

**MÜŞTERİLER ARASI MALZEME AKIŞLI EŞ ZAMANLI DAĞITIM-
TOPLAMA YAPILAN ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ VE
SEZGİSEL ÇÖZÜMÜ**

Orhan GERDAN

**DOKTORA TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KASIM 2007
ANKARA**

Orhan GERDAN tarafından hazırlanan MÜŞTERİLER ARASI MALZEME AKIŞLI EŞ ZAMANLI DAĞITIM-TOPLAMA YAPILAN ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ VE SEZGİSEL ÇÖZÜM adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof.Dr. Cevriye GENCER
Tez Danışmanı, Endüstri Müh. Anabilim Dalı

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

Prof.Dr. Orhan TÜRKBEY
Endüstri Müh. Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Prof.Dr. Cevriye GENCER
Endüstri Müh. Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Prof.Dr. Hadi GÖKÇEN
Endüstri Müh. Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Prof.Dr. Ümit YÜCEER
Endüstri Müh. Anabilim Dalı, Çankaya Üniversitesi
Doç.Dr. Burak BİRGÖREN
Endüstri Müh. Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

Tarih: 30/11/2007

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

Prof. Dr. Nermin ERTAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Orhan GERDAN

**MÜŞTERİLER ARASI MALZEME AKIŞLI
EŞ ZAMANLI DAĞITIM-TOPLAMA YAPILAN
ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ VE SEZGİSEL ÇÖZÜMÜ
(Doktora Tezi)**

Orhan GERDAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KASIM 2007**

ÖZET

Eş zamanlı dağıtım ve toplama yapılan araç rotalama problemleri ile toplama ve dağıtım problemlerinin bileşimi olan, müşteriler arası malzeme akışlı eş zamanlı dağıtım-toplama araç rotalama problemi, malzemenin depodan talep eden müşterilere taşınması, buradan aynı zamanda depoya ve diğer müşterilere gidecek malzemelerin de alınarak, toplam katedilen yolu en küçük yaparak depoya dönen araç/araçların rotaların bulunması olarak tanımlanabilir.

Bu tezde, yeni bir problem olan müşteriler arası malzeme akışlı eş zamanlı dağıtım-toplama araç rotalama probleminin tanımı yapılarak, çözümüne yönelik sezgisel bir algoritma önerilmiştir. Önerilen algoritma MATLAB kullanılarak kodlanmış ve tarafımızdan türetilen 60 adet test örneği, Dethloff tarafından geliştirilen dört farklı müşteri ekleme kriteri ile çözülmüştür.

Bilim Kodu : 906.1.148

Anahtar Kelimeler : Araç rotalama, eş zamanlı dağıtım ve toplama, toplama ve dağıtım problemleri

Sayfa Adedi : 142

Tez Yöneticisi : Prof.Dr. Cevriye GENCER

**THE VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH
SIMULTANEOUS DELIVERY AND PICK-UP WITH MATERIAL FLOWS
AMONG CUSTOMERS AND HEURISTIC SOLUTION
(Ph.D Thesis)**

Orhan GERDAN

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
NOVEMBER 2007**

ABSTRACT

The vehicle routing problems with simultaneous delivery and pick-up and material flows among customers is the combination of the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up and the pickup and delivery problems. In these problems, customers are able to send materials to each other. In daily life, we are confronted with this problem. For example, a hypermarket has to transport not only the materials initially available at its depot to its agencies as well as those from the agencies to the depot, but also extra materials available at their agencies to each other because of demand fluctuations.

In this thesis, the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up and material flows among customers has been defined, a new heuristic algorithm has been suggested to solve this type of problems, an MATLAB codes of the proposed algorithm have been developed, and finally 60 author-generated test instances have been solved using four different insertion criterion in the literature.

Science Code : 906.1.148

**Key Words : Vehicle routing, simultaneous delivery and pick-up, pickup
and delivery problems**

Page Number: 142

Adviser : Prof. Cevriye GENCER

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Prof.Dr. Cevriye GENCER'e, Tez İzleme Komitesi toplantılarındaki katkı ve destekleri için Prof.Dr. Orhan TÜRKBEY ve Doç.Dr. Burak BİRGÖREN'e, MATLAB kodu yazımında bana destek olan Doç.Dr. Y.Müh.Bnb.Ö.Haluk TEKBAŞ ve J.Mu.Yzb.Mahmut ACAR'a ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan eşim ve kızıma teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ	4
2.1. Problemin Özellikleri	4
2.1.1. Müşteriler	4
2.1.2. Araçlar	4
2.1.3. Amaç fonksiyonu.....	5
2.2. Türleri	5
2.2.1. Kapasite kısıtlı araç rotalama problemleri.....	6
2.2.2. Geri toplamalı araç rotalama problemleri.....	6
2.2.3. Zaman pencereli araç rotalama problemleri	7
2.2.4. Dağıtım ve toplama yapılan araç rotalama problemleri	8
2.2.5. Eş zamanlı dağıtım ve toplama yapılan araç rotalama problemleri	9
2.3. Çözümde Kullanılan Yaklaşımlar	20
3. TOPLAMA VE DAĞITIM PROBLEMLERİ	22
3.1. M-M Problemleri	22

	Sayfa
3.2. 1-M-1 Problemleri	24
3.3. 1-1 Problemleri	24
4. MÜŞTERİLER ARASI MALZEME AKIŞLI EŞ ZAMANLI DAĞITIM- TOPLAMA PROBLEMİ (M-M VRP_SDP)	27
4.1. Problemin Yapısı	27
4.2. Önerilen problemin doğrusal programlama modeli	30
4.3. Önerilen Problemin Uygulama Alanları	33
4.4. Önerilen Problem İçin Geliştirilen Algoritma	33
4.4.1. Grupların oluşturulması	40
4.4.2. Hizmet önceliklerinin belirlenmesi	42
4.5. Test Problemlerinin Türetilmesi	51
4.5.1. Müşteriler arası malzeme akış miktarının tespiti	52
4.5.2. Örnek boyutunun tespiti	56
4.6. Önerilen algoritmanın performansı	69
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	75
6. KAYNAKLAR	78
EKLER	83
EK-1 Müşteri ekleme kriteri olarak ψ_{RCRS} kullanılarak elde edilecek çözümün MATLAB kodu	84
EK-2. MATLAB uygulama kılavuzu	100
EK-3. Türetilen test problemi 112	101
EK-4. Türetilen test problemi 113	102
EK-5. Türetilen test problemi 114	103
EK-6. Türetilen test problemi 115	104
EK-7. Türetilen test problemi 212	105
EK-8. Müşteri ekleme kriteri olarak ψ_{RCRS} kullanılarak test problemlerinin çözümü	106

Sayfa

EK-9. Müşteri ekleme kriteri olarak ψ_{RC} kullanılarak test problemlerinin çözümü.....	116
EK-10. Müşteri ekleme kriteri olarak ψ_{RS} kullanılarak test problemlerinin çözümü.....	125
EK-11. Müşteri ekleme kriteri olarak ψ_{TD} kullanılarak test problemlerinin çözümü.....	134
7. ÖZGEÇMİŞ.....	142

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Yeni problemin özelliklerinin karşılaştırılması.....	27
Çizelge 4.2. λ ve γ katsayılarının 0.1 artırımı sonucu elde edilecek değerleri.....	36
Çizelge 4.3. Hizmet öncelikleri	42
Çizelge 4.4. Örnek 4.2 için hizmet öncelikleri	44
Çizelge 4.5. Yeni müşteri eklenmesi sonucu elde edilecek alt turlar.	46
Çizelge 4.6. Müşteriler arası mesafe matrisi.	47
Çizelge 4.7. Alt turlar ve uzunlukları.....	48
Çizelge 4.8. Şekil 4.11’den istifade edilerek oluşturulacak yeni alt turlar.	48
Çizelge 4.9 Kapasite kısıtlarına göre oluşan yeni alt turlar.	49
Çizelge 4.10 Kapasite ve öncelik kısıtlarını sağlayan yeni alt turlar.....	49
Çizelge 4.11 Alt turların TC ve ψ_{RCRS} değerleri.	50
Çizelge 4.12 TC ve ψ_{RCRS} değerleri.	50
Çizelge 4.13 Alt turlar ve uzunlukları.....	51
Çizelge 4.14. Örnek 4.3’ün çözümü	51
Çizelge 4.15. Müşterilerin (X,Y) koordinatları	52
Çizelge 4.16. P değerlerinin bulunması	53
Çizelge 4.17. Müşteriler arası mesafe matrisi	54
Çizelge 4.18. LINGO ile bulunan çözüm	54
Çizelge 4.19. Depo düğümüne de malzeme gönderilmesi sonucu bulunan çözüm	54
Çizelge 4.20. Elde edilen son mesafe matrisi	55
Çizelge 4.21. P_i değerleri	55

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.22. LINGO kullanılarak elde edilen, döngü içermeyen, çözüm ($k \leq 5$, $l \leq 5$)	59
Çizelge 4.23. 2-3-4-5-6 müşterilerinin bu grup dışındaki diğer müşterilere yapılan atamalarının iptali	60
Çizelge 4.24. 7-8-9-10-11 müşterilerinin bu grup dışındaki diğer müşterilere yapılan atamalarının iptali	61
Çizelge 4.25. 12-13-14-15-16 müşterilerinin bu grup dışındaki diğer müşterilere yapılan atamalarının iptali	62
Çizelge 4.26. 17-18-19-20-21 müşterilerinin bu grup dışındaki diğer müşterilere yapılan atamalarının iptali	63
Çizelge 4.27. $r \leq 5$ olacak şekilde elde edilen yeni atama matrisi	64
Çizelge 4.28. Depo düğümünün eklenmesi sonucu oluşan yeni atama matrisi ...	65
Çizelge 4.29. Min’de kullanılan müşteriler arası mesafe matrisi	66
Çizelge 4.30. Çizelge 4.17 ile Çizelge 4.18’in elemanlarının karşılıklı olarak çarpımı sonucu oluşan matris	67
Çizelge 4.31. P_{ij} değerleri.....	68
Çizelge 4.32. Türetilen test problemlerinin çözüldüğü bilgisayarın özellikleri	69
Çizelge 4.33. Türetilen test problemlerinin dakika olarak çözüm süreleri	70
Çizelge 4.34. Müşteri sayısına bağlı olarak yapılacak işlem sayısı.....	71
Çizelge 4.35. Türetilen test problemlerin sayısal sonuçları	73
Çizelge 4.36. Türetilen test problemlerin sayısal sonuçlarının karşılaştırılması...	74

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Araç rotalama problemlerinin sınıflandırması	5
Şekil 2.2. Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi örneği	6
Şekil 2.3. Geri toplamalı araç rotalama problemi örneği	7
Şekil 2.4. Zaman pencere, geri toplamalı araç rotalama problemi örneği	8
Şekil 2.5. Dağıtım ve toplama yapılan araç rotalama problemi örneği.....	9
Şekil 2.6. Problem verileri	10
Şekil 2.7. Dağıtım ve toplamanın karışık olarak yapılması halinde bulunan çözüm	10
Şekil 2.8. Dağıtım ve toplamanın eş zamanlı olarak yapılması halinde bulunan çözüm	11
Şekil 2.9. Alt tura, müşteri 2'nin depo ile müşteri 1 arasına eklenmesi	15
Şekil 2.10. Alt tura, müşteri 2'nin müşteri 1 ile depo arasına eklenmesi	16
Şekil 3.1. SP örneği	23
Şekil 3.2. SP çözümü	23
Şekil 3.3. DARP örneği	25
Şekil 3.4. DARP çözümü	25
Şekil 4.1. M-M VRP_SDP örneği	28
Şekil 4.2. Kapalı yol (Döngü)	29
Şekil 4.3. Kapalı zincir (Çevrim)	30
Şekil 4.4. Önerilen algoritmanın akış diyagramı	39
Şekil 4.5. Müşteriler arası malzeme akışları	41

Şekil	Sayfa
Şekil 4.6. <i>i-j</i> müşterileri arasına eklenebilecek müşteri kümesi	43
Şekil 4.7. Müşteriler arası malzeme akışları.....	44
Şekil 4.8. Alt turdaki müşterilerin sağına ve soluna eklenmesi yasaklanan müşteriler.....	45
Şekil 4.9. Alt turdaki müşteri çiftleri arasına eklenebilecek müşteri/müşteriler	46
Şekil 4.10. Müşteriler arası malzeme akışı.....	47
Şekil 4.11. 0-3-0 alt turuna öncelik kısıtlarına göre eklenebilecek müşteriler.....	48
Şekil 4.12. 0-3-0 alt turunda müşterilerden ayrılırken aracın yükü	48

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
D_i	Müşteri i 'ye depodan gönderilecek malzeme miktarı
P_j	Müşteri j 'den depoya geri gönderilecek malzeme miktarı
0	Depo düğümü
C	Araç kapasitesi
C_{ij}	i ve j müşterileri arasındaki mesafe
D_j	j müşterisinin depodan talep ettiği malzeme miktarı
n	Müşteri sayısı
P_j	j müşterisinden depoya geri gönderilecek malzeme miktarı
M	Çok büyük pozitif bir sayı
l'_v	v aracının depodan ayrılırken yükü
l_j	Aracın j müşterisine hizmet verdikten sonraki yükü
π_j	Alt tur engellemede kullanılan değişken
X_{ijv}	0-1 tamsayılı değişken
$RD(i)$	i müşterisinin kalan dağıtım kapasitesi
$RP(i)$	i müşterisinin kalan toplama kapasitesi
λ	Ceza katsayısı
γ	Fayda katsayısı
$C_{\max}$	Mesafe matrisindeki en büyük değer
$C_{\min}$	Mesafe matrisindeki en küçük değer
RDT	Turun toplam mesafe ağırlıklı kalan dağıtım kapasitesi

Simgeler	Açıklama
RPT	Turun toplam mesafe ağırlıklı kalan toplama kapasitesi
$CD(s)$	Depodan s müşterisine gelmenin mesafesi
$CP(s)$	s müşterisinden depoya dönmenin mesafesi
DU	Daha sonra eklemeleri yapılacak müşteriler için, toplam dağıtılacak miktar
PU	Daha sonra eklemeleri yapılacak müşteriler için, toplam toplanacak miktar
J	Depo hariç müşteri kümesi
P_{ij}	i müşterisinden alınarak j müşterisine gönderilecek malzeme miktarı
E_i	i müşterisinden sonra eklenebilecek müşteri kümesi
$H_{i,j}$	i ve j müşterilerininin oluşarı gruplardaki müşteri sayısı
S_q	q müşterisinden malzeme gönderilecek müşteri kümesi
P_q	q müşterisine malzeme gönderilecek müşteri kümesi
I_i^L	i müşterisinin soluna eklenmesi yasaklanmış müşteri kümesi
I_i^R	i müşterisinin sağına eklenmesi yasaklanmış müşteri kümesi
PR_i^R	i müşterisi ve ondan önceki müşterilerin sağ tarafına eklenemeyecek müşteri kümesi
SC_j^L	j müşterisi ve ondan sonraki müşterilerin sol tarafına eklenemeyecek müşteri kümesi
A_{ij}	i - j müşterileri arasına eklenebilecek müşteri kümesi
T	Alt tur
$I(q)$	q müşterisini terk ederken aracın yükü
s	Alt turda, sondan bir önceki müşteri
V_s	Alt turda, s müşterisinden malzeme alacak müşteri kümesi

Simgeler**Açıklama** Q_i VRP’de, depodan i nci müşteriye gönderilecek malzeme miktarı m i müşterisinden malzeme gönderilecek müşteri sayısı**Kısaltmalar****Açıklama****VRP**

Araç rotalama problemleri

DCVRP

Kapasite ve mesafe kısıtlı araç rotalama problemleri

VRPB

Toplama da yapılan araç rotalama problemleri

VRP_DP

Dağıtım ve toplamanın yapıldığı araç rotalama problemleri

VRPTW

Zaman kısıtlı araç rotalama problemleri

VRP_SDP

Dağıtım ve toplamanın eş zamanlı yapıldığı araç rotalama problemleri

PDPs

Toplama ve dağıtım problemleri

M-M

Bazılarından bazılarına (Many-to many)

1-M-1

Birinden bazılarına ve oralardan birine

M-M VRP_SDP

Müşteriler arası malzeme akışlı eş zamanlı dağıtım ve toplama problemleri

DARP

Dial-a-ride problemleri

TSP

Gezgin satıcı problemleri

1. GİRİŞ

Üretilen malların dağıtımı, lojistiğin ana bölümlerinden biridir. Dağıtımın mümkün olan en düşük maliyetle yapılması, taşıma maliyetlerini azaltarak firmanın rekabet gücünü artıracaktır. 1959 yılından itibaren, değişik araç rotalama problem tipleri ve bunların çözümleri üzerine araştırmalar yapılmıştır.

Klasik araç rotalama problemleri, depodan başlayarak, araç kapasite kısıtını aşmayacak şekilde, müşterilerin depo/depolardan taleplerini karşılayarak, tekrar başladığı depoya geri dönen araçların katettikleri toplam yolun en küçük yapılması ile ilgili problemlerdir.

Araç rotalama problemlerinin matematiksel modeli ve çözüm yaklaşımı ilk olarak 1959 yılında Dantzing ve Ramser tarafından ortaya atılmıştır. Klasik araç rotalama probleminde amaç, depodan başlayarak müşterilerin taleplerini karşılayıp tekrar depoya geri dönmek ve toplam katedilen mesafeyi en küçükmektir. 1964 yılında Clarke ve Wright tarafından bu alanda ilk sezgisel yaklaşım geliştirilmiştir. Kazanç algoritması olarak bilinen bu algoritmanın ilk aşamasında, her bir müşteriye bir araç gidip gelecek şekilde başlangıç çözümü oluşturulmuştur [1, 2]. İkinci aşamasında ise müşterilerin eklenmesi sonucu elde edilecek kazançlar hesaplanarak turlar geliştirilmiştir.

Müşterilerin bazılarının depoya malzeme gönderme durumunu ifade eden geri toplama da yapılan araç rotalama problemleri hakkındaki çalışmalardan bazıları 1994 yılında Anily ve Mosheiov, 1997 yılında Toth ve Vigo, 1999 yılında Mingozzi ve diğerleri tarafından yapılanlardır [3,4,5].

Dağıtım ve toplamanın yapıldığı araç rotalama problemi, önce dağıtımın daha sonra toplamanın yapıldığı (Delivery-first pickup-second), dağıtım ve toplamanın karışık olarak yapıldığı (Mixed pickups and deliveries), dağıtım ve toplamanın eş zamanlı olarak yapıldığı (Simultaneous pickups and deliveries) modeller olarak ayrılarak her bir model için çözüm yaklaşımları geliştirilmiştir.

1984 yılında Deif ve Bodin, 1987 yılında Yano ve diğerleri, 1989 yılında Goetschalckx ve Jacobs, 1992 yılında Min ve diğerleri, 1996 yılında Thangiah ve diğerleri, 1996 yılında Anily, 1996 yılında Toth ve Vigo, 1999 yılında Gendreau ve diğerleri, 1999 yılında Toth ve Vigo, 2002 yılında Osman ve Wassan tarafından yapılan çalışmalar önce dağıtım, sonra toplama yapılan modelleri ve çözüm tekniklerini içermektedir [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15].

Dağıtım ve toplamanın karışık olarak yapıldığı modeller ve çözüm teknikleri, 1985 yılında Golden ve diğerleri, 1988 yılında Casco ve diğerleri, 1994 yılında Moshiov, 1999 yılında Salhi ve Nagy tarafından çalışılmıştır [16, 17, 18, 19].

Dağıtımın eş zamanlı olarak yapıldığı modeller ise ilk defa Min tarafından, 1989 yılında ortaya atılmıştır [20]. “Eş zamanlı” kavramı, aracın herhangi bir müşteriye geldiğinde, depodan gelen malzemeyi bırakması ve aynı zamanda bu müşteriden depoya gidecek malzemeyi alması olarak tanımlanmıştır. Bu şekilde müşteriye, sadece bir defa gidildiğinden müşteri bu işlemlerle sadece bir defa meşgul edilmektedir. Min çalışmasında, Columbus halk kütüphanesi için, eş zamanlı dağıtım yapılması durumunda, 10500 pound kapasiteye sahip iki araç ile 22 yerden toplanacak ve dağıtılacak kütüphane malzemeleri için, araç rotasını belirlemiştir. Çözümün ilk safhasında, araç kapasiteleri aşılmayacak şekilde müşterileri gruplandırmış; ikinci safhasında, araçları müşterilere atamış ve son safhada ise, güzergahları oluşturmuştur. 2 araç ile 22 müşteriye eş zamanlı hizmet verdikten sonra, katedeceği toplam mesafeyi 94 mil olarak bulmuştur.

2001 yılında Dethloff, Casco ve diğerleri tarafından önerilen alt tur genişleme kriterini eş zamanlı problem yapısına uyarlayarak, eş zamanlı dağıtım ve toplama yapılan araç rotalama problemleri için yeni bir sezgisel algoritma geliştirmiştir [21, 17]. Geliştirdiği sezgisel algoritma ile, Min tarafından bulunan araçların katedecekleri yol uzunluğunu 3 mil azaltarak 91 mile düşürmüştür [20].

Eş zamanlı dağıtım ve toplama yapılan araç rotalama problemlerinde, 2002 yılında Angelelli ve Mansini tarafından yapılan çalışmada zaman penceresi, yani müşteriye hizmetin belirli zaman aralıklarında yapılması kısıtı dikkate alınarak araç/araçların rotası bulunmuştur [22]. Aynı yıl, Tang ve Galvao tarafından yapılan çalışmada, tabu arama algoritması kullanılarak araç/araçların rotası bulunmuştur [23].

Bu tezde, eş zamanlı dağıtım ve toplama problemleri ile toplama ve dağıtım problemlerinin birleşiminden oluşan yeni bir problem tanımlanmış ve bu problem için bir sezgisel algoritma önerilmiştir. Yeni problem, tek depolu, homojen araçlı, müşteriler arasında malzeme akışı olan, eş zamanlı dağıtım ve toplama yapılan, araç rotalama problemi olarak tanımlanabilir.

Tezin ikinci bölümde, araç rotalama problemleri hakkında genel bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde, toplama ve dağıtım problemleri tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde, yeni problem için sezgisel bir algoritma önerilmiş ve test problemleri türetilerek çözülmüştür. Beşinci bölümde ise, elde edilen sonuç ve daha sonraki çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

Tezdeki tüm ifade ve yorumlar bireysel görüşümü yansıtmakta, mensubu olduğum Türk Silahlı Kuvvetlerinin görüşlerini yansıtmamaktadır.

2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ

Bu bölümde, araç rotalama problemlerinin özellikleri, çeşitleri ve bu problemlerin çözümlerinde kullanılan teknikler hakkında bilgi verilmektedir.

2.1. Problemin Özellikleri

Araç rotalama problemleri; müşteriler, depo/depolar, araçlar ve müşteriler arası mesafeleri gösteren şebekeden oluşur. Bu şebekede düğümler, malzeme gönderilecek ve/veya toplanacak müşteriler ile depo/depoları; oklar veya çizgiler ise, müşteriler arasındaki mesafeleri göstermektedir.

Problemin özellikleri Toth ve Vigo tarafından detaylı olarak belirtilmiş ve sınıflandırması Şekil 2.1'deki gibi verilmiştir [24].

2.1.1. Müşteriler

Şebekede düğümlerde yer alırlar. Talep, müşteriye dağıtılacak veya müşteriden toplanacak değişik tipte malzemeden oluşabilir. Müşteriye değişik kısıtlardan dolayı belirli zamanlarda ve önceliklere göre hizmet verilebilir.

2.1.2. Araçlar

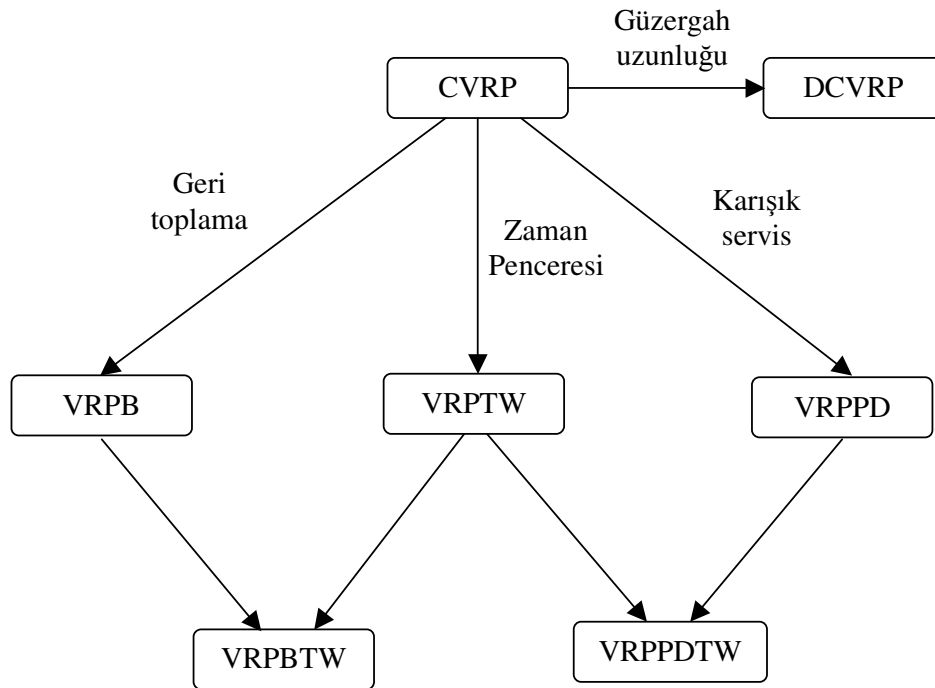
Araçlar, genel olarak ana depoda bulunurlar. Araçlara en fazla kapasiteleri kadar malzeme yüklenebilir. Araç kasaları, taşıma kapasitelerine göre bölümlere ayrılabilir. Araçlara yükleme ve boşaltma işlemi makineler (forklift vb.) tarafından yapılabilir. Malzeme indirme ve bindirme süreleri araç tiplerine göre değişiklik gösterebilir. Birim taşıma maliyetleri aracın kullanımına göre değişir. (Birim zaman başına, birim mesafe başına, ok/çizgi başına vb.)

2.1.3. Amaç fonksiyonu

Amaç fonksiyonuna göre farklı çözümler elde edilebilir. Örneğin, toplam taşıma maliyetinin ya da araç sayısının en küçükleme yapılabilir, yollarda taşıma yapılacak süre ve araç yükleri dengelenebilir veya amaç fonksiyonu bunların bileşiminden de oluşabilir.

2.2. Türleri

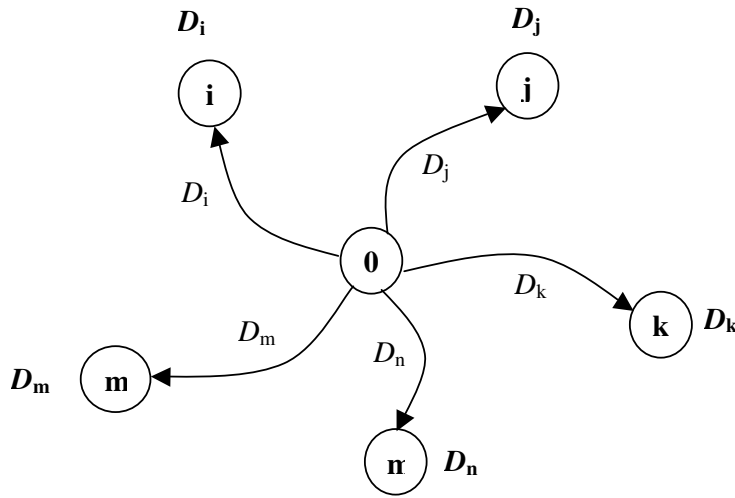
Araç rotalama problemleri (VRP), kapasite ve mesafe kısıtlı araç rotalama problemleri (Capacited and distance-constrained vehicle routing problem, DCVRP), toplama da yapılan araç rotalama problemleri (Vehicle routing problem with backhauls, VRPB), dağıtım ve toplamının yapıldığı araç rotalama problemleri (Vehicle routing problem with Pickup and delivery, VRPDP) ve bunlara zaman penceresi kısıtının eklenmesi sonucu oluşan, zaman kısıtlı araç rotalama problemleri (Vehicle routing problem with time windows, VRPTW) olacak şekilde ana gruplara ayrılabilir. Araç rotalama problemlerinin şematik gösterimi Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Araç rotalama problemlerinin sınıflandırması.

2.2.1. Kapasite kısıtlı araç rotalama problemleri

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

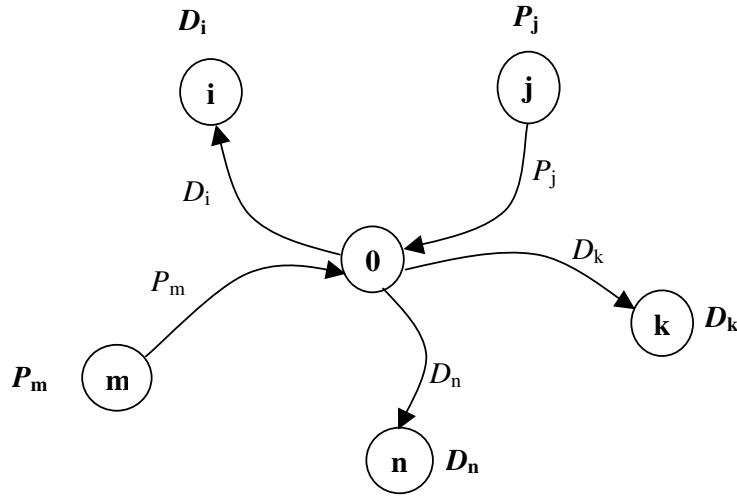


Şekil 2.2. Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi örneği.

Şekil 2.2’de D_i , müşteri i ’ye depodan gönderilecek malzeme miktarını göstermektedir.

2.2.2. Geri toplamalı araç rotalama problemleri (VRPB)

Araçlar depo/depolardan başlayarak müşterilere uğrarlar ve tekrar depo/depolara döner. Her müşteriye sadece bir araç uğrar. Aracın rotasındaki dağıtılacak ve toplanacak müşteri talepleri toplamı araç kapasitesinden fazla olamaz. Müşterilerin bazılarında depoya geri gönderilecek malzeme mevcuttur. Bazı müşterilere ise, sadece depodan malzeme gelmektedir. Dolayısıyla önce dağıtım daha sonra toplama işlemi yapılır. Şekil 2.3’te bu durum gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Geri toplamalı araç rotalama problemi örneği.

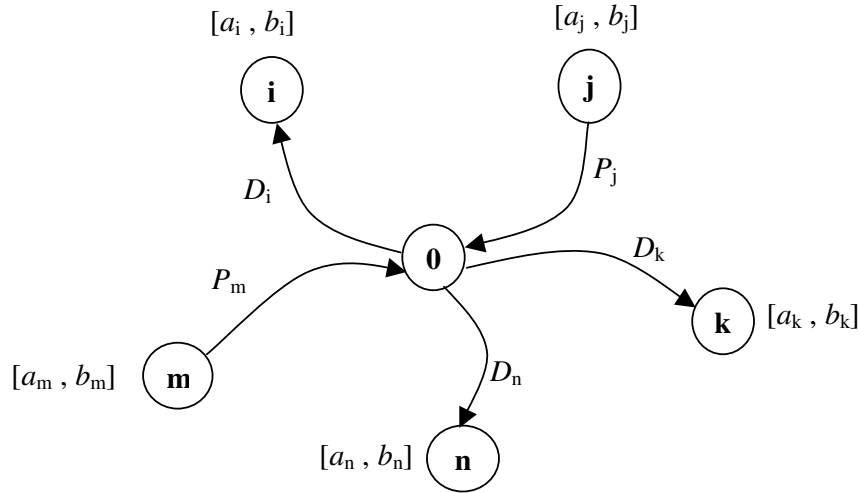
Şekil 2.3'te D_n , depodan müşteri n 'ye gönderilecek malzeme miktarını; P_j , müşteri j 'den depoya geri gönderilecek malzeme miktarını, "0" depoyu ifade etmektedir.

