



T.C

**GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİNE TAMSAYILI DOĞRUSAL
PROGRAMLAMA İLE BİR ÇÖZÜM ÖNERİSİ:
BİR DAĞITICI FİRMA ÖRNEĞİ**

**Hazırlayan
ÇAĞDAŞ YILDIZ**

**İşletme Anabilim Dalı
Üretim Yönetimi ve Pazarlama Bilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Adem TÜZEMEN**

TOKAT - 2018

**ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİNE TAMSAYILI DOĞRUSAL
PROGRAMLAMA İLE BİR ÇÖZÜM ÖNERİSİ: BİR DAĞITICI FİRMA
ÖRNEĞİ**

Tezin Kabul Ediliş Tarihi: 11 / 07 / 2018

Jüri Üyeleri

İmzası

Başkan: Dr. Öğr. Üyesi Mert TOPOYAN

[İmza]

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ali İzzet ÜZEMEN (Danışman)

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Emre ASLAN

[İmza]

Üye:

Üye:

Bu tez, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulunun 11 / 07 / 2018 tarih ve 2907 sayılı oturumunda belirlenen jüri tarafından kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi H. Baha ÖZTUNÇ
Enstitü Müdürü: Enstitü Müdürü V.



BİLİMSEL ETİK SAYFASI

Gaziosmanpaşa Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Dr. Öğr. Üyesi Adem TÜZEMEN danışmanlığında hazırlamış olduğum "Araç Rotalama Problemine Tamsayı Doğrusal Programlama İle Bir Çözüm Önerisi: Bir Dağıtıcı Firma Örneği" adlı Yüksek Lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

(11 / 07 / 2018)

Tezi Hazırlayan Öğrencinin

Adı ve Soyadı

Çağdaş YILDIZ

İmzası

Çağdaş

ÖNSÖZ

Öncelikle bu tez çalışmamın gerçekleştirilmesi için bu denli zorlu süreçte hiçbir desteğini benden esirgemeyen, elini hiçbir zaman üzerimden çekmeyen, bana ilham veren danışman hocam Sn. Dr. Öğr. Üyesi Adem Tüzemen'e teşekkürlerimi bir borç bilirim. Katıldığım yüksek lisans programı süresince sayın hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Emre Aslan, Dr. Öğr. Üyesi Tuğba Kılıçer ve Dr. Öğr. Üyesi Elif Boyraz'a verdikleri emeklerinden ötürü saygılarımı sunarak teşekkür ediyorum. Ayrıca lisans öğrenimim boyunca engin bilgileri ile geleceğe yönelik umutlu adımlar atmamı sağlayan Sn. Doç. Dr. Emrah Özkul hocama minnettarlığımı sunuyorum.

Son olarak tüm eğitim hayatım süresince daima yanımda olan aileme teşekkür ederim.

Temmuz 2018

Çağdaş YILDIZ
Yüksek Lisans Öğrencisi

ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİNE TAMSAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE BİR ÇÖZÜM ÖNERİSİ: BİR DAĞITICI FİRMA ÖRNEĞİ

ÖZET

Günümüz endüstriyel dünyasında dağıtım, işletmeler açısından değeri gittikçe artan bir alandır. Bundan dolayı işletmeler müşterilerin taleplerini dağıtım ağı ile en hızlı ve en az maliyetli bir şekilde karşılama arzusundadırlar. Ama işletmeler bu arzuları karşılarken genellikle belirledikleri rotaları geçmiş deneyimlerine dayanarak tespit etmektedirler. Rotaların rassal olarak belirlenmesi de işletmelere gereğinden fazla maliyetler getirebilmektedir. Bu da çoğu işletmenin rakip işletmeler ile girdiği rekabetten dolayı çözülmesi gereken çok önemli bir problem olarak göze çarpmaktadır. Buradan yola çıkılarak bu çalışmada bir dağıtıcı firmanın talepler doğrultusunda çizmiş olduğu rotaların kapasite kısıtı altında toplam mesafesinin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Gebze merkezli çelik üretimi ve dağıtımı yapan bir fabrikanın tüm talepleri karşılamak için çizmiş olduğu rotalar ele alınmıştır. Minimum toplam mesafeli rotaların belirlenmesi için kesin çözüm yöntemleri sınıfında yer alan 0-1 Tamsayılı Doğrusal Programlama (TDP) yönteminin Dal - Kesme algoritması kullanılıp temel güzergâh problemlerinden biri olan Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemine (KARP) uyarlanarak çözüm önerileri getirilmiştir. Rotaları oluşturan düğümler arasındaki mesafeler Google Maps aracılığı ile ölçülmüştür. Problemin çözümünde LINDO bilgisayar yazılımı kullanılarak optimal çözümler elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Araç Rotalama Problemi, Dal-Kesme Algoritması, Tamsayılı Doğrusal Programlama, Dağıtım, Temel Güzergâh Problemi

**A SOLUTION PROPOSAL TO VEHICLE ROUTING
PROBLEM WITH INTEGER LINEAR PROGRAMMING: A
DISTRIBUTOR COMPANY SAMPLE**

ABSTRACT

In today's industrial world, distribution is an increasingly important field in terms of businesses. Therefore, businesses want to meet customer demands with the distribution network in the fastest and least costly manner. But when businesses meet these needs, they usually identify routes based on their past experience. Random selection of routes can also bring extra costs to businesses. This is a crucial problem that needs to be solved because of the competitiveness of most businesses with rival businesses. From here, it is aimed to minimize the total distance of the routes under the capacity constraint of the routes that a distributor company has drawn in the direction of the demands. To this end, a route to Gebze-based steel production and distribution was drawn up to meet all the demands of a fabrication plant. In order to determine the minimum total distance routes, the Solution Recommendation by adapting the Capacity Constrained Vehicle Routing Problem (CVRP) which is one of the basic route problems using Branch and Cut algorithm of 0-1 Integer Linear Programming (ILP) was introduced. Distances between the nodes that make up the route are measured via Google Maps. Optimal solutions were obtained by using LINDO computer software to solve the problem.

Keywords: Vehicle Routing Problem, Branch-Cutting Algorithm, Integer Linear Programming, Distribution, Basic Route Problem

İÇİNDEKİLER

Önsöz	i
Özet.....	ii
Abstract.....	iii
İçindekiler	iv
Tablolar.....	viii
Şekiller.....	x
Kısaltmalar.....	xiii

GİRİŞ	1
1 ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ (ARP)	4
1.1 Dağıtım	4
1.2 Araç Rotalama Problemine Giriş	5
1.3 Gezgin Satıcı Problemi (GSP)	7
1.4 Araç Rotalama Probleminin Türleri.....	11
1.4.1 Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KARP)	11
1.4.2 Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (MARP).....	13
1.4.3 Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi (ÖDSTARP).....	13
1.4.4 Eş Zamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi (EZTDARP)	15
1.4.5 Bölünmüş Dağıtımlı Araç Rotalama Problemi (BDARP).....	16
1.4.6 Çok Depolu Araç Rotalama Problemi (ÇDARP)	16
1.4.7 Periyodik Araç Rotalama Problemi (PARP)	17
1.4.8 Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi (ZPARP)	17
1.5 Araç Rotalama Problemi Temelli Literatür İncelemesi	18
1.5.1 GSP Temelli Literatür İncelemesi	18
1.5.2 KARP Temelli Literatür İncelemesi	21
2 ROTALAMA PROBLEMLERİNDE YARARLANILAN YÖNTEMLER	26

2.1 Kesin Çözüm Yöntemleri.....	26
2.1.1 Dal - Sınır Algoritması	26
2.1.2 Kesme Düzlemi Algoritması	27
2.1.3 Dal - Kesme Algoritması	27
2.1.3.1 <i>Problemin Dallara Ayrılması</i>	28
2.1.3.2 <i>Kesmelerin Oluşturulması</i>	30
2.1.3.3 <i>Dal-Kesme Algoritması Temelli ARP Literatür İncelemesi</i>	30
2.1.4 Dinamik Programlama.....	31
2.2 Sezgisel Yöntemler	32
2.2.1 Tur Kurucu Sezgiseller	32
2.2.1.1 <i>En Yakın Komşu Sezgiseli</i>	32
2.2.1.2 <i>Clarke ve Wright'ın Tasarruf Algoritması</i>	33
2.2.1.3 <i>Açgözlü (Greedy) Sezgiseli</i>	35
2.2.1.4 <i>Ekleme Sezgiseli</i>	35
2.2.1.5 <i>Christofides Sezgiseli</i>	36
2.2.2 Tur Geliştirici Sezgiseller	37
2.2.2.1 <i>2-Opt Sezgiseli</i>	37
2.2.2.2 <i>3-Opt Sezgiseli</i>	38
2.2.2.3 <i>k-Opt Sezgiseli</i>	38
2.2.2.4 <i>Lin-Kernighan (L-K) Sezgiseli</i>	39
2.2.3 Meta Sezgiseller.....	39
2.2.3.1 <i>Tabu Arama (Yasaklı Arama)</i>	40

2.2.3.2	<i>Karınca Kolonisi Optimizasyonu</i>	41
2.2.3.3	<i>Genetik Algoritma</i>	43
2.2.3.4	<i>Yapay Sinir Ağları</i>	45
2.2.3.5	<i>Tavlama Benzetimi</i>	46
2.2.3.6	<i>Parçacık Sürü Optimizasyonu</i>	48
2.2.3.7	<i>Yapay Arı Kolonisi Optimizasyonu</i>	49
3	UYGULAMA	52
3.1	Çalışmanın Amacı	52
3.2	Çalışmanın Önemi	52
3.3	Meteryal ve Yöntem	53
3.4	Verinin Tanımlanması	54
3.4.1	Müşteri Taleplerinin Belirlenmesi: 1. Bölge	59
3.4.2	Müşteri Taleplerinin Belirlenmesi: 2. Bölge	67
3.4.3	Müşteri Taleplerinin Belirlenmesi: 3. Bölge	73
3.4.4	Müşteri Taleplerinin Belirlenmesi: 4. Bölge	79
4	SONUÇ VE ÖNERİLER	87
	KAYNAKLAR	93
	ÖZGEÇMİŞ	112

TABLOLAR LİSTESİ

<u>Tablo No</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 1.1: GSP Temelli Kilometre Taşı Çalışmalar	9
Tablo 1.2: KARP Temelli Diğer Çalışmalar	24
Tablo 1.3: Genel ARP Türleri Temelinde Literatür İncelemesi	25
Tablo 2.1: Dal-Kesme Algoritması Temelli ARP Literatür İncelemesi	31
Tablo 3.1: Avrupa Yakasında Yer Alan Talep Noktaları	55
Tablo 3.2: Anadolu Yakasında Yer Alan Talep Noktaları	56
Tablo 3.3: İstanbul'da Yer Alan Talep Noktalarının Bölgelere Ayrılması	57
Tablo 3.4: 1. Bölge - 1. Grup Müşterilerin Çelik Talepleri	59
Tablo 3.5: 1. Bölge – 1. Grup Müşterileri Arasındaki Mesafeler	60
Tablo 3.6: 1. Bölge 2. Grup Müşterilerin Çelik Talepleri	63
Tablo 3.7: 1. Bölge - 2. Grup Müşterileri Arasındaki Mesafeler	64
Tablo 3.8: 2. Bölge 1. Grup Müşterilerin Çelik Talepleri	67
Tablo 3.9: 2. Bölge - 1. Grup Müşterileri Arasındaki Mesafeler	67
Tablo 3.10: 2. Bölge 2. Grup Müşterilerin Çelik Talepleri	70
Tablo 3.11: 2. Bölge - 2. Grup Müşterileri Arasındaki Mesafeler	70
Tablo 3.12: 3. Bölge 1. Grupta Yer Alan Müşterilerin Çelik Talepleri	74
Tablo 3.13: 3. Bölge - 1. Grup Müşterileri Arasındaki Mesafeler	74
Tablo 3.14: 3. Bölge 2. Grupta Yer Alan Müşterilerin Çelik Talebi	76
Tablo 3.15: 3. Bölge - 2. Grup Müşterileri Arasındaki Mesafeler	76
Tablo 3.16: 4. Bölge 1. Grupta Yer Alan Müşterilerin Çelik Talebi	80

Tablo 3.17: 4. Bölge - 1. Grup Müşterileri Arasındaki Mesafeler	80
Tablo 3.18: 4. Bölge 2. Grupta Yer Alan Müşterilerin Çelik Talebi	82
Tablo 3.19: 4. Bölge - 2. Grup Müşterileri Arasındaki Mesafe.....	82
Tablo 3.20: Modellemelerden Çıkan Optimal Sonuçlar Özeti	85



ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Şekil No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1: Çok Aşamalı Lojistik Sistemi Bileşenleri	6
Şekil 1.2: Örnek Bir ARP Rota Çizimi.....	7
Şekil 1.3: Hamilton'un 'Icosian' Oyunu	8
Şekil 1.4: Alt Turlu GSP Hatalı Çözümü	10
Şekil 1.5: Araç Rotalama Problemi Türleri	11
Şekil 1.6: Örnek Bir Veri Seti.....	15
Şekil 1.7: ETD-ARP Çözümü.....	16
Şekil 1.8: ÖDST-ARP	17
Şekil 2.1: Alt turlu ARP Örneği	29
Şekil 2.2: Sezgisel Yöntemler	32
Şekil 2.3: Örnek En Yakın Komşu Sezgiseli.....	33
Şekil 2.4: Clarke ve Wright Tasarruf Algoritması Genel Konsepti.....	35
Şekil 2.5: Ekleme Sezgiseli Uygulanarak Çözülen Örnek Bir GSP.....	36
Şekil 2.6: Christofides Sezgiseli Uygulanarak Oluşturulan Örnek Bir Rota.....	37
Şekil 2.7: 2-Opt Uygulanarak Çizilen Örnek Rota.....	38
Şekil 2.8: 3-Opt Sezgiselli Örnek Rota.....	38
Şekil 2.9: k-Opt Sezgiselli Örnek Rota.....	39
Şekil 2.10: Standart bir TA Algoritması Akış Şeması.....	41
Şekil 2.11: Gerçek Karıncaların En Kısa Yolu Bulma Aşamaları.....	42
Şekil 2.12: Örnek GSP İçin Oluşan Kromozom Yapısı.....	44

Şekil 2.13: GA Akış Şeması	45
Şekil 2.14: Klasik YSA Görsel Çözüm Boyutu.....	46
Şekil 2.15: Tavlama Benzetimi Algoritmasının Genel Adımları	47
Şekil 2.16: PSO Akış Diyagramı	49
Şekil 2.17: Yapay Arı Kolonisi Algoritması Akış Diyagramı.....	51
Şekil 3.1: İstanbul Avrupa Yakasında Yer alan Talep Noktaları	56
Şekil 3.2: İstanbul Anadolu Yakasında Yer alan Talep Noktaları.....	57
Şekil 3.3: İstanbul'da Yer Alan Talep Noktalarının Bölgelere Ayrılması	58
Şekil 3.4: İstanbul'da Yer Alan Talep Noktalarının Bölgelere ve Gruplara Göre Görselleştirilmesi	58
Şekil 3.5: İstanbul'da Yer Alan Talep Noktalarının Bölgelere ve Gruplara Ayrılması	59
Şekil 3.6: 1. Bölge 1. Grup Modeller Özeti	63
Şekil 3.7: 1. Alt Problem Optimal Rotalar Gösterimi.....	63
Şekil 3.8: 2. Alt Problem Optimal Rotalar Gösterimi.....	63
Şekil 3.9: 1. Bölge 2. Grup için Modeller Özeti	66
Şekil 3.10: 1. Bölge 2. Grup için 1. Alt Problem Optimal Rotalar Gösterimi	66
Şekil 3.11: 1. Bölge 2. Grup için 2. Alt Problem Optimal Rotalar Gösterimi.....	66
Şekil 3.12: 2. Bölge 1. Grup İçin Modeller Özeti.....	69
Şekil 3.13: 2. Bölge 1. Grup için 1. Alt Problem Optimal Rotalar Gösterimi.....	69
Şekil 3.14: 2. Bölge 1. Grup için 2. Alt Problem Optimal Rotalar Gösterimi.....	70
Şekil 3.15: 2. Bölge 1. Grup İçin Modeller Özeti.....	72

Şekil 3.16: 2. Bölge 2. Grup için 1. Alt Problem Optimal Rotalar Gösterimi.....	73
Şekil 3.17: 2. Bölge 2. Grup için 2. Alt Problem Optimal Rotalar Gösterimi.....	73
Şekil 3.18: 3. Bölge 1. Grup İçin Model Özeti	75
Şekil 3.19: 3. Bölge 1. Grup İçin Optimal Rotalar Gösterimi	76
Şekil 3.20: 3. Bölge 2. Grup İçin Modeller Özeti	78
Şekil 3.21: 3. Bölge 2. Grup İçin 1. Alt Problem Optimal Rotalar Gösterimi	79
Şekil 3.22: 3. Bölge 2. Grup İçin 2. Alt Problem Optimal Rotalar Gösterimi	79
Şekil 3.23: 4. Bölge 1. Grup İçin Model Özeti	81
Şekil 3.24: 4. Bölge 1. Grup İçin Optimal Rotalar Gösterimi	82
Şekil 3.25: 4. Bölge 2. Grup İçin Model Özeti	84
Şekil 3.26: 4. Bölge 2. Grup İçin Model Özeti	84

KISALTMALAR

AMPL	Advanced Management And Leadership Programme
AR	Araç Rotalama
ARP	Araç Rotalama Problemi
BDARP	Bölünmüş Dağıtımli Araç Rotalama Problemi
BDP	Bulanık Doğrusal Programlama
CVRP	Capacity Constrained Vehicle Routing Problem
ÇDARP	Çok Depolu Araç Rotalama Problemi
ÇKSÇA	Çok Kademeli Büyük Sırtçantası Algoritması
DP	Doğrusal Programlama
DBSCAN	Density Based Spatial Clustering of Applications with Noise
EA	Evrimsel Algoritma
EZTDARP	Eş Zamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi
GA	Genetik Algoritma
GSP	Gezgin Satıcı Problemi
HSA	Hopfield Sinir Ağları
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İYA	İteratif Yerel Arama
ILP	Integer Linear Programming
KA	Kanguru Algoritması
KARP	Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
KKA	Karınca Kolonisi Algoritması
MARP	Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
MCS	Monte Carlo Simulasyonu
NP ZOR	Nondeterministic Polynomial Time
OSB	Organize Sanayi Bölgesi
ÖDSTARP	Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi
PARP	Periyodik Araç Rotalama Problemi
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonunu
RAA	Rastgele Arama Algoritması
SA	Süpürme Algoritması
SOA	Sütun Oluşturma Algoritması

TA	Tabu Arama
TB	Tavlama Benzetimi
TDP	Tamsayılı Doğrusal Programlama
TSP	Traveling Salesman Problem
TT	Tepe Tırmanma
YA	Yasaklı Arama
YAK	Yapay Arı Kolonisi
ZPARP	Zaman Pencerele Araç Rotalama Problemi



GİRİŞ

Dağıtım maliyetleri günümüz rekabetçi ortamında işletmelerin kârlılığını ve rekabet gücünü etkileyen önemli faktörler arasında yer almaktadır. Bu sebeple dağıtım rotalarının belirlenmesinde bilimsel yöntemlerin kullanılmasıyla işletmeler lojistik maliyet tasarrufu sağlayarak önemli avantajlar elde edebilecek, kâr marjlarını arttırabilecek ve aynı zamanda ülke ekonomisindeki bazı kaynakların (petrol, iş gücü, zaman vb.) daha verimli kullanılması sağlanacaktır (Çolak ve Güler, 2009: 173). Bu verimliliğin tam anlamıyla sağlanabilmesi için işletmelerin dağıtım rotaları üzerinde bulunan müşterilerin taleplerini daha etkin bir şekilde sağlayarak optimal dağıtım rotaları çizmeleri gerekmektedir.

Araç Rotalama Problemi (ARP), ulaştırma ve lojistik sistemleri için çok önemli bir konumda yer almaktadır. Bu problem, depodan coğrafi olarak dağıtım bölgelerinde bulunan ticaret merkezlerine, şehirlere veya müşterilere hizmet etmek için bir araç filosunun sahip olduğu rotaları dizayn etmektedir (Wu vd., 2016: 742). Problem ilk olarak Gezgin Satıcı Problemi (GSP) temelinde Dantzig ve arkadaşlarının (1954) tanımlamış oldukları "*Solution of a Large-Scale Traveling-Salesman Problem*" adlı çalışmada 0-1 Tamsayılı Doğrusal Programlama yöntemini Dal ve Sınır Algoritması ile modelleyerek örneklem büyüklüğü 48 şehirlik bir dağıtım problemine uygun çözüm önerisi getirmişlerdir. Ardından Dantzig ve Ramser'in (1959) "*The Truck Dispatching Problem*" adlı yaptıkları çalışmalarında 0-1 Tamsayılı Doğrusal Programlama yöntemi ile benzin istasyonlarına taşınan benzinin optimumuna yakın bir rota belirleyerek rotalama problemine uygun bir çözüm önerisi getirmişlerdir. O tarihten itibaren ARP'nin çok farklı türevleri ele alınarak yeni çözüm modelleri geliştirilmiştir. Bunlardan en popüler olanları da Zaman, Mesafe, Kapasite veya Maliyet Kısıtlı ARP ve GSP temelli çalışmalar literatürde oldukça yaygın bir şekilde çalışılmıştır.

Dağıtım yoluyla müşterilerine ulaşan işletmelerin birçoğu çizdikleri rotaları geçmiş deneyimlerine dayanarak belirlemektedirler. Bu düzensiz planlama da işletmeleri katlanılan maliyetten daha fazla bir maliyete zorlamaktadır. Bunun sonucunda bu problemin, dağıtım işletmeleri arasındaki rekabetten dolayı ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır.

ARP'nin en temel sorunu, bütün müşteriler arasında veya depo ile müşteriler arasında atılan her bir adım fazladan maliyet olduğu için müşteriler ile depo arasındaki

en az maliyetli rotayı bulmak olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca ARP, çözüm modellerine daha fazla kısıt eklenerek çok karmaşık bir problem olarak da karşımıza çıkmaktadır. Problemden kısıt olarak, siparişleri müşteriden alarak veya müşteriye dağıtarak bir rota çizilebilir. Bununla birlikte araca yüklenecek siparişler, aracın hacmini, kapasitesini ve ağırlığını aşmaması gerekmektedir (Boschetti vd., 2017: 456). Problemden bütün araçlar depo vb. bir noktadan başlayıp tekrar aynı noktaya dönmesi problemin temel kısıtıdır. Her müşteri sadece bir araç tarafından ziyaret edilmelidir. Bu noktadan sonra her aracın kapasite sınırı olmasından dolayı problemin önemli değişkenleri arasında kapasite kısıtı da eklenmektedir (Teymourian vd., 2016: 354).

ARP, 20. yy'nin ortalarından itibaren literatürde ciddi bir şekilde çalışmalar yapılan, farklı türevleri ile geliştirilen bir optimizasyon problemidir. Gündelik hayatta çokça karşılaşılan bir konu olmasının yanında çözümü NP Zor¹ bir problemidir. Bir aracın bir depodan ya da bir şehirden çıkarak önceden belirlenen müşterilere/noktalara/shirlere sırasıyla ulaşarak tekrar başlangıç noktasına dönmesi ile birlikte çizdiği rota ile kat edilen mesafenin en küçüklenmesi problemidir. Çözümü Doğrusal Programlama yöntemi ile başlayan ve yıllar ilerledikçe sezgisel ve meta-sezgisel yöntemlerin modellenmesi ile daha gelişmiş bir boyut kazanan kombinatoriyal bir problemidir. Problem kombinatoriyal çözüme sahip olmasından dolayı kısıt ve düğüm sayısı arttıkça çözümü de o derece zaman almaktadır. Belirtilen bu problemlerden yola çıkılarak bu çalışmada, bir dağıtıcı firmanın belirli müşterilerile ulaşmak için çizdiği rotaların toplam mesafelerinin en küçüklenmesi amaçlanmıştır. Yöntem olarak da 0-1 Tamsayı Doğrusal Programlama modeli Kapasite Kısıtlı ARP'ye uyarlanmıştır.

Çalışmada giriş bölümünden sonra birinci bölümde ilk olarak Dağıtımın ARP ile olan ilişkisine değinilmiştir. Daha sonra ARP ve GSP detaylı bir şekilde tanımlanmıştır. Ardından ARP türlerine tanımlı bir şekilde yer verilmiştir. Bu bölümün sonunda da ARP temelli bir literatür incelemesi yapılmıştır. İkinci bölümde çalışmanın da temelini oluşturan yöntem olan Dal - Kesme algoritmasının yanı sıra ARP'nin modellenmesinde ve çözümünde kullanılan yöntemler detaylı bir şekilde irdelenmiştir. Bu incelemeden sonra da bu yöntemler temelli bir literatür incelemesi yapılmıştır. Üçüncü bölümde ilk olarak çalışmanın amaç, önem, materyal ve yöntemine değinilerek uygulama kısmına

¹ **NP Zor** = Bu gruba dahil olan problemlerin çözümü tam anlamıyla gerçekleştirilememektedir. Nondeterministic Polynomial Time olarak literatürde tanımlanmaktadır.

yer verilmiştir. Dördüncü bölümde de analiz sonuçları değerlendirilerek önerilerde bulunulmuştur.



1. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

Bu bölümde en önemli dağıtım problemlerinden biri olan Araç Rotalama Problemi (ARP) hakkında bilgi verilecektir. Bu problem, genel olarak düşünüldüğünde bir dağıtım problemi olduğundan dolayı ilk olarak dağıtım hakkında bilgi verilip daha sonra ARP'nin çeşitlerine ve uygulama alanlarına değinilecektir.

1.1. Dağıtım

Dağıtım, lojistik faaliyetlerinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Lojistik, işletmeler açısından düşünüldüğünde ürünün, ilk maddeden tam mamüle kadar her seviyesinin doğru zaman, yer, miktar temelinde en az maliyetle müşterilere teslim edilme sürecidir.

Lojistik, son yıllarda işletmeler arası rekabette çok daha önemli hale gelmiştir. İşletmenin temel parçalarına; üretim ve pazarlama için destekleyici bir role bürünmüştür. Özellikle günümüzde işletmeler arası rekabetin ciddi şekilde arttığı düşünülmüşse lojistik faaliyetlerin bu rekabetin seviyesini belirleyebileceği açıkça görülmektedir.

Aralarında taşımacılığın da olduğu Lojistik faaliyetler genel itibariyle şu şekilde sunulmuştur (Çetin, 2013: 12).

- Tedarik
- Depolama, elleçleme ve paketleme
- Taşımacılık
- Tesis ağı oluşturma
- Stok planlaması ve yönetimi
- Bilişim sistemi ve kontrol

Yukarıdaki faaliyetler göz önüne alındığında, bu çalışmanın temel noktası olan taşımacılık faaliyeti ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada dağıtım odaklı bir taşımacılık problemine çözüm aranmıştır. Günümüzde taşımacılık faaliyetleri toplam maliyetin önemli bir bölümünü içermektedir.

Küresel ulaşım maliyetleri o kadar yüksektir ki; dünyada tüketilen Petrolün % 60'ı ve tüketilen enerjinin % 25'i ulaşım faaliyetlerinde tüketilir (Rodrigue vd., 2006: 45). Bundan dolayı bu maliyetler işletmelerin önünde önemli bir kısıt olarak durmaktadır. Toplam maliyetin minimize edilecek şekilde taşımacılık ağının

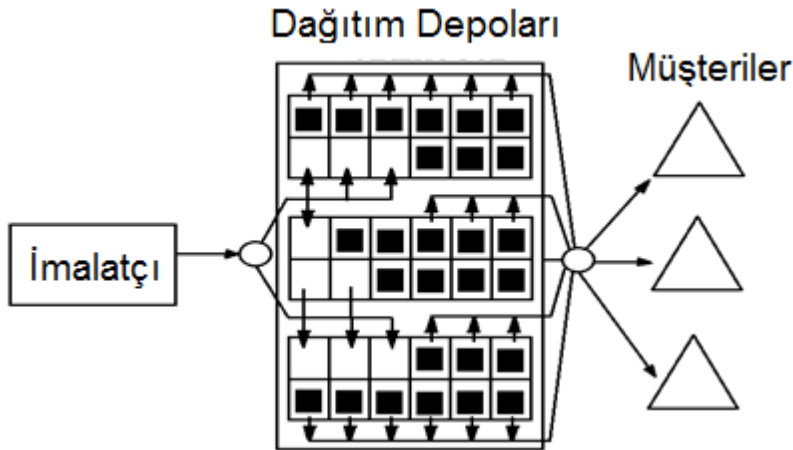
oluşturulması da ciddi problemleri beraberinde getirmektedir. Taşımacılık ağında ortaya çıkabilecek problemler aşağıda açıklanmıştır (Current ve Marsh, 1993: 6)

- En Kısa Yol Problemi
- Ulaştırma Problemi
- Atama Problemi
- Aktarmalı Taşımacılık Problemi
- **Araç Rotalama Problemi**
- Optimal Ağ Tasarımı Problemi
- Kapsayan Ağaç Problemi
- Ağ Akış Problemi

Taşımacılıkta yaşanılabilecek problemler arasında yer alan ARP, operasyonel olarak düşünüldüğünde en düşük maliyet amacıyla yola çıkılarak en kısa yoldan belirli kısıtlar dâhilinde müşterilerin taleplerini karşılamakla ilgili bir problemdir. Bu bölümden itibaren ARP detaylı bir şekilde açıklanacaktır.

1.2. Araç Rotalama Problemine Giriş

Araç Rotalama (AR), lojistik sisteminde bir ve ya birkaç depodan belirli müşterilere ürün dağıtımı ve müşterilerden ürün toplanması olarak tanımlanabilmektedir. Çok aşamalı bir lojistik sistemine bakıldığında, ARP, ürünleri depoya sevk eden üretici bir firma, siparişlerin toplanıp müşterilere sevk edildiği depo ve ürünleri talep eden müşteri bileşenlerinden oluşmaktadır. Dolayısıyla tüm bunlar düşünüldüğünde ürün toplama veya dağıtımının oldukça maliyetli ve yoğun iş gücü gerektiren bir faaliyet olduğu sonucuna varılmaktadır (Keskintürk vd., 2015: 78).

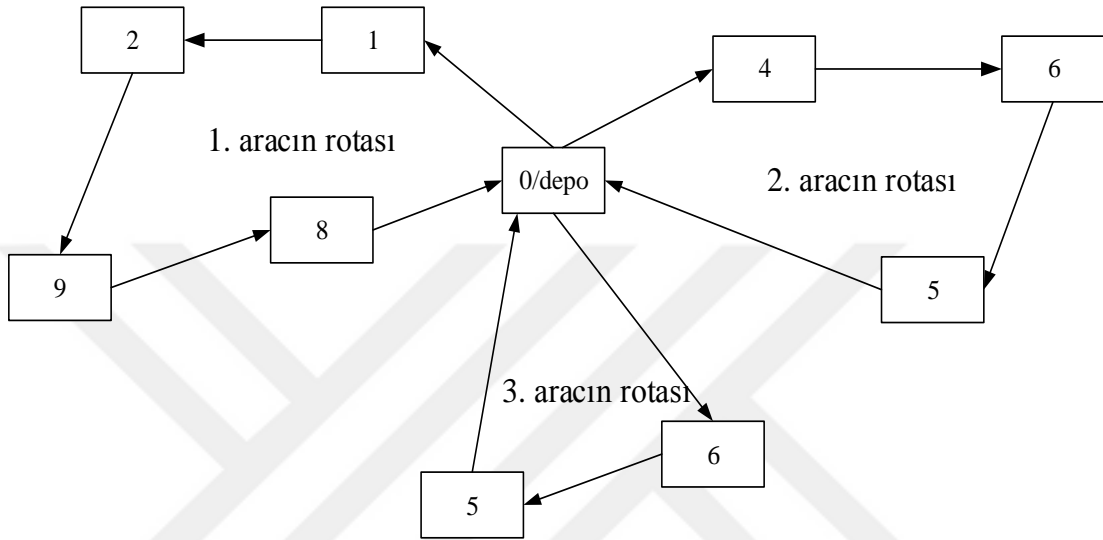


Şekil 1.1: Çok Aşamalı Lojistik Sistemi Bileşenleri

ARP, giriş bölümünde de bahsedildiği üzere Gezgin Satıcı Problemi olarak Dantzig, Fulkerson ve Johnson (1954) tarafından yapılan çalışma ile literatürdeki yerini almıştır. Daha sonra Clarke ve Wright (1964), Dantzig ve Ramser'in yaptığı çalışma üzerinde bir tartışma başlatarak Tasarruf algoritması ile örnek bir dağıtım problemine bir çözüm önerisi getirmişlerdir. O tarihten bu yana ARP bir çok türevi ile literatürde yaygın olarak çalışılan optimizasyon problemlerinden biri haline gelmiştir. ARP malzeme dağıtım ve toplama sistemleri, lojistik yardım, okul, engelli vb. taşıtlarının rotalarının iyileştirilmesi, posta, gazete vb. dağıtımların yapılması, kamuya ait çöp araçlarının uygun bir şekilde rotalanması, şehirler/ilçeler vb. bölgeler arası seyahatlerin güzergâhlarının planlanıp rotalanması, malzeme akışlarının çizelgelenmesi gibi birçok kullanım alanlarına sahiptir. Akademik alanda da yöneylem araştırmalarının en önemli konularından biri olan bu optimizasyon problemi; İşletme, Endüstri, Lojistik gibi birçok dalın da odak noktasında bulunmaktadır.

ARP k tane araç rotası oluşturulması ile ilgilidir. Bu rotalar ana depodan başlamakta ve alt kümesindeki müşterileri belirli bir sırayla ziyaret edip tekrar ana depoya dönmesinden oluşmaktadır. Her bir müşteri k araç rotalarından birinde mutlaka yer almalıdır ve müşterilere atanan her aracın toplam dağıtım miktarı araç kapasitesini geçmemelidir. Bu problemdeki ana amaç, maliyet fonksiyonunu minimize ederken, bütün kısıtları sağlayıp toplam mesafeyi veya toplam zamanı minimuma indirmektir. Yan amaç ise müşteri memnuniyetini maksimize etmektir (Düzakın ve Demircioğlu, 2009: 69). Diğer bir yandan, ARP'nin oluşumunda pay sahibi olan bileşenler de imalatçı, depo, müşteri, araçlar ve kısıtlar diye tanımlanabilir.

ARP'ler sahip olunan kısıtlar ile birbirlerinden farklılık göstermektedir. Müşterilere yapılacak dağıtım parçalanarak yapılabilir ya da her müşterinin hizmet kabul edebileceği belirli bir zaman aralığı olabilir. Bu gibi farklılıklar söz konusu çeşitliliğe sebep olmaktadır. Örnek bir ARP rota çizimi Şekil 1.2'de olduğu gibi gösterilebilir (Şen vd., 2014: 84).



Şekil 1.2: Örnek Bir ARP Rota Çizimi

1.3. Gezgin Satıcı Problemi (GSP)

ARP'nin sağlam temeller üzerine oturtulabilmesi için problemin kaynağına inilmesi gerekmektedir. Literatür ayrıntılı bir şekilde incelendiğinde ARP'nin en saf türü olarak Gezgin Satıcı Problemi karşımıza çıkmaktadır. Genel itibariyle ARP, GSP temelinde literatüre kazandırılmıştır.

GSP (Travelling Salesman Problem - TSP), aralarındaki uzaklıklar bilinen N adet noktanın (şehir, parça veya düğüm gibi) her birisinden yalnız bir kez geçen en kısa veya en az maliyetli turun bulunmasını hedefleyen bir problemdir (Cevre vd., 2007: 8). GSP, Hamilton döngüsünün genelleştirilmiş hali olarak karşımıza çıkmıştır. Her bir kenarının negatif bir maliyete sahip olduğu komple bir grafikten oluşmaktadır. Problemden noktalar şehirleri, kenarlar şehirlerarasındaki mesafeden ötürü oluşacak olan maliyetleri ifade etmektedir. Bu problemin ana amacı, coğrafi olarak belirlenen şehirlerarasındaki mesafeler göz önüne alınarak ve her şehir bir kez ziyaret edilerek en kısa rotayı bulmaktır (Chen vd., 2017: 1864).

GSP ile ilgili matematiksel problemler 1800'lü yıllarda İrlandalı matematikçi Sir William Rowan Hamilton ve İngiliz matematikçi Thomas Penyngton Kirkman tarafından ele alınmıştır. Şekil 1.3'te görülen Hamilton'un 'Icosian' oyunundan bir fotoğraf olan bu oyun, basit bir şekilde oyuncuların sadece belirtilen bağlantıları kullanarak 20 puana kadar turları tamamlamaları gerektiği bir kurala sahiptir. GSP'nin genel formu ilk olarak 1930'lu yıllarda Viyana ve Harvard'da Karl Menger gibi matematikçiler tarafından incelenmeye başlanmıştır. Problem daha sonra Princeton'da Hassler Whitney ve Merrill Flood tarafından desteklenmiştir. 1950'lerin sonunda da ilk kez literatüre kazandırılan problem dönemler ilerledikçe hem kullanılan yöntem hem de örneklem büyüklüğü temelinde sürekli geliştirilerek literatür tarihine geçmiştir. GSP ile yapılan çalışmalar Tablo 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.3: Hamilton'un 'Icosian' Oyunu

Tablo 1.1: GSP Temelli Kilometre Taşı Çalışmalar

YIL	ARAŞTIRMACI	ÖRNEKLEM BÜYÜKLÜĞÜ
1954	G. Dantzig, R. Fulkerson, ve S. Johnson	48 Şehir
1970	M. Held ve R.M. Karp	64 Şehir
1975	P.M. Camerini, L. Fratta, ve F. Maffioli	67 Şehir
1979	M. Grötschel	120 Şehir
1980	H. Crowder ve M.W. Padberg	318 Şehir
1987	M. Padberg ve G. Rinaldi	532 Şehir
1987	M. Grötschel ve O. Holland	666 Şehir
1987	M. Padberg ve G. Rinaldi	2,392 Şehir
1995	D. Applegate, R. Bixby, V. Chvátal, ve W. Cook	7,397 Şehir
1998	D. Applegate, R. Bixby, V. Chvátal, ve W. Cook	13,509 Şehir
2001	D. Applegate, R. Bixby, V. Chvátal, ve W. Cook	15,112 Şehir
2004	D. Applegate, R. Bixby, V. Chvátal, W. Cook, ve K. Helsgaun	24,978 Şehir

GSP üzerinde çokça çalışmalar yapılmıştır. Örneklem büyüklüklerinin yanında yararlanılan yöntemler de geliştirmiştir. Ayrıca 48 şehirlik bir örneklem boyutu ile literatüre giren bu problem 2004 yılında Applegate vd. tarafından 24,978 şehirlik bir örneklem boyutu ile çok önemli bir gelişim göstermiştir (www.math.uwaterloo.ca/tsp.05.09.2017).

