

**AÇIK UÇLU ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ : M.T.A. SERVİS
GÜZERGAHLARININ BELİRLENMESİ**

Mehmet Çağlar ÜNSAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞUBAT 2010
ANKARA**

Mehmet Çağlar Ünsal tarafından hazırlanan Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi :
M.T.A. Servis Güzergahlarının Belirlenmesi adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak
uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN
Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Endüstri Mühendisliği
Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Cevriye GENCER
Endüstri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN
Endüstri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi
Yard. Doç. Dr.Hasan Şakir BİLGE
Bilgisayar Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Tarih: 17/02/2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini
onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Mehmet Çağlar Ünsal

**AÇIK UÇLU ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ : M.T.A. SERVİS
GÜZERGAHLARININ BELİRLENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Mehmet Çağlar ÜNSAL

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Şubat 2010

ÖZET

Araç Rotalama Problemi (ARP), belli bir müşteri kümesine hizmet sunmak için bir veya birden fazla depodan, bir araç filosu için optimal rotaların bulunması problemidir.

ARP bir türü olan açık uçlu araç rotalama probleminde (AUARP), araçlar rotanın sonundaki son müşteriyi ziyaret ettikten sonra depo noktasına dönmezler.

Bu tezde, MTA'nın (Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü) kiraladığı personel servis araçlarının sayısı ve toplam güzergah mesafesi minimize edilmeye çalışılmıştır. AUARP' nin çözümünde, tamsayılı doğrusal programlama modeli rotaları belirlemek için kullanılmıştır. Problem, GAMS programı ile çözülmüş ve sonuçlar tartışılmıştır.

Bilim Kodu : 605.02.03
Anahtar Kelimeler : Araç rotalama, ARP, açık uçlu araç rotalama, AUARP
Sayfa Adedi : 81
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Hadi Gökçen

**OPEN VEHICLE ROUTING PROBLEM : DETERMINATION OF
M.T.A. SERVICE ROUTES
(M.Sc. Thesis)**

Mehmet Çağlar ÜNSAL

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
February 2010**

ABSTRACT

The vehicle routing problem (VRP) is a problem which calls for the determination of the optimal routes used by a fleet of vehicles, based at one or more depots, to serve a set of customers.

The open vehicle routing problem (OVRP) is a type of the VRP. In the OVRP, vehicles do not return to the depot after servicing the last customer on a route.

In this thesis, total travel distance and total number of vehicles are tried to minimize of rented personel transportation vehicles of M.T.A. (General Directorate Of Mineral Research and Exploration). When solving the OVRP, integer lineer programming model is used to determine the routes of vehicles. The problem has been solved by using GAMS program and the results are discussed

Science Code : 605.02.03

Key Words : Vehicle routing, VRP, open vehicle routing problem, OVRP

Page Number: 81

Adviser : Prof. Dr. Hadi Gökçen

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN'e, değerli katkılarından dolayı hocam Prof. Dr. Cevriye GENCER'e, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Arş. Gör İsmail KARAOĞLAN' a, ayrıca yardımlarından dolayı Başersoft firmasından Ahmet DABANLI' ya, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli annem Sevim ÜNSAL, babam Ertuğrul ÜNSAL'a ve ablam Naciye Özlem ÜNSAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	vi
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
HARİTALARIN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ (ARP).....	3
2.1. ARP	3
2.2. ARP'nin Bileşenleri	6
2.2.1. Talep yapısı	6
2.2.2. Malzeme tipi.....	6
2.2.3. Dağıtım/toplama noktaları	7
2.2.4. Araç filosu	7
2.3. ARP Türleri.....	8
2.3.1. Kapasiteli araç rotalama problemleri (KARP)	9
2.3.2. Geri toplamalı ARP (GTARP)	10
2.3.3. Zaman pencereli ARP (ZPARP)	10
2.3.4. Dağıtım toplamalı ARP (DTARP)	11
2.3.5. Mesafe ve kapasite kısıtlı ARP (MKARP)	12

Sayfa

2.3.6. Geri toplamalı ve zaman pencereli ARP (GTZPARP)	12
2.3.7. Dağıtım toplamalı ve zaman pencereli ARP (DTZPARP)	12
2.4. ARP' nin İstem ve Sunu Alanlarına Göre Analizi	12
2.4.1. Talep alanı	15
2.4.2. Sunu alanı	16
2.5. ARP' nin En İyileme Ölçütleri	17
2.6. ARP' nin Yan Kısıtları	18
2.7. ARP' nin Çözümünü Zorlaştıran Özellikler	19
2.8. Rotalama Prensipleri	20
3. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI	22
3.1. ARP Optimum Çözüm Algoritmaları	22
3.1.1. Dal ve sınır algoritmaları	23
3.1.2. Dal ve kesme algoritmaları	23
3.1.3. Kesme düzlemi algoritması	23
3.1.4. Sütun üretme algoritması	24
3.1.5. Dal ve değer algoritması	24
3.1.6. Dinamik programlama	25
3.2. ARP Sezgisel Algoritmalar	26
3.2.1. ARP klasik sezgisel algoritmaları	26
3.2.2. Meta-sezgisel algoritmalar	28
4. AÇIK UÇLU ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ (AUARP)	30
4.1. AUARP	30
4.2. AUARP Literatür	31

Sayfa

4.2.1. Bektaş ve Elmastaş modeli	40
5. UYGULAMA	45
5.1. Uygulama Problemi	45
5.2. Problemin Çözümü	53
5.3. Problemin Çözümünde Elde Edilen Sonuçlar	55
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR	69
EKLER	74
EK-1 Gams programı problem çözüm çıktısı	75
ÖZGEÇMİŞ	81

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. ARP için yapısal bir çerçeve.....	13
Çizelge 3.1. Sezgisel algoritmaların karşılaştırılması.....	28
Çizelge 3.2. Meta-Sezgisel algoritmaların karşılaştırılması.....	29
Çizelge 4.1. ARP’ nin kısa tarihçesi	32
Çizelge 5.1. Mevcut durakların yolcu sayıları	48
Çizelge 5.2. Durak çakışmaları	48
Çizelge 5.3. Çözüme girecek yolcu sayıları.....	49
Çizelge 5.4. Duraklar arası uzaklık matrisi	52
Çizelge 5.5. Modelin çözümünde varılan sonuçlar	56
Çizelge 5.6. Yeni rotaların durak kodlarıyla gösterimi.....	56
Çizelge 5.7. Kapasite kullanım oranı karşılaştırma tablosu	63
Çizelge 5.8. Rota mesafeleri karşılaştırma tablosu.....	64
Çizelge 5.9. Mesafe ve maliyet karşılaştırma tablosu.....	65
Çizelge 5.10. Yıllık maliyet karşılaştırma tablosu.....	66

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. ARP' nin şekilsel gösterimi	4
Şekil 2.2. Tek araçlı rotalama yöntemi	5
Şekil 2.3. Çok araçlı rotalama yöntemi.....	6
Şekil 2.4. ARP' nin sınıflandırılması.....	9
Şekil 4.1. Açık uçlu ve genel ARP örnek şekilleri	30
Şekil 4.2. ARP ile ilgili yayınların yıl temelinde dağılımı.....	33
Şekil 4.3. ARP' nin türlerinin literatürdeki yayın sayısı dağılımı	33
Şekil 4.4. Modelin şekil ile gösterimi	44

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 5.1. Mevcut durumdaki duraklar	47
Harita 5.2. Çözümde kullanılan duraklar ve kodları.....	50
Harita 5.3. Çözüme giren duraklar ve sanal “d” noktası.....	55
Harita 5.4. Yeni oluşturulan 1. rota	58
Harita 5.5. Yeni oluşturulan 2. rota	59
Harita 5.6. Yeni oluşturulan 3. rota	60
Harita 5.7. Yeni oluşturulan 4. rota	61
Harita 5.8 Yeni oluşturulan 5. rota	62

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
Q	Her bir aracın (ortak) kapasitesi (kişi)
d_{ij}	i . noktasından j . noktasına olan uzaklık (m)
q_i	i . düğümde alınan/bırakılan kişi sayısı
f	Bir aracının dağıtım/toplama için maliyeti (TL)
T	Bir aracın kat edebileceği en büyük uzaklık (m)
c_{ij}	iki nokta arası maliyet
X_{ij}	0-1 değişkeni
u_i	i . düğümde çıkışta araçta bulunan kişi sayısı
v_i	i . düğüme kadar aracın kat ettiği toplam mesafe
k	Servis sayısı
I	Toplama-bırakma bölgeleri kümesi
0	Batıkent servisleri ayrılma noktası
d	Sanal nokta
V	Sanal nokta dışındaki tüm noktalar kümesi
V'	Sanal nokta dahil tüm noktalar kümesi

Kısaltmalar	Açıklama
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
ARP	Araç rotalama problemi
AUARP (OVRP)	Açık uçlu araç rotalama problemi
PARP	Personel araç rotalama problemi
CBS	Coğrafi bilgi sistemi
SSP	Seyyar satıcı problemi

Kısaltmalar	Açıklama
GSP	Gezgin satıcı problemi
CW	Clarke-Wright kazanç algoritması
KARP (CVRP)	Kapasiteli araç rotalama problemi
GTARP (VRPB)	Geri toplamalı araç rotalama problemi
ZPARP (VRPTW)	Zaman pencereli araç rotalama problemi
DTARP (VRPPD)	Dağıtım toplamalı araç rotalama problemi
MKARP (DCVRP)	Mesafe ve kapasite kısıtlı araç rotalama problemi
GTZPARP (VRPBTW)	Geri toplamalı ve zaman pencereli araç rotalama problemi
DTZPARP (VRPPDTW)	Dağıtım toplamalı ve zaman pencereli araç rotalama problemi

1. GİRİŞ

Birçok işletme, personeline servis hizmeti sağlamaktadır. Bu hizmeti tanımlayacak olursak, sabah saatlerinde servis araçları işletme çalışanlarını, daha önce belirlenmiş toplama noktalarından alarak, mesai başlamadan işletmeye getirmekte ve akşam mesai bitiminde, aynı çalışanları tekrar dağıtım noktalarına bırakmaktır. Böyle bir servis hizmetinde servis rotalarına ve araç duraklarına ihtiyaç vardır. En önemli problem araç duraklarını belirlemek, çalışanları araç duraklarına atamak ve her aracın araç kapasitesini de göz önüne alarak istenilen durakları dolaşmasını sağlayacak rotaları belirlemektir. Bu probleme personel araç rotalama problemi (PARP) denir.

Personel araç rotalama problemi (PARP), literatürde üzerinde çok fazla sayıda araştırma yapılan, araç rotalama problemi (ARP) sınıfında değerlendirilir. ARP' de söz konusu yolcuların veya problemlerde tanımlanan ürünlerin gerekli toplama veya dağıtım noktalarına dağıtılırken, araçların rotalarını en küçükleyerek ve mümkün olan en az aracı kullanarak dağıtılmasını sağlamak amaçlanmaktadır. ARP, NP-Zor tipindedir. Bu problemlerin çözümüne uzun yıllardır uğraşılmaktadır, fakat geniş çaplı problemlerin literatürdeki çözüm yolları sezgisel metotlardır.

PARP geniş çaplı problemlerdir. Genelde geniş coğrafi alanlar üstüne yayılmış eş zamanlı rotalama şeklindedir ve birçoğu çok amaçlı yapıdadır. Öncelikli amaç, problemde tanımlanan diğer kısıtları da göz önüne alarak, toplam araç filosu maliyetini en küçükleyecek şekilde rotalamaktır.

Literatürde ARP ve PARP ile ilgili yapılan araştırmaların en genel hali, toplam maliyeti en küçükleyecek kapasite ve mesafe kısıtını ele alan rotalama çalışmalarıdır. Fakat PARP' nin bazılarında araçların, personeli dağıttıktan sonra tekrar işletmeye geri dönme zorunluluğu yoktur. Bu durum, genelde işletmelerin taşıma işlerini başka bir firmadan satın alması durumunda oluşmaktadır. Bu da problemi açık uçlu araç rotalama problemleri (AUARP) sınıfına sokmaktadır.

ARP literatürde çok çalışılmasına rağmen, bu çalışmada incelenecek PARP' nin bir türü olan AUARP ile ilgili çalışmaların sayısı çok azdır. Bu tür çalışmalar NP-Zor tipinde olduğu için literatürde çözüm yöntemi olarak genelde, problemin türüne göre değişen ve sadece probleme özgün sezgisel yöntemler kullanılmıştır.

Bu tezin uygulama kısmında, Ankara şehrindeki personel sayısı oldukça fazla olan büyük devlet kurumlarından Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nde (MTA) yaşanan PARP gerçek hayat probleminin verilerinden yola çıkılarak araçlar rotalanmaya çalışılmıştır.

Uygulamada izlenen metodoloji; PARP tanımlanmış, durakların yerleri tespit edilmiş, duraklar arası uzaklık matrisi oluşturulmuş, problemin çözümü için bir tam sayılı karar modeli seçilmiş ve bu model GAMS adlı matematiksel model çözüm programı ile çözülmüştür. Böylece duraklar arasında kısıtlarımıza uygun rotalar üretilmiş ve yeni üretilen rotalar harita üzerinde gösterilmiştir.

Bu tez çalışmasını diğer çalışmaların genelinden ayıran temel faktör, problemimizin AUARP olması, çözümde kullanılan uzaklık matrisinin gerçek hayatta karşılaşılan tipte hesaplanması ve sezgisel yöntemler yerine mümkün olan kesin çözümlerin araştırılmasıdır.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde, ARP hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde ARP çözüm yaklaşımlarına değinilmiş, dördüncü bölümde AUARP ile ilgili tanımlar yapılmış ve AUARP literatür araştırması sonuçları verilmiş, beşinci bölümde ele alınan problem tanımlanmış ve çözüm sonuçları verilmiş ve altıncı bölümde de sonuçlar ve genel değerlendirme yapılmıştır.

2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ (ARP)

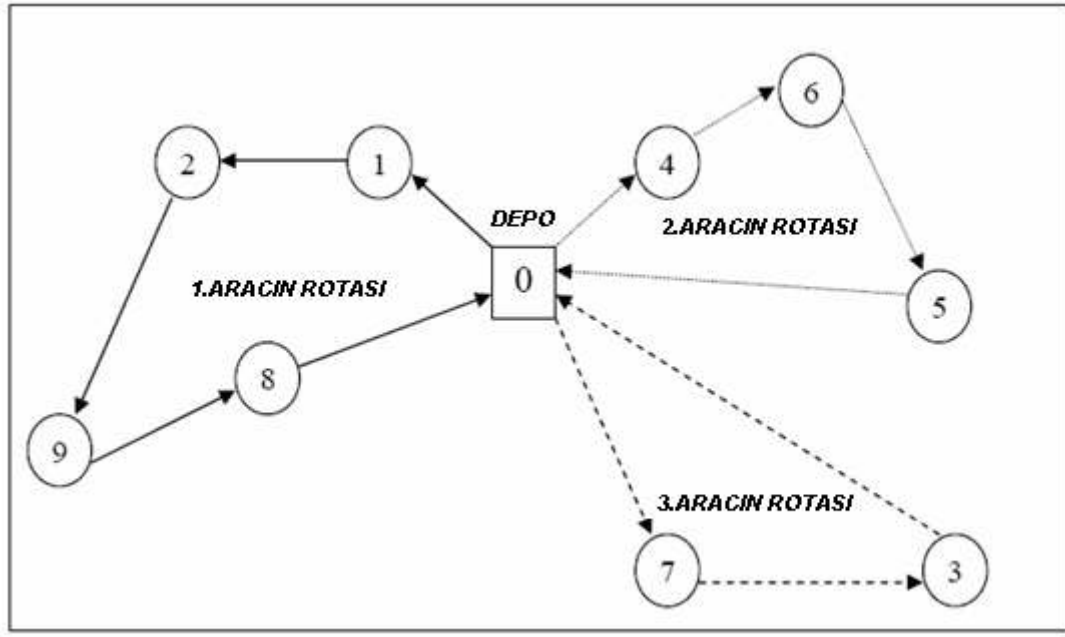
2.1. ARP

ARP, coğrafi olarak dağınık müşterilere, bir veya birden fazla depodan hizmet vermek üzere görevlendirilen araçların optimum dağıtım/toplama rotalarının tasarlanması problemidir [1].

ARP' nin çıkış noktası, ilk olarak İrlandalı matematikçi William Rowen Hamilton tarafından tanımlanan, gezgin satıcı problemleridir (GSP). ARP dağıtım yönetiminin kalbidir. ARP' nin en basit şekline genel ARP denir. Genel ARP'de, birinci şehir depo olmak üzere n adet şehir ve m adet araç vardır. Her bir aracın kapasitesi Q ve i düğümünden j düğümüne olan mesafe c_{ij} olarak tanımlanır [1-3].

ARP tüketim malzemelerinin perakendecilere ulaştırılması, satış otomatları ve telefonlardan paranın toplanması, yakıtların hanelere dağıtımı gibi uygulamacıların sıklıkla karşılaştıkları jenerik bir modeldir. Araç rotalama problemi, gezgin satıcı probleminin geliştirilmiş bir haldir [4].

ARP, ilk defa 1959 yılında Dantzig ve Ramster tarafından ortaya atılmıştır. Araç rotalama problemleri, geçen otuz yıl süresinde birçok araştırmacı tarafından irdelenmiş ve çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. ARP, NP-zor problemler sınıfındadır ve bu nedenle çözümünde kesin sonuç veren algoritmalar yerine sezgisel ve meta-sezgisel algoritmalar sıkça kullanılmaktadır. Şekil 2.1' de ARP modelinin şekilsel gösterim verilmiş olup, numaralanmış düğümler sipariş noktalarını ifade etmektedir [5].



Şekil 2.1. ARP' nin şekilsel gösterimi [5]

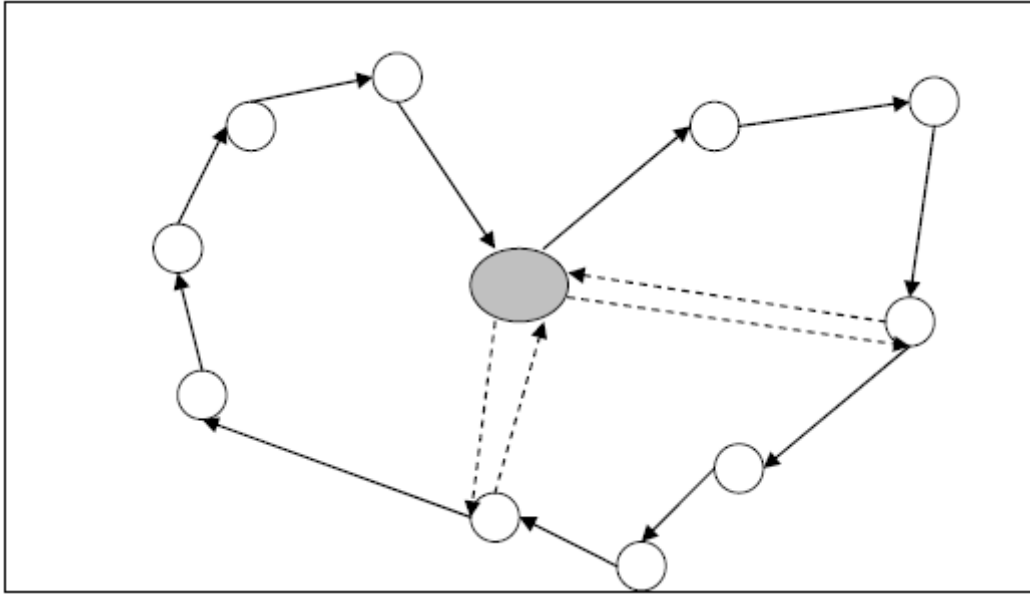
Standart bir araç rotalama probleminde, depolardan araçlar vasıtasıyla değişik noktalarda bulunan müşteri noktalarının talepleri karşılanmaya çalışılmaktadır. Bunu gerçekleştirirken amaç etkili ve verimli bir şekilde müşteri ihtiyaçlarını mümkün olan en kısa zamanda, en kısa yoldan ve en az maliyetle karşılayan rotayı belirlemektir. Araç rotalama yapılırken şu unsurlar dikkate alınmalıdır: [6].

- Şebeke içerisinde bulunan müşterilerin talepleri tamamıyla karşılanmalıdır.
- Şebekede bulunan her varış noktası, tek bir araç tarafından sadece bir defa ziyaret edilmelidir.
- Rota, depodan başlamalı ve tekrar depoda sonlanmalıdır.
- Rota üzerinde bulunan müşterilerin toplam talep miktarı, aracın toplam kapasitesinden fazla olmamalıdır.
- Her bir araç sadece bir rota üzerinde faaliyet göstermelidir.
- Araç rotalamanın temel amacı, araçların kat edecekleri toplam mesafenin minimize edilmesi olmalıdır

Tek orijin noktası ve çok sayıda varış noktası olan bir şebeke içersinde araç rotalama iki şekilde yapılabilir. Bunlar tek araçlı araç rotalama ve çok araçlı araç

rotalama yöntemleridir [6].