2.2.3. Zaman pencereci araç rotalama problemleri (VRPTW)

Araçlar depo/depolardan başlayarak müşterilere uğrarlar ve tekrar depo/depolara döner. Her müşteriye sadece bir araç uğrar. Aracın rotasındaki müşteri talepleri toplamı, araç kapasitesinden fazla olamaz. i 'nci müşteri için hizmetin $[a_i, b_i]$ zaman aralıklarında yapılması istenmektedir.

Uygun çözüm, araç kapasitelerini aşmadan ve müşterilerin uygun olduğu zaman aralıklarında tüm araç rotalama problemlerine uyarlanabilir.

Şekil 2.4'de, zaman pencereci, geri toplamalı araç rotalama problemi örneği verilmiştir.



Şekil 2.4. Zaman pencere, geri toplamalı araç rotalama problemi örneği.

2.2.4. Dağıtım ve toplama yapılan araç rotalama problemleri (VRP_DP)

Araçlar depo/depolardan başlayarak müşterilere uğrarlar ve tekrar depo/depolara döner. Her müşteriye sadece bir araç uğrar. Aracın rotasındaki dağıtılacak ve toplanacak müşteri talepleri toplamı araç kapasitesinden fazla olamaz. Her müşteride dağıtım ve toplama işlemi yapılır.

Bu problemler, önce dağıtımın daha sonra toplamanın (Delivery-first pickup-second) yapıldığı; dağıtım ve toplamanın karışık olarak (Mixed pickups and deliveries) yapıldığı; dağıtımın eş zamanlı olarak (Simultaneous pickups and deliveries) yapıldığı problemler olarak sınıflandırılabilir.

Önce dağıtım daha sonra toplamanın yapıldığı problemlerde, adından da anlaşılacağı gibi, depodan müşterilere dağıtılacak malzemelerin tamamı dağıtıldıktan sonra müşterilerden depoya geri getirilecek malzemelerin toplanma işlemi yapılır. Müşterilere birden fazla kez uğranır.

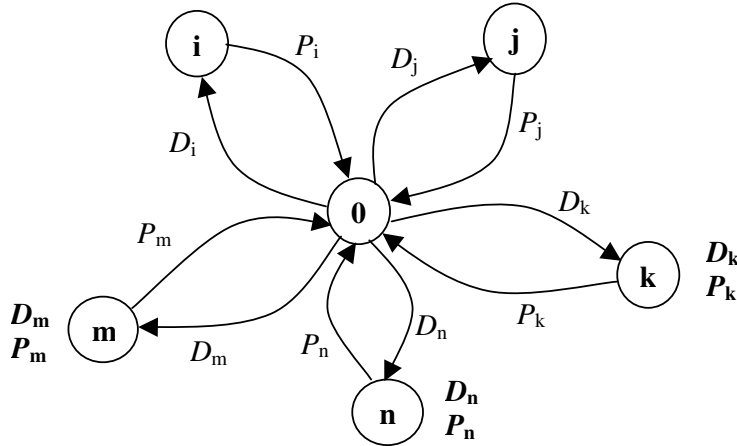
Dağıtım ve toplamanın karışık olarak yapıldığı problemlerde, araç kapasiteleri dikkate alınarak dağıtım ve toplama işlemi karışık olarak yapılır. Bu problemde de müşterilere birden fazla kez uğranabilir.

Eş zamanlı dağıtım ve toplama problemlerinde, araç kapasiteleri dikkate alınarak, depodan müşteriye gönderilen malzeme bırakılmakta, aynı anda müşteriden depoya geri gönderilecek malzeme alınmaktadır. Bu problemde, müşterilere sadece bir defa uğranır. Şekil 2.5’de, dağıtım ve toplama yapılan araç rotalama problemi örneği verilmiştir.

Dağıtım ve toplama yapılan araç rotalama problemlerinde;

D_i : depodan i müşterisine gönderilecek malzeme miktarını,

P_i : i müşterisinden alınarak depoya geri gönderilecek malzeme miktarını ifade etmektedir.

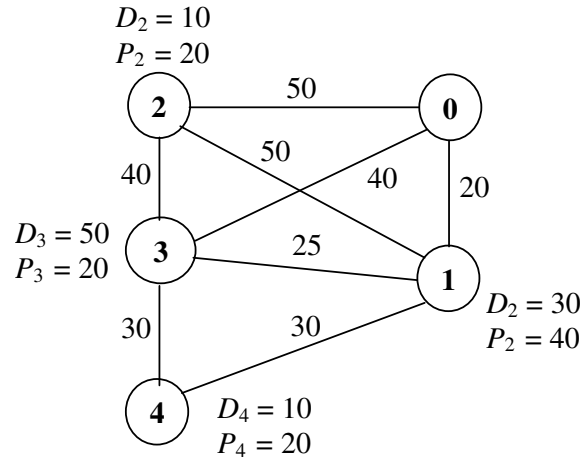


Şekil 2.5. Dağıtım ve toplama yapılan araç rotalama problemi örneği.

2.2.5 Eş zamanlı dağıtım ve toplama yapılan araç rotalama problemleri (VRP_SDP)

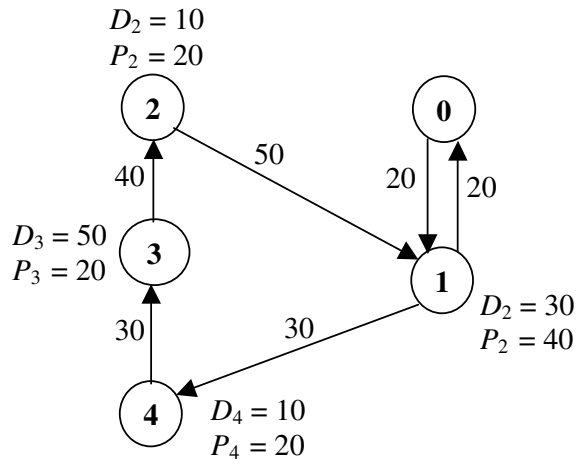
İlk olarak Min tarafından ortaya atılan bu problemlerde amaç, dağıtım ve toplama işleminin birlikte yapılarak müşteriye sadece bir defa uğranması, dolayısıyla müşterilerin bu işlemler için birden fazla sayıda meşgul edilmemesidir [20].

Şekil 2.6’da, dört müşteri ve bir depodan oluşan bir örnek problem verilmiştir. Çizgiler üzerindeki sayılar müşteriler arasındaki mesafeyi göstermektedir.

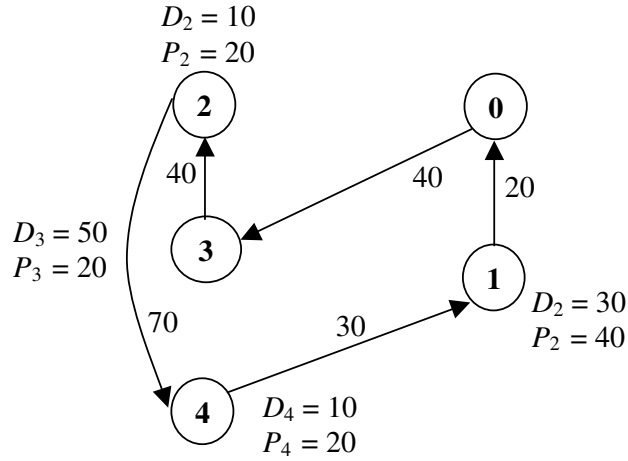


Şekil 2.6. Problem verileri.

Şekil 2.6’daki problemin dağıtım ve toplamaların karışık olarak yapıldığı durumdaki çözümü Şekil 2.7’de, eş zamanlı olarak yapıldığı durumdaki çözümü ise, Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.7. Dağıtım ve toplamaların karışık olarak yapılması halinde bulunan çözüm.



Şekil 2.8. Dağıtım ve toplamanın eş zamanlı olarak yapılması halinde bulunan çözüm.

Her iki duruma göre elde edilen çözümler incelendiğinde, Şekil 2.7’de verilen karışık dağıtım ve toplama sonucu elde edilen tur uzunluğunun ($z=190$), Şekil 2.8’de verilen eş zamanlı dağıtım ve toplama yapılması sonucu elde edilen tur uzunluğundan ($z=200$) daha küçük olduğu görülür. Ancak ilk çözümde, birinci müşteriye iki defa uğranmakta, diğerinde ise tüm müşterilere sadece bir defa uğranmaktadır. Her iki problemde de amaç katedilen toplam mesafenin en küçüklenmesi olmasına rağmen, eş zamanlıda müşterilere sadece bir defa uğrama kısıtı olduğundan tur uzunluğu daha büyük çıkabilmektedir.

Dethloff tarafından, VRP_SDP’nin doğrusal programlama modeli aşağıdaki şekilde belirtilmiştir [21].

VRP_SDP’nin matematiksel modeli

Modelde yer alan parametre ve karar değişkenleri aşağıdaki gibidir.

Parametreler;

C : Araç kapasitesi,

C_{ij} : i ve j müşterileri arasındaki mesafe,

D_j : j müşterisinin depodan talep ettiği malzeme miktarı,
 n : Müşteri sayısı,
 P_j : j müşterisinden depoya geri gönderilecek malzeme miktarı,
 M : Çok büyük pozitif bir sayıdır.

Karar değişkenleri:

l'_v : v aracının depodan ayrılırken yükü,
 l_j : Aracın j müşterisine hizmet verdikten sonraki yükü,
 π_j : Alt tur engellemede kullanılan değişken,
 X_{ijv} : 0-1 tamsayılı değişken.

$$X_{ijv} = \begin{cases} 1, & i \text{ müşterisinden } j \text{ müşterisine } v \text{ aracı ile gidilirse,} \\ 0, & \text{gidilmezse.} \end{cases}$$

Amaç fonksiyonu;

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^p C_{ij} X_{ijv} \quad (2.1)$$

Kısıtlar,

$$\sum_{i=1}^m \sum_{v=1}^p X_{ijv} = 1 \quad (2.2)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{isv} = \sum_{j=1}^n X_{sjv} \quad (2.3)$$

$$l'_v = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n D_j X_{ijv} \quad (2.4)$$

$$l_j \geq l'_v - D_j + P_j - M(1 - X_{0jv}) \quad (2.5)$$

$$l_j \geq l_i - D_j + P_j - M(1 - \sum_{v \in V} X_{ijv}) \quad (2.6)$$

$$l'_v \leq C \quad (2.7)$$

$$l_j \leq C \quad (2.8)$$

$$\pi_j \geq \pi_i + 1 - n(1 - \sum_{v=1}^p X_{ijv}) \quad (2.9)$$

$$\pi_j \geq 0$$

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

Eş. 2.1'deki amaç fonksiyonu, araçlar tarafından katedilen toplam mesafeyi en küçükleme.

Eş. 2.2'deki kısıt, herbir müşteriye sadece bir defa uğranılmasını, Eş. 2.3'deki kısıt, herbir müşteriye aynı araçla gelinip yine aynı araçla bu müşterinin terk edilmesini sağlamaktadır. Eş. 2.4'deki kısıt, araçların depodan ayrılırken yüklerini, Eş. 2.5'deki kısıt, ilk uğradığı müşteriden sonraki yüklerini, Eş. 2.6'deki kısıt, rota üzerindeki yüklerini ifade etmektedir. Eş. 2.7 ve Eş. 2.8'deki kısıtlar sırasıyla ilk müşteriden sonraki ve rota üzerinde araç yükünün, araç kapasitesinden küçük olmasını sağlamakta, Eş. 2.9'daki kısıt alt tur oluşmasını engellemektedir.

Dethloff Algoritması

VRP_SDP için, Dethloff tarafından geliştirilen algoritmanın adımları aşağıdadır [21].

ADIM 1: Bir araç seç.

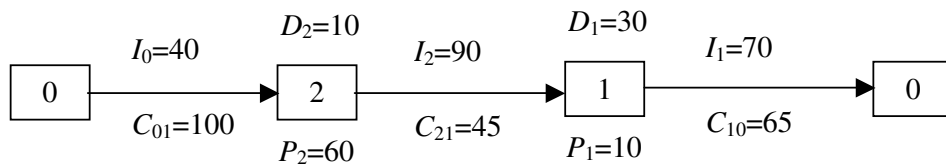
ADIM 2: Depodan müşteriye, müşteriden depoya alt turları oluşturun. Bu alt turlardan hangisine hangi müşterinin ekleneceğini aşağıda açıklanan işlemleri kullanarak yap. Bu araca eklenebilecek müşteri kalmıyınca kadar devam et. Alt tura eklenebilecek müşteri var ama bu araca eklenemiyorsa aracın rotasını yaz ve ADIM 1'e git. Alt tura eklenebilecek müşteri kalmamışsa ADIM 3'e git.

ADIM 3: Son aracın rotasını yaz ve DUR.

ADIM 2'de yapılacak işlemler

$D_1=30$, $P_1=10$, $D_2=10$, $P_2=60$, $D_3=50$, $P_3=30$, araç kapasitesinin $C=100$ olduğunu varsayalım.

0-2-1-0 alt turunun uygun bir alt tur olduğu kabul edilirse; depodan ayrılırken sadece birinci ve ikinci müşterilerin talebi olan toplam 40 birim malzeme araca yüklenecektir. Araç ikinci müşteriye geldiğinde, bu müşterinin talebi olan 10 birim malzemeyi bırakarak, buradan depoya gönderilecek olan 60 birim malzemeyi alacaktır. Buradan birinci müşteriye geldiğinde, talebi olan 30 birim malzemeyi bu müşteriye bırakarak, buradan depoya gönderilecek olan 10 birim malzemeyi alacaktır. Müşterilerden ayrılırken araçta bulunan yük miktarları ile düğümler arası mesafeler Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9. Alt tura, müşteri 2'nin depo ile müşteri 1 arasına eklenmesi.

I_j , j müşterisinden ayrılırken araçta bulunan yük miktarını ifade etmektedir.

Müşteri 3'ün hangi müşteriler arasına ekleneceğinin bulunabilmesi için, müşterilerin kalan dağıtım kapasitesi, RD ile kalan toplama kapasitesi, RP değerlerinin hesaplanması gerekir.

Kalan Dağıtım Kapasitesi (Residual Delivery, $RD(i)$); i müşterisinden sonra eklenen müşteriye depodan gönderilebilecek malzeme miktarıdır. Alt turdaki ilk müşteriden itibaren son müşteriye doğru hesaplanır.

$$RD(0) = C - \sum_{s \in T} D_s$$

$$RD(q) = \min\{RD(\text{Önceki}(q)), C - I_q\}$$

Kalan Toplama Kapasitesi (Residual Pick-up, $RP(i)$); i müşterisinden sonra eklenecek müşteriden toplanabilecek en fazla malzeme miktarıdır. Alt turdaki sondan önceki müşteriden itibaren ilk müşteriye doğru hesaplanır.

$$RP(\text{önceki}(0)) = C - \sum_{s \in T} P_s$$

$$RP(q) = \min\{RP(\text{sonraki}(q)), C - I_q\}$$

Yukarıdaki formüller kullanılarak bulunan Şekil 2.9'daki müşterilerin RD ve RP değerleri;

$$RD(0) = C - \sum_{s \in T} D_s = 100 - (10 + 30) = 60$$

$$RD(2) = \min\{RD(0), C - I_2\} = \min\{60, 100 - 90\} = 10$$

$$RD(1) = \min\{RD(2), C - I_1\} = \min\{10, 100 - 70\} = 10$$

$$RP(1) = C - \sum_{s \in T} P_s = 100 - (10 + 60) = 30$$

$$RP(2) = \min\{RP(1), C - I_2\} = \min\{30, 100 - 90\} = 10$$

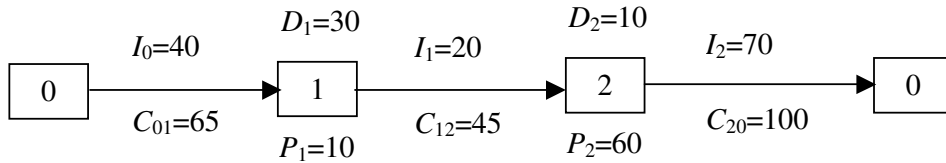
$$RP(0) = \min\{RP(2), C - I_0\} = \min\{10, 100 - 40\} = 10 \text{ 'dur}$$

k ncı müşterinin alt tura i nci müşteriden sonra eklenebilmesi için,

$$D_k \leq RD(i) \text{ ve } P_k \leq RP(i) \text{ olmalıdır.}$$

$D_3=50$, $P_3=30$ olduğundan müşteri 3 bu alt turda hiçbir müşteri arasına eklenemez.

0-1-2-0 alt turunun uygun bir alt tur olduğunu kabul edersek; depodan ayrılırken sadece birinci ve ikinci müşterilerin talebi olan toplam 40 birim malzeme araca yüklenecektir. Araç birinci müşteriye geldiğinde, bu müşterinin talebi olan 30 birim malzemeyi bırakarak, buradan depoya gönderilecek olan 10 birim malzemeyi alacaktır. Buradan ikinci müşteriye geldiğinde, 310 birim malzemeyi bu müşteriye bırakarak, buradan depoya gönderilecek olan 60 birim malzemeyi alacaktır. müşterilerden ayrılırken araçta bulunan yük miktarları ile müşteriler arası mesafeler Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10. Alt tura, müşteri 2'nin müşteri 1 ile depo arasına eklenmesi.

Şekil 2.10'daki müşterilerin RD ve RP değerleri;

$$RD(0) = C - \sum_{s \in T} D_s = 100 - (10 + 30) = 60$$

$$RD(1) = \min\{RD(0), C - I_1\} = \min\{60, 100 - 20\} = 60$$

$$RD(2) = \min\{RD(1), C - I_2\} = \min\{60, 100 - 70\} = 30$$

$$RP(2) = C - \sum_{s \in T} P_s = 100 - (10 + 60) = 30$$

$$RP(1) = \min\{RP(2), C - I_1\} = \min\{30, 100 - 20\} = 30$$

$$RP(0) = \min\{RP(1), C - I_0\} = \min\{30, 100 - 40\} = 30 \text{ 'dur}$$

Müşteri 3 bu alt turda tüm müşteriler arasına eklenebilir. Oluşabilecek yeni turlar aşağıdaki gibi olacaktır.

0-**3**-1-2-0

0-1-**3**-2-0

0-1-2-**3**-0

Bu örnekte görüleceği üzere alternatiflerden biri olan 0-2-1-0 alt turuna yeni müşteri ilavesi mümkün değildir.

Dethloff çalışmasında, alt tura yeni müşteri seçimini Eş. 2.10-Eş. 2.13'ü kullanarak yapmıştır [21].

$$\Psi_{RCRS} = \Psi_{TD} + \lambda TC(2C_{\max} - C_{\min}) - \gamma(C_{0k} + C_{k0}) \quad (2.10)$$

$$\Psi_{RC} = \Psi_{TD} + \lambda TC(2C_{\max} - C_{\min}) \quad (2.11)$$

$$\Psi_{RS} = \Psi_{TD} - \gamma(C_{0k} + C_{k0}) \quad (2.12)$$

$$\Psi_{TD} = (C_{ik} + C_{kj} - C_{ij}) \quad (2.13)$$

Eş. 2.10'da verilen yeni müşteri ekleme kriteri Ψ_{RCRS} 'de; yeni müşterinin tura dahil edilmesi sonucu turda meydana gelen en küçük artış, mesafeye dönüştürülmüş araç kapasitesi kullanım oranı ve düğümün depoya uzaklığı, Eş. 2.11'de verilen yeni müşteri ekleme kriteri Ψ_{RC} 'de; yeni müşterinin tura dahil edilmesi sonucu turda meydana gelen en küçük artış ve mesafeye dönüştürülmüş araç kapasitesi kullanım

oranı, Eş. 2.12’de verilen yeni müşteri ekleme kriteri Ψ_{RS} ’de; yeni müşterinin tura dahil edilmesi sonucu turda meydana gelen en küçük artış ve düğümün depoya uzaklığı, Eş. 2.13’de verilen yeni müşteri ekleme kriteri Ψ_{TD} ’de; sadece yeni müşterinin tura dahil edilmesi sonucu turda meydana gelen en küçük artış dikkate alınır.

Eş. 2.10- Eş. 2.12’te kullanılan λ ve γ değerleri, 0 ve 1 arasında değer almaktadır.

Eş. 2.10 ve Eş. 2.11’deki, $C_{\max}$ ve $C_{\min}$ sırasıyla mesafe matrisindeki en büyük ve en küçük değerlerdir. Ekleme kriterlerinde bulunan talep ağırlıklı araç kapasitesi kullanım oranı, TC değerlerini bulmak için, RDT ve RPT değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bunların açıklamaları ve hesapları aşağıda gösterilmiştir.

RDT : Turun toplam mesafe ağırlıklı kalan dağıtım kapasitesi,

RPT : Turun toplam mesafe ağırlıklı kalan toplama kapasitesi,

$CD(s)$: Depodan s müşterisine gelmenin mesafesi(uzunluğu),

$CP(s)$: s müşterisinden depoya dönmenin mesafesi,

DU : Daha sonra eklemeleri yapılacak müşteriler için, toplam dağıtılacak miktar,

PU : Daha sonra eklemeleri yapılacak müşteriler için, toplam toplanacak miktar,

J : Depo hariç müşteri kümesi,

λ : [0 1] arasında değer alan ceza katsayısı,

γ : [0 1] arasında değer alan fayda katsayısıdır.

$$RDT = \left[\sum_{s \in TU \setminus \{0\}} RD(s) CD(SONRAKI(s)) \right] / \left[\sum_{s \in TU \setminus \{0\}} CD(SONRAKI(s)) \right]$$

$$RPT = \left[\sum_{s \in TU \setminus \{0\}} RP(s) CP(s) \right] / \left[\sum_{s \in TU \setminus \{0\}} CP(s) \right]$$

$$TC = \left[DU / \sum_{s \in J} D_s \right] (1 - RDT / C) + \left[PU / \sum_{s \in J} P_s \right] (1 - RPT / C)$$

0-2-1-0 alt turu için;

$$RDT = \frac{[60(100) + 10(100 + 45) + 10(100 + 45 + 65)]}{455} = 20,99$$

$$RPT = \frac{[30(65) + 10(65 + 45) + 10(65 + 45 + 100)]}{385} = 13,38$$

$$TC = \frac{50}{90} \left(1 - \frac{20,99}{100} \right) + \frac{30}{100} \left(1 - \frac{13,38}{100} \right) = 0,70$$

0-1-2-0 alt turu için;

$$RDT = \frac{[60(65) + 60(65 + 45) + 30(65 + 45 + 100)]}{385} = 43,64$$

$$RPT = \frac{[30(100) + 30(100 + 45) + 30(100 + 45 + 65)]}{455} = 30,00$$

$$TC = \frac{50}{90} \left(1 - \frac{43,64}{100} \right) + \frac{30}{100} \left(1 - \frac{30}{100} \right) = 0,52$$

2.3. Çözümde Kullanılan Yaklaşımlar

Araç rotalama problemlerinde müşteri sayısı arttıkça optimal çözümünün aranması uzun zaman almakta ya da bulunamamaktadır. Problemin karmaşıklığının analizi Hassin ve Rubinstein tarafından yapılmıştır [25]. Bu nedenle kısa sürede optimal çözüme yakın sonuçlar veren sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir.

Belirli sayıda müşteri olan problemlerde optimal çözümü bulmak için, 1980 yılında Carpeneto ve Toth, 1989 yılında Fischetti ve Toth, 1994 yılında Fischetti ve diğerleri, 1995 yılında Gelinas ve diğerleri tarafından dal ve sınır algoritması, 1997 yılında Ruland ve Rodin, 1991 yılında Padberg ve Rinaldi, 2004 yılında Hernández-Pérez ve Salazar-González tarafından dal ve kesme algoritması, 1981 yılında Cullen ve diğerleri, 1989 yılında Agrawal ve diğerleri tarafından küme kaplama tabanlı yöntemler kullanılmıştır [26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34].

Değişik tipteki araç rotalama problemleri için, 1986 yılında Jaw ve diğerleri, 1992 yılında Derigs ve Metz, 1998 yılında Mosheiov, 1999 yılında Toth ve Vigo, 1999 yılında Gendreau ve diğerleri, 2003 yılında Currie ve Salhi, 2004 yılında Hernandez-Perez ve Salazar-Gonzalez, 2006 yılında Ropke ve Pisinger, 2006 yılında Bent ve Hentenryck tarafından sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir [35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43].

Çözüm tekniği olarak kullanılan metahuristiklerden tavlama benzetimi; 1991 yılında Alfa ve diğerleri, 1993 yılında Osman, 1995 yılında Breedam tarafından, tabu arama; 1997 yılında Duhamel ve diğerleri, 2001 yılında Landrieu ve diğerleri, 2003 yılında Caricato ve diğerleri, 2003 yılında Cordeau ve diğerleri, 2004 yılında Currie ve Salhi, 2006 yılında Montané ve Galvão tarafından, genetik algoritmalar; 1994 yılında Bean, 1996 yılında Potvin ve diğerleri, 2005 yılında Pankratz tarafından, karınca kolonisi algoritması; 1999 yılında Bullnheimer ve diğerleri, 2001 yılında Doerner ve diğerleri tarafından, sinir ağları; 2003 yılında Ghaziri ve Osman tarafından çalışılmıştır [44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58].

Tavlama Benzetimi, Tabu Arama, Genetik Algoritmalar, Karınca Kolonisi Algoritması gibi metahuristikler de kullanılmıştır. Sezgisel algoritmalar üzerine detaylı inceleme Laporte ve diğerleri tarafından yapılmıştır [59].

3. TOPLAMA VE DAĞITIM PROBLEMLERİ

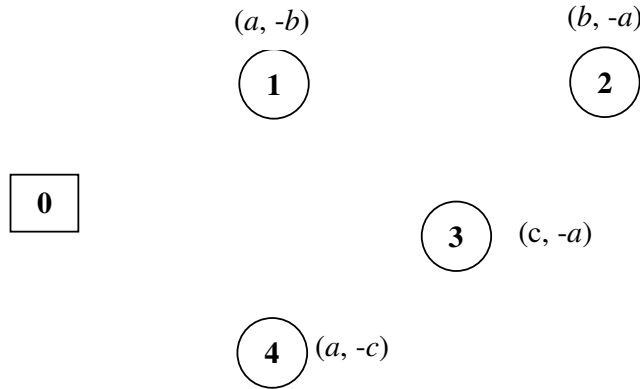
Toplama ve dağıtım problemleri, tüm toplama ve dağıtım taleplerinin karşılandığı, araç kapasitelerinin aşılmadığı, katedilen toplam mesafenin en küçüklendiği, başlangıç ve bitiş düğümünün depo olduğu m adet turun bulunmasını içerir.

2006 yılında Berbeglia ve diğerleri, VRP’de önemli bir yere sahip olan toplama ve dağıtım problemleri (PDPs) hakkında detaylı bir çalışma sunmuşlardır [60].

Bu çalışmada, PDPs’nin sınıflandırması [Yapı | Ziyaret tipi | Araç sayısı] olarak üç ana bölümde yapılmıştır. Birinci bölümde yer alan yapı, malzemelerin kaynak ve hedef sayılarını göstermektedir. Pek çoğundan pek çoğuna olarak nitelendirilen problemlerde (Many-to-many problems, M-M), herhangi bir müşteri, herhangi bir malzemenin kaynak veya hedef noktası olabilir. Depodan müşterilere, müşterilerden depoya problemlerinde (One-to-many-to-one, 1-M-1), malzemeler başlangıçta depodadırlar ve buradan talep olan müşterilere taşınırlar. İlave olarak, müşterilerde bulunan malzemeler depoya gönderilirler. Son olarak birinden diğerine problemlerinde (One-to-one, 1-1), her bir malzemenin tek kaynak ve hedef noktası vardır. İkinci bölümde yer alan ziyaret tipi, müşteriye gidildiğinde yapılacak işlemin şekli hakkında bilgi vermektedir. Yazarlar burada üç farklı PD, P-D ve P/D’yi kullanmışlardır. PD, her bir müşteriye sadece bir defa uğranıldığı toplama ve dağıtımın birlikte yapıldığı işlemi, P-D, bu iki işlemin birlikte veya ayrı ayrı yapıldığını; P/D ise, her bir müşteride toplama ve dağıtım işleminin ikisinden sadece birinin olduğu işlemleri ifade etmektedir. Üçüncü bölümde yer alan araç sayısı ise, çözümde kullanılan araç sayısını göstermektedir.

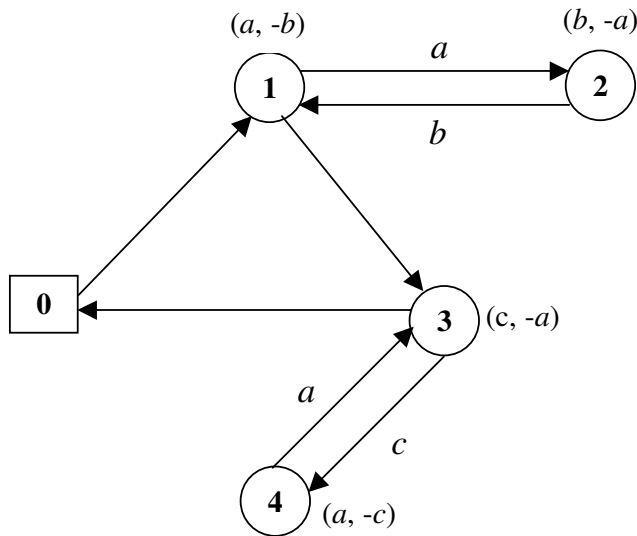
3.1. M-M Problemleri

1992 yılında Anily, S. and Hassin, R. tarafından ortaya atılan değiş tokuş problemleri (The swapping problem, SP) bu probleme bir örnektir [61].



Şekil 3.1. SP örneği.

Şekil 3.1’de görüleceği üzere, dört müşteri arasında değiş tokuş yapılacak üç tip malzeme bulunmaktadır. Amaç, depodan başlayarak, araç kapasitesinin aşılmadığı, üç malzemenin müşteriler arasında değiş tokuşunun yapılarak, en kısa yolu katetmek suretiyle tekrar depoya dönülmesini sağlayan turun bulunmasıdır. Bu problemin çözümü Şekil 3.2’de verilmiştir. Müşteriler üzerinde pozitif işaretli olarak gösterilen malzemeler, o müşteride o malzemenin bulunduğunu, negatif işaretli olarak gösterilen malzemeler ise, o müşterinin o malzemeye ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. Örneğin, üçüncü müşteride c tipi malzeme bulunmakta ve a tipi malzemeye ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 3.2. SP çözümü.

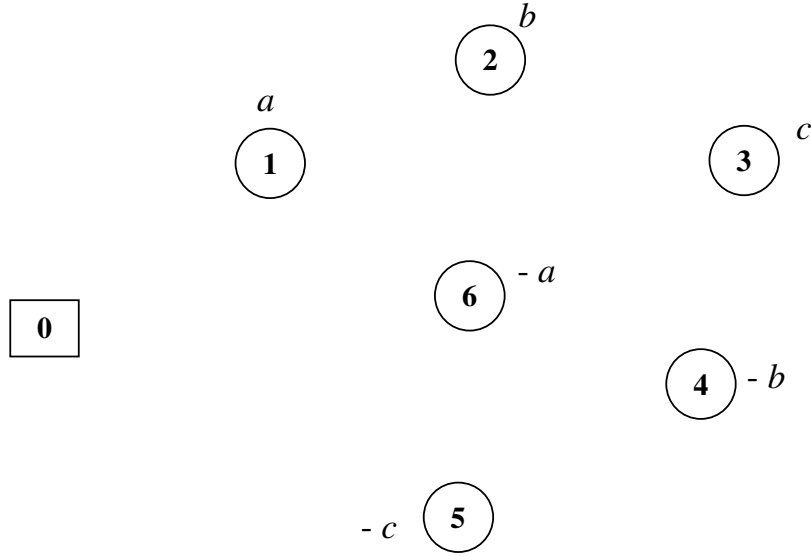
Şekil 3.2’te, araç park halinde olduğu depo olan 0’dan başlayarak önce 1 nolu düğüme uğrayarak a malzemesini almıştır. Buradan 2 nci düğüme geçerek 1 nci müşteriden aldığı a malzemesini bu müşteriye bırakmış ve buradan b malzemesini alarak tekrar 1 nci müşteriye dönmüştür. Bu müşteriye ihtiyacı olan b malzemesini bırakarak 3 ncü müşteriye geçmiştir. 3 ncü müşteriden c malzemesini alarak ihtiyaç olan dördüncü müşteriye bırakmış ve buradan a malzemesini alarak ihtiyaç olan 3 ncü müşteriye bırakarak depoya dönmüştür. Müşteriler arasında malzeme değiş tokuşu, bu rota ile sağlanmış ve araç başladığı yer olan depoya dönmüştür. Bu tur sonucu 1 ve 3 ncü müşterilere iki defa uğranmıştır. Şekil 3.2’den de görüleceği gibi, bu problemde, depodan müşterilere ve müşterilerden depoya malzeme gönderimi söz konusu değildir.