GSP kuşkusuz en popüler optimizasyon problemlerinden biridir. Kâğıt üzerinde kolay bir problem olarak görünmesine rağmen bazı türevlerinin çözümü uzun saatler almaktadır. Problemin özünde bir gezgin satıcının istediği şehre uğrayarak en kısa yoldan başladığı yere dönmesi ile alakalıdır. Bu problemin geliştirilmesi de ayrıca mümkündür. Çoklu araç filosu, kapasite, zaman, çoklu depo veya mesafe kısıtları eklenerek farklı türevler oluşturulabilmektedir. GSP'nin bir optimizasyon problemi olarak matematiksel modellemesi şu şekilde gösterilebilir.

Notasyon

c_{ij} = i şehirden j şehrine gitmenin maliyeti

y_{ij} = Satıcının i şehirden j şehrine gidip gitmediğini belirten 0-1 değişkeni

x_{ij} = Satıcının her (i,j) üzerinde düğüm 1'den $(n-1)$ düğümüne gittiğini ifade eder.

μ = Lagrange Çarpanı²

² **Lagrange Çarpanı** (Lagrange Multiplier)= Kullanılmaya izin verilen girdi değeri için bazı kısıtlamalar olduğunda çok değişkenli bir fonksiyonun minimumunu ya da maksimumunu bulmak için kullanılır. Çarpanın simgesi de (μ) ile gösterilir.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min}Z = \sum_{ij \in A} c_{ij} y_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{1 \leq j \leq n} y_{ij} = 1 \quad \text{her } j \text{ için } = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

$$\sum_{1 \leq i \leq n} y_{ij} = 1 \quad \text{her } i \text{ için } = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

$$Nx = b, \quad (4)$$

$$x_{ij} \leq (n - 1)y_{ij} \quad (i, j) \in A \quad (5)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (i, j) \in A \quad (6)$$

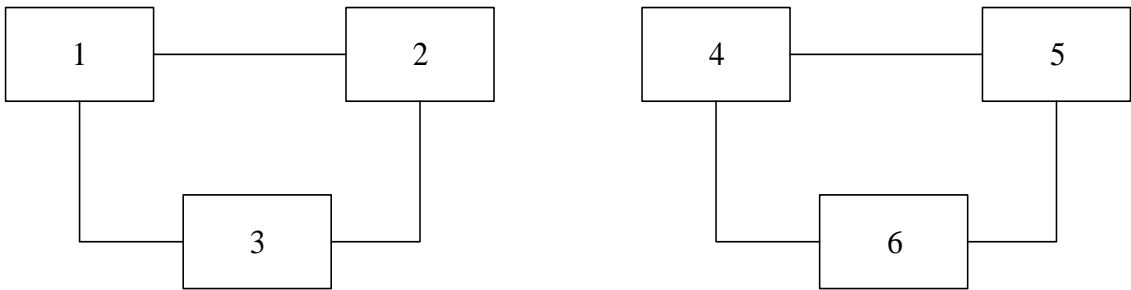
$$x_{ij} = 0 \text{ veya } 1 \quad (i, j) \in A \quad (7)$$

$$A' = \{(i, j) : y_{ij} = 1\} \quad A'' = \{(i, j) : x_{ij} > 0\},$$

Model bu şekilde oluşturulduğunda;

Denklem (1)= Toplam maliyetin minimize edileceğini gösteren amaç fonksiyonudur.

Denklem (2) ve (3)= Rotanın mutlaka aynı düğümde başlayıp aynı düğümde sonlanacağını garanti etmektedir. Fakat rota döngüsü birden fazla olduğunda problemde alt turlar meydana gelmektedir. Bu alt turları engellemek için ise alt tur engelleme kısıtı formülasyona dahil edilmelidir. Lagrange gevşemesi (Lagrangian relaxation) problemin alt turlarını y_{ij} ; değişkenlerdeki atama problemi ve x_{ij} ; akış problemini en küçük yapmak üzere iki gruba ayırır. Bu sayede alt turlara sahip olan rotalar çözümden çıkarılarak en iyi sonuç bulunmaktadır. Bu kısıt Denklem 8'de verilmiştir. Ayrıca örnek bir alt tur da Şekil 1.4'teki gibi gösterilebilir (Ahuja vd., 1993: 623-625).

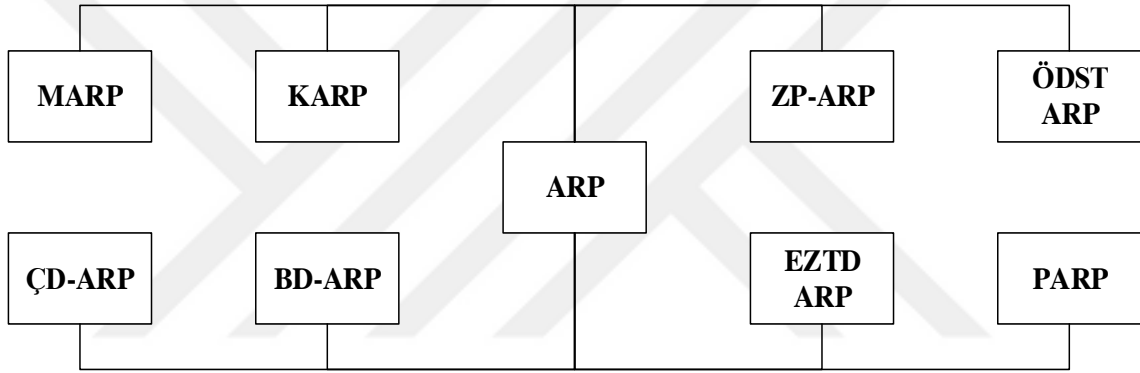


Şekil 1.4: Alt Turlu GSP Hatalı Çözümü

$$\sum_{(i,j) \in A} [c_{ij}(n - 1)\mu_{ij}] y_{ij} + \sum_{i,j \in A} \mu_{ij} x_{ij}, \quad (8)$$

1.4. Araç Rotalama Probleminin Türleri

ARP'nin literatürdeki gelişimi birçok türünü de beraberinde getirmiştir. Klasik ARP modeline eklenen her bir kısıt problemin boyutunu her anlamıyla değiştirmektedir ve ona farklı bir boyut kazandırmaktadır. ARP'nin başlıca türleri; Kapasite Kısıtlı ARP (KARP), Mesafe Kısıtlı ARP (MARP), Önce Dağıt Sonra Topla ARP (ÖDST-ARP), Eş Zamanlı Topla Dağıt ARP (EZTD-ARP), Bölünmüş Dağıtımlı ARP (BD-ARP), Çok Depolu ARP (ÇD-ARP), Periyodik ARP (PARP) ve Zaman Pencereci ARP (ZP-ARP)'dir. Bu türler arasından literatürde en çok üzerinde durulan problem KARP'dır (Laporte vd., 1985; Solomon, 1987; Desrochers vd., 1992; Eksioğlu vd., 2009; Toth ve Vigo, 2014).



Şekil 1.5: Araç Rotalama Problemi Türleri

1.4.1. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KARP)

Klasik ARP'nin matematiksel modeline kapasite kısıtı eklenerek oluşturulan KARP, literatürde en çok üzerinde durulan ARP türlerinden biridir. Problemin asıl amacı toplam alınan mesafeyi ya da maliyeti en küçükmek olarak tanımlanmaktadır. KARP'a dair temel kısıtlar şu şekildedir (Lin vd., 2009: 1506).

- Probleme dâhil edilen her aracın kapasitesi eşit olması gerekmektedir.
- Her bir araç, dağıtıma depodan başlamalıdır.
- Araçların belirlenen rotada bulunan her müşteriye uğrama zorunluluğu bulunmaktadır.
- Her müşteriye yalnızca bir kez uğranmalı ve her araç başladığı noktaya dönmelidir.
- Her araca yükleme yapılırken sahip olunan kapasitesi aşılmamalıdır.

Problemin amaç fonksiyonu ve kısıtlara ait matematiksel model aşağıdaki gibidir (Oropeza vd.'den aktaran Keskin Türk vd., 2015: 82-83).

Notasyon

N : Müşteri sayısı

K : Araç sayısı

C : Araç kapasitesi

c_{ij} : müşteri i 'den müşteri j 'ye gidene kadar geçen seyahat süresi

Karar değişkenleri

x_{ijk} : k aracı i den j ye gidiyorsa 1, aksi halde 0;

Matematiksel Model

Amaç Fonksiyonu

$$\min Z = \sum_{k \in K} \sum_{i,j \in A} c_{ij} X_{ij} \quad (9)$$

Kısıtlar

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in \Delta^+ i} X_{ijk} = 1, \forall i \in N \quad (10)$$

$$\sum_{j \in (0)} X_{0jk} = 1, \forall k \in N \quad (11)$$

$$\sum_{i \in \Delta^- i=0} X_{ijk} - \sum_{i \in \Delta^+ j} X_{ij} = 0, \forall k \in K, i \in N \quad (12)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(j)} X_{i,n+1,k} = 1, \forall k \in K \quad (13)$$

$$\sum_{i \in N}^{i \in \Delta^-(n+1)} d_i \sum_{j \in \Delta^+ i} X_{ijk} \leq C, \forall k \in K \quad (14)$$

$$X_{i,jk} \geq 0, \forall k \in K, (i,j) \in A \quad (15)$$

$$X_{ijk} \in (0,1), \forall k \in K, (i,j) \in A \quad (16)$$

Denklem (9)= Gösterilen amaç fonksiyonu kat edilen toplam mesafeyi en küçüklemektedir.

Denklem (10) = Her müşteri yalnızca bir araç tarafından ziyaret edilmelidir.

Denklem (11)= Başlangıç deposundan gönderilen her araç yalnızca 1 müşteriye gönderilir.

Denklem (12)= Bir araç bir müşteriyi ziyaret ediyorsa aynı zamanda o müşteriden hareket etmelidir.

Denklem (13)= Rotaların sonunda sadece bir düğümün depoya bağlandığını göstermektedir.

Denklem (14) = Müşterilerin taleplerinin araç kapasitesini aşamayacağı gösterir.

Denklem (15)= Değişkenlerin negatif olmama şartını sağlamaktadır.

Denklem (16)= 0-1 ikili tamsayı değişkenleri tanımlamaktadır.

1.4.2. Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (MARP)

MARP'ı KARP'tan ayıran temel kısıt, rotalara atanmış her aracın kat edebileceği belirli toplam mesafesi olmasıdır. Bu durum gerçek bir dağıtım probleminde taşınan ürünün cinsinden, araç veya sürücü kısıtlarından dolayı söz konusu olabilir. Eğer taşınan ürünün uzun süre taşıma nedeniyle bozulabilmesi söz konusuysa, ya da araç kullanıcısının sürekli olarak belirli bir süreden daha fazla yolculuk yapamaması söz konusu ise bu kısıt eklenmelidir. Dolayısıyla yukarıda ifade edilen modele bir kısıt daha eklenecektir (Dursun, 2009: 7).

Mesafe Kısıtı

T : Her bir aracın kat edebileceği toplam mesafe

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N c_{ij} X_{ijk} \leq T \quad (17)$$

1.4.3. Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi (ÖDST-ARP)

Bir coğrafi bölgedeki müşterilerin, “*Ürün Dağıtılacak Müşteriler*” ve “*Ürün Toplanacak Müşteriler*” olmak üzere iki alt kümeye ayrıldığı farz edilsin. Eğer araçların dağıtım planı, önce dağıtım yapılacak müşterilere, daha sonra toplama yapılacak müşterilere uğrayıp depoya dönecek şekilde yapılmak istenirse, bu durumda ARP'nin özel bir türü ortaya çıkar. Bu tür problemler “Önce Dağıt Sonra Topla ARP (ÖDST-ARP) olarak adlandırılmaktadır (Keçeci, 2008: 10).

Bu problem de ‘*Backhaul*’ ve ‘*Linehaul*’ olarak iki farklı müşteri alt kümeleri mevcuttur. Dağıtım ile ilgili olan *Linehaul* müşterileri depodan sipariş verilmek üzere olan mallara ihtiyaç duyarken diğer yandan, toplama ile ilgili olan başka miktarda depoya götürülmek üzere sipariş alınan malların *Backhaul* müşterilerinden alınmasıyla işlem tamamlanmaktadır. Bu karmaşık araç rotalamada ana amaç minimum maliyetlerle dağıtımlı ve toplamalı bir şekilde müşteriye servis sunmaktır (Duhamel vd., 1997: 49). ÖDSTARP modeli için KARP ve MARP için oluşturulan modele ek olarak çeşitli kısıtlar ile oluşturmuş hali aşağıdaki gibidir (Küçüköğlü ve Öztürk (2014: 944-946).

Notasyon

M : Dağıtım yapılacak olan müşteri sayısı (Linehaul)

N : Ürünleri toplanacak müşteri sayısı (Backhaul)

K : Araç sayısı

Uzaklık ij : i düğümünden j düğümüne olan uzaklık ($i, j = 1, \dots, M + N + 1; i \neq j$)

a_i : Dağıtım yapılacak müşterinin talebi ($i = 2, \dots, M + 1$)

b_i :	Ürünleri toplanacak müşteri talebi ($i= M+2, \dots, M+N+1$)
cap_k :	Araç kapasitesi ($k= 1, \dots, K$)
p_i :	i müşterisinin hizmet süresi ($i= 1, \dots, M+N+1$)
e_i :	i müşterisine erken varış süresi ($i= 1, \dots, M+N+1$)
l_i :	i müşterisine en geç varış süresi ($i= 1, \dots, M+N+1$)
t_i :	Hizmete başlama süresi ($i= 1, \dots, M+N+1$)
c_{ij} :	i müşterisinden j müşterisine hizmete giderken geçen süre ($i, j = 1, \dots, M+N+1; i \neq j$)
T :	Araçların alacağı en fazla mesafe
MM :	Ceza sayısı
S :	Her araç için alt tur oluşturulmasını engelleyen kısıt

Karar Değişkenleri

$x_{ijk} =$ 1, Eğer k aracı i müşterisinden j müşterisine gidiyorsa, aksi takdirde 0

$u_{ik} =$ 1, Eğer k aracı i Linehaul müşterisine servis yapıyorsa, aksi takdirde 0

$v_{ik} =$ 1, Eğer k aracı i Backhaul müşterisine servis yapıyorsa, aksi takdirde 0

Kısıtlar

$$\sum_{k=1}^K u_{ik} = 1 \quad (i = M+2, \dots, M+1) \quad (18)$$

$$\sum_{k=1}^K v_{ik} = 1 \quad (i = M+2, \dots, M+N+1) \quad (19)$$

$$\sum_{i=1}^{M+1} x_{ijk} = u_{jk} \quad (j = 2, \dots, M+1; k = 1, \dots, K) \quad (20)$$

$$\sum_{i=1}^{M+N+1} x_{ijk} = v_{jk} \quad (j = M+2, \dots, M+N+1; k = 1, \dots, K) \quad (21)$$

$$\sum_{j=1}^{M+N+1} x_{ijk} = v_{ik} \quad (i = 2, \dots, M+1; k = 1, \dots, K) \quad (22)$$

$$\sum_{j=1}^{M+N+1} x_{ijk} = v_{ik} \quad (i = M+2, \dots, M+N+1; k = 1, \dots, K) \quad (23)$$

$j \neq [2, M, +1,]$

$$p_1 + c_{1j} - t_j \leq MM(1 - x_{1jk}) \quad (j=2, \dots, M+N+1; k=1, \dots, K) \quad (24)$$

$$t_1 + p_{1j} - c_{i1} - T \leq MM(1 - x_{1ik}) \quad (i=2, \dots, M+N+1; k=1, \dots, K) \quad (25)$$

$$t_1 + p_{1j} - c_{i1} - t_j \leq MM(1 - x_{ijk}) \quad (i, j=2, \dots, M+N+1; k=1, \dots, K) \quad (26)$$

$$e_i \leq t_i \leq l_i \quad (i=1, \dots, M+N+1) \quad (27)$$

Denklem (17), (18) = Bir araç ile dağıtım ve toplama yapılacak olan müşteriye aynı araç ile yapılması gerektiğini açıklar.

Denklem (19) = Eğer j müşterisi Linehaul ise, i müşterisinin Linehaul veya Backhaul olacağını açıklar.

Denklem (20) = Bu kısıt eğer j müşterisi Backhaul müşterisi ise, i müşterisinin mutlak Backhaul olması gerektiğini açıklar.

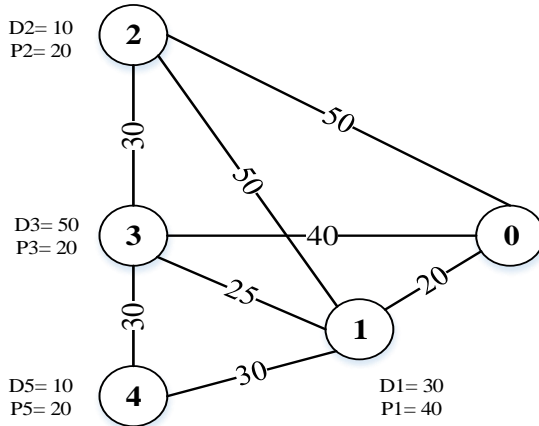
Denklem (21) ve (22) = Bu kısıtlar her müşterinin sadece bir araç tarafından ziyaret edileceği garanti etmektedir.

Denklem (23) ve (24) = Bu kısıtlar, 14. Ve 15. kısıtları desteklemektedir.

Denklem (25) ve (26) = Bu kısıtlar da alt tur oluşmasını ve belirlenen zaman aralığında servis yapılması gerektiğini açıklamaktadır.

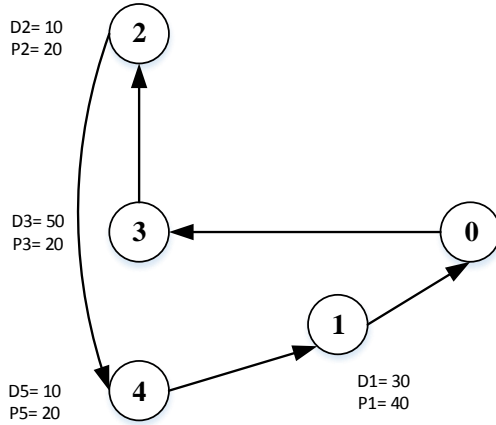
1.4.4. Eş Zamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi (EZTD-ARP)

EZTD-ARP ilk olarak Min (1989) tarafından ortaya atılmış bir ARP türüdür. Min yaptığı çalışmasında daha çok ÖDST-ARP türüne benzerliği nedeniyle ilerleyen dönemlerde geliştirilmesi gerekiyordu. Daha açık bir ifade ile Min, bütün dağıtımlar yapıldıktan sonra toplamaya geçmiş bir model önerisinde bulunmuştur. Bu problem genişletildi ve karışık topla-dağıtım ağı kurularak problem gerçek kimliğine kavuşmuştur. Bütün dağıtımlar yapılmadan önce bile karışık bir yükleme prensibi ile yükle-dağıtım yapılabilir. Araç kapasitesinin ve müşterinin talebi önceden bilindiğine göre daha az karmaşık bir yapı ortaya çıkmaktadır. Aşağıda belirtilen basit bir örnek ile EZTD-ARP açıklanmak istenmektedir³ (Dethloff, 2001: 83-84).

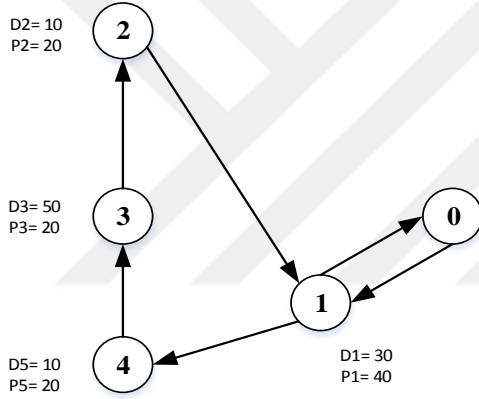


Şekil 1.6: Örnek Bir Veri Seti

³ Şekil 1.6, 1.7 ve 1.8'de gösterilen harfler (D,P), yöntemi geliştiren yazarın çalışmasından alınmıştır. D ve P, İngilizce karşılığı olan kelimeleri simgelemiştir (Deliver: Dağıtım – Pick up: Toplama).



Şekil 1.7: EZTD-ARP Çözümü



Şekil 1.8: ÖDST-ARP

1.4.5. Bölünmüş Dağıtımlı Araç Rotalama Problemi (BD-ARP)

Bu problem, depodan başlayıp depoda sonlanan ve belli bir kapasitesi olan aracın rotasında bulunan müşterilerin kümelenip nereden servis yapılacağı ile ilgili bir problemdir. Klasik ARP'de bir aracın her müşteriye yalnızca bir kez uğranma kısıt bulunmasına rağmen, bu problemde ziyaret sayısı ile ilgili herhangi bir kısıt bulunmamaktadır. Bunun sonucunda, bir müşterinin talebi araç kapasitesinden fazla olabilir ve ayrıca toplam talebin karşılanması için gerekli araç sayısı sınırsız veya minimum da olabilmektedir (Archetti, vd., 2011: 241).

1.4.6. Çok Depolu Araç Rotalama Problemi (ÇD-ARP)

Bu problem, toplu depolar setinden, önceden belirlenmiş müşteri taleplerinden ve hizmet sürelerinden oluşmaktadır. Problemde tam kapasite ile müşterileri tatminini

en az maliyet ile karşılaması amaçlanmaktadır. ÇD-ARP'nin kısıtları ise şu şekilde açıklanabilir (Escobar vd., 2014: 484).

- Her rotanın başlangıç ve bitiş noktasındaki depo aynı olması gerekmektedir.
- Her müşteri sadece bir kez uğranması gerekmektedir.
- Her rotanın toplam talebi araç kapasitesini aşmamalıdır.
- Her depo ile ilişkili olan rota sayısı araç sayısını aşmamalıdır.
- Her rotanın toplam süresi (ziyaret edilen müşterinin hizmet süresinden ve her rotanın toplam seyahat maliyetinin toplamından dolayı) toplam müşteri talebini aşmamalıdır.

1.4.7. Periyodik Araç Rotalama Problemi (PARP)

Bu problem müşterilerin birkaç günlük periyot diliminde birden fazla ziyaret edilebileceğini temel almaktadır. Her müşterinin talep zamanı aynı değildir ve bazı müşterilerin siparişleri talep ettikleri zaman dilimleri farklı olabilmektedir. Küçük depolama kapasitesine ve ya daha büyük talepleri olan müşteriler küçük taleplere veya büyük depolama alanlarına sahip olan müşterilerden daha fazla ziyaret edilmesi gerekmektedir. Bu tür problem genellikle bakkalların taleplerinin dağıtımında, alkolsüz içecek veya atık toplama sanayinde ortaya çıkmaktadır (Hemmelmayr vd., 2009: 791).

1.4.8. Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi (ZP-ARP)

Bu problem genellikle müşterilerin siparişlerinin zaman pencereli bir özelliklerle ne zaman servis yapılacağı ile ilişkilendirilir. Zaman pencere kısıtları servis özelliklerine göre esnek veya sıkı olmaktadır. Esnek zaman penceresi kısıtı; belirlenen zaman ihlal edilebilir fakat bu ihlal ceza ile ilişkilendirilir, diğer taraftan sıkı zaman pencere kısıtı; servis sırasında hiçbir ihlale izin verilmemesiyle ilişkilendirilmektedir (Müller, 2010: 223).

ZP-ARP günümüz dünyasında çokça karşılaşılan bir problemdir. Banka teslimatlarında, okul servisi veya otobüs seyahat güzergâhlarında, posta dağıtımlarında bu problem ile karşılaşılmaktadır. Bu problemlerde hizmet süresini kısıtlamak için her müşterinin bulunduğu bölgelere zaman penceresi bağlanmaktadır. Problem kâğıt üzerinde şu şekilde açıklanabilir; Her aracın rotası belirlendiğinde servis depodan başlanıp her müşteriye uğranmalı ve minimum süre içinde servis tamamlanıp tekrar depoya dönülmelidir. Bundan dolayı, bu hizmetin gerçekleştirilebilmesi için aşağıdaki üç kısıt tam olarak karşılanmalıdır (Badeau vd., 1997: 109).

- Bir rota üzerindeki toplam talep, güzergâhta hizmet veren aracın kapasitesini aşamaz.
- Her müşterinin hizmetine başlanma zamanı zaman penceresinin önünde olmalıdır. Ancak, üst sınır bir aracın alt sınırından önce gelebilir ve böylece rotanın bekleme süresi meydana geldiği için araç servis zamanını beklemelidir.
- Her aracın rotası, depo ile ilgili zaman penceresinin sınırları dahilinde sunulmalıdır.

1.5. Araç Rotalama Problemi Temelli Literatür İncelemesi

GSP ve ARP temelli geçmiş dönemlerde yapılmış önemli çalışmalar bu başlık altında toplanmıştır. Bilim insanlarının bu problemi çözmek için yapmış oldukları çalışmalar, bu çalışmalarda kullanılan yöntemler ve belirtilen çözüm önerileri detaylı bir şekilde açıklanmaya çalışılmıştır.

1.5.1. GSP Temelli Literatür İncelemesi

Dantzig vd. (1954) yaptıkları çalışma, GSP adıyla ARP'yi literatüre kazandırdıkları ilk çalışmadır. Bu çalışmada, örneklem büyüklüğünü Amerika'nın 48 noktasını belirleyerek daha önce hiç denenmemiş bir GSP ele almışlardır. Problem 0-1 TDP yöntemi Dal-Sınır algoritmasıyla modellenerek başarılı bir şekilde çözülmüştür. GSP, bu çalışma sayesinde literatür tarihine geçmiştir ve ilerleyen yıllarda gerçekleştirilecek olan daha büyük örneklemlere ve daha gelişmiş yöntemlere öncülük etmiştir.

Barachet (1957) yapmış olduğu çalışmada, Dantzig ve arkadaşlarının 1954 yılında yapmış oldukları çalışmadan esinlenerek, 10 düğümlük bir GSP'yi, Basit DP modeli ile çözüp uygun rotalar elde etmiştir.

Clarke ve Wright (1964) yaptıkları çalışmada, 30 şehirlik örneklem büyüklüğü ile probleme Tasarruf algoritmasını kullanarak bir çözüm önerisi sunmuşlardır. Analiz sonucunda, çözüm için tespit edilen toplam rota mesafesi, hali hazırda bulunan rotaların toplam mesafesi ile karşılaştırılmıştır. Bu kıyaslama sonucunda %17 gibi önemli bir iyileştirme yaptıkları tespit edilmiştir.

Held ve Karp (1970) yaptıkları çalışma, Simetrik GSP'nin yeni bir yaklaşım olarak ileri sürüldüğü öncü çalışmadır. Bu çalışmada, 64 şehirlik bir rotalama probleminde GSP, simetrik olarak TDP yöntemi dal sınır algoritmasıyla modellenmiş ve çözüm önerisinde bulunulmuştur.

Camerini vd. (1975) yaptıkları çalışmada, GSP'nin çözümü için literatür tarihinin en büyük 3. örneklem büyüklüğünde bir veri seti kullanmışlardır. Toplamda 67 şehirlik bir örneklem ile ciddi bir çözüm önerisi sunmuşlardır.

Grötschel ve Padberg (1979) yapmış oldukları çalışmada, Simetrik GSP'nin çözümü için 120 şehirlik bir örneklem büyüklüğü ile uygun bir çözüm önerisi sunmuşlardır. Yapmış oldukları analizde, alt tur elemeli kısıtları ile birlikte iyileştirmenin daha etkili yapılabileceğini ortaya koymuşlardır.

Crowder ve Padberg (1980) yaptıkları çalışmada, Simetrik GSP'yi 0-1 TDP yöntemini kullanarak modellemiştir. Örneklem olarak, 318 şehirlik büyük bir veri setini kullanarak GSP'nin yapı taşı çalışmalarından biri olarak ortaya koymuşlardır.

Padberg ve Rinaldi (1987) yaptıkları çalışmada, Simetrik GSP'nin çözümünde örneklem bazında daha önceki yapılan çalışmaların üzerine çıkarak 532 şehirlik büyük bir veri setinden yararlanmışlardır. Analizin gerçekleşmesi için 0-1 TDP yöntemini dal ve sınır algoritmasını kullanarak başarılı bir iyileştirmeyi ortaya koymuşlardır.

Grötschel ve Holland (1987) yapmış oldukları çalışmada, GSP'nin çözümü için DP'nin Kesme Düzlemi algoritması ile çözmek için Simplex tablosundan yararlanmışlardır. Modellerin oluşturulması için 666 şehirlik büyük bir veri seti kullanmışlardır.

Applegate vd. (1995) yapmış oldukları çalışmada, GSP için 7.397 şehirlik bir örneklem kullanarak kendi geliştirdikleri bir bilgisayar yazılımı sayesinde önemli bir çözüm önerisi sunmuşlardır. Bu tarihten 3 yıl sonra 1998 yılında aynı grup, bir rekora daha imza atarak örneklemdeki şehir sayısını 13.509'a çıkartarak kendi geliştirdikleri program eşliğinde problemi çözmüşlerdir. Devamında ise, aynı grup 2001 yılında bir rekora daha imza atarak 15,112 şehirlik muazzam bir örneklem büyüklüğüne ulaşarak GSP'ye çözüm önerileri getirmişlerdir. En sonunda bu ekip Helsgaun'da gruba dahil olarak 24,978 şehirlik bir örneklem büyüklüğü ile GSP için çözüm önerileri sunmuşlardır.

Cevre vd. (2007) yaptıkları çalışmada, iki boyutlu GSP'yi Java tabanlı bir araç geliştirerek meta sezgisel bir yaklaşım olan Genetik Algoritmayı (GA) modelleyerek uygun çözüm önerileri sunmuşlardır. Aracın beş farklı örneklemlerle (30, 40, 50, 60 ve 70 şehirli) denemelerinden en az maliyeti veren deneme optimal sonuç olarak kabul edilmiştir.

Çolak (2010) yapmış olduğu çalışmada, GSP'nin çözümünde meta sezgisel yöntemlerden biri olan GA yöntemini kullanarak uygun çözüm önerileri sunmuştur. Adana ilinde gıda sektöründe işleyen bir firmanın dağıtım verilerini temel alarak optimal rotalar belirlendikten sonra firmanın yapmış olduğu rotalar ile karşılaştırmalar yapmıştır. Sonuç olarak da yapmış olduğu modelleme de ciddi bir iyileştirme olduğunu tespit etmiştir.

Aytekin ve Kalaycı (2010) yaptıkları çalışmada, GSP'yi meta sezgisel bir yaklaşım olan İkili Kodlanmış GA yöntemi ile modelleyerek yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Gerçekleştirdikleri yaklaşımın avantajları veya dezavantajlarının olmasının doğal olduğu vurgulanarak gelecekte yapılabilecek benzer bir yaklaşım için de ön ayak olabilecek bir çözüm yöntemi sunmuşlardır.

Gerşil ve Alkaya (2011) yaptıkları çalışmada, GSP'yi klasik GA, Rastgele Arama Algoritması (RAA), TB ve Evrimsel Algoritma (EA) metotları ile çözmeye çalışmışlardır. Problem farklı örneklem boyutlarında modellenerek optimal çözüm veren yöntem belirlenmesi hedeflenmiştir. Modeller arasında yapılan karşılaştırmada, EA en iyi iyileştirmeyi veren yöntem olarak saptanmıştır. Örneklem büyüklüğü olarak da 1000 şehirlik bir evrensel örneklem oluşturularak % 51.43 gibi ciddi bir iyileştirme ortaya konmuştur.

Kuzu vd. (2014) yapmış oldukları çalışmada, belirli bir örneklem boyutunda literatürde çok sık tercih edilen 8 meta sezgisel yöntem (Tepe Tırmanma (TT), Tabu Arama (TA), GA, İteratif Yerel Arama (İYA), Tavlama Benzetimi (TB), Kanguru algoritması (KA), Yapay Arı Kolonisi (YAK) ve Karınca Kolonisi algoritması (KKA)) tanımlayarak, GSP'yi bu yöntemler ile çözüp çıkan sonuçları da kendi aralarında kıyaslamışlardır. Yapmış oldukları kıyaslama da KKA'nın en iyi sonuçları verdiği saptanmıştır.

Dikmen vd. (2014) yapmış oldukları çalışmada, GSP'nin optimal çözümü için iki farklı meta sezgisel algoritmaları olan KKA ve GA yöntemleri kullanmışlardır. Kurulan modellerden elde edilen sonuçlar da aralarında karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda, toplam alınan rota mesafesi ve zamanı bakımından KKA, GA yöntemine göre çok daha iyi bir sonuç verdiği tespit edilmiştir.

Doğan ve Kırdı (2014) yaptıkları çalışmada, İzmir’de evsel ilaç atıklarının toplanması için oluşturulan bir proje için uygun ilaç toplama rotaları çizmek istemişlerdir. Bunun için yöntem olarak GSP’yi meta sezgisel bir yöntem olan GA tekniği ile çözmeye çalışmışlardır. Modelin hesaplanabilmesi için bir yazılım geliştirmişlerdir. Bu yazılımda üç farklı ilaç taşıma modeli oluşturmuşlardır. Bu üç model aralarında karşılaştırılarak taşıma için en uygun sonuç tespit edilmiştir.

1.5.2. KARP Temelli Literatür İncelemesi

Ralphs vd. (2001) yapmış oldukları çalışmada, KARP’ın çözümü için bir dağıtıcı firmanın yapmış olduğu rotalar ele alınarak, TDP modeli kurularak Dal - Kesme algoritmasından yararlanılmıştır. Analizde, dallandırma sırasında hata gözlemlendiğinden dolayı Farkas Teoremi sayesinde düzeltilerek kesme işlemi gerçekleştirilmiştir. Modelin çözümü için ise SYMPHONY yazılım dili kullanılarak çözüm önerileri sunulmuştur.

Lysgaard vd. (2004) yaptıkları çalışmada, 76 şehirlik bir örneklem büyüklüğüne sahip KARP’ı yeni bir Dal - Kesme algoritması önerisi sunarak destekleyici çözüm önerileri sunmuşlardır.

Chandran ve Raghavan (2008) yaptıkları çalışmada, 140 dağıtım noktası belirleyerek KARP’ın çözümü için ağaç rotaları ile birlikte iki farklı TDP modeli kurmuşlardır. Analiz sonucunda AMPL (Advanced Management And Leadership Programme) programını kullanılarak çeşitli öneriler sunmuşlardır.

Hassani vd. (2008) yaptıkları çalışmada, lojistik bölgelerindeki dağıtımın maliyetini düşürmek için KARP ve Zaman Pencereli KARP’ı ele alarak KKA’yı 2-OPT Yerel Arama algoritması ile birleştirerek yeni bir model yaklaşımı ile uygun çözüm önerileri getirmişlerdir.

Lal vd. (2009) yapmış oldukları çalışmada, örneklem büyüklüğü 15 müşteri olarak belirlenen dağıtım rotası verilerini kullanarak KARP için GA ve Sütun Oluşturma Algoritması’ndan (SOA) yararlanarak çözüm önerilerinde bulunmuşlardır. Analiz sonucunda iki yöntem ile yapılan analizde de başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Takes ve Kusters (2010) yaptıkları çalışmada, örnek KARP’ın çözümü için Monte Carlo simülasyonu (MCS) tekniğini ve Clarke - Wright’ın Tasarruf algoritmasını kullanmışlardır. Yapılan analiz sonucunda da MCS tekniğinin, Tasarruf algoritmasına kıyasla daha iyi bir sonuç verdiği saptanmıştır.

Venkatesan vd. (2011) yaptıkları çalışmada, örnek bir KARP'ı metasezgisel bir yöntem olan PSO ile çözmüşlerdir. Rotaların kümelemesini yapabilmek için SA kullanarak en az maliyetli, tam kapasiteli ve en az mesafeye sahip uygun rotalar belirlenmiştir.

Faulin vd. (2011) yaptıkları çalışmada, İspanya'da bulunan bir lojistik firmasının müşterilerin taleplerini yerine getirebilmek için var olan rotaları iyileştirmek için örnek bir KARP çözümünde 'Algorithms with Environmental Criteria' (Çevresel Kriterli Algoritmalar) yöntemini geliştirerek şirket için en az maliyetli rotalar çizmişlerdir.

Bozyer vd. (2014) yaptıkları çalışmada, örnek bir KARP çözümü için Önce Grupla Sonra Rotalı merkezli TA sezgisel yöntemi kullanmışlardır. Gruplandırma esnasında, bulanık C-Ortalama Kümeleme yöntemi ile modele sokulan tüm düğümlerin 0-1 arasındaki üyelik dereceleri hesaplanmıştır.

Şen vd. (2015) yaptıkları çalışmada, Yoğunluğa Dayalı Mekânsal Kümeleme Gürültülü Uygulama (Density Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN)) ve GA destekli DBSCAN algoritmalarını kullanarak örnek bir Süpermarket zincirinin 78 şubesine dağıtım yapan ve her bir aracın 40 paletlik yük taşıma kapasitesi olan araç filosunun verilerini kullanarak KARP için çözüm önerileri sunmuşlardır. Analiz sonucunda, GA destekli DBSCAN algoritması, mesafe bakımından çok daha iyi bir sonuç ortaya koymuştur.

Letchford ve Gonzalez (2015) yapmış oldukları çalışmada, 16 düğümlük örnek bir KARP çözümü için Çok Kademeli Büyük Sırtçantası Algoritmasını (ÇKSÇA) kullanmışlardır.

Helal vd. (2016) yaptıkları çalışmada, örnek bir KARP'ı İnanç Fonksiyon Teorisi'ni kullanarak örnek bir matematiksel modeli simüle ederek başarılı göstergeler ile sonuçlandırmışlardır.