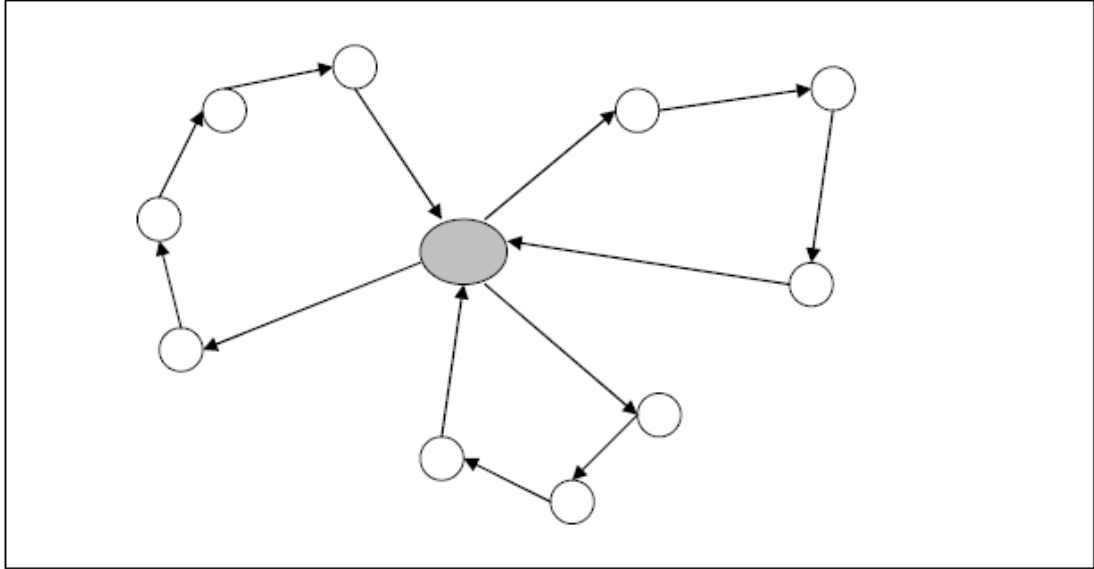
Tek araçlı rotalama: Tek araçlı araç rotalama yönteminde, şebekede bulunan tüm müşterilerin ihtiyaçları sadece bir araç kullanarak karşılanmaya çalışılmaktadır. Araç kendi kapasitesini dolduracak kadar yüklendikten sonra birinci rota başlar ve belirlenen rota üzerindeki tüm müşterilere uğradıktan sonra tekrar depoya döner. Şebekede talebi karşılanmayan diğer müşterilerin talepleri, aynı yöntemle aracın kapasitesine uygun bir şekilde tekrar araca yüklenir ve araç ikinci rotasına çıkar. Bu şekilde şebeke içersindeki müşterilerin ihtiyaçları karşılanıncaya kadar araç rotalamaya devam edilir. Tek araçlı araç rotalama örneği Şekil 2.2' de gösterilmektedir [6].



Şekil 2.2. Tek araçlı rotalama yöntemi [6]

Çok araçlı rotalama: Bu yöntemde, şebekede bulunan müşterilerin ihtiyaçları çok sayıda araç kullanılarak karşılanmaya çalışılır. Şebekede müşterilerin talepleri araç kapasitelerine uygun olarak yüklendikten sonra araçlar aynı anda belirlenen rota üzerindeki noktalara uğrayarak talepleri karşılarlar ve tekrar depoya geri dönerler. Araçlar ikinci bir rota için yüklenmezler. Çok araçlı araç rotalamanın tek araçlı araç rotalamadan farkı, şebeke içersindeki rota sayısı kadar araca gereksinim

duyulmasıdır. Bu yöntem, diğer yöntemlere göre talepleri daha çabuk karşılamaktadır. Çok araçlı rotalama örneği şekil 2,3’ de görülmektedir [6].



Şekil 2.3. Çok araçlı rotalama yöntemi [6]

2.2. ARP’nin Bileşenleri

ARP’nin temel bileşenlerini; talep yapısı, taşınacak malzemenin tipi, dağıtım/toplama noktaları ve araç filosu oluşturur [2].

2.2.1. Talep yapısı

ARP problemlerinde talep, statik veya dinamik olabilir. Statik talep durumunda talep önceden bilinir. Dinamik durumda ise bazı düğümlerdeki talep bilinmekte, bazıları ise araç rotasında devam ederken belirlenmektedir [7].

2.2.2. Malzeme tipi

Araçlarla çok çeşitli malzemeler taşınır. Tehlikeli maddeler, gıda maddeleri, gazete

dağıtım, çöp toplama, bütün bunlar basit paketler olarak adlandırılır ve probleme ilave bir karmaşıklık getirmezler. Diğer taraftan öğrenci servisleri; güvenlik, etkinlik, eşitlik gibi ilave bazı amaçlardan ötürü daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Tehlikeli maddeleri taşıyan araçların rotalarının belirlenmesinde ise coğrafi özellikler büyük önem kazanır [2,6].

2.2.3. Dağıtım/toplama noktaları

Birçok ARP' de, dağıtım noktaları müşterilerin bulunduğu yer, toplama noktaları ise depodur. Tüketim mallarının fabrikalardan toptancılara dağıtımına buna iyi bir örnektir. Depo genellikle aracın rotasına başladığı ve geri döndüğü noktadır. Depo sayısına göre problem, tek depolu ve çok depolu diye adlandırılabilir. Çok depolu problemlerde, depoların her biri kendi araçlarıyla işlerini yürütebilir, bu durumda problem birkaç bağımsız tek depolu ARP' ye dönüşür. Araç bir depodan çıkıp, başka bir depoda yükleme/boşaltma yapabilir. Bu durumda problem bir bütün olarak ele alınmalıdır. Dağıtım noktaları sabit ve önceden biliniyorsa hangi noktalara, hangi araçların hizmet vereceği belirlenmelidir. Diğer durumda, dağıtım noktaları potansiyel yerler arasından seçileceği için ilave bir yerleştirme kararı gerekir. Bazı ARP' lerin de dağıtım ve toplama noktaları aynıdır. Örneğin öğrenci servislerinde okul, gidişte dağıtım noktası, duraklar toplama noktası; öğrenciler evlerine dönerken ise okul depo, duraklar ise dağıtım noktalarıdır [2,5].

2.2.4. Araç filosu

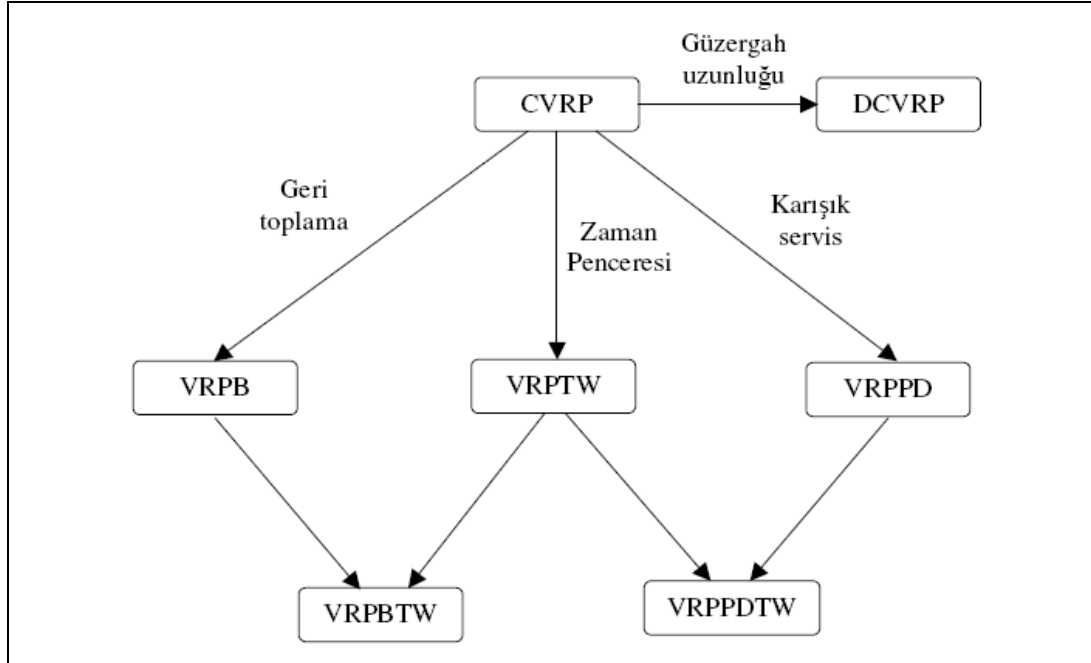
Bütün ARP' lerde araçların kapasitesinin bilindiği ve çoğunlukla araçların homojen (aynı kapasitede) olduğu varsayılır. Filo heterojen ise filodaki araçların taşıma kapasiteleri farklıdır. Bu durum hangi araç tipinin, hangi rotaya hizmet vereceğinin belirlenmesi, yani ilave bir kararı gerektirir. Araçların diğer özellikleri arasında hız, yakıt tüketimi, taşınacak malzemeye uygunluğu sayılabilir. Bu özelliklerin rotalama kararlarına doğrudan etkisi yoktur [2,6].

2.3. ARP Türleri

Araç rotalama problemlerin özellikleri, ele alınan problemdeki faktörlere, kısıtlara ve amaçlara göre farklılıklar gösterir. Crainic ve Laporte, problemin türünü belirleyebilmek için birtakım soruların sorulması ve araştırılması gerektiğini belirtmiştir. Bu sorular şunlardır: [8].

- Problem dağıtım mı, toplama mı veya her ikisini birden mi içermektedir?
Dağıtım ve toplama arasında bir öncelik söz konusu mudur?
- Dağıtım tek depodan mı yoksa birden fazla depodan mı yapılmaktadır?
- Kaç araç kullanılmaktadır? Bu sayı sabit mi yoksa karar değişkeni midir?
- Araç filosu homojen mi yoksa heterojen midir?
- Kullanılan araçların kapasitesi, hızı ve taşıma maliyetleri nedir?
- Sürücülerin çalışma koşulları nelerdir? Normal çalışma gününün uzunluğu nedir?
Fazla mesai koşulları nelerdir?
- Talepler bilinmekte mi yoksa tahmin mi edilmektedir?
- Müşterilere planlama periyodu içinde hangi sıklıkta veya ne zamanlar uğranabilmektedir? Belirli bir zamanda müşteriye uğranması istenmekte midir?

ARP' nin çözümü için bugüne kadar farklı yöntemler önerilmiş ve bir şekilde nakliyat maliyetlerinin azaltılması için en uygun varyasyon bulunmaya çalışılmıştır. Farklı yaklaşımlar ARP' nin farklı türevlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur [9]. ARP' nin temel türlerini ve aralarındaki ilişki aşağıda verilmiş ve açıklamaları yapılmıştır.



Şekil 2.4 ARP' nin sınıflandırılması [10]

ARP' nin temel türleri, literatürde geçen kısaltmaları ile aşağıda gösterilmiştir [5].

2.3.1. Kapasiteli araç rotalama problemleri (KARP)

(Capacitated Vehicle Routing Problems, CVRP) Bir serim üzerinde tüm araçlar tarafından kat edilen toplam mesafeyi enküçükleyecek ve her düğüme bir defa uğranılacak şekilde, merkez düğüme bağlı, kapasite kısıtlarını aşmayan m adet rotanın belirlenmesi problemidir. Araç rotalama probleminin standart versiyonudur. KARP 1980'lerden günümüze kadar çok fazla çalışılmış ve birçok sezgisel ve kesin algoritmalar geliştirilmiştir[11,12].

ARP' nin en genel versiyonu KARP dir. Müşteriler arasındaki mesafeler karşılıklı gidiş-geliş şeklinde simetrik olarak varsayılmaktadır. Tüm araçların talepleri karşılamak için kullanılması durumunda k tane rota bulunur. Yolların açık ya da kapalı olması durumu göz önünde bulundurulmak istenirse, kapalı olan yolları ifade eden kenarlar pasif duruma getirilerek o anki duruma göre rotalar belirlenebilir.

Ayrıca yollar her ne kadar çift yönlü olduğu kabul edilse de tek yönlü olarak da ayarlanabilir [13].

KARP’ de Araçlar depo/depolardan başlayarak müşterilere uğrarlar ve tekrar depo/depolara döner. Her müşteriye sadece bir araç uğrar. Aracın rotasındaki müşteri talepleri toplamı, araç kapasitesinden fazla olamaz [14].

KARP’ yi çözmek için ilk geliştirilen ve en çok kullanılan sezgisel metot Clarke-Wright (CW) kazanç algoritmasıdır, CW algoritması basitliği, esnekliği ve hızı sebebiyle geniş bir kullanıma sahip olmuş ve birçok bilgisayar algoritmasında kullanılmıştır [15].

2.3.2. Geri toplamalı ARP (GTARP)

(Vehicle Routing Problems with Backhauls, VRPB) Bir coğrafi bölgedeki müşteriler, “ürün dağıtılacak müşteriler” ve “ürün toplanacak müşteriler” olmak üzere iki alt kümeye ayrılabilir. Dağıtım planının, araçların önce dağıtım yapılacak müşterilere, sonrada ürün toplanacak müşterilere uğrayarak depoya dönmeleri şeklinde yapılmak istenmesi halinde, araç rotalama probleminin özel bir türü ortaya çıkar. GTARP araçların, dağıtım işlemi tamamlandıktan sonra toplama işlemi yapmak zorunda oldukları sistemlerdeki problem türüdür.. GTARP Np-Hard yapıdadır. Ve birçok çalışma problemin çözümü için geliştirilen sezgisel algoritmalar ya simetrik yada Euklidian maliyet matrisleri kullanmıştır [16,17].

GTARP’ de merkezden hedefe ve hedeften merkeze müşteriler arasında bir öncelik kısıtı mevcuttur. Eğer bir rota her iki tip müşteriye de hizmet veriyorsa, tüm merkezden hedefe müşteriler, hedeften merkeze müşterilerden önce hizmet almalıdır [18].

2.3.3. Zaman pencereci ARP (ZPARP)

(Vehicle Routing Problems with Time Windows VRPTW) Dağıtım işleminde zaman

kısıtı en önemli unsurdur. ZPARP çok önemli bir lojistik problemi türü olduğundan birçok probleme uygulanmıştır. Amaç, araç kapasitesini, servis zamanlarını ve zaman aralıklarını dikkate alan kısıtlarla, optimal rota sayısını ve rotalardaki müşterilerin sırasını bulmaktır [19,20].

ZPARP, depodan hareket eden araçların müşterileri belli zaman aralığı içinde ziyaret etme zorunluluğu olan (zaman penceresi kısıtı) özel bir araç rotalama problemi türüdür. Yapısı nedeniyle okul otobüsü rotalama, posta, gazete dağıtımı, akaryakıt dağıtımı, tam zamanlı üretim için satıcı dağıtımı, güvenlik devriyesi kontrolleri, kentsel atık toplama ve zincir mağaza dağıtım lojistiği gibi gerçek hayat problemlerine daha uygundur. Bu nedenlerden dolayı diğer araç rotalama problemlerine göre hakkında daha çok araştırma yapılmıştır [21,22].

Bu problem türünde, zaman penceresi sert kısıt olarak davrandığında, araç en son izin verilen süreden sonra servis yapmaya izin verilmez. Fakat araç önceden müşteriye ulaşırsa, müşterinin hazır olması için bekler [23].

Bu problemleri çözmek için birçok kesin ve sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir. Bu metotlar yapılandırma algoritmaları, geliştirme algoritmaları ve meta sezgiseller olarak gruplanabilir. Sezgisel metotlar makul zamanda optimale yakın sonuçlar bulduğu için bu tür problemlerin çözümünde daha fazla kullanılırlar [24].

2.3.4. Dağıtım toplamalı ARP (DTARP)

(Vehicle Routing Problems with Pick up and Delivery, VRPPD) Dağıtım ve toplama işlemleri arasında önceliğin bulunmadığı ARP türüdür. Bu problemin basit formunda müşteriler; dağıtım müşterileri ve toplama müşterileri olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Düzenli taşımacılık yapan işletmelerde, her bir seferin kalkış ve varış zamanları önceden belirlenmektedir. Böylece bir sefer başlangıç (kalkış) zamanı/yeri ve bitiş (varış) zamanı/yeri ile tanımlanabilir. Araçlar kapasitelerine bağlı olarak hem dağıtım hem de toplama işini aynı anda yaparken en önemli kısıt genelde kapasite kısıtı olmaktadır [6,25].

2.3.5. Mesafe ve kapasite kısıtlı ARP (MKARP)

KARP' ye araçların gidebileceği maksimum rota uzunluğunu belirten kısıtın eklendiği ARP türüdür. Dağıtım ve lojistik problemlerinde karşılaşılan problemlerdendir.

2.3.6. Geri toplamalı ve zaman pencereli ARP (GTZPARP)

GTARP ve ZPARP' nin birleştirilmiş halidir. Araçlar geri toplama yaparken belli zaman kısıtlarına göre hareket etmeleri gerektiğinde oluşan ARP' nin çok kısıt içeren halidir.

2.3.7. Dağıtım toplamalı ve zaman pencereli ARP (DTZPARP)

DTZPARP, araçlar dağıtım ve toplama için rotalama yapılırken, belli zaman kısıtlarının da göz önüne alındığı özel bir ARP türüdür.

2.4. ARP' nin İstem ve Sunu Alanlarına Göre Analizi

Bu kısımda, rotama ve çizelgeleme problemlerinin analizinde çok önemli bir basamak olan, ulaştırmanın istem ve sunu alanlarına göre oluşturulmuş yapısal bir çerçeveden bahsedilecektir. Rotalama ya da çizelgeleme probleminin yapısının belirlenmesi, iyi bir modelin kurulmasının ön koşulu olup, "kaç depo vardır?", kaç araç kullanılacaktır?" ve "hangi adreslere hizmet verilecektir?" vb. soruların yanıtlanması ile başılır. Bu yapısal çerçevede, istem ve sunu alanları, önce alt alanlara, sonra gerekirse bileşenlere ayrılmakta ve her bir bileşen için seçenekler verilmektedir. Bunlar çizelge 2.1' de ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Her bir seçenek, bu problemlerdeki bir yapısal özelliği simgelemektedir. Aşağıda, sunulan tablo ile ilgili açıklamalar yapılacaktır [6].

Çizelge 2.1. ARP için yapısal bir çerçeve [6]

ALANLAR	ALT ALANLAR	BİLEŞENLER	SEÇENEKLER
A. TALEP	A.1. Talebin Yeri		- Birkaç/çok sayıda toplama - Bir dağıtım - Çok sayıda toplama – Birkaç dağıtım - Bir toplama – Birkaç/çok sayıda dağıtım - Birkaç sayıda toplama – Çok sayıda dağıtım - Çok sayıda toplama – Çok sayıda dağıtım
	A.2 Adres - Zaman ilişkisi		- Adres-Zaman ilişkisi yok - Adres-Tek zaman penceresi - Adres-Çok zaman penceresi - Adres-Kesin (belirli) zaman
	A.3.Talebin Yapısı	A.3.1 Miktersal Yapı	- Deterministik - Stokastik
		A.3.2 Mekansal Yapı	- Deterministik - Stokastik
		A.3.3 Zamansal Yapı	- Deterministik - Stokastik
	A.4. Müşteri Tercihleri	A.4.1 Miktersal Tercihler	- Talebin tümü bir kerede karşılanmalı - Talep bölünerek karşılanabilir
		A.4.2 Mekansal Tercihler	- Direkt yolcu - Ara durak yolcusu - Direkt yük
		A.4.3 Zamansal Tercihler	- Müşterinin zaman tercihi yok - Esnek tercihler
		A.4.4 Özel Tercihler	Özel seçenekler
B. SUNU	B.1 Depo ve Araçlar	B.1.1 Depo Sayısı	- Tek Depo - Çok Depo

Çizelge 2.1. (Devam) ARP için yapısal bir çerçeve [6]

		B.1.2 Araç Sayısı	• Belirli • Belirsiz
		B.1.3 Araçların Kapasite/Hacim Özellikleri	• Kapasite/Hacim kısıtı yok • Kapasite/Hacim kısıtı var
		B.1.4 Araçların Kompartımanları	• Kompartıman yok • Değiştirilebilir kompartımanlar • Özelleştirilmiş kompartımanlar
	B.2 İşletmesel Stratejiler	B.2.1 Hizmet Türü Stratejisi	• Direkt yolcu taşımacılığı • Ara duraklı yolcu taşımacılığı • Her durakta duruş, Yolculu durakta duruş, Yolcu isteği ile duruş • Direkt yük taşımacılığı • Parçalı yük taşımacılığı
		B.2.2 Rotasal Strateji	• Sabit rotalı taşımacılık • Esnek rotalı taşımacılık • Zaman çizelgesi yok
		B.2.3 Zamansal Strateji	• Belirli zaman çizelgeli taşımacılık • Esnek zaman çizelgeli taşımacılık
	B.3. İşletmesel Düzenlemeler	B.3.1 Araçların Çalışma Süresi	• Sınırlı • Sınırsız
		B.3.2 Rota Süresi	• Sınırlı • Sınırsız
		B.3.3 Rota Sayısı	• Bir rota • Birden fazla rota
	B.4. Çalışma Ortamındaki	B.4.1 Adres-Adres İlişkileri	• Öncelik kısıtı var • Öncelik kısıtı yok
		B.4.2 Depo-Adres İlişkileri	• Depo-Adres kısıtı var • Depo-Adres kısıtı yok

Çizelge 2.1. (Devam) ARP için yapısal bir çerçeve [6]

		B.4.3 Araç-Adres İlişkileri	• Araç-Adres kısıtı var • Araç-Adres kısıtı yok
		B.4.4 Rota-Adres İlişkileri	• Rota-Adres kısıtı var • Rota-Adres kısıtı yok
	B.5 İşletmesel Amaçlar		• Araçların toplam rota süresinin en küçüklenmesi • Toplam adres maliyetlerinin en küçüklenmesi • Toplam adres ceza maliyetlerinin en küçüklenmesi • Toplam araç sayısının en küçüklenmesi • Araçların kullanılmayan zamanlarının en küçüklenmesi • Toplam araç ceza maliyetlerinin en küçüklenmesi

2.4.1. Talep alanı

Ulaştırma talebin belirlenmesi, ne kadar yolcu ya da yükün, nereden nereye, hangi zamanlarda ve hangi koşullarda ulaşmak istediğinin ya da ulaştırılmak istendiğinin belirlenmesidir, "nereden nereye", rotalama ve çizelgeleme problemlerindeki "hangi toplama adresinden, hangi dağıtım adresine" sorusu ile özdeşdir. Dolayısı ile, yolcu ya da yükün alındığı yer "toplama adresi", bırakıldığı yer ise "dağıtım adresi" olarak adlandırılabilir ve genellikle bu terimler kullanılacaktır [6].

"Talep" alanı sırasıyla, "talebin yeri", "adres-zaman ilişkisi", "talebin yapısı" ve "müşteri tercihleri" olmak üzere dört alt alanda incelenmiştir.

- Talebin yeri: "Talebin yeri" alt alanında, yük ya da yolcuların, hangi adreslerden

alınarak hangi adreslere bırakılacağı belirlenmektedir.