3.2. 1-M-1 Problemleri

Depodan malzemenin alınarak müşterilere dağıtılması ya da müşterilerden toplanması ya da ikisinin birarada yapılmasını içeren problemlerdir. VRP_SPD, bu sınıfta, çok araçlı Hamilton turlu toplama ve dağıtımın birlikte yapıldığı, her müşteriye sadece bir defa uğranılan toplama ve dağıtım problemleri olarak tanımlanmıştır. (The Multi-Vehicle Hamiltonian 1-M-1-PDP with Combined Demands [1-M-1 | PD | m]) [60].

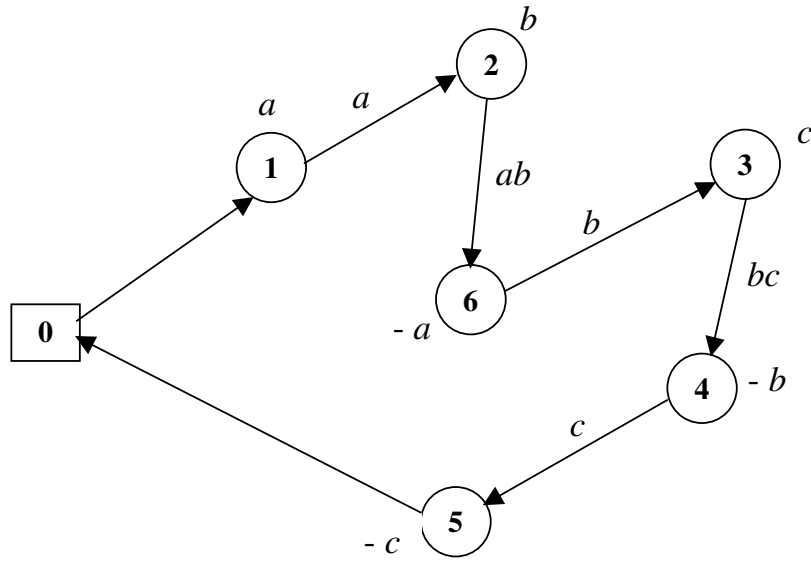
3.3. 1-1 Problemleri

Birinden diğerine problemlerinde herbir malzeme sadece bir düğümde bulunmakta ve yalnızca bir düğüme taşınmaktadır. Eğer taşınacak olan malzeme insan ise, servis problemi (Dial-a-ride, DARP) olmaktadır.



Şekil 3.3. DARP örneği.

Şekil 3.3 incelendiğinde, 1 nci düğümde bulunan a şahsı 6 ncı düğüme, 2 nci düğümde bulunan b şahsı 4 ncü düğüme, 3 ncü düğümde bulunan c şahsı ise 5 nci düğüme gitmek istemektedir. Problemin çözümü Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.4. DARP çözümü.

Araç depodan 1 nci düğüme giderek a şahsını, buradan 2 nci düğüme geçerek b şahsını almaktadır. Daha sonra uğradığı 6 ncı düğümden a şahsını bırakarak 3 ncü düğüme geçip c şahsını alarak 4 ncü düğüme gitmektedir. Bu düğümden b şahsını bırakıp 5 nci düğüme uğrayarak c şahsını bıraktıktan sonra tekrar depoya dönmektedir. Şekil 3.4'te görüleceği üzere depodan araçlar boş çıkıp boş olarak dönüş yapmaktadır.

Toplama ve dağıtım problemleri üzerinde, 1991 yılında Dumas ve diğerleri, 1998 yılında Baugh ve diğerleri, 2004 yılında Attanasio ve diğerleri, 2006 yılında Coslovich ve diğerleri tarafından çalışmalar yapılmıştır [62, 63, 64, 65].

4. MÜŞTERİLER ARASI MALZEME AKIŞLI EŞ ZAMANLI DAĞITIM-TOPLAMA PROBLEMİ (M-M VRP_SDP)

Bu bölümde, eş zamanlı dağıtım ve toplama yapılan araç rotalama problemlerine, müşteriler arası malzeme akışı durumu eklenerek yeni bir araç rotalama problemi (M-M VRP_SDP) tanımlanmış ve bu problemin çözümü için sezgisel algoritma önerilmiştir.

Yeni problem M-M VRP_SDP, eş zamanlı dağıtım ve toplama problemi ile bazılarında bazılarına toplama ve dağıtım problemlerinin bileşimi sonucu oluşmaktadır. Bilindiği gibi 1-1 toplama ve dağıtım problemleri, M-M toplama ve dağıtım problemlerinin özel halidir. Bu nedenle Çizelge 4.1’de problem tiplerinin karşılaştırması yapılırken 1-1 toplama ve dağıtım problemi de ilave edilmiştir.

Çizelge 4.1. Yeni problemin özelliklerinin karşılaştırılması.

Özellik	Problem Tipi			
	VRP_SDP	M-M	1-1	M-M VRP_SDP
Kapasite kısıtı	√	√	√	√
Öncelik kısıtı		√	√	√
Depodan müşteriye malzeme taşıma	√			√
Müşteriden depoya malzeme taşıma	√			√
Müşteriler arası malzeme akışı		√	√	√
Toplama ve dağıtımın eş zamanlı yapılması	√			√

4.1. Problemin Yapısı

Uygulamada, bir hipermarketin, ana deposundan şubelerin istediği malzemeleri dağıtıp şubelerin depoya gönderecekleri malzemeleri, araç hizmet vermek için şubeye geldiğinde, aynı anda toplayarak her bir müşteriye sadece bir defa uğraması ve depoya en kısa yolu katederek dönmesi, VRP_SDP’ye örnek olarak verilebilir. Bu probleme, herhangi bir şube/şubelerinde talep yetersizliği nedeniyle satılamayan ancak diğer bir şube/şubelerinde ihtiyaç duyulan malzemenin, ilgili şube/şubelerden alınarak ihtiyaç duyulan şube/şubelere aynı araçların kullanılarak götürülmesi

durumu (1-1 veya M-M PDPs) ilave edilebilir. Bu duruma göre yapılacak araç/araçların rotası, etkin bir stok kontrolü için önemlidir. Zamandan, maliyetten ve özellikle büyük şehirlerin trafik stresinden kaçınılması gereken günümüzde, günlük yaşamda sıkça rastlanan bu tip problemlerin çözülmesi gerektiği düşünülerek, yeni problem M-M VRP_SDP ortaya atılmıştır.

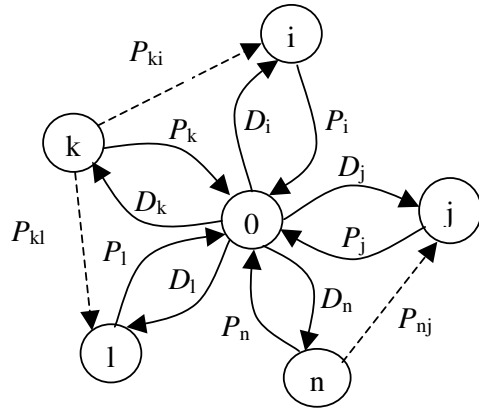
M-M VRP_SDP'de:

D_i : depodan i müşterisine gönderilecek malzeme miktarı,

P_i : müşteri i 'den depoya gönderilecek malzeme miktarı,

P_{ij} : i müşterisinden alınarak j müşterisine gönderilecek malzeme miktarı olarak tanımlanmıştır.

D_i , P_{ij} matrisinin $(1, i)$ elemanıdır.



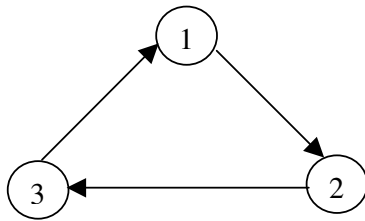
Şekil 4.1. M-M VRP_SDP örneği.

Şekil 4.1'deki sürekli oklar, depodan talep edilen ve depoya geri gönderilecek malzeme akışını, kesik oklar ise; müşteriler arasındaki malzeme akışını göstermektedir.

Problemin karakteristiği ve varsayımları aşağıdadır:

- Sadece bir depo mevcuttur.
- Depoda homojen araç filosu bulunmaktadır. Araçlar depoda park halindedir.
- Dağıtım ve toplama işlemi, eş zamanlı olarak yapılmaktadır.
- Araçların rotalarının başlangıç ve bitiş düğümü depodur.
- Müşterilere sadece tek bir araç tarafından hizmet verilecektir.
- Mesafe matrisi simetrik veya asimetrik olabilir.
- Amaç araçların katettiği toplama mesafeyi en küçüklemektir.
- Müşteriler arasında da malzeme gönderilebilmektedir.
- Döngüye müsaade edilmemektedir. Çünkü olması durumunda; döngü içinde herhangi bir müşteriye gelmeden önce, tüm talebin toplanması söz konusu olmayacaktır.

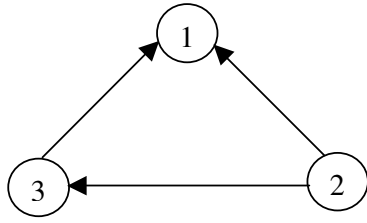
Önerilen algoritmada, varsayımlarda belirtildiği gibi, uygun bir çözümün bulunabilmesi için müşteriler arası malzeme akışının kendi içinde bir döngü oluşturmaması gerekmektedir. Müşteriler arasındaki malzeme akışının Şekil 4.2'deki gibi döngü oluşturmaması durumunda, hangi müşteriye gidilirse gidilsin, o müşteri ve ondan önce uğranılması gereken müşterilerin malzemeleri tam olarak alınamayacaktır. Bu durumda “eş zamanlı” hizmet verilemeyeceğinden problemin uygun bir çözümü olmayacaktır.



Şekil 4.2. Kapalı yol (Döngü).

Müşteriler arasındaki malzeme akışı, Şekil 4.3'deki gibi çevrim oluşturduğu takdirde ise, bu çevrimdeki müşterilerden herhangi birine gidildiğinde, mutlaka aynı aracın diğer müşterilere de uğraması gerekecektir. Çünkü araca grup içi taşınacak malzemeler yüklenecektir. Bu araç dışında başka bir aracın grupta bulunan müşteriye

hizmet vermesi durumunda gurup içi malzeme akışı sağlanamayacaktır. Dolayısıyla bir müşteriye birden fazla araç ile hizmet verilecektir. Bu da varsayımlara uymamaktadır. Aynı grupta yer alan müşterilere kapasite ve öncelik kısıtları nedeniyle aynı araçla hizmet verilememesi durumunda problemin uygun bir çözümü yoktur.



Şekil 4.3. Kapalı zincir (Çevrim)

4.2. Önerilen Problemin Doğrusal Programlama Modeli

Önerilen problemin doğrusal programlama modelinde yer alan parametre ve karar değişkenleri aşağıda tanımlanmıştır.

Parametreler;

C : Araç kapasitesi,

C_{ij} : i ve j müşterileri arasındaki mesafe,

D_j : j müşterisinin depodan talep ettiği malzeme miktarı,

n : Müşteri sayısı,

P_{ij} : i müşterisinden alınarak j müşterisine gönderilecek malzeme miktarı,

E_i : i müşterisinden sonra eklenebilecek müşteri kümesi,

$H_{i,j}$: i ve j müşterilerinden oluşan gruptaki müşteri sayısı,

S_q : q müşterisinden malzeme gönderilecek müşteri kümesi,

P_q : q müşterisine malzeme gönderilecek müşteri kümesi,

M : Çok büyük pozitif bir sayıdır.

Karar değişkenleri:

l'_v : v aracının depodan ayrılırken yükü,

l_j : Aracın j müşterisine hizmet verdikten sonraki yükü,

π_j : Alt tur engellemede kullanılan değişken,

X_{ijv} : 0-1 tamsayıli değişken.

$$X_{ijv} = \begin{cases} 1, & i \text{ müşterisinden } j \text{ müşterisine } v \text{ aracı ile gidilirse,} \\ 0, & \text{gidilmezse.} \end{cases}$$

Amaç fonksiyonu;

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^p C_{ij} X_{ijv}$$

Kısıtlar,

$$\sum_{i=1}^m \sum_{v=1}^p X_{ijv} = 1 \quad j \in E_i \quad (4.1)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^p X_{0jv} = 1 \quad (4.2)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{v=1}^p X_{i0v} = 1 \quad (4.3)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{isv} = \sum_{j=1}^n X_{sjv} \quad s \in E_i, j \in E_s \quad (4.4)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{v=1}^p X_{ijv} = H_{i,j} \quad j \in E_i \quad (4.5)$$

$$l'_v = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n D_j X_{ijv} \quad j \in E_i \quad (4.6)$$

$$l_j \geq l'_v - D_j - \sum_{i \in P_q} P_{iq} + \sum_{j \in S_q} P_{qj} - M(1 - X_{0jv}) \quad (4.7)$$

$$l_j \geq l_i - D_j - \sum_{i \in P_q} P_{iq} + \sum_{j \in S_q} P_{qj} - M(1 - \sum_{v=1}^p X_{ijv}) \quad j \in E_i \quad (4.8)$$

$$l'_v \leq C \quad (4.9)$$

$$l_j \leq C \quad (4.10)$$

$$\pi_j \geq \pi_i + 1 - n(1 - \sum_{v=1}^p X_{ijv}) \quad (4.11)$$

$$\pi_j \geq 0$$

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

Modelde kullanılan Eş. 4.1'deki kısıt, herbir müşteriye sadece bir defa uğranılmasını; Eş. 4.2'deki kısıt, alt turun depodan başlamasını; Eş. 4.3'deki kısıt, alt turun depoda bitmesini; Eş. 4.4'deki kısıt, herbir müşteriye aynı araçla gelinip yine aynı araçla bu müşterinin terk edilmesini; Eş. 4.5'deki kısıt, aynı grupta yer alan müşterilerin aynı alt turda yer almalarını sağlamaktadır. Eş. 4.6'deki kısıt, araçların depodan ayrılırken yüklerini; Eş. 4.7'deki kısıt, ilk uğradığı müşteriden sonraki yüklerini; Eş. 4.8'deki kısıt, rota üzerindeki yüklerini ifade etmektedir. Eş. 4.9 ve Eş. 4.10'deki kısıtlar sırasıyla ilk müşteriden sonraki ve rota üzerinde araç yükünün, araç kapasitesinden küçük olmasını sağlamakta, Eş. 4.11'deki kısıt alt tur oluşmasını engellemektedir.

Eş zamanlı dağıtım ve toplama problemleri ile toplama ve dağıtım problemleri çözümü zor (np-hard) problemler sınıfındadır. Bu iki problemin birleşiminden oluşan yeni problem de aynı sınıfta yer almaktadır. Bu tür problemlerin çözümünde müşteri sayısı arttıkça optimal çözümünün bulunması uzun zaman almakta ya da bulunamamaktadır. Bu nedenle kısa sürede çözüm veren bir sezgisel algoritma tarafımızdan önerilmiştir.

4.3. Önerilen Problemin Uygulama Alanları

Günlük hayatta bu problemle karşılaşabileceğimiz alanlar;

- Bir hipermarketin, ana deposundan şubelerinin ihtiyaç duyduğu mallara onlara götürmesi, bu şubelerden depoya iade edilecek malzemeleri tekrar depoya götürmesi, bunlara ilave olarak talep yetersizliği nedeniyle satılamayan malların şubeler arasında değiş tokuşunun yapılması,
- Kargo şirketinin, ana depodan çıkarak illere malzemeleri dağıtması, buradan illerin birbirlerine ve ana depoya gönderecekleri malzemeleri toplayarak dağıtması,
- Bankaların para çekme makinelerinin doldurulması ve paranın birbirleri arasında aktarılması,
- Ecza depolarının birbirleri arasındaki ilaç alış verişi olarak sıralanabilir.

4.4. Önerilen Problem İçin Geliştirilen Sezgisel Algoritma

Tezin bu bölümünde, M-M VRP_SPD için yeni bir sezgisel algoritma sunulmaktadır.

M-M VRP_SDP'nin çözümü, grupların oluşturulması, hizmet önceliklerinin belirlenmesi ve alt tura eklenecek müşterinin tespiti olmak üzere üç ana aşamadan oluşmaktadır. İlk iki aşamanın çözümü, tarafımızdan geliştirilmiş, son aşamanın çözümü ise, Dethloff'un algoritması probleme uyarlanarak elde edilmiştir (21).

Algoritmanın adımları aşağıda verilmiştir.

ADIM 1: Müşterileri grupta. Gruplama hakkında detaylı bilgi 4.4.1'de verilmiştir.

ADIM 2: İlk aracı al ve ADIM 4'e git.

ADIM 3: Yeni bir araç al.

ADIM 4: Depodan başlayan ve tekrar depoya dönen, gidilebilecek müşterilerin herbiri için bir alt tur oluşturun. Bu alt turlar içinden, tur uzunluğu en küçük olanı seç. (Mesafe matrisi simetrik olduğundan depoya en yakın müşterinin bulunacağı alt tur seçilir.)

ADIM 5: Eklenen yeni müşterinin bulunduğu grubu belirle ve bu grupta başka müşteri varsa, hizmet öncelik ve kapasite kısıtlarını dikkate alarak alt tura ekle. Hizmet önceliklerinin belirlenmesi 4.4.2’de detaylı olarak verilmiştir.

Alt tura yeni müşteri eklemede kullanılan ekleme kriterleri, Dethloff’un ekleme kriterleri yeni probleme uyarlanmıştır.

Alt turdaki tüm müşteriler için, RD ve RP değerlerini hesapla. Kapasite kısıtı dikkate alındığında, depodan alacağı miktarın $RD(i)$ ’den, depoya ve diğer müşterilere göndereceği malzeme toplamının $RP(i)$ ’den küçük olması durumunda eklenecek müşteri i müşterisinden sonra eklenebilir.

0 : Depo,

T : Alt tur,

$I(q)$: q müşterisini terk ederken aracın yükü,

D_s : s müşterisine depodan gönderilecek malzeme miktarı,

S_q : q müşterisinden malzeme gönderilecek müşteri kümesi,

P_q : q müşterisine malzeme göndericek müşteri kümesi,

s : Alt turda, sondan bir önceki müşteri,

V_s : Alt turda, s müşterisinden malzeme alacak müşteri kümesidir.

$$RD(0) = C - \sum_{s \in T} D_s$$

$$RD(q) = \min \{RD(\ddot{O}NCEK\dot{I}(q)), C - I_q\} \quad q \in T$$

$$I(q) = I(\ddot{O}NCEK\dot{I}(q)) - D(q) - \sum_{i \in P_q} P_{iq} + \sum_{j \in S_q} P_{qj}$$

$$RP(\ddot{o}nceki(0)) = C - \sum_{s \in T} P_s$$

$$RP(q) = \min \{RP(\ddot{S}ONRAK\dot{I}(q)), C - I_q\} \quad q \in T \setminus \ddot{O}NCEK\dot{I}\{0\}$$

q müşterisini terk ederken aracın yükü $I(q)$, müşteriler arası taşınacak malzemeleri de alıp ve/veya bırakarak müşteriden ayrılacağından Dethloff'tan farklı olarak, yukarıdaki şekilde yeniden düzenlenmiştir.

Yeni alt turlar oluşturulduktan sonra, aşağıdaki Eş. 4.12, Eş. 4.13, Eş. 4.14 ve Eş. 4.15'deki yeni müşteri ekleme kriterinden birini kullanarak, ekleme kriteri değeri en küçük olanı seç.

$$\Psi_{RCRS} = \Psi_{TD} + \lambda TC(2C_{\max} - C_{\min}) - \gamma(C_{0k} + C_{k0}) \quad (4.12)$$

$$\Psi_{RC} = \Psi_{TD} + \lambda TC(2C_{\max} - C_{\min}) \quad (4.13)$$

$$\Psi_{RS} = \Psi_{TD} - \gamma(C_{0k} + C_{k0}) \quad (4.14)$$

$$\Psi_{TD} = (C_{ik} + C_{kj} - C_{ij}) \quad (4.15)$$

Eş. 4.12'de verilen yeni müşteri ekleme kriteri Ψ_{RCRS} 'de; yeni müşterinin tura dahil edilmesi sonucu turda meydana gelen en küçük artış, mesafeye dönüştürülmüş araç kapasitesi kullanım oranı ve düğümün depoya uzaklığı, Eş. 4.13'de verilen yeni müşteri ekleme kriteri Ψ_{RC} 'de; yeni müşterinin tura dahil edilmesi sonucu turda meydana gelen en küçük artış ve mesafeye dönüştürülmüş araç kapasitesi kullanım oranı, Eş. 4.14'de verilen yeni müşteri ekleme kriteri Ψ_{RS} 'de; yeni müşterinin tura

dahil edilmesi sonucu turda meydana gelen en küçük artış ve düğümün depoya uzaklığı, Eş. 4.15’de verilen yeni müşteri ekleme kriteri Ψ_{TD} ’de; sadece yeni müşterinin tura dahil edilmesi sonucu turda meydana gelen en küçük artış dikkate alınır.

λ ve γ ’nın, değerinin $[0 \ 1]$ arasında kalması şartıyla, belirlenecek artırım miktarı sonucu ortaya çıkacak tüm değerleri için yapılır. Tüm sonuçlar içinden toplam tur uzunluğunu en küçük yapan seçilir.

λ ve γ ’nın 0.1 birim arttığı varsayılırsa, tur uzunluklarını verecek değerler Çizelge 4.2’deki gibi elde edilir.

Çizelge 4.2. λ ve γ katsayılarının 0.1 artırım sonucu elde edilecek değerleri.

		γ							
		0.0	0.1	0.2	.	.	.	0.9	1
λ	0.0								
	0.1								
	0.2								
	.								
	.								
	.								
	0.9								
	1								

MATLAB 6.5 paket programı kullanılarak algoritma kodlanmıştır. Yeni müşteri ekleme kriteri Ψ_{RCRS} için algoritma kodu EK-1’de, MATLAB kullanım kılavuzu EK-2’de verilmiştir.

Ekleme kriterlerinde bulunan talep ağırlıklı araç kapasitesi kullanım oranı, TC değerlerini bulmak için, RDT ve RPT değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bunların açıklamaları aşağıda gösterilmiştir.

RDT : Turun toplam mesafe ağırlıklı kalan dağıtım kapasitesi,

RPT : Turun toplam mesafe ağırlıklı kalan toplama kapasitesi,

$CD(s)$: Depodan s müşterisine gelmenin mesafesi(uzunluğu),

$CP(s)$: s müşterisinden depoya dönmenin mesafesidir.

DU : Daha sonra eklemeleri yapılacak müşteriler için, toplam dağıtılacak miktar,

PU : Daha sonra eklemeleri yapılacak müşteriler için, toplam toplanacak miktar,

J : Depo hariç müşteri kümesi,

E : Tüm müşterilerin oluşturduğu küme (depo dahil),

λ : [0 1] arasında değer alan ceza katsayısı,

γ : [0 1] arasında değer alan fayda katsayısıdır.

$$RDT = \left[\sum_{s \in TU \setminus \{0\}} RD(s) CD(SONRAKI(s)) \right] / \left[\sum_{s \in TU \setminus \{0\}} CD(SONRAKI(s)) \right]$$

$$RPT = \left[\sum_{s \in TU \setminus \{0\}} RP(s) CP(s) \right] / \left[\sum_{s \in TU \setminus \{0\}} CP(s) \right]$$

$$TC = \left[DU / \sum_{s \in J} D_s \right] (1 - RDT / C) + \left[PU / \sum_{s \in J} \sum_{t=1}^f P_{st} \right] (1 - RPT / C)$$

Talep ağırlıklı araç kapasitesi kullanım oranı TC , Dethloff'tan farklı olarak, yukarıdaki şekilde yeniden düzenlenmiştir.

Eğer aynı gruptaki tüm müşteriler alt tura dahil edilmişse, ADIM 6'ya, ilk eklenen müşteri ve onların oluşturduğu grubun tüm elemanları aynı araca eklenemiyorsa ADIM 7'ye, daha sonra eklenen müşteri ve onların oluşturduğu grubun tüm elemanları eklenemiyorsa ADIM 8'e, eklenebilecek müşteri kalmadığında ve problemlili grup boş küme olduğunda ADIM 9'a git.

ADIM 6: Alt tura yeni bir müşteri ekle ve ADIM 5'e git.

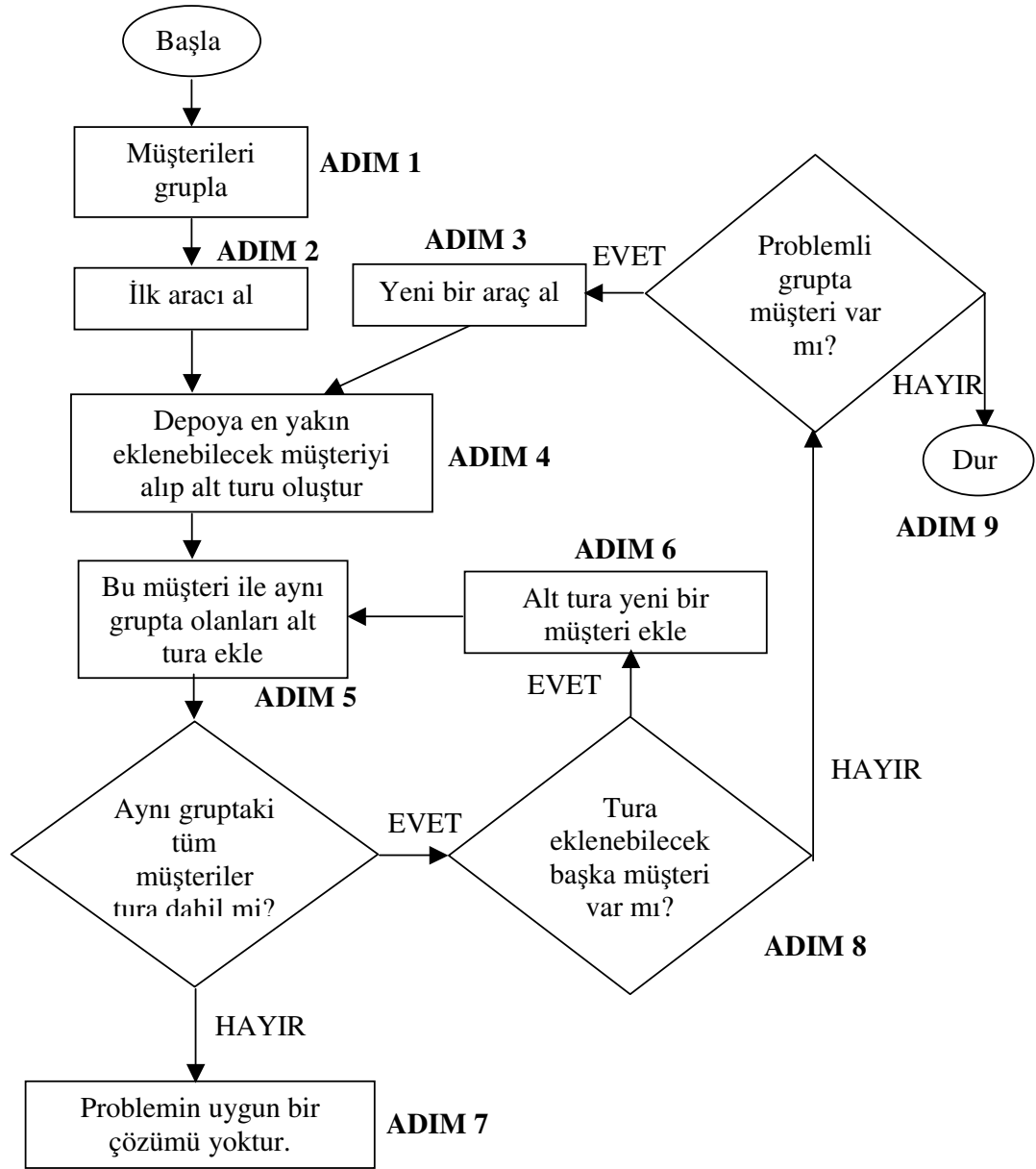
Eğer kalan müşteri kümesi boş küme ve problemlili grupta hala müşteri varsa ADIM 3'e git.

ADIM 7: Aynı gruptaki müşteriler, aynı anda alt tura dahil edilemediği için problemin uygun bir çözümü yoktur.

ADIM 8: Bu grubun elemanlarını problemlili gruba ata ve eklenebilecek müşteri kümesinden çıkart, aracın rotasını yaz ve ADIM 3'e git.

ADIM 9: DUR.

Önerilen algoritmanın akış diyagramı Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4. Önerilen algoritmanın akış diyagramı.

4.4.1. Grupların oluşturulması

Birbirlerine malzeme gönderecek müşteriler aynı grup olarak tanımlanarak, öncelikle grupların belirlenmesi gerekmektedir. Çünkü aynı grupta bulunan müşterilerin malzemelerinin yine aynı araçla taşınması zorunluluktur. Bu kısıt eklenmediği takdirde, bir müşteriye birden fazla sayıda araçla hizmet verilebilecektir. Bu durum eş zamanlı hizmet kısıtını ihlal edecektir.

Gruplandırma işlemi aşağıda önerilen gruplandırma algoritması kullanılarak yapılabilir.

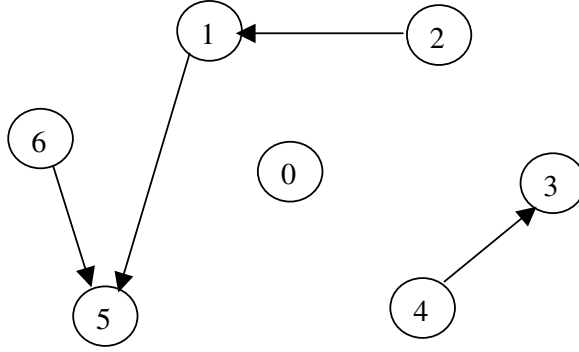
Önerilen Gruplandırma Algoritması

ADIM 1: Müşterilerin tümünün bulunduğu kümeden (E), rastgele bir müşteriye seç ve bu müşteriye malzeme gönderen ve bu müşteriden malzeme giden müşterileri A kümesine ekle.

ADIM 2: A kümesinde bulunan, ADIM 1’de seçilen müşteriden sonraki diğer müşterilere malzeme gönderen ve bu müşterilerden malzeme gönderilen müşterileri B kümesine ekle. A kümesi ile B kümesinin elemanları aynı olana kadar $A=B$ yap ve ADIM 2’yi tekrarla. Daha sonra A kümesinin elemanlarını E kümesinin elemanlarından çıkart, bu grubu yaz ve ADIM 1’e git.

Eğer $A \setminus E = \emptyset$ ise, DUR.

Örnek 4.1. Müşteriler arasındaki malzeme akışının Şekil 4.5'deki gibi olduğu varsayalım.



Şekil 4.5. Müşteriler arası malzeme akışları.

Şekil 4.5'de verilen Örnek 4.1 için gruplar aşağıdaki şekilde bulunur:

ADIM 1: $E = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ ve ilk olarak 1 nci müşteriyi seçersek $A = \{1, 2, 5\}$ olur.

ADIM 2: $B = \{1, 2, 5, 6\}$ olduğundan $A \neq B$ 'dir. $A = \{1, 2, 5, 6\}$ yapılır ve ADIM 2 tekrarlanırsa, $B = \{1, 2, 5, 6\}$ bulunur. $A = B$ olduğundan $E \setminus B$ ilk grup olarak yazılır.

Birinci grup $= \{1, 2, 5, 6\}$ 'dır. Tekrar ADIM 1'e gidilir.

ADIM 1: $E = \{3, 4\}$ olur. İlk olarak üçüncü müşteri seçilirse, $A = \{3, 4\}$ olur.

ADIM 2: $B = \{3, 4\}$ 'tür ve $A = B$ 'dir. $E \setminus B = \{\}$ olduğundan,

İkinci grup $= \{3, 4\}$ olur ve işlemler sona erer.

Sonuç olarak $\{1, 2, 5, 6\}$ ve $\{3, 4\}$ grupları elde edilir. Aynı grupta yer alan müşterilerinin malzemeleri aynı araçlara yüklenmelidir.

4.4.2. Hizmet önceliklerinin belirlenmesi

Gruplandırma yapıldıktan sonra ikinci aşamada, müşterilerin birbirlerine göre hizmet önceliklerinin belirlenmesi gerekir. Hizmet önceliği, herhangi bir müşteriye, diğer müşterilerden gelecek tüm malzemelerin araca yüklendikten sonra gelinmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla araç o müşteriye geldiğinde müşterinin tüm talebi araçta olacaktır.

Müşteri çiftleri arasına eklenebilecek müşteriler belirlenirken öncelik sırasına dikkat edilmelidir. Bu nedenle Çizelge 4.3 düzenlenmelidir. Depo olan “0” düğümü bu çizelgede bulunmamaktadır. Çünkü her araç, depodan bir defa çıkıp zaten tekrar depoya dönmektedir.

Çizelge 4.3. Hizmet öncelikleri.

Müşteri	Müşteriye Malzeme Gönderen Müşteri/Müşteriler	Müşteriden Malzeme Gönderilecek Müşteri/Müşteriler
1	Sağına eklenmesi yasaklananlar	Soluna eklenmesi yasaklananlar
2		
.		
.		
<i>m</i>		

I_i^L : *i* müşterisinin soluna eklenmesi yasaklanmış müşteri kümesini,

I_i^R : *i* müşterisinin sağına eklenmesi yasaklanmış müşteri kümesini ifade etmektedir.

Çizelge 4.3’den *m* adet müşteri için önce ve sonra gidilmesi yasak olan müşteriler, I_i^L ve I_i^R malzeme akışı dikkate alınarak oluşturulabilir.

i müşterisi için; I_i^L , *i* müşterisinden malzeme gönderilecek müşteri/müşteriler sütunu ile müşterilerin bulunduğu satır ile kesişen hücrede bulunan müşteri/müşteriler kümesi; I_i^R ise, müşteriye malzeme gönderen müşteri/müşteriler sütunu ile

müşterilerin bulunduğu satır ile kesişen hücrede bulunan müşteri/müşteriler kümesidir.

Tüm müşterilerin bulunduğu kümeye E , alt turda yer alan müşterilerin bulunduğu küme E' , alt turda yer almayan müşterilerin bulunduğu küme E'' , $(i-j)$ müşterileri arasına eklenebilecek müşterilerin bulunduğu küme A_{ij} olsun.

Dolayısıyla $E = E' + E''$ olacaktır.

Hizmet öncelikleri dikkate alınarak $i-j$ müşterileri arasına eklenebilecek müşteriler aşağıda önerilen algoritma kullanılarak belirlenebilir.

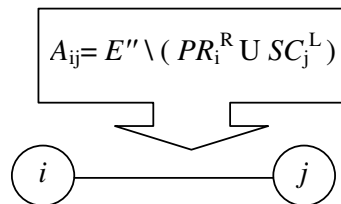
Malzeme akışı dikkate alınarak alt tur içindeki $i-j$ müşterileri arasına eklenebilecek k müşteri/müşterilerinin bulunması algoritması

Alt tur içindeki $i-j$ müşterileri arasına eklenebilecek müşteri/müşteriler aşağıdaki algoritma kullanılarak bulunabilir.

ADIM 1: Alt turdaki, i müşterisi ve ondan önceki müşterilerin sağ tarafına eklenemeyecek müşteri kümesini bul (PR_i^R).

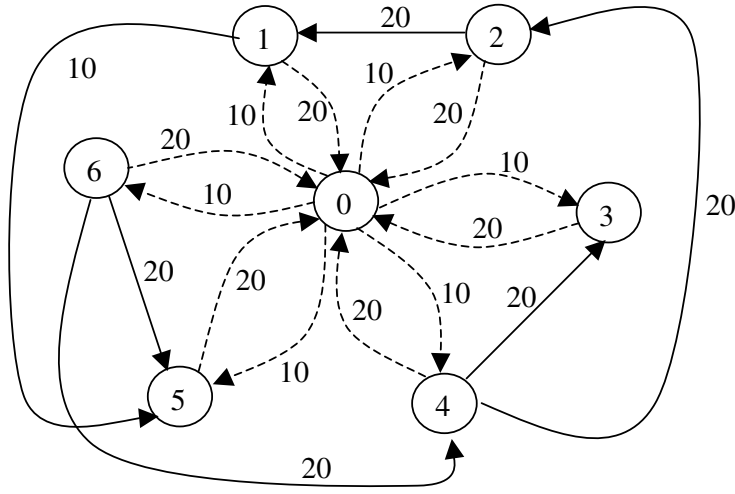
ADIM 2: Alt turdaki, j müşterisi ve ondan sonraki müşterilerin sol tarafına eklenemeyecek müşteri kümesini bul (SC_j^L).

ADIM 3: $i-j$ müşterileri arasına eklenebilecek müşteriler A_{ij} 'yi, Şekil 4.6'daki gibi bul.



Şekil 4.6. $i-j$ müşterileri arasına eklenebilecek müşteri kümesi.

Örnek 4.2. Depodan müşterilere gidecek, müşterilerden depoya gelecek malzemelere ilave olarak müşteriler arasında da Şekil 4.7'deki gibi malzeme akışının olduğu varsayalım.



Şekil 4.7. Müşteriler arası malzeme akışları.

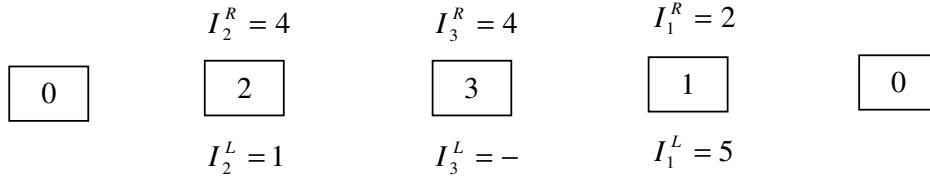
Şekil 4.7'den istifade edilerek Çizelge 4.4 elde edilebilir.

Çizelge 4.4. Örnek 4.2 için hizmet öncelikleri.

Müşteri	Müşteriye Malzeme Gönderen Müşteri/Müşteriler	Müşteriden Malzeme Gönderilecek Müşteri/Müşteriler
1	2	5
2	4	1
3	4	-
4	6	2,3
5	1,6	-
6	-	4,5

Örneğin; 0 – 2 – 3 – 1 – 0 turunun daha önce elde edildiği varsayalım.

Alt tura eklenebilecek müşteriler kümesi, $E''=\{4, 5, 6\}$ olacaktır. Bu alt turdaki müşterilerin, sağına ve soluna eklenmesi yasaklanan müşteri/müşteriler Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Alt turdaki müşterilerin sağına ve soluna eklenmesi yasaklanan müşteriler.

E''' nün , sağına ve soluna eklenmesi yasaklanan müşteri/müşteriler aşağıdadır:

$$I_4^L = 2 \text{ ve } 3, \quad I_4^R = 6$$

$$I_5^L = - , \quad I_5^R = 1 \text{ ve } 6$$

$$I_6^L = 4 \text{ ve } 5, \quad I_6^R = -$$

Sırasıyla alt turdaki müşteri çiftleri arasına eklenebilecek müşteri/müşterileri bulalım.

0-2 arasına eklenebilecek müşteri/müşterilerin bulunması

$$\text{ADIM 1: } PR_0^R = \emptyset$$

$$\text{ADIM 2: } SC_2^L = \{1,5\}$$

$$\text{ADIM 3: } A_{02} = E' \setminus (PR_0^R \cup SC_2^L) = \{4, 5, 6\} \setminus \{1,5\} = \{4,6\}$$

2-3 arasına eklenebilecek müşteri/müşterilerin bulunması

$$\text{ADIM 1: } PR_2^R = \{4\}$$

$$\text{ADIM 2: } SC_3^L = \{5\}$$

$$\text{ADIM 3: } A_{23} = E' \setminus (PR_2^R \cup SC_3^L) = \{4, 5, 6\} \setminus \{4,5\} = \{6\}$$

3-1 arasına eklenebilecek müşteri/müşterilerin bulunması

$$\text{ADIM 1: } PR_3^R = \{4\}$$

$$\text{ADIM 2: } SC_1^L = \{5\}$$

$$\text{ADIM 3: } A_{31} = E \setminus (PR_3^R \cup SC_1^L) = \{4, 5, 6\} \setminus \{4, 5\} = \{6\}$$

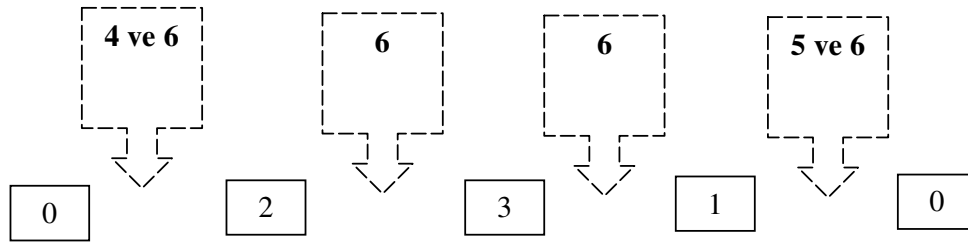
1-0 arasına eklenebilecek müşteri/müşterilerin bulunması

$$\text{ADIM 1: } PR_1^R = \{4, 2\}$$

$$\text{ADIM 2: } SC_0^L = \emptyset$$

$$\text{ADIM 3: } A_{10} = E \setminus (PR_1^R \cup SC_0^L) = \{4, 5, 6\} \setminus \{4, 2\} = \{5, 6\}$$

Yapılan işlemler sonucu bulunan, alt turdaki müşteri çiftleri arasına eklenebilecek müşteri/müşteriler Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Alt turdaki müşteri çiftleri arasına eklenebilecek müşteri/müşteriler.

Şekil 4.9'dan yararlanılarak, yeni müşteri eklenmesi sonucu elde edilecek alt turlar Çizelge 4.5'de gösterilmiştir.

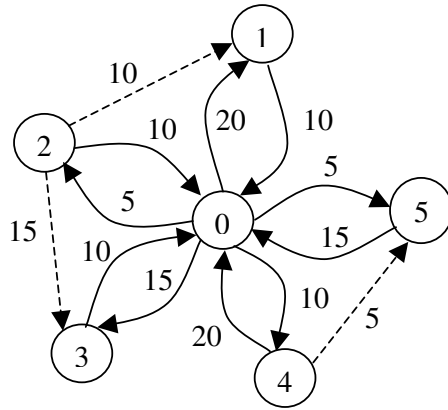
Çizelge 4.5. Yeni müşteri eklenmesi sonucu elde edilecek alt turlar.

0- 4 -2-3-1-0	0- 6 -2-3-1-0	0-2- 6 -3-1-0
0-2-3- 6 -1-0	0-2-3-1- 5 -0	0-2-3-1- 6 -0

Bu alt turlar sadece öncelik kısıtı dikkate alınarak oluşturulmuştur. M-M VRP_SDP'nin çözümünde, öncelik kısıtı ile birlikte, araç kapasitesi ve kapalı küme (çevrim) oluşturan müşterilerin aynı aracın rotası içinde bulunması kısıtı da mevcuttur. Tüm bunlar dikkate alınarak, eklenecek müşteri seçilecektir.

Örnek 4.3.

Depodan müşterilere gidecek, müşterilerden depoya gelecek malzemelere ilave olarak müşteriler arasında da malzeme akışının Şekil 4.10'daki gibi; müşteriler arası mesafe matrisinin Çizelge 4.6'daki gibi olduğu ve araç kapasitesinin 80 birim olduğu varsayalım.



Şekil 4.10. Müşteriler arası malzeme akışı.

Çizelge 4.6. Müşteriler arası mesafe matrisi.

	0	1	2	3	4	5
0	0					
1	10	0				
2	25	25	0			
3	5	35	20	0		
4	30	15	25	15	0	
5	15	30	20	10	5	0

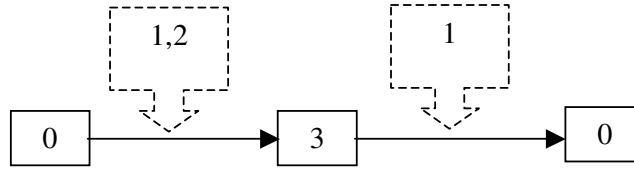
ADIM 1: Grup 1={1, 2, 3} ve Grup 2={4, 5}

ADIM 4: Depoya en yakın müşteri, Çizelge 4.7'de görüldüğü gibi, müşteri 3'tür. Dolayısıyla alt tura ilk dahil edilecek müşteri 3 numaralı müşteridir. İlk alt tur 0-3-0 şeklinde elde edilir ve ADIM 5'e gidilir.

Çizelge 4.7. Alt turlar ve uzunlukları.

Alt tur	Alt tur uzunluğu
0-1-0	$10+10=20$
0-2-0	$25+25=50$
0-3-0	$5+5=10$
0-4-0	$30+30=60$
0-5-0	$15+15=30$

ADIM 5: Müşteri 3, Grup 1'in elemanıdır. Dolayısıyla öncelikle 2 ve 3 ncü müşteriler alt tura dahil edilecektir. Öncelik kısıtları dikkate alındığında eklenebilecek müşteriler Şekil 4.11'deki gibi olur.



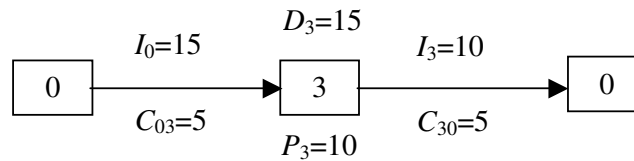
Şekil 4.11. 0-3-0 alt turuna öncelik kısıtlarına göre eklenebilecek müşteriler.

Şekil 4.11'den istifade edilerek oluşturulacak yeni alt turlar Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Şekil 4.11'den istifade edilerek oluşturulacak yeni alt turlar.

0-1-3-0	0-2-3-0	0-3-1-0
---------	---------	---------

Kapasite kısıtına göre oluşabilecek alt turları bulmak için müşterilerin RD ve RP değerlerinin bulunması gerekir. 0-3-0 alt turunda aracın, müşterileri terk ederken, yükü (I) Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. 0-3-0 alt turunda müşterilerden ayrılırken aracın yükü.

Bu değerler kullanılarak RD ve RP değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$RD(0) = C - \sum_{s \in T} D_s = 100 - (15) = 85$$

$$RD(3) = \min\{RD(0), C - I_3\} = \min\{85, 100 - 10\} = 85$$

$$RP(3) = C - \sum_{s \in T} P_s = 100 - (10) = 90$$

$$RP(0) = \min\{RP(3), C - I_0\} = \min\{90, 100 - 15\} = 85 \text{ 'dir}$$

Sadece kapasite kısıtları dikkate alındığında, k ncı müşterinin alt tura i nci müşteriden sonra eklenebilmesi için, $D_k \leq RD(i)$ ve $\sum_{l \in M_k} P_{lk} \leq RP(i)$ olmalıdır.

M_k , k müşterisinin malzeme göndereceği müşteri kümesidir.

Kapasite kısıtı dikkate alınarak oluşturulabilecek yeni alt turlar Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Kapasite kısıtlarına göre oluşan yeni alt turlar.

0-1-3-0	0-2-3-0	0-3-1-0
---------	---------	---------

Hem kapasite hem de öncelik kısıtlarını sağlayan yeni alt turlar Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Kapasite ve öncelik kısıtlarını sağlayan yeni alt turlar.

0-1-3-0	0-2-3-0	0-3-1-0
---------	---------	---------

Çizelge 4.10'daki alt turların TC ve ψ_{RCRS} değerleri Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Alt turların TC ve ψ_{RCRS} değerleri.

Alt turlar	TC değerleri	ψ_{RCRS} değerleri
0-1-3-0	0.4551	484.0570
0-2-3-0	0.5400	553.6222
0-3-1-0	0.4692	498.0682

Çizelge 4.11’de, ψ_{RCRS} değeri en küçük olan 0-1-3-0 alt turu seçilir. Yeni alt turda sadece 0 ve 1 müşterileri arasına 2 müşterisi eklenebilir. Bu müşteri eklendikten sonraki alt turumuz 0-2-1-3-0 olur. Bu alt tura Grup 1’de bulunan tüm müşteriler eklenmiştir. Artık bu Grup 2’de bulunan 4 veya 5 müşterilerinden biri tura dahil edilmeye çalışılır. Bu işlemler için ADIM 6’ya gidilir.

ADIM 6: sadece öncelik kısıtları dikkate alınır, 0-2-1-3-0 alt turundaki tüm müşteri çiftleri arasına 4 ve 5 müşterileri eklenebilir. Ancak kapasite kısıtları da dikkate alındığında oluşabilecek yeni alt turlar ve TC ve ψ_{RCRS} değerleri Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. TC ve ψ_{RCRS} değerleri.

Alt turlar	TC değerleri	ψ_{RCRS} değerleri
0-2-1-4-3-0	0.6674	630.7566
0-2-1-5-3-0	0.6257	614.1718
0-2-1-3-4-0	0.6353	643.6790
0-2-1-3-5-0	0.6006	604.0933

Çizelge 4.12’deki alt turlar içinden ψ_{RCRS} değeri en küçük olan 0-2-1-3-5-0 alt turu seçilir. Yeni eklenen 5 müşterisi ile aynı grupta olan müşteriyi eklemek için tekrar ADIM 5’e gidilir.

ADIM 5: Grup 2’de 5 müşterisi ile bulunan müşteri 4 ncü müşteridir. Müşteri 4, 0-2-1-3-5-0 alt turunda öncelik kısıtlarına göre 5 ve 0 müşterileri arasına hariç olmak üzere kalan müşteri çiftleri arasına eklenebilir. Ancak kapasite kısıtı dikkate alındığında, hiçbir müşteri çifti arasına eklenemez. 4 ve 5nci müşteriler aynı anda grup 1’de bulunan müşterilerde aynı araçta bulunamazlar. Bu nedenle bu müşteriler

problemleri grup kümesine atanır. Eklenebilecek başka müşteri yoktur. Ancak 4 ve 5'inci müşteriler problemleri grupta bulunduklarından ilk araca atanmamışlardır. Bu nedenle ADIM 2'ye gidilir ve yeni bir araç seçilerek ADIM 4'e gidilir.

ADIM 4: Depoya en yakın müşteri, Çizelge 4.13'te görüldüğü gibi, müşteri 5'tir. Dolayısıyla alt tura ilk dahil edilecek müşteri 5 numaralı müşteridir. İlk alt tur 0-5-0 şeklinde elde edilir ve ADIM 5'e gidilir.

Çizelge 4.13. Alt turlar ve uzunlukları.

Alt tur	Alt tur uzunluğu
0-4-0	30+30=60
0-5-0	15+15=30

ADIM 5: Bu müşteri ile aynı grupta bulunan 4 müşterisi öncelik kısıtı dikkate alınarak sadece 0 ve 5 müşteri çiftleri arasına eklenebilir. Bu alt turun oluşması kapasite kısıtı açısından da uygundur. Dolayısıyla yeni alt tur 0-4-5-0 olur. Grup 2'nin elemanları aynı alt tura eklenmiştir. Problemleri grupta müşteri kalmamıştır. Eklenebilecek başka müşteri de kalmadığından işlemler sonlandırılır. Örnek 4.3'ün çözümü Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.14. Örnek 4.3'ün çözümü.

Araç	Takip edeceği güzergah	Katedilecek mesafe
Araç 1	0-2-1-3-0	25+25+35+5 = 90
Araç 2	0-4-5-0	30+5+15 = 50
Katedilecek toplam mesafe		140

4.5. Test Problemlerinin Türetilmesi

Yeni problem, VRP_SDP'ye, müşterilerin birbirlerine malzeme göndermesi kısıtının eklenmesi sonucu oluşmuştur. Literatürde benzer bir çalışma olmadığından test problemleri tarafımızdan türetilmiştir. VRP_SDP'de müşteriler arası malzeme akışı olmadığından öncelikle müşteriler arası malzeme akışının, daha sonra ise; örnek boyutunun tespiti gerekmektedir.

4.5.1. Müşteriler arası malzeme akış miktarının tespiti

Salhi ve Nagy, VRP için test problemlerini, VRP_DP'ye dönüştürmek için Eş. 4.16 ve Eş. 4.17'yı kullanmışlardır (19).

$$D_i = \min \left\{ \frac{X_{koordinat_i}}{Y_{koordinat_i}}, \frac{Y_{koordinat_i}}{X_{koordinat_i}} \right\} Q_i \quad (4.16)$$

$$P_i = \left[1 - \min \left\{ \frac{X_{koordinat_i}}{Y_{koordinat_i}}, \frac{Y_{koordinat_i}}{X_{koordinat_i}} \right\} \right] Q_i \quad (4.17)$$

Burada,

Q_i : VRP'de, depodan i nci müşteriye gönderilecek malzeme miktarı,

D_i : VRP_DP'de depodan i nci müşteriye gönderilecek malzeme miktarı,

P_i : VRP_DP'de, i nci müşteriden depoya geri gönderilecek malzeme miktarıdır.

Beş müşterinin bulunduğu, müşterilerin (X,Y) koordinatlarının, Çizelge 4.15'deki gibi, müşterilerin depodan talep miktarların, sırasıyla 20, 30, 40, 10 ve 50 olduğu varsayılırsa, D_i ve P_i , Eş. 4.16 ve Eş. 4.17 kullanılarak Çizelge 4.16'daki gibi elde edilir.

Çizelge 4.15. Müşterilerin (X,Y) koordinatları.

	Müşteri 1	Müşteri 2	Müşteri 3	Müşteri 4	Müşteri 5
$X_{koordinat}$	15	50	40	20	20
$Y_{koordinat}$	20	30	30	10	40

Çizelge 4.16. P değerlerinin bulunması.

Müşteri	Q_i	$X_{koordinat}$	$Y_{koordinat}$	$\frac{X_{koordinat}}{Y_{koordinat}}$	$\frac{Y_{koordinat}}{X_{koordinat}}$	$Min\left\{\frac{X_{koordinat}}{Y_{koordinat}}, \frac{Y_{koordinat}}{X_{koordinat}}\right\}$	D_i	P_i
1	20	15	20	0,75	1,333	0,75	15	5
2	30	50	30	1,667	0,6	0,6	18	12
3	40	40	30	1,333	0,75	0,75	30	10
4	10	20	10	2	0,5	0,5	5	5
5	50	20	40	0,5	2	0,5	25	25

Bu çalışmanın konusunu oluşturan, müşteriler arası malzeme akışlı eş zamanlı dağıtım ve toplama problemleri örneklerinin oluşturulması için, Çizelge 4.16’da bulunan P_i değerlerinin, yeniden depo ve diğer müşteriler arasında paylaştırılması gerekmektedir. Bu miktarın diğer müşterilere paylaştırılması, Salhi ve Nagy’nin yaklaşımına benzer bir yaklaşımla, mesafe matrisinden istifade edilerek oluşturulan Eş. 4.18 kullanılarak tarafımızdan yapılmıştır (19).

$$P_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_{j=1}^m C_{ij}} (P_i) \quad (4.18)$$

P_{ij} : i müşterisinden j müşterisine gönderek malzeme miktarı,

P_i : VRP_SDP’de, i nci müşteriden depoya gönderilecek malzeme miktarı,

m : i müşterisinden malzeme gönderilecek müşteri sayısı (Depo dahil),

C_{ij} : i müşterisi ile j müşterisi arasındaki mesafedir.

Beş müşteriden oluşan VRP_SDP’de, müşteriler arası mesafe matrisi Çizelge 4.17’deki, döngü içermeyen, her bir müşteriden en fazla iki müşteriye malzeme gönderilmesi (depo hariç olmak üzere) ve her bir müşteriye en fazla iki müşteriden malzeme gelmesi kısıtları dikkate alınarak LINGO paket programı ile elde edilen çözüm, Çizelge 4.18’deki gibi ve müşterilere gönderilecek malzeme miktarları $P_1 = 40$, $P_2 = 20$, $P_3 = 30$, $P_4 = 10$ ve $P_5 = 50$ olsun.

Çizelge 4.17. Müşteriler arası mesafe matrisi.

	0	1	2	3	4	5
0	0	20	4	10	5	8
1	20	0	2	5	8	9
2	4	2	0	2	6	10
3	10	5	2	0	4	3
4	5	8	6	4	0	7
5	8	9	10	3	7	0

Çizelge 4.18. LINGO ile bulunan çözüm.

	1	2	3	4	5
1	0	1	1	0	0
2	0	0	1	1	0
3	0	0	0	1	1
4	0	0	0	0	1
5	0	0	0	0	0

Çizelge 4.18’de, 1 değeri, müşteriden müşteriye malzeme akışının olduğunu, 0 değeri ise, malzeme akışının olmadığını ifade etmektedir. Örneğin, 2 müşterisinden 3 ve 4 ncü müşterilere malzeme akışı olmakta, 1 ve 5 müşterilerine malzeme akışı olmamaktadır.

Ayrıca tüm müşterilerden depo olan “0” düğümüne de malzeme gönderilecektir. Buna göre düzeltilmiş çözüm Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Depo düğümüne de malzeme gönderilmesi sonucu bulunan çözüm.

	0	1	2	3	4	5
1	1	0	1	1	0	0
2	1	0	0	1	1	0
3	1	0	0	0	1	1
4	1	0	0	0	0	1
5	1	0	0	0	0	0

Çizelge 4.17’nin ilk satırı iptal edilerek elde edilecek yeni mesafe matrisi ile Çizelge 4.19’un elemanları karşılıklı olarak çarpılırsa Çizelge 4.20 elde edilir.

Çizelge 4.20. Elde edilen son mesafe matrisi.

	0	1	2	3	4	5	Toplam
1	20	0	2	5	0	0	27
2	4	0	0	2	6	0	12
3	10	0	0	0	4	3	17
4	5	0	0	0	0	7	12
5	8	0	0	0	0	0	8

Çizelge 4.20 ve P_i değerleri kullanılarak Eş. 4.18'den P_{ij} değerleri hesaplanır. Örneğin, 2 nci müşteri için yapılan hesaplamalar aşağıdaki gibidir.

$$P_{20} = \frac{C_{20}}{C_{20} + C_{23} + C_{24}} (P_2) = \frac{4}{12} (20) = 6.6667 \cong 7$$

$$P_{23} = \frac{C_{23}}{C_{20} + C_{23} + C_{24}} (P_2) = \frac{2}{12} (20) = 3.3334 \cong 3$$

$$P_{24} = \frac{C_{24}}{C_{20} + C_{23} + C_{24}} (P_2) = \frac{6}{12} (20) = 10$$

Diğer müşteriler için elde edilecek değerler Çizelge 4.21'de verilmiştir.

Çizelge 4.21. P_{ij} değerleri.

	0	1	2	3	4	5	TOPLAM
1	30	0	3	7	0	0	40
2	7	0	0	3	10	0	20
3	18	0	0	0	7	5	30
4	4	0	0	0	0	6	10
5	50	0	0	0	0	0	50

Çizelge 4.21'de, müşteri 1'den depoya geri gönderilecek 40 birim malzeme, 30 birimi depoya, 3 birimi müşteri 2'ye, 7 birimi müşteri 3'e gönderilmek üzere paylaştırıldığı görülmektedir.

4.5.2. Örnek boyutunun tespiti

Min tarafından yapılan çalışmada kullanılan problemde, müşterilerden alınarak depoya geri götürülecek malzeme miktarları (P_i) belirlidir (20). Dolayısıyla Salhi ve Nagy tarafından geliştirilen dönüşümü kullanmaya gerek yoktur (19).

M-M VRP_SDP için test problemlerinin türetilmesinde, Min tarafından çözülen problemdeki müşteri sayısı, müşteriler arası mesafe, müşterilerin depoya gönderecekleri malzeme miktarı (P_i) ve depodan müşterilere gidecek malzeme miktarları (D_i) kullanılmıştır (20).

LINGO paket programı yardımıyla aşağıdaki model kullanılarak, her bir test problemi için, birbirleri arasında malzeme akışı olacak müşteriler tespit edilmiştir.

MODEL:

SETS:

SAT/1..22/:P;

LINKS(SAT,SAT):X;

ENDSETS

!AMAÇ FONKSİYONU;

MAX =@SUM(LINKS(I,J):X(I,J));

!KISITLAR;

@FOR(SAT(I):@SUM(SAT(J):X(I,J))<= k); (4.19)

@FOR(SAT(J):@SUM(SAT(I):X(I,J))<= l); (4.20)

@FOR(SAT(I):@FOR(SAT(J)|J #EQ# I: X(I,J)=0)); (4.21)

@FOR(SAT(I):@FOR(SAT(J):P(J)-P(I)-1+22*(1-X(I,J))>=0)); (4.22)

@FOR(LINKS: @BIN(X));

END

k : Her bir müşteriden malzeme gönderilecek en fazla müşteri (depo hariç) sayısı,

l : Her bir müşteriye malzeme gelecek en fazla müşteri (depo hariç) sayısıdır.

Modeldeki kısıtlardan Eş. 4.19, her bir müşteriden malzeme gönderilecek müşteri (depo hariç) sayısının en fazla k ; Eş. 4.20 her bir müşteriye malzeme gelecek müşteri (depo hariç) sayısının en fazla l kadar olmasını; Eş. 4.21 müşterilerin kendilerine malzeme göndermesini; Eş. 4.22 ise, yapılan atamaların döngü oluşturmamasını sağlamaktadır.

Her bir müşteriden, en fazla beş müşteriye malzeme gönderileceği ($k \leq 5$), her bir müşteriye, en fazla beş müşteriden malzeme geleceği ($l \leq 5$), r değerinin 2 ile 5 arasında ($2 \leq r \leq 5$) olması varsayımı ile test problemleri düzenlenmiştir.

r , aynı grupta bulunabilecek en büyük müşteri sayısıdır. Birbirlerine malzeme akışı olan müşteriler bir grup oluşturmaktadır.

r değerini sağlamak için, atama matrisinde, kuzeybatı köşeden başlayarak, bazı atamalar iptal edilmiştir.

Toplam 60 adet test problemi türetilmiştir. Test problemlerine <http://w3.gazi.edu.tr/~ctemel> web sayfasından ulaşılabilir. Bu problemlerden bazıları EK-3 ile EK-7 arasındadır.

Bu problemlerden klr değerleri sırasıyla 445 olan örneğin türetilmesi aşağıda açıklanmıştır.

Öncelikle her bir müşteriden malzeme gönderilecek en fazla beş ve her bir müşteriye malzeme gelecek en fazla üç müşteri olduğunu varsayımıyla kurulan model LINGO'da çözülerek Çizelge 4.22 elde edilir.

Daha sonra birbirleri ile ilişkili müşteri sayısının en fazla beş olmasını sağlayacak şekilde kuzeybatı köşeden başlayarak atamalar iptal edilir.

Çizelge 4.22’de ilk beşli grup kuzeybatı köşeden başlanırsa; 2-3-4-5-6 müşterileri olacaktır. 2-3-4-5’in birbirleri haricindeki atamalar iptal edilirse Çizelge 4.23 elde edilir. İptal edilen atamaların yerine “X” konmuştur.

Çizelge 4.23’de yeni beşli grup; 7-8-9-10-11 müşterileri olacaktır. 7-8-9-10-11’in birbirleri haricindeki atamalar iptal edilirse, Çizelge 4.24 elde edilir. İptal edilen atamaların yerine “X” konmuştur. Daha önceki safhalarda iptal edilen atamaların bulunduğu hücrelere “0” değeri verilmiştir.

Çizelge 4.24’de yeni beşli grup; 12-13-14-15-16 müşterileri olacaktır. 12-13-14-15-16’nın birbirleri haricindeki atamalar iptal edilirse Çizelge 4.25 elde edilir. İptal edilen atamaların yerine “X” konmuştur. Daha önceki safhalarda iptal edilen atamaların bulunduğu hücrelere “0” değeri verilmiştir.

Çizelge 4.25’de yeni beşli grup; 17-18-19-20-21 müşterileri olacaktır. 17-18-19-20-21’in birbirleri haricindeki atamalar iptal edilirse Çizelge 4.26 elde edilir. İptal edilen atamaların yerine “X” konmuştur. Daha önceki safhalarda iptal edilen atamaların bulunduğu hücrelere “0” değeri verilmiştir.

Çizelge 4.26’da geriye sadece 22 nci müşteri kalmıştır. Daha önceki safhalarda iptal edilen atamaların bulunduğu hücrelere “0” değeri verilirse Çizelge 4.27 elde edilir.

Çizelge 4.27’ye depo olan 1 müşterisi de eklenir ve her müşteriden depoya malzeme gönderileceği kabul edilirse Çizelge 4.28 elde edilir.

Çizelge 4.29’da Min tarafından çözülen problemde kullanılan müşteriler arası mesafe matrisi verilmiştir (20). Çizelge 4.28 ve Çizelge 4.29’daki matrislerin elemanlarının karşılıklı olarak çarpılması sonucu Çizelge 4.30 elde edilir. Eş. 4.18 kullanılarak P_{ij} değerleri Çizelge 4.31’deki gibi bulunur.

Çizelge 4.22. LINGO kullanılarak elde edilen, döngü içermeyen, çözüm ($k \leq 5$, $l \leq 5$).

[illegible]

Çizelge 4.26. 17-18-19-20-21 müşterilerinin bu grup dışındaki diğer müşterilere yapılan atamalarının iptali.

[illegible]

Çizelge 4.27. $r \leq 5$ olacak şekilde elde edilen yeni atama matrisi.

[illegible]

Çizelge 4.29. Min’de kullanılan müşteriler arası mesafe matrisi [20].

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	0	7	14	23	3	24	17	3	13	10	4	13	1	7	9	16	10	6	9	9	5	13	15
2	7	0	7	20	9	15	6	5	10	6	12	6	6	2	2	5	5	2	3	3	4	16	14
3	14	7	0	9	11	10	9	14	3	4	17	14	10	9	7	9	5	6	4	12	6	6	4
4	23	20	9	0	13	6	12	19	9	12	25	19	18	16	14	14	12	14	12	17	15	11	7
5	3	9	11	13	0	20	15	6	8	7	6	12	4	8	10	15	6	8	9	10	6	7	10
6	24	15	10	6	20	0	8	18	12	12	22	15	18	15	12	10	13	13	12	15	15	15	12
7	17	6	9	12	15	8	0	12	11	10	17	7	12	9	5	1	10	8	7	7	10	15	13
8	3	5	14	19	6	18	12	0	10	8	5	6	2	3	6	10	6	4	6	5	3	12	14
9	13	10	3	9	8	12	11	10	0	2	12	12	9	9	8	11	3	6	5	9	6	3	3
10	10	6	4	12	7	12	10	8	2	0	11	10	6	7	6	10	1	4	3	8	4	4	5
11	4	12	17	25	6	22	17	5	12	11	0	8	4	8	11	15	9	9	10	9	7	13	16
12	13	6	14	19	12	15	7	6	12	10	8	0	8	4	4	6	9	5	6	2	6	15	15
13	1	6	10	18	4	18	12	2	9	6	4	8	0	4	7	12	5	5	6	6	3	10	12
14	7	2	9	16	8	15	9	3	9	7	8	4	4	0	3	8	5	2	4	2	3	11	12
15	9	2	7	14	10	12	5	6	8	6	11	4	7	3	0	5	5	3	3	3	5	11	11
16	16	5	9	14	15	10	1	10	11	10	15	6	12	8	5	0	10	7	7	6	9	15	13
17	10	5	5	12	6	13	10	6	3	1	9	9	5	5	5	10	0	3	2	6	3	6	7
18	6	2	6	14	8	13	8	4	6	4	9	5	5	2	3	7	3	0	2	3	2	9	10
19	9	3	4	12	9	12	7	6	5	3	10	6	6	4	3	7	2	2	0	5	3	8	8
20	9	3	12	17	10	15	7	5	9	8	9	2	6	2	3	6	6	3	5	0	5	13	13
21	5	4	6	15	6	15	10	3	6	4	7	6	3	3	5	9	3	2	3	5	0	8	10
22	13	16	6	11	7	15	15	12	3	4	13	15	10	11	11	15	6	9	8	13	8	0	4
23	15	14	4	7	10	12	13	14	3	5	16	15	12	12	11	13	7	10	8	13	10	4	0

67

[illegible]

Çizelge 4.31. P_{ij} değerleri.

[illegible]

4.6. Önerilen algoritmanın performansı

Türetilen test problemlerinin Çizelge 4.32’de verilen özelliklere sahip bir bilgisayar ile müşteri ekleme kriterleri (Ψ_{RCRS} , Ψ_{RC} , Ψ_{RS} ve Ψ_{TD}) için elde edilen çözüm süreleri, dakika olarak, Çizelge 4.33’te verilmektedir.

Çizelge 4.32. Türetilen test problemlerinin çözüldüğü bilgisayarın özellikleri.

Üretici	Hewlett-Packard
Model	HP Pavilion dv6000 (GF675EA#AB8)
İşlemci	Intel(R) Core(TM)2 CPU T5600 @1.83 GHz
Bellek(RAM)	1022 MB
Sistem türü	32 bit işletim sistemi

Çizelge 4.33 incelendiğinde, ekleme kriteri Ψ_{RCRS} için en küçük sürenin 8,04 dakika ile test problemi 554’te, en büyük sürenin 9,54 dakika ile test problemi 415’te, ortalama sürenin 8,42 dakika, standart sapmanın 0,20 dakika olduğu, ekleme kriteri Ψ_{RC} için en küçük sürenin 0,47 dakika ile test problemi 444 ve 554’te, en büyük sürenin 0,53 dakika ile test problemi 332, 335, 512, 513, 542’de, ortalama sürenin 0,50 dakika, standart sapmanın 0,02 dakika olduğu, ekleme kriteri Ψ_{RS} için en küçük sürenin 0,46 dakika ile test problemi 115’te, en büyük sürenin 0,52 dakika ile test problemi 515’te, ortalama sürenin 0,49 dakika, standart sapmanın 0,01 dakika olduğu, ekleme kriteri Ψ_{TD} için en küçük sürenin 0,07 dakika, en büyük sürenin 0,09 dakika, ortalama sürenin ise 0,08 dakika, olduğu görülmektedir.

Ekleme kriterlerinde ortalama süreler, Ψ_{RCRS} için 8,42 dakika, Ψ_{RC} için 0,50 dakika, Ψ_{RS} için 0,49 dakika ve Ψ_{TD} için 0,08 dakikadır. Son üç ekleme kriterleri ile ilk kriter arasında süre olarak anlamlı bir fark vardır. Bu fark Ψ_{RCRS} ’nin, Ψ_{RC} ve Ψ_{RS} ’nin bileşimi olmasından dolayı döngü sayısının artmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.33. Türetilen test problemlerinin dakika olarak çözüm süreleri.

Test problemi	Ψ_{RCRS}	Ψ_{RC}	Ψ_{RS}	Ψ_{TD}
112	8,39	0,48	0,51	0,09
113	8,57	0,51	0,50	0,07
114	8,53	0,51	0,49	0,08
115	8,45	0,52	0,46	0,08
212	8,54	0,51	0,50	0,09
213	8,44	0,50	0,49	0,08
214	8,43	0,51	0,50	0,08
215	8,46	0,52	0,51	0,08
222	8,51	0,52	0,50	0,08
223	8,31	0,51	0,47	0,07
224	8,40	0,51	0,50	0,08
225	8,24	0,50	0,49	0,08
312	8,48	0,49	0,50	0,08
313	8,51	0,50	0,50	0,08
314	8,32	0,48	0,49	0,08
315	8,35	0,52	0,50	0,08
322	8,51	0,51	0,48	0,08
323	8,55	0,50	0,50	0,08
324	8,53	0,48	0,50	0,09
325	8,45	0,48	0,50	0,08
332	8,48	0,53	0,51	0,08
333	8,37	0,50	0,51	0,08
334	8,38	0,48	0,49	0,08
335	8,51	0,53	0,49	0,08
421	8,41	0,51	0,49	0,08
413	8,37	0,50	0,49	0,07
414	8,34	0,50	0,49	0,08
415	9,54	0,51	0,50	0,08
422	8,53	0,52	0,48	0,08
423	8,31	0,48	0,49	0,08
424	8,59	0,48	0,50	0,08
425	8,43	0,50	0,49	0,08
432	8,49	0,50	0,50	0,08
433	8,39	0,50	0,49	0,08
434	8,31	0,50	0,49	0,08
435	8,33	0,51	0,49	0,08
442	8,37	0,48	0,50	0,08
443	8,34	0,50	0,50	0,08
444	8,11	0,47	0,47	0,07
445	8,20	0,48	0,49	0,09
512	8,50	0,53	0,50	0,08
513	8,38	0,53	0,49	0,08
514	8,34	0,48	0,49	0,08
515	8,50	0,50	0,52	0,08
522	8,39	0,51	0,50	0,09
523	8,31	0,48	0,49	0,08
524	8,21	0,50	0,49	0,08
525	8,43	0,48	0,48	0,08
532	8,42	0,51	0,49	0,08
533	9,04	0,52	0,50	0,08
534	8,14	0,49	0,50	0,08
535	8,35	0,48	0,50	0,07
542	8,52	0,53	0,51	0,08
543	8,52	0,50	0,50	0,08
544	8,29	0,49	0,51	0,08
545	8,39	0,50	0,49	0,08
552	8,27	0,48	0,49	0,08
553	8,29	0,49	0,49	0,08
554	8,04	0,47	0,48	0,08
555	8,22	0,52	0,49	0,08
ORTALAMA	8,42	0,5	0,49	0,08

Test problemlerinin çözümünde kullanılan algoritmaların karmaşıklığı $O(n^5)$ 'tir. İşletim süresini en az yapacak veri kümesinin belirlenmesi ile ilgili analiz çalışmasına en iyi durum analizi (*best-case analysis*), işletim süresini en fazla yapacak veri kümesinin belirlenmesi ile ilgili analiz çalışmasına en kötü durum analizi (*worst-case analysis*), rasgele(random) bir veri kümesi üzerinde işletim süresinin beklenen değerinin ne olacağı konusunda yapılan çalışmaya ise ortalama durum analizi (*average-case analysis*) adı verilir.

En kötü durum analizine göre, müşteri ekleme kriterleri için müşteri sayısına (n) bağlı olarak yapılacak işlem sayısı Çizelge 4.34'de verilmiştir.

Çizelge 4.34. Müşteri sayısına bağlı olarak yapılacak işlem sayısı.

Ψ_{RCRS} için yapılacak işlem sayısı	$1694n^5+2180n^4+243n^3+486n^2$
Ψ_{RC} için yapılacak işlem sayısı	$132n^5+200n^4+23n^3+46n^2$
Ψ_{RS} için yapılacak işlem sayısı	$132n^5+200n^4+23n^3+46n^2$
Ψ_{TD} için yapılacak işlem sayısı	$14n^5+20n^4+3n^3+6n^2$

Türetilen test problemleri, Dethloff tarafından kullanılan, alt tura yeni müşteri ekleme kriterleri (Ψ_{RCRS} , Ψ_{RC} , Ψ_{RS} ve Ψ_{TD}) için ayrı ayrı çözülmüştür [21]. Sonuçlar Çizelge 4.35'te verilmektedir.

Çizelge 4.35 incelendiğinde, en iyi sonuçların, Ψ_{RCRS} yeni müşteri ekleme kriteri kullanılarak, en kötü sonuçların ise Ψ_{TD} yeni müşteri ekleme kriteri kullanılarak bulunan çözümler olduğu görülmektedir. Ψ_{TD} yeni müşteri ekleme kriterinin en kötü sonuçları vermesinin nedeni, sadece tur uzunluğunu en küçük yapan müşteriyi belirleyerek alt tura eklemesidir. Ψ_{RCRS} yeni müşteri ekleme kriterinin en iyi sonuçları vermesinin nedeni ise, daha sonraki eklemeler için araç kapasitesi kullanım yüzdesi ve depodan en uzaktaki müşterinin daha önceki safhalarda eklenmesini sağlamasından kaynaklanmaktadır. Ψ_{RCRS} kullanılarak bulunan çözüm EK-8'de, Ψ_{RC} kullanılarak bulunan çözüm EK-9'da, Ψ_{RS} kullanılarak bulunan çözüm EK-10'da, Ψ_{TD} kullanılarak bulunan çözüm EK-11'de detaylı olarak verilmektedir.

Çizelge 4.35 toplam tur uzunlukları açısından değerlendirildiğinde, test problemlerinden 112, 222, 223, 225, 312, 325, 335, 414, 422, 432, 434, 442, 443, 445, 514, 533, 534, 543, 544, 545, 552 ve 553'te, Ψ_{RCRS} ve Ψ_{RS} ekleme kriterlerine göre bulunan toplam tur uzunluklarının aynı çıktığı görülmektedir. Bunun nedeni Ψ_{RCRS} formülünde λ değeri 0 olduğunda, $\Psi_{RCRS} = \Psi_{RS}$ olmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.35 araç sayısı açısından incelendiğinde, Ψ_{RCRS} ekleme kriterlerine göre çözülen test problemlerinden 544'te, Ψ_{RC} ekleme kriterlerine göre çözülen test problemlerinden 444, 544, 554 ve 555'te, Ψ_{RS} ekleme kriterlerine göre çözülen test problemlerinden 543 ve 544'te, Ψ_{TD} ekleme kriterlerine göre çözülen test problemlerinden 115, 315, 413, 444, 515, 543, 544, 554 ve 555'te depodan üç araç; diğer test problemlerinde iki araç çıktığı görülmektedir. Ayrıca, aynı problem için farklı ekleme kriterlerine yapılan çözümlerde depodan farklı sayıda araç çıktığı görülmektedir. Örneğin test problemi 555'de, Ψ_{RCRS} ekleme kriterlerine göre iki, Ψ_{RC} ekleme kriterlerine göre üç, Ψ_{RS} ekleme kriterlerine göre iki, Ψ_{TD} ekleme kriterlerine göre üç araç kullanılmaktadır. Türetilen toplam 60 problemin dokuzunda aynı problem için farklı ekleme kriterlerinde farklı sayıda araç çıktığı tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçların, araçların katedeceği toplam mesafe açısından Min ve Dethloff ile karşılaştırılması Çizelge 4.36'da verilmektedir [20, 21].

Çizelge 4.36 incelendiğinde, tüm ekleme kriterleri için bulunan en iyi sonuçların Min ve Dethloff tarafından bulunan sonuçlardan daha büyük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, aynı gruptan olan müşterilerin aynı araca eklenmesi ve öncelik kısıtı gereği müşterilerin ekleneceği yerin tur uzunluğunu artırmasıdır [20, 21]. Oluşturulan test problemleri (M-M VRP_SDP) ile Min ve Dethloff tarafından çözülen problem (VRP_SDP) yapısal olarak farklılık gösterdiğinden, çözümleri karşılaştırmak mantıklı değildir [20, 21]. M-M VRP_SDP'de, VRP_SDP'ye ilave olarak müşteriler arasında malzeme akışı olmaktadır. Dolayısıyla aynı grupta olan müşterilerin malzemelerinin aynı araçla taşınması gerekmektedir. Bu kısıt, katedilen toplam mesafenin artmasına sebep olacaktır.

Çizelge 4.35. Türetilen test problemlerin sayısal sonuçları.

Test Problemi	ψ_{RCRS}				ψ_{RC}			ψ_{RS}			ψ_{TD}		En küçük z değerini veren ekleme kriteri
	λ	γ	ν	z	λ	ν	z	γ	ν	z	ν	z	
112	0	0,9	2	124	0,8	2	171	0,9	2	124	2	189	ψ_{RCRS}, ψ_{RS}
113	0,9	0,7	2	105	0,1	2	116	0,2	2	109	2	129	ψ_{RCRS}
114	0,1	0,3	2	132	0,8	2	149	0,5	2	151	2	154	ψ_{RCRS}
115	0,4	0,2	2	133	0	2	168	0,6	2	136	3	168	ψ_{RCRS}
212	0,1	1	2	108	0,1	2	130	0,5	2	111	2	148	ψ_{RCRS}
213	0,4	0,2	2	114	0	2	118	0	2	118	2	118	ψ_{RCRS}
214	0,7	0,8	2	113	0,1	2	136	0,5	2	115	2	149	ψ_{RCRS}
215	0,6	0,7	2	126	0	2	134	1	2	129	2	134	ψ_{RCRS}
222	0	0,9	2	106	0,7	2	130	0,9	2	106	2	156	ψ_{RCRS}, ψ_{RS}
223	0	0,6	2	116	0	2	148	0,6	2	116	2	148	ψ_{RCRS}, ψ_{RS}
224	0,2	0,7	2	116	0	2	139	0,8	2	120	2	139	ψ_{RCRS}
225	0	0,3	2	142	0,8	2	147	0,3	2	142	2	159	ψ_{RCRS}, ψ_{RS}
312	0	0,8	2	101	0,1	2	121	0,8	2	101	2	124	ψ_{RCRS}, ψ_{RS}
313	0,2	0,3	2	132	0,1	2	176	0,2	2	137	2	185	ψ_{RCRS}
314	0,9	0,5	2	125	0	2	141	0,2	2	139	2	141	ψ_{RCRS}
315	0,1	0,9	2	145	0,1	2	151	0,9	2	148	3	194	ψ_{RCRS}
322	0,1	0,7	2	111	0	2	131	0,7	2	116	2	131	ψ_{RCRS}
323	0,2	0,3	2	132	0,1	2	176	0,3	2	137	2	185	ψ_{RCRS}
324	0,1	0,9	2	129	0,5	2	161	0,9	2	131	2	171	ψ_{RCRS}
325	0	0,2	2	114	0	2	128	0,2	2	114	2	128	ψ_{RCRS}, ψ_{RS}
332	0,1	0,7	2	111	0	2	131	0,7	2	116	2	131	ψ_{RCRS}
333	0,2	0,3	2	132	0,1	2	176	0,3	2	137	2	185	ψ_{RCRS}
334	0,1	0,9	2	129	0,5	2	161	0,9	2	131	2	171	ψ_{RCRS}
335	0	0,2	2	105	0,5	2	122	0,2	2	105	2	129	ψ_{RCRS}, ψ_{RS}
412	0,1	0	2	102	0,1	2	102	0,4	2	104	2	124	ψ_{RCRS}, ψ_{RC}
413	0,1	0,9	2	116	0,4	2	122	0,8	2	118	3	170	ψ_{RCRS}
414	0	0,7	2	125	0,1	2	141	0,7	2	125	2	149	ψ_{RCRS}, ψ_{RS}
415	0	0	2	112	0	2	112	0	2	112	2	112	$\psi_{RCRS}, \psi_{RS}, \psi_{RC}, \psi_{TD}$
422	0	1	2	144	0,6	2	169	1	2	144	2	175	ψ_{RCRS}, ψ_{RS}
423	0,2	1	2	132	0,6	2	155	0,7	2	133	2	156	ψ_{RCRS}
424	0,2	0,3	2	128	0	2	146	0,1	2	140	2	146	ψ_{RCRS}
425	0,5	0,2	2	130	0,8	2	130	0	2	135	2	135	ψ_{RCRS}, ψ_{RC}
432	0	0,6	2	116	0,1	2	146	0,6	2	116	2	152	ψ_{RCR}, ψ_{RS}
433	0,2	0,3	2	125	0,1	2	144	0,4	2	132	2	149	ψ_{RCRS}
434	0	0,3	2	124	0,1	2	134	0,3	2	124	2	139	ψ_{RCRS}, ψ_{RS}
435	0,5	0,8	2	174	0	2	203	0,1	2	180	2	203	ψ_{RCRS}
442	0	0,9	2	124	0,8	2	171	0,9	2	124	2	189	ψ_{RCRS}, ψ_{RS}
443	0	0,3	2	130	0,4	2	152	0,3	2	130	2	166	ψ_{RCRS}, ψ_{RS}
444	0,3	0,8	2	144	0	3	184	0,7	2	146	3	184	ψ_{RCRS}
445	0	1	2	179	0	2	199	1	2	179	2	199	ψ_{RCRS}, ψ_{RS}
512	0,6	0,6	2	99	0	2	101	0	2	101	2	101	ψ_{RCRS}
513	0,9	0,1	2	111	0,1	2	118	0,7	2	113	2	150	ψ_{RCRS}
514	0	0,2	2	114	0,1	2	127	0,2	2	114	2	150	ψ_{RCRS}, ψ_{RS}
515	0,2	1	2	127	0,1	2	135	0,4	2	134	3	197	ψ_{RCRS}
522	0,3	0,3	2	118	0,1	2	136	0,4	2	123	2	146	ψ_{RCRS}
523	0,1	0,3	2	112	0,8	2	135	0,3	2	126	2	155	ψ_{RCRS}
524	0,8	0,2	2	114	0,9	2	125	0,1	2	118	2	126	ψ_{RCRS}
525	0,5	0,7	2	108	0,1	2	134	0	2	135	2	135	ψ_{RCRS}
532	0,1	0,7	2	120	0	2	146	0,8	2	127	2	146	ψ_{RCRS}
533	0	0,4	2	110	0	2	122	0,4	2	110	2	122	ψ_{RCRS}, ψ_{RS}
534	0	0,3	2	122	0,8	2	133	0,3	2	122	2	151	ψ_{RCRS}, ψ_{RS}
535	1	0,7	2	144	0,3	2	157	0,6	2	156	2	159	ψ_{RCRS}
542	0,1	0,4	2	121	0	2	152	0,5	2	122	2	152	ψ_{RCRS}
543	0	0,9	2	123	0,3	2	153	0,9	3	123	3	181	ψ_{RCRS}, ψ_{RS}
544	0	0,8	3	161	0	3	181	0,8	3	161	3	181	ψ_{RCRS}, ψ_{RS}
545	0	1	2	158	0	2	171	1	2	158	2	171	ψ_{RCRS}, ψ_{RS}
552	0	0,9	2	124	0,8	2	171	0,9	2	124	2	189	ψ_{RCRS}, ψ_{RS}
553	0	0,3	2	130	0,4	2	152	0,3	2	130	2	166	ψ_{RCRS}, ψ_{RS}
554	0,3	0,8	2	143	0,1	3	167	0,6	2	145	3	184	ψ_{RCRS}
555	0,2	0,7	2	171	0	3	199	0,7	2	175	3	199	ψ_{RCRS}

Çizelge 4.36. Türetilen test problemlerin sayısal sonuçlarının karşılaştırılması.

Örnek	Ψ_{RCRS}			Ψ_{RC}			Ψ_{RS}			Ψ_{TD}		
<i>klr</i>	<i>z</i>	Δ_M	Δ_D	<i>Z</i>	Δ_M	Δ_D	<i>z</i>	Δ_M	Δ_D	<i>z</i>	Δ_M	Δ_D
112	127	35,11	39,56	156	65,96	71,43	127	35,11	39,56	162	72,34	78,02
113	109	15,96	19,78	129	37,23	41,76	109	15,96	19,78	129	37,23	41,76
114	141	50	54,95	154	63,83	69,23	141	50	54,95	154	63,83	69,23
115	158	68,09	73,63	158	68,09	73,63	158	68,09	73,63	168	78,72	84,62
212	105	11,7	15,38	148	57,45	62,64	105	11,7	15,38	148	57,45	62,64
213	113	20,21	24,18	118	25,53	29,67	118	25,53	29,67	118	25,53	29,67
214	108	14,89	18,68	115	22,34	26,37	111	18,09	21,98	149	58,51	63,74
215	131	39,36	43,96	134	42,55	47,25	133	41,49	46,15	134	42,55	47,25
222	102	8,51	12,09	156	65,96	71,43	102	8,51	12,09	156	65,96	71,43
223	116	23,4	27,47	142	51,06	56,04	116	23,4	27,47	148	57,45	62,64
224	122	29,79	34,07	139	47,87	52,75	122	29,79	34,07	139	47,87	52,75
225	123	30,85	35,16	148	57,45	62,64	123	30,85	35,16	148	57,45	62,64
312	101	7,45	10,99	124	31,91	36,26	101	7,45	10,99	124	31,91	36,26
313	136	44,68	49,45	163	73,4	79,12	136	44,68	49,45	185	96,81	103,3
314	122	29,79	34,07	137	45,74	50,55	122	29,79	34,07	141	50	54,95
315	139	47,87	52,75	154	63,83	69,23	139	47,87	52,75	188	100	106,59
322	114	21,28	25,27	131	39,36	43,96	114	21,28	25,27	131	39,36	43,96
323	136	44,68	49,45	163	73,4	79,12	136	44,68	49,45	185	96,81	103,3
324	139	47,87	52,75	171	81,91	87,91	139	47,87	52,75	171	81,91	87,91
325	114	21,28	25,27	128	36,17	40,66	114	21,28	25,27	128	36,17	40,66
332	114	21,28	25,27	131	39,36	43,96	114	21,28	25,27	131	39,36	43,96
333	136	44,68	49,45	163	73,4	79,12	136	44,68	49,45	185	96,81	103,3
334	139	47,87	52,75	171	81,91	87,91	139	47,87	52,75	171	81,91	87,91
335	105	11,7	15,38	116	23,4	27,47	105	11,7	15,38	117	24,47	28,57
421	104	10,64	14,29	124	31,91	36,26	104	10,64	14,29	124	31,91	36,26
413	118	25,53	29,67	167	77,66	83,52	118	25,53	29,67	170	80,85	86,81
414	120	27,66	31,87	146	55,32	60,44	120	27,66	31,87	149	58,51	63,74
415	112	19,15	23,08	112	19,15	23,08	112	19,15	23,08	112	19,15	23,08
422	139	47,87	52,75	159	69,15	74,73	139	47,87	52,75	159	69,15	74,73
423	133	41,49	46,15	156	65,96	71,43	133	41,49	46,15	156	65,96	71,43
424	140	48,94	53,85	146	55,32	60,44	140	48,94	53,85	146	55,32	60,44
425	135	43,62	48,35	135	43,62	48,35	135	43,62	48,35	135	43,62	48,35
432	116	23,4	27,47	153	62,77	68,13	116	23,4	27,47	153	62,77	68,13
433	132	40,43	45,05	144	53,19	58,24	132	40,43	45,05	149	58,51	63,74
434	132	40,43	45,05	133	41,49	46,15	132	40,43	45,05	133	41,49	46,15
435	180	91,49	97,8	203	115,96	123,08	180	91,49	97,8	203	115,96	123,08
442	127	35,11	39,56	156	65,96	71,43	127	35,11	39,56	162	72,34	78,02
443	120	27,66	31,87	152	61,7	67,03	120	27,66	31,87	152	61,7	67,03
444	145	54,26	59,34	184	95,74	102,2	147	56,38	61,54	184	95,74	102,2
445	179	90,43	96,7	199	111,7	118,68	179	90,43	96,7	199	111,7	118,68
512	101	7,45	10,99	101	7,45	10,99	101	7,45	10,99	101	7,45	10,99
513	113	20,21	24,18	131	39,36	43,96	113	20,21	24,18	150	59,57	64,84
514	114	21,28	25,27	137	45,74	50,55	114	21,28	25,27	137	45,74	50,55
515	124	31,91	36,26	151	60,64	65,93	124	31,91	36,26	197	109,57	116,48
522	128	36,17	40,66	133	41,49	46,15	128	36,17	40,66	133	41,49	46,15
523	120	27,66	31,87	137	45,74	50,55	120	27,66	31,87	146	55,32	60,44
524	128	36,17	40,66	136	44,68	49,45	130	38,3	42,86	137	45,74	50,55
525	135	43,62	48,35	135	43,62	48,35	135	43,62	48,35	135	43,62	48,35
532	127	35,11	39,56	146	55,32	60,44	127	35,11	39,56	146	55,32	60,44
533	110	17,02	20,88	122	29,79	34,07	110	17,02	20,88	122	29,79	34,07
534	131	39,36	43,96	142	51,06	56,04	131	39,36	43,96	148	57,45	62,64
535	190	102,13	108,79	190	102,13	108,79	190	102,13	108,79	190	102,13	108,79
542	125	32,98	37,36	130	38,3	42,86	125	32,98	37,36	130	38,3	42,86
543	128	36,17	40,66	157	67,02	72,53	128	36,17	40,66	160	70,21	75,82
544	181	92,55	98,9	181	92,55	98,9	181	92,55	98,9	181	92,55	98,9
545	171	81,91	87,91	185	96,81	103,3	171	81,91	87,91	189	101,06	107,69
552	127	35,11	39,56	156	65,96	71,43	127	35,11	39,56	162	72,34	78,02
553	120	27,66	31,87	152	61,7	67,03	120	27,66	31,87	152	61,7	67,03
554	144	53,19	58,24	183	94,68	101,1	146	55,32	60,44	184	95,74	102,2
555	171	81,91	87,91	199	111,7	118,68	171	81,91	87,91	199	111,7	118,68

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Eş zamanlı dağıtım ve toplama yapılan araç rotalama problemleri, bir veya birden fazla depodan alınan müşteri taleplerinin, araçlara yüklenerek talep noktalarına ulaştırılması, müşteriden depoya geri gönderilecek malzemenin ise, araç müşteriye uğradığı anda aynı araca yüklenerek, araçların katettiği toplam yolu en küçük yapacak şekilde, depo/depolara gönderilmesini sağlayacak araç rotalarının bulunduğu problemlerdir. Bir hipermarketin başlangıçta deposunda bulunan malzemeleri şubelerine göndermesi, şubelerinden depoya gelecek malzemeleri de dağıtım için uğradığında araca yükleyerek tekrar depoya getirmesi bu probleme örnek olarak verilebilir.

Toplama ve dağıtım problemleri, aracın depo/depolardan çıkarak kaynak müşterilerinden aldığı malzeme veya insanı hedef müşterilerine bırakarak tekrar depo/depolara, toplam katedilen yolun en küçük yapılmasını sağlayacak şekilde, dönen araç rotalarının bulunduğu problemlerdir. Bu problemlerde, müşteriler arasında malzeme değiş tokuşu yapılmakta, depodan müşterilere ve müşterilerden depoya malzeme gönderilmemektedir.

Eş zamanlı dağıtım ve toplama yapılan araç rotalama problemleri ile toplama ve dağıtım problemlerinin bileşimi olan ve tarafımızdan önerilen, müşteriler arası malzeme akışlı eş zamanlı dağıtım ve toplama yapılan araç rotalama problemi, malzemenin depodan talep eden müşterilerile taşınması, buradan aynı zamanda depoya ve diğer müşterilere gidecek malzemelerin de alınarak, depoya toplam katedilen yolu en küçük yaparak dönen araç/araçların rotaların bulunması olarak tanımlanabilir. Yukarıda verilen hipermarket örneğine, talep dalgalanmaları nedeniyle şubelerde satılamayan malzemelerin, talebin daha yoğun olduğu şube/şebelere aynı araçlarla götürülmesi durumunun ilave edilmesi, önerilen probleme örnektir.

Bu tezde, uygulama alanları dördüncü bölümde anlatılan, müşteriler arası malzeme akışlı eş zamanlı dağıtım ve toplama yapılan araç rotalama problemi, tanımlanmış ve

bu problemin çözülebilmesi için bir sezgisel algoritma sunulmuştur. Algoritma üç ana aşamadan oluşmaktadır. Gruplandırma ve hizmet önceliklerinin belirlenmesi olan ilk iki aşamanın çözümü tarafımızdan geliştirilmiştir. Son aşama olan müşteri ekleme ise, Dethloff tarafından kullanılan ekleme kriterlerinin yeni probleme uyarlanması ile yapılmıştır.

Önerilen problemin yeni olması nedeniyle, literatürde test problemi olmadığından, detaylı olarak dördüncü bölümde anlatıldığı gibi, tarafımızdan geliştirilen adımlar kullanılarak test problemleri türetilmiş ve çözümleri yapılmıştır.

Test problemlerinin çözümü incelendiğinde, ekleme kriteri Ψ_{RCRS} için en küçük katedilecek mesafenin 99 mil ile test problemi 512'de, en büyük katedilecek mesafenin 179 mil ile test problemi 445'de, ortalama katedilecek mesafenin 125,6 mil, standart sapmanın 17,35 mil olduğu; ekleme kriteri Ψ_{RC} için en küçük katedilecek mesafenin 101 mil ile test problemi 512'de, en büyük katedilecek mesafenin 203 mil ile test problemi 435'de, ortalama katedilecek mesafenin 146,43 mil, standart sapmanın 23,26 mil olduğu; ekleme kriteri Ψ_{RS} için en küçük katedilecek mesafenin 101 mil ile test problemi 512'de, en büyük katedilecek mesafenin 180 mil ile test problemi 435'de, ortalama katedilecek mesafenin 129,13 mil, standart sapmanın 17,88 mil olduğu; ekleme kriteri Ψ_{TD} için en küçük katedilecek mesafenin 101 mil ile test problemi 512'de, en büyük katedilecek mesafenin 203 mil ile test problemi 435'de, ortalama katedilecek mesafenin 156,25 mil, standart sapmanın ise, 24,53 mil olduğu görülmektedir.

Test problemlerinin çözümlerinde elde edilen toplam katedilen mesafe değerleri, müşteriler arası malzeme akışının olması nedeniyle Min ve Dethloff tarafından çözülen problemle karşılaştırıldığında, Çizelge 4.36'da görüldüğü gibi, daha büyük çıkmaktadır [20, 21]. Ancak test problemlerinin büyük bölümünde hizmetlerin iki araçla karşılanması, mesafenin artmış olmasına rağmen önemlidir. Çünkü depodan müşterilere-müşterilerden depoya malzeme akışına ilave olarak, müşteriler arası malzeme akışının da bu iki araçla yapılması, depodan yeni araç çıkarma veya

müşteriler tarafından yeni araç kiralama maliyetleri dikkate alındığında, daha ekonomik olacaktır.

Daha sonra yapılacak çalışmalarda, tarafımızdan tanımlanan probleme zaman penceresi kısıtı ilave edilerek, müşterilere istedikleri zaman aralıklarında hizmet verilmesi durumunda çözüm teknikleri geliştirilebilir.

Talep yapısının deterministik olmadığı, olasılık dağılımının bilindiği problemler için çözüm teknikleri geliştirilebilir.

Dağıtım ve toplama işleminin gerçek zamanlı (real time) olarak yapılması durumunda çözüm teknikleri geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Dantzing G.B., Ramser J.H., "The truck dispatching problem", *Management Science*, 6-80 (1959).
2. Clarke G., Wright J., "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points", *Operations Research*, 12:568-581 (1964).
3. Anily S., Mosheiov G., "The traveling salesman problem with delivery and backhauls", *Operations Research Letters*, 16:11-18 (1994).
4. Toth P., Vigo D., "An Exact Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Backhauls", *Transportation Science*, 31:372-385 (1997).
5. Mingozzi A., Simone G., Roberto B., "An Exact Method for the Vehicle Routing Problem with Backhauls", *Transportation Science*, 3:315-329 (1999).
6. Deif I., Bodin L., "Extension of the Clarke and Wright algorithm for solving the vehicle routing problem with backhauling", *Proceedings of the Babson Conference on Software Uses in Transportation and Logistic Management*, Babson Park, 75-96 (1984).
7. Yano C., Chan T., Richter L., Cutler T., Murty K., McGettigan G., "Vehicle routing at quality stores", *Interfaces*, 17:52-63 (1987).
8. Goetschalckx M., Jacobs-Blecha Ch., "The vehicle routing problem with backhauls", *European Journal of Operational Research*, 42:39-51 (1989).
9. Min H., Current J., Schilling D., "The multiple depot vehicle routing problem with backhauling", *Journal of Business Logistics*, 13:259-288 (1992).
10. Thangiah S.R., Sun T., Potvin J-Y., "Heuristic approaches to vehicle routing with backhauls and time windows", *Computers and Operations Research*, 23:1043-1057 (1996).
11. Anily S., "The vehicle-routing problem with delivery and back-haul options", *Naval Research Logistics*, 43: 415-434 (1996).
12. Toth P., Vigo D., "A heuristic algorithm for the vehicle routing problem with backhauls", *Advanced Methods in Transportation Analysis*, 585-608 (1996).
13. Gendreau M., Laporte G., Vigo D., "Heuristics for the travelling salesman problem with pickup and delivery", *Computers and Operations Research*, 26:699-714 (1999).

14. Toth P., Vigo D.A., "Heuristic algorithm for the symmetric and asymmetric vehicle routing problems with backhauls", *European Journal of Operational Research*, 113:528–543 (1999).
15. Osman I.H., Wassan N.A., "A reactive tabu search metaheuristic for the vehicle routing problem with backhauls", *Journal of Scheduling*, 5:263–285 (2002).
16. Golden B.L., Baker E.K., Alfaro J.L., Schaffer J.R., "The Vehicle Routing Problem with Backhauling: Two Approaches" *Working Paper*, MS/S, University of Maryland, College Park, 85-107 (1985).
17. Casco, D.O., Golden B.L., Wasil E.A., "Vehicle routing with backhauls: Models, algorithms, and case studies. In: Golden, B.L., Assad, A.A. (Eds.), *Vehicle Routing: Methods and Studies*", *Elsevier*, Amsterdam, 127–147 (1988).
18. Mosheiov G., "The travelling salesman problem with pick-up and delivery", *European Journal of Operational Research*, 79:299–310 (1994).
19. Salhi S., Nagy G., "A cluster insertion heuristic for single and multiple depot vehicle routing problems with backhauling", *Journal of the Operational Research Society*, 50:1034–1042 (1999).
20. Min H., "The multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up points", *Transportation Research*, 23A:377-386 (1989).
21. Dethloff J., "Vehicle routing and reverse logistics: The vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up", *OR Spektrum*, 23:79-96 (2001).
22. Angelelli E., Mansini R., "The vehicle routing problem with time windows and simultaneous pick-up and delivery, in *Quantitative Approaches to Distribution Logistics and Supply Chain Management*", *Springer-Verlag*, 249–267 (2002).
23. Tang F.A., Galvao R.D., "Vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery service", *Journal of the Operational Research Society of India*, 39:19 (2002).
24. Toth P., Vigo D., "Vehicle routing Problem", *Siam*, 1-23. (2002).
25. Hassin R., Rubinstein S., "On the complexity of the k-customer vehicle routing problem" *Operations Research Letters*, 33(1) : 71-76 (2005).
26. Carpeneto G., Toth P., "Some new branching and bounding criteria for the asymmetric travelling salesman problem", *Management Science*, 26:736-743 (1980).
27. Fischetti M., Toth P., "An additive bounding procedure for combinatorial optimization", *Operations Research*, 37:319-328 (1989).

28. Fischetti M., Toth P., Vigo D., “A brach and bound algorithm for the capacitated vehicle routing problem on directed graphs”, *Operations Research*, 42:846-859 (1994).
29. Gelinas S., Desrochers M., Desrosiers J., Solomon M., “A new branching strategy for time constrained routing problems with application to backhauling”, *Annals of Operations Research*, 61:91-109 (1995).
30. Ruland, K.S., Rodin E.Y., “The pickup and delivery problem: Faces and branch-and-cut algorithm”, *Comput. Math. Appl*, 33:1–13 (1997).
31. Padberg M., Rinaldi G., “A branch-and cut algorithm for the resolution of large-scale symmetric travelling salesman problem”, *SIAM Rewiew*, 33:60-100 (1991).
32. Hernández-Pérez, H., Salazar-González J. J., “A branch-and cut algorithm for the traveling salesman problem with pickup and delivery”, *Discrete Appl. Math*, 145:126-139 (2004).
33. Cullen F., Jarvis J., Ratliff D., “Set partitionning based heuristic for interactive routing”, *Networks*, 11:125-144 (1981).
34. Agrawal Y., Mathur K., Salkin H.M., “A set-partitionning-based exact algorithm for the vehicle routing problem”, *Networks*, 19:731-749 (1989).
35. Jaw J., Odoni Psaraftis A.R., Wilson N.H.M., “A heuristic algorithm for the multi-vehicle advance-request dial-a-ride problem with time windows”, *Transportation Research*, B20:243-257 (1986).
36. Derigs U., Metz A., “A matching-based approach for solving a delivery/pick-up VRP with time constraints”, *OR-Spektrum*, 14:91-106 (1992).
37. Mosheiov G., “Vehicle routing with pick-up and delivery: tour-partitioning heuristics”, *Computers & Industrial Engineering*, 34:669-684 (1998).
38. Toth P., Vigo D., “A heuristic algorithm for the symmetric and asymmetric vehicle routing problem with backhauls”, *European Journal of Operational Research*, 113:528-543 (1999).
39. Gendreau M., Laporte G., Vigo D., “Heuristics for the traveling salesman problem with pickup and delivery”, *Computers and Operations Research*, 26:699–714 (1999).
40. Currie R.H., Salhi S., “Exact and heuristic methods for a full-load, multi-terminal, vehicle scheduling problem with backhauling and time windows”, *Journal of the Operational Research Society*, 54:390-400 (2003).

41. Hernandez-Perez H., Salazar-Gonzalez J.J., “Heuristics for the one-commodity pickup-and-delivery traveling salesman problem”, *Transportation Science*, 38 245-255 (2004).
42. Ropke S., Pisinger D., “A unified heuristic for a large class of Vehicle Routing Problems with Backhauls”, *European Journal of Operational Research*, 171:750-775 (2006).
43. Bent R., Hentenryck P., “A two-stage hybrid algorithm for pickup and delivery vehicle routing problems with time windows”, *Computers & Operations Research*, 33:875-893 (2006).
44. Alfa A.S., Heragu S.S., Chen M., “A 3-opt based simulated annealing algorithm for vehicle routing problem”, *Computers&Industrial Engineering*, 21:635-639 (1991).
45. Osman I.H., “Metastrategy simulated annealing and tabu search algorithms for vehicle routing problem”, *Annals of Operations Research*, 41:421-451 (1993).
46. Breedam A., “Improvement heuristics for the vehicle routing problem based on simulated annealing”, *European Journal of Operations Research*, 86:480-490 (1995).
47. Duhamel C., Potvin J.-Y., Rousseau J.-M., “A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with backhauls and time windows”, *Transportation Science*, 31:49-59 (1997).
48. Landrieu A., Yazid M., Zdenek B., “A tabu search heuristic for the single vehicle pickup and delivery problem with time windows”, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 12:497–508 (2001).
49. Caricato P., Gianpaolo G., Antonio G., Emanuela G., “Parallel tabu search for a pickup and delivery problem under track contention”, *Parallel Computing*, 29:631-639 (2003).
50. Cordeau J.F., Laporte G., Mercier A., “A tabu search heuristic for the static multi-vehicle dial-a-ride problem”, *Transportation Research*, B37:579-594 (2003).
51. Currie R.H.S., Salhi N., “A Tabu Search Heuristic for a Full-Load, Multi-Terminal, Vehicle Scheduling Problem with Backhauling and Time Windows”, *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms*, 3:225-243 (2004).
52. Montané T., Galvão R.D., “A tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery service”, *Computers&Operations Research*, 33:595-619 (2006).

53. Bean J.C., "Genetic algorithms and random keys for sequencing and optimization", *ORSA Journal on Computing*, 6:154-160 (1994).
54. Potvin J.-Y., Duhamel C., Guertin F., "A genetic algorithm for vehicle routing with backhauling", *Applied Intelligence*, 6:345-355 (1996).
55. Pankratz G., "A grouping genetic algorithm for the pickup and delivery problem with time windows", *OR Spectrum*, 27:21-41 (2005).
56. Bullnheimer B., Hartl R.F., Strauss C., "An improved ant system for the vehicle routing problem", *Annals of Operations Research*, 89:319-328 (1999).
57. Doerner K., Hartl R.F., Reimann M., "Ants Solve Time Constrained Pickup and Delivery Problems with Full Truck Loads", *Operations Research Proceedings*, 395-400 (2001).
58. Ghaziri H., Osman I.H.A., "A neural network algorithm for the traveling salesman problem with backhauls", *Computers and Industrial Engineering*, 44:267-281 (2003).
59. Laporte G., Gendreau M., Potvin J., Semet F., "Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem", *International Transactions in Operational Research*, 7:285-300 (2000).
60. Internet: Berbeglia G., Cordeau J.-F., Gribkovskaia I., Laporte G., "Static Pickup and Delivery Problems: A Classification Scheme and Survey", <http://neumann.hec.ca/chairedistributique/common/PDP-TOP.pdf>, (2006).
61. Anily S., Hassin R., "The swapping problem", *Networks*, 22:419-433 (1992).
62. Dumas Y., Desrosiers J., Soumis F., "The pickup and delivery problem with time windows", *European Journal of Operational Research*, 54:7-22 (1991).
63. Baugh J.W., Krishna G., Kakivaya R., Stone J.R., "Intractability of the dial-a-ride problem and a multiobjective solution using simulated annealing", *Engineering Optimization*, 30:91-123 (1998).
64. Attanasio A., Cordeau J.F., Ghiani G., Laporte G., "Parallel Tabu Search Heuristics for the Dynamic Multi-Vehicle Dial-a-Ride Problem", *Parallel Computing*, 30:377-387 (2004).
65. Coslovich L., Pesenti R., Ukovich W., "A two-phase insertion technique of unexpected customers for a dynamic dial-a-ride problem", *European Journal of Operational Research*, 171:776-786 (2006).

EKLER

EK-1. Müşteri ekleme kriteri olarak ψ_{RCRS} kullanılarak elde edilecek çözümün MATLAB kodu

```
clear
AnaTumDugumSeti=[2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23];
%müşteriler
P=xlsread('orhan.xls');

%%DÜĞÜMLERİ GRUPLANDIRMA (BÖLÜM 1)%%
P(1,:)=0;
P(:,1)=0;
[m n]=size(P);

T=AnaTumDugumSeti;
k=length(T);
Grup=zeros(k,k);

for i=1:m
    for j=1:n
        if P(i,j)>0 Mo(i,j)=i;
        else Mo(i,j)=0;
        end
    end
end
for i=1:m
    for j=1:n
        if P(i,j)>0 Ms(i,j)=j;
        else Ms(i,j)=0;
        end
    end
end

t=0;
KT=T;
while true
    BM=[KT(1)];
    K=[Mo(:,BM)' , Ms(BM,:)];
    UK=unique(K);
    UKS=setdiff(UK,0);
    UKSON=union(BM,UKS);
    while true
        Z=[Mo(:,UKSON)];
        Y=[Ms(UKSON,:)];
        [m n]=size(Z);
        v=m*n;
        L=[];
```


EK-1. (Devam) Müşteri ekleme kriteri olarak ψ_{RCRS} kullanılarak elde edilecek çözümün MATLAB kodu

```
D=[0 2700 1500 800 1000 900 1600 800 1250 900 750 950 600 850 450 500 400
600 800 650 550 900 850]; % talep miktarları
```

```
Kapasite=10500; %Araçların kapasitesi
```

```
C=xlsread('mesafe.xls'); %Düğümmler arası en kısa yolların uzunluğu
```

```
AT=[];
```

```
ATTu=[];
```

```
ka=0;
```

```
TumDugumSeti=AnaTumDugumSeti;
```

```
CozumYok1=0;
```

```
CozumYok2=0;
```

```
CozumYok3=0;
```

```
CozumYok4=0;
```

```
CozumYok5=0;
```

```
ATTum=[];
```

```
Dugumyok=0;
```

```
Aracrota=[];
```

```
Aracrota=zeros(length(AnaTumDugumSeti)+2, length(AnaTumDugumSeti)+2);
```

```
%%%%%%%%%%%%%%BAŞLANGIÇ ALT TURUNUN OLUŞTURULMASI %
```

```
while true
```

```
    AT=[];
```

```
    TumDugumSeti=setdiff(TumDugumSeti,ATTum);
```

```
    if length(TumDugumSeti)==0 & length(ProblemlGrup)==0
```

```
        break
```

```
    end
```

```
ka=ka+1;
```

```
ilktopmes=[];
```

```
ProblemlGrup=[];
```

```
GrupEklenmeyendugumseti=[];
```

```
%%%%%%%%%%%%%%Düğümün bulunduğu grubun alt tura ilavesi%%%%%%%%
```

```
icdongu=0;
```

```
ATsecim=[];
```

```
while true
```

```
icdongu=icdongu+1;
```

```
if icdongu==1
```

```
    for dugum=1:length(TumDugumSeti)
```

```
        AT=[1 TumDugumSeti(dugum) 1];
```

```
        s=length(AT);
```

```
        MES=[];
```

```
        for j=1:s-1
```

EK-1. (Devam) Müşteri ekleme kriteri olarak ψ_{RCRS} kullanılarak elde edilecek çözümün MATLAB kodu

```

        MES(j)=C(AT(j),AT(j+1));
    end
    ilktopmes(dugum)=sum(MES);
end
[minmes,indis]= min(ilktopmes);
AT=[1 TumDugumSeti(indis) 1];
Grupeleman=AT(2);
else
Grupeleman=setdiff(ATsecim, ATdummy);
AT=ATsecim;
end %if'e ait(içdöngü )
[m n]=size(Grup); %AT matrisinine yeni eklenen düğümün gruplama matrisindeki
yerinin bulunması
Grupsat=[];
Grupsati=[];
Grupsatir=[];
for i=1:m
    for j=1:n
        if Grupeleman==Grup(i,j)
            Grupsat=Grup(i,:);
        end
    end
end
Grupsati=setdiff(Grupsat,0);
Grupsatir=setdiff(Grupsati, Grupeleman);
GrupEklenen=[];
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
while true
    if length(Grupsatir)==0
        break
    end
    GrupEklenmeyendugumseti=setdiff(Grupsatir,AT);
    s=length(AT);
    if length(GrupEklenmeyendugumseti)==0
        break
    end
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%GRUBUN DÜĞÜMLERİNİ EKLEME%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    Tamami=[];
    t3v=0;
    t1=0;
    LB=[];
    Eklemat=zeros(s-1,length(GrupEklenmeyendugumseti));
    [ToplamaSatir ToplamaSutun]=size(P);

```

EK-1. (Devam) Müşteri ekleme kriteri olarak ψ_{RCRS} kullanılarak elde edilecek çözümün MATLAB kodu

```

Isol=[];
for SolyasakDis=1:ToplamaSatir %Düğümlerin soluna eklenmesi yasaklanların
bulunması
    for SolyasakIc=1:ToplamaSutun
        if P(SolyasakDis,SolyasakIc)>0
            Isol(SolyasakDis,SolyasakIc)=SolyasakIc;
        else Isol(SolyasakDis,SolyasakIc)=0;
        end
    end
end
Isag=[];
for SagyasakDis=1:ToplamaSutun %Düğümlerin sağına eklenmesi yasaklanların
bulunması
    for SagyasakIc=1:ToplamaSatir
        if P(SagyasakIc,SagyasakDis)>0
            Isag(SagyasakIc,SagyasakDis)=SagyasakIc;
        else Isag(SagyasakIc,SagyasakDis)=0;
        end
    end
end
Isol(1,:)=0; Isol(:,1)=0;
Isol;
Isag(1,:)=0; Isag(:,1)=0;
Isag;
B=[];
K=[];
for i=1:s-1 % i düğümü ve ondan önceki düğümlerin sağına eklenmesi yasaklanan
düğümleri bulma
    B=AT(i:-1:1);
    K=Isag(:,B);
    [m n]=size(K);
    y=m*n;
    Z=[];
    for d=1:y % matris şeklinde çıkan yapıyı vektöre dönüştürme
        Z(d)=K(d);
    end
    Z;
    N=[];
    L=[];
    j=i+1; % j düğümü ve ondan sonraki düğümlerin soluna eklenmesi yasaklanan
düğümleri bulma
    N=AT(j:1:s);
    L=Isol(N,:);

```

EK-1. (Devam) Müşteri ekleme kriteri olarak ψ_{RCRS} kullanılarak elde edilecek çözümün MATLAB kodu

```
[k l]=size(L);
v=k*1;
F=[];
for p=1:v % matris şeklinde çıkan yapıyı vektöre dönüştürme
    F(p)=L(p);
end
Tamami=[Z,F];
Eklenebilecek=setdiff(GrupEklenmeyendugumseti,Tamami);
for aralik=1:length(Eklenebilecek)
    Eklemat(i,aralik)=Eklenebilecek(aralik);
end
end
%%%%Eklenebilecek düğümlerin aynı gruptan olmalarının sağlanması
Bulunan=ismember(Eklemat, GrupEklenmeyendugumseti);
Eklematson=Eklemat.*Bulunan;
%%%%Son
i=[];
RD=[];
RP=[];
ONCE=[];
SONRA=[];
ONCEK=[];
s=length(AT);
AT_yeni=zeros(1,s+1);
AT_mat=[];
i(AT(1))=sum(D(AT)); % RD ve I hesabı
RD(AT(1))=Kapasite-i(AT(1));
for x=2 :(s-1)
    ONCE=AT(x:-1:2);
    SONRA=AT(x:1:s);
    i(AT(x))=i(AT(x-1))-D(AT(x))-
sum(sum(P(ONCE,AT(x))))+sum(sum(P(AT(x),SONRA)));
    RD(AT(x))=min( RD(AT(x-1)),Kapasite-i(AT(x)));
end
    ONCEK=AT(s-1:-1:2);
    RP( AT(s-1))=Kapasite-sum(P(ONCEK,1)); %RP hesabı
for y=(s-2):-1:1
    RP( AT(y))=min( RP(AT(y+1)), Kapasite-i(AT(y)) );
end
[p r]=size(Eklematson);
for a=1:p
    for b=1:r
```


EK-1. (Devam) Müşteri ekleme kriteri olarak ψ_{RCRS} kullanılarak elde edilecek çözümün MATLAB kodu

```

        if Eklematson(a,b)>0 & D(Eklematson(a,b))<=RD(AT(a)) &
sum(P(Eklematson(a,b,:),:))<=RP(AT(a))
            AT_yeni=[AT(1:a),Eklematson(a,b),AT(a+1:s)];
            AT_mat=[AT_mat;AT_yeni];

        end
    end
end
[matsat matsut]=size(AT_mat);
if matsat==0 & matsut==0 & icdongu>1
    ProblemlGrup=[ProblemlGrup,Grupsati];
    AT=dugumcik(AT, ProblemlGrup);
    break
end
if matsat==0 & matsut==0 & icdongu==1
    CozumYok1=1;
    break
end
%%%%%%Oluşturulan ilk alt tur matrisinin satırlarının testi
ATdummy=AT;
for sec=1:matsat
    LB=[];
    AT=AT_mat(sec,:);
    s=length(AT);
    i=[];
    RD=[];
    RP=[];
    CD=[];
    T=[];
    RDT=[];
    R=[];
    RPT=[];
    K=[];
    D1=[];
    D2=[];
    ONCE=[];
    SONRA=[];
    ONCEK=[];
    İlkEklenmeyenSeti=[];
    i(AT(1))=sum(D(AT)); % RD ve I hesabı
    RD(AT(1))=Kapasite-i(AT(1));
    for x=2 :(s-1)
        ONCE=AT(x:-1:2);

```

EK-1. (Devam) Müşteri ekleme kriteri olarak ψ_{RCRS} kullanılarak elde edilecek çözümün MATLAB kodu

```

        SONRA=AT(x:1:s);
        i(AT(x))=i(AT(x-1))-D(AT(x))-
sum(sum(P(ONCE,AT(x))))+sum(sum(P(AT(x),SONRA)));
        RD(AT(x))=min( RD(AT(x-1)),Kapasite-i(AT(x)));
    end
        ONCEK=AT(s-1:-1:2);
        RP( AT(s-1))=Kapasite-sum(P(ONCEK,1)); %RP hesabı
    for y=(s-2):-1:1
        RP( AT(y))=min( RP(AT(y+1)), Kapasite-i(AT(y)) );
    end
    for i=3:s
        CD(AT(2))=C(AT(1),AT(2));
        CD(AT(i))=CD(AT(i-1))+C(AT(i-1),AT(i));
    end
    TK=[];
    for j=1:(s-1)
        TK(j)=RD(AT(j))*CD(AT(j+1));
        RDT=(sum(TK))/(sum(CD));
    end
    CP=[];
    for t=(s-2):-1:1
        CP(AT(s-1))=C(AT(s-1),AT(s));
        CP(AT(t))=CP(AT(t+1))+C(AT(t),AT(t+1));
    end
    R=[];
    for k=s-1:-1:1
        R(k)=RP(AT(k))*CP(AT(k));
        RPT=(sum(R))/(sum(CP));
    end
%%%%
    İlkEklenmeyenSeti=setdiff(TumDugumSeti, AT);
    KA=[];
    KAT=[];
    KA=P(IlkEklenmeyenSeti,:);
    KAT=P(TumDugumSeti,:);
    a1=(sum(D(IlkEklenmeyenSeti)))/(sum(D(TumDugumSeti)));
    a2=1-(RDT/Kapasite);
    b1=sum(sum(KA))/sum(sum(KAT));
    b2=(1-(RPT/Kapasite));
    TC=(a1*a2)+(b1*b2); %Araç kullanım yüzdesi

    k1=length(ATdummy);
    k2=length(AT);

```

EK-1. (Devam) Müşteri ekleme kriteri olarak ψ_{RCRS} kullanılarak elde edilecek çözümün MATLAB kodu

```

for u=1:k1-1
    D1(u)=C(ATdummy(u),ATdummy(u+1));
    ToplamMesafe1=sum(D1);
end
for u=1:k2-1
    D2(u)=C(AT(u),AT(u+1));
    ToplamMesafe2=sum(D2);
end
TD=ToplamMesafe2-ToplamMesafe1;

GrubaEklenenDugum=setdiff(AT,ATdummy);
%Satır LB'lerinin bulunması%%%%%%%%%%

LB(sec)=TD+(lamda(md)*TC*(2*max(max(C))-min(min(C))))-
(beta(nb)*2*C(1,GrubaEklenenDugum));
end %%%döngü sonu seç'in
[t3v t1]=min(LB);
AT=AT_mat(t1,:);

if ismember(Grupsatir, AT)
    break
end

end %tur geliştirme döngüsü içteki while için

%%%%%%%%%%YENİ GRUPTAN BİR DÜĞÜMÜNÜN İLAVESİ%%%%%%%%%%
t3v=0;
t1=0;
LB=[];
if length(AT)==length(AnaTumDugumSeti)+2
    break
end

Eklenmeyendugumsetimiz=setdiff(TumDugumSeti, AT);
Eklenmeyendugumseti=setdiff(Eklenmeyendugumsetimiz, ProblemlGrup);

if length(Eklenmeyendugumsetimiz)==0 & length(ProblemlGrup)==0
    break
end

if CozumYok1==1
    CozumYok2=1;
    Break

```

EK-1. (Devam) Müşteri ekleme kriteri olarak ψ_{RCRS} kullanılarak elde edilecek çözümün MATLAB kodu

```

end

if length(Eklenmeyendugumseti)==0 & length(ProblemlGrup)>0
    Dugumyok=1;
    break
end

s=length(AT);
Eklemat=zeros(s-1,length(Eklenmeyendugumseti));
[ToplamaSatir ToplamaSutun]=size(P);
Isol=[];
for SolyasakDis=1:ToplamaSatir %Düğümünün soluna eklenmesi yasaklanların
    bulunması
        for SolyasakIc=1:ToplamaSutun
            if P(SolyasakDis,SolyasakIc)>0
                Isol(SolyasakDis,SolyasakIc)=SolyasakIc;
            else Isol(SolyasakDis,SolyasakIc)=0;
            end
        end
    end
    Isag=[];
    for SagyasakDis=1:ToplamaSutun %Düğümünün sağına eklenmesi yasaklanların
        bulunması
            for SagyasakIc=1:ToplamaSatir
                if P(SagyasakIc,SagyasakDis)>0
                    Isag(SagyasakIc,SagyasakDis)=SagyasakIc;
                else Isag(SagyasakIc,SagyasakDis)=0;
                end
            end
        end
    end
    Isol(1,:)=0; Isol(:,1)=0;
    Isol;
    Isag(1,:)=0; Isag(:,1)=0;
    Isag;
    B=[];
    K=[];
    for i=1:s-1 % i düğümü ve ondan önceki düğümlerin sağına eklenmesi yasaklanan
        düğümleri bulma
            B=AT(i:-1:1);
            K=Isag(:,B);
            [m n]=size(K);
            y=m*n;
            Z=[];

```

EK-1. (Devam) Müşteri ekleme kriteri olarak ψ_{RCRS} kullanılarak elde edilecek çözümün MATLAB kodu

```

for d=1:y % matris şeklinde çıkan yapıyı vektöre dönüştürme
Z(d)=K(d);
end
Z;
N=[];
L=[];
j=i+1; % j düğümü ve ondan sonraki düğümlerin soluna eklenmesi yasaklanan
düğümleri bulma
N=AT(j:1:s);
L=Isol(N,:);
[k l]=size(L);
v=k*1;
F=[];
for p=1:v % matris şeklinde çıkan yapıyı vektöre dönüştürme
F(p)=L(p);
end
Tamami=[Z,F];
Eklenebilecek=setdiff(Eklenmeyendugumseti,Tamami);
for aralik=1:length(Eklenebilecek)
Eklemat(i,aralik)=Eklenebilecek(aralik);
end
end
i=[];
RD=[];
RP=[];
ONCE=[];
SONRA=[];
ONCEK=[];
s=length(AT);
AT_yeni=zeros(1,s+1);
AT_mat=[];
i(AT(1))=sum(D(AT)); % RD ve I hesabı
RD(AT(1))=Kapasite-i(AT(1));
for x=2 :(s-1)
ONCE=AT(x:-1:2);
SONRA=AT(x:1:s);
i(AT(x))=i(AT(x-1))-D(AT(x))-
sum(sum(P(ONCE,AT(x))))+sum(sum(P(AT(x),SONRA)));
RD(AT(x))=min( RD(AT(x-1)),Kapasite-i(AT(x)));
end
ONCEK=AT(s-1:-1:2);
RP( AT(s-1))=Kapasite-sum(P(ONCEK,1)); %RP hesabı
for y=(s-2):-1:1

```

EK-1. (Devam) Müşteri ekleme kriteri olarak ψ_{RCRS} kullanılarak elde edilecek çözümün MATLAB kodu

```

        RP( AT(y))=min( RP(AT(y+1)), Kapasite-i(AT(y)) );
    end
    [p r]=size(Eklemat);
    for a=1:p
        for b=1:r
            if Eklemat(a,b)>0 & D(Eklemat(a,b))<=RD(AT(a)) &
sum(P(Eklemat(a,b,:))<=RP(AT(a))
                AT_yeni=[AT(1:a),Eklemat(a,b),AT(a+1:s)];
                AT_mat=[AT_mat;AT_yeni];

            end
        end
    end

[matsat matsut]=size(AT_mat);

if matsat==0 & matsut==0
    break
end
%%%Oluşturulan ilk alt tur matrisinin satırlarının testi
ATdummy=AT;
for sec=1:matsat
    AT=AT_mat(sec,:);
    s=length(AT);
    i=[];
    RD=[];
    RP=[];
    CD=[];
    T=[];
    RDT=[];
    R=[];
    RPT=[];
    K=[];
    D1=[];
    D2=[];
    ONCE=[];
    SONRA=[];
    ONCEK=[];
    i(AT(1))=sum(D(AT)); % RD ve I hesabı
    RD(AT(1))=Kapasite-i(AT(1));
    for x=2 :(s-1)
        ONCE=AT(x:-1:2);
        SONRA=AT(x:1:s);
    end
end

```

EK-1. (Devam) Müşteri ekleme kriteri olarak ψ_{RCRS} kullanılarak elde edilecek çözümün MATLAB kodu

```

        i(AT(x))=i(AT(x-1))-D(AT(x))-
sum(sum(P(ONCE,AT(x))))+sum(sum(P(AT(x),SONRA)));
        RD(AT(x))=min( RD(AT(x-1)),Kapasite-i(AT(x)));
    end
        ONCEK=AT(s-1:-1:2);
        RP( AT(s-1))=Kapasite-sum(P(ONCEK,1)); %RP hesabı
    for y=(s-2):-1:1
        RP( AT(y))=min( RP(AT(y+1)), Kapasite-i(AT(y)) );
    end
    for i=3:s
        CD(AT(2))=C(AT(1),AT(2));
        CD(AT(i))=CD(AT(i-1))+C(AT(i-1),AT(i));
    end
    TS=[];
    for j=1:(s-1)
        TS(j)=RD(AT(j))*CD(AT(j+1));
        RDT=(sum(TS))/(sum(CD));
    end
    CP=[];
    for t=(s-2):-1:1
        CP(AT(s-1))=C(AT(s-1),AT(s));
        CP(AT(t))=CP(AT(t+1))+C(AT(t),AT(t+1));
    end
    RV=[];
    for k=s-1:-1:1
        RV(k)=RP(AT(k))*CP(AT(k));
        RPT=(sum(RV))/(sum(CP));
    end

%%%%
    KAS=[];
    KAP=[];
    KAP=P(Eklenmeyendugumseti,:);
    KAS=P(TumDugumSeti,:);
    a1=(sum(D(Eklenmeyendugumseti)))/(sum(D(TumDugumSeti)));
    a2=1-(RDT/Kapasite);
    b1=sum(sum(KAP))/sum(sum(KAS));
    b2=(1-(RPT/Kapasite));
    TC=(a1*a2)+(b1*b2); %Araç kullanım yüzdesi

    k1=length(ATdummy);
    k2=length(AT);
    for u=1:k1-1

```

EK-1. (Devam) Müşteri ekleme kriteri olarak ψ_{RCRS} kullanılarak elde edilecek çözümün MATLAB kodu

```

        D1(u)=C(ATdummy(u),ATdummy(u+1));
        ToplamMesafe1=sum(D1);
    end
    for u=1:k2-1
        D2(u)=C(AT(u),AT(u+1));
        ToplamMesafe2=sum(D2);
    end
    TD=ToplamMesafe2-ToplamMesafe1;
    TekEklenen=setdiff(AT,ATdummy);

    LB(sec)=TD+(lamda(md)*TC*(2*max(max(C))-min(min(C))))-
(beta(nb)*2*C(1,TekEklenen));
    %%%%%%%%%%%
end

if length(AT)==length(AnaTumDugumSeti)+2
    break
end
[t3v t1]=min(LB);
ATsecim=AT_mat(t1,:);
if length(Eklenmeyendugumseti)==0
    break
end

%%%%%%%%%%

end %%%%%%%%%düğüm ekleme while sonu%%%%%%%%

%%%%%%%%%%
if CozumYok1 & CozumYok2==1
    CozumYok3=1;
    break
end

if length(AT)>0
    for g=1:length(AT)
        Aracrota(ka,g)=AT(g);
    end
    [m n]=size(Aracrota);
    ATTurboy=m*n;
    for matvek=1:ATTurboy
        if Aracrota(matvek) >0
            ATTu(matvek)=Aracrota(matvek);

```


EK-1. (Devam) Müşteri ekleme kriteri olarak ψ_{RCRS} kullanılarak elde edilecek çözümün MATLAB kodu

end

%%%

end % beta döngüsü

%%%

if CozumYok4==1

 CozumYok5=1;

break

end

%%%

end % lamda döngüsü

%%%

if CozumYok5==1

 disp ('Problemin çözümü yok');

 disp ('Araç kapasitesi yeterli değil');

end

disp ('tura dahil edilmeyen müşteri kalmadi');

optTTT

optmd

optnb

optAracrota

EK-2. MATLAB uygulama kılavuzu.

1. M file açarak EK-1’de verilen kodu buraya yapıştır ve C:\Program files\Matlab\Work klasörüne kaydet.

2. Aşağıda verilen fonksiyonu “DUGUMCIK.M” olarak C:\Program files\Matlab\Work klasörüne kopyala.

```
function C=dugumcik(AT, ProblemlGrup)
F=setdiff(AT,ProblemlGrup);
d=length(AT);
k=1;
C=AT;
while true
    if ismember(C(k),ProblemlGrup)
        C(k)=[];
        k=k;
    else C(k)=C(k)
        k=k+1;
    end
    if ismember(C,F)
        break
    end
end
```

3. Mesafe matrisini C:\Program files\Matlab\Work klasörüne “mesafe.xls”, P matrisini C:\Program files\Matlab\Work klasörüne “orhan.xls” olarak kopyala.

4. Editör penceresindeki Debug menüsünden Run seçeneği ile program çalıştırılır.

5. Sonuçlar MATLAB tarafından “Command Window” bölümüne yazılır.

[illegible]

[illegible]

[illegible]

EK-8. Müşteri ekleme kriteri ψ_{RCRS} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 112

Katedilen Toplam Mesafe = 124

$\lambda = 0$

$\gamma = 0.9$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	10	22	23	4	6	7	16	12	13	17	5	11	1
Rota 2:	1	2	14	20	15	8	9	3	18	19	21	1		

Test Problemi 113

Katedilen Toplam Mesafe = 105

$\lambda = 0.9$

$\gamma = 0.7$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	5	11	12	16	7	6	4	23	22	17	18	13	1
Rota 2:	1	2	8	14	20	15	19	3	9	10	21	1		

Test Problemi 114

Katedilen Toplam Mesafe = 132

$\lambda = 0.1$

$\gamma = 0.3$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	5	22	15	23	4	6	7	16	8	17	9	13	1
Rota 2:	1	2	18	19	3	10	21	11	12	20	14	1		

Test Problemi 115

Katedilen Toplam Mesafe = 133

$\lambda = 0.4$

$\gamma = 0.2$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	9	10	11	17	14	15	7	16	20	18	21	8	13	1
Rota 2:	1	2	12	19	3	6	4	22	23	5	1				

Test Problemi 212

Katedilen Toplam Mesafe = 108

$\lambda = 0.1$

$\gamma = 1$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	21	5	13	20	12	16	7	6	4	23	9	11	1
Rota 2:	1	8	14	15	2	19	3	22	10	17	18	1		

Test Problemi 213

Katedilen Toplam Mesafe = 114

$\lambda = 0.4$

$\gamma = 0.2$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	11	8	21	9	10	17	19	18	15	16	12	20	14	13	1
Rota 2:	1	5	2	3	7	6	4	23	22	1						

EK-8. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{RCRS} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 214

Katedilen Toplam Mesafe = 113

$\lambda = 0.7$

$\gamma = 0.8$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 21 15 16 7 6 4 23 9 22 11 17 19 13 1

Rota 2: 1 8 2 20 12 14 18 3 10 5 1

Test Problemi 215

Katedilen Toplam Mesafe = 126

$\lambda = 0.6$

$\gamma = 0.7$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 5 15 12 16 7 6 4 9 11 10 17 13 1

Rota 2: 1 2 19 18 20 14 21 3 23 22 8 1

Test Problemi 222

Katedilen Toplam Mesafe = 106

$\lambda = 0$

$\gamma = 0.9$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 5 13 21 9 23 4 6 7 16 15 12 11 1

Rota 2: 1 2 20 14 8 17 10 22 3 19 18 1

Test Problemi 223

Katedilen Toplam Mesafe = 116

$\lambda = 0$

$\gamma = 0.6$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 17 2 3 4 6 7 16 18 8 13 1

Rota 2: 1 11 10 21 14 12 20 15 19 9 23 22 5 1

Test Problemi 224

Katedilen Toplam Mesafe = 116

$\lambda = 0.2$

$\gamma = 0.7$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 15 3 16 7 6 4 23 9 17 19 18 13 1

Rota 2: 1 11 8 10 2 20 12 14 21 22 5 1

Test Problemi 225

Katedilen Toplam Mesafe = 142

$\lambda = 0$

$\gamma = 0.3$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 15 14 6 9 10 7 16 19 20 17 8 13 1

Rota 2: 1 11 21 12 2 3 22 23 4 5 1

EK-8. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{RCRS} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 312

Katedilen Toplam Mesafe = 101

$\lambda = 0$

$\gamma = 0.8$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 5 17 9 22 23 4 6 7 16 18 13 1

Rota 2: 1 11 12 20 14 15 2 19 3 10 21 1

Test Problemi 313

Katedilen Toplam Mesafe = 132

$\lambda = 0.2$

$\gamma = 0.3$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 10 17 19 18 11 12 20 9 23 22 21 13 1

Rota 2: 1 14 2 3 5 4 6 7 16 15 1

Test Problemi 314

Katedilen Toplam Mesafe = 125

$\lambda = 0.9$

$\gamma = 0.5$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 11 10 14 12 16 15 20 17 9 23 22 21 13 1

Rota 2: 1 2 7 6 4 3 19 18 5 1

Test Problemi 315

Katedilen Toplam Mesafe = 145

$\lambda = 0.1$

$\gamma = 0.9$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 20 22 21 14 12 16 7 15 17 9 23 18 13 1

Rota 2: 1 2 5 10 6 4 3 19 8 11 1

Test Problemi 322

Katedilen Toplam Mesafe = 111

$\lambda = 0.1$

$\gamma = 0.7$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 21 10 16 7 6 4 23 22 5 9 17 13 1

Rota 2: 1 11 8 14 12 20 15 2 3 19 18 1

Test Problemi 323

Katedilen Toplam Mesafe = 132

$\lambda = 0.2$

$\gamma = 0.3$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 10 17 19 18 11 12 20 9 23 22 21 13 1

Rota 2: 1 14 2 3 5 4 6 7 16 15 1

EK-8. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{RCRS} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 324

Katedilen Toplam Mesafe = 129

$\lambda = 0.1$

$\gamma = 0.9$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 5 10 13 12 16 7 6 15 19 9 17 8 1

Rota 2: 1 21 18 14 20 2 3 4 23 22 11 1

Test Problemi 325

Katedilen Toplam Mesafe = 114

$\lambda = 0$

$\gamma = 0.2$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 14 2 16 6 4 3 17 18 21 13 1

Rota 2: 1 15 7 12 20 19 10 9 23 22 11 5 1

Test Problemi 332

Katedilen Toplam Mesafe = 111

$\lambda = 0.1$

$\gamma = 0.7$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 21 10 16 7 6 4 23 22 5 9 17 13 1

Rota 2: 1 11 8 14 12 20 15 2 3 19 18 1

Test Problemi 333

Katedilen Toplam Mesafe = 132

$\lambda = 0.2$

$\gamma = 0.3$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 10 17 19 18 11 12 20 9 23 22 21 13 1

Rota 2: 1 14 2 3 5 4 6 7 16 15 1

Test Problemi 334

Katedilen Toplam Mesafe = 129

$\lambda = 0.1$

$\gamma = 0.9$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 5 10 13 12 16 7 6 15 19 9 17 8 1

Rota 2: 1 21 18 14 20 2 3 4 23 22 11 1

Test Problemi 335

Katedilen Toplam Mesafe = 105

$\lambda = 0$

$\gamma = 0.2$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 21 10 22 23 9 17 19 18 14 20 12 8 13 1

Rota 2: 1 2 15 16 7 3 6 4 5 11 1

EK-8. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{RCRS} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 412

Katedilen Toplam Mesafe = 102

$\lambda = 0.1$

$\gamma = 0$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 11 21 10 17 19 18 15 16 7 12 20 14 8 13 1

Rota 2: 1 2 3 9 6 4 23 22 5 1

Test Problemi 413

Katedilen Toplam Mesafe = 116

$\lambda = 0.1$

$\gamma = 0.9$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 11 13 12 15 16 7 6 4 23 17 9 18 8 1

Rota 2: 1 2 19 21 14 20 10 3 22 5 1

Test Problemi 414

Katedilen Toplam Mesafe = 125

$\lambda = 0$

$\gamma = 0.7$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 11 14 12 7 6 4 23 10 9 8 13 1

Rota 2: 1 2 15 18 16 19 21 20 17 3 22 5 1

Test Problemi 415

Katedilen Toplam Mesafe = 112

$\lambda = 0$

$\gamma = 0$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 19 17 9 23 22 21 11 8 15 14 20 12 13 1

Rota 2: 1 2 16 7 6 4 3 10 5 1

Test Problemi 422

Katedilen Toplam Mesafe = 144

$\lambda = 0$

$\gamma = 1$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 2 9 3 16 7 6 13 11 20 1

Rota 2: 1 18 17 10 22 23 4 5 8 14 12 15 19 21 1

Test Problemi 423

Katedilen Toplam Mesafe = 132

$\lambda = 0.2$

$\gamma = 1$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 2 10 3 4 6 7 11 13 20 1

Rota 2: 1 21 5 22 23 9 17 19 18 15 16 12 14 8 1

EK-8. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{RCRS} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 424

Katedilen Toplam Mesafe = 128

$\lambda = 0.2$

$\gamma = 0.3$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 11 12 20 14 5 10 9 17 19 21 22 8 13 1

Rota 2: 1 18 15 2 3 16 7 6 4 23 1

Test Problemi 425

Katedilen Toplam Mesafe = 130

$\lambda = 0.5$

$\gamma = 0.2$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 17 9 23 3 16 7 15 14 12 8 13 1

Rota 2: 1 11 10 20 2 19 21 22 4 6 5 1

Test Problemi 432

Katedilen Toplam Mesafe = 116

$\lambda = 0$

$\gamma = 0.6$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 11 13 17 9 10 23 6 7 16 12 14 8 1

Rota 2: 1 2 15 20 18 19 21 3 4 22 5 1

Test Problemi 433

Katedilen Toplam Mesafe = 125

$\lambda = 0.2$

$\gamma = 0.3$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 2 8 19 3 4 23 22 17 10 13 1

Rota 2: 1 5 9 14 20 12 6 7 16 15 18 21 11 1

Test Problemi 434

Katedilen Toplam Mesafe = 124

$\lambda = 0$

$\gamma = 0.3$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 15 16 12 20 7 6 23 10 9 17 8 13 1

Rota 2: 1 11 14 2 19 21 3 4 22 5 1

Test Problemi 435

Katedilen Toplam Mesafe = 174

$\lambda = 0.5$

$\gamma = 0.8$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 2 3 4 5 13 17 6 16 15 19 18 1

Rota 2: 1 20 14 21 7 12 11 9 22 23 8 10 1

EK-8. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{RCRS} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 442

Katedilen Toplam Mesafe = 124

$\lambda = 0$

$\gamma = 0.9$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 10 22 23 4 6 7 16 12 13 17 5 11 1

Rota 2: 1 2 14 20 15 8 9 3 18 19 21 1

Test Problemi 443

Katedilen Toplam Mesafe = 130

$\lambda = 0$

$\gamma = 0.3$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 11 12 20 21 17 18 19 9 10 23 22 13 1

Rota 2: 1 14 15 2 5 3 4 6 7 16 1

Test Problemi 444

Katedilen Toplam Mesafe = 144

$\lambda = 0.3$

$\gamma = 0.8$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 14 15 16 6 7 8 9 10 17 11 12 13 1

Rota 2: 1 18 2 19 20 21 3 22 23 4 5 1

Test Problemi 445

Katedilen Toplam Mesafe = 179

$\lambda = 0$

$\gamma = 1$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 12 13 14 15 7 8 16 22 23 9 10 11 1

Rota 2: 1 2 3 4 5 17 6 18 19 20 21 1

Test Problemi 512

Katedilen Toplam Mesafe = 99

$\lambda = 0.6$

$\gamma = 0.6$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 13 17 10 9 23 4 6 7 16 15 14 21 1

Rota 2: 1 11 12 20 18 19 2 3 22 5 1

Test Problemi 513

Katedilen Toplam Mesafe = 111

$\lambda = 0.9$

$\gamma = 0.1$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 13 21 18 20 16 19 15 14 8 17 10 9 22 5 1

Rota 2: 1 2 3 23 4 6 7 12 11 1

EK-8. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{RCRS} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 514

Katedilen Toplam Mesafe = 114

$\lambda = 0$

$\gamma = 0.2$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 13 2 17 3 4 6 7 16 15 14 1

Rota 2: 1 18 20 12 19 8 11 21 10 9 23 22 5 1

Test Problemi 515

Katedilen Toplam Mesafe = 127

$\lambda = 0.2$

$\gamma = 1$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 20 19 21 13 17 22 23 4 6 7 16 15 14 1

Rota 2: 1 8 12 11 10 2 3 9 5 1

Test Problemi 522

Katedilen Toplam Mesafe = 118

$\lambda = 0.3$

$\gamma = 0.3$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 19 15 7 16 12 20 14 17 6 4 5 13 1

Rota 2: 1 2 21 10 9 3 23 22 8 11 1

Test Problemi 523

Katedilen Toplam Mesafe = 112

$\lambda = 0.1$

$\gamma = 0.3$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 2 3 4 6 7 16 12 14 13 1

Rota 2: 1 18 21 20 11 5 22 23 9 10 17 19 15 8 1

Test Problemi 524

Katedilen Toplam Mesafe = 114

$\lambda = 0.8$

$\gamma = 0.2$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 17 10 22 21 20 12 16 7 6 15 14 13 1

Rota 2: 1 11 8 2 19 3 9 23 4 5 1

Test Problemi 525

Katedilen Toplam Mesafe = 108

$\lambda = 0.5$

$\gamma = 0.7$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 2 3 4 6 7 16 15 14 17 13 1

Rota 2: 1 11 8 18 19 12 20 21 10 9 23 22 5 1

EK-8. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{RCRS} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 532

Katedilen Toplam Mesafe = 120

$\lambda = 0.1$

$\gamma = 0.7$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 21 15 16 7 6 4 23 22 5 8 10 17 13 1

Rota 2: 1 18 20 12 19 2 3 9 14 11 1

Test Problemi 533

Katedilen Toplam Mesafe = 110

$\lambda = 0$

$\gamma = 0.4$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 19 22 23 9 10 17 21 8 12 20 14 13 1

Rota 2: 1 5 2 3 4 6 7 16 15 11 1

Test Problemi 534

Katedilen Toplam Mesafe = 122

$\lambda = 0$

$\gamma = 0.3$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 11 19 18 14 15 16 7 6 10 9 17 8 13 1

Rota 2: 1 20 12 21 2 3 22 23 4 5 1

Test Problemi 535

Katedilen Toplam Mesafe = 144

$\lambda = 1$

$\gamma = 0.7$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 14 15 7 16 12 11 17 9 23 10 13 1

Rota 2: 1 19 18 20 2 3 4 5 22 6 21 1

Test Problemi 542

Katedilen Toplam Mesafe = 121

$\lambda = 0.1$

$\gamma = 0.4$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 14 12 16 15 19 17 9 22 23 10 21 13 1

Rota 2: 1 18 20 2 3 6 7 4 5 11 1

Test Problemi 543

Katedilen Toplam Mesafe = 123

$\lambda = 0$

$\gamma = 0.9$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 5 13 14 20 12 17 22 23 6 7 16 15 1

Rota 2: 1 8 2 19 3 4 9 10 18 21 1

EK-8. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{RCRS} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 544

Katedilen Toplam Mesafe = 161

$\lambda = 0$

$\gamma = 0.8$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 10 13 11 12 6 7 16 9 8 1

Rota 2: 1 20 21 2 3 22 23 4 5 1

Rota 3: 1 14 18 15 19 17 1

Test Problemi 545

Katedilen Toplam Mesafe = 158

$\lambda = 0$

$\gamma = 1$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 16 7 20 21 22 23 9 10 13 11 12 8 1

Rota 2: 1 2 3 4 5 14 17 6 15 19 18 1

Test Problemi 552

Katedilen Toplam Mesafe = 124

$\lambda = 0$

$\gamma = 0.9$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 10 22 23 4 6 7 16 12 13 17 5 11 1

Rota 2: 1 2 14 20 15 8 9 3 18 19 21 1

Test Problemi 553

Katedilen Toplam Mesafe = 130

$\lambda = 0$

$\gamma = 0.3$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 11 12 20 21 17 18 19 9 10 23 22 13 1

Rota 2: 1 14 15 2 5 3 4 6 7 16 1

Test Problemi 554

Katedilen Toplam Mesafe = 143

$\lambda = 0.3$

$\gamma = 0.8$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 14 15 16 6 7 8 9 10 17 11 12 13 1

Rota 2: 1 18 2 19 20 21 3 23 4 22 5 1

Test Problemi 555

Katedilen Toplam Mesafe = 171

$\lambda = 0.2$

$\gamma = 0.7$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 13 14 15 16 7 23 9 10 11 12 17 1

Rota 2: 1 18 19 20 21 2 3 4 5 22 6 1

EK-9. Müşteri ekleme kriteri ψ_{RC} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 112

Katedilen Toplam Mesafe = 171

$\lambda = 0.8$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	20	14	18	19	16	8	21	17	9	10	11	15	12	13	1
Rota 2:	1	6	2	7	22	23	3	4	5	1						

Test Problemi 113

Katedilen Toplam Mesafe = 116

$\lambda = 0.1$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	8	19	9	22	10	17	11	12	20	14	15	18	21	13	1
Rota 2:	1	5	23	4	6	7	16	2	3	1						

Test Problemi 114

Katedilen Toplam Mesafe = 149

$\lambda = 0.8$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	19	18	6	7	15	16	20	14	8	21	17	9	13	1	
Rota 2:	1	2	10	22	23	4	3	11	12	5	1					

Test Problemi 115

Katedilen Toplam Mesafe = 168

$\lambda = 0$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	5	20	12	21	17	19	14	15	16	7	18	8	13	1
Rota 2:	1	2	22	23	3	4	9	10	11	1					
Rota 3:	1	6	1												

Test Problemi 212

Katedilen Toplam Mesafe = 130

$\lambda = 0.1$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	18	15	12	20	14	13	21	10	23	9	11	17	19	8	1
Rota 2:	1	5	4	6	7	16	2	3	22	1						

Test Problemi 213

Katedilen Toplam Mesafe = 118

$\lambda = 0$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	5	15	16	7	6	10	17	19	8	14	18	21	13	1	
Rota 2:	1	11	12	20	2	3	4	23	9	22	1					

Test Problemi 214

Katedilen Toplam Mesafe = 136

$\lambda = 0.1$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	18	15	16	20	14	8	21	9	11	17	19	23	10	13	1
Rota 2:	1	2	12	7	6	4	3	22	5	1						

EK-9. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{RC} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 215

Katedilen Toplam Mesafe = 134

$\lambda = 0$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 19 15 20 14 8 21 9 11 17 10 23 22 13 1
 Rota 2: 1 5 4 6 7 16 12 2 3 1

Test Problemi 222

Katedilen Toplam Mesafe = 130

$\lambda = 0.7$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 13 21 17 19 9 11 22 23 10 15 20 18 14 8 1
 Rota 2: 1 5 2 3 4 6 7 16 12 1

Test Problemi 223

Katedilen Toplam Mesafe = 148

$\lambda = 0$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 2 19 4 3 7 6 15 8 13 1
 Rota 2: 1 14 16 20 21 9 23 22 10 17 18 11 12 5 1

Test Problemi 224

Katedilen Toplam Mesafe = 139

$\lambda = 0$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 15 7 16 14 20 17 19 18 9 22 8 21 13 1
 Rota 2: 1 2 3 6 4 23 10 11 12 5 1

Test Problemi 225

Katedilen Toplam Mesafe = 147

$\lambda = 0.8$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 14 21 22 23 6 10 7 15 16 18 17 8 13 1
 Rota 2: 1 2 19 12 20 9 3 4 5 11 1

Test Problemi 312

Katedilen Toplam Mesafe = 121

$\lambda = 0.1$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 11 14 15 16 12 20 8 21 9 10 17 19 18 13 1
 Rota 2: 1 5 23 4 6 7 2 3 22 1

Test Problemi 313

Katedilen Toplam Mesafe = 176

$\lambda = 0.1$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 9 11 12 20 17 19 18 10 23 22 21 13 1
 Rota 2: 1 14 2 4 3 16 5 7 6 15 1

EK-9. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{RC} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 314

Katedilen Toplam Mesafe = 141

$\lambda = 0$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	14	20	18	23	22	21	16	15	8	11	17	10	9	13	1
Rota 2:	1	2	19	12	7	6	4	3	5	1						

Test Problemi 315

Katedilen Toplam Mesafe = 151

$\lambda = 0.1$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	14	16	15	20	9	23	22	10	17	19	18	8	21	13	1
Rota 2:	1	2	7	4	3	5	6	12	11	1						

Test Problemi 322

Katedilen Toplam Mesafe = 131

$\lambda = 0$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	18	19	6	16	15	14	20	8	21	9	22	10	17	13	1
Rota 2:	1	2	12	7	3	23	4	5	11	1						

Test Problemi 323

Katedilen Toplam Mesafe = 176

$\lambda = 0.1$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	8	9	11	12	20	17	19	18	10	23	22	21	13	1	
Rota 2:	1	14	2	4	3	16	5	7	6	15	1					

Test Problemi 324

Katedilen Toplam Mesafe = 161

$\lambda = 0.5$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	5	9	7	8	20	23	17	21	22	10	16	15	13	1	
Rota 2:	1	18	19	2	3	4	6	14	12	11	1					

Test Problemi 325

Katedilen Toplam Mesafe = 128

$\lambda = 0$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	8	14	2	15	19	17	4	3	18	21	13	1			
Rota 2:	1	20	16	7	6	12	10	9	23	22	11	5	1			

Test Problemi 332

Katedilen Toplam Mesafe = 131

$\lambda = 0$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	18	19	6	16	15	14	20	8	21	9	22	10	17	13	1
Rota 2:	1	2	12	7	3	23	4	5	11	1						

EK-9. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{RC} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 333

Katedilen Toplam Mesafe = 176

$\lambda = 0.1$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 9 11 12 20 17 19 18 10 23 22 21 13 1

Rota 2: 1 14 2 4 3 16 5 7 6 15 1

Test Problemi 334

Katedilen Toplam Mesafe = 161

$\lambda = 0.5$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 5 9 7 8 20 23 17 21 22 10 16 15 13 1

Rota 2: 1 18 19 2 3 4 6 14 12 11 1

Test Problemi 335

Katedilen Toplam Mesafe = 122

$\lambda = 0.5$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 11 8 21 10 9 17 19 18 14 15 16 12 20 13 1

Rota 2: 1 2 22 3 7 6 4 23 5 1

Test Problemi 412

Katedilen Toplam Mesafe = 102

$\lambda = 0.1$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 11 21 10 17 19 18 15 16 7 12 20 14 8 13 1

Rota 2: 1 2 3 9 6 4 23 22 5 1

Test Problemi 413

Katedilen Toplam Mesafe = 122

$\lambda = 0.4$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 5 15 16 18 19 17 10 22 21 11 12 20 14 13 1

Rota 2: 1 2 7 6 4 3 23 9 8 1

Test Problemi 414

Katedilen Toplam Mesafe = 141

$\lambda = 0.1$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 15 17 16 18 19 3 23 22 21 11 14 12 20 13 1

Rota 2: 1 2 7 6 4 10 9 8 5 1

Test Problemi 415

Katedilen Toplam Mesafe = 112

$\lambda = 0$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 19 17 9 23 22 21 11 8 15 14 20 12 13 1

Rota 2: 1 2 16 7 6 4 3 10 5 1

EK-9. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{RC} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 422

Katedilen Toplam Mesafe = 169

$\lambda = 0.6$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 10 19 21 17 9 16 4 5 8 14 15 12 13 1
 Rota 2: 1 2 22 23 3 6 7 11 20 1

Test Problemi 423

Katedilen Toplam Mesafe = 155

$\lambda = 0.6$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 6 19 11 5 9 10 20 17 21 22 8 13 1
 Rota 2: 1 2 3 23 4 7 16 15 12 14 1

Test Problemi 424

Katedilen Toplam Mesafe = 146

$\lambda = 0$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 15 19 11 20 14 5 10 9 17 21 22 8 13 1
 Rota 2: 1 2 12 16 7 3 6 4 23 1

Test Problemi 425

Katedilen Toplam Mesafe = 130

$\lambda = 0.8$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 17 9 23 3 16 7 15 14 12 8 13 1
 Rota 2: 1 11 10 20 2 19 21 22 4 6 5 1

Test Problemi 432

Katedilen Toplam Mesafe = 146

$\lambda = 0.1$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 11 15 20 16 7 6 14 8 18 19 13 17 10 21 1
 Rota 2: 1 22 9 12 2 3 23 4 5 1

Test Problemi 433

Katedilen Toplam Mesafe = 144

$\lambda = 0.1$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 14 8 21 19 9 20 12 23 22 17 10 13 1
 Rota 2: 1 5 2 3 4 7 16 6 15 11 1

Test Problemi 434

Katedilen Toplam Mesafe = 134

$\lambda = 0.1$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 14 12 16 19 18 15 20 6 10 9 17 21 8 13 1
 Rota 2: 1 2 7 3 23 4 22 5 11 1

EK-9. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{RC} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 435

Katedilen Toplam Mesafe = 203

$\lambda = 0$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 15 7 12 11 9 13 19 18 17 16 14 8 10 1

Rota 2: 1 20 2 3 4 5 6 21 22 23 1

Test Problemi 442

Katedilen Toplam Mesafe = 171

$\lambda = 0.8$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 20 14 18 19 16 8 21 17 9 10 11 15 12 13 1

Rota 2: 1 6 2 7 22 23 3 4 5 1

Test Problemi 443

Katedilen Toplam Mesafe = 152

$\lambda = 0.4$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 9 10 17 11 12 20 18 19 21 22 23 13 1

Rota 2: 1 2 3 14 5 4 6 7 15 16 1

Test Problemi 444

Katedilen Toplam Mesafe = 184

$\lambda = 0$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 14 15 16 18 19 20 21 22 23 10 17 11 12 13 1

Rota 2: 1 2 3 4 5 1

Rota 3: 1 6 7 8 9 1

Test Problemi 445

Katedilen Toplam Mesafe = 199

$\lambda = 0$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 7 8 22 23 9 10 11 12 13 14 15 16 1

Rota 2: 1 17 2 3 4 5 6 18 19 20 21 1

Test Problemi 512

Katedilen Toplam Mesafe = 101

$\lambda = 0$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 13 12 20 14 8 21 18 19 17 10 9 22 5 1

Rota 2: 1 2 16 7 6 4 23 3 15 11 1

Test Problemi 513

Katedilen Toplam Mesafe = 118

$\lambda = 0.1$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 13 18 20 12 16 19 15 14 8 17 10 9 21 5 1

Rota 2: 1 2 7 6 4 3 23 22 11 1

EK-9. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{RC} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 514

Katedilen Toplam Mesafe = 127

$\lambda = 0.1$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	18	20	19	13	12	16	15	14	8	11	17	10	9	21	1
Rota 2:	1	2	7	6	4	3	23	22	5	1						

Test Problemi 515

Katedilen Toplam Mesafe = 135

$\lambda = 0.1$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	13	17	16	7	15	14	8	12	11	10	9	5	1		
Rota 2:	1	18	22	23	4	6	20	2	3	19	21	1				

Test Problemi 522

Katedilen Toplam Mesafe = 136

$\lambda = 0.1$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	8	21	22	9	19	15	12	20	18	16	6	10	17	13	1
Rota 2:	1	11	7	14	2	3	23	4	5	1						

Test Problemi 523

Katedilen Toplam Mesafe = 135

$\lambda = 0.8$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	5	9	8	15	16	7	6	10	17	19	14	13	1		
Rota 2:	1	2	18	20	12	21	3	4	22	23	11	1				

Test Problemi 524

Katedilen Toplam Mesafe = 125

$\lambda = 0.9$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	8	18	19	17	10	22	21	20	12	16	6	15	14	13	1
Rota 2:	1	2	7	3	9	23	4	5	11	1						

Test Problemi 525

Katedilen Toplam Mesafe = 134

$\lambda = 0.1$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	7	16	15	14	18	19	20	8	21	17	10	23	22	13	1
Rota 2:	1	11	12	2	9	4	6	3	5	1						

Test Problemi 532

Katedilen Toplam Mesafe = 146

$\lambda = 0$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	9	14	12	18	20	16	7	19	10	6	8	13	1		
Rota 2:	1	2	15	21	17	3	22	23	4	5	11	1				

EK-9. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{RC} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 533

Katedilen Toplam Mesafe = 122

$\lambda = 0$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 14 2 19 3 4 17 18 20 21 13 1

Rota 2: 1 5 22 23 9 10 12 16 7 6 15 11 1

Test Problemi 534

Katedilen Toplam Mesafe = 133

$\lambda = 0.8$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 11 19 18 15 20 21 22 23 6 10 9 17 8 13 1

Rota 2: 1 14 2 12 16 7 3 4 5 1

Test Problemi 535

Katedilen Toplam Mesafe = 157

$\lambda = 0.3$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 19 18 20 22 21 15 7 16 12 11 17 10 13 1

Rota 2: 1 2 3 23 4 5 9 6 14 1

Test Problemi 542

Katedilen Toplam Mesafe = 152

$\lambda = 0$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 11 18 2 3 20 14 8 21 17 10 13 1

Rota 2: 1 6 22 15 12 16 7 19 9 23 4 5 1

Test Problemi 543

Katedilen Toplam Mesafe = 153

$\lambda = 0.3$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 11 19 9 8 17 10 15 12 20 14 13 16 18 21 1

Rota 2: 1 2 3 23 22 5 4 6 7 1

Test Problemi 544

Katedilen Toplam Mesafe = 181

$\lambda = 0$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 15 16 14 19 18 20 21 22 23 10 17 11 12 13 1

Rota 2: 1 2 3 4 5 1

Rota 3: 1 6 9 7 8 1

Test Problemi 545

Katedilen Toplam Mesafe = 171

$\lambda = 0$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 14 18 17 15 19 16 7 9 10 11 12 13 1

Rota 2: 1 20 2 3 4 5 6 21 22 23 1

EK-9. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{RC} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 552

Katedilen Toplam Mesafe = 171

$\lambda = 0.8$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	20	14	18	19	16	8	21	17	9	10	11	15	12	13	1
Rota 2:	1	6	2	7	22	23	3	4	5	1						

Test Problemi 553

Katedilen Toplam Mesafe = 152

$\lambda = 0.4$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	8	9	10	17	11	12	20	18	19	21	22	23	13	1
Rota 2:	1	2	3	14	5	4	6	7	15	16	1				

Test Problemi 554

Katedilen Toplam Mesafe = 167

$\lambda = 0.1$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	6	7	8	9	14	15	16	10	17	11	12	13	1
Rota 2:	1	18	2	19	20	21	3	23	4	22	5	1		

Test Problemi 555

Katedilen Toplam Mesafe = 199

$\lambda = 0$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	18	19	20	13	14	15	7	16	17	21	23	22	1
Rota 2:	1	2	3	4	5	6	1							
Rota 3:	1	8	9	10	11	12	1							

EK-10. Müşteri ekleme kriteri ψ_{RS} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 112

Katedilen Toplam Mesafe = 124

$\gamma = 0.9$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 10 22 23 4 6 7 16 12 13 17 5 11 1
 Rota 2: 1 2 14 20 15 8 9 3 18 19 21 1

Test Problemi 113

Katedilen Toplam Mesafe = 109

$\gamma = 0.2$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 11 12 20 14 15 19 9 22 10 17 18 21 13 1
 Rota 2: 1 5 23 4 6 7 16 2 3 1

Test Problemi 114

Katedilen Toplam Mesafe = 151

$\gamma = 0.5$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 15 19 22 23 20 4 6 7 16 8 17 9 13 1
 Rota 2: 1 18 2 3 10 21 11 12 14 5 1

Test Problemi 115

Katedilen Toplam Mesafe = 136

$\gamma = 0.6$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 14 19 17 18 22 23 6 7 15 16 12 8 13 1
 Rota 2: 1 2 3 4 9 10 20 21 11 5 1

Test Problemi 212

Katedilen Toplam Mesafe = 111

$\gamma = 0.5$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 5 8 15 19 17 4 6 16 7 12 20 14 13 1
 Rota 2: 1 21 18 2 10 3 23 22 9 11 1

Test Problemi 213

Katedilen Toplam Mesafe = 118

$\gamma = 0$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 5 15 16 7 6 10 17 19 8 14 18 21 13 1
 Rota 2: 1 11 12 20 2 3 4 23 9 22 1

Test Problemi 214

Katedilen Toplam Mesafe = 115

$\gamma = 0.5$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 12 21 10 22 23 4 6 7 20 14 13 1
 Rota 2: 1 18 15 16 2 3 9 17 19 11 5 1

EK-10. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{RS} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 215

Katedilen Toplam Mesafe = 129

$\gamma = 1$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	5	9	4	6	7	16	15	12	13	11	17	10	1
Rota 2:	1	18	19	20	14	8	21	2	3	23	22	1		

Test Problemi 222

Katedilen Toplam Mesafe = 106

$\gamma = 0.9$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	5	13	21	9	23	4	6	7	16	15	12	11	1
Rota 2:	1	2	20	14	8	17	10	22	3	19	18	1		

Test Problemi 223

Katedilen Toplam Mesafe = 116

$\gamma = 0.6$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	17	2	3	4	6	7	16	18	8	13	1		
Rota 2:	1	11	10	21	14	12	20	15	19	9	23	22	5	1

Test Problemi 224

Katedilen Toplam Mesafe = 120

$\gamma = 0.8$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	17	13	19	3	9	23	4	6	7	16	15	18	1
Rota 2:	1	11	8	10	2	14	20	12	21	22	5	1		

Test Problemi 225

Katedilen Toplam Mesafe = 142

$\gamma = 0.3$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	18	15	14	6	9	10	7	16	19	20	17	8	13	1
Rota 2:	1	11	21	12	2	3	22	23	4	5	1				

Test Problemi 312

Katedilen Toplam Mesafe = 101

$\gamma = 0.8$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	8	5	17	9	22	23	4	6	7	16	18	13	1
Rota 2:	1	11	12	20	14	15	2	19	3	10	21	1		

Test Problemi 313

Katedilen Toplam Mesafe = 137

$\gamma = 0.2$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	8	17	19	18	10	11	12	20	9	23	22	21	13	1
Rota 2:	1	14	2	5	4	6	7	16	3	15	1				

EK-10. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{RS} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 314

Katedilen Toplam Mesafe = 139

$\gamma = 0.2$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	18	14	12	16	7	15	8	11	17	10	9	19	13	1
Rota 2:	1	20	22	21	2	6	4	23	3	5	1				

Test Problemi 315

Katedilen Toplam Mesafe = 148

$\gamma = 0.9$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	14	20	23	9	17	13	18	12	16	7	15	22	21	1
Rota 2:	1	2	5	10	6	4	3	19	8	11	1				

Test Problemi 322

Katedilen Toplam Mesafe = 116

$\gamma = 0.7$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	21	10	16	7	6	4	23	22	5	9	17	13	1
Rota 2:	1	11	14	8	12	20	15	2	3	19	18	1		

Test Problemi 323

Katedilen Toplam Mesafe = 137

$\gamma = 0.3$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	8	17	19	18	10	11	12	20	9	23	22	21	13	1
Rota 2:	1	14	2	5	4	6	7	16	3	15	1				

Test Problemi 324

Katedilen Toplam Mesafe = 131

$\gamma = 0.9$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	5	10	13	12	6	7	16	15	19	9	17	8	1
Rota 2:	1	21	18	14	20	2	3	4	23	22	11	1		

Test Problemi 325

Katedilen Toplam Mesafe = 114

$\gamma = 0.2$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	8	14	2	16	6	4	3	17	18	21	13	1
Rota 2:	1	15	7	12	20	19	10	9	23	22	11	5	1

Test Problemi 332

Katedilen Toplam Mesafe = 116

$\gamma = 0.7$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	21	10	16	7	6	4	23	22	5	9	17	13	1
Rota 2:	1	11	14	8	12	20	15	2	3	19	18	1		

EK-10. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{RS} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 333

Katedilen Toplam Mesafe = 137

$\gamma = 0.3$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 17 19 18 10 11 12 20 9 23 22 21 13 1

Rota 2: 1 14 2 5 4 6 7 16 3 15 1

Test Problemi 334

Katedilen Toplam Mesafe = 131

$\gamma = 0.9$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 5 10 13 12 6 7 16 15 19 9 17 8 1

Rota 2: 1 21 18 14 20 2 3 4 23 22 11 1

Test Problemi 335

Katedilen Toplam Mesafe = 105

$\gamma = 0.2$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 21 10 22 23 9 17 19 18 14 20 12 8 13 1

Rota 2: 1 2 15 16 7 3 6 4 5 11 1

Test Problemi 412

Katedilen Toplam Mesafe = 104

$\gamma = 0.4$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 11 17 9 10 19 18 20 15 7 16 12 8 13 1

Rota 2: 1 21 14 2 3 6 4 23 22 5 1

Test Problemi 413

Katedilen Toplam Mesafe = 118

$\gamma = 0.8$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 11 13 12 15 7 16 6 4 23 17 9 18 8 1

Rota 2: 1 2 19 21 14 20 10 3 22 5 1

Test Problemi 414

Katedilen Toplam Mesafe = 125

$\gamma = 0.7$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 11 14 12 7 6 4 23 10 9 8 13 1

Rota 2: 1 2 15 18 16 19 21 20 17 3 22 5 1

Test Problemi 415

Katedilen Toplam Mesafe = 112

$\gamma = 0$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 19 17 9 23 22 21 11 8 15 14 20 12 13 1

Rota 2: 1 2 16 7 6 4 3 10 5 1

EK-10. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{RS} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 422

Katedilen Toplam Mesafe = 144

$\gamma = 1$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	2	9	3	16	7	6	13	11	20	1				
Rota 2:	1	18	17	10	22	23	4	5	8	14	12	15	19	21	1

Test Problemi 423

Katedilen Toplam Mesafe = 133

$\gamma = 0.7$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	5	2	16	3	4	23	9	17	8	13	1		
Rota 2:	1	21	18	19	22	10	6	7	15	12	11	20	14	1

Test Problemi 424

Katedilen Toplam Mesafe = 140

$\gamma = 0.1$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	18	19	11	12	20	5	10	9	17	21	22	8	13	1
Rota 2:	1	14	2	15	16	7	3	6	4	23	1				

Test Problemi 425

Katedilen Toplam Mesafe = 135

$\gamma = 0$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	18	23	17	2	16	7	15	14	12	8	13	1
Rota 2:	1	11	10	20	19	21	22	4	6	3	9	5	1

Test Problemi 432

Katedilen Toplam Mesafe = 116

$\gamma = 0.6$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	11	13	17	9	10	23	6	7	16	12	14	8	1
Rota 2:	1	2	15	20	18	19	21	3	4	22	5	1		

Test Problemi 433

Katedilen Toplam Mesafe = 132

$\gamma = 0.4$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	11	8	17	9	19	23	22	15	16	12	20	18	10	13	1
Rota 2:	1	5	2	3	4	6	7	14	21	1						

Test Problemi 434

Katedilen Toplam Mesafe = 124

$\gamma = 0.3$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	18	15	16	12	20	7	6	23	10	9	17	8	13	1
Rota 2:	1	11	14	2	19	21	3	4	22	5	1				

EK-10. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{RS} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 435

Katedilen Toplam Mesafe = 180

$\gamma = 0.1$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 13 17 14 15 7 12 11 10 9 16 19 18 1

Rota 2: 1 20 2 3 4 5 6 21 22 23 1

Test Problemi 442

Katedilen Toplam Mesafe = 124

$\gamma = 0.9$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 10 22 23 4 6 7 16 12 13 17 5 11 1

Rota 2: 1 2 14 20 15 8 9 3 18 19 21 1

Test Problemi 443

Katedilen Toplam Mesafe = 130

$\gamma = 0.3$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 11 12 20 21 17 18 19 9 10 23 22 13 1

Rota 2: 1 14 15 2 5 3 4 6 7 16 1

Test Problemi 444

Katedilen Toplam Mesafe = 146

$\gamma = 0.7$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 14 15 6 7 16 17 8 10 9 11 12 13 1

Rota 2: 1 18 2 19 20 21 3 22 23 4 5 1

Test Problemi 445

Katedilen Toplam Mesafe = 179

$\gamma = 1$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 12 13 14 15 7 8 16 22 23 9 10 11 1

Rota 2: 1 2 3 4 5 17 6 18 19 20 21 1

Test Problemi 512

Katedilen Toplam Mesafe = 101

$\gamma = 0$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 13 12 20 14 8 21 18 19 17 10 9 22 5 1

Rota 2: 1 2 16 7 6 4 23 3 15 11 1

Test Problemi 513

Katedilen Toplam Mesafe = 113

$\gamma = 0.7$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 13 14 12 16 7 6 4 23 9 15 10 1

Rota 2: 1 11 21 18 20 2 19 17 3 22 5 1

EK-10. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{RS} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 514

Katedilen Toplam Mesafe = 114

$\gamma = 0.2$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	13	2	17	3	4	6	7	16	15	14	1		
Rota 2:	1	18	20	12	19	8	11	21	10	9	23	22	5	1

Test Problemi 515

Katedilen Toplam Mesafe = 134

$\gamma = 0.4$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	18	19	13	17	22	23	4	6	7	20	16	15	14	21	1
Rota 2:	1	2	8	12	11	10	3	9	5	1						

Test Problemi 522

Katedilen Toplam Mesafe = 123

$\gamma = 0.4$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	21	22	23	4	5	9	6	7	16	15	14	13	1
Rota 2:	1	18	2	3	10	17	19	20	12	8	11	1		

Test Problemi 523

Katedilen Toplam Mesafe = 126

$\gamma = 0.3$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	2	19	3	4	16	7	6	14	13	1				
Rota 2:	1	18	21	15	12	20	11	5	22	23	9	10	17	8	1

Test Problemi 524

Katedilen Toplam Mesafe = 118

$\gamma = 0.1$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	18	17	10	9	22	21	20	16	7	6	15	14	13	1
Rota 2:	1	11	8	12	2	19	3	23	4	5	1				

Test Problemi 525

Katedilen Toplam Mesafe = 135

$\gamma = 0$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	18	19	12	20	8	21	10	9	23	22	5	13	1
Rota 2:	1	2	6	4	3	7	17	16	15	14	11	1		

Test Problemi 532

Katedilen Toplam Mesafe = 127

$\gamma = 0.8$

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	16	7	6	4	23	9	5	10	17	13	8	14	1
Rota 2:	1	21	18	20	12	15	2	3	22	19	11	1		

EK-10. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{RS} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 533

Katedilen Toplam Mesafe = 110

$\gamma = 0.4$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 19 22 23 9 10 17 21 8 12 20 14 13 1

Rota 2: 1 5 2 3 4 6 7 16 15 11 1

Test Problemi 534

Katedilen Toplam Mesafe = 122

$\gamma = 0.3$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 11 19 18 14 15 16 7 6 10 9 17 8 13 1

Rota 2: 1 20 12 21 2 3 22 23 4 5 1

Test Problemi 535

Katedilen Toplam Mesafe = 156

$\gamma = 0.6$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 14 15 16 7 12 11 17 9 23 10 13 1

Rota 2: 1 2 3 4 5 6 19 18 20 22 21 1

Test Problemi 542

Katedilen Toplam Mesafe = 122

$\gamma = 0.5$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 2 8 14 15 19 17 3 9 10 13 1

Rota 2: 1 11 21 18 20 12 16 6 7 4 22 23 5 1

Test Problemi 543

Katedilen Toplam Mesafe = 123

$\gamma = 0.9$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 5 13 14 20 12 17 22 23 6 7 16 15 1

Rota 2: 1 8 2 19 3 4 9 10 18 21 1

Rota 3: 1 11 1

Test Problemi 544

Katedilen Toplam Mesafe = 161

$\gamma = 0.8$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 10 13 11 12 6 7 16 9 8 1

Rota 2: 1 20 21 2 3 22 23 4 5 1

Rota 3: 1 14 18 15 19 17 1

Test Problemi 545

Katedilen Toplam Mesafe = 158

$\gamma = 1$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 16 7 20 21 22 23 9 10 13 11 12 8 1

Rota 2: 1 2 3 4 5 14 17 6 15 19 18 1

EK-10. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{RS} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 552

Katedilen Toplam Mesafe = 124

$\gamma = 0.9$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 10 22 23 4 6 7 16 12 13 17 5 11 1

Rota 2: 1 2 14 20 15 8 9 3 18 19 21 1

Test Problemi 553

Katedilen Toplam Mesafe = 130

$\gamma = 0.3$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 11 12 20 21 17 18 19 9 10 23 22 13 1

Rota 2: 1 14 15 2 5 3 4 6 7 16 1

Test Problemi 554

Katedilen Toplam Mesafe = 145

$\gamma = 0.6$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 14 15 6 7 16 17 8 10 9 11 12 13 1

Rota 2: 1 18 2 19 20 21 3 23 4 22 5 1

Test Problemi 555

Katedilen Toplam Mesafe = 175

$\gamma = 0.7$

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 13 14 15 7 16 23 9 10 11 17 12 1

Rota 2: 1 18 19 20 21 2 3 4 5 22 6 1

EK-11. Müşteri ekleme kriteri ψ_{TD} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 112

Katedilen Toplam Mesafe = 189

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 2 3 16 8 17 9 18 19 12 13 1
 Rota 2: 1 6 22 14 15 7 20 21 10 11 23 4 5 1

Test Problemi 113

Katedilen Toplam Mesafe = 129

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 14 15 20 11 12 8 21 17 19 18 9 23 10 13 1
 Rota 2: 1 5 22 4 6 7 16 2 3 1

Test Problemi 114

Katedilen Toplam Mesafe = 154

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 6 7 2 3 21 8 9 13 1
 Rota 2: 1 15 16 19 22 4 23 10 17 11 12 20 14 5 1

Test Problemi 115

Katedilen Toplam Mesafe = 168

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 5 20 12 21 17 19 14 15 16 7 18 8 13 1
 Rota 2: 1 2 22 23 3 4 9 10 11 1
 Rota 3: 1 6 1

Test Problemi 212

Katedilen Toplam Mesafe = 148

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 19 15 14 8 21 17 9 20 11 22 23 10 13 1
 Rota 2: 1 5 12 4 6 7 16 2 3 1

Test Problemi 213

Katedilen Toplam Mesafe = 118

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 5 15 16 7 6 10 17 19 8 14 18 21 13 1
 Rota 2: 1 11 12 20 2 3 4 23 9 22 1

Test Problemi 214

Katedilen Toplam Mesafe = 149

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 15 16 14 8 21 17 19 9 11 5 23 10 13 1
 Rota 2: 1 20 12 7 2 3 6 4 22 1

Test Problemi 215

Katedilen Toplam Mesafe = 134

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 19 15 20 14 8 21 9 11 17 10 23 22 13 1
 Rota 2: 1 5 4 6 7 16 12 2 3 1

EK-11. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{TD} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problem 222

Katedilen Toplam Mesafe = 156

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 13 14 15 2 3 21 23 5 7 1

Rota 2: 1 20 12 16 6 4 18 17 19 10 9 22 11 8 1

Test Problem 223

Katedilen Toplam Mesafe = 148

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 2 19 4 3 7 6 15 8 13 1

Rota 2: 1 14 16 20 21 9 23 22 10 17 18 11 12 5 1

Test Problem 224

Katedilen Toplam Mesafe = 139

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 15 7 16 14 20 17 19 18 9 22 8 21 13 1

Rota 2: 1 2 3 6 4 23 10 11 12 5 1

Test Problem 225

Katedilen Toplam Mesafe = 159

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 14 18 6 9 10 7 15 16 19 20 17 8 13 1

Rota 2: 1 11 12 21 22 23 2 3 4 5 1

Test Problem 312

Katedilen Toplam Mesafe = 124

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 11 14 15 16 12 20 8 21 17 19 18 9 10 13 1

Rota 2: 1 5 23 4 6 7 2 3 22 1

Test Problem 313

Katedilen Toplam Mesafe = 185

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 20 23 22 11 12 8 21 17 19 18 10 9 13 1

Rota 2: 1 14 2 4 3 16 5 7 6 15 1

Test Problem 314

Katedilen Toplam Mesafe = 141

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 14 20 18 23 22 21 16 15 8 11 17 10 9 13 1

Rota 2: 1 2 19 12 7 6 4 3 5 1

Test Problem 315

Katedilen Toplam Mesafe = 194

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 11 20 12 19 9 23 22 10 8 21 13 1

Rota 2: 1 14 17 16 15 2 4 3 5 6 18 1

Rota 3: 1 7 1

EK-11. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{TD} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 322

Katedilen Toplam Mesafe = 131

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	18	19	6	16	15	14	20	8	21	9	22	10	17	13	1
Rota 2:	1	2	12	7	3	23	4	5	11	1						

Test Problemi 323

Katedilen Toplam Mesafe = 185

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	20	23	22	11	12	8	21	17	19	18	10	9	13	1
Rota 2:	1	14	2	4	3	16	5	7	6	15	1				

Test Problemi 324

Katedilen Toplam Mesafe = 171

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	17	5	9	7	8	20	23	21	22	10	16	15	13	1
Rota 2:	1	18	2	19	3	4	6	14	12	11	1				

Test Problemi 325

Katedilen Toplam Mesafe = 128

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	8	14	2	15	19	17	4	3	18	21	13	1
Rota 2:	1	20	16	7	6	12	10	9	23	22	11	5	1

Test Problemi 332

Katedilen Toplam Mesafe = 131

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	18	19	6	16	15	14	20	8	21	9	22	10	17	13	1
Rota 2:	1	2	12	7	3	23	4	5	11	1						

Test Problemi 333

Katedilen Toplam Mesafe = 185

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	20	23	22	11	12	8	21	17	19	18	10	9	13	1
Rota 2:	1	14	2	4	3	16	5	7	6	15	1				

Test Problemi 334

Katedilen Toplam Mesafe = 171

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	17	5	9	7	8	20	23	21	22	10	16	15	13	1
Rota 2:	1	18	2	19	3	4	6	14	12	11	1				

Test Problemi 335

Katedilen Toplam Mesafe = 129

Araçların Rotaları:

Rota 1:	1	11	21	10	9	17	19	16	15	18	14	20	12	8	13	1
Rota 2:	1	22	7	2	3	6	4	23	5	1						

EK-11. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{TD} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 412

Katedilen Toplam Mesafe = 124

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 2 19 20 18 3 7 15 16 8 13 1
 Rota 2: 1 11 12 14 21 22 23 4 6 9 10 17 5 1

Test Problemi 413

Katedilen Toplam Mesafe = 170

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 15 17 2 16 7 9 11 12 8 13 1
 Rota 2: 1 18 10 22 23 4 3 19 20 14 21 5 1
 Rota 3: 1 6 1

Test Problemi 414

Katedilen Toplam Mesafe = 149

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 2 7 10 9 11 8 14 12 13 1
 Rota 2: 1 15 17 16 18 19 3 6 4 23 22 20 21 5 1

Test Problemi 415

Katedilen Toplam Mesafe = 112

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 19 17 9 23 22 21 11 8 15 14 20 12 13 1
 Rota 2: 1 2 16 7 6 4 3 10 5 1

Test Problemi 422

Katedilen Toplam Mesafe = 175

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 10 17 18 19 21 9 16 7 4 5 8 15 13 1
 Rota 2: 1 22 2 3 23 6 12 11 20 14 1

Test Problemi 423

Katedilen Toplam Mesafe = 156

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 6 19 21 22 11 5 9 10 20 17 8 13 1
 Rota 2: 1 14 2 15 12 16 7 3 4 23 1

Test Problemi 424

Katedilen Toplam Mesafe = 146

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 15 19 11 20 14 5 10 9 17 21 22 8 13 1
 Rota 2: 1 2 12 16 7 3 6 4 23 1

Test Problemi 425

Katedilen Toplam Mesafe = 135

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 23 17 2 16 7 15 14 12 8 13 1
 Rota 2: 1 11 10 20 19 21 22 4 6 3 9 5 1

EK-11. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{TD} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 432

Katedilen Toplam Mesafe = 152

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 2 3 15 20 6 8 18 19 13 17 21 1
 Rota 2: 1 11 10 9 14 12 16 7 4 23 22 5 1

Test Problemi 433

Katedilen Toplam Mesafe = 149

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 2 3 4 15 14 8 21 17 10 13 1
 Rota 2: 1 5 16 7 6 19 9 20 12 23 22 11 1

Test Problemi 434

Katedilen Toplam Mesafe = 139

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 16 12 14 15 20 19 18 6 10 9 17 21 8 13 1
 Rota 2: 1 2 7 3 23 4 22 5 11 1

Test Problemi 435

Katedilen Toplam Mesafe = 203

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 15 7 12 11 9 13 19 18 17 16 14 8 10 1
 Rota 2: 1 20 2 3 4 5 6 21 22 23 1

Test Problemi 442

Katedilen Toplam Mesafe = 189

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 2 3 16 8 17 9 18 19 12 13 1
 Rota 2: 1 6 22 14 15 7 20 21 10 11 23 4 5 1

Test Problemi 443

Katedilen Toplam Mesafe = 166

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 20 11 12 8 21 22 23 17 18 19 9 10 13 1
 Rota 2: 1 14 15 5 6 7 16 2 3 4 1

Test Problemi 444

Katedilen Toplam Mesafe = 184

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 14 15 16 18 19 20 21 22 23 10 17 11 12 13 1
 Rota 2: 1 2 3 4 5 1
 Rota 3: 1 6 7 8 9 1

Test Problemi 445

Katedilen Toplam Mesafe = 199

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 7 8 22 23 9 10 11 12 13 14 15 16 1
 Rota 2: 1 17 2 3 4 5 6 18 19 20 21 1

EK-11. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{TD} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 512

Katedilen Toplam Mesafe = 101

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 13 12 20 14 8 21 18 19 17 10 9 22 5 1
 Rota 2: 1 2 16 7 6 4 23 3 15 11 1

Test Problemi 513

Katedilen Toplam Mesafe = 150

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 16 13 2 3 15 14 8 17 9 10 21 1
 Rota 2: 1 18 20 12 7 19 6 4 23 22 11 5 1

Test Problemi 514

Katedilen Toplam Mesafe = 150

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 16 13 2 3 15 14 8 17 9 10 21 1
 Rota 2: 1 18 20 12 7 19 6 4 23 22 11 5 1

Test Problemi 515

Katedilen Toplam Mesafe = 197

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 23 22 21 20 13 17 19 7 16 15 14 5 1
 Rota 2: 1 8 12 11 10 9 6 2 3 1
 Rota 3: 1 4 1

Test Problemi 522

Katedilen Toplam Mesafe = 146

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 21 22 9 15 7 16 8 14 18 6 10 17 13 1
 Rota 2: 1 2 3 19 12 20 23 4 5 11 1

Test Problemi 523

Katedilen Toplam Mesafe = 155

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 2 19 17 3 4 15 16 6 14 13 1
 Rota 2: 1 18 7 12 20 11 5 9 10 21 22 23 1

Test Problemi 524

Katedilen Toplam Mesafe = 126

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 18 19 17 10 22 21 20 16 7 6 15 14 13 1
 Rota 2: 1 12 2 3 9 23 4 5 11 1

Test Problemi 525

Katedilen Toplam Mesafe = 135

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 19 12 20 8 21 10 9 23 22 5 13 1
 Rota 2: 1 2 6 4 3 7 17 16 15 14 11 1

EK-11. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{TD} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 532

Katedilen Toplam Mesafe = 146

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 9 14 12 18 20 16 7 19 10 6 8 13 1
 Rota 2: 1 2 15 21 17 3 22 23 4 5 11 1

Test Problemi 533

Katedilen Toplam Mesafe = 122

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 14 2 19 3 4 17 18 20 21 13 1
 Rota 2: 1 5 22 23 9 10 12 16 7 6 15 11 1

Test Problemi 534

Katedilen Toplam Mesafe = 151

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 20 11 19 17 18 6 10 9 21 22 23 8 13 1
 Rota 2: 1 14 2 15 12 16 7 3 4 5 1

Test Problemi 535

Katedilen Toplam Mesafe = 159

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 14 15 7 16 12 11 17 9 23 10 13 1
 Rota 2: 1 19 2 3 4 5 6 18 20 22 21 1

Test Problemi 542

Katedilen Toplam Mesafe = 152

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 11 18 2 3 20 14 8 21 17 10 13 1
 Rota 2: 1 6 22 15 12 16 7 19 9 23 4 5 1

Test Problemi 543

Katedilen Toplam Mesafe = 181

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 9 17 8 10 12 13 16 2 3 4 1
 Rota 2: 1 14 20 19 5 22 23 6 7 15 18 21 1
 Rota 3: 1 11 1

Test Problemi 544

Katedilen Toplam Mesafe = 181

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 15 16 14 19 18 20 21 22 23 10 17 11 12 13 1
 Rota 2: 1 2 3 4 5 1
 Rota 3: 1 6 9 7 8 1

Test Problemi 545

Katedilen Toplam Mesafe = 171

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 8 14 18 17 15 19 16 7 9 10 11 12 13 1
 Rota 2: 1 20 2 3 4 5 6 21 22 23 1

EK-11. (Devam) Müşteri ekleme kriteri ψ_{TD} kullanılarak test problemlerinin çözümü

Test Problemi 552

Katedilen Toplam Mesafe = 189

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 2 3 16 8 17 9 18 19 12 13 1

Rota 2: 1 6 22 14 15 7 20 21 10 11 23 4 5 1

Test Problemi 553

Katedilen Toplam Mesafe = 166

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 20 11 12 8 21 22 23 17 18 19 9 10 13 1

Rota 2: 1 14 15 5 6 7 16 2 3 4 1

Test Problemi 554

Katedilen Toplam Mesafe = 184

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 14 15 16 18 19 20 21 22 23 10 17 11 12 13 1

Rota 2: 1 2 3 4 5 1

Rota 3: 1 6 7 8 9 1

Test Problemi 555

Katedilen Toplam Mesafe = 199

Araçların Rotaları:

Rota 1: 1 18 19 20 13 14 15 7 16 17 21 23 22 1

Rota 2: 1 2 3 4 5 6 1

Rota 3: 1 8 9 10 11 12 1

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GERDAN, Orhan
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 01.03.1972 Çorum
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (432) 214 14 10 / 2490
 Faks : 0 (432) 214 47 57
 e-mail : orhan.gerdan@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Endüstri Müh. Böl.	1997
Lisans	Kara Harp Okulu	1994
Lise	Işıklar Askeri Lisesi	1990

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1996-1998	İSTANBUL İl J.K.lığı	Brl.Mal Saymanı
1998-2000	ŞIRNAK Snr.Tüm.K.lığı	İkm.Bak.Bl.K.
2000-2007	Kara Harp Okulu Dekanlığı	Öğretim Elemanı
2007-	VAN J.Asyş.Kor.K.lığı	Ord.Mal Saymanı

Yabancı Dil

Fransızca, İngilizce

Yayınlar

- GERDAN O., “Ordudonatın sınıfı araç yedek parçası tedarik sistemine alternatif bir sistem”, Kara Harp Okulu Bilim Dergisi, Cilt:14, Sayı:1, Sayfa: 84-93, 2004.

Hobiler

Futbol, Gezi, Yüzme