Karagül vd. (2016) yaptıkları çalışmada, 6 müşterili ve 1 depolu örnek bir KARP'ın çözümü için meta-sezgisel çözüm yöntemlerinden GA kullanmışlardır. GA çözüm aşamaları sırasında Newton'un çekim yasası esaslı bir algoritma önermişlerdir ve GA başlangıç popülasyonundan daha iyi sonuçlar almak amacı ile kullanılmıştır. Yapılan analiz sonunda problem, maliyet ve mesafe ölçüsünde ciddi olarak iyileştirilmiştir.

Kırcı (2016) yapmış olduğu çalışmada, kargo şirketlerinin dağıtım esnasında çizmiş oldukları rotaların maliyetini ve toplam aldıkları mesafeleri iyileştirmek için TA yöntemi ve Hopfield Sinir Ağlarını (HSA) kullanmıştır. Yaptığı analizde, t-test sırasında %95'lik bir güven değeri ile TA yöntemi çok daha iyi bir sonuç vermiştir.

Akhand vd. (2017) yaptıkları çalışmada, yöntem olarak Parçacık Sürü Optimizasyonunu (PSO) ve Süpürme Algoritmasını (SA) (adaptif ve standart) kullanarak KARP için yeni bir çözüm önerisi sunmuşlardır. Analiz sonucunda, PSO ve Adaptif SA KARP çözümü için olumlu değerler verdiği saptanmıştır.

Mostafa ve Eltawil (2017) yaptıkları çalışmada, 100 düğümlük örnek bir KARP belirleyerek, bu probleme ait klasik matematiksel modelini ilk olarak K-araç Kümeleme algoritmasının ardından Kesme algoritması ile düzenlemişlerdir. Sonunda ise örnek bir Bulanık Doğrusal Programlama (BDP) modeli kurarak çözüm önerileri sunmuşlardır. Yaptıkları analiz sonucunda, hali hazırda bulunan rotalar ile analiz sonucu ortaya çıkan rotalar karşılaştırıldığında, zaman olarak % 55 ve araç gereksinimi olarak da % 4 gibi önemli iyileştirmeler yapmışlardır.

Pala ve Aksaraylı (2017) yapmış oldukları çalışmada, Çok Amaçlı KARP için meta-sezgisel çözüm yöntemlerinden biri olan KKA'yı kullanmışlardır. Araştırmada kullanılan örneklem ise, havayolları ve oteller arası yolcu taşımacılığı yapan bir tur acente firmasından elde edilmiştir. Simülasyon yoluyla yapılan analizde rotaların mesafelerinin ve geçen zamanların ciddi şekilde iyileştirildiği tespit edilmiştir.

Tablo 1.2: KARP Temelli Diğer Çalışmalar

YAZARLAR	YAYIN YILI	ARAŞTIRMANIN KONUSU
Clarke ve Wright	1964	Tasarruf Algoritması
Wren ve Carr	1971	SA
Gillett ve Miller	1974	SA
Christofides vd.	1981	Derece Kısıtlı Ağaç Algoritması
Laporte ve Nobert	1983	Dal - Sınır Algoritması
Laporte vd.	1992	Dal - Sınır Algoritması
Gendreau vd.	1994	TA
Berger ve Barkaoui	2003	GA
Beullens vd.	2003	Yerel Arama algoritması (YAA)
Mester ve Bräysy	2005	YAA
Tavakkoli-Moghaddam vd.	2007	TB
Letchford vd.	2007	Dal - Kesme Algoritması
Ribeiro ve Laporte	2012	En Yakın Komşu Arama Algoritması
Toklu vd.	2013	KKA
Kuo ve Zulvia	2017	Genetik Algoritmali KKA
Mańdziuk ve Świechowski	2017	Monte Carlo Ağaç Arama Algoritması
Mohammed vd.	2017	GA
Hosseinabadi vd.	2017	YAA
Pecin vd.	2017	Dal – Kesme - Fiyat Algoritması

Tablo 1.3: Genel ARP Türleri Temelinde Literatür İncelemesi

YAZARLAR	YAYIN YILI	ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ	ARP TÜRÜ
Osman	1993	TA ve TB	Kapasite ve Mesafe Kısıtlı ARP
Gendreau vd.	1994	TA	Kapasite ve Mesafe Kısıtlı ARP
Renaud vd.	1996	TA	Çok Depolu ARP
Chiang ve Russell	1996	TB	Zaman Pencereli ARP
Cordeau vd.	1997	TA	Periyodik ve Çok Depolu ARP
Desrochers vd.	1992	Dal - Sınır Algoritması	Zaman Pencereli ARP
Badeau vd.	1997	TA	Yumuşak Pencereli ARP
Kohl vd.	1999	Dal - Sınır Algoritması	ZP ve Kapasite Kısıtlı ARP
Gambardella vd.	1999	Çoklu KKA	Zaman Pencereli ARP
Bullheimer vd.	1999	KKA	Kapasite ve Mesafe Kısıtlı ARP
Homberger ve Gehring	1999	GA	Zaman Pencereli ARP
Tan vd.	2001	TA – GA - TB	Zaman Pencereli ARP
Toth ve Vigo	2003	Tanecikli TA	Kapasite ve Mesafe Kısıtlı ARP
Lau vd.	2003	TA	Araç Kısıtlı Zaman Pencereli ARP
Barán ve Schaerer	2003	Çok Amaçlı KKA	Zaman Pencereli ARP
Ho ve Haugland	2004	TA	Bölünmüş Dağıtımli ZP-ARP
Polacek vd.	2004	En Yakın Komşu Arama (EYKA)	Çok Depolu ARP
Bell ve McMullen	2004	KKA	KARP
Bent ve Van Hentenryck	2004	İki Aşamalı YAA	Zaman Pencereli ARP
Prins	2004	GA	Kapasite Kısıtlı ARP
Montemanni vd.	2005	KKA	Dinamik ARP
Bräysy ve Gendreau	2005	YAA	Zaman Pencereli ARP
Haghani ve Jung	2005	GA	ZP - Kapasite Kısıtlı - EZTD ARP
Archetti vd.	2006	TA	Bölünmüş Dağıtımli ARP
Montané ve Galvao	2006	TA	Eşzamanlı Topla Dağıt ARP
Ombuki vd.	2006	Çok Amaçlı GA	Zaman Pencereli ARP
Bianchessi ve Righini	2007	YA - TA	Eşzamanlı Topla Dağıt ARP
Crevier vd.	2007	TA - TDP	Çok Depolu ARP
Donati vd.	2008	Çoklu KKA	Zaman Pencereli ARP
Yu ve Yao	2009	KKA	KARP
Kachitvichyanukul	2009	PSO	Eşzamanlı Topla Dağıt ARP
Yu ve Yang	2011	KKA	Periyodik Zaman Pencereli ARP
Xiao vd.	2012	TB	KARP
Bruglieri vd.	2015	EYKA	Zaman Pencereli ARP
Lahyani vd.	2015	Dal - Kesme Algoritması	Çok Bölmeli ARP

2. ROTALAMA PROBLEMLERİNDE YARARLANILAN YÖNTEMLER

2.1. Kesin Çözüm Yöntemleri

ARP'nin çözümü için birçok metot geliştirilmiştir. Bu yöntemleri kesin, klasik sezgiseller ve meta sezgiseller olarak 3 gruba ayırmak mümkündür. Kesin çözüm yöntemleri ile optimal çözüm garanti edilirken, diğer yöntemler ile optimuma yakın çözümler çok daha kısa sürede bulunabilir (Keskintürk vd., 2015: 87). Kesin çözüm veren yöntemler doğrusal programlama temelli yöntemlerdir. Literatürde birçok çeşidi ve farklı sınıflandırılmaları mevcuttur. Bilindiği üzere ARP 0-1 TDP yöntemine uyarlanarak literatüre kazandırılmıştır. Bu çalışmada da tanımlanmak üzere literatürde ARP'nin çözümünde en çok tercih edilen kesin çözüm yöntemlerinden Dal-Sınır, Kesme Düzlemi, Dal-Kesme algoritmaları ve Dinamik Programlama yöntemi belirlenmiştir.

2.1.1. Dal - Sınır Algoritması

Dal - Sınır algoritması optimizasyon problemlerini çözme konusunda yaygın bir şekilde kullanılan nümerik bir şemadır. Yöntemin faydası aslında birçok optimal olmayan çözümler sınırlanıp elimine edilerek muhtemel bazı çözümlerin sadece küçük bir bölümüne ihtiyaç duyulmasından kaynaklanmaktadır. Yöntem iki temel adım olan Dalla ve Sınırla aşamalarından oluşmaktadır.

- Dallanma, çözüm gruplarının bölünüp dallanarak alt gruplara ayrılma aşamasıdır.
- Sınırlama, çözümlerin altkümeleri üzerinde objektif fonksiyon değerlerinin sınırlarının belirlenmesi aşamasıdır.

Dal - Sınır prosedüründe dallanma ve sınırlama işlemlerinin yinelemeli bir şekilde uygulanırken en uygun çözümü içermediği bilinen alt grupları silmek için de hazırlık yapılmaktadır (Mitten, 1970: 24).

Dal - Sınır algoritmasının sistematik uygulamasında F , uygulanabilir sınır ve $F1$, $F2$, $F3$, $F4$ 'de alt sınırlar olarak kabul edilsin. x önceki hesaplamalardan elde edilen en uygun çözüm (objektif fonksiyon değeri) olarak atansın. Her k için: $1, 2, \dots, K$, F_k değerinin ya boş olduğunu ya da $x_k F_k$ ve $c\bar{x} \leq cx^k$ dizesinin gevşemesinin bir çözümü olduğu varsayılsın. Daha sonra, F_1, F_2, F_3, F_k bölgelerinin herhangi bir noktası x 'den daha iyi bir objektif fonksiyon değerine sahip olabilir; böylece x orijinal

optimizasyon problemini çözebilmektedir. Eğer $c\bar{x} > cx^k$ ise, herhangi bir F_k bölgesi için; bazı değişkenler ($X_k = 0$ ya da $X_j = 1$ bazı j değişkenleri için iki alt bölüme ayırarak) üzerinde ‘*dallanma*’ yaparak bu bölgenin alt bölümlerine ayrılması gerekir. Bütün alt bölümlerin $c\bar{x} \leq cx^k$ testinin tatmin edici bir şekilde sonlanması ile optimal sonuca ulaşılabılır. Kısaca ifade edildiğinde, bu yöntemin çözümüne başlandığında uygun çözüm olabilecek aday sonuçları alt bölmelerine ayrılarak alt ve üst sınırlar belirlenir. Çözüm uzayı daraltılarak uygun olmayan çözümler yinelemeli bir şekilde alt bölmelerden çıkartılarak en uygun sonuca ulaştırılır (Ahuja vd., 1993: 605-606).

2.1.2. Kesme Düzlemi Algoritması

Doğrusal programlama problemlerinin tamsayılı çözümlerini sağlayacak hesaplama yöntemi 1959 yılında Gomory tarafından geliştirilmiştir. Gomory’nin geliştirdiği hesaplama yöntemine “Tamsayılı Algoritma” veya “Kesme Düzlemi Yöntemi” adı verilmiştir (Yücenur, 2011:106-107). Bu yöntemin adımları Tamsayılı Programlama ve Karışık Tamsayılı Programlama içermektedir. Bu algoritmanın çözüm aşaması da şu şekilde ifade edilebilir;

- Başlangıç aşamasında, ihtiyaç duyulduğu takdirde, orijinal kısıtlamaları tamsayılı hale getirmektir. Bu işlem, problemi oluşturan katsayıların tam olması amacıyla, tüm sınırların değiştirilmesi anlamına gelir.
- Kesme düzlemi probleminin optimal çözüm tablosu belirlenir. Optimal çözüm değerleri tamsayı olursa, problem çözüme kavuşturulmuştur. Değilse sonraki aşamaya gidilir.
- Bu aşamada kesmeler belirlenir. Bu amaçla optimal çözüm tablosundan tamsayı olmayan değişkenlerin biri seçilip yeni bir kısıtlama elde edilir.

Literatürde Kesme Düzlemi algoritmasının orta ve büyük ölçekli problemleri etkin bir şekilde çözüme ulaştıramadığı konusunda genel bir kanı bulunmaktadır. Kesin çözüm yöntemleri arasında yer alan Dal - Sınır ve Dal - Kesme algoritmaları problemin boyutuna göre daha çok tercih edilmektedir. Özellikle son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalarda Dal - Kesme algoritması GSP veya ARP’nin etkin bir şekilde çözüme ulaştırılmasında sıklıkla kullanılmıştır.

2.1.3. Dal - Kesme Algoritması

ARP, literatürde ilk olarak GSP adında tanıtılmıştır. Bu problemin en ayırıcı özelliği tanımlandığında, tek araçlı problemlerde GSP, birden fazla araç ile rotalar

oluşturulmak isteniyorsa ARP olarak adlandırılır. GSP'nin tamsayılı programlama modeli daha öncede vurgulandığı gibi ilk olarak 1954'te Dantzig ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. Bu yapılan ilk çalışmada çözüm algoritması olarak Dal-Sınır kullanılmıştır. Bu tarihten itibaren kesin çözüm yöntemleri (Kesme Düzlemi, Dal - Kesme, Dinamik Programlama) ARP ve GSP'nin çözümü için oldukça etkili bir şekilde kullanılmıştır.

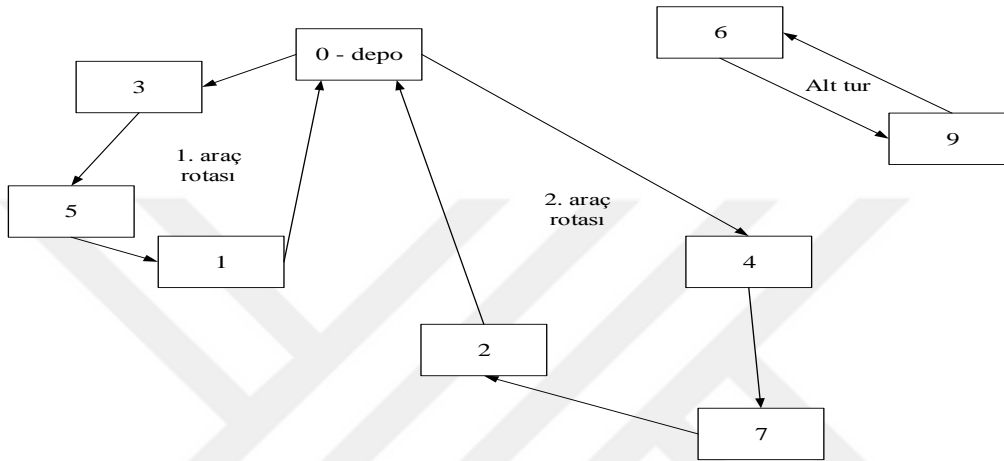
Dal-Sınır algoritması temel alındığında, ARP'nin örneklem boyutu arttıkça çözümü de o derece artmaktadır. ARP, kombinatoriyel bir optimizasyon problemi olduğundan dolayı çözümü çok zor problemler arasında yer almaktadır. Dal-Sınır yönteminin kısıtlı çözüm özelliğinden dolayı problemde en fazla 50 düğüm yer alması gerekmektedir. Bu özelliğinden dolayı bu yöntem büyük ölçekli problemleri çözmek için uygun bir yöntem olarak görülmemektedir. Bundan dolayı daha büyük ölçekli problemlerin çözümü için Dal-Kesme algoritmasının kullanılması önerilmektedir (Christofides vd., 1981; Fisher, 1994).

Dal-Kesme yöntemi tamsayılı programlama problemleri için oldukça etkili bir yöntemdir. Bu yöntem Kesme Düzlemi algoritması ve Dal-Sınır yöntemlerinin bir birleşimidir. Dal-Kesme yöntemi de diğer tamsayılı programlama algoritmalarıyla (Dal-sınır, Kesme düzlemi) benzer olarak tamsayılı programlama probleminin, doğrusal programlama ile yapılacak çözümü ile başlar (Başkaya ve Öztürk, 2005: 103). Ayrıca Dal-Kesme algoritması, bu çalışmada örnek bir KARP için çözüm yöntemi olarak sunulmuştur.

2.1.3.1. Problemin Dallara Ayrılması

Problemin dallara ayrılması, tamsayılı programlamanın çözümden çıkan olursuz çözümlerin pasif hale getirilmesi için gerekli bir adımdır. Dal-Kesme yönteminin en önemli adımlarından biri olan dallandırma işlemi, örnek bir KARP çözümü sırasında gereksiz turların yani alt tur probleminin saptanmasına yardımcı olmaktadır. Alt tur problemi, kesin çözüm yöntemlerinde sıklıkla karşılaşılan bir engeldir. Bu engeli ortadan kaldırmak için de alt turu oluşturan değişkenlerin alt ve üst sınırlarının saptanması gerekmektedir. Alt turu oluşturan değişkenlerin tespit edilmesi, problemi oluşturan aracın ya da araçların toplam alınacak rota sayısından belirlenmektedir. Örneğin; örnek bir ARP'de müşterilerin taleplerinin karşılanması için kapasitesi belli toplam iki adet araç mevcuttur ve bu iki araç tüm talep noktalarına sadece bir kez ve

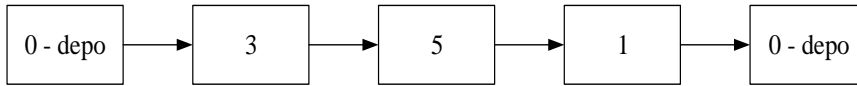
tekrarsız bir şekilde uğrayarak tekrardan başladığı noktaya dönmektedir. Problemin çözümü için klasik tamsayı programlama modeli bilgisayar yazılımı eşliğinde çalıştırıldığında ve sonuç incelendiğinde toplamda iki adet rota olması gerekirken üç rota tespit edilmiştir. Bu fazla rota problemin çözümünde karşılaşılan ilk problemdir ve bu problemin literatürde de alt tur olarak nitelendirilmektedir. Örnek bir ARP ve alt tur problemi⁴ Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



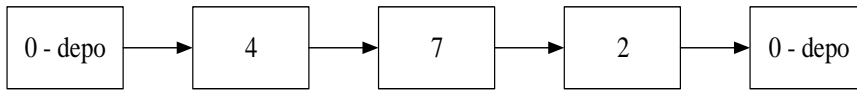
Şekil 2.1: Alt turlu ARP Örneği

Şekil 2.1’de yer alan araç rotaları incelendiğinde;

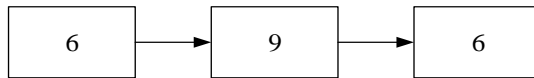
1. aracın rotası



2. aracın rotası



Alt tur oluşturan rota



Modelden çıkan sonucun olurlu olmadığı rahatlıkla gözlemlenebilir. Çünkü ARP’nin matematiksel formülasyonunda her araç aynı noktadan çıkıp başladığı noktaya dönmesi gerekmektedir. İlk iki tur için bu kısıt yerinde olmasına rağmen fazladan üçüncü bir tur daha ortaya çıkmaktadır. Dallandırma işlemi, bu noktadan itibaren devreye girmektedir.

⁴ Alt turlu örnek ARP, yazar tarafından geliştirilmiştir.

Alt tur oluşturan değişkenler kendi içlerinde sıfıra eşitlenerek alt problemler oluşturmaktadırlar.

2.1.3.2. Kesmelerin Oluşturulması

Alt turu oluşturan değişkenlerin sıfıra eşitlenmesi ile birlikte problem alt dallara ayrılmaktadır. Ayrılan dallar Şekil 2.1'deki aynı örnek problem üzerinden gösterilebilir;

$$X_{03} = X_{35} = X_{51} = X_{10} = 1$$

$$X_{04} = X_{47} = X_{72} = X_{20} = 1$$

$$X_{69} = X_{96} = 0$$

X_{69} ve X_{96} değişkenleri alt turu oluşturdukları için modeli anlamsız kılmaktadırlar bu yüzden bu rotalar kesmeler ile dallara ayrılarak tamsayılı programlama tekrardan başlatılması gerekmektedir. Kesmeler uygulanmasına rağmen modelde yine alt tur oluşma ihtimali mevcuttur. Model test sonucunda alt tur oluşması durumunda ARP'nin klasik matematiksel modeline alt tur engelleme kısıtı dahil edilerek optimal çözümler aranmalıdır.

$$X_{ij} + X_{ji} \leq 1$$

$$X_{ij} + X_{jk} + X_{kj} \leq 2$$

$$X_{ij} + X_{jk} + X_{kj} + X_{li} \leq 3$$

.

.

.

.

$X_{ij} \dots \dots \dots X_{ni} \leq (n - 1)$ şeklinde alt tur kısıtları oluşmaktadır. Problem eğer kısıtlayıcılar eklendiğinde de alt tur oluşmadan sonlanmazsa, tekrar dallara ayrılabilir ya da alt tur engelleme kısıtlayıcıları tekrar eklenerek alt turlar elimine edilebilir (Başkaya ve Öztürk, 2005: 108).

2.1.3.3. Dal-Kesme Algoritması Temelli ARP Literatür İncelemesi

Bu çalışmanın da temelini oluşturan yöntem olan Dal-Kesme algoritması temelli çalışmalar Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1: Dal-Kesme Algoritması Temelli ARP Literatür İncelemesi

YAZARLAR	YAYIN YILI	ARP TÜRÜ
Christofides vd.	1981	KARP
Padberg ve Rinaldi	1991	Simetrik GSP
Laporte vd.	1992	Zaman Pencereci ARP
Fisher	1994	KARP
Kudva vd.	1994	KARP
Augerat vd.	1998	KARP
Bard vd.	1998	Zaman Pencereci KARP
Blasum and Hochstätler	2000	KARP
Naddef and Rinaldi	2002	KARP
Bard vd.	2002	Zaman Pencereci ARP
Achuthan vd.	2003	KARP
Ralphs	2003	KARP
Lysgaard vd.	2004	KARP
Hernández-Pérez ve Salazar-González	2004	EZ-TD GSP
Letchford vd.	2007	KARP
Ropke vd.	2007	Zaman Pencereci EZ-TDARP
Karaoglan vd.	2011	EZ-TD ARP
Bektaş vd.	2011	KARP
Subramanian vd.	2011	EZ-TD ARP
Belenguer vd.	2011	KARP
Baldacci vd.	2012	Zaman Pencereci KARP
Jepsen vd.	2013	KARP
Archetti vd.	2014	BDARP

Özellikle Dal-Sınır ve Dal-Kesme algoritmaları ortaya atıldıktan sonraki süreçte bu yöntemler daha farklı problemler üzerinde çalışılıp sürekli olarak değişik boyutları literatüre kazandırılmıştır (Padberg ve Rinaldi, 1991; Kudva vd., 1994; De Simone vd., 1995; Augerat vd., 1998).

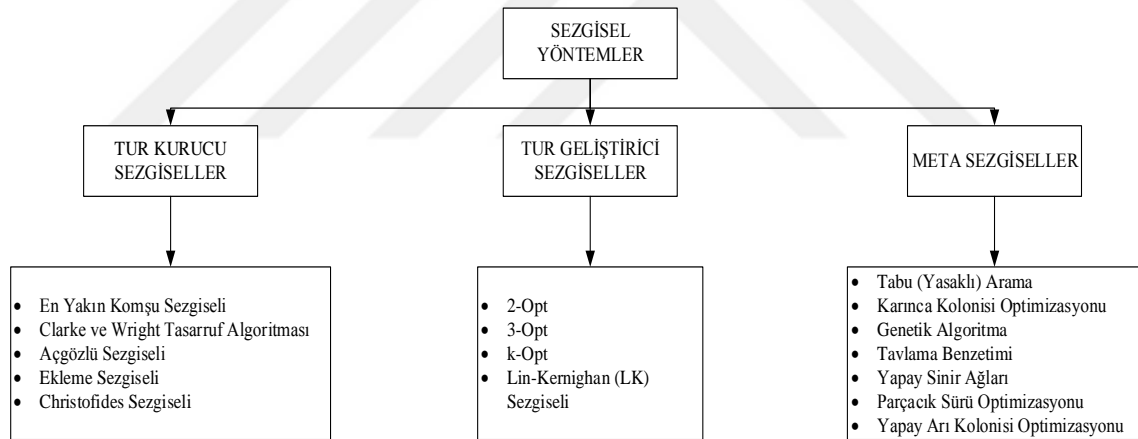
2.1.4. Dinamik Programlama

Dinamik Programlama, n değişkenli bir problemin optimal çözümünü problemi n aşamaya ayrıştırarak ve her aşamada tek değişkenli bir alt problemi çözerek belirler. Bu hesaplamanın avantajı, n değişkenli alt problemler yerine tek değişkenli alt problemleri optimum kalmaktır. Bu yöntemde hesaplamalar yinelenerek yapılmaktadır. Bu bakımdan bir alt problemin optimum çözümü bir sonraki alt problemin alt girdisidir.

Son alt problem de çözüldüğü zaman problemin tamamı optimum çözüme ulaşmış olur (Taha, 2010; 403). Büyük ve karışık ölçekli problemlerin başında yer alan ARP ve GSP'nin çözümü için bu yöntemi seçmek zaman açısından ciddi maliyete neden olabilir. Sürekli olarak yinelemeli bir şekilde ilerleyen bu yöntem, ancak küçük çaplı ölçeklere sahip optimizasyon problemleri için uygun sonuçlar sunabilir.

2.2. Sezgisel Yöntemler

Sezgisel yöntemler, kesin çözüm yöntemlerinin problemin optimum sonucunu vermeyi garanti etmesinin aksine yalnızca iyi bir sonuç vermek için kullanılırlar. Bunun yanı sıra, kesin çözüm yöntemleri problemi çözmek için kullanılırken geçen süre sezgisel bir yöntemi kullanırken geçen süreden çok daha fazla olabilir. Sonuç olarak da büyük bir optimizasyon problemini çözmek için sezgisel yöntemler kullanılabilir (Martí ve Reinelt, 2011;17). Sezgisel yöntemler genel itibariyle Tur kurucu, Tur geliştirici ve Meta-sezgisel yöntemler olarak üç grupta değerlendirilmektedir.



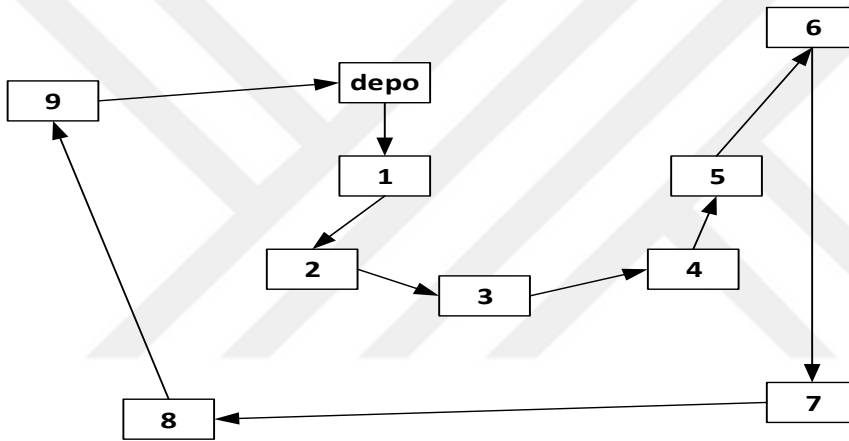
Şekil 2.2: Sezgisel Yöntemler

2.2.1. Tur Kurucu Sezgiseller

Tur kurucu sezgiseller, mümkün olmayan atamalarla çözüme başlar, her defasında iki düğüm arasına bir kenar ekleyerek mümkün çözüme ulaşırlar. Kenar eklenirken araç kapasite kısıtına uyulup uyulmadığı kontrol edilir. Eklenecek dal, bazı maliyet tasarruflarına göre seçilir (Eryavuz ve Gencer, 2001: 141). Bu yöntemlerde her defasında mevcut tura yeni bir şehir ilave edilerek bir tam tur elde edilmeye çalışılır. Bulunan çözüm üzerinde bir iyileştirme yapılmaz. Bu sınıftaki sezgiseller ile elde edilen çözümlerin en iyi çözümden sapmaları %10 -15 aralığındadır (Yıldırım, 2014: 21).

2.2.1.1. En Yakın Komşu Sezgiseli

Bellmore ve Nemhauser (1968) yapmış oldukları ‘*The Traveling Salesman Problem: A Survey*’ adlı çalışmalarında En Yakın Komşu algoritmik sezgisel yöntemini literatüre kazandırmışlardır. Çalışmanın adından da anlaşılacağı üzere örnek bir GSP’yi bu algoritma ile optimum sonuca ulaştırmışlardır. Genel olarak bakıldığında bu sezgisel yöntemin kullanımı oldukça basit olup, küçük ölçekli örneklemelere sahip GSP ve ARP’ler üzerinde rahatlıkla değerlendirilebilir. Aracın rotası üzerinde yer alan müşterilerin en yakınındakinden başlayarak sırasıyla müşterilere uğrayıp tüm talepleri karşıladıktan sonra zaman ve kapasite kısıtlarını aşmaması şartıyla tekrardan depoya dönmesi En Yakın Komşu algoritmasına örnek olarak verilebilir. Şekil 2.3’de En Yakın Komşu Sezgiselinden yararlanılarak çizilen örnek bir rota⁵ gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Örnek En Yakın Komşu Sezgiseli

2.2.1.2. Clarke ve Wright'ın Tasarruf Algoritması

Tasarruf Algoritması, ilk olarak ‘*Scheduling Of Vehicles From A Central Depot To A Number Of Delivery Points*’ adlı çalışmayla Clarke ve Wright (1964) tarafından ARP’ye uyarlanarak literatüre geçmiştir. Unvanını, yöntemi geliştiren bilim insanlarından alan bu algoritma, GSP ve ARP çözümlerinde en sık kullanılan sezgisel yöntemlerden biridir.

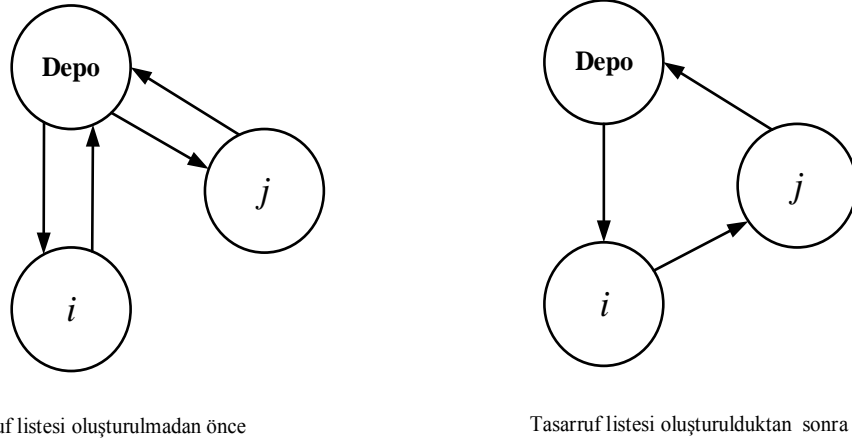
Bu algoritma, i ve j müşteri arasındaki tüm S_{ij} tasarruflarını hesaplamaktadır. Depodan i müşterisine yapılan yolculuğun maliyetine c_{i0} ve i ve j müşterileri arasındaki yolculuğun maliyetine de c_{ij} olarak varsayıldığında, KARP için gerçekleştirilen Clarke ve Wright Tasarruf algoritmasının tanımını aşağıdaki gibi 3 adımda açıklanabilir (Caccetta vd., 2013: 414).

⁵ Bu rota MS.Visio yazılımı kullanılarak yazar tarafından geliştirilmiştir.

- **Adım 1:** $S_{ij} = c_{i0} + c_{0j} - c_{ij}$; $i, j = 1$ için tüm tasarruflar hesapla ve S_{ij} tasarruflarını sıralayıp listelenir.
- **Adım 2:** Tasarruf listesini geliştir. Listenin en üstündeki girişten başlayarak tasarruf listesini (en büyük S_{ij}) işleme koyun. Gözlem altındaki tasarruflar (S_{ij}) için, (i, j) içeren herhangi bir rota kısıtlamalarda ihlal edilmezse, o bağlantıyı tasarruflu rotaya dahil edilir.
 - **Durum 1:** Ne i ne de j noktaları önceden saptanmamışsa, o zaman hem i hem de j noktalarını kapsayan yeni bir rota açılır.
 - **Durum 2:** Eğer tam olarak iki noktadan biri varsa (i, j) zaten mevcut rotaya dahil edilir ve o nokta bu rotaya dahil değildir (rotadaki nokta sıraya göre depoya yakın değilse, rotanın dışında yer almaktadır) daha sonra bağlantı (i, j) aynı rotaya eklenir. Dahil olan nokta kapasiteyi ihlal etmiyorsa (i, j) aynı rotaya eklenir. Eğer kapasiteyi aşıyorsa, o zaman i müşterisiyle yeni bir rota çizilir.
 - **Durum 3:** Eğer hem i hem de j noktaları iki farklı mevcut rotaya dahil edilmişse, o zaman i ve j noktaları tarafından bağlanan iki rota birleştirilir.
- **Adım 3:** Eğer (S_{ij}) tasarruf listesi bitmediyse, adım 2'deki bir sonraki kayıt işleme konulur; aksi takdirde işlem durdurulur.

Clarke ve Wright Tasarruf Algoritması için Şekil 2.4'te örnek bir rota⁶ geliştirilmiştir.

⁶ Örnek rota yazar tarafından geliştirilmiştir.



Şekil 2.4: Clarke ve Wright Tasarruf Algoritması Genel Konsepti

2.2.1.3. Açgözlü (Greedy) Sezgiseli

Açgözlü sezgiseli sürekli olarak en kısa kenarı seçerek bir tur oluşturur ve bunlar N kenarından daha az bir döngü oluşturmadığı ve ikiden fazla bir düğümün derecesini artırmadığı sürece tura eklenir. Aynı kenarı iki kez eklemek mümkün olmamakla birlikte Açgözlü sezgiselinin karmaşıklığı; $O(n^2 \log_2(n))$ olarak gösterilmektedir. Açgözlü yaklaşımın adımları şu şekilde sıralanabilir;

1. Tüm kenarlar sıralanır.
2. Kısıtların hiçbirini ihlal etmediği takdirde, en kısa kenar seçilir ve tura eklenir.
3. Turda N kenarı var mı? Yoksa 2. adımdan devam edilir.

Açgözlü sezgiseli, normal olarak Held-Karp'ın⁷ alt sınırının %15 – 20 kadarında çözüm olarak temel alınmaktadır (Davendra, 2010: 14).

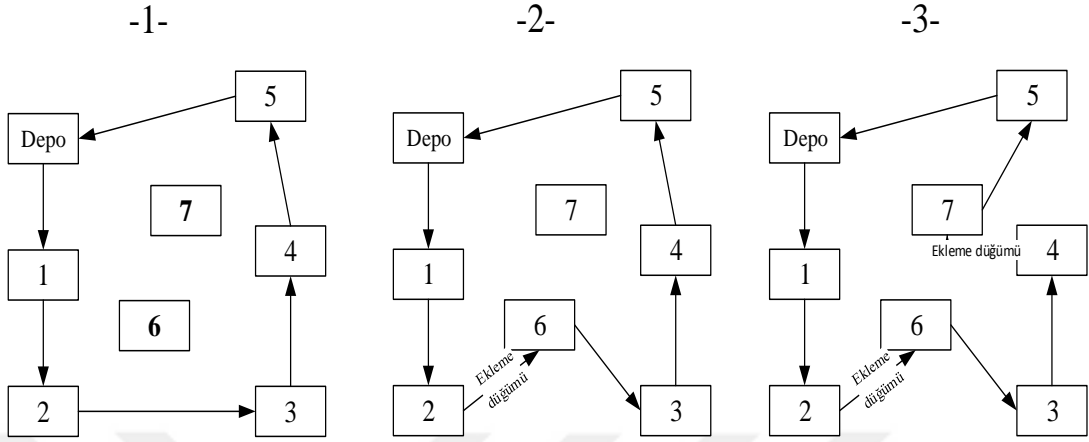
2.2.1.4. Ekleme Sezgiseli

Ekleme Sezgiseli oldukça basit bir yöntemdir ve seçim yapabileceğiniz birçok varyasyonu mevcuttur. Bu sezgiselin ilk temel adımı, tüm şehirlerin bir alt kümesinin turuyla başlamaktır. İlk alt tur genellikle bir üçgendir ve alt tur olarak tek bir kenarla da başlanabilir. Bu tip sezgisel yöntemin karmaşıklığı $O(n^2)$ olarak gösterilebilir. Ekleme Sezgiseli'nin adımları da şu şekilde tanımlanabilir (Davendra, 2010: 14).

1. En kısa kenarı seçin ve bir alt tur oluşturun.
2. Alt tur da olmayan en yakın mesafedeki herhangi bir şehri seçin.
3. Kenar şehirleri arasından seçilen şehrin *ekleme* maliyetinin en aza indirecek alt turu bulun.

⁷ Held ve Karp'ın 1971'de yapmış oldukları çalışmada GSP için geliştirdikleri bir yöntemdir.

4. Başka şehir kalmayana kadar 2. adımı tekrar edin.



Şekil 2.5: Ekleme Sezgiseli Uygulanarak Çözülen Örnek Bir GSP⁸

2.2.1.5. Christofides Sezgiseli

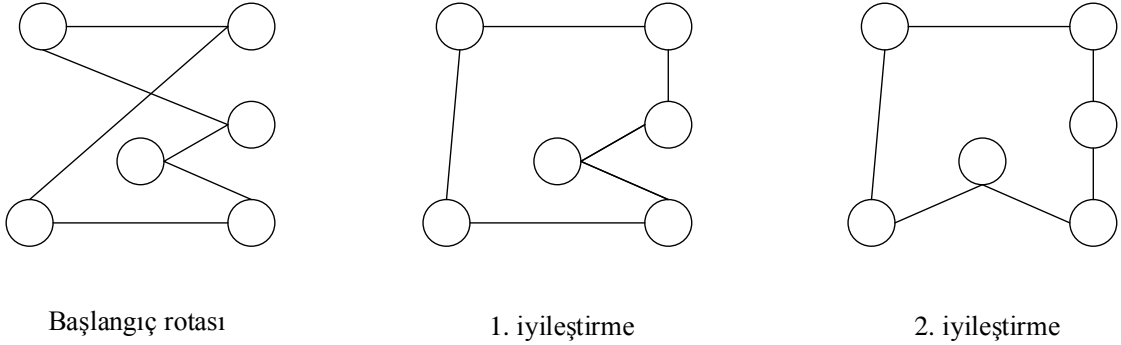
Bu sezgisel yöntem adından da anlaşılacağı üzere Nicos Christofides (1971) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem Minimum Kapsayan Ağaç Algoritmasına (Shortest Spanning Tree) uzanmakla birlikte şu şekilde adımları sıralanabilir;

1. Tüm şehir dizisinden minimum kapsayan bir ağaç oluşturun.
2. Tek bir dereceye sahip olan düğümlerin dizisinde minimum ağırlık eşleşmesi yapın ve minimum kapsayan ağacı, minimum ağırlık eşleşmesi ile birlikte ekleyin.
3. Birleştirilmiş bir Euler döngüsü oluşturun ve ziyaret edilen düğümlerden uzak durarak kısa yollar rota çizin.