- Adres-zaman ilişkisi: "Adres-Zaman ilişkisi" alt alanında, adreslere hangi zamanlarda uğranılacağı belirlenmektedir.
- Talebin yapısı: "Talebin yapısı" alt alanı, "miktersal yapı" ve mekânsal yapı ve "zamansal yapı" olarak üç bileşende ele alınmıştır ve her bir bileşenin deterministik ve stokastik seçenekleri verilmiştir. "Talebin miktersal yapısı" ne kadar yük ya da yolcu taşınacağı belirli ise deterministik, aksi halde stokastiktir. "Talebin mekânsal yapısı" nereden nereye taşımacılık yapılacağı belirli ise, deterministik, aksi halde stokastiktir. Benzer şekilde, "talebin zamansal yapısı" adreslere uğranılacak zamanlar belirli ise deterministik, aksi halde stokastiktir.
- Müşterilerin tercihleri: "Müşterilerin tercihleri" alt alanında müşterilerin istedikleri hizmet düzeyleri belirlenmektedir. Müşteri memnuniyeti, ürün veya hizmetin müşteri beklentilerine göre eşit veya daha yüksek tatmin sağladığı durumda oluşmaktadır. Araç rotalamanın sonunda amacımız müşteri ihtiyaçlarını karşılamaktır. Bu alt alan "miktersal tercihler", "mekânsal tercihler", "zamansal tercihler" ve "özel tercihler" olmak üzere 4 bileşende incelenmiştir [20].

2.4.2. Sunu alanı

Taşımacılık yapacak olan bir işletme, elde etmeyi tasarladığı yararlar, sahip olduğu kaynaklar, içinde bulunduğu ortamın yapısı gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak, sunacağı hizmetin özelliklerini belirlemekte ve bir takım işletmesel düzenlemeler yapmaktadır. Doğal olarak araç rotalama ve çizelgeleme problemlerinin yapısı da, bu faktörlerden ve yapılan işletmesel düzenlemelerden büyük ölçüde etkilenecektir. Sunu alanı, "depo ve araçlar", "işletmesel stratejiler", işletmesel düzenlemeler", "çalışma ortamındaki ilişkiler" ve "işletmesel amaçlar" olmak üzere beş alt alana ayrılmıştır [6].

- Depo ve araçlar: "Depo ve araçlar" alt alanı, "depo sayısı", "araç sayısı", "araçların kapasite/hacim özellikleri" ve "araçların kompartımanları" alanlarıdır.
- İşletmesel stratejiler: İşletmelerin yapısal kararlarını belirtmektedir. "işletmesel stratejiler" alt alanı, "hizmet türü stratejileri", "rotasal strateji" ve "zamansal strateji" olmak üzere üç bileşene ayrılmıştır.
- İşletmesel düzenlemeler: Bir işletmenin, bulunduğu ortama bağlı olarak, bir zaman periyodu boyunca, araçlar ve rotaları ile ilgili yaptığı düzenlemelere "işletmesel düzenlemeler" adı verilmiştir. İşletmesel düzenlemeler alt alanının bileşenleri, "araçların çalışma süreleri", "rota süresi" ve "rotaların tipi" olarak sıralanmaktadır.
- Çalışma ortamındaki ilişkiler: Çalışma ortamındaki etkileyen ve etkilenen olguların birbiriyle ilişkisini göstermektedir. "Çalışma ortamındaki ilişkiler" alt alanı, "adres-adres ilişkileri", "depo-adres ilişkileri", "araç-adres ilişkileri" ve "rota-adres ilişkileri" olarak 4 bileşende incelenmiştir.
- İşletmesel amaçlar: "İşletmesel amaçlar" alanında, en yaygın kullanılan altı amaç, seçenekler olarak verilmiştir. Araçların toplam rota süresinin en küçüklenmesi, ulaştırmada özellikle rotalama problemleri için olmazsa olmaz şeklinde tanımlanabilecek bir amaçtır. Toplam araç sayısının minimize edilmesi ile de araçların yatırım maliyetleri en küçüklenmiş olacaktır. Araç ceza maliyeti; bir aracın kapasitesi, çalışma zamanı ve rota süresi ile ilgili sınırlardan bir ya da bir kaçının aşılması durumunda verilen cezanın maliyetidir [26].

2.5. ARP' nin En İyileme Ölçütleri

ARP literatüründe çok çeşitli en iyileme kriterleri mevcuttur. Bunlardan en yaygın olanları, rota sayısı, toplam rota uzunluğu, rota süresi, müşteri memnuniyeti, yük dengeleme şeklinde sıralanabilir. Bu kriterlerden rota sayısı ve toplam rota uzunluğu

ARP amaç fonksiyonunda en yaygın olarak kullanılandır.

ARP'deki en iyileme ölçütlerinden en yaygın olanları aşağıda sıralanmıştır [5].

- Rota sayısı: Genellikle her rotanın bir araç tarafından kullanıldığı kabul edilir. Bu durumda rota sayısını en küçüklemeyle, araç sayısı da en küçüklenmiş olunur. Yatırım maliyeti yüksek olduğu için araç sayısının en küçüklenmesi istenir.
- Toplam rota uzunluğu: Oluşturulan rotaların uzunlukları toplamıdır. Bir rotanın uzunluğu, rota üzerindeki dağıtım/toplama noktaları arasındaki mesafeler toplamıdır.
- Rota süresi: Seyahat, yükleme-boşaltma ve dinlenme süreleri toplamıdır.
- Müşteri memnuniyeti: Tüketim mallarının taşınmasında müşteri memnuniyeti, malın tam zamanında müşteriye ulaştırılmasıyla sağlanır.
- Yük dengeleme: Her bir araçtaki yükler arasındaki değişimin minimize edilmesini ifade eder. Bu değişim, ihtiyacın bazen değişmesinde artar. Böylece küçük talep değişiklikleri, ARP tekrar çözülmeden tolere edilebilir [27].

Buraya kadar açıklananlardan rota sayısı ve toplam rota uzunluğu, ARP problemlerinde en yaygın kullanılan en iyileme ölçütlerindendir.

2.6. ARP' nin Yan Kısıtları

Araç rotalama problemleri, çok sayıda yan kısıta sahip olabilirler. Aşağıda bu yan kısıtların en önemli olan ve en fazla karşılaşılanlarından söz edilmektedir. Özetlenen yan kısıtlardan bir veya bir kaçının varlığı problemin çözüm yöntemini etkilemekte, hatta bazen tamamen değiştirebilmektedir. Yan kısıtlar aşağıdadır [6].

- 1) Kapasite kısıtları: Her bir müşteriye dair bir pozitif ağırlık (veya talep) vardır. Herhangi bir aracın rotası üzerindeki ağırlıkların toplamı, aracın kapasitesini aşamaz.
- 2) Toplam zaman kısıtı: Herhangi bir rotanın uzunluğu, belirli bir L sınırını aşamaz. Bir rotanın uzunluğu, rota üzerindeki müşteriler arasındaki seyahat süreleri ve her bir müşterideki duraklama süreleri toplamından oluşmaktadır.
- 3) Zaman pencereleri: Müşterinin i , $[a_i, b_i]$ zaman aralığı içerisinde ziyaret edilmelidir.
- 4) Şehirler arasındaki öncelik ilişkileri: Müşteri i , müşteri j ' den önce ziyaret edilmelidir.

2.7. ARP' nin Çözümünü Zorlaştıran Özellikler

Araç rotalama problemi basit bir problem gibi görünmesine karşın, gerçek yaşamda karşımıza çıkan pek çok rotalama problemi, sanıldığından çok daha karmaşıktır. Aşağıda araç rotalama problemlerinin çözümünü zorlaştıran etmenlerden bazıları verilmiştir [6].

- 1) İsteklerin frekansı: Müşterilerin hizmet talepleri belirli bir frekans ile ortaya çıkabileceği gibi, bu frekans, müşteriden müşteriye değişebilir. Örneğin, ekmek sipariş eden müşterilere teslimatlar günlük olarak yapılmaktadır. Yani ekmek talebinin frekansı belirlidir ve 1 gündür. Bunun aksine evsel kullanım için yakıt veya tüp gaz teslimatında ise talep frekansı kullanım oranına bağlıdır ve müşteriden müşteriye çok değişebilmektedir.
- 2) Zaman pencereleri: Zaman pencerelerinin varlığı, müşteri yerleşimlerinin spesifik zamanlarda ziyaret edilmeleri zorunluluğunu ifade etmektedir. Öğrenciler için okul servis taşıtlarının rotalanması buna iyi bir örnektir.

- 3) Günün hangi zamanında bulunulduğuna bağlı olarak değişen seyahat süresi: Ziyaret edilecek müşterilerin şehir merkezlerinde bulunmaları durumunda trafik sıkışıklığı önemli bir faktör olabilmektedir. Ayrıca işe başlama ve işten çıkış saatlerinde seyahat süresi değişebilmektedir. Bu gibi durumlarda, seyahat süresi gün içindeki zamanlara göre değişmekte ve bunun sonucu olarak bir müşteriler şebekesindeki her bir hatta ait maliyet de gün içindeki zamana bağlı olmaktadır.
- 4) Çok boyutlu kapasite kısıtları: Aynı anda hem hacim hem de ağırlık üzerinde kısıtlar olabilmektedir. Bu durum, özellikle farklı ürünleri taşımak için aynı araçlar kullanıldığı zaman bir sıkıntı yaratabilmektedir.
- 5) Farklı tipte araçların varlığı: Büyük firmalar, pek çok alternatif tipte araçlara sahip olabilirler. Taşıt tipleri, kapasite, işletim maliyeti ve aracın kapalı turlarla kısıtlanmış (yani aracın işini bitirdikten sonra depoya geri dönmek zorunda) olup olmamasına göre farklılık gösterebilirler. Birçok farklı tipte aracın varlığı, uygun seçeneklerin sayısını büyük ölçüde artırmaktadır.
- 6) Bölünebilir taleplerin varlığı: Eğer bir müşteri özel bir talebe sahip ise, bu müşteriye birden fazla aracın tahsis edilmesi akılcı olabilir.
- 7) Belirsizlik: Taşıt rotalama algoritmaları hemen hemen her zaman gerekli bilgilerin önceden bilindiğini varsaymaktadırlar. Aslında bir müşteriler şebekesinin belirli kısımlarını kat etmek için gerekli olan süre, trafik ve hava koşulları ve araç arızaları gibi faktörlere bağlı olarak büyük ölçüde değişebilmektedir.

2.8. Rotalama Prensipleri

Araştırmacılar ve uygulayıcılar daha başarılı rotaların oluşturulması için, çalışmalarda aşağıda ki sekiz prensibin göz önünde bulundurulmasını önermişlerdir [6].

- 1) Noktalar arasında en yakın olanlar seçilmelidir. Bu sayede toplam gidilen yolun kısalması sağlanır.
- 2) Farklı günlerdeki dağıtımlar birleştirilmelidir. Bu şekilde benzer noktalardaki dağıtımlar birleştirilerek, aynı rotaların yakın tarihlerde tekrar gidilmesi engellenir.
- 3) Rotalara, mümkün olan en uzak noktaya uğrayarak başlanmalıdır.
- 4) Yapılacak olan rotalamaların şekli, gözyaşı şeklinde olmalıdır. Bu sayede uzak noktalara ulaşmada kazanç elde edilebilecektir.
- 5) Mümkün olan en yüksek kapasiteli araçlar seçilmelidir. Bu sayede toplam maliyetler azalacak ve avantaj elde edilecektir.
- 6) Eğer yapılabiliyorsa, dağıtım ve tedarik aynı araçlarla yapılmalıdır. Bu sayede toplam maliyet ve gereken zaman azalacaktır.
- 7) Rota dışındaki noktalara ulaşılmasında küçük araçlar kullanılmalıdır.
- 8) Gerekirse dağıtımların ve tedariklerin zamanları tekrar kararlaştırılarak zaman tasarrufu sağlanmalıdır.

3. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI

ARP, NP (nondeterministic polynomial) karmaşıklığına sahip ve çözülmesi zaman alan bir problemdir. Bu sebeple, farklı alanlarda kullanılabilen ve kesin çözüme ulaşan tek bir ARP yaklaşımı bulunmamaktadır ve problemin çözümü için kullanılan yaklaşımların çoğu sezgisel yaklaşımlardır. Sezgisel yaklaşımlar, probleme kesin bir çözüm bulmamakla beraber, yaklaşık sonuç bulurlar. Problemin çözümü için Clark, Fisher, Taillard, Kidervater sezgisel temelli algoritmaları, Rochat, Xu, Tabu arama algoritmalarını, Shaw kısıtlamalı programlamayı, Toth Tanecikli Tabu arama algoritmasını, Gambardella Karınca kolonisi optimizasyonunu kullanmışlardır [13].

ARP' nin çözümünde, hem sezgisel hem de kesin çözüm veren metotlar kullanılabilir. Sezgisel algoritmalar daha büyük problemleri çözebilir ve daha çeşitli kısıtlar içerebilir [1].

3.1. ARP Optimum Çözüm Algoritmaları

Kesin yöntemler ile optimum sonuçlar bulunmaktadır. Ancak özellikle büyük ölçekli problemlerin çözümünde, çözüm zamanı çok uzun olabilmektedir. Kesin yöntemler matematiksel programlama tabanlı yöntemler olup, ortak özellikleri optimum sonuç vermeleridir [28].

Araç rotalama için geliştirilen birçok optimum çözüm algoritmaları olduğu için bunları sınıflandırmak oldukça zordur. Birçok sınıflandırma şekli vardır. Toth ve Vigo'nun 2002 de yaptığı çalışmada kesin çözüm yöntemleri, dal ve sınır yöntemi, dal kesme yöntemi, küme kaplama yöntemi olmak üzere üç kategoriye ayrılmıştır [29].

Tamsayılı model olarak formüle edilen araç rotalama probleminin çözümü için dal-sınır (Branch and Bound), kesme düzlemi (Cutting Plane) ve dal-kesme (Branch and Cut) yöntemleri kullanılmaktadır. Ayrıca dinamik programlama, lagrangian

ayırıştırma, k-ağaç ve sütun yaratma tabanlı yöntemler, araç rotalama probleminin kesin çözüm yöntemleri arasındadır [30-32].

3.1.1. Dal ve sınır algoritmaları

KARP için en başarılı kesin çözüm yöntemlerinden biri, Fisher'in 71 müşterili problemi çözmeyi başarabilen k-tree metodudur. Fisher algoritması, seçilen müşteri gruplarının alt kümelerinin bir kenarını sınırlandırarak elde edilen parçalı problemlerin çözümünde kullanılır. Minimum dereceli kısıtlı k-tree problemini bulabilmek için çevre kısıtları dualize edilir. K-tree metodu, asimetric maliyetler, zaman penceresi ve uniform olmayan akışlar gibi gerçekçi değişkenlere uyum sağlayabilmek amacıyla genişletilebilir. Daha büyük örneklerin üstesinden gelebilmek ya da çözüme daha hızlı ulaşabilmek için sezgisel metotlardan yararlanılmalıdır [28].

3.1.2. Dal ve kesme algoritmaları

Dal ve kesme algoritması, dal-sınır algoritmasının ve kesme düzlemi algoritmasının melez bir halidir. Bu metot, tam sayı kısıtı olmayan lineer programı, düzenli simpleks algoritma kullanarak çözer. Optimum bir çözüm elde edildiğinde ve bu çözüm tam sayı varsayılan bir değişken için tam sayı olamayan değer içerdiğinde, tüm fizibil tamsayı noktalar tarafından tatmin edilen ama mevcut kesirli çözüm tarafından bozulan daha ilerdeki lineer kısıtları bulmak için kesme düzlemi algoritması kullanılır. Eğer böyle bir eşitsizlik bulunursa, bu lineer programa eklenir öyle ki “daha az kesirli” farklı bir sonuç verebilir. Bu proses tam sayılı çözüm bulunana veya artık kesme düzlemi bulunmayana kadar tekrar eder [33].

3.1.3. Kesme düzlemi algoritması

Doğrusal programlama problemlerinin tamsayılı çözümlerini sağlayacak hesaplama

yöntemi 1959 yılında R.E. Gomory tarafından geliştirilmiştir. Gomory'nin geliştirdiği hesaplama yöntemine tamsayılı algoritma veya kesme düzlemi yöntemi adı verilmiştir [34].

Bu yöntem tüm(saf) tamsayılı programlamayı ve karışık tamsayılı programlamayı içermektedir. Bu yöntemde takip edilecek aşamalar şunlardır:

- İlk aşama, eğer gerekli ise, orijinal sınırlamaları tamsayılaştırmadır. Bu, katsayılar tam olsun diye, tüm sınırların değiştirilmesi anlamına gelir.
- Kesme düzlemi probleminin optimal çözüm tablosu bulunur. Eğer optimal çözüm değerleri tamsayı ise, çözüm elde edilmiştir. Yoksa sonraki aşamaya geçilir.
- Bu aşamada kesme bulunur. Bu amaçla optimal çözüm tablosundan tamsayı olmayan değişkenlerin biri seçilir ve yeni bir kısıtlama elde edilir [33].

3.1.4. Sütun üretme algoritması

Sütun üretme, geniş ölçekli lineer programlama problemlerinin çözümü için bir tekniktir. Sütun üretme tekniği kullanılırken, çözülen modeldeki tüm değişkenler açıkça kullanılmaz, sadece bir alt kümedekiler kullanılır. Simpleks algoritmasının özellikleri kullanılarak, gerekli olduğunda değişkenler dinamik olarak oluşturulur. Simpleks algoritması, lineer programlamaya muhakkak optimal olmayan fizibil çözüm anlamına gelen temel bir fizibil çözüm sürdürür. Simpleks algoritmasının her iterasyonun da temel giriş için yeni bir sütun seçilir. Tipik yaklaşım, en az indirimli maliyet olan sütunu seçmektir. Eğer böyle bir sütun bulunamazsa, simpleks algoritması çözüme erişmiştir [33].

3.1.5. Dal ve değer algoritması

Dal ve değer paradigması, iki kavram üzerine dayanmaktadır. Birinci kavram, orijinal veya yoğun formülasyonu, çok sütun ama tipik olarak orijinal formülasyondan daha az

satır içeren bir modele dönüştüren “ayırışma” dır. □ İkinci kavram ise sütun üretmedir. Dal ve sınır çerçevesi içinde daha alt sınır dinamik sütun üretme ile çözüldüğünde, sonuç veren dal ve sınır algoritması, dal ve değer algoritması olarak adlandırılır. Sütun üretme tabanlı lineer programlama relaksiyonunun en üstüne dal ve sınır araştırması eklemek çok açık görünür ama bu yaklaşımın bazı gizli tehlikeleri mevcuttur. Bu tehlikelere bir örnek, dallanırken değer probleminin yapısı değiştirilmeden nasıl alt problemler oluşturulacağıdır [33].

3.1.6. Dinamik programlama

Dinamik programlama, n değişkenli bir problemin optimum çözümünü, problemin n aşamaya ayrıştırarak ve her aşamada tek değişkenli bir alt problemi çözerek belirler. Bunun hesaplama avantajı, n değişkenli alt problemler yerine tek değişkenli alt problemleri optimum kılmasıdır. Dinamik programlamanın asıl katkısı, problemleri aşamalara ayrıştırmasının çerçevesini oluşturan optimumluk ilkesidir. Optimizasyon problemine bağlı olarak aşamaların yapısı farklılıklar gösterdiğinden, dinamik programlama, her bir aşamayı optimum kılmak için gerekli olan hesaplamaların ayrıntısını vermez. Bu ayrıntılar, problem çözücü tarafından doğaçlama olarak gerçekleştirilip tasarlanır.

Dinamik programlamada hesaplamalar yinelenerek yapılır. Bu bakımdan bir alt problemin optimum çözümü, bir sonraki alt problemin girdisidir. Son alt problem çözüldüğünde, problemin tamamının optimum çözümüne ulaşılmış olur. Yinelenen hesaplamaların uygulama biçimi orijinal probleme bağlıdır. Özellikle alt problemler, bazı ortak kısıtlarla birbiriyle ilişkilendirilmiştir. Bir alt problemden bir sonrakine ilerledikçe, bu kısıtların uygunluğuna dikkat edilmelidir [28].

ARP hizmet sunulan müşteri sayısı ve coğrafi alan olarak büyük ölçekli bir problemdir. Müşteri sayısı arttıkça alternatif rota sayısı artmakta ve hesaplama zorlaşmaktadır. Ve optimum çözüm veren algoritmaların çözüm süreleri uzamakta, ve hatta çözümü imkansız hale gelmektedir. Bu nedenle ARP çözümünde sezgisel algoritmalar ön plana çıkmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar daha çok sezgisel

algoritmalar üzerinedir.

3.2. ARP Sezgisel Algoritmalar

Sezgisel algoritmalar, herhangi bir amacı gerçekleştirmek veya hedefe varmak için çeşitli alternatif hareketlerden etkili olanlara karar vermek amacıyla tanımlanan kriterler veya bilgisayar metotlarıdır. Bu tür algoritmalar yakınsama özelliğine sahiptir, ama kesin çözümü garanti edemezler ve sadece kesin çözüm yakınındaki bir çözümü garanti edebilirler. Bu algoritmalar çözüm uzayında optimum çözüme yakınsaması ispat edilemeyen algoritmalar olarak da adlandırılırlar. Sezgisel algoritmalar gerektirilen sebepleri aşağıdaki gibidir [35].

- Optimizasyon problemi kesin çözümü bulma işleminin tanımlanamadığı bir yapıya sahip olabilir.
- Anlaşılabilirlik açısından sezgisel algoritmalar karar verici açısından çok daha basit olabilir.
- Sezgisel algoritmalar, öğrenme amaçlı ve kesin çözümü bulma işleminin bir parçası olarak kullanılabilir.
- Matematik formülleriyle yapılan tanımlamalarda, genellikle gerçek dünya problemlerinin en zor tarafları (hangi amaçlar ve hangi sınırlamalar kullanılmalı, hangi alternatifler test edilmeli, problem verisi nasıl toplanmalı) ihmal edilir. Model parametrelerini belirleme aşamasında kullanılan verinin hatalı olması, sezgisel yaklaşımın üretebileceği alt optimal çözümden daha büyük hatalara sebep olabilir.

