

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KAYSERİ TALAS BELEDİYESİNDE EVSEL ATIK
TOPLAMA ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ**

**Hazırlayan
Mustafa ÖZBAYRAKTAR**

**Danışman
Doç. Dr. Sinem KULLUK**

Yüksek Lisans Tezi

**Eylül 2018
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KAYSERİ TALAS BELEDİYESİNDE EVSEL ATIK
TOPLAMA ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Mustafa ÖZBAYRAKTAR**

**Danışman
Doç. Dr. Sinem KULLUK**

**Eylül 2018
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Adı-Soyadı: Mustafa ÖZBAYRAKTAR

İmza : 

“Kayseri Talas Belediyesinde Evsel Atık Toplama Araç Rotalama Problemi” adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Mustafa ÖZBAYRAKTAR



Danışman

Doç. Dr. Sinem KULLUK



Endüstri Mühendisliği A.B.D. Başkanı

Prof. Dr. Mithat ZEYDAN



Doç. Dr. Sinem KULLUK danışmanlığında **Mustafa ÖZBAYRAKTAR** tarafından hazırlanan “**Kayseri Talas Belediyesinde Evsel Atık Toplama Araç Rotalama Problemi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Endüstri Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Sinem KULLUK

Üye : Prof. Dr. Lale ÖZBAKIR

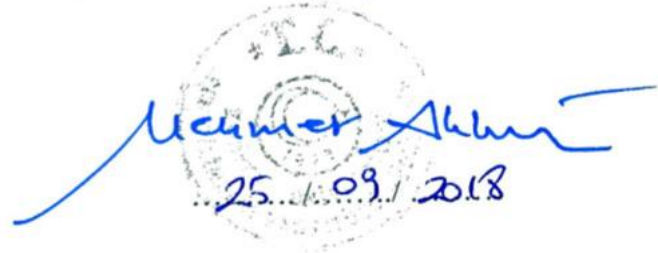
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Burcu ORALHAN

05 / 09 / 2018



ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 25/09/2018 tarih ve 2018/45-17..sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ/TEŞEKKÜR

Bana çalışmalarım süresince bana yol gösteren, her türlü yardımı ve fedakârlığı sağlayan, tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Sinem KULLUK 'a teşekkür ederim.

Bu zorlu süreçte daima yanımda olan eşim Ayşegül ÖZBAYRAKTAR'a ve arkadaşım Selim SİMİTÇİOĞLU'na; her türlü desteğini ve katkısını esirgemeyen Metin Sami DOĞRAMACI ve Fen İşleri Müdürlüğü çalışanlarına; veri toplama ve uygulama aşamasına katkı sağlayan tüm Temizlik işleri çalışanlarına; ölçüm ve haritacılık faaliyetlerinde zaman ve emeğini esirgemeyen Mehmet AYBAR ve Hakan BOZKURT'a, sürecin her aşamasında katkı sağlayan Muzaffer ELGÜN'e ve emeği geçen herkese teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa ÖZBAYRAKTAR

Eylül 2018, KAYSERİ

KAYSERİ TALAS BELEDİYESİNDE EVSEL ATIK TOPLAMA ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

Mustafa ÖZBAYRAKTAR

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Eylül 2018
Danışman: Doç. Dr. Sinem KULLUK**

ÖZET

Katı atık yönetiminde toplam maliyetin çok büyük bir kısmını oluşturan lojistik maliyetlerinin azaltılması ve kaynak koruma amacıyla, optimizasyon işlemlerine büyük önem verilmektedir. Özellikle gereksiz yere kat edilen yollar yüzünden katı atık toplama maliyetleri artmakta ve bunlar belediyeler için yük oluşturmaktadır. Günümüzde dağıtım lokasyonlarındaki tüm taleplerin karşılanacağı şekilde araçlar için minimum maliyetler ile rota oluşturulması lojistik yönetimi içerisindeki en önemli kararların başında gelmektedir. Araç Rotalama Problemleri üzerine bu amaç doğrultusunda uzun yıllardır pek çok çalışma yapılmıştır ve elde edilen çözümler bir çok farklı sektörde kullanılmaktadır. Araç Rotalama Problemi (ARP), araçların toplam kat edeceği mesafeyi en aza indirecek şekilde, bir merkezden farklı konumlarda yer alan çeşitli talep noktalarına toplama yada dağıtım yapılabilmesi için gereken rotaların bulunmasıdır.

Bu çalışmada Kayseri'nin Talas ilçesi sınırları içerisinde katı atık toplama problemi için optimum güzergah belirlemesi yapılmıştır. Çalışmanın ana amacı; çöp toplama araçlarının toplam kat ettiği mesafeyi en küçükleme, ilçe sınırları içerisinde sorumluluk alanı dahilinde bulunan tüm vatandaşlara hizmet edebilmek adına rotaları seyahat mesafesi ve araç yükü açısından dengelemektir. Yapılan çalışma sonucunda toplam rota uzunluğunda % 23 oranında iyileştirilme sağlanması öngörülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi, Evsel atık toplama, Optimizasyon, Matematiksel Programlama.

DOMESTIC WASTE COLLECTION VEHICLE ROUTING PROBLEM IN KAYSERİ TALAS MUNICIPALITY

Mustafa ÖZBAYRAKTAR

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, September 2018

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sinem KULLUK

ABSTRACT

In solid waste management, great importance is given to the optimization of the logistics costs and the resource conservation which constitute a large part of the collection cost. The costs of collecting solid waste are increasing, especially due to the unnecessary roads, which are a burden for municipalities. One of the most important decisions in logistics management nowadays is to route the vehicles with the minimum costs to meet the demands at the distribution points. For this purpose, many studies have been done on vehicle routing problems for many years and the solution methods obtained are used by many companies. The vehicle routing problem is finding the distribution or collection routes from a center to various geographically dispersed demand points, which minimize the total distance traveled by the vehicle fleet.

In this study, the optimum route was determined for the solid waste collection problem in Kayseri Talas Municipality. The main purpose of the study is to minimize the total distance traveled by the garbage collection vehicles, balance the routes in terms of travel distance and vehicle load in order to serve all citizens within the responsibility area boundaries of the district. As a result of our study, an improvement of 23% over the total distance covered was envisaged.

Keywords: Capacitated vehicle routing Problem, Domestic waste collection, Optimization, Mathematical programming.

İÇİNDEKİLER

KAYSERİ TALAS BELEDİYESİNDE EVSEL ATIK TOPLAMA ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY	iv
ÖNSÖZ/TEŞEKKÜR	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

KATI ATIKLAR

1.1. Katı Atık Kavramı	3
1.2. Katı Atıkların Sınıflandırılması.....	4
1.3. Katı Atıkların Toplanması	6

2. BÖLÜM

ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

2.1. Araç Rotalama Problemi Uygulama Alanları	15
2.2. Araç Rotalama Problemi Temel Bileşenleri	16
2.3. Araç Rotalama Problemi Matematiksel Modeli	17

2.4. Araç Rotalama Problemi En İyileme Ölçütleri.....	18
2.5. Araç Rotalama Problemi Çeşitleri	19
2.6. Araç Rotalama Problemi Çözüm Yaklaşımları	24

3. BÖLÜM

UYGULAMA -KAPASİTE KISITLI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

3.1. Uygulamanın Önemi	34
3.2. Uygulamanın Temel Bileşenleri.....	35
3.3. Matematiksel Model	36
3.4. Mahalle Bazlı ARP Uygulaması.....	38

4. BÖLÜM

SONUÇ ve ÖNERİLER

4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	52
KAYNAKÇA	57
ÖZGEÇMİŞ.....	65

KISALTMALAR

AA:	Av Arama
ARP:	Araç Rotalama Problemi
BDARP:	Bölünmüş Dağıtımli Araç Rotalama Problemi
DGA:	Diferansiyel Gelişim Algoritması
GA:	Genetik Algoritma
KARP:	Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
KKO:	Karınca Koloni Optimizasyonu Algoritması
MKARP:	Mesafe Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
PARP:	Periyodik Araç Rotalama Problemi
TB:	Tavlama Benzetimi
TA:	Tabu Arama
TDARP:	Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi
YSA:	Yapay Sinir Ağları

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. Katı Atık Üretimi	5
Tablo 2. Yükleme boşaltma toplama sisteminde kullanılan standart kutu ve konteynırlar	8
Tablo 3. Değiştirmeli toplama sisteminin uygulama alanları	9
Tablo 4. Piyasada bulunan çöp poşetlerinin boyutları	10
Tablo 5. Toplama yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları	11
Tablo 6. Bölgeler ve Ortaklaştırılmış Konteynır Sayıları	35
Tablo 7. Bahçelievler Mahallesi Mevcut Rota.....	38
Tablo 8. Bahçelievler Mahallesi Önerilen Rota	39
Tablo 9. Kiciköy Mahallesi Mevcut Rota	41
Tablo 10. Kiciköy Mahallesi Önerilen Rota	42
Tablo 11. Tablakaya Mahallesi Mevcut Rota	43
Tablo 12. Tablakaya Mahallesi Önerilen Rota	44
Tablo 13. Han – Harman Mahalleleri Mevcut Rota.....	45
Tablo 14. Han – Harman Mahalleleri Önerilen Rota.....	47
Tablo 15. Yukarı Mahalle Mevcut Rota	48
Tablo 16. Yukarı Mahalle Önerilen Rota.....	49
Tablo 17. Yenidoğan Mahallesi Mevcut Rota	50
Tablo 18. Mevlana Mahallesi Mevcut Rota.....	53
Tablo 19. Toplam Mesafeler Sonuç Tablosu	55

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Katı Atık Üretim Şeması.....	4
Şekil 2. Yüklemeli Boşaltmalı Toplama	7
Şekil 3. Değiştirmeli Toplama	9
Şekil 4. Han – Harman Mahalleleri Mevcut Rota.....	46
Şekil 5. Han - Harman Mahalleleri Önerilen Rota.....	47
Şekil 6. Yukarı Mahalle Mevcut Rota.....	48
Şekil 7. Yukarı Mahalle Önerilen Rota.....	49
Şekil 8. Yenidoğan Mahallesi Mevcut Rota	51
Şekil 9. Yenidoğan Mahallesi Mevcut Rota	52
Şekil 10. Mevlana Mahallesi Mevcut Rota	53
Şekil 11. Mevlana Mahallesi Önerilen Rota	54

GİRİŞ

Dünya var olduğu süreçten bu yana insanlık sürekli gelişim içerisinde bulunmaktadır. İnsanlık ekonomik ve toplumsal gelişim süreci içerisinde, öncelikle ilkel toplumdan tarım toplumuna, ardından sanayi toplumuna ve günümüzde ise sanayi toplumundan bilgi toplumuna geçiş sürecinde farklı gelişim aşamaları geçirmiştir. Bu gelişim aşamaları arasında insanlık tarihinin iz bırakan aşamalarından birincisi, insanları ilkel yaşamdan toprağı işlemesine ve yerleşik düzene geçmesine bağlayan tarım toplumuna geçiş aşamasıdır. İkinci aşama ise tarım toplumunun seri üretime geçerek, tüketim ve eğitimin önem kazandığı sanayi toplumuna geçiş aşamasıdır. Üçüncü aşama ise toplumsal refahın, bilgi ve bilgi teknolojilerinin ve nitelikli insan sermayesinin önem kazandığı bilgi toplumu aşamasıdır.

Günümüzde şehirlerin nüfusları hızlı bir şekilde artarak hizmetlere ulaşım ve hizmetlerden yararlanmak günden güne daha zor hale gelmektedir. Yerel yönetimler açısından nüfus artışı ve topluma hizmet sağlama fonksiyonu hizmetin nereye ve ne şekilde ulaştırılacağına doğru ve verimli bir şekilde planlanmasını gerektirmektedir. Yerel yönetimler açısından değerlendirildiğinde kentlerdeki nüfus artışı ve yerleşim alanların genişlemesi temizlik hizmetlerinin içerisinde yer alan katı atık toplama faaliyetlerini daha da karmaşık hale getirmektedir. Katı atık toplama faaliyetleri özellikle karmaşık yol ağına sahip gelişmiş büyükşehirlerde gün geçtikçe daha fazla önem kazanmaktadır. Klasik yöntemler ile verimli bir planlama faaliyeti yapılmaksızın katı atık toplama işlemi zaman, enerji ve bütçe kayıplarına sebep olmaktadır. Katı atık toplama faaliyetlerin planlanması aşamasının en zor kısmını araç rotalama problemleri oluşturmaktadır.

Araç Rotalama Problemi (ARP), bir merkezden coğrafi olarak dağılmış çeşitli talep noktalarına dağıtım veya toplama rotalarının, araç filosunun kat ettiği toplam mesafeyi minimize edilecek şekilde bulunmasıdır [1]. ARP, tedarik zinciri içerisinde ve tedarik

zincirinin bir parçası olarak lojistik içerisinde yer alan ana karar alanlarından olan taşıma ile doğrudan ilişkilidir. Günümüzde gerçek verilerle gerçekleştirilen uygulamalarda çok çeşitli kısıtlar ve farklılıklar araç rotalama problemlerinde çeşitliliği de beraberinde getirmektedir. Bu durum literatürde ve uygulamalarda farklı özellik ve kısıtlara sahip araç rotalama problemlerinin incelenmesine yol açmıştır.

Araç rotalama problemi, en düşük maliyetle belirli sayıda talep noktasını dolaşmayı hedefleyen bir kombinastoryal en iyileme problemidir. ARP'nin çözümünü sağlamak için çeşitli alanda kullanılmakta olan çok sayıda sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Sezgisel algoritmalar Araç rotalama probleminin NP-zor (herhangi bir algoritmayla hesapsal zamanda optimal sonuca ulaşamayan problem) olmasından dolayı geliştirilmiştir. Rota planlamasını polinom zamanda optimize etmenin zor olması sebebiyle sezgisel algoritmalar yardımıyla optimuma yakın sonuçlar bulunabilmektedir.

Bu çalışmada Kayseri'nin Talas ilçesi sınırları içerisinde katı atık toplama için optimum güzergâh belirlemesi yapılmıştır. Bu doğrultuda tez çalışmamızın ilk bölümünde kavramsal olarak katı atıkların ne olduğu, nasıl sınıflandırıldığı ve nasıl toplandığı açıklanmış olup, ikinci bölümde araç rotalama problemi, bileşenleri, çeşitleri ve çözüm yöntemleri sunulmuştur. Üçüncü bölümde Talas Belediyesi sınırları içerisinde evsel katı atıkların toplama sürecinde araç rotalama problemi ile optimum güzergâh için uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Son bölümde ise çalışmanın sonuçları sunulurken öneriler ve konuyla ilgili ilerleyen dönemde yapılarak fayda sağlayabilecek çalışmalardan bahsedilmiştir.

1. BÖLÜM

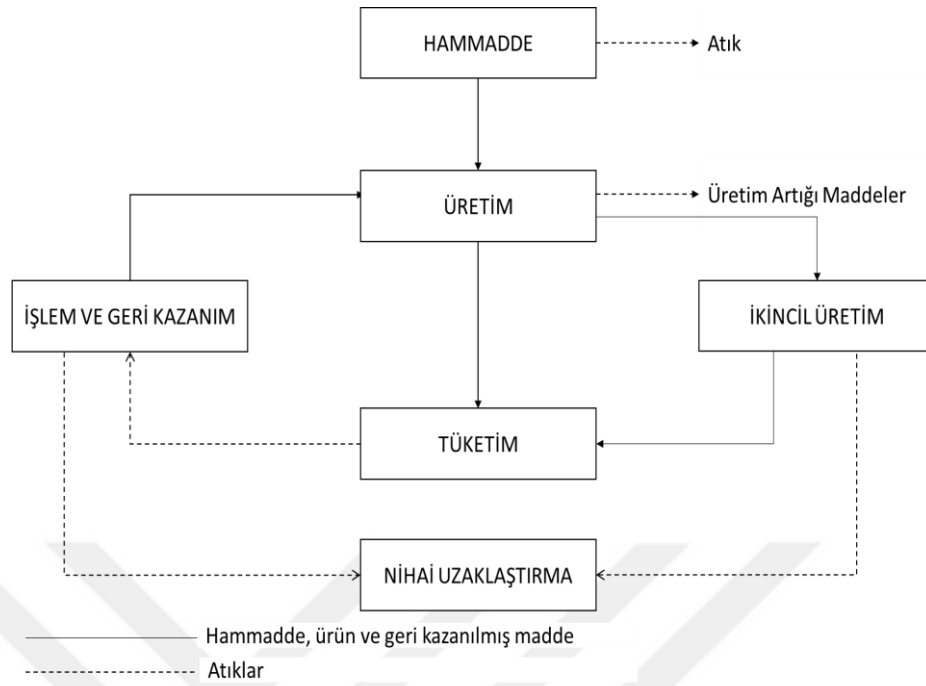
KATI ATIKLAR

1.1. Katı Atık Kavramı

İnsanların yaşamsal, sosyal ve ekonomik faaliyetleri neticesinde atıl hale gelen ve akıcı olabilecek kadar sıvı içermeyen her türlü madde ve malzeme katı atık olarak adlandırılabilir. Katı atıklar, insanların yaşamsal faaliyetlerinden kaynaklanan ve normal şartlar altında katı halde bulunan, kullanım ömrünü tamamlamış olan veya istenmeyen maddelerin tamamını kapsamaktadır [2].

Sahibi tarafından istenmeyen ve toplumun menfaatleri gereği toplanıp fen ve sanat bilimlerini esas alarak, mühendislik prensiplerine göre ortadan kaldırılması gereken katı maddeler atık olarak tanımlamaktadır [3]. Bir diğer farklı tanımda evsel, endüstriyel, ticari, madencilik ve tarım faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan evsel katı atık özelliklerine sahip zararsız tüm atıklar katı atık olarak değerlendirmektedir [4].

Katı atıklar öncelikle hammaddenin üretimi sırasında ortaya çıkmaktadır. Hammaddenin ürüne dönüşme evresinden tüketime kadar safhada katı atık oluşumu söz konusu olmaktadır. Katı atık üretimini düşürmenin en etkin yöntemi hammadde tüketim miktarını sınırlamak ve kullanım ömrünü tamamlamış maddelerin yeniden işlenerek geri dönüşümün artırmaktır [5]. Sanayi toplumlarında meydana gelen katı atık üretimi ve hammadde akış şeması Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Katı Atık Üretim Şeması

1.2. Katı Atıkların Sınıflandırılması

Katı atıkların gruplandırılmasında katı atık toplama, taşıma ve bertaraf yöntemi açısından önemlidir. Ayrıca geri dönüşüm adına kazanım sağlanabilecek maddelerin ekonomiye kazandırılması ve katı atıklardan enerji üretimi açısından önem arz etmektedir. Katı atıklar; kaynağına, bileşimine ve özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Katı atıklar genellikle içeriğine ve özelliklerine göre katı atıklar ve kaynağına göre katı atıklar olarak sınıflandırılır.

1.2.1 Katı Atık Oluşumu

Katı atıklar birleşimlerine göre 3 gruba ayrılabilir:

- 1. Grup Organik Katı Atıklar: Kompostlanabilir ve yanıcı özelliği olan organikler (bitkisel, hayvansal, kâğıt, tekstil atıkları...)
- 2. Grup Organik Katı Atıklar: Biyokimyasal olarak ayrışması imkânsız ya da çok yavaş olan organik atıklar (odun, kemik, deri, lastik, plastik atıklar)
- İnert Katı Atıklar: Yanma özelliği olmayan katı atıklardır (kil, cam, taş, porselen atıkları).

1.2.2 Kaynaklarına Göre Katı Atıklar

Katı atıkların kaynaklarına göre sınıflandırılması göre Tablo 1’ de gösterilmiştir.