Christofides Sezgiseli uygulanarak oluşturulan örnek bir rota⁹ Şekil 2.6'da gösterilmiştir.

⁸ Ekleme Sezgiseli uygulanarak çözülen bu örnek rota yazar tarafından geliştirilmiştir.

⁹ Christofides Sezgiseli uygulanarak oluşturulan örnek rota yazar tarafından geliştirilmiştir.



Şekil 2.6: Christofides Sezgiseli Uygulanarak Oluşturulan Örnek Bir Rota

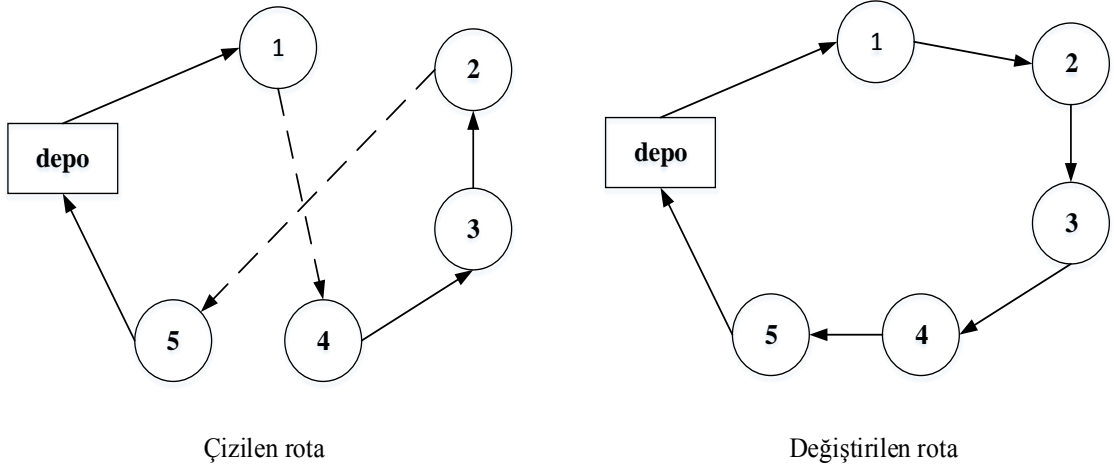
2.2.2. Tur Geliştirici Sezgiseller

Bir tur, herhangi bir tur oluşturma sezgiseli kullanarak geliştirildikten sonra, üretilen turun kalitesini artırmak için iyileştirme sezgiselleri kullanılabilir (Davendra, 2010: 14). Tur geliştirici sezgiseller, bir mümkün çözüm başlangıç çözümü olarak alır ve o çözümü geliştirirler. Her bir iterasyonda dal kombinasyonları değiştirilir ve değişimin mümkün çözüme ulaştırıp ulaştırmadığını maliyeti düşürüp düşürmediği kontrol edilir (Eryavuz ve Gencer, 2001: 141).

2.2.2.1. 2-Opt Sezgiseli

2-Opt, Croes (1958) tarafından ortaya konulan rota içi değişim yaklaşımıdır. Bu yaklaşım bir rotanın iki yayını keser ve daha önce hiç sıralanmamış yeni bir rota elde etmek için art arda olmayan iki farklı düğümü düzenleyip bağlar. 2-Opt değişimi ayrıca taşıma olarak da adlandırılır (Sarıcıoğlu, 2014: 14). Şekil 2.7'deki örnek çizilen rotalarda¹⁰ görüldüğü üzere, çizilen rotada yer alan kırmızı oklar (1,4) ve (2,5) hem toplam mesafe hem de maliyet açısından optimum olmadığı varsayıp 2-Opt yaklaşımı uygulanarak rotadaki düğümlerin yerleri değiştirilmiştir. Değiştirilen rotada yer alan kırmızı oklar (1,2) ve (4,5) olarak yönlendirilmiştir. Sonuç olarak kısıtlar bakımından ilk çizilen rotaya kıyasla optimuma daha yakın bir sonuç vermiştir.

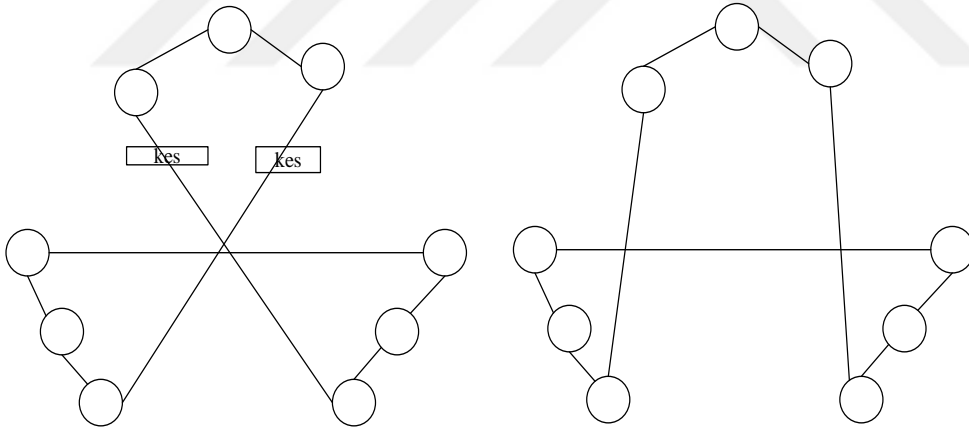
¹⁰ Çizilen rotalar yazar tarafından geliştirmiştir.



Şekil 2.7: 2-Opt Uygulanarak Çizilen Örnek Rota

2.2.2.2. 3-Opt Sezgiseli

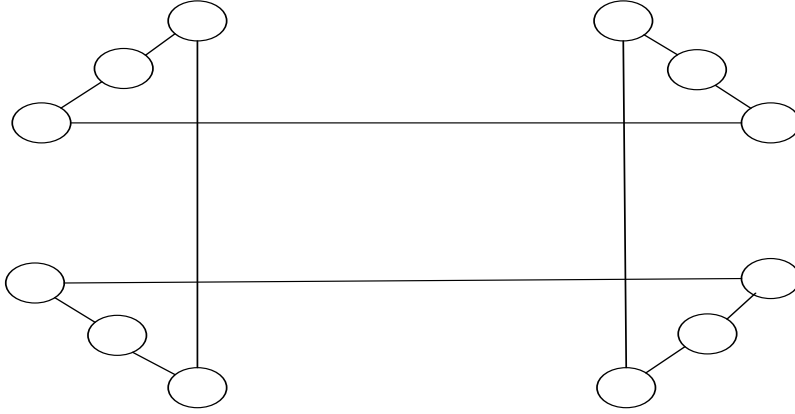
3-opt algoritması 2-Opt algoritmasına benzer bir şekilde çalışır, ancak iki kenarı değil de üç kenarı kaldırır. Bu, üç yolu geçerli bir turda yeniden bağlayan iki yol olduğu anlamına gelir. Arama, 3-opt hareketleri tur kalitesini iyileştiremediğinde tamamlanır (Davendra, 2010: 15). Bu iki yol ise Şekil 2.8’de gösterilmektedir.



Şekil 2.8: 3-Opt Sezgiselli Örnek Rota

2.2.2.3. k-Opt Sezgiseli

Üretilmiş bir turun iyileştirilmesi için k-opt algoritması uygulanabilir. Ancak burada çıkarılacak kenar sayısı $k > 3$ olmalıdır. $k > 3$ olduğunda hesaplama süresi artmaktadır. Genellikle köprülerin çaprazlanması (crossing bridges) (Şekil 2.9) adı verilen 4-opt kullanılır (Yıldırım, 2014: 27).



Şekil 2.9: k-Opt Sezgiselli Örnek Rota

2.2.2.4. Lin-Kernighan (L-K) Sezgiseli

Bu yaklaşım, GSP temelinde Lin ve Kernighan (1973) tarafından geliştirilen bir çeşit sezgisel yöntemdir. Temel amaç, toplam alınan mesafeyi en küçükmek için sürekli olarak iterasyona başvurarak en uygun değere ulaşmaktır. Her k düğümünün kesilip diğer düğümlere bağlanmasıyla iterasyon geçerlilik kazanır ve düğümler arası kesme ve birleştirme işlemleri yapılarak optimal değere ulaşılır. Bu değere ulaşıldıktan sonra yineleme durdurulur.

2.2.3. Meta Sezgiseller

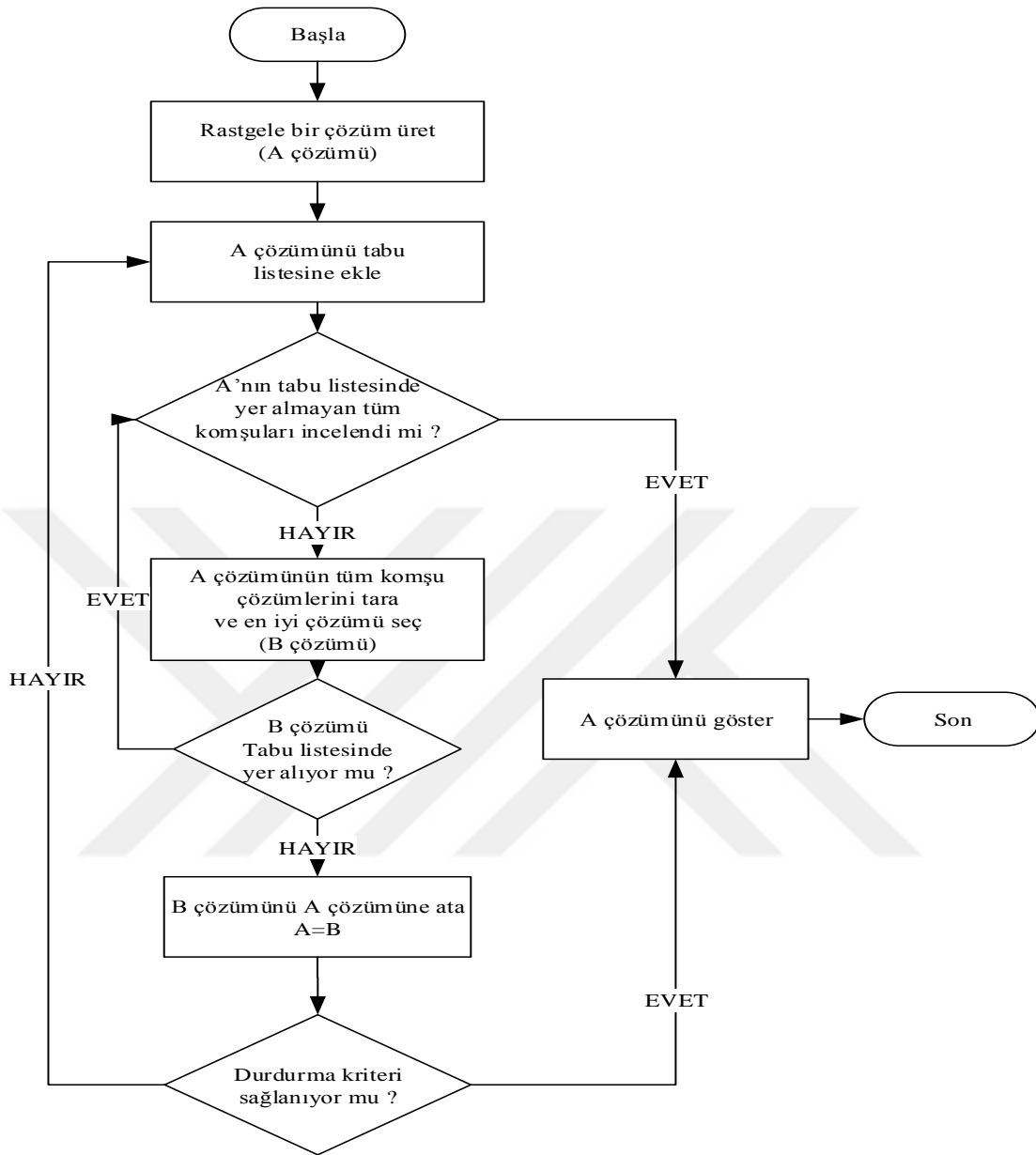
Meta sezgisel yöntemler yüksek kalitede sonuçlar üretmek için alt sezgisel yöntemleri modifiye eden ve yönlendiren popüler yöntemlerdir. Bu yöntemler, arama sürecini dizayn eden stratejiler olarak bilinmektedir. Temel amaç, optimal sonuçları bulmak için problemin arama boşluğunu verimli bir şekilde araştırmaktır. Meta sezgisel algoritmalarda, oluşturulan teknikler basit yerel arama prosedürlerinden karmaşık öğrenme sürecine kadar uzanmaktadır. Bu yöntemler kullanılarak elde edilen sonuçlar sadece yaklaşık değerlerdir ve genellikle deterministik değillerdir. Arama alanının sınırlı alanlarında sıkışıp kalmamak için çeşitli teknikler birlikte kullanılabilir. Meta sezgisellerin temel konsepti soyut bir seviyenin tanımlanmasına izin vermektedir ve problemlere özgü belirlenmemektedir. Günümüzün daha gelişmiş meta-sezgiselleri, aramayı yönlendirmek için arama deneyimini (bir çeşit bellekte yapılandırılmıştır) kullanmaktadır (Blum ve Roli, 2003: 270-271). Geçmişten günümüze dek kullanılan meta sezgisel yöntemler; TA, YSA, GA, KKA, YAK, TB, Yasaklı Arama (YA) ve PSO olarak çeşitlendirilmektedir.

2.2.3.1. Tabu (Yasaklı) Arama

Tabu Arama algoritması ilk olarak Glover (1986) tarafından geliştirilen çok düğümlü kombinatoriyel problemleri çözmek için kullanılan bir meta sezgisel yöntemdir. Bu yöntem, bir optimizasyon problemi olarak GSP ve ARP temelli çalışmalarda Knox ve Glover (1989) Fiechter (1994) tarafından gerçekleştirilmiştir.

TA yönteminin çözümü sırasında yerel aramanın optimal olmayan çözümlerinden kaçınmak için en yakın komşu ve 2-opt algoritmalarına benzer şekilde en kısa yolu bulmak için iterasyonlar başlatılır. Tabu belleğinde en son ziyaret edilen düğümleri eklenerek ve son düğüme kadar olan rotayı tabu listesine kaydedilir. Mevcut çözümün merkezi noktası bunun sonucunda tabu listesine ait olmayan çözümleri dışarıda bırakır. Bu gruba da 'kabul edilen küme' olarak isim verebiliriz. Bu çözüm tabu listesine eklenir ve tabu listesindeki çözümlerden biri kaldırılır¹¹. Bu problemin en büyük problemlerinden birisi çözümü yaparken geçen süredir. Tabu listesinin sürekli olarak değişmesinden ve problemin örneklem boyutunun büyük olması olasılığından dolayı çözüme ulaşma süresi şiddetli şekilde artmaktadır (Blum ve Roli, 2003: 275-276; Davendra, 2010: 16). Şekil 2.10'da standart bir TA algoritmasının akış şeması gösterilmektedir (Erol, 2006: 52).

¹¹ Bu ekleme ve kaldırma işlemleri FIFO yani ilk giren ilk çıkar mantığından gelmektedir.

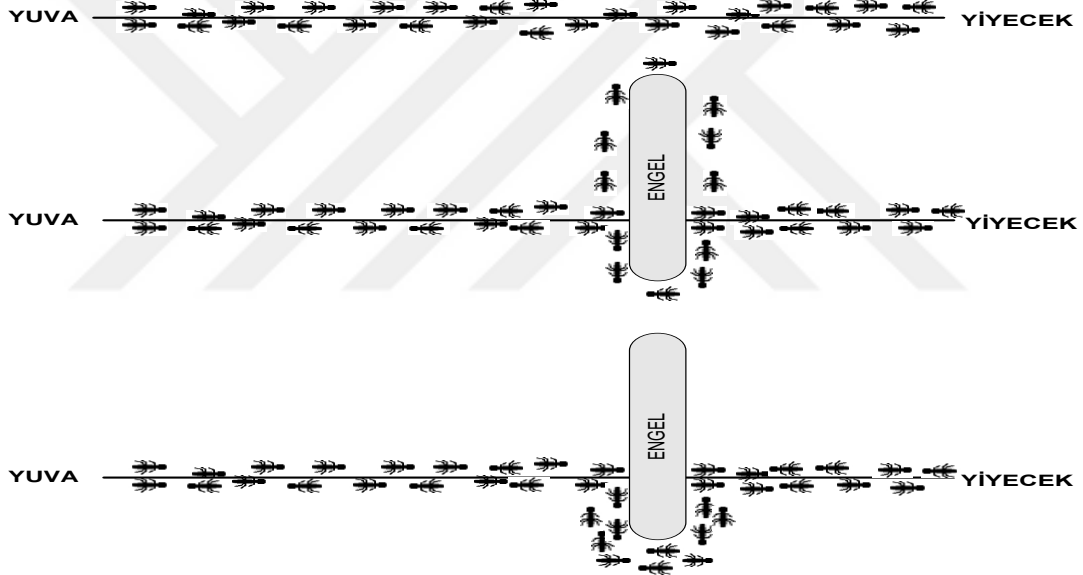


Şekil 2.10: Standart Bir TA Algoritması Akış Şeması

2.2.3.2. Karınca Kolonisi Optimizasyonu

KKO ilk olarak Dorigo (1992) tarafından çalışılmıştır. Yapılan çalışmada karıncaların belirli bir mantığa göre hareket ettiğini düşünülerek bu optimizasyonunu, GSP ve ARP gibi optimizasyon problemlerine uygulanmıştır (Demircioğlu, 2009: 72). Karınca algoritmaları, gerçek karınca kolonilerinin gözleminden ilham alınmıştır. Karıncalar sosyal böceklerdir, yani kolonilerde yaşayan ve koloni bütünüyle bireysel bir bileşenden ziyade koloni bütünlüğünün hayatta kalmasına daha çok önem veren böceklerdir. Bundan dolayı sosyal böcekler, bilim insanlarının ilgisini çekmiştir, özellikle kolonilerin bireylerinin göreceli sadeliğiyle karşılaştırıldığında kolonilerin

yapılaşma düzeylerini başarılabilir. Karınca kolonilerinin önemli ve ilginç davranışları, yiyecek arama davranışları ve özellikle karıncaların yiyecek kaynakları ve yuvaları arasında en kısa yolları nasıl bulabildikleridir. Gıda kaynaklarından yuvaya doğru yürürken ve tersi olduğunda, karıncalar 'feromon' olarak adlandırılan bir maddeyi yere bırakırlar ve bu şekilde bir feromon izi oluştururlar. Karıncalar feromonu koklayabilir ve yollarını seçerken, güçlü feromon konsantrasyonları ile işaretlenmiş yolları tercih etme eğilimindedirler (Dorigo vd., 1999: 137-138). KKO'da yapay karıncalar, gerçek mesafeler dikkate alınarak yapılmış olan model üzerinde en kısa yolu araştırmaktadırlar. Yollardaki feromon izleri yine yapay olarak, karıncaların geçiş sıklığıyla orantılı bir şekilde güncellenmektedir.



Şekil 2.11: Gerçek Karıncaların En Kısa Yolu Bulma Aşamaları

KKO'da yol tercihi belli bir olasılığa bağlı olarak iki şekilde gerçekleştirilir: İlk seçenek q_0 olasılıkla feromonun en yoğun olduğu yolun seçilmesidir. q_0 parametresi genellikle % 90 olarak belirlenir. $\tau(i, j)$ i ve j noktaları arasındaki feromon miktarı, seçilebilirlik parametresi $\eta(i, j)$, i ve j noktaları arasındaki mesafenin tersi ($1/\delta(i, j)$), α ve β ayarlanabilir parametreler olmak üzere, i noktasında bulunan bir karıncanın gideceği nokta aşağıdaki gibi seçilmektedir:

$$j = \max_{u \in J_k(i)} \left\{ \left[\tau(i, u) \right]^\alpha \times \left[\eta(i, u) \right]^\beta \right\} \quad \text{eğer } q \leq q_0 \quad (34)$$

q , 0-1 arasında seçilen rastgele bir değişkendir. q_0 ise ($0 \leq q_0 \leq 1$) arasındaki değişkenlerde seçilen bir parametredir. Burada bütün karıncalar q_0 ihtimali ile sezgisel bilginin ve öğrenilmiş feromon izlerinin gösterdiği sonuca göre ihtimal dâhilindeki en iyi hareketi yapar. Eğer $q \leq q_0$ ise, yeni bir kurala göre seçme ihtimalimiz hesaplanmakta; eğer $q > q_0$ ise karınca sistemindeki hesaplama sadece $\alpha = 1$ alınarak aynen kullanılmaktadır.

İkinci seçenek ise gidilmesi mümkün olan yollardan birini, yollardaki feromon izleriyle orantılı olarak seçmektir. Bu şekilde yol seçimi olasılığı $1 - q_0$ oranındadır. $J_k(i)$, i noktasındaki karıncanın gidebileceği noktalar yani ziyaret edilmemiş şehirleri temsil eder. Tüm şehirler için seçilme olasılıkları aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$p_k(i, j) = \begin{cases} \frac{[\tau(i, j)]^\alpha \times [\eta(i, j)]^\beta}{\sum_{u \in J_k(i)} [\tau(i, u)]^\alpha \times [\eta(i, u)]^\beta} & \text{eğer } j \in J_k(i) \\ 0 & \text{Diğer durumlarda} \end{cases} \quad (35)$$

Bu olasılıklara bağlı olarak yol seçilmektedir. Feromonun yoğun olduğu yolların seçilme olasılığı yüksektir (Keskinürk ve Söyler, 2006: 589-691; Serin, 2009: 55).

KKO, ilk olarak GSP'nin çözümü için geliştirilse de son zamanlara doğru probleme kapasite ve zaman gibi kısıtlar eklenerek yaygın bir şekilde çözüm önerilerinde bulunulmuştur (Şahin ve Eroğlu, 2014: 342-343).

2.2.3.3. Genetik Algoritma

Genetik Algoritmalar, Holland (1975) tarafından yapay zeka ve canlıların anatomisinden etkilenecek geliştirilmiş meta sezgisel bir yöntemdir.

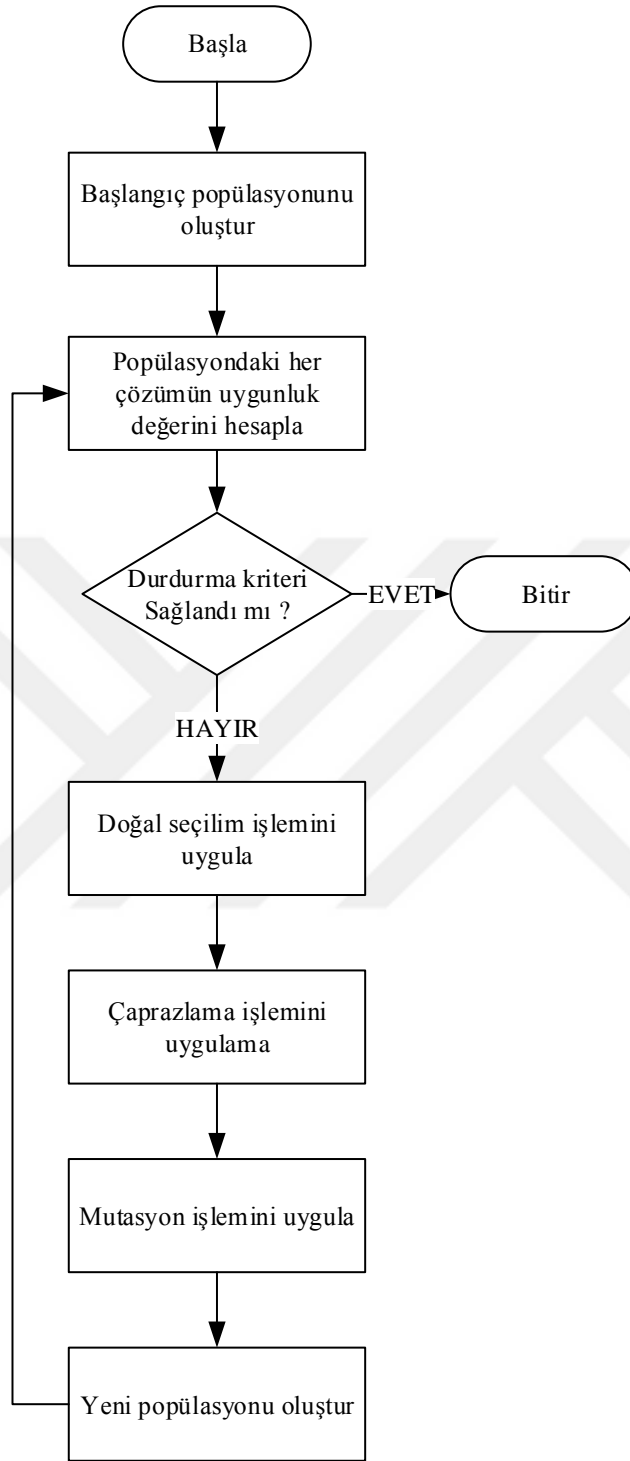
GA'nın ilk aşamasında incelenen problemin parametreleri uygun şekilde kodlanarak kromozomlar oluşturulur. Daha sonra bu her bir kromozom problemin çözümü için bir adaydır. Burada, oluşturulan popülasyon $0 - 1$ aralığındadır. Daha sonra bireyler 0 ya da 1 'e yuvarlanır. Bireylere seçim yöntemi uygulanır. Seçim işleminde amaç, seçilen uygunluk fonksiyonuna ve seçim yöntemine göre elimizdeki popülasyondan yeni bir neslin bireylerinin seçilmesidir. Ardından popülasyondan bazı kromozomlar seçilir ve doğadaki genetik süreçlere dayanan “çaprazlama” ve “mutasyon” genetik operatörleri uygulanarak daha iyi kromozomlar elde edilmeye

çalışılır. Çaprazlamanın ön adımı olarak çaprazlanacak bireyler eşleme süreciyle belirlenir. Eşleme sürecinde, seçilen kromozomların yeni nesil oluşturma işlemine çaprazlama denir. Bir problem çözüm uzayından kaç adet kromozomun çaprazlanacağı çaprazlama oranına göre belirlenmektedir. Çaprazlama sonucunda farklı çözümlere ulaşmak bazen zor olmaktadır. Yeni çözümler aramanın kolaylaştırılması ve aramanın yönünü değiştirmek amacı ile bir kromozomun bir elemanın değiştirilmesi işlemidir. Bir problem havuzunda kaç kromozomun mutasyona uğratılacağına mutasyon oranına göre karar verilmektedir. (Holland, 1992; Çolak, 2010: 426; Daş vd., 2006: 69). GSP'nin çözümü için GA kullanıldığında oluşan kromozom yapısı da Şekil 2.12'de¹² gösterilmektedir. Ayrıca GA'nın çözümü için hazırlanan GA akış şeması Şekil 2.13'de gösterilmiştir (Yıldırım, 2014: 32).



Şekil 2.12: Örnek GSP İçin Oluşan Kromozom Yapısı

¹² Örnek kromozom yapısı yazar tarafından geliştirilmiştir.



Şekil 2.13: GA Akış Şeması

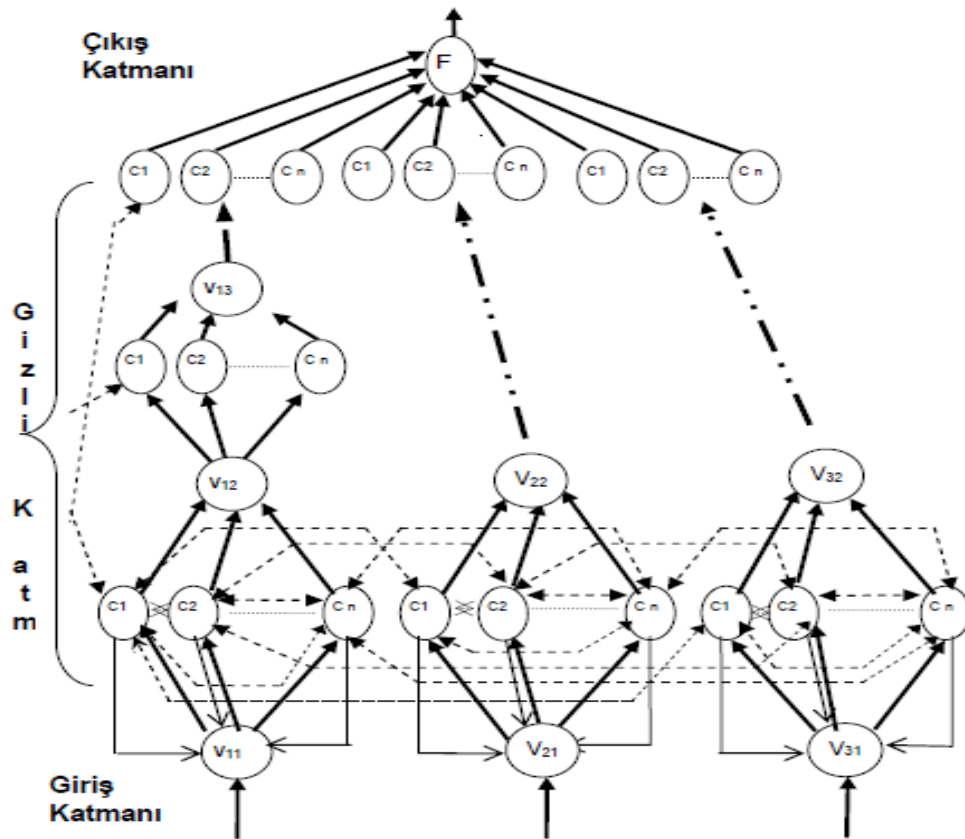
2.2.3.4. Yapay Sinir Ağları

YSA, GSP temelinde çözüm yöntemi olarak ilk defa Hopfield ve Tank (1985) tarafından çalışılmıştır.

YSA yönteminin çözümü için öncelikle problemin başlangıç ağırlıkları tespit edilmektedir. Sonraki aşamada ise ağırlıkların güncellenerek yeni çözümlerin elde

edileceği iterasyonlar başlamaktadır. Elde edilen çözüm sayısı daha önceden belirlenmiş gerekli çözüm sayısına eşit oluncaya kadar iterasyonlar devam etmektedir. Her bir iterasyonda sezgisel yöntemlerle birlikte YSA çalıştırılır ve yeni bir sonuç elde edilir. Problem 3 farklı katmandan (Girdi-Gizli-Çıktı Katmaları) geçer (Çolak ve Güler, 2009: 177). Şekil 2.14'te klasik YSA'nın görsel çözüm boyutu gösterilmiştir.

YSA algoritması yapılan ilk GSP temelli çalışmadan sonra birçok çalışmaya konu edilmiştir. Önemli optimizasyon problemlerinden olan GSP ve ARP'nin çözümü için YSA'nın kullanıldığı bu çalışmaları detaylı bir şekilde incelemeyebilirsiniz (Bout ve Miller, 1988; Fritzke ve Wilke, 1991; Bhide vd., 1993).



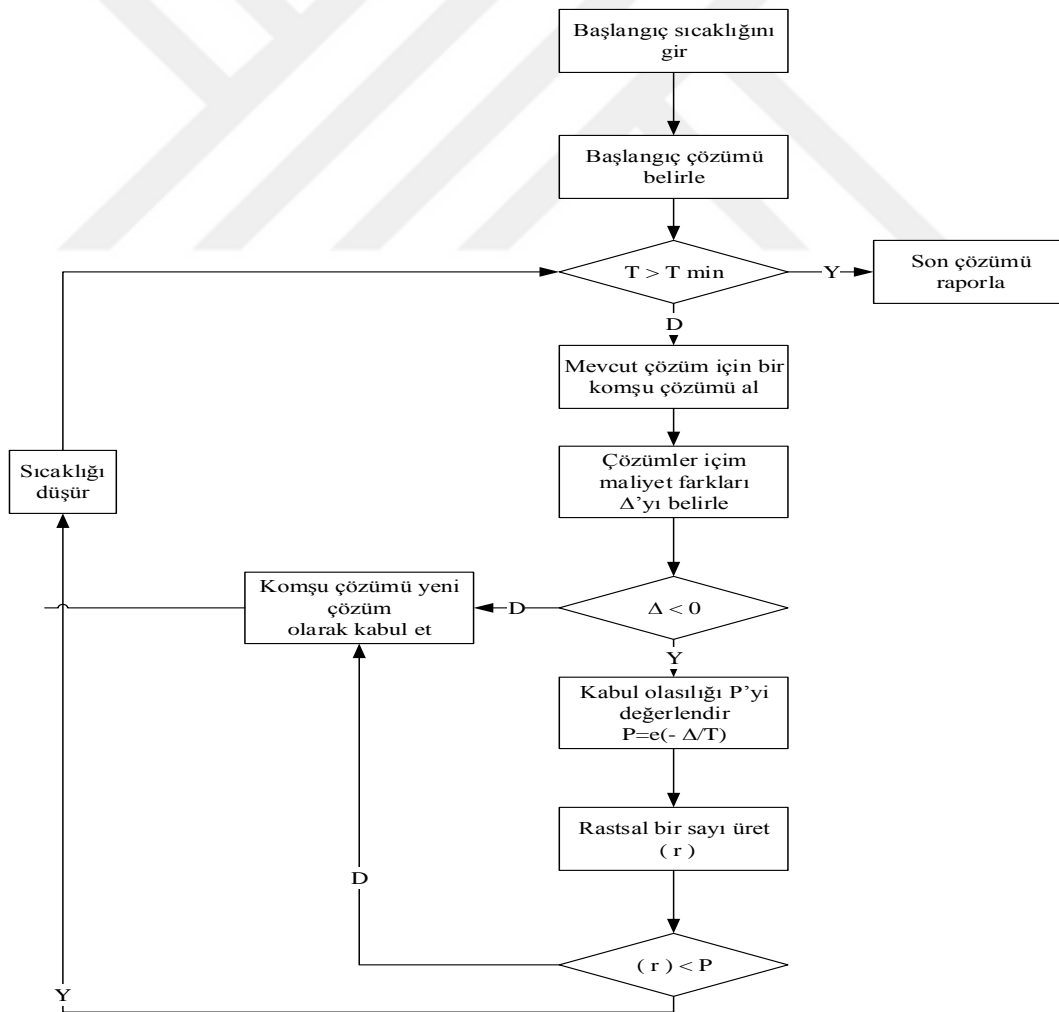
Şekil 2.14: Klasik YSA Görsel Çözüm Boyutu

2.2.3.5. Tavlama Benzetimi

Tavlama benzetimi yöntemi, ilk olarak Metopolis vd. (1953) tarafından önerilmiştir. Metropolis algoritması, soğutma sürecinden geçirilen bir sistemin kararlı bir duruma gelinceye kadarki, enerjisindeki değişikliklerin benzetimini yapar. Otuz yıl sonra, Kirkpatrick vd. (1983) bu tür bir benzetimin, optimal sonuca yakınsama

amacıyla, optimizasyon problemlerine olurlu çözüm bulmada kullanılabileceğini söylemişlerdir. TB akış şeması Şekil 2.15’de gösterilmiştir (Gülsün vd., 2008: 70).

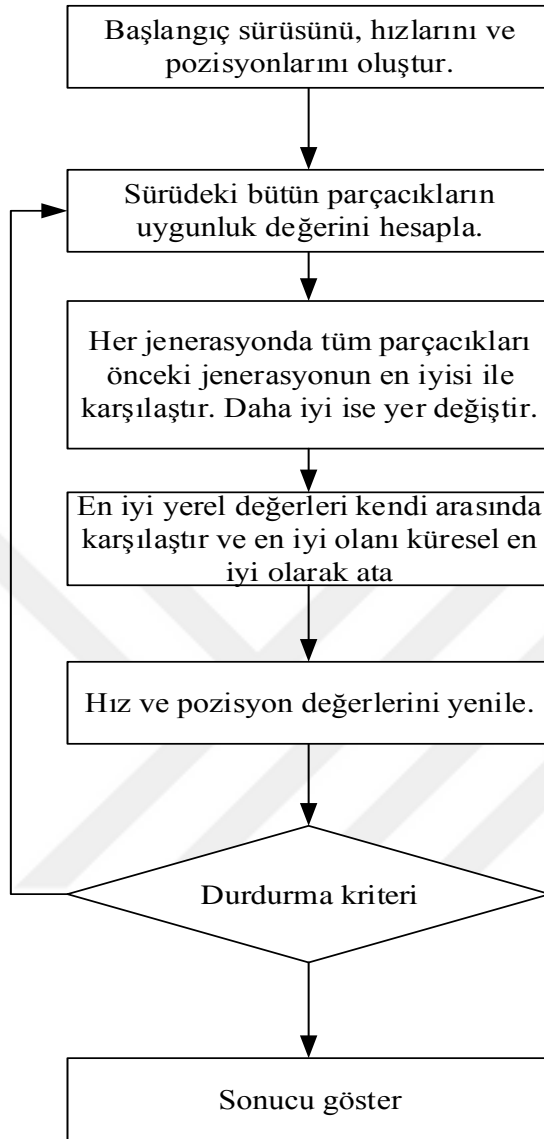
TB, meta sezgisel yöntemler arasında en eski olduğu ve yerel optimum arama noktalarından kaçmak için açık bir stratejiye sahip ilk algoritmalarından biri olduğu söylenir. Yerel arama ve ya en yakın komşu algoritmalar yardımıyla olurlu olmayan çözümleri azaltma işlemi de aslında metallerin ve camların tavlama sürecine benzetilmektedir. Burada temel amaç, yerel aramadan kaçmak için mevcut çözümden (yokuş yukarı hareketler) daha kötü kalitede çözümlerle sonuçlanan hareketlere izin vermektir. Böyle bir hamle yapma olasılığı değeri de arama sırasında azalır. Bu olasılık değeri iki çözümün amaç fonksiyon değerleri arasındaki farkla ve sıcaklık değeri ile hesaplanır. Daha kötü kalitede olan çözümlerin kabul olma olasılığı arama süresince daha aza indirgenir (Blum ve Roli, 2003: 274).