3.2.1. ARP klasik sezgisel algoritmaları

ARP klasik sezgisel çözüm algoritmaları temel olarak üç gruba ayrılır [5].

1. Tur kurucu sezgiseller,

2. Tur geliştirici sezgiseller,

3. İki aşamalı metotlar,

- Tur kurucu sezgiseller: Mümkün olmayan atamalarla çözüme başlar, her defasında iki düğüm arasına bir dal ekleyerek mümkün çözüme ulaşırlar. Dal eklenirken, araç kapasite kısıtına uyulup uyulmadığı kontrol edilir. Eklenecek dal, bazı maliyet tasarruflarına göre seçilir.

Tur kurucu yöntemler arasında en çok tercih edileni Clark ve Wright tarafından, Dantzing ve Ramser'in çalışmasından esinlenerek geliştirilen kazanç algoritması'dır [36,37].

- Tur geliştirici sezgiseller: Bir mümkün çözümü başlangıç çözümü olarak alır ve o çözümü geliştirirler. Her bir iterasyonda, dal kombinasyonları değiştirilir ve değişimin mümkün çözüme ulaştırıp ulaştırmadığı, maliyeti düşürüp düşürmediği kontrol edilir. Tur geliştirme sezgiselleri, Lenstra ve Rinnoykan'ın seyyar satıcı problemi (SSP) sezgiseline dayanır [38].
- İki aşamalı metotların: Birinci aşamasında, düğümler araçlara kapasiteyi aşmayacak şekilde atanır. İkinci aşamada ise her bir araç için SSP sezgiselleri kullanılarak rota oluşturulur. Önce gruplama, sonra rotalama tipindeki algoritmalar, iki aşamalı metotlara örnek olarak verilebilir. Gillet ve Miller'in geliştirdikleri süpürme (Sweep) algoritması, Fisher ve Jaikumar'ın geliştirdikleri algoritma, iki aşamalı algoritmalara örnek olarak verilebilir [39,40].

Çizelge 3.1. Sezgisel algoritmaların karşılaştırılması [41]

Yöntem	Çözüm Kalitesi	Hız	Basitlik	Esneklik
Clarke ve Wright Tasarruf Alg.	Düşük	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Düşük
Eşleme Tabanlı Metotlar	Yüksek	Çok Düşük	Düşük	Düşük
Süpürme Yöntemi	Düşük	Orta Yüksek	Yüksek	Düşük
1-Taç Yapağı Yöntemi	Düşük	Yüksek	Orta	Orta
2-Taç Yapağı Yöntemi	Orta	Orta	Orta	Orta
Fisher ve Jaikumar Atama Tabanlı Yöntemi	-	Orta	Düşük	Düşük
Bramel ve Simichi-Levi Lokasyon Tabanlı Alg.	Orta	Düşük	Düşük	Düşük

3.2.2. Meta-sezgisel algoritmalar

Literatürde ilk defa 1986 senesinde Glover tarafından kullanılan “metasezgisel” terimi, Yunancada “daha ilerisi, üst derecede olanı, daha modern” anlamına gelen “meta” öneki ile ingilizcede “sezgisel, buluşsal” anlamına gelen “heuristic” kelimesinin birleşiminden oluşmuştur. “Heuristic” kelimesi ise Arsimet’in ünlü “eureka!” (buldum!) sözünden türetilmiştir. Literatürde “metasezgisel” kavramı, “modern sezgisel” veya “yapay zeka yaklaşımı” olarak da geçmektedir [35].

Bütünleşik en iyileme problemleri çözüm yaklaşımlarından birisi, problemin bütün mümkün çözümlerinin sıralanması ve en iyi olanın çözüm olarak belirlenmesidir. Teorik olarak bir problemi bu şekilde tamamen bu sıralama yaklaşımıyla çözmek mümkündür. Ancak pratikte çözüm uzayının çok büyük olması, bunu genellikle mümkün kılmamaktadır. Bunun için günümüzde yeni çözüm şekillerinin ortaya çıktığı görülmektedir. Bu tekniklere örnek olarak; tabu arama, genetik algoritma ve tavlama benzetimi algoritmalarını gösterebiliriz. Bu algoritmaların kullanımının son yıllarda artmıştır. Bu yaklaşımların ortak özelliği, en iyi yerine genellikle en iyiye yakın çözüme ve göreceli olarak daha kolay ulaşımı sağlamalarıdır [5].

Çizelge 3.2. Meta - Sezgisel algoritmaların karşılaştırılması [41]

Yöntem	Çözüm Kalitesi	Hız	Basitlik	Esneklik
Tabu Arama	Yüksek	Orta	Orta	Yüksek
Taillard Yöntemi	Çok Yüksek	Düşük	Orta-Düşük	Yüksek
Adapteli Hafıza	Çok Yüksek	Düşük	Orta-Düşük	Yüksek
Tanecikli Tabu Arama	Yüksek	Orta	Orta	Yüksek
Birleşmiş Tabu Arama Algoritması	Yüksek	Orta	Orta	Yüksek

Bu tez çalışmasında uygulama problemini çözebilmek için optimum çözüm algoritmalarından tamsayılı doğrusal programlama yöntemi kullanılmıştır. Problem, rotaların durumuna göre açık uçlu araç rotalama problemi (AUARP) sınıfına girmektedir.

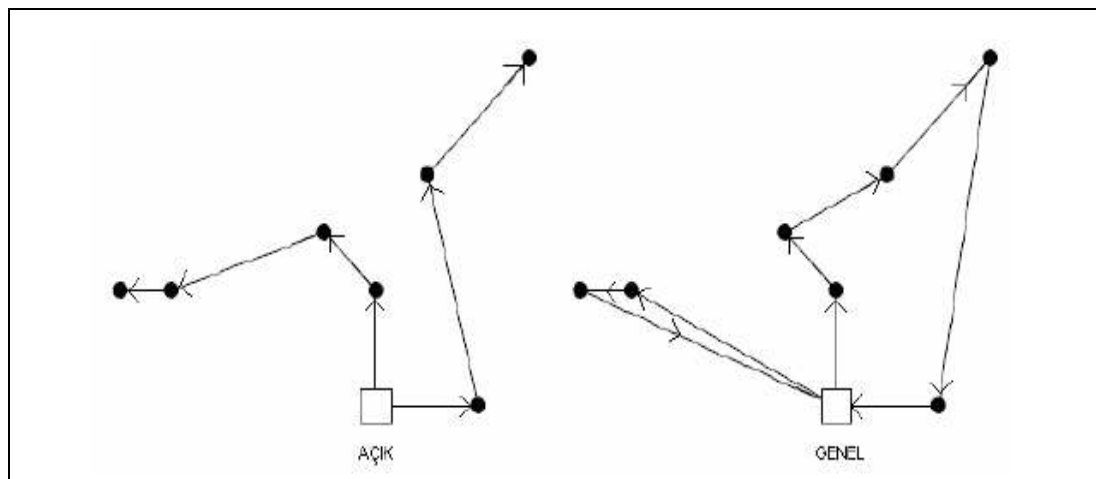
4. AÇIK UÇLU ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ (AUARP)

4.1. AUARP

Açık uçlu araç rotalama probleminde (AUARP), araçlar klasik araç rotalama probleminde olduğu gibi, son servis noktasından sonra depoya dönmezler. Bu tip problemlerde, rotalar merkez depo ile başlamakta, talep noktası ile sona ermektedir. Araç rotalama probleminin bu türü literatürde yaklaşık yirmi yıl öncesinde görülmesine rağmen, ancak son yıllarda araştırmacıların dikkatini çekmiştir [28,42].

AUARP genellikle araçların kiralandığı sistemlere uygundur. Araca sadece gidiş için para ödenir. Kiralanan aracın son gidiş noktasından sonra nereye gideceği, kiralayan tarafından dikkate alınmaz ve dönüş planlaması yapılmaz. AUARP' nin gerçek hayatta uygulanabilirliğinin fazla olmasına rağmen, literatürde bu konuda fazla çalışmanın yapılmadığı görülmüştür.

Bir başlangıç depo noktasından, dağıtım yapılacak noktalara bırakılacak mallar veya personel, araca yüklenir ve belirlenen sırada noktalara uğranılır. Aracın son uğranılan noktada kalacağı varsayılır. AUARP modeli ile genel ARP modeli arasındaki fark Şekil 3' de gösterilmektedir [5].



Şekil 4.1. Açık uçlu ve genel ARP örnek şekilleri [5]

Klasik ARP’ de, bir depodan başlayarak aynı depoya dönen ve homojen kapasiteli araçlar söz konusudur ve amaç tüm servis noktalarına servis götürmek ve toplam gidilen mesafenin en küçüklenmesidir. Her araç belirli bir kapasiteye sahiptir ve bazı durumlarda rota uzunluğu kısıtı, maksimum gidilen mesafeyi kısıtlayabilir. Her müşteri belirli ve bilinen bir ihtiyaca sahiptir ve bir araç tarafından sadece bir kere ziyaret edilerek ihtiyacı karşılanır. Her araç depodan ayrılır ve tekrar depoya döner [42].

AUARP’ de, araçlar rotanın sonundaki son müşteriye ziyaret ettikten sonra depo noktasına dönmezler. AUARP üzerindeki her bir rota, ziyaret edilen müşterilerden oluşan bir “hamilton yolu” dur (“hamilton yolu” müşteri setindeki her müşterinin sadece bir kez ziyaret edildiği yoldur). Ayrıca, bütün müşterilere servis yapmak için gerekli en az araç sayısı da bulunmalıdır [42].

Graph teori açısından AUARP ile normal ARP arasındaki fark, AUARP’ deki rotaların kapalı hamilton dairelerinden değil de, hamilton yolundan oluşmasıdır. Problem belirli bir müşteri kümesi için en iyi hamilton yolunun bulunmasıdır. AUARP problemi NP-zor tipinde bir problemdir [43].

4.2. AUARP Literatür

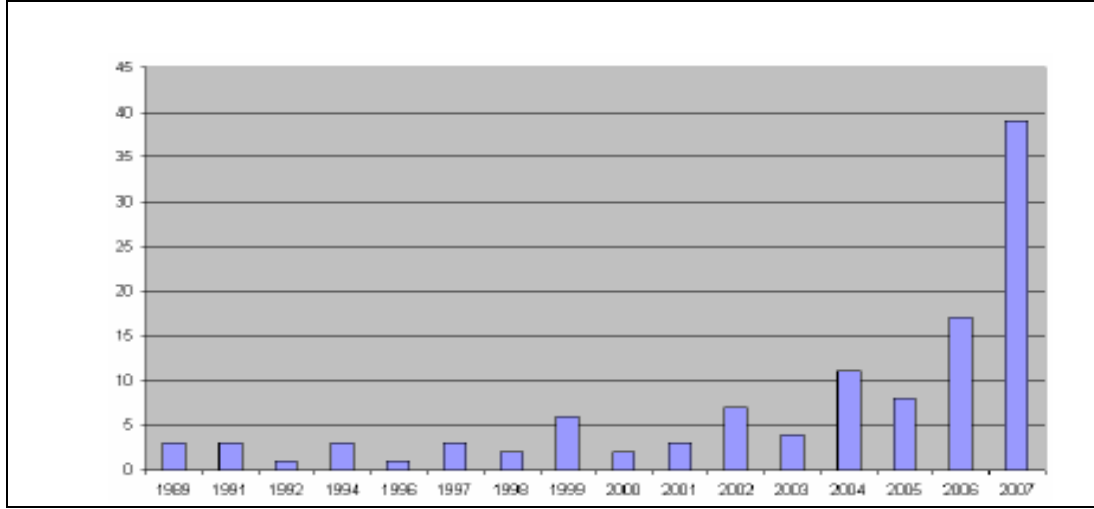
Taşıt rotalama konusu 1950’li yıllarda bilim adamlarının ilgi alanına girmeye başladığı gözlenmiştir. 1970’li yılların başında ortaya çıkan petrol krizine karşın taşımacılıkta hızlı gelişmeler kaydedilmesi, bu konuda yapılan çalışmalara yoğunluk kazandırmıştır. 1980’li yıllarda ekonomik sorunların yanı sıra, işletmeleri arasında giderek artan kırııcı bir rekabet ortaya çıkmıştır. Günümüzde düşük maliyetlerle daha çok ve daha iyi ulaştırma hizmetlerinin sağlanabilmesi, işletmecileri yakından ilgilendirmektedir [35].

AUARP’ nin literatürüne geçmeden önce, ARP’ nin genel tarihi gelişimini özetlersek Çizelge 4.1 oluşturulabilir. [28]

Çizelge 4.1 ARP' nin kısa tarihçesi

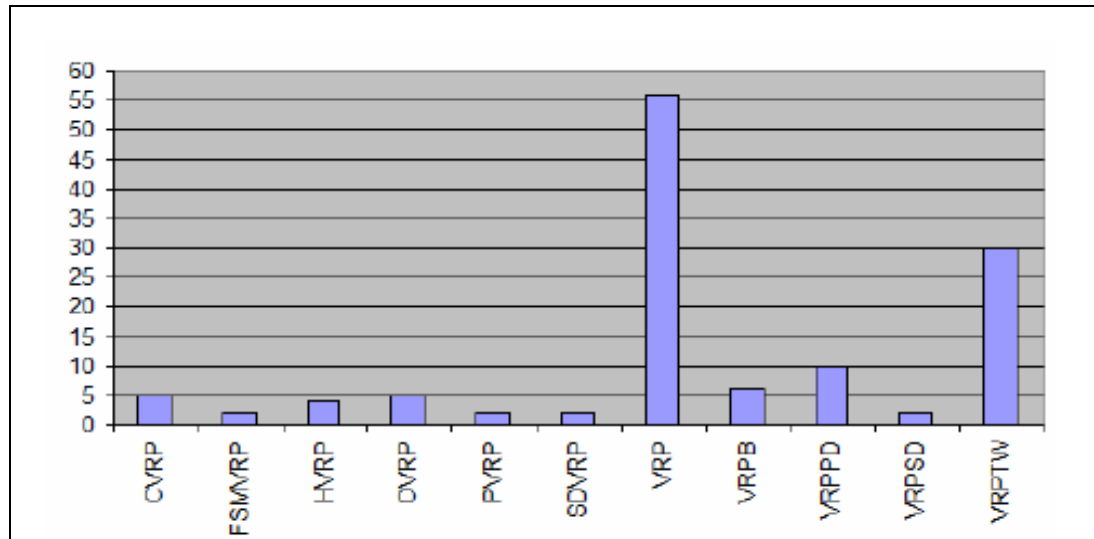
ARP'nin Kısa Tarihçesi	
1950'ler:	ARP tamsayıli programlama olarak formüle edilmiş ve 10-20 müşteriili küçük problemler çözülmüştür [28].
1960'lar:	Rota kurma sezgiselleri sunulmuş ve 30-100 müşteriili problemler çözülmüştür [28].
1970'ler:	İki fazlı sezgiseller, enteraktif (insan-makine) sezgiseller geliştirilmiş, yaklaşık 50 müşteriili problemler optimal metotlarla çözülebilir hale gelmiştir [28].
1980'ler:	Matematiksel programlama esaslı prosedürler literatüre sunulmuştur. Etkileşimli (enteraktif: insan-makine) sezgiseller geliştirilmiştir. [28]
1990'lar:	Araç rotalama problemlerine metasezgiseller uygulanmıştır. 50 100 müşteriye sahip bazı problemler optimal olarak çözülmüştür.[28]
2000'ler	Daha çok sezgiseller ve meta sezgisellere yönelinmiştir ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerle çok boyutlu problemler çözülebilmektedir.

ARP hakkında literatür çalışması yapan Tüfekçier, Kasım 2008 de yayınlanan çalışmasında, 1989 yılından başlayarak, yaklaşık 125 makale temel alarak yaptığı ARP literatür araştırması sonucunda, ARP ile ilgili çalışmaların son yıllarda artış gösterdiği görülmektedir. Şekil 4.2. yayınların yıl temelinde dağılımını göstermektedir [5].



Şekil 4.2. ARP ile ilgili yayınların yıl temelinde dağılımı [5].

Şekil 4.3. hangi tür ARP çalışmalarının daha ağırlıklı olduğu konusunda fikir vermektedir. En fazla çalışmanın, genel ARP (VRP) ve zaman pencereyi araç rotalama problemleri ZPARP (VRPTW) üzerine yapıldığı görülmüştür. Dağıtım toplamalı DTARP (VRPPD), kapasiteli KARP (CVRP) ve açık uçlu araç rotalama problemleri AUARP (OVRP) üzerine yapılan çalışmalar da son dönemlerde öne çıkmaktadır [5].



Şekil 4.3. ARP'nin türlerinin literatürdeki yayın sayısı dağılımı [5].

AUARP (OVRP) konusu üzerinde az çalışma yapıldığı Şekil 4.3.'den açıkça görülebilmektedir. Oysa gerçek hayatta, günümüzde daha yaygın karşılaşılmaya başlanmıştır. Özellikle lojistik konusundaki gelişmeler ile firmaların kullandıkları araçları kiralama yoluna gitmeleri ve araçların depoya dönme zorunluluklarının olmaması ve dış kaynak kullanımının artması, açık uçlu araç rotalama çalışmalarını yaygınlaştırmıştır. AUARP ile ilgili çalışmaların daha çok son yıllarda gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu az sayıda olan çalışmalar incelendiğinde, çoğunlukla sezgisel algoritmalar, karınca kolonisi ve tabu arama gibi çözüm yöntemlerinin kullanıldığı görülmüştür.

AUARP'yi ilk tanımlayanlardan Schrage bir yayınında ARP' nin pratikteki anahtar özelliklerini şöyle sınıflamaya çalışmıştır [42].

“Bir aracı en az şu 3 özelliğiyle tanımlayabiliriz: aracın (çok boyutlu) kapasitesi, fiyat oranı, açık veya kapalı rota izlemesi, kapalı rotada, araç başladığı noktaya döner. Açık rotada başladığı noktaya dönmek zorunda değildir. Örnek olarak, Kargo araçlarının özel araçlara göre kilometre başına maliyeti daha fazladır, fakat kapalı rotadan ziyade, açık rota izlerler. Bir şehirde deposu olan hava ekspres kargo şirketi, uçakları sabahları belli bir rotayı izleyerek dağıtım yaparlar ve akşamda, aynı rotayı izleyerek kargoları toplayıp depoya dönerler. Böylece açık rotalarla kargo işi, etkili bir şekilde tanımlanır.”

1980'lerin başından 1990'ların sonuna kadar AUARP çok fazla ilgi çekmemiştir. Fakat 2000 den sonra birçok araştırmacı AUARP çözümünde tabu arama ve deterministik tavlama yöntemini başarıyla uygulamışlardır [42].

AUARP gazete dağıtım probleminde de karşımıza çıkmaktadır. Levy, 2005 yılında yaptığı çalışmada, gazete şirketi bir kargo firmasıyla dağıtım işi için sözleşme yapar. Gazete şirketi sadece son dağıtım noktasına kadarki dağıtım rotasıyla ilgilenir. Son dağıtım noktasından sonra, kargo aracının gideceği mesafe için herhangi bir ücret ödenmez [42].

AUARP ile ilgili yapılan çalışmalara, Repoussis ve arkadaşlarının oluşturduğu web tabanlı gerçek hayat AUARP karar destek sistemi örnek olarak verilebilir [44].

Bodin ve arkadaşları AUARP tanımını FedEx kargo firmasının uçaklarına açık uçlu rotalar üreterek yapmıştır. Bir uçak Memphis'ten ayrılır. Birçok şehre teslimat yapar ve Memphis'e geri dönmez, Uçak son teslimat şehrinde bekler ve oradan kargoları toplayarak geri döner. Bodin ve arkadaşları, Clarke ve Wright algoritmasının FedEx kargo firmasının uçakları için açık uçlu rotalar üreten bir varyasyonunu tanımlamıştır. Halen, FedEx Amerika'da yerleşik müşterileri için eve teslim servisinde açık uçlu rotalar kullanmaktadır. FedEx, kuryelerle kontrat yapar ve kuryelerin araçları her sabah FedEx deposuna gelirler, paketleri yüklerler ve dağıtım yaparlar. Araçlar ve kuryeler dağıtım gününün sonunda, son dağıtım noktasından sonra FedEx deposuna dönmezler [42].

Sariklis ve Powell önce kümele, sonra rotala algoritmasını geliştirmiştir. Ceza yöntemini ve en az yayılan ağaç yöntemini kullanmıştır. Bu sezgisel algoritmanın ilk kısmında, müşteri kümeleri belirlenmiş ve bu oluşturulan kümelerden, en az yayılan ağaç yöntemiyle rotalar oluşturulmuştur [45].

Brandao AUARP' yi çözmek için tabu arama metodunu kullanmıştır. Önce başlangıç çözümü elde etmek için en yakın komşuluk sezgiselinden ve k-tree metodundan faydalanmış ve başlangıç çözümünü tabu arama metodunu kullanarak geliştirmiştir. Algoritmasının performansını diğer sezgisel metotlarla karşılaştırmıştır [46].

Tarantilis, Diakoulaki ve Kiranoudis yaptıkları çalışmada, bir araç rotalama karar destek sistemini tanıtmışlar ve bu karar destek sisteminde AUARP' yi çözmek için bir algoritma önermişlerdir. Bu algoritmaya, BoneRoute metasezgisel metodu adını vermişlerdir. Geliştirilen bu metasezgisel metot, adapteli hafıza tekniği bazlı bir yaklaşımdır [47].

Tarantilis ve arkadaşlarının geliştirdiği iki algoritma daha vardır. Bunlar geri takipli, adapteli, eşik kabullü ve liste tabanlı, adapteli, eşik kabullü algoritmalarıdır. Bu algoritmalarda; amaç fonksiyonunun miktarının izin verilen üst değeri olarak kabul edilen eşik değer T , benzetimli tavlamanın deterministik bir değişkenidir. (dik hareketler yapılabilir). Geri takip algoritmasında, arama sırasında T ' nin büyümesine

izin verilir. Liste tabanlı algoritmada, bir T değerleri listesi arama sırasında kullanılır. Araştırmacılar yerel arama yaparken, two-opt (ikili değiştirme) hareketini kullanır. 1-1 değişim (farklı veya aynı rotalardaki iki müşterinin karşılıklı yerlerini değiştirme) ve 1-0 değiştirmeler (bir müşteriyi aynı rotadaki veya farklı rotadaki değişik bir pozisyona taşıma) yaparlar [42].

