-203, 2015. https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2014.10.007.

[22] G. Galante, G. Aiello, M. Enea, E. Panascia, "A multi-objective approach to solid waste management," *Waste Manag.*, vol. 30, pp. 1720-1728, 2010. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.01.039.

[23] N.B. Chang, Y.L. Chen, S.F.A Wang "Fuzzy interval multi objective mixed integer programming approach for the optimal planning of solid waste management systems," *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 89, pp. 35-59, 1997. doi: 10.1016/S0165-0114(96)00086-3.

[24] N. Phonphoton, C. Pharino, "Multi-criteria decision analysis to mitigate the impact of municipal solid waste management services during floods," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 146, pp. 106-113, 2019. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.044.

[25] L. Makarichi, K. Techato, W. Jutidamrongphan, "Material flow analysis as a support tool for multi-criteria analysis in solid waste management decision-making," *Resour. Conserv. Recycl.* vol. 139, pp. 351-365, 2018. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.07.024.

[26] C. Lin, L. Wen, Y. Tsai "Applying decision-making tools to national e-waste recycling policy: an example of analytic hier-archy process," *Waste Manag.* vol. 30, pp. 863-869, 2010. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.11.012.

[27] M. Garfì, S. Tondelli, A. Bonoli, "Multi-criteria decision analysis for waste management in Saharawi refugee camps," *Waste Manag.*, vol. 29, pp. 2729-2739, 2009. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.05.019.

[28] M.K. Younes, Z.M. Nopiah, N.E. Ahmad Basri, H. Basri, M.F.M Abushammala, K.N.A Maulud, "Prediction of municipal solid waste generation using nonlinear autoregressive network," *Environ. Monit. Assess.* vol. 187, pp. 753, 2015. doi:.10.1007/s10661-015-4977-5.

[29] D. Antanasijević, V. Pocajt, I. Popović, N. Redžić, M. Ristić, "The forecasting of municipal waste generation using artificial neural networks and sustainability indicators," *Sustain. Sci.,* vol. 8, pp. 37-46, 2013. https://link.springer.com/article/10.1007/s11625-012-0161-9.

[30] C. Dai, Y.P. Li, G.H. Huang, "A two-stage support-vector regression optimization model for municipal solid waste man-agement-a case study of Beijing, China," J. *Environ. Manage.* 2011, vol. 92, pp. 3023-3037, 2011. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.038.

[31] R. Noori, A. Karbassi, M.S. Sabahi, "Evaluation of PCA and Gamma test techniques on ANN operation for weekly solid waste prediction," *J. Environ. Manage.*, vol. 91, pp. 767-771, 2010. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.10.007.

[32] Çevre Kanunu. Kanun No. 2872, Kabul Tarihi: 09.08.1983, Resmi Gazete Tarihi: 11.08.1983/18132.

[33] Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 14.03.1991 tarih ve 20814 sayılı Resmi Gazete. Çevre Bakanlığı, Ankara.

[34] H. Jiarong, T. Kelvin, Q Xuepeng, S. Furong, Z. Weisheng, "Behavioral change in waste separation at source in an international community: An application of the theory of planned behavior," *Waste Manage.*, vol. 135, pp. 397-408, 2021. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.09.028.

[35] K. Stoeva, S. Alriksson, "Influence of recycling programmes on waste separation behavior," *Waste Manage.*, vol.68, pp. 732-741, 2017. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.06.005.

[36] Ö. Apaydın, *Atık Yönetimi ve Geri Dönüşüm Ders Notları*, 2023.

[37] G. Kocasoy, *Katı atık terimleri açıklamalı sözlüğü*, Katı Atık Türk Milli Komitesi, İstanbul, Williams, s. 57, 1994.

[38] O. Tabasaran, M. Kranert, İ. Öztürk, *Katı atık yönetimi ve teknolojileri,* İSTAÇ teknik kitaplar serisi -7, İstanbul, İnkılap Kitabevi, 2016.

[39] G. Tchobanoglous ve F. Kreith *Handbook of solid waste management*, Second Edition, Mc Graw- Hill Handbooks, New York, 2002.

[40] Atık Yönetimi Yönetmeliği, Resmî Gazete Tarihi: 02.04.2015 Resmî Gazete Sayısı: 29314, Türkiye Mevzuat Bilgi Sistemi.

[41] Ö. Aydoğan, G. Varank, M.S. Bilgili, "Gaziantep tıbbi atık yönetimi," *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi (Sigma)*, vol. 3, pp.132-140, 2011.

[42] T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, *Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği.* Resmi Gazete, (25406), 2003.

[43] B. A. Hakami, and E. S. Abu Saif, "Household solid waste composition and management in Jeddah City, Saudi Arabia: A planning model," *International Research Journal of Environment Sciences*, vol. 4(1), pp. 1-10, 2015.

[44] V.S. Ashok "Sustainable solid waste management: An integrated approach for Asian countries," *Waste management*, vol. 29, pp.1438-1448, 2009.

[45] E.C. Rada, M. Grigoriu, M. Ragazzi, P. Fedrizzi, "Web oriented Technologies and equipments for MSW collection," In: Proceedings of the International Conference on Risk Management, Assessment and Mitigation, RIMA10, USA, pp. 150–153, 2010.

[46] H. Palabıyık, "Belediyelerde kentsel katı atık yönetimi: İzmir Büyükşehir Belediyesi örneği," *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Dergisi*, cilt: 15, sayı: 1, pp. 11 - 28, 2010.

[47] A.U. Zaman, S. Lehmann, “Challenges and opportunities in transforming a city into a “zero waste city,” *Challenges,* vol. 2 (4), 73-93, 2011.

[48] J. Hultman, H. Covellec, “The european waste hieraarchy: From the sociomateriality of waste to a politics of consumption,” *Environment and planning A*, vol. 44(10), pp. 2413-2427, 2020.

[49] T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Sanayi Genel Müdürlüğü, Ulusal Geri Dönüşüm Strateji Belgesi ve Eylem Planı 2014-2017

[50] A. Iqbal, X. Liu, G.H. Chen, “Municipal Solid Waste: Review of Best Practices in Application of Life Cycle Assessment and Sustainable Management Techniques,” *Science of the Total Environment*, vol. 729. Elsevier B.V., pp. 138622, 2020. https://doi. org/10.1016/j.scitotenv.2020.138622

[51] Portugal, Decrete-Law n. 178/2006. Aprova o regime geral da gesta˜o de resíduos, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva n.o 2006/12/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril, e a Directiva n.o 91/689/CEE, do Conselho, de 12 de Dezembro. Di´ario da República, 1.a s´erie — N.o 171 5 de Setembro, 2006.

[52] N.F. Ramos, J.C. Gomes, A.B. Castilhos, R. Gourdon, Desenvolvimento de ferramenta para diagnóstico ambiental de lixões de resíduos sólidos urbanos no Brasil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental, 22,* 1233-1241, 2017.

[53] S. Jiang, “The practical implementation of the 3Rs or sustainable waste management in the Norfolk and Norwich University Hospital,” School of Environmental Sciences, Notwich, UK: Norwich University of east Angila, MSc., 2006.

[54] W. Hansen, M. Christopher, and M. Verbueheln, EU waste policyand challenges for regional and local authorities. Ecological Instituefor Internetional andand European Environmental Policy: Berlin, Germany, 2002.

[55] S. El-Haggar, *Sustainable Industrial Design and waste managment: Cradle to cradle forsustainable development*, Burlington, MA: Elsevier Academic Press 2007.

[56] European Parliament and Council Directive 2008/98/EC of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. [2008] OJ L312/3, Ekim 20, 2021 tarihinde http://data.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj adresinden alındı.

[57] N. Seltenrich, Incineration versus recycling: In Europe, a debate over trash. Environment 360: Opinion. *Analysis, Reporting & Debate*, 2013, From https://e360.yale.edu/features/incineration_versus_recyclingin_europe_a_debate_over_trash.

[58] İ. Öztürk, Katı Atık Yönetimi ve AB Uygulamalar. *İSTAÇ AŞ Teknik Kitaplar Serisi-2,* İstanbul, 2015.

[59] M. Öztürk, Çöp Toplama Maliyeti Nasıl Düşürülebilir. *İller ve Belediyeler Dergisi*, 777-778, 2013.

[60] T. Yaydırgan, *Mahalli idareler için evsel katı atık tarife belirleme yöntemi* (Master's thesis), Namık Kemal Üniversitesi, 2018.