Şekil 2.15: Tavlama Benzetimi Algoritmasının Genel Adımları

2.2.3.6. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)

PSO, Kenedy ve Eberhart (1995) tarafından kuş, balık ve böcek gibi sürü olarak gezen canlıların davranışlarından etkilenilerek geliştirilen bir yöntemdir. PSO'nun ilk çözüm aşamasında, ilk iterasyonda m parçacıklarının konumunu belirlenir. Rastgele başlatma, bu iş için en popüler yöntemlerden biridir. Rastgele üretilmiş bir parçacığın iyi bir cevap olduğuna dair bir garanti yoktur ama bu, başlatmayı daha cazip hale getirecektir. İyi bir başlatma algoritması, optimizasyon algoritmasını daha verimli ve güvenilir hale getirebilir. Başlatma için, önceden bilinen bazı bilgiler, algoritmanın daha az yinelemede birleşmesine yardımcı olabilir. Örneğin, 0-1 sırt çantası probleminde, iyi aday cevapları oluşturabilen ama optimal olmayan açgözlü bir algoritma vardır. Bu açgözlü algoritma popülasyonun başlatılması için kullanılabilir ve optimizasyon algoritması bu iyi noktadan optimizasyona devam edecektir (Greco, 2008: 8). PSO'da bulunan bireylerin (parçaların), her birinin ayrı bir hızı vardır. Her nesilde bireyler kendi hızlarını, en iyi bireye göre yenilerler. Böylece yeni nesil, bir öncekine göre daha iyi duruma gelir (Özsağlam, 2009: 13). PSO akış diyagramı Şekil 2.16'da gösterilmektedir (Özsağlam ve Çunkaş, 2008: 300).

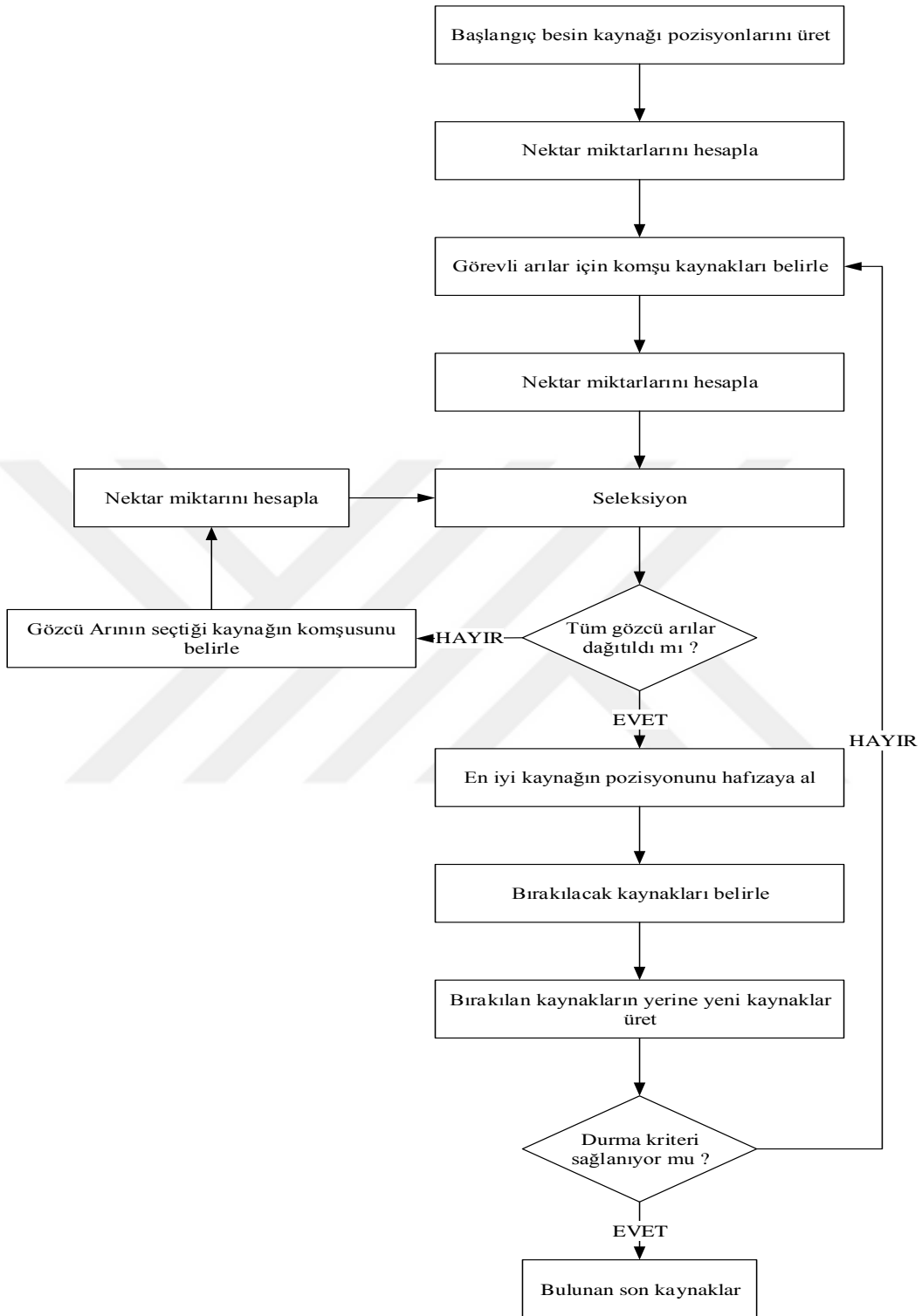


Şekil 2.16: PSO Akış Diyagramı

2.2.3.7. Yapay Arı Kolonisi Optimizasyonu

'Arı Sistemi' kavramı Sato ve Hagiwara (1997) tarafından ortaya konulmuş gerçek arıların davranışlarından esinlenerek oluşturulan bir sezgisel algoritmadır. Teodorovic Arı Sistemi'nin bir türevi olan Arı kolonisi algoritmasını geliştirmiştir. (Akça, 2011: 20). Ardından, Karaboğa (2005) tarafından YAK algoritması geliştirilmiştir. Algoritmanın temel adımları aşağıda verilmiştir (Aslantaş ve Kurban, 2010: 2). Ayrıca algoritmaya ait akış diyagramı da Şekil 2.17'de yer almaktadır (Akyol ve Alataş, 2012: 48).

1. Tüm işçi arılar için olası çözümleri temsil eden başlangıç besin kaynakları üretilir.
2. İhtiyaçlar karşılanana kadar aşağıdaki adımlar tekrarlanır:
 - A. Her işçi arı bir besin kaynağına gider ve bir komşu kaynağını belirler, ardından nektar miktarını (çözümün kalitesi) değerlendirir.
 - B. Her gözcü arı çalışan arıları izler ve birini seçer. Seçilen kaynak etrafında bir komşu seçtikten sonra nektar miktarı da değerlendirilir.
 - C. Bazı besin kaynakları terkedilir ve bunlar, izci arıları tarafından keşfedilen yeni besin kaynakları ile değiştirilir.
 - D. Hafızada en iyi besin kaynağı yer alır.



Şekil 2.17: Yapay Arı Kolonisi Algoritması Akış Diyagramı

3. UYGULAMA

3.1. Çalışmanın Amacı

Günümüz işletmeleri maliyet ve rekabet açısından sistemli çalışma programları edinmeye başlamışlardır. Bu programları kendi işletmelerine entegre ettikleri müddetçe sürekli seviye atlayarak ve rakiplerini geride bırakarak ilerleyebilirler. Özellikle bu durum lojistik gibi alanlarda işleyen firmalar için bir kat daha artmaktadır. İşletmeler, ürünleri müşterilere minimum zamanda ve düşük maliyette teslim etme arzusunda olduklarından dolayı dağıtım yapan işletmeler bu durumu göz önüne alarak kendilerine en az maliyetli ve bir o kadar da tam zamanlı bir dağıtım ağı ve sistemi kurmak zorundadırlar. Ancak, çoğu dağıtıcı firma, personellerinin tecrübelerinden yararlanarak bir dağıtım sistemi planlamaktadır. Diğer taraftan bu durum çoğu bilim insanı tarafından da rasyonel olarak karşılanmamaktadır. Bu çalışmada bu sorun göz önüne alınarak, örnek bir dağıtıcı işletmenin dağıtım verilerinden yararlanarak, tüm talebin karşılanması için araç filosunun kat ettiği toplam mesafenin minimize edilmesi amaçlanmıştır.

3.2. Çalışmanın Önemi

Araç Rotalama Problemi yöneylem araştırmalarının en önemli optimizasyon problemlerinden biridir. İşletme dalına da somut bir şekilde yansıtıldığında geçmişten günümüze çok önemli araştırmalara konu olmuştur. ARP, ilk olarak Gezgin Satıcı Problemi (GSP) olarak literatüre geçmiştir. GSP, Dantzig, Ramser ve Fulkerson (1954) tarafından geliştirilmiştir. Daha sonra da ARP, Dantzig ve Ramser (1959) tarafından geliştirilerek ARP'nin birçok türüne ilham kaynağı olmuştur. Tek araçlı modeller ile çözüme başlanılan bu problem yıllar ilerledikçe bu modellere çeşitli kısıtlar eklenerek en az maliyetli, en kısa sürede ve en az mesafe alınarak optimal rotalar elde edilmeye çalışılmıştır. Günümüz dünyasında artık maliyetin ve kârın işletmeler açısından ne kadar elzem olduğu düşünülürse, ürün dağıtımını yapan işletmeler, toplam maliyeti en aza indirip en kısa sürede hizmet sağlamak için ARP'yi bilimsel bir şekilde değerlendirmeleri gerekmektedir. İşletmeler deneyimlerine dayanarak değil de ürünleri dağıtmak ya da toplamak için bilimsel ve teknolojik olarak rotalarını çizerlerse, amaçladıkları hedeflere daha kısa sürede ulaşabilirler.

3.3. Meteryal ve Yöntem

Bu çalışmada, Kocaeli - Gebze'de yer alan, çelik üretimi ve dağıtımını yapan bir fabrikanın ürün dağıtım rotaları temel alınmıştır. Bu temel doğrultusunda sürekli olarak aynı müşterilere hizmet sağlayan dağıtıcı işletmenin müşterilere yaptığı dağıtımlar, müşteriler arasındaki mesafeler, her müşterinin talep ettiği çelik miktarı ve araçların kapasiteleri göz önüne alınarak veriler toplanmıştır. İşletme bu dağıtım rotalarını kendi deneyimlerine göre planlamaktadır. Bu çalışmanın uygulamasında, dağıtım planında yer alan müşterilerin tüm talebinin karşılanıp tekrardan merkeze dönülmesiyle birlikte toplam kat edilen mesafe minimize edilmeye çalışılmıştır.

Bu veriler, Gebze'de yer alan, siparişe göre çeşitli çelik ürünleri üretip dağıtımını yapan bir fabrikadan edinilmiştir. Bu veri seti, bir merkezi çıkış noktası (depo) ve toplamda 40 düğümden oluşmaktadır. Problem görünüşte kolay gibi görünebilir, fakat düğüm sayısı ne kadar artarsa problemin çözümüde o denli zorlaşmaktadır. 40 düğüm, literatürde oldukça iyi bir düğüm sayısı olarak belirtilmektedir. ARP'yi literatüre kazandıran bilim insanlarından biri olan Dantzig, Ramser ile 1959'da yapmış oldukları çalışmadan bir alıntı; "*problem, tüm düğümlerden geçerek en kısa mesafeli rotayı bulmakla ilgilidir. n yani düğüm sayısı küçük boyutlarda olsa bile problemin çözümü çok fazla zaman almaktadır. Örneğin n= 15 olarak düşünüldüğünde, kombinasyonlu oluşacak farklı rota sayısı 653,837,184,000 olarak hesaplanır*". Dolayısıyla, bu çalışmada veri setini oluşturan 40 düğüm oldukça etkileyici bir düğüm sayısı olarak kabul edilebilir. Oluşturulacak model, dört farklı gruptan oluşmaktadır. İlk üç grupta yer alan modeller, İstanbul Avrupa yakasında, son grupta yer alan model ise Anadolu yakasında yer alan müşterilerden oluşmaktadır. Dağıtıcı işletme belirli müşterilere rassal olarak uğradığından dolayı zaman açısından problem yaşama ve katlandığı maliyetten daha fazlasına katlanma ihtimali oldukça yüksektir.

İstanbul genel itibarıyla İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) tarafından 3 bölgeye ayrıştırılmıştır (www.ibb.istanbul. 25.02.2018). İBB'nin daha önceden bu bölgeleri ölçeklendirip kümelediği ilçelerden yararlanarak edinilen verilerin modellenmesi için bu 3 bölge kaynak olarak gösterilmiştir. İlk 3 bölgede yer alan müşteriler bu kaynakla birlikte kümelendirilmiştir. 1. Bölge; Anadolu Yakası, 2. ve 3. Bölgeler ise Avrupa yakası olarak planlanmıştır. 4. bölge ise sınır ötesinde ve Avrupa

yakasının uç noktalarında kalan müşterilerden oluşturulmuştur. Geliştirilen bu kümeleme sayesinde dağıtım rotaları daha net bir şekilde ortaya çıkarak, yapılacak dağıtım planlaması ile hem zamandan hem de maliyetten tasarruf etmek gibi ilerleme kaydedici adımlar ortaya çıkabilir.

Uygulamada 0-1 TDP yönteminin Dal-Kesme algoritması kullanılarak KARP'ın örnek çözümü sunulmuştur. Uygulamada LINDO bilgisayar yazılımı eşliğinde işletme için en düşük mesafeli rotalar geliştirilmeye çalışılmıştır.

3.4. Verinin Tanımlanması

Depo noktası ile birlikte 40 düğümün hem depo ile hem de birbirleri ile arasındaki uzaklıkları Google Maps üzerinden trafik rotaları aracılığı ile tespit edilmiştir. Bu tespitin ardından İstanbul Avrupa yakasında yer alan 30 düğüm kendi aralarında 3 gruba ayrıştırılmıştır. Bu üç grup da aralarında ikişer gruba ayrılarak işletmenin sahip olduğu araç ve talep özelliklerine göre rotalar planlanmıştır. Kalan 10 düğüm ise Anadolu yakasında yer almaktadır. Bu 10 düğüm de aralarında iki gruba ayrılarak işletmeye uygun planlı rotalar sunulmaya çalışılmıştır. Dağıtım esnasında 8 grup için işletmenin sahip olduğu eşit kapasiteye (5000 kg) sahip 16 araç, her gruba ikişer olarak atanarak 16 farklı güzergâhla talepler karşılanmıştır. Avrupa yakasında yer alan dağıtım noktaları Tablo 3.1'de tanımlanmıştır. Tablo 3.2'de ise Anadolu yakasında yer alan dağıtım noktaları yer almaktadır. Şekil 3.1'de İstanbul Avrupa yakasında yer alan talep noktaları Şekil 3.2'de ise Anadolu yakasında yer alan talep noktaları Google Maps aracılığı ile numaralandırılmıştır.

Tablo 3.1: Avrupa Yakasında Yer Alan Talep Noktaları

Düğümün Numaralandırılması	Talep Noktaları
0	Gebze (merkezi depo)
1	Bayrampaşa
2	Hadımköy
3	İkitelli OSB
4	Çerkezköy
5	Beylikdüzü OSB
6	Silivri
7	Avcılar
8	Kıraç (Esenyurt)
9	Çorlu
10	Büyükçekmece
11	Sarıyer
12	Bakırköy
13	GOP Sanayi
14	Kâğıthane
15	Küçükçekmece
16	Lüleburgaz
17	Fatih
18	Maslak
19	Murathı
20	Kaynarca
21	Kavaklı
22	Eyüp
23	Alibeyköy
24	Güzeltepe
25	Şişli
26	Beylikdüzü 1
27	Beylikdüzü 2
28	Bağcılar
29	Çatalca
30	Yeniçiftlik



Şekil 3.1: İstanbul Avrupa Yakasında Yer Alan Talep Noktaları

Tablo 3.2: Anadolu Yakasında Yer Alan Talep Noktaları

Düğümün Numaralandırılması	Talep Noktaları
0	Gebze (merkezi depo)
1	Ömerli
2	Şekerpınar
3	Pendik
4	Kadıköy
5	Dudullu OSB
6	Alemdağ
7	Kozyatağı
8	Çekmeköy
9	Kartal
10	Kurtköy



Şekil 3.2: İstanbul Anadolu Yakasında Yer alan Talep Noktaları

Talep noktaları gruplandırıldıktan sonra 1.2.3. ve 4. Bölgeler Tablo 3.3'de¹³ gösterilmiştir. Şekil 3.3'de İstanbul 4 bölgeye ayrılarak harita üzerinde gösterilmiştir. Şekil 3.4'te talep noktaları renklere göre dairesel olarak bölgelere ve gruplara ayrılmıştır. Şekil 3.5'te de talep noktalarının 8 farklı gruba ayrıldığını gösteren akış diyagramı tanımlanmıştır.

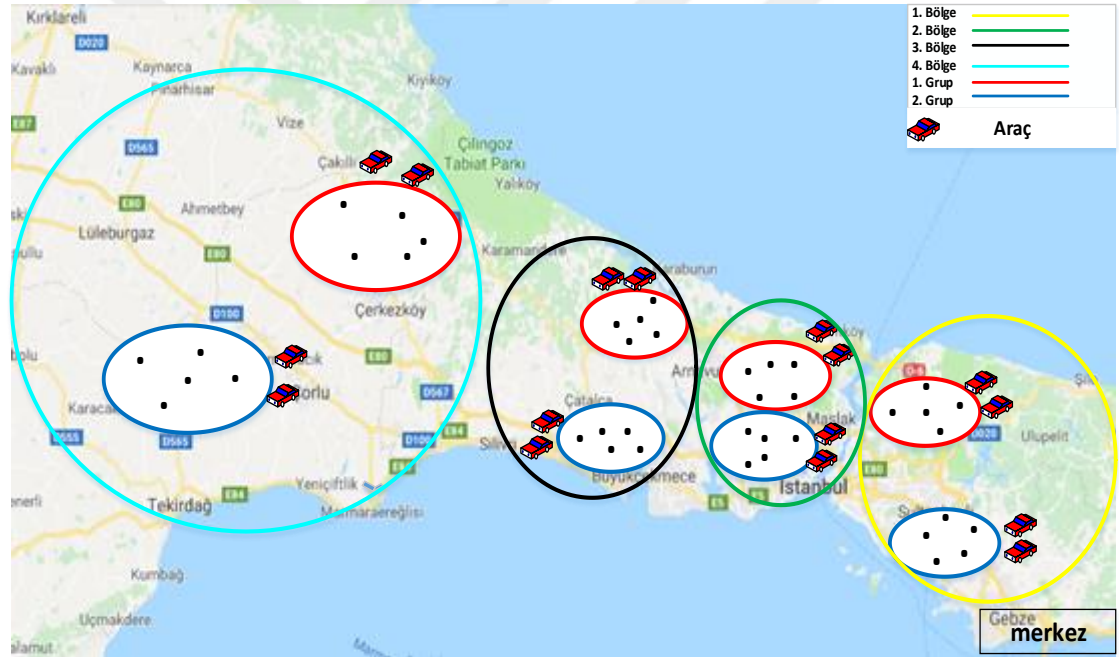
Tablo 3.3: İstanbul'da Yer Alan Talep Noktalarının Bölgelere Ayrılması

1. Bölge-Anadolu Y.	2. Bölge – Avrupa Y.	3. Bölge – Avrupa Y.	4. Bölge
1- Ömerli	1- Bayrampaşa	2- Hadımköy	4- Çerkezköy
2- Şekerpinar	11- Sarıyer	3- İkitelli	6- Siliviri
3- Pendik	13- GOP Sanayi	5- Beylikdüzü OSB	9- Çorlu
4- Kadıköy	14- Kağıthane	7- Avcılar	10- Büyükçekmece
5- Dudullu OSB	17- Fatih	8- Kıraç (Esenyurt)	16- Lüleburgaz
6- Alemdağ	18- Maslak	12- Bakırköy	19- Muratlı
7- Kozyatağı	22- Eyüp	15- Küçükçekmece	20- Kaynarca
8- Çekmeköy	23- Alibeyköy	26- Beylikdüzü 1	21- Kavaklı
9- Kartal	24- Güzeltepe	27- Beylikdüzü 2	29- Çatalca
10- Kurtköy	25- Şişli	28- Bağcılar	30Yeniçiftlik

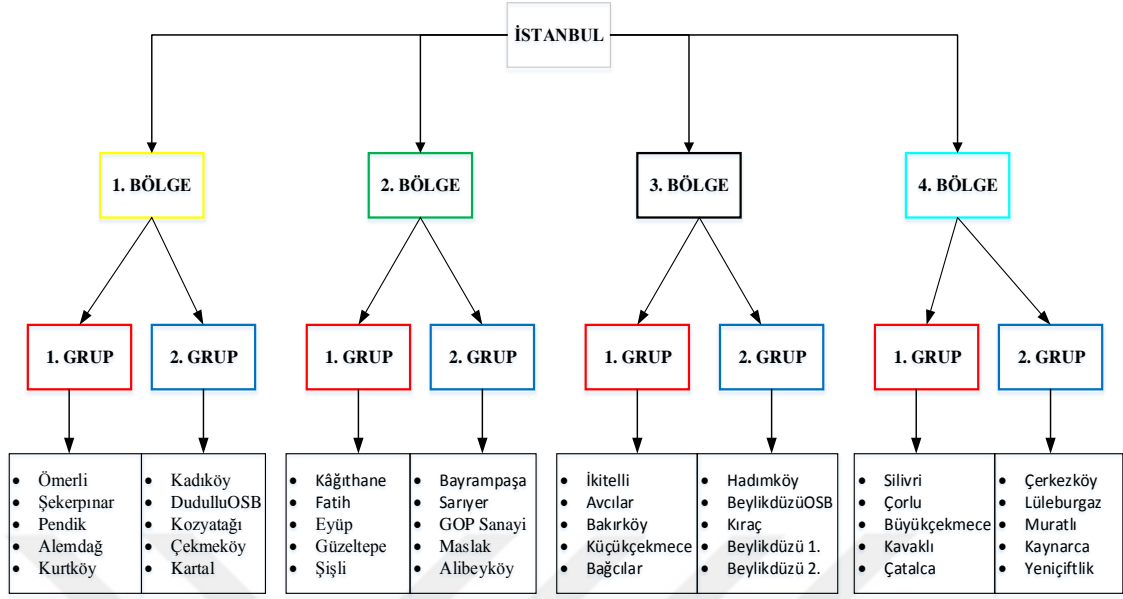
¹³ Bu tabloda, Şekil 3.1 ve 3.2'de yer alan haritalar üzerinde tanımlanan talep noktası numaraları temelinde İstanbul 4 bölgeye ayrılarak numaralandırılmıştır.



Şekil 3.3: İstanbul'da Yer Alan Talep Noktalarının Bölgelere Ayrılması



Şekil 3.4: İstanbul'da Yer Alan Talep Noktalarının Bölgelere ve Gruplara Göre Görselleştirilmesi



Şekil 3.5: İstanbul'da Yer Alan Talep Noktalarının Bölgelere ve Gruplara Ayrılması

3.4.1. Müşteri Taleplerinin Belirlenmesi: 1. Bölge

1. Bölgede yer alan talep noktaları 2 gruba ayrılarak 5 müşterili bir dağıtım problemine dönüştürülmüştür. Müşterileri talepleri kg cinsinden belirlenmiştir. Müşterilerin toplam işletmeye gelen çelik talepleri eşit kapasiteye sahip araçlar tarafından karşılanması için kararlaştırılmıştır. 1. Bölge'de yer alan 1. grup müşterilerin çelik talepleri Tablo 3.4'te kg cinsinden gösterilmiştir. Müşteriler arasındaki mesafeler Google Maps ile ölçülerek km cinsinden matris şeklinde Tablo 3.5'te verilmiştir. Bölgedeki tüm talebi karşılamak için eşit kapasiteye sahip 2 araç belirlenmiştir. Araç kapasiteleri ise 5000 kg olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.4: 1. Bölge - 1. Grup Müşterilerin Çelik Talepleri

Düğümlerin Numaralandırılması	1. Bölge – 1. Grup	Talep Miktarı (kg)
0	Gebze (merkezi depo)	---
1	Ömerli	1200
2	Şekerpinar	1000
3	Pendik	1600
4	Alemdağ	1200
5	Kurtköy	1000
Toplam		6000

Tablo 3.5: 1. Bölge – 1. Grup Müşterileri Arasındaki Mesafeler

	0	1	2	3	4	5
0	-	46	18	33	43	27
1	46	-	36	45	38	23
2	18	36	-	39	57	42
3	33	45	39	-	23	20
4	43	38	57	23	-	26
5	27	23	42	20	26	-

Müşteri talepleri ve düğümler arasındaki mesafeler tanımlandıktan sonra problemin modelini oluşturmak için öncelikle problemin amaç fonksiyonunun belirlenmesi gerekmektedir. Amaç fonksiyonu, ARP’de sıklıkla karşılaşıldığı gibi ya toplam mesafenin minimize edilmesi ya da kârın maksimize edilmesini açıklamaktadır. Bu problemde de amaç fonksiyonu talep edilen çeliklerin tüm müşterilere dağıtım yapıldıktan sonra tekrardan başlanan noktaya dönülmesiyle birlikte toplam kat edilen toplam mesafenin minimize edilmesi olarak belirlenmiştir.

1. Bölge 1. Grup için kurulan modelin amaç fonksiyonu şu şekilde gösterilmektedir;

$$Z_{\min} = 46X_{01} + 18X_{02} + 33X_{03} + 43X_{04} + 27X_{05} + 46X_{10} + 36X_{12} + 45X_{13} + 38X_{14} + 23X_{15} \\ + 18X_{20} + 36X_{21} + 39X_{23} + 57X_{24} + 42X_{25} + 33X_{30} + 45X_{31} + 39X_{32} + 23X_{34} \\ + 20X_{35} + 43X_{40} + 38X_{41} + 57X_{42} + 23X_{43} + 26X_{45} + 27X_{50} + 23X_{51} + 42X_{52} \\ + 20X_{53} + 26X_{54}$$

Merkezden çıkacak ve tekrar merkeze dönmesi gerekecek olan araç sayısının 2 olacağını garanti eden kısıtlar;

$$X_{01} + X_{02} + X_{03} + X_{04} + X_{05} = 2$$

$$X_{10} + X_{20} + X_{30} + X_{40} + X_{50} = 2$$

Araçların bir düğüm noktasından sadece bir düğüm noktasına gidebileceğini ifade eden kısıtlar;

$$X_{10} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} = 1$$

$$X_{20} + X_{21} + X_{23} + X_{24} + X_{25} = 1$$

$$X_{30} + X_{31} + X_{32} + X_{34} + X_{35} = 1$$

$$X_{40} + X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{45} = 1$$

$$X_{50} + X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} = 1$$

Bir talep noktasından sadece bir talep noktasına dönülmesi gerektiğini gösteren kısıtlar;

$$X_{01} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} = 1$$

$$X_{02} + X_{12} + X_{32} + X_{42} + X_{52} = 1$$

$$X_{03} + X_{13} + X_{23} + X_{43} + X_{53} = 1$$

$$X_{04} + X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{54} = 1$$

$$X_{05} + X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45} = 1$$

Toplam talebin mevcut araçların kapasitelerini aşmayacağını gösteren kısıtlar;

$$1000X_{21} + 1600X_{31} + 1200X_{41} + 1000X_{51} \leq 5000$$

$$1200X_{12} + 1600X_{32} + 1200X_{42} + 1000X_{52} \leq 5000$$

$$1200X_{13} + 1000X_{23} + 1200X_{43} + 1000X_{53} \leq 5000$$

$$1200X_{14} + 1000X_{24} + 1200X_{34} + 1000X_{54} \leq 5000$$

$$1200X_{15} + 1000X_{25} + 1200X_{35} + 1200X_{45} \leq 5000$$

$$X_{ij} = 0 \text{ veya } 1$$

Oluşturulan model ilk olarak 0-1 TDP eşliğinde çözülmüştür. Model sonuç özeti incelendiğinde;

$$X_{01} = X_{15} = X_{50} = X_{02} = X_{20} = X_{34} = X_{43} = 1$$

$$1. \text{ Aracın rotası} = 0 - 1 - 5 - 0$$

$$2. \text{ Aracın rotası} = 0 - 2 - 0$$

$$\text{Min } z = 178 \text{ km}$$

Problemin temelinde 0 yani merkezi depodan çıkan 2 araç, talep noktalarına belirli kısıtlar altında uğrayarak tekrardan başlangıç noktasına geri dönmesi gerekmektedir. 1. Araç merkezi depo noktasından çıkarak sırasıyla, 1. ve 5. talep noktasına uğrayıp tekrardan başladığı noktaya dönmüştür. 2. araç da, merkezden çıkarak, 2. talep noktasına uğrayıp yine başlangıç noktasına dönmüştür. Toplam kat edilen mesafe ise 178 km olarak tespit edilmiştir. Yukarıda belirtilen özete göre bir problem görünmemesine rağmen toplam talep karşılanmamıştır. Bu iki rotanın dışında model sonucunda bir tane daha rotaya rastlanılmıştır. Bu rota ise; 3 - 4 - 3 alt tur rotasıdır. 3. ve 4. düğümlerinin optimal sonuçlara ulaşmak için 2 aracın rotasına eklenmesi gerekir. Bu aşamadan sonra bu çalışmada tanımlanan 0-1 Tamsayı Doğrusal Programlama'nın etkili çözüm yöntemlerinden biri olan Dal-Kesme algoritması optimal çözüme ulaşmak için kullanılmıştır. Bu algoritmanın en önemli özelliği, alt tur oluşturan düğümlerin teker teker 0'a eşitleyip problemi alt dallara ayırmasıdır.

1. Alt problemi oluşturan rotalar, X34 ve X43 olduğundan dolayı, ilk olarak X34 düğümü 0'a eşitlenip dallandırılmıştır. Model tekrardan çalıştırıldığında şu şekilde sonuçlanmıştır.

$$X_{05} = X_{51} = X_{14} = X_{43} = X_{30} = X_{02} = X_{20} = 1$$

$$1. \text{ Aracın rotası} = 0 - 5 - 1 - 4 - 3 - 0$$

2. Aracın rotası = 0 – 2 – 0

Min $z = 180$ km

Model tekrar çalıştırıldığında optimal sonuçlara ulaşıldığı tespit edilmiştir. 1. araç dağıtım merkezinden çıkarak sırasıyla; 5 – 1 – 4 – 3. talep noktalarına uğrayıp başladığı noktaya dönmüştür. 2. araç da merkezden çıkarak 2. talep noktasına uğrayıp başladığı noktaya dönerek 2 araç da tüm talebi karşılamıştır. İki aracın topla aldığı yol ise 180 km olarak tespit edilmiştir.

2. alt problem için diğer bir alt tur rotası olan X_{43} değişkeni 0'a eşitlenip dallandırılmıştır. Model tekrar çalıştırıldığında oluşan rotalar;

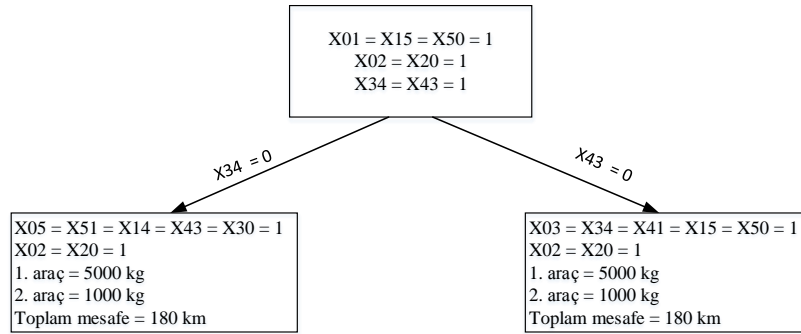
$$X_{03} = X_{34} = X_{41} = X_{15} = X_{50} = X_{02} = X_{20} = 1$$

1. Aracın rotası = 0 – 3 – 4 – 1 – 5 – 0

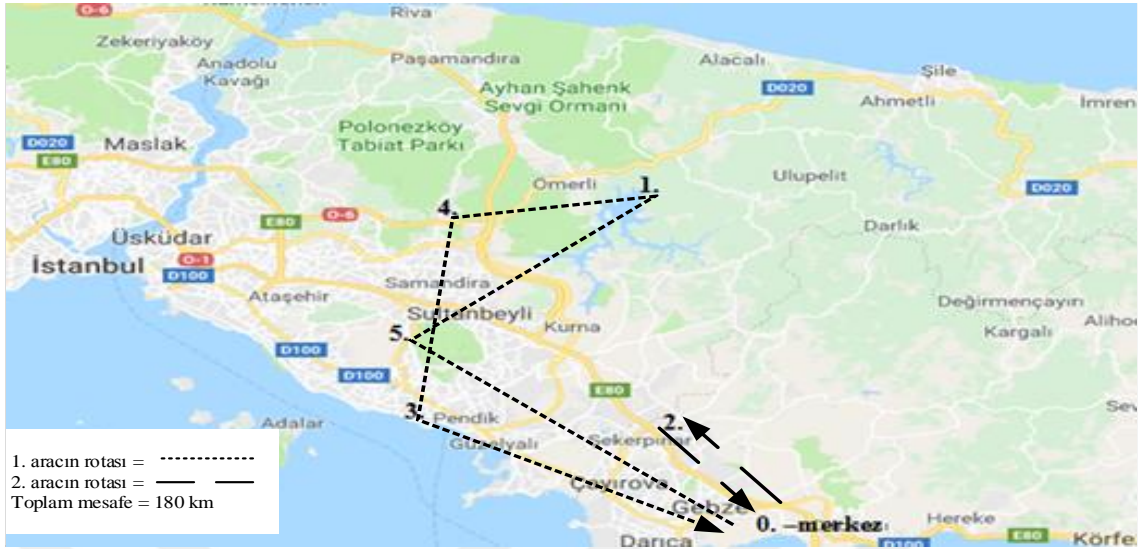
2. Aracın rotası = 0 – 2 – 0

Min $z = 180$ km

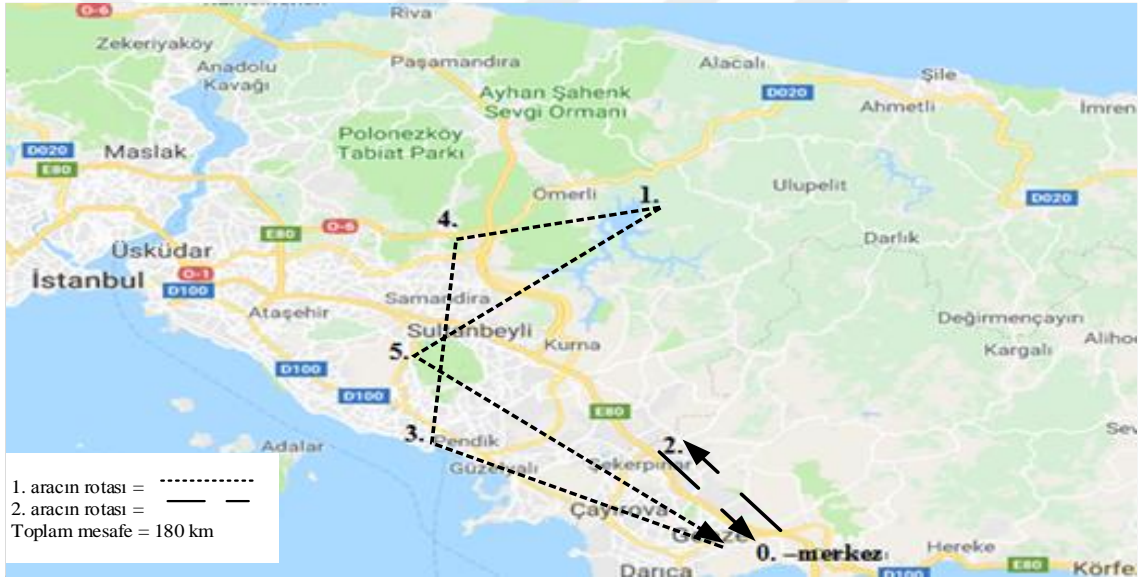
İki alt problem içinde yapılan testler sonucunda 2. araçların aynı güzergâhı, 1. araçların da aynı müşteriler ama farklı bir güzergâh kullandıkları görülmektedir. İki farklı optimal çözüm özeti Şekil 3.6'da araçların rotaları ise Şekil 3.7 ve 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.6: 1. Bölge 1. Grup Modeller Özeti



Şekil 3.7: 1. Alt Problem Optimal Rotalar Gösterimi



Şekil 3.8: 2. Alt Problem Optimal Rotalar Gösterimi

1. Bölge 1. Grup için optimal sonuçlar elde edildikten sonra 2. Grup için model oluşturulmuştur. Talep noktaları ve edilen çelik talebi Tablo 3.6 ve 3.7'de gösterilmiştir.