Fu, Eglese ve Li yaptıkları çalışmada, AUARP' yi çözmek için geliştirdikleri yeni tabu arama sezgisel metodunu tanıtmışlardır. Çalışmada araç kapasitesi ve rota uzunluğu kısıtlarını kullanmışlardır. Başlangıç çözümü için “en uzaktaki en önce” metodu kullanılmıştır ve algoritmanın etkinliğini literatürdeki diğer sezgisel algoritmalarla karşılaştırmışlardır [48].

Psinger ve Ropke AUARP' nin de içinde bulunduğu ARP türlerinden 5 tanesi için kullanılabilen bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Bu algoritma, Slaw tarafından geliştirilen geniş komşuluk arama algoritmasının biraz gelişmiş bir hali olan, adapteli geniş komşuluk arama algoritmasıdır. Çalışmayı, geliştirilen algoritmayı 5 ayrı ARP türü içinde karşılaştırma testleri yapılarak sonlandırmışlardır [40].

Li, Golden ve Wasil yaptıkları çalışmada, AUARP için geliştirilen algoritmaları incelemişler, Dueck tarafından geliştirilen ve tavlama benzetiminin deterministik bir türü olan “kayıttan kayıda” algoritmasını baz alarak “açık kayıttan kayıda” algoritmasını geliştirmişler ve bu algoritmayı tanıtmışlardır. Başlangıç çözümünü süpürme algoritmasıyla elde etmişlerdir. 2006 yılında yayınlanan makalede, geliştirdikleri algoritmayı o zamana kadar geliştirilen diğer sezgisel metotlarla kıyaslamışlardır ve yaptıkları testlerin sonucunda, kendi algoritmalarının diğer algoritmalarından daha iyi sonuç veren bir algoritma olduğunu savunmaktadırlar [42].

Fleszar, Osman ve Hindi AUARP çözümü için geliştirdikleri, değişken komşuluk arama sezgisel algoritmasını tanıtmışlardır. Başlangıç çözümünü en uygun azalan talep algoritmasıyla elde etmişlerdir ve yaptıkları testlerle algoritmalarını, çözüm kalitesi açısından en performanslı sezgisel algoritmalarla kıyaslamışlardır [43].

Repoussis, Trantilis ve arkadaşları AUARP' yi çözmek için hibrit bir strateji geliştirmişler ve problemi aşamalar halinde çözmeye çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada yerel arama ve tabu arama metotlarından da faydalanmışlardır [44].

Li ve Tian AUARP' yi çözmek için yeni bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Bu algortmada, karınca kolonisi metodunu yerel arama metoduyla birleştirmişlerdir. Ayrıca algortmada, çözümü iyileştirmek için bir post-optimizasyon sürecinden de yararlanmışlardır. Yaptıkları testlerle bu algoritmanın AUARP' yi çözmek için kullanılabileceğini göstermişlerdir [49].

Russel, Chiang ve Zepeda; 2008 yılında yayınlanan çalışmalarında, gazete üretim ve basımhaneden ana dağıtım noktalarına dağıtım işini koordine ve senkronize etmek için etkin bir metasezgisel çözüm metodolojisini tanıtmışlardır. Tanıttıkları bu metodoloji ile bir şehirdeki gerçek hayat gazete dağıtım problemini çözmüşlerdir. Yaptıkları çalışmada, zaman pencereli ve bölge kısıtlı araç rotalama problemi ile ilgilenmişlerdir. Bu çalışma, gazete dağıtım işi için yapılacak diğer çalışmalara örnek oluşturabilecek niteliktedir [50].

Tüfekçier, tez çalışmasında, iki amaçlı ARP için bir çözüm yaklaşımı sunmuştur. Bu tez çalışmasında, ürünlerin dağıtımını kiraladığı araçlar ile gerçekleştiren bir işletmenin araç rotalarının, en az sayıda araç kullanılarak ve toplam kat edilen mesafeyi de en küçükleyerek belirlenmesi hedeflenmiştir. Problemi çözmek için genetik algoritma geliştirmiştir. Geliştirdiği algoritmayı Microsoft Excel ve Visual Basic kullanarak kodlamıştır [5].

Tarantilis ve Kiranoudis, Atina şehrinde gerçek hayat taze et dağıtım problemiyle ilgilenmişlerdir ve yaptıkları çalışmada, çok depolu AUARP' yi çözmüşlerdir. Ele alınan problem için liste tabanlı eşik kabullü algoritma geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri algoritma ile oldukça iyi sonuçlara ulaşmışlardır [51].

Hu, Wang, Huang, Zeng, gıda dağıtım karar işini, toptancılar açısından ele almıştır. Beijing'de özel bir firma'nın dağıtım ihtiyaçları karşılanmaya çalışılmıştır. İki

aşamalı çözüm prosedürü kullanılmıştır. Sezgisel metotlar ve doğrusal programlama birleştirilmiştir. Maliyeti minimize ederek, değişen ihtiyaçlara göre rota alternatifleri üretmek amaçlanmıştır [52].

Chiang, Russell, Xu ve Zepeda gazate üretimi ve dağıtımının bütünleşik lojistiği üzerine çalışmışlar ve bu problem için simülasyon ve meta sezgisel metotlardan faydalanmışlardır. Yaptıkları çalışmada, sadece rotalama değil, aynı zamanda çizelgeleme problemlerinin çözümünü de sağlamışlardır. Rotalama çalışmalarında zaman pencereli ve bölge kısıtlı AUARP' yi çözmek için çalışma yapmışlardır [53].

Zachariadis ve Kiranoudis'in çalışmasında, AUARP' yi çözmek için bir meta sezgisel çözüm metodu önerilerek, geniş çözüm komşulukları analiz etmek için yenilikçi bir yerel arama prosedürü geliştirmek amaçlanmıştır. Bu çözüm metodu ile rotaların ve aynı zamanda maliyetlerin minimize edilmesi sağlanmaktadır [54].

Erbao ve Mingyong çalışmalarında, belirsiz talepli AUARP' yi ele almışlardır. Belirsiz güvenilirlik teori tabanlı, belirsiz değişken kısıtlı program modeli oluşturulmuş ve problemi çözmek için istatistiksel simülasyon ve geliştirilmiş farklılık değerlendirme algoritması entegre edilerek oluşturulan hibrit zeka algoritması kullanılmıştır. Problemden rota uzunluğunun minimizasyonuna odaklanılmıştır [55].

Demir, tez çalışmasında, okul araç rotalama problemi üzerine çalışılmış. Tez kapsamında, probleme karşılık gelen serimin simetrik olamayacağı göz önüne alınmıştır ve modelleme sabah (toplama) ve öğlen (dağıtım) olmak üzere iki alt başlıkta incelenmiştir. Tez çalışmasında, problemin çözümü için polinom boyutta yeni geliştirilen ikisi düğüm tabanlı, ikisi akış tabanlı dört tamsayılı karar modeli tanıtılmıştır. Literatürdeki problemler ve rassal olarak üretilen problemler dört modelle de çözdürülmüş, çözüm süreleri ve doğrusal programlama gevşetilmiş değerleri üzerinden karşılaştırmalı analizler yapılmıştır [56].

Özkan, Türkiye'nin önde gelen bir lojistik firmasının dağıtım problemini incelemiştir. Çalışmasında, lojistik yönetimi ile ilgili birçok konuyu derinlemesine incelenmiştir. Ayrıca araç rotalama yazılımları da incelenerek, ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Araç rotalama ile ilgili teknolojik gereksinimlerden bahsedilmiş ve birçok kavram açıklanmıştır. İncelenen lojistik firmasındaki dağıtım faaliyetlerini gerçekleştirebilmek için doğrusal bir model kurulmuş ve bu model sistemin optimize edilmesinde kullanılmıştır [6].

Letchford, Lysgaard ve Eglese AUARP' yi çözmek için kesin yöntemlerden yararlanmak istemiş ve kapasiteli AUARP için bir dal kesme algoritması geliştirmişlerdir. Bu algoritma AUARP için ilk tam optimizasyon algoritması niteliğini taşımaktadır. Bu çalışmada kapasiteli AUARP' nin, gerçekte KARP' nin küçük değişikliklerle başka bir versiyonu olduğu gösterilmiştir. Küçük ve orta ölçekli AUARP için sonuç üretilbildiği gösterilmiş ve aynı zamanda AUARP ve klasik ARP arasındaki, çözüme ulaşma açısından zorluklar tartışılmıştır [57].

Aksen, Özyurt ve Aras, çalışmalarında AUARP' nin bir türü olan, sürücü noktalı AUARP ile ilgilenmişlerdir. Bu çalışmada, araçlar depodan çıkar ve servis noktalarına uğradıktan sonra sürücüler için önceden belirlenmiş olan rota bitiş noktalarına ulaşırlar. Bitiş noktaları sürücülerin evi veya aracın gece boyunca kalacağı park noktası olabilir. Araştırmacılar bu problem için kesin çözüm yöntemi araştırmış ve bu problemin çözümü için tamsayılı programlama modeli ortaya koymuşlardır. Ayrıca gerçek hayat problemlerini çözebilmek için bir tabu-arama algoritması geliştirmişler ve çeşitli problemler üzerinde algoritmanın performansını denemişlerdir [58].

Bektaş, T. ve Elmastaş S. 2007 yılında, yayınlanan makalesinde okul araç rotalama problemini konu almıştır. Araç rotalama problemini doğrusal programlama modeli kurarak çözmüşlerdir. Oluşturdukları matematiksel model, kapasite ve rota uzunluğu kısıtlı AUARP' dir. Araştırmacıların ilgilendiği problemde 29 tane düğüm noktası vardır. Bu duraklara depo noktası ve modellerinde tanımladıkları sanal “d” noktasıda

eklenince uzaklık matrisi 31X31'lik hale gelmiştir ve problemi optimum çözebilmişlerdir [59].

Uygulama kısmında ele aldığımız problemle aynı özelliklere sahip olduğu için bu model, ayrıntılı olarak incelenmiştir

4.2.1 Bektaş ve Elmastaş modeli

Bektaş ve Elmastaş tarafından önerilen tamsayılı karar modelinde, araç rotalama problemi, V düğüm seti ve A ayrıt setini gösteren bir $G = (V, A)$ simetrik uzaklık serimi üzerinde, verilen bir başlangıç noktası (0. düğüm) ve bir bitiş noktası arasında tüm düğümlerin herhangi bir araç tarafından sadece bir defa ziyaret edildiği ve bu uzaklık serimine bir sanal $\{d\}$ noktası eklenerek her aracın en son bu noktaya uğramasının sağlandığı ($V' = V \cup \{d\}$) ve mümkün olan minimum maliyetli turların bulunması problemi olarak modellenmiştir. Personelin bulunduğu düğümler ara düğümler olarak isimlendirilmiş, bu düğümler kümesi I ile gösterilmiştir. Karar modelinde kullanılan kümeler, parametre ve karar değişkenleri aşağıdadır:

Problemdeki kümeler

I : Toplama-bırakma bölgeleri (orta noktalar)

"0" : Batıkent servisleri ayrılma noktası

"d" : Sanal nokta

$V = \{0\} \cup I$

$V' = \{d\} \cup V$

Parametreler

Q : Her bir aracın (ortak) kapasitesi (kişi)

q_i : i . düğümde alınması ya da bırakılması gereken kişi sayısı ($i \in I$)

f : Bir aracının dağıtım veya toplama için maliyeti (TL)

T : Bir aracın kat edebileceği en büyük uzaklık (m)

$$d'_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{Eğer } i \in I \text{ ve } j = d \\ M, & \text{Eğer } i \in 0 \text{ ve } j = d \\ d_{i,j} & \text{d.d} \end{cases}$$

d_{ij} : i ve j noktaları arasındaki uzaklık ($i \neq j, i, j \in V$)

α : Birim uzaklık maliyeti

c_{ij} : İki nokta arası maliyet ($c_{ij} = \alpha * d_{ij}$); ($i \neq j, i, j \in V$)

Karar değişkenleri

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer servis aracı } i \text{ düğümünden } j \text{ düğümüne giderse} \\ 0, & \text{d.d} \end{cases}$$

u_i : i . düğümünden çıkışta araçta bulunan kişi sayısı ($i \in I$)

v_i : i . düğüme kadar gelen aracın başlangıç noktasından itibaren kat ettiği toplam mesafe ($i \in I$)

k : Servis sayısı

Verilen tanımlamalara göre problem için Bektaş ve Elmastaş tamsayılı karar modeli aşağıdaki gibidir.

$$\text{Minimize } \sum_{i \in V'} \sum_{j \in V'} c_{ij} x_{ij} + f.k \quad (1)$$

Kısıtlar :

$$\sum_{i \in I} x_{0i} \leq k \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} x_{id} \leq k \quad (3)$$

$$\sum_{j \in I \cup \{d\}} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I \cup \{0\}} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in I \quad (5)$$

$$u_i - u_j + Qx_{ij} + (Q - q_i - q_j)x_{ij} \leq Q - q_j \quad \forall i \neq j \in I \quad (6)$$

$$u_i \geq q_i \quad \forall i \in I \quad (7)$$

$$u_i - q_i x_{0i} + Qx_{0i} \leq Q \quad \forall i \in I \quad (8)$$

$$v_i - v_j + (T - d_{id} - d_{0j} + d_{ij})x_{ij} + (T - d_{id} - d_{0j} - d_{ji})x_{ji} \leq T - d_{id} - d_{0j} \quad \forall i \neq j \in I \quad (9)$$

$$v_i - d_{0i} x_{0i} \geq 0 \quad \forall i \in I \quad (10)$$

$$v_i - d_{0i} x_{0i} + T x_{0i} \leq T \quad \forall i \in I \quad (11)$$

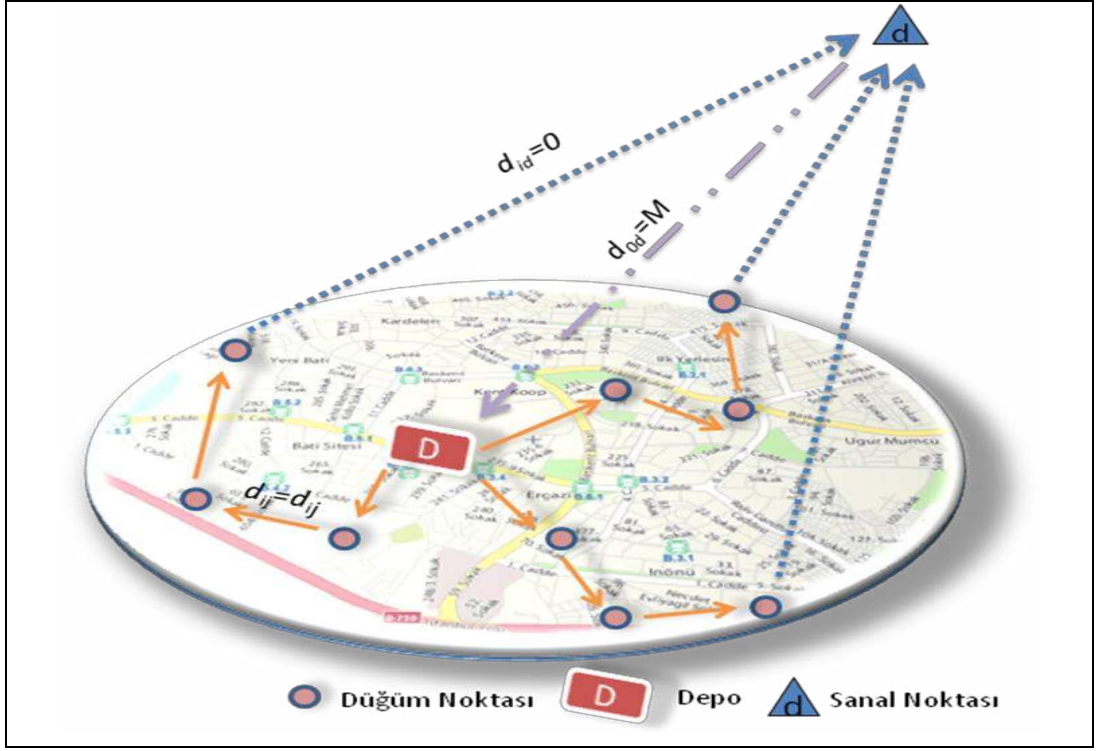
$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V'$$

Modelde tek bir amaç fonksiyonu en iyilenmeye çalışılmıştır. Amaç fonksiyonu ile araçlar için sabit maliyet ve mesafe başına katlanılan maliyet toplamını en küçüklemek amaçlanmıştır. Dikkate alınan kısıtlar ise araçlar için kapasite ve mesafe kısıtıdır.

Karar modelinin amaç fonksiyonu, (1) tüm araçlar tarafında kat edilecek toplam mesafeyi ve toplam araç kullanma maliyetini göstermektedir. Söz konusu modelde (2) ve (3) numaralı kısıtlar, başlangıç (0) düğümünden k tane aracın çıkmasını ve

aynı sayıda aracın bitiş (d) düğümüne girmesini sağlamaktadır. (4) ve (5) numaralı kısıtlar atama kısıtlarıdır ve her ara düğümün sadece bir defa ziyaret edilmesini sağlamaktadır. (6), (7) ve (8) numaralı kısıtlar, kapasiteye ilişkin kısıtlardır. Burada (6) ve (7) no'lu kısıt, Kara vd. (2004) tarafından önerilen kısıtlardır ve (8) no'lu kısıt, Bektaş ve Elmastaş tarafından, okul araç rotalama problemi için özel olarak türetilen kısıttır ve bu 3 kısıt, birlikte herhangi bir rotada bir aracın en fazla kapasitesi kadar personel almasını sağlar. Bu kısıtlar aynı zamanda, problem için uygun olmayan turların (alt turların) oluşumunu da engelleme görevi görürler. (9), (10) ve (11) numaralı kısıtlar, bir araç rotasının uzunluğunun en fazla T olmasını öngörür. Burada (9) no'lu kısıt, Kara ve Bektaş (2005) tarafından geliştirilen metot yardımıyla türetilmiş, (10) ve (11) numaralı kısıtlar ise Bektaş ve Elmastaş tarafından, okul araç rotalama problemi için özel olarak türetilen kısıtlardır [59,60].

Sanal “d” noktası ve rotaların canlandırılmış hali şekil 4.4 de gösterilmiştir. Modeli kapalı forma sokmak için sanal “d” noktası tanımlanmıştır. Araçlar depodan düğüm noktalarına ve düğüm noktaları rotalandıktan sonra sanal “d” noktasına giderek kapalı rotayı tamamlamaktadırlar. Kapalı rota elemanları V' kümesiyle belirlenmiştir ve $V' = V \cup \{d\}$ dir. Rotaların son noktaları sanal “d” noktasına bağlanır. Bütün ara noktalar ($\forall i \neq j \in I$) bir defa ziyaret edilir. Bu eşitlikte açık rota elemanları $V = \{0\} \cup I$ kümesi ile belirtilir. Her düğüm noktasından sanal “d” noktasına uzaklık “0” kabul edilmiş, böylece araçlar açık olarak rotalandıktan hemen sonra sanal “d” noktasına gelmeleri sağlanmış ve sanal “d” noktası ile depo arasındaki uzaklık “M” büyük sayısı olduğu kabul edilerekte araçların depodan çıkarken, gerçek bir düğüm noktası olmayan sanal “d” noktasına gitmemeleri, gerçek düğüm noktalarına gitmeleri sağlanmıştır. Böylece model kapalı ARP yapısında olmasına, yani araçlar depoya geri dönmesine rağmen açık uçlu araç rotalama yapılabilmektedir.



Şekil 4.4. Modelin şekil ile gösterimi

5. UYGULAMA

5.1. Uygulama Problemi

Ankara’da MTA Genel Müdürlüğü, personelinin taşınması için mevcut durumda Batıkent rotası için 18 kişilik ortak kapasiteye sahip kiraladığı 6 araçla, Batıkent semtinin çeşitli yerlerinden, personelin sabahları MTA’ya ve mesai bitiminde evlerine ulaşımını sağlamaktadır. Batıkent yönüne giden tüm araçlar ilk ayrılma noktalarına kadar 8 km mesafeyi beraber kat etmektedir. Günde sabah ve akşam olmak üzere her araç iki sefer yapmaktadır. MTA ve araçları sağlayan firma arasındaki anlaşma gereği her sefer 20 km’yi aşmayacaktır. Taşınacak toplam personel sayısı 83’dür.

Problemin amacı: Batıkent güzergâhında belirli kısıtlar altında servis araçlarının sayısını ve toplam rota uzunluğunu minimuma indirmek, böylece araçların yeni güzergahlarını belirlemektir.

Araç kapasitesi ve fiyatı :

- 18 Koltuk
- 83,00 TL/gün

Problemin kısıtları :

- Araçlar geri gelmek zorunda değildir.
- Toplanan yolcu araç kapasitesini aşamaz.
- Her yolcuya bir araç hizmet verir.
- Her bir araç rotası 20 km’yi aşamaz.
- Rotalar simetriktir.
- Araçlar homojendir.

Mevcut uygulamada, ilk ayrılma noktasından itibaren tüm araçlar tarafından kat edilen toplam mesafe, her sefer taşıma için 35,641 km ve günde iki seferden 71,282 km’dir.

Araçların uğradığı duraklar, kolay görebilmek ve rotalayabilmek açısından coğrafi

bilgi sistemi bilgisayar programında işaretlenmiş ve Harita 5.1’de gösterilmiştir.