[61] J.K. Ooi, K.S. Woon, H. Hashim, "A multi-objective model to optimize country-scale municipal solid waste management with economic and environmental objectives: A case study in Malaysia," *J. Clean. Prod.*, vol. 316, 128366, 2021. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021. 128366

[62] R.Y. Kannah, J. Merrylin, T.P. Devi, S. Kavitha, P. Sivashanmugham, G. Kumar, J.R. Banu, "Food waste valorization: Biofuels and value-added product recovery" *Bioresour. Technol. Rep.*, vol. 11, 100524, 2020. https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100524.

[63] M. Hasan, M. Rasul, M. Khan, N. Ashwath, M. Jahirul, "Energy recovery from municipal solid waste using pyrolysis technology: A review on current status and development," *Renew. Sust. Energ. Rev.* vol. 145, 111073, 2021. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.1110.

[64] J. Zhang, Q. Hu, Y. Qu, Y. Dai, Y. He, C.H. Wang, Y.W. Tong, "Integrating food waste sorting system with anaerobic digestion and gasification for hydrogen and methane co-production," *Appl. Energy*, vol: 257, 113988, 2020. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113988.

[65] R. Bala, M.K. Mondal, "Study of biological and thermo-chemical pretreatment of organic fraction of municipal solid waste for enhanced biogas yield," *Environ. Sci. Pollut. Res*, vol. 27, pp. 27293–27304, 2020.

[66] M. Cetin, "Consideration of permeable pavement in landscape architecture," *J. Environ. Prot. Ecol.* vol. 16, pp. 385–392, 2015. https://www.researchgate.net/publication/284992967_Consideration_of_permeable_pavement_in_landscape_architecture.

[67] X. Zhang, C. Liu, Y. Chen, G. Zheng, Y. Chen, "Source separation, transportation, pretreatment, and valorization of mu-nicipal solid waste: a critical review," *Environ. Dev. Sustain.* vol. 24, pp. 11471–11513, 2022. https://doi.org/10.1007/s10668-021-01932-w.

[68] TCCB (Turkish Republic Presidency), Resmi Gazete (Official newspaper). Ambalaj atıklarının kontrolü yönetmeliği (Packaging waste control regulation), https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=38745&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5. Access date: April 6, 2023.

[69] S.P. Gundupalli, S. Hait, A. Thakur, "A review on automated sorting of source-separated municipal solid waste for recycling," *Waste Manage.*, vol. 60, pp. 56–74, 2017. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.09.015.

[70] S. Pellegrinelli, "Configuration and reconfiguration of robotic systems for waste macro sorting." *Int. J. Adv. Manuf. Technol*., vol. 102, pp.3677–3687, 2019. https://doi.org/10.1007/s00170-019-03289-x.

[71] A. Singh, "Solid waste management through the applications of mathematical models," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 151, 104503, 2019. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104503.

[72] H.L.Vu., D. Bolingbroke, K.T.W. Ng, B. Fallah. "Assessment of waste characteristics and their impact on GIS vehicle collection route optimization using ANN waste forecasts". *Waste Manage*. vol. 88, pp. 118–130, 2019. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.037.

[73] X. Bing, M. de Keizer, J.M. Bloemhof-Ruwaard, J.G.A.J van der Vorst, "Vehicle routing for the eco-efficient collection of household plastic waste," *Waste Manage*. vol. 34, pp. 719–729, 2014. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.01.018.

[74] A. Yılmaz, Y. Bozkurt, "Türkiye'de Kentsel Katı Atık Yönetimi, Uygulamaları ve Kütahya Katı Atık Birliği (KÜKAB) Örneği," *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, sayı: 15(1), pp. 11-28, 2010.

[75] 5393 Sayılı Belediye Kanunu, T.C. Resmi Gazete, 25874, 13.07.2005.

[76] World Bank, World Bank Country and Lending Groups, 2021. https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519-world-bank-country-and-lending-groups. Erişim Tarihi: 19 Kasım 2022.

[77] TUİK, Belediye Atık İstatistikleri, 2018. https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Belediye-Atik-Istatistikleri-2018-30666. Erişim Tarihi: 06 Nisan, 2023.

[78] Ö. Apaydin, G.S. Akçay Han, "Analysis of Municipal Solid Waste Collection Methods Focusing on Zero-Waste Management Using an Analytical Hierarchy Process," *Sustainability*, vol. 15, 13184, 2023. https://doi.org/10.3390/su151713184

[79] ZWIA, Zero Waste Definition Retrieved from https://zwia.org/zero wastedefinition, Erişim Tarihi: 01 Aralık, 2018.

[80] K. Yaman, E. Olhan, "Atık Yönetiminde Sıfır Atık Yaklaşımı ve Bu Anlayışa Küresel Bir Bakış," *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, Cilt 3, No:1, pp. 53-57, 2010.

[81] S. Qingbin, L. Jinhui Z. Xianlai, "Minimizing the increasing solid waste through zero waste strategy," *Journal of Cleaner Production*, vol. 104, pp.199-210, 2015.

[82] M.L. Tseng, "Modeling sustainable production indicators with linguistic preferences," *J. Clean. Prod.* vol. 40, pp. 46-56, 2003. http://dx.doi.org/10.1016/ j.jclepro.2010.11.019.

[83] P. Connett, "The Zero Waste Solution. Chelsea Green Publishing, Vermont. Creswell, J.W.," *Research Design: Qualitative, Quantitative and Mixed Methods Approaches*, second ed., Sage Publications, California, 2003.

[84] W. Snow, *The Road to Zero Waste: Strategies for Sustainable Communities.* Auckland, 2003. http://www.zerowaste.co.nz/assets/Reports/roadto zerowaste 150dpi.pdf.

[85] D.A. Vallero, "Green engineering and sustainable design aspects of waste management.", In: Letcher, Trevor M., Vallero, Daniel A. (Eds.), *Waste*. Academic Press, Boston, pp. 11-21 (Chapter 2), 2011.

[86] A. Zaman, T. Ahsan *Zero-Waste: Reconsidering waste management for the future* (1st press), NY, Routledge, NY, USA, 2020.

[87] D. Knickmeyer, "Social factors influencing household waste separation: A literature review on good practices to improve the recycling performance of urban areas," *Journal of Cleaner Production*, vol. 245, 118605, 2020. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118605.

[88] A.U. Zaman, S. Lehmann, "Urban growth and waste management optimization towards zero waste city," *City, Cult. Soc.*, vol. 2, pp. 177-182, 2011. https://doi.org/10.1016/j.ccs.2011.11.007.

[89] R. Krausz, "All for naught? Acritical study of zero waste to landfill initiatives. (Doctor of philosophy), Lincoln University, New Zealand, 2012.

[90] W. Tennant, "Going for zero: A comparative critical analysis of zero waste events in southern New South wales," *Australian Journal of Environmental Management*, vol. 10(1), pp. 46-55, 2003.

[91] P. Glavic, and R. Lukman, "Review of Sustainability Terms and Their Definitions," *Journal of Cleaner Production*, vol. 15, pp.1875-1885, 2007. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.12.006

[92] P. Connett, "*Zero waste 2020: Sustainability in our hand. In SLR Crocker (Ed) Motivating Change Sustainable Design and Behaviour in the Built environment.* 1st edition, Routledge, London, Earthson, 2013.

[93] World Bank, World Bank Country and Lending Groups 2021 [Available from: https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519-world-bank-country-and-lending-groups. Access date: November 19, 2022.

[94] TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), Belediye katı atık istatistikleri 2018. https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Belediye-Atik-Istatistikleri-2018-30666. Access date: April 6, 2023.

[95] Ö. Apaydin, A. Yagci, A. Civelek, "The investigation of householders tendancies on separate at source point of recycelable solid wastes in Besiktas and Uskudar districts," *Sigma J. Eng. Nat. Sci*, vol. 2, pp.17-26, 2011.

[96] P.M. Berthouex, L.C. Brown, *Statistics for Environmental Engineers*, 2nd ed.; Levis Publisher: Boca Raton, FL, USA, 2002; Available online: www.crcpress.com Erişim tarihi: 22 Şubat 2023.

[97] İstanbul Beşiktaş Belediyesi. *Beşiktaş Belediyesi Faaliyet Raporları 2014-2019.*

[98] G. Haseli, A.E. Torkayesh, M. Hajiaghaei-Keshteli, S. Venghaus, "Sustainable resilient recycling partner selection for urban waste management: Consolidating perspectives of decision-makers and Experts," *Appl. Soft Comput.*, vol.137, 110120, 2023. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110120.

