



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



[DOKTORA TEZİ]

[GELİR YÖNETİMİ ODAKLI EŞ ZAMANLI DAĞITIM
TOPLAMALI ARAÇ ROTALAMA İÇİN META SEZGİSEL BİR
ÇERÇEVE ÖNERİSİ]

[Ali ÖRNEK]

[DANIŞMAN
Prof. Dr. Şakir ESNAF]

[Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı]

[Endüstri Mühendisliği Programı]

[İSTANBUL-2020]

Bu çalışma, [18.06.2020] tarihinde aşağıdaki jüri tarafından [Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Programı]nda [Doktora tezi] olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

[Prof. Dr.] [Şakir ESNAF] (Danışman)
[İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi]

[Prof. Dr.] [Alp BARAY]
[İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi]

[Prof. Dr.] [Selim ZAIM]
[İstanbul Şehir Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi]

[Doç. Dr.] [Numan ÇELEBİ]
[Sakarya Üniversitesi]
[Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi]

[Doç. Dr.] [TariK KÜÇÜKDENİZ]
[İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa]
[Mühendislik Fakültesi]

[20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.]

ÖNSÖZ

[Lojistik altında önemli bir alan olan taşımacılık konusunda birden çok araç ile müşterilerine dağıtım ve toplama yapan işletmelerin rota planlaması oldukça ilgi gören bir araştırma sahasıdır. Bu sahadaki problemlerin karmaşıklığı nedeniyle günümüzde de hala daha gelişmiş yöntemler ortaya konulabilmektedir. Hem araçların kısıtlı yük kapasitesi hem zaman kısıtları hem de kat edilen yol ile doğru orantılı artan maliyet nedeniyle problemin çözümü zorlaşmaktadır. Gelir yönetimi ise işletmelerin gelirlerini arttırabilmek için farklı enstrümanlar sunmaktadır. Literatürden bu iki alanı birden ele alan çalışma bulunmadığı için gelir yönetimi ve araç rota planlamayı birden ele alan bir problem modeli tanımlamak ve problemi çözmek için meta sezgisel bir yöntem oluşturmak amaçlanmıştır. Uygulamada yapay ve gerçek veri setleri ile deney yapılmıştır. Deneylerde yöntemin rota planı sonucunda daha karlı operasyonlar gerçekleşmesini sağladığını gözlemlenmiştir. İşletmelerin faaliyetlerini sürdürebilmeleri için karlılığın önemli olduğunu bilinmektedir. Ortaya konan modelin lojistik sektöründe kullanılacak yöntemler haline gelip işletmelere ve dolaylı olarak tüketicilere faydalı olacağını umut ediyorum.

Bu tez çalışması boyunca çalışmaya liderlik eden ve bana her zaman destek olan tez danışmanım sayın Prof. Dr. Şakir Esnaf'a, tez izleme komitesi üyelerimiz sayın Prof. Dr. Alp Baray'a ve sayın Prof. Dr. Selim Zaim'e şükranlarımı sunarım.]

Haziran 2020

[Ali ÖRNEK]

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

[ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	viii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ÖZET	xii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR.....	9
2.1. GELİR YÖNETİMİ.....	9
2.1.1. Gelir Yönetimi Ekonomik Etkileri	10
2.1.2. Gelir Yönetiminin Tarihçesi	11
2.1.3. Gelir Yönetimi ve Kapasite Kontrolü.....	13
2.1.4. Gelir Yönetiminde Dinamik Teklif Fiyatları.....	14
2.1.5. Gelir Yönetiminde Risk ve Dinamik Fiyatlandırma.....	15
2.2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ	17
2.2.1. ARP’de Yer Alan Kavramlar	20
2.2.2. Bir ARP’de Yer Alan Prensipler	21
2.2.3. Araç Rotalama Problemi Tipleri.....	21
2.2.4. Kısıtlarına Göre ARP.....	22
2.2.5. Yolların Durumuna Göre ARP	29
2.2.6. Rotalama Durumuna Göre ARP	32
2.2.7. Çevre Durumuna Göre ARP	33
2.3. EŞ ZAMANLI DAĞITIM TOPLAMALI-ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ (EDTARP)	33
2.4. ZAMAN PENCERELİ EŞZAMANLI DAĞITIM VE TOPLAMALI ARAÇ ROTLAMA PROBLEMİ (ZPEDTARP).....	37
2.5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	41
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	48

3.1. GELİR YÖNETİMİ ODAKLI EŞZAMANLI DAĞITIMLI TOPLAMALI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ (GYEDTARP) MODELİ	48
3.1.1. Siparişlerin Seçilmesi ve Rota Planlama İşlemleri.....	50
3.1.2. Yükselti Esaslı Ulaştırma Maliyeti.....	50
3.2. GELİR YÖNETİMİ ODAKLI EŞZAMANLI DAĞITIMLI TOPLAMALI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ (GYEDTARP).....	52
3.3. KARINCA KOLONİSİ ALGORİTMASI.....	58
3.4. GYEDTARP MODELİNE UYARLANMIŞ KARINCA KOLONİSİ ALGORİTMASI	62
4. BULGULAR.....	70
4.1. AÇIKLAYICI ÖRNEK	70
4.2. HİPOTETİK VERİ SETLERİ	81
4.2.1. Gerçek uygulama verisiyle çalışma.....	112
4.3.DENEY SONUÇLARININ ÖZETİ	123
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	125
KAYNAKLAR.....	129
EKLER	139
ÖZGEÇMİŞ	140

]

[ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: ARP problemine bir örnek ve olası bir çözüm	19
Şekil.2.2: Araç Rotalama Problemi Tipleri	22
Şekil 3.1: Google harita servisinden alınan yükselti verisi örneği	52
Şekil 4.1: Excel çözücü parametreleri	80
Şekil 4.2: Excel çözücü’de Evrimsel Yöntem Parametreleri	81
Şekil 4.3.: Golden 1 240x9 veri seti	110
Şekil 4.4.: Golden 1 240x9 problemi çözümü	111
Şekil 4.5.: Golden 1 240x9 problemi çözümü	111
Şekil 4.6.: Golden 1 240x9 probleminin 8 araçla çözümü	113
Şekil 4.7.: İlk turda rastgele atanmış çözüm olan başlangıç rotası	122
Şekil 4.8.: 22nci tur sonunda henüz son haline gelmemiş rota	123
Şekil 4.9.: 220 tur sonunda bulunan rota	124
Şekil 4.10.: Turlar boyunca elde edilen rotaların toplam taşıma maliyetinin azalması	125

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 4.1.: Müşteri koordinatları ve yükselti değerleri	74
Tablo 4.2.: Müşteriler arasındaki yolların uzaklığı matrisi	75
Tablo 4.3.: Müşteri sipariş miktarları	75
Tablo 4.4.: Tipler bazında toplam müşteri siparişleri ve araç kapasiteleri	76
Tablo 4.5.: Alınan siparişlerin birim fiyat analizi	77
Tablo 4.6.: Müşteri siparişlerinin kabul / red edilmesi	77
Tablo 4.7.: GYEDTARP modeline göre çözümün özeti	78
Tablo 4.8.: Gelir yönetimi uygulamadan EDTRAP modeline göre çözümün özeti	79
Tablo 4.9.: Golden_1 veri seti, Yükselti değeri eklenmesi	86
Tablo 4.10.: Golden_1 veri seti, Talep tipi, fiyat ve ceza alanları eklenmesi	98
Tablo 4.11.: Gelir yönetimi uygulamayan çözüm (240 müşteri, 9 araç)	114
Tablo 4.12.: Gelir yönetimi uygulayan çözüm (240 müşteri, 8 araç)	114
Tablo 4.13.: Örnek firmadaki mevcut uygulamaya göre (EDTRAP) finansal sonuçlar	117
Tablo 4.14.: Örnek firmanın verileriyle GYEDTARP sonuçları	117
Tablo 4.15.: EDTRAP ve GYEDTARP çözümlerinin karşılaştırılması	118
Tablo 4.16.: Deney sonuçları özeti	126

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler

Açıklama

n	: Müşteri sayısı
N	: Noktalar kümesi $\{0,1,\dots,n\}$ (0: Merkez depo, $1,\dots,n$: Müşteriler)
N_c	: Müşteriler kümesi $N_c = N \setminus \{0\}$
N_e	: Erken rezervasyon yapan müşteriler kümesi $N_e \subseteq N_c$
K	: Hizmet verecek araçlar kümesi
r_i	: Müşteri i 'nin siparişi karşılanacak ise 1, reddedilecek ise 0, $i \in N_c$.
x_{ij}^k	: Araç k , i noktasından j noktasına gidecek ise 1, değilse 0, $i \in N, j \in N, k \in K$.
d_i	: Depodan müşteri i 'ye teslim edilmesi talep edilen miktar, $i \in N_c$
p_i	: Müşteri i 'den depoya toplanması talep edilen miktar, $i \in N_c$
q_i^k	: Araç k 'nın i noktasından (depo ya da bir müşteri) ayrılırken taşıdığı yük miktarı, $i \in N$
v_i	: Müşteri i 'den elde edilen gelir tutarı, $i \in N_c$
z_i	: Müşteri i 'nin siparişi iptal edilirse ödenecek ceza tutarı, $i \in N_e$
δ	: Toplam kapasitenin düşük fiyatla erken rezervasyon yapan müşterilere ayrılacak oranı.
Q_0^k	: Araç k 'nın boş ağırlığı (araçların ağırlıkları farklıdır)
$Q_{\max}^k$	: Araç k 'nın taşıma kapasitesi (araçların kapasiteleri farklıdır)
e_i	: i noktasının yükselti değeri (mt)
e_j	: j noktasının yükselti değeri (mt)
u_{ij}	: i noktasından j noktasına uzaklık (km)
c_{ij}^k	: i noktasından j noktasına araç k ile ulaşmanın maliyeti (TL)
α	: Birim ulaştırma maliyeti (TL / km)

β	: Tırmanış ya da iniş çarpanı. (TL / mt)
T_{max}	: Araçların toplam çalışma (yol + yükleme / boşaltma) süresi limiti
t_{ij}	: i noktasından j noktasına ulaşma süresi
s_i	: Araçların i noktasında bekleme (yükleme / boşaltma) süresi
ε	: Araçların ortalama hızı (km/saat)

Kısaltmalar	Açıklama
ARP	: Araç Rota Planlama
A-ARP	: Asimetrik Araç Rotalama Problemi
AU-ARP	: Açık uçlu Araç Rotalama Problemi
BCO	: Bulanık c-ortalamlar
D-ARP	: Dinamik Araç Rotalama Problemi
DT-ARP	: Dağıtım toplamalı Araç Rotalama Problemi
EDTARP	: Eşzamanlı Dağıtım ve Toplamalı Araç Rotalama Problemi
GSP	: Gezici Satıcı Problemi
GY	: Gelir Yönetimi
GYEDTARP	: Gelir Yönetimi odaklı Eşzamanlı Dağıtımlı Toplamalı Araç Rotalama Problemi
KARP	: Kapasiteli Araç Rotalama Problemi
KU-ARP	: Kapalı uçlu Araç Rotalama Problemi
NP	: Non-polynomial, polinom olmayan
P-ARP	: Periyodik Araç Rotalama Problemi
RABCO	: Revize Ağırlıklı Bulanık C-Ortalamlar
RABCO-NM	: Revize Ağırlıklı Bulanık C-Ortalamlar ve Nelder-Mead
S-ARP	: Simetrik Araç Rotalama Problemi
ST-ARP	: Statik Araç Rotalama Problemi

YAK : Yapay Arı Kolonisi

ZP-BT-ARP : Zaman Pencereli ve Bölünmüş Araç Rotalama Problemi

ZPEDTARP : Zaman Pencereli Eşzamanlı Dağıtım ve Toplamalı Araç Rotalama Problemi

]



ÖZET

[DOKTORA TEZİ]

[*GELİR YÖNETİMİ ODAKLI EŞ ZAMANLI DAĞITIM TOPLAMALI ARAÇ ROTALAMA İÇİN META SEZGİSEL BİR ÇERÇEVE ÖNERİSİ*]

1

[Ali ÖRNEK]

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

[**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**]

[**Danışman: Prof. Dr. Şakir ESNAF**]

Bu tez çalışmasının amacı eş zamanlı dağıtım toplamalı araç rotalama problemi için gelir yönetimi odaklı bir meta sezgisel çerçeve ortaya koymaktır. Günümüze kadar yapılan araştırmalar ya gelir maksimizasyonuna ya da taşıma maliyetlerinin minimizasyonuna odaklanmaktadır. Bazı sektörlerde dağıtım ve toplama talebi günden güne değişkenlik gösterir ve araçların taşıma kapasitesi sınırlıdır. Bu sektörlerde işleri karlı olarak sürdürebilmek için her iki hedefe de hizmet eden bir modele ihtiyaç vardır. Gelir maksimizasyonu için düşük fiyatlı erken rezervasyonlara izin veren dinamik fiyatlandırma önerilmiştir. Araç rotalama algoritması da rotaları belirlerken taşıma maliyetinin minimizasyonu ile ilgilenecektir. Mevcut araçların kapasitesinden daha fazla sipariş olduğu durumda bazı erken rezervasyonlar ceza bedeli karşılanarak iptal edilir.

Ortaya konulan matematiksel model karınca kolonisi algoritması ile çözülmüştür. Yapay bir veri seti ve bir firmanın dağıtım toplama sipariş verileri ile denemeler yapılmıştır.

Sonuçlar karlılığı düşük olan müşteri siparişlerinin tespit edilip, ceza bedeli ödenmesine rağmen toplam operasyonun daha karlı olduğunu göstermiştir. Gelir yönetiminin araç rotalama ile birlikte ele alınması toplam karlılığı arttıran yeni bir araştırma alanı açmıştır.

Haziran 2020, [140] sayfa.

Anahtar Kelimeler: [Araç Rota Planlama, Gelir Yönetimi, Eş Zamanlı Dağıtım Toplama, Tedarik Zinciri Yönetimi]



SUMMARY

[Ph.D. THESIS]

**[A META-HEURISTIC FRAMEWORK PROPOSAL FOR REVENUE
MANAGEMENT-FOCUSED SIMULTANEOUS PICK-UP AND DELIVERY
VEHICLE ROUTING]**

[

[Ali ÖRNEK]

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

[Department of Industrial Engineering]

Supervisor : [Prof. Dr.] [Şakir ESNAF]

The aim of this thesis study is to propose a revenue management focused model for Capacitated Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery and pursue a solution to it. In some industries, customer demand for delivery and pickup fluctuates and the vehicle capacities are limited. Existing research focuses on either Revenue Maximization or Transportation Cost Minimization. To be able to run such businesses profitably, it is necessary to consider both objectives by the help of the proposed model. Dynamic pricing will be used for revenue maximization, by booking early reservations for a lower price. Vehicle Routing Problem will determine the route to minimize the total transportation cost. In case the customer orders cannot be handled with existing vehicle capacities, some of the early reservation orders are canceled and a cancellation fee is incurred.

The model is solved by ant colony algorithm. The proposed model is tested against a real-world data set.

The result shows that unprofitable customer orders are determined by the model and rejected despite there is a cancellation fee. By applying the revenue management model, it is observed that there is an increase in the total profit.

June 2020, [140] pages.

Keywords: [Vehicle Routing Model, Revenue Management, Simultaneous Pick-up and Delivery, Supply Chain Management]



1. GİRİŞ

[Küresel rekabet altında firmaların rakiplerine göre avantajlı olabilmeleri ancak ürün ve hizmetlerinin katma değerlerini arttırıp bu hizmetleri müşterilerine daha hızlı ulaştırabilmekten geçmektedir. Dağıtım kanallarının etkinliği bu süreci desteklemekle birlikte verimlilik ve planlama fonksiyonlarının önemi geçmişe oranla daha çok artmıştır. Firmalar bulundukları sektörde en önde olabilmek için iyi planlanmış bir dağıtım kanalı ile toplam gecikmeleri engelleyerek müşteri hizmet memnuniyetini yükseltmelidir. Memnuniyet oranları artarken dikkat edilmesi gereken diğer nokta maliyetleri eş zamanlı olarak azaltılmasıdır.

Bayi teşkilatı, parsiyel dağıtım ve kargo hizmetleri gibi sistemlerle çalışan organizasyonlar için esnek ve aynı anda uygun maliyet yapısına sahip rota planlamasının en büyük amacı müşteri memnuniyetini arttırmak ve maliyeti azaltmaktır. Amaca ulaşmak için oluşacak maliyet kalemlerinde rotada kullanması gereken araç adeti, toplam km ve toplam zaman ölçütleri maliyet ölçüm sistemine dahil edilmelidir.

Değerlendirilmesi gereken bir diğer önemli husus ise dağıtım planlaması sonrası yeni gelen müşteri talepleri için dinamik bir yapıda rota planının dağıtım zamanına uyum sağlamasıdır. Bu uyum yeni gelen taleple değişebileceği gibi araç arızası, sürücü problemi, trafik kazası veya hava durumu gibi nedenlerden de meydana gelebilir. Önceden hazırlanan rota planlarının esnekliği ve yeni girdi değişkenlerine göre adapte olabilmesi sistemin devamlılığı için çok önemlidir. Araç rota yönetimi bir ve/veya birden çok depodan daha önceden belirli olan müşterilere ürün dağıtım ve bu noktalardan gelen siparişlere göre aktarma yapılacak ürünlerinin alınmasının birleşimi olarak genel anlamda tanımlanabilir. Birden çok aşamalı bir sistem için araç rotalama konusu için en az bir üretici, bir müşteri, bir araç, bir dağıtım ve bir toplama siparişi yapısı gereklidir. Buradan birden çok sayıda olan girdi değişkenleri toplam sistemin amaç değerine göre rotaların belirlenmesinde önemli parametreleri oluşturmaktadır. Bu nedenle rotalama problemi değişken girdiler altında hesaplanması ve sonuçlarının zor bir optimizasyon problemidir. Problemin sonuç değerlerinin sayısı sistemde bulunan müşteri sayısının adeti ile üstel olarak büyümektedir. Literatürde araç rotalama problemlerine yanıt bulmak için çok sayıda yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler kesin yöntemler ve sezgisel yöntemler olarak iki sınıfa bölünmüştür. Kesin yöntemler problem sayısı az olan sistemler için

optimum değere ulaşabilirken, eğer problemin sayısı ve girdi değişkenleri fazlalaşırsa güçlü bir hesaplama yapısına ihtiyaç duyulmaktadır. Matematiksel yöntemler içinde dal sınır, dinamik programlama ve dal kesme algoritmasını belirtebiliriz. Sezgisel algoritmalar bir hedefe ulaşmak için alternatif yöntemlerden etkin olana karar vermek amacı ile daha önceden tanımlanmış kriterler doğrultusunda ilerleyen yöntemlerden meydana gelmektedir. Bu algoritmaların sonucu kesin sonuç olmayı garanti altına alamazlar fakat çözümün kesin değerine yakın bir değere ulaşırlar.

Sezgisel yöntemler, çözüm alanında en iyi sonuçları bulmak için farklı özelliklere sahip sezgisel algoritmaların akıllı bir kombinasyonundan oluşan yinelemeye dayalı çözüm yöntemleridir. Ayrıca daha büyük problemlerde daha az işlem ve hesaplama süresi ile optimum değerlere yakın, kaliteli çözümler üreten sezgisel ve meta sezgisel yöntemlerdir. (Düzakın, E., & Demircioğlu, M., 2009)

Çok sezgisel metotlar ancak en iyi çözüme çok yakın olmayan çözümlere ulaşmak günlük hayatta daha etkili bir yöntemdir. Bu nedenlerden ötürü araştırmacılar tarafında ARP için klasik sezgisel yöntemler zaman içinde geliştirilmiştir. Ana başlık olarak üçe sınıfa ayrılmakta olan bu sezgisel metotlar ise yapısal metotlar, iki aşamalı metotlar ve geliştirici metotlardır.

Yaklaşık 40 yıl önce ortaya çıkan ve bugünlerde hem teori hem de uygulama olarak gelişme alanı bulan meta-sezgiseller yöntemler, yanıtları kolay olmayan en iyileme problemleri sınıfı için geniş kullanım alanlarında başarılı olmaktadır. Tekrarlı çözüm sürecine sahip bu yöntemlerin sonuçlarının kalitesi iyi olup alt seviyelerdeki sezgisel yöntemler için etkili bir birleşim meydana getirirler. (Osman I., ve dig., 1996). İterasyonun her bir adımından sonra bir veya birden fazla çözüm kümesinden yola çıkılarak yeni sonuçlar oluştururlar. Meta-sezgisel olan bu çözümler gerçek performans değerlerini yukarı çekmek için biyoloji ve yapay zekâ gibi birçok bilimin birleşiminden oluşarak yerel aramalar yapan ve alt seviyedeki sezgisel çözümlere göre üstünlük oluşturmaktadırlar. IT alanındaki hızlı ilerlemelere rağmen yönetim bilimlerindeki problemlere kesin çözüm üretmek bu dönemde dahi zor problemler sınıfına girmektedir. Meta sezgisel çözümler problemlere uygun sürelerde çözüm bulmak için kullanılan araçları oluşturmaktadır. Fakat bu yöntemler en iyi çözüm değerini bulmak yerine yaklaşık değerler elde ederler. Buna rağmen en iyi sonuca ulaşmada etkindirler. (Vob, S. Ve dig., 1999)

Meta sezgisel yöntemlerin araç rotalama problemleri üzerinden uygulanabilmesi için son dönemde çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sezgisel uygulamaları iyileştirmek için çözüm uzayını genel olarak araştıran süreçlerden meydana gelmektedir. Genel yöntemlerden farklı olarak ara çözüm elde etmeyi hedefleyen bu alt süreçler çözüm süresini kısaltarak en iyiye yaklaşmayı hedeflemekte olup literatürde en çok kullanılan yöntemler ise Tavlama benzetimi, Tabu Arama ve Genetik Algoritmalar'dan oluşmaktadır. (Kurt, M. ve Semetay, C., 2001).

ARP için özellikle kesin algoritmaların optimum çözüm bulamadığı büyük ve çok büyük problemlerde en etkili sonuçlar veren algoritmaların meta sezgisel algoritmalar olduğu görülmektedir. Meta sezgisel algoritmalar, çözüme ulaşmak için kesin bir hesaplama yönteminin ortaya konulamadığı, tüm alternatif çözümleri denemenin imkânsız olduğu problemlerde çözüm uzayında belirli bir mantıkla ve olasılığa dayalı olarak arama gerçekleştirerek çözüme ulaşmayı hedefleyen yöntemlerdir. Bu yöntemlerde genel bir başlangıç değerinden çözüm çalışması oluşturularak adımlar bazında yeni değerler elde edilmektedir. Böylece arama uzayının en uygununa yakın olan noktalarında aramalar yapılarak, yerel en iyi nokta seçiminden de kurtularak en uygun çözüme ulaşmaya çalışılır. Algoritma ilerleyişi sırasında bilinen çözümlerden yeni çözümlere geçiş sırasında yapılan işlemler genellikle canlıların doğal davranışlarından esinlenerek tasarlanmıştır. Yeni çözümleri tarama davranışı sürekli olarak daha iyi çözümleri keşfetmeye ve yerel iyi çözümlere takılıp kalmaktan kurtulmaya yol açar. Böylelikle çok karmaşık ve büyük problemlerde kesin yöntemlerle bulunabilen çözümlerden daha iyi çözümler bulunabilmektedir.

Meta sezgisel uygulamalar bilimsel çalışmalarda geçmiş yıllarda çok sayıda disiplin üzerinden hem teorik hem de pratik uygulama alanları kazanmıştır. Bu süreç öncelikle komşuluk yapısı üzerinden arama politikası oluşturularak daha önceden belirlenen kriter değerlerine geldiğinde sistemi durdurup tespit ettiği en iyi değeri araştırmacıya sunulmaktadır. Meta sezgisel araştırmalar yerel komşuluk ve popülasyon olarak iki tabanlı alt türlere sahiptir.

- Çözüm arama çalışmasını tekil bir değer ile ilerleten algoritmalara Komşuluk tabanlı algoritmalar denilmektedir. Bu algoritmalar tespit edilen komşuluk değeri üzerinden mevcut değeri iyileştirmek için yinleme yaparlar. Bu araştırma yöntemlerine Tabu Arama ve Tavlama Benzetim teknikleri örnektir.

- Çözüm arama çalışmasında eş zamanlı olarak birden fazla değeri ele alıp, bu değerlerin alt spesifikasyonlarından faydalananak yeni değerler oluşturan algoritmalara ise Popülasyon tabanlı algoritmalar denilmektedir. Bu araştırma yöntemlerine Genetik Algoritma ve Karınca Kolonisi Algoritması teknikleri örnektir.

Genetik algoritmalar ele aldıkları problemin çözüm uzayındaki rastgele çözüm adaylarını temsil eden bireylerden oluşan bir topluluk üzerinde kalıtım yoluyla daha iyi bireyler üretilmesi ile yeni ve daha iyi çözümlere ulaşmayı hedefler. Her bir çözüm genlerin kromozom yapılarına benzer şekilde kodlanarak bireylere atanır. Her bir bireyin temsil ettiği çözümün kalitesi uygunluk olarak adlandırılır. Uygunluk seviyesi yüksek olan bireyler seçilerek çiftleştirilir ve ebeveynlerin genlerinden yavruların genleri belirlenir. Yavru bireylerin genleri ebeveyn genlerinin parçaları çaprazlanarak oluşturulur. Ayrıca yeni nesillere geçerken genlerin bazı kısımları mutasyona uğrayarak değişir. Böylelikle hem ebeveyn genlerindeki iyi özellikler yeni nesillere taşınır hem de önceki nesillerde olmayan özellikler hayata geçirilir. Yavru genlerinin bazıları ebeveyn genlerinden daha yüksek uygunluk seviyesine sahip olurken, bazıları daha düşük uygunluk seviyesine sahip olur. Uygunluk seviyeleri daha iyi bireyler yaşamaya devam ederken, daha kötü bireyler topluluktan çıkartılırlar. Belirli bir süre veya tur sayısı boyunca bu işlemler tekrar edildikten sonra elde edilen en iyi sonuç genetik algoritmanın bulduğu çözümdür.

Karınca kolonisi optimizasyon algoritması karıncaların besin arama ve buldukları iyi besin kaynakları hakkında kendi aralarında haberleşme davranışlarından esinlenerek tasarlanmış popülasyon tabanlı bir algoritmadır. Karıncalar iyi besin kaynakları ile yuvaları arasındaki yollara feromon salgısı bırakarak topluluğun diğer bireyelerine bilgi aktarırlar. Yuvadaki bireyelerin hepsi bu salgıları takip ederek besin kaynaklarına ulaşabilirler. Daha iyi besin kaynakları keşfettikçe bu yollara da salgı bırakırlar. Karıncalardan esinlenen bu algorithmada çözüm uzayında potansiyel çözümler denenirken şimdiye kadar denenilen çözümlere ulaşan yol işaretlenir. Yeni çözümler denenirken bu yollardan ilerleyerek yakın başka potansiyel çözümler taranarak devam edilir.

Araç rotalama problemlerinde nakliye seferi oluşturan araçlar merkez kabul edilen bir depo adresinden daha önceden talep ve siparişleri sisteme dahil edilmiş bir müşteri sınıfı için hizmet veren sıralama problemlerdir. Kurallarda genel olarak belirlenen müşteriler tekil olarak salt bir

nakliye aracından faydalanmakta olup araçlar bir rota üzerinden hareket etmektedir. Bu araçlar için kapasite kısıtları bulunmaktadır ve en önemli konu olarak çıkış ve gün sonu varış noktaları yine bir depo olmaktadır. Araç rotalama problemleri bu kısıt ve koşullar altında toplam sefer maliyetini ve km giderlerini en küçükleme için çok sayıda rota önerisinde bulunup en küçük değer ulaşmayı hedeflemektedir. Araç rotalama problemleri tedarik zinciri ve lojistik sektörlerinde çok kritik bir öneme sahiptir.

Gelir yönetimi, herkes tarafından anlaşılabilen basit, kolay istatistiksel iyileştirmeler ile çözüme ulaşmayı hedefleyen ve bünyesinde barındırdıkları çeşitli bileşenleri açıklayan, elde edilen yarar ve fırsatların neler olduğunu belirten ve özellikle hizmet sektörü içerisinde kanıtlanmış bir disiplindir. Belirsiz ve fiyata duyarlı talep, önceden rezerve edilebilen zamana duyarlı kapasite veya bozulması hızlı ve kolay olan ürün gamına sahip firmalar tarafından kullanılan bir gelir maksimizasyonu sürecidir ve bu süreç içerisinde geliri en üst değere ulaştırmak için tüketici ve son kullanıcıların tüketim alışkanlıklarını tahmin etme üzerine bir uygulama olarak belirtilmektedir.

Gelir yönetimi, müşteri talepleri neticesinde gerçekleşen talep tahmin, sektör taleplerine ve olabilecek her türlü senaryoya cevap verebilme yeteneği, rekabet ortamına uyum sağlayabilme ve gerekli önemleri alabilme ve tüm bunların sonucunda mevcut kapasitenin özellikleri ve bir dizi nihai ürün oluşturmak için mevcut ve oluşabilecek gelir düzeylerinin nasıl kullanıldığı ile ilgilidir. Gelir yönetimi, fiyatlara duyarlı bir tüketici topluluğu ile birlikte gerçekleşen durumları ve geliri en üst düzeye çıkarmak için hizmet paketleri yaratan ve yöneten, sabit veya bozulabilir bir kaynak grubuna sahip olan bir düzende karşılaşılabilecek sorunları dikkate almaktadır. Gelir yönetimi amaçlanan gelir maksimizasyonu ve gelecek tahminlerine karşı işletmelerin cevap verebilme yeteneğinin artırılmasının gerçekleştirilmesinde sistematik ve kanıta dayalı bir yapı oluşturmayı amaçlamaktadır.

Gelir yönetimi toplam hasılatı arttırmak amacıyla neyi, ne zaman, kime, hangi fiyatla satmaya karar vermeye yardımcı olan veri odaklı metodlar olarak tanımlanmıştır. (Talluri v.d. 1999). Gelir yönetimi disiplini, veri madenciliği ve yöneylem araştırması ile strateji, tüketici davranışları ve saha satış ekipleriyle iş birliğini bir araya getirmektedir. (Chase 2007). İlk uygulamalar havayollarında yolcu biletleri ve otellerde oda rezervasyonlarında başlamıştır. Bugün süresi geçen değerlerin olduğu durumlarda çok farklı uygulamaları görülmektedir. ARP

uygulamalarında müşterilere sunulan araç kapasitesi de ömürlü bir değerdir. Başka bir deyişle, bir taşıma aracı için bir gün müşterilerden hiç sipariş alınmazsa o gün boş geçecek ve zaman geri gelmeyecektir. Eğer bir müşteriye hizmet ederse o zaman bir miktar gelir getirecektir. Aracın boş kaldığı zamanlarda hem araç tarafından bir gelir gelmeyecek hem de taşıma maliyetinin sabit kısmı hala geçerli olacaktır. Taşıma maliyetinin akaryakıt gibi değişken kısmı ise ancak araç hareket ettiğinde ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle düşük fiyatla erken rezervasyon yapmaya izin veren dinamik fiyatlandırma stratejisi geliştirip, araç doluluk oranlarını yükseltmek gereklidir. Erken rezervasyon yapılabilecek son zaman ve miktar hakkında limitler belirlenmelidir. Bu limitler önceki dönemlerdeki müşteri siparişlerinin incelenmesi ve ilerideki dönemde normal fiyatlarla ne kadar sipariş alınma ihtimalinin tahmin edilmesi ile hesaplanır. Böylece, araç kapasitesinin normal fiyatla satılamayacak kısmı belirlenir ve daha düşük fiyatla satışa açılmış olur.

Gelir yönetimindeki diğer amaçlar;

- Sektördeki işletmelerde kullanılan fiyatların etkin biçimdeki yapılandırılması,
- Arz-talep dengesinin sağlanması,
- Talep analizinin, pazar bölümlene ve uygun pazar anlayışıyla yapılması,
- Fiyatlarda uygulanan indirimlerdeki denetimin sağlanması,
- Pazar içerisinde yer alan bir bölümün pazardaki bir diğer bölümle arasındaki alışveriş ilişkisinin engellenmesi,
- Değişen fiyat ve talep dengesinin sağlanarak gelir ve pazar kaybının en aza indirilmesi,
- Araç güzergahını belirlemede maliyetin azaltılmasının sağlanması,
- Araç güzergahı belirlenirken maliyet/kalite dengesinin sağlanması,

Gelir yönetimi çerçevesinde amaçlanan gelir maksimizasyonu birçok sektör üzerine uyarlanmıştır. Özellikle lojistik sektörü üzerinde etkisi büyük firmaların lojistik operasyonlarına olan bakış açılarını değiştirmiştir ve işletmeleri pazara daha iyi uyum sağlamaya yöneltmiştir. Bu nedenle özellikle lojistik şirketleri gelir yönetimini uygulanmasını nakliye operasyonlarında gerçekleştirme çalışması içerisine girmişlerdir. (Arıkan, E., & Parlakkaya, R., 2017).

Verimli araç rotaları oluşturmak, onlarca yıldır çalışılan önemli bir lojistik problemi olmuştur. Firmalar teslimat yollarının uzunluğunu azaltabildiğinde veya araç sayısını azaltabildiğinde, müşterilerine daha iyi hizmet sunabilmek, daha verimli çalışabilmek ve pazar payını artırabilmek amacını güderler (Gromicho ve diğ., 2012). Klasik bir araç rotalama problemi (ARP), bir merkezi tedarik deposundan birden fazla müşteriye giden birden fazla aracın güzergahlarını aynı anda belirlemeyi ve her aracın kapasite sınırlarını aşmadan depoya geri dönmesini içermektedir. Maliyet, mesafe ile yakından ilişkili olduğu için, bir şirket müşteri talebini karşılamak için birkaç araç tarafından kat edilen minimum mesafeyi bulmayı hedeflemektedir. Bunu yaparken, firma beklenen servis düzeyini yükseltirken veya en azından sürdürürken maliyetleri en aza indirmeye çalışmaktadır (Kok ve diğ., 2012). Araç rotalarının seçilmesi işlemi, her bir araç için teslimat rotasının belirlenmesinde herhangi bir müşteri kombinasyonunun seçilmesine izin vermektedir. Bu nedenle, ARP, sorun için uygulanabilir çözümlerin sayısının hizmet verilecek müşteri sayısına göre katlanarak arttığı bir birleşimsel optimizasyon sorunu olmuştur. Ek olarak, ARP, her bir araç için merkezi bir konumdan bir geri dönüş turunun belirlendiği seyahat eden satıcı sorunuyla yakından ilgilidir (Ribeiro ve Laporte, 2012).

Firmalar nakliye operasyonlarında şirketlerin şehiriçi ve yurtiçi operasyonları kapsamında kullanmakta oldukları araçlar için araç rotalarının optimize edilmesi ve araç rotalamasının yapılarak gelirin maksimize edilmesi üzerine gelir yönetimi çalışmalarına yoğunlaşmıştır. Bu yüzden, bu çalışmada gelir yönetimi temel alınarak araç rotalama problemi çalışması yapılmıştır.

Tedarik zinciri yönetiminde ürün toplama ve dağıtım modellemeleri farklı maliyet yapıları ile birlikte servis seviyesi, rota planlaması ve zaman atama yönetimini eş zamanlı değerlendirmeyi gerektirmektedir. Bu değerlendirme her bir parametre için ayrı ayrı yapılabildiği gibi tüm parametrelerin ortak olarak ele alındığı bir model için de en uygun çözümün sağlanması önemlidir. Müşteri ürün grupları ve talep gereksinimleri bazında farklı araç tiplerine göre eş zamanlı toplama ve dağıtım planlaması yapmak için müşteri servis seviyesi ve doluluk oranları ile birlikte gelir yönetimi modellemesini de beraberinde değerlendirme gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Önerilen tezin amacı; gelir yönetimi stratejileri çerçevesinde, eş zamanlı toplama ve dağıtım yapan araçların toplam yol süresi ve toplam maliyeti düşürerek hizmet kalitesini iyileştirmek

ve müşteri talep seviyesini en üst düzeye çıkarmaktır. Çalışmada rotalar, meta sezgisel algoritmalarla karınca kolonisi algoritması ile belirlenmiştir. Müşteri memnuniyeti ve kullanılacak taşıma modunu göz önünde bulundurarak eşzamanlı toplama ve dağıtım probleminde araçlar, her müşteri lokasyonunda bir servis zamanı geçirecektir. Araçların kat edeceği yoldaki zamanlar ve müşterilerde yükleme ya da indirme sırasında geçirdiği bu servis zamanları toplandığında aracın ve sürücünün günlük çalışma süresi belirli bir maksimum süreyi geçmemelidir. Bu problemde, ulaşım talepleri uygun araç tipleri ile yapılacak olup her talebin en az sapma maliyeti ve gelir modeli bazında karşılanması sağlanmıştır. Her sevkiyat rotası, çalışma saatleri bazında belirlenecek olup, bir rotanın maliyeti, sabit bir ücret, toplam kilometre, aracın ve sürücünün toplam bekleme süresi gibi çeşitli faktörlerin konsolidasyonu ile belirlenmiştir.