Mevcut durumda araçlar MTA’ dan Batıkent ayrılma noktasına (B.0.0) kadar beraber gelmekte ve o noktadan itibaren çeşitli rotalara ayrılmaktadır. MTA ile Batıkent ayrılma noktası arasındaki mesafe 8km’dir. Araçların gittiği rotalar ve duraklar, başlangıç noktası olan B.0.0 noktasından başlayarak artan şekilde numaralandırılarak kodlanmıştır. Her bir rotaya 1 den başlayarak artan numaralar verilmiş ve “B” kodundan hemen sonra yazılmış ve yine her bir rotanın her bir durağına, başlangıç noktasından itibaren 1 den başlayarak artan numaralar verilmiş ve hemen rota kodundan sonra yazılmıştır. Buna göre bir kodlama sistemi geliştirilmiştir. Örnek olarak “B.1.2” noktası Batıkent duraklarından 1. rotanın 2. durağını ifade etmekte, “B.5.1” noktası Batıkent duraklarından 5. rotanın 1. durağını ifade etmektedir. Duraklar ve kodları harita 5.1’de gösterilmiştir.

Mevcut durumda duraklarda inip, binen yolu sayıları belirlenmiş ve çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Mevcut durakların yolcu sayıları

Mevcut durakların yolcu sayıları					
Rotalar	Kod	1. Durak	2. Durak	3. Durak	4. Durak
Kardelen 2	B.1	3	3	6	
Kardelen 1	B.2	5	6	6	
Ergazi 1	B.3	3	3	2	3
Ergazi 2	B.4	5	6	5	
Mesa 1	B.5	8	2	5	
Mesa 2	B.6	4	5	3	

Harita 5.1 incelendiğinde mevcut durumda, bazı duraklara iki veya daha fazla aracın uğrayıp, yolcu indirip bindirdiği görülmüştür. Bu duraklar aslında aynı yerde olmasına rağmen iki ayrı araç uğradığı için iki farklı kod verilmiştir. Çakışan duraklardan biri kırmızı renkte işaretlenmiştir. Problemin çözümü açısından çakışan duraklardan biri silinmiş (kırmızı işaretli duraklar) ve silinen duraktaki yolcular çakıştıkları diğer durak kodlarına (yeşil renkteki duraklara) eklenmiştir.

Harita 5.1’ den de görüldüğü gibi mevcut durumda 4 tane çakışan durak vardır. Bu duraklardan hangilerinin silindiği ve hangilerine yolcuların yüklendiği çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Durak çakışmaları

Durak Çakışmaları		
Silinen durak	Yolcu yüklenen durak	Yüklenen yolcu sayısı
B.1.1	B.6.3	3 kişi
B.1.2	B.2.3	3 kişi
B.3.3	B.6.1	2 kişi
B.4.3	B.5.2	5 kişi

Mevcut durumda çakışan duraklardan çizelge 5.2'e göre yolcular silinip, eklendikten sonra, çözüm için kullanılacak durakların yolcu sayıları belirlenmiş ve çizelge 5.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Çözüme girecek yolcu sayıları

Birleştirilmiş durakların yolcu sayısı					
Rotalar	Kod	1. Durak	2. Durak	3. Durak	4. Durak
Kardelen 2	B.1	0	0	6	
Kardelen 1	B.2	5	6	9	
Ergazi 1	B.3	3	3	0	3
Ergazi 2	B.4	5	6	0	
Mesa 1	B.5	8	7	5	
Mesa 2	B.6	6	5	6	

Çözüme girecek olan durakların gösterimi Harita 5.2'de gösterilmiştir. Mevcut durumda (Harita 5.1) 19 olan durak sayısı çakışmaların birleştirilmesinden sonra 15'e düşmüştür. Harita 5.2'de sadece çözümde kullanılacak depo noktası ve durak (düğüm) noktaları gösterilmiştir. B.0.0 noktası depo noktası olarak tanımlanmıştır ve duraklar yeşil renkli otobüs simgesiyle gösterilmiştir. Haritadaki renkli yollar ve bölgeler sayısal haritanın altlığı olup, bu altlıkta, değişik büyüklükteki yollar, değişik renklerle ifade edilmiştir.

Uzaklık matrisi: Problemin çözümünde kullanılacak uzaklık matrisi, coğrafi bilgi sistemi programı kullanılarak sayısal haritada “en kısa zamana göre yol” yöntemine göre duraklar arası mesafeler hesaplanarak oluşturulmuştur. “en kısa zamana göre yol” yöntemi, gerçek hayatta kullanılan rotalama yöntemidir. Bu yöntemde, sayısal haritada çalışan matematiksel model bir noktadan diğerine giderken önce ana yolları daha sonra kademeli olarak tali yolları seçerek rotaları ve uzaklıkları bulma mantığına dayanır. Sayısal haritada yollar en büyükten en küçüğe doğru numaralandırılmıştır ve büyük yolların hızı, kendinden küçüklerden fazla kabul edilir.

Duraklar arası uzaklık matrisi çizelge 5.4’ te gösterildiği gibidir. Ayrıca çözüm için, matematiksel modeli GAMS programında kodlarken kullanılacak ve durakları gösteren ifadeler olan i1, i2, i3,..., i15 gibi ifadeler, kendilerine karşılık gelen durakların hemen altına il’den başlayarak artan şekilde yerleştirilmiştir. Çalışmada uzaklık matrisi simetrik alınmıştır.

5.2. Problemin Çözümü

Çalışmada rotalama, araçların MTA' dan çıkıp beraber geldikleri ve Batıkent rotasında araçların temel ayrılma noktası olan bölgeden (B.0.0) itibaren yapılmıştır. Problemin boyutu çok fazla büyük olmadığından, önce tam çözüm algoritmalarından doğrusal programlama modeli ile çözümü denemeyi, eğer iyi bir çözüme ulaşılamazsa, sezgisel çözüm yöntemlerine yönelinmesi uygun görülmüştür.

Doğrusal programlama ile çözüm: Problemimizin yapısı gereği, doğrusal programlama modelini seçerken öncelikli amacımız, minimum sayıda araç kullanmak, daha sonra bu araçları toplam uzunluk minimum olacak şekilde ve diğer kısıtlarımız altında rotalayabilecek bir model seçmektir.

Bu amaçlarımızı gerçekleştirebileceğimiz uygun bir doğrusal programlama modeli seçilmiştir. Bu model AUARP literatür araştırması bölümünde bahsedilen Bektaş ve Elmastaş modelidir. Bektaş ve Elmastaş modeli, açık uçlu rotalama yapabilmesi ve toplam mesafeyi minimuma indirebilmesi sebebiyle problemimize uygun bir modeldir ve modelde problemimizi çözmesi için küçük değişiklikler yapılmıştır.

Modelde bulunan sabit maliyet kısmı bizim problemimize uymadığı için amaç fonksiyonundan çıkarılmış, problemin amaç fonksiyonu, minimum toplam rota uzunluğunu bulmak üzere düzenlenmiştir.

Yeni amaç fonksiyonu :
$$\sum_{i \in V'} \sum_{j \in V'} c_{ij} x_{ij}$$

Burada c_{ij} , i ve j noktaları arasındaki uzaklığı belirtir ve x_{ij} , ise i ve j noktaları arasında rotalamanın olup olmamasına karar veren 0 - 1 değişkenidir.

Çalışmada, araç kapasitesi (18 kişi) ve toplam personel sayısı (83kişi) belli olduğu için k araç sayısının en küçük alabileceği değer $83/18= 5$ olarak belirlidir.

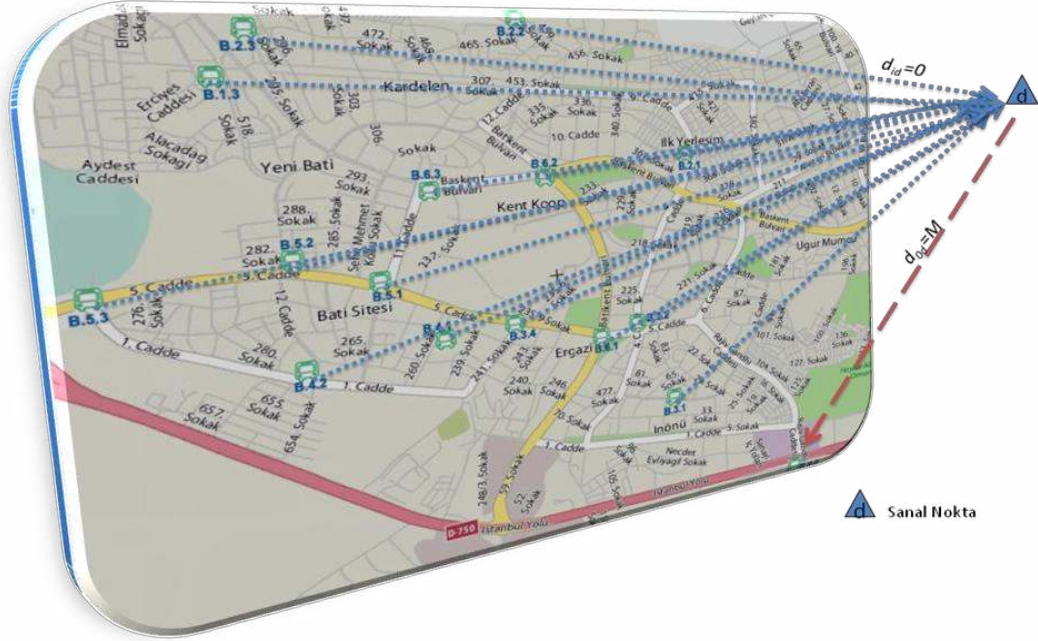
Bu değer modele girdi olarak verilmesi suretiyle çözüm süresi kısaltılabileceği düşünölmüştür. Bu amaçla, k sayısı 5 den başlayarak artan değerler verilmesi ve model çözme denemeleri yapılması düşünölmüştür.

Modelimiz “ k ” notasyonu 5 değerine eşitlenip özöldüğünde, optimum sonuç 8.6 saatte elde edilmiştir. Bu kısıt ile toplam yolcu sayısı ve araç kapasitesi göz önüne alındığında, mümkün olan minimum araç sayısının modelde tanımlanmış ve çözümün nispeten kısa sürmesini, aynı zamanda araç sayısını minimuma indirilmesini sağlayarak, toplam araç maliyetini düşürmek hedeflenmiştir.

Araç sayısının minimuma indirilmesi, Bektaş ve Elmastaş’ın modelinde amaç fonksiyonundaki f araç maliyetine çok yüksek bir değer verilerek de sağlanabileceği düşünölmüştür. Bu amaçla $f = 50000$ alındığında, aynı optimal sonuca 29 saatte ulaşılmıştır. özüm süresinin çok uzaması sebebiyle, “ k ” araç sayısına değerler verilmesi çözüm yöntemi olarak benimsenmiştir.

Matematiksel modele durak noktaları ve sanal “ d ” noktası eklenerek düzenleme yapılmıştır. Sanal “ d ” noktasının ve diğer durakların görüntüsü harita 5.3’ te gösterilmiştir. Haritadan da anlaşılacağı gibi matematiksek model gereği duraklar ile sanal “ d ” noktası arası uzaklık 0 (sıfır) ve sanal “ d ” noktası ile başlangıç noktası (B.0.0) arasındaki uzaklık M büyük sayıdır.

Harita 5.3. Çözüme giren duraklar ve sanal “d” noktası



Problemin çözümü için Bektaş ve Elmastaş modeli yukarıda bahsettiğimiz değişiklikler yapılarak kullanılmış ve problem uzaklık matrisi ile GAMS optimizasyon programında kodlanmıştır ve optimum olarak çözülmüştür. GAMS programının çıktısı ekler bölümünde verilmiştir.

5.3. Problemin Çözümünde Elde Edilen Sonuçlar

Matematiksel model gerekli veriler girilerek AMD Althon™ 64 Processor 3000+ 1,81 GHz 2,25GB Ram özellikli bilgisayarda çalıştırılmış ve en iyi sonuca 30967.74 (8,6 saat) saniyede 43.236 m olarak ulaşmıştır. Model sonucunda 5 ayrı rota bulunmuştur.

GAMS programında matematiksel modeli kodlarken durakları belirtmek için kullanılan i1 ile i15 arası ifadeler kullanılmıştır. Ayrıca i0 başlangıç notası (depo) ve i16 sanal “d” noktası olarak tanımlanmıştır.

GAMS programından elde edilen çözüm matrisinin düzenlenmiş hali çizelge 5.5’te gösterilmiştir.

Çizelge 5.5. Modelin çözümünde varılan sonuçlar

Modelin Çözümünde Varılan Sonuçlar						
Rotalar :	Başlangıç Noktası	1. Durak	2. Durak	3. Durak	4. Durak	5. Durak
1.ROTA	<i>i0</i>	<i>i9</i>	<i>i15</i>	<i>i7</i>	<i>i6</i>	<i>i16</i>
2.ROTA	<i>i0</i>	<i>i10</i>	<i>i8</i>	<i>i5</i>	<i>i16</i>	
3.ROTA	<i>i0</i>	<i>i12</i>	<i>i11</i>	<i>i1</i>	<i>i16</i>	
4.ROTA	<i>i0</i>	<i>i13</i>	<i>i3</i>	<i>i2</i>	<i>i16</i>	
5.ROTA	<i>i0</i>	<i>i14</i>	<i>i4</i>	<i>i16</i>		

GAMS programından elde edilen rotalar çizelge 5.5'te görüldüğü gibi, her bir durağa verilen ve GAMS programı kodlarken kullanılan i0' dan i16' ya kadar olan değerlerden oluşmaktadır. Harita üzerinde rotalama yapabilmek için bu GAMS programı rota çıktısı değerlerine karşılık gelen durak kodlarını belirlemek gerekir. Bu değerlere karşılık gelen durak kodları çizelge 5.4'teki duraklar arası matriste belirtilmiştir. GAMS programının çıktısı olan çizelge 5.5'te ki değerlere karşılık gelen durak kodları çizelge 5.6' te gösterilmiştir ve böylece yeni rotalar oluşturulmuştur.

Çizelge 5.6. Yeni rotaların durak kodlarıyla gösterimi

Yeni Oluşturulan Rotalar						
Rotalar :	Başlangıç Noktası	1. Durak	2. Durak	3. Durak	4. Durak	5. Durak
Noktalar	A	B	C	D	E	
1.ROTA	<i>B.0.0</i>	<i>B.4.2</i>	<i>B.6.3</i>	<i>B.3.4</i>	<i>B.3.2</i>	
2.ROTA	<i>B.0.0</i>	<i>B.5.1</i>	<i>B.4.1</i>	<i>B.3.1</i>		
3.ROTA	<i>B.0.0</i>	<i>B.5.3</i>	<i>B.5.2</i>	<i>B.1.3</i>		
4.ROTA	<i>B.0.0</i>	<i>B.6.1</i>	<i>B.2.2</i>	<i>B.2.1</i>		
5.ROTA	<i>B.0.0</i>	<i>B.6.2</i>	<i>B.2.3</i>			

Çizelge 5.6.' teki her bir rotadaki durak sıralamasına göre tekrar düzenlenen araç rotalarını ve durakları gösteren haritalar oluşturulmuştur.

1. Rota Harita 5.4.' te,
2. Rota Harita 5.5.' te,
3. Rota Harita 5.6.' da,

4. Rota Harita 5.7.' de,
5. Rota Harita 5.8.' de gösterilmiştir.

Bu haritalarda rotalar gösterilirken aracın başlangıç noktasına A, sonraki durağa B ve daha sonra uğrayacağı duraklara C, D, E, gibi harfler verilerek araçların duraklara uğrama sırası belirtilmiştir.

Örnek olarak çizelge 5.6' teki 1. Rota için çizilen Harita 5.3' te

- B.0.0 noktası "A" ile,
- B.4.2 noktası "B" ile,
- B.6.3 noktası "C" ile,
- B.3.4 noktası "D" ile,
- B.3.2 noktası "E" ile gösterilmiştir.

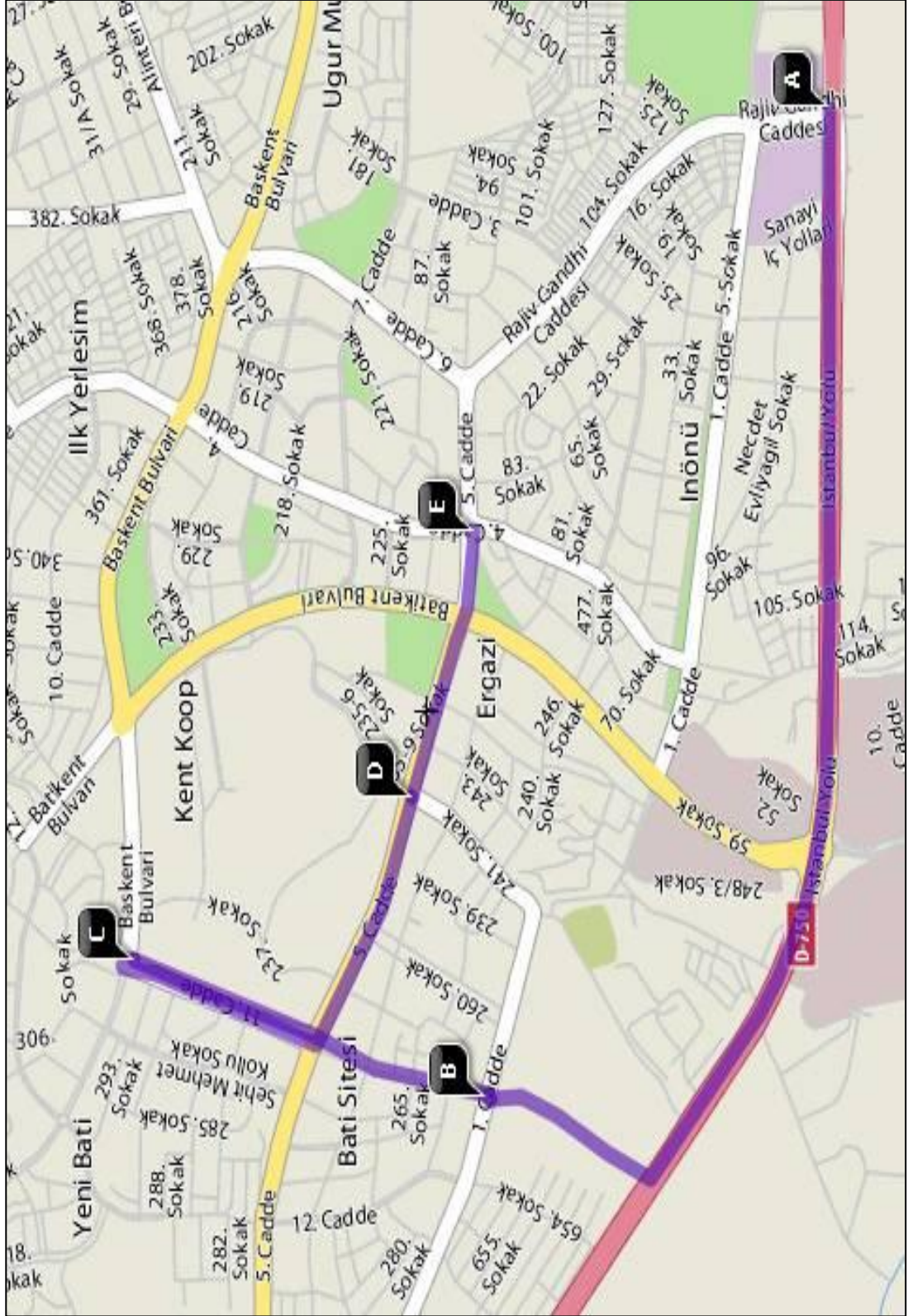
Ve rotalar mor renkte işaretlenerek belirtilmiştir.

Örnek olarak çizelge 5.6.' teki 1. rotada araç

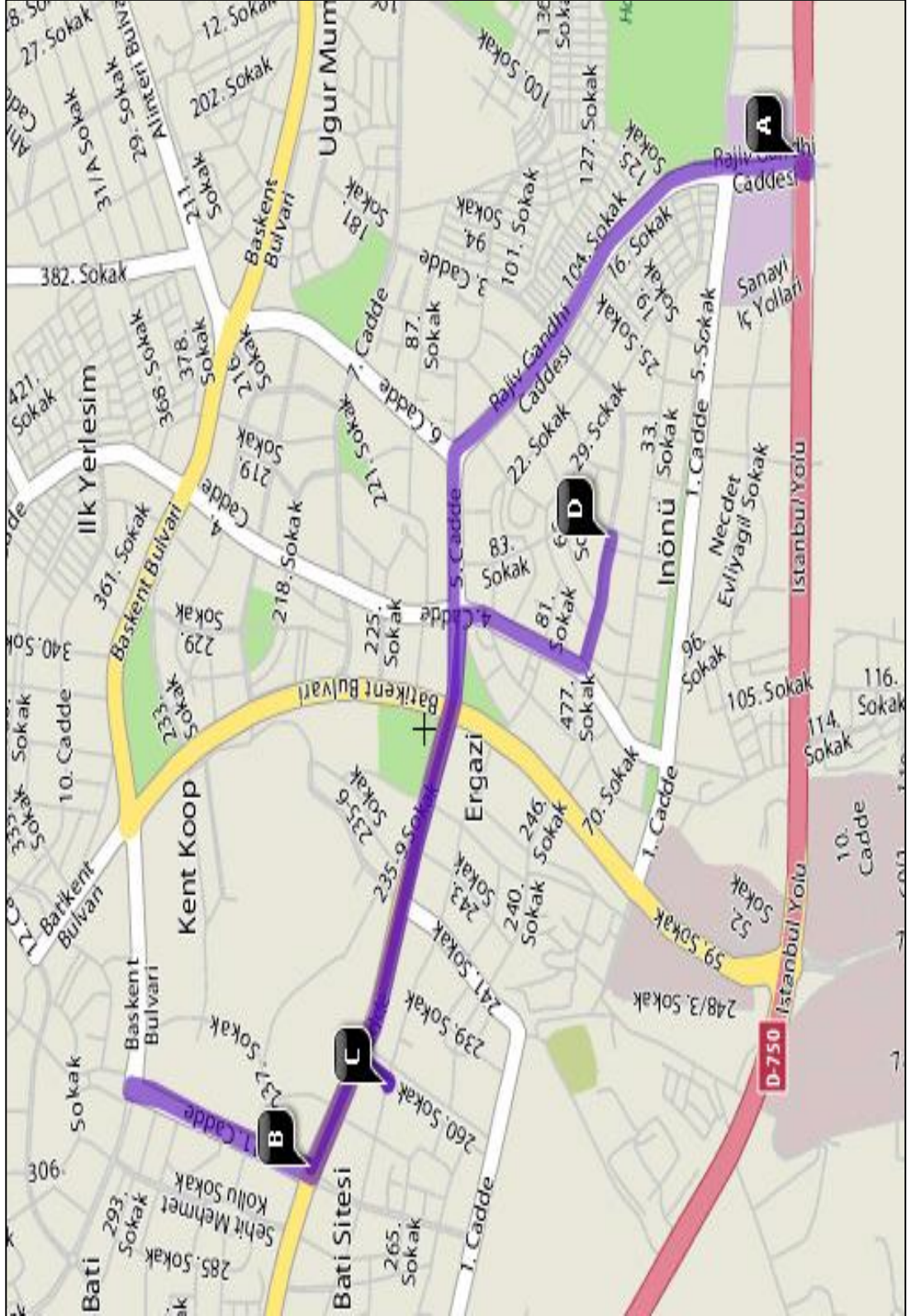


A noktasından başlayarak mor renkli rota çizgisi doğrultusunda önce B sonra C, D ve en son E noktasına uğrayarak rotayı tamamlamaktadır. E noktasına geldiğinde rotalama bitmiştir.