[99] N. Zafaranlouei, S.J. Ghoushchi, G. Haseli, "Assessment of sustainable waste management alternatives using the extensions of the base criterion method and combined compromise solution based on the fuzzy Z‑numbers," *Environ. sci. Pollut pic*, vol. 30, pp. 62121–62136, 2023. https://doi.org/10.1007/s11356-023-26380-z.

[100] C.L. Hwang, K. Yoon, *Methods for multiple attribute decision making. In Multiple attribute decision making.* Springer, Berlin, Heidelberg, 1981. https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3.

[101] E.K. Zavadskas, A. Kaklauskas, Z. Turskis, J. Tamosˇaitiene, "Selection of the effective dwelling house walls by applying attributes values determined at intervals," *J Civ Eng Manag.* 2008, no:14, pp. 85–93. https://doi.org/10.3846/1392-3730.2008.14.3.

[102] Z. Stevic, D. Pamucar, A. Puska, P. Chatterjee, “Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to compromise solution (MARCOS),” *Comput Ind Eng.*, vol. 140, 2020. https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106231.

[103] R.W. Saaty, “The analytical hierarchy process what it is and how it is used,” *Math. Modell.* vol.9, pp. 161–176, 1987. https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8.

[104] T.L. Saaty, “Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/network processes,” *EUR. J. Operat. pic.*, vol. 168, pp.557–570, 2006. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.032

[105] T. Saaty, “*Theory and applications of the analytic network process: decision making with benefits, opportunities, costs, and risks,*” RWS publications, 2013.

[106] V. Kersuliene, E.K. Zavadskas, Z. Turskis, “Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA),” *J Bus. econ. manag*. vol.11, pp.243–258, 2010. https://doi.org/10.3846/jbem.2010.12.

[107] J. Rezaei, “Best-worst multi-criteria decision-making method,” *Omega*, vol. 53, pp. 49–57, 2015. https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.09.

[108] D. Pamucar, Z. Stevic, S.A. Sremac, “A new model for determining weight coefficients of criteria in MCDM models: Full consistency method (fucom),” *Symmetry*, vol.10, pp. 393, 2018.

[109] G. Haseli, R. Sheikh, S.S. Sana, “Base-criterion on multi-criteria decision-making method and its applications,” *Int. J. Manag. Sci. Eng. Manag.*, vol. *15*, pp. 79–88, 2020.

[110] G. Haseli, R. Sheikh, *Base-Criterion Method (BCM). Multiple Criteria Decision Making: Techniques, Analysis and Applications*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2022.

[111] H. Xi, Z. Li, J. Han, D. Shen, N. Li, Y. Long, Z. Chen, L. Xu, X. Zhang, D. Niu, H. Liu, "Evaluating the capability of municipal solid waste separation in China based on AHP-EWM and BP neural network," *Waste Manage.* vol. 139, pp. 208–216, 2022. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.015.

[112] K. Al-Harbi, "Application of the AHP in project management. int." *J. Project Manage.* vol. 19, pp. 19-27, 2001. https://doi.org/10.1016/S0263-7863(99)00038-1.

[113] E. Kapluhan, "Coğrafi bilgi sistemlerinin (CBS) coğrafya öğretiminde kullanımının önemi ve gerekliliği," *Marmara Coğrafya Dergisi*, sayı. 29 Ocak, pp. 34-59, 2014. doi:10.14781 / MCD. 2014298120.

[114] P. Zambelli, C. Lora, R. Spinelli, C. Tattoni, A. Vitti, P. Zatelli, M. Ciolli, "A GIS decision support system for regional forest management to assess biomass availability for renewable energy production," *Environ. Modell. Software* vol. 38, 203–213, 2012.

[115] H. Turoğlu, *Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Temel Esasları*, 2. Baskı, İstanbul, Çantay yayınları, 2008.

[116] T. Yomralıoglu, *Coğrafi Bilgi Sistemleri-Temel Kavramlar ve Uygulamalar*, 1. Baskı, İstanbul, Seçil Ofset, 2000.

[117] T. Yomralıoğlu, *Coğrafi Bilgi Sistemleri: Temel Kavramlar ve Uygulamalar*. 7.Baskı, İstanbul, İber Ofset, 2015.

[118] R. Giel, A. Dabrowska, "Estimating Time Spent at the Waste Collection Point by A Garbage Truck with A Multiple Regression Model," *Sustainability*, vol. 13, pp. 4272, 2021. https://doi.org/10.3390/su13084272.

[119] V. Del Carmen-Niño, R. Herrera-Navarrete, A.L. Juárez-López, M.L. Sampedro-Rosas, M. Reyes-Umaña, "Municipal Solid Waste Collection: Challenges, Strategies and Perspectives in the Optimization of a Municipal Route in a Southern Mexican Town," *Sustainability*, vol. 15, pp. 1083, 2023. https://doi.org/10.3390/su15021083.

[120] Ö. Apaydin, M.T. Gönüllü, “Route optimization for solid waste collection: Trabzon (Turkey) case study.” *Glob. Nest J.*, vol. 9, pp. 6-11, 2007. https://doi.org/10.30955/gnj.000388.

[121] S.M.D. Islam, S.H. Rahman, M. Hassan, G. Azam, “Municipal Solid Waste Management using GIS Application in Mirpur Area of Dhaka City, Bangladesh,” *Pollution*, vol. 2, pp. 141-15, 2016. doi: 10.7508/pj.2016.02.004.

[122] Manoharam, G., Ismail, M., Abir, I. A., & Majahar Ali, M. K. (2021). Efficient Solid Waste Management in Prai Industrial Area through GIS using Dijkstra and Travelling Salesman Problem Algorithms. *Pertanika Journal of Science & Technology, 29*(3). Doi:10.47836/pjst.29.3.02.

[123] Ö. Apaydın, *“Trabzon şehri için katı atık yönetim alternatiflerinin coğrafi bilgi sistemi (CBS) destekli optimizasyonu”*, Doktora Tezi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004.

[124] G. Manoharam, M.T. Ismail, I.A. Abir, M.K.M. Ali, “Efficient Solid Waste Management in Prai Industrial Area through GIS using Dijkstra and Travelling Salesman Problem Algorithms,” *Pertanika J Sci Technol.* vol. 29, pp.1397-1418, 2021. doi:10.47836/pjst.29.3.02.

[125] I. S. Abdelli, F. Abdelmalek, A. Djelloul, K. Mesghouni, & A. Addou, GIS-based approach for optimised collection of household waste in Mostaganem city (Western Algeria). *Waste Management & Research, 34*(5), 417-426, 2016.

[126] H. L. Vu, D. Bolingbroke, K. T. W. Ng, & B. Fallah, B. Assessment of waste characteristics and their impact on GIS vehicle collection route optimization using ANN waste forecasts. *Waste Management, 88,* 118-130.

[127] M. Maimoun, M. Kaveh, R. Debra, "Multi-level multi-criteria analysis of alternative fuels for waste collection vehicles in the United States," *Science of the Total Environment*, vol. 550, pp. 349-361, 2016.

[128] H. Zbib, S. Wøhl, "A comparison of the transport requirements of different curbside waste collection systems in Denmark," *Waste Manage.*, vol. 87, pp. 21-32, 2019.

[129] Ö. Apaydin, M.T. Gönüllü, "Route optimization for solid waste collection: Trabzon (Turkey) case study," *Glob. Nest J.*, vol. 9, pp. 6-11, 2007. https://doi.org/10.30955/gnj.000388.

[130] N. Ferronato, G. Preziosi, M.A.G Portillo, E.G.G. Lizarazu, V. Torretta, "Assessment of municipal solid waste selective collection scenarios with geographic information systems in Bolivia," *Waste Manage.*, vol.102, pp. 919-931, 2020. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.12.010.

[131] D. A. Colvero, A.P.D. Gomes, K.A. dos Santos, "Use of a geographic information system to find areas for locating of municipal solid waste management facilities," *Waste Manage.*, vol. 77, pp. 500-515, 2018. DOI: 10.1016/j.wasman.2018.04.036.

[132] K. Nguyen-Trong, A. Nguyen-Thi-Ngoc, D. Nguyen-Ngoc, V. Dinh-Thi-Hai, "Optimization of municipal solid waste transportation by integrating GIS analysis, equation-based, and agent-based model," *Waste Manage.*, vol. 59, pp. 14–22, 2017. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.048.

[133] Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı, RG: Zero Waste Regulation. https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=32659&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5. Access date: April 6, 2023.

[134] S. Rodrigues, G. Martinho, A. Pires, "Waste collection systems. Part A: A taxonomy," *J. Clean. Prod.*, vol. 113, pp. 374–387, 2016. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.143.

[135] V. Yadav, S. Karmakar, "Sustainable collection and transportation of municipal solid waste in urban centers," *Sustain. Cities Soc.* vol. 53, 2020. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101937.

[136] K. Nguyen-Trong, A. Nguyen-Thi-Ngoc, D. Nguyen-Ngoc, V. Dinh-Thi-Hai, "Optimization of municipal solid waste transportation by integrating GIS analysis, equation-based, and agent-based model," *Waste Management*. vol. 59, pp. 14–22, 2017. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.048.

[137] A. Maalouf, M. El-Fadel, " Effect of a food waste disposer policy on solid waste and wastewater management with economic implications of environmental externalities,"*Waste Manag.* , vol. 69, pp. 455–462, 2017.

[138] S.N.M. Menikpura, S.H. Gheewala, S. Bonnet, C. Chiemchaisri, "Evaluation of the effect of recycling on sustainability of municipal solid waste management in Thailand*," Waste Biomass Valoriz*. vol. 4, pp. 237–257, 2013. https://doi.org/10.1007/s12649-012-9119-5.

[139] R. Giel, A. Dabrowska, "Estimating Time Spent at the Waste Collection Point by A Garbage Truck with A Multiple Regression Model," *Sustainability*, vol. 13, pp. 4272, 2021. https://doi.org/10.3390/su13084272.

[140] Apaydin, Ö., Gönüllü, M.T. "Route optimization for solid waste collection: Trabzon (Turkey) case study*," Glob. Nest J.*, vol. 9, pp. 6-11, 2007. https://doi.org/10.30955/gnj.000388.

[141] G. Boskovic, N. Jovicic, M. Milasinovic, G. Jovicic, D. Milasinovic, "Methodology for reduction of GHG emissions from MSW collection and transport," *Int. j. Qual. Res.*, vol. 7, pp. 641-652, 2017. http://www.ijqr.net/journal/v7-n4/12.pdf.

[142] F. Barnaud, P. Schmezle, P. Schulz, AQUAZOLET: "An original emulsified water–diesel fuel for heavy-duty applications, diesel and gasoline performance and additives," *USA: Society of Automotive Engineers, Inc.*, pp. 95–99, 2000.

[143] Ö. Apaydin, E. Arslankaya, Y. Avşar, M.T. Gönüllü, "GIS supported optimization of solid waste collection in Trabzon," *Sigma J. Eng. Nat. Sci*., vol. 22, pp. 249-254, 2004. https://sigma.yildiz.edu.tr/article/1179.

[144] Ö. Apaydin, A. Yagci, A. Civelek, "The investigation of householders' tendancies on separate at source point of recycelable solid wastes in Besiktas and Üsküdar districts," *Sigma J. Eng. Nat. Sci*., vol. 3, pp. 17-26, 2011. https://sigma.yildiz.edu.tr/article/954.

A
BEŞİKTAŞ İLÇESİ KATI ATIK TOPLAMA İŞLEMİ İLE İLGİLİ FOTOĞRAFLAR



Şekil A1 770 lt kapasiteli Galvaniz Çöp Konteyneri- 13+1,5 m^3 çöp aracı



Şekil A2 3000-3750 lt kapasiteli Yerüstü Çöp Konteyneri



Şekil A3 33000-3750 lt kapasiteli Konteyner Toplama Aracı (ÇAÇA)



Şekil A4 7 m^3 kapasiteli Konteyner Toplama Aracı (ÇAÇA)

B

BEŞİKTAŞ İLÇESİ ARC GIS 10.5 NETWORK ANALYST MODÜLÜ İLE PİLOT MAHALLELER İÇİN YAPILAN ROTA ÇALIŞMALAR

Konaklar Mahallesi için karışık toplama rotaları Harita B1-B2

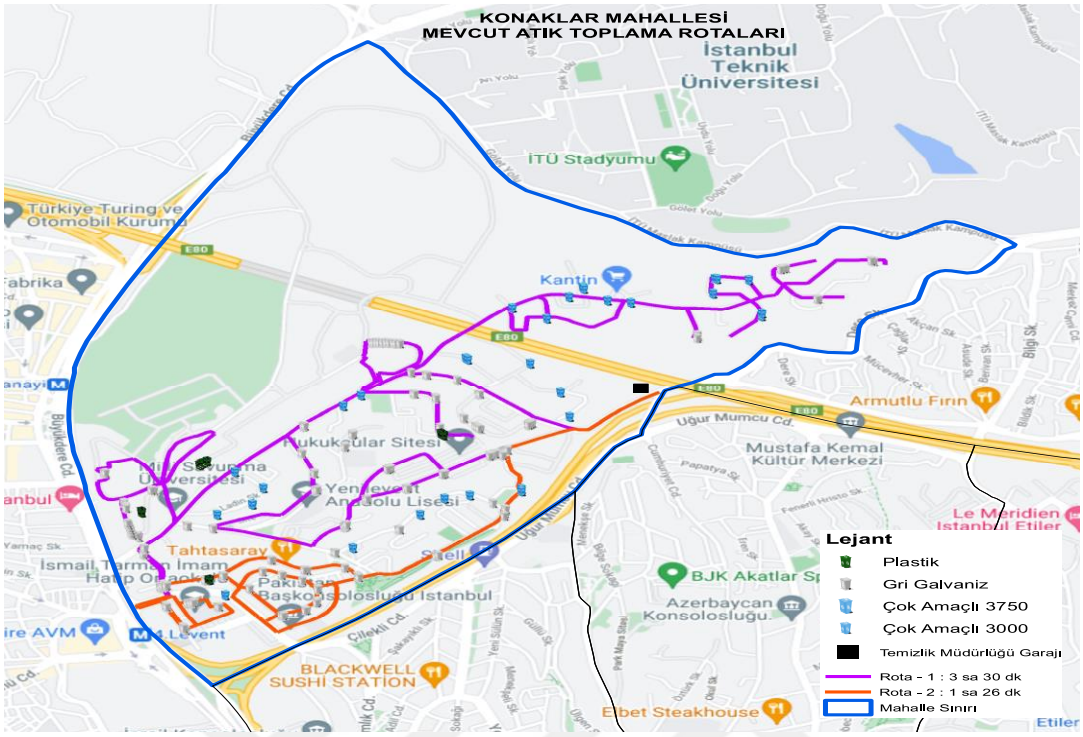
Konaklar Mahallesi için sıfır atık yaklaşımı ile toplama rotaları Harita B3-B4-B5

Nisbetiye Mahallesi için karışık toplama rotaları Harita B6-B7

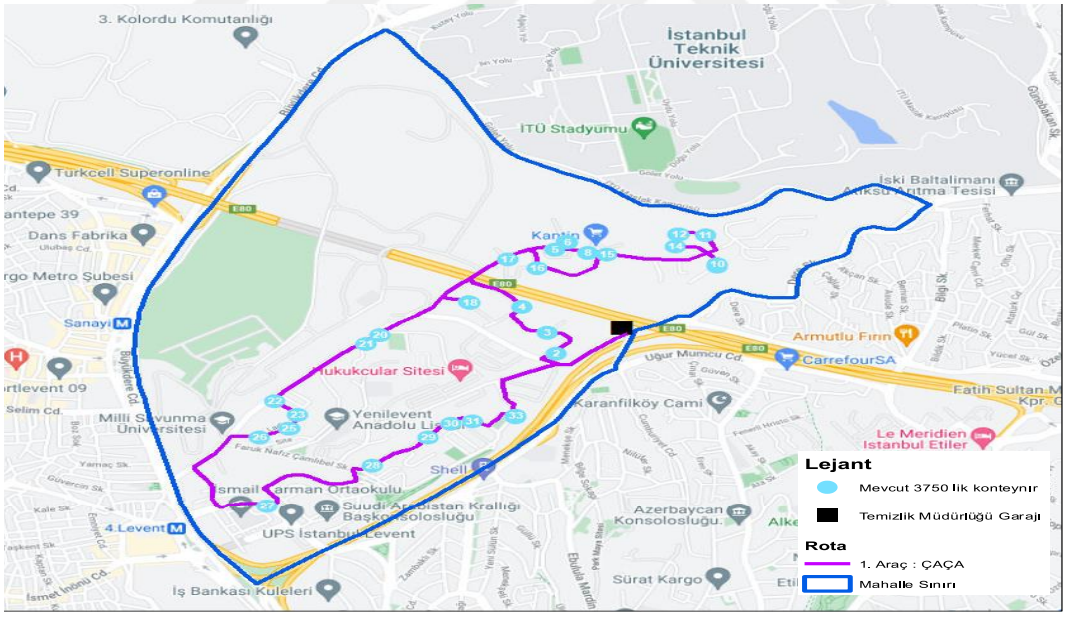
Nisbetiye Mahallesi için sıfır atık yaklaşımı ile toplama rotaları Harita B8-B9-B10

Sinanpaşa Mahallesi için karışık toplama rotaları Harita B11.

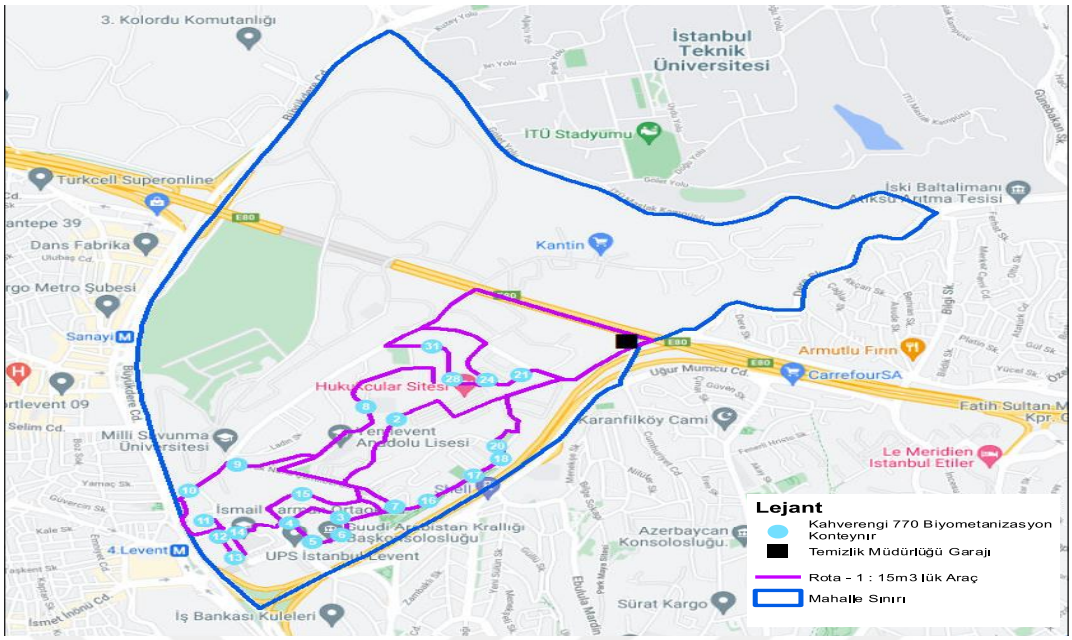
Sinanpaşa Mahallesi için sıfır atık yaklaşımı ile toplama rotaları Harita B12-B13-B14



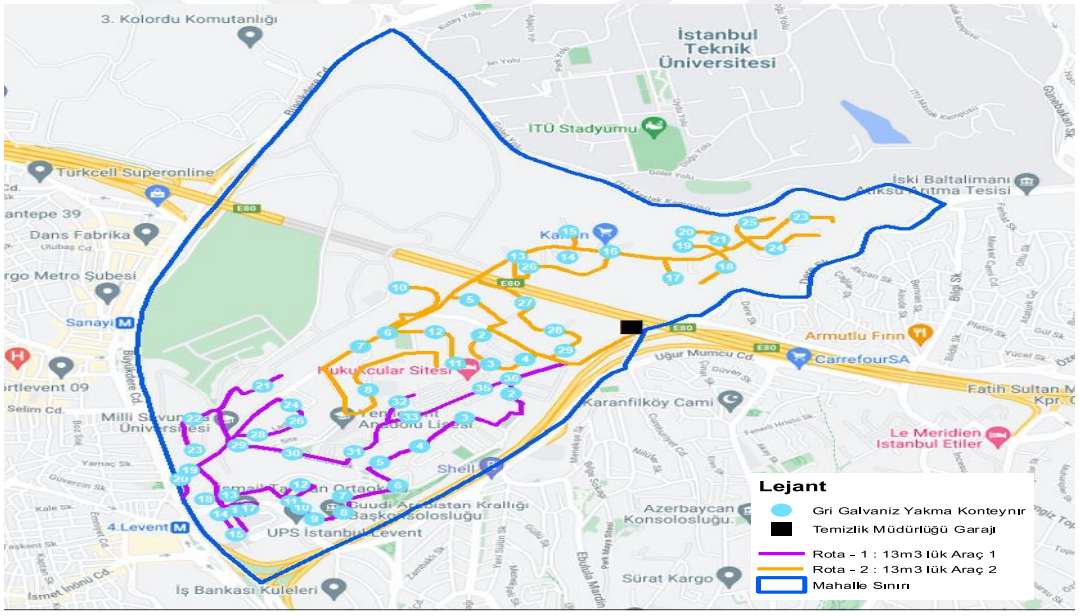
Harita B1 Konaklar Mahallesi için karışık toplama rotaları



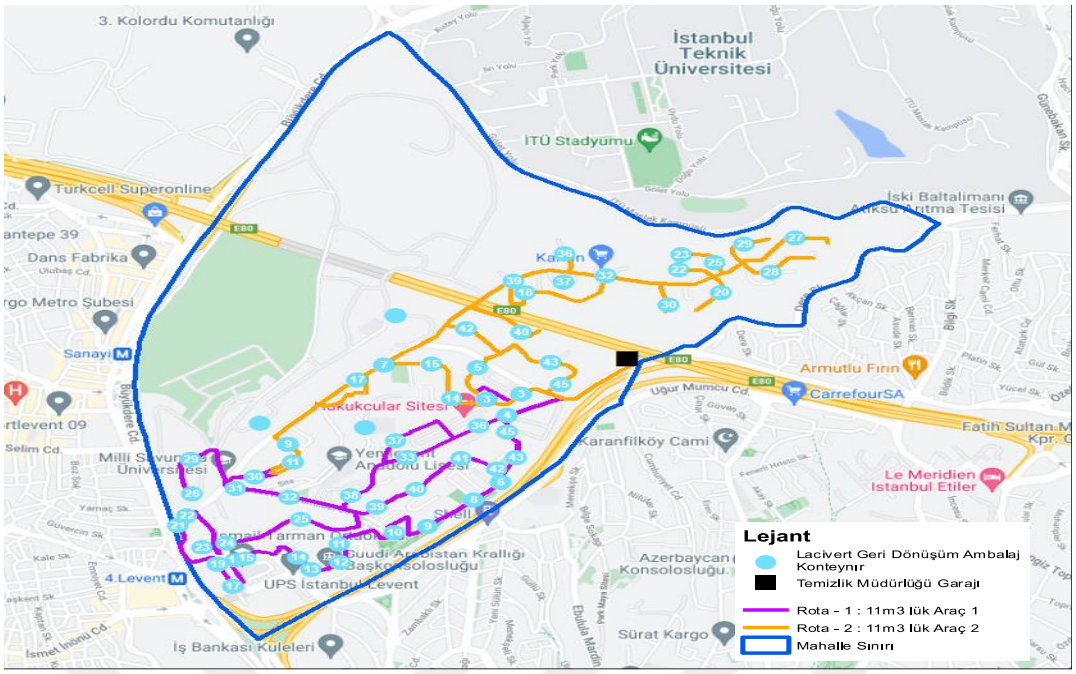
Harita B2 Konaklar Mahallesi için karışık toplama rotaları



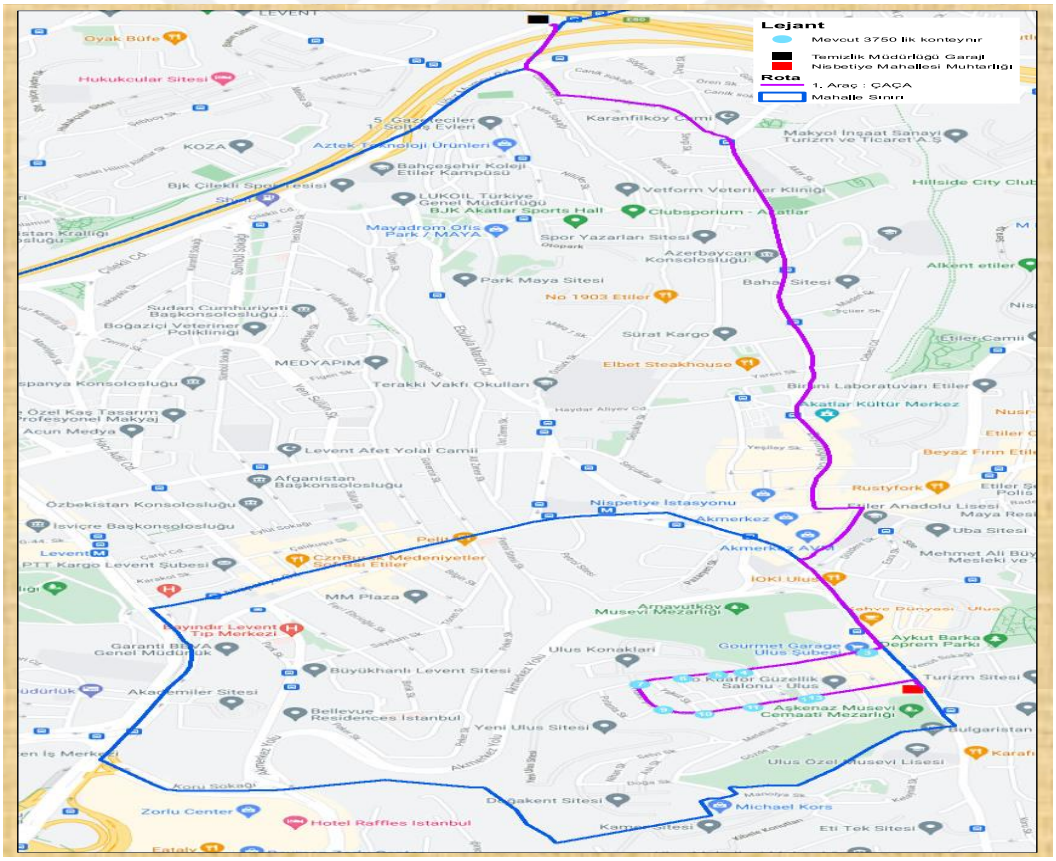
Harita B3 Konaklar Mahallesi için sıfır atık yaklaşımı ile toplama rotaları



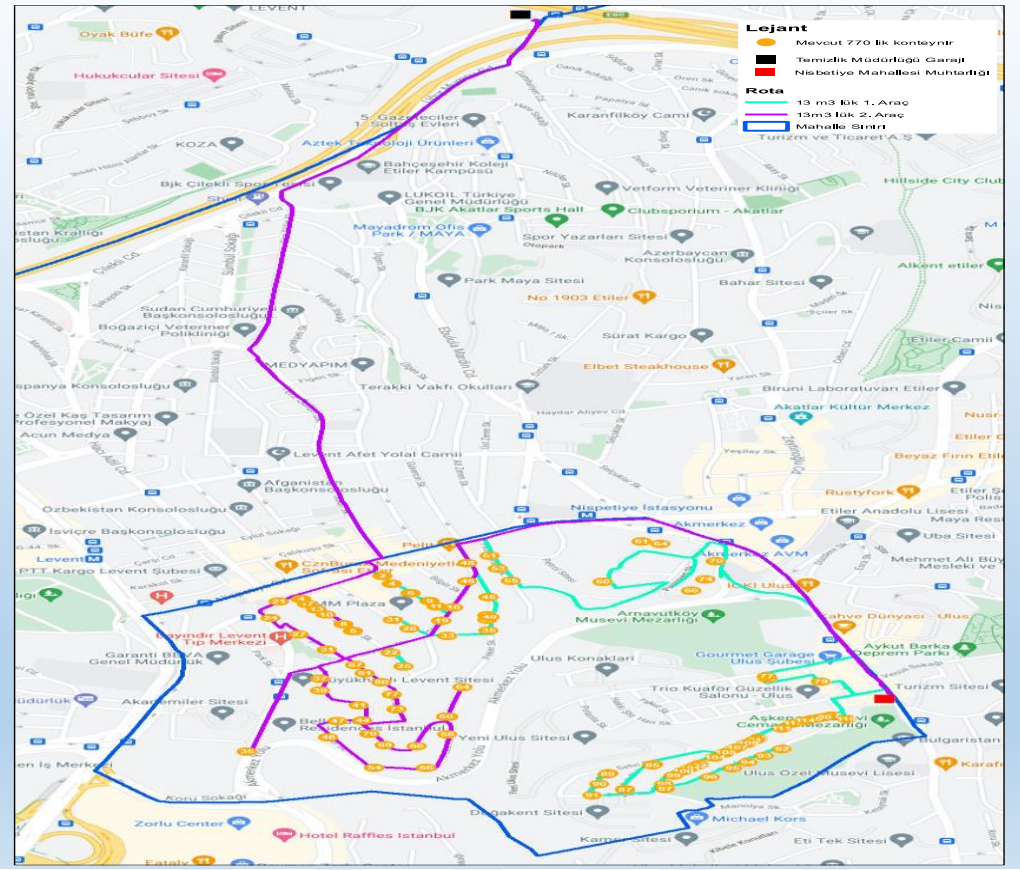
Harita B4 Konaklar Mahallesi için sıfır atık yaklaşımı ile toplama rotaları



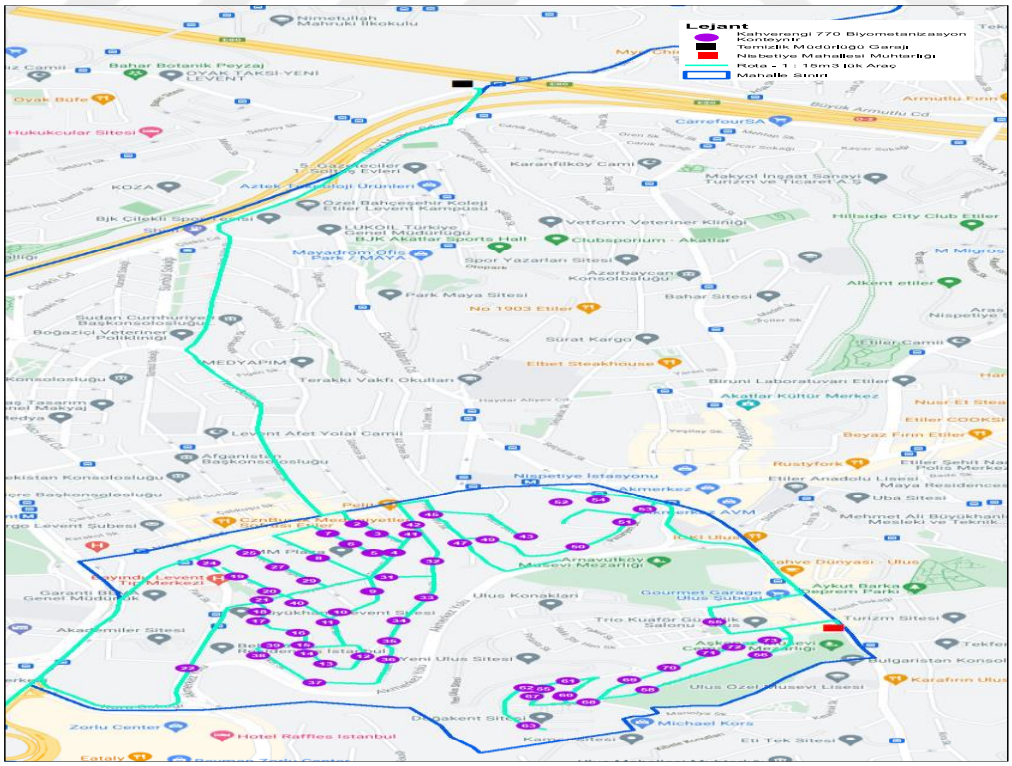
Harita B5 Konaklar Mahallesi için sıfır atık yaklaşımı ile toplama rotaları



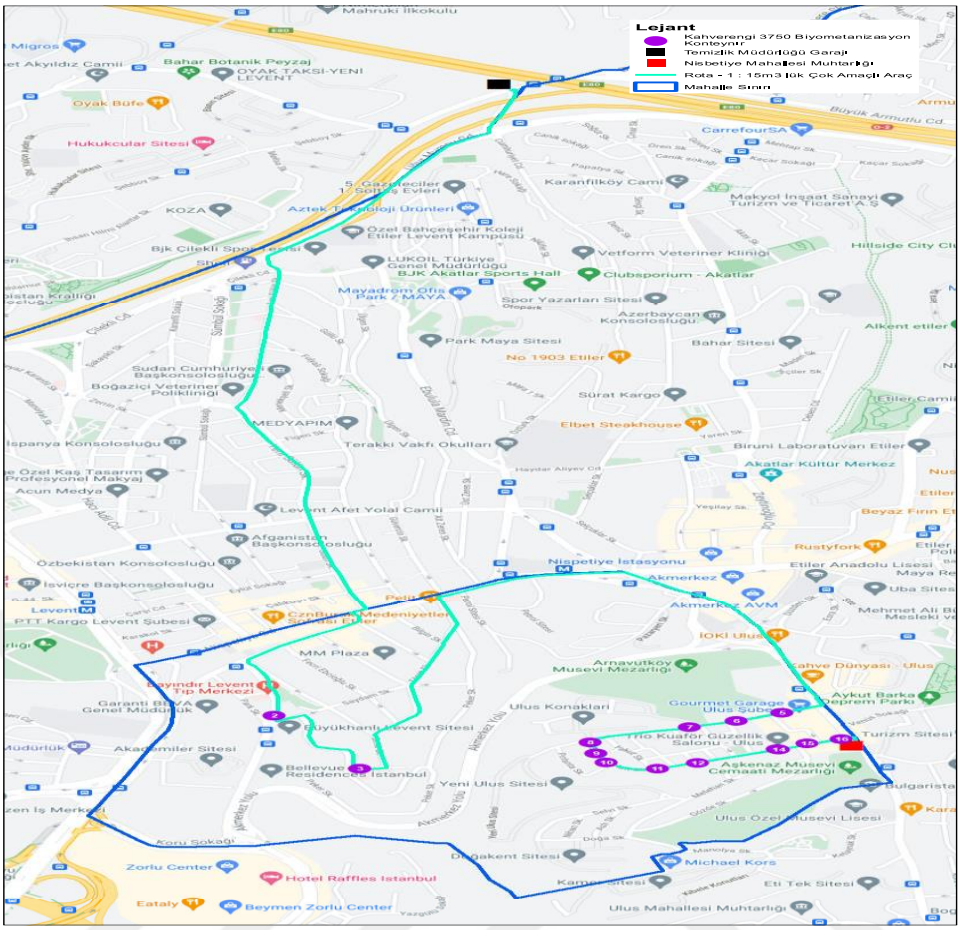
Harita B6 Nisbetiye Mahallesi için karışık toplama rotaları



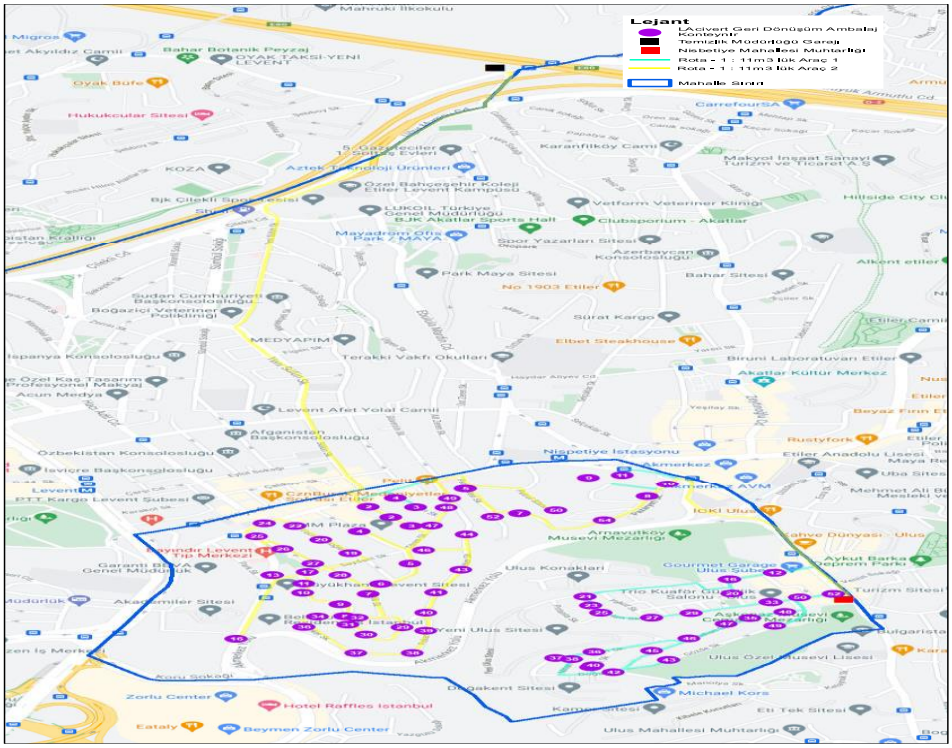
Harita B7 Nisbetiye Mahallesi için karışık toplama rotaları



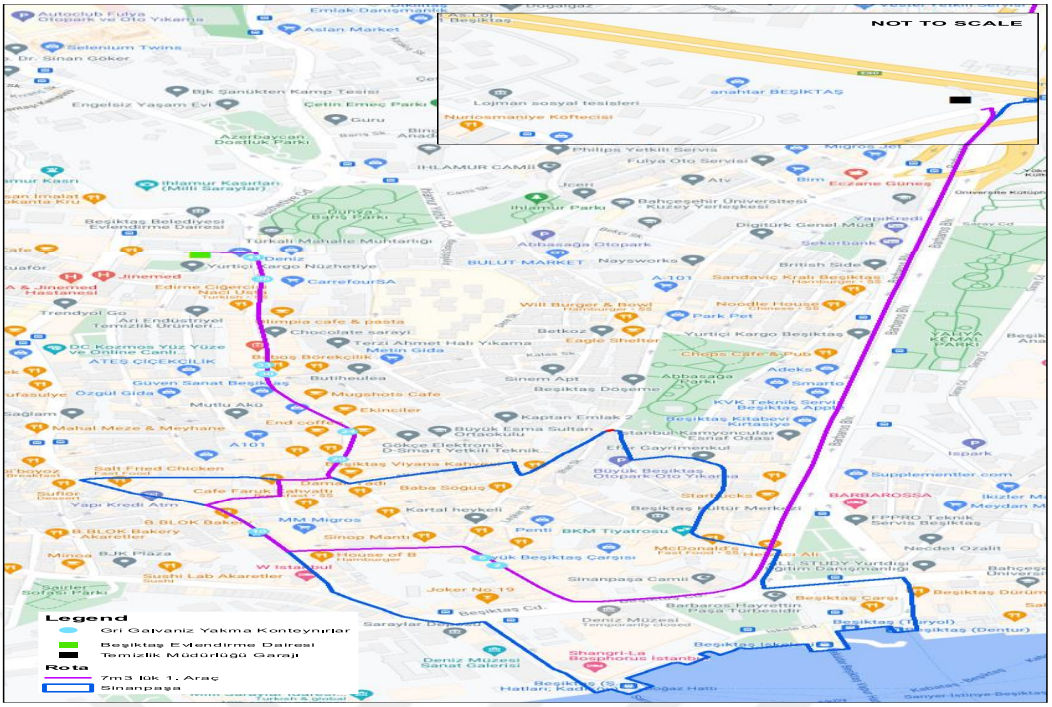
Harita B8 Nisbetiye Mahallesi için sıfır atık yaklaşımı ile toplama rotaları



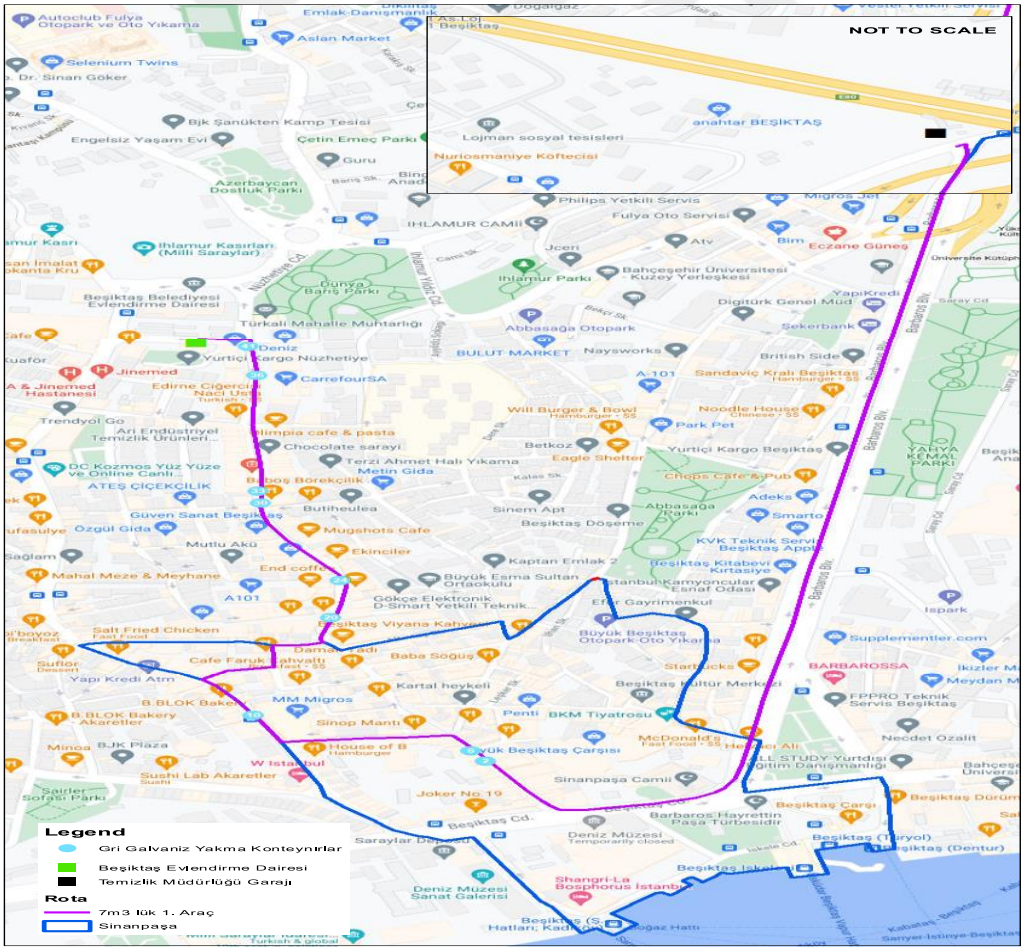
Harita B9 Nisbetiye Mahallesi için sıfır atık yaklaşımı ile toplama rotaları



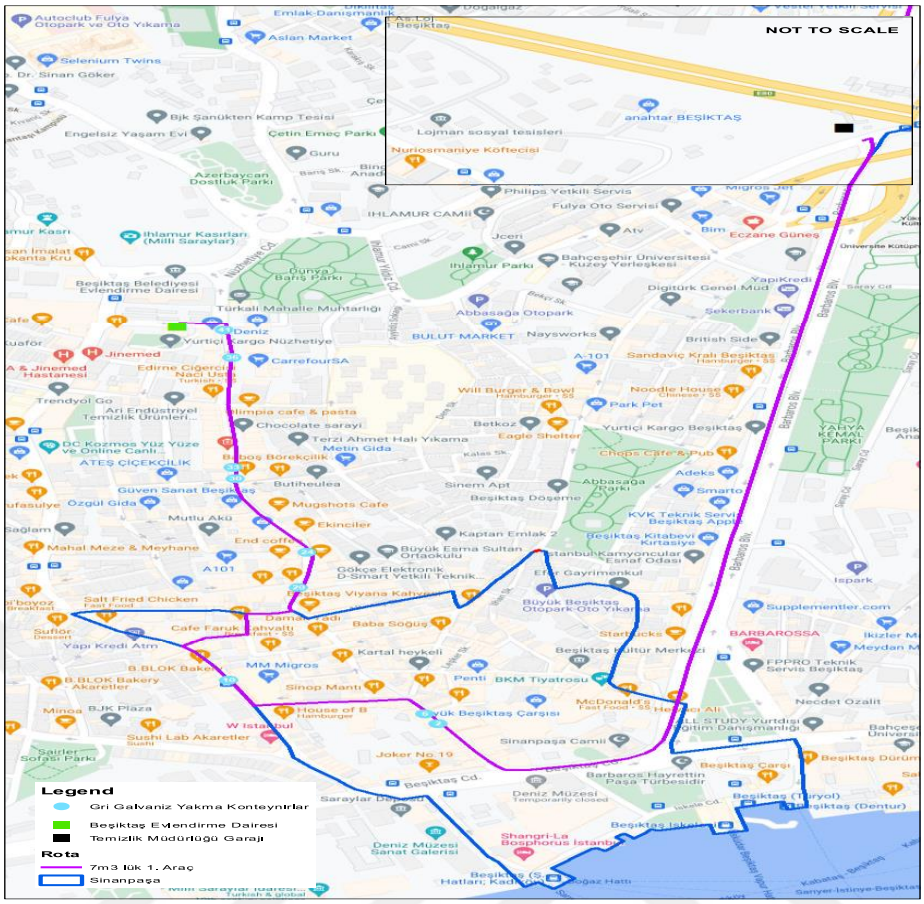
Harita B10 Nisbetiye Mahallesi için sıfır atık yaklaşımı ile toplama rotaları



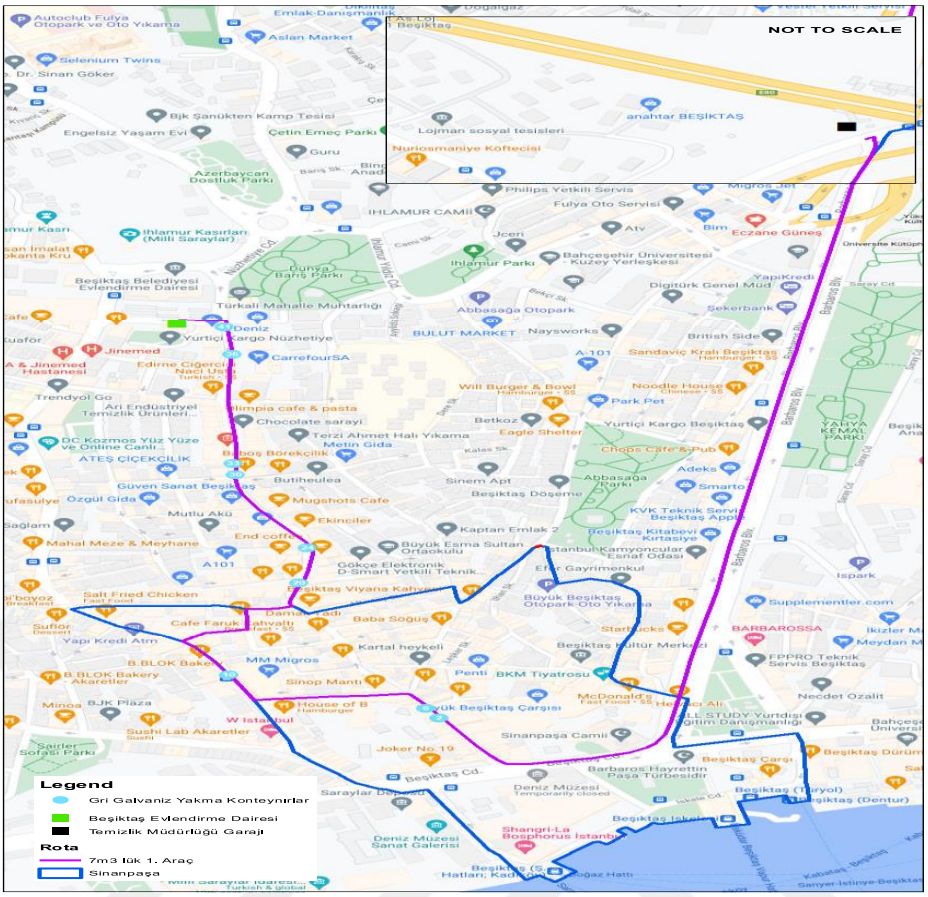
Harita B11 Sinanpaşa Mahallesi için karışık toplama rotaları



Harita B12 Sinanpaşa Mahallesi için sıfır atık yaklaşımı ile toplama rotaları



Harita B13 Sinanpaşa Mahallesi için sıfır atık yaklaşımı ile toplama rotaları



Harita B14 Sinanpaşa Mahallesi için sıfır atık yaklaşımı ile toplama rotaları

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. G. S. Akçay Han, Ö. Apaydın, "Investigation of Solid Waste Collection and Source Separation Alternatives in Beşiktaş District with Zero Waste Focus and GIS Supported", 5th Eurasia waste management symposium, 26.10.2020, İstanbul.

Makaleler

1. G. S. Akçay Han, Ö. Apaydın, "Analysis of Municipal Solid Waste Collection Methods Focusing on Zero-Waste Management Using an Analytical Hierarchy Process", Sustainability 2023, 15, 13184. https://doi.org/ 10.3390/su151713184.

Ödüller

1. Tübitak yayın teşvik ödülü, Analysis of Municipal Solid Waste Collection Methods Focusing on Zero-Waste Management Using an Analytical Hierarchy Process, *Sustainability* 2023, 15, 13184. https://doi.org/10.3390/ su151713184. 000₺.