Bu çalışma lojistik operasyonlarda yaygın olarak karşılaşılan eş zamanlı toplama ve dağıtım planlama araç rotalama problemini gelir yönetimi yaklaşımı ile birlikte ele alan yönüyle öncü bir çalışmadır. Bu araştırmanın yapıldığı zamana kadar olan diğer çalışmalar ya gider minimizasyonu odaklı ya da gelir maksimizasyonu odaklı çalışmalardır. Bu çalışma hem gelir ve gider unsurlarını bir arada ele alıp karlılığa yönelmekte hem de gelir yönetimi metodunun dinamik fiyatlandırma imkanını kullanarak kapasite kullanımını yüksek tutmayı amaçlamaktadır.

İkinci bölümde çalışmanın kavramsal yapısına dair bilgiler sunulmaktadır. Bu bölümde ilgili uygulamaların literatür çalışmaları ile gelir yönetimi ve araç rota planlama uygulamaları tartışılmaktadır.

Üçüncü bölüm malzeme ve yöntem bölümüdür. Ele alınan gelir yönetimi odaklı eş zamanlı dağıtım toplamalı araç rotalama problemi için düzenlenmiş matematiksel modeller sunulmaktadır.

Tez çalışmasının uygulaması dördüncü bölümde verilmektedir. Benzer çalışmalardan alınan örnek veriler ve bir firmadan alınan gerçek sipariş verileri, malzeme ve yöntem bölümünde önerilen algoritmaya uygulanmakta ve sonuçlar paylaşılmaktadır.

Çalışmanın son bölümünde ise elde edilen bulgular tartışılmakta ve gelecekte yapılacak çalışmalarla ilgili önerilerde bulunmaktadır.]

2. GENEL KISIMLAR

[Tezin bu bölümünde Gelir Yönetimi ve Araç Rotalama ile ilgili çalışmalar özetlenmiştir.

2.1. Gelir Yönetimi

Gelir Yönetimi (GY), kar veya geliri en üst düzeye çıkarmak için fiyatlar veya talep modellerine dayalı ürün mevcudiyeti gibi BT destekli talep yönetimi teorisi ve pratiğini ifade eder. Gelir yönetimi problemleri geçmişten bugüne kadar olan süre içerisinde belirli kapasite değerine sahip küçük ya da büyük firmaların gelirlerini en üst değere ulaştırmak için başvurdukları araştırma ve uygulama alanlarından birisidir. Bununla birlikte, GY teknikleri gelir optimizasyonu ile sınırlı değildir ve aslında kâr gibi diğer hedeflerin maksimize edilmesi için de kullanılır. GY, satışları ve diğer verileri talep tahminleri üretmek için otomatik olarak işleyen ve daha sonra talep yönetimi kararlarını optimize etmek için kullanılan, genellikle oldukça karmaşık bilgisayar sistemlerini kullanarak daha genel fiyatlandırma uygulamasından ayrılabilir. Gelir yönetiminin gelişmesinden bu yana, ulaşım (trenler, araba kiralama, feribotlar, kargo taşımacılığı), ağırlama (oteller, kumarhaneler), yayıncılık ve reklamcılık ve diğerleri de dahil olmak üzere birçok alanda yaygın olarak benimsenmiştir (Strauss ve diğ., 2018).

Kimes'in (Kimes, 1989) tanımlamasına göre “Doğru hizmetin, doğru zamanda ve doğru fiyattan tüketiciye sunulmasını sağlayan yönteme Gelir Yönetimi denilmektedir”. Gelir yönetimi iki farklı faktörün bir araya gelerek kombinasyon oluşturmasından meydana gelmektedir. Bu faktörler ise fiyat farklılaştırma ve bağlı kapasite yönetimi'dir. (Belobaba, 1987). Talebe cevap verecek optimal değerdeki kapasite ve optimal değerdeki fiyatlandırma politikalarının tespit edilmesi gelir yönetiminin uygulama alanına girmektedir.

Tarihte ilk defa hava yolu taşımacılığı alanında maliyetleri minimize etmek ve karlılığı en üst seviyeye ulaştırmak için kullanılan gelir yönetimi uçaklardaki kapasite kullanım etkinliğini ve verimliliğini yükseltmek için geliştirilmiş bir çalışmadır. Geçmiş yıllarda devletlerin havacılık sektöründeki fiyat belirleme yapısının azalması ile birlikte havayolu şirketleri fiyat serbestisine kavuşarak fiyatları düşürüp hem daha çok yolcuya ulaşmak hem de kapasite kullanım oranlarını arttırarak toplam gelirlerini arttırmayı hedeflemişlerdir. Bu çalışmalar sektörün hızlı bir şekilde değişerek gelişmesini sağlamıştır (Cross, 1998).

Gelir Yönetimi (GY), etkin bir fiyatlandırma ve / veya kapasite tahsis stratejileri yoluyla bir mal veya hizmet için talebi kontrol ederek gelirleri en üst düzeye çıkarma sanatıdır. Temel olarak süreç, zaman içinde fiyat-talep dinamiklerini tahmin etmeyi ve satış ufku üzerindeki talebi, aynı ürün için ödemeye istekli olmadaki değişimleri müşterilerin arasında ve zamanın ufku sırasında kullanabilmek için fiyat değiştirerek kontrol etmeyi içerir. GY'ni, her bir ürünü doğru müşteriye doğru zamanda doğru fiyata satarak, doğru zamanda doğru fiyat arasındaki ilişkinin önemini vurgulayarak, geliri artırma uygulaması olarak tanımlamaktadır (Pak ve diğ., 2002).

Gelir Yönetimi, geliri en üst değere ulaştırmayı hedeflemektedir. Fiyatlandırma ve kapasite kullanım oranları ayrı ayrı ve aynı anda her ikisini eş zamanlı olarak en yüksek geliri sağlayacak modelde kısıtların kullanımı gerçekleştirilmektedir. Gelir Yönetimi'nin ana amacı geliri yükselterek karlılığı sürdürülebilir olarak artırılmasını sağlamaktır (Emeksiz, 2002).

2.1.1. Gelir Yönetimi Ekonomik Etkileri

Gelir yönetimi uygulamalarında sektör bağımsız olarak sunulan hizmetler için sürenin belirli olması ve fiyatların değişken olabilmesi ön koşul olarak baz alınmaktadır.

Gürel ve Kayar'ın yaptıkları çalışmalarda mevcut dönemimizdeki rekabet yapısını aşmak ve firmaların rakiplerinden ayrışabilmesi için hizmet alanındaki tüm uygulamalara gelir yönetimi yaklaşımı ile ele alınması gerektiğinin önemi belirtmişlerdir.

Orkin'e (1988) göre gelir yönetimi sistemlerinin temel amacı, potansiyel gelir hedefine olabildiğince yakın bir gelir hedefi elde ederek geliri en üst düzeye çıkarmaktır. Bir malın fiyatını belirlemek, ekonomik teorinin en eski ve en temel sorularından biridir. Teorik olarak, çok sayıda tedarikçinin piyasaya özdeş bir ürün sunduğu mükemmel bir rekabet ortamında, piyasadaki talep dengesi, firmalara fiyat belirler ve satıcı bir fiyat alıcısıdır ve üzerinde kontrol sahibi değildir. Ancak, gerçek hayatta piyasada bir emtia için az sayıda tedarikçi olabilir ve / veya emtialar, fiyatı müşterileri kontrol etme fırsatı veren kalite, marka ve diğer spesifikasyonlarla ayırt edilebilmektedir. Fiyatlandırma sorunu, bir emtia için benzersiz bir sabit pazar ayarlamakla sınırlı değildir. Aynı emtia, farklı müşterilere farklı fiyatlardan teklif verilebilir, bu durumda karar vericinin tüm bu fiyatları belirlemekten sorumlu olması konu olmuştur. Bu fiyat stratejisine fiyat ayrımcılığı denir, çünkü daha yüksek fiyatlar alan müşteriler

ayrımcılığa uğramaktadır. Fiyat ayrımcılığı, satıcının, söz konusu mallar için müşterilerin değerlemesindeki farklılıklardan yararlanmasını ve gelirleri artırmasını sağlamaktadır (Ryzin ve diğ., 2005).

Yousef (2007), gelir yönetimi uygulamalarında firmalar ve bağlı sektörleri için geçmiş satış verilerinden talep tahmin analizlerini gerçekleştirerek bu analizlerle güncel sipariş değerlerinin birleşimini alıp, zaman, ürün ve dinamik fiyat kavramları ile ortak bir strateji oluşturmanın gerekliliğini vurgulamıştır. Bu ortak strateji sayesinde tüm alanlardaki kapasite kullanım oranını en üst seviyeye taşıyarak toplam geliri arttırılması hedeflenmiştir. Bunun sektörler bazında uygulanabilmesi için kapasite kullanım oran bilgilerinin sektörel olarak düzenli bir şekilde paylaşılmasının öneminden bahsetmiştir.

2.1.2. Gelir Yönetiminin Tarihçesi

Gelir yönetimi ilk olarak 1987 yılında Belobaba tarafından ortaya atılmıştır. Gelir yönetimi uygulamasının ortaya çıkışı ve gelişimi, havayolu endüstrisine yakından bağlı olmaktadır. Yeni iş uygulamalarının geliştirilmesi, mevcut yöntemlerin eksiklikleri ile motive edilmektedir. Hava ulaştırıcılığı sektöründe, belli bir uçuştaki koltuklar, uçağın kalkışından sonra değersiz olan, bozulabilen ürünler olarak görülmektedir. Bu bakımdan, her boş koltuk, ilave gelir elde etmek için kaçırılmış bir fırsattır ve doğal olarak havayolu firmaları, bu fırsattan yararlanmak için yük faktörlerini, satılan kapasite yüzdesini artırmak istemektedir. Boş koltuklarla ilgili iki ana parametre satılmamış koltuk stoku ve konfirme edilmiş uçuş rezervasyonunun iptal edilmeksizin kullanılmaması (no-show) olmuştur. Konfirme edilmiş uçuş rezervasyonların iptal edilmeksizin kullanılmamasını telafi etmek için karar vericiler, kapasite üzeri rezervasyon fikrini ortaya çıkarmışlardır. Amaç satış miktarının, koltukların ilave gelir elde etmek için yolcu kapasitenin üzerinde koyulması olmuştur. ABD'de havayolları, 1960'larda halka açık bir şekilde onay almadan kapasite üzeri rezervasyon kullanmaya başlanmıştır. Rothstein (1985) “tüm büyük havayollarının kasten kapasite üzeri rezervasyon yapıldığı konusunda kamuya açık kanıtlar bulunduğunu” yeniden bildirilmiştir.

Kapasiteden fazla rezervasyon yapılması, kapasitelerin dengelenmesi ve rezervasyon iptallerinin yapılması konusundaki başarısını kanıtlamıştır, ancak uçak kapasitesinin ve bilet fiyatının esnekliği hala düşük yük faktörü için potansiyel bir tehdit oluşturmıştır. 1970'lerde

hava ulaştırmacılığının fiyat esnekliğı kabul edilmiştir; uygun fiyatla seyahat edenler karayolu taşımacılığından hava taşımacılığına geçmiştir. 1978’de, Havayolu Yasası, ABD’deki taşıyıcıları fiyatlarını değiştirmek için serbest bırakmıştır. Dahası, 1970’lerin sonunda, fiyatlar oldukça düşük olduğunda, diğer ulaşım araçlarından hava taşımacılığına geçiş yapabilen elastik yolcu talebi, düşük maliyetli taşıyıcıları ve kiralamaları piyasaya girmeye motive etmiştir. Bu nedenle, serbestleştirmeden kaynaklanan fiyat esnekliğı ve rakiplerin neden olduğu rekabet, hava taşımacılığında gelir yönetiminin doğuşunu tetiklemiştir (Adelman, 2007).

Düşük maliyet taşıyıcılarının tehdidiyle karşı karşıya kalan büyük havayolları, fiyatlara duyarlı yolcularını yeniden yakalamak için bir strateji geliştirmek zorunda kalmıştır. Bu yeni talep potansiyelinden yararlanmak için bu yeni segmente indirim biletleri getirilmiştir. Rezervasyon fiyatları düşük ve seyahat tarihlerinde daha fazla esnekliğe sahip yolcular için önceden satın alma ve cumartesi konaklama kısıtlamaları kapsamında gidiş-dönüş rezervasyonlarında indirim uygulanmıştır. 1985 yılında American Airlines düşük maliyetli taşıyıcılarla rekabet etmeye çalışmıştır ve süper tasarruf indirim biletlerini piyasaya sürmüştür (Smith ve diğ., 1992). Tasarruf içerikli indirim biletlerinin satın alma kısıtlamaları olduğundan iade edilemez ve uçak kalkışından en az 7 gün önce satın alınması gerekiyordu. Satın alma kısıtlamaları, iş amaçlı seyahat edenlerin düşük bilet fiyatlarından yararlanmasını önlemek için belirlenmiştir. Rezervasyonlarını daha sonra yapması beklenen yüksek maliyetle bilet alabilen müşterilerinin koltuklarını korumak için kapasite kısıtlamaları kullanılmış ve her uçuşta verilen indirim koltukların sayısı da sınırlandırılmıştır (Bertsimas, 2003).

Little-wood (1972), iki segment-indirim ve normal ücret-fiyat ayrımcılık planını incelenmiştir. İndirimli ücret yer değiştirme maliyetinin üzerinde olduğu sürece indirimli biletleri satmaya devam etmenin optimal olduğunu kanıtlanmıştır. Bu durum olası bir normal ücretli müşteriyi geri çevirmenin beklenen zararı olmuştur. Bu yöntem, miktara dayalı gelir yönetimi için matematiksel yöntem olarak kabul edilir ve çalışma GY uygulama tarihinin bir dönüm noktasıdır. Miktar bazlı GY, talep yönetimi için envanter veya kapasite tahsis kararlarının kullanıldığı GY uygulamaları sınıfını ifade etmektedir. Fiyat, talebi yönetmek için birincil araç olarak kullanılabilmektedir ve bu tür GY uygulamaları, fiyat tabanlı GY olarak sınıflandırılmıştır (Bertsimas ve Popescu, 2003).

American Airlines deneyiminin başarısından sonra, sektördeki diğer firmalar da GY uygulamaya başlanmıştır (Smith ve diğ., 1992). GY uygulamalarının öncesi dönemine kıyasla

%2 ile %8'lik bir gelir artışı bildirilmiştir. Teknolojik gelişmeler ve bilimsel ilerleme zamanla daha karmaşık tekniklerin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Günümüzde GY, hava taşımacılığı sektöründeki hem büyük hem de düşük maliyetli taşıyıcılar için önemli bir uygulamadır. Bertimas ve diğ., (2003) tarafından, GY otel odaları, kiralık arabalar, konserler ve oyun biletleri ve benzeri çeşitli diğer malların fiyatlandırılmasında kullanılmıştır.

Gelir Yönetimi sayesinde müşterilerden gelen talep ile sisteme dahil olan kapasite ve fiyatların dengeli bir modelde opere edilmesi sonucu toplam maliyet azalmış ve sistem verimliliğinin kullanım oranı yükselmiştir. (Özel vd., 2016). Uçuş planı belirli olan bir uçağın kalkış oluncaya kadar bilet kapasitesinin tamamının satılamaması ve elde kalan kapasiteye ait biletlerin ekonomik anlamını kaybetmesi stoklanamayan ürün denilmektedir. (Bilişik ve Gürgen, 2012).

Günümüzde bu kapsamda literatürün detaylı incelenmesi sonucu gelir yönetiminin üzerine yapılan çalışmaların gittikçe arttığı gözlemlenmektedir. Gelir Yönetimi uygulaması ile mevcutta bulunan kaynağın en optimum şekilde kullanılması sonucu gelirlerin pozitif anlamda etkilenmesi amaçlanmaktadır. Gelir Yönetimi uygulamasında gelirlerin en üst seviyeye çıkarılması için ürün satış fiyatının mümkün olan en doğru şekilde belirlenmesi gerekmektedir (Bilişik, 2011).

2.1.3. Gelir Yönetimi ve Kapasite Kontrolü

Birden fazla ürün veya hizmet üretme veya sunma sürecinde tüketilen ve sonlu bir zaman diliminde tüketilmesi gereken belirli bir kaynağın sabit kapasitesine sahip bir firmanın sorunu, uygun dinamik kontrolleri seçerek beklenen toplam geliri maksimize etmektir. Bu sorunun iyi çalışılmış iki çeşidi bulunmaktadır. Birincisinde, firmanın tek elci olduğu veya kusursuz bir rekabet içinde olan bir pazarda faaliyet gösterdiği ve bu nedenle fiyatını değiştirerek her ürüne olan talebi etkileme gücüne sahip olduğu varsayılmaktadır. Bu ortamda, firmanın sorunu beklenen gelirleri optimize etmek için her bir ürünü için dinamik bir fiyatlandırma stratejisi seçmektir. İkinci varyasyonda, fiyatların rekabetle veya daha yüksek dereceli bir optimizasyon problemi ile sabitlendiği varsayılmaktadır ve firmanın problemi şimdi bunların her biri için yeni taleplerin ne zaman kabul edileceğini kontrol eden dinamik bir kapasite tahsis kuralını seçmektir. Devamında, bu iki soruna sırasıyla “dinamik fiyat” ve “kapasite kontrolü” formülasyonları denir. Bu tür gelir yönetimi problemleri, 1970'lerin sonunda havayolu

endüstrisinde ilgi çekmeye başlamış ve o zamandan beri oteller, yolcu gemileri, kiralık arabalar, perakende satış vb. diğer alanlarda başarıyla uygulanmıştır (Maglaras ve Meissner, 2006).

Özellikle, Gallego ve Ryzin (1997) tarafından ortaya konan çoklu ürün dinamik fiyatlandırma probleminin ve Lee ve Hersh (1993) 'ün kapasite kontrol probleminin bu ortak çerçevede yeniden şekillenebileceğini ve tek bir kişinin farklı örnekleri olarak ele alınabileceğini gösterilmektedir.

Ulaştırma, turizm, eğlence, medya ve internet sağlayıcıları gibi kapasite kısıtlı hizmet endüstrileri, toplam gelirleri maksimize etmek amacıyla sınırlı, bozulabilir stoklarını farklı pazar segmentlerinden talep etmeye akılcıca tahsis etme sorunuyla sürekli olarak karşı karşıya kalmaktadır. Gelir Yönetimi bu tür bir sorunun altında yatan teori ve pratik ile ilgilidir. Hava yolları için yapılan düzenlemelerin ardından gelir yönetimi teknikleri, sektörün gelişimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olmuş ve şirket içi gelirlerde %4 ila %10 arasında artış sağlanmıştır (Fuchs, 1987). Örneğin, 1997'de American Airlines, gelir yönetimini uygulayarak şirketin karının çoğunu temsil eden bir milyar dolar toplanmıştır (Cook, 1998).

Optimizasyon teknikleri, özellikle koltuk tahsis modelleri için gelir yönetimi araçlarının geliştirilmesinde önemli olmuştur. Bu çalışmada, bir ağ ortamında, çoklu sınıflar için, stokastik talebe ilişkin stokları dağıtmaya yönelik dinamik politikaların tasarımı araştırılmak istenmektedir. Özellikle, zaman içinde bir öğretim noktasının şu anda mevcut envantere, geçmiş satışlara ve gelecekteki potansiyel talebe dayalı olarak beklenen toplamı en üst düzeye çıkarmak için kabul ettiği veya reddettiği gelirler temeline dayalı bir destek aracı tasarlanmıştır (Ryzin ve diğ., 2005).

2.1.4. Gelir Yönetiminde Dinamik Teklif Fiyatları

“Teklif fiyat kontrolleri” kavramı, on yıldan uzun bir süredir gelir yönetiminde güçlü ve etkili bir çözüm kavramı olmuştur (Talluri & van Ryzin, 1998). Örneğin büyük havayolları, satış için müşteri ücret sınıflarını ne zaman açıp kapatacağına karar vermek için teklif fiyatı kontrol politikalarını kullanmıştır. Daha genel olarak, kaynak arzının sabit olduğu ve müşteri taleplerinin çeşitli kaynak yapılandırmalarını tüketmek için sınırlı bir süre içinde ulaştıkları gelir yönetimi ayarlarında kullanılabilir. Gelen talepler, zaman dilimi boyunca beklenen karı maksimize etmek amacıyla kabul edilmekte veya reddedilmektedir. Temel teklif-fiyat

kontrolü fikri basittir: Kazanılan gelir, teklif fiyatlarının ölçtüğü şekilde tüketilen kaynakların değerini aşıyorsa, talebi kabul etmektir. Tipik olarak, teklif fiyatları, basit bir belirleyici doğrusal programın optimal ikili fiyatları, yani marjinal kaynak değerleri olarak hesaplanmaktadır (Adelman, 2007).

Kontrol altındaki sistem dinamik olsa da bugüne kadar sadece zamanın fonksiyonu olarak değişmeyen statik teklif fiyatlarının hesaplanması için modeller mevcut olmuştur. Dinamik olarak değişen fiyatların etkisi, statik ihale fiyat modelini sistemin ilerledikçe zaman içinde yeniden çözerek yaratılmaktadır. Tek bir modelde, aynı anda, teklif fiyatlarının zaman içindeki bir yörüngesini hesaplamak için izlenebilir bir model oluşturmak ve araştırmak için bu model zaman içinde yeniden çözülebilir ve bu iyi bir strateji olarak ortaya çıkmakta, ancak sistem dinamiklerinin bir şekilde hesaplanırken hesaba katılması gerektiğinden dolayı fiyatlar daha doğru ve etkili olmaktadır (Adelman, 2007).

$$v_t(\vec{r}) \approx \theta_t + \sum_i V_{t,i} r_i \quad (1)$$

Adelman (2007) 'a göre, bu matematiksel ifadeden standart teklif fiyat doğrusal programı türetilmiştir. Bu işlem, formülde bulunan optimallik denklemlerinin doğrusal bir programlama formülasyonuna yerleştirilerek ve sonra da ikilideki kısıtlamaların toplanmasıyla yapılmıştır. Böylelikle, dinamik teklif fiyatlarını (V_{ti}) hesaplayan orta seviye programın, doğrusal programından daha güçlü sınırlar sağladığını gösterilmektedir. Ayrıca, standart, statik teklif fiyatlarını dinamik fiyatlara yaklaştırarak yorum yapılabilmektedir.

2.1.5. Gelir Yönetiminde Risk ve Dinamik Fiyatlandırma

Son yıllarda, havayolu ve otel endüstrilerinde gelir yönetiminin yaygın olarak bildirdiği başarılar ve çevrimiçi rezervasyon ve perakende satış sistemlerinin genişlemesi, birçok yeni alanda gelir yönetimi ve dinamik fiyatlandırmaya olan ilgiyi artırmıştır. Gelir yönetimi uygulamaları, navlun taşımacılığı, otomobil kiralama hizmetleri, yayıncılık reklam, spor ve eğlence etkinliği yönetimi ile mal stok envanteri, tıbbi hizmetler ve emlak gibi farklı alanlarda uygulanmış veya önerilmiştir. Bu alanlardaki uygulamaların ayrıntıları farklılık göstermektedir, ancak çoğu temel nitelikler grubunu paylaşmaktadır: bazı envanter kalemlerinin sınırlı bir arzı, satışların gerçekleşebileceği sabit bir zaman aralığı ve stokastik olarak değişen talep. Tipik bir amaç beklenen gelirleri bir veya iki yaklaşımın bir kombinasyonu ile en üst düzeye çıkarmaktır:

- Farklı fiyatlarda birden fazla ürün "sınıfı" sunmak ve zaman içinde bu sınıflara sabit envanter tahsisini değiştirmek veya
- Tek bir ürün sınıfı sunmak ve zaman içinde fiyatı dinamik olarak değiştirmek (Levin ve diğ., 2008)

Gelir yönetimi ve ilgili uygulamalar hakkında geniş bir literatür bulunmaktadır. Anketler için McGill ve van Ryzin (1999), Belobaba (1987), Weatherford ve Bodily (1992), Bitran ve Caldentey (2003), Chan ve diğ. (2004), Elmaghraby ve Keskinocak (2003) ve Yano ve Gilbert (2004) çalışmaları incelenmiştir. Gelir yönetiminin çeşitli yönleriyle ilgili geniş bir tartışma Talluri ve van Ryzin (2004) ve Phillips (2005) tarafından yayımlanmış olan kitaplarda bulunmaktadır (Levin ve diğ., 2008). Erdelyi ve Topalolu (2010) tarafından yapılan çalışmada havayolu sektörü için kapasite üzeri rezervasyon limitlerinin belirlenmesi için bir dinamik programlama metodu çalışılmıştır. Huang ve diğ. (2013), birbirlerine göre aynı hizmet seviyesi için paralel uçuşlarda programlarında değerlendirilebilecek bir kapasite üzerinde bulunan rezervasyon modeli üzerinde çalışmışlardır. Zhang ve Chen (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmada beklenti ötesinde negatif etkiye sahip olan yolcuların tepkilerine ait sonuçların araştırılması gerçekleştirilmiştir. Zou ve diğ. (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise kapasite üzeri rezervasyonun sadece yolcu hizmetlerine değil aynı zamanda kargo hizmetlerine de uygulanabileceği konusunu incelemişlerdir. Zou ve diğ. (2013) tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada yerel kararlar yerine daha üst kapsamdan bakan kararlar alınan kapasite üzeri rezervasyonlardan daha etkin sonuçlara ulaşıldığını tespit etmiştir.

Ulaştırma ve konaklama hizmetlerinde geleneksel gelir yönetimi optimizasyon modellerinde amaç, nihai sorunlarda gerçekleşen sorun durum değişkenliklerini dikkate almadan, elden çıkarma süresi sonunda beklenen geliri en üst düzeye çıkarmaktır.

Envanter kontrol ve fiyatlandırma stratejileri yüzlerce veya binlerce problem örneğinde (örneğin ardışık uçuş kalkışları) uygulandığından ve tek bir gerçekleşmenin şirket gelirleri üzerinde ciddi bir etki yaratmadığında, bu uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu uygulamalarda büyük sayılar yasası, risksiz ve tarafsız stratejiler kullanıldığı sürece, uzun vadeli ortalama gelirlerin en üst düzeye çıkarılması sağlamaktadır (Levin ve diğ., 2008).

2.2.Araç Rotalama Problemleri

Taşımacılık ve lojistik firmaları için en önemli araştırma alanlarından biri nakliye operasyonlarının belirli kısıt ve koşullar altında optimize edilmesini sağlamaktır. Taşımacılık firmaları toplam nakliye maliyetini minimize etmeyi amaçlamanın yanında eş zamanlı olarak kendi sektördeki pozisyonlarını güçlendirmeyi hedeflemektedirler. Rekabet yapısının yüksek olduğu bu sektörde pozisyonlarını korumak için tüm şirketler için müşteri memnuniyeti ölçmek ve en üst değerde tutmak çok önemlidir.

Tanım olarak lojistik, genel anlamda bir tedarik noktasından temin edilen bir ürün veya hizmetin çeşitli talep noktalarına taşınması işlemidir. Bunu genişletmek gerekirse tam bir lojistik sistemi tedarikçinin tedarikçisinden başlayıp son müşteriye kadar ulaşmayı sağlayan sistemin bütünüdür. Bu nedenle lojistik sisteminde etkili bir taşıma yönetimine ihtiyaç duyulmaktadır. Etkin bir dağıtım sistemi ise araç rotalama ile mümkün olmaktadır (Karahan, 2003).

Araç rotalama problemi (ARP) 1959'da Dantzig ve Ramser tarafından ele alınmıştır. Takip eden süreçte gelişim göstermiştir. Araç rotalama sürecinde alınacak kararlar müşterilere ziyaretlerin sırasını belirlemekte olup bir dizi yol planı oluşturmaktadır. Depodan bir rota ayrılır ve siparişleri yerine getirerek bir araç tarafından müşterilere yapılan bir ziyaret sırası yapısı belirlemektedir. En yaygın amaç, seyahat mesafesinin veya seyahat süresinin bir fonksiyonu olarak nakliye maliyetlerinin en aza indirilmesi olmuştur. Araçlar ve sürücülerle ilgili sabit maliyetler düşünülebilir ve bu nedenle araç sayısı da en aza indirilebilmektedir. Başka bir amaç, yük kapasitesinin yüzdesi (yüksek, daha iyi) olarak ifade edilen araç verimliliğini dikkate alabilmektedir. Diğer ortak hedefler toplam rota uzunluğunu en aza indirmek ve rota sayısını en aza indirmektir (Düzakın ve Denircioğlu, 2009).

ARP'nin elemanları modeli tanımlar ve gerekli sınırları koymaktadır. ARP modelinin unsurları şunlardır: müşteriler ve depolar arasındaki bağlantıyı açıklayan karayolu ağı; karayolu ağı üzerindeki müşteriler ve depolar arasında mal taşıyan araçlar; sipariş veren ve mal alan müşterilerdir (Rizzoli ve diğ., 2005). ARP, ulaştırma, dağıtım ve lojistik alanlarında en çok analiz edilen problemlerden biri olmuştur. Önceden tanımlı olan müşteri gruplarına hizmet vermek için bir araç filosu tarafından gerçekleştirilecek en uygun rota setinin belirlenmesini gerektirmektedir (Toth ve Vigo, 2014). 1959'da Dantzig ve Ramser tarafından tanıtılmıştır ve

homojen bir kamyon filosunun, merkezi bir merkezden ve minimum seyahat mesafesinden bir dizi benzin istasyonunun ağına nasıl hizmet edebileceğini modellemiştir (Dantzig ve Ramser, 1959).

1964 yılında Clarke ve Wright (1964), bu problemi, işletme araştırması alanında en çok çalışılan konulardan biri olan ARP olarak bilinen doğrusal bir optimizasyon problemine genelleştirmiştir. ARP, son yıllarda yaygın olarak çalışılmıştır ve en önemli kombinasyonel optimizasyon problemlerinden biri olup tam sayılı bir NP tam programlama problemidir. Bu nedenle, optimal olarak çözülebilecek sorunların boyutu sınırlı olmuştur. Sorun, çözüm maliyetini en aza indirmek ve bir araç filosuyla çok sayıda müşteriye hizmet etmektir. Maliyet, müşterilere hizmet etmek için gereken mesafeye veya süreye katlanabilmektedir. Sorunun yeni değişkenleri çeşitli sınırlamalar ekleyerek yapılabilmektedir. Araç rotası problemleri, okul otobüsü rotası, posta kutularından postaların toplanması, engelli kişilerin taşınması, satıcı makinelerinden madeni paraların toplanması, önleyici bakım denetimi ve gıda dağıtımı gibi ulaşım ve lojistik alanındaki birçok gerçek yaşam uygulamalarında ortaya çıkmaktadır (Koç ve Karaoğlu, 2012).

En temel ve iyi çalışılmış rotalama problemi, bir satıcının bir şehir kümesini ziyaret edip, başladığı şehre geri dönmek olduğu Gezici Satıcı Problemi'dir (GSP). GSP'nin amacı, satıcı tarafından seyahat edilen toplam mesafeyi en aza indirmektir. Araç yönlendirme problemi (ARP), GSP'nin, güzergahında yer alan bir depoda başlayan bir tur olduğu ve belirli bir siparişte müşterilerin bir alt kümesini ziyaret edip geri döndüğü m sayıda depoyu içeren bir sorunun çözümünde birleştirilmektedir. Tüm müşteriler için bir defa uğranılmalı ve bir rotanın toplam müşteri talebi araç kapasitesini aşmamalıdır. Teknoloji ve üretimin gelişimi araştırmacılara yeni zorluklar getirmiştir. Bir yandan, Elektronik Ticaret, Global Konumlandırma Sistemi, İstihbarat Ulaştırma Sistemi, Coğrafi Bilgi Sistemi ve Global Mobil iletişim Sistemi gibi yeni teknikler; öte yandan müşterilerden gelen talepler de çeşitlenmektedir. ARP, kurye posta veya paketlerinin alınması, yaşlı ve özürlü kişilerin taşınması için otobüslerin gönderilmesi, özel hane halklarına petrol dağıtımı vb. için uygulanabilmektedir.

Standart ARP, Kapasiteli Araç Rotalama Problemidir (KARP). KARP'de, her aracın yükleme kapasitesinde bir sınırlama bulunmaktadır. Bu en temel ARP'dir ve ARP'nin diğer tüm varyantları standart soruna dayanmaktadır. Araç rotalama probleminde her araç en az bir rota olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle araç, rota ve müşteri eşleşmesini sağlamak aynı zamanda

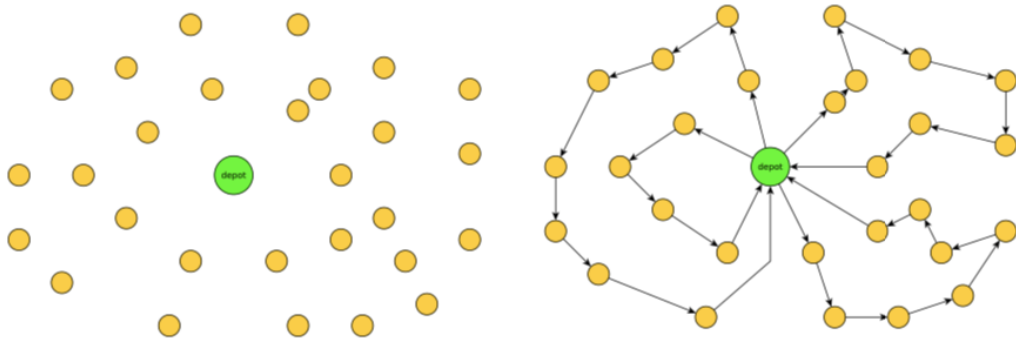
bir çizelgeleme problemleri olarak tanımlayan çalışmalar da literatürde mevcuttur (Zhao ve diğ., 2005).

Klasik bir araç rotalama probleminde yer alan varsayımlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- Müşteri talepleri
- Taleplerin tek bir depodan dağıtımı
- Araçların homojen olması ve depoda hazır halde olması,
- Depolar arası ulaşım süreleri,
- Müşteriler arası ulaşım süreleri,
- Mevcut müşterilere uğramak üzere yalnızca bir araç hizmeti,
- Araçların başlangıç ve bitiş noktalarının belirli bir depo olması

Yukarıda belirtilen koşullar altında, ARP’de birden çok sayıda amaç fonksiyonu eş zamanlı olarak değerlendirilebilmektedir. En çok uygulanan amaç fonksiyonu toplam ulaşım maliyetini minimize etmek için araçların sabit maliyeti ve kat ettikleri km ile seyahat süresini baz alan fonksiyondur. Buna ek olarak önceden belirlenen müşterilere ulaşmak ve taleplere cevap vermek için gereksinim duyulan toplam araç sayısını azaltarak, müşterilere eksik ürün ve farklı günlerde dağıtım yapılması nedeni ile oluşacak reklamasyon değerlerini en küçükleme gibi fonksiyonlar sisteme dahil edilebilmektedirler (Ryzin ve diğ., 2005).

Araç rotalama problemleri sahip olduğu kısıt çeşitlerine göre farklı sınıflara ayrılmaktadır. Bu problemlerin çözümü için gereksinim duyulan çözücü değeri problemin boyutuyla birlikte üstel olarak artmaktadır (Ryzin ve diğ., 2005).



Şekil 2.1: ARP problemine bir örnek ve olası bir çözüm (Pak & Piersma, 2002).

2.2.1. ARP’de Yer Alan Kavramlar

- **Araçların Rota Ağı:** ARP’de talep adresleri ve dağıtım birimleri bir akış ile nokta değerleri ile belirtilmiştir. Bu belirtilen değerler arasında ve müşteri noktaları arası değerleri siparişler ile desteklendiğinde alternatif yol olarak tanımlanmaktadır. Çözüm olarak belirlenen her doğru, amaç fonksiyonun maliyet değerinin uzunluğu ile doğru orantılı olarak belirlenen kısıtlar çerçevesinde etkilemektedir.
- **Müşteriler:** ARP problemlerinde talep noktaları olan müşteriler önceden bilgisi iletilen bir talep değeri ve sabit bir adresten hizmet almaktadır. Tüm müşteriler ait adres bilgileri sistem ve dağıtım firması tarafından bilinmekte olup bu noktaların dağıtım firması ve kendi aralarında olan toplam mesafeler de ölçümlenmektedir. (Yazgan ve diğ., 2015).
- **Dağıtımıcılar:** ARP çeşitlerinde dağıtımıcılara ait çalışma zamanları ile dinlenme saat dilimleri önceden tanımlanmıştır. Rota planlaması yapılırken bu saatler kısıt olarak sisteme dahil edilmelidir.
- **Depolar ve Dağıtım Merkezleri:** Gelen talepler için araçların dönem başında çıkış yapıp dönem sonunda vardıkları yerlere depolar veya dağıtım merkezleri ile işletme merkez veya noktaları olarak tanımlanmaktadır. Bu noktalar genellikle bir adet olup bazı ARP çeşitlerinde farklı olarak da tanımlanabilmektedir. Çok sayıda olan depolar için ek kapasitelerin tanımlanması gerekmektedir.
- **Araçlar:** Rota sayısına göre belirlenen araçlar firmalar ve uygulamalar bazında değişmekle birlikte genellikle araç sayıları sabit değildir. Rota sayısındaki değişikliğe göre araç sayısı da değişmektedir. Bu araçların türlerine göre kapasite diğerleri ve giriş çıkış rota kısıtları bulunur. Aynı tür ve/veya farklı tür ve tipte de olabilen araçlar için farklı müşterilere istinaden farklı rotalama yapılabilir. (Yazgan ve diğ., 2015).

2.2.2. Bir ARP’de Yer Alan Prensipler

Teorik araştırmalar neticesinde pratik saha uygulamaları için aşağıda belirtilen 8 prensibin uygun rota belirleme çalışmaları için göz önünde bulundurulması gerekliliği tespit edilmiştir (Ballou ve Tayi, 1999).

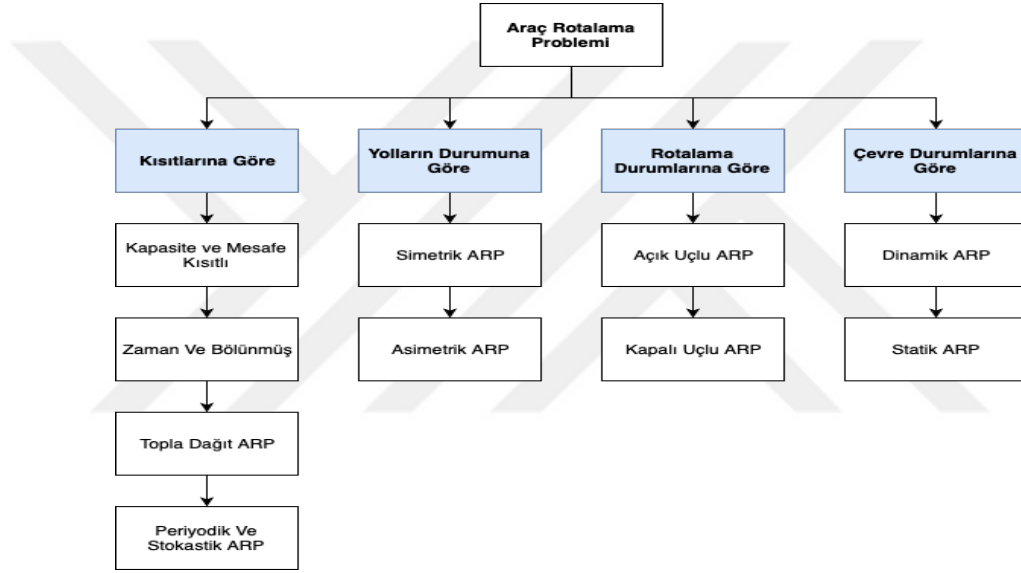
- Talep noktaları içinde en yakın olanlar rota dahilinde seçilmelidir. Böylelikle toplam mesafe en küçük değere ulaşmaktadır.
- Değişik değere sahip siparişler verimlilik için birleştirilmelidir. Bu sayede aynı noktalara birden çok defa gidilmesinin önlenmiş olmaktadır.
- Rotalara atama yapılırken öncelikle dağıtım merkezinden mesafe olarak en uzak müşteri adresinden dağıtıma başlanmalıdır.
- Belirlenecek rotalama şekli, gözyaşı veya yağmur damlası modelinde olmalıdır. Böylelikle uzak noktalar için mesafe cinsinden kat edilen yol azaltılmış olur.
- Araçları seçerken yol ve trafik kısıtı yok ise kapasite yüksek olan araçlar sisteme dahil edilmelidir. Kısıt değerini yüksek tutarak ikinci turların önüne geçilir.
- Sistem tasarımında ve ürün tip ve seçeneklerine göre dağıtım ve toplama yapan araç aynı araç olmalıdır. Böylelikle toplam zaman ve toplam mesafe değeri azaltılmış olur.
- Belirlenen rota sınıfları ve alternatifleri haricindeki noktalar için en küçük tiptekiler araçlar ile hizmet verilmelidir.
- Rotalarda verimlilik sağlamak için gerektiği durumlarda sipariş zamanları ve büyüklükleri müşteriler ile konuşularak revize edilmelidir (Ballou ve Tayi, 1999).

2.2.3. Araç Rotalama Problemi Tipleri

Klasik yöntemde ARP uygulandığında belirlenen rotaların çıktığı noktaya tekrar geri dönmesi üzerine kurgulanmaktadır. Bu sisteme eklenebilecek kısıtlar olarak her müşteriye bir zaman aralığı için bir kez uğranılması, araç kapasitelerin tipler bazında belirli olması, müşterinin istediği zaman aralıklarına göre müşteriye hizmet verilmesi olabilmektedir. Ayrıca toplam hizmet süresi, dağıtım personeli çalışma süresi, bir rotada bir müşteri için tek bir siparişin ve/veya gruplanmış siparişlerin olması, rotadaki araçlar için toplam günlük hizmet saati ile

müşteriler bazında öncelik atama kısıtı rota belirlemede kısıtlar kümesine eklenebilir (Laporte, 1992).

Temel ARP, homojen bir filo, tek bir depo, araç başına bir rota vb. kullanımı da dahil olmak üzere birçok varsayımda bulunmaktadır. Bu varsayımlar, soruna ek sınırlamalar getirilerek ortadan kaldırılabilir. Bu, problemin karmaşıklığını arttırmayı ve kısıtlama ile genişletilmiş problemi zor bir problem olarak sınıflandırılmıştır. Bu ek kısıtlamaların çoğunun, bu tür problemlerin çözülmesinin karmaşıklığından dolayı, entegrasyon olmadan, çoğu zaman izolasyonda uygulandığına dikkat edilmelidir (Laporte, 1992).



Şekil.2.2: Araç Rotalama Problemi Tipleri

Aşağıda ARP için alternatif kısıtların olduğu seçeneklere istinaden alt bir sınıflandırma yapılmıştır.

2.2.4. Kısıtlarına Göre ARP

- **Kapasite ve Mesafe Kısıtlı:** ARP'nin en yaygın tipi olan kapasite kısıtlı ARP için araçlar bazında her aracın alabileceği bir sınırın üzerine mesafe kısıtı eklendiğinde de gidebileceği belirli bir mesafe kısıtı meydana gelmektedir. Literatürde kapasite kısıtlı ARP ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmakta olup, bu kısıt dahilinde rotadaki her bir aracın önceden belirlenen kapasite üzerine müşterilerden gelen sipariş taleplerinin ataması gerçekleştirilmektedir (Çetin ve Gencer, 2011). Bu modelin en basit

versiyonunda tek bir araç tipi olup kapasiteleri ise birbirine eşittir. Rotalamada yine çıkış noktası ile varış noktası belirli ve aynı noktalardır. Gelen siparişler ise bölümlendirilemeyip tam ve eksiksiz olarak değerlendirilmektedir. Aşağıdaki kriter koşullarını sağlayarak kapasite kısıtlı rota planlama tasarımı yapılmaktadır. Ayrıca müşterideki talep adreslerine sadece tek bir araç tek bir rota üzerinden ulaşmaktadır.

- Tüm rotaların dağıtım merkezinden başlayıp dağıtım merkezinde final olması
- Toplam talebin talep kapasiteyi aşmaması ve rotalama maliyetlerinin minimize edilmesidir.

Kapasite kısıtlı rotalama problemleri için kapasite kısıtına ek olarak maksimum kat edilen yol ve zaman kısıtı dahil edilmektedir. Mesafe kısıtlı araç rotalama için ilgili rota alternatiflerine ataması yapılmış araçların kat edeceği toplam mesafe sınırlandırılmıştır. Uygulamada bu kısıtlar için nakil edilen ürünlerin tip ve sürücü çalışma saatleri kısıtları da eklenmektedir. Taşıma yapılan emtia ve ürünler soğuk taşıma kuralları veya zamana bağlı bozulmaya uğrama riski var ise toplam taşıma süresi de ürün yaşam kısıtı bazlı olarak sisteme dahil edilmelidir. (Çetin ve Gencer, 2011)

- **Zaman Pencereli ve Bölünmüş ARP (ZP-BT-ARP):** Zaman Pencereli rotalama problemi normal ve klasik rotalama probleminden ayrıştığı en önemli nokta müşteriler bazında talep edilen uğrama zaman aralıklarının önceden belirli ve birbirinden farklı olmasıdır. Dağıtım noktasından çıkan araç için yol süresi ve müşteride bekleme süreleri önceden belirli ve sabittir. Müşteriler bazında belirlenen bir zaman aralıkları dahilinde araçlar rota planlarına uyarak orada olmalı ve yine belirlenen zaman dahilinde müşteri adresinden çıkıp bir sonraki adres için yola geçmelidir. Eğer zaman sapması eksi yönde olursa müşterinin beklediği ve ona ayrılan zaman aralığına uyum için araç beklenmelidir. Bu tipteki rotalama problemlerine örnek olarak kredi kartları teslimatları ile PTT ve saatli kargo teslimatları, öğrenci ve iş servisleri günlük yaşamda kullanılmaktadır. ARP'nin bölünmüş türünde bir talep noktasına ait gelen siparişler birden çok araç tarafından tedarik edilebilmekte olup aynı müşteri bir servis gününde birden fazla araç ile uğrama yapılabilmektedir. (Koç, 2012). BT-ARP'de en az bir müşterinin siparişi rota için kullanılan bir aracın kapasiteden daha büyük olmak zorundadır.

ZP-BT-ARP probleminde birden çok aracın merkez depodan çıkıp dağıtım ihtiyacı olan müşterilere, müşterilerin istedikleri zaman aralığında uğrayarak tekrar merkez depoya dönecek şekilde rotaları planlanmaktadır.

n : Müşteri sayısı

N : Noktalar kümesi $\{0,1,\dots,n\}$ (0: Merkez depo, $1,\dots,n$: Müşteriler)

N_c : Müşteriler kümesi $N_c = N \setminus \{0\}$

K : Hizmet verecek araçlar kümesi

Karar değişkenleri:

Problemın çözümü sırasında aşağıdaki iki karar verilmelidir:

- Seçilen müşterilere hangi araçların hangi rotayı izleyerek gideceği
- Araçların müşteri noktasına varış saati

x_{ij}^k : Araç k , i noktasından j noktasına gidecek ise 1, değilse 0, $i \in N, j \in N, k \in K$.

v_i^k : Araç k 'nin, i noktasına varış zamanı, $i \in N, k \in K$.

Amaç fonksiyonu:

Amaç fonksiyonu müşterilerin zaman pencerelerine uygun zamanlarda hizmet vererek toplam taşıma maliyetini en azlamaktır.

$$\min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} x_{ij}^k c_{ij}^k \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N_c} x_{0j}^k = \sum_{k \in K} \sum_{i \in N_c} x_{i0}^k = K \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N} \sum_{k \in K} x_{ij}^k = \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} x_{ji}^k = 1 \quad \forall i \in N_c \quad (3)$$

$$x_{ii}^k = 0 \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (4)$$

$$T_{i,min} \leq v_i^k \leq T_{i,max} \quad \forall i \in N_c, k \in K \quad (5)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \quad \forall i,j \in N, \forall k \in K \quad (6)$$

$$c_{ij}^k = (\alpha u_{ij} + \beta |e_i - e_j|)(Q_0^k + q_i^k) \quad \forall i,j \in N, \forall k \in K \quad (7)$$

- **Amaç fonksiyonu (1):** Amaç fonksiyonu müşterilerin zaman pencerelerine uygun zamanlarda hizmet vererek toplam taşıma maliyetini en azlamaktır.
- **Tüm araçların depodan çıkıp ve depoya dönmesi kısıtı (gezgin satıcı) (2):** Turların başlayıp, sona ereceği ana depo noktalar kümesinde 0 indeks ile gösterilmektedir. Ana depodan çıkması planlanan araç sayısı, toplam araç sayısı K 'ya eşit olmalıdır. Aynı şekilde, depoya dönmesi planlanan araç sayısı da toplam araç sayısına eşit olmalıdır. Başka bir deyişle, rota planında tüm araçlar yer almalıdır.
- **Her müşteriye atanan araç ile gelen ve giden sefer sayısı denkliği kısıtı (3):** Bu kısıt ile amaç, rota planında sürekliliği sağlamaktır. Bir müşteriye gelişlerin toplamı ile o müşteriden çıkışların toplamı 1'e eşit olmalıdır.
- **Aynı noktadan aynı noktaya gidiş yasağı (4):** Rota planlaması yapılırken, bir noktadan aynı noktaya gidişe izin verilmemelidir. x_{ijk} karar değişkenleri arasında $i=j$ olanlar mutlaka 0 değerini almalıdır.
- **Araç başına hizmet süresi kısıtı (5):** Araçların plan yapılan gündeki toplam hizmet süresi önceden belirlenmiş maksimum süreyi aşmamalıdır. Araçların çalışma süresi depodan müşterilere, müşterilerden diğer müşterilere ve son olarak depoya gidiş süreleri ile uğradıkları müşterilerdeki işlem süreleri toplanarak hesaplanır.
- **Rota karar değişkeninin 0 ya da 1 olma kısıtı (6):** Depo ve müşterilerden oluşan noktalar kümesinden iki nokta arasındaki yoldan gidilip gidilmeyeceğini her bir araç için belirten karar değişkeni 0 ya da 1 değerlerini alabilir. Rota karar değişkeni x_{ijk} 1 ise araç k , i ve j noktaları arasında i 'den j 'ye doğru yol alacaktır, 0 ise araç k bu yoldan gitmeyecektir.
- **Ulaştırma maliyeti denklemi (7):** Bu denklem her bir aracın iki nokta arasında yapacağı taşımanın maliyetini belirtir. Maliyet, aracın kendi ağırlığı ile üzerindeki

yükün ağırlığının toplamına ve gidilecek yolun uzunluğu ile iki nokta arasındaki yükselti farkına bağlıdır. Toplama ve dağıtma yaptıkça aracın üzerindeki yük noktadan noktaya değişmektedir. Yolun uzunluğu iki nokta arasındaki Öklid uzaklık olarak alınmıştır. Uzaklığa bağlı α ve eğime bağlı β sabit çarpanları ile maliyet değeri hesaplanır.

- **Dağıtım toplamalı ARP (DT-ARP):** Dağıtım noktalarından talep noktaları olan müşterilere gidilen sevkiyatlar ile birlikte müşterilerden de dağıtım noktalarına olan toplama işlemlerinin aynı araçlarla gerçekleştirildiği problemler olarak tanımlanan DT-ARP son dönemde çok sayıda araştırma alanı olan bir problem tipi olarak incelenmektedir (Hemmelmayr, 2009). Tez çalışması kapsamında olan dağıtım toplamalı araç rotalama problemi için bu çalışmanın sonraki bölümünde daha detaylı olarak incelenecektir.

n : Müşteri sayısı

N : Noktalar kümesi $\{0,1,\dots,n\}$ (0: Merkez depo, $1,\dots,n$: Müşteriler)

N_c : Müşteriler kümesi $N_c = N \setminus \{0\}$

K : Hizmet verecek araçlar kümesi

Karar değişkenleri:

Problemin çözümü sırasında müşterilere hangi araçların hangi rotayı izleyerek gideceği karar verilmelidir.

x_{ij}^k : Araç k , i noktasından j noktasına gidecek ise 1, değilse 0, $i \in N, j \in N, k \in K$.

Amaç fonksiyonu:

Amaç fonksiyonu toplam taşıma maliyetini en azlamaktır.

$$\min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} x_{ij}^k c_{ij}^k \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N_c} x_{0j}^k = \sum_{k \in K} \sum_{i \in N_c} x_{i0}^k = K \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N} \sum_{k \in K} x_{ij}^k = \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} x_{ji}^k = 1 \quad \forall i \in N_c \quad (3)$$

$$x_{ii}^k = 0 \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (4)$$

$$q_0^k = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N_c} d_j x_{ij}^k \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$q_i^k = \left(\sum_{j \in N} q_j^k x_{ji}^k \right) + \left(\sum_{j \in N} x_{ij}^k \right) (p_i - q_i) \quad \forall i \in N_c, \forall k \in K \quad (6)$$

$$q_i^k \leq Q_{max}^k \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (7)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N, \forall k \in K \quad (8)$$

$$c_{ij}^k = (\alpha u_{ij})(Q_0^k + q_i^k) \quad \forall i, j \in N, \forall k \in K \quad (9)$$

- **Amaç fonksiyonu (1):** Amaç fonksiyonu toplam taşıma maliyetini en azlamaktır.
- **Tüm araçların depodan çıkıp ve depoya dönmesi kısıtı (gezgin satıcı) (2):** Turların başlayıp, sona ereceği ana depo noktalar kümesinde 0 indeks ile gösterilmektedir. Ana depodan çıkması planlanan araç sayısı, toplam araç sayısı K'ya eşit olmalıdır. Aynı şekilde, depoya dönmesi planlanan araç sayısı da toplam araç sayısına eşit olmalıdır. Başka bir deyişle, rota planında tüm araçlar yer almalıdır.
- **Her müşteriye atanan araç ile gelen ve giden sefer sayısı denkliği kısıtı (3):** Bu kısıt ile amaç, rota planında sürekliliği sağlamaktır. Bir müşteriye gelişlerin toplamı ile o müşteriden çıkışların toplamı 1'e eşit olmalıdır.
- **Aynı noktadan aynı noktaya gidiş yasağı (4):** Rota planlaması yapılırken, bir noktadan aynı noktaya gidişe izin verilmemelidir. x_{ijk} karar değişkenleri arasında $i=j$ olanlar mutlaka 0 değerini almalıdır.

- **Depodan çıkıştaki toplam yük denklemi (5):** Her bir araç dağıtım talebi olan müşterilerin toplam yükü ile depodan çıkacaktır. Her bir aracın uğrayacağı dağıtım talebi olan müşterilerin taleplerinin toplamı araç kapasitesinden fazla olmamalıdır.
- **Her müşteriden ayrılırken araçtaki yük denklemi (6):** Bir müşteriye önceki müşteriden çıkış yüküyle gelen bir araç o müşterinin dağıtım talebi kadar yükü araçtan indirir, müşterinin toplama talebi kadar yükü araca alır. O müşteriden çıkış yükü önceki noktadan (müşteri ya da depodan) çıkış yüküne ile kendi talebinin eklenmesi ya da çıkartılmasıyla hesaplanır.
- **Depodan ve her müşteriden ayrılırken araç kapasitesi kısıtı (7):** Araçların depodan ve müşterilerden ayrılırken taşıdığı toplam yük miktarı (5) ve (6) nolu denklemler ile hesaplanır ve bu miktar rota boyunca hiçbir zaman araç kapasitesini aşmamalıdır.
- **Rota karar değişkeninin 0 ya da 1 olma kısıtı (8):** Depo ve müşterilerden oluşan noktalar kümesinden iki nokta arasındaki yoldan gidilip gidilmeyeceğini her bir araç için belirten karar değişkeni 0 ya da 1 değerlerini alabilir. Rota karar değişkeni x_{ijk} 1 ise araç k , i ve j noktaları arasında i 'den j 'ye doğru yol alacaktır, 0 ise araç k bu yoldan gitmeyecektir.
- **Ulaştırma maliyeti denklemi (9):** Bu denklem her bir aracın iki nokta arasında yapacağı taşımanın maliyetini belirtir. Maliyet, aracın kendi ağırlığı ile üzerindeki yükün ağırlığının toplamına ve gidilecek yolun uzunluğu ile iki nokta arasındaki yükselti farkına bağlıdır. Toplama ve dağıtım yaptıkça aracın üzerindeki yük noktadan noktaya değişmektedir. Yolun uzunluğu iki nokta arasındaki Öklid uzaklık olarak alınmıştır. Uzaklığa bağlı α ve eğime bağlı β sabit çarpanları ile maliyet değeri hesaplanır.
- **Periyodik ARP (P-ARP):** Başka bir ARP türü olan P-ARP, belirli bir süre için planlanır ve müşteriler bu işlem sırasında birden fazla hizmet alabilir. Her müşteri için ziyaret kombinasyonunun eşzamanlı olarak seçilmesi ve planlama dönemi için araç güzergahlarının oluşturulması ile oluşan P-ARP'de, müşterilere verilecek hizmet sayısı, müşterilerin talep miktarlarına ve stok alanlarına göre değişmektedir. Bu problem sınıfı yiyecek, içecek endüstrisi, atık toplama gibi alanlarda ortaya çıkmaktadır. (Hemmelmayr, 2009).

2.2.5. Yolların Durumuna Göre ARP

Bu ARP türünde müşteri noktaları arasındaki yol mesafelerinin geliş ve gidiş yönüne göre aynı kalıp kalmamasına göre ikiye ayrılmaktadır:

- **Simetrik ARP (S-ARP):** Klasik ARP’de bir çıkış noktasından diğer varış noktasına gidiş ve dönüş mesafeleri birbirine eşit kabul edilir. Bu tür problemler literatürde S-ARP olarak tanımlanmıştır (Ying-xin, 2012). Aşağıdaki taşıma maliyeti denkleminde i ve j noktaları arasındaki uzaklık değeri (u_{ij}) her i ve j noktası için gidiş yönüne bakılmaksızın gidiş ve dönüş için aynıdır.

n : Müşteri sayısı

N : Noktalar kümesi $\{0,1,\dots,n\}$ (0: Merkez depo, $1,\dots,n$: Müşteriler)

N_c : Müşteriler kümesi $N_c = N \setminus \{0\}$

K : Hizmet verecek araçlar kümesi

Karar değişkenleri:

Problemin çözümü sırasında müşterilere hangi araçların hangi rotayı izleyerek gideceği karar verilmelidir.

x_{ij}^k : Araç k , i noktasından j noktasına gidecek ise 1, değilse 0, $i \in N, j \in N, k \in K$.

Amaç fonksiyonu:

Amaç fonksiyonu toplam taşıma maliyetini en azlamaktır.

$$\min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} x_{ij}^k c_{ij}^k \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N_c} x_{0j}^k = \sum_{k \in K} \sum_{i \in N_c} x_{i0}^k = K \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N} \sum_{k \in K} x_{ij}^k = \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} x_{ji}^k = 1 \quad \forall i \in N_c \quad (3)$$

$$x_{ii}^k = 0 \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (4)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N, \forall k \in K \quad (5)$$

$$c_{ij}^k = (\alpha u_{ij})(Q_0^k + q_i^k) \quad \forall i, j \in N, \forall k \in K \quad (6)$$

$$u_{ij} = u_{ji} \quad \forall i, j \in N \quad (7)$$

- **Amaç fonksiyonu (1):** Amaç fonksiyonu toplam taşıma maliyetini en azlamaktır.
- **Tüm araçların depodan çıkıp ve depoya dönmesi kısıtı (gezgini satıcı) (2):** Turların başlayıp, sona ereceği ana depo noktalar kümesinde 0 indeks ile gösterilmektedir. Ana depodan çıkması planlanan araç sayısı, toplam araç sayısı K'ya eşit olmalıdır. Aynı şekilde, depoya dönmesi planlanan araç sayısı da toplam araç sayısına eşit olmalıdır. Başka bir deyişle, rota planında tüm araçlar yer almalıdır.
- **Her müşteriye atanan araç ile gelen ve giden sefer sayısı denkliliği kısıtı (3):** Bu kısıt ile amaç, rota planında sürekliliği sağlamaktır. Bir müşteriye gelişlerin toplamı ile o müşteriden çıkışların toplamı 1'e eşit olmalıdır.
- **Aynı noktadan aynı noktaya gidiş yasağı (4):** Rota planlaması yapılırken, bir noktadan aynı noktaya gidişine izin verilmemelidir. x_{ijk} karar değişkenleri arasında $i=j$ olanlar mutlaka 0 değerini almalıdır.
- **Rota karar değişkeninin 0 ya da 1 olma kısıtı (5):** Depo ve müşterilerden oluşan noktalar kümesinden iki nokta arasındaki yoldan gidilip gidilmeyeceğini her bir araç için belirten karar değişkeni 0 ya da 1 değerlerini alabilir. Rota karar değişkeni x_{ijk} 1 ise

araç k , i ve j noktaları arasında i 'den j 'ye doğru yol alacaktır, 0 ise araç k bu yoldan gitmeyecektir.

- **Ulaştırma maliyeti denklemi (6):** Bu denklem her bir aracın iki nokta arasında yapacağı taşımanın maliyetini belirtir. Maliyet, aracın kendi ağırlığı ile üzerindeki yükün ağırlığının toplamına ve gidilecek yolun uzunluğu ile iki nokta arasındaki yükselti farkına bağlıdır. Toplama ve dağıtma yaptıkça aracın üzerindeki yük noktadan noktaya değişmektedir. Yolun uzunluğu iki nokta arasındaki Öklid uzaklık olarak alınmıştır. Uzaklığa bağlı α ve eğime bağlı β sabit çarpanları ile maliyet değeri hesaplanır.
- **Gidiş ve dönüş sürelerinin eşitliği denklemi (7):** İki nokta arasındaki ulaşım süresi gidilen yöne göre değişmeksizin aynı sürede olmaktadır.
- **Asimetrik ARP (A-ARP):** Rotalama problemlerinde bazen bir noktadan diğerine gidiş mesafesi ile aynı noktadan çıkış yerine dönüş mesafesi aynı olmama durumu yaşanabilir. Bu tek yönlü yol ve sevk durumlarında ağırlıklı olarak meydana gelmekte olup bu sınıfa giren problemler için çıkış noktasından ilk uğranılacak müşterinin seçimi çok önemlidir. Seçilecek ilk noktaya göre toplam kat edilen yol mesafesi değişmektedir. Bunun için rota planlama yapılırken gidiş ve dönüş toplam sefer uzunluğuna bakılması gerekmektedir (Ying-xin, 2012). Bu problemde simetrik ARP'den farklı olmak üzere iki nokta arası maliyet denklemi oluştururken i noktasından j noktasına gidiş ile j noktasından i noktasına gidiş her zaman için birbirine eşit olmaz. Gidiş yönüne bağlı olarak aşağıdaki denklemdeki uzaklık değeri (u_{ij}) bazı i, j noktaları için farklı olabilir, her zaman eşit olmak zorunda değildir. Farklı olan denklemler aşağıda gösterilmiştir.

$$c_{ij}^k = (\alpha u_{ij})(Q_0^k + q_i^k) \quad \forall i, j \in N, \forall k \in K$$

$$u_{ij} \neq u_{ji} \quad \exists i, j \in N$$

2.2.6. Rotalama Durumuna Göre ARP

Rotalama durumuna göre ARP, rotaların bir çıkış noktasından başlayarak aynı çıkış noktasında sona ermesi veya aracın çıkış noktasından bağımsız olarak sefer yollarının en son teslimat alıcı yerinde bitirilebilmesi durumları bazında açık ve kapalı uçlu olmak üzere ikiye ayrılır.

- **Açık uçlu ARP (AU-ARP):** Bu tip ARP’de araçlar klasik rotalama probleminde olduğu gibi, son müşteri adresinden sonra çıkış noktasına geri dönmemektedirler. Böyle problemlerde, rotalar çıkış noktası ile dağıtıma başlamakta, müşteri adresi ile son bulmaktadır. Bu tip rotalama problemleri için uzun süredir çalışılmasına rağmen, son yıllarda araştırmacıların ilgisini çekmiştir (Li ve diğ., 2007). Bu problemler sektörel olarak araç kiralama alanlarında kendilerine talep bulmaktadırlar.

Bu problemle ilgili modelde depodan çıkan araç sayısı ile ilgili aşağıdaki kısıt bulunmaktadır. Fakat depoya dönen araç sayısı kısıtı kaldırılmıştır.

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N_c} x_{0j}^k = K$$

- **Kapalı uçlu ARP (KU-ARP):** KU-ARP’de oluşturulan rotaların hepsi bir dağıtım noktasından başlayıp, aynı dağıtım noktasında bitmelidir. Literatürde test problemleri ARP modeli için ağırlıklı olarak bulunduğundan bu model üzerine geliştirilen yöntemler birbiriyle kıyaslanmaktadır (Bozyer ve diğ., 2014).

Bu tip problemlere dağıtım perakende sektörü, okul ve iş servisleri, günlük süt ve yayılı basın dağıtımları ile atık çöp toplama araçları örnek olarak verilebilir. Bu alanlardaki hizmetler için ortak olan dağıtım modeli Kapalı Uçlu ARP’dır. Ortak amaç olarak toplam zaman ve mesafeyi minimum yapmaktır (Bozyer ve diğ., 2014).

Bu problemin modelinde ilk noktadan çıkan ve ilk noktaya dönen rotaların sayısı toplam araç sayısına eşit olmak zorundadır.

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N_c} x_{0j}^k = \sum_{k \in K} \sum_{i \in N_c} x_{i0}^k = K$$

2.2.7. Çevre Durumuna Göre ARP

Sınıflandırma çalışmasında araç rotalama problemleri statik ve dinamik olarak iki sınıfa da ek olarak ayrılabilir.

- **Dinamik ARP (D-ARP):** Dinamik ARP müşteri taleplerinin anlık olarak belirlendiği ve rota planlamasının gelen talebin değerlerine göre belirlendiği ARP türüdür. Buradaki dinamiklik kavramı servis noktalarından gelen talepler için sabit ve önceden belirlenen bir yapı olmadığını ifade etmektedir. Bu ARP'nin bilinen en yaygın örneği elektrik arıza giderme için rota planlama uygulamasıdır. Gezgin tamirci olan bu uygulama ani gelişen problemler için gerçekleştirilen rota planlamasını ifade etmektedir (Cordeau ve diğ., 2009).
- **Statik ARP (ST-ARP):** Statik ARP, talep noktalarına ait talep bilgileri ile yol ve servis hizmet sürelerinin tamamen belirli olduğu durumlarda geçerli olan rotalama problemi olarak tanımlanmaktadır. Burada toplam uzaklık ve servis hizmetleri en az maliyet üzerinden planlanarak gerçekleştirilir (Montemanni ve diğ., 2002). Statik ARP yapmak için baştan tüm bilgilerin hazır olarak bilinmesi gerekliliği bulunmakta olup rotalar bu bilgilere göre planlanmaktadır (Larsen, 2001).

2.3 Eş Zamanlı Dağıtım Toplamalı-Araç Rotalama Problemi (EDTARP)

Eş zamanlı dağıtım toplamalı araç rotalama probleminde birden çok aracın merkez depodan çıkıp dağıtım ya da toplama ihtiyacı olan müşterilere uğrayarak tekrar merkez depoya dönecek şekilde rotaları planlanmaktadır. Araçların çalışma süresi günlük olarak belirlenen süreyi aşmamalıdır. Tüm rota boyunca araçtaki yük miktarı da araç kapasitesini geçmemelidir. Bu planlamada amaç fonksiyon toplam taşıma maliyetini en aza indirmektir.

n : Müşteri sayısı

N : Noktalar kümesi $\{0, 1, \dots, n\}$ (0: Merkez depo, $1, \dots, n$: Müşteriler)

N_c : Müşteriler kümesi $N_c = N \setminus \{0\}$

K : Hizmet verecek araçlar kümesi

Karar değişkenleri:

Problemin çözümü sırasında müşterilere hangi araçların hangi rotayı izleyerek gideceğine karar verilmelidir:

x_{ij}^k : Araç k , i noktasından j noktasına gidecek ise 1, değilse 0, $i \in N, j \in N, k \in K$.

Amaç fonksiyonu:

Amaç fonksiyonu tüm müşterileri ziyaret edecek rotaların toplam taşıma maliyetini en azlamaktır.

$$\min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} x_{ij}^k c_{ij}^k \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N_c} x_{0j}^k = \sum_{k \in K} \sum_{i \in N_c} x_{i0}^k = K \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N} \sum_{k \in K} x_{ij}^k = \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} x_{ji}^k = 1 \quad \forall i \in N_c \quad (3)$$

$$x_{ii}^k = 0 \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} t_{ij} x_{ij}^k + \sum_{i \in N_c} \sum_{j \in N} s_{ij} x_{ij}^k \leq T_{max} \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$q_0^k = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N_c} d_j x_{ij}^k \quad \forall k \in K \quad (6)$$

$$q_i^k = \left(\sum_{j \in N} q_j^k x_{ji}^k \right) + \left(\sum_{j \in N} x_{ij}^k \right) (p_i - q_i) \quad \forall i \in N_c, \forall k \in K \quad (7)$$

$$q_i^k \leq Q_{max}^k \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (8)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N, \forall k \in K \quad (9)$$

$$c_{ij}^k = (\alpha u_{ij})(Q_0^k + q_i^k) \quad \forall i, j \in N, \forall k \in K \quad (10)$$

$$t_{ij} = \frac{u_{ij}}{\varepsilon} \quad \forall i, j \in N \quad (11)$$

- **Amaç fonksiyonu (1):** Amaç fonksiyonu tüm müşterileri ziyaret edecek rotaların toplam taşıma maliyetini en azlamaktır.
- **Tüm araçların depodan çıkıp ve depoya dönmesi kısıtı (gezgin satıcı) (2):** Turların başlayıp, sona ereceği ana depo noktalar kümesinde 0 indeks ile gösterilmektedir. Ana depodan çıkması planlanan araç sayısı, toplam araç sayısı K 'ya eşit olmalıdır. Aynı şekilde, depoya dönmesi planlanan araç sayısı da toplam araç sayısına eşit olmalıdır. Başka bir deyişle, rota planında tüm araçlar yer almalıdır.
- **Her müşteriye atanan araç ile gelen ve giden sefer sayısı denkliği kısıtı (3):** Bu kısıt ile amaç, rota planında sürekliliği sağlamaktır. Bir müşteriye gelişlerin toplamı ile o müşteriden çıkışların toplamı 1'e eşit olmalıdır.
- **Aynı noktadan aynı noktaya gidiş yasağı (4):** Rota planlaması yapılırken, bir noktadan aynı noktaya gidişe izin verilmemelidir. x_{ijk} karar değişkenleri arasında $i=j$ olanlar mutlaka 0 değerini almalıdır.
- **Araç başına hizmet süresi kısıtı (5):** Araçların plan yapılan gündeki toplam hizmet süresi önceden belirlenmiş maksimum süreyi aşmamalıdır. Araçların çalışma süresi depodan müşterilere, müşterilerden diğer müşterilere ve son olarak depoya gidiş süreleri ile uğradıkları müşterilerdeki işlem süreleri toplanarak hesaplanır.
- **Depodan çıkıştaki toplam yük denklemi (6):** Her bir araç dağıtım talebi olan müşterilerin toplam yükü ile depodan çıkacaktır. Her bir aracın uğrayacağı dağıtım talebi olan müşterilerin taleplerinin toplamı araç kapasitesinden fazla olmamalıdır.
- **Her müşteriden ayrılırken araçtaki yük denklemi (7):** Bir müşteriye önceki müşteriden çıkış yüküyle gelen bir araç o müşterinin dağıtım talebi kadar yükü araçtan indirir, müşterinin toplama talebi kadar yükü araca alır. O müşteriden çıkış yükü önceki noktadan (müşteri ya da depodan) çıkış yüküne ile kendi talebinin eklenmesi ya da çıkartılmasıyla hesaplanır.
- **Depodan ve her müşteriden ayrılırken araç kapasitesi kısıtı (8):** Araçların depodan ve müşterilerden ayrılırken taşıdığı toplam yük miktarı (6) ve (7) nolu denklemler ile hesaplanır ve bu miktar rota boyunca hiçbir zaman araç kapasitesini aşmamalıdır.

- **Rota karar değişkeninin 0 ya da 1 olma kısıtı (9):** Depo ve müşterilerden oluşan noktalar kümesinden iki nokta arasındaki yoldan gidilip gidilmeyeceğini her bir araç için belirten karar değişkeni 0 ya da 1 değerlerini alabilir. Rota karar değişkeni x_{ijk} 1 ise araç k , i ve j noktaları arasında i 'den j 'ye doğru yol alacaktır, 0 ise araç k bu yoldan gitmeyecektir.
- **Ulaştırma maliyeti denklemi (10):** Bu denklem her bir aracın iki nokta arasında yapacağı taşımanın maliyetini belirtir. Maliyet, aracın kendi ağırlığı ile üzerindeki yükün ağırlığının toplamına ve gidilecek yolun uzunluğu ile iki nokta arasındaki yükselti farkına bağlıdır. Toplama ve dağıtma yaptıkça aracın üzerindeki yük noktadan noktaya değişmektedir. Yolun uzunluğu iki nokta arasındaki Öklid uzaklık olarak alınmıştır. Uzaklığa bağlı α ve eğime bağlı β sabit çarpanları ile maliyet değeri hesaplanır.
- **Ulaşım süresi denklemi (11):** İki nokta arasındaki ulaşım süresi gidilecek uzaklığın sabit bir hız değerine bölünmesiyle bulunur.

Bu problemde;

- Araçlar rotalarına tek merkezi bir depodan başlamaktadır.
- Araçlar işleri bittiğinde merkezi depoya dönmektedir.
- Araçların toplam hizmet süresi belirli bir süreyi geçmemektedir.
- Araçlar depodan dağıtım talebi olan müşterilerin ihtiyacı kadar yükü yola çıkmaktadır.
- Dağıtım talebi olan müşterilerde araçtaki yük azalır.
- Toplama talebi olan müşterilerde araçtaki yük artar.
- Depodan ve her müşteriden çıkarken araçtaki toplam yük araç kapasitesini geçmemektedir.
- Her müşteri sadece bir kez ziyaret edilmektedir. Başka bir deyişle, bir müşteriye gelen rota sayısı ile müşteriden giden rotası 1'e eşittir.

Yöneylem araştırması ve yönetim bilimlerinde en yaygın problemlerden biri olan eş zamanlı dağıtım toplamalı araç rotalama problemi, araç rotalama probleminin ana sınıflarından biri olmuştur (Li, 2013). Eş zamanlı dağıtım toplamalı araç rotalama problemi; müşterilere ait dağıtım ve toplama taleplerinin eş zamanlı olarak karşılandığı bir araç rotalama problemidir.

DTARP, toplama ve dağıtım faaliyetlerinin bir arada gerçekleştirilmesini amaçlar. Eş zamanlı dağıtım toplamalı araç rotalama problemi ilk olarak 1989 yılında Min tarafından gerçek bir kütüphane sistemi ele alınarak tanımlanmıştır. Problemin çözümü öncelikle talep kümeleme işlemi yapılarak sonra bu kümelerden rota planlaması gerçekleştirilmiştir. Müşteri taleplerine cevap verecek ve toplam mesafeyi minimize edecek bir model hedeflenmiştir. Hedeflenen model üzerinde aynı talep yapısında araç kapasiteleri ve müşteri sayıları da arttırılarak toplam sistem üzerindeki değişiklikler süreç içerisinde analiz edilmiştir. Bu noktada belirlenen senaryolar üzerinden çeşitli hipotez testleri gerçekleştirilerek etki analizleri ve bağlı sonuçları incelenmiştir (Min, 1989).

Dağıtım ve toplama hareketli eş zamanlı olarak yapılan bu ARP türünde bir ya da daha çok sayıdaki dağıtım merkezinden araçlar çıkarak müşterilere uğramakta ve bu noktalardan yine gelen taleplere göre ürünleri alıp aynı bir ya da birden fazla dağıtım noktasına geri dönmektedirler. Burada araç müşteriye gittiği anda boşaltma ve yükleme hizmetlerini gerçekleştirip bir bekleme söz konusu değildir. Amaç toplam kat edilen mesafeyi minimize etmektir.

Ayrıca, Zaman Pencereli Eşzamanlı Dağıtım ve Toplama Yapan Araç Rotalama Problemi (ZPEDTARP), ZP-BT-ARP ve DT-ARP ile kombinasyonudur.

2.4 Zaman Pencereli Eşzamanlı Dağıtım ve Toplamalı Araç Rotalama Problemi (ZPEDTARP)

n : Müşteri sayısı

N : Noktalar kümesi $\{0,1,\dots,n\}$ (0: Merkez depo, $1,\dots,n$: Müşteriler)

N_c : Müşteriler kümesi $N_c = N \setminus \{0\}$

K : Hizmet verecek araçlar kümesi

Karar değişkenleri:

Problemin çözümü sırasında müşterilere hangi araçların hangi rotayı izleyerek gideceğine karar verilmelidir:

x_{ij}^k : Araç k , i noktasından j noktasına gidecek ise 1, değilse 0, $i \in N, j \in N, k \in K$.

Amaç fonksiyonu:

Amaç fonksiyonu tüm müşterileri ziyaret edecek rotaların toplam taşıma maliyetini en azlamaktır.

$$\min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} x_{ij}^k c_{ij}^k \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N_c} x_{0j}^k = \sum_{k \in K} \sum_{i \in N_c} x_{i0}^k = K \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N} \sum_{k \in K} x_{ij}^k = \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} x_{ji}^k = 1 \quad \forall i \in N_c \quad (3)$$

$$x_{ii}^k = 0 \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (4)$$

$$T_{i,min} \leq v_i^k \leq T_{i,max} \quad \forall i \in N_c, k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} t_{ij} x_{ij}^k + \sum_{i \in N_c} \sum_{j \in N} s_{ij} x_{ij}^k \leq T_{max} \quad \forall k \in K \quad (6)$$

$$q_0^k = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N_c} d_j x_{ij}^k \quad \forall k \in K \quad (7)$$

$$q_i^k = \left(\sum_{j \in N} q_j^k x_{ji}^k \right) + \left(\sum_{j \in N} x_{ij}^k \right) (p_i - q_i) \quad \forall i \in N_c, \forall k \in K \quad (8)$$

$$q_i^k \leq Q_{max}^k \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (9)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \quad \forall i,j \in N, \forall k \in K \quad (10)$$

$$c_{ij}^k = (\alpha u_{ij})(Q_0^k + q_i^k) \quad \forall i,j \in N, \forall k \in K \quad (11)$$

$$t_{ij} = \frac{u_{ij}}{\varepsilon} \quad \forall i,j \in N \quad (12)$$

- **Amaç fonksiyonu (1):** Amaç fonksiyonu tüm müşterileri ziyaret edecek rotaların toplam taşıma maliyetini en azlamaktır.
- **Tüm araçların depodan çıkıp ve depoya dönmesi kısıtı (gezgin satıcı) (2):** Turların başlayıp, sona ereceği ana depo noktalar kümesinde 0 indeks ile gösterilmektedir. Ana depodan çıkması planlanan araç sayısı, toplam araç sayısı K'ya eşit olmalıdır. Aynı şekilde, depoya dönmesi planlanan araç sayısı da toplam araç sayısına eşit olmalıdır. Başka bir deyişle, rota planında tüm araçlar yer almalıdır.
- **Her müşteriye atanan araç ile gelen ve giden sefer sayısı denkliği kısıtı (3):** Bu kısıt ile amaç, rota planında sürekliliği sağlamaktır. Bir müşteriye gelişlerin toplamı ile o müşteriden çıkışların toplamı 1'e eşit olmalıdır.
- **Aynı noktadan aynı noktaya gidiş yasağı (4):** Rota planlaması yapılırken, bir noktadan aynı noktaya gidişe izin verilmemelidir. x_{ijk} karar değişkenleri arasında $i=j$ olanlar mutlaka 0 değerini almalıdır.
- **Müşteriye varış zamanı kısıtı (5):** Müşteriye planlanan aracın müşteri lokasyonuna varış zamanı müşterinin istediği zaman aralığında olmalıdır.
- **Araç başına hizmet süresi kısıtı (6):** Araçların plan yapılan gündeki toplam hizmet süresi önceden belirlenmiş maksimum süreyi aşmamalıdır. Araçların çalışma süresi depodan müşterilere, müşterilerden diğer müşterilere ve son olarak depoya gidiş süreleri ile uğradıkları müşterilerdeki işlem süreleri toplanarak hesaplanır.
- **Depodan çıkıştaki toplam yük denklemi (7):** Her bir araç dağıtım talebi olan müşterilerin toplam yükü ile depodan çıkacaktır. Her bir aracın uğrayacağı dağıtım talebi olan müşterilerin taleplerinin toplamı araç kapasitesinden fazla olmamalıdır.
- **Her müşteriden ayrılırken araçtaki yük denklemi (8):** Bir müşteriye önceki müşteriden çıkış yüküyle gelen bir araç o müşterinin dağıtım talebi kadar yükü araçtan indirir, müşterinin toplama talebi kadar yükü araca alır. O müşteriden çıkış yükü önceki noktadan (müşteri ya da depodan) çıkış yüküne ile kendi talebinin eklenmesi ya da çıkartılmasıyla hesaplanır.

- **Depodan ve her müşteriden ayrılırken araç kapasitesi kısıtı (9):** Araçların depodan ve müşterilerden ayrılırken taşıdığı toplam yük miktarı (7) ve (8) nolu denklemler ile hesaplanır ve bu miktar rota boyunca hiçbir zaman araç kapasitesini aşmamalıdır.
- **Rota karar değişkeninin 0 ya da 1 olma kısıtı (10):** Depo ve müşterilerden oluşan noktalar kümesinden iki nokta arasındaki yoldan gidilip gidilmeyeceğini her bir araç için belirten karar değişkeni 0 ya da 1 değerlerini alabilir. Rota karar değişkeni x_{ijk} 1 ise araç k , i ve j noktaları arasında i 'den j 'ye doğru yol alacaktır, 0 ise araç k bu yoldan gitmeyecektir.
- **Ulaştırma maliyeti denklemi (11):** Bu denklem her bir aracın iki nokta arasında yapacağı taşımanın maliyetini belirtir. Maliyet, aracın kendi ağırlığı ile üzerindeki yükün ağırlığının toplamına ve gidilecek yolun uzunluğu ile iki nokta arasındaki yükselti farkına bağlıdır. Toplama ve dağıtma yaptıkça aracın üzerindeki yük noktadan noktaya değişmektedir. Yolun uzunluğu iki nokta arasındaki Öklid uzaklık olarak alınmıştır. Uzaklığa bağlı α ve eğime bağlı β sabit çarpanları ile maliyet değeri hesaplanır.
- **Ulaşım süresi denklemi (12):** İki nokta arasındaki ulaşım süresi gidilecek uzaklığın sabit bir hız değerine bölünmesiyle bulunur.

Chang ve diğ. (2007) tarafından gerçek zamanlı durum incelenmiştir. Aynı anda teslim alma ve teslim etme ve taşıtırma masrafları olan ve bir homojen araç filosunun tek bir depodan hem teslim hem de teslim talebine sahip olan tüm müşterilere hizmet vermek için çalıştığı araç rotalama sorunu, tüm teslimat kalemalarının kaynaklandığı ve tüm teslimat kalemalarının depoya yönlendirildiği şekilde olmuştur. Araçlardaki ürünler, ilk giren son çıkar (LIFO) politikasına uyan ve yalnızca arkadan erişilebilen tek bir lineer yığın olarak düzenlenmektedir. Bu, yalnızca en yakın zamanda yüklenen öğeye erişilebilir olduğu anlamına gelmektedir ve bu ilgilenilen öğe değilse, istenen hizmetin yapılmasından önce işleme işlemleri gerekmektedir. EDTARP'yi çözmek için adaptif yerel arama, karınca kolonisi algoritmaları ve tabu araması dahil olmak üzere birçok farklı buluşsal yöntem önerilmiştir. Bu tekniklerin başarısına rağmen, uyarlanabilir geniş komşuluk araştırması son yıllarda popülerlik kazanmaktadır. Uyarlanabilir geniş komşuluk araştırması ilk olarak Shaw tarafından uyarlanmış bir mekanizma tarafından tanıtıldığı gibi genişletilmiş ve yakın zamanda birçok farklı rotalama probleminde başarıyla uygulanmıştır (Park ve Chae, 2014).

2.5. Literatür Araştırması

Bu çalışmada lojistik operasyonlarda yaygın olarak karşılaşılan eş zamanlı toplama ve dağıtım planlama problemi gelir yönetimi bakış açısı ile birlikte konu alınacak olup, problem araç rotalama literatüründe çok az dikkat çekmiş olan birçok gerçek uygulama karmaşıklıklarını içermektedir. Bu problem, bir dizi toplama ve dağıtım siparişini kapsayacak şekilde birden fazla araç ve sipariş tipleri ile gelir yönetimi yaklaşımını da içeren bir problemidir. Modelde, talep noktalarının her biri birbirinden farklı teslimat zamanlarına sahip olacak ve siparişler bazında araç tiplerinin gelen talepler doğrultusunda uygunluk kısıtları karşılaştırılacak olup bu karmaşık soruna meta sezgisel bir algoritma temelli çözüm yaklaşımı geliştirilerek bu algoritma literatürde bulunan kıyaslama veri setleri ve gerçek veriler üzerinden çözüm üretme performansı incelenecektir. Bu kısımda tez çalışmasında yararlanılan çalışmalar ve araç rotalama problemleri ve gelir yönetimi ile ilgili literatür araştırmasına yer verilmiştir.

Dethloff ve diğ., (2001) sezgisel bir yapım prosedürü önermiştir. Önerilen algoritma, daha önce literatürde sunulan test örneklerinin yanı sıra gerçek yaşam problemine başarıyla uygulanmaktadır.

Zhao ve diğ., (2005) Modele dayalı düşük maliyetli optimizasyonların, karlılığı doğru bir şekilde tahmin edebilmesi bakımından etkili ve verimli olduğunu ileri sürmüşlerdir. Modelleri kullanarak karlılığı tahmin edip, optimizasyonları seçici olarak uygulamışlardır. Modele dayalı yaklaşım, sezgisel yaklaşımlarda kullanılan parametrelerin ayarlanmasını gerektirmediği durumlar amaçlanmıştır.

Ferreria ve diğ., (2018) Bir perakendecinin sınırlı bir satış mevsimi boyunca sınırlı envantere sahip birden fazla üründen elde edilen geliri en üst düzeye çıkarmayı amaçladığı fiyat tabanlı bir ağ gelir yönetimi sorununu çözülmesi amaçlanmıştır.

Karagül ve Güngör (2014), tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda taşımacılık alanındaki bir firmanın rotalaması için Genetik Algoritma ve Rassal Arama Algoritması kullanılmıştır. Sonuçlar incelediğinde Rassal Arama Algoritmasının daha etkili çözümler sunduğu tespit edilmiştir. López-Sánchez vd. (2014), öğrenci servisi taşımacılığı için açık ARP ile problemi

ile tanımlama yapılarak çoklu çıkış noktası algoritması ile reel bir uygulama yaparak personel taşımacılığı problemine verimli bir çözüm sunmuşlardır.

Klein ve diğ., (2020) tarafından gelir yönetimi ortamının en önemli genellemeleri; ürün yenilikleri (opak ürünler ve esnek ürünler), yükseltme, aşırı rezervasyon, kişiselleştirme ve riskten kaçınma üzerinde çalışılmıştır. Ayrıca, gelir yönetiminin yaygın kullanımını göstermek için, hava kargo, otel, araba kiralama, eve teslim ve imalat işlerini kapsayan, yıllar boyunca bilimsel ilgi gören yolcu hava taşımacılığının ötesinde önemli endüstri uygulamalarını incelenmiştir.

Jauffred ve diğ., (2005) Önerilen sistemde, gönderilmesi planlanan malların maliyetini en aza indirilmesi ve talep edilen malların alınması-teslim edilmesi gibi faktörleri temel olarak gönderiler değerlendirilmiştir. Taşımacılık kaynaklarına ve taşınacak mallara kısıtlamalar getirilerek, planlama yönteminde göz önüne alınması muhtemel sevkiyatların sınırlandırılması öngörülmüştür.

Douma ve diğ. (2006) teklif stratejisine odaklanmıştır. Problemi, gerçek zamanda sunulan yüklerin nasıl fiyatlandırılacağını, mevcut kapasitenin, gelecekteki olası geliri dikkate alarak, en kârlı şekilde kullanmasını ele alıp gelir yönetimi kavramlarına dayalı olarak dinamik olarak yükleri fiyatlandırmak için yöntemler geliştirmişlerdir.

Azi ve diğ. (2007) yaptıkları analizlerde rotalama problemi için literatürde ilk olarak zaman pencereli modeli üzerine çalışmışlar ve problemin tek araç tipini çözmek için bir kesin algoritma önermişlerdir. En kısa yol algoritmasını temel olarak geliştirdikleri algoritmaya zaman kısıtlarını eklemişlerdir. İki fazda çalışan bu yöntemde önce olası bütün rotalar listelenmiş, sonra rotalardan seçilerek günlük çalışma sırası oluşturulmaktadır.

Chiang ve diğ., (2007) Farklı endüstrilerde son dönem gelir yönetimi gelişiminin kapsamlı bir incelemesi yayınlanmıştır. Ekonomik kaygılar, müşteri algısı, rekabet ve konsolidasyon, uygulama, performans değerlendirmesi, gelir yönetimi sorunlarının çözümünde kullanılan ortak teknikler ve yaklaşımlar gibi konular değerlendirilmiştir.

Yeun ve diğ., (2008) Yapılan çalışmada, amaç, bazı gereksinimleri veya kısıtlamaları karşılayan ve minimum toplam maliyet veren bir dizi teslimat yolu bulmaktır ve amaçlanan metotla çöp toplama, posta teslimi, kar temizleme ve görev çizelgeleme gibi birçok sektörde dağıtım sistemleri ve lojistik planlamasında değerlendirme önerilmiştir.

Wang ve Lang, (2008) Teslim ve teslim araç yönlendirme problemini zaman pencereleri ile incelenmektedir. Problem için bir tabu arama algoritması, yeni bir çözüm belirten yöntem kullanılarak tasarlanmıştır. Tabu arama algoritmasının kısa bir hesaplama zamanında bu soruna daha iyi bir çözüm getirdiği ve sonuçların kararlı olduğu gösterilmiştir.

Esnaflar ve diğ., (2008) Bu çalışmada, tedarik merkezlerinden sunulan ve bilinen talep noktalarında kapasitesi olan ve çok tesisli yer seçimi probleminin çözümü için bulanık kümelenmeye dayalı yöntemler önerilmiştir. Ulaştırma maliyetini optimize eden ağırlık merkezi yöntemi, tesis yerini hassas bir şekilde ayarlamak için kullanılmıştır ve Türkiye'de gerçek dünya uygulamalarının sayısal sonuçları bildirilmiştir.

Büyüksaatçi ve diğ., (2008) çalışmalarında reel bir uygulama üzerinden kapasite, maliyet, talep ve coğrafi konum kısıtlarına bağlı olarak Gustafson-Kessel bulanık öbekleme algoritması-Konveks programlama melez modeli ile sınıflandırmayı gerçekleştirmiş sonrasında ise modeli çeşitli kısıtlar altında parametrik olarak çözmüşlerdir.

Düzakın ve Demircioğlu, (2009) araç rotalama problemini aynı veya farklı dağıtım merkezlerinden olmak üzere belirli müşterilere ürün dağıtımı veya toplanması olarak tanımlamıştır. Bu problem, araç kapasiteleri ve servis noktalarında oluşabilecek servis süresi kısıtlarını dikkate alarak rota planlayan ve belirli bir kapasiteye sahip araçların etkin olarak kullanılmasına yoğunlaşmaktadır.

Berbeglia ve Cordeau, (2009) Bu çalışmada nesnelerin veya insanların gerçek zamanlı olarak toplanması ve teslim edilmesi gereken dinamik teslim alma ve teslimat sorunları olarak adlandırılan sorunlar ele alınmaktadır. Bazı genel konuları ve çözüm stratejilerini önerilmektedir.

Esnaflık ve Küçükdeniz, (2009) Bu çalışmada, çoklu tesis lokasyon problemi için bulanık kümeleme tabanlı hibrit yöntem sunulmuştur. Her tesisin kapasitesinin sınırsız olduğu varsayılmaktadır. Yöntem, sıralı olarak farklı yaklaşımlar kullanır. Başlangıçta müşteriler coğrafi konumlarına göre küresel ve eliptik bulanık küme analiz yöntemleriyle gruplandırılmaktadır. Mevcut ve önerilen yerlerin sonuçları bildirilmiştir.

Yücenur ve Demirel, (2011), çok dağıtım merkezine sahip rotalama probleminin çözümü için genetik algoritma (GA) ve karınca kolonisi optimizasyonunun (KKO) birlikte kullanılmasıyla oluşturulan melez meta sezgisel bir model oluşturup, amacın tüm araçlar tarafından kat edilen toplam yol uzunluğunun minimize edilmesi hedefini gerçekleştirmiştir.

Çetin ve diğ., (2011) Farklı kapasite türlerine sahip araç filolu bir organizasyona istinaden eş zamanlı dağıtım toplamalı araç rotalama problemlerinin çözümü için yeni bir sezgisel algoritma önerilmiş ve önerilen algoritmaya dayalı bir karar destek sistemi (KDS) oluşturulmuştur.

Küçükdeniz ve diğ., (2011) çalışmalarında, yeşil tedarik zinciri kapsamında tesis yerlerinin kurulumunun ardından taşıma süreçlerinden kaynaklanan karbon emisyon hacminin en küçük değere ulaşması amacı ile kapasite kısıtsız tesis yeri seçimi problemi için bir çözüm önerisi geliştirilmiştir.

Wang ve Chen, (2011) tarafından, karma ikili tamsayı programlama modeli geliştirilmiş ve doğrulanmıştır. NP doğası gereği, çözüm prosedürünü hızlandırmak için en ucuz ekleme yönteminin varyantlarıyla birlikte ortak evrim genetik algoritması önerilmiştir. Temel genetik algoritma, önerilen algoritma nispeten daha kısa bir sürede daha iyi çözümler sunabileceği gösterilmiştir.

Küçükdeniz ve diğ. (2012) tarafından, bu çalışmada, kapasiteli tedarik merkezlerinden sunulan bilinen talep noktalarının kapasiteli çok-tesisli lokasyon probleminin çözümü için bulanık c-ortalamlar kümeleme algoritması tabanlı bir yöntem önerilmiştir. Sayısal sonuçlar, önerilen yaklaşımın, bulanık c-ortalamlar ve gravite merkezi metotlarının ulaştırma masrafları açısından entegre kullanımının kullanılmasından daha iyi performans gösterdiğini göstermektedir.

Tunçbilek ve diğ. (2012) bu çalışmada, yeni bir çoklu tesis yeri ve tahsis yöntemi önerilmiştir. Bu metot, iyi bilinen referans problemlerinin ve üretilen problemlerin optimize edilmesi için yerel arama yapılarak veya yapılmadan alternatif modellerde sürekli ve ayrık parçacık sürü optimizasyon tabanlı tesis lokasyon yöntemleri ile karşılaştırılmış ve karşılaştırılmıştır.

Aytuğ, (2013) Bu çalışma kapsamında, meta sezgisel yöntemler, arama çözüm sayısına bağlı olarak, tek çözüm ve toplum tabanlı meta sezgisel yöntemler olarak ayrıştırılmış ve bu ayrımlar bazında temel algoritmalar tanıtılmıştır.

Hezer ve Kara (2013), Dağıtım ve toplama faaliyetlerinde kullanılan araçların yol tanımlarının belirlenmesi, taşımacılık maliyetlerinin minimize edilmesi ve meta sezgisel metotlar üzerine odaklanmıştır.

Esnaflar ve Küçükdeniz (2013), kapasite kısıtsız coğrafi çoklu tesis yeri problemleri için gözden geçirilmiş ağırlıklı bulanık c-ortalamlar algoritması önerilmiştir. Klasik bulanık c-ortalamlar algoritması, bulanık c-ortalamlar ve ağırlık merkezi kombinasyonu ve parçacık sürü optimizasyonu algoritması gibi farklı yöntemleri sırayla kullanma yükümlülüğünü ortadan kaldırır. Kapasite kısıtsız coğrafi çoklu tesis yeri problemi için önerilen algoritmanın performansı, iyi bilinen araştırma veri setleri üzerinde test edilmiştir.

Kuzu, Tunçer ve diğ. (2014) tarafından, stokastik optimizasyon tekniklerinin en genel sınıfı olan meta sezgisel yöntemlerle gezgin satıcı problemlerinin çözümünü ele alınmıştır. Klasik matematiksel yöntemlerle çözümü zor ve belli bir boyuttan sonra imkânsız olan problemler için meta sezgisel yöntemler etkin bir çözüm alternatifi oluşturulmuştur.

Zachariadis ve diğ., (2014) Çalışmada, Yük Bağımlı ARP olarak adlandırılan temel pratik öneme sahip bir Araç Yönlendirme Problemi (ARP) değerlendirilmektedir. Ulaşılan mesafenin minimize edilmesini öngören temel ARP'nin aksine, Yük Bağımlı ARP hedefi, kat edilen mesafenin toplam ürününü ve bu mesafe boyunca taşınan brüt ağırlığı en aza indirmeyi amaçlamaktadır.

Şahin ve Eroğlu, (2014) araç rotalama problemini popüler bir NP-Zor sınıfı bütünleşik optimizasyon problemi olarak tanımlamıştır. Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi için meta sezgisel yöntemler için literatür araştırması gerçekleştirmiştir.

Bozyer, (2014), Kapasite kısıtlı araç rotalama problemlerinin (K-ARP) çözümüne yönelik önce grupla sonra rotala prensibine dayanan sezgisel bir yöntem önerilmiştir. Rotalama adımı ile ise tabu arama prensiplerine dayanan bir arama algoritması ile rotalar iyileştirilmeye çalışılmıştır.

Büyüksaatçi, (2014) bu yazıda, karbon emisyonuna dayalı tesis yeri problemi ele almıştır. Dağıtım şebekesinde CO₂ emisyon miktarını azaltmayı amaçlayan yeni bir yöntem sunulmaktadır. Kümeleme analizlerini gerçekleştirmek için Bulanık C-Ortalamlar ve Gustafson-Kessel algoritmaları kullanılmıştır. Bunu takiben, klasik ağırlık merkezi yönteminden geliştirilen yeni bir yöntem olan emisyon tabanlı ağırlık merkezi yöntemi kullanılarak tesisler ve müşteriler arasındaki ulaştırma faaliyetlerinden kaynaklanan CO₂ emisyon seviyelerinin en aza indirilmesi yoluyla uygun tesis yeri seçilmiştir.

Esnaflar ve diğ. (2014) tarafından bu çalışmada, açıklanmayan tesis yeri problemlerini çözmek için yeni bir algoritma önerilmiştir. Algoritma, orijinal bulanık c-ortalamlar (BCO) algoritmasının özel bir sürümüdür. BCO algoritmasında, etiketlenmemiş veriler kümelenir ve küme merkezleri, bilinen durma kriterine göre yinelemeli olarak belirlenir. Orijinal BCO'dan farklı olarak, önerilen algoritma, etiketlenmemiş verilerin, sabit olduğu ve üyelik derecelerine göre tesislerin öncelikli bir lokasyonu olduğu varsayılarak, ilgili kümelenmeler merkezlerine tek iterasyon ile atanmasına izin verir.

Keçeci ve diğ., (2015) Birbirinden farklı kapasitelere sahip bir araç filosunun mevcut olduğu ve müşterilerin dağıtım ve toplama taleplerinin eşzamanlı gerçekleştiği durumların birlikte dikkate alındığı bir ARP türü üzerinde çalışılmıştır. Problem için polinom sayıda kısıta sahip akış tabanlı bir matematiksel model önerilmiştir.

Alağaç ve diğ. (2016) bir veya birkaç depodan, belirli coğrafi noktalara dağılmış müşterilere ürünlerin dağıtılması ve/veya toplanmasının araçların aldığı toplam yolu en azaltacak şekilde belirlenmesi kapasite kısıtı olmak üzere ağırlık ve hacim değerlerini eş zamanlı olarak kısıt olarak tanımayarak sistemi modellemiştir.

Küçükdeniz ve Esnaf, (2016) bu çalışmada, standart parçacık sürü optimizasyonu algoritması için planlı olmayan bir komşuluk tarama yapısı önerilmiş ve çoklu tesis yeri problemi için sunulmuştur. Önerilen yöntem, k-ortalama, bulanık c-ortalama ve yerçekimi melez bir yöntem merkezinde literatürden birkaç büyük veri kümeleri üzerinde standart parçacık sürü optimizasyon algoritması karşılaştırılmıştır.

Taşkın ve Esnaf, (2017) bu çalışmada, karayolu taşımacılığı sektöründeki bir soruna müşteri davranışları yaklaşımıyla bir gelir yönetimi modeli uygulanmaktadır. Bellman denklemleri ile iyi bilinen ayrık zamanlı dinamik programlama modeli, tam kamyon yükü durumlarını ve karayolu taşımacılığı endüstrisindeki kamyon yükünden daha azını çözmek için kullanılır. Verimli kümeler, çözüm alanının boyutunu azaltmak ve optimal karar politikasını belirlemek için tanımlanır ve kullanılır.

Kucukdeniz ve diğ., (2018) Bu çalışmada, genelleştirilmiş çok kaynaklı Weber problemi için hibrid revize ağırlıklı bulanık c-ortalamlar (RABCO) kümeleme ve RABCO-NM olarak adlandırılan hibrit RABCO ve Nelder-Mead (NM) simpleks algoritması önerilmiştir.

Gergin ve diğ., (2019) Bu çalışmada, sürekli çoklu tesis yeri problemlerini çözmek için Yapay Arı Kolonisi (YAK) tabanlı kümeleme algoritması önerilmiştir. Çok değişkenli veri kümelemesine uygulanan orijinal versiyondan farklı olarak, YAK tabanlı kümelenme burada iki boyutlu kümelenmeyi çözer.

3. MALZEME VE YÖNTEM

[Tez çalışmasında lojistik sektöründe sıklıkla uygulaması görülen Eş zamanlı Dağıtım Toplamalı Araç Rotalama Problemine (EDTARP) Gelir Yönetimi yaklaşımı ile çözüm bulmak üzere yeni bir model geliştirilmiştir. Bu model EDTARP modeline Gelir Yönetimi parametrelerinin eklenmesinden sonra iki farklı karar değişkeni ortaya çıkmıştır. Bir yandan hangi müşterilere hizmet edileceği belirlenirken diğer yandan hizmet verilecek müşterilere araçların hangi rotalardan gideceğine karar verilmektedir. Diğer çalışmalardan farklı olarak toplam taşıma maliyeti, araç kapasiteleri, günlük toplam çalışma süresi, müşterilerden elde edilecek kazanç bir arada ele alınmaktadır. Bu yönüyle özgün olan bu çalışma sonuç itibariyle rota planlamasının toplam karlılığına odaklanmaktadır ve salt gelire ya da salt gidere odaklanmaktan daha verimli ekonomik çıktılar üretmektedir.

Aynı zamanda araçların günlük çalışma süresi itibariyle Zaman Kısıtı Altında Takım Oryantiring Probleminde olduğu gibi araçlara verilen rotanın gün içerisinde tamamlanması hedefi, dağıtım toplama planının hem taşıma firması hem de müşteriler açısından daha uygulanabilir olmasını sağlamaktadır. İşlemlerin günlük çalışma saatleri dışına çıkması fazladan maliyetler ya da müşteri şikayetine sebep olabilmektedir (Özdemir, 2013)

3.1. Gelir Yönetimi odaklı Eşzamanlı Dağıtım Toplamalı Araç Rotalama Problemi (GYEDTARP) Modeli

Bu çalışmada önerilen (GYEDTARP) modeline göre, dağıtım operasyonundan elde edilen karı maksimize etmek için, aşağıdaki parametreler dikkate alınmaktadır:

- **Erken rezervasyon indirimi:** Yüksek ücret ödemek istemeyen fakat erken sipariş verip, beklemeye hazır olan müşterileri kazanmak için indirimli fiyat uygulaması yapılmaktadır. Böylece araç doluluk oranları yükseltilmesi hedeflenmektedir. Toplam araç kapasitesinin belirli bir oranı mutlaka erken rezervasyonlara ayrılır.
- **İndirimsiz fiyat:** Erken rezervasyon dönemi geçtikten sonra gelen siparişler için normal ya da daha yüksek fiyatların teklif edilmesi. Bu müşterilerin kabul ettiği farklı birim fiyatların ortalamasının ve standart sapmasının incelenerek ileriki dönemler için fiyat seviyeleri belirlenir.
- **Sipariş iptali:** Araç kapasitesinin dolduğu durumda hala yeni müşterilerden sipariş geliyor ise, önceden erken rezervasyonu yapan müşterilerin reddedilmesi ve ceza ödenmesi veya daha yüksek bir maliyetle (ceza maliyeti) başka bir yüklenici firma ile dağıtılıp toplanması tercih edilir.
- **Nakliye maliyeti:** Her bir aracın günlük sabit bir maliyeti ve kat ettiği yol ile orantılı değişken maliyeti bulunmaktadır. İlk üç madde ile geliri maksimize ederken, bu maddedeki nakliye maliyeti de araç rotalarının verimli şekilde planlanması ile maliyet minimizasyonu yapılır. Değişken nakliye maliyeti her yol için farklı oluşur. Farklı noktalar arası yolun uzaklığı farklıdır. Maliyetler tüm nokta ikilileri için ayrı ayrı hesaplanmalıdır.

Örnek olarak ele alınan çelik servis tesisine gelen talepler yılın bazı dönemlerinde, tesisin dağıtım ve toplamasını yapan araçların kapasitesinden fazla olmaktadır. Talebin kapasiteyi aşma durumu sürekli olmadığı için firma yeni araç yatırımı yapmak istememektedir. Sürekli olsaydı, firma araç kapasitesini artırmayı düşünebilirdi. Kapasiteden fazla talep olan dönemlerde araçların planlaması için bu modelde literatürdeki modellerde rastlanmayan Gelir Yönetimi Odaklı model kullanılmıştır. Bu yöntemde iki farklı sipariş tipi tanımlanmıştır:

- Teslim tarihinden önceden belirlenmiş bir süre önceden verilen erken siparişler,
- Teslim tarihinden önceden belirlenmiş bir süreden daha az zaman varken verilen geç siparişler

Gelir Yönetimi için firma toplam araç kapasitesinin belirli bir oranını (örneğin %30'unu) düşük ücret ile erken rezervasyon yapmış olan müşterilere ayıracaktır. Bu oran geçmiş sipariş verilerini analiz ederek hesaplanmaktadır. Eğer ilerideki bir teslim tarihi için toplam araç kapasitesinin üzerinde siparişler alındıysa, gelir yönetimi yardımıyla siparişler karlılığa göre

seçilecek, düşük karlı olan siparişlerden bazıları müşteriye ödenecek bir ceza tutarına katlanarak, reddedilir. Bazı durumlarda, reddedilecek olan müşterilerin siparişleri kargo firması ile gönderilir ve bedeli firma tarafından karşılanır.

Kapasiteden daha az talep olan dönemlerde ise Gelir Yönetimi metodu işleme alınmadan tüm siparişler kabul edilerek, klasik Zaman Sınırlı Takım Oryantiring Problemi (Time Deadline Team Orienteering Problem) çözümü uygulanarak araçların rotası planlanacak ve maliyet minimizasyonu yapılacaktır.

Böylece firma elindeki araçları sabit maliyeti karşılamak amacıyla en az zararla kullanmış olacaktır.

3.1.1. Siparişlerin Seçilmesi ve Rota Planlama İşlemleri

Belirli bir gün için alınan siparişler bir tabloya işlenir. Siparişin erken rezervasyon ya da normal sipariş olmasına göre değişen birim fiyatı ile her sipariştan elde edilecek gelir hesaplanır. Araç rotalamasına göre o müşteriye teslim edilecek ya da o müşteriden alınıp depoya getirilecek ürünlerin hangi araçla, hangi yollardan geçeceği belirlenir ve taşıma maliyeti hesaplanır. Bir siparişi rotaya dahil edip etmeme kararı o siparişin toplam karlılığa etkisine bakılarak verilir. Daha az karlı olan siparişler reddedilir. Erken rezervasyon yapmış olan müşterilere önceden belirlenmiş birim fiyata göre ceza tutarı ödenir.

3.1.2. Yükselti Esaslı Ulaştırma Maliyeti

İlk kez Özoğlu ve diğ. (2019) tarafından tesis yer seçimi problemi için önerilen ulaştırma maliyetlerine önemli bir etkisi olan yükselti değerleri tesis yer seçimi literatüründe araştırıldığı kadarıyla ilk kez bu anılan çalışmada maliyet hesaplaması sırasında kullanılmıştır. Araç ve yük ağırlığıyla birlikte dikkate alınarak, taşıma maliyetlerinin azaltılmasında olumlu etkisi olmuştur. Yükseltinin dikkate alınması GYEDTARP Modeli ile de ARP problemleri arasında ilk defa bu tez çalışmasında önerilmiştir. Google Maps Elevation veri tabanı servisini kullanarak müşteri adreslerinin enlem ve boylam değerlerini gönderip, o noktada yer yüzünün deniz seviyesinden yükseklik bilgisi alınmıştır.

Örnek veri setlerindeki müşteri listesindeki koordinatları kullanarak her müşterinin yükselti değeri alındıktan sonra, iki nokta arası yükselti farkı iki nokta arasındaki ulaştırma maliyetine yükseltiden kaynaklanan ek maliyeti belirlemek için aşağıdaki gibi kullanılmaktadır:

y_i : i noktasının yükselti değeri (mt)

y_j : j noktasının yükselti değeri (mt)

u_{ij} : i noktasından j noktasına uzaklık (km)

c_{ij}^k : i noktasından j noktasına araç k ile ulaşmanın maliyeti (TL)

α_{ij} : Birim ulaştırma maliyeti (TL / km)

β_{ij} : Tırmanış ya da iniş çarpanı. (TL / mt)

$$c_{ij}^k = \alpha_{ij} \times u_{ij} + \beta_{ij} |y_i - y_j| \quad (2)$$

Araçlar yokuş çıkarken daha fazla yakıt harcayacağı için iki nokta arası yükseklik farkı kadar fazla bir maliyet oluşur. Araçlar yokuş aşağı inerken ise çok sık fren kullanacağı için yükseklik farkı kadar, ama tırmanış oranından farklı bir oranda maliyet oluşturur. İki nokta arasındaki yol düz bir çizgi olarak kabul edilmiştir. Arada vadi ya da tepe varsa dikkate alınmamıştır.

Aşağıdaki (Şekil 3.1) hesaplama ekranında internetten erişilebilen Google haritalar servisine yer yüzündeki bir konum bilgisi enlem ve boylam değeri olarak gönderildiği ve sonuç olarak ilgili noktanın yükselti (elevation) değerinin elde edildiği görülmektedir.

```

https://maps.googleapis.com/maps/api/elevation/json?locations=39.7391536,-104.9847034
{
  "results" : [
    {
      "elevation" : 1608.637939453125,
      "location" : {
        "lat" : 39.73915360,
        "lng" : -104.98470340
      },
      "resolution" : 4.771975994110107
    }
  ],
  "status" : "OK"
}

```

Şekil 3.1.: Google harita servisinden alınan yükselti verisi örneği

Gelir yönetimi odaklı eş zamanlı dağıtım toplamalı araç rotalama probleminde birden çok aracın merkez depodan çıkıp dağıtım ya da toplama ihtiyacı olan müşterilere uğrayarak tekrar merkez depoya dönecek şekilde rotaları planlanmaktadır. Araçların çalışma süresi günlük olarak belirlenen maksimum süreyi aşamaz. Tüm rota boyunca araçtaki yük miktarı da araç kapasitesini geçmemelidir.

3.2. Gelir Yönetimi Odaklı Eşzamanlı Dağıtım Toplamalı Araç Rotalama Problemi (GYEDTARP)

n : Müşteri sayısı

N : Noktalar kümesi $\{0, 1, \dots, n\}$ (0: Merkez depo, $1, \dots, n$: Müşteriler)

N_c : Müşteriler kümesi $N_c = N \setminus \{0\}$

N_e : Erken rezervasyon yapan müşteriler kümesi $N_e \subseteq N_c$

K : Hizmet verecek araçlar kümesi

Karar değişkenleri:

Problemin çözümü sırasında aşağıdaki iki karar verilmelidir:

- Gelir yönetimi esaslarına göre karlılığı düşük olan müşterilerden vazgeçerek, hangi müşterilere hizmet verileceği
- Seçilen müşterilere hangi araçların hangi rotayı izleyerek gideceği

r_i : Müşteri i 'nin siparişi karşılanacak ise 1, reddedilecek ise 0, $i \in N_c$.

x_{ij}^k : Araç k , i noktasından j noktasına gidecek ise 1, değilse 0, $i \in N, j \in N, k \in K$.

Amaç fonksiyonu:

Amaç fonksiyonu bir yandan ziyaret edilecek müşterilerden en fazla karı elde etmeyi hedeflerken, diğer yandan, erken rezervasyon yapmış müşteriler arasında siparişleri iptal edilip, ziyaret edilmeyecek olan müşterilere en az cezayı ödemeyi hedefler.

$$\max \sum_{i \in N_c} r_i v_i - \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} x_{ij}^k c_{ij}^k - \sum_{i \in N_e} (1 - r_i) z_i \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N_c} x_{0j}^k = \sum_{k \in K} \sum_{i \in N_c} x_{i0}^k = K \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N} \sum_{k \in K} x_{ij}^k = r_i \quad \forall i \in N_c \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} \sum_{k \in K} x_{ij}^k = \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} x_{ji}^k \quad \forall i \in N_c \quad (4)$$

$$x_{ii}^k = 0 \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} t_{ij} x_{ij}^k + \sum_{i \in N_c} \sum_{j \in N} s_{ij} x_{ij}^k \leq T_{max} \quad \forall k \in K \quad (6)$$

$$q_0^k = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N_c} d_j x_{ij}^k \quad \forall k \in K \quad (7)$$

$$q_i^k = \left(\sum_{j \in N} q_j^k x_{ji}^k \right) + \left(\sum_{j \in N} x_{ij}^k \right) (p_i - q_i) \quad \forall i \in N_c, \forall k \in K \quad (8)$$

$$q_i^k \leq Q_{max}^k \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (9)$$

$$\sum_{i \in N_e} r_i d_i \leq \delta \sum_{k \in K} Q_{max}^k \quad (10)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N, \forall k \in K \quad (11)$$

$$r_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in N_c \quad (12)$$

$$c_{ij}^k = (\alpha u_{ij} + \beta |e_i - e_j|)(Q_0^k + q_i^k) \quad \forall i, j \in N, \forall k \in K \quad (13)$$

$$t_{ij} = \frac{u_{ij}}{\varepsilon} \quad \forall i, j \in N \quad (14)$$

- **Amaç fonksiyonu (1):** Problemin çözümünde amaç toplam kazancı ençoklamaktır. Toplam kazanç gelir, maliyet ve ceza olmak üzere üç parçadan oluşur. Müşterilerden elde edilecek toplam kazanç, ziyaret edilecek olan müşterilerin ödeyeceği tutarların toplamından, depodan çıkıp, müşterilere uğrayıp, tur sonunda depoya dönen araçların toplam ulaştırma maliyetini ve siparişleri iptal edilen müşterilere ödenecek ceza tutarını çıkartarak hesaplanır.
- **Tüm araçların depodan çıkıp ve depoya dönmesi kısıtı (gezgin satıcı) (2):** Turların başlayıp, sona ereceği ana depo noktalar kümesinde 0 indeks ile gösterilmektedir. Ana depodan çıkması planlanan araç sayısı, toplam araç sayısı K 'ya eşit olmalıdır. Aynı şekilde, depoya dönmesi planlanan araç sayısı da toplam araç sayısına eşit olmalıdır. Başka bir deyişle, rota planında tüm araçlar yer almalıdır.
- **Seçilen her bir müşteriye tek bir araçla hizmet verilmesi, seçilmeyenlere hiç araç atanmaması kısıtı (3):** Bu kısıt hem gelir yönetiminin çıktılarıyla araç rotası planlamasının uyumlu olmasını hem de her bir müşteriye en fazla birer aracın uğramasını sağlar. Araç planlaması, müşteri siparişinin iptal edilip edilmediğine uygun olarak yapılmalıdır. Bir müşterinin siparişi iptal edilecek ise, bununla ilgili karar değişkeni r_i 0 değerini alır. Bu durumda olan müşterilere hiçbir araç planı yapılmamalıdır. Bu müşteriye doğru tüm gelişlerin ve tüm çıkışların toplamı 0

olmalıdır. Siparişi iptal edilmeyen müşteriler için ilgili karar değişkenleri 1 değerini alır. Bu müşterilere en fazla bir araç ziyaret yapılmalıdır, bu müşteriye doğru tüm gelişlerin ve tüm çıkışların toplamı 1 olmalıdır.

- **Her müşteriye atanan araç ile gelen ve giden sefer sayısı denkliği kısıtı (4):** Bu kısıt ile amaç, rota planında sürekliliği sağlamaktır. Bir müşteriye gelişlerin toplamı ile o müşteriden çıkışların toplamı eşit olmalıdır. (3) nolu kısıta göre bu toplam 0 ya da 1 olacaktır. Başka bir deyişle, bir müşteriye geliş planlanmış ise çıkış da planlanmalıdır, geliş planlanmamış ise çıkış da planlanmamalıdır.
- **Aynı noktadan aynı noktaya gidiş yasağı (5):** Rota planlaması yapılırken, bir noktadan aynı noktaya gidişe izin verilmemelidir. x_{ijk} karar değişkenleri arasında $i=j$ olanlar mutlaka 0 değerini almalıdır.
- **Araç başına hizmet süresi kısıtı (6):** Araçların plan yapılan gündeki toplam hizmet süresi önceden belirlenmiş maksimum süreyi aşmamalıdır. Araçların çalışma süresi depodan müşterilere, müşterilerden diğer müşterilere ve son olarak depoya gidiş süreleri ile uğradıkları müşterilerdeki işlem süreleri toplanarak hesaplanır.
- **Depodan çıkıştaki toplam yük denklemi (7):** Her bir araç dağıtım talebi olan müşterilerin toplam yükü ile depodan çıkacaktır. Her bir aracın uğrayacağı dağıtım talebi olan müşterilerin taleplerinin toplamı araç kapasitesinden fazla olmamalıdır.
- **Her müşteriden ayrılırken araçtaki yük denklemi (8):** Bir müşteriye önceki müşteriden çıkış yüküyle gelen bir araç o müşterinin dağıtım talebi kadar yükü araçtan indirir, müşterinin toplama talebi kadar yükü araca alır. O müşteriden çıkış yükü önceki noktadan (müşteri ya da depodan) çıkış yüküne ile kendi talebinin eklenmesi ya da çıkartılmasıyla hesaplanır.
- **Depodan ve her müşteriden ayrılırken araç kapasitesi kısıtı (9):** Araçların depodan ve müşterilerden ayrılırken taşıdığı toplam yük miktarı (7) ve (8) nolu denklemler ile hesaplanır ve bu miktar rota boyunca hiçbir zaman araç kapasitesini aşmamalıdır.
- **Erken rezervasyon için ayrılan maksimum kapasite sınırı (10):** Gelir yönetimi analizleri sırasında geçmiş dönemlerdeki siparişlere göre araçların ne kadar kısmı boş kaldığı hesaplanır ve ileriki dönemlerde araçların o kadar kapasitesi düşük fiyatla satışa açılır. Düşük fiyatlı erken rezervasyonlar için maksimum kapasite limiti belirlenmiştir. Bu orana ulaşıldıktan sonra erken rezervasyonlu sipariş alınamaz. Firmanın karlılığını

korumak amacıyla toplam araç kapasitesinin belirli bir kısmı erken rezervasyon yapan müşterilere ayrılmaktadır. Örnek: %30 kapasite ayrılacak ise $\delta=0.3$ değerini alır.

- **Rota karar değişkeninin 0 ya da 1 olma kısıtı (11):** Depo ve müşterilerden oluşan noktalar kümesinden iki nokta arasındaki yoldan gidilip gidilmeyeceğini her bir araç için belirten karar değişkeni 0 ya da 1 değerlerini alabilir. Rota karar değişkeni x_{ijk} 1 ise araç k , i ve j noktaları arasında i 'den j 'ye doğru yol alacaktır, 0 ise araç k bu yoldan gitmeyecektir.
- **Müşteri siparişinin kabul ya da reddedilmesi değişkeninin 0 ya da 1 olma kısıtı (12):** Araçların kapasiteleri toplamından fazla sipariş olması durumunda gelir yönetimi yoluyla bazı siparişlerin reddedilmesine karar verilir. Müşteri i 'nin siparişi kabul edilecek ise 1, reddedilecek ise 0 değerini alır.
- **Ulaştırma maliyeti denklemi (13):** Bu denklem her bir aracın iki nokta arasında yapacağı taşımanın maliyetini belirtir. Maliyet, aracın kendi ağırlığı ile üzerindeki yükün ağırlığının toplamına ve gidilecek yolun uzunluğu ile iki nokta arasındaki yükselti farkına bağlıdır. Toplama ve dağıtma yaptıkça aracın üzerindeki yük noktadan noktaya değişmektedir. Yolun uzunluğu iki nokta arasındaki Öklid uzaklık olarak alınmıştır. Uzaklığa bağlı α ve yükselti farkından hesaplanan eğime bağlı β sabit çarpanları ile maliyet değeri hesaplanır.
- **Ulaşım süresi denklemi (14):** İki nokta arasındaki ulaşım süresi gidilecek uzaklığın sabit bir hız değerine bölünmesiyle bulunur.

Parametreler:

d_i : Depodan müşteri i 'ye teslim edilmesi talep edilen miktar, $i \in N_c$

p_i : Müşteri i 'den depoya toplanması talep edilen miktar, $i \in N_c$

q_i^k : Araç k 'nın i noktasından (depo ya da bir müşteri) ayrılırken taşıdığı yük miktarı, $i \in N$

v_i : Müşteri i 'den elde edilen gelir tutarı, $i \in N_c$

z_i : Müşteri i 'nin siparişi iptal edilirse ödenecek ceza tutarı, $i \in N_e$

δ : Toplam kapasitenin düşük fiyatla erken rezervasyon yapan müşterilere ayrılacak oranı.

Q_0^k : Araç k 'nın boş ağırlığı (araçların ağırlıkları farklıdır)

$Q_{\max}^k$: Araç k'nın taşıma kapasitesi (araçların kapasiteleri farklıdır)

e_i : i noktasının yükselti değeri (mt)

e_j : j noktasının yükselti değeri (mt)

u_{ij} : i noktasından j noktasına uzaklık (km)

c_{ij}^k : i noktasından j noktasına araç k ile ulaşmanın maliyeti (TL)

α : Birim taşıma maliyeti (TL / km)

β : Tırmanış ya da iniş çarpanı. (TL / mt)

$T_{\max}$: Araçların toplam çalışma (yol + yükleme / boşaltma) süresi limiti

t_{ij} : i noktasından j noktasına ulaşma süresi

s_i : Araçların i noktasında bekleme (yükleme / boşaltma) süresi

ε : Araçların ortalama hızı (km/saat)

Büyük veriye sahip gerçek hayat problemlerini bu çalışmada önerilen GYEDTARP ile modellemek mümkündür. Ancak bu büyüklükteki problemler için oluşturulan GYEDTARP modelinin çözümü için kesin çözüm algoritması veya yöntemi ortaya koymak mümkün olmamıştır.

NP-zor problemlerin çözümünde yararlanılan meta sezgisel algoritmalarından Karınca Koloni Algoritması ilk kez bu çalışmada önerilen Gelir Yönetimi Odaklı Eşzamanlı Dağıtım Toplamalı Araç Rotalama Problemi (GYEDTARP) modelinin çözümü için kullanılmıştır. S. Mostapha Kalami Heris tarafından MATLAB ortamında hazırlanıp <http://yarpiz.com> adresinde paylaşılmış olan Gezgin Satıcı Problemi için Karınca Kolonisi Algoritması kodları alınıp GYEDTARP çözümü için uyarlanmış ve tez çalışmasında ele alınan problemler üzerinde

çalıştırılmıştır. Ayrıca, sadece 4 müşteri verisinden oluşan açıklayıcı örnek problemin çözümü için Genetik Algoritmalar kullanılmıştır.

3.3.Karınca Kolonisi Algoritması

Karınca Kolonisi Algoritması, karıncaların yiyecek noktalarına yuvalarından ulaşacakları en kısa yolu bulma yeteneklerinden esinlenilerek tasarlanmıştır. Bir anda birden çok seçenek yol söz konusu olduğunda karıncalar, öncelikle bu yollara eşit olasılıkla denerlerken, bir süre sonra en kısa olan yol üzerinde daha çok sayıda karıncanın gidip geldiği gözlenmektedir.

Karıncalar önceki geçişlerde yollara bıraktıkları feromon (salgı) izlerini algılayarak hangi yolu tercih edeceklerine karar vermektedir. Üzerindeki feromon miktarı yoğun olan yolun tercih edilme olasılığı daha yüksek olmaktadır.

Feromon salgısı zamanla uçtuğu için kısa olan yolda kalan feromon miktarı uzun yollara göre daha fazla kalmakta ve kısa yoldan daha fazla karınca geçtikçe daha fazla feromon birikmektedir. Kısa olan yoldan geçiş daha kısa sürede gerçekleşeceğinden, birim zamanda geçiş yapan karınca sayısı uzun yola göre daha fazla olacaktır. Bu nedenle her bir yol üzerindeki feromon miktarı, yolun uzunluğuyla ters orantılıdır.

Karınca Kolonisi Algoritması rota oluşturma problemlerine uygulandığında N adet noktalardan herhangi birinden tura başlanıldığında, tercih edilebilecek yol alternatifi sayısı $N-1$ adettir. Her bir noktada tercih yaparak ilerledikçe, sonraki noktalarda alternatif yol sayısı bir eksilerek devam etmektedir. Algoritma ilk turda çalışırken karıncalar başlangıç noktasından gidecekleri bir sonraki noktayı eşit olasılıkla seçerler ve bu şekilde devam ederek ilk turlarını tamamlarlar. Böylece her yol üzerinde eşit feromon izleriyle kalır. Daha sonra üzerinden bir karıncanın geçtiği yollardaki feromon miktarları, yolun uzunluğuyla ters orantılı olarak hesaplanır ve yol üzerindeki feromon miktarına eklenir. Yollardan gerçekleşen geçiş miktarı ile artan, yol

uzunluğu ile azalan miktarlarda feromon eklenir. Sonraki turlarda karıncalar hangi yolu seçeceklerini güncel feromon miktarlarıyla orantılı olarak olasılıkla belirler.

Karınca Kolonisi Algoritması'nda yol tercihi iki farklı şekilde belirlenir: İlk seçenek q_0 olasılıkla en yoğun feromon olan alternatifin seçilmesidir. q_0 parametresi genellikle % 90 olarak belirlenir.

$\tau(i,j)$ i ve j noktaları arasındaki feromon miktarı, $\eta(i,j)$ seçilebilirlik parametresi, 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:

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

Diğer seçenek ise yollardan bir tanesini üzerlerindeki feromon izleri oranında olasılıkla seçmektir. Bu durumda yolun seçilme olasılığı $1 - q_0$ oranında olmaktadır. $J_k(i)$, i noktasındaki karıncanın gitme olasılığı olan ve rotada henüz uğranmamış noktaların kümesidir. Tüm noktalar için seçilme olasılıkları aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

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

Yol seçimi bu olasılıklara orantılı olarak yapılmaktadır. Üzerinde yoğun feromon olan yolların seçilme olasılığı diğerlerine göre daha yüksektir.

Feromon buharlaşmasının hesaplanması:

Feromon miktarı Karınca Kolonisi Algoritmasında iyi alternatifler hakkındaki bilgiyi kolonideki bireyler arasında aktarmak ve kalıcı hale getirmek için kullanılmaktadır. Diğer

yandan bu kalıcı bilgi yeni alternatiflerin denenmesini engellemektedir. O nedenle gerçek durumda feromon salgısının buharlaşarak azaldığı gibi algoritmada da feromon miktarları zaman içinde azaltılarak güncellenmektedir. Böylece çözüm uzayının farklı bölgelerinin taranmasına imkan verilmektedir. Güncelleme işlemi tüm karıncalar turlarını tamamladıktan sonra yapılır.

Feromon güncellemesinin iki temel aşaması vardır:

- a) Tüm yollardaki feromonların, belirlenen oranda (buharlaşma oranı) azaltılması.
- b) Karıncaların geçtiği yollardaki feromon miktarlarının, arttırılması.

Buharlaşma daha önceki çözümlerin önceliğinin azalmasını sağlamaktadır. Arttırma işlemi yoldan geçen karınca sayısı ile doğru orantılı, yolun uzunluğuyla ters orantılı olarak yapılır. Arttırma işlemi, önceden taranmamış iyi çözümlerin önemini arttırılmasını sağlar.

Karınca Koloni Algoritmasında feromon güncellemesi lokal ve global olmak üzere iki aşamada yapılmaktadır.

Lokal feromon güncellemesi:

$\tau_{ij}(t)$, t iterasyonuna kadar i noktasından j noktasına giden yolda biriken feromon seviyesi,

$\Delta\tau_{ij}^k(t+1)$, t iterasyonunda eklenen feromon miktarı,

$L^k(t+1)$ k karıncasının toplam tur uzunluğu ve

ρ ($0 \leq \rho \leq 1$), feromon buharlaşma parametresi olmak üzere lokal feromon seviyesi aşağıdaki iki formül ile hesaplanır:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k(t+1)$$

$$\Delta\tau_{ij}^k(t+1) = \begin{cases} 1/L^k(t+1) & k \text{ karıncası } (i,j) \text{ yolunu kullanmışsa,} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

Lokal feromon güncellemesi, geçmişte yapılmış olan turlar hakkındaki bilgiyi sürekli güncelleyerek, sonraki turlarda önceden çok geçiş yapılan yolları diğer karıncalar için cazip hale getirir. Karıncalar karşılaştıkları yol ayrımlarındaki güncel feromon miktarlarına bağlı olarak her iterasyonda turlarını da değiştirmektedirler. Böylece sürekli olarak daha kısa turları keşfederler.

Global feromon güncellemesi:

Son yapılan iterasyondaki en iyi sonucu elde eden en az bir adet olmak üzere belirli sayıda karıncanın izledikleri turları teşvik etmek için global feromon güncellemesi yapılır. Bu turlar üzerindeki yolların feromon düzeyinin artırılır. Böylece önceki iterasyonlarda bulunan en iyi sonuçların ileriki iterasyonlara aktarılmasını sağlar.

Global feromon güncellemesi lokal feromon güncellemesine benzerdir.

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t+1)$$

$$\Delta\tau_{ij}(t+1) = \begin{cases} 1/L_{best}(t+1) & (i,j) \text{ yolu en iyi turun üzerinde ise,} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$L_{best}(t+1)$ hesaplama yapılan iterasyonda bulunan en iyi turun toplam uzunluğudur.

3.4.GYEDTARP modeline uyarlanmış Karınca Kolonisi Algoritması

Karınca Kolonisi Algoritması orijinal haliyle çalıştığında Gezgin Satıcı Problemini çözmektedir. Bu problemde müşterilerin hepsine uğrayacak tek bir aracın rotası planlanır. Planda amaç fonksiyonu toplam rota uzunluğunun minimizasyonudur. GYEDTARP için ise hem birden çok aracın rotası planlanmalı hem bazı müşterilerin siparişleri reddedilebilmeli hem de GYEDTARP modelinde tanımlanmış olan tüm kısıtlar sağlanmalıdır. Aynı zamanda amaç fonksiyonu toplam karın maksimize edilmesi olarak değiştirilmelidir.

Bu farklı gereksinimleri Karınca Kolonisi Algoritmasıyla karşılayabilmek için “takım” adı verilen bir kavram ortaya çıkmıştır. Takım kavramı karınca kolonisini araçlar bazında ayıran bir özellik olarak bu çalışmada tanımlanmış ve algoritmaya eklenmiştir.

Kolonideki bireyler araç sayısı kadar ayrı takıma ayrılmaktadır. Her takımdaki karıncalar kendi takımındaki karıncaların geçtiği yollardan geçmekte, diğer takımdaki bireylerin geçtiği yollardan geçmemektedir. Eğer bir yol üzerinde feromon miktarı tükenmiş ise o yolun ilişkili olduğu takımla bağlantısı kaldırılır ve bu durumda tüm takımlardaki karıncalar o yoldan da geçme hakkına sahip olabilmektedir. Böylelikle her bir aracın rotası diğer araçlardan ayrı olarak planlanabilmektedir.

Yollar ile karınca kolonisindeki takımları eşleştirmek için yeni bir değişken (σ) tanımlanmıştır:

R: planlanacak rotalar (araçlar) kümesi

r: Rota (araç) indeksi

$$\sigma_{ij}^r = \begin{cases} 1 & i,j \text{ arasındaki yol } r \text{ takımı tarafından geçilmişse} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

Feromon güncelleme aşamasında üzerinde az feromon kalan yolların takım ataması kaldırılmakta ve sonrasında yoldan başka takımların geçmesine izin verilmektedir. Algoritmaya eklenen minimum feromon değeri (μ) parametresi bu işlemin yapılmasını kontrol etmektedir. Bir yol üzerinde kalan feromon miktarı bu değerin altında kalırsa o yolun takım ile bağlantısı kaldırılır.

$$\sigma_{ij}^r(t+1) = \begin{cases} 0 & \tau(i,j) < \mu \\ \sigma_{ij}^r(t) & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

Karınca takımları ayrı ayrı tarama yaparken her takım bir aracın rotasını oluşturmakta ve iyileştirmektedir.

Dorigo v.d. (1991) Gezin Satıcı Problemi üzerine yaptıkları denemeler sonunda karınca kolonisindeki birey sayısının ziyaret edilecek şehir sayısına eşit olmasının uygun olacağını belirlemiştir. Benzer şekilde GYEDTARP çözümü için uyarlanmış Karınca Kolonisi Algoritmasında müşteri sayısı araç sayısına bölünüp bir üst tam sayıya yuvarlanarak her takımdaki karınca sayısı belirlenir. Karınca takımlarının sayısı araç sayısına eşittir.

$$\text{Her sınıftaki karınca sayısı} = \left\lceil \frac{\text{Müşteri sayısı}}{\text{Araç sayısı}} \right\rceil$$

GYEDTARP çözümü için yapılan diğer bir uyarlama kar maksimizasyonu ile ilgilidir. Klasik Karınca Kolonisi Algoritmasında kısa yollar daha yüksek feromon değeri üretmektedir. Bununla paralel olarak global feromon güncellemesi yapılırken her bir karıncanın temsil ettiği çözümden elde edilecek toplam kazanç hesaplanır ve çözümün karlılığı oranında feromon değerleri artırılır. Kazançla ilgili ω katsayısı toplam gelirden erken rezervasyonların iptal cezalarının farkını toplam taşıma giderine bölerek hesaplanmaktadır.

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho) \times \omega \times \tau_{ij}(t)$$

$$\omega = \frac{\text{toplam gelir} - \text{toplam rezervasyon iptal cezası}}{\text{toplam taşıma gideri}}$$

GYEDTARP için gereken son uyarılama ise GYEDTARP modelinde tanımlanan kısıtların (araç kapasitesi, turların ana depodan başlayıp ana depoda bitmesi, toplam tur zamanı sınırı, bir müşteriye en fazla bir araç uğraması gibi) kontrol edilmesidir. Bu kısıtlardan herhangi birisini ihlal eden bir yol tercihi tamamen veto edilir ve diğer alternatif yollar seçilir.

S. Mostapha Kalami Heris tarafından MATLAB ortamında hazırlanıp <http://yarpiz.com> adresinde paylaşılmış olan Gezgin Satıcı Problemi için Karınca Kolonisi Algoritması kodları alınıp GYEDTARP çözümü için uyarlanmış ve örnek problemler üzerinde çalıştırılmıştır. GYEDTARP için uyarlanmış kodlar aşağıda verilmiştir:

Karınca kolonisi algoritması ana döngüsü:

```
%% ACO Ana dongu
for it=1:MaxIt
    % Karincalari hareket ettir
    for k=1:nAnt
        ant(k).Tour=randi([1 nVar]);
        for l=2:nVar
            i=ant(k).Tour(end);
            P=tau(i,:).^alpha.*eta(i,:).^beta;
            P(ant(k).Tour)=0;
            P=P/sum(P);
            j=RuletCarkisiSecimi(P);
            ant(k).Tour=[ant(k).Tour j];
        end
        ant(k).Kar = AmacFonksiyonu(ant(k).Tour);
    end
end
```

```

        if ant(k).Kar > EnIyiCozum.Kar
            EnIyiCozum=ant(k);
        end

    end

    % Feromonlari guncelle
    for k=1:nAnt

        tour=ant(k).Tour;

        tour=[tour tour(1)]; %#ok

        for l=1:nVar

            i=tour(l);
            j=tour(l+1);

            tau(i,j)=tau(i,j)+Q/ant(k).Kar;

            % Yol uzerindeki feromon degeri azalmissa yol-takim
            % atamasini kaldır
            if tau(i,j) < mu
                sigma(i,j)=0;
            end

        end

    end

    end

    % Buharlasma
    tau=(1-rho)*tau;

    % En yuksek sonucu sakla
    EnYuksekKar(it)=EnIyiCozum.Kar;

    % Iterasyon bilgisini goster
    disp(['Iterasyon ' num2str(it) ': En iyi sonuc = '
num2str(EnYuksekKar(it))]);

    % Cozumu ciz
    figure(1);
    CozumuCiz(EnIyiCozum.Tour,model);
    pause(0.01);

end

%% Sonuclar

figure;
plot(EnYuksekKar,'LineWidth',2);

```

```

xlabel('Iterasyon');
ylabel('En yuksek kar');
grid on;

```

Karınca kolonisi algoritması veri seti oluşturma fonksiyonu:

```

function model=ModelOlustur()

    x=[82 91 12 92 63 9 28 55 96 97 15 98 96 49 80 14 42 92 80
96 66 3 85 94 68 76 75 39 66 17 71 3 27 4 9 83 70 32 95 3];

    y=[66 3 85 94 68 76 75 39 66 17 71 3 27 4 9 83 70 32 95 3 82
91 12 92 63 9 28 55 96 97 15 98 96 49 80 14 42 92 80 96];

    n=numel(x);

    G=[120 20 409 920 399 293 102 203 0 20 85 938 208 49 34 483
294 173 392 203 49 29 24 184 126 18 56 110 192 194 30 196 192 98
160 28 84 184 160 192];

    D=zeros(n,n);

    for i=1:n-1
        for j=i+1:n

            D(i,j)=sqrt((x(i)-x(j))^2+(y(i)-y(j))^2);

            D(j,i)=D(i,j);

        end
    end

    model.n=n;
    model.x=x;
    model.y=y;
    model.D=D;
    model.G=G;

end

```

Karınca kolonisi algoritması toplam kar hesaplama fonksiyonu:

```
function L=ToplamKar(tour,model)

    n=numel(tour);

    tour=[tour tour(1)];

    L=0;
    for i=1:n
        L=L+model.G(tour(i+1))-model.D(tour(i),tour(i+1));
    end

end
```

Karınca kolonisi algoritması çözüm grafiği çizimi:

```
function CozumuCiz(tour,model)

    tour=[tour tour(1)];

    plot(model.x(tour),model.y(tour),'k-o',...
        'MarkerSize',10,...
        'MarkerFaceColor','y',...
        'LineWidth',1.5);

    xlabel('x');
    ylabel('y');

    axis equal;
    grid on;

    alpha = 0.1;

    xmin = min(model.x);
    xmax = max(model.x);
    dx = xmax - xmin;
    xmin = floor((xmin - alpha*dx)/10)*10;
    xmax = ceil((xmax + alpha*dx)/10)*10;
    xlim([xmin xmax]);

    ymin = min(model.y);
    ymax = max(model.y);
    dy = ymax - ymin;
    ymin = floor((ymin - alpha*dy)/10)*10;
    ymax = ceil((ymax + alpha*dy)/10)*10;
    ylim([ymin ymax]);
```

end

Karınca kolonisi algoritması rulet çarkı seçim fonksiyonu:

```
function j=RuletCarkSecimi(P)

    r=rand;

    C=cumsum(P);

    j=find(r<=C,1,'first');

end
```

Karınca kolonisi algoritması parametreleri:

```
%% Problem Tanimi
model=ModelOlustur();

AmacFonksiyonu = @(tour) ToplamKar(tour,model);

nVar=model.n;

%% ACO Parametreleri
MaxIt=600;          % Maksimum iterasyon sayisi
nAnt=40;            % Karınca sayisi (Topluluk buyuklugu)
Q=1;

tau0=10*Q/(nVar*mean(model.D(:))); % Ilk feromon miktarlari

alpha=1;            % Feromon ustsel agirligi
beta=1;             % Sezgisel ustsel agirligi

rho=0.05;           % Buharlasma oranı

mu=0.2;             % Yol-takim atamaları için feromon alt limiti.

%% İlk atamalar
eta=1./model.D;      % Sezgisel bilgi matrisi
```

```

tau=tau0*ones(nVar,nVar);    % Feromon matrisi
EnYuksekKar=zeros(MaxIt,1); % En iyi sonuclar dizisi
sigma=zeros(nVar);          % Yol-takim atamalari

% Atanmamis karınca
empty_ant.Tour=[];
empty_ant.Kar=[];

% Karınca kolonisi matrisi
ant= repmat(empty_ant,nAnt,1);

% En iyi sonuc alan karınca
EnIyiCozum.Kar=-inf;

```

Karınca Kolonisi Algoritması parametreleri ele alınan kaynak kodu hazırlayan araştırmacıların ayarladığı şekilde kullanılmıştır. Parametrelerin duyarlılığını analiz etmek için bir çalışma yapılmamıştır.

Rota değişkenlerini başlangıçta rastgele atadıktan sonra her turda rotanın adımlarındaki feromon değerlerine bakarak, her bir müşteriden sonra seçilmiş olan yol yerine diğer olası yolları seçmeyi deneyip, sonucun uygunluk değerine göre yeni denenen yolun feromon değeri güncellenmektedir. Böylece sonraki denemelerde önceki denenen rotaların kalitesine bakılarak tercih yapılmakta ve denemelerin bazılarında toplamda daha verimli rotalar elde edilmektedir.

GYEDTARP çözümünde sadece açıklayıcı problem için ayrıca Genetik Algoritma uygulaması kullanılmıştır. Malzeme ve Yöntem kısmında kurulan model ve test verileri Microsoft Excel ortamına tanıtıldıktan sonra Solver (Çözücü) eklentisi kullanılarak amaç fonksiyonu maksimize etmek üzere karar değişkenleri taranmıştır.

Problem lineer bileşenler içermediği için Simplex ve GRC Non-lineer seçenekleri kullanılmamış, üçüncü seçenek olan Evolutionary (evrimsel) yöntemi kullanılmıştır.]

4. BULGULAR

[Tez çalışmasında önerilen GYEDTARP modelinin çözümü açıklayıcı bir örnek üzerinde gösterilmiş daha sonra model hipotetik veri setlerine uygulanmış ve son olarak da İstanbul’da faaliyet gösteren ve Marmara bölgesindeki müşterilere hizmet veren bir çelik servis firmasının gerçek verileri kullanılarak araç rotaları oluşturulmuştur. Ele alınan veri seti üzerinde önceden gelir yönetimi ile yapılmış başka çalışma olmadığı için bu tez çalışmasında gelir yönetimi odaklı rota planlama çalışmasının sonuçları ile sadece maliyet minimizasyonu uygulayan EDTRAP yöntemleri ile sentetik gelir verileri sisteme dahil edilerek karşılaştırılmıştır.

Tüm hesaplamalar Intel Core i7-7500U işlemcili, 2,7 GHz hız ve 12 GB RAM kapasiteli bir bilgisayarda yapılmıştır.

Gelir Yönetimi kısmında yapılan hesaplamalar veri büyüklüğü ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Excel gibi bir hesap tablosu programı ile kolayca hesaplanabilmektedir. Fakat araç rotalarının belirlenmesi NP-Zor bir problemdir. Bu çalışmalarda 4 müşteri lokasyonu gibi çok küçük problemlerde Excel Solver kullanılarak hesaplama yapmak mümkün olmuştur. Fakat tez çalışmasında kullanılan gerçek veri setinde olduğu gibi günde 1132 müşteri noktasına hizmet verilmesini gerektiren büyüklükteki bir veri üzerinde hesaplamaları yapmak ve optimizasyonu sağlamak çok zordur. Bu nedenle GYEDTARP modelinin yakın optimum çözümleri için meta sezgisel algoritmalarından biri olan ve araç rotalama problemlerinde sıkça kullanılan Karınca Kolonisi Algoritması kullanılmıştır.

4.1. Açıklayıcı Örnek

Bu yöntemde iki farklı sipariş tipi tanımlanmıştır:

- Teslim tarihinden 30 gün önceye kadar verilen erken siparişler
- Teslim tarihine 30 günden az zaman varken verilen geç siparişler

Firma erken rezervasyonlar için daha düşük bir birim fiyat (15 TL/kg) belirlemiştir. Teslim tarihine 30 gün kalana kadar siparişler bu fiyatla kaydedilir. 30 günden az kaldığında gelen siparişler için yüksek ve değişken fiyat (20 TL/kg ve üzeri gibi) teklif edilir. Gelir Yönetimi için firma toplam araç kapasitesinin belirli bir oranını (örnek %30) düşük ücret ile erken rezervasyon yapmış olan müşterilere ayıracaktır.

Eğer ilerideki bir teslim tarihi için toplam araç kapasitesinin üzerinde siparişler alındıysa, gelir yönetimi yardımıyla siparişler karlılığa göre sıralanır. En az karlı olan siparişlerden, kapasite aşımının ortadan kalkmasını sağlayana kadarki kısmı, müşteriye ödenecek bir ceza tutarına katlanarak, reddedilir. Bazı durumlarda, reddedilecek olan müşterilerin siparişleri kargo firması ile gönderilir, bedeli firma tarafından karşılanır. Sonuçta firma yine gelir kaybına katlanmayı kabul eder.

Müşteri koordinatları, firmanın müşteri veri tabanından alınmış, 1132 müşteri arasından sadece ana depo ve dört müşterinin verisi kullanılmıştır. Yükselti değerleri Google Haritalar servisine enlem ve boylam verilerini göndererek Tablo 4.1.'de görüldüğü gibi elde edilmiştir.

Tablo 4.1.: Müşteri koordinatları ve yükselti değerleri

SIRA	MÜŞTERİ	Enlem	Boylam	Yükselti (mt)
1	DEPO	40,860862	29,409814	176,219162
23	0014ETA	40,739494	31,697654	728,6879272
59	0034ALM	40,912728	29,218186	140,5711517
54	0034ALT	41,0023307	29,1644971	136,1260376
61	0034ANK	40,87933	29,25814	39,2101593

Depo ile müşteriler arasında ve her müşteri ile diğer müşteriler arasındaki yollar enlem ve boylam değerleri kullanılarak iki nokta arasındaki düz çizgi uzunluğu hesaplanıp aşağıdaki Tablo 4.2. haline getirilmiştir.

Tablo 4.2.: Müşteriler arasındaki yolların uzaklığı matrisi (km)

MÜŞTERİ	DEPO	0014ETA	0034ALM	0034ALT	0034ANK
DEPO	0	193,033592	17,10941687	25,9246757	12,917165
0014ETA	193,033592	0	209,4947751	214,9754659	205,88582
0034ALM	17,1094168	209,494775	0	10,93542024	5,0066651
0034ALT	25,9246757	214,975465	10,93542024	0	15,776712
0034ANK	12,9171651	205,885824	5,006665191	15,77671259	0

Müşterilerin bir günlük sipariş miktarları ve siparişlerin dağıtım ya da toplama tipi bilgisi de firmanın veri tabanından alınmış ve Tablo 4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3.: Müşteri sipariş miktarları

MÜŞTERİ	BİRİM FİYAT (TL/kg)	TONAJ (kg)	SİPARİŞ TİPİ	REZERVASYON İPTAL BEDELİ (TL)
0014ETA	20	4,4	TOPLAMA	-
0034ALM	15	281,4	DAĞITIM	100
0034ALT	15	17	TOPLAMA	30
0034ANK	20	755,1	DAĞITIM	-

- **Kapasite kısıtı:** Örnek alınan firma verilerine göre bir gündeki (21/7/2019) siparişler araç taşıma kapasitesinin üzerindedir:

Araç kapasiteleri ve 21/07/2019 tarihindeki toplam siparişler aşağıda Tablo 4.4.'te gösterilmiştir:

Tablo 4.4.: Tipler bazında toplam müşteri siparişleri ve araç kapasiteleri

Sipariş tipi	Toplam sipariş (kg)
TOPLAMA	10.043,40
DAĞITIM	56.687,35
TOPLAM TALEP	66.730,75

ARAÇ TİPİ	Tonaj	Araç Sayısı	BİRİM MALİYET	TOPLAM KAPASİTE
X	1.500	12	150	18.000
Y	3.500	10	250	35.000
			TOPLAM	53.000

Gelir yönetimi uygulamaya ihtiyaç olması için taleplerin araç kapasitesinden fazla olması gerekmektedir. Örnek alınan tarihteki verilere göre sipariş talepleri araç kapasitesinden fazladır. Firma gerçekte dinamik fiyatlandırma uygulamamasına rağmen, sipariş verileri üzerinde rastgele değişiklik yapılarak bazı siparişler erken rezervasyon tipine dönüştürülmüştür.

Kabul edilen siparişlerin birim fiyat ortalaması ve standart sapması incelendiğinde toplam cironun 1/3'ü civarında sipariş alındığı, dinamik fiyatlandırma uygulanmasa bu cironun büyük bir kısmının elde edilemeyeceği Tablo 4.5'te görülmektedir.

Tablo 4.5.: Alınan siparişlerin birim fiyat analizi

	Ortalama Birim fiyat	Birim fiyat std. sapması	Toplam tonaj (kg)	Müşteri sayısı
Erken siparişler	15,00	0,00	17.459,70	57
Normal siparişler	31,83	6,57	34.197,15	162

Bu açıklayıcı örneğin verileri Microsoft Excel ortamına alınıp, maliyet, gelir ve kapasite hesaplarını yapan Excel formülleri hazırlanmıştır. Modeldeki kısıtları sağlayan çözümler arasında en verimli çözümü araştırmak için Excel Solver aracı kullanılmıştır. Solver parametreleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Solver aracına kısıtlar tanıtılıp, değişkenler gösterildikten sonra Evrimsel metot çalıştırılmıştır. Solver taraması sonunda sipariş iptaliyle ilgili karar değişkenleri aşağıdaki Tablo 4.6'da gösterilmiştir. Burada üçüncü müşterinin siparişinin iptal edileceği belirtilmiştir.

Tablo 4.6.: Müşteri siparişlerinin kabul (1) / red (0) edilmesi

	Siparişin Kabul Edilmesi
Müşteri 1	1
Müşteri 2	1

	Siparişin Kabul Edilmesi
Müşteri 3	0
Müşteri 4	1

Araç rotası karar değişkenlerine göre önerilen rotalar ise aşağıda gösterilmiştir:

Araç 1: Ana depo → Müşteri 2 → Ana depo

Araç 2: Ana depo → Müşteri 4 → Müşteri 1 → Ana depo

Planlanan rota sonucunda ortaya çıkacak gelir ve giderler aşağıda Tablo 4.7’de özetlenmiştir:

Tablo 4.7.: GYEDTARP modeline göre çözümün özeti

	<i>Müşteri sayısı</i>	<i>Toplam (TL)</i>
Toplam gelir	3	19.411,00
Toplam nakliye bedeli		6.446,86
Rezervasyon iptal ceza bedeli	1	30,00
Toplam kar		12.934,14

Ortaya çıkan sonuca göre üçüncü müşterinin siparişi, erken rezervasyon yapılmış olmasına rağmen ve ceza ödenmesi pahasına reddedilmelidir. Bu siparişin de yerine getirildiği durumda toplam taşıma maliyeti artarak, toplam operasyonu daha az karlı hale getirecektir. Bu durum aşağıdaki Tablo 4.8’de gösterilmiştir:

Tablo 4.8.: Gelir yönetimi uygulamadan EDTRAP modeline göre çözümün özeti

	<i>Müşteri sayısı</i>	<i>Toplam (TL)</i>
Toplam gelir	4	19.598,00
Toplam nakliye bedeli		14.178,44
Toplam kar		5.419,56

Bu örnek problem Gelir yönetimi uygulanmayan EDTRAP modeline göre çözüldüğünde dört müşterinin tamamına hizmet verilmesine rağmen toplam karlılık 7.514,58 TL daha azalmıştır.

Bunun sebebi üçüncü müşterinin rotaya dahil edilmesinden dolayı toplam taşıma maliyetinin 7.731,58 TL artmasıdır.

Solver Parameters

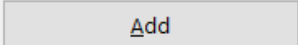
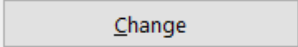
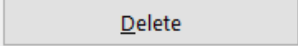
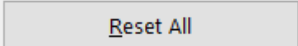
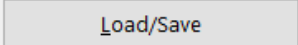
Set Objective: 

To: ☒ Max ☐ Min ☐ Value Of:

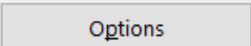
By Changing Variable Cells: 

Subject to the Constraints:

\$E\$13 >= 1
\$E\$13:\$E\$15 <= 4
\$E\$13:\$E\$15 = integer
\$E\$13:\$E\$15 >= 0
\$E\$23 >= 1
\$E\$23:\$E\$25 <= 4
\$E\$23:\$E\$25 = integer
\$E\$23:\$E\$25 >= 0
\$F\$18 >= 1
\$F\$28 >= 1
\$I\$18 <= \$B\$16

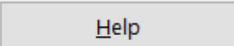
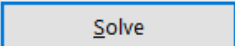
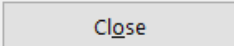
    

☒ Make Unconstrained Variables Non-Negative

Select a Solving Method:  

Solving Method

Select the GRG Nonlinear engine for Solver Problems that are smooth nonlinear. Select the LP Simplex engine for linear Solver Problems, and select the Evolutionary engine for Solver problems that are non-smooth.

Şekil 4.1. Excel Çözücü Modeli

Options

All Methods | GRG Nonlinear | **Evolutionary**

Convergence: 0.0001

Mutation Rate: 0.175

Population Size: 200

Random Seed: 0

Maximum Time without improvement: 30

☒ Require Bounds on Variables

OK Cancel

Şekil 4.2. Excel Çözücü’de Evrimsel Yöntem Parametreleri

Excel Solver parametreleri

Hedef : Toplam gelirden, taşıma maliyeti ve rezervasyon iptal bedellerinin çıkartılmasıyla hesaplanan toplam kar

Karar değişkenleri : Hangi aracın hangi müşteriye hangi sırada uğrayacağı.

Kısıtlar : GYEDTARP modelindeki kısıtlar

- Karar değişkenlerinin tam sayı olması, müşteri numarasının 1 ile müşteri sayısı arasında, araç numarasının 1 ile araç sayısı arasında değer alması, müşteri siparişi iptal değişkeninin 0 ve 1 değeri alması.
- Araçların ilk çıkış noktasının ve son varış noktasının ana depo olması.
- Siparişi iptal edilmemiş olan her müşteriye uğrayan ve ayrılan araç sayısının 1'e eşit olması.
- Araçların toplam hizmet süresinin günlük mesai süresinden küçük eşit olması.
- Araçlardaki yük miktarının ana depodan çıkıştan ana depoya dönüşüne kadar hiçbir zaman araç kapasitesinin üzerinde olmaması.
- Erken rezervasyon yapan müşterilerin taleplerinin erken rezervasyon için ayrılan orandan fazla olmaması.

Excel Solver alt yapısındaki Genetik algoritma karar değişkenlerini temsil eden kromozom yapısını kendiliğinden eşleştirip, parametrede ayarlanan sayıda birey içeren bir topluluk oluşturur ve istenen süre ya da yakınsama koşuluna ulaşana kadar eşleştirme, kalıtım ve mutasyon işlemlerini devam ettirir. Bu turlardaki yeni bireylerin kromozom yapısını geri çevirerek karar değişkenlerinin değerleri elde edilir. Önce kısıtları ihlal eden bir durum olup olmadığına, sonra bu değişkenlere göre hesaplanan hedef değere bakılarak bireyin temsil ettiği çözümün uygunluk değeri belirlenir. Bireylerden uygun olanlar topluluk içinde kalmaya ve çiftleşmeye devam ederken, uygunluk değeri düşük olan bireyler topluluktan çıkartılmaktadır.

ARP rotalarını oluşturmak için her araç için Solver işlemini başlatan Excel makro kodu aşağıdadır:

```
Sub YenidenHesapla()

    ' rota karar degiskenlerini bosalt

    Range(Cells(5, 10), Cells(12, 90)).Value = ""

    Dim a As Integer

    Dim b As Integer

    Dim i As Integer

    For i = 35 To 49

        a = 5

        b = 12

        SolverReset

        ' ziyaret edilen ve siparisi iptal edilen musteri sayisi
        240 olmalı

        SolverAdd "$k$36", 2, 240

        'ilk turda her arac icin musteri atamasi yapilir

        SolverAdd "$j$5:$j$12", 3, 1 ' >=1

        ' her musteri en fazla bir kez ziyaret edilir

        SolverAdd "$j$36", 2, 1 ' =1

        ' her arac icin rota boyunca maks kapasite kisiti

        SolverAdd "$b$285:$b$299", 1, 550 ' <=550

    Next i

End Sub
```

```

' karar degiskenleri 0 ile 240 arasinda

SolverAdd Range(Cells(a, i), Cells(b, i)), 3, 1 ' >=

SolverAdd Range(Cells(a, i), Cells(b, i)), 1, 240 ' <=

' hedef deger = toplam kar maksimizasyonu

' yontem "Evolutionary"

' karar degiskenleri her arac icin her turda bir sonraki
musteri numarası

SolverOk "$e$29", 1, "0", Range(Cells(a, i), Cells(b,
i)), 3

' karar degiskeninin tam sayi olma kisiti

SolverAdd Range(Cells(a, i), Cells(b, i)), 4

' cozucuyu baslat

SolverSolve True

Next i

End Sub

```

4.2. Hipotetik Veri Setleri

Golden v.d. (1998) çalışmasında daha önceki çalışmalardan daha büyük büyüklükte yapay veri setleri oluşturmuştur. Bu çalışmadaki 1 numaralı veri iki boyutlu Öklid düzlemde merkezi bir depo etrafında merkez noktası deponun yeri olan altı çember üzerine eşit aralıklarla dizilmiş 240 müşteri noktasından oluşan yapay bir veri setidir. Müşterilerin ihtiyaçları rastsal olarak bazen 10, bazen 30 değerini almıştır. Toplam talep miktarı 4.800'dür. Bu müşterilere hizmet verecek 9 aracın her birisinin kapasitesi 550 olmak üzere toplam kapasite 4.950'dir. Problem setindeki depo ve müşteri yerlerinin diyagram üzerinde görünümü Şekil 4.3'te gösterilmiştir.

Veriler ve verilerin diyagram üzerindeki görünümü <http://vrp.galgos.inf.puc-rio.br/> adresinde bulunan CVRPLIB (Capacitated Vehicle Routing Problem Library) adlı kapasite kısıtlı araç rotalama problem verileri kütüphanesinden alınmıştır.

Rota karar değişkenlerinin (x_{ij}^k) alabileceği değerlerin sayısı aşağıdaki şekilde hesaplandığında $10^{154.000}$ farklı kombinasyon oluşturulabileceği görülmektedir.

N : Noktalar kümesi $\{0,1,\dots,n\}$ (0: Merkez depo, $1,\dots,n$: Müşteriler)

n : Müşteri sayısı : 240

N kümesindeki nokta sayısı : 241

Araç sayısı : 9

x_{ij}^k rota karar değişkenlerinin sayısı $= 241 \times 241 \times 9 = 522.729$

x_{ij}^k rota karar değişkenlerinin alabileceği değer sayısı =

$$2^{522.729} = 10^{174.000}.$$

Özetle rota kararları ile ilgili ihtimallerin sayısı 174.000 basamaklı bir sayı ile ifade edilen büyük bir sayıdır. Bu kombinasyonlar içerisinde optimal sonuca kısa bir sürede ulaşmak için tez çalışmasında önerilen meta sezgisel yöntem gibi yaklaşımlar kullanılması gereklidir.

Bu veri setinin orijinal halinde satış fiyatı, dağıtım ya da toplama sipariş tipi, erken rezervasyon iptal cezası, depo ve müşteri noktalarının yükselti değeri bilgileri bulunmamaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılabilmesi için bu bilgiler diğer bilgilerden hesaplatılarak rastgele atanmıştır. Böylece Golden v.d. (1998)'nin veri seti kullanılarak GYEDTARP modeline uygun yeni bir yapay veri seti oluşturulmuştur. Birbirine komşu müşterilerin benzer fiyatlar almaması için aşağıdaki gibi düzensiz fonksiyonlarla hesaplama yapılmıştır:

(x_i : Müşterinin x eksenindeki konumu, y_i : Müşterinin y eksenindeki konumu)

Yükselti değeri :

$$=500+\text{MOD}(100*(\text{ABS}(x_i)+\text{ABS}(y_i)),100)$$

Satış fiyatı :

$$=60+\text{MOD}(\text{ROUND}(\text{ABS}(x_i + y_i),1),20)$$

Sipariş tipi: 1: toplama siparişi, -1: dağıtım siparişi.

$$=\text{IF}(\text{ISEVEN}((x_i + y_i),1,-1)$$

Erken rezervasyon ceza bedeli :

$$=\text{IF}(\text{MOD}(\text{ABS}(x_i + y_i),7)<3, \text{ROUND}(10*\text{MOD}(\text{ABS}(x_i + y_i),7),1),0)$$

Tablo 4.9.: Golden_1 veri seti, Yükselti değeri eklenmesi.

Nokta (0: depo)	x	y	Yükselti
0	0	0	500
1	30	0	500
2	29,6306	4,693	532,36
3	28,5317	9,2705	580,22
4	26,7302	13,6197	534,99
5	24,2705	17,6336	590,41
6	21,2132	21,2132	542,64
7	17,6336	24,2705	590,41
8	13,6197	26,7302	534,99

9	9,2705	28,5317	580,22
10	4,693	29,6306	532,36
11	0	30	500
12	-4,693	29,6306	532,36
13	-9,2705	28,5317	580,22
14	-13,6197	26,7302	534,99
15	-17,6336	24,2705	590,41
16	-21,2132	21,2132	542,64
17	-24,2705	17,6336	590,41
18	-26,7302	13,6197	534,99
19	-28,5317	9,2705	580,22
20	-29,6307	4,693	532,37
21	-30	0	500
22	-29,6306	-4,693	532,36
23	-28,5317	-9,2705	580,22
24	-26,7302	-13,6197	534,99
25	-24,2705	-17,6336	590,41
26	-21,2132	-21,2132	542,64
27	-17,6336	-24,2705	590,41
28	-13,6197	-26,7302	534,99
29	-9,2705	-28,5317	580,22

30	-4,693	-29,6307	532,37
31	0	-30	500
32	4,693	-29,6306	532,36
33	9,2705	-28,5317	580,22
34	13,6197	-26,7302	534,99
35	17,6336	-24,2705	590,41
36	21,2132	-21,2132	542,64
37	24,2705	-17,6336	590,41
38	26,7302	-13,6197	534,99
39	28,5317	-9,2705	580,22
40	29,6307	-4,693	532,37
41	60	0	500
42	59,2613	9,3861	564,74
43	57,0634	18,541	560,44
44	53,4604	27,2394	569,98
45	48,541	35,2671	580,81
46	42,4264	42,4264	585,28
47	35,2671	48,541	580,81
48	27,2394	53,4604	569,98
49	18,541	57,0634	560,44
50	9,3861	59,2613	564,74

51	0	60	500
52	-9,3861	59,2613	564,74
53	-18,541	57,0634	560,44
54	-27,2394	53,4604	569,98
55	-35,2671	48,541	580,81
56	-42,4264	42,4264	585,28
57	-48,541	35,2671	580,81
58	-53,4604	27,2394	569,98
59	-57,0634	18,541	560,44
60	-59,2613	9,3861	564,74
61	-60	0	500
62	-59,2613	-9,3861	564,74
63	-57,0634	-18,541	560,44
64	-53,4604	-27,2394	569,98
65	-48,541	-35,2671	580,81
66	-42,4264	-42,4264	585,28
67	-35,2671	-48,541	580,81
68	-27,2394	-53,4604	569,98
69	-18,541	-57,0634	560,44
70	-9,3861	-59,2613	564,74
71	0	-60	500

72	9,3861	-59,2613	564,74
73	18,541	-57,0634	560,44
74	27,2394	-53,4604	569,98
75	35,2671	-48,541	580,81
76	42,4264	-42,4264	585,28
77	48,541	-35,2671	580,81
78	53,4604	-27,2394	569,98
79	57,0634	-18,541	560,44
80	59,2613	-9,3861	564,74
81	90	0	500
82	88,892	14,0791	597,11
83	85,5951	27,8115	540,66
84	80,1906	40,8591	504,97
85	72,8115	52,9007	571,22
86	63,6396	63,6396	527,92
87	52,9007	72,8115	571,22
88	40,8591	80,1906	504,97
89	27,8115	85,5951	540,66
90	14,0791	88,892	597,11
91	0	90	500
92	-14,0791	88,892	597,11

93	-27,8115	85,5951	540,66
94	-40,8591	80,1906	504,97
95	-52,9007	72,8115	571,22
96	-63,6396	63,6396	527,92
97	-72,8115	52,9007	571,22
98	-80,1906	40,8591	504,97
99	-85,5951	27,8115	540,66
100	-88,892	14,0791	597,11
101	-90	0	500
102	-88,892	-14,0791	597,11
103	-85,5951	-27,8115	540,66
104	-80,1906	-40,8592	504,98
105	-72,8115	-52,9007	571,22
106	-63,6396	-63,6396	527,92
107	-52,9007	-72,8115	571,22
108	-40,8591	-80,1906	504,97
109	-27,8115	-85,5951	540,66
110	-14,0791	-88,892	597,11
111	0	-90	500
112	14,0791	-88,892	597,11
113	27,8115	-85,5951	540,66

114	40,8592	-80,1906	504,98
115	52,9007	-72,8115	571,22
116	63,6396	-63,6396	527,92
117	72,8115	-52,9007	571,22
118	80,1906	-40,8591	504,97
119	85,5951	-27,8115	540,66
120	88,892	-14,0791	597,11
121	120	0	500
122	118,5226	18,7721	529,47
123	114,1268	37,082	520,88
124	106,9208	54,4789	539,97
125	97,082	70,5342	561,62
126	84,8528	84,8528	570,56
127	70,5342	97,082	561,62
128	54,4789	106,9208	539,97
129	37,082	114,1268	520,88
130	18,7721	118,5226	529,47
131	0	120	500
132	-18,7721	118,5226	529,47
133	-37,082	114,1268	520,88
134	-54,4789	106,9208	539,97

135	-70,5342	97,082	561,62
136	-84,8528	84,8528	570,56
137	-97,082	70,5342	561,62
138	-106,9208	54,4789	539,97
139	-114,1268	37,082	520,88
140	-118,5226	18,7721	529,47
141	-120	0	500
142	-118,5226	-18,7721	529,47
143	-114,1268	-37,0821	520,89
144	-106,9208	-54,4789	539,97
145	-97,082	-70,5342	561,62
146	-84,8528	-84,8528	570,56
147	-70,5342	-97,082	561,62
148	-54,4788	-106,9208	539,96
149	-37,082	-114,1268	520,88
150	-18,7721	-118,5226	529,47
151	0	-120	500
152	18,7722	-118,5226	529,48
153	37,0821	-114,1268	520,89
154	54,4789	-106,9208	539,97
155	70,5342	-97,082	561,62

156	84,8528	-84,8528	570,56
157	97,0821	-70,5342	561,63
158	106,9208	-54,4788	539,96
159	114,1268	-37,082	520,88
160	118,5226	-18,7721	529,47
161	150	0	500
162	148,1532	23,4652	561,84
163	142,65849	46,3526	501,109
164	133,651	68,0986	574,96
165	121,3525	88,1678	552,03
166	106,066	106,066	513,2
167	88,1678	121,3526	552,04
168	68,0986	133,651	574,96
169	46,3525	142,65849	501,099
170	23,4652	148,15331	561,851
171	0	150	500
172	-23,4652	148,1532	561,84
173	-46,3526	142,65849	501,109
174	-68,0986	133,651	574,96
175	-88,1678	121,3525	552,03
176	-106,066	106,066	513,2

177	-121,3526	88,1678	552,04
178	-133,651	68,0986	574,96
179	-142,65849	46,3525	501,099
180	-148,15331	23,4652	561,851
181	-150	0	500
182	-148,1532	-23,4652	561,84
183	-142,65849	-46,3526	501,109
184	-133,651	-68,0986	574,96
185	-121,3525	-88,1678	552,03
186	-106,066	-106,066	513,2
187	-88,1678	-121,3526	552,04
188	-68,0986	-133,651	574,96
189	-46,3525	-142,65849	501,099
190	-23,4652	-148,15331	561,851
191	0	-150	500
192	23,4652	-148,1532	561,84
193	46,3526	-142,65849	501,109
194	68,0986	-133,651	574,96
195	88,1678	-121,3525	552,03
196	106,066	-106,066	513,2
197	121,3526	-88,1678	552,04

198	133,651	-68,0986	574,96
199	142,65849	-46,3525	501,099
200	148,15331	-23,4651	561,841
201	180	0	500
202	177,78391	28,1582	594,211
203	171,1902	55,6231	581,33
204	160,3812	81,7183	509,95
205	145,62309	105,8013	542,439
206	127,2792	127,2792	555,84
207	105,8013	145,62309	542,439
208	81,7183	160,3812	509,95
209	55,6231	171,1902	581,33
210	28,1582	177,78391	594,211
211	0	180	500
212	-28,1582	177,78391	594,211
213	-55,6231	171,1902	581,33
214	-81,7183	160,3812	509,95
215	-105,8014	145,623	542,44
216	-127,2792	127,2792	555,84
217	-145,62309	105,8013	542,439
218	-160,3812	81,7183	509,95

219	-171,1902	55,623	581,32
220	-177,78391	28,1582	594,211
221	-180	0	500
222	-177,78391	-28,1582	594,211
223	-171,1902	-55,6231	581,33
224	-160,3812	-81,7183	509,95
225	-145,623	-105,8014	542,44
226	-127,2792	-127,2792	555,84
227	-105,8013	-145,62309	542,439
228	-81,7183	-160,3812	509,95
229	-55,623	-171,1902	581,32
230	-28,1582	-177,78391	594,211
231	0	-180	500
232	28,1582	-177,78391	594,211
233	55,6231	-171,1902	581,33
234	81,7183	-160,3812	509,95
235	105,8014	-145,623	542,44
236	127,2792	-127,2792	555,84
237	145,62309	-105,8013	542,439
238	160,3812	-81,7183	509,95
239	171,1902	-55,623	581,32

240 177,78391 -28,1582 594,211

Tablo 4.10.: Golden_1 veri seti, Talep tipi, fiyat ve ceza alanları eklenmesi.

Müşteri	Talep miktarı	Talep tipi	Fiyat	Erk, Rez, İptal cezası
1	10	1	70	20
2	30	1	74,3	0
3	30	-1	77,8	28
4	10	1	60,3	0
5	10	-1	61,9	0
6	30	1	62,4	4,3
7	30	-1	61,9	0
8	10	1	60,3	0
9	10	-1	77,8	28
10	30	1	74,3	0
11	30	1	70	20
12	10	1	64,9	0
13	10	-1	79,3	0
14	30	-1	73,1	0
15	30	1	66,6	0
16	10	1	60	0

17	10	1	66,6	0
18	30	-1	73,1	0
19	30	-1	79,3	0
20	10	1	64,9	0
21	10	1	70	20
22	30	1	74,3	0
23	30	-1	77,8	28
24	10	1	60,3	0
25	10	-1	61,9	0
26	30	1	62,4	4,3
27	30	-1	61,9	0
28	10	1	60,3	0
29	10	-1	77,8	28
30	30	1	74,3	0
31	30	1	70	20
32	10	1	64,9	0
33	10	-1	79,3	0
34	30	-1	73,1	0
35	30	1	66,6	0
36	10	1	60	0
37	10	1	66,6	0

38	30	-1	73,1	0
39	30	-1	79,3	0
40	10	1	64,9	0
41	10	1	60	0
42	30	1	68,6	0
43	30	-1	75,6	0
44	10	1	60,7	0
45	10	-1	63,8	0
46	30	1	64,9	8,5
47	30	-1	63,8	0
48	10	1	60,7	0
49	10	-1	75,6	0
50	30	1	68,6	0
51	30	1	60	0
52	10	-1	69,9	8,8
53	10	1	78,5	0
54	30	1	66,2	0
55	30	-1	73,3	0
56	10	1	60	0
57	10	-1	73,3	0
58	30	1	66,2	0

59	30	1	78,5	0
60	10	-1	69,9	8,8
61	10	1	60	0
62	30	1	68,6	0
63	30	-1	75,6	0
64	10	1	60,7	0
65	10	-1	63,8	0
66	30	1	64,9	8,5
67	30	-1	63,8	0
68	10	1	60,7	0
69	10	-1	75,6	0
70	30	1	68,6	0
71	30	1	60	0
72	10	-1	69,9	8,8
73	10	1	78,5	0
74	30	1	66,2	0
75	30	-1	73,3	0
76	10	1	60	0
77	10	-1	73,3	0
78	30	1	66,2	0
79	30	1	78,5	0

80	10	-1	69,9	8,8
81	10	1	70	0
82	30	1	63	0
83	30	-1	73,4	14,1
84	10	-1	61	20,5
85	10	-1	65,7	0
86	30	-1	67,3	12,8
87	30	-1	65,7	0
88	10	-1	61	20,5
89	10	-1	73,4	14,1
90	30	1	63	0
91	30	1	70	0
92	10	1	74,8	0
93	10	-1	77,8	17,8
94	30	-1	79,3	0
95	30	-1	79,9	0
96	10	1	60	0
97	10	-1	79,9	0
98	30	-1	79,3	0
99	30	-1	77,8	17,8
100	10	1	74,8	0

101	10	1	70	0
102	30	1	63	0
103	30	-1	73,4	14,1
104	10	-1	61	20,5
105	10	-1	65,7	0
106	30	-1	67,3	12,8
107	30	-1	65,7	0
108	10	-1	61	20,5
109	10	-1	73,4	14,1
110	30	1	63	0
111	30	1	70	0
112	10	1	74,8	0
113	10	-1	77,8	17,8
114	30	-1	79,3	0
115	30	-1	79,9	0
116	10	1	60	0
117	10	-1	79,9	0
118	30	-1	79,3	0
119	30	-1	77,8	17,8
120	10	1	74,8	0
121	10	1	60	10

122	30	-1	77,3	0
123	30	-1	71,2	0
124	10	-1	61,4	4
125	10	-1	67,6	0
126	30	-1	69,7	17,1
127	30	-1	67,6	0
128	10	-1	61,4	4
129	10	-1	71,2	0
130	30	-1	77,3	0
131	30	1	60	10
132	10	-1	79,8	17,5
133	10	-1	77	0,4
134	30	1	72,4	0
135	30	1	66,5	0
136	10	1	60	0
137	10	1	66,5	0
138	30	1	72,4	0
139	30	-1	77	0,4
140	10	-1	79,8	17,5
141	10	1	60	10
142	30	-1	77,3	0

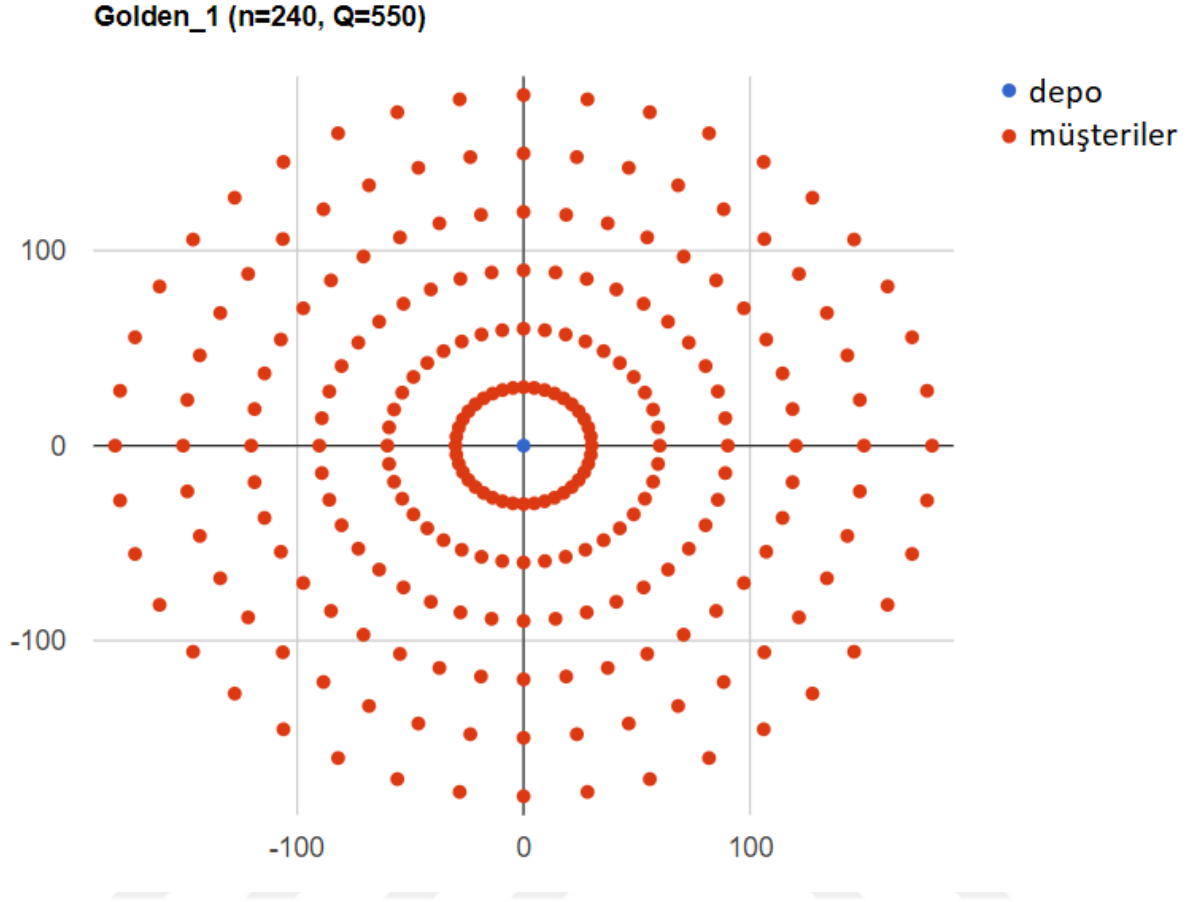
143	30	-1	71,2	0
144	10	-1	61,4	4
145	10	-1	67,6	0
146	30	-1	69,7	17,1
147	30	-1	67,6	0
148	10	-1	61,4	4
149	10	-1	71,2	0
150	30	-1	77,3	0
151	30	1	60	10
152	10	-1	79,8	17,5
153	10	-1	77	0,4
154	30	1	72,4	0
155	30	1	66,5	0
156	10	1	60	0
157	10	1	66,5	0
158	30	1	72,4	0
159	30	-1	77	0,4
160	10	-1	79,8	17,5
161	10	1	70	0
162	30	-1	71,6	0
163	30	-1	69	0,1

164	10	-1	61,7	0
165	10	-1	69,5	0
166	30	1	72,1	21,3
167	30	-1	69,5	0
168	10	-1	61,7	0
169	10	-1	69	0,1
170	30	-1	71,6	0
171	30	1	70	0
172	10	1	64,7	0
173	10	1	76,3	0
174	30	-1	65,6	25,5
175	30	-1	73,2	0
176	10	1	60	0
177	10	-1	73,2	0
178	30	-1	65,6	25,5
179	30	1	76,3	0
180	10	1	64,7	0
181	10	1	70	0
182	30	-1	71,6	0
183	30	-1	69	0,1
184	10	-1	61,7	0

185	10	-1	69,5	0
186	30	1	72,1	21,3
187	30	-1	69,5	0
188	10	-1	61,7	0
189	10	-1	69	0,1
190	30	-1	71,6	0
191	30	1	70	0
192	10	1	64,7	0
193	10	1	76,3	0
194	30	-1	65,6	25,5
195	30	-1	73,2	0
196	10	1	60	0
197	10	-1	73,2	0
198	30	-1	65,6	25,5
199	30	1	76,3	0
200	10	1	64,7	0
201	10	1	60	0
202	30	-1	65,9	29,4
203	30	1	66,8	28,1
204	10	1	62,1	0
205	10	-1	71,4	0

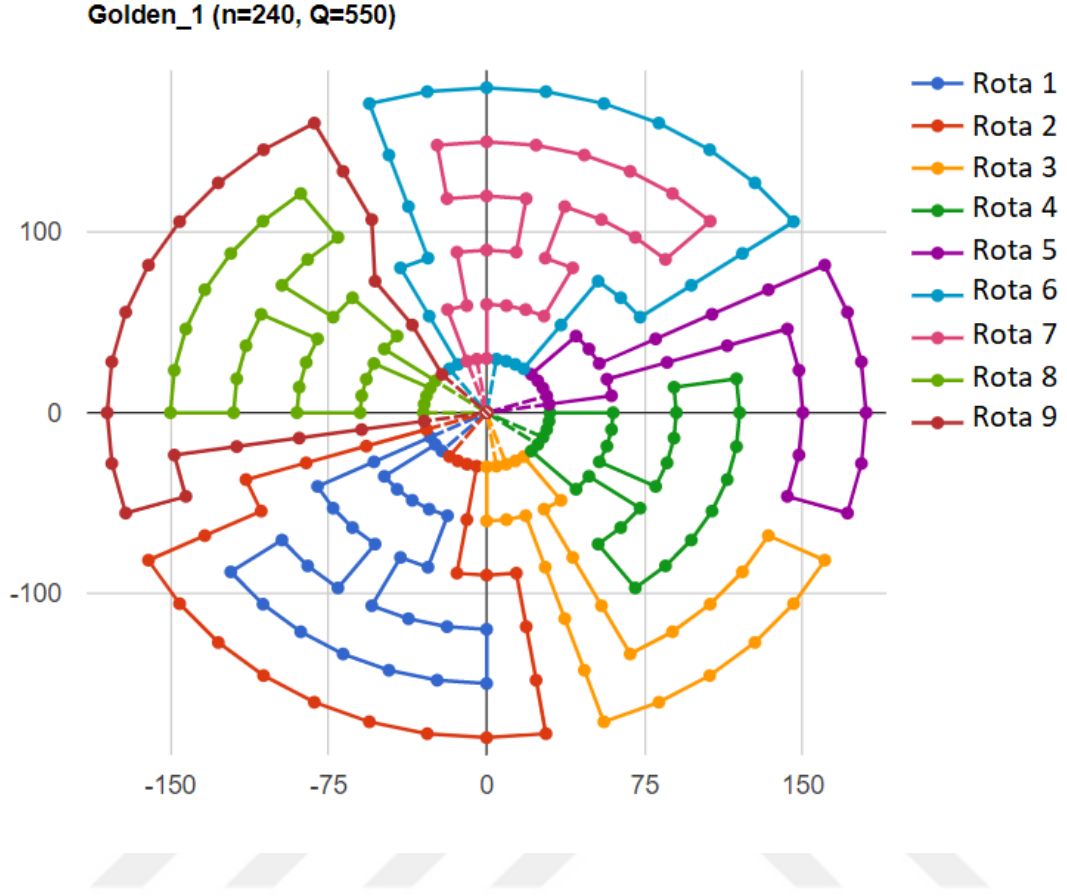
206	30	1	74,6	25,6
207	30	-1	71,4	0
208	10	1	62,1	0
209	10	1	66,8	28,1
210	30	-1	65,9	29,4
211	30	1	60	0
212	10	-1	69,6	26,3
213	10	-1	75,6	0
214	30	1	78,7	16,6
215	30	-1	79,8	0
216	10	1	60	0
217	10	-1	79,8	0
218	30	1	78,7	16,6
219	30	-1	75,6	0
220	10	-1	69,6	26,3
221	10	1	60	0
222	30	-1	65,9	29,4
223	30	1	66,8	28,1
224	10	1	62,1	0
225	10	-1	71,4	0
226	30	1	74,6	25,6

227	30	-1	71,4	0
228	10	1	62,1	0
229	10	1	66,8	28,1
230	30	-1	65,9	29,4
231	30	1	60	0
232	10	-1	69,6	26,3
233	10	-1	75,6	0
234	30	1	78,7	16,6
235	30	-1	79,8	0
236	10	1	60	0
237	10	-1	79,8	0
238	30	1	78,7	16,6
239	30	-1	75,6	0
240	10	-1	69,6	26,3

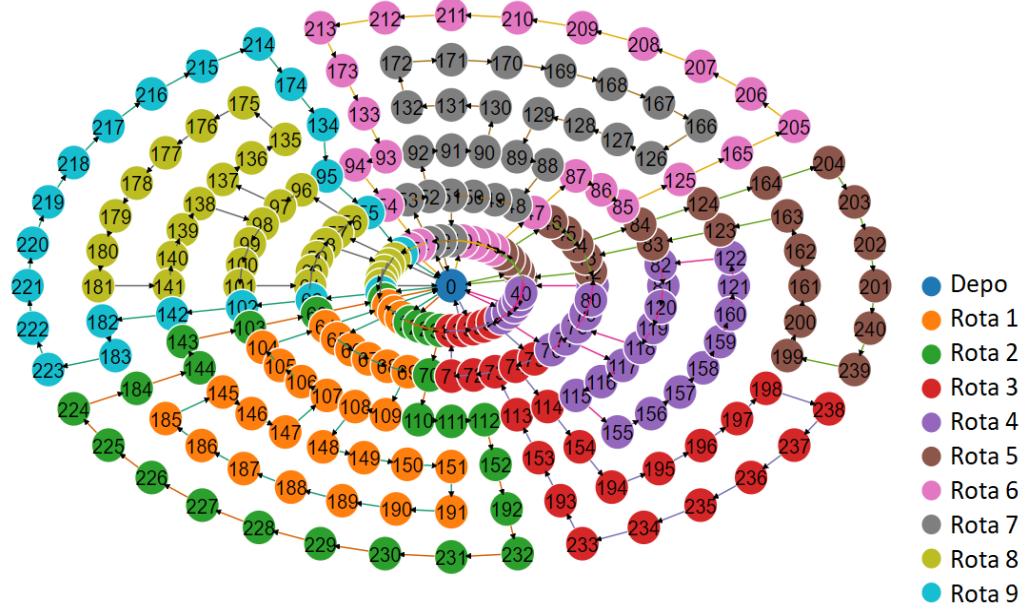


Şekil 4.3.: Golden 1 240x9 veri seti (CVRPLIB)

Golden v.d. (1998) çalışmasında ortaya konulan çözümdeki rotalar diyagram üzerinde Şekil 4.4'te görülmektedir. 9 araç 240 müşterinin tamamını kapsayacak şekilde turlar yaparak depodan başlayıp, tekrar depoya dönmektedir. Toplam taşıma maliyeti 5.623,47 olarak hesaplanmış ve veri seti ile birlikte yayınlanmıştır.



Şekil 4.4.: Golden 1 240x9 problemi çözümü (CVRPLIB)



Şekil 4.5.: Golden 1 240x9 problemi çözümü (farklı bir gösterim) (VRP-REP Mapper)

Bu çalışma sırasında incelenen diğer araştırmacıların çalışma yaptığı Kapasiteli Araç Rotalama Problemi (KARP) veri setlerinde toplam kapasitenin toplam talepten daha fazla olduğu görülmektedir. Başka bir deyişle, tüm müşteri talepleri karşılanabilmektedir. Bu durumda iptal edilmeye ihtiyaç olan sipariş olmadığı için bu verilere Gelir yönetimi uygulanamamıştır.

Bu tez çalışmasının öncü olarak ele aldığı Gelir yönetimi uygulaması yapılabilmesi için kapasite darlığı aynı zamanda talep fazlalığı olması gereklidir. Bu özelliklere sahip bilinen hazır bir veri seti olmadığı için bu koşula uyacak veri seti yapay olarak hazırlanmıştır. İncelenen veri setlerinden Golden v.d. (1998) çalışmasındaki 1 numaralı veri setinde araç sayısı bir eksiltiyle 9 araç yerine 8 araç ile çözülmeye çalışıldığında kapasite darlığı ortaya çıkmaktadır.

$$8 \text{ aracın toplam kapasitesi} : 8 \times 550 = 4.400$$

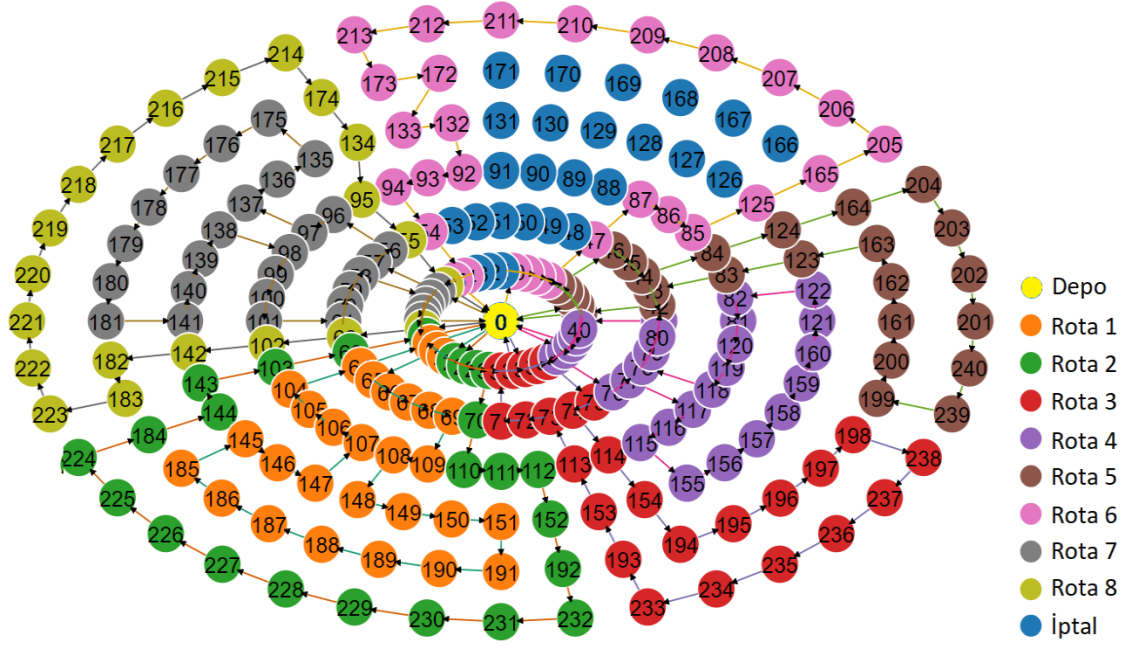
$$240 \text{ müşterinin toplam talebi} : 4.800$$

$$\text{Karşılanamayacak olan toplam talep} : 400$$

Kapasite darlığı oluşturulan bu veri seti üzerinde çalışma yapılmıştır. Malzeme ve Yöntem bölümünde ortaya konulan GYEDTARP modelini uygulayarak bulunan çözüm sonucunda dokuz rota yerine sekiz rota hesaplanmıştır. Şekil 4.6'daki pembe renkli Rota 6 arasına Şekil 4.5'te görülen 9 araçlı çözümdeki gri renkli 7nci rotadan üç müşteri daha katılmıştır. (92, 132, 172) Böylece araç 6'nın önceki çözümde 26 müşteri ile toplam 520 olan yükü 29 müşteri ile toplam 550 birim yüke ulaşmıştır. Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'daki diyagramlar problem verileri ve çözüm verilerini <https://vrp-rep.github.io/mapper/> adresinde bulunan VRP-REP Mapper uygulamasına yükleyerek elde edilmiştir.

Golden (1998) çalışmasındaki problem setini bir araç eksik olarak 8 araç ile, talepleri karşılanamayan müşteriler taşıma maliyeti minimizasyonu odaklı olarak çözen başka bir

çalışma yayınlanmamış olduğu için 8 araç ile rota planlaması sonucunun ne olacağı bilinmemektedir. Bu nedenle bu tez çalışmasında ortaya çıkan sonucu başka bir çalışmayla bire bir karşılaştırma imkânı bulunamamıştır. Bu eksikliği bertaraf etmek için karşılaştırmalar araç rota planlarının özet rasyo değerleri üzerinden yapılmıştır.



Şekil 4.6.: Golden 1 240x9 probleminin 8 araçla çözümü (VRP-REP Mapper)

Çözümde bir aracın eksilmesinden dolayı operasyonun toplam karı azalmıştır. Fakat 25 müşteriye hizmet götürülememesine rağmen araç başına karlılık bir miktar artmıştır. Bunun sebebi, müşteri seçimi yaparken hedef fonksiyonda gelir, taşıma maliyeti ve ceza bedelinin bir arada ele alınmasıdır.

Araç başına karlılık bir miktar artarken, aynı zamanda araçların ortalama doluluk oranı da %96,07'den %97,50'ye yükselmiştir.

GYEDTARP için önerilen algoritma diğer rotalara yeni müşteriler ekleyecek kadar uzun çalıştırılırsa, hizmet verilemeyen 25 müşteriden bir kısmı daha diğer araçların rotasına

alınabilecek ve toplam kar artabilecektir. Diğer rotalarda toplam (4.400 – 4.290 = 110 birim) kullanılmaya müsait kapasite bulunmaktadır. Bu kapasiteyi kullanabilen bir rota planı oluşturulabildiğinde toplam karlılık daha yüksek olacaktır.

Tablo 4.11.: Gelir yönetimi uygulamayan çözüm (240 müşteri, 9 araç)

	<i>Müşteri sayısı</i>	<i>Toplam (TL)</i>
Toplam gelir	240	16.639,60
Toplam nakliye bedeli		5.623,47
Rezervasyon iptal ceza bedeli		0
Toplam kar		11.016,13
Araç başına karlılık		1.224,01
Toplam araç kapasitesi		4.950
Kullanılan toplam araç kapasitesi		4.800
Kullanılabilir boş kapasite		150
Doluluk oranı		%96,97

Tablo 4.12.: Gelir yönetimi uygulayan çözüm (240 müşteri, 8 araç)

	<i>Müşteri sayısı</i>	<i>Toplam (TL)</i>
Toplam gelir	215	15.023,60

	<i>Müşteri sayısı</i>	<i>Toplam (TL)</i>
Toplam nakliye bedeli		5.066,50
Rezervasyon iptal ceza bedeli	25	115,90
Toplam kar		9.841,20
Araç başına karlılık		1.230,15
Toplam araç kapasitesi		4.400
Kullanılan toplam araç kapasitesi		4.290
Kullanılabilir boş kapasite		110
Doluluk oranı		%97,50

4.2.1. Gerçek uygulama verisiyle çalışma

İstanbul'da faaliyet gösteren bir çelik servis merkezi Marmara bölgesinde 1132 müşteriye hizmet vermektedir. Müşterilerinin satın aldığı çelik sacların müşterilerine dağıtımını kendi araçlarıyla yapmaktadır. Aynı zamanda müşterilerin işleyip, firmanın yüksek sıcaklık fırınlarında ısıtılmasını istediği parçaları müşteri adresinden toplayıp, fabrikada işlem bittikten sonra müşterilere tekrar dağıtımını yapmaktadır. Araçlar bir turda hem dağıtım hem toplama yapabilmektedir.

Toplam 20 aracın kapasitesi zaman zaman boş kalmakta bazen de istenen siparişlerin bir kısmını karşılayabilmektedir. Firma düşük fiyatlı erken rezervasyon imkânı vererek kapasite doluluğunu ve geliri arttırmayı hedeflemiştir.

Firmanın yoğun sipariş aldığı bir tarihte 819 müşteriden sipariş alınmıştır. Gelir yönetimi uygulamayan EDTRAP yöntemi ile planlama yapıldığında 20 aracın kapasiteleri ve günlük çalışma zamanı kısıtları gözetilerek plana en fazla 553 müşterinin siparişi alınabilmektedir. Bu siparişler seçilirken rotanın taşıma maliyetini minimize etme amacı ön plandadır. Müşterilerden elde edilecek gelir dikkate alınmamıştır.

Firmanın aynı siparişleri için GYEDTRAP yöntemine göre 20 araç rota planı yapıldığında araç kapasitesi ve günlük mesai süresi kısıtlarını sağlayabilmek için 289 müşterinin siparişi red edilmiştir. Reddedilen müşterilerden 21 tanesi erken rezervasyon yaptırmış olduğu için sipariş iptal ceza bedeli ödenecektir. 819 müşteriden 530 müşteri rota planına dahil edilmiştir. Bu müşteriler her müşterinin toplam kar tutarına etkisi gözetilerek seçilmiştir. Toplam kar tutarı müşterilerden elde edilecek toplam gelir tutarından erken rezervasyon iptal cezaları ve rotaların toplam taşıma maliyeti çıkartılarak hesaplanmıştır.

Karınca kolonisi algoritmasında bir noktadan başka bir noktaya giden yollar arasında seçim yaparken sadece o yolun taşıma maliyetine değil, o müşterinin rotaya katılmasından doğacak kar artışına göre uygunluk değeri hesaplanmakta ve koloni üyesi bireyler yeni rotaları ararken önceki bireylerin bildirdiği uygunluk değerlerine göre rotayı belirlemektedir. Müşterilerden elde edilecek gelirin de Karınca Kolonisi Algoritmasına katılması bu tez çalışmasında önerilmiştir.

EDTRAP ve GYEDTRAP yöntemleri ile yapılan planlama sonuçları Tablo 4.13 ve Tablo 4.14'te gösterilmiştir.

Tablo 4.13.: Örnek firmadaki mevcut uygulamaya göre (EDTRAP) finansal sonuçlar

	<i>Müşteri sayısı</i>	<i>Toplam (TL)</i>
Toplam gelir	553	2.294.617,20
Toplam nakliye bedeli		664.844,47
Toplam kar		1.629.772,73
Araç başına karlılık (20 araç)		81.488,64
Toplam araç kapasitesi (20x2000kg)		40.000
Kullanılan toplam araç kapasitesi		28.381
Kullanılabilir boş kapasite		11.619
Doluluk oranı		%70,95

Tablo 4.14.: Örnek firmanın verileriyle GYEDTARP finansal sonuçları

	<i>Müşteri sayısı</i>	<i>Toplam (TL)</i>
Toplam gelir	530	2.577.438,41
Toplam nakliye bedeli		730.381,76
Rezervasyon iptal ceza bedeli	21	44.828,14
Toplam kar		1.802.228,51

	<i>Müşteri sayısı</i>	<i>Toplam (TL)</i>
Araç başına karlılık (20 araç)		92.339,83
Toplam araç kapasitesi (20x2000kg)		40.000
Kullanılan toplam araç kapasitesi		27.827
Kullanılabilir boş kapasite		12.173
Doluluk oranı		%69,57

Tez çalışmasında önerilen GYEDTARP yöntemiyle bulunan çözümün Gelir yönetimi uygulamayan EDTRAP yönteminin sonuçları ile karşılaştırılması Tablo 4.15'te gösterilmiştir.

Tablo 4.15.: EDTRAP ve GYEDTARP çözümlerinin karşılaştırılması

	<i>EDTRAP</i>		<i>GYEDTARP</i>		<i>Karşılaştırma</i>
	<i>Müşteri sayısı</i>	<i>Toplam (TL)</i>	<i>Müşteri sayısı</i>	<i>Toplam (TL)</i>	<i>Değişim TL %</i>
Toplam gelir	553	2.294.617,20	530	2.577.438,41	% 12,33
Toplam nakliye bedeli		664.844,47		730.381,76	% 9,86
Rezervasyon iptal ceza bedeli			21	44.828,14	-
Toplam kar		1.629.772,73		1.802.228,51	% 10,58

	<i>EDTRAP</i>		<i>GYEDTARP</i>		<i>Karşılaştırma</i>
	<i>Müşteri sayısı</i>	<i>Toplam (TL)</i>	<i>Müşteri sayısı</i>	<i>Toplam (TL)</i>	<i>Değişim TL %</i>
Araç başına karlılık (20 araç)		81.488,64		90.111,43	% 10,58
Toplam araç kapasitesi (20x2000kg)		40.000		40.000	% 0
Kullanılan toplam araç kapasitesi		28.381		27.827	% -1,95
Kullanılabilir boş kapasite		11.619		12.173	% 4,77
Doluluk oranı		%70,95		%69,57	% -1,95

GYEDTARP yöntemi EDTRAP yöntemine göre daha az sayıda müşteriye hizmet vermesine rağmen % 12,33 oranında daha fazla gelir elde etmiştir. Bunun sebebi müşterileri gelir odaklı rota planlamasına göre sisteme dahil etmesidir.

GYEDTARP yönteminde rotada daha az sayıda müşteri olmasına rağmen toplam taşıma maliyeti EDTRAP yönteminden % 9,86 oranında daha fazla olmuştur. Bu sonuç rota planlaması sırasında amaç fonksiyonun maliyet minimizasyonu olmamasından kaynaklanmaktadır. Gelir odaklı olarak yapılan tercihler nakliye maliyeti açısından verimsiz tercihler olabilmektedir. Başka bir deyişle GYEDTARP yöntemi ile oluşturulan rotanın sadece taşıma maliyetlerine bakıldığında diğer yönteme göre daha yüksek maliyetli ve görece düşük verimli bir sonuç

ortaya çıktığı düşünülebilir. Fakat gelir unsuru da katıldığında, GYEDTARP yöntemi toplam karlılık bakımından daha iyi ve pozitif bir sonuç üretmektedir.

GYEDTRAP yöntemi EDTRAP yönteminden farklı olarak erken rezervasyon imkânı sunmaktadır. Böylece daha fazla talep oluşmakta ve araç kapasiteleri daha fazla doldurulabilmektedir. Erken rezervasyon ile gelen düşük fiyatlı siparişlerden bazıları araç kapasitesi dolu olduğunda ve siparişin toplam karlılığa etkisi düşük olduğunda red edilebilmektedir. Bu durumda müşteriye ek olarak önceden belirlenmiş bir ceza bedeli ödenir veya müşterinin siparişi firma tarafından daha yüksek bir maliyetle başka bir yüklenici firma ile dağıtılıp toplanır.

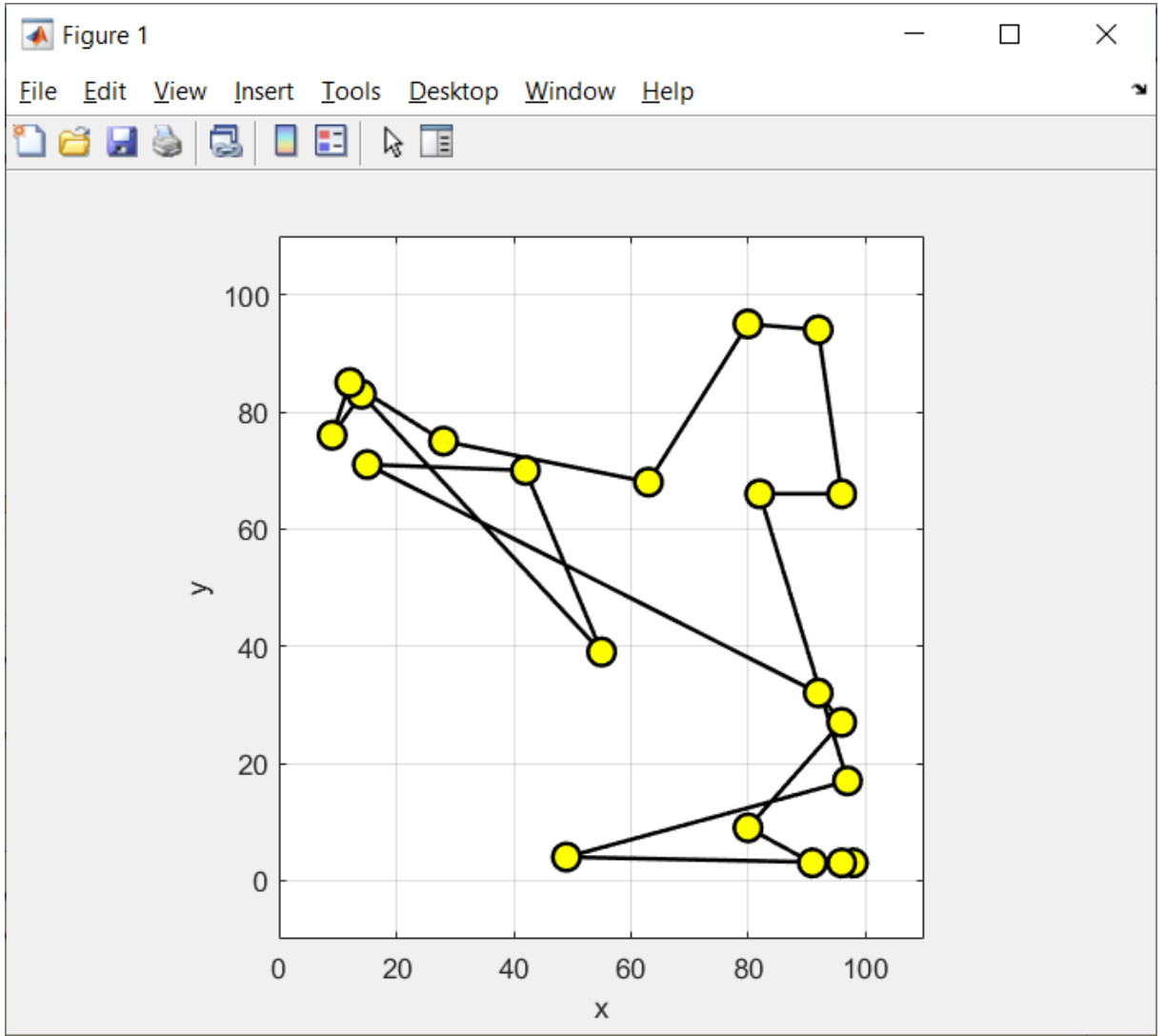
Rota planlamasının toplam karlılığı müşterilerden elde edilen toplam gelirden rotanın toplam maliyeti ve varsa erken rezervasyon iptalleri için ödenen ceza bedelleri çıkartılarak hesaplanır. GYEDTARP yöntemi ile % 10,58 oranında daha fazla kar elde edilmiştir. Tablodaki sonuçlar arasında en önemlisi toplam kar tutarında artış olmasıdır. Tez çalışmasında önerilen GYEDTARP yönteminin amacı toplam karlılığı gözeterek rota planlaması yapmaktır. Problemin matematiksel modelindeki amaç fonksiyonu da, rota planı oluşturulurken verilen kararlar da karlılığa yönelik olduğu için böyle bir sonuç ortaya çıkması baştan amaçlanan bir durumdur.

Her iki yöntemde de kapasite firmanın araç sayısı ile sınırlandırılarak 20 araç kullanılmıştır. Araç sayıları aynı olduğu için araç başına karlılık tutarları da toplam karlılıkta olduğu gibi GYEDTARP yönteminde % 10,58 oranında daha fazla olmuştur.

Araç tipleri ve araç sayıları iki yöntemde de aynı tutulduğu için toplam araç kapasitesi her iki yöntemden de $20 \times 2.000 \text{ kg} / \text{gün} = 40.000 \text{ kg} / \text{gün}$ 'dür. Oluşturulan rota planları tarafından kullanılan kapasite miktarı GYEDTARP yönteminde % -1.95 oranında daha az kapasite kullanılmıştır. Bu sonuç toplam karlılıktaki artış gibi önemli bir sonuçtur. Firmanın araçlarında şartlar uygun olursa kullanılabilecek daha fazla boş kapasite kaldığını göstermektedir. Benzer şekilde toplam araç kapasitesinin kullanılabilir boş araç kapasitesi açısından GYEDTARP yönteminde % 4,77 oranında daha fazla boş kapasite kalmıştır. Başka bir gösterge olan doluluk oranı da kullanılan araç kapasitesinde görüldüğü gibi GYEDTARP yönteminde % -1,95 oranında daha az olmuştur.

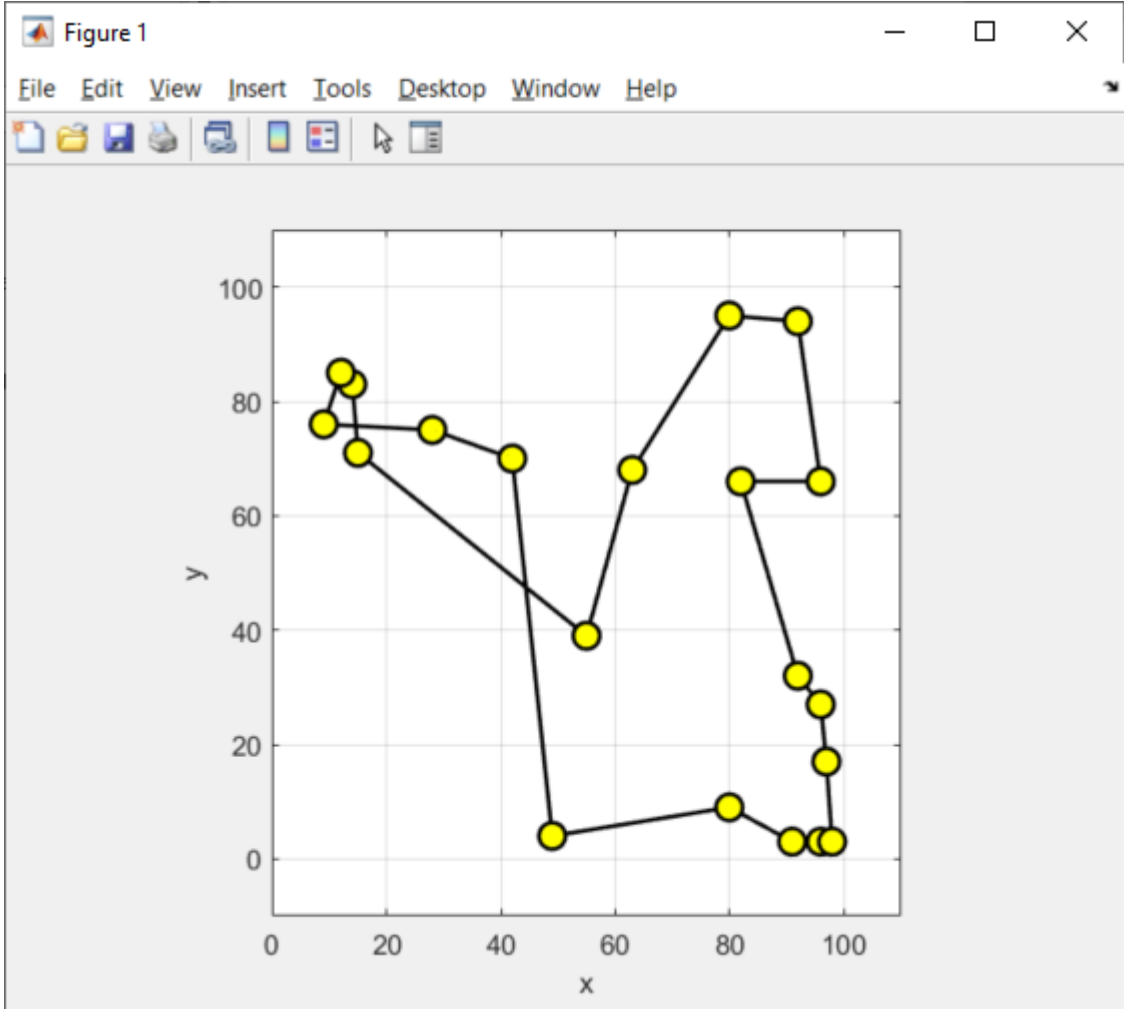
EDTRAP ve GYEDTARP yöntemleri ile oluşturulan araç rotaları incelendiğinde yeni önerilen GYEDTARP yönteminin hem toplam karlılığı arttırdığı hem de kullanılan araç kapasitesini azalttığı görülmüştür. Karınca kolonisi algoritması uygunluk değeri olarak rotanın toplam karlılığını gözetecek şekilde hedeflendiği için her bir kararın alınması sırasında gözetilen amaç algoritmanın sonucunda tüm rotanın da aynı amaca uygun sonuçlanmasını sağlamaktadır.

Karınca kolonisi algoritması ile tek araç rotası planlaması çalışırken alınan ekran görüntüleri aşağıdadır:



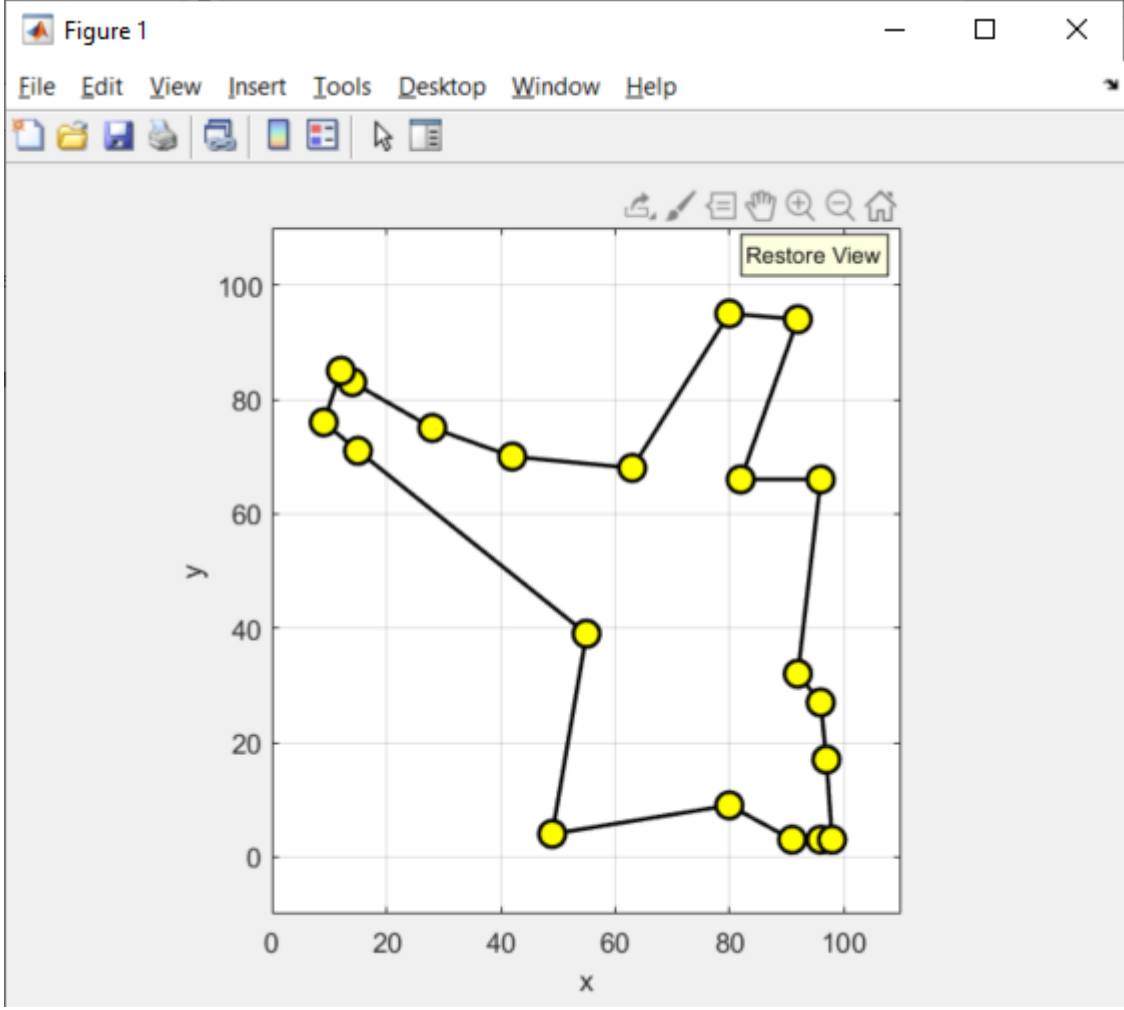
Şekil 4.7.: İlk turda rastgele atanmış çözüm olan başlangıç rotası

Matlab ortamında kodlanmış olan Karınca Kolonisi Algoritması 20 müşteri ve tek araç rota planlaması problemi için çalıştırıldığında ilk turda henüz rastgele atanmış rota karar değişkenlerinin oluşturduğu rota Şekil 4.7’de görülmektedir.



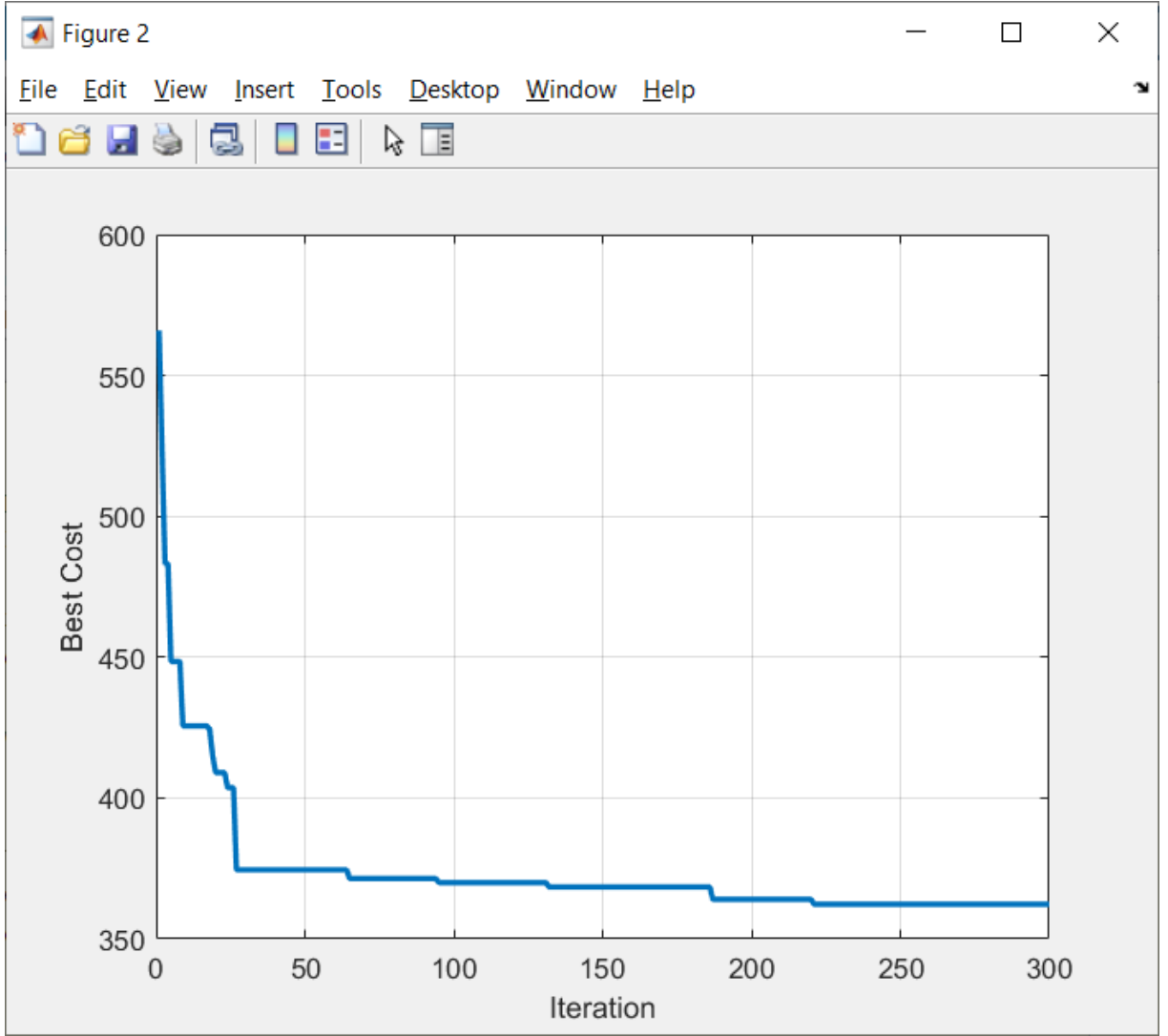
Şekil 4.8.: 22nci tur sonunda henüz son haline gelmemiş rota

Matlab ortamındaki uygulama 22 tur çalıştırıldıktan sonra program durdurularak alınan Şekil 4.8'deki grafikte araç rotasının Şekil 4.7'deki ilk haline göre iyileştirildiği görülmektedir. Özellikle sağ alt kısımdaki müşteriler arasındaki yollar yakın müşteriler arasında sıra takip ederek ilk turdaki haline göre daha kısalmıştır.



Şekil 4.9.: 220 tur sonunda bulunan rota

Matlab ortamında Karınca Kolonisi Algoritması ile tek araç ve 20 müşteri için oluşturulan araç rotası 220. turdan sonra değişmemiştir. Algoritmanın ürettiği son araç rotası Şekil 4.9’da görülmektedir.



Şekil 4.10.: Turlar boyunca elde edilen rotaların toplam taşıma maliyetinin azalma grafiği

Matlab ortamında Karınca Kolonisi Algoritması ile 20 müşteri için tek araç rotası oluştururken her turda belirlenen en iyi rotanın toplam maliyet değeri ilk rastgele çözümünden başlayıp yeni alternatifler denendikçe azalarak devam etmiştir. Her turda daha iyi bir çözümün bulunacağı garanti edilmemekle beraber örnekte 220. tura ulaşana kadar azalmalar olmuştur. Her tur sonucunda oluşturulan rotanın maliyeti Şekil 4.10'da görülmektedir.

4.3.Deney Sonuçlarının Özeti

Tez çalışmasında ortaya konulan GYEDTARP modeli ile Genetik Algoritma ve GYEDTARP için uyarlanmış Karınca Kolonisi Algoritması kullanarak yapılan deneylerde bulunan en iyi çözümler Tablo 4.7., Tablo 4.12. ve Tablo 4.14.'te gösterilmiştir. Bu tablolarda her veri seti için bulunan sonucun sadece finansal boyutları gösterilmiştir.

Aşağıdaki Tablo 4.16.'da her veri seti için yapılan deney sayısı, bulunan en iyi sonuç, en iyi sonucun kaçınıcı iterasyonda bulunabildiği, tüm denemelerde bulunan sonuçların ortalaması ve standart sapması ve deneylerin ortalama çalışma süreleri gösterilmiştir.

Tablo 4.16.: Deney sonuçları özeti

Deney tipi	1	2	3
Problem seti	Açıklayıcı örnek	Golden-1	Firma verisi
Veri büyüklüğü (müşteri x araç sayısı)	4 x 1	240 x 8	819 x 20
Yöntem	Genetik algoritma	GYEDTARP için uyarlanmış Karınca Kolonisi Algoritması	GYEDTARP için uyarlanmış Karınca Kolonisi Algoritması
Test ortamı	MS Excel Solver	Matlab	Matlab
Deneme sayısı	5	8	7
En iyi sonuç (toplam kar)	12.934,14	9.841,20	1.802.228,51
En iyi sonuç kaçınıcı	3.385	6.382	21.427

iterasyonda bulundu			
Sonuçların ortalaması	9.362,80	8.461,47	1.457.575,26
Sonuçların standart sapması	2.511,27	1.204,68	254.650,50
Ortalama çalışma süresi	32 sn	3 saat 12 dk	15 saat 9 dk

Tüm hesaplamalar Intel Core i7-7500U işlemcili, 2 çekirdekli, 2,7 GHz hız ve 12 GB RAM kapasiteli bir bilgisayarda yapılmıştır.]

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

[Lojistik alanındaki faaliyetler arasında taşıma önemli bir pay almaktadır. Taşımanın süresi ve maliyeti üzerinde yapılacak iyileştirmeler toplam lojistik faaliyetlerini olumlu yönde önemli ölçüde etkilemektedir. Taşıma araçlarının planlanması probleminin karmaşık olması kendi içinde birçok gelişme alanı barındırmaktadır ve bu alanda birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmaların çoğunluğu taşıma operasyonunun toplam zamanı, toplam yol uzunluğu ya da toplam taşıma maliyeti gibi değerleri minimize etme amacını gütmektedir.

Taşıma maliyetleri yerine taşıma sonucunda elde edilecek kazancı dikkate alan çalışmalar da bulunmaktadır. Bu çalışmalar müşterilerden elde edilecek toplam kazanç, sınırlı süre içerisinde ziyaret edilen müşteri sayısı gibi değerleri maksimize etmeyi amaçlamaktadır. Fakat elde edilecek toplam geliri ve araç rotası maliyetlerini bir arada kullanarak taşıma planının toplam karlılığına odaklanan çalışmaya, bugüne kadar yaptığımız araştırmalar sonucunda rastlanmamıştır. Bu çalışmada ortaya konan modelde amaç fonksiyonu olarak gelir ve gider unsurları bir arada kullanılmış ve operasyonun toplam karlılığını maksimize etmek hedeflenmiştir. Bu tez çalışmasının literatürdeki diğer çalışmalardan birinci ve en önemli farkı ve bilimsel katkısı budur.

Gelir ve giderleri bir arada değerlendirmenin yanı sıra bu çalışma gelir yönetimi uygulayarak dinamik fiyatlandırma yapısını modele katmıştır. Dinamik fiyatlandırmanın getirdiği düşük fiyatlı erken rezervasyonlar müşteri talebini arttırmakta ve araç kapasitelerinin doluluk oranını daha yukarıya çıkartmaya imkân vermektedir. Gelir yönetiminin en genel uygulamaları olan otel rezervasyonu, uçak bileti gibi taşıma araçlarının müşterilere sunduğu kapasite de ömürlü bir hizmet olup, zamanında satılamadığında hiçbir değer üretmeden boşa giden bir kaynaktır. Oysa normal fiyatla taşıma hizmeti almayı düşünmeyen ama hizmet zamanından çok erken zamanlarda düşük fiyatla rezervasyon yaptırıp hizmet almayı kabul edecek müşteriler de bulunmaktadır. Bu müşterilerin de kazanılması ile araç kapasiteleri daha iyi kullanılmakta ve daha yüksek kar elde edilmektedir. Tez çalışmasının araç rotalama problemi üzerinde yapılan araştırmalara gelir yönetimi modeli ile dinamik fiyatlandırma uygulayan bir çalışma özelliği taşıması, çalışmayı literatürdeki diğer çalışmalardan ayıran ikinci özelliği ve literatüre olan ikinci önemli bilimsel katkısıdır.

Bu tez çalışmasında ortaya konulan model ile Gelir Yönetimi odaklı Eş Zamanlı Dağıtım Toplamalı Araç Rotası Planlama probleminin amaçları ve kısıtları bir matematiksel model halinde ifade edilmiş, NP-zor karmaşıklık düzeyindeki problemin çözümü için meta sezgisel bir çerçeve ortaya konulmuş, yapay ve gerçek veriler üzerinde yapılan deneylerin sonuçları incelenmiştir.

Yeni yöntemle karlılık maksimizasyonu göz önüne alınarak yapılan planlamanın gider minimizasyonu odaklı yapılan planlamadan toplamda daha karlı bir sonuç ortaya koyduğu görülmüştür.

Açıklayıcı örnekte 4 müşteri için tek araç rotalama problemi EDTARP ve GYEDTARP yöntemleri ile Microsoft Excel Solver ortamında çözüldüğünde maliyet minimizasyonu yapan yöntemde toplam kar 5.419,56 TL iken gelir yönetimi uygulayan yöntem 12.934,14 TL kar üretmiş ve toplam karda %138 artış elde edilmiştir.

ARP literatüründe kullanılan yapay veri setlerinden Golden-1 veri seti 240 müşteri ve 8 araç ile tez çalışmasında önerilen yöntemle çözüldüğünde araç doluluk oranı %97,50 olmuştur. Orijinal problem 240 müşteri ve 9 araç olarak tanımlanmıştır. Bu veri setinde ve incelenen diğer veri setlerinde de her zaman toplam araç kapasitesinin toplam talepten fazla ya da eşit olarak verildiği görülmüştür. Gelir yönetimi uygulayabilmek için problemde kapasite darlığı olması ve bazı müşterilerin taleplerini reddetme durumu ortaya çıkması gereklidir. Bu amaçla orijinal Golden-1 veri setindeki araç sayısı 9'dan 8'e düşürülmüştür. Bu durumda iki çözümü karşılaştırmak için araç doluluk oranı dışında diğer çıktılara bakmak uygun olmamaktadır. Çünkü orijinal problemin 8 araçla nasıl çözülebileceği ve toplam karın ne kadar olacağı belli değildir. Orijinal problemin 9 araçla çözümünde araç doluluk oranının %96,97 olduğu görülmüştür. Yeni yöntemle daha az araçla hizmet verirken araç dolulukları %0,53 oranında artmıştır.

Bir firmanın gerçek verileriyle yapılan deneyde ise yine EDTARP çözümü ve GYEDTARP çözümü karşılaştırılmıştır. 819 müşteri ve 20 araçtan oluşan veri setiyle yapılan deney sonucunda tez çalışmasında önerilen GYEDTARP yönteminin gelir yönetimi uygulamayan yöntemle göre %10,58 oranında daha yüksek karlı bir planlama ürettiği görülmüştür.

Tez çalışmasında ortaya konan modelin gerçek uygulamalarda faydalı sonuçlara yol açacağı tahmin edilmektedir. Fakat literatürde gelir yönetimi odaklı çalışma bulunamadığı için başka

araştırmalarla aynı problem ve veri seti üzerinde çalışmak ve sonuçlarda kıyaslama yapmak mümkün olmamıştır. Bu çalışmanın ilerideki çalışmalar için bir kıyaslama tabanı olarak rol alması ümit edilmektedir.

Tez çalışmasında ortaya konan model hem gelir hem maliyet unsurlarını bir arada kullandığı için özellikle ticari işletmelerin asıl amacı olan karlılıkla ve kapasite kullanımını arttırmakla paralellik göstermektedir. Kapasite kullanımının yüksek seviyelerde olduğu durumlarda taşıma araçlarıyla ilgili sabit maliyetlerin sipariş başına düşen payı da azalmakta ve karlılık artmaktadır. Ortaya çıkan sonuçlar hem hizmet veren hem de hizmet alan taraflar açısından ekonomik olarak anlamlıdır. Çözümün reddettiği siparişlerin karlı olmadığı hesaplanabildiği için hizmet veren firma açısından durumun anlaşılması kolaydır. Hizmet alan taraf için ise düşük fiyatlı erken rezervasyon yaptırırken, siparişin reddedilme ihtimali baştan göze alınmış bir durumdur. Hizmet veren firma önceden belirlenmiş bir ceza bedelini ödeyerek ya da alternatif bir taşıma firmasına ücreti kendisi ödeyerek siparişi reddedilen müşterinin mağduriyetini ortadan kaldırmaktadır.

Taşıma maliyeti hesaplamasında noktalar arası yol uzunluğunun yanı sıra iki nokta arası yükselti farkı da hesaba katılarak eğimden kaynaklanan yakıt harcama etkisi ele alınmış ve daha gerçekçi maliyet hesaplaması yapılması hedeflenmiştir. Bu faktör birçok çalışmada göz ardı edilmektedir. Bu da tez çalışmasının üçüncü önemli özelliği ve katkısını oluşturmaktadır.

Çalışma sırasında uygulanan Karınca Kolonisi algoritmasına yapılan revizyon ile karınca takımları tanımlanmış ve bir koloninin birden çok takıma ayrılarak aynı anda birden çok araç rotası oluşturması sağlanmıştır. Bu sadece araç rotalama problemlerinde değil eş zamanlı olarak birden çok taramayı yapmak gereken çalışmalarda da kullanılabilecek bir yöntem olarak farklı araştırmalara ışık tutacaktır. Takım esaslı Karınca kolonisinin GYEDTARP modelinin çözümünde kullanılması doktora tez çalışmasının dördüncü önemli katkısı olarak göze çarpmaktadır.

Gelecekte bu çalışmanın devamı niteliğinde Karınca Kolonisi algoritmasında iyileştirmeler yapılarak, ayrı ayrı araçların rotaları arasında bir araç rotasından müşteri çıkartıp başka bir araç rotasına kaydırma işlemi daha da iyileştirilebilir. Bu çalışmada uygulanan çözümde bir müşterinin bir araç rotasından çıkması için o rotayı tarayan karıncaların bir müşteriye giden yollar üzerinden çok az geçmeye başlaması ve belirli bir eşik değerin altında feromon kalana

kadar zaman geçmesi gerekmektedir. Müşterinin o rotada tercih edilmeyip başka rotalara kaydırıldığında daha iyi sonuç elde edileceğini anlamak ve geçişi erkenden yapmak toplam sonucu daha çabuk iyileştirecek ve daha verimli sonuçları daha kısa sürede üretecektir. Üzerinde çalışılması önemli katkı sağlayacak bir alan da Karınca Kolonisi algoritmasının parametrelerinin duyarlılığını deney tasarımı ile inceleyip, daha iyi çözümler üretecek parametreleri belirlemektir.

GYEDTARP modeli taşıma operasyonundaki hem gelir hem gider unsurlarını ele alarak ve dinamik fiyatlandırmayı kapsayarak çok geniş uygulama sahası bulacaktır. Problem boyutlarındaki büyüklüklerden dolayı Karınca Kolonisi algoritmasının yeterli gelmediği durumları çözebilmek için model aynı şekilde bırakılarak başka meta-sezgisel algoritmalar ile problemi çözmek üzere çalışmalar yapılabilir.]

KAYNAKLAR

- [Adelman, D. (2007). Dynamic bid prices in revenue management. *Operations Research*, 55(4), 647-661.
- Agatz, N. A., Fleischmann, M., & Van Nunen, J. A. (2008). E-fulfillment and multi-channel distribution—A review. *European journal of operational research*, 187(2), 339-356.
- Alvarez, A., & Munari, P. (2017). An exact hybrid method for the vehicle routing problem with time windows and multiple deliverymen. *Computers & Operations Research*, 83, 1-12.
- Ballou, D. P., & Tayi, G. K. (1999). Enhancing data quality in data warehouse environments. *Communications of the ACM*, 42(1), 73-78.
- Baranwal, M., Parekh, P. M., Marla, L., Salapaka, S. M., & Beck, C. L. (2016, July). Vehicle routing problem with time windows: A deterministic annealing approach. In *2016 American Control Conference (ACC)* (pp. 790-795). IEEE.
- Belmecheri, F., Prins, C., Yalaoui, F., & Amodeo, L. (2010, April). Particle swarm optimization to solve the vehicle routing problem with heterogeneous fleet, mixed backhauls, and time windows. In *2010 IEEE International Symposium on Parallel & Distributed Processing, Workshops and Phd Forum (IPDPSW)*(pp. 1-6). IEEE.
- Belobaba, P. (1987). Air travel demand and airline seat inventory management (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
- Berbeglia, Gerardo, Jean-François Cordeau, and Gilbert Laporte (2010). “Dynamic pickup and delivery problems.” In: *European Journal of Operational Research* 202.1, pp. 8–15.
- Bertsimas, D., & Popescu, I. (2003). Revenue management in a dynamic network environment. *Transportation science*, 37(3), 257-277.
- Bielli, M., Bielli, A., & Rossi, R. (2011). Trends in models and algorithms for fleet management. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 20, 4-18.

Bilişik, M. T., & Gürgen, O. (2012). Perakendecilik Sektöründe Dinamik Fiyatlandırma: Geniş Bir Literatür Taraması-Dynamic Pricing In Retailing Industry: A Wide Literature Survey. *Öneri Dergisi*, 10(37), 111-119.

Bilişik, Murat Taha. (2011). “Destek Vektör Makinesi, Çoklu Regresyon Ve Doğrusal Olmayan Programlama İle Perakendecilik Sektöründe Gelir Yönetimi İçin Dinamik Fiyatlandırma.” XI. Üretim Araştırmaları Sempozyumu, 23-24 Haziran 2011, İstanbul, İstanbul Ticaret Üniversitesi Yayınları: 785-799.

Bozyer, Z., Alkan, A., & FIĞLALI, A. (2014). Kapasite kısıtlı araç rotalama probleminin çözümü için önce grupla sonra rotala merkezli sezgisel algoritma önerisi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 7(2)

Bruniecki, K., Chybicki, A., Moszyński, M., & Bonecki, M. (2016, September). Towards solving heterogeneous fleet vehicle routing problem with time windows and additional constraints: Real use case study. In 2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS) (pp. 725-730). IEEE.

Büyüksaatçi, S., Küçükdeniz, T., & Esnaf, Ş. (2008). "Geri dönüşüm tesislerinin yerinin Gustafson-Kessel algoritması-konveks programlama melez modeli tabanlı simülasyon ile belirlenmesi", *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(13), 1-20.

Büyüksaatçi, S., & Esnaf, Ş. (2014). "Carbon Emission Based Optimisation Approach for the Facility Location Problem", *Turkish Online Journal of Science & Technology*, 4(1).

Chase, N. (2007). Revenue management redefined. *Hotels*, 41(2), 59-62.

Chiang, W. C., Chen, J. C., & Xu, X. (2007). An overview of research on revenue management: current issues and future research. *International journal of revenue management*, 1(1), 97-128.

Chien, T. W., Tu, M. Y., & Chou, W. (2018). Visualizing international author collaboration characteristics and topic burst on transportation management: A bibliometric analysis. *Transportation Management*, 1(4).

Cross, Robert G (1997). Revenue management : hard-core tactics for market domination (1st ed). Broadway Books, New York.

Çetin, S., & Gencer, C. (2010). Kesin Zaman Pencere-Eş Zamanlı Dağıtım Toplamalı Araç Rotalama Problemi: Matematiksel Model. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 25(3).

Çetin, s., & Gencer, c. (2011). Heterojen araç filolu zaman pencere eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemleri: matematiksel model. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 3(1), 19-27.

Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. Management science, 6(1), 80-91.

De Armas, J.; Belén Melián-B. (2015). "Variable neighborhood search for a dynamic rich vehicle routing problem with time windows", Computers & Industrial Engineering 85.

Demiral, G. N., & Özel, Ç. H. (2016). Restoran Yöneticilerinin Fiziksel Kanıtların Kullanımına Yönelik Bakış Açılarının Belirlenmesi: Eskişehir Örneği. Celal Bayar University Journal Of Social Sciences/Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 14(4)

Dethloff, J. (2001). Vehicle routing and reverse logistics: the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up. OR-Spektrum, 23(1), 79-96.

Dorigo, M., Maniezzo, V., Coloni, A. (1991). The Ant System: An Autocatalytic Optimizing Process, Technical Report TR91-016, Politecnico di Milano.

Douma, A., Schuur, P., & van der Heijden, M. (2006). Applying revenue management to agent-based transportation planning. BETA Working Paper, (169).

Düzakın, E., & Demircioğlu, M. (2009). Araç Rotalama Problemleri ve Çözüm Yöntemleri. Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 13(1).

Emeksiz, Murat. (2012). "Otel İşletmelerinde Konaklama Hizmetleri". Derleyen Yrd.Doç.Dr. Dilek Acar Gürel. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.

Erdelyi, A., & Topaloglu, H. (2010). A dynamic programming decomposition method for making overbooking decisions over an airline network. INFORMS Journal on Computing, 22(3), 443-456.

Erol, V., için Popülasyon, A. R. P., & Tasarımı, K. T. M. B. A. (2006). Uygulaması (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul, Yıldız Teknik Üniversitesi, Sistem Mühendisliği

Esnaf, Ş., & Küçükdeniz, T. (2009). "A fuzzy clustering-based hybrid method for a multi-facility location problem ", *Journal of Intelligent Manufacturing*, 20(2), 259-265.

Ferreira, K. J., Simchi-Levi, D., & Wang, H. (2018). Online network revenue management using thompson sampling. *Operations research*, 66(6), 1586-1602.

Gergin, Z., Esnaf, Ş., Şen, A. Y., Semiz, N., Algül, D., Güneş, B., ... & Özker, H. (2013, July). Comparing the performance of different artificial intelligence based clustering algorithms in healthcare waste disposal location. In *Intelligent Systems and Decision Making for Risk Analysis and Crisis Response: Proceedings of the 4th International Conference on Risk Analysis and Crisis Response*, Istanbul, Turkey, 27-29 August 2013 (p. 161). CRC Press.

Gergin, Z., Tunçbilek, N., & Esnaf, Ş. (2019). Clustering Approach Using Artificial Bee Colony Algorithm for Healthcare Waste Disposal Facility Location Problem. *International Journal of Operations Research and Information Systems (IJORIS)*, 10(1), 56-75.

Goksal, F. P., Karaoglan, I., & Altıparmak, F. (2013). A hybrid discrete particle swarm optimization for vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. *Computers & Industrial Engineering*, 65(1), 39-53.

Golden, B., Wasil, E., Kelly, J., & Chao, I. (1998). Metaheuristics In Vehicle Routing. In *Craıgnic, T. & Laporte, G.(Eds.) Fleet Management And Logistics*, pp. 33-56.

Grangier, P., Gendreau, M., Lehuédé, F., & Rousseau, L. M. (2016). An adaptive large neighborhood search for the two-echelon multiple-trip vehicle routing problem with satellite synchronization. *European Journal of Operational Research*, 254(1), 80-91.

Gurel, Ali, Yasemin Kayar. (2016): "Gelir Yönetiminin Hizmet Sektöründeki Yeri." *Aydın Üniversitesi*, 44, 1-18.

- Gutiérrez-Jarpa, G., Desaulniers, G., Laporte, G., & Marianov, V. (2010). A branch-and-price algorithm for the vehicle routing problem with deliveries, selective pickups and time windows. *European Journal of Operational Research*, 206(2), 341-349.
- Hemmelmayr, V. C., Doerner, K. F., & Hartl, R. F. (2009). A variable neighborhood search heuristic for periodic routing problems. *European Journal of Operational Research*, 195(3), 791-802.
- Huang, Y., Ge, Y., Zhang, X., & Xu, Y. (2013). Overbooking for parallel flights with transference. *International Journal of Production Economics*, 144(2), 582-589.
- Iassinovskaia, G., Limbourg, S., & Riane, F. (2017). The inventory-routing problem of returnable transport items with time windows and simultaneous pickup and delivery in closed-loop supply chains. *International Journal of Production Economics*, 183, 570-582.
- Kachitvichyanukul, V., Sombuntham, P., & Kunnapapdeelert, S. (2015). Two solution representations for solving multi-depot vehicle routing problem with multiple pickup and delivery requests via PSO. *Computers & Industrial Engineering*, 89, 125-136.
- Kalayci, C. B., & Kaya, C. (2016). An ant colony system empowered variable neighborhood search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. *Expert Systems with Applications*, 66, 163-175.
- Karagül, K., ve Güngör, İ. (2014b). A case study of heterogeneous fleet vehicle routing problem: Touristic distribution application in Alanya. *An International Journal of Optimization and Control*, 4(2), 67.
- Karaoglan, I., Altıparmak, F., Kara, I., & Dengiz, B. (2012). The location-routing problem with simultaneous pickup and delivery: Formulations and a heuristic approach. *Omega*, 40(4), 465-477.
- Kassem, S., Mingyuan C. (2013). "Solving reverse logistics vehicle routing problems with time windows", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 68,1-4.
- Kimes, S. E. (1989). The basics of yield management. *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly*, 30(3), 14-19.

Klein, R., Koch, S., Steinhardt, C., & Strauss, A. K. (2020). A review of revenue management: recent generalizations and advances in industry applications. *European Journal of Operational Research*, 284(2), 397-412.

Koç, Ç., & Karaoğlu, G. (2012). Çok Kullanımlı Ve Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi İçin Bir Matematiksel Model. *Journal Of The Faculty Of Engineering & Architecture Of Gazi University*, 27(3).

Komijan, A. R., & Delavari, D. (2017). Vehicle routing and scheduling problem for a multi-period, multi-perishable product system with time window: A case study. *International Journal of Production Management and Engineering*, 5(2), 45-53.

Kurt, M., & Semetay, C. (2001). Genetik algoritma ve uygulama alanları. *Mühendis ve Makina*, 42(501), 19-24.

Küçükdeniz, T., & Esnaf, Ş. (2016). Heuristic optimization-based clustering solution for large facility location problems. In *Intelligent Techniques for Data Analysis in Diverse Settings* (pp. 171-191). IGI Global.

Laporte, G. (1992). The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European journal of operational research*, 59(3), 345-358

Levin, Y., McGill, J., & Nediak, M. (2008). Risk in revenue management and dynamic pricing. *Operations Research*, 56(2), 326-343.

Li, J. (2013). Model and simulation for collaborative VRPSPD. *Journal of Networks*, 8(2), 331.

Lin, C. K. Y. (2011). A vehicle routing problem with pickup and delivery time windows, and coordination of transportable resources. *Computers & Operations Research*, 38(11), 1596-1609.

Liu, R., Xie, X., Augusto, V., & Rodriguez, C. (2013). Heuristic algorithms for a vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup and time windows in home health care. *European Journal of Operational Research*, 230(3), 475-486.

- López-Sánchez, A. D., Hernández-Díaz, A. G., Vigo, D., Caballero, R., ve Molina, J. (2014). A multi-start algorithm for a balanced real-world Open Vehicle Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, 238(1), 104-113.
- Maglaras, C., & Meissner, J. (2006). Dynamic pricing strategies for multiproduct revenue management problems. *Manufacturing & Service Operations Management*, 8(2), 136-148.
- Mahmoudi, M., & Zhou, X. (2016). Finding optimal solutions for vehicle routing problem with pickup and delivery services with time windows: A dynamic programming approach based on state-space-time network representations. *Transportation Research Part B: Methodological*, 89, 19-42.
- McGill, J. I., & Van Ryzin, G. J. (1999). Revenue management: Research overview and prospects. *Transportation science*, 33(2), 233-256.
- Min, J.; Jin, C. (2016). “Greedy strategy based heuristic for Vehicle Routing Problems with unpaired pickup and delivery”, *Advances in Transportation Studies* 3.
- Orkin, E.B., (1988). Boosting your bottom line with yield management. *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly* 28 (4), 52–56.
- Osman, H., I., Kelly, J., P., (1997). Meta-Heuristics Theory and Applications, *Journal of the Operational Research Society*, 48:6, 657-657.
- Özdemir, M. (2013). “Zaman Kısıtı Altında Takım Oryantiring Problemlerinin Yapay Arı Kolonisi Yaklaşımı İle Çözümü” , Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi.
- Özoğlu, B.; Küçükdeniz, T.; Esnaf Ş. (2019). “Three Dimensional Geographical Clustering & Optimization Hybrid Model for Facility Location-Allocation Problem”, *Proceedings of 10th International Symposium on Intelligent Manufacturing and Service Systems*, 289-298.
- Pacheco, J., Alvarez, A., García, I., & Angel-Bello, F. (2012). Optimizing vehicle routes in a bakery company allowing flexibility in delivery dates. *Journal of the Operational Research Society*, 63(5), 569-581.
- Pak, K., & Piersma, N. (2002). Overview of OR techniques for airline revenue management. *Statistica Neerlandica*, 56(4), 479-495.

- Park, Y., & Chae, J. (2014). A review of the solution approaches used in recent G-VRP (Green Vehicle Routing Problem). *International Journal of Advanced Logistics*, 3(1-2), 27-37.
- Režnar, T., Martinovič, J., Slaninová, K., Grakova, E., & Vondrák, V. (2017). Probabilistic time-dependent vehicle routing problem. *Central European Journal of Operations Research*, 25(3), 545-560.
- Rizzoli, A. E., Montemanni, R., Lucibello, E., & Gambardella, L. M. (2007). Ant colony optimization for real-world vehicle routing problems. *Swarm Intelligence*, 1(2), 135-151.
- Sahoo, S., Kim, S., Kim, B. I., Kraas, B., & Popov Jr, A. (2005). Routing optimization for waste management. *Interfaces*, 35(1), 24-36.
- Schneider, M. (2016). The vehicle-routing problem with time windows and driver-specific times. *European Journal of Operational Research*, 250(1), 101-119.
- Schneider, M., Schwahn, F., & Vigo, D. (2017). Designing granular solution methods for routing problems with time windows. *European Journal of Operational Research*, 263(2), 493-509.
- Sen, T., Yazgan, H., & Ercan, S. (2015). Kapasite kısıtlı araç rotalama probleminin çözümü için yeni bir algoritma geliştirilmesi: bir süpermarket zincirinde uygulanması. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(1), 83-88.
- Smith, G. E., & Nagle, T. T. (1994). Financial analysis for profit-driven pricing. *MIT Sloan Management Review*, 35(3), 71.
- Sombuntham, P., & Kachitvichyanukul, V. (2010, October). Multi-depot Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery Requests. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1285, No. 1, pp. 71-85). American Institute of Physics.
- Souza, G. C. (2014). "Supply chain analytics". In: *Business Horizons* 57.5, pp. 595–605.
- Stehling, T. M., & de Souza, S. R. (2017, October). A Comparison of Crossover Operators Applied to the Vehicle Routing Problem with Time Window. In *2017 Brazilian Conference on Intelligent Systems (BRACIS)* (pp. 300-305). IEEE.

- Strauss, A. K., Klein, R., & Steinhardt, C. (2018). A review of choice-based revenue management: Theory and methods. *European Journal of Operational Research*, 271(2), 375-387.
- Taha, A., Hachimi, M., & Moudden, A. (2017, April). A discrete Bat Algorithm for the vehicle routing problem with time windows. In *2017 International Colloquium on Logistics and Supply Chain Management (LOGISTIQUA)* (pp. 65-70). IEEE.
- Van Ryzin, G. J., & Talluri, K. T. (2005). An introduction to revenue management. In *Emerging Theory, Methods, and Applications* (pp. 142-194). Informs.
- Vob, S., Martello, S., Osman, I. H. and Roucairol C. (1999). *Meta-Heuristics: Advances and Trends in Local Search Paradigms for Optimization*, Kluwer Academic Publisher.
- Wang, Y., Ma, X., Xu, M., Wang, Y., & Liu, Y. (2015). Vehicle routing problem based on a fuzzy customer clustering approach for logistics network optimization. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 29(4), 1427-1442.
- Wen, M., Larsen, J., Clausen, J., Cordeau, J. F., & Laporte, G. (2009). Vehicle routing with cross-docking. *Journal of the Operational Research Society*, 60(12), 1708-1718.
- Weyland, D., Salani, M., Montemanni, R., & Gambardella, L. M. (2013). Vehicle routing for exhausted oil collection. *Journal of Traffic and Logistics Engineering*, 1(1), 5-8.
- Wu, D. Q., Dong, M., Li, H. Y., & Li, F. (2016). Vehicle routing problem with time windows using multi-objective co-evolutionary approach. *International Journal of Simulation Modelling*, 15(4), 742-753.
- Yang, Y., Jin, W., & Hao, X. (2008, October). Car rental logistics problem: A review of literature. In *2008 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics* (Vol. 2, pp. 2815-2819). IEEE.
- Yanik, S., Bozkaya, B., & deKervenoael, R. (2014). A new VRPPD model and a hybrid heuristic solution approach for e-tailing. *European Journal of Operational Research*, 236(3), 879-890.

- Ying-xin, C. H. E. N. (2012). Study on VRP based on improved ant colony optimization [J]. *Application Research of Computers*, 6.
- Yousef, D. A. (2007). The Status of Yield Management in Service Organizations in the United Arab Emirates: Results of a Survey. *Journal of Business and public affairs*, 1(2), 1-9.
- Zachariadis, E. E., Tarantilis, C. D., & Kiranoudis, C. T. (2013). Designing vehicle routes for a mix of different request types, under time windows and loading constraints. *European Journal of Operational Research*, 229(2), 303-317.
- Zachariadis, E. E., Tarantilis, C. D., & Kiranoudis, C. T. (2015). The load-dependent vehicle routing problem and its pick-up and delivery extension. *Transportation Research Part B: Methodological*, 71, 158-181.
- Zhang, T., Chaovalitwongse, W. A., & Zhang, Y. (2012). Scatter search for the stochastic travel-time vehicle routing problem with simultaneous pick-ups and deliveries. *Computers & Operations Research*, 39(10), 2277-2290.
- Zhao, M., Childers, B. R., & Soffa, M. L. (2005, March). A model-based framework: an approach for profit-driven optimization. In *International Symposium on Code Generation and Optimization* (pp. 317-327). IEEE.
- Zirour, M. (2008). Vehicle routing problem: models and solutions. *Journal of Quality Measurement and Analysis JQMA*, 4(1), 205-218.
- Zou, L., Yu, C., & Dresner, M. (2013). The application of inventory transshipment modeling to air cargo revenue management. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 57, 27-44.

EKLER

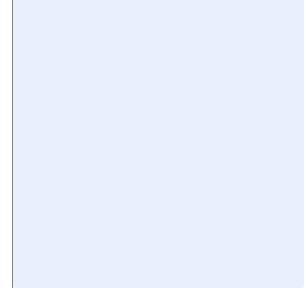
1. Tez konusu ile ilgili yayınlanmış makale:

ÖRNEK A., ESNAF Ş.; “Revenue Management Focused Capacitated Vehicle Routing Model in Supply Chain Management”; Indian Journal of Science and Technology, 2020, 13(08), 941-953. |



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Ali ÖRNEK
Doğum Yeri	Çanakkale
Doğum Tarihi	06.11.1984
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
Telefon	+905334918517
E-Posta Adresi	ali.ornek@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Fen Bilimleri
Bölümü	Endüstri Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	01.06.2009

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Endüstri Mühendisliği Programı

Makale ve Bildiriler	
[YILMAZ M., BÖREKÇİ D.Y., ÖRNEK A.; ‘Influence of Organizational Culture on Service Provider Selection’; <i>İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi</i> , 2017.	
ÖRNEK A., ESNAF Ş.; “Revenue Management Focused Capacitated Vehicle Routing Model in Supply Chain Management”; <i>Indian Journal of Science and Technology</i> , 2020, 13(08), 941-953.	