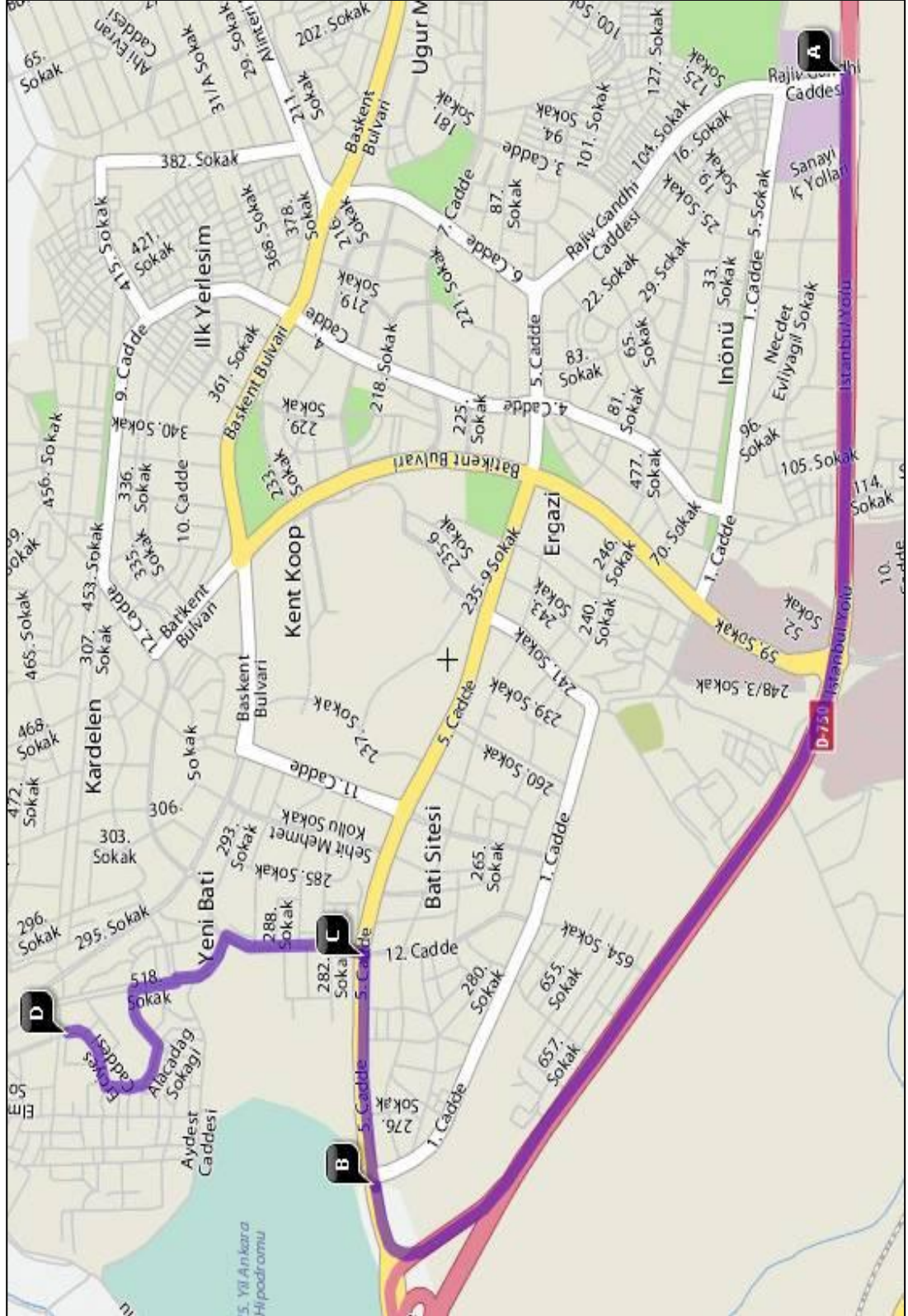
Harita 5.4. Yeni oluşturulan 1. rota



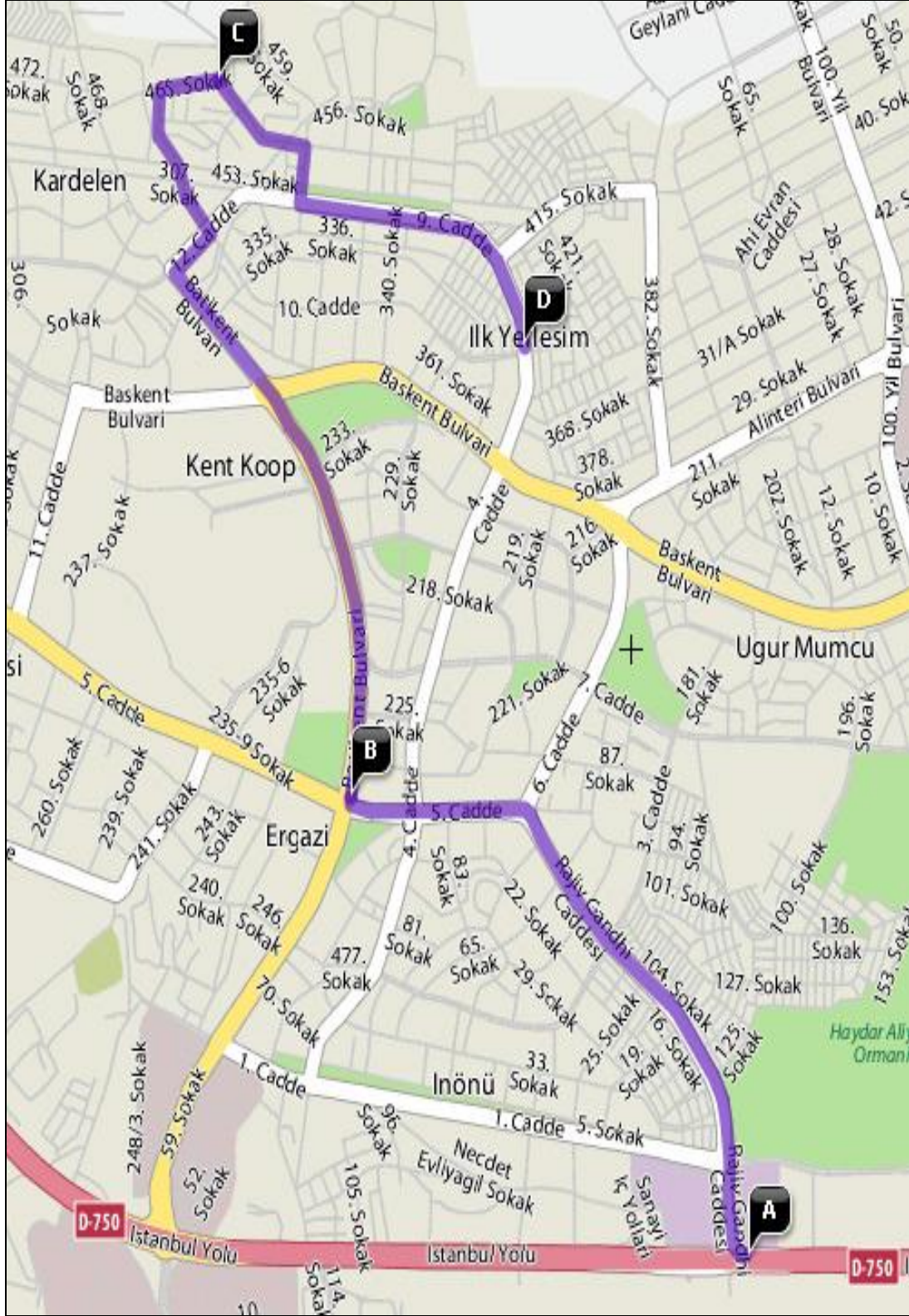
Harita 5.5. Yeni oluşturulan 2. rota



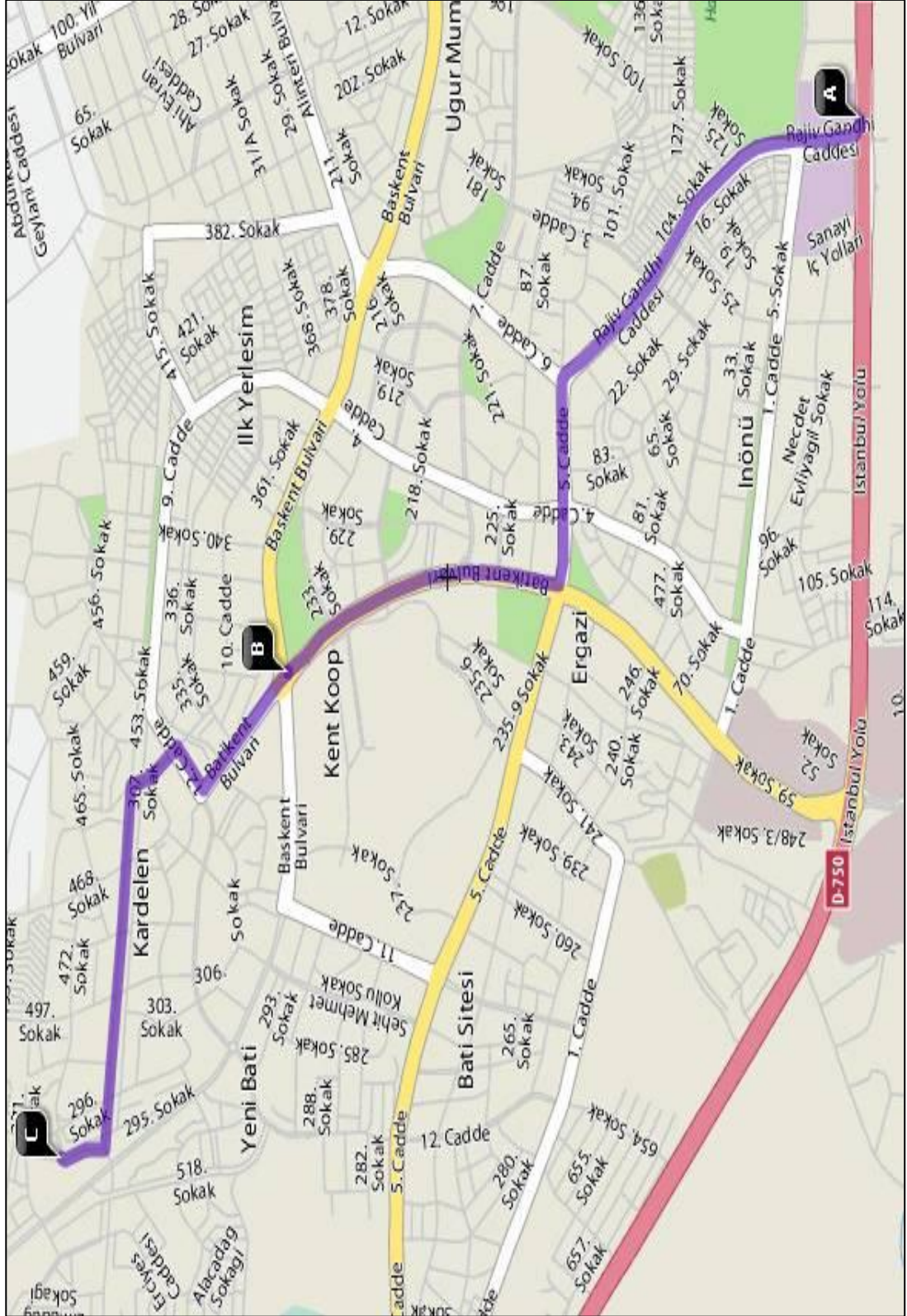
Harita 5.6. Yeni oluşturulan 3. rota



Harita 5.7. Yeni oluşturulan 4. rota



Harita 5.8 Yeni oluşturulan 5. rota



Çizelge 5.7., çizelge 5.8., çizelge 5.9. ve çizelge 5.10.'da problemin çözümünün sonuçları ile mevcut durum verileri çeşitli kriterlere göre karşılaştırılmış ve problemin çözümünden sonra elde edilen kazançlar gösterilmiştir.

Çizelge 5.7'de mevcut durumdaki ve çözümde elde edilen verilerle oluşturulan kapasite kullanım oranları, hem kişi sayısı hemde kapasite kullanım yüzdesi olarak gösterilmiştir. Kapasite kullanım yüzdesi hesaplanırken, araçların kapasitesi daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi 18 kişi olarak ele alınmıştır.

Çizelge 5.7. Kapasite kullanım oranı karşılaştırma tablosu

Kapasite Kullanım Oranı Karşılaştırma Tablosu					
	Mevcut Durum (kişi)	Kullanım (%)	Çözümde Sonra (kişi)	Kullanım (%)	Değişim (%)
1. Rota	12	66,67	18	100	-
2. Rota	17	94,44	16	88,89	-
3. Rota	11	61,11	18	100	-
4. Rota	16	88,89	17	94,44	-
5. Rota	15	83,33	14	77,78	-
6. Rota	12	66,67	-	-	-
Ortalama	13,83	76,85	16,6	92,22	15,37

Çizelge 5.7. incelendiğinde, kapasite kullanım oranı ortalama mevcut durumda % 76,85 ve çözümde elde edilen sonuca göre ise % 92,22 olduğu görülmektedir. Ortalama olarak araçların kapasite kullanım oranında %15,37 lik bir artış olmuştur. Ayrıca, araçlarda bulunan ortalama kişi sayısında 13,85 den 16,6' ya çıkmıştır. Bu artışın sebebi rota sayısının, diğer bir değişle araç sayısının 6 dan 5 e düşmesidir. Kapasite kullanım oranı artışı, problemin çözülerek rotaların yeniden düzenlenmesinin olumlu sonuçlarındandır.

Çizelge 5.8.'de mevcut durumdaki ve çözümde elde edilen sonuçlarla oluşturulan rotaların uzunlukları ve bu uzunlukların ortalamaları ile ortalamaların arasındaki

yüzdelik değişim oranı verilmiştir. Bu rota mesafeleri başlangıç, yani Batıkent ayrılma noktasından itibaren rotaların sonuna kadar olan mesafelerdir. Çözümün mesafe açısından etkinliğini görebilmek için önemli bir göstergedir.

Çizelge 5.8. Rota mesafelerini karşılaştırma tablosu

Rota Mesafelerini Karşılaştırma Tablosu			
	Mevcut Durum (kilometre)	Çözümünden Sonra (kilometre)	Değişim (%)
1. Rota	7,398	8,890	-
2. Rota	6,880	9,425	-
3. Rota	3,658	8,499	-
4. Rota	6,225	8,762	-
5. Rota	5,387	7,660	-
6. Rota	6,093	-	-
Ortalama	5,940	8,647	68,70

Çizelge 5.8. incelendiğinde, mevcut durumda ortalama rota uzunluğu 5,940km iken; çözüm sonucunda 8,647km olmuştur. Mevcut rotalar ile çözümden sonraki elde edilen rotalar arasındaki fark % 68,70 dir. Yani, rotaların ortalama uzunluğu yeni çözümde % 68,70’lik oranda bir artış göstermiştir. Bu artışın sebebi, araç sayısındaki azalmadır. Çözümünden sonra araç sayısı 6’dan 5’e düştüğü için araçlar daha fazla durağa uğramak zorunda kalmışlar ve bu sebepten, yoldaki dolanma mesafeleri artmıştır.

Çizelge 5.9.’de mevcut durumdaki ve çözümde elde edilen verilerle oluşturulan rotaların uzunlukları, hem MTA’nın sınırından, hemde Batıkent ayrılma noktasından itibaren ayrı ayrı verilmiş, ayrıca kullanılan araç sayısı ve bu araç sayısını kiralayabilmek için katlanılan maliyetler özetlenmiştir.

Çizelge 5.9. Mesafe ve maliyet karşılaştırma tablosu

Mesafe ve Maliyet Karşılaştırma Tablosu			
	Mevcut Durum	Çözümünden Sonra	Kazanç (%)
MTA Sınırından			
Toplam Mesafe (km)	83,641	91,236	-9,01
Ayrılma Noktasından			
Toplam Mesafe (km)	35,641	43,236	-21,31
Toplam Servis Sayısı			
(adet)	6	5	16,67
Servislerin Maliyeti			
(TL/Gün)	498,00	415,00	16,67

Çizelge 5.9. incelendiğinde, MTA sınırından itibaren mevcut durumda 83,641km olan toplam kat edilen mesafe, çözümünden sonra % 9,01' lik artışla 91,236km' ye çıkmıştır. Ve yine Batıkent ayrılma noktasından itibaren mevcut durumdaki kat edilen toplam mesafe 35,641km' den % 21,31' lik artışla 43,236km' ye çıkmıştır. Çözümünden sonra elde edilen bu rotalardaki artışların sebebi, araç sayısındaki azalmadır. Azalan araç sayısı ile araçların uğramak zorunda oldukları durak sayıları artmıştır bu sebepten araçların dolanma mesafeleri başka bir değişle, rota uzunlukları artmıştır.

Çözümün sonuçları MTA açısından ele alındığında, çözümünden sonra elde edilen bu rota uzunluğu artışı, her bir rotanın, toplam rota uzunluğu kısıtı olan 20km'nin altında olduğu için, kabul edilebilir bir sonuçtur. Ayrıca araç sayısının 6 taneden 5 taneye düşmesi ile gün bazında maliyet 498,00TL' den % 16,67' lik bir azalmayla 415,00TL'ye düşmüştür. Maliyet düşüşü MTA'nın ana hedefi olduğu için, MTA açısından çözüm sonuçları % 16,67'lik bir maliyet azalması getirmesi sebebiyle olumludur.

Çizelge 5.10.’ de mevcut durum ve çözümden elde edilen sonuçlar toplam yıllık maliyet olarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılırken 1 ay 22 iş günü olarak düşünülmüş ve yılda 264 iş günü olduğu kabul edilmiştir.

Çizelge 5.10 Yıllık maliyet karşılaştırma tablosu

Yıllık Maliyet Karşılaştırma Tablosu			
	Mevcut Durum	Çözümde Sonra	Kazanç (TL)
Servislerin Maliyeti (TL/Yıl)	131.472,00	109.560,00	21.912,00

Çizelge 5.10 incelendiğinde, mevcut durumda 131.472,00TL olan maliyet 109.560,00TL ye düştüğü görülmektedir. Dolayısıyla, yıllık olarak maliyet tasarrufu 21.912,00TL dir. Çözüm sonucunda elde edilen bu büyük maliyet tasarrufu, çözümün etkinliğinin daha iyi görülebilmesi açısından önemli bir göstergedir.

Sonuç olarak çözümden elde edilen sonuçlar ile MTA istenilen maliyet tasarrufunu sağlamış ve yeni rotalar oluşturulmuştur.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

İşletmeler hızla gelişen ve değişen rekabet ortamında ayakta kalabilmek, rakipleriyle rekabet edebilmek ve pazar paylarını genişletebilmek için, işletmenin toplam maliyetleri içerisinde önemli bir paya sahip olan lojistik ve personel dağıtım maliyetlerini, minimum seviyeye indirmelidir. Bu da uygun bir dağıtım planının oluşturulmasıyla gerçekleşir. Dağıtım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinde dikkat edilmesi gereken nokta, müşteri gereksinimlerini tam olarak karşılayacak optimum dağıtım planının oluşturulmasıdır. Optimal araç yükleme ve rotalama, bu planın oluşturulmasında en önemli konulardan biridir. Uygun kapasiteyle yüklenmiş araçların müşteri noktalarına en kısa mesafede ve en kısa zamanda ulaşması, hem toplam dağıtım maliyetlerinin azalmasına, hem servis kalitesinin artmasına, hem de işletmenin rekabet koşullarında daha avantajlı konuma geçmesine imkan sağlayacaktır.

Yapılan bu tez çalışmasında, Ankara ilindeki MTA personelinin “Batıkent” bölgesinden toplanması/dağıtılması problemi ele alınarak çözülmeye çalışılmıştır. İncelenen problemin türü AUARP’ dir. Önce genel ARP hakkında bilgi verilmiş, daha sonra çözeceğimiz problemin türü olan AUARP hakkında ayrıntılı bilgi verilerek bu konuda literatürdeki çalışmalar irdelenmiştir. En son bölümde, uygulama problemi tanımlanmış ve çözülmüştür.

Batıkent bölgesinin rotalama problemi çözülürken, önce mevcut durumdaki rotalar ve duraklar tespit edilmiştir. Duraklar arasındaki uzaklıklar, coğrafi bilgi sistemi programı yardımıyla hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda, herhangi iki durak arasındaki uzaklık, mevcut trafik kuralları ve servislerin kullanabilecekleri yollar göz önünde bulundurularak, Ankara’nın güncel sayısal haritası üzerinde, “en kısa zamana göre yol” yöntemi ile belirlenmiştir. Duraklar arası mesafe hesabı için oluşturulan 16x16’lık uzaklık matrisi simetriktir ve sonradan eklenen sanal “d” noktası ile problemin çözümünde kullanılan uzaklık matris 17x17’lik hale gelmiştir.