Tablo 3.6: 1. Bölge 2. Grup Müşterilerin Çelik Talepleri

Düğümün Numaralandırılması	1. Bölge – 2. Grup	Talep Miktarı (kg)
0	Gebze (merkezi depo)	---
1	Kadıköy	1400
2	Dudullu OSB	750
3	Kozyatağı	1100
4	Çekmeköy	400
5	Kartal	1600
Toplam		5250

Tablo 3.7: 1. Bölge - 2. Grup Müşterileri Arasındaki Mesafeler

	0	1	2	3	4	5
0	-	51	43	51	51	47
1	51	-	12	4	39	19
2	43	12	-	12	24	16
3	51	4	12	-	34	14
4	51	39	24	34	-	29
5	47	19	16	14	29	-

$$\begin{aligned}
Z_{\min} = & 51X_{01} + 43X_{02} + 51X_{03} + 51X_{04} + 47X_{05} + 51X_{10} + 12X_{12} + 4X_{13} + 39X_{14} + 19X_{15} \\
& + 43X_{20} + 12X_{21} + 12X_{23} + 24X_{24} + 16X_{25} + 51X_{30} + 4X_{31} + 12X_{32} + 34X_{34} \\
& + 14X_{35} + 51X_{40} + 39X_{41} + 24X_{42} + 34X_{43} + 29X_{45} + 47X_{50} + 19X_{51} + 16X_{52} \\
& + 14X_{53} + 29X_{54}
\end{aligned}$$

Merkezden çıkacak ve tekrar merkeze dönmesi gerekecek olan araç sayısının 2 olacağını garanti eden kısıtlar;

$$X_{01} + X_{02} + X_{03} + X_{04} + X_{05} = 2$$

$$X_{10} + X_{20} + X_{30} + X_{40} + X_{50} = 2$$

Araçların bir düğüm noktasından sadece bir düğüm noktasına gidebileceğini ifade eden kısıtlar;

$$X_{10} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} = 1$$

$$X_{20} + X_{21} + X_{23} + X_{24} + X_{25} = 1$$

$$X_{30} + X_{31} + X_{32} + X_{34} + X_{35} = 1$$

$$X_{40} + X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{45} = 1$$

$$X_{50} + X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} = 1$$

Bir talep noktasından sadece bir talep noktasına dönülmesi gerektiğini gösteren kısıtlar;

$$X_{01} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} = 1$$

$$X_{02} + X_{12} + X_{32} + X_{42} + X_{52} = 1$$

$$X_{03} + X_{13} + X_{23} + X_{43} + X_{53} = 1$$

$$X_{04} + X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{54} = 1$$

$$X_{05} + X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45} = 1$$

Toplam talebin mevcut araçların kapasitelerini aşmayacağını gösteren kısıtlar;

$$750X_{21} + 1100X_{31} + 400X_{41} + 1600X_{51} \leq 5000$$

$$1400X_{12} + 1100X_{32} + 400X_{42} + 1600X_{52} \leq 5000$$

$$1400X_{13} + 750X_{23} + 400X_{43} + 1600X_{53} \leq 5000$$

$$1400X_{14} + 750X_{24} + 1100X_{34} + 1600X_{54} \leq 5000$$

$$1400X_{15} + 750X_{25} + 1100X_{35} + 400X_{45} \leq 5000$$

$$X_{ij} = 0 \text{ veya } 1$$

1. Bölge 2. Grup için model kurulup 0-1 TDP ile çalıştırıldığında araçların güzergâhları şu şekilde sonuçlanmıştır.

$$X_{04} = X_{40} = X_{05} = X_{52} = X_{20} = X_{13} = X_{31} = 1$$

$$1. \text{ Aracın rotası} = 0 - 5 - 2 - 0$$

$$2. \text{ Aracın rotası} = 0 - 4 - 0$$

$$\text{Min } z = 216 \text{ km}$$

Bu model de benzer bir problem ortaya çıkmıştır. Araçlar tüm talebi karşılayamamıştır. Bu sonuç da çözüm kümesi içinde alt tur oluştuğunu göstermektedir. Alt turu oluşturan rota ise; X13 – X31 değişkenleridir. 3. ve 1. talep noktalarının da optimal çözüm rotalarının içine dahil olmaları gerektiğinden dolayı, alt tur güzergahlarını elimine edip yani 0'a eşitleyip kesme işlemini uyguladıktan sonra dallara ayrılması gerekir. 1. Alt problem olarak; X13 değişkeni 0'a eşitlenip model tekrardan çalıştırılmıştır. Sonuçlar şu şekilde tespit edilmiştir.

$$X_{04} = X_{40} = X_{05} = X_{53} = X_{31} = X_{12} = X_{20} = 1$$

$$1. \text{ Aracın rotası} = 0 - 5 - 3 - 1 - 2 - 0$$

$$2. \text{ Aracın rotası} = 0 - 4 - 0$$

$$\text{Min } z = 222 \text{ km}$$

Sonuç değerlendirildiğinde, optimal çözüm kümesine ulaşıldığı görülmektedir. İki aracın da tüm talepleri karşıladıkları ve toplam alınan mesafenin 222 km olduğu tespit edilmiştir.

İkinci alt problem için, X31 değişkeni 0'a eşitlenip kesme işlemi oluşturulduktan sonra model tekrar çalıştırılmıştır. Alınan optimal sonuçlar şu şekilde ortaya çıkmıştır.

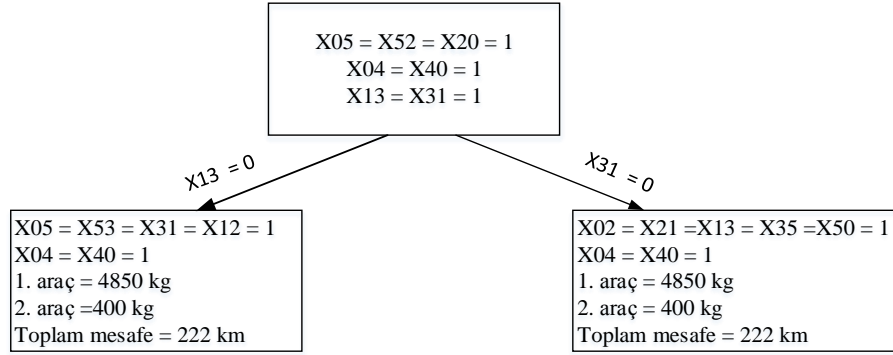
$$X_{04} = X_{40} = X_{02} = X_{21} = X_{13} = X_{35} = X_{50} = 1$$

$$1. \text{ Aracın rotası} = 0 - 2 - 1 - 3 - 5 - 0$$

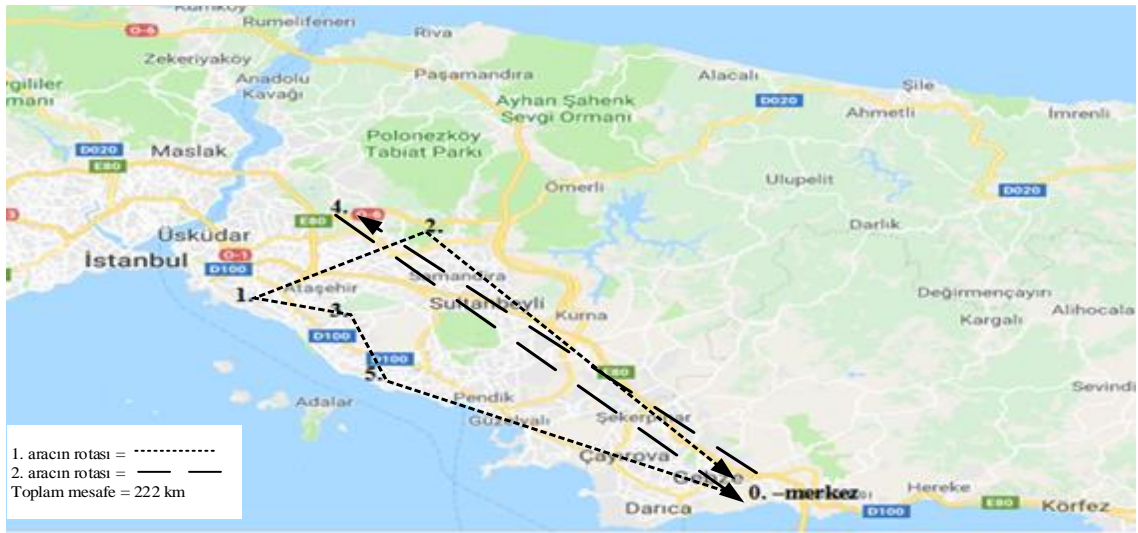
$$2. \text{ Aracın rotası} = 0 - 4 - 0$$

$$\text{Min } z = 222 \text{ km}$$

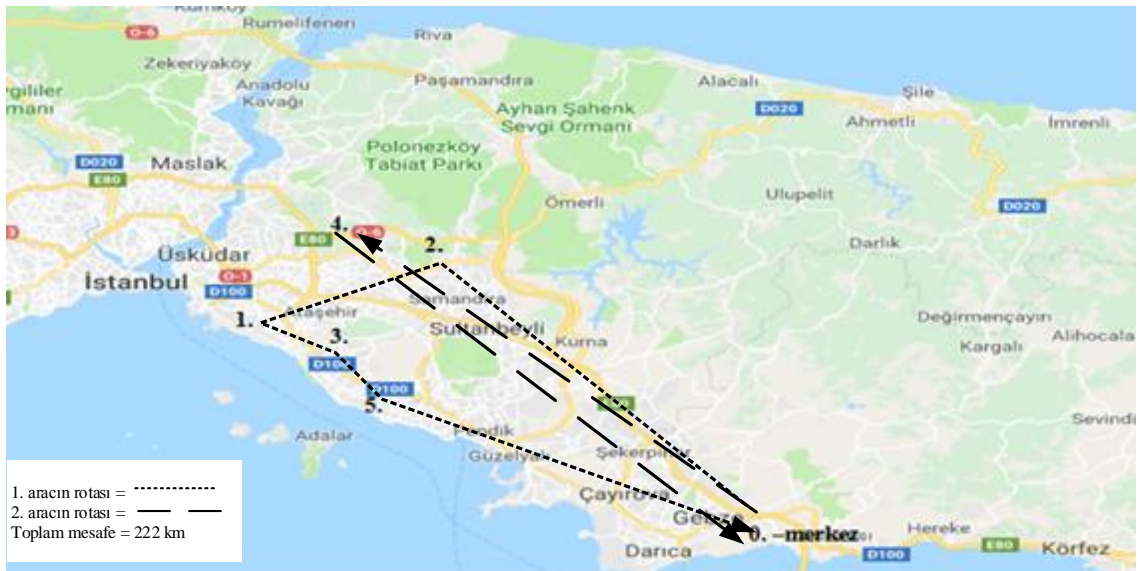
Model özeti Şekil 3.9'da, optimal rotaların güzergahları da Şekil 3.10 ve 3.11'de Google Maps üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.9: 1. Bölge 2. Grup için Modeller Özeti



Şekil 3.10: 1. Bölge 2. Grup için 1. Alt Problem Optimal Rotalar Gösterimi



Şekil 3.11: 1. Bölge 2. Grup için 2. Alt Problem Optimal Rotalar Gösterimi

3.4.2. Müşteri Taleplerinin Belirlenmesi: 2. Bölge

2. Bölge de kendi içinde 2 gruba ayrılarak işletmenin dağıtım özelliklerine uygun şekilde planlama yapılmıştır. 1. grupta yer alan müşterilerin çelik talepleri Tablo 3.8'de, müşteriler arasındaki mesafeler de matris şeklinde Tablo 3.9'da gösterilmiştir.

Tablo 3.8: 2. Bölge 1. Grup Müşterilerin Çelik Talepleri

Düğümlerin Numaralandırılması	2. Bölge – 1. Grup	Talep Miktarı (kg)
0	Gebze (merkezi depo)	---
1	Kâğıthane	1400
2	Fatih	975
3	Eyüp	1300
4	Güzeltepe	1050
5	Şişli	1240
Toplam		5965

Tablo 3.9: 2. Bölge - 1. Grup Müşterileri Arasındaki Mesafeler

	0	1	2	3	4	5
0	-	63	62	68	69	60
1	63	-	6	4	15	13
2	62	6	-	7	14	11
3	68	4	7	-	8	11
4	69	15	14	8	-	13
5	60	13	11	11	13	-

2. Bölge 1. Grup için oluşturulan model aşağıda amaç fonksiyonu ve kısıtlar ile birlikte tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned}
 Z_{\min} = & 63X_{01} + 62X_{02} + 68X_{03} + 69X_{04} + 60X_{05} + 63X_{10} + 6X_{12} + 4X_{13} + 15X_{14} + 13X_{15} \\
 & + 62X_{20} + 6X_{21} + 7X_{23} + 14X_{24} + 11X_{25} + 68X_{30} + 4X_{31} + 7X_{32} + 8X_{34} \\
 & + 11X_{35} + 69X_{40} + 15X_{41} + 14X_{42} + 8X_{43} + 13X_{45} + 60X_{50} + 13X_{51} + 11X_{52} \\
 & + 11X_{53} + 13X_{54}
 \end{aligned}$$

Merkezden çıkacak ve tekrar merkeze dönmesi gereken araç sayısının 2 olacağını garanti eden kısıtlar;

$$X_{01} + X_{02} + X_{03} + X_{04} + X_{05} = 2$$

$$X_{10} + X_{20} + X_{30} + X_{40} + X_{50} = 2$$

Araçların bir düğüm noktasından sadece bir düğüm noktasına gidebileceğini ifade eden kısıtlar;

$$X_{10} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} = 1$$

$$X_{20} + X_{21} + X_{23} + X_{24} + X_{25} = 1$$

$$X_{30} + X_{31} + X_{32} + X_{34} + X_{35} = 1$$

$$X_{40} + X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{45} = 1$$

$$X_{50} + X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} = 1$$

Bir talep noktasından sadece bir talep noktasına dönülmesi gerektiğini gösteren kısıtlar;

$$X_{01} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} = 1$$

$$X_{02} + X_{12} + X_{32} + X_{42} + X_{52} = 1$$

$$X_{03} + X_{13} + X_{23} + X_{43} + X_{53} = 1$$

$$X_{04} + X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{54} = 1$$

$$X_{05} + X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45} = 1$$

Toplam talebin mevcut araçların kapasitelerini aşmayacağını gösteren kısıtlar;

$$975X_{21} + 1300X_{31} + 1050X_{41} + 1240X_{51} \leq 5000$$

$$1400X_{12} + 1300X_{32} + 1050X_{42} + 1240X_{52} \leq 5000$$

$$1400X_{13} + 975X_{23} + 1050X_{43} + 1240X_{53} \leq 5000$$

$$1400X_{14} + 975X_{24} + 1300X_{34} + 1240X_{54} \leq 5000$$

$$1400X_{15} + 975X_{25} + 1300X_{35} + 1050X_{45} \leq 5000$$

$$X_{ij} = 0 \text{ veya } 1$$

0-1 TDP eşliğinde model sonuçlandırıldığında şu şekilde rotalar elde edilmiştir.

$$X_{01} = X_{12} = X_{20} = X_{05} = X_{50} = X_{34} = X_{43} = 1$$

$$1. \text{ Aracın rotası} = 0 - 1 - 2 - 0$$

$$2. \text{ Aracın rotası} = 0 - 5 - 0$$

$$\text{Alt tur rotası} = 3 - 4 - 3$$

$$\text{Min } z = 267 \text{ km}$$

Problemin optimum olabilmesi için iki aracın tüm talep noktalarına uğraması ve alt tur oluşmaması gerekmektedir. Model sonucunda alt tur olduğu tespit edilmiştir. Burada alt turu oluşturan rotalar X34 ve X43 olduğundan dolayı, bu değişkenler bir bir 0'a eşitlenip problem alt dallara ayrılmıştır. 1. Alt problemde, X34 değişkeni 0'a eşitlendikten sonra oluşan optimal rotalar şu şekilde test edilmiştir. İki aracın toplam kat ettiği mesafe ise 269 km olarak saptanmıştır.

$$X_{04} = X_{43} = X_{31} = X_{12} = X_{20} = X_{05} = X_{50} = 1$$

$$1. \text{ Aracın rotası} = 0 - 4 - 3 - 1 - 2 - 0$$

$$2. \text{ Aracın rotası} = 0 - 5 - 0$$

$$\text{Min } z = 269 \text{ km}$$

2. alt problemin çözümü için de X43 değişkeni 0'a eşitlenerek dallandırılmıştır. Model tekrardan çalıştırıldığında, elde edilen optimal rotalar şu şekilde tespit edilmiştir.

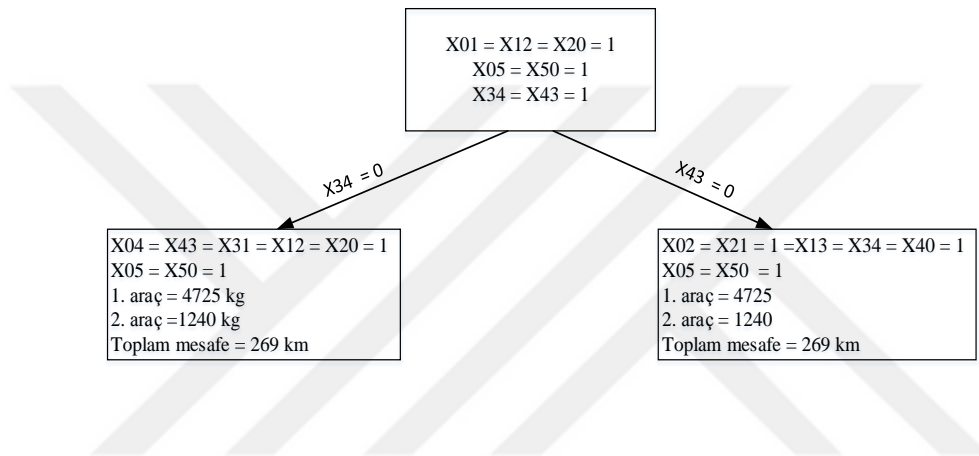
$$X_{02} = X_{21} = X_{13} = X_{34} = X_{40} = X_{05} = X_{50} = 1$$

$$1. \text{ Aracın rotası} = 0 - 2 - 1 - 3 - 4 - 0$$

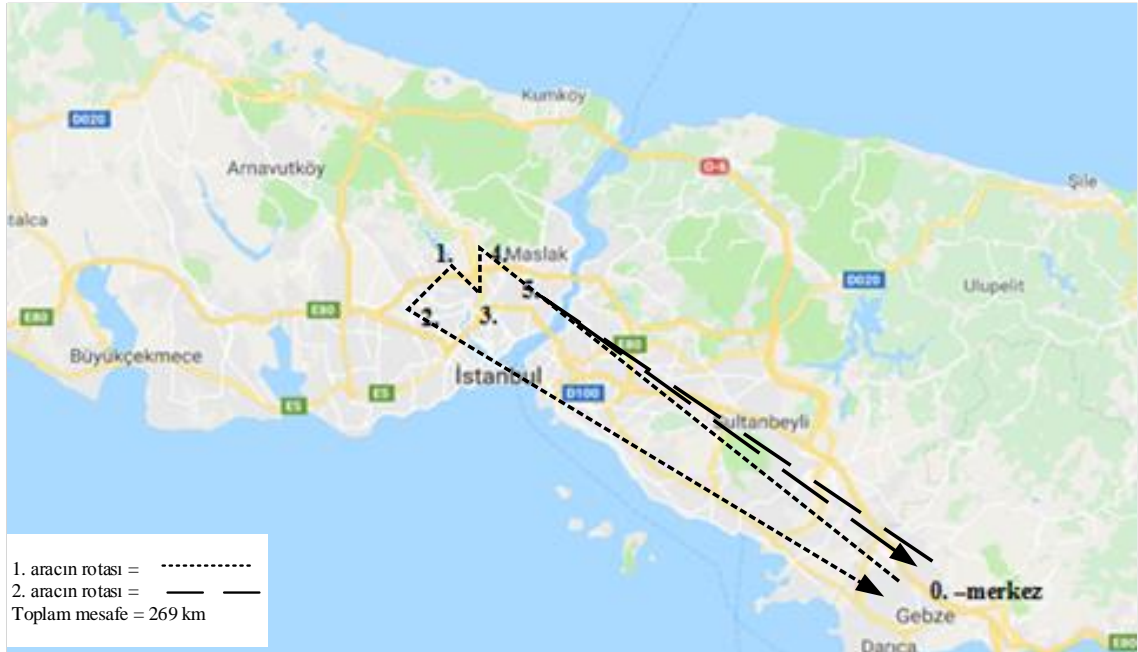
2. Aracın rotası = 0 – 5 – 0

Min $z = 269$ km

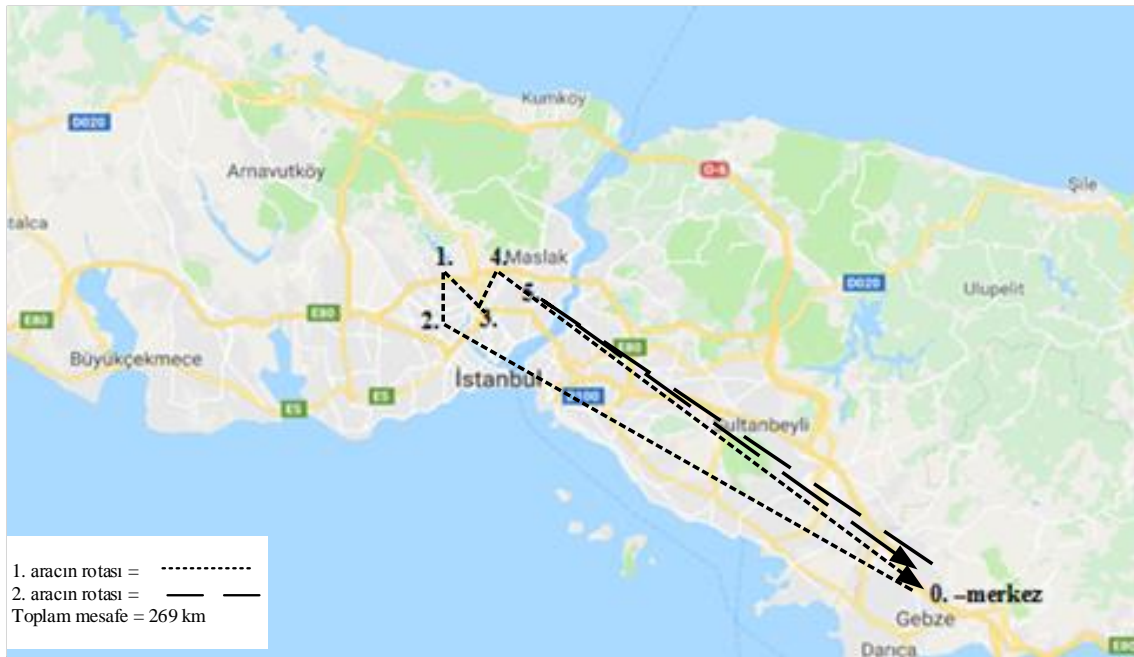
İki alt problemin optimal değerleri de aynı sonuçları vermiştir. 1. Araçların uğradığı talep noktaları aynı olmasına rağmen güzergâh olarak farklılık göstermiştir. 2. Araçların güzergâhları ve uğradıkları müşterinin aynı olduğu tespit edilmiştir. Toplam kat edilen mesafe de 269 km olarak sonuçlanmıştır. 2. Bölge 1. Grup için oluşturulan modellerin özeti Şekil 3.12’de ve iki alt problemde çıkan optimal rotalar Google Maps üzerinden Şekil 3.13 ve 3.14’te gösterilmiştir.



Şekil 3.12: 2. Bölge 1. Grup İçin Modeller Özeti



Şekil 3.13: 2. Bölge 1. Grup için 1. Alt Problem Optimal Rotalar Gösterimi



Şekil 3.14: 2. Bölge 1. Grup için 2. Alt Problem Optimal Rotalar Gösterimi

2. Bölge 2. Grupta bulunan dağıtımın planlanması için Tablo 3.10'da müşterilerin talepleri, Tablo 3.11'de ise müşteriler arasındaki mesafeler matris şeklinde tanımlanmıştır.

Tablo 3.10: 2. Bölge 2. Grup Müşterilerin Çelik Talepleri

Düğümlerin Numaralandırılması	2. Bölge – 2. Grup	Talep Miktarı (kg)
0	Gebze (merkezi depo)	---
1	Bayrampaşa	970
2	Sarıyer	1900
3	GOP Sanayi	855
4	Maslak	1100
5	Alibeyköy	700
Toplam		5525

Tablo 3.11: 2. Bölge - 2. Grup Müşterileri Arasındaki Mesafeler

	0	1	2	3	4	5
0	-	70	77	73	67	71
1	70	-	30	4	21	15
2	77	30	-	22	10	20
3	73	4	22	-	15	6
4	67	21	10	15	-	10
5	71	15	20	6	10	-

2. Bölge 2. Grup için oluşturulan model aşağıda amaç fonksiyonu ve kısıtlar ile birlikte tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned}
Z_{\min} = & 70X_{01} + 77X_{02} + 73X_{03} + 67X_{04} + 71X_{05} + 70X_{10} + 30X_{12} + 4X_{13} + 21X_{14} + 15X_{15} \\
& + 77X_{20} + 30X_{21} + 22X_{23} + 10X_{24} + 20X_{25} + 73X_{30} + 4X_{31} + 22X_{32} + 15X_{34} \\
& + 6X_{35} + 67X_{40} + 21X_{41} + 10X_{42} + 15X_{43} + 10X_{45} + 71X_{50} + 15X_{51} + 20X_{52} \\
& + 6X_{53} + 10X_{54}
\end{aligned}$$

Merkezden çıkacak ve tekrar merkeze dönmesi gereken araç sayısının 2 olacağını garanti eden kısıtlar;

$$X_{01} + X_{02} + X_{03} + X_{04} + X_{05} = 2$$

$$X_{10} + X_{20} + X_{30} + X_{40} + X_{50} = 2$$

Araçların bir düğüm noktasından sadece bir düğüm noktasına gidebileceğini ifade eden kısıtlar;

$$X_{10} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} = 1$$

$$X_{20} + X_{21} + X_{23} + X_{24} + X_{25} = 1$$

$$X_{30} + X_{31} + X_{32} + X_{34} + X_{35} = 1$$

$$X_{40} + X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{45} = 1$$

$$X_{50} + X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} = 1$$

Bir talep noktasından sadece bir talep noktasına dönülmesi gerektiğini gösteren kısıtlar;

$$X_{01} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} = 1$$

$$X_{02} + X_{12} + X_{32} + X_{42} + X_{52} = 1$$

$$X_{03} + X_{13} + X_{23} + X_{43} + X_{53} = 1$$

$$X_{04} + X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{54} = 1$$

$$X_{05} + X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45} = 1$$

Toplam talebin mevcut araçların kapasitelerini aşmayacağını gösteren kısıtlar;

$$1900X_{21} + 855X_{31} + 1100X_{41} + 700X_{51} \leq 5000$$

$$970X_{12} + 855X_{32} + 1100X_{42} + 700X_{52} \leq 5000$$

$$970X_{13} + 1900X_{23} + 1100X_{43} + 700X_{53} \leq 5000$$

$$970X_{14} + 1900X_{24} + 855X_{34} + 700X_{54} \leq 5000$$

$$970X_{15} + 1900X_{25} + 855X_{35} + 1100X_{45} \leq 5000$$

$$x_{ij} = 0 \text{ veya } 1$$

2. Bölge 2. Grup için model tanımlandıktan sonra 0-1 TDP çalıştırıldığında elde edilen sonuçlar şu şekilde tespit edilmiştir.

$$X_{02} = X_{24} = X_{40} = X_{05} = X_{50} = X_{13} = X_{31} = 1$$

$$1. \text{ Aracın rotası} = 0 - 2 - 4 - 0$$

$$2. \text{ Aracın rotası} = 0 - 5 - 0$$

$$\text{Alt tur rotası} = 1 - 3 - 1$$

$$\text{Min } z = 304 \text{ km}$$

Modelleme sonucunda oluşan alt turdan dolayı alt turu oluşturan değişkenler 0'a eşitlenerek iki farklı alt probleme dallanmaktadır. İlk olarak 1. Alt problem için X13 değişkeni 0'a eşitlenerek model tekrardan çözülmüştür. Sonuçlar değerlendirildiğinde;

$$X_{02} = X_{24} = X_{40} = X_{05} = X_{53} = X_{31} = X_{10} = 1$$

$$1. \text{ Aracın rotası} = 0 - 2 - 4 - 0$$

$$2. \text{ Aracın rotası} = 0 - 5 - 3 - 1 - 0$$

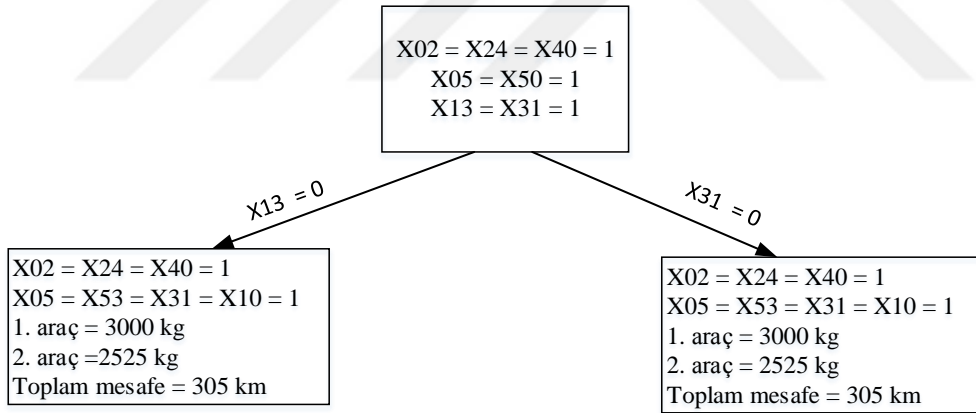
Min $z = 305$ km olarak tespit edilmiştir. 1. Alt problem için optimal sonuçlara ulaşıldıktan sonra 2. alt problem için X31 değişkeni 0'a eşitlenip model yeniden çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarda optimal rotalara ulaşılmıştır. Bu grup için geliştirilen rotalar Şekil 3.15'te özetlenmiştir. Şekil 3.16 ve 3.17'de ise alt problemlerden çıkan optimal rotalar Google Maps üzerinde gösterilmiştir.

$$X_{01} = X_{13} = X_{35} = X_{50} = X_{02} = X_{24} = X_{40} = 1$$

$$1. \text{ Aracın rotası} = 0 - 2 - 4 - 0$$

$$2. \text{ Aracın rotası} = 0 - 1 - 3 - 5 - 0$$

$$\text{Min } z = 305 \text{ km}$$



Şekil 3.15: 2. Bölge 2. Grup İçin Modeller Özeti



Şekil 3.16: 2. Bölge 2. Grup için 1. Alt Problem Optimal Rotalar Gösterimi



Şekil 3.17: 2. Bölge 2. Grup için 2. Alt Problem Optimal Rotalar Gösterimi

3.4.3. Müşteri Taleplerinin Belirlenmesi: 3. Bölge

3. Bölge 1. Grupta yer alan müşterilerin çelik talepleri Tablo 3.12’de gösterilmiştir. Bu bölgedeki düğümlerin aralarındaki mesafeler Google Maps aracılığı ile ölçülerek ikili matris şeklinde Tablo 3.13’te verilmiştir. Dağıtım için de tüm talebi karşılayabilecek eşit kapasiteye sahip (5000 kg) 2 adet araç belirlenmiştir.

Tablo 3.12: 3. Bölge 1. Grupta Yer Alan Müşterilerin Çelik Talepleri

Düğümün Numaralandırılması	3. Bölge – 1. Grup	Talep Miktarı (kg)
0	Gebze (merkezi depo)	---
1	İkitelli	500
2	Avcılar	1445
3	Bakırköy	1300
4	Küçükçekmece	1050
5	Bağcılar	1100
Toplam		5395

Tablo 3.13: 3. Bölge - 1. Grup Müşterileri Arasındaki Mesafeler

	0	1	2	3	4	5
0	-	84	90	62	87	82
1	84	-	21	11	5	3
2	90	21	-	17	14	22
3	62	11	17	-	9	11
4	87	5	14	9	-	9
5	82	3	22	11	9	-

3. Bölge 1. Grup için oluşturulan model aşağıda amaç fonksiyonu ve kısıtlar ile birlikte tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned}
Z_{\min} = & 84X_{01} + 90X_{02} + 62X_{03} + 87X_{04} + 82X_{05} + 84X_{10} + 21X_{12} + 11X_{13} + 5X_{14} + 3X_{15} \\
& + 90X_{20} + 21X_{21} + 17X_{23} + 14X_{24} + 22X_{25} + 62X_{30} + 11X_{31} + 17X_{32} + 9X_{34} \\
& + 11X_{35} + 87X_{40} + 5X_{41} + 14X_{42} + 9X_{43} + 9X_{45} + 82X_{50} + 3X_{51} + 21X_{52} \\
& + 11X_{53} + 9X_{54}
\end{aligned}$$

Merkezden çıkacak ve tekrar merkeze dönmesi gereken araç sayısının 2 olacağını garanti eden kısıtlar;

$$X_{01} + X_{02} + X_{03} + X_{04} + X_{05} = 2$$

$$X_{10} + X_{20} + X_{30} + X_{40} + X_{50} = 2$$

Araçların bir düğüm noktasından sadece bir düğüm noktasına gidebileceğini ifade eden kısıtlar;

$$X_{10} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} = 1$$

$$X_{20} + X_{21} + X_{23} + X_{24} + X_{25} = 1$$

$$X_{30} + X_{31} + X_{32} + X_{34} + X_{35} = 1$$

$$X_{40} + X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{45} = 1$$

$$X_{50} + X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} = 1$$

Bir talep noktasından sadece bir talep noktasına dönülmesi gerektiğini gösteren kısıtlar;

$$X_{01} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} = 1$$

$$X_{02} + X_{12} + X_{32} + X_{42} + X_{52} = 1$$

$$X_{03} + X_{13} + X_{23} + X_{43} + X_{53} = 1$$

$$X_{04} + X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{54} = 1$$

$$X_{05} + X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45} = 1$$

Toplam talebin mevcut araçların kapasitelerini aşmayacağını gösteren kısıtlar;

$$1445X_{21} + 1300X_{31} + 1050X_{41} + 1100X_{51} \leq 5000$$

$$500X_{12} + 1300X_{32} + 1050X_{42} + 1100X_{52} \leq 5000$$

$$500X_{13} + 1445X_{23} + 1050X_{43} + 1100X_{53} \leq 5000$$

$$500X_{14} + 1445X_{24} + 1300X_{34} + 1100X_{54} \leq 5000$$

$$500X_{15} + 1445X_{25} + 1300X_{35} + 1050X_{45} \leq 5000$$

$$X_{ij} = 0 \text{ veya } 1$$

3. Bölge 1. Grupta yer alan taleplerin dağıtımını için oluşturulan model 0-1 TDP eşliğinde çalıştırıldığında elde edilen sonuçlar şu şekilde tespit edilmiştir.

$$X_{02} = X_{24} = X_{41} = X_{15} = X_{50} = X_{03} = X_{30} = 1$$

$$1. \text{ Aracın rotası} = 0 - 2 - 4 - 1 - 5 - 0$$

$$2. \text{ Aracın rotası} = 0 - 3 - 0$$

$$\text{Min } z = 318 \text{ km}$$

Model, ilk denemede optimal sonuçlar vermiştir. Bu sonuçlara göre, 1. araç merkezden çıkarak sırasıyla 2-4-1-5. talep noktalarına uğrayıp tekrardan başladığı noktaya dönmüştür. İkinci araç ise merkezden çıkarak 3. talep noktasına uğrayıp tekrar başlangıç noktasına dönmüştür. İki aracın toplam kat ettiği mesafe de 318 km olarak sonuçlanmıştır. Şekil 3.18'de bu grubun model özetine, Şekil 3.19'da de Google Maps üzerinden araçların güzergâhları gösterilmiştir.

$$X_{02} = X_{24} = X_{41} = X_{15} = X_{50} = 1$$

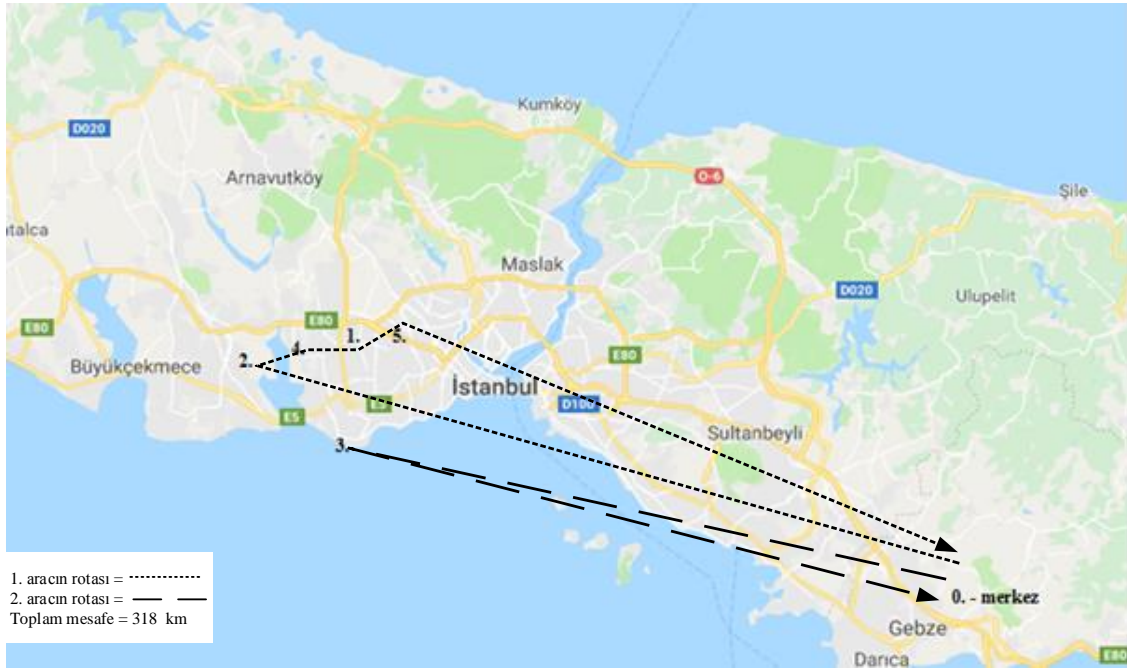
$$X_{03} = X_{30} = 1$$

$$1. \text{ araç} = 3895 \text{ kg}$$

$$2. \text{ araç} = 1300 \text{ kg}$$

$$\text{Toplam mesafe} = 318 \text{ km}$$

Şekil 3.18: 3. Bölge 1. Grup İçin Model Özeti



Şekil 3.19: 3. Bölge 1. Grup İçin Optimal Rotalar Gösterimi

3. Bölge 2. Grupta yer alan taleplerin dağıtımı için tanımlanmış olan talep noktalarının çelik talebi ve aralarındaki mesafeler Tablo 3.14 ve 3.15’de gösterilmiştir.

Tablo 3.14: 3. Bölge 2. Grupta Yer Alan Müşterilerin Çelik Talebi

Düğümlerin Numaralandırılması	3. Bölge – 2. Grup	Talep Miktarı (kg)
0	Gebze (merkezi depo)	---
1	Hadımköy	750
2	Beylikdüzü OSB	1230
3	Kıraç	805
4	Beylikdüzü 1.	1400
5	Beylikdüzü 2.	1550
Toplam		5735

Tablo 3.15: 3. Bölge - 2. Grup Müşterileri Arasındaki Mesafeler

	0	1	2	3	4	5
0	-	108	102	99	99	98
1	108	-	9	2	6	7
2	102	9	-	9	1	4
3	99	2	9	-	5	5
4	9	6	1	5	-	2
5	98	7	4	5	2	-

3. Bölge 2. Grup için oluşturulan model aşağıda amaç fonksiyonu ve kısıtlar ile birlikte tanımlanmıştır.

$$Z_{\min} = 108X_{01} + 102X_{02} + 99X_{03} + 99X_{04} + 98X_{05} + 108X_{10} + 9X_{12} + 2X_{13} + 6X_{14} + 7X_{15} \\ + 102X_{20} + 9X_{21} + 9X_{23} + 1X_{24} + 4X_{25} + 99X_{30} + 2X_{31} + 9X_{32} + 5X_{34} + 5X_{35} \\ + 9X_{40} + 6X_{41} + 1X_{42} + 5X_{43} + 2X_{45} + 98X_{50} + 7X_{51} + 4X_{52} + 5X_{53} + 2X_{54}$$

Merkezden çıkacak ve tekrar merkeze dönmesi gerekecek olan araç sayısının 2 olacağını garanti eden kısıtlar;

$$X_{01} + X_{02} + X_{03} + X_{04} + X_{05} = 2$$

$$X_{10} + X_{20} + X_{30} + X_{40} + X_{50} = 2$$

Araçların bir düğüm noktasından sadece bir düğüm noktasına gidebileceğini ifade eden kısıtlar;

$$X_{10} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} = 1$$

$$X_{20} + X_{21} + X_{23} + X_{24} + X_{25} = 1$$

$$X_{30} + X_{31} + X_{32} + X_{34} + X_{35} = 1$$

$$X_{40} + X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{45} = 1$$

$$X_{50} + X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} = 1$$

Bir talep noktasından sadece bir talep noktasına dönülmesi gerektiğini gösteren kısıtlar;

$$X_{01} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} = 1$$

$$X_{02} + X_{12} + X_{32} + X_{42} + X_{52} = 1$$

$$X_{03} + X_{13} + X_{23} + X_{43} + X_{53} = 1$$

$$X_{04} + X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{54} = 1$$

$$X_{05} + X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45} = 1$$

Toplam talebin mevcut araçların kapasitelerini aşmayacağını gösteren kısıtlar;

$$1230X_{21} + 805X_{31} + 1400X_{41} + 1550X_{51} \leq 5000$$

$$750X_{12} + 805X_{32} + 1400X_{42} + 1550X_{52} \leq 5000$$

$$750X_{13} + 1230X_{23} + 1400X_{43} + 1550X_{53} \leq 5000$$

$$750X_{14} + 1230X_{24} + 805X_{34} + 1550X_{54} \leq 5000$$

$$750X_{15} + 1230X_{25} + 805X_{35} + 1400X_{45} \leq 5000$$

$$X_{ij} = 0 \text{ veya } 1$$

3. Bölge 2. Grup için yapılan model 0-1 TDP eşliğinde çalıştırıldığında iki aracın dağıtım rotaları şu şekilde sonuçlanmıştır.

$$X_{02} = X_{24} = X_{40} = X_{05} = X_{50} = X_{13} = X_{31} = 1$$

$$1. \text{ Aracın rotası} = 0 - 2 - 4 - 0$$

$$2. \text{ Aracın rotası} = 0 - 5 - 0$$

$$\text{Alt tur rotası} = 1 - 3 - 1$$

$$\text{Min } z = 312 \text{ km}$$

Sonuçta da görüldüğü üzere fazladan 3. bir rota oluşmuştur. Bu alt turu engellemek için alt turu oluşturan değişkenler ($X_{13} - X_{31}$) 0'a eşitlenir ve iki alt

problem ile dallandırılır. 1. Alt problem için X_{31} değişkeni 0'a eşitlenir ve model tekrardan çözülür. Model sonuçlandırıldığında oluşan rotalar şu şekilde elde edilmiştir.

$$X_{03} = X_{31} = X_{12} = X_{24} = X_{40} = X_{05} = X_{50} = 1$$

$$1. \text{ Aracın rotası} = 0 - 3 - 1 - 2 - 4 - 0$$

$$2. \text{ Aracın rotası} = 0 - 5 - 0$$

$$\text{Min } z = 316 \text{ km}$$

1. alt problem için optimal sonuçlara ulaşıldığından dolayı 2. alt problem için de aynı adım izlenir. X_{31} değişkeni 0'a eşitlenerek model tekrar çalıştırılıp sonuçlanmıştır.

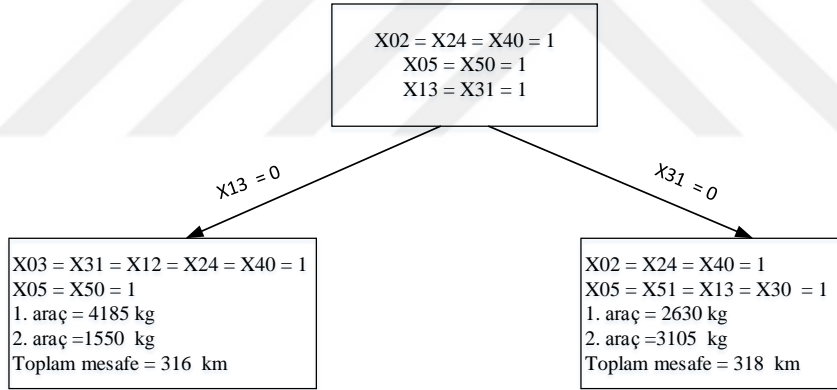
3. Bölge 2. Grup için geliştirilen modeller Şekil 3.18'de özetlenmiştir. Şekil 3.19 ve 3.20'de de geliştirilen rotalar Google Maps üzerinden gösterilmiştir.

$$X_{02} = X_{24} = X_{40} = X_{05} = X_{51} = X_{13} = X_{30} = 1$$

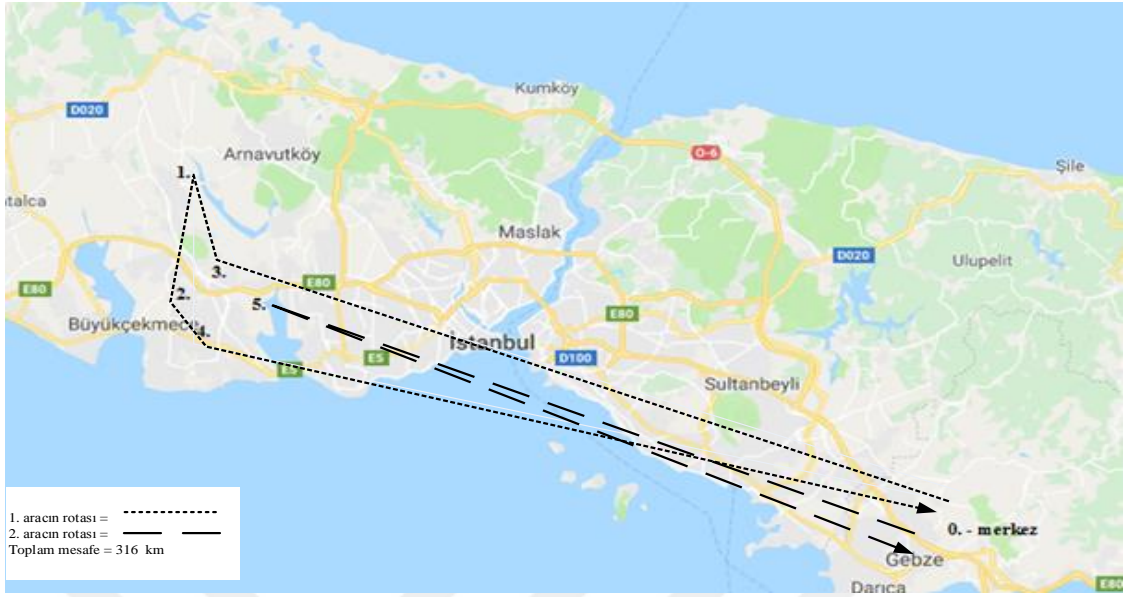
$$1. \text{ Aracın rotası} = 0 - 2 - 4 - 0$$

$$2. \text{ Aracın rotası} = 0 - 5 - 1 - 3 - 0$$

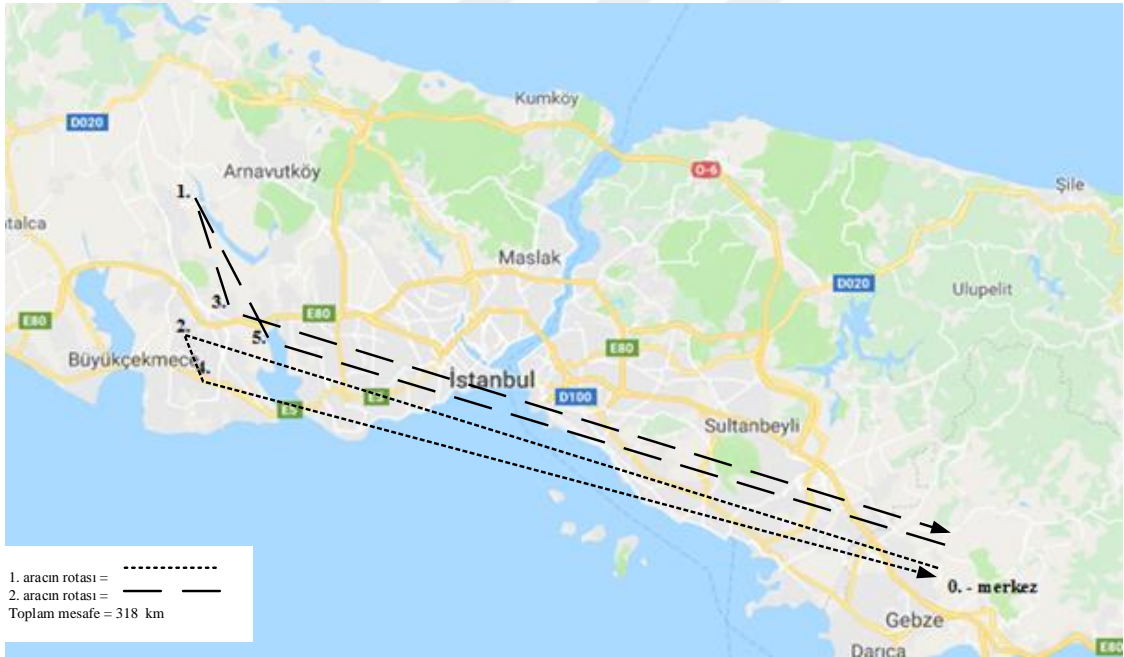
$$\text{Min } z = 318 \text{ km}$$



Şekil 3.20: 3. Bölge 2. Grup İçin Modeller Özeti



Şekil 3.21: 3. Bölge 2. Grup İçin 1. Alt Problem Optimal Rotalar Gösterimi



Şekil 3.22: 3. Bölge 2. Grup İçin 2. Alt Problem Optimal Rotalar Gösterimi

3.4.4. Müşteri Taleplerinin Belirlenmesi: 4. Bölge

İlk 3 bölge talep noktalarına göre gruplandırıldıktan sonra geriye kalan sınır aşırı noktalar ve Avrupa yakasının uç noktalarında yer alan talep noktaları 4. Bölge'nin kümesini oluşturmuştur. 4. Bölge 1. Grupta yer alana müşterilerin çelik talepleri (kg) Tablo 3.16'da gösterilmiştir. Bu bölgedeki düğümlerin aralarındaki mesafeler Google Maps aracılığı ile ölçülerek ikili matris şeklinde Tablo 3.17'de verilmiştir.

Tablo 3.16: 4. Bölge 1. Grupta Yer Alan Müşterilerin Çelik Talebi

Düğümlerin Numaralandırılması	4. Bölge – 1. Grup	Talep Miktarı (kg)
0	Gebze (merkezi depo)	---
1	Silivri	1200
2	Çorlu	1020
3	Büyükçekmece	955
4	Kavaklı	1750
5	Çatalca	500
Toplam		5425

Tablo 3.17: 4. Bölge - 1. Grup Müşterileri Arasındaki Mesafeler

	0	1	2	3	4	5
0	-	146	167	115	160	143
1	146	-	40	31	15	35
2	167	40	-	64	46	70
3	115	31	64	-	27	30
4	160	15	46	27	-	18
5	143	35	70	30	18	-

4. Bölge 1. Grup için oluşturulan model aşağıda amaç fonksiyonu ve kısıtlar ile birlikte tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned}
Z_{\min} = & 146X_{01} + 167X_{02} + 115X_{03} + 160X_{04} + 143X_{05} + 146X_{10} + 40X_{12} + 31X_{13} + 15X_{14} \\
& + 35X_{15} + 167X_{20} + 40X_{21} + 64X_{23} + 46X_{24} + 70X_{25} + 115X_{30} + 31X_{31} \\
& + 64X_{32} + 27X_{34} + 30X_{35} + 160X_{40} + 15X_{41} + 46X_{42} + 27X_{43} + 18X_{45} \\
& + 143X_{50} + 35X_{51} + 70X_{52} + 30X_{53} + 18X_{54}
\end{aligned}$$

Merkezden çıkacak ve tekrar merkeze dönmesi gereken araç sayısının 2 olacağını garanti eden kısıtlar;

$$X_{01} + X_{02} + X_{03} + X_{04} + X_{05} = 2$$

$$X_{10} + X_{20} + X_{30} + X_{40} + X_{50} = 2$$

Araçların bir düğüm noktasından sadece bir düğüm noktasına gidebileceğini ifade eden kısıtlar;

$$X_{10} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} = 1$$

$$X_{20} + X_{21} + X_{23} + X_{24} + X_{25} = 1$$

$$X_{30} + X_{31} + X_{32} + X_{34} + X_{35} = 1$$

$$X_{40} + X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{45} = 1$$

$$X_{50} + X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} = 1$$

Bir talep noktasından sadece bir talep noktasına dönülmesi gerektiğini gösteren kısıtlar;

$$X_{01} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} = 1$$

$$X_{02} + X_{12} + X_{32} + X_{42} + X_{52} = 1$$

$$X_{03} + X_{13} + X_{23} + X_{43} + X_{53} = 1$$

$$X_{04} + X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{54} = 1$$

$$X_{05} + X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45} = 1$$

Toplam talebin mevcut araçların kapasitelerini aşmayacağını gösteren kısıtlar;

$$1020X_{21} + 955X_{31} + 1750X_{41} + 500X_{51} \leq 5000$$

$$1200X_{12} + 955X_{32} + 1750X_{42} + 500X_{52} \leq 5000$$

$$1200X_{13} + 1020X_{23} + 1750X_{43} + 500X_{53} \leq 5000$$

$$1200X_{14} + 1020X_{24} + 955X_{34} + 500X_{54} \leq 5000$$

$$1200X_{15} + 1020X_{25} + 955X_{35} + 1750X_{45} \leq 5000$$

$$X_{ij} = 0 \text{ veya } 1$$

4. Bölge 1. Grup için oluşturulan model 0-1 TDP ile çalıştırıldığında şu sonuçlar elde edilmiştir.

$$X_{02} = X_{21} = X_{14} = X_{45} = X_{50} = X_{03} = X_{30} = 1$$

$$1. \text{ Aracın rotası} = 0 - 2 - 1 - 4 - 5 - 0$$

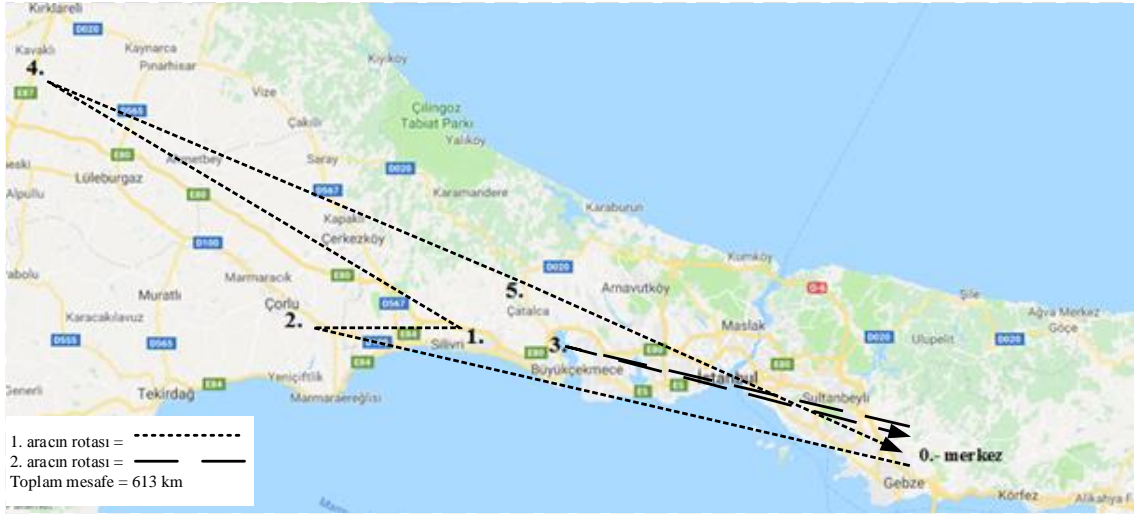
$$2. \text{ Aracın rotası} = 0 - 3 - 0$$

$$\text{Min } z = 613 \text{ km}$$

Sonuçlardan da görüldüğü üzere iki araç da başlangıç noktasından çıkıp tekrardan aynı noktaya dönmesiyle birlikte turlarını tamamlamışlardır. Planlanan dağıtım rotaları model sonucunda alt tur oluşmadığından dolayı 4. Bölge 1. Grup için optimum şekilde sonuçlanmıştır. Bu bölgenin model özetine Şekil 3.23'de araçların dağıtım rotalarının gösterimi de Şekil 3.24'te gösterilmiştir.

$X_{02} = X_{21} = X_{14} = X_{45} = X_{50} = 1$ $X_{03} = X_{30} = 1$ $1. \text{ araç} = 4470 \text{ kg}$ $2. \text{ araç} = 955 \text{ kg}$ $\text{Toplam mesafe} = 613 \text{ km}$

Şekil 3.23: 4. Bölge 1. Grup İçin Model Özeti



Şekil 3.24: 4. Bölge 1. Grup İçin Optimal Rotalar Gösterimi

Son olarak, 4. Bölge 2. grupta yer alan müşterilerin çelik talepleri Tablo 3.18’de, aralarındaki mesafeler de Tablo 3.19’da tanımlanmıştır.

Tablo 3.18: 4. Bölge 2. Grupta Yer Alan Müşterilerin Çelik Talebi

Düğüm Numaralandırılması	4. Bölge – 2. Grup	Talep Miktarı (kg)
0	Gebze (merkezi depo)	---
1	Çerkezköy	1500
2	Lüleburgaz	550
3	Muratlı	1045
4	Kaynarca	780
5	Yeniçiftlik	1500
Toplam		5375

Tablo 3.19: 4. Bölge - 2. Grup Müşterileri Arasındaki Mesafeler

	0	1	2	3	4	5
0	-	165	239	231	215	231
1	165	-	60	60	71	62
2	239	60	-	55	45	72
3	231	60	55	-	55	51
4	215	71	45	55	-	98
5	231	62	72	51	98	-

4. Bölge 2. Grup için oluşturulan model aşağıda amaç fonksiyonu ve kısıtlar ile birlikte tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned}
 Z_{\min} = & 165X_{01} + 239X_{02} + 231X_{03} + 215X_{04} + 231X_{05} + 165X_{10} + 60X_{12} + 60X_{13} + 71X_{14} \\
 & + 62X_{15} + 239X_{20} + 60X_{21} + 55X_{23} + 45X_{24} + 72X_{25} + 231X_{30} + 60X_{31} \\
 & + 55X_{32} + 55X_{34} + 51X_{35} + 215X_{40} + 71X_{41} + 45X_{42} + 55X_{43} + 98X_{45} \\
 & + 231X_{50} + 62X_{51} + 72X_{52} + 51X_{53} + 98X_{54}
 \end{aligned}$$

Merkezden çıkacak ve tekrar merkeze dönmesi gereken araç sayısının 2 olacağını garanti eden kısıtlar;

$$X_{01} + X_{02} + X_{03} + X_{04} + X_{05} = 2$$

$$X_{10} + X_{20} + X_{30} + X_{40} + X_{50} = 2$$

Araçların bir düğüm noktasından sadece bir düğüm noktasına gidebileceğini ifade eden kısıtlar;

$$X_{10} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} = 1$$

$$X_{20} + X_{21} + X_{23} + X_{24} + X_{25} = 1$$

$$X_{30} + X_{31} + X_{32} + X_{34} + X_{35} = 1$$

$$X_{40} + X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{45} = 1$$

$$X_{50} + X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} = 1$$

Bir talep noktasından sadece bir talep noktasına dönülmesi gerektiğini gösteren kısıtlar;

$$X_{01} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} = 1$$

$$X_{02} + X_{12} + X_{32} + X_{42} + X_{52} = 1$$

$$X_{03} + X_{13} + X_{23} + X_{43} + X_{53} = 1$$

$$X_{04} + X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{54} = 1$$

$$X_{05} + X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45} = 1$$

Toplam talebin mevcut araçların kapasitelerini aşmayacağını gösteren kısıtlar;

$$550X_{21} + 1045X_{31} + 780X_{41} + 1500X_{51} \leq 5000$$

$$1500X_{12} + 1045X_{32} + 780X_{42} + 1500X_{52} \leq 5000$$

$$1500X_{13} + 550X_{23} + 780X_{43} + 1500X_{53} \leq 5000$$

$$1500X_{14} + 550X_{24} + 1045X_{34} + 1500X_{54} \leq 5000$$

$$1500X_{15} + 550X_{25} + 1045X_{35} + 780X_{45} \leq 5000$$

$$X_{ij} = 0 \text{ veya } 1$$

Bu bölüm için geliştirilen model, şu şekilde sonuçlanmıştır.

$$X_{05} = X_{53} = X_{32} = X_{24} = X_{40} = X_{05} = X_{50} = 1$$

$$1. \text{ Aracın rotası} = 0 - 5 - 3 - 2 - 4 - 0$$

$$2. \text{ Aracın rotası} = 0 - 1 - 0$$

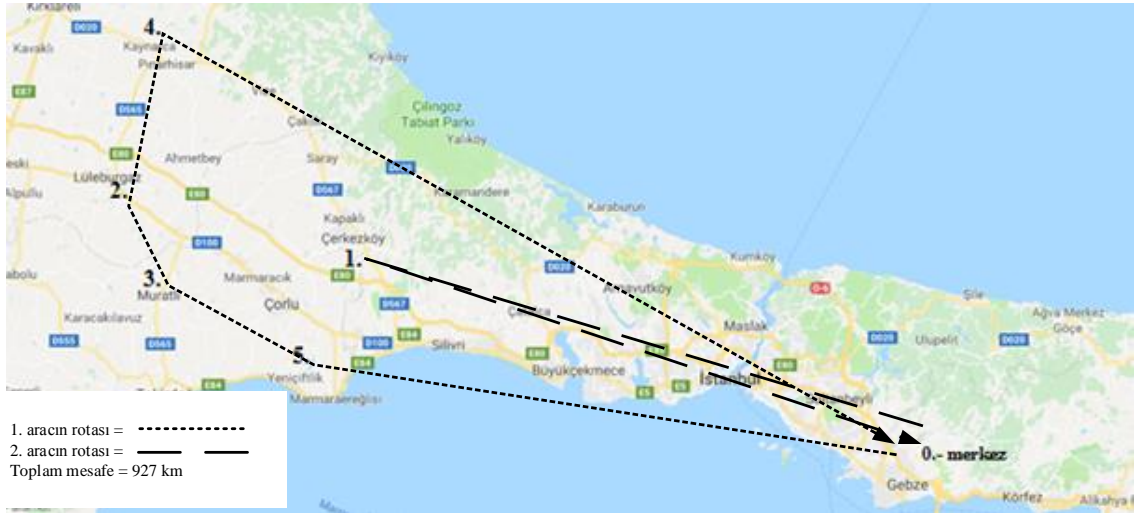
$$\text{Min } z = 927 \text{ km}$$

Kurulan model çalıştırıldığında optimal sonuçlar verdiği test edilmiştir. 1. araç başlangıç noktasından çıkarak sırasıyla 5-3-2-4. talep noktalarına uğrayarak tekrar başladığı noktaya dönerek rotasını tamamlamıştır. 2. Araç da 1. talep noktasına uğrayıp başladığı noktaya dönerek turunu tamamlamıştır. Modele dair özet Şekil 3.25'te verilmiştir. Ayrıca, optimal rotalar da Google Maps üzerinde Şekil 3.26'da verilmiştir. 8

farklı modelleme yapıldıktan sonra tüm optimal sonuçlar Tablo 20’de detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

$X_{05} = X_{53} = X_{32} = X_{24} = X_{40} = 1$
 $X_{01} = X_{10} = 1$
 1. araç = 3875 kg
 2. araç = 1500 kg
 Toplam mesafe = 927 km

Şekil 3.25: 4. Bölge 2. Grup İçin Model Özeti



Şekil 3.26: 4. Bölge 2. Grup İçin Optimal Rotalar Gösterimi

Tablo 3.20: Modellemelerden Çıkan Optimal Sonuçlar Özeti

-	Araç	Araç Kapasitesi (kg)	Araçın Hizmeti (kg)	Toplam Talep (kg)	Araç Doluluk Oranı (%)	Araçın Aldığı Yol (km)	Toplam Yol (km)
1. Bölge 1. Grup	1. araç	5000	5000	6000	100	144	180
	2. araç	5000	1000		20	36	
1. Bölge 2. Grup	1. araç	5000	4850	5250	97	120	222
	2. araç	5000	400		8	102	
2. Bölge 1. Grup	1. araç	5000	4725	5965	94,5	149	269
	2. araç	5000	1240		24,8	120	
2. Bölge 2. Grup	1. araç	5000	3000	5525	60	154	305
	2. araç	5000	2525		50,5	151	
3. Bölge 1. Grup	1. araç	5000	3895	5395	77,9	194	318
	2. araç	5000	1300		26	124	
3. Bölge 2. Grup	1. araç	5000	4185	5735	83,7	120	316
	2. araç	5000	1550		31	196	
4. Bölge 1. Grup	1. araç	5000	4470	5425	89,4	383	613
	2. araç	5000	955		19,1	230	
4. Bölge 2. Grup	1. araç	5000	3875	5375	77,5	597	927
	2. araç	5000	1500		30	330	
Toplam	-	80000	44470	44470	55,6	3150	3150

8 gruba ait tüm modellemeler yukarıdaki tabloda detaylıca açıklanmıştır. Burada kapasiteleri 5000 kg olan 16 adet aracın doluluk oranları ve toplam alınan yol hesaplanmıştır. Toplam araç kapasitesi; 80000 kg, tüm araçların taşıdığı çelik miktarı; 44470 kg'dir. 1. araçların aldığı toplam yol; 1861 km, 2. araçların aldığı toplam yol ise; 1289 km'dir. Araçların aldığı toplam yol da; 3150 km olarak tespit edilmiştir. 1. Araçların ortalama doluluk oranı %85'dir. Burada 1. araçların tam kapasiteye yakın bir doluluk oranıyla çelik taleplerini karşıladıkları ortaya çıkmaktadır. 2. Araçların doluluk oranı ise % 26.2 olarak tespit edilmiştir. 2. araçlar, 1. Araçlara kıyasla daha az

doluluk oranıyla müşterilerin çelik taleplerini karşılamışlardır. Buradan yola çıkılarak 16 adet aracın doluluk oranı da % 55,6 olarak hesaplanmıştır.



4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, 1950’li yıllardan bu yana literatürde çokça konu olan optimizasyon problemlerinden ARP’nin çözümü için 0-1 TDP yönteminin Dal-Kesme algoritması önerilmiştir. ARP, dağıtım merkezi olarak bir nokta seçilip, tüm talebin, belirli kısıtlar altında iki veya ikiden fazla araç tarafından karşılanıp tekrardan başladığı noktaya dönmesiyle birlikte toplam kat edilen mesafenin minimize edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, Kocaeli – Gebze merkezli ve sürekli olarak belirli müşterilerine çelik ürünlerinin dağıtımını yapan bir işletmenin dağıtım verileri örnek olarak alınmıştır. Ayrıca müşterilere yapılan bu dağıtım da aynı periyot dilimi içinde gerçekleşmiştir. Veri seti; işletmenin dağıtım yaptığı müşteriler, araçların sayısı, kapasitesi ve müşterilerin talep ettiği çelik miktarlarından oluşmaktadır. Dal-Kesme algoritması ile modellerin kurulabilmesi için, depo dahil tüm düğümlerin arasındaki mesafelerin ölçülmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda düğümler arasındaki mesafeler Google Maps üzerinden trafik rotaları aracılığı ile ölçülmüştür. Geliştirilen modellerin, gerçekleştirilebilmesi için ise LINDO bilgisayar yazılımından yararlanılmıştır.

İşletme, çelik ürünlerin dağıtımını için toplamda 40 talep noktasına sahiptir. Dağıtımları gerçekleştirmek için kapasiteleri 5000 kg olan 16 adet araç kullanılmaktadır. İşletme bu dağıtımları personellerinin deneyimlerine göre yaptığı için tüm talepleri rassal olarak karşılamaktadır. Geliştirilmiş dağıtım modelleri ile taleplerin dağıtımını daha planlı ve organize bir şekilde gerçekleştirilebilir. Bunun sonucunda da işletme, tüm talepleri karşılamak için katlandığı maliyetten daha az bir maliyete tüm talepler karşılayarak geniş zamanda daha iyi seviyelere gelebilir.

Bu çalışmada, müşterilerin çoğunun İstanbul’da olduğu bilindiğine göre önce grupla sonra dağıtım taktiği uygulanarak İBB’nin daha önceden ölçeklendirip gruplara ayırdığı bölgelerden yararlanılmıştır. İBB’nin 1.2. ve 3. bölge olarak gruplandığı bölgelerde bulunan talep noktaları ayrıştırılarak dağıtım planları çizilmiştir. 4. Bölge ise, bu bölgelerin dışında kalan uç noktalardan ve sınır aşırı bölgelerden oluşturulmuştur. Müşteri talepleri ve var olan araçların kapasiteleri göz önüne alınarak her bölge kendi içinde 2 gruba ayrılıp her gruba 2 araç atanarak dağıtım için uygun rotaların planlanmasına hazır konuma getirilmiştir.

1. Bölge 1. Grup için geliştirilen optimal rotalar şu şekilde tespit edilmiştir.

1. optimal rota;

1. Aracın rotası = 0 – 5 – 1 – 4 – 3 – 0

2. Aracın rotası = 0 – 2 – 0

Min z = 180 km

1. araç başlangıç noktasından (0) çıkarak sırasıyla 5-1-4-3. talep noktalarına uğrayarak rotasını tamamlamıştır. Bu rota ile birlikte bu araç toplam 5000 kg ile tam kapasite çalıştırılmıştır. 2. araç yine başlangıç noktasından çıkarak 2. düğüme uğrayıp rotasını tamamlamıştır ve bu rotada 1000 kg çelik taşıyıp talebi karşılamıştır. İki aracın toplam kat ettiği mesafe ise 180 km olarak tespit edilmiştir.

2. optimal rota;

1. Aracın rotası = 0 – 3 – 4 – 1 – 5 – 0

2. Aracın rotası = 0 – 2 – 0

Min z = 180 km

İki araç da optimal şekilde turlarını tamamlamıştır. 1. Araç toplamda 5000 kg çelik taşımıştır. 2. Araç da 1000 kg çelik taşıyıp talepler karşılanmıştır. Toplam kat edilen mesafe yine 180 km olarak test edilmiştir.

1. Bölge 2. Grup için geliştirilen optimal rotalar şu şekilde sunulmuştur.

1. optimal rota;

1. Aracın rotası = 0 – 5 – 3 – 1 – 2 – 0

2. Aracın rotası = 0 – 4 – 0

Min z = 222 km

Her iki araç da rotasını tamamlamıştır ve alt tur oluşmadığından dolayı sonuçlar optimaldir. 1. araç toplamda 4850 kg, 2. araç da 400 kg çelik taşıyarak talepleri karşılamışlardır. Toplam kat edilen mesafe de 222 km olarak saptanmıştır. 2. Alt problem çözüldüğünde;

2. optimal rota;

1. Aracın rotası = 0 – 2 – 1 – 3 – 5 – 0

2. Aracın rotası = 0 – 4 – 0

Min z = 222 km

1. Araç toplam da 4850 kg, 2. araç da 400 kg talep karşılamışlardır. Toplam alınan mesafe de 227 km olarak test edilmiştir.

2. Bölge 1. Grup için gerçekleştirilen modelleme sonucunda oluşan optimal rotalar şu şekilde belirlenmiştir.

1. optimal rota;

1. Aracın rotası = 0 – 4 – 3 – 1 – 2 – 0

2. Aracın rotası = 0 – 5 – 0

Min $z = 269$ km

1. Araç toplam 4725 kg, 2. Araç ise 1240 kg çelik taşıyarak toplam talebi karşılamışlardır. Toplam kat edilen mesafe de 269 km olarak tespit edilmiştir.

2. optimal rota;

1. Aracın rotası = 0 – 2 – 1 – 3 – 4 – 0

2. Aracın rotası = 0 – 5 – 0

Min $z = 269$ km

1. Araç toplamda 4725 kg ve 2. Araç 1240 kg talep taşımışlardır. İki aracın toplam kat ettiği mesafe ise 269 km olarak test edilmiştir.

2. Bölge 2. Grup için yapılan modellemenin sonucunda elde edilen optimal rotalar şu şekilde gösterilmiştir.

1. optimal rota;

1. Aracın rotası = 0 – 2 – 4 – 0

2. Aracın rotası = 0 – 5 – 3 – 1 – 0

Min $z = 305$ km

1. Araç toplam 3000 kg ve 2. Araç da 2525 kg talep taşımıştır. Toplam alınan mesafe ise 305 km olarak tespit edilmiştir.

2. optimal rota;

1. Aracın rotası = 0 – 2 – 4 – 0

2. Aracın rotası = 0 – 1 – 3 – 5 – 0

Min $z = 305$ km

1. Araçlar aynı güzergâhı izlemiştir. 2. Araçlar da farklı güzergâhlar izlemiştir ama aynı müşterilerin taleplerini karşılamışlardır.

3. Bölge 1. Grup için yapılan modelleme sonucunda elde edilen optimal rota;

Optimal rota;

1. Aracın rotası = 0 – 2 – 4 – 1 – 5 – 0

2. Aracın rotası = 0 – 3 – 0

Min z = 318 km

Bu bölge için kurulan model çalıştırıldığında ilk denemede optimal sonuçlar vermiştir. 1. Araç toplam 3895 kg ve 2. Araç 1300 kg çelik taşıyarak tüm talepler karşılanmıştır. İki aracın kat ettiği mesafe de 318 km olduğu tespit edilmiştir.

3. Bölge 2. Grup için yapılan modellemeden çıkan optimal rotalar;

1. optimal rota;

1. Aracın rotası = 0 – 3 – 1 – 2 – 4 – 0

2. Aracın rotası = 0 – 5 – 0

Min z = 316 km

1. Araç 4185 kg ve 2. Araç 1550 kg çelik taşıyarak tüm talep karşılanmıştır. Toplam alınan mesafe de 316 km olarak saptanmıştır.

2. optimal rota;

1. Aracın rotası = 0 – 2 – 4 – 0

2. Aracın rotası = 0 – 5 – 1 – 3 – 0

Min z = 316 km

1. Araç 2630 kg ve 2. Araç 3105 kg çelik taşıyarak tüm talep karşılanmıştır. Toplam mesafe de 318 km olarak test edilmiştir.

4. Bölge 1. Grup için yapılan modellemeden çıkan optimal rota;

1. Aracın rotası = 0 – 2 – 1 – 4 – 5 – 0

2. Aracın rotası = 0 – 3 – 0

Min z = 613 km

Bu bölge için yapılan modelin çözümünün ilk adımında optimal sonuçlar elde edilmiştir. 1. araç 4470 kg ve 2. araç 955 kg çelik taşıyarak tüm talebi karşılamıştır. Toplam alınan mesafe de 613 km olarak tespit edilmiştir.

Son grup olan 4. Bölge 2. grup için yapılan modelleme sonucunda çıkan optimal rota;

1. Aracın rotası = 0 – 5 – 3 – 2 – 4 – 0

2. Aracın rotası = 0 – 1 – 0

Min z = 927 km

Bu modellemede de ilk adımda optimal rotalar elde edilmiştir. 1. araç 3875 kg ve 2. Araç 1500 kg çelik taşıyarak tüm talep karşılanmıştır. İki aracın toplam kat ettiği mesafe de 927 km olarak sonuçlanmıştır.

Bu sonuçlar düşünüldüğünde, 5000 kg'lik kapasiteye sahip 16 adet aracın toplam doluluk oranı % 55,6 olduğu hesaplanmıştır. 1. araçların doluluk oranı; %85, 2. araçların doluluk oranı ise % 26.2'dir. Bu araçların toplam kapasitesi 80000 kg'dir, fakat toplam çelik talebi bu rakamın neredeyse yarısına yaklaşarak 44470'dir. Son olarak da 1. araçların aldığı toplam yol; 1861 km, 2. araçların aldığı toplam yol ise; 1289 km'dir. Bunun sonucunda araçların aldığı toplam yol; 3150 km olarak tespit edilmiştir.

4 Bölge 8 gruptan oluşan bu dağıtım planlamasında geliştirilen tüm modeller optimal bir şekilde sonuçlandırılmıştır. İşletmenin de tüm talepleri kendi deneyimlerine karşıladığı bilindiğinden dolayı, işletmenin bu dağıtım planları sayesinde katlandığı maliyetten daha az bir maliyete tüm talepleri karşılayabilme imkânı doğmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan Dal-Kesme algoritması kesin çözüm yöntemleri arasında yer almaktadır. ARP'nin de kombinatoriyel bir optimizasyon problemi olduğundan dolayı düğüm sayısı arttıkça çözüm daha çok zaman alarak zorlaşmaktadır. Bu yüzden, algoritma, düğüm sayısı makul seviyelerde olan ARP'ler için etkili bir yöntem olarak uygulanabilir. Düğüm sayısı fazla olan ARP'lerde meta sezgisel yöntemlere başvurulması önerilmektedir.

Elde edilen optimal sonuçlarda, 1. Araçlar neredeyse tam kapasitesine yakın bir şekilde talepleri karşılamıştır. Ancak 2. Araçlar bir ya da iki talep noktasını karşılayıp başladığı noktaya dönmüşlerdir. Bunun sonucunda 2. Araçların kapasitelerinin çok altında çelik taleplerini karşıladıkları tespit edilmiştir. Rotalar optimal olsa bile, bu planlama işletme tarafından makul seviyelerde kendilerini tatmin edebilecek düzeyde olup olmadığı tartışma konusu olabilir. Bu noktadan itibaren bu dağıtım planlaması işletmeye daha akılcı bir çözüm önerileri getirebilir. Araçların kapasitelerinin artırılma imkânı mümkün olmadığından dolayı, 2. Araçların çalıştırılması yerine daha geniş kapasiteye sahip araçlar edinilerek bir modelde yer alan talep noktaları tek araçla karşılanabilir. Diğer taraftan işletmenin 2. araçlarının uğradıkları talep noktaları için bu araçları göndermek yerine, bir lojistik firması ile anlaşılıp bu maliyeti daha düşük seviyelere düşürme imkânı olabilir. Avrupa yakasında bulunan bazı teleplerin fason bir

işletme ile anlaşarak karşılanması, yeni bir çelik üretim işletmesi kurulup bu taleplerin karşılanması ya da işletme ile aynı seviyede yer alan üretici bir firmayla ortaklık yapıp o bölgedeki talebi karşılanması işletmeye çeşitli öneriler olarak sunulabilir.



KAYNAKLAR

- Achuthan, N. R., Caccetta, L. ve Hill, S. P. (2003). An Improved Branch-And-Cut Algorithm For The Capacitated Vehicle Routing Problem. *Transportation Science*, 37(2): 153-169.
- Ahuja, R. K., Magnanti, T. L. ve Orlin, J. B. (1993). Network Flows: Theory, Algorithms, And Applications.
- Akça, R.M. (2011). Yapay Arı Kolonisi Algoritması Kullanılarak Gezgin Satıcı Probleminin Türkiye'deki İl Ve İlçe Merkezlerine Uygulanması, *Yüksek Lisans Tezi, Konya Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Ve Bilgisayar Sistemleri Eğitimi Anabilim Dalı*.
- Akhand M. A. H., Peya Z. J. ve K. Murase (2017) Capacitated Vehicle Routing Problem Solving Using Adaptive Sweep And Velocity Tentative Pso, Article Published In International Journal Of Advanced Computer Science And Applications (Ijacs), 8 (12).
- Akyol, S. ve Alataş, B. (2012). Güncel Sürü Zekası Optimizasyon Algoritmaları. *Nevşehir Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 1 (1).
- Applegate, D., Bixby, R., Chvátal, V. ve Cook, W. (1995). Finding Cuts In The Tsp (A Preliminary Report) 95 (5).
- Applegate, D., Bixby, R., Chvátal, V. ve Cook, W. (2001). Tsp Cuts Which Do Not Conform To The Template Paradigm. In *Computational Combinatorial Optimization*, 261-303.
- Applegate, D., Bixby, R., Cook, W. ve Chvátal, V. (1998). On The Solution Of Traveling Salesman Problems.
- Applegate, D., Bixby, R., Chvátal, V., Cook, W., ve Helsgaun, K. (2004). Optimal Tour Of Sweden. Last Updated, June.
- Archetti, C., Bianchessi, N. ve Speranza, M. G. (2011). A Column Generation Approach For The Split Delivery Vehicle Routing Problem. *Networks*, 58(4): 241-254.

- Archetti, C., Bianchessi, N. ve Speranza, M. G. (2014). Branch-And-Cut Algorithms For The Split Delivery Vehicle Routing Problem. *European Journal Of Operational Research*, 238(3): 685-698.
- Archetti, C., Speranza, M. G. ve Hertz, A. (2006). A Tabu Search Algorithm For The Split Delivery Vehicle Routing Problem. *Transportation Science*, 40(1): 64-73.
- Aslantas, V., ve Kurban, R. (2010). Multi-Focus Image Fusion İn Spatial Domain Using Artificial Bee Colony Optimization Algorithm. In *International Symposium On Innovations İn Intelligent Systems And Applications*, Kayseri, Türkiye.
- Augerat, P., Belenguer, J. M., Benavent, E., Corberán, A., Naddef, D. ve Rinaldi, G. (1998). Computational Results With A Branch-And-Cut Code For The Capacitated Vehicle Routing Problem.
- Aytekin, M. A. ve Kalaycı, T. E. (2010). Gezgin Satıcı Probleminin İkili Kodlanmış Genetik Algoritmalarla Çözümünde Yeni Bir Yaklaşım. *Muğla Üniversitesi Akademik Bilişim Konferansı*, 10-12.
- Badeau, P., Guertin, F., Gendreau, M., Potvin, J. Y. ve Taillard, E. (1997). A Parallel Tabu Search Heuristic For The Vehicle Routing Problem With Time Windows. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 5(2): 109-122.
- Baldacci, R., Mingozzi, A. ve Roberti, R. (2012). Recent Exact Algorithms For Solving The Vehicle Routing Problem Under Capacity And Time Window Constraints. *European Journal Of Operational Research*, 218(1): 1-6.
- Barachet, L. L. (1957). Letter To The Editor Graphic Solution Of The Traveling-Salesman Problem. *Operations Research*, 5(6): 841-845.
- Barán, B. ve Schaerer, M. (2003). A Multiobjective Ant Colony System For Vehicle Routing Problem With Time Windows. In *Applied Informatics*, 97-102.
- Bard, J. F., Huang, L., Dror, M. ve Jaillet, P. (1998). A Branch And Cut Algorithm For The VRP With Satellite Facilities. *IIE Transactions*, 30(9): 821-834.

- Bard, J. F., Kontoravdis, G. ve Yu, G. (2002). A Branch-And-Cut Procedure For The Vehicle Routing Problem With Time Windows. *Transportation Science*, 36(2): 250-269.
- Başkaya, Z. ve Öztürk, B. A. (2005). Tamsayılı Programlamada Dal Kesme Yöntemi Ve Bir Ekmek Fabrikasında Oluşturulan Araç Rotalama Problemine Uygulanması. *Uludağ Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 24(1): 101-114.
- Bektaş, T., Erdoğan, G. ve Röpke, S. (2011). Formulations And Branch-And-Cut Algorithms For The Generalized Vehicle Routing Problem. *Transportation Science*, 45(3): 299-316.
- Belenguer, J. M., Benavent, E., Prins, C., Prodhon, C. ve Calvo, R. W. (2011). A Branch-And-Cut Method For The Capacitated Location-Routing Problem. *Computers & Operations Research*, 38(6): 931-941.
- Bell, J. E. ve McMullen, P. R. (2004). Ant Colony Optimization Techniques For The Vehicle Routing Problem. *Advanced Engineering Informatics*, 18(1): 41-48.
- Bellmore, M. ve Nemhauser, G. L. (1968). The Traveling Salesman Problem: A Survey. *Operations Research*, 16(3): 538-558.
- Bent, R. ve Van Hentenryck, P. (2004). A Two-Stage Hybrid Local Search For The Vehicle Routing Problem With Time Windows. *Transportation Science*, 38(4): 515-530.
- Berger, J., Ve Barkaoui, M. (2003). A Hybrid Genetic Algorithm For The Capacitated Vehicle Routing Problem. In Genetic And Evolutionary Computation Conference, 646-656.
- Beullens, P., Muyltermans, L., Cattrysse, D. ve Van Oudheusden, D. (2003). A Guided Local Search Heuristic For The Capacitated Arc Routing Problem. *European Journal Of Operational Research*, 147(3), 629-643.

- Bhide, S., John, N. ve Kabuka, M.R., (1993). A Boolean Neural Network Approach For The Travelling Salesman Problem, *Ieee Transactions On Computers*, 42 (10): 1271-1278,
- Bianchessi, N. ve Righini, G. (2007). Heuristic Algorithms For The Vehicle Routing Problem With Simultaneous Pick-Up And Delivery. *Computers & Operations Research*, 34(2): 578-594.
- Blasum, U. ve Hochstättler, W. (2000). Application Of The Branch And Cut Method To The Vehicle Routing Problem. *Zentrum Für Angewandte Informatik Köln Technical Report Zpr2000-386*.
- Blum, C. ve Roli, A. (2003). Metaheuristics In Combinatorial Optimization: Overview And Conceptual Comparison. *Acm Computing Surveys (Csur)*, 35(3): 268-308.
- Boschetti, M. A., Maniezzo, V. ve Strappaveccia, F. (2017). Route Relaxations On Gpu For Vehicle Routing Problems. *European Journal Of Operational Research*, 258(2): 456-466.
- Bout, D. E. ve Miller, T. K. (1988). A Traveling Salesman Objective Function That Works, *Icnn-88*: 299-303.
- Bozyer, Z., Alkan, A. ve Fırlalı, A. (2014). Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Probleminin Çözümü İçin Önce Grupla Sonra Rotala Merkezli Sezgisel Algoritma Önerisi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 7(2).
- Bräysy, O. ve Gendreau, M. (2005). Vehicle Routing Problem With Time Windows, Part I: Route Construction And Local Search Algorithms. *Transportation Science*, 39(1): 104-118.
- Bruglieri, M., Pezzella, F., Pisacane, O. ve Suraci, S. (2015). A Variable Neighborhood Search Branching For The Electric Vehicle Routing Problem With Time Windows. *Electronic Notes In Discrete Mathematics*, 47: 221-228.
- Bullnheimer, B., Hartl, R. F. ve Strauss, C. (1999). Applying The Ant System To The Vehicle Routing Problem. In *Meta-Heuristics*, 285-296.

- Caccetta, L., Alameen, M. ve Abdul-Niby, M. (2013). An Improved Clarke And Wright Algorithm To Solve The Capacitated Vehicle Routing Problem. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 3(2): 413-415.
- Camerini, P. M. Fratta, L. ve Maffioli, F. (1975). On Improving Relaxation Methods By Modified Gradient Techniques. In *Nondifferentiable Optimization*, 26-34.
- Cevre, U., Özkan, B. ve Uğur, A. (2007). Gezgin Satıcı Probleminin Genetik Algoritmalarla Eniyilemesi Ve Etkileşimli Olarak İnternet Üzerinde Görselleştirilmesi. *Xı I. "Türkiye'de İnternet" Konferansı*, Ankara, 8-10.
- Chandran, B., ve Raghavan, S. (2008). Modeling And Solving The Capacitated Vehicle Routing Problem On Trees. In *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances And New Challenges*. 239-261.
- Chen, M. H., Chen, S. H. ve Chang, P. C. (2017). Imperial Competitive Algorithm With Policy Learning For The Traveling Salesman Problem. *Soft Computing*, 1-13.
- Chiang, W. C. ve Russell, R. A. (1996). Simulated Annealing Metaheuristics For The Vehicle Routing Problem With Time Windows. *Annals Of Operations Research*, 63(1): 3-27.
- Christofides, N. (1972). Bounds For The Travelling-Salesman Problem. *Operations Research*, 20(5): 1044-1056.
- Christofides, N., Mingozzi, A. ve Toth, P. (1981). Exact Algorithms For The Vehicle Routing Problem, Based On Spanning Tree And Shortest Path Relaxations. *Mathematical Programming*, 20(1): 255-282.
- Clarke, G. ve Wright, J. W. (1964). Scheduling Of Vehicles From A Central Depot To A Number Of Delivery Points. *Operations Research*, 12(4): 568-581.
- Cordeau, J. F., Gendreau, M. ve Laporte, G. (1997). A Tabu Search Heuristic For Periodic And Multi-Depot Vehicle Routing Problems. *Networks*, 30(2): 105-119.

- Crevier, B., Cordeau, J. F. ve Laporte, G. (2007). The Multi-Depot Vehicle Routing Problem With Inter-Depot Routes. *European Journal Of Operational Research*, 176(2): 756-773.
- Crowder, H. ve Padberg, M. W. (1980). Solving Large-Scale Symmetric Travelling Salesman Problems To Optimality. *Management Science*, 26(5): 495-509.
- Current, J., Ve Marsh, M. (1993). Multiobjective Transportation Network Design And Routing Problems: *Taxonomy And Annotation. European Journal Of Operational Research*, 65(1), 4-19.
- Çetin, O. (2013). Akaryakıt Dağıtımında Araç Rotalama Problemi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Çevik, O. (2006). Tam Sayılı Doğrusal Programlama İle İşgücü Planlaması Ve Bir Uygulama. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(1): 157-171.
- Çolak, S. (2010). Genetik Algoritmalar Yardımı İle Gezgin Satıcı Probleminin Çözümü Üzerine Bir Uygulama, *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 19(3).
- Çolak, S. ve Güler, H. (2009). Dağıtım Rotaları Optimizasyonu İçin Meta Sezgisel Bir Yaklaşım. *İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11(2): 171 – 190.
- Dantzig, G. B. ve Ramser, J. H. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6(1): 80-91.
- Dantzig, G., Fulkerson, R. ve Johnson, S. (1954). Solution Of A Large-Scale Traveling-Salesman Problem. *Journal Of The Operations Research Society Of America*, 2(4): 393-410.
- Dantzig, G., Fulkerson, R. ve Johnson, S. (1954). Solution Of A Large-Scale Traveling-Salesman Problem. *Journal Of The Operations Research Society Of America*, 2(4): 393-410.

- Daş, R., Türkoğlu, İ. ve Poyraz, M. (2006). Genetik Algoritma Yöntemiyle İnternet Erişim Ka Yıtlarından Bilgi Çıkarılması. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(2): 67-72.
- Davendra, D. (2010). Traveling Salesman Problem. Theory And Applications,Url: [Http://Www. İntechopen. Com](http://www.İntechopen.Com).
- De Simone, C., Diehl, M., Jünger, M., Mutzel, P., Reinelt, G. ve Rinaldi, G. (1995). Exact Ground States Of Ising Spin Glasses: New Experimental Results With A Branch-And-Cut Algorithm. *Journal Of Statistical Physics*, 80(1-2): 487-496.
- Demircioğlu, M. (2009). Araç Rotalama Probleminin Sezgisel Bir Yaklaşım İle Çözümlemesi Üzerine Bir Uygulama. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Demircioğlu, M. (2009). Araç Rotalama Probleminin Sezgisel Bir Yaklaşım İle Çözümlemesi Üzerine Bir Uygulama. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adana.
- Desrochers, M., Desrosiers, J. ve Solomon, M. (1992). A New Optimization Algorithm For The Vehicle Routing Problem With Time Windows. *Operations Research*, 40(2): 342-354.
- Dethloff, J. (2001). Vehicle Routing And Reverse Logistics: The Vehicle Routing Problem With Simultaneous Delivery And Pick-Up. *OR-Spektrum*, 23(1), 79-96.
- Dikmen, H., Dikmen, H., Elbir, A., Ziya, E. K. Ş. İ. ve Çelik, F. (2014), Gezgin Satıcı Probleminin Karınca Kolonisi Ve Genetik Algoritmalarla Eniyilemesi Ve Karşılaştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(1): 8-13.
- Doğan, Ö. İ. ve Kırdı, K. (2014). Evsel İlaç Atıklarının Toplanmasında Tersine Lojistik Ağı Üzerine Bir Uygulama. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 6(1).

- Donati, A. V. Montemanni, R., Casagrande, N., Rizzoli, A. E. ve Gambardella, L. M. (2008). Time Dependent Vehicle Routing Problem With A Multi Ant Colony System. *European Journal Of Operational Research*, 185(3): 1174-1191.
- Dorigo, M., Caro, G. D. ve Gambardella, L. M. (1999). Ant Algorithms For Discrete Optimization. *Artificial Life*, 5(2):137-172.
- Duhamel, C., Potvin, J. Y. ve Rousseau, J. M. (1997). A Tabu Search Heuristic For The Vehicle Routing Problem With Backhauls And Time Windows. *Transportation Science*, 31(1): 49-59.
- Dursun, P. (2009). *Zaman Pencereyi Araç Rotalama Problemi'nin Genetik Algoritma İle Modellenmesi*, (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Düzakın, E. ve Demircioğlu, M. (2009). Araç Rotalama Problemleri Ve Çözüm Yöntemleri. *İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Çukurova Üniversitesi*, 13 (1): 68-87.
- Eksioglu, B., Vural, A. V. ve Reisman, A. (2009). The Vehicle Routing Problem: A Taxonomic Review. *Computers & Industrial Engineering*, 57(4): 1472-1483.
- El Hassani, A. H., Bouhafs, L. ve Koukam, A. (2008). A Hybrid Ant Colony System Approach For The Capacitated Vehicle Routing Problem And The Capacitated Vehicle Routing Problem With Time Windows. In *Vehicle Routing Problem. Intech*.
- Erol, V. (2006). *Araç Rotalama Problemleri İçin Populasyon Ve Komşuluk Tabanlı Metasezgisel Bir Algoritmanın Tasarımı Ve Uygulaması*, (Doktora Tezi). Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi
- Eryavuz, M. ve Gencer, C. (2001). Araç Rotalama Problemine Ait Bir Uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(1).

- Escobar, J. W., Linfati, R., Toth, P. ve Baldoquin, M. G. (2014). A Hybrid Granular Tabu Search Algorithm For The Multi-Depot Vehicle Routing Problem. *Journal Of Heuristics*, 20(5): 483-509.
- Faulin, J., Juan, A., Lera, F. ve Grasman, S. (2011). Solving The Capacitated Vehicle Routing Problem With Environmental Criteria Based On Real Estimations In Road Transportation: A Case Study. *Procedia-Social And Behavioral Sciences*, 20: 323-334.
- Fiechter, C-N. (1994). A Paralel Tabu Search Algorithm For Large Traveling Salesman Problems, *Discrete Applied Mathematics*, 51: 2443-267,
- Fisher, M. L. (1994). Optimal Solution Of Vehicle Routing Problems Using Minimum K-Trees. *Operations Research*, 42(4): 626-642.
- Fritzke, B. ve Wilke, P. (1991). Flexmap - A Neural Network For The Traveling Salesman Problem With Linear Time And Spaae Complexity, *Research Report, Universitäterlangen-Nürnberg*,
- Gambardella, L. M., Taillard, É. ve Agazzi, G. (1999). Macs-Vrptw: A Multiple Colony System For Vehicle Routing Problems With Time Windows. In *New Ideas In Optimization*.
- Gendreau, M., Hertz, A. ve Laporte, G. (1994). A Tabu Search Heuristic For The Vehicle Routing Problem. *Management Science*, 40(10): 1276-1290.
- Gerşil, M. ve Alkaya, A. (2011). Gezgin Satıcı Problemi İçin Sezgisel Metotların Performans Analizi.
- Gillett, B. E. ve Miller, L. R. (1974). A Heuristic Algorithm For The Vehicle-Dispatch Problem. *Operations Research*, 22(2): 340-349.
- Glover, F. (1989). Tabu Search-Part 1, *Orsa Journal On Computing*, 1 (3): 196-204,
- Greco, F. (2008). Travelling Salesman Problem, *Austria: In-Teh*,
- Grötschel, M. ve Holland, O. (1987). A Cutting Plane Algorithm For Minimum Perfect 2-Matchings. *Computing*, 39(4): 327-344.

- Grötschel, M. ve Padberg, M. W. (1979). On The Symmetric Travelling Salesman Problem I: Inequalities. *Mathematical Programming*, 16(1): 265-280.
- Gülsün, B., Tuzkaya, G. ve Bildik, E. (2008). Reverse Logistics Network Design: A Simulated Annealing Approach. *Journal Of Engineering And Natural Sciences*, 26(1): 68-80.
- Haghani, A. ve Jung, S. (2005). A Dynamic Vehicle Routing Problem With Time-Dependent Travel Times. *Computers & Operations Research*, 32(11): 2959-2986.
- Helal, N., Pichon, F., Porumbel, D., Mercier, D. ve Lefevre, É. (2016). The Capacitated Vehicle Routing Problem With Evidential Demands: A Belief-Constrained Programming Approach. In *International Conference On Belief Functions*, 212-221.
- Held, M. ve Karp, R. M. (1970). The Traveling-Salesman Problem And Minimum Spanning Trees. *Operations Research*, 18(6): 1138-1162.
- Hemmelmayr, V. C., Doerner, K. F. ve Hartl, R. F. (2009). A Variable Neighborhood Search Heuristic For Periodic Routing Problems. *European Journal Of Operational Research*, 195(3): 791-802.
- Hernández-Pérez, H. ve Salazar-González, J. J. (2004). A Branch-And-Cut Algorithm For A Traveling Salesman Problem With Pickup And Delivery. *Discrete Applied Mathematics*, 145(1): 126-139.
- Ho, S. C. ve Haugland, D. (2004). A Tabu Search Heuristic For The Vehicle Routing Problem With Time Windows And Split Deliveries. *Computers & Operations Research*, 31(12): 1947-1964.
- Holland, J. H. (1992). *Adaptation In Natural And Artificial Systems: An Introductory Analysis With Applications To Biology, Control, And Artificial Intelligence. Mit Press.*
- Holland, J. (1975). *Adaptation In Natural And Artificial Systems: An Introductory Analysis With Application To Biology. Control And Artificial Intelligence.*

- Homberger, J. ve Gehring, H. (1999). Two Evolutionary Metaheuristics For The Vehicle Routing Problem With Time Windows. *Infor: Information Systems And Operational Research*, 37(3): 297-318.
- Hopfield, J. J. ve Tank, D. W. (1985). "Neural" Computation Of Decisions İn Optimization Problems. *Biological Cybernetics*, 52(3): 141-152.
- Hosseinabadi, A. A. R., Rostami, N. S. H., Kardgar, M., Mirkamali, S. ve Abraham, A. (2017). A New Efficient Approach For Solving The Capacitated Vehicle Routing Problem Using The Gravitational Emulation Local Search Algorithm. *Applied Mathematical Modelling*, 49: 663-679.
- <https://www.ibb.istanbul/>
- Jepsen, M., Spoorendonk, S. ve Ropke, S. (2013). A Branch-And-Cut Algorithm For The Symmetric Two-Echelon Capacitated Vehicle Routing Problem. *Transportation Science*, 47(1): 23-37.
- Kachitvichyanukul, V. (2009). A Particle Swarm Optimization For The Vehicle Routing Problem With Simultaneous Pickup And Delivery. *Computers & Operations Research*, 36(5): 1693-1702.
- Karaboga, D. (2005). An İdea Based On Honey Bee Swarm For Numerical Optimization, *Technical Report-Tr06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department*, (200).
- Karagül, K., Tokat, S. ve Aydemir, E. (2016). Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemlerinde Başlangıç Rotalarının Kurulması İçin Yeni Bir Algoritma. *Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi*, 4(3): 215-226.
- Karaoglan, I., Altıparmak, F., Kara, I., & Dengiz, B. (2011). A Branch And Cut Algorithm For The Location-Routing Problem With Simultaneous Pickup And Delivery. *European Journal Of Operational Research*, 211(2): 318-332.
- Keçeci, B. (2008). *Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problem İçin Tamsayı Karar Modelleri* (Doktora Tezi). Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Keskintürk, T., Topuk, N. ve Özyeşil, O. (2015). Araç Rotalama Problemleri Ve Çözüm Yöntemleri. *İşletme Bilimi Dergisi*, 3(2): 77-107.
- Keskintürk, T., ve Söyler, H. (2006). Global Karınca Kolonisi Optimizasyonu. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(4).
- Kirci, P. (2016). An Optimization Algorithm For A Capacitated Vehicle Routing Problem With Time Windows. *Sādhanā*, 41(5): 519-529.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D. ve Vecchi, M. P. (1983). Optimization By Simulated Annealing. *Science*, 220(4598): 671-680.
- Knox, J., ve Glover F. (1989). Comparative Testing Of Traveling Salesman Heuristics Derived From Tabu Search, Genetic Algorithms And Simulated Annealing, Center For Applied Artificial Intelligence, *Univ. Of Colorado*.
- Kohl, N., Desrosiers, J., Madsen, O. B., Solomon, M. M. ve Soumis, F. (1999). 2-Path Cuts For The Vehicle Routing Problem With Time Windows. *Transportation Science*, 33(1): 101-116.
- Kudva, G., Morin, T. L. ve Pekny, J. F. (1994). A Branch-And-Cut Algorithm For Vehicle Routing Problems. *Annals Of Operations Research*, 50(1): 37-59.
- Kuo, R. J. ve Zulvia, F. E. (2017). Hybrid Genetic Ant Colony Optimization Algorithm For Capacitated Vehicle Routing Problem With Fuzzy Demand—A Case Study On Garbage Collection System. In *Industrial Engineering And Applications (Ic1ea), 2017 4th International Conference On*, 244-248, Ieee.
- Kuzu, S., Önay, O., Şen, U., Tunçer, M., Yıldırım, B. F. ve Keskintürk, T. (2014). Gezgin Satıcı Problemlerinin Metasezgiseller İle Çözümü. *Istanbul Üniversitesi Journal Of The School Of Business*, 43(1): 1-27.
- Küçüköğlü, İ. ve Öztürk, N. (2014). A Differential Evolution Approach For The Vehicle Routing Problem With Backhauls And Time Windows. *Journal Of Advanced Transportation*, 48(8): 942-956.

- Lahyani, R., Coelho, L. C., Khemakhem, M., Laporte, G. ve Semet, F. (2015). A Multi-Compartment Vehicle Routing Problem Arising In *The Collection Of Olive Oil In Tunisia. Omega*, 51: 1-10.
- Lal, P., Ganapathy, L., Sambandam, N. ve Vachajitpan, P. (2009). Heuristic Methods For Capacitated Vehicle Routing Problem. *International Journal Of Logistics And Transport*, 4: 343-352.
- Laporte, G. ve Nobert, Y. (1983). A Branch And Bound Algorithm For The Capacitated Vehicle Routing Problem. *Operations-Research-Spektrum*, 5(2): 77-85.
- Laporte, G., Louveaux, F. ve Mercure, H. (1992). The Vehicle Routing Problem With Stochastic Travel Times. *Transportation Science*, 26(3): 161-170.
- Laporte, G., Mercure, H. ve Nobert, Y. (1992). A Branch And Bound Algorithm For A Class Of Asymmetrical Vehicle Routeing Problems. *Journal Of The Operational Research Society*, 43(5): 469-481.
- Laporte, G., Nobert, Y. ve Desrochers, M. (1985). Optimal Routing Under Capacity And Distance Restrictions. *Operations Research*, 33(5): 1050-1073.
- Lau, H. C., Sim, M. ve Teo, K. M. (2003). Vehicle Routing Problem With Time Windows And A Limited Number Of Vehicles. *European Journal Of Operational Research*, 148(3): 559-569.
- Letchford, A. N. ve Salazar-González, J. J. (2015). Stronger Multi-Commodity Flow Formulations Of The Capacitated Vehicle Routing Problem. *European Journal Of Operational Research*, 244(3): 730-738.
- Letchford, A. N., Lysgaard, J. ve Eglese, R. W. (2007). A Branch-And-Cut Algorithm For The Capacitated Open Vehicle Routing Problem. *Journal Of The Operational Research Society*, 58(12): 1642-1651.
- Lin, S. ve Kernighan, B. W. (1973). An Effective Heuristic Algorithm For The Traveling-Salesman Problem. *Operations Research*, 21(2): 498-516.

- Lin, S. W., Lee, Z. J., Ying, K. C. ve Lee, C. Y. (2009). Applying Hybrid Meta-Heuristics For Capacitated Vehicle Routing Problem. *Expert Systems With Applications*, 36(2): 1505-1512.
- Lysgaard, J., Letchford, A. N., ve Eglese, R. W. (2004). A New Branch-And-Cut Algorithm For The Capacitated Vehicle Routing Problem. *Mathematical Programming*, 100 (2): 423-445.
- Mańdziuk, J. ve Świechowski, M. (2017). Uct İn Capacitated Vehicle Routing Problem With Traffic Jams. *Information Sciences*, 406: 42-56.
- Martí, R. ve Reinelt, G. (2011). The Linear Ordering Problem: Exact And Heuristic Methods İn Combinatorial Optimization (175). *Springer Science & Business Media*.
- Mester, D. ve Bräysy, O. (2005). Active Guided Evolution Strategies For Large-Scale Vehicle Routing Problems With Time Windows. *Computers & Operations Research*, 32(6): 1593-1614.
- Metropolis, N., Rosenbluth, A. W., Rosenbluth, M. N., Teller, A. H. ve Teller, E. (1953). Equation Of State Calculations By Fast Computing Machines. *The Journal Of Chemical Physics*, 21(6): 1087-1092.
- Mitten, L. G. (1970). Branch-And-Bound Methods: General Formulation And Properties. *Operations Research*, 18(1): 24-34.
- Mohammed, M. A., Ghani, M. K. A., Hamed, R. I., Mostafa, S. A., Ahmad, M. S. ve Ibrahim, D. A. (2017). Solving Vehicle Routing Problem By Using Improved Genetic Algorithm For Optimal Solution. *Journal Of Computational Science*, 21: 255-262.
- Montané, F. A. T. ve Galvao, R. D. (2006). A Tabu Search Algorithm For The Vehicle Routing Problem With Simultaneous Pick-Up And Delivery Service. *Computers & Operations Research*, 33(3): 595-619.

- Montemanni, R., Gambardella, L. M., Rizzoli, A. E. ve Donati, A. V. (2005). Ant Colony System For A Dynamic Vehicle Routing Problem. *Journal Of Combinatorial Optimization*, 10(4): 327-343.
- Mostafa, N. ve Eltawil A. (2017). A. Solving The Heterogeneous Capacitated Vehicle Routing Problem Using K-Means Clustering And Valid Inequalities.
- Müller, J. (2010). Approximative Solutions To The Bicriterion Vehicle Routing Problem With Time Windows. *European Journal Of Operational Research*, 202(1): 223-231.
- Naddef, D. ve Rinaldi, G. (2002). Branch-And-Cut Algorithms For The Capacitated VRP. In The Vehicle Routing Problem, *Society For Industrial And Applied Mathematics*, 53-84.
- Ombuki, B., Ross, B. J. ve Hanshar, F. (2006). Multi-Objective Genetic Algorithms For Vehicle Routing Problem With Time Windows. *Applied Intelligence*, 24(1): 17-30.
- Pala O. ve Aksaraylı M. (2017) Çok Amaçlı Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi Çözümünde Bir Karınca Kolonisi Optimizasyon Algoritması Yaklaşımı, *Ulaştırma Ve Lojistik Ulusal Kongresi 26-27 Ekim 2017, İstanbul*.
- Osman, I. H. (1993). Metastrategy Simulated Annealing And Tabu Search Algorithms For The Vehicle Routing Problem. *Annals Of Operations Research*, 41(4): 421-451.
- Özsağlam, M. Y. (2009). *Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritmasının Gezgin Satıcı Problemine Uygulanması Ve Performansının İncelenmesi* (Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Özsağlam, M. Y. ve Çunkaş, M. (2008). Optimizasyon Problemlerinin Çözümü İçin Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması. *Politeknik Dergisi*, 11(4).
- Padberg, M. ve Rinaldi, G. (1987). Optimization Of A 532-City Symmetric Traveling Salesman Problem By Branch And Cut. *Operations Research Letters*, 6(1): 1-7.

- Padberg, M. ve Rinaldi, G. (1991). A Branch-And-Cut Algorithm For The Resolution Of Large-Scale Symmetric Traveling Salesman Problems. *Siam Review*, 33(1): 60-100.
- Pecin, D., Pessoa, A., Poggi, M. ve Uchoa, E. (2017). Improved Branch-Cut-And-Price For Capacitated Vehicle Routing. *Mathematical Programming Computation*, 9(1): 61-100.
- Polacek, M., Hartl, R. F., Doerner, K. ve Reimann, M. (2004). A Variable Neighborhood Search For The Multi Depot Vehicle Routing Problem With Time Windows. *Journal Of Heuristics*, 10(6): 613-627.
- Prins, C. (2004). A Simple And Effective Evolutionary Algorithm For The Vehicle Routing Problem. *Computers & Operations Research*, 31(12): 1985-2002.
- Ralphs, T. K. (2003). Parallel Branch And Cut For Capacitated Vehicle Routing. *Parallel Computing*, 29(5): 607-629.
- Ralphs, T. K., Kopman, L., Pulleyblank, W. R. ve Trotter Jr, L. E. (2001). On The Capacitated Vehicle Routing Problem.
- Renaud, J., Laporte, G. ve Boctor, F. F. (1996). A Tabu Search Heuristic For The Multi-Depot Vehicle Routing Problem. *Computers & Operations Research*, 23(3): 229-235.
- Ribeiro, G. M. ve Laporte, G. (2012). An Adaptive Large Neighborhood Search Heuristic For The Cumulative Capacitated Vehicle Routing Problem. *Computers & Operations Research*, 39(3): 728-735.
- Rodrigue, J.P., C., Comtois ve B. Slack, (2006). *The Geography of Transport Systems*, New York, Routledge.
- Ropke, S., Cordeau, J. F. ve Laporte, G. (2007). Models And Branch-And-Cut Algorithms For Pickup And Delivery Problems With Time Windows. *Networks*, 49(4): 258-272.

- Sarıcıoğlu A. Y. (2014). *A Heuristic Framework For Solving Time Dependent Vehicle Routing Problem With Time Windows*, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi.
- Sato, T. ve Hagiwara, M. (1997). Bee System: Finding Solution By A Concentrated Search, *Ieee*, 3954-3959.
- Sen, T., Yazgan, H. ve Ercan, S. (2015). Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Probleminin Çözümü İçin Yeni Bir Algoritma Geliştirilmesi: Bir Süpermarket Zincirinde Uygulanması. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(1): 83-88.
- Serin S., 2009. *Karınca Kolonisi Yaklaşımıyla Karayolu Üstyapı Rutin Bakım Çalışmalarının Planlanması*. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Solomon, M. M. (1987). Algorithms For The Vehicle Routing And Scheduling Problems With Time Window Constraints. *Operations Research*, 35(2): 254-265.
- Subramanian, A., Uchoa, E., Pessoa, A. A. ve Ochi, L. S. (2011). Branch-And-Cut With Lazy Separation For The Vehicle Routing Problem With Simultaneous Pickup And Delivery. *Operations Research Letters*, 39(5): 338-341.
- Taha, H. A. (2010). *Yöneylem Araştırması*, 6. Baskı. İstanbul : Literatür Yayınevi,.
- Takes, F. W. ve Kusters, W. A. (2010). Applying Monte Carlo Techniques To The Capacitated Vehicle Routing Problem. In *Proceedings Of 22th Benelux Conference On Artificial Intelligence (Bnaic 2010)*.
- Tan, K. C., Lee, L. H., Zhu, Q. L. ve Ou, K. (2001). Heuristic Methods For Vehicle Routing Problem With Time Windows. *Artificial Intelligence In Engineering*, 15(3): 281-295.

- Tavakkoli-Moghaddam, R., Safaei, N., Kah, M. M. O. ve Rabbani, M. (2007). A New Capacitated Vehicle Routing Problem With Split Service For Minimizing Fleet Cost By Simulated Annealing. *Journal Of The Franklin Institute*, 344(5): 406-425.
- Teymourian, E., Kayvanfar, V., Komaki, G. M. ve Zandieh, M. (2016). Enhanced Intelligent Water Drops And Cuckoo Search Algorithms For Solving The Capacitated Vehicle Routing Problem. *Information Sciences*, 334: 354-378.
- Toklu, N. E., Montemanni, R. ve Gambardella, L. M. (2013, April). An Ant Colony System For The Capacitated Vehicle Routing Problem With Uncertain Travel Costs. In *Swarm Intelligence (Sis), 2013 Ieee Symposium On*, 32-39, Ieee.
- Toth, P. ve Vigo, D. (2003). The Granular Tabu Search And Its Application To The Vehicle-Routing Problem. *Inform Journal On Computing*, 15(4): 333-346.
- Toth, P. ve Vigo, D. (2014). *Vehicle Routing: Problems, Methods, And Applications*. Society For Industrial And Applied Mathematics.
- Venkatesan, S. R., Logendran, D. ve Chandramohan, D. (2011). Optimization Of Capacitated Vehicle Routing Problem Using Pso. *International Journal Of Engineering Science And Technology (Ijest)*, 3(10): 7469-7477.
- Wu, D. Q., Dong, M., Li, H. Y. ve Li, F. (2016). Vehicle Routing Problem With Time Windows Using Multi-Objective Co-Evolutionary Approach. *Evolutionary Computation*, 7(2): 204-223.
- Xiao, Y., Zhao, Q., Kaku, I. ve Xu, Y. (2012). Development Of A Fuel Consumption Optimization Model For The Capacitated Vehicle Routing Problem. *Computers & Operations Research*, 39(7): 1419-1431.
- Yıldırım, T. (2014). *Simetrik Gezgin Satıcı Problemi İçin Yeni Bir Meta-Sezgisel: Kör Fare Algoritması* (Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

- Yu, B. ve Yang, Z. Z. (2011). An Ant Colony Optimization Model: The Period Vehicle Routing Problem With Time Windows. *Transportation Research Part E: Logistics And Transportation Review*, 47(2): 166-181.
- Yu, B., Yang, Z. Z. ve Yao, B. (2009). An Improved Ant Colony Optimization For Vehicle Routing Problem. *European Journal Of Operational Research*, 196(1): 171-176.
- Yücenur, G. N. (2011). *Optimizasyon Problemlerinin Çözümünde Melez Metasezgisel Bir Algoritmanın Tasarımı (Doktora Tezi)*, Ytü Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Wren, A., ve Carr, J. D. (1971). Computers In Transport Planning And Operation. www.math.uwaterloo.ca/tsp. (05.09.2017).

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Çağdaş YILDIZ

Doğum Yılı ve Yeri : 27/09/1990; TURHAL / TOKAT

Eğitim Durumu :Lisans

Lisans Öğrenimi : Düzce Üniversitesi Akçakoca Turizm İşletmeciliği ve Otelcilik M.Y.O.

Yüksek Lisans Öğrenimi : Gaziosmanpaşa Üniversitesi İşletme Anabilim Dalı Üretim Yönetimi ve Pazarlama Bilim Dalı

Yabancı Dil : İngilizce; Yazma: Çok iyi, Okuma: İyi, Konuşma: İyi (YDS Puan: 77.5; YÖKDİL Puan: 92).

Bilimsel Faaliyetleri : Tüzemen, A. ve Yıldız, Ç. (2018). Holt-Winters Tahminleme Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi: Türkiye İşsizlik Oranları Uygulaması. *Atatürk Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 31(2).1-18.

İletişim : Gsm (541) 462 47 02

E-Posta Adresi : cagdasyildiz60@gmail.com