Tablo 1. Katı Atık Üretimi

Kaynak	Atıkların kaynaklandığı faaliyetler ve yeri	Meydana gelen katı atık tipleri
Evsel	Küçük ve büyük ailelerin yaşadığı müstakil evler, küçük, orta ve yüksek katlı apartmanlar.	Yiyecek atıkları, kağıt, karton, plastik, deri, bahçe atıkları, odun, cam, teneke kutular, alüminyum, diğer metaller, kül, sokak süprüntüleri, özel atıklar.
Ticari	Dükkanlar, lokantalar, marketler, iş merkezleri, oteller, moteller, servis istasyonları, oto tamirhaneleri vs.	Kağıt, karton, plastik, ahşap, yiyecek atıklar, cam, metal, özel atıklar, zararlı atıklar vs.
Kurumsal	Okullar, hastaneler, cezaevleri, kamu binaları.	Ticari atıklarda olduğu gibi
İnşaat ve Yıkım	Yeni inşaat alanları, yol onarım ve bakım alanları, bina yıkımları, yıkık kaldırımlar.	Ahşap, çelik, beton, toz ve toprak.
Belediye Hizmetleri	Cadde yıkama, çevre düzenleme, parklar ve plajlar, diğer dinlenme alanları.	Özel atıklar, çer çöp, sokak süprüntüleri, çevre düzenlemeleri ve kesilen ağaç dalları, parklardaki genel atıklar.
Kentsel Katı Atıklar*	Yukarıdakilerin tümü	Yukarıdakilerin tümü
Endüstriyel Katı Atıklar	İnşa, fabrikasyon, hafif ve ağır üretim, rafineriler, kimyasal tesisler, güç tesisleri, yıkım vs.	Endüstriyel proses atık sularındaki döküntü ve kırıntı maddeler. Endüstriyel olmayan yiyecek, çöp, kül, yıkım ve inşaat atıkları, özel atıklar.
Zirai Katı Atıklar	Araziye(tarlaya) ekilen ekinler, meyve bahçeleri, üzüm bağları, çiftlikler vs.	Bozulmuş yiyecek atıkları, zirai atıklar, zararlı atıklar.

* Burada geçen kentsel katı atıklar terimi, bir toplumda, endüstriyel proses atıkları ve zirai atıklar haricinde meydana gelen tüm diğer atıkları kapsamaktadır.

1.3. Katı Atıkların Toplanması

1.3.1 Konteynır Türüne Göre Toplama Yöntemleri

Sistemsiz Toplama: Sistemsiz toplama tipinde yapılan atık toplama yönteminde, atıkların toplanmak üzere biriktirildiği malzemeler yüksek oranda değişkenlik göstermektedir ve belirli bir standardı bulunmamaktadır. Bu durumda ilçe sakinleri biriktirdiği evsel atıklarını; standardı olmayan çöp toplama kaplarına doldurarak, evlerinin önündeki yol kenarlarına veya sokak içerisindeki gelişi güzel belirledikleri çöp toplama noktalarına bırakırlar.

Yukarıda açıklanmış olan çöp toplama yöntemi, toplama işlemini gerçekleştiren kurum tarafında hem kurgulanması kolay hem de bütçe içerisinde oluşturacağı yük oldukça azdır. Nüfusun kalabalık ve toplayıcı araçların hareketinin sınırlı olduğu bölgelerde uygulama açısından büyük avantaj sağlar. Bu avantajının aksine düzen ve kontrol bakımından eksiği olan bu uygulama yönteminin, en büyük dezavantajı ise gelişi güzel bırakılan ve korunaklı olmayan çöplerin oluşturduğu temizlik problemidir. Atık bırakılan malzemelerin standart dışı olmasının sonuçları olarak, atık sızıllarının çevreye yayılması, kullanılan malzemelerin paslanmış yâda çürümüş olmasının sonucu olarak tahmin edilenden daha büyük salgın hastalıklar, zararlı böcek üremesi gibi sağlık problemleri oluşmasına zemin hazırlamaktadır. Oluşan sağlık sorunlarının yanı sıra çevreye görsel açıdan büyük zararlar verir. Doğurduğu dezavantajların sonucu olarak toplama işlemini gerçekleştiren kurumlar doğacak sorunların ve şikâyetlerin önüne geçmek amacıyla çöp toplama sıklığını ve cadde temizlik sürelerini uzatarak kazandığı maliyet ve iş gücü kazanımlarını kaybetmiş oluyor [7].

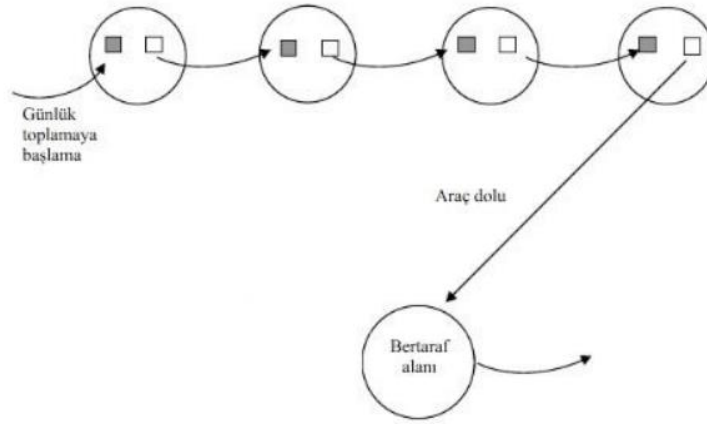
Ülke genelinde bu toplama yöntemi hala en fazla kullanılan toplama yöntemidir. Bu durumu aşağıdaki maddelerle kısaca açıklayalım;

- a) Yerleşme yerlerinin yoğun olduğu şehirlerde araçların kolayca hareket edebildiği alanların azlığı ve yerleştirilecek büyük çöp toplama konteynırlarının ulaşımı aksatması sebebiyle, sistemsiz toplama zorunlu olmuştur.
- b) İhtiyaç duyulan konteynır sayısının kurumlara büyük maddi yük getirmesi.

c) Konteynır maliyetlerinin halk tarafından finansa edilmesi ihtimalinin, oy kaybına neden olacağı düşünülmesi.

d) Doğurduğu dezavantajlar sebebiyle uygulanabilir bir yöntem olmayan sistemsiz toplama yöntemi bazı durumlarda uygulanması avantaj sağlayabilir. Kaba çöpler ve toplanıp balyalanmış kâğıt atıklar gibi durumlarda atıkların bu şekilde toplanması uygundur.

Yüklemeli Boşaltmalı Toplama: Yüklemeli Boşaltmalı Toplama yönteminde ilçe sakinleri oluşan atıkları ilgili kurum tarafından belirlenmiş belirli özellikleri olan kaplara bırakır. Toplayıcı kurum tarafından belirlenen gün ve saatlerde bina sakinleri atıklarını belirlenen kap yâda konteynırlara bırakırlar. Toplu yerleşim yerlerinde veya ortak alanlardan toplanılan konteynırlar toplayıcı kurum tarafından belirlenmiş bölgelere belirli gün ve saatlerde çıkartılarak toplama faaliyetleri gerçekleştirilir. Kullanılan araçların kapasitesi doğrultusunda mekanik yöntemle araç içine boşaltılıp preslenerek stoklanır.



Şekil 2. Yüklemeli Boşaltmalı Toplama

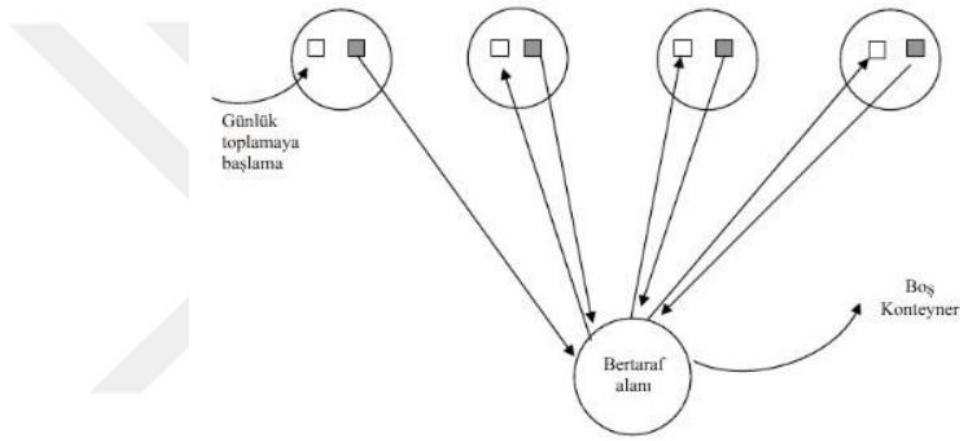
Aşağıdaki tabloda bu yöntemde kullanılan özellikli kap ve konteynırlar listelenmiştir

Tablo 2. Yüklemeli boşaltmalı toplama sisteminde kullanılan standart kutu ve konteynırlar

İsim	Hacim	Kullanım Alanı
Çöp kutusu	35 veya 50 lt.	- Müstakil ev/daire - Yalnız yaşayan kişiler - Kaynakta aynı toplama yapıldığında toplanan fraksiyonlar için farklı kutuların kullanılması
Çöp kutusu	80-120 lt.	- Birkaç kişinin oturduğu müstakil ev - Büro ve küçük ticari müesseseler
Konteynır	120-390 lt.	- Toplu konut - Büro ve küçük ticari müesseseler
Büyük Konteynır	0.75 veya 1.7 m ³	- Toplu konut - Sokaklarda umumi kullanım - Ticaret ve sanayi - Büyük idareler - Oteller - Hastaneler (evsel nitelikli atıklar için) - Pazar yerleri
Büyük Konteynır	2.5 veya 5 m ³	- Sokaklarda umumi kullanım - Ticaret ve sanayi - Büyük idareler - Oteller - Hastaneler (evsel nitelikli atıklar için) - Pazar yerleri

Yukarıdaki tablodan da kolaylıkla okuyabileceğimiz gibi Yüklemeli ve boşaltmalı toplama sistemi birden çok değişkenli durumlarda bile rahatlıkla uygulanabilir bir sistemdir. Kullanılan araçların kapasitesi doğrultusunda mekanik yöntemle araç içine boşaltılıp preslenerek stoklanır. Ülke genelinde refah seviyesi üst olan bölgelerdeki yapılaşmanın çok katlı ve siteler şeklinde olmasının sonucu olarak özellikleri belirlenmiş kapların kapasitesinin bu yükü kaldırmaması sebebiyle bu kapların kullanımının yaygınlaşması engellenmiştir. Refah seviyesi düşük olan bölgelerde ise yerleşimin dağının ve tek katlı olmasının sonucu olarak ihtiyaç duyulan konteynır sayısını karşılayacak maddi günün olmaması sebebiyle bu bölgelerde de sistem kullanılması yaygınlaşmamıştır.

Değiştirmeli Toplama: Bu yöntemde toplayıcı kurum tarafından belirli bölgelere boş çöp toplama kutuları/konteynırları yerleştirilerek belirli gün ve saatlerde sistematik olarak toplanarak yerlerini boş konteynırlar bırakılır. Bu yapının ekonomik olarak avantajlı olabilmesi için kullanılan konteynırlarının kapasitesinin doğru belirlenmesi, toplayıcı araçların taşıyabileceği yük miktarının doğru tespit edilmesi ve toplayıcı araçların kullanacakları toplama güzergâhlarının olabilecek en uygun değeri seviyede tespit edilmesi gerekmektedir. Açıklanan bu sistemde büyük konteynırların uygun olduğu görülmüştür. Değiştirmeli toplama sistemi Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Değiştirmeli Toplama

Değiştirmeli toplama sistemi, Tablo 3’de gösterilen uygulama alanlarına sahiptir.

Tablo 3. Değiştirmeli toplama sisteminin uygulama alanları

Çöp Türü	Kullanılan Konteynır Türü
Yüksek yoğunluklu atıklar • Hafriyat atığı • Arıtma çamurları, endüstriyel çamurlar • Hurda • Diğer yüksek yoğunluklu sanayi atıkları	2.5 veya 5 m ³ ’lük standart konteynır
Düşük yoğunluklu atıklar (ticari bölgelerden, evsel nitelikli sanayi atıkları, oteller, büyük idareler vb. yerlerden kaynaklanan atıklar)	Sıkıştırılmalı konteynırlar (4-40 m ³)
Gelir sistemine göre kaynakta ayrı toplanmış değerlendirilebilir atıklar (cam, kağıt)	Kumbaralar (1.5 veya 2.5 m ³)

Daha yoğun ve sürekli atık üreten yerleşim yerleri için kullanılması sistemin verimini arttıracaktır. Kullanılan atık toplama araçlarının büyük bir bölümü tek konteynır taşıyabilecek kapasitedir bu sebeple araçlar sabit bir toplama rotasına ve belirlenmiş bir takvime bağlı değildir. Bunun sonucu olarak araçların çöp toplama işlemine iletilen bir talep doğrultusunda çıkması ve toplama işlemini gerçekleştirmesi daha doğrudur. İlçe geneline yerleştirilen konteynırlar kaldıraçlı atık toplama araçlarına konularak toplanır. Bu özelliği ile sistem çalışma koşulları iş gücü ve hijyen açısında oldukça faydalıdır

Tek Yönlü Poşetlerle Toplama: Bu yöntemde bina sakinleri atık toplayan kurum tarafından standartları belirlenen atık torbalarına atıklarının bırakırlar. Bu atıklar belirli gün ve saatlerde toplayıcı kurum tarafından belirtilen noktalara bırakırlar. Türkiye’de yaygın olarak kullanılan ve polietilen ham maddesinden üretilen torbaların genel özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir

Tablo 4. Piyasada bulunan çöp poşetlerinin boyutları

	Boyutlar (cm.)	Kalınlık (mikron)
Mini boy	40×50	22
Orta boy	55×60	22
Battal boy	75×90	63
Jumbo boy	80×110	66

Polietilen ham maddesinden üretilen torbalar genellikle atıklarla beraber çöplere atılmaktadırlar. Bu durumunun sonucu olarak genel atık miktarına ek %0,3 oranında atık miktarı torbalarında çöplere atılmasıyla artmaktadır. Bu torbaların maliyetlerinin hesaplaması ile uzun vadede konteynırın bütçeye eklediği yükten daha fazla bir yük oluşturmaktadır. Büyük konteynırların aksine oldukça küçük torbalarla çöp toplama işleminin gerçekleştirmesi taşıma maliyetini daha da artırır

Toplama Yöntemlerinin Karşılaştırılması: Toplama yöntemlerinin avantaj ve dezavantaj karşılaştırması Tablo 5 ‘de verilmiştir.

Tablo 5. Toplama yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları

Toplama Yöntemi	Avantaj	Dezavantaj
Sistemsiz Toplama	- Düşük maliyet - Belediye için organizasyon, konteynır temini vb. yükümlülükleri yok - Düşük yer ihtiyacı - Özel ekipman (sıkıştırılmalı ya da vinçli kamyon gerektirmez)	- Hijyenik açıdan sakıncalı - Çöpçüler için kötü çalışma koşulları (toz, koku, ağır kutuların kaldırılması) - Yığma yerinin yakınında oturanlara ciddi boyutta rahatsızlık - Yolların kirlenmesi - Haşere toplama - Sürekli görsel kirlilik - Çöp yayma, sızıntı haşere ve görsel kirlilikten dolayı çöpleri günlük yada gün aşırı toplamak gerekir.
Yüklemeli Boşaltılmalı Toplama	- Düşük işletme giderleri - Çöpçüler için iyi çalışma koşulları (mekanik yükleme, düşük toz ve koku seviyesi, açıkta çöp yok) - Sızıntı problemi yok - Kolay kullanım - Esneklik - Sıkıştırılmalı kamyon teknolojisiyle uyum sağlar	- Yüksek yatırım ihtiyacı - Yüksek alan ihtiyacı (kutular için ev dahilinde, konteynırlar için ise umumi alanlarda) - Konteynır kullanıldığında, sokak görünümüne kalıcı olumsuz etki olur - Kutu/konteynırları temizlemek gerekir - Kış aylarında çöp donup kutu cidarlarına yapışabilir.
Değiştirmeli Toplama	- Düşük işletme giderleri - Çöpçüler için iyi çalışma koşulları (mekanik yükleme, düşük toz ve koku seviyesi, açıkta çöp yok) - Sızıntı problemi yok - Kolay kullanım - Esneklik	- Yüksek yatırım giderleri (konteynır ve vinçli kamyonlar) - Yüksek alan ihtiyacı - Konteynırları temizlemek gerekir - Kış aylarında çöp donup kutu cidarlarına yapışabilir.

Tek Yönlü Poşetlerle Toplama	• Düşük yoğunluklu malzemeler (değerlendirilebilir atıkların kaynaқта ayrı toplanması için kolay yöntem) • Hızlı toplama • İyi hijyen • Düşük yatırım giderleri • Özel ekipman (sıkıştırılmalı/vinçli kamyon gerektirmez)	• Yüksek işletme giderleri (poşet takviyesi) • Standart sağlama zorluğu • Oluşan çöp miktarının artırılması • Çöpçüler için zor çalışma koşulları (elle kaldırma/yükleme)
------------------------------------	---	---

2. BÖLÜM

ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

Araç rotalama problemi (ARP), bir veya birkaç depoya sahip ve belirli sayıda müşterileri veya şehirleri olan firmanın, ürün dağıtımını yaparken seyahat mesafesini minimize etmeye çalışan problemdir [8]. ARP, üzerinde çok çalışılan ve algoritma geliştirilen problemlerden birisidir [9]. ARP için bugüne kadar birçok tanım yapılmıştır. Aşağıda bu tanımlardan iki tanesi yer almaktadır:

“Bir araç filosu ile müşterilerin önceden bilinen taleplerinin, merkez depoda başlayıp bitecek şekilde minimum maliyetli rotalamayla karşılanmasıdır [10].

ARP, fiziksel dağıtım ve lojistik içerisinde merkezi bir role sahip, en az bir depodan hareket edilerek müşteriler için en iyi ulaştırma veya toplama rotalarının oluşturulmasıdır [11].

Toplam taşıma maliyetlerin minimize edilmesi araç rotalama probleminin temel hedefidir. Mesafe, araç ve ekipman kullanım süreleri maliyeti yaratan etkenlerdir. Dolayısıyla toplam gidilen mesafe, dağıtım süreleri ya da araç sayısı azaltılarak amaç fonksiyonu minimize edilebilmektedir.

Araç rotalama problemlerinde birden fazla ve genelde birbiriyle çelişen amaçlar dikkate alınabilmektedir. En bilinen amaçlar şöyle sıralanabilir;

- Araçların toplam kat ettiği mesafeye (ya da toplam seyahat süresine) ve kullanılan araçların sabit maliyetlerine bağlı olan toplam taşıma maliyetlerini minimize etmek,
- Tüm müşterilere hizmet etmek için gerekli olan toplam araç sayısını minimize etmek,

- Rotaları seyahat süresi ve araç yükü açısından dengelemek,
- Müşterilere parçalı dağıtım yapılmasından kaynaklanan cezaları minimize etmek,
- Yukarıda sayılan amaçların çeşitli kombinasyonları da problemin amaç fonksiyonunu oluşturabilmektedir[12].

Araç Rotalama problemi literatürde ilk olarak 1959 yılında Dantzig ve Ramser [13] tarafından yazılan “The Truck Dispatching Problem” adlı makalede sunularak ilk olarak bu makale ile matematiksel model oluşturulmuştur. Yazarlar bu makalede petrol istasyonlarına dağıtım yapılması problemi üzerine çalışma gerçekleştirmiştir.

1964 yılında Clarke ve Wright [14], Dantzig ve Ramser’in algoritmasını geliştirmişlerdir. Araç rotalama problemlerinin temellerinin atılmasını sağlayan bu iki yayından sonra ARP’ye olan ilgi giderek devam etmiştir ve farklı araç rotalama problemlerine çözüm arayan birçok model geliştirilmiştir.

Araç rotalama problemi hakkında basılan ilk kitap Eilon ve arkadaşları [15] tarafından 1971 yılında yayınlanmıştır. 1987 yılında Laporte ve Nobert [16] tarafından yapılan çalışmada kesin çözüm yöntemleri incelenmiş olup; ağaç arama yöntemi, dinamik programlama ve tam sayılı doğrusal programlama olmak üzere 3 grup olarak sınıflandırılarak sonuçların değerlendirilmesi sağlanmıştır.

Laporte ve Osman [17] yaptıkları çalışmada klasik araç rotalama problemleri olan Gezgin Satıcı Problemi, Araç Rotalama Problemi, Kırsal Postacı ve Çinli Postacı Problemine ait yüzlerce makaleyi problem tipi ve çözüm yöntemi gibi başlıklar altında incelemişlerdir.

Cordeau ve arkadaşları [18] tarafından gerçekleştirilen Araç Rotalama Problemi çalışmalarında klasik sezgisel çözüm yöntemlerini kesinlik, hız, esneklik ve basitlik olmak üzere 4 temel kriterde inceleyerek kıyaslamıştır.

Osman [19] tarafından yapılan çalışmada tavlama benzetimi algoritması geliştirmiştir. Farklı bir soğutma tekniği kullanılarak tavlama benzetimi algoritması Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi üzerinde kullanılmıştır.

Solomon [20] tarafından yapılan çalışmada Araç rotalama problemlerini zaman kısıtlarını açısından incelemiştir. Bu problem tipinde çizelgelemenin uzaysal anlayışıyla geçici anlayışı karşılaştırılmıştır.

Naddef ve Rinaldi [21] Kapasite kısıtlı araç rotalama problemini dal ve kesme algoritması ile çözmüşlerdir. Elde edilen bazı alt sınırlar daha önce elde edilen sonuçlardan daha iyi çıkmıştır.

2002 yılında Toth ve Vigo [22] tarafından gerçekleştirilen Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama problemi çalışmalarında dal-sınır yöntemi incelenmiş olup test problemleri ile sonuçlar kıyaslanmıştır. Baldacci ve arkadaşları [23] KARP için yeni kesme kriterleri ve kümelemeye yönelik yeni bir kesin algoritma oluşturmuşlardır.

Güvez ve arkadaşları [24] Kırıkkale ilinde yapmış oldukları çalışmada tıbbi atık toplama probleminde araç tarafından kat edilen mesafeyi minimize etmek ve en uygun rotayı tespit etmek için tamsayılı programlama modeli kullanmışlardır.

2.1. Araç Rotalama Probleminin Uygulama Alanları

Araç Rotalama Problemleri genel olarak bir ağ içerisindeki belirli noktalar arasında mal ve hizmet dağıtımı ile ilgilenmektedir. Günümüzde taşıma ve dağıtım konusundaki problem çeşitleri artmaktadır. Örneğin;

- Çeşitli müşteri lokasyonlarına ürün veya hizmetlerin bir veya daha fazla sayıdaki depodan dağıtımı,
- Üretim planlama (hammadde, yarı mamül ve mamüllerin fabrika içi taşıma faaliyetleri)
- Stokların planlaması ve ürünlerin satış noktalarına sevkiyatının sağlanması,
- Lokanta ve restoranlarda içecek dağıtımı,
- Çöp toplanması ve taşınması,
- Para dağıtımı,
- Petrol ürünleri dağıtımı,

- Süt dağıtımı ve toplanması,
- Yolcu ve ürünlerin havayolu ile taşınması,
- İnternet alışveriş teslimatı,
- Çeşitli kiralama hizmetleri,
- Ana depolardan malzeme dağıtımı,
- Nakliye hizmetleri [25].

2.2. Araç Rotalama Problemi Temel Bileşenleri

Talep yapısı, taşınacak malzeme çeşidi, araç tipi toplama ve dağıtım noktaları ve araç filosu Araç Rotalama problemlerinin temel bileşenlerini oluşturmaktadır.

Talep Yapısı: Araç rotalama problemlerinde talepler dinamik veya statik olabilir. Taleplerin önceden bilindiği durumlarda talepler statik olmaktadır. Bazı taleplerin bilindiği ve bazı düğümlerdeki taleplerin rotalama devam ederken belirlendiği durumda talepler dinamik olmaktadır. Bu çalışmada statik talep yapısı kullanılmıştır.

Malzeme Çeşidi: Araçlar çok çeşitli malzemeler taşınması için kullanılmaktadır. Basit paketler probleme ilave bir karmaşıklık getirmezler. Örneğin; gıda maddeleri, gazete, çöp gibi maddeler basit paketler olarak adlandırılabilir. Diğer taraftan servis hizmeti; güvenlik, eşitlik ve etkinlik gibi ilave bazı amaçlardan ötürü daha karmaşık bir yapıdadır. Tehlikeli madde taşıyan araçların rotalanmasında ise coğrafi özellikler önem kazanmaktadır [26] .

Dağıtım/Toplama noktaları: Araç Rotalama problemlerinin birçoğunda dağıtım noktaları müşterilerin bulunduğu yer, toplama noktaları ise depo olmaktadır. Tüketim ürünlerinin fabrikalardan bayilere dağıtımı buna iyi bir örnektir.

Depo genellikle araçların rotasına başladığı ve geri döndüğü noktadır. Problem; tek depolu ve çok depolu diye adlandırılarak depolama sayısına göre sınıflandırılabilir. Çok depolu problemde, her deponun kendi araçlarıyla işlerini yürütebildiği durumda problem birden fazla bağımsız tek depolu araç rotalama problemine dönüşür. Araç bir depodan çıkıp diğer bir depoya yükleme veya boşaltma yapabilir. Bu durumda ise problem bir bütün olarak ele alınarak değerlendirilmelidir. Bu çalışmada tek depolu sistem kullanılmaktadır.

Eğer dağıtım noktalarının konumları önceden biliniyor ve sabit ise hangi noktalara, hangi araçlar tarafından hizmet vereceği belirlenmelidir. Dağıtım noktalarının konumları sabit değil ise dağıtım noktaları potansiyel konumlar arasından seçileceği için ilave bir yerleştirme kararı gerekmektedir.

Araç Rotalama Problemlerinin bir diğer çeşidinde dağıtım ve toplama noktaları aynı olmaktadır. Örneğin okul servislerinde, okula gidiş esnasında okul dağıtım noktası, duraklar ise toplama noktasıdır. Okuldan dönüş esnasında; okul depo, duraklar ise dağıtım noktaları olarak tanımlanır [27] .

Araç Filosu: Araç rotalama problemlerinde genel olarak araçların kapasitesinin bilindiği ve araçların aynı kapasiteye sahip olduğu varsayılır. Eğer filoda bulunan araçlar birbirinden farklı kapasitelere sahip ise bu durum ilave bir karar gerektirir. Bu karar hangi araç tipinin, hangi rotaya hizmet edeceğinin belirlenmesini sağlar. Bunu dışında hız, yakıt tüketimi ve uygunluk açısından araçlar farklılık gösterebilmektedir. Bu çeşitliliklerin rotalama kararlarına doğrudan etkisi olmamaktadır.

2.3. Araç Rotalama Probleminin Matematiksel Modeli

Standart Araç Rotalama Probleminin modeli şu şekilde belirtilebilir [28]:

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min} \sum_{i,j} (c_{ij} \sum_k x_{ijk}) \quad (2.1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_k y_{ik} = \begin{cases} 1, & i=1, \dots, n \\ m, & i=0 \end{cases} \quad (2.2)$$

$$\sum_i x_{ijk} = y_{ik} \quad j = 0, \dots, n \quad k = 1, \dots, m \quad (2.3)$$

$$\sum_j x_{ijk} = y_{ik} \quad i = 0, \dots, n \quad k = 1, \dots, m \quad (2.4)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1 \quad \text{tüm} \quad S \subseteq \{1, \dots, n\} \quad 2 \leq |S| \leq n - 1 \quad k = 1, \dots, m \quad (2.5)$$

$$y_{ik} \in \{0, 1\} \quad i = 0, \dots, n \quad k = 1, \dots, m \quad (2.6)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad i = 0, \dots, n \quad j = 0, \dots, n \quad k = 1, \dots, m \quad (2.7)$$

Değişkenler:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & k \text{ aracı } i \text{ düğümünden hemen sonra } j \text{ düğümüne giderse} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$$y_{ik} = \begin{cases} 1, & k \text{ aracı } i \text{ düğümünü ziyaret ederse} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

Parametreler:

m : araç sayısı,

n : hizmet verilecek müşteri sayısı ($1, \dots, n$ 0: depo)

C_{ij} : i müşterisinden j müşterisine seyahat maliyeti

S : müşteriler kümesinin alt kümesi,

$|S|$: S alt kümesindeki düğüm sayısı,

Modelde (2.2) kısıtı, her bir müşterinin (depo haricinde) bir araca atanmasını, (2.3) ve (2.4) kısıtları müşteriye hizmet için gelen aracın tekrar gitmesini sağlayan ve (2.5) kısıtı ise Gezgin satıcı probleminin alt tur eleme kısıtıdır.

2.4. Araç Rotalama Problemi En İyi İyileme Ölçütleri

Klasik araç rotalama probleminde amaç fonksiyonu toplam rota uzunluğunun minimizasyonu olarak tanımlanmış olsa da literatürdeki matematiksel modellerde amaç fonksiyonu için farklı optimizasyon ölçütleri de tanımlanmıştır. Bunlardan en yaygın olanları;

Rota Sayısı: Her bir rota içerisinde bir aracın kullanıldığı düşünüldüğünde rota sayısı ile birlikte araç sayısının da azaltılabileceği böylelikle yatırım maliyetlerinin minimize edilebileceği görülmektedir.

Yük Dengesi: Her rota boyunca her araç tarafından taşınan ürün miktarındaki dengeyi ifade etmektedir.

Uzunluk Dengesi: Rota uzunluklarındaki çeşitliliğin azaltılmasıdır [29].

Rota Süresi: Genel olarak rota boyunca seyahat, yükleme/boşaltma ve bekleme sürelerinin toplamını ifade etmektedir.

Müşteri Memnuniyeti: Ürünlerin müşterilere zamanında teslimatı ile ilgili ölçüttür [30].

2.5. Araç Rotalama Problemi Çeşitleri

Araç Rotalama Problemleri depodan harekete geçen araçların rota durumlarına, çevresel faktörlerin ve taleplerin zamanla bağlantılı olarak değişip değişmediğine, kısıt, amaç fonksiyonlarına göre üç şekilde sınıflandırılmıştır. Çevrenin statik ve dinamik olması durumuna göre iki farklı şekilde sınıflandırılmıştır. Rota durumlarına göre açık uçlu ve kapalı uçlu olarak sınıflandırılmıştır. Problem kısıtlarına göre ise maliyet, zaman, talep noktalarının birbirlerine olan uzaklıkları, araçların kapasitesi vb. kısıtların bir tanesini veya birden fazlasını birlikte içeren araç rotalama problemleri olarak alt gruplara ayrılmaktadırlar [31,32].

Araç Rotalama Problemlerinin sınıflandırılmasında en önemli unsur kısıtlardır. Sınıflandırma yapılırken de çoğu zaman kısıt ismi ile problem birlikte anılmaktadır. Artan rekabet şartları ve değişen çevre koşullarına göre rotalama problemlerine giderek daha fazla kısıt eklenmektedir. Eklenen her bir kısıt, problemi daha karmaşık ve çözümü daha zor hale getirmektedir. Bu bölümde önemli kısıtlara göre ARP türlerinden kısaca bahsedilmiştir.

2.5.1 Kapasite Kısıtlı ARP

Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi (KARP) ARP'nin en temel modelidir. KARP'de talepler deterministik, bölünmemiş ve önceden bilinmektedir. Tüm müşteri talepleri

karşılanmakta, araçlar özdeş ve tek bir depoda yer almaktadır. KARP'de amaç, tüm müşterilere hizmet vermek için gerekli toplam maliyeti (rota sayısı ve/veya rotaların uzunluk veya seyahat süresi) minimize etmektir [33].

KARP yönlü bir şebeke $G = (V, A)$ üzerinde tanımlansın. Burada $V = \{0, 1, \dots, n\}$ düğüm kümesini, $i \in V \setminus \{0\}$ düğümü negatif olmayan d_i talepli müşterileri ve $\{0\}$ düğümü de depoyu ifade etmektedir. $A = \{(i, j) : i, j \in V, i \neq j\}$ arkları seyahat maliyeti c_{ij} ile ilişkilendirilir. Depoda C kapasitesine sahip özdeş K adet araçtan oluşan sabit bir filo mevcuttur. KARP toplam seyahat maliyeti minimize edilmiş K rotalarının kümesinin belirlenmesi olarak ifade edilir. x_{ijk} ($k = 1, \dots, K$) (i, j) arkı üzerinde i şehirden j şehrine k aracının sevkiyat yapıp yapmadığını gösteren 0-1 değişkenidir. y_{ik} k aracı tarafından i müşterisine servis yapılıp yapılmadığını gösterir.

Model:

$$\text{Min} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} (c_{ij} \sum_{k=1}^K x_{ijk}) \quad (2.8)$$

$$\sum_{k=1}^K y_{ik} = 1 \quad i \in V \setminus \{0\} \quad (2.9)$$

$$\sum_{k=1}^K y_{0k} = K \quad (2.10)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ijk} = \sum_{j \in V} x_{jik} = y_{ik} \quad i \in V, k = 1, \dots, K \quad (2.11)$$

$$\sum_{i \in V} d_i y_{ik} \leq C \quad k = 1, \dots, K \quad (2.12)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1, \quad S \subseteq V \setminus \{0\}, |S| \geq 2, k = 1, \dots, K \quad (2.13)$$

$$y_{ik} \in \{0, 1\} \quad i \in V, k = 1, \dots, K \quad (2.14)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad i, j \in V, k = 1, \dots, K \quad (2.15)$$

(2.9) ve (2.11) kısıtları sırasıyla her bir müşterinin bir kez ziyaret edileceğini, depodan K adet aracın ayrılacağını ve düğümlerin giren çıkan dengesini gösterir. (2.12) kısıtı her bir k aracı için kapasite kısıtı iken (2.13) kısıtı alt tur eleme kısıdıdır [34].

2.5.2 Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (MKARP)

Araç rotalama problemlerinin en temel yaklaşımlarından biri olan MKARP’de rotalara atanan her araç için kat edeceği bir mesafe kısıtı bulunmaktadır. Gerçek bir dağıtım probleminde bu durum taşınan ürünün cinsi, araçların veya sürücülerin kısıtlarından kaynaklanmakta olabilir. Eğer uzun süre taşınması sebebiyle üründe bozulmalar söz konusu ise ya da araç kullanıcılarının belirli bir süreden sonra daha fazla araç kullanmasının mümkün olmadığı veya yasal zorunluluk bulunduğu durumlarda bu kısıt eklenmelidir [35].

Literatürde MKARP’nin birçok farklı versiyonu bulunabilmektedir. Örneğin araç çeşitlerine göre farklı mesafe kısıtları söz konusu olabilir. Ayrıca mesafe kısıtı yerine araçların kat ettiği mesafeyle veya hizmet sağladığı talep noktası sayısı ile bağlantılı olarak seyir süresinin etkileneceğinden dolayı süre kısıtı da olabilir. Bu durumda araçların her bir talep noktasında servis süresi kadar beklemesi gerekecektir [36].

2.5.3 Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi

Klasik ARP ‘den farklı olarak zaman pencereli araç rotalama problemlerinde, her bir müşteriye kendisi için belirlenmiş bir zaman aralığında hizmet verme zorunluluğu vardır. Posta teslimatları, banka teslimatları, endüstriyel atık toplama ve servis araçları rotalama problemleri Zaman Pencereli ARP’nin en sık karşılaşılan örnekleridir.

Zaman Pencereli ARP iki alt sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar;

Esnek Zaman Pencereli ARP: Esnek Zaman Pencereli ARP’de müşterilere belirtilen zaman aralığının dışında hizmet verilebilmektedir, ancak bu durumun bir cezai maliyeti olmaktadır [37].

Sıkı Zaman Pencere ARP: Sıkı zamanlı ARP 'de araç müşteri için belirtilen zaman aralığından önce talep noktasına ulaşırsa beklemek zorundadır. Zaman aralığından sonra ise hizmet verilememektedir [38].

2.5.4 Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi

Son yıllarda üzerinde çeşitli çalışmalar yapılan bir tür olan Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi (TDARP); depolardan müşterilere dağıtım yapılacak taşımalar ile birlikte müşterilerden depolara yapılacak toplama işlemlerini de aynı araçlar ile gerçekleştiren Araç rotalama problemleri olarak tanımlanmaktadır. Pratikte birçok örneği bulunan TDARP, Araç Rotalama Problemlerinin genelleştirilmiş bir halidir. Otomotiv sektöründe fabrikalardan bölge bayilerine yedek parça dağıtımı ile birlikte kullanım ömrünü tamamlamış parçaların geri dönüşüme kazandırılmak üzere tekrar fabrikaya taşınması, sağlık sektöründe, kanların merkezlerden hastanelere dağıtımı esnasında toplama kamplarından merkeze yeni kanların getirilmesi; gıda sektöründe, günlük taze ürünlerin talep noktalarına dağıtımı sırasında günü geçmiş veya bozulmuş ürünlerin geri toplanması TDARP'ye örnek olarak verilebilir [39].

TDARP 'de toplanan ürünler doğrudan bir diğer müşteriye taşınmaz. Bu problem çeşidinde tüm talepler ya depodan müşteriye taşınmaktadır ya da müşteriden depoya taşınmaktadır [40].

Bu varsayımlar altında TDARP'nin üç farklı tipi bulunmaktadır. Bunlar;

Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi: ARP'nin bu türünde müşteriler dağıtım ve toplama müşterileri olmak üzere iki gruba ayrılır. Bu problemde bir rota üzerinde, önce dağıtım müşterilerine daha sonra toplama müşterilerine hizmet verilmektedir. Bu varsayım, araç içerisinde dağıtım yapılacak ürünler teslim edilmeden toplanması gereken ürünlerin tekrar yerleştirilmesinin mümkün olmadığı durumlar için söz konusudur. Yani araç dağıtım müşterilerinin talepleri ile yüklenip, bütün ürünler dağıtılıp araç boşaldıktan sonra toplama müşterilerine hizmet verilmektedir. Ana depolardan talep noktalarına meyve-sebze dağıtımından sonra üreticilerden yeni ürünlerin toplanarak depoya taşınması bu problem tipine örnek gösterilebilir [41].

Karma Topla - Dağıt Araç Rotalama Problemi: Bu problem müşteri öncelikleriyle ilgili yapılan varsayımın kaldırılması ile elde edilen problem tipidir. Yani bir rota üzerinde toplama ve dağıtım müşterilerine, karışık sırada hizmet verilebilmektedir. Bu problem türü araç içinde yeniden yükleme yapılabilmesinin mümkün olduğu durumlar için geçerlidir. Kargo sektöründe depolardan müşterilere gönderilen kargoların dağıtımı esnasında, diğer müşterilerden depoya götürülmek üzere kargoların toplanması bu probleme örnek olarak verilebilir [42].

Eş Zamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi: Önce Dağıt Sonra Topla ARP ve Karma Topla Dağıt ARP'de müşteriler ya toplama ya da dağıtım müşterisi olabilmektedir. Eş Zamanlı Topla Dağıt ARP'de ise bir müşteri hem toplama hem de dağıtım müşterisi olabilir. Böyle bir durumda araç müşteriye önce teslim edilecek ürünü bırakmakta sonra teslim alınacak ürünü almaktadır. Gıda sektöründe, içeceklerin marketlere bırakıldıktan sonra aynı marketten geri dönüşüme kazandırmak amacıyla boş şişelerin toplanması örnek olarak verilebilir [43].

2.5.5 Bölünmüş Dağıtımlı ARP (BDARP)

Bölünmüş Dağıtımlı ARP'de bir müşterinin talepleri birden fazla araç tarafından temin edilebilmektedir. Bu doğrultuda bir müşteriye farklı araçlar tarafından birden fazla dağıtım yapılabilir. Bu dağıtım şekli en az bir müşteri talebinin araç kapasitesinden büyük olduğu durumlarda kullanılmaktadır.

BDARP'de eğer toplam maliyetlerin düşmesine katkısı olacaksa, aynı müşterilere farklı araçlar tarafından hizmet sağlanabilir. Burada, eğer müşterinin siparişlerinin hacmi aracın kapasitesi kadar büyükse, klasik ARP'nin genişletilmesi konusu kritik bir konudur. BDARP'de en iyi sonucu bulmak ARP'dekinden çok daha zordur. Amaç en düşük maliyet ile araç akışını ve müşterilerin taleplerini karşılamaktır. Bir müşterinin birden fazla araçtan hizmet görmesi dışında problemin tüm kısıtları sağlanıyorsa çözüm uygun olup tüm rotalardaki toplam maliyet en küçüklenmiş olur [44].

2.5.6 Çok Depolu ARP (ÇDARP)

Çok Depolu ARP'de isminden de anlaşılacağı üzere birden fazla depodan dağıtım yapılabilir. Depo ve müşteri konumları önceden bilinmekte olup, depolar tüm

müşterilerden gelen toplam talebi karşılayabilecek kapasiteye sahiptir. Bu problem tipinde her araç hareket ettiği depoya geri dönmektedir. Birden fazla deposu olan bir dağıtım şirketinin araç rotalaması yapılmakta ise, çok depolu olma durumunun modele eklenmesi gerekmektedir [45].

2.5.7 Periyodik ARP (PARP)

Periyodik Araç Rotalama Problemlerinde belirli bir dönemin planı önceden yapılır ve müşteriler bu süreçte birden fazla hizmet görmektedir. Müşterilere yapılacak servis sayısı müşterilerin talep miktarı ve stok alanlarına göre değişim göstermektedir.. Eğer bir müşterinin talep miktarı çok fazla ise kendinden daha az talebi olan müşteriye bir göre daha fazla ziyaret edilecektir. Eğer talep eden müşterinin stoklama alanı diğer talep sahiplerine göre küçük ise büyük stoklama alanına sahip olan müşteriler daha fazla ziyaret edilecektir. Bu problem sınıfı atık toplama, marketler ve içecek endüstrisi gibi alanlarda ortaya çıkmaktadır [46].

2.6. Araç Rotalama Problemlerine Çözüm Yaklaşımları

Araç rotalama probleminin Dantzig ve Ramser [47] tarafından 1959 yılında sunulmasından bu yana araştırmacılar tarafından klasik ARP ve çeşitleriyle ilgili birçok çözüm yöntemi sunulmuştur. NP-zor sınıfında bulunan ARP'lerde problem boyutu büyüdükçe optimal çözümü elde etmek güçleşmekte ve çözüm süresi uzamaktadır. Bu kapsamda kesin çözümlerin yanı sıra yaklaşık çözüme daha kısa sürede ulaşan sezgisel yöntemler sunulmuştur. Genel olarak ARP çözüm yöntemleri optimal sonuca ulaşıp ulaşmamalarına göre kesin çözüm yöntemleri ve sezgisel yöntemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. 1990'lı yıllardan günümüze kadar üzerinde çalışılan metasezgiseller ile birlikte sezgisel yöntemler de klasik ve metasezgiseller olarak ikiye ayrılmıştır.

2.6.1 Kesin Yöntemler

Kesin çözüm yöntemleri matematiksel programlama tabanlı yöntemlerdir. Kesin yöntemler ile ARP için optimum sonuçlar bulunabilmektedir. Ancak kesin yöntemler, problem boyutu büyüdükçe ya da probleme başka kısıtlar eklendikçe çözüm süresinin artmasıyla birlikte makul sürede en iyi çözümler bulamamaktadır.

Kesin çözüm yöntemleri literatürde farklı şekillerde sınıflandırılmıştır. Örnek bir sınıflandırma Laporte'nin [48] çalışmasından incelenebilir. Tamsayılı model olarak kurulan ARP'yi çözmek için kullanılan bu yöntemlerden en bilinenleri; dal ve sınır, kesme düzlemi ve dinamik programlama yöntemleridir. Bunların yanı sıra dal ve kesme algoritması, dal ve değer algoritması, sütun oluşturma, ağaç arama gibi farklı metotlarda literatürde mevcuttur.

Dal Sınır Yöntemi: Dal – Sınır yöntemi tüm çözüm ihtimallerini belirlemeye yönelik bir teknik olup, böl ve yönet ilkesine dayalıdır. Büyük problemlerin daha küçük problemlere bölünmesiyle çözüm elde edilmesi amaçlanmaktadır. Optimal çözüme götürmeyen seçenekler önceden elenir. Bu nedenle gerekli değerlendirmelerin sayısı genellikle çözüm alanını küçük gruplara böler. Bölme aşamasında ortaya konan tüm uygun çözümler daha küçük alt gruplarına ayrıştırılır. Dallandırma adım sayısını düşürmek maksadıyla sınırlandırma yöntemi kullanılır. Dallandırma ile oluşturulan problemlerin çözümlerinin alt ve üst sınır değerleri belirlenir. Tüm alt problemler sınırlandırıldığında algoritma sonuca ulaşır. Eğer alt küme sınırı, alt kümenin optimum çözümü asla kapsayamayacağını gösteriyorsa bu altküme çıkartılır. Problemin çözümü en iyi alt kümedir. Bu yöntemde problemin en iyi çözümüne ulaşırken problemin bütün aşamaları sistematik olarak incelenmelidir.

Kesme Düzlemi Yöntemi: Dal sınır algoritmasına alternatif olarak geliştirilen bir yöntemdir. Kesme Düzlemi Algoritması da sürekli bir doğrusal programlama probleminin optimum çözümüyle başlar. Ancak, bu yöntemde dallanma ve sınırlamadan çok, kesme adı verilen özel kısıtlar art arda oluşturularak çözüm uzayının düzenlenmesine gidilir. Tamsayılı doğrusal programlama probleminde gerekiyorsa, öncelikle sınırların tamsayılı olması sağlanır ve bu durumda sınırların değiştirilmesi söz konusudur. Problemin daha sonra optimum çözüm tablosu bulunur. Optimum çözüm tamsayı ise durulur. Problemin çözümü bulunmuştur.

Dal Kesme Yöntemi: Dal-kesme yöntemi kesme düzlemi yöntemi ve dal-sınır yöntemlerinin birleşimiyle oluşmuştur. Dal-kesme yöntemi de diğer tamsayılı programlama algoritmalarına benzer olarak problemin, doğrusal programlama ile yapılacak çözümü ile başlamaktadır. Genel bir tamsayılı programlama problemini sadece

kesme düzlemi yaklaşımı ile verimli olarak çözebilmek mümkün olmamakta ve alternatiften iyi çözümleri bulmak için dallandırma yapmak da ayrıca gerekmektedir. Dalsınır yöntemi kesme düzlemi yönteminin uygulanması ile oldukça hızlanmaktadır. Dallandırma yapılmadan kesme eklenebileceği gibi ağacın her alt kümesinin çözüm aşamasında da kesmeler kullanılabilir [49].

Dinamik Programlama: Böl ve yönet yönteminde alt problemlerin birbirinden bağımsız olmadığı durumlarda dinamik programlama kullanılmaktadır. Dinamik programlamada her bir alt problem bir kez çözülür ve çözümler bir tabloda tutulur. Aynı alt problem ile tekrar karşılaşılmaması durumunda alt problem yeniden çözülmeyerek sadece tablodan bu problemin değerini okur.

2.6.2 Klasik Sezgisel Yöntemler

ARP'nin çözümünde optimuma yakın çözüme kabul edilebilir sürelerde ulaşmak için genelde sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Sezgisel algoritmalar, problemin çözüm uzayı çok büyük olduğu durumlarda çözümün aranmasını sınırlamak üzere herhangi bir sadeleştirme, kural, strateji gibi alternatif hareketlerden etkili olanını kullanmak hedefiyle tanımlanan ölçüt veya bilgisayar yöntemleri olarak tanımlanabilir.

Sezgisel yöntemler arama uzayında oldukça kısıtlı bir alanda tarama yapmalarına rağmen oldukça kısa bir sürede iyiye yakın çözümler üretebilmektedir. Bunun yanı sıra sezgisel teknikler genel olarak hızlı bir şekilde uygun bir ilk çözüm bularak bu çözümü iyileştirmeye çalışmaktadır [50].

Sezgisellik, problemin durum uzayı çok büyük olduğunda çözümün aranmasını kesin bir biçimde sınırlayan strateji, kural, hile ve diğer etmenlerin kullanımınıdır. Dolayısıyla sezgisellik problem karmaşıklık içerdiğinde çözüm için yolun bulunmasındaki yardımcı anahtardır. Sezgisel yaklaşımların temel adımları aşağıdaki gibidir [51]:

- Mümkün olan durumların içinde herhangi birinin ele alınması
- Ele alınmış duruma mümkün gidişler uygulayarak durumun değiştirilmesi
- Durumun değerlendirilmesi
- Gereksiz durumların atılması

- Eğer sonuca ulaşılmışsa çözümün tamamlanması, aksi halde yeni değerler ele alınarak işlemlerin tekrarlanması.

ARP için geliştirilen klasik sezgisel algoritmalar genel olarak üç kategoride sınıflandırılabilir.

- Tur Kurucu Sezgiseller
- Tur İyileştirici Sezgiseller
- İki Aşamalı Metotlar

Tur Kurucu Sezgiseller: Bu yöntemde, ARP çözümlerinin oluşturulması için bir tasarruf kriteri kullanarak mevcut rotaların birleştirilmesi ve bir ekleme maliyeti kullanarak araç rotalarına düğümlerin atanmasından oluşan iki ana teknik kullanılır. Bu sezgiseller çözüm maliyetini göz önünde tutarlarken aşamalı olarak arkların birbirine eklenmesi sonucu uygun bir çözüm rotası kurarlar fakat kendi başlarına bir gelişim aşaması içermemektedirler [52]. Tur kurucu metotlar arasında en çok tercih edilen tasarruf algoritmasıdır.

Tasarruf algoritması ilk olarak Clarke ve Wright [53] tarafından ARP çözümü için önerilmiştir. Bu yüzden Clarke ve Wright algoritması olarak da bilinmektedir. Tasarruf Algoritması bir başlangıç noktasının depo olarak ele alınmasıyla başlar. Başlangıçta tüm durakların depodan ziyaret edildiği varsayılır, daha sonra iki alt arkın birleştirilmesiyle elde edilen tasarruflar hesaplanır. En büyük tasarruf değerinden başlayarak arklar birleştirilir [54].

Tur İyileştirici Sezgiseller: İyileştirme sezgiselleri araç rotaları içerisinde veya arasında bir dizi kenar veya düğüm değişimi gerçekleştirerek herhangi daha iyi uygun bir çözüme ulaşmaya çalışır [55]. Yerel arama algoritmaları genellikle diğer sezgiseller tarafından oluşturulmuş başlangıç çözümlerini geliştirmek için kullanılır. Belirli bir çözümden başlayarak bir yerel arama yöntemi, daha iyi maliyetli komşu çözümler elde etmek için ark değişimi veya müşteri hareketleri gibi basit değişimler uygular. Eğer gelişen bir çözüm bulunursa başlangıç çözüm ile yer değiştirilir ve süreç tekrarlanır. Aksi durumda yerel bir minimum noktası tespit edilmiştir. Birçok çeşit komşuluk mevcuttur. Bunlar bir tek rota üzerinde işlem yapılıyorsa rota içi komşuluklar, aynı anda bir den fazla rota ele alınıyorsa rotalar arası komşuluklardır.

İki Aşamalı Sezgiseller: İki aşamalı sezgiseller, ARP çözüm sürecini iki alt probleme ayrıştırmaya dayanır[56];

- Kümeleme: Her bir rotaya karşılık gelen alt kümelere müşteri ayrımının tanımlanması,
- Rotalama: Her bir rota üzerinde müşteri sıralarının tanımlanması.

İki aşamalı sezgiseller önce kümele sonra rotala metotları ve önce rotala sonra kümele metotları olmak üzere iki sınıfa ayrılır. İlk durumda düğümler uygun kümeler halinde düzenlenir ve her biri için bir araç rotası oluşturulur. İkinci durumda ilk olarak tüm düğümler için bir rota oluşturulur ve sonra uygun araç rotalarına bölünür. Bu yöntemin en önemlileri Süpürme Algoritması [57], Taç Yaprığı Algoritması [58] ve Fisher ve Jaikumar Algoritmasıdır [59].

2.6.3 Metasezgisel Yöntemler

Metasezgisel yöntemler çözüm uzayında etkili bir şekilde arama yapmak için, farklı yapılarıdaki alt kademe sezgisel algoritmaların zekice birleştirilmesi ile oluşturulmuş iteratif problem çözme prosedürleridir. Bu yöntemler her iterasyonda bir çözümünden veya çözüm koleksiyonundan yola çıkarak yeni çözümler üretirler. Çoğu metasezgisel yaklaşım çözüm uzayında stokastik fakat bilinçli bir şekilde arama yapar [60].

Klasik sezgisel yöntemler bölgesel optimizasyon problemleri yöntemleri olup çözüm uzayında yapılan arama, belirlenen komşuluk yapısı ile daha iyi bir komşu çözüm bulunamadığı durumlarda sonlandırılmaktadır. Bu nedenle yöntemler yerel minimum noktalarda takılmakta ve arama stratejisi kör bir şekilde uygulanmaktadır. Metasezgisel yöntemler ise yerel minimum noktalardan kurtulmak için daha kötü çözümlerin de kabul edildiği küresel optimizasyon yöntemleridir. Algoritma içerisinde bir durdurma kriteri olmaması ve bu sebeple ne zaman duracağını tam olarak tahmin edilememesi bu yöntemlerin dezavantajı olarak ortaya çıkmaktadır. Literatürde kabul görmüş en yaygın metasezgisel yöntemler aşağıdaki gibidir.

- Tabu arama algoritması
- Tavlama benzetimi algoritması
- Genetik algoritmalar

- Karınca koloni optimizasyonu algoritması
- Yapay sinir ağları
- Diferansiyel gelişim algoritması
- Yapay arı kolonisi algoritması

Tavlama Benzetimi (TB): KARP'nin çözümünde kullanılan bir metasezgisel algoritmadır. İsmi metalürji biliminden alan ve metallerin tavlama işleminden esinlenerek ortaya konan yöntem, genellikle ayrık optimizasyon problemleri için kullanılmaktadır. Algoritma temel prensibi, iyi çözümü feda ederek yerine kötü çözümü kabul etme olasılığı olan p değerinin dinamik bir şekilde ilerleyen iterasyonlarda azaltmasıdır. Bu şekilde bir düzenleme yapıldığında, problem çözümünün ilk kısımlarında çözüm bölgeleri arasında çok fazla sıçrayış olurken, iterasyon sayısı artıp elde edilen çözümler oldukça iyi bir düzeye geldiğinde 0'a yaklaşır ve böylece arama bölgesi daralır. Tavlama benzetimi algoritmasının temel prensibi tam olarak budur. Kötü çözümü seçme olasılığı sistemli bir şekilde sıcaklıkla azaltılır. Sıcaklık iterasyona bağlı olarak genellikle düzgün veya logaritmik azalan bir ifadedir.

Osman [61] KARP'nin çözümüne yönelik olarak, hesap süresinin azaltılması için özel bir veri yapısının entegre edildiği tabu arama algoritması ile melez benzetimli tavlama algoritması geliştirmiştir. Zeng vd. [62], benzetimli tavlama ile birlikte kullanılan atama esaslı bir yerel arama algoritması önermiştir. Moghaddam vd. [63], bir müşteri talebinin birden fazla araca bölünebileceği KARP için karma tamsayılı lineer bir model geliştirmiş ve benzetimli tavlama ile probleme çözüm aramıştır. Leung vd. [64], dağıtım lojistiğin iki önemli problemi olan araç yükleme ve rotalama problemlerinin bütünleşik çözümü için iki boyutlu yükleme kısıtlarını dikkate alan benzetimli tavlama esaslı bir çözüm yöntemi geliştirmiştir.

Tabu Arama (TA): Glover [65,66] tarafından geliştirilen TA, yerel arama tabanlı bir metasezgisel olup, optimizasyon problemlerine başarıyla uygulanmaktadır. Genel olarak çözüm süreci TB'ne benzemekle birlikte, algoritmada her iterasyonda gidilecek olan komşu çözüm en iyi değere sahip olmalıdır.

Genel olarak işleyişi şu şekildedir: bir başlangıç çözümü oluşturulduktan sonra bu çözüme komşu olan çözümler amaç fonksiyonuna göre değerlendirilir. En iyi komşu seçilir, bu çözüm tabu listesinde bulunmuyorsa ve aspirasyon adı verilen kriteri sağlıyorsa

tabu listesine eklenir. Bulunan bu çözüm, mevcut en iyi çözümden daha iyiye bir sonraki iterasyonun başlangıç çözümü olur. Tabu listesi, mevcut çözümlerin kaydedildiği bir hafızadır. Amaç değerlendirilmiş çözümlerin tekrar taranmasını engellemektir.

Son 20 yıl içerisinde TA algoritması birçok yazar tarafından ARP'ye uygulanmıştır. Willard [67] ve Pureza ve França [68] ilk uygulayanlardır. Kendi isimlerini taşıyan TA algoritmaları Osman [69], Taillard [70] tarafından geliştirildikten sonra Gendreau ve diğerleri [71] Taburoute algoritmasını ARP'ye uygulamışlardır. Archetti ve diğerleri [72], TA algoritmasını bölünmüş dağıtımlı ARP problemlerine uygulamışlardır. Bolduc vd. de [73] aynı problemin üretim ve talep takvimli versiyonuna TA metasezgiseli ile çözüm aramışlardır. Brandao [74] deterministik TA algoritmasını ARP'ye uygulamıştır.

Genetik Algoritmalar (GA): Genetik algoritmalar, popülasyon temelli bir metasezgisel optimizasyon tekniğidir. 1975 yılında Holland'ın konu ile ilgili "Adaptation Natural and Artificial System" kitabını yayınlamasından sonra popüler olmuştur. Konu hakkında 1980'li yılların ortasında yapılan ilk uluslararası konferansa kadar teorik çalışmalarla gündemde olan teknik, bundan sonra çok geniş bir uygulama alanı bulmuştur.

GA'nın genel çalışma prensibi şu şekilde özetlenebilir: probleme ait değişkenler kromozom olarak isimlendirilen vektörlerde temsil edilir. Alternatif çözümleri içeren kromozomlar topluluğuna popülasyon denir. Başlangıç çözümü, değişkenlere ait sınırlar dikkate alınarak rastgele belirlenir. İteratif bir teknik olan GA, her iterasyonda kromozomlar üzerinde değişiklikler yaparak daha uygun çözümleri araştırır. Bu değişiklikler çaprazlama, mutasyon ve seçim olarak isimlendirilen GA operatörleriyle yapılır.

Çaprazlama, iterasyonlar boyunca seçilen iki kromozoma ait bilgilerin karşılıklı olarak değiştirilmesi işlemidir. Böylelikle daha iyi sonuçlar üretecek çözüm alternatiflerinin bulunması amaçlanmaktadır. Mutasyon yerel optimuma takılmaları önlemek için kromozomlar üzerinde düşük bir olasılıkla yapılan tesadüfi değişikliklerdir. Seçim operatörü popülasyonun iyileştirilmesini sağlamaktadır. Önceden belirlenen sayıda iyi kromozom çoğaltılarak, nispeten daha kötü sonuçlar veren kromozomların yerine popülasyona dahil edilir. Böylelikle popülasyonun daha elit bir hale gelmesi sağlanır. Bu süreçte amaç daha iyi çözüm noktalarını yakalamaktır.

Literatürde ARP problemleri için geliştirilmiş birçok GA tekniği bulunmaktadır. Operatörlerde birtakım değişiklikler yapılarak daha iyi sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Özellikle arama sürecinde büyük öneme sahip çaprazlama operatörünün farklı versiyonları kullanılmıştır. Sıralamanın önem arz ettiği ARP problemlerinde permütasyon kodlama kullanılmaktadır. Permütasyon kodlamada çaprazlama operatörü uygun olmayan çözümlere sebebiyet vermeyecek şekilde yapılmalıdır. Aynı özelliği taşıyan çizelgeleme probleminde kullanılan çaprazlama çeşitleri Cheng ve diğerlerinin [75] çalışmasında ele alınmıştır.

Karınca Koloni Optimizasyonu Algoritması (KKO): Günümüzde biyolojik yapılardan esinlenerek oluşturulan sistemler önem kazanmaktadır. Doğadaki bazı sosyal sistemler sınırlı yetenekli basit bireyler tarafından oluşturulmalarına rağmen kolektif zeka davranışları sergilerler. Problemlere uyarlanan zeki çözümler bu bireylerin kendi içindeki organizasyonları ve dolaylı iletişimlerinden ortaya çıkar. Karıncaların kolektif davranışının taklidi olan KKO algoritması son zamanlarda geliştirilen popülasyon tabanlı yaklaşımlardan biridir.

Karıncalar tek başlarına basit yeteneklere sahip olmalarına rağmen, koloninin bütünü yüksek bir yapıdadır; kendilerinden çok büyük cisimleri taşımak, köprüler oluşturmak veya yuva ile yiyecek arasındaki en kısa yolu bulmak gibi karmaşık işlemlere karşı zeki çözümler üretirler [76]. KKO gerçek karıncaların davranışları üzerine kuruludur.

Karınca kolonileri, besin kaynaklarından yuvalarına doğru ya da tam tersi şekilde yürürken toprağa, yol üzerinde iz oluşturmak için feromon denilen maddeler bırakırlar. Karıncalar feromonu koklayabilirler ve yollarını bulurken seçim yapmak durumunda kaldıklarında yoğun feromon konsantrasyonu bulunan yolları seçerler. Feromon izi karıncaların besin kaynaklarına (veya yuvalarına) geri dönüş yolunu bulmalarına olanak tanır. Aynı zamanda yuvadaki bazı karıncalar tarafından bulunan besin kaynaklarının diğer karıncalar tarafından bulunmasına olanak tanır. Bir karınca bir yolu takip ettiği zaman yola bırakılan feromon miktarı çözümün kalitesiyle orantılıdır. Bir karınca iki veya daha fazla yol arasından seçim yapması gerektiğinde, yüksekferomonlu yollar karınca tarafından yüksek seçilme olasılığına sahiptir [77].

Karıncalar yiyecek bulmak için düz bir yolda ilerlerken, gıdaya giden yolda herhangi bir engel meydana geldiğinde bu engelin hemen önündeki karınca devam edemez ve yeni

gidiş yönü için bir tercih yapmak zorunda kalır. Bu konumda, karıncanın yeni yön seçeneklerinin seçilme olasılıkları eşittir. Eğer karınca sağ ve sol yönlerinden bir tanesini seçebiliyorsa, bu yönlerin seçilme şansları eşittir. Karınca yaptığı seçime göre yoluna devam eder ve kendi yolunu çizer. Feromon miktarına bağlı olarak tercih edilen yol en kısa yol olacaktır bu gerçekleştikçe diğer yolların tercihi bitecek ve en kısa yol bulunmuş olacaktır. Karıncaların bu özelliği, bir takım özellikler aynen kullanılarak ve bazı eklemelerle gerçek problemlerin çözümünde kullanılabilir hale getirilmiştir [78].

Yapay Sinir Ağları (YSA): İlk olarak McCulloch ve Pitts [79] tarafından geliştirilen yapay sinir ağlarının tanımı Kohonen tarafından şu şekilde yapılmıştır [80]:

“Yapay sinir ağları, paralel bağlı çok sayıdaki basit elemanın, gerçek dünyanın nesneleriyle biyolojik sinir sisteminin benzeri yolla etkileşim kuran hiyerarşik bir organizasyondur”.

Özellikle doksanlı yıllardan sonra popüleritesi artan YSA’lar günümüzde halen birçok alanda başarıyla kullanılmaktadır. Birbirine hiyerarşik olarak bağlı olan ve proses elemanı da denilen yapay hücreler paralel olarak çalışabilmektedirler. Bağlantıların bir değeri vardır ve öğrenme yoluyla edinilen bilgi, bu ağırlıklarda saklıdır. Bu yüzden bir dağıtık hafızadan bahsedilmektedir. Proses elemanları, bağlantılarıyla beraber yapay sinir ağını oluşturmaktadır [81]. Mevcut bir veri kümesine karşılık farklı bir veri kümesi üretilmektedir. Öncelikle uygun çıktıları verebilme kabiliyetinin gelişmesi için ağ örnek olaylar vasıtasıyla eğitilir. Sonrasında benzer girdiler için genelleme yaparak çıktı üretmesi beklenir. Eğitim sırasında oluşan ağırlıklar bu bilginin saklandığı değerler olup bu ağırlıkların tam olarak neye karşılık geldiği bilinmemektedir. YSA farklı çalışmalarda ARP problemlerine uygulanmıştır: Torki ve diğerleri [82] ve Effati ve Jafarzadeh’in [83] yayınlarına bakılabilir.

Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA): Diferansiyel gelişim algoritması ilk olarak Storn ve Price [84] tarafından kullanılmıştır. Özellikle sürekli değişkenlerin oluşturduğu problemlerde etkin sonuçlar üretmektedir. Temel olarak popülasyonda yer alan vektörlerin farkları ile yeni popülasyon oluşturularak sonuca gidilmektedir.

DGA, işleyiş ve operatörleri itibarıyla genetik algoritmaya benzer bir popülasyon yapısından oluşmaktadır. GA ile arasındaki temel fark; genetik algoritmalarda arama

işlemi ağırlıklı olarak çaprazlama işlemi ile gerçekleştirilirken, diferansiyel gelişim algoritmasında arama işlemi ağırlıklı olarak mutasyon işlemi ile yapılmaktadır. Algoritma, mutasyon işlemini arama mekanizması olarak kullanmaktadır. Daha iyi bir popülasyon üretebilmek için, diferansiyel gelişim algoritmasında etkin bir mutasyon işlemi uygulanması gerekmektedir [85].

Diferansiyel gelişim algoritmasını genetik algoritmadan ayıran diğer bir önemli özellik ise; algoritmanın gerçek değerler ile çalışmasıdır. Genetik algoritmada gen yapısı çoğunlukla 0–1 kodlama ile oluşturulurken, diferansiyel gelişim algoritmasında genler gerçek değerler alabilmektedir. Ayrıca algoritmada yer alan operasyon işlemleri her bir kromozoma sırasıyla uygulanmaktadır. Böylece her bir iterasyonda üretilen çözüm sayısı popülasyon büyüklüğüne bağlı olarak arttırılabilmektedir. Genel olarak DGA; bir başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra durdurma kriteri sağlanana kadar mutasyon, çaprazlama ve seçim işlemlerini takip ederek işlem yapmaktadır.

DGA; minimizasyon veya maksimizasyon amaç fonksiyonlu optimizasyon problemlerine, gerçek değişken değerlerinin alt ve üst sınırları içinde uygulanabilmektedir. Problemin amaç fonksiyonu diğer metasezgisellerde olduğu gibi DGA'da da uygunluk fonksiyonu olarak değerlendirilmektedir. Çözümün, kısıtlardan uzaklaşması veya uygun olmaması durumunda; ceza maliyetleri kullanılarak üretilen kötü çözümün seçimini engellemektedir [86].

Yapay Arı Kolonisi Algoritması: Arıların yiyecek arama davranışından esinlenerek üretilmiş bir optimizasyon algoritmasıdır. Bir arı kolonisinde üç tür arı bulunmaktadır. Bunlar işçi arılar, gözcü arılar ve kâşif arılardır. Kâşif arılar rastgele kaynak araştırması yapar. Gözcü arılar bulunan kaynaklardan hangisine gideceğini seçer ve o kaynağa gider, kaynağa ulaştıktan sonra işçi arı olarak nitelendirilir [87].

Algoritmada ilk önce kâşif arılar rastgele olarak dağılırlar ve kaynak bulurlar bu kaynağın uygunluğu amaç fonksiyonunun değeridir. Bu kaynak uygunluğuna göre bir rulet tekerleği oluşturulur. Gözcü arılar rulet tekerleği seçimine göre kaynak seçerler ve o kaynak etrafında arama yaparlar. Kaynağını daha fazla geliştiremeyen arılar belirli bir limite göre tekrar kâşif arı olur ve rastgele yeni bir kaynak bulurlar. Kâşif arıların daha iyi kaynak bulma ihtimali işçi arılara göre daha yüksektir [88].

3. BÖLÜM

UYGULAMA – KAPASİTE KISITLI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

Bu çalışmada, Kayseri İli Talas İlçesi Merkez Mahallerinde daha önce belirlenmiş noktalarında konumlandırılmış çöp konteynır ve kutularında bulunan katı atıkların toplanması faaliyetlerini gerçekleştirmek amacıyla kullanılan araç/araçlar için en uygun rotalar belirlenerek optimal katı atık toplama planı oluşturulmaya çalışılmıştır. Çalışmada kapasite kısıtlı araç rotalama problemi için yazılmış tamsayılı matematiksel programlama modeli kullanılmıştır.

3.1 Uygulamanın Önemi

Günümüzde evsel atıkların toplanması yerel yönetimler için en yüksek maliyet kalemine sahip hizmetlerden biridir. Ayrıca bu konuda oluşabilecek herhangi bir gecikme veya aksama sağlık açısından da problemler ortaya çıkarmaktadır.

Bu konuda çalışma yürüten birçok kurum, sahip oldukları araç/araçların hangi sıra ile hangi lokasyona uğraması gerektiği ile ilgili karar verme aşamasında zorlanmakta ve hızlı bir şekilde etkin çözümü elde edememektedirler. Sistematiik yaklaşım ve yazılım desteği olmadan oluşturulmuş rotaların büyük kısmında kayıplar ortaya çıkmakta ve bu kayıplar sebebiyle yüksek maliyetler oluşmaktadır. Günümüze kadar daha düşük maliyetli etkili rotaların oluşturulması için akademisyenler ve araştırmacılar tarafından çeşitli araç rotalama problemleri çözüm yaklaşımları ortaya atılmıştır. Bu yöntemlerin uygulanması ile toplam maliyeti minimize etmek mümkün olacaktır.

3.2 Uygulamanın Temel Bileşenleri

Toplama Noktaları: Başlangıç noktası Talas Belediyesi Teknik Birimler Şantiyesi olmak üzere 819 farklı lokasyonda iki farklı kapasiteye sahip çöp konteynırları bulunmaktadır.

Araç Filosu: Talas bünyesinde katı atık toplama faaliyetlerinde kullanılmak üzere 8 adet $15+1,5 \text{ m}^3$ kapasiteye, 1:6 sıkıştırma oranına sahip otomatik yüklemeli çöp kamyonları bulunmaktadır.

Talas Belediyesi sınırları içerisinde merkez mahallelerde bulunan tüm çöp konteynırlarının koordinatları Netcad üzerine işlenmiş X ve Y koordinat özellikleri alınmıştır. Mevcut güzergahlar ise çöp kamyonlarının araç takip programı kullanılarak takip edilmesi ve ortalama haftalık kat edilen mesafe üzerinden mevcut durum analizi yapılarak oluşturulmuştur. Talas Belediyesi Temizlik Hizmetleri ekipleri haftanın 7 günü 2 vardiya şeklinde çalışmaktadır. Her ekip daha önceden belirlenmiş 7 farklı güzergahta çöp toplama faaliyetlerini gerçekleştirmektedir.

Farklı lokasyonda bulunan çöp konteynırlarından aynı noktada bulunan konteynırlar öncelikle bölge olarak ayrılmış, daha sonra aynı noktada veya birbirine 10 m. Mesafede bulunan konteynırlar ortaklaştırılarak, sonuçta 7 bölge için 50 lokasyon üzerinde çalışma gerçekleştirilmiştir. Tablo 6 bölgeleri, ortaklaştırmadan önce ve sonraki bölgelerdeki konteynır sayılarını göstermektedir.

Tablo 6. Bölgeler ve Ortaklaştırılmış Konteynır Sayıları

Mahalle	Konteynır Noktaları	Ortaklaştırma Sonrası
Bahçelievler	96	50
Han - Harman	173	50
Kıçıköy	80	50
Mevlana	198	50
Tablakaya	76	50
Yenidoğan	114	50
Yukarı	82	50

3.3 Matematiksel Model

Uygulamaya yönelik kurulan matematiksel modele ait parametreler ve karar değişkenleri aşağıda açıklanmıştır.

Parametreler

K: Araç Sayısı

N: Lokasyon Sayısı

q_i: Konteynır talepleri

d_{ij}: i lokasyonu ile j lokasyonu arası uzaklık

C_k: Araç kapasiteleri

Karar Değişkenleri

$$x_{ijk} \begin{cases} 1, & \text{Eğer k aracı i noktasından j noktasına gidiyorsa} \\ 0, & \text{Aksi takdirde} \end{cases}$$

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=2}^N \sum_{k=1}^K (d_{ij} x_{ijk}) \quad (3.1)$$

Modelde çöp toplama amacıyla kat edilen mesafenin minimizasyonu amaç fonksiyonu olarak ele alınmıştır.

Modelin Kısıtları

$$\sum_{j=2}^{N-1} \sum_{k=1}^K x_{1,j,k} = K \quad (3.2)$$

$$\sum_{i=2}^{N-1} \sum_{k=1}^K X_{i,N,k} = K \quad (3.3)$$

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq p}}^{N-1} X_{i,p,k} - \sum_{\substack{j=2 \\ j \neq p}}^N X_{p,j,k} = 0 \quad \begin{array}{l} \forall \quad p = 2, \dots, N-1 \\ \forall \quad k = 1, \dots, K \end{array} \quad (3.4)$$

$$\sum_{\substack{j=2 \\ j \neq i}}^N \sum_{k=1}^K X_{i,j,k} = 1 \quad \forall \quad i = 2, \dots, N-1 \quad (3.5)$$

$$\sum_{j=2}^{N-1} X_{1,j,k} = 1 \quad \forall \quad k = 1, \dots, K \quad (3.6)$$

$$\sum_{i=2}^{N-1} X_{i,N,k} = 1 \quad \forall \quad k = 1, \dots, K \quad (3.7)$$

$$\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{\substack{j=2 \\ j \neq i}}^N q_i X_{i,j,k} \leq C_k \quad \forall \quad k = 1, \dots, K \quad (3.8)$$

$$u_i - u_j + N \times \sum_{k=1}^K X_{i,j,k} \leq (N-1) \quad \begin{array}{l} \forall \quad i = 2, \dots, N \\ \forall \quad j = 2, \dots, N \\ i \neq j \end{array} \quad (3.9)$$

$$X_{i,j,k} = 0,1 \quad u_i \geq 0 \quad (3.10)$$

Modelde kısıt (3.2) depodan araç sayısı kadar araç çıkmasını, kısıt (3.3) depoya araç sayısı kadar araç girişini ve kısıt (3.4) her bir düğüme giren ve çıkan yolların eşit olmasını sağlayan kısıtlardır. (3.5) nolu kısıt düğümden çıkan yolların sadece bir tanesinin kullanılmasını, kısıt (3.6) her bir aracın depodan çıkmasını, kısıt (3.7) her bir aracın depoya dönüşünü sağlayan kısıtlardır. Araç kapasitelerinin aşılmaması için (3.8) ve alt tur oluşmaması için (3.9) kısıtları kullanılmıştır.

3.4 Mahalle Bazlı Arp Uygulaması

3.4.1 Bahçelievler Mahallesi

Bahçelievler Mahallesinde toplanan veriler ve yapılan analizler sonucunda mevcut durumda Tablo 7 ve Şekil 4’de gösterildiği gibi,3 sefer ile katı atık toplama faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Ancak yapılan kapasite incelemeleri ve değerlendirmeler sonucunda mevcutta toplanması gereken toplam katı atık miktarının 2 sefer yapılarak gerçekleştirilebileceği tespit edilmiştir. Bu doğrultuda yapılan uygulama sonucunda Bahçelievler Mahallesi güzergâhları model üzerinde çözümü gerçekleştirilerek Tablo 8 ve Şekil 5’de belirtilen güzergahlar oluşturulmuştur.

Tablo 7. Bahçelievler Mahallesi Mevcut Rota

Sıra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Rota 1	N-1	N-4	N-2	N-3	N-5	N-6	N-43	N-49	N-30	N-47	N-26	N-24	N-27	N-42	N-19	N-40	N-34	N-18	N-17	N-15	N-11	N-50
Rota 2	N-1	N-11	N-9	N-10	N-7	N-13	N-12	N-8	N-44	N-16	N-20	N-7	N-45	N-29	N-28	N-48	N-21	N-50				
Rota 3	N-1	N-31	N-25	N-23	N-38	N-39	N-37	N-36	N-35	N-33	N-32	N-41	N-13	N-12	N-45	N-22	N-50					

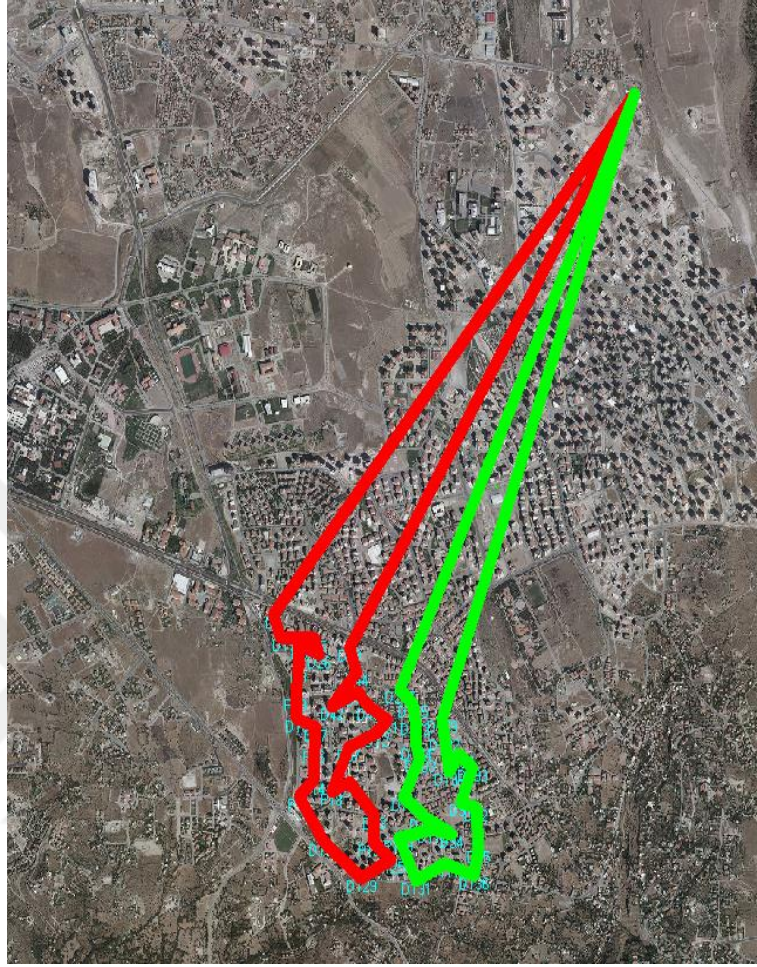
Mevcut durumda 3 sefer düzenlenerek gerçekleştirilen katı atık toplama faaliyetlerinde toplam 31,384 km. yol kat edilmektedir. Yapılan uygulama sonucunda ortaya konan güzergahta ise 19,539 km. yol kat edilerek katı atık toplama faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır. Matematiksel model ile toplamda ihtiyaç duyulan araç sayısı 3’den 2 araca indirilmiş ve aynı zamanda % 38 daha kısa mesafe kat edilmesi sağlanmıştır.



Şekil 4. Bahçelievler Mahallesi Mevcut Rota

Tablo 8. Bahçelievler Mahallesi Önerilen Rota

Sıra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Rota 1	N-1	N-11	N-14	N-12	N-13	N-15	N-17	N-18	N-16	N-45	N-20	N-21	N-48	N-49	N-28	N-29	N-7	N-43	N-44	N-8	N-6	N-46	N-5	N-3	N-10	N-9	N-2	N-4	N-50
Rota 2	N-1	N-35	N-36	N-39	N-37	N-38	N-22	N-23	N-25	N-31	N-26	N-30	N-47	N-27	N-24	N-42	N-19	N-40	N-34	N-33	N-32	N-41	N-50						



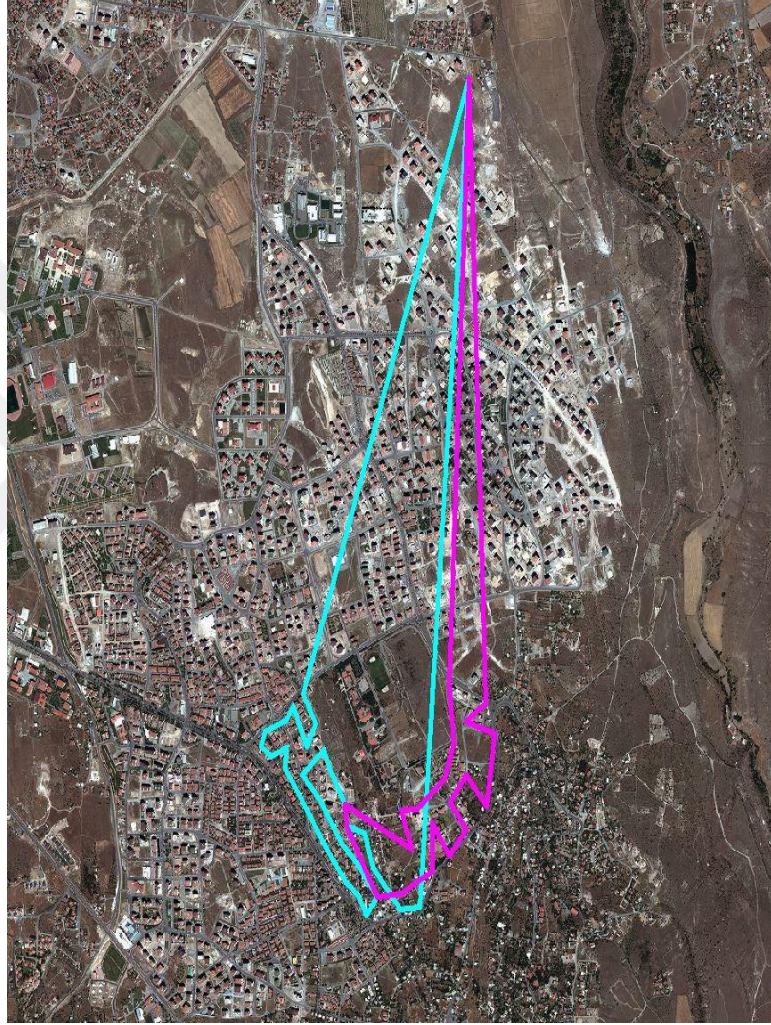
Şekil 5. Bahçelievler Mahallesi Önerilen Rota

3.4.2 K      Mahallesi

K      Mahallesiinde toplanan veriler ve yapılan analizler sonucunda mevcut durumda Tablo 9 ve Şekil 6'da gösterildiğı gibi 2 sefer ile katı atık toplama faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Yapılan kapasite incelemeleri ve değ erlendirmeler sonucunda mevcutta toplanması gereken toplam katı atık miktarının 2 sefer yapılarak ger  ekleştirilebileceğ i tespit edilmiştir. Bu doğ rultuda yapılan uygulama sonucunda K      Mahallesi güzergâhları model üzerinde   z  m   gerçekleştirilerek Tablo 10 ve Şekil 7'debelirtilen g  zerg  hlar oluşturulmuştur.

Tablo 9. K  k  y Mahallesi Mevcut Rota

Sıra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Rota 1	N-1	N-18	N-12	N-9	N-37	N-6	N-5	N-31	N-47	N-7	N-33	N-19	N-3	N-14	N-35	N-15	N-13	N-11	N-17	N-16	N-42	N-38	N-41	N-50					
Rota 2	N-1	N-44	N-45	N-26	N-43	N-25	N-32	N-21	N-20	N-24	N-49	N-10	N-22	N-36	N-48	N-29	N-34	N-33	N-28	N-46	N-8	N-23	N-27	N-30	N-39	N-40	N-2	N-4	N-50

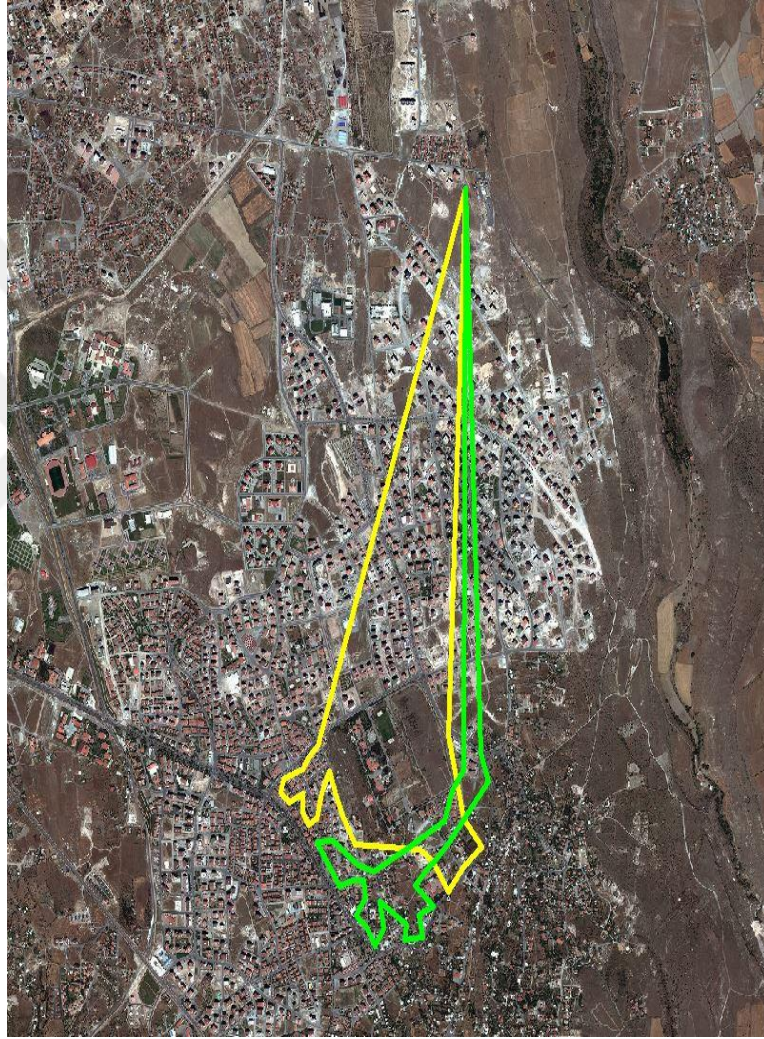


  kil 6. K  k  y Mahallesi Mevcut Rota

Mevcut durumda 2 sefer düzenlenerek gerçekleştirilen katı atık toplama faaliyetlerinde toplam 18,830 km. yol kat edilmektedir. Yapılan uygulama sonucunda ortaya konan güzergaha bakıldığında 17,370 km. yol kat edilerek katı atık toplama faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır. Toplamda ihtiyaç duyulan araç sayısı değişmemiş olup % 8 daha kısa mesafe kat edilmesi sağlanmıştır.

Tablo 10. K    y Mahallesi   nerilen Rota

Sıra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Rota 1	N-1	N-18	N-17	N-16	N-13	N-15	N-35	N-37	N-31	N-30	N-27	N-45	N-26	N-23	N-10	N-24	N-49	N-20	N-21	N-32	N-25	N-43	N-44	DEPO				
Rota 2	N-1	N-38	N-12	N-9	N-6	N-39	N-40	N-48	N-22	N-8	N-47	N-7	N-36	N-46	N-28	N-29	N-34	N-33	N-2	N-4	N-19	N-3	N-14	N-5	N-11	N-42	N-41	N-50



  kil 7. K    y Mahallesi   nerilen Rota

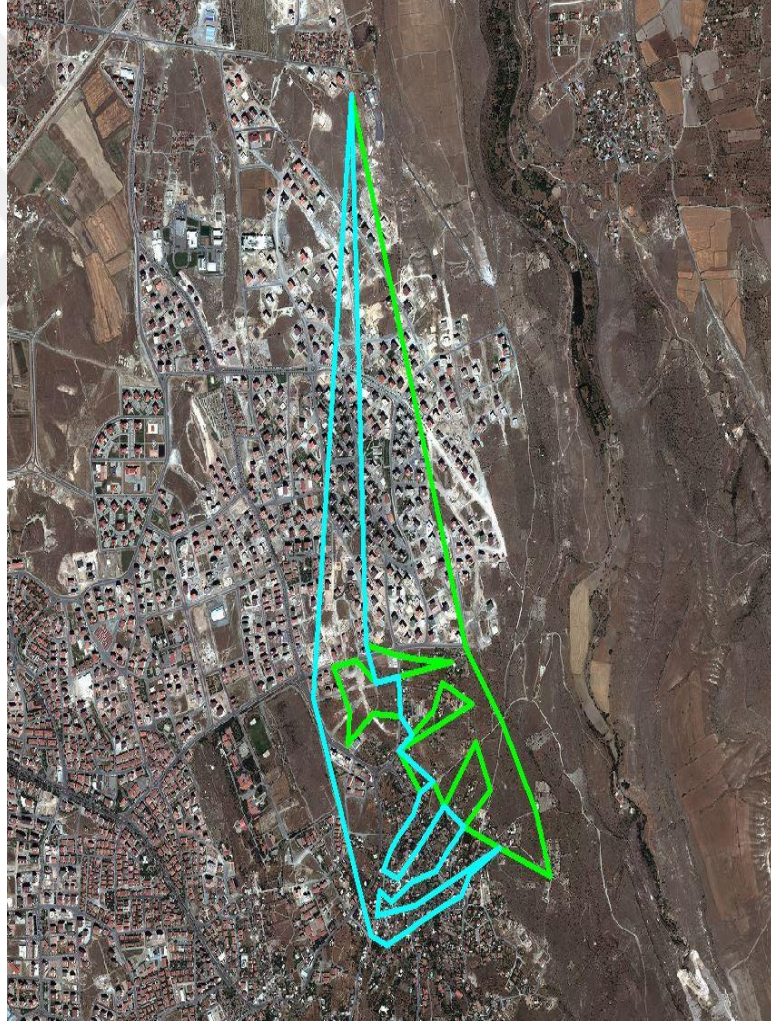
3.4.3 Tablakaya Mahallesi

Tablakaya Mahallesinde toplanan veriler ve yapılan analizler sonucunda mevcut durumda Tablo 11 ve   kil 8’de görüldüğü gibi 2 sefer ile katı atık toplama faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Yapılan kapasite incelemeleri ve değ erlendirmeler sonucunda mevcutta toplanması gereken toplam katı atık miktarının 2 sefer yapılarak

gerçekleştirilebileceği tespit edilmiştir. Bu doğrultuda yapılan uygulama sonucunda Tablakaya Mahallesi güzergâhları model üzerinde çözümü gerçekleştirilerek Tablo 12 ve Şekil 9’da belirtilen güzergahlar oluşturulmuştur.

Tablo 11. Tablakaya Mahallesi Mevcut Rota

Sıra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Rota 1	N-1	N-24	N-20	N-27	N-27	N-21	N-18	N-19	N-39	N-9	N-11	N-12	N-36	N-26	N-8	N-10	N-7	N-33	N-46	N-32	N-35	N-31	N-25	N-6	N-23	N-38	N-34	N-47	N-50
Rota 2	N-1	N-45	N-4	N-30	N-17	N-22	N-20	N-21	N-49	N-29	N-41	N-40	N-15	N-42	N-43	N-48	N-18	N-9	N-13	N-14	N-2	N-16	N-44	N-3	N-12	N-5	N-25	N-47	N-50



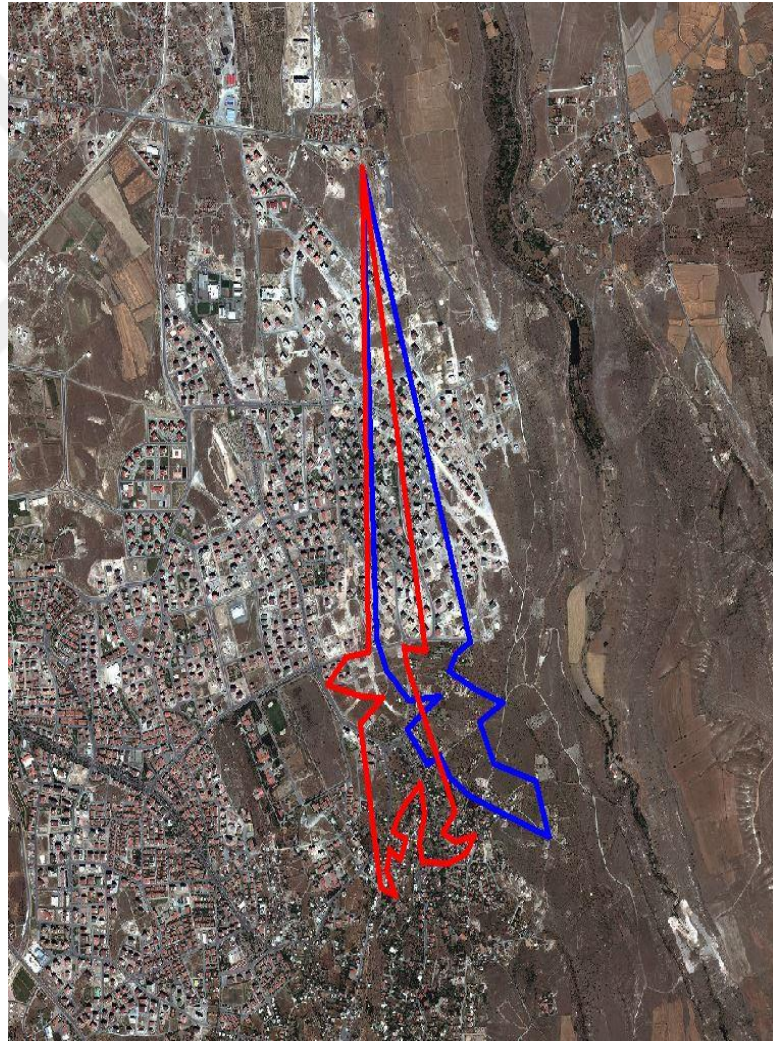
Şekil 8. Tablakaya Mahallesi Mevcut Rota

Mevcut durumda 2 sefer düzenlenerek gerçekleştirilen katı atık toplama faaliyetlerinde toplam 26,560 km. yol kat edilmektedir. Yapılan uygulama sonucunda ortaya konan güzergaha bakıldığında 17,780 km. yol kat edilerek katı atık toplama faaliyetlerinin

gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır. Önerilen modelle toplamda ihtiyaç duyulan araç sayısı değişmemiş olup % 33 daha kısa mesafe kat edilmesi sağlanmıştır.

Tablo 12. Tablakaya Mahallesi Önerilen Rota

Sıra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Rota 1	N-1	N-47	N-7	N-25	N-8	N-10	N-5	N-12	N-11	N-9	N-18	N-21	N-28	N-27	N-19	N-37	N-39	N-36	N-26	N-23	N-24	N-50								
Rota 2	N-1	N-46	N-45	N-35	N-29	N-33	N-32	N-31	N-30	N-4	N-40	N-41	N-15	N-14	N-2	N-16	N-44	N-3	N-13	N-42	N-43	N-49	N-17	N-22	N-20	N-48	N-6	N-34	N-38	N-50



Şekil 9. Tablakaya Mahallesi Önerilen Rota

3.4.4 Han Harman Mahallesi

Han ve Harman Mahallelerinde toplanan veriler ve yapılan analizler sonucunda mevcut durumda Tablo 13 ve Şekil 10’da görüldüğü gibi 2 sefer ile katı atık toplama faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Yapılan kapasite incelemeleri ve değerlendirmeler sonucunda mevcutta toplanması gereken toplam katı atık miktarının 2 sefer yapılarak gerçekleştirilebileceği tespit edilmiştir. Bu doğrultuda yapılan uygulama sonucunda Han ve Harman Mahallelerinin güzergâhlarının model üzerinde çözümü gerçekleştirilerek Tablo 14ve Şekil 11’de belirtilen güzergahlar oluşturulmuştur.

Tablo 13. Han – Harman Mahalleleri Mevcut Rota

Sıra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Rota 1	N-1	N-8	N-9	N-2	N-22	N-34	N-35	N-36	N-33	N-37	N-32	N-41	N-40	N-39	N-38	N-42	N-45	N-47	N-48	N-49	N-46	N-44	N-43	N-10	N-50							
Rota 2	N-1	N-6	N-7	N-5	N-24	N-4	N-25	N-18	N-28	N-27	N-29	N-30	N-31	N-32	N-37	N-15	N-16	N-19	N-11	N-14	N-12	N-13	N-26	N-17	N-21	N-20	N-23	N-3	N-9	N-6	N-8	N-50

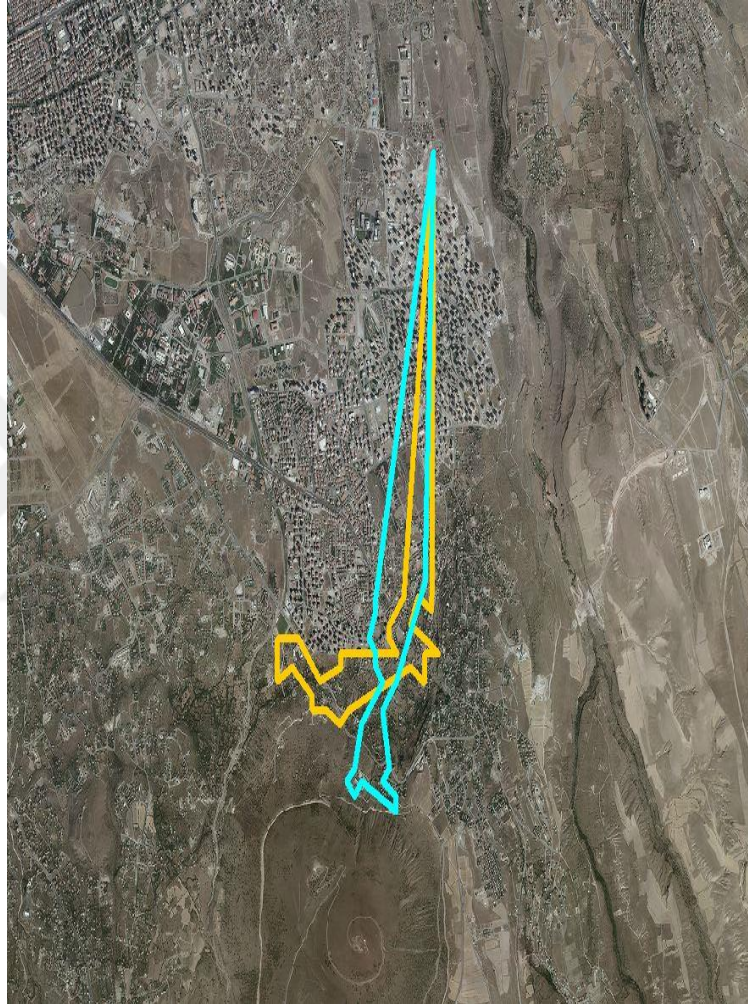


Şekil 4. Han – Harman Mahalleleri Mevcut Rota

Mevcut durumda 2 sefer düzenlenerek gerçekleştirilen katı atık toplama faaliyetlerinde toplam 27,350 km. yol kat edilmektedir. Yapılan uygulama sonucunda ortaya konan güzergaha bakıldığında 24,990 km. yol kat edilerek katı atık toplama faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır. Uygulanan model ile toplamda ihtiyaç duyulan araç sayısı değişmemiş olup % 9 daha kısa mesafe kat edilmesi sağlanmıştır.

Tablo 14. Han – Harman Mahalleleri Önerilen Rota

Sıra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Rota 1	N-1	N-6	N-7	N-9	N-3	N-5	N-10	N-4	N-24	N-25	N-18	N-31	N-38	N-39	N-40	N-41	N-36	N-35	N-34	N-33	N-37	N-32	N-15	N-16	N-14	N-17	N-21	N-20	N-23	N-2	N-50
Rota 2	N-1	N-22	N-19	N-11	N-12	N-13	N-28	N-27	N-29	N-30	N-42	N-45	N-43	N-44	N-46	N-49	N-48	N-47	N-26	N-8	N-50										



Şekil 5. Han - Harman Mahalleleri Önerilen Rota

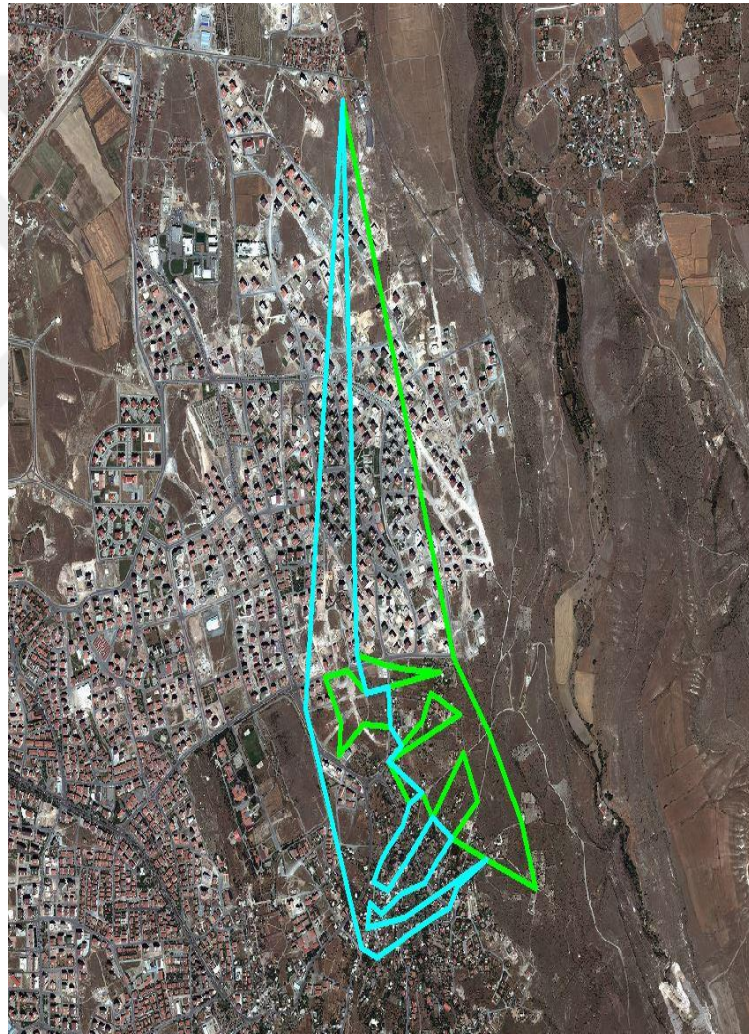
3.4.5 Yukarı Mahalle

Yukarı Mahallede toplanan veriler ve yapılan analizler sonucunda mevcut durumda Tablo 15 ve Şekil 12’de gösterildiği gibi 2 sefer ile katı atık toplama faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Yapılan kapasite incelemeleri ve değerlendirmeler sonucunda mevcutta toplanması gereken toplam katı atık miktarının 2 sefer yapılarak gerçekleştirilebileceği tespit edilmiştir. Bu doğrultuda yapılan uygulama sonucunda

Yukarı Mahallelerde güzergâhlarının model üzerinde çözümü gerçekleştirilerek Tablo 16ve Şekil 13’de belirtilen güzergahlar oluşturulmuştur.

Tablo 15. Yukarı Mahalle Mevcut Rota

Sıra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Rota 1	N-1	N-13	N-47	N-48	N-5	N-46	N-45	N-44	N-26	N-27	N-30	N-29	N-33	N-42	N-36	N-37	N-37	N-43	N-28	N-24	N-22	N-18	N-15	N-23	N-21	N-20	N-19	N-16	N-49	N-50
Rota 2	N-1	N-9	N-3	N-17	N-4	N-7	N-11	N-10	N-40	N-39	N-38	N-35	N-32	N-8	N-6	N-41	N-12	N-34	N-14	N-25	N-20	N-19	N-2	N-50						



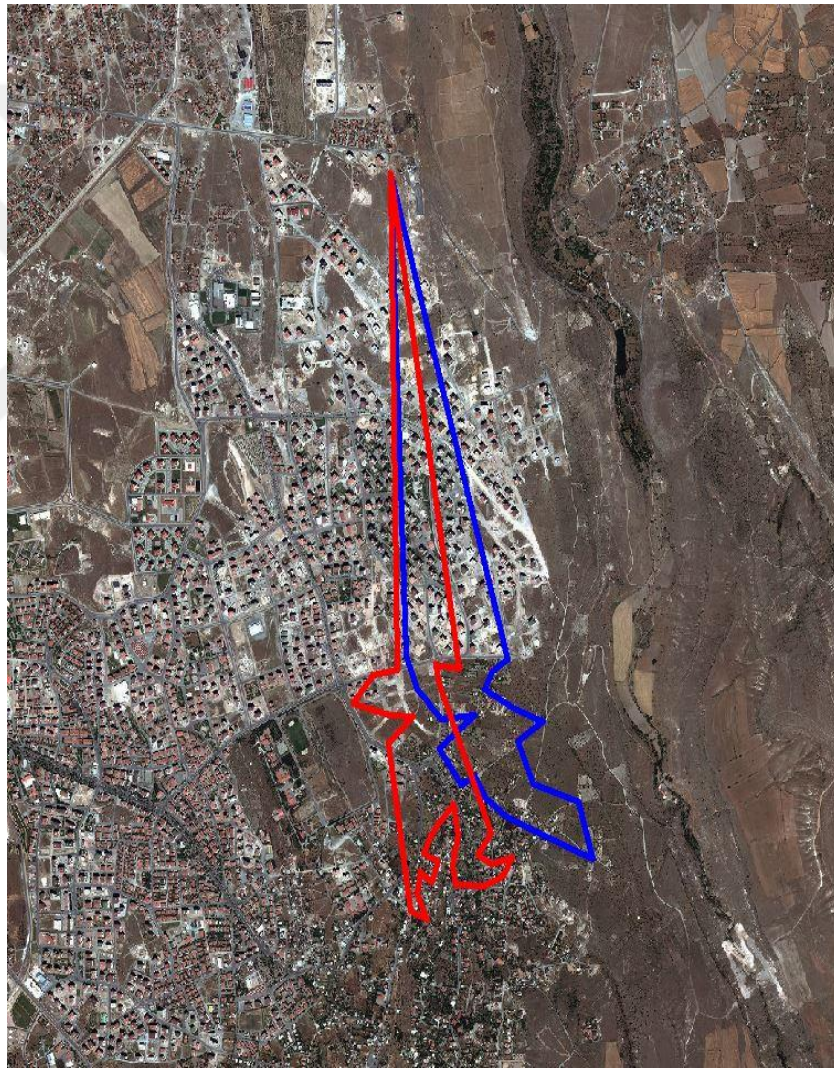
Şekil 6. Yukarı Mahalle Mevcut Rota

Mevcut durumda 2 sefer düzenlenerek gerçekleştirilen katı atık toplama faaliyetlerinde toplam 23,590 km. yol kat edilmektedir. Yapılan uygulama sonucunda ortaya konan güzergaha bakıldığında 21,840 km. yol kat edilerek katı atık toplama faaliyetlerinin

gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır. Toplamda ihtiyaç duyulan araç sayısı değişmemiş olup % 7daha kısa mesafe kat edilmesi sağlanmıştır.

Tablo 16. Yukarı Mahalle Önerilen Rota

Sıra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Rota 1	N-1	N-48	N-46	N-5	N-45	N-44	N-26	N-27	N-24	N-23	N-15	N-14	N-25	N-41	N-8	N-11	N-7	N-6	N-4	N-17	N-3	N-9	N-2	N-50				
Rota 2	N-1	N-13	N-47	N-19	N-21	N-18	N-31	N-43	N-28	N-30	N-29	N-33	N-42	N-36	N-35	N-34	N-12	N-32	N-10	N-40	N-39	N-38	N-37	N-22	N-20	N-16	N-49	N-50



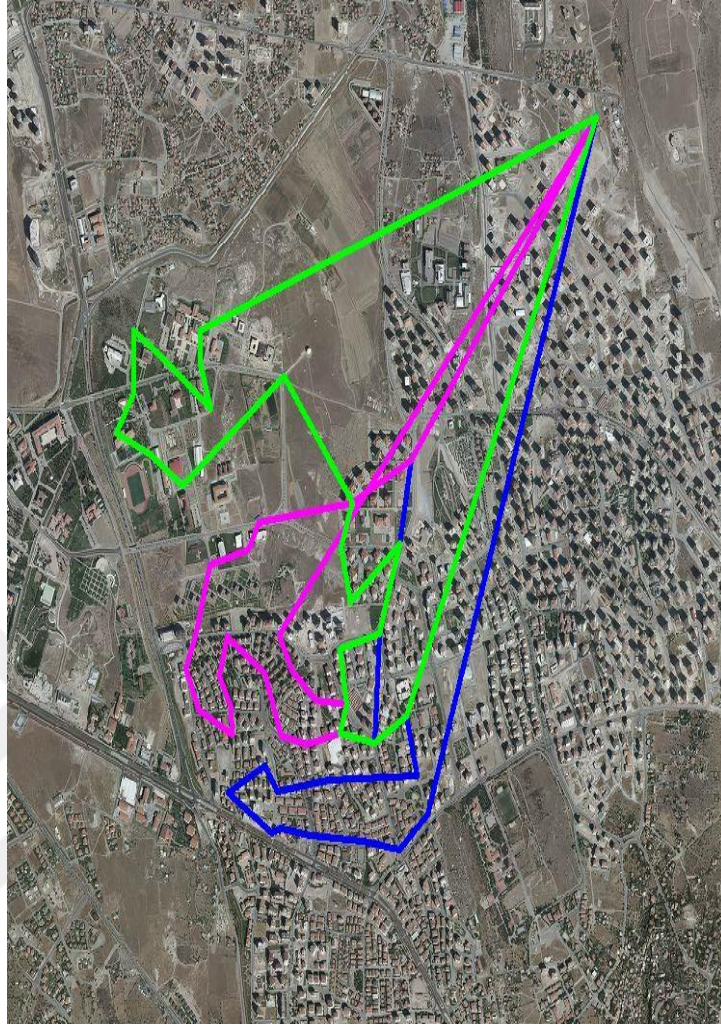
Şekil 7. Yukarı Mahalle Önerilen Rota

3.4.6 Yenidoğan Mahallesi

Yenidoğan Mahallesinde toplanan veriler ve yapılan analizler sonucunda mevcut durumda Tablo 17 ve Şekil 14’de gösterildiği gibi 3 sefer ile katı atık toplama faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Ancak yapılan kapasite incelemeleri ve değerlendirmeler sonucunda mevcutta toplanması gereken toplam katı atık miktarının 2 sefer yapılarak gerçekleştirilebileceği tespit edilmiştir. Bu doğrultuda yapılan uygulama sonucunda Yenidoğan Mahallesi güzergâhları model üzerinde çözümü gerçekleştirilerek Tablo 18 ve Şekil 15’de belirtilen güzergahlar oluşturulmuştur.

Tablo 17. Yenidoğan Mahallesi Mevcut Rota

Sıra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Rota 1	N-1	N-3	N-6	N-10	N-29	N-45	N-28	N-26	N-25	N-27	N-44	N-7	N-5	N-41	N-4	N-11	N-31	N-50				
Rota 2	N-1	N-31	N-33	N-48	N-46	N-18	N-21	N-22	N-20	N-24	N-19	N-23	N-12	N-16	N-15	N-13	N-42	N-8	N-2	N-14	N-30	N-50
Rota 3	N-1	N-5	N-41	N-42	N-8	N-9	N-4	N-11	N-32	N-30	N-33	N-40	N-34	N-35	N-36	N-47	N-37	N-38	N-43	N-49	N-39	N-50

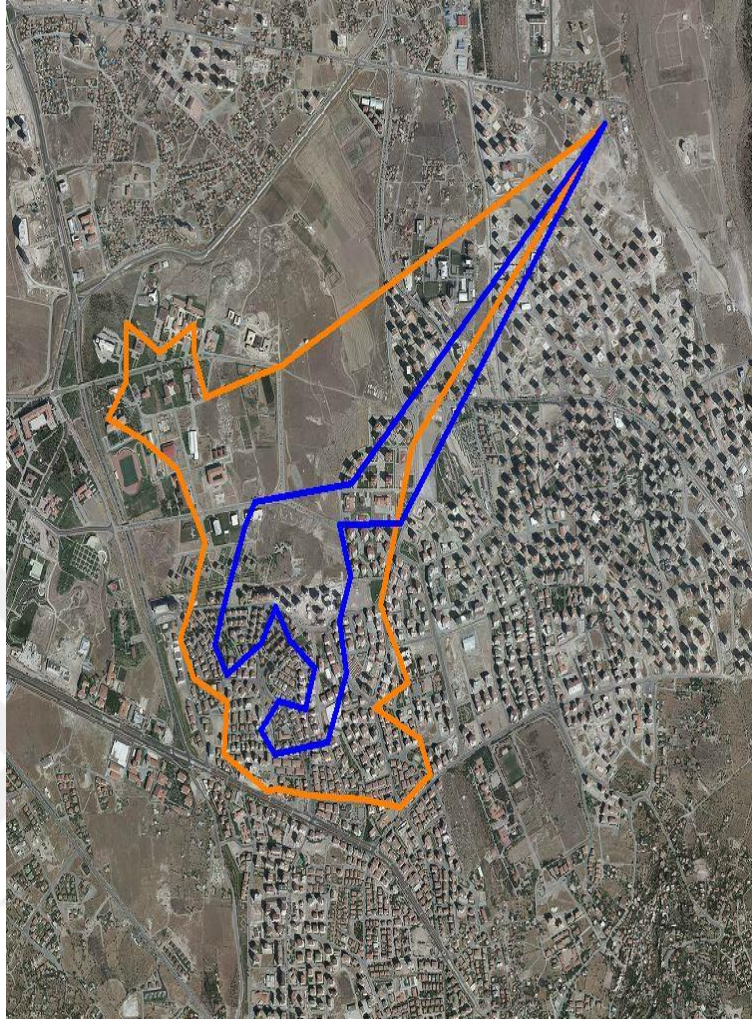


Şekil 8. Yenidoğan Mahallesi Mevcut Rota

Mevcut durumda 3 sefer düzenlenerek gerçekleştirilen katı atık toplama faaliyetlerinde toplam 25,130 km. yol kat edilmektedir. Yapılan uygulama sonucunda ortaya konan güzergaha bakıldığında 17,01 km. yol kat edilerek katı atık toplama faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır. Toplamda ihtiyaç duyulan 3 araç sayısı 2 araca indirilmiş ve aynı zamanda % 32 daha kısa mesafe kat edilmesi sağlanmıştır.

Tablo 18. Yenidoğan Mahallesi Önerilen Rota

Sıra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Rota 1	N-1	N-40	N-43	N-49	N-39	N-38	N-37	N-47	N-36	N-35	N-34	N-18	N-21	N-22	N-20	N-24	N-26	N-28	N-45	N-29	N-10	N-6	N-3	N-7	N-41	N-5	N-4	N-31	N-50
Rota 2	N-1	N-11	N-30	N-32	N-9	N-8	N-42	N-44	N-27	N-25	N-15	N-13	N-2	N-14	N-17	N-16	N-19	N-23	N-12	N-46	N-48	N-33	N-50						



Şekil 9. Yenidoğan Mahallesi Önerilen Rota

3.4.7 Mevlana Mahallesi

Mevlana Mahallesinde toplanan veriler ve yapılan analizler sonucunda mevcut durumda Tablo 19 ve Şekil 16'da gösterildiği şekilde 3 sefer ile katı atık toplama faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Ancak yapılan kapasite incelemeleri ve değerlendirmeler sonucunda mevcutta toplanması gereken toplam katı atık miktarının 2 sefer yapılarak gerçekleştirilebileceği tespit edilmiştir. Bu doğrultuda yapılan uygulama sonucunda Mevlana Mahallesi güzergâhları model üzerinde çözümü gerçekleştirilerek Tablo 20 ve Şekil 17'de belirtilen güzergahlar oluşturulmuştur.

Tablo 18. Mevlana Mahallesi Mevcut Rota

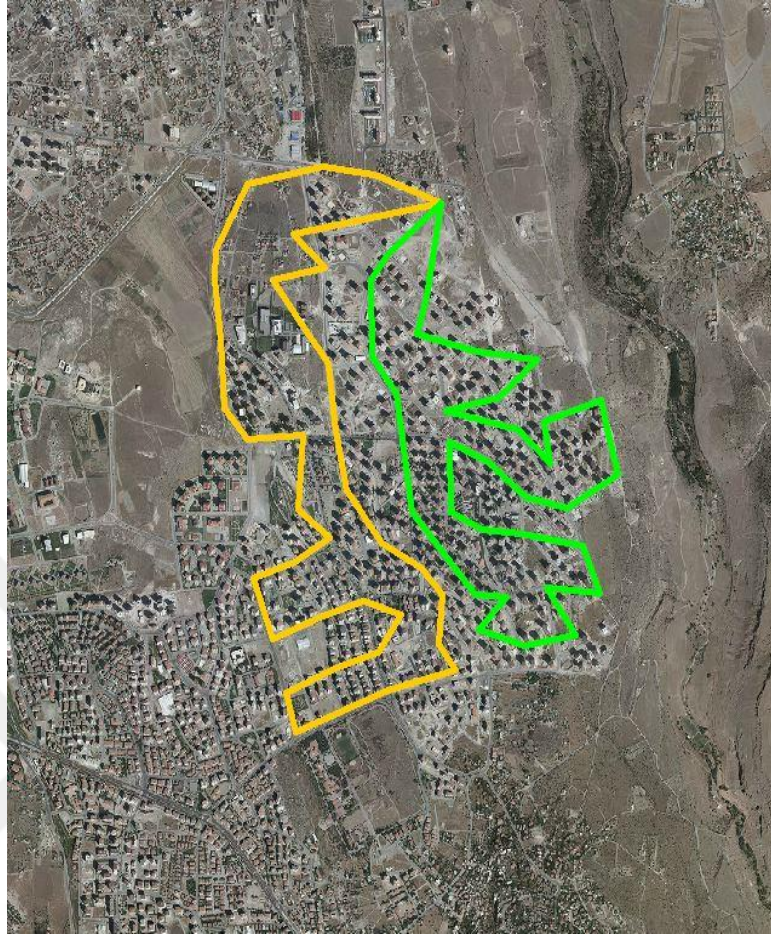
Sıra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Rota 1	N-1	N-8	N-15	N-14	N-10	N-16	N-3	N-29	N-23	N-28	N-32	N-40	N-43	N-36	N-40	N-18	N-31	N-50		
Rota 2	N-1	N-9	N-17	N-19	N-27	N-43	N-40	N-28	N-24	N-34	N-49	N-22	N-26	N-35	N-37	N-5	N-41	N-37	N-44	N-50
Rota 3	N-1	N-13	N-11	N-20	N-38	N-39	N-33	N-35	N-26	N-28	N-23	N-2	N-48	N-47	N-42	N-45	N-14	N-12	N-50	



Şekil 10. Mevlana Mahallesi Mevcut Rota

Tablo 20. Mevlana Mahallesi Önerilen Rota

Sıra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Rota 1	N-1	N-30	N-28	N-25	N-39	N-2	N-19	N-16	N-40	N-23	N-17	N-3	N-11	N-20	N-42	N-6	N-31	N-46	N-15	N-41	N-24	N-48	N-36	N-35	N-33	N-9	N-50
Rota 2	N-1	N-47	N-38	N-49	N-45	N-27	N-44	N-8	N-12	N-22	N-14	N-7	N-10	N-21	N-4	N-26	N-43	N-29	N-5	N-37	N-18	N-32	N-34	N-13	N-50		



Şekil 11. Mevlana Mahallesi Önerilen Rota

Mevcut durumda 3 sefer düzenlenerek gerçekleştirilen katı atık toplama faaliyetlerinde toplam 24,206 km. yol kat edilmektedir. Yapılan uygulama sonucunda ortaya konan güzergaha bakıldığında 18,11 km. yol kat edilerek katı atık toplama faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır. Toplamda ihtiyaç duyulan 3 araç sayısı 2 araca indirilmiş ve aynı zamanda % 23 daha kısa mesafe kat edilmesi sağlanmıştır.

4. BÖLÜM

SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışmada Kayseri ili Talas ilçesi mahallelerinde katı atık toplama güzergâhları kapasite kısıtlı ARP kullanılarak oluşturulmuştur. Her bölge için ayrı ayrı yapılan çalışmalarda toplam rota uzunluğunda iyileştirme sağlanmıştır. Oluşturulan matematiksel modelin çözümünde IBM CPLEX OptimizationStudio 12.7 kullanılmıştır. Çalışma ile elde edilen sonuçlar Tablo 21’de özetlenmiştir.

Tablo 19. Toplam Mesafeler Sonuç Tablosu

	Mevcut Durum					Önerilen Durum				İyileşme Oranı
	Katedilen	Sefer	Araç Doluluk Oranları			Katedilen	Sefer	Araç Doluluk Oranları		
	Mesafe	Sayısı	1	2	3	Mesafe	Sayısı	1	2	
Bahçelievler	31.38	3	81%	56%	68%	19.54	2	88%	96%	38%
Mevlana	24.21	3	61%	82%	69%	18,11	2	93%	96%	25%
Yenidoğan	25.13	3	98%	87%	64%	17,01	2	97%	92%	32%
Kiçiköy	18.83	2	80%	98%		17.37	2	86%	91%	8%
Tablakaya	26.56	2	87%	98%		17.78	2	81%	96%	33%
Han - Harman	27.35	2	77%	94%		24.99	2	91%	92%	9%
Yukarı	23.59	2	98%	87%		21.84	2	83%	96%	7%
Toplam	177.05	17				136,64	14			23%

Tablo 19’da görüleceği üzere mevcut durumda toplam rota uzunluğu 177,05 kilometre olup, iyileştirilmiş durumda ise 136,64 kilometredir. Toplam rota uzunluğunda % 23oranında iyileştirme sağlanmıştır. Bu iyileşme günlük 40,41 kilometre ve yıllık toplam 14.575,6 kilometre tasarruf sağlanması anlamına gelmektedir. Toplam mesafenin azalması araç sayısı, personel sayısı ve araçların yıpranmasının azalması bakımından önemlidir. Uzun zaman dilimi göz önünde bulundurulduğunda önemli bir tasarruf sağlanacağı görülmektedir. Ayrıca araç doluluk oranlarına bakıldığında araç yüklerinin dengelendiği görülmektedir.

Mevcut durumda 8 araç ihtiyacı bulunmakta iken oluşturulan yeni güzergahlar ve toplam rota uzunluğu değerlendirildiğinde 2 araç ve personel tasarruf sağlanacağı görülmektedir.

Çalışma sonucunda elde edilen sonuçların uygulanması ile gelecekte yapılacak çalışmalarda aşağıdaki durumlar göz önüne alınabilir;

- Konteynır noktaları bir modelle belirlenebilir.
- Kapasite bakımında daha büyük konteynırlar kullanılarak daha az noktada, çok toplama faaliyetleri gerçekleştirilebilir.
- Bazı bölgeler için daha yüksek kapasiteye sahip araçlarla daha kısa rotalar elde edilebilir.
- Benzer çalışma Karla Mücadele Faaliyetlerinde kullanılarak en kısa mesai ile karla mücadele faaliyetleri gerçekleştirilebilir.

KAYNAKÇA

1. Laporte, G., Nobert, Y. and Taillefer, S., 1987. **Solving a Family of Multi-Depot Vehicle Routing and Location Routing Problems**, Chair edu Gerad G-87-10, Ecoledes Haltes Etudes Commercialse de Montreal.
2. Tosun, İsmail., 2011. **Katı Atık Ders Notları**, Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü
3. Varınca, K.B., Esmen, C. ve Gönüllü, M.T., 2009. **Bursa İli Tıbbi Atık Yönetim Sistemi Performans Değerlendirmesi**, Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu, 1517 Haziran 2009.İstanbul. s. 1-4.
4. Erdin E, Alten A, Tunalı, T., 2004. **İnşaat Atıklarının Değerlendirilmesi**, 5 Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 13-14 Mayıs 2004, İzmir, Türkiye.
5. Karpuzcu, Mehmet., 1991. Çevre Mühendisliğine Giriş Kitabı, İ.T.Ü. Kütüphanesi Sayı 1556, 1983.
6. Tchobanogulos, George,. 1993. **Integrated solid waste management**. McGraw-Hill.
7. Bakış, Y., 2012. **CBS Tabanlı Katı Atık Toplama Güzergah Optimizasyonu için Örnek Uygulama**, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 9-10 s.
8. Gupta A., Krishnamurti R., 2003. **Parallel Algorithms For Vehicle Routing Problems**, Parallel Processing Letters, c. 13, sf. 673-687
9. Toth, P., Vigo, D, 2002, **The Vehicle Routing Problem**, Society for Industrial and Applied Mathematics, SIAM Monographs On Discrete Mathematics And Applications, Philadelphia.
10. Dantzig G. B. And Ramser, J. H., 1959: **The Truck Dispatching Problem**, Management Science, Vol. 6, no. 1, pp.80-91
11. E. Vural, **Araç Rotalama Problemleri İçin Popülasyon ve Komşuluk Tabanlı Metasezgisel Bir Algoritmanın Tasarımı Ve Uygulaması**, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
12. Dursun, P., 2009. **Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi’nin Genetik Algoritma ile Modellenmesi**. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 75s.

13. Dantzig G. B. and Ramser, J. H., 1959: **The Truck Dispatching Problem**, Management Science, Vol. 6, no. 1, pp.80-91
14. Clarke, G., Wright, J., W., 1964. **Scheduling of Vehicles From A Depot to A Number of Delivery Points**. Operation Research, 12: 568-581.
15. Eilon, S., Watson-Gandy, C., ve Christofides, N., 1971. **Distribution Management: Mathematical modelling and practical analysis**, Griffin, London
16. Laporte, G., & Nobert, Y. 1987. **Exact algorithms for the vehicle routing problem**. North-Holland Mathematics Studies, 132, 147-184.
17. Laporte G., ve Osman I.H., 1995. "**Routing Problems: A bibliography**", Annals of Operations Research, 61(1): 227-262.
18. Cordeau, J. F., Gendreau, M., Laporte, G., Potvin, J. Y. ve Semet, F., 2002. "**A guide to vehicle routing heuristics**", Journal of The Operational Research Society, 53(5): 512-522.
19. Osman, I. H. 1993. **Meta strategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem**. Annals of operations research, 41(4), 421-451.
20. Solomon, M. M., 1987, **Algorithms for the vehicler outing and scheduling problems with time window constraints**, Oper. Res., 35 (2), 254-265.
21. Augerat, P., Belenguer, J. M., Benavent, E., Corberán, A., Naddef, D., & Rinaldi, G. 1998. **Computational results with a branch-and-cut code for the capacitated vehiclerouting problem**
22. Toth, P., & Vigo, D. 2002. **Models, relaxations and exact approaches for the capacitated vehicle routing problem**. Discrete Applied Mathematics, 123(1), 487-512.
23. Baldacci, R., Toth, P., & Vigo, D. (2007). **Recent advances in vehicle routing exact algorithms**. 4OR: A Quarterly Journal of Operations Research, 5(4), 269-298.
24. Güvez, H., Dege, M. ve Eren, T., 2012. "**Kırıkkale’de Araç Rotalama Problemi İle Tıbbi Atıkların Toplanması**", International Journal of Engineering, 4(1): 4145.
25. Golden, B.L., Assad A.A., Wasil E.A., 2002. **Routing Vehicles in the Real World: Applications in the Solid Waste, Beverage, Food, Dairy and Newspaper Industries**, Philadelphia.
26. Demircioğlu M., 2009. **Araç Rotalama Probleminin sezgisel bir yaklaşım ile çözümlenmesi üzerine bir uygulama**. Doktora Tezi, İşletme Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi, Adana.

27. Eryavuz, M., 2001. **Araç Rotalama Problemi ve Örnek Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara.**
28. Fisher, M. L., and Jaikumar, R., 1981. **A Generalised Assignment Heuristic for Vehicle Routing.** Networks 11, 109-124.
29. Bowerman, R., Hall, B. ve Calamai, P., 1995. **A multi-objective optimization approach to urban school bus routing: Formulation and solution method.** Transportation Research Part A: Policy and Practice 29(2): 107-123.
30. Tüfekçier, H., 2008. **İki Amaçlı Açık Araç Rotalama Problemi İçin Bir Çözüm Yaklaşımı.** Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
31. P. Toth, D. Vigo, 1998. **Exact Solution of the Vehicle Routing Problem,** Fleet Management and Logistic, Editör: T.G. Crainic, G. Laporte, Kluwer Academic, Boston, 1-31.
32. M. Dell'Amico, G. Righini, M. Salani, 2006 **A Branch and Price Approach to the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Distribution and Collection.** Transportation Science, 40(2), 235-247.
33. Augerat, P., Belenguer, J.M., Benavent, E., Corberan, A. ve Naddef, D., 1998. **Separating capacity constraints in the CVRP using tabu search.** European Journal of Operational Research 106(2): 546-557.
34. Toth, P., Vigo, D, 2002, **The Vehicle Routing Problem, Society for Industrial and Applied Mathematics,** SIAM Monographs On Discrete Mathematics And Applications, Philadelphia.
35. Dursun, P., 2009. **Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi'nin Genetik Algoritma ile Modellenmesi.** İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 75s.
36. Erol, V., 2006, **Araç Rotalama Problemleri İçin Popülasyon ve Komşuluk Tabanlı Meta-sezgisel Bir Algoritmanın Tasarımı ve Uygulaması.** Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
37. Dursun, P., 2009. **Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi'nin Genetik Algoritma ile Modellenmesi.** İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 75s.

38. Çetin, S. Gencer, C., 2010. **Kesin Zaman Pencerele Eş Zamanlı Dağıtım Toplamalı Araç Rotalama Problemi: Matematiksel Model**, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 25(3): 579-585.
39. Karaoğlu, İ., 2009. **Dağıtım Ağları Tasarımında Yer Seçimi ve Eşzamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemleri**. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
40. Salhi, S., Nagy, G., 2005. **Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pick ups and deliveries**. European Journal of Operational Research, 162, 126-141.
41. Ropke, S., Pisinger, D., 2006, **A Unified Heuristic For A Large Class Of Vehicle Routing Problems With Backhauls**. European Journal of Operational Research, 171, 750-775.
42. Karaoğlu, İ., 2009. **Dağıtım Ağları Tasarımında Yer Seçimi ve Eşzamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemleri**. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
43. Ropke, S., Pisinger, D., 2006, **A Unified Heuristic For A Large Class Of Vehicle Routing Problems With Backhauls**. European Journal of Operational Research, 171, 750-775.
44. Karaoğlu, İ., 2009. **Dağıtım Ağları Tasarımında Yer Seçimi ve Eşzamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemleri**. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
45. Karaoğlu, İ., 2009. **Dağıtım Ağları Tasarımında Yer Seçimi ve Eşzamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemleri**. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
46. Hemmelmayr, V. C., Doerner, K. F. and Hartl R. F., 2007. **A Variable Neighborhood Search Heuristic For Periodic Routing Problems**. European Journal of Operational Research, 195 (3), 791-802.
47. Dantzig G. B. and Ramser, J. H., 1959: **The Truck Dispatching Problem**, Management Science, Vol. 6, no. 1, pp.80-91
48. Laporte, G., 1992. **The Vehicle Routing Problem: An Overview Of Exact And Approximate Algorithms**. European Journal of Operational Research, 59: 345-358.

49. Mitchell, John E., 1998, Branch And Cut Algorithms for Integer Programming, Mathematical Sciences, Rensselaer Polytechnic Institute, USA
50. Santos, L., J. Coutinho, J. Current. 2008. **An Improved Heuristic for the Capacitated Arc Routing Problem.** Computer and Operation Research. 36: s. 2632 – 2637.
51. Aksakal, B., 2014, **Bir Firmanın Zaman Pencereli Belirli Talepli Araç Rotalama Probleminin Genetik Algoritma Kullanılarak Çözümlemesi.** Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s. 22-23.
52. Toth, P., Vigo, D, 2002, **The Vehicle Routing Problem, Society for Industrial and Applied Mathematics,** SIAM Monographs On Discrete Mathematics And Applications, Philadelphia.
53. Clarke, G., Wright, J., W., 1964. **Scheduling of Vehicles From a Depot to a Number of Delivery Points.** Operation Research, 12: 568-581.
54. Yurtkuran, A., 2009. **Araç Rotalama Probleminin Çözümü için Yeni Bir Metaheuristic Yaklaşım: Elektromanyetik Algoritma.** Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 68s.
55. Toth, P., Vigo, D, 2002, **The Vehicle Routing Problem, Society for Industrial and Applied Mathematics,** SIAM Monographs On Discrete Mathematics And Applications, Philadelphia.
56. Cordeau, J.F., Laporte, G., Savelsbergh, M.W.P., Vigo, D., 2007. **Chapter 6: Vehicle Routing,** Handbook in OR & MS, 14: 367-428.
57. Gillet, B., Miller, L., 1974. **A heuristic algorithm for the vehicle dispatch problem.** Operation Research, 22(2): 340-349.
58. Ryan, D., M., Joring, C., Glover, F., 1993. **Extension Of The Petal Method For Vehicle Routing.** Journal Of Operation Research Society, 44(3): 289-296.
59. Fisher, M., L., Jaikumar, R., 1981. **A Generalized Assignment Heuristic For Vehicle Routing.** Networks, 11(2): 109-124
60. Breedam, A.V., 2001. **Comparing Descent Heuristics and Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem.** Computers & Operations Research 28 (2001) 289–315.
61. Osman, I.H., 1993. **Meta strategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem.** Annals of Operations Research 41, 421–451.

62. Zeng, L., Ong, H.L., NG, K.M., 2005. **An Assignment-Based Local Search Method For Solving Vehicle Routing Problems.** Asia-Pacific Journal Of Operational Research, 22, 85–104
63. Moghaddam, R. T., S. N., Kah, M. M. O., Rabbang, M., 2007. **A New Capacitated Vehicle Routing Problem With Split Service For Minimizing Fleet Cost By Simulated Annealing.** Journal Of The Franklin Institute, 344, (5): 406-425.
64. Leung, S.C. H., Zheng, J., Zhang, D., Zhou, X., 2010. **Simulated Annealing For The Vehicle Routing Problem With Two-Dimensional Loading Constraints.** Flexible Services And Manufacturing Journal, 22 (1), 61-82.
65. Glover, F., 1989. **Tabu Search Part I.** ORSA Journal on Computing, C:1, No:3, s.190-206.
66. Glover, F., 1990. **Tabu Search Part II.** ORSA Journal on Computing, C:2, No:1, s.4-32.
67. Willard, J.A.G., 1989. **Vehicle Routing Using R-Optimal Tabu Search.** Yüksek Lisans Tezi, Management School, Imperial College, London.
68. Pureza, V.M., França P.M., 1991. **Vehicle Routing via Tabu Search Metaheuristic, Publication CRT-747.** Centre of Recherche sur les Transports, Université de Montreal.
69. Osman, I.H., 1993. **Meta strategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem.** Annals of Operations Research 41, 421–451.
70. Taillard, E., 1993. **Parallel Iterative Search Methods for Vehicle Routing Problems.** Networks, 23, s.661-673.
71. Gendreau, M., A. Hertz, Ve G. Laporte. 1994. **A Tabu Search Heuristic For The Vehicle Routing Problem.** Management Science, C:40, No:10, S.1276–1290.
72. Archetti, C., Speranza, M. Ve Hertz, A. 2006. **A Tabu Search Algorithm For The Split Delivery Vehicle Routing Problem.** Transportation Science, C:40, No:1, S.64-73
73. Bolduc, M.C., Laporte, G., Renaud, J. Ve Boctor, F.F. 2010. **A Tabu Search Heuristic For The Split Delivery Vehicle Routing Problem With Production And Demand Calendars.** European Journal Of Operational Research, C:202, S.122–130.

74. Brandao, J. 2009. **A Deterministic Tabu Search Algorithm For The Fleet Size And Mix Vehicle Routing Problem.** European Journal Of Operational Research, C:195, S.716–728.
75. Cheng, R., Gen, M. ve Yasuhiro, T. 1999. **A Tutorial Survey of Job-Shop Scheduling Problems Using Genetic Algorithms, Part II: Hybrid Genetic Search Strategies.** Computers and Industrial Engineering, C:36, s.343-364.
76. Nabiyev, V., V., 2003. **Yapay Zeka: Problemler, Yöntemler, Algoritma.** Seçkin Yayınevi, Ankara
77. Yılmaz, Ş., 2008. **Çok Depolu Araç Rotalama Probleminin Karınca Kolonisi Optimizasyonu İle Modellenmesi ve Bir Çözüm Önerisi.** Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
78. Dalkılıç, G., Türkmen, F., 2003. **Karınca Kolonisi Optimizasyonu,** Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
79. McCulloch, W., Pitts, W., 1943. **A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity.** Bulletin of Mathematical Biophysics, C:7, s.115-133
80. Kohonen, T., 1987. **State Of The Art In Neural Computing,** IEEE First International Conference on Neural Networks, s.77–90.
81. Öztemel, E., 2003. **Yapay Sinir Ağları,** Papatya Yayıncılık, İstanbul
82. Torki, A., Somhon, S., Enkawa, T., 1997. **A Competitive Neural Network Algorithm For Solving Vehicle Routing Problem.** Computers & Industrial Engineering, C:33, No:3-4, S.473-476.
83. Effati, S., Jafarzadeh, M., 2007. **Nonlinear neural networks for solving the shortest path problem.** Applied Mathematics and Computation, C:189, s.567–574.
84. Storn, R. Price, K., 1995. **Differential Evoulution: a simple and enficiant adaptive scheme for global optimization over continuous spaces.** Tehcnical Report, Berkley, CA.
85. Karaboğa, D., S. Öktem. 2004. **A Simple And Global Optimization Algorithm For Engineering Problems: Differential Evolution Algorithm.** Turk J Elec Engin, 12(1).
86. Keskindürk, T. 2006. **Diferansiyel Gelişim Algoritması.** İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri, 5(9): S.85–99.

87. Karaboğa, D., Baştürk, B., 2007. **A Powerful And Efficient Algorithm For Numerical Function Optimization: Artificial Bee Colony (Abc) Algorithm.** Journal Of Global Optimization, Volume 39, Issue 3, Us, 459471.
88. Karaboğa, D., 2011. **Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları.** Nobel Yayın Dağıtım, 1 - 18, Pp. 182 – 196.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Mustafa ÖZBAYRAKTAR
Uyruğu: Türkiye (T.C)
Doğum Tarihi ve Yeri: 09.03.1986 -Giresun
Medeni Durum: Evli
e-mail: m.ozbayraktar@hotmail.com
Yazışma Adresi: Hunat Mah. Gavremoğlu Cad. No.17/1 Melikgazi Kayseri

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Uluslararası Kıbrıs Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği	2010
Lise	Hamdi Bozbağ Anadolu Lisesi, Giresun	2004

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2015-Halen	Kayseri Talas Belediyesi	3
2012-2015	Boytaş Mobilya A.Ş	3

YABANCI DİL

İngilizce