Problemin çözümü için literatürdeki uygun bir tam sayılı karar modeli (Bektaş ve

Elmastaş modeli) seçilmiş, bu model toplanan verilerle istenen kısıtlar altında düzenlenmiş ve GAMS optimizasyon programında kodlanmıştır. Matematiksel model AMD Althon™ 64 Processor 3000+ 1,81 GHz 2,25GB Ram özellikli PC’de, CPLEX 8.1 Solver kullanılarak çözülmeye çalışılmış ve 30967.74 saniyede (8,6 saat) optimum çözüm elde edilmiştir. Çözüm sonunda elde edilen sonuca göre, mevcut durumda kullanılan araç sayısı 6 dan 5 e düşmüş, araç kapasite kullanımı ortalama % 15,37 oranında artmış, rota mesafeleri toplamda % 9,01 oranında uzamış ve araç kiralama maliyeti, mevcut uygulamaya göre % 16,67 oranında daha iyileşmiştir.

Çözümünden elde edilen sonuçlar MTA açısından ele alındığında % 16,67’lik bir maliyet tasarrufu sağladığı için olumludur ve çözümünden sonra ortaya çıkan % 9,01 rota uzunluğu artışı, MTA’ nın servis politikası gereği, her bir rotanın toplam rota uzunluğu kısıtı olan 20km’nin altında olduğundan, kabul edilebilir bir sonuçtur. Araç kapasite kullanım oranı açısından incelendiğinde, ortalama % 92.22’lik kullanım oranı oldukça yüksektir. Bu değerlere göre, MTA’nın beklentileri karşılanmaktadır.

Çözümünden elde edilen sonuçlara göre, araç sayısının azalması ve buna bağlı olarak rota uzunluğundaki % 9,01 lik artış, müşteri memnuniyeti açısından istenmeyen bir durumdur. Araç sayısındaki azalma ve rota mesafesindeki artış nedeniyle çalışanların sabahları MTA’ ya ulaşmak için daha erken saatlerde duraklara gelerek servis araçlarına binmeleri gerekmektedir ve yine akşam saatlerinde MTA’ dan çıkarak duraklarına ulaşma mesafeleri, dolayısıyla duraklarına ulaşma süreleri de uzamıştır. Müşteriler için durağa erken gelmek, araç beklemek ve araçta uzun süre geçirmek istenmeyen bir durum olduğundan, çözüm sonuçları müşterinin memnuniyetini azaltmaktadır. Gelecekte, müşteri memnuniyeti göz önüne alınarak model farklı açıdan değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Laporte, G., Nobert, Y., Taillefer, S., “Solving a family of multi-depot vehicle routing and location routing problems”, *Transportation Science*, 22 (3): 161-162 (1988).
2. Gencer, C., Eryavuz, M., “Araç rotalama problemine ait bir uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi*, Isparta-Türkiye, 1-5 (2001).
3. Demirok, E., “Vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick up and intermediary delivery” Yüksek Lisans Tezi, *Graduate School of Engineering and Natural Sciences of Sabancı University*, İstanbul-Türkiye, 2-3 (2007).
4. Aydemir, E., “Esnek zaman pencereli araç rotalama problemi ve bir uygulama”, Yüksek Lisans tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara-Türkiye, 17-18 (2006).
5. Tüfekçier, H., “İki amaçlı açık araç rotalama problemi için bir çözüm yaklaşımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara-Türkiye, 3-18 (2008).
6. Özkan, P., “Araç rotalama ve çizelgeleme”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* İstanbul-Türkiye, 62-89 (2006).
7. Savelsbergh, M.W.P., Sol, M., “The general pick-up and delivery problem” *Transportation Science*, 29: 17-29 (1995).
8. Crainic, T.G., Laporte, G., “Planning models for freight transportation” *European Journal of Operational Research*, 97: 409-438 (1997).
9. Bayzan, Ş., “Araç rotalarının en kısa yol algoritmaları kullanılarak belirlenmesi ve .Net ortamında simülasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli-Türkiye, 40-47 (2005).
10. Toth, P., Vigo, D., “Overview of vehicle routing problem”, The Vehicle Routing Problem *Society for Industrial and Applied Mathematics*, Philadelphia-United States, 6-7 (2000).
11. Toth, P., Vigo, D., “Models, relaxations and exact approaches for the capacitated vehicle routing problem” *Discrete Applied Mathematics*, 23: 487-512 (2002).
12. Chao, I-M., Golden, B., Wasil, E., “ A computational study of a new heuristic for the site-dependent vehicle routing problem”, *Infor Journal*, 37(3):319-36 (1999).

13. Bayzan, S., Çetin, M., Ugur, A., “Araç rotalama probleminde araç rotalarının tespitinde en kısa yol yaklaşımı: Denizli örneği”, *Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi Pamukkale Üniversitesi*, Denizli-Türkiye, (2002).
14. Gerdan, O., “Müşteriler arası malzeme akışlı eş zamanlı dağıtım-toplama yapılan araç rotalama problemi ve sezgisel çözümü”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara-Türkiye, 6-7 (2007).
15. Doyuran, T., “Enhancements of Clarke-Wright savings heuristics for the capacitated vehicle routing problem”, Yüksek Lisans Tezi, *Graduate School of Engineering and Natural Sciences of Sabancı University*, İstanbul-Türkiye, 2 (2008).
16. Keçeci, B. “Önce dağıt sonra topla araç rotalama problemi için tamsayılı karar modelleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* 1-5 (2007).
17. Toth, P. And Vigo D., “A heuristic algorithm for the symmetric and asymmetric vehicle routing problems with backhauls”, *European Journal of Operational Research*, 113: 528-543 (1999).
18. Darcan, U., “Stokastik araç rotalama algoritmalarının karşılaştırmalı incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul-Türkiye, 64-65 (2007).
19. [19] Ioannou, G., Kritikos, M., “A synthesis of assignment and heuristic solutions for vehicle routing with time windows”, *Journal of the Operational Research Society*, 55: 2-11 (2004).
20. Boğ, S., “Algorithms for the vehicle routing problem with time windows and the location-routing problem”, Yüksek Lisans Tezi, *Koç University Graduate School of Sciences and Engineering*, İstanbul-Türkiye, 3-8 (2006).
21. Gezdur, A., “Integrated vehicle routing and warehouse location problem”, Yüksek Lisans Tezi, *Koç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul-Türkiye, 3 (2003).
22. Tokaylı, M.A., “Zaman pencereli araç rotalama problemi için bir karar destek sistemi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara-Türkiye, 29 (2005).
23. Desrosiers, J., Dumas, Y., Solomon, M.M., Soumis, F., “Time constrained routing and scheduling”, Forthcoming in Handbooks in Operations Research and Management Science, Volume 8, *Elsevier Science*, Amsterdam. 35-36 (1995).

24. Taşkıran, D., “A revised multiple ant colony system for vehicle routing problems with time windows” Yüksek Lisans Tezi, *Graduate School of Engineering and Natural Sciences of Sabancı University*, İstanbul-Türkiye, 3-4 (2006).
25. Özaydın, E., “Capacitated vehicle routing problem with time windows” Yüksek Lisans Tezi, *Graduate School of Engineering and Natural Sciences of Sabancı University* İstanbul-Türkiye, 7 (2003).
26. Brown, G.G., Graves, G.W., “Real-time dispatch of petroleum tank trucks”, *Management Science*, 27: 19-32 (1981).
27. Gzara, F., “Personel bus routing problem formulation and solution method” Yüksek Lisans Tezi, *Institute of Engineering and Sciences of Bilkent University*, İstanbul-Türkiye (1997).
28. Şeker, Ş., “Araç rotalama problemleri ve zaman pencereli stokastik araç rotalama problemlerine genetik algoritma yaklaşımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul-Türkiye, 39-57 (2007).
29. Seyran, İ., “An application of the vehicle routing problem to a glass manufacturing firm” Yüksek Lisans Tezi, *The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Çankaya* Ankara-Türkiye, 18-19 (2006).
30. Emel, G.G., Taşkın Ç., “Araç rotalama problemlerinin iki aşamalı çözümünde genetik algoritma kullanımı” *Gazi Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 7 (1): 1-17 (2005).
31. Fisher, M.L., “Optimal solution of vehicle routing problems using minimum k-trees”, *Operations Research*, 42 (4): 626-642 (1994).
32. Fisher, M.L., Kurt O., Madsen O.B.G., “Vehicle routing with time windows: two optimization algorithms” *Operations Research* 45 (3): 488-492 (1997).
33. Yılmaz, Ş., “Çok depolu araç rotalama probleminin karınca kolonisi optimizasyonu ile modellenmesi ve bir çözüm önerisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul-Türkiye 26-28 (2008).
34. Çevik, O., “Tamsayılı doğrusal programlama ile işgücü planlaması ve bir uygulama” *Afyon Kocatepe Üniversitesi, İ.İ.B.F. Dergisi* 8 (1): 157-169 (2006).
35. Erol, V., “Araç rotalama problemleri için populasyon ve komşuluk tabanlı metasezgisel algoritmanın tasarımı ve uygulaması” Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul-Türkiye 7-67 (2006).

36. Clarke, G. And Wright, J., "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points", *Institute For Operation Research and The Management Sciences*, 12 (4): 568-581 (1964).
37. Dantzig, G., Ranser, J., "The truck dispatching problem", *Institute For Operation Research and the Management Sciences*, 6 (1): 80-91 (1959).
38. Lenstra, J. K., Rinnooy Kan, A.H.G., "Some simple applications of the travelling salesman problem", *Operational Research Quarterly*, 26 (4): 717-733 (1975).
39. Gillett, B.E., Miller L.R., "A heuristic algorithm for the vehicle-dispatch problem" *Operations Research*, 22(2): 340-349 (1974).
40. Pisinger, D, Ropke, S. "A general heuristic for vehicle routing problems". *Computers and Operations Research*, 34: 2403–35 (2007).
41. Cordeau, J.F., Gendreau, M., Laporte, G., Potvin J. Y., Semet F., "A guide to vehicle routing heuristics", *The Journal Of Operational Research Society*, 53 (5): 512–522 (2002).
42. Li, F., Golden, B., Wasil, E., "The open vehicle routing problem: algorithms, large-scale test problems, and computational results", *Computers and Operations Research*, 34: 2918–30 (2007).
43. Fleszar, K, Osman, I.H., Hindi K.S., "A variable neighbourhood search algorithm for the open vehicle routing problem", *European Journal of Operational Research*, 195: 803–9 (2009).
44. Repoussis, P.P., Tarantilis, C.D., Braysy O., Ioannou G., "A hybrid evolution strategy for the open vehicle routing problem", *Computers and Operations Research*, 37 (3): 443-455 (2010).
45. Sariklis, D., Powell, S., "A heuristic method for the open vehicle routing problem", *Journal of the Operational Research Society*, 51: 564-73 (2000).
46. Brandão, J., "A tabu search algorithm for the open vehicle routing problem". *European Journal of Operational Research* 157: 552–64 (2004).
47. Tarantilis, C., Diakoulaki, D., Kiranoudis C., "Combination of geographical information system and efficient routing algorithms for real life distribution operations", *European Journal of Operational Research*, 152: 437–53 (2004).
48. Fu, Z., Eglese, R., Li L., "A new tabu search heuristic for the open vehicle routing problem". *Journal of the Operational Research Society*, 56: 267–74 (2005).

49. Li, X., Tian, P., “An ant colony optimization metaheuristic hybridized with tabu search for open vehicle routing problems”, *Journal of the Operational Research Society*, 60: 1012–25 (2009).
50. Russell, R., Chiang W-C, Zepeda D., “Integrating multi-product production and distribution in newspaper logistics”. *Computers and Operations Research*, 35: 1576–88 (2008).
51. Tarantilis, C.D., Kiranoudis, C.T., “Distribution of fresh meat”, *Journal of Food Engineering*, 51: 85–91 (2002).
52. Hu X., Wang Z., Huang M., Zeng A.Z., “A computer-enabled solution procedure for food wholesalers' distribution decision in cities with a circular transportation infrastructure”, *Computers and Operations Research*, 36: 2201–09 (2009).
53. Chiang, W.C., Russell, R., Xu, X., Zepeda, D., “A simulation/metaheuristic approach to newspaper production and distribution supply chain problems”. *International Journal of Production Economics*, 121: 752–67 (2009).
54. Zachariadis, E.E, Kiranoudis, C.T., “An open vehicle routing problem metaheuristic for examining wide solution neighborhoods”. *Computers and Operations Research*, 37: 712-23 (2010).
55. Erbao, C., Mingyong, L., “The open vehicle routing problem with fuzzy demands”, *Expert Systems with Applications* 37: 2405–11 (2010).
56. Demir, E., “Okul taşıtları rotalama problemi için tamsayılı karar modelleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara-Türkiye, (2008).
57. Letchford, A.N., Lysgaard, J., Eglese, R.W., “A branch-and-cut algorithm for the capacitated open vehicle routing problem”. *Journal of the Operational Research Society*, 58: 1642–51 (2007).
58. Asken, D., Özyurt, Z., Aras, N., “Open vehicle routing problem with driver nodes and time deadlines” *Journal Of The Operational Research Society*, 58: 1223-1234 (2007).
59. Bektaş, T., Elmastaş, S., “Solving school bus routing problems through integer programming”. *Journal of the Operational Research Society*, 58:1599-1604 (2007).
60. Bektaş, T., Elmastaş, S., “Okul araç rotalama probleminin tamsayılı programlama ile çözümü”, Kongre, *Yöneylem Araştırması / Endüstri Mühendisliği 24. Ulusal Kongresi*, Gaziantep-Adana, 61-63 (2004).

EKLER

EK-1 GAMS programı problem çözüm çıktısı

GAMS Rev 136 MS Windows 12/28/09
03:48:53 Page 1
General Algebraic Modeling System
Compilation

```

1  Sets
2  i /i0*i16/
3  i0(i) /i0/
4  ic(i) /i1*i15/
5  i0c(i)/i0*i15/
6  idc(i)/i1*i16/
7  ;
8
9  Alias (i,j) ;
10 Alias (i0,j0) ;
11 Alias (ic,jc) ;
12 Alias (i0c,j0c) ;
13 Alias (idc,jdc) ;
14
15 Table c(i,j) uzaklik matrisi
16      i0      i1      i2      i3      i4      i5
i6      i7
      i8      i9      i10     i11     i12     i13     i14     i15
i16
17 i0      0      9912     3709     6968     10033    1976
2349 4621
      6026     4516     5534     6800     5892     3954     5385     6283
99999
18 i1      5181     3596     837     9450
9418 3087
      2728     3148     2236     1649     2524     3685     3799     3012
0
19 i2      1791     3657     3179
2399 3427
      3548     3968     3056     3560     4500     2935     1529     2285
0
20 i3      1412     4240
3304 3628
      3200     3620     2708     3212     4152     3017     1611     1937
0
21 i4      9571
9539 9752
      3077     7861     2585     2351     6564     3681     2275     1814
0
22 i5
958 1893
      3298     4054     2806     3310     5430     1337     2657     3555
0
23 i6

```

EK-1 (Devam) GAMS programı problem çözüm çıktısı

```

957
0      2362      2782      1870      2374      3314      401      1721      2619
24 i7
0      1484      1904      992      1496      2436      614      2045      1649

25 i8
0      1136      593      1216      2156      1219      2650      1369
26 i9
0      992      1615      1353      2441      2555      1768
27 i10
0      653      1593      1479      1593      806
28 i11
0      958      2119      2233      1446
29 i12
0      2958      3072      2285
30 i13
0      1457      2355
31 i14
0      932
32 i15
0
33 i16
0
34 ;
35
36 c(i,j)$ (ord(i)>ord(j))=c(j,i);
37
38
39
40 Parameters q(ic) duraklarin ihtiyaci
41 /
42 i1 6
43 i2 5
44 i3 6
45 i4 9
46 i5 3
47 i6 3
48 i7 3
49 i8 5
50 i9 6
51 i10 8
52 i11 7

```

EK-1 (Devam) GAMS programı problem çözüm çıktısı

```

53   i12  5
54   i13  6
55   i14  5
56   i15  6
57   /;
58
59   parameter Cap /18/;
60   parameter T /12000/;
61   Variables
62       x(i,j)  tasima esitligi
63       u(i)    i duragindan sonra aracta ki ogrenci sayisi
64       v(i)    i duragindaki aracın toplam katettigi mesafe
65       k        servis sayisi
66       z
67   ;
68
69   Binary variables x(i,j) ;

70   Positive variables u(i), v(i), k ;
71
72   x.fx(i,i)=0;
73
74   Equations
75   toplammesafe  toplam mesafe
76   cikarac       k sayida aracın cikisi
77   girarac       k sayida aracın son duraga girişi
78   jgir          j dugumune 1 tane girişi garantiler
79   icik          i dugumunden 1 tane cikisi garantiler
80   kap1          kapasite kisiti1
81   kap2          kapasite kisiti2
82   kap3          kapasite kisiti3
83   kap4          kapasite kisiti4
84   uz1          uzaklik kisiti1
85   uz2          uzaklik kisiti2
86   uz3          uzaklik kisiti3
87   kkis         k kisiti
88   ;
89   toplammesafe..      z =e=Sum((i,j), c(i,j)*x(i,j)) ;
90   cikarac..          sum(ic, x('i0',ic)) =l= k ;
91   girarac..          sum(ic, x(ic,'i16')) =l= k ;
92   jgir(ic)..         sum(jdc, x(ic,jdc)) =e= 1 ;
93   icik(jc)..         sum(i0c, x(i0c,jc)) =e= 1 ;
94   kap1(ic,jc)$ (ord(ic)<>ord(jc))..      u(ic) - u(jc) +
(Cap*x(ic,jc)) +
(Cap - q(ic) - q(jc))*x(jc,ic) =l= Cap - q(jc) ;
95   kap2(ic)..         u(ic) =g= q(ic) ;
96   kap3(ic)..         u(ic) - q(ic)*x('i0',ic) + Cap*x('i0',ic) =l=
Cap ;
97   kap4(ic)..         u(ic) - q(ic)*x('i0',ic) + 12*x('i0',ic) =g=
12 ;
98   uz1(ic,jc)$ (ord(ic)<>ord(jc))..      v(ic) - v(jc) + (T-
c(ic,'i16') -
c('i0',jc) + c(ic,jc))*x(ic,jc) + (T - c(ic,'i16') -

```

EK-1 (Devam) GAMS programı problem çözüm çıktısı

```

c('i0',jc) - c(jc,ic
    ))*x(jc,ic) =l= T - c(ic,'i16') - c('i0',jc) ;
    99 uz2(ic)..          v(ic) - c('i0',ic)*x('i0',ic) =g= 0 ;
    100 uz3(ic)..          v(ic) - c('i0',ic)*x('i0',ic) + T*x('i0',ic)
=l= T ;
    101 kkis..            k =e= 5
    102
    103 Model rototalama /all/ ;
    104
    105 rototalama.limcol=10000;
    106 rototalama.limrow=10000;
    107 rototalama.reslim=500000;
    108 rototalama.iterlim=1e9;
    109 rototalama.optfile=1;
    110 rototalama.optcr=0;
    111
    119
    120 Solve rototalama using mip minimizing z ;
    121 display x.l;

```

EK-1 (Devam) GAMS programı problem çözüm çıktısı

S O L V E S U M M A R Y

MODEL	rotalama	OBJECTIVE	z
TYPE	MIP	DIRECTION	MINIMIZE
SOLVER	CPLEX	FROM LINE	120

```

**** SOLVER STATUS      1 NORMAL COMPLETION
**** MODEL STATUS       1 OPTIMAL
**** OBJECTIVE VALUE          43236.0000

```

RESOURCE USAGE, LIMIT	30968.984	500000.000
ITERATION COUNT, LIMIT	33524828	1000000000

GAMS/Cplex Sep 3, 2003 WIN.CP.CP 21.2 023.026.041.VIS For Cplex 8.1

Cplex 8.1.0, GAMS Link 23

Cplex licensed for 1 use of lp, mip and barrier.

User supplied options:

```

workmem 700
workdir memim
nodefileind 3
nodesel 3
varsel 3

```

Proven optimal solution.

MIP Solution:	43236.000000	(33524828 iterations, 1089302 nodes)
---------------	--------------	--------------------------------------

Final Solve:	43236.000000	(0 iterations)
--------------	--------------	----------------

Best integer solution possible:	43236.000000
---------------------------------	--------------

Absolute gap:	0.000000
---------------	----------

Relative gap:	0.000000
---------------	----------

EK-1 (Devam) GAMS programı problem çözüm çıktısı

```

**** REPORT SUMMARY :           0      NONOPT
                                0 INFEASIBLE
                                0 UNBOUNDED

```

```

_GAMS Rev 136  MS Windows                      12/28/09
03:48:53 Page 6
General Algebraic Modeling System
Execution

```

```

---- 121 VARIABLE x.L tasima esitligi

```

	i1	i2	i3	i4	i5
i6					
i3		1.000			
i7					
1.000					
i8					1.000
i11	1.000				
i13			1.000		
i14				1.000	
+	i7	i8	i9	i10	i11
i12					
i0			1.000	1.000	
1.000					
i10		1.000			
i12					1.000
i15	1.000				
+	i13	i14	i15	i16	
i0	1.000	1.000			
i1				1.000	
i2				1.000	
i4				1.000	
i5				1.000	
i6				1.000	
i9			1.000		

```

EXECUTION TIME      =      0.031 SECONDS    1.5 Mb    WIN212-
136

```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÜNSAL, Mehmet Çağlar
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 11.06.1979 ANKARA
Telefon : 0 (532) 747 88 32
e-mail : mcunsal@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet
Tarihi		
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Endüstri Mühendisliği Bölümü	2003
Lise	Atatürk Anadolu Öğretmen Lisesi	1997

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-Halen	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü	Endüstri Mühendisi
2005-2005	Hema Dışli A.Ş.	Lojistik Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce