

T.C.
KARA HARP OKULU
SAVUNMA BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
HAREKÂT ARAŞTIRMASI ANA BİLİM DALI

HETEROJEN ARAÇ FİLOLU EŞ ZAMANLI DAĞITIM-TOPLAMALI
ROTALAMA PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN
SEZGİSEL BİR ALGORİTMA VE UYGULAMALI BİR
KARAR DESTEK SİSTEMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazırlayan
P. Ütgm. Emre ÖZKÜTÜK

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Cevriye GENCER

ANKARA - 2008

Yazarın Notu: Bu tezde belirtilen görüş ve yorumlar yazana aittir. Türk Silahlı Kuvvetleri'nin ya da diğerk kamu kuruluşlarının görüşlerini yansıtmaz

Author's Note: The views and comments expressed in this thesis are the author's and do not necessarily reflect those of Turkish Armed Forces or other government agencies.


İmza (Signature)

TEZ TANITIM FORMU

TEZİN TARİHİ : 05.03.2008

TEZİN TİPİ : Yüksek Lisans Tezi

TEZİN BAŞLIĞI : Heterojen Araç Filolu Eş Zamanlı Dağıtım-Toplamalı Rotalama Probleminin Çözümü İçin Sezgisel Bir Algoritma Ve Uygulamalı Bir Karar Destek Sistemi

TEZİN YAPILDIĞI BİRİM : Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü Harekat Araştırması Ana Bilim Dalı

SPONSOR KURULUŞ : -

DAĞITIM LİSTESİ : Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü Tez Hazırlama, Onay, Dağıtım ve Muhafaza Esasları Kılavuzunda Belirtilen Yerlere

TEZİN ÖZETİ : Bu tezde, heterojen araç filolu eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemlerinin çözümü için yeni bir algoritma geliştirilmiş ve bu algoritmayı kullanan Karar Destek Sistemi oluşturulmuştur. Oluşturulan karar destek sistemi, Kara Kuvvetleri Lojistik Komutanlığı ring sefer verileri kullanılarak çalıştırılmış ve sonuçlar kullanılan araç sayısı, kat edilen mesafe ve toplam maliyetler açısından mevcut sistemle karşılaştırılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER : Araç Rotalama, Heterojen Araç Filosu, Eş Zamanlı Dağıtım-Toplama, Karar Destek Sistemi

SAYFA SAYISI : 73

GİZLİLİK DERECEŚİ : Tasnif Dışı

KARA HARP OKULU

SAVUNMA BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

P.Ütğm. Emre ÖZKÜTÜK'ün, Heterojen Araç Filolu Eş Zamanlı Dağıtım-Toplamalı Rotalama Probleminin Çözümü İçin Sezgisel Bir Algoritma Ve Uygulamalı Bir Karar Destek Sistemi konulu tez çalışması, jürimiz tarafından HAREKÂT ARAŞTIRMASI Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

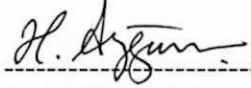
Başkan


Prof.Dr.Orhan TÜRKBEY

Üye


Prof. Dr. Cevriye GENCER
(Danışman)

Üye


Dr.P.Yb.Haluk AYGÜNEŞ

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

27 / 03 / 2008



Taner ALTUNOK
Prof.Dr.Y.Müh.Alb.
Svn.Bil.Ens.Md.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında geniş tecrübesi ile bana yol gösteren ve bir eğitmenden daha fazla bir ilgi ile destek olan tez danışmanım ve hocam Prof. Dr. Cevriye GENCER'e, göstermiş olduğu sabır, anlayış ve desteği için sevgili eşime ve yanımda olamasalar da manevi destek ve sevgilerini bir an olsun eksik etmeyen sevgili aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

T.C.
KARA HARP OKULU
SAVUNMA BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
HAREKAT ARAŞTIRMASI ANA BİLİM DALI
ANKARA 2008

**HETEROJEN ARAÇ FİLOLU EŞ ZAMANLI DAĞITIM-
TOPLAMALI ROTALAMA PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN
SEZGİSEL BİR ALGORİTMA VE UYGULAMALI BİR
KARAR DESTEK SİSTEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emre ÖZKÜTÜK

ÖZET

Araç rotalama problemi, bir merkezi depoda yerleşmiş bulunan aynı veya farklı kapasitelere sahip olan araçlar filosunun, farklı bir yerleşime ve bilinen talebe sahip olan müşteriler kümesine toplam dolaşım mesafesini veya süresini minimize edecek şekilde hizmet sunarak depoya geri dönmesi için gerekli rotaların belirlenmesi problemidir. Araç rotalama problemleri, kapasite kısıtı, zaman penceresi, homojen veya heterojen araç filosu, tek veya çok deponun olması, müşteriler arasında öncelik ilişkisi gibi çok sayıda kısıta sahip olabilirler. Bu kısıtların bir veya birkaçının bulunması hem araç rotalama problem türlerini belirlemekte hem de problemin çözüm yöntemini etkilemektedir.

Bu tezde, heterojen araç filolu eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemlerinin çözümü için yeni bir algoritma geliştirilmiş ve bu algoritmayı kullanan Karar Destek Sistemi oluşturulmuştur.

Önerilen algoritma, eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama probleminin çözümünde Dethloff'un (2001) ekleme temelli sezgisel algoritmasını ve araç filosunun seçiminde ise Taillard' ın (1996) heterojen araç filolu ARP için önerdiği algoritmanın maliyetleri karşılaştırma kısmını temel almaktadır.

Oluşturulan karar destek sistemi, Kara Kuvvetleri Lojistik Komutanlığı ring seferlerinin planlanmasına uygulanmıştır. Kara Kuvvetleri Lojistik Komutanlığı ring seferlerinin verileri kullanılarak kullanılacak araç sayısı, tipi, kat edilen mesafe ve toplam maliyetleri hesaplanmış ve mevcut durumla karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Araç Rotalama, Heterojen Araç Filosu, Eş Zamanlı Dağıtım-Toplama, Karar Destek Sistemi

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Cevriye GENCER

Sayfa Sayısı : 73

T.C.
TURKISH MILITARY ACADEMY
DEFENSE SCIENCE INSTITUTE
DEPARTMENT OF OPERATION RESEARCH
ANKARA 2008

**A HEURISTIC ALGORITHM FOR SOLVING THE
HETEROGENEOUS FLEET VEHICLE ROUTING PROBLEM
WITH SIMULTANEOUS DELIVERY AND PICK-UP AND
A DECISION SUPPORT SYSTEM WITH AN APPLICATION**

MASTER THESIS

EMRE ÖZKÜTÜK

ABSTRACT

Vehicle Routing Problem can be defined as the problem of determining shortest paths to minimize the total travel distance and travel time to serve the customers who situated at the different locations and have known demands by a heterogeneous/homogeneous fleet. Vehicle Routing Problem can have a lot of constraints like capacitated, time windows, homogeneous and heterogeneous vehicle fleet, single or multiple depot, priority between the customers etc. In case having one or more of these constraints determine both various routing problems and the solution methods of the problem.

In this thesis a new algorithm was developed for the heterogeneous fleet vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up and decision support systems, which was used this algorithm, was produced.

The algorithm, proposed in this thesis, based on insertion heuristic proposed by Dethloff (2001) for the solving vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up and comparison of costs, a specific part

of Taillard (1996)'s algorithm which has been proposed for heterogeneous fleet vehicle routing problem.

Produced decision support system was applied for planning ring routing of the Land Forces Logistic Command. By using of the dataset of ring routing of the Land Forces Logistic Command, the number of the vehicles, type of the vehicle, total travel distance and total cost was calculated and compared with system applied in the real-life.

Keywords : Vehicle Routing, Heterogeneous Fleet, Simultaneous Delivery And Pick-Up, Decision Support System

Advisor : Prof. Dr. Cevriye GENCER

Number of Pages: 73

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
KISALTMALAR	xii
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ

1. GENEL.....	3
2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİNİN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ... 3	
3. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİNİN SINIFLANDIRILMASI..... 5	
a. Kapasite ve Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemleri	5
b. Zaman Pencerele Araç Rotalama Problemleri.....	6
c. Geri Toplamalı Araç Rotalama Problemleri	6
d. Dağıtım-Toplamalı Araç Rotalama Problemleri	6
(1) Önce Dağıtım Sonra Toplama Yapılan Araç Rotalama Problemleri	6
(2) Karışık Dağıtım-Toplamalı Araç Rotalama Problemleri	7
(3) Eş Zamanlı Dağıtım-Toplamalı Araç Rotalama Problemleri	7

e. Heterojen Araç Filolu Araç Rotalama Problemleri ve Literatür İncelemesi	7
4. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ.....	10
a. Optimal Çözüm Yaklaşımları.....	10
(1) Dal-Sınır Yöntemi	10
(2) Dal-Kesim Yöntemi	10
b. Sezgisel Çözüm Yaklaşımları.....	11
(1) Yapıcı Sezgiseller.....	11
(2) İki Aşamalı Yöntemler.....	12
(3) İyileştirici Yöntemler	13
c. Meta Sezgisel Çözüm Yaklaşımları.....	14
(1) Tavlama Benzetimi.....	14
(2) Tabu Araması	15
(3) Genetik Algoritmalar	15
(4) Karınca Kolonisi Optimizasyonu	16

İKİNCİ BÖLÜM

EŞ ZAMANLI DAĞITIM-TOPLAMALI

ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ

1. TANIM.....	17
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	17
3. MATEMATİKSEL MODEL.....	20

4. DETHLOFF'UN EKLEME TEMELLİ SEZGİSEL ALGORİTMASI	22
a. Ekleme Kriteri : Dolaşım Mesafesi (TD)	23
b. Ekleme Kriteri : Kalan Kapasite (RC)	24
c. Ekleme Kriteri : Merkezden Fazla Yükleme (RS)	25
d. Ekleme Kriteri : Kombinasyon (RCRS)	26
5. ÖRNEK	26

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

HETEROJEN ARAÇ FİLOLU EŞ ZAMANLI DAĞITIM-TOPLAMALI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ

1. ÖNERİLEN ALGORİTMANIN VARSAYIMLARI.....	42
2. MATEMATİKSEL MODELİ.....	43
3. GELİŞTİRİLEN ALGORİTMA.....	45

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

HETEROJEN ARAÇ FİLOLU EŞ ZAMANLI DAĞITIM-TOPLAMALI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ İÇİN KARAR DESTEK SİSTEMİ

1. KARAR DESTEK SİSTEMİ	48
2. KARAR DESTEK SİSTEMLERİNİN ÖZELLİKLERİ.....	48
3. KARAR DESTEK SİSTEMLERİNİN TEMEL BİLEŞENLERİ	49
4. HETEROJEN ARAÇ FİLOLU EŞ ZAMANLI DAĞITIM-TOPLAMALI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ İÇİN KARAR DESTEK SİSTEMİ.....	51

BEŞİNCİ BÖLÜM
KDS' NİN K.K. LOJİSTİK KOMUTANLIĞI RİNG SEFERLERİNİN
DÜZENLENMESİNDE KULLANILMASI

1. K.K.LOJ.K.LIĞI RİNG SEFERLERİ ESASLARI	55
2. RİNG SEFERLERİNİN BELİRLENMESİ	57
3. UYGULAMA SONUÇLARI	65

ALTINCI BÖLÜM
SONUÇ VE ÖNERİLER

KAYNAKÇA.....	71
---------------	----

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo-1 : Rotalama Probleminin Karakteristik Özellikleri	4
Tablo-2 : Dağıtım-Toplamalı Araç Rotalama Problemleri İle İlgili Makaleler	19
Tablo-3 : Müşterilerin Dağıtım ve Toplama Talepleri	26
Tablo-4 : Dolaşım Mesafeleri Matrisi	28
Tablo-5 : K.K.Loju.K.ığı Ring Seferlerinin Karakteristik Özellikleri	56
Tablo-6 : Ring Seferlerine Ait 9 Haftalık Dağıtım-Toplama Çizelgesi	58
Tablo-7 : Birinci Hafta Rota Bilgileri	59
Tablo-8 : İkinci Hafta Rota Bilgileri.....	59
Tablo-9 : Üçüncü Hafta Rota Bilgileri.....	60
Tablo-10 : Dördüncü Hafta Rota Bilgileri	61
Tablo-11 : Beşinci Hafta Rota Bilgileri	62
Tablo-12 : Altıncı Hafta Rota Bilgileri.....	63
Tablo-13 : Yedinci Hafta Rota Bilgileri	63
Tablo-14 : Sekizinci Hafta Rota Bilgileri.....	64
Tablo-15 : Dokuzuncu Hafta Rota Bilgileri	64
Tablo-16 : Haftalara Göre Kullanılan Araçların Karşılaştırılması	65
Tablo-17 : Haftalara Göre Kat edilen Mesafelerin Karşılaştırılması(km.)	66
Tablo-18 : Haftalara Göre Maliyetlerin Karşılaştırılması (YTL.)	67
Tablo-19 :Müşteri Noktaları ve Araç Sayılarına Göre KDS Çalışma Süreleri	68

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil-1 : Araç rotalama problemi	3
Şekil-2 : Araç rotalama problemlerinin sınıflandırılması	5
Şekil-3 : Tekli Rota İyileştirmesi	13
Şekil-4 : Çoklu Rota İyileştirmesi.....	14
Şekil-5 : Dethloff'un Ekleme Temelli Algoritması Akış Diyagramı.....	27
Şekil-6 : Önerilen Algoritmanın Akış Diyagramı	47
Şekil-7 : Karar Destek Sistemlerinin Temel Bileşenleri	50
Şekil-8 : Karar Destek Sistemi Giriş Arayüzü	52
Şekil-9 : Depo Şehri Seçilmemesi Hata Mesajı	53
Şekil-10 : Sonuç Arayüzü	54

KISALTMALAR

K.K.LOJ.K.	: Kara Kuvvetleri Lojistik Komutanlığı
ARP	: Araç Rotalama Problemi
CVRP	: Capacitated Vehicle Routing Problem Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
DCVRP	: Distance and Capacitated Vehicle Routing Problem Mesafe ve Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
VRPTW	: Vehicle Routing Problem with Time Windows Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi
VRPB	: Vehicle Routing Problem with Backhauls Geri Toplamalı Araç Rotalama Problemi
VRPPD	: Vehicle Routing Problem with Pick up and Delivery Dağıtım Toplamalı Araç Rotalama Problemleri
VRPBTW	: Vehicle Routing Problem with Backhauls and Time Windows Geri Toplamalı ve Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemleri
VRPPDTW	: Vehicle Routing Problem with Pick up and Delivery and Time Windows Dağıtım-Toplamalı ve Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemleri
KDS	: Karar Destek Sistemi
TD	: Travel Distance Dolaşım Mesafesi
RC	: Residual Capacity Kalan Kapasite
RS	: Radial Surcharge Merkezden Fazla Yükleme
RCRS	: Residual Capacity and Radial Surcharge Kalan Kapasite ve Merkezden Fazla Yükleme

GİRİŞ

Araç Rotalama Problemi (ARP) en basit ifade ile, mal, hizmet veya şahısların bir araçlar filosu ile belirli arz noktalarından belirli talep veya teslimat noktalarına ulaştırılmaları amacıyla, kapasite, mesafe, zaman ve maliyet kısıtlarına uygun olarak en kısa yolların belirlenmesi problemi olarak tanımlanabilir. Bu kısıtların bir veya birkaçının bulunması hem araç rotalama problem türlerini belirlemekte hem de problemin çözüm yöntemini etkilemektedir.

Günlük hayattaki problemlerinin bir kısmı, yöneylem araştırması-optimizasyon teknikleri ile çözülebilirken, önemli bir kısmı için optimum sonuçları elde etmek, gerek değişken sayısının ve gerekse işlem sayısının aşırı fazla oluşu nedeniyle çok zor ve hatta imkansız olmaktadır. Optimum sonuçların bulunabilmesinin zor olduğu bu tip problemler için optimum yerine tatmin edici ölçüde iyi sonuçların belirlenmesi tercih edilmekte ve böyle durumda sezgisel metotların kullanımı söz konusu olmaktadır.

Bu tezde de, heterojen araç filolu eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemlerinin çözümü için yeni bir sezgisel algoritma geliştirilmiş ve bu algoritmayı kullanan Karar Destek Sistemi oluşturulmuştur.

Oluşturulan karar destek sistemi, Kara Kuvvetleri Lojistik Komutanlığı ring seferlerinin düzenlenmesinde kullanılmış ve sonuçlar mevcut durumla karşılaştırılmıştır.

Tez altı bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde araç rotalama problemi, çeşitli versiyonları ve çözüm yöntemleri; ikinci bölümde tezde ana çatıyı oluşturan eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemleri ve bu tip problemlerin çözümü için Dethloff tarafından geliştirilen sezgisel algoritma; üçüncü bölümde ise tezde geliştirilen heterojen araç filolu eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemleri ve çözüm algoritması tanımlanmaktadır.

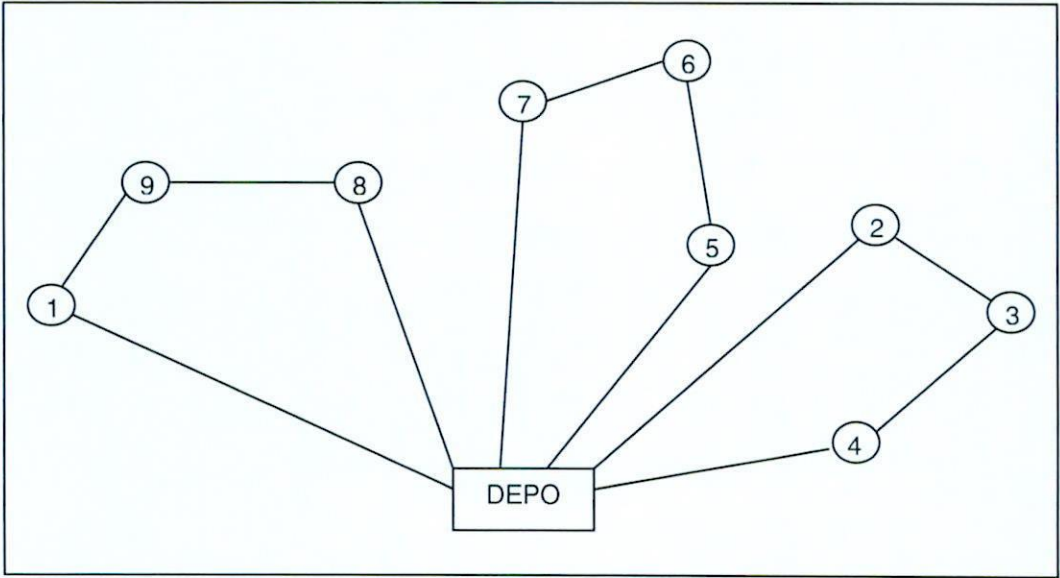
Tezin dördüncü bölümünde, geliştirilen algoritmanın uygulamada dinamik olarak kullanılabilmesi için hazırlanan karar destek sisteminin tanıtımı; beşinci bölümde, hazırlanan karar destek sisteminin Kara Kuvvetleri Lojistik Komutanlığı ring seferleri için uygulanması ve son bölümde sonuç ve öneriler yer almaktadır.

BİRİNCİ BÖLÜM

ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ

1. GENEL

Araç rotalama problemi (Vehicle Routing Problem), bir merkezi depoda yerleşmiş bulunan aynı veya farklı kapasitelere sahip olan araçlar filosunun, farklı bir yerleşime ve bilinen talebe sahip olan bir müşteriler kümesine, toplam dolaşım mesafesini veya süresini minimize edecek şekilde hizmet sunarak depoya geri dönmesi için gerekli rotaların belirlenmesi problemidir. Araç rotalama probleminin yapısı Şekil-1'de örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil-1: Araç rotalama problemi

2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİNİN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ

Araç rotalama problemlerinin gerçek hayattaki uygulamalarına bakıldığında farklı kısıtlarla ve özelliklerle karşılaşmak mümkündür. Bunun sonucu olarak ta araç rotalama problemleri çeşitli sınıflara ayrılmıştır.

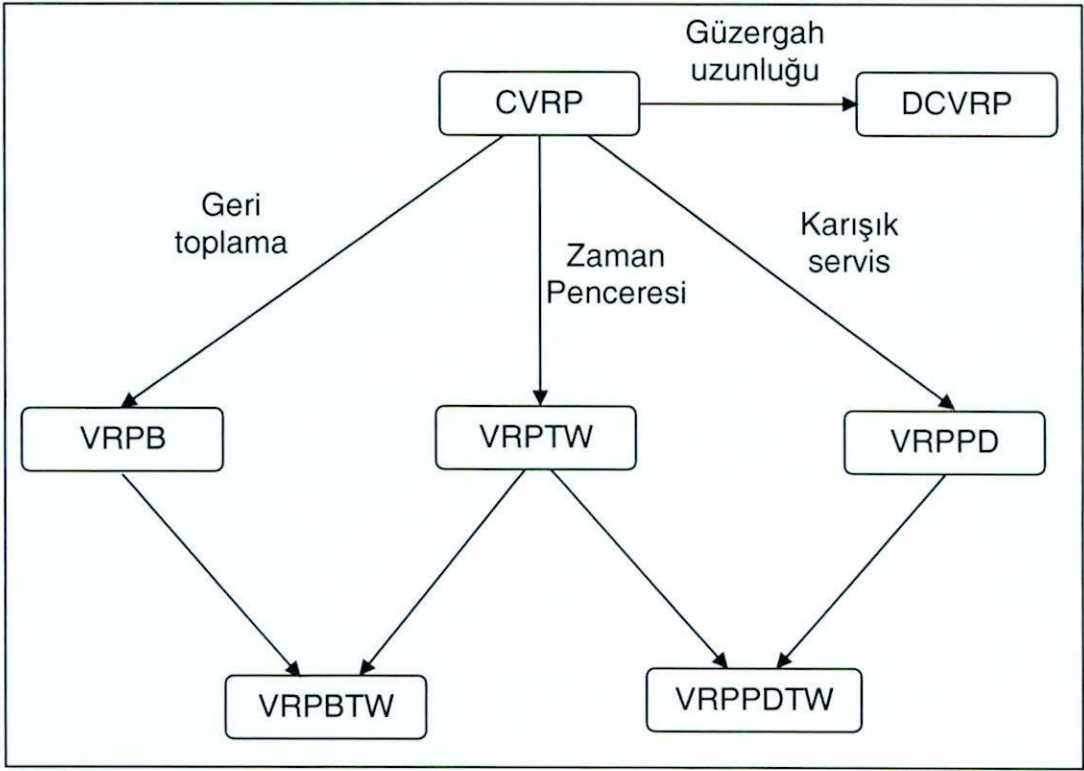
Tablo-1'de Bodin ve diğerleri (1983) tarafından hazırlanan, araç rotalama problemlerinin farklılık gösterebildikleri karakteristik özellikleri görülebilir.

Tablo-1: Rotalama Probleminin Karakteristik Özellikleri

S.No	Özellikler	Olası Seçenekler
1	Mevcut Araç Sayısı	Tek araç Çok araç
2	Mevcut Filo Tipi	Homojen (sadece bir araç tipi) Heterojen (birden fazla araç tipi) Özel araç tipleri (bölmelere ayrılmış, vb.)
3	Araçların Yerleşimi	Tek depoda Çok depoda
4	Taleplerin Yapısı	Deterministik (bilinen) talepler Stokastik talepler Talebin kısmen karşılanması
5	Taleplerin Yerleşimi	Düğümelerde Dallarda Karışık
6	Temel Şebeke Yapısı	Yönsüz Yönlü Karışık Öklid
7	Araç Kapasite Kısıtları	Belirli (hepsi aynı) Belirli (değişik araç kapasiteleri) Belirsiz (sınırsız kapasiteli)
8	Maksimum Rota Süreleri	Belirli (tüm rotalar için aynı) Belirli (farklı rotalar için farklı) Belirsiz
9	Operasyonlar	Sadece toplama Sadece dağıtım Karışık (toplama ve dağıtım)
10	Maliyet	Değişken veya rotalama maliyeti Sabit işletme veya araç maliyeti Müşterek taşıma maliyeti
11	Amaç	Toplam rotalama maliyetini minimize etmek Toplam sabit ve değişken maliyetleri minimize etmek Gerekli araç sayısını minimize etmek Hizmete veya uygunluğa dayanan fayda fonksiyonunu minimize etmek Müşteri önceliklerine dayanan fayda fonksiyonunu minimize etmek

3. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİNİN SINIFLANDIRILMASI

Araç rotalama problemleri kapasite ve mesafe kısıtlı araç rotalama problemleri (DCVRP), zaman pencereli araç rotalama problemleri (VRPTW), geri toplamalı araç rotalama problemleri (VRPB) ve dağıtım-toplamalı araç rotalama problemleri (VRPPD) olarak ana gruplara ayrılabilir. Gerçek hayatta karşılaşılan çeşitli problemler sonucu bu ana grupların kombinasyonları ile çeşitli sınıflar da ortaya çıkabilmektedir (Geri toplamalı ve zaman pencereli araç rotalama problemleri (VRPBTW) vb.). Araç rotalama problemlerinin temel sınıfları ve bunların karşılıklı bağlantıları Şekil-2'de görülebilir.



Şekil-2: Araç rotalama problemlerinin sınıflandırılması (Toth ve Vigo,2002)

a. Kapasite ve Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemleri

Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi (CVRP) araç rotalama problemlerinin en basit ve temel şeklidir. Araçlar özdeştir ve tek bir depoda konşludur. Her müşteri sadece bir kez ziyaret edilir ve bir rotadaki taleplerin toplamı araç kapasitesinin üzerinde olamaz. Kapasite kısıtlı araç rotalama

problemlerinde amaç toplam maliyeti minimize etmektir. İhtiyaçlar doğrultusunda kapasite kısıtlı araç rotalama problemlerinin çeşitli varyasyonları türetilmiştir. Örneğin kapasite kısıtına maksimum mesafe kısıtı da eklendiğinde kapasite ve mesafe kısıtlı araç rotalama problemi (DCVRP) türetilmektedir. Bu durumda amaç toplam mesafeyi minimize etmektir.

b. Zaman Pencere Araç Rotalama Problemleri

Zaman pencere araç rotalama problemleri kapasite kısıtlı araç rotalama problemlerinin bir uzantısıdır ve kapasite kısıtına ilave olarak her müşteriye zaman penceresi olarak adlandırılan bir zaman aralığında hizmet edilmesi gerekmektedir. Burada da amaç maliyeti minimize etmektir.

c. Geri Toplamalı Araç Rotalama Problemleri

Geri toplamalı araç rotalama problemlerinde bazı müşterilerden mal alınması gerekirken bazı müşterilere mal bırakılması gerekmektedir. Araçlar rota boyunca önce dağıtım yaparlar sonra toplama yaparak depoya dönerler. Amaç yol mesafesini minimize etmektir.

d. Dağıtım-Toplamalı Araç Rotalama Problemleri

Dağıtım-toplamalı araç rotalama problemlerinde müşterilerin hem dağıtım hem de toplama talepleri mevcuttur. Dağıtım-toplamalı araç rotalama problemleri üç şekilde olabilir:

- Önce dağıtım sonra toplama yapılan araç rotalama problemleri,
- Karışık dağıtım-toplamalı araç rotalama problemleri,
- Eşzamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemleri.

(1) Önce Dağıtım Sonra Toplama Yapılan Araç Rotalama Problemleri

Bu tür problemlerde araçlar rota boyunca önce müşterilerin dağıtım taleplerini karşılarken depoya dönüş yolunda toplama taleplerini karşılarlar. Araçlar müşterilere birden fazla ziyaret gerçekleştirirler.

(2) Karışık Dağıtım-Toplamalı Araç Rotalama Problemleri

Karışık dağıtım-toplamalı araç rotalama problemlerinde araçlar rota boyunca müşterilerin dağıtım ve toplama taleplerini karışık olarak gerçekleştirirler. Bu tür problemlerde de araçlar müşterilere birden fazla ziyaret gerçekleştirebilirler.

(3) Eş Zamanlı Dağıtım-Toplamalı Araç Rotalama Problemleri

Eş zamanlı dağıtım-toplamanın yapıldığı araç rotalama problemlerinde araçlar rota boyunca müşterilerin dağıtım ve toplama taleplerini eş zamanlı olarak gerçekleştirirler. Böylece müşteriler sadece bir defa ziyaret edilmiş olurlar.

e. Heterojen Araç Filolu Araç Rotalama Problemleri ve Literatür İncelemesi

Heterojen araç filolu araç rotalama problemleri klasik araç rotalama problemlerinin bir çeşididir. Bu tür problemlerde müşterilere farklı kapasitelerde, farklı sabit ve değişken maliyetli araçlardan oluşan heterojen filolarla hizmet verilir. Bir aracın rotalama maliyeti, sabit maliyetlerin ve gidilen yol mesafesine bağlı olarak oluşan değişken maliyetlerin toplamıdır.

Literatürde üç çeşit heterojen araç filolu araç rotalama problemi tipi üzerine çalışılmıştır. Bunlardan birincisi Golden ve diğerleri (1984) tarafından sunulan her bir araç tipinin sınırsız olduğu varsayılan ve her bir araç tipi için aynı değişken maliyetlerin verildiği problemlerdir. Bu tip problemler aynı zamanda Karışık Araç Filolu, Filo Büyüklüğü ve Karışımı Araç Rotalama Problemi veya Filo Büyüklüğü ve Bileşimi Araç Rotalama Problemi olarak adlandırılmıştır.

Heterojen araç filolu araç rotalama problemlerinin ikinci tipinde, ilk tip problemlerde ihmal edilmiş olan araç tipine bağlı değişken maliyetler de düşünülmüştür.

Üçüncü tip problemler ise her tipten araç sayısını sınırlandırmak suretiyle ikinci versiyonun genelleştirilmiş halidir (Choi, ve Tcha,2007).

Heterojen araç filolu araç rotalama problemlerinin karmaşıklığı nedeniyle yapılan çalışmalarda genellikle sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir. Bunlardan birisi Golden ve diğerleri (1984) tarafından Clark ve Wright tasarruf algoritmasını bu tip problemlere uyarlanan tasarruf algoritmasıdır. Golden ve diğerleri bu çalışmalarında çeşitli iki aşamalı çözüm yaklaşımları sunmuşlardır. Bu yaklaşımlarda önce yapıcı sezgiseller kullanılarak büyük bir tur oluşturulur ve daha sonra iyileştirme yöntemleri ile tüm kısıtları karşılayan alt turlar belirlenmektedir. Geliştirilen bu yaklaşımları örnekler üzerinde denemişler ve en iyi sonucu çok parça geniş tur algoritması ile ilk turu oluşturan, çoklu rota iyileştirme yöntemiyle turları optimize eden algoritmanın (MGT + Or-opt) verdiğini belirtmişlerdir.

Gheysens ve diğerleri (1984,1986) de heterojen araç filolu araç rotalama problemlerinin çözümü için iki sezgisel algoritma sunmuşlardır. Bunlardan ilkinde araç kapasite kısıtları, sabit araç maliyetleri ve değişken araç maliyetlerini bir ceza çarpanı kullanarak amaç fonksiyonu ile birleştirmişlerdir. Oluşturulan bu problem değişik ceza çarpanları için Golden ve diğerlerinin sunduğu (MGT + Or-opt) algoritması ile çözülmüştür. Geliştirilen diğer sezgisel algoritma iki aşamalı bir algoritmadır. İlk aşamada alt sınır prosedürü kullanılarak araç karışımı belirlenmiştir. İkinci aşamada Fisher and Jaikumar (1981)'in genelleştirilmiş atama prosedürü kullanılarak ilk aşamada elde edilen araçlar için rotalama problemi çözülmüştür .

Salhi ve Rand (1993) araç rotalama problemlerinin çözümü için geliştirilen bir rota karıştırma prosedürünü, heterojen araç filolu araç rotalama problemlerinin çözümü için uyarlamışlardır. Bu algoritmada rotalama maliyetini artırırken daha önemli olan sabit araç maliyetlerini düşüren bazı karışım sezgiselleri kullanmışlardır. Daha önceki algoritmaları test etmek için kullanılan örnek problemlerinin çözümünde bu algoritmanın daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür (Salhi ve Sari,1996). Osman ve Salhi (1996) bu algoritmanın arama prosedürünü farklı sonuçlar ortaya çıkartacak şekilde tekrarlayan ve en iyi sonucu saklayan yeni bir versiyonunu geliştirmişlerdir (Renaud ve Boctor, 2002).

Literatürde heterojen araç filolu araç rotalama problemlerinin çözümü için çeşitli metasezgisel algoritmalar da bulunmaktadır. Osman ve Salhi(1996) başlangıç çözümlerinin Salhi ve Rand (1993)'ın algoritması ile bulunduğu ve Osman (1993)'ın λ -değiştirme algoritmasıyla iyileştirildiği bir Tabu Arama algoritması geliştirmişlerdir. Taillard (1999) çözüm üretmek için Tabu Araması kullanan ve küme bölme problemi ile en iyi rota kombinasyonunu bulan farklı bir algoritma geliştirmiştir (Renaud ve Boctor, 2002). Gendreau ve diğerleri gezgin satıcı problemlerini çözmek için Gendreau ve diğerleri (1992) tarafından geliştirilen GENIUS sezgiselini ve Rochat ve Taillard (1995) tarafından geliştirilen bir arama tekniği olan uyarlamalı hafıza yöntemini kullanan bir Tabu araması algoritması geliştirmişlerdir (Gendreau ve diğerleri,1999).

Heterojen araç filolu araç rotalama problemlerinin çözümü için diğer bir metasezgisel yöntem de Taillard tarafından geliştirilen dizi üretme metodudur. Bu yöntemde de Taillard önce her araç tipi için Tabu araması yöntemi kullanarak homojen araç filolu araç rotalama problemini çözerek bir kümede saklamış daha sonra bu çözümleri heterojen araç filolu araç rotalama problemi için değerlendirerek uygun rotalar üretmiştir. Ürettiği rotaların maliyetini hesaplayarak saklamış ve başa dönerek yeni çözümler geliştirmiş ürettiği her çözümün maliyetini bir öncekiyle karşılaştırarak uygun olmayan rotayı iptal etmiştir. Bu sayede en sonda en iyi sonuç kalmaktadır (Taillard,1996).

Bu tezde, araç filosu açısından; her tipten araç sayılarının sınırlandırıldığı ve her tip aracın maliyetinin de farklı olduğu üçüncü tip heterojen araç filolu araç rotalama problemlerinin çözümüne yönelik bir algoritma önerilmiştir. Önerilen algoritmanın araç filosu karışımının belirlenmesi kısmı Taillard'ın (1996) algoritması temel alınarak geliştirilmiş ve maliyetlerin karşılaştırılması yöntemi uygulanmıştır.

4. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Araç rotalama problemlerinin ifadesi kolay ancak çözümü oldukça zordur ve NP-hard problem sınıfına girer. Dolayısıyla problemin optimal olarak çözülmesi için gerekli süre problemin hacmine göre üssel olarak artmaktadır. Bu durum optimal çözümün kabul edilebilir bir sürede elde edilmesini güçleştirmekte hatta imkânsızlaştırmaktadır. Bu nedenle probleme optimal çözüm arama yerine, optimale yakın değerler veren sezgisel çözüm teknikleri geliştirilmiştir.

Araç rotalama problemlerinin çözüm yöntemlerini üç ana grupta incelememiz mümkündür:

- Optimal çözüm yaklaşımları,
- Sezgisel çözüm yaklaşımları,
- Metasezgisel çözüm yaklaşımları.

a. Optimal Çözüm Yaklaşımları

(1) Dal-Sınır Yöntemi

Dal-sınır yöntemi klasik araç rotalama problemleri ve onun ana türlerini çözmek için kullanılan bir yöntemdir. Tam sayılı doğrusal programlama problemlerinin çözümünde kullanılan bu yöntemde ana problem çözüm alanında alt problemlere bölünür ve her bir alt problem alt ve üst sınırlar içerisinde çözülerek optimal çözüm bulunmaya çalışır.

(2) Dal-Kesim Yöntemi

Dal-kesim algoritması dal-sınır yöntemini iyileştirmek için kurulmuş bir algoritmadır. Dallanma aşamasında tek gevşetme çözüleceğine, kesen düzlem yöntemiyle kesirli çözüm tarafından ihlal edilen eşitsizlik eklenerek bir dizi gevşetmeler çözülür (Taşkın, 2003).

b. Sezgisel Çözüm Yaklaşımları

Sezgisel çözüm yaklaşımları genel olarak üç kategoride incelenebilir. Bunlar yapıcı sezgiseller, iki aşamalı yöntemler ve iyileştirici yöntemlerdir.

(1) Yapıcı Sezgiseller

Yapıcı sezgiseller kademeli olarak en iyi çözümü oluştururlar fakat iyileştirici bir safhaları yoktur.

(a) Clark ve Wright Tasarruf Algoritması

Clark ve Wright algoritması araç rotalama probleminin çözümü için kullanılan sezgisel yöntemlerin en yaygın olanıdır. Bu algoritmanın adımları aşağıdaki gibidir:

- **Adım 1.** Herhangi bir başlangıç noktası seç ve 1 olarak numaralandır.
- **Adım 2.** Her $i, j = 2, 3, \dots, n$ için $s_{ij} = c_{1i} + c_{1j} - c_{ij}$ tasarruflarını hesapla.
- **Adım 3.** Tasarrufları büyükten küçüğe doğru sırala.
- **Adım 4.** En büyük tasarruf sağlayan noktadan başlayarak uygun i ve j noktalarını alt tura ekleyerek daha geniş alt turlar oluştur ve bir aracın turu oluşuncaya kadar tekrarla (Online Logistics Tutorial [web], 1999).

(b) Ekleme Sezgiselleri

Ekleme sezgiselleri her iterasyonda rotaya yeni bir müşteri ekleyerek çözüm arayan yöntemlerdir. Literatürde sıralı eklemeleri temel alan iki algoritma mevcuttur. Mole ve Jameson tarafından geliştirilen ilk algoritma her iterasyonda tek bir rota oluştur. İkinci algoritma Christofides, Mingozi ve Toth tarafından önerilmiştir ve sırasıyla sıralı ve paralel rota oluşturma prosedürü uygulanır (Toth ve Vigo, 2002).

i. Mole ve Jameson Sıralı Ekleme Sezgiseli

Sıralı ekleme sezgiselinde bir başlangıç noktası seçilerek depodan bu noktaya ve bu noktadan depoya bir rota oluşturulur. Daha sonra rotalanmamış tüm noktaların ekleme maliyeti hesaplanır ve en az maliyetle rotaya eklenebilecek nokta seçilir ve rotaya eklenir. Aracın kapasitesi doluncaya kadar bu işleme devam edilir ve aracın kapasitesi dolunca ikinci aracın rotası oluşturulmaya başlanır. Bu prosedür tüm noktalar rotalanıncaya kadar devam eder.

ii. Christofides, Mingozi ve Toth Sıralı Ekleme Sezgiseli

Mole ve Jameson algoritmasını iyileştirmek için sunulan iki safhalı bu algoritmanın ilk safhası sıralı rota oluşturma safhasıdır ve ekleme maliyetleri kullanılarak tüm rotalar oluşturulur. İkinci safhada ise ilk safhada bulunan rotalar başlangıç rotaları olarak alınır ve gerekli hesaplamalar yapılarak rotaların iyileştirmeleri yapılır.

(2) İki Aşamalı Yöntemler

İki aşamalı sezgiseller önce kümeleme sonra rotalama ve önce rotalama sonra kümeleme olmak üzere ikiye ayrılırlar.

(a) Önce Kümeleme Sonra Rotalama Yöntemleri

Önce kümeleme sonra rotalama yöntemleri üç sınıfa ayrılmıştır. Birincisi ve en basiti temel kümeleme metotlarıdır. Bu metotlarda tüm noktalar bir sefer kümelenir ve her küme içinde bir rota oluşturulur. Temel kümeleme metotları arasında süpürme algoritması, Fisher ve Jaikumar'ın genelleştirilmiş atama temelli algoritması ve Bramel ve Simchi_Levi'nin yerleşim temelli sezgiseli sayılabilir.

İkinci sınıf en iyi araç rotalarını oluşturmak için tepesi kesilmiş dal-sınır yaklaşımıdır. Önce kümeleme sonra rotalama yöntemlerinin üçüncüsü ise üst üste kesişen kümelerden en iyi rotaları oluşturan çiçek yaprağı algoritmalarıdır.

(b) Önce Rotalama Sonra Kümeleme Yöntemleri

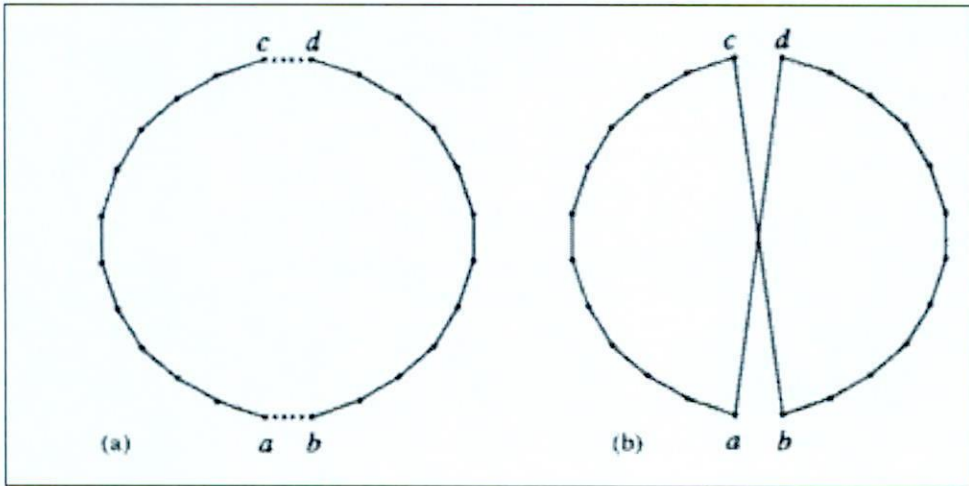
Bu yöntemlerin ilk safhasında tüm noktaları içeren ve yan kısıtları ihmal ederek uygun çözüm alanı dışında büyük bir rota oluşturulur ve ikinci safhada bu rota uygun çözüm alanı içerisinde daha küçük araç rotalarına ayrıştırılır.

(3) İyileştirici Yöntemler

İyileştirici yöntemler kendi başına bir çözüm üretmek yerine diğer algoritmaların oluşturduğu çözümleri daha iyi bir sonuca ulaştırmak için kullanılan yöntemlerdir.

(a) Tekli Rota İyileştirmeleri

Literatürde 2-opt algoritması olarak da isimlendirilen bu yöntem rota üzerindeki iki noktanın yerlerini değiştirerek daha iyi bir çözüme ulaşmak maksadıyla kullanılır. Bu yöntemde herhangi bir iyileştirme kalmayıncaya kadar değişik nokta çiftlerinin yerlerinin değiştirilmesine devam edilir. Tekli rota iyileştirme yönteminin şekilsel gösterimi Şekil-3'de görülmektedir.

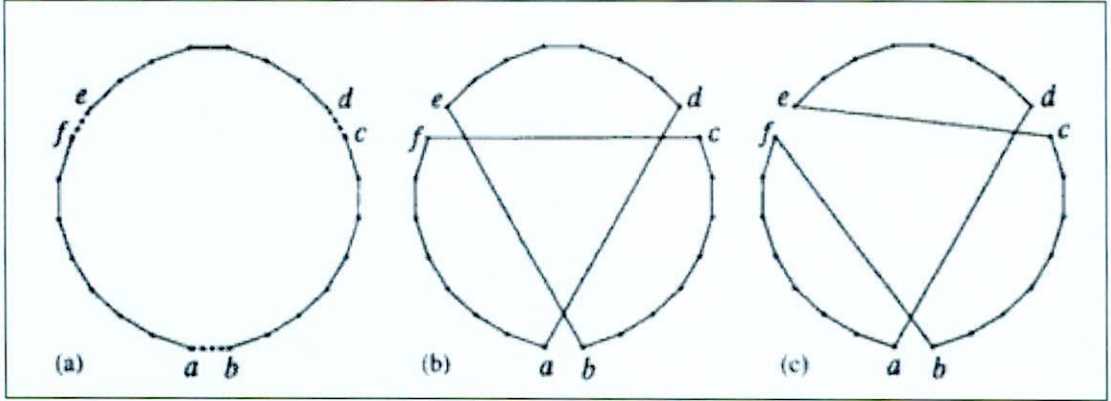


Şekil-3: Tekli Rota İyileştirmesi

(a) Başlangıç Rotası, (b) İyileştirilmiş Rota (Johnson ve Mcgeoch, 1997)

(b) Çoklu Rota İyileştirmeleri

Çoklu rota iyileştirmelerinde birden fazla nokta çiftinin yerleri değiştirilerek daha iyi bir çözüme ulaşılmaya çalışılır. Bu yöntemde de herhangi bir iyileştirme kalmayıncaya kadar nokta çiftlerinin değiştirilmesine devam edilir. Çoklu rota iyileştirme yönteminin şekilsel gösterimi Şekil-4'de görülmektedir.



Şekil-4: Çoklu Rota İyileştirmesi (a) Başlangıç Rotası (b,c) İyileştirilmiş Rota (Johnson ve Mcgeoch, 1997)

c. Meta Sezgisel Çözüm Yaklaşımları

Meta sezgisel çözüm yaklaşımları iyi bir çözüm bulabilmek için çözüm uzayını araştıran ve genellikle klasik rota yapıcı ve iyileştirici sezgiselleri içeren yöntemlerdir. Bu yaklaşımları klasik yaklaşımlarda ayıran en büyük özellik bu yaklaşımların bozulmalara ve arama süreci içinde eniyi olmayan ara çözümlere izin vermesidir (Toth ve Vigo, 2002).

(1) Tavlama Benzetimi

Tavlama Benzetimi (TB), karesel optimizasyon problemleri için iyi çözümler veren olasılıklı karar verme yöntemi olarak görülebilir. Kontrol parametresi "sıcaklık" tır ve minimizasyon problemleri için çözümün daha iyi bir çözüme ulaşmasının kabulü olasılığını değerlendirir. "Tavlama Benzetimi" ismi, katıların fiziksel tavlama süreci ile olan benzerlikten ileri gelmektedir. TB algoritması, birbirlerinden bağımsız olarak, Kirkpatrick, Gelatt ve Vecchi

(1983) ve Cerny (1985) tarafından ortaya konmuştur. Günümüze kadar, bilgisayar tasarımı, görüntü işleme, moleküler fizik ve kimya, çizelgeleme gibi farklı alanlardaki bir çok optimizasyon problemine uygulanmıştır (Yiğit ve Türkbey, 2003).

(2) Tabu Araması

Tabu araması, ilk olarak Glover (1989, 1993) tarafından geliştirilmiş olan ve karmaşık araştırma uzaylarını incelemek için yerel optimuma yaklaşma tekniklerinin aksine (minimizasyon problemi için) mevcut çözümde amaç değerini yükselten ayarlamalar yapılmasına izin vererek yerel minimumdan kaçınabilen bir tekniktir. Tabu araması algoritmasında uygun olmayan ara çözümler kabul edilmekte fakat bu çözümlerin uygunluk dereceleri amaç fonksiyonundaki bir ceza terimi ile ölçülmektedir. Algoritma her bir adımda (iteration) mevcut çözümden komşu çözümler belirlemekte ve bunlar içerisindeki en iyi çözümü yeni çözüm olarak seçmektedir. Bununla birlikte bu uygulama basit yerel araştırma tekniklerinin aksine, herhangi bir iyileşme gerçekleşmediği zaman durmayarak yerel optimumdan kaçınmakta ve bunun sonucu olarak araştırma uzayının daha büyük bir kısmını inceleme imkanı vermektedir (Top, 2004).

(3) Genetik Algoritmalar

Genetik algoritmalar, doğal seçim ilkelerine dayanan bir arama ve optimizasyon yöntemidir. Temel ilkeleri John Holland tarafından ortaya atılmıştır. Temel ilkelerinin ortaya atılmasından sonra, genetik algoritmalar hakkında bir çok bilimsel çalışma yayınlanmıştır. Ayrıca, genetik algoritmaların teorik kısmı ve uygulamaları hakkında bir çok uluslararası konferans da düzenlenmektedir. Genetik algoritmaların, fonksiyon optimizasyonu, çizelgeleme, mekanik öğrenme, tasarım, hücresel üretim gibi alanlarda başarılı uygulamaları bulunmaktadır. Geleneksel optimizasyon yöntemlerine göre farklılıkları olan genetik algoritmalar, parametre kümesini değil kodlanmış biçimlerini kullanırlar. Olasılık kurallarına göre çalışan genetik algoritmalar, yalnızca amaç fonksiyonuna gereksinim duyar. Çözüm

uzayının tamamını değil belirli bir kısmını tararlar. Böylece, etkin arama yaparak çok daha kısa bir sürede çözüme ulaşırlar (Emel ve Taşkın, 2002).

(4) Karınca Kolonisi Optimizasyonu

Karınca kolonisi algoritması karıncaların yiyecek araması davranışından esinlenerek oluşturulmuş doğal bir algoritmadır. Karıncalar yiyecek ararlarken başlangıçta çevrelerini rasgele araştırırlar. Bir yiyecek bulduklarında yuvalarına bu yiyeceği taşırlarken gittikleri yol boyunca bir fenomen maddesi salgırlar. Bir yol üzerinde çok fazla fenomen maddesi varsa bu yolun daha çok karınca tarafından kullanıldığı anlaşılır ve bu sayede karıncalar yuvalarına giden en kısa yolları da oluşturmuş olurlar.

Karıncaların rota oluşturmalarından yola çıkılarak geliştirilen karınca kolonisi algoritmalarında her şehre bir karınca yerleştirilir ve her karınca amacına uygun en yakın şehre gider. Bu esnada feromen bırakır ve turuna devam eder. Bu şekilde tüm turlar oluşturulur.

İKİNCİ BÖLÜM

EŞ ZAMANLI DAĞITIM-TOPLAMALI

ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ

1. TANIM

Eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemleri, klasik araç rotalama problemlerinin müşterilerin hem dağıtım hem toplama taleplerinin olduğu bir tipidir. Bu tip problemlerde merkezi bir depoda konuşlanan araçlar merkezi depodan müşterilere olan dağıtım taleplerini yerine getirirken eş zamanlı olarak müşterinin depoya olan taşıma talebini de gerçekleştirirler. Rota boyunca müşterilere tek bir ziyaret gerçekleştirilmesi esastır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemleri ilk defa Min (1989) tarafından ortaya atılmıştır. Min bu çalışmasında bir halk kütüphanesinin 22 alt kütüphanesine kitap, film, vb. kütüphane materyalinin dağıtılması ve toplanması probleminin çözümü için bir algoritma geliştirmiştir. Min'in algoritması önce kümeleme sonra rotalama yöntemini temel almıştır. Algoritmanın ilk aşamasında müşteriler kümelere ayrılmakta, ikinci aşamada bu kümelere araç ve sürücüler atanmakta ve üçüncü aşamada gezgin satıcı problemi ile rotalar oluşturulmaktadır.

Halse (1992) geri toplamalı araç rotalama problemleri ve dağıtım-toplamalı araç rotalama problemlerini de kapsayan çeşitli araç rotalama problemleri üzerine çalışmıştır. Bu problemleri çözerken önce kümeleme sonra rotalama yaklaşımını kullanmıştır. İlk aşamada müşterileri araçlara atamış, daha sonra çoklu rota iyileştirmesi yaklaşımını kullanarak rotaları belirlemiştir (Nagy ve Salhi, 2003).

Dethloff (2001) eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemleri için ekleme temelli yeni bir sezgisel algoritma geliştirmiştir. Geliştirilen algoritma ile Min tarafından sunulan algoritmanın bulduğu rotalardan daha iyi bir sonuca ulaşılmıştır.

Nagy ve Salhi (2003) dağıtım-toplamalı araç rotalama problemleri için genel bir algoritma geliştirmiş ve bu algoritmayı hem karışık dağıtım-toplamalı araç rotalama problemlerinde hem de eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemlerine uygulamışlardır. Nagy ve Salhi'nin algoritması dört aşamalı bir algoritmadır. Geliştirdikleri algoritmayı Min'in algoritması ile kıyaslamışlar ve daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemlerinin çözümü için geliştirilen ilk metasezgisel algoritma Montane ve Galvao (2006) tarafından önerilmiştir. Montane ve Galvao çalışmalarında yeni bir tabu araştırması algoritması sunmuşlardır ve bu algoritmayı hem Dethloff hem de Nagy ve Salhi'nin makalelerinde sundukları örneklerle karşılaştırmışlardır. Ulaşılan sonuçlar en etkin algoritmanın tabu araştırması algoritması olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Chen ve diğerleri (2007) eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemlerinin çözümü için karınca kolonisi temelli yeni bir metasezgisel algoritma geliştirmişler ve geliştirdikleri algoritmayı Dethloff'un örnekleri ile çözerek daha iyi sonuçlar almayı başarmışlardır.

Tablo-2: Dağıtım-Toplamalı Araç Rotalama Problemleri İle İlgili Makaleler
(Nagy ve Salhi, 2003) (D: dağıtım; P: toplama)

YAZAR(YIL)	PROBLEM TİPİ	ÇÖZÜM YÖNTEMİ	ÖRNEK BÜYÜKLÜĞÜ
Deif ve Bodin (1984)	D1P2	Tasarruf metodunun uzantısı, toplamaları en sona bırakmak için ceza katsayısı uygulanmıştır.	$d=1, r=\#$ $100 \leq c \leq 300$
Golden, Baker, Alfaro ve Schaffer (1985)	Karışık	Önce dağıtım rotaları bulunmuş, durma kriterine göre toplama noktaları eklenmiş	$d=1, r=6$ $c = 50$
Yano ve diğerleri (1987)	D1P2	Lagrange çarpanları kullanılarak küme kaplama sezgiseli ile çözülmüştür	$d=1, r=11$ $c = 40$
Casco, Golden ve Wasil (1988)	Karışık	Önce dağıtım rotaları bulunmuş, yükleme kriterine göre toplama noktaları eklenmiş	$d=1, r=6$ $c = 61$
Goetschalckx ve Jacobs(1989)	D1P2	Önce kümeleme sonra rotalamayla rotalar bulunup iyileştirme yapılmış	$d=1, r=2$ $25 \leq c \leq 200$
Min (1989)	Eş zamanlı	Kümeleme ve rotalama yapılmış, uygun olmayan dallara ceza verilerek yeniden rotalanmış	$d=1, r=2$ $c = 22$
Min, Current ve Schilling (1992)	D1P2	Dağıtım ve toplama noktalarını ayrı kümeleme ve rotalama	$d=3, r=\#$ $c = 161$
Halse (1992)	Eş zamanlı	Önce atama, sonra rotalama ve en son iyileştirme	$d=1, r=\#$ $22 \leq c \leq 150$
Goetschalckx ve Jacobs(1993)	D1P2	Dağıtım ve toplama noktalarını beraber kümeleme ve rotalama	$d=1, r=\#$ $25 \leq c \leq 200$
Mosheiov (1994)	Karışık	TSP ile çözüp sonra depo ekleme	$d=1, r=1$ $17 \leq c \leq 200$
Anily ve Mosheiov (1994)	Karışık	Minimum yayılım ağacını yaratıp TSP ile çözüm	$d=1, r=1$ $10 \leq c \leq 100$
Thangiah, Sun ve Potvin (1994)	D1P2	Dağıtım ve toplamaları birer birer ekleme ve iyileştirme	$d=1, r=\#$ $25 \leq c \leq 100$
Anily (1996)	D1P2	Ayrı kümeleme, TSP ile çözüm, atama ve sonunda yapıcı rotalama	$d=1, r=\#$ $c = \#$
Toth ve Vigo (1996)	D1P2	Ayrı kümeleme, kümeleri eşleştirme, TSP ile çözüm ve iyileştirme	$d=1, r=\#$ $21 \leq c \leq 150$
Gendreau, Laporte ve Hertz (1997)	D1P2	Yayılım ağacı oluşturup TSP ile çözüm	$d=1, r=1$ $c = \#$
Toth ve Vigo (1997)	D1P2	Lagrange dal-sınır yöntemi	$d=1, r=\#$ $21 \leq c \leq 100$
Toth ve Vigo (1999)	D1P2	Ayrı kümeleme, kümeleri eşleştirme, TSP ile çözüm ve iyileştirme	$d=1, r=12$ $21 \leq c \leq 100$
Salhi ve Nagy (1999)	Karışık	Önce dağıtım rotaları bulunmuş, toplamalar birer birer ekleniyor	$d=5, r=\#$ $50 \leq c \leq 249$
Gendreau, Laporte ve Vigo (1999)	Eş zamanlı	TSP ile çözüp dağıtım ve toplama sırasını tur içinde belirleme	$d=1, r=1$ $6 \leq c \leq 261$
Osman ve Wassan (2002)	D1P2	Tasarruflu atama ile başlangıç çözümü bulup reaktif tabu araması uygulama	$d=1, r=6$ $c = 40$

3. MATEMATİKSEL MODEL

Dethloff (2001) eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemleri için aşağıdaki matematiksel modeli sunmuştur:

Notasyon :

J : Müşteri noktaları kümesi

J_0 : Depo dahil tüm noktalar kümesi

V : Araçlar

Parametreler :

C : Araç kapasitesi

C_{ij} : i ve j noktaları arasındaki mesafe

D_j : j noktasının depodan talep ettiği malzeme miktarı,

n : Dağıtım yapılacak nokta sayısı,

P_j : j noktasından depoya geri gönderilecek malzeme miktarı,

M : Çok büyük bir sayı.

Karar Değişkenleri :

I_v' : Depodan ayrılan v aracının yükü,

I_j : Aracın j noktasından ayrıldıktan sonraki yükü,

π_j : Alt tur oluşmasını engelleyen değişken,

X_{ijv} : $\begin{cases} 1, & v \text{ aracı } i \text{ ve } j \text{ arasında taşıma yapıyorsa,} \\ 0, & \text{diğer durumlarda.} \end{cases}$

Model :

$$\text{Min } z = \sum_{i \in J_0} \sum_{j \in J_0} \sum_{v \in V} C_{ij} x_{ijv} \quad (1)$$

Kısıtlar :

$$\sum_{i \in J_0} \sum_{v \in V} x_{ijv} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{i \in J_0} x_{isv} = \sum_{j \in J_0} x_{sjv} \quad (3)$$

$$l_v' = \sum_{i \in J_0} \sum_{j \in J} D_j x_{ijv} \quad (4)$$

$$l_j \geq l_v' - D_j + P_j - M(1 - x_{0jv}) \quad (5)$$

$$l_j \geq l_i - D_j + P_j - M(1 - \sum_{v \in V} x_{ijv}) \quad (6)$$

$$l_v' \leq C \quad (7)$$

$$l_j \leq C \quad (8)$$

$$\pi_j \geq \pi_i + 1 - n(1 - \sum_{v \in V} x_{ijv}) \quad (9)$$

$$\pi_j \geq 0 \quad (10)$$

$$x_{ijv} \in \{0,1\} \quad (11)$$

Modeldeki (1) eşitliği toplam mesafeyi minimize eden amaç fonksiyonudur. (2) nolu kısıt, her müşterinin sadece bir kez ziyaret edilmesini, (3) nolu kısıt, her müşteriye aynı araçla varılmasını ve müşteriden aynı aracın ayrılmasını sağlar. (4) nolu kısıt, başlangıçtaki araç yüklerini; (5) nolu kısıt, ilk müşteriden sonraki araç yükünü; (6) nolu kısıt, rota boyunca araç yüklerini sınırlandırmaktadır. (7) ve (8) nolu kısıtlar, sırasıyla ilk müşteriden sonraki ve

rota boyunca araç yüklerinin araç kapasitesini geçmemesini sağlar. (9) ve (10) nolu kısıtlar, alt tur oluşmasını engeller.

4. DETHLOFF'UN EKLEME TEMELLİ SEZGİSEL ALGORİTMASI

Dethloff eş zamanlı dağıtım-toplama problemleri için eklemeli temelli bir algoritma geliştirirken geri toplamalı araç rotalama problemlerinin çözümünü için Casco, Golden, Wasil (1988) ve Salhi ve Nagy (1999) 'nin sundukları en ucuz ekleme konseptini temel almıştır. Bu fikir büyüyen rotalarda müşterilerin art arda eklenmesidir ve her adımda bir müşteri eklenmektedir.

Bir müşteri başlangıç müşterisi olarak seçilir ve başlangıç olarak bu müşteriye hizmet edilir. Depodan başlangıç müşterisine ve bu müşteriden depoya bir rota oluşturulur. Kalan bütün müşteriler için mümkün olan bütün ekleme pozisyonları için bir ekleme kriteri değeri hesaplanır. Daha sonra en uygun ekleme gerçekleştirilir. Bu safha rotaya herhangi bir müşteri eklenemeyinceye kadar devam eder. Sonra rotalanmamış müşterilerden birisi keyfi olarak başlangıç noktası seçilir ve yeni bir rota oluşturulur. Aynı işlemler tüm müşteriler rotaya dahil edilene kadar devam eder. Sonra toplam dolaşım mesafesi hesaplanır. Bu prosedür tüm müşteriler başlangıç noktası olarak alınıncaya kadar tekrar eder. Son olarak en kısa rota bulunur ve seçilir.

Bu algoritmayı kullanarak elde edilebilecek çözümlerin kalitesi için can alıcı nokta ekleme kriterinin belirlenmesidir. Dethloff çalışmasında Casco, Golden, Wasil (1988) ve Salhi ve Nagy(1999) 'nin önerdikleri ekleme kriterlerini sunmuş ve bu kriterlerin sentezinden oluşan bir kriter belirlemiştir.

Algoritmada kullanılan notasyonlar aşağıdadır;

C_{ik} : (i-k) arasındaki mesafe,

$RD(i)$: Kalan dağıtım kapasitesi

$RP(i)$: Kalan toplama kapasitesi ,

C : Araç kapasitesi,

I_q : Aracın q noktasından sonraki yükü,

D_s : Toplam dağıtım talebi,

P_s : Toplam toplama talebi,

D_k : k noktasının dağıtım talebi,

P_k : k noktasının toplama talebi,

RDT : Toplam mesafe ile ağırlıklandırılmış kalan dağıtım kapasitesi,

RPT : Toplam mesafe ile ağırlıklandırılmış kalan toplama kapasitesi,

$CD(s)$: Gidiş istikametinde s noktasından depoya olan mesafe,

$CP(s)$: Dönüş istikametinde s noktasından depoya olan mesafe,

DU : Eklemeden sonra kalan dağıtım talebi,

PU : Eklemeden sonra kalan toplama talebi,

λ : Ceza çarpanı,

γ : Ödül çarpanı,

C_{max} : Dolaşım mesafeleri matrisinin en büyük değeri,

C_{min} : Dolaşım mesafeleri matrisinin en küçük değeri.

a. Ekleme Kriteri : Dolaşım Mesafesi (TD)

En basit ekleme kriteri yaklaşımdır. i ve j noktalarının arasına k noktası eklendiğinde sadece ekstra dolaşım mesafesinin hesaplanmasıdır.

$$\Psi_{TD} = C_{ik} + C_{kj} - C_{ij}$$

Tüm noktalar için Ψ_{TD} hesaplandıktan sonra en küçük Ψ_{TD} değerine sahip olan nokta rotaya eklenir. Bu ekleme kriterinin iki dezavantajı vardır:

(1) Uygun eklemenin kalan araç kapasitesine etkisi hesaplanmamıştır.

(2) Uzaktaki müşteriler ekleme prosedürünün son safhasına kalabilir ve böylece istenmeyen ekstra dolaşım mesafelerinden kaçınılamayabilir.

b. Ekleme Kriteri : Kalan Kapasite (RC)

Eklemeden sonra rotada kalan teslimat yükü λ ceza çarpanı ile ağırlıklandırılmış ve ekstra dolaşım mesafesi eklenmiştir.

Kalan dağıtım kapasitesi $RD(i)$, i noktasından sonra rotaya eklenen bir müşteriye depodan taşınabilecek yükü gösterir ve rotadaki ilk müşteriden son müşteriye doğru hesaplanır.

$$RD(0) = C - \sum D_s$$

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

Kalan toplama kapasitesi $RP(i)$ ise, i noktasından sonra eklenecek bir noktada yüklenebilecek maksimum yükü gösterir ve rotadaki depodan önceki son müşteriden ilk müşteriye doğru hesaplanır.

$$RP(\text{Önceki}(0)) = C - \sum P_s$$

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

RD ve RP değerleri kalan kapasitenin bulunmasında kullanılırken aynı zamanda bir noktanın rotaya eklenip eklenemeyeceğini de test eder. k ncı müşterinin alt tura i nci müşteriden sonra eklenebilmesi için,

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

Kalan kapasitelerdeki yüksek değerler sonraki eklemeler için daha büyük boş alanlar sağlarlar. Bu kalan kapasitelerin tümü rotanın uzun bir parçası için geçerli ise daha avantajlıdır. Bundan dolayı dolaşım mesafesi ve kalan kapasiteleri birleştirilen bir ölçü oluşturulur ve kapasiteler depodan olan mesafeye göre ağırlıklandırılır.

$$RDT = [\sum RD(s) \cdot CD(\text{Sonraki}(s))] / [\sum CD(\text{Sonraki}(s))]$$

$$RPT = [\sum RP(s) \cdot CP(s)] / [\sum CP(s)]$$

Burada $CD(s)$ ve $CP(s)$ s noktasından depoya olan mesafeleri, RDT ve RPT ise toplam mesafe ile ağırlıklandırılmış kalan kapasiteleri göstermektedir.

Bunun yanında, rotdalanmamış noktaların yüksek kümülatif istekleri varsa kalan değerler daha avantajlıdır. Bundan dolayı araç kapasitelerinin tüketilen kesimleri dağıtım/toplama değerlerinin kalan kesimiyle ağırlıklandırılır.

$$TC = [DU / \sum D_s] (1 - RDT / C) + [PU / \sum P_s] (1 - RPT / C)$$

TC , herhangi bir eklemenin sebep olabileceği en büyük ilave dolaşım süresi ile yeniden hesaplanır ve ekleme kriteri belirlenir.

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

$C_{\max}$ ve $C_{\min}$ dolaşım mesafeleri matrisinin en büyük ve en küçük değerleridir.

c. Ekleme Kriteri : Merkezden Fazla Yükleme (RS)

Uzak noktadaki müşterilerin en sonda eklenmesinin önüne geçmek için, depodan olan uzaklıklar γ ödül çarpanı ile ağırlıklandırılmış ve ekleme kriterinin değeri arttırılmıştır.

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

d. Ekleme Kriteri : Kombinasyon (RCRS)

Dethloff geri toplamalı araç rotalama problemleri için önerilen tüm bu ekleme kriterlerini eş zamanlı araç rotalama problemleri için uyarladıktan sonra, bu kriterlerin bir kombinasyonunu sunmuş ve eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemlerinin çözümünde ekleme kriteri olarak bu kombinasyonun kullanılmasını önermiştir.

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

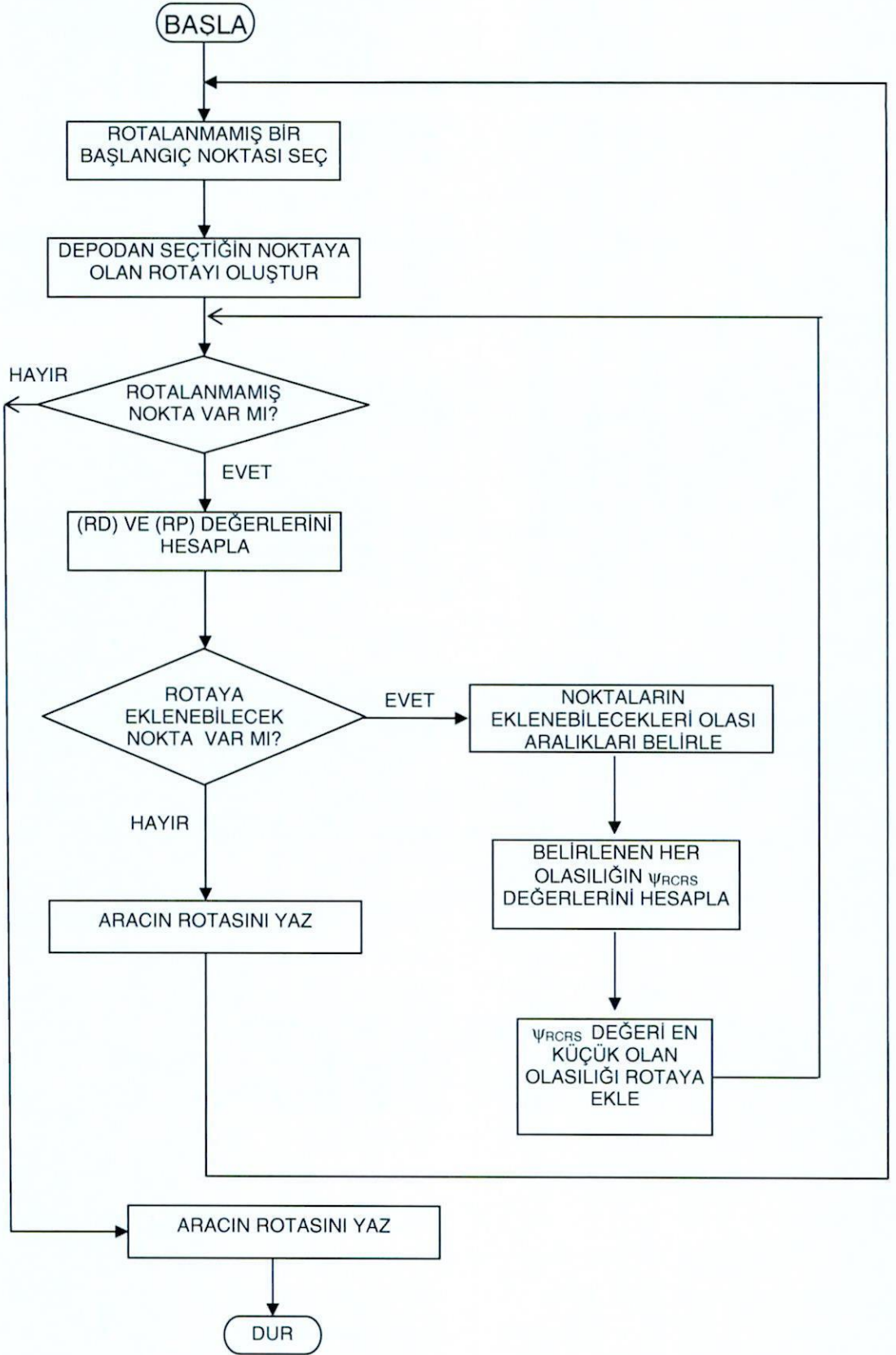
Rotaya eklenebilecek tüm noktaların Ψ_{RCRS} değerleri hesaplandıktan sonra en küçük Ψ_{RCRS} değerine sahip nokta rotaya eklenmektedir. Şekil-5'de Dethloff'un ekleme temelli sezgisel algoritmasının akış diyagramı görülmektedir. Tüm noktalar başlangıç noktası olarak seçilinceye kadar bu işlemler tekrarlanır ve en az toplam rota mesafesini sağlayan rotalar kümesi en iyi sonuç olarak belirlenir.

5. ÖRNEK

Dethloff'un ekleme temelli sezgisel algoritmasının daha iyi anlaşılabilmesi için yapılan örnekte Tablo-3'de sunulan dağıtım ve toplama taleplerine sahip; Tablo-4'deki mesafelerde bulunan 5 farklı müşteriye hizmet eden 60 ton kapasiteli araçların rotaları bulunmuştur.

Tablo-3: Müşterilerin Dağıtım ve Toplama Talepleri

Müşteri No	Dağıtım Talebi	Toplama Talebi
1	15	20
2	10	35
3	20	25
4	10	20
5	30	15
TOPLAM TALEP	85	115

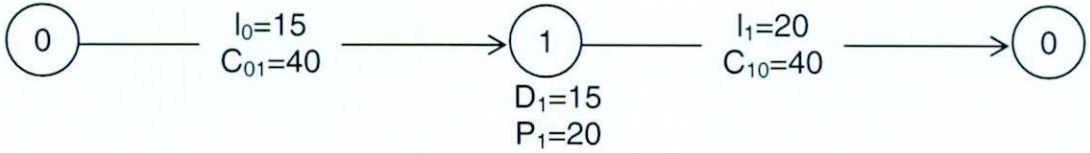


Şekil-5: Dethloff'un Ekleme Temelli Algoritması Akış Diyagramı

Tablo-4: Dolaşım Mesafeleri Matrisi

Müşteri	0	1	2	3	4	5
0	0	40	50	70	65	80
1	40	0	30	45	35	40
2	50	30	0	20	45	60
3	70	45	20	0	25	35
4	65	35	45	25	0	35
5	80	40	60	30	35	0

Algoritmanın ilk adımında rasgele bir müşteri başlangıç noktası olarak alınır ve depodan başlangıç müşterisine ve tekrar depoya olan rota oluşturulur.



$$\Psi_{TD} = 50 + 30 - 40 = 40$$

$$RD(0) = 60 - 15 = 45$$

$$RD(1) = \min \{ 45, 60 - 20 \} = 40$$

$$RP(1) = 60 - 20 = 40$$

$$RP(0) = \min \{ 40, 60 - 15 \} = 40$$

$D_2 = 10 \leq RD(0)=45$ ve $P_2 = 35 \leq RP(0)=40$ olduğundan depodan sonra 2 nolu müşteri rotaya eklenebilir.

$D_2 = 10 \leq RD(1)=40$ ve $P_2 = 35 \leq RP(1)=40$ olduğundan 1 nolu müşteriden sonra 2 nolu müşteri rotaya eklenebilir.

$D_3 = 20 \leq RD(0)=45$ ve $P_3 = 25 \leq RP(0)=40$ olduğundan depodan sonra 3 nolu müşteri rotaya eklenebilir.

$D_3 = 20 \leq RD(1)=40$ ve $P_3 = 25 \leq RP(1)=40$ olduğundan 1 nolu müşteriden sonra 3 nolu müşteri rotaya eklenebilir.

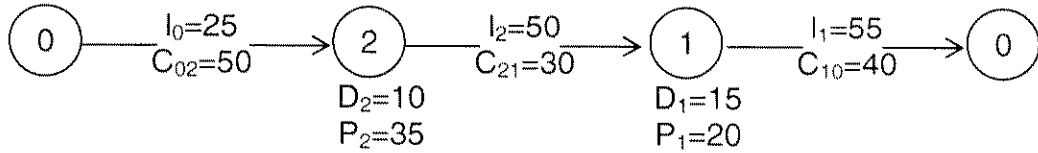
$D_4 = 10 \leq RD(0)=45$ ve $P_4 = 20 \leq RP(0)=40$ olduğundan depodan sonra 4 nolu müşteri rotaya eklenebilir.

$D_4 = 10 \leq RD(1)=40$ ve $P_4 = 20 \leq RP(1)=40$ olduğundan 1 nolu müşteriden sonra 4 nolu müşteri rotaya eklenebilir.

$D_5 = 30 \leq RD(0)=45$ ve $P_5 = 15 \leq RP(0)=40$ olduğundan depodan sonra 5 nolu müşteri rotaya eklenebilir.

$D_5 = 30 \leq RD(1)=40$ ve $P_5 = 15 \leq RP(1)=40$ olduğundan 1 nolu müşteriden sonra 5 nolu müşteri rotaya eklenebilir.

Algoritmanın bu adımında rotalanmamış her müşterinin rotaya eklenebileceği her ara için ekleme kriteri hesaplanır. Hesaplama esnasında $\lambda=0,3$ ve $\gamma=0,3$ olarak kullanılmıştır.



$$\Psi_{TD} = 50 + 30 - 40 = 40$$

$$RD(0) = 60 - 25 = 35$$

$$RD(2) = \min \{ 35, 60 - 50 \} = 10$$

$$RD(1) = \min \{ 10, 60 - 55 \} = 5$$

$$RP(1) = 60 - 55 = 5$$

$$RP(2) = \min \{ 5, 60 - 50 \} = 5$$

$$RP(0) = \min \{ 5, 60 - 25 \} = 5$$

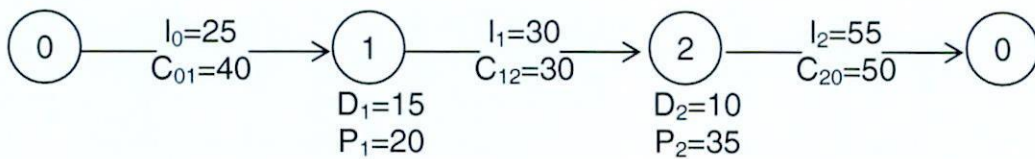
$$RDT = [35 \cdot 50 + 10 \cdot (50 + 30) + 5 \cdot (50 + 30 + 40)] / [50 + (50 + 30) + (50 + 30 + 40)]$$

$$= 12,6$$

$$RPT = [5 \cdot 40 + 5 \cdot (40 + 30) + 5 \cdot (40 + 30 + 50)] / [40 + (40 + 30) + (40 + 30 + 50)] = 5$$

$$TC = (60/85) \cdot [1 - (12,6 / 60)] + (60/115) \cdot [1 - (5 / 60)] = 1,036$$

$$\Psi_{RCRS} = 40 + (0,3) \cdot (1,036) \cdot (2.80 - 20) - (0,3) \cdot (50 + 50) = 53,512$$



$$\Psi_{TD} = 30 + 50 - 40 = 40$$

$$RD(0) = 60 - 25 = 35$$

$$RD(1) = \min \{ 35, 60 - 30 \} = 30$$

$$RD(2) = \min \{ 30, 60 - 55 \} = 5$$

$$RP(2) = 60 - 55 = 5$$

$$RP(1) = \min \{ 5, 60 - 30 \} = 5$$

$$RP(0) = \min \{ 5, 60 - 25 \} = 5$$

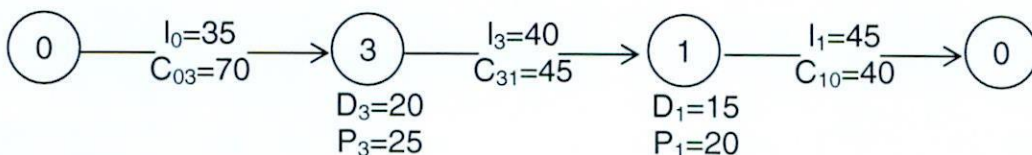
$$RDT = [35 \cdot 40 + 30 \cdot (40 + 30) + 5 \cdot (40 + 30 + 50)] / [40 + (40 + 30) + (40 + 30 + 50)]$$

$$= 17,83$$

$$RPT = [5 \cdot 50 + 5 \cdot (50 + 30) + 5 \cdot (50 + 30 + 40)] / [50 + (50 + 30) + (50 + 30 + 40)] = 5$$

$$TC = (60/85) \cdot [1 - (17,83 / 60)] + (60/115) \cdot [1 - (5 / 60)] = 0,97$$

$$\Psi_{RCRS} = 40 + (0,3) \cdot (0,97) \cdot (2.80 - 20) - (0,3) \cdot (50 + 50) = 50,74$$



$$\Psi_{TD} = 70 + 45 - 40 = 75$$

$$RD(0) = 60 - 35 = 25$$

$$RD(3) = \min \{ 25, 60 - 40 \} = 20$$

$$RD(1) = \min \{ 20, 60 - 45 \} = 15$$

$$RP(1) = 60 - 45 = 15$$

$$RP(3) = \min \{ 15, 60 - 40 \} = 15$$

$$RP(0) = \min \{ 15, 60 - 35 \} = 15$$

$$RDT = [25 \cdot 70 + 20 \cdot (70 + 45) + 15 \cdot (70 + 45 + 40)] / [70 + (70 + 45) + (70 + 45 + 40)]$$

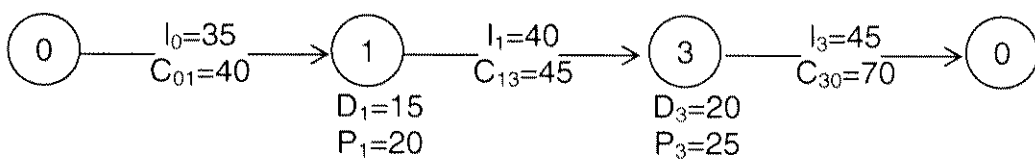
$$= 18,75$$

$$RPT = [15 \cdot 40 + 15 \cdot (40 + 45) + 15 \cdot (40 + 45 + 70)] / [40 + (40 + 45) + (40 + 45 + 70)]$$

$$= 15$$

$$TC = (50/85) \cdot [1 - (18,75 / 60)] + (70/115) \cdot [1 - (15 / 60)] = 0,86$$

$$\Psi_{RCRS} = 75 + (0,3) \cdot (0,86) \cdot (2 \cdot 80 - 20) - (0,3) \cdot (70 + 70) = 69,12$$



$$\Psi_{TD} = 45 + 70 - 40 = 75$$

$$RD(0) = 60 - 35 = 25$$

$$RD(1) = \min \{ 25, 60 - 40 \} = 20$$

$$RD(3) = \min \{ 20, 60 - 45 \} = 15$$

$$RP(3) = 60 - 45 = 15$$

$$RP(1) = \min \{ 15, 60 - 40 \} = 15$$

$$RP(0) = \min \{ 15, 60 - 35 \} = 15$$

$$RDT = [25 \cdot 40 + 20 \cdot (40 + 45) + 15 \cdot (40 + 45 + 70)] / [40 + (40 + 45) + (40 + 45 + 70)]$$

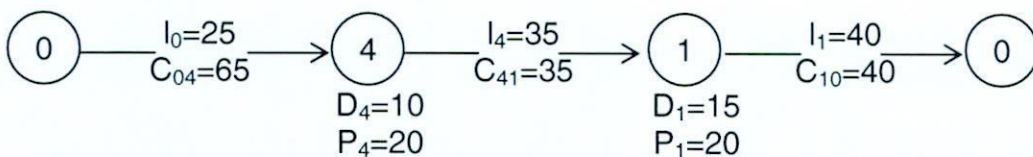
$$= 17,95$$

$$RPT = [15 \cdot 70 + 15 \cdot (70 + 45) + 15 \cdot (70 + 45 + 40)] / [70 + (70 + 45) + (70 + 45 + 40)]$$

$$= 15$$

$$TC = (50/85) \cdot [1 - (17,95 / 60)] + (70/115) \cdot [1 - (15 / 60)] = 0,87$$

$$\Psi_{RCRS} = 75 + (0,3) \cdot (0,87) \cdot (2 \cdot 80 - 20) - (0,3) \cdot (70 + 70) = 69,54$$



$$\Psi_{TD} = 65 + 35 - 40 = 60$$

$$RD(0) = 60 - 25 = 35$$

$$RD(4) = \min \{ 35, 60 - 35 \} = 25$$

$$RD(1) = \min \{ 25, 60 - 40 \} = 20$$

$$RP(1) = 60 - 40 = 20$$

$$RP(4) = \min \{ 20, 60 - 35 \} = 20$$

$$RP(0) = \min \{ 20, 60 - 25 \} = 20$$

$$RDT = [35 \cdot 65 + 25 \cdot (65 + 35) + 20 \cdot (65 + 35 + 40)] / [65 + (65 + 35) + (65 + 35 + 40)]$$

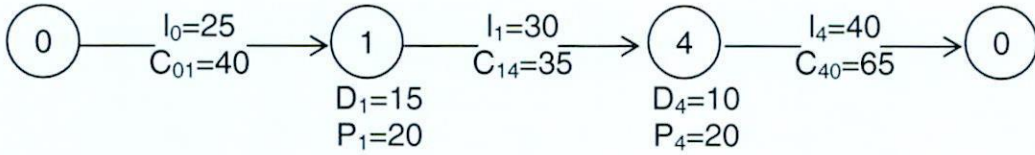
$$= 24,84$$

$$RPT = [20 \cdot 40 + 20 \cdot (40 + 35) + 20 \cdot (40 + 35 + 65)] / [40 + (40 + 35) + (40 + 35 + 65)]$$

$$= 20$$

$$TC=(60/85).[1-(24,84 / 60)] + (75/115).[1-(20 / 60)]= 0,85$$

$$\Psi_{RCRS} = 60 + (0,3).(0,85).(2.80-20) - (0,3).(65+65) = 56,7$$



$$\Psi_{TD} = 35 + 65 - 40 = 60$$

$$RD(0) = 60 - 25 = 35$$

$$RD(1) = \min \{ 35, 60 - 30 \} = 30$$

$$RD(4) = \min \{ 30, 60 - 40 \} = 20$$

$$RP(4) = 60 - 40 = 20$$

$$RP(1) = \min \{ 20, 60 - 30 \} = 20$$

$$RP(0) = \min \{ 20, 60 - 25 \} = 20$$

$$RDT=[35.40+30.(40+35)+20.(40+35+65)] / [40+(40+35)+(40+35+65)]$$

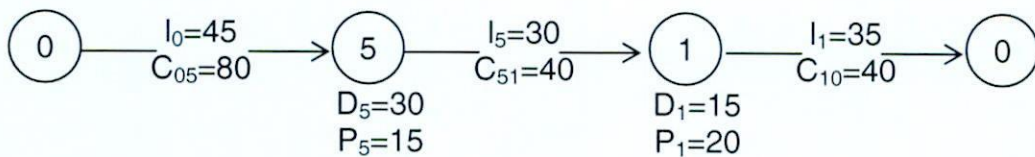
$$=25,29$$

$$RPT=[20.65+20.(65+35)+20.(65+35+40)] / [65+(65+35)+(65+35+40)]$$

$$= 20$$

$$TC=(60/85).[1-(25,29 / 60)] + (75/115).[1-(20 / 60)]= 0,84$$

$$\Psi_{RCRS} = 60 + (0,3).(0,84).(2.80-20) - (0,3).(65+65)= 56,28$$



$$\Psi_{TD} = 80 + 40 - 40 = 80$$

$$RD(0) = 60 - 45 = 15$$

$$RD(5) = \min \{ 15, 60 - 30 \} = 15$$

$$RD(1) = \min \{ 15, 60 - 35 \} = 15$$

$$RP(1) = 60 - 35 = 25$$

$$RP(5) = \min \{ 25, 60 - 30 \} = 25$$

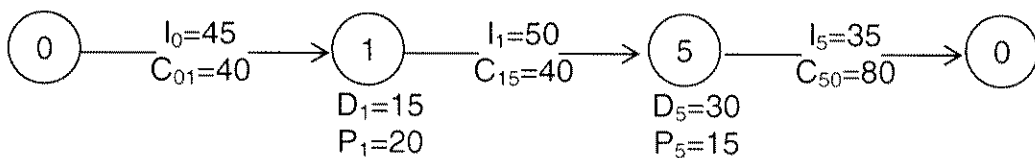
$$RP(0) = \min \{ 25, 60 - 45 \} = 15$$

$$RDT = [15.80 + 15.(80+40) + 15.(80+40+40)] / [80 + (80+40) + (80+40+40)] \\ = 15$$

$$RPT = [25.40 + 25.(40+40) + 15.(40+40+80)] / [40 + (40+40) + (40+40+80)] \\ = 19,29$$

$$TC = (40/85).[1 - (15 / 60)] + (80/115).[1 - (19,29 / 60)] = 0,83$$

$$\Psi_{RCRS} = 80 + (0,3).(0,83).(2.80-20) - (0,3).(80+80) = 66,86$$



$$\Psi_{TD} = 40 + 80 - 40 = 80$$

$$RD(0) = 60 - 45 = 15$$

$$RD(1) = \min \{ 15, 60 - 50 \} = 10$$

$$RD(5) = \min \{ 10, 60 - 35 \} = 10$$

$$RP(5) = 60 - 35 = 25$$

$$RP(1) = \min \{ 25, 60 - 50 \} = 10$$

$$RP(0) = \min \{ 10, 60 - 45 \} = 10$$

$$RDT = [15.40 + 10.(40+40) + 10.(40+40+80)] / [40 + (40+40) + (40+40+80)]$$

$$= 10,71$$

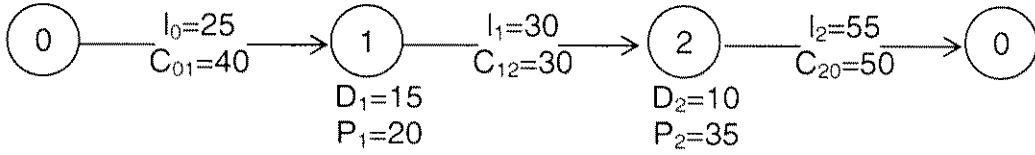
$$RPT = [25.80 + 10.(80+40) + 10.(80+40+40)] / [80 + (80+40) + (80+40+40)]$$

$$= 13,33$$

$$TC = (40/85).[1 - (10,71 / 60)] + (80/115).[1 - (13,33 / 60)] = 0,93$$

$$\Psi_{RCRS} = 80 + (0,3).(0,93).(2.80-20) - (0,3).(80+80) = 71,06$$

Algoritmanın bu adımında tüm olasılıklar için Ψ_{RCRS} değerleri hesaplanmış ve en küçük Ψ_{RCRS} değerine 2 nolu müşterinin rotada 1 nolu müşteriden depoya dönüş yoluna eklendiğinde ortaya çıktığı görülmüştür. Bu nedenle yeni rota 0 – 1 – 2 – 0 olarak belirlenir. Bundan sonra yapılacak işlem rotaya yeni müşteriler eklenip eklenemeyeceğinin test edilmesi ve olası eklemelerin bulunmasıdır.



$$RD(0) = 60 - 25 = 35$$

$$RD(1) = \min \{ 35, 60 - 30 \} = 30$$

$$RD(2) = \min \{ 30, 60 - 55 \} = 5$$

$$RP(2) = 60 - 55 = 5$$

$$RP(1) = \min \{ 5, 60 - 30 \} = 5$$

$$RP(0) = \min \{ 5, 60 - 25 \} = 5$$

$D_3 = 20 \leq RD(0) = 35$ ve $P_3 = 25 \geq RP(0) = 5$ olduğundan depodan sonra 3 nolu müşteri rotaya eklenemez.

$D_3 = 20 \leq RD(1)=30$ ve $P_3 = 25 \geq RP(1)=5$ olduğundan 1 nolu müşteriden sonra 3 nolu müşteri rotaya eklenemez.

$D_3 = 20 \geq RD(2)=5$ ve $P_3 = 25 \geq RP(1)=5$ olduğundan 2 nolu müşteriden sonra 3 nolu müşteri rotaya eklenemez.

$D_4 = 10 \leq RD(0)=35$ ve $P_4 = 20 \geq RP(0)=5$ olduğundan depodan sonra 4 nolu müşteri rotaya eklenemez.

$D_4 = 10 \leq RD(1)=30$ ve $P_4 = 20 \geq RP(1)=5$ olduğundan 1 nolu müşteriden sonra 4 nolu müşteri rotaya eklenemez.

$D_4 = 10 \geq RD(2)=5$ ve $P_4 = 20 \geq RP(2)=5$ olduğundan 2 nolu müşteriden sonra 4 nolu müşteri rotaya eklenemez.

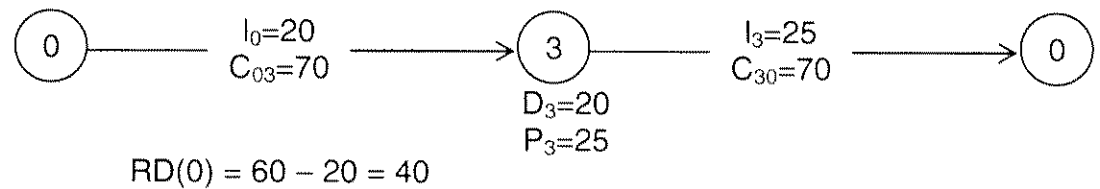
$D_5 = 30 \leq RD(0)=35$ ve $P_5 = 15 \geq RP(0)=5$ olduğundan depodan sonra 5 nolu müşteri rotaya eklenemez.

$D_5 = 30 \leq RD(1)=30$ ve $P_5 = 15 \geq RP(1)=5$ olduğundan 1 nolu müşteriden sonra 5 nolu müşteri rotaya eklenemez.

$D_5 = 30 \geq RD(2)=5$ ve $P_5 = 15 \geq RP(2)=5$ olduğundan 2 nolu müşteriden sonra 5 nolu müşteri rotaya eklenemez.

Görüldüğü gibi rotalanmamış noktalardan hiçbirisi aracın rotasına eklenememektedir. Bu nedenle 1.aracımız rotası belirlenmiş olur ve 2.aracın rotası oluşturulmaya başlanır.

2.aracın rotası belirlenirken yine rotalanmamış bir nokta seçilerek depodan bu noktaya giden ve tekrar depoya dönen bir rota oluşturularak başlanır.



$$RD(3) = \min \{ 40, 60 - 25 \} = 35$$

$$RP(3) = 60 - 25 = 35$$

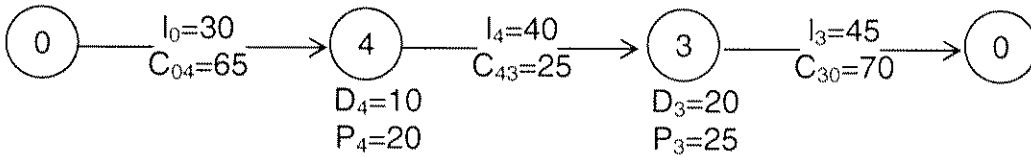
$$RP(0) = \min \{ 35, 60 - 20 \} = 35$$

$D_4 = 10 \leq RD(0)=40$ ve $P_4 = 20 \leq RP(0)=35$ olduğundan depodan sonra 4 nolu müşteri rotaya eklenebilir.

$D_4 = 10 \leq RD(3)=35$ ve $P_4 = 20 \leq RP(3)=35$ olduğundan 3 nolu müşteriden sonra 4 nolu müşteri rotaya eklenebilir.

$D_5 = 30 \leq RD(0)=40$ ve $P_5 = 15 \leq RP(0)=35$ olduğundan depodan sonra 5 nolu müşteri rotaya eklenebilir.

$D_5 = 30 \leq RD(3)=35$ ve $P_5 = 15 \leq RP(3)=35$ olduğundan 3 nolu müşteriden sonra 5 nolu müşteri rotaya eklenebilir.



$$\Psi_{TD} = 65 + 25 - 70 = 20$$

$$RD(0) = 60 - 30 = 30$$

$$RD(4) = \min \{ 30, 60 - 40 \} = 20$$

$$RD(3) = \min \{ 20, 60 - 45 \} = 15$$

$$RP(3) = 60 - 45 = 15$$

$$RP(4) = \min \{ 15, 60 - 40 \} = 15$$

$$RP(0) = \min \{ 15, 60 - 30 \} = 15$$

$$RDT = [30.65 + 20.(65+25) + 15.(65+25+70)] / [65 + (65+25) + (65+25+70)]$$

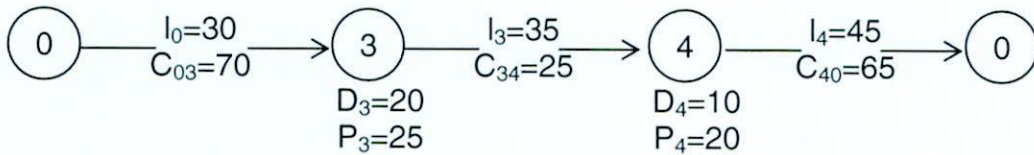
$$= 19,52$$

$$RPT = [15.70 + 15.(70+25) + 15.(70+25+65)] / [70 + (70+25) + (70+25+65)]$$

$$= 15$$

$$TC=(30/85).[1-(19,52 / 60)] + (15/115).[1-(15 / 60)]= 0,34$$

$$\Psi_{RCRS} = 20 + (0,3).(0,34).(2.80-20) - (0,3).(65+65) = - 4,72$$



$$\Psi_{TD} = 25 + 65 - 70 = 20$$

$$RD(0) = 60 - 30 = 30$$

$$RD(3) = \min \{ 30, 60 - 35 \} = 25$$

$$RD(4) = \min \{ 25, 60 - 45 \} = 15$$

$$RP(4) = 60 - 45 = 15$$

$$RP(3) = \min \{ 15, 60 - 35 \} = 15$$

$$RP(0) = \min \{ 15, 60 - 30 \} = 15$$

$$RDT=[30.70+25.(70+25)+15.(70+25+65)] / [70+(70+25)+(70+25+65)]$$

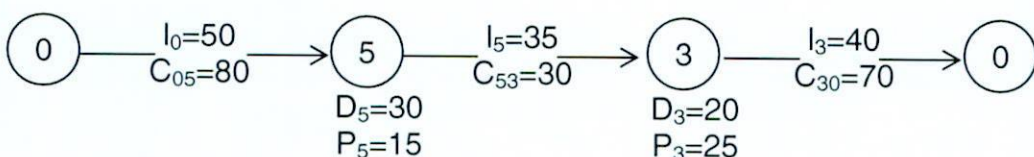
$$=21,15$$

$$RPT=[15.65+15.(65+25)+15.(65+25+70)] / [65+(65+25)+(65+25+70)]$$

$$= 15$$

$$TC=(30/85).[1-(21,15 / 60)] + (15/115).[1-(15 / 60)]= 0,33$$

$$\Psi_{RCRS} = 20 + (0,3).(0,33).(2.80-20) - (0,3).(65+65)= - 5,14$$



$$\Psi_{TD} = 80 + 30 - 70 = 40$$

$$RD(0) = 60 - 50 = 10$$

$$RD(5) = \min \{ 10, 60 - 35 \} = 10$$

$$RD(3) = \min \{ 10, 60 - 40 \} = 10$$

$$RP(3) = 60 - 40 = 20$$

$$RP(5) = \min \{ 20, 60 - 35 \} = 20$$

$$RP(0) = \min \{ 20, 60 - 50 \} = 10$$

$$RDT = [10 \cdot 80 + 10 \cdot (80 + 30) + 10 \cdot (80 + 30 + 70)] / [80 + (80 + 30) + (80 + 30 + 70)]$$

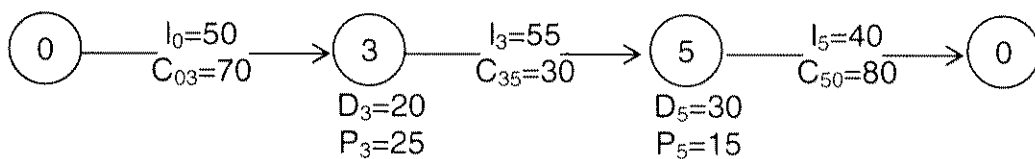
$$= 10$$

$$RPT = [20 \cdot 70 + 20 \cdot (70 + 30) + 10 \cdot (70 + 30 + 80)] / [70 + (70 + 30) + (70 + 30 + 80)]$$

$$= 14,86$$

$$TC = (10/85) \cdot [1 - (10 / 60)] + (20/115) \cdot [1 - (14,86 / 60)] = 0,28$$

$$\Psi_{RCRS} = 40 + (0,3) \cdot (0,28) \cdot (2 \cdot 80 - 20) - (0,3) \cdot (80 + 80) = 3,76$$



$$\Psi_{TD} = 30 + 80 - 70 = 40$$

$$RD(0) = 60 - 50 = 10$$

$$RD(3) = \min \{ 10, 60 - 55 \} = 5$$

$$RD(5) = \min \{ 5, 60 - 40 \} = 5$$

$$RP(5) = 60 - 40 = 20$$

$$RP(3) = \min \{ 20, 60 - 55 \} = 5$$

$$RP(0) = \min \{ 5, 60 - 50 \} = 5$$

$$RDT = [10 \cdot 70 + 5 \cdot (70 + 30) + 5 \cdot (70 + 30 + 80)] / [70 + (70 + 30) + (70 + 30 + 80)] = 6$$

$$RPT = [20 \cdot 80 + 5 \cdot (80 + 30) + 5 \cdot (80 + 30 + 70)] / [80 + (80 + 30) + (80 + 30 + 70)] \\ = 8,24$$

$$TC = (10/85) \cdot [1 - (6 / 60)] + (20/115) \cdot [1 - (8,24 / 60)] = 0,26$$

$$\Psi_{RCRS} = 40 + (0,3) \cdot (0,26) \cdot (2 \cdot 80 - 20) - (0,3) \cdot (80 + 80) = 2,92$$

Yapılan hesaplamalar sonunda en küçük Ψ_{RCRS} değerine 4 nolu müşterinin rotada 3 nolu müşteriden depoya dönüş yoluna eklendiğinde ortaya çıktığı görülmüştür. Bu nedenle yeni rota 0 – 3 – 4 – 0 olarak belirlenir.

$$RD(0) = 60 - 30 = 30$$

$$RD(3) = \min \{ 30, 60 - 35 \} = 25$$

$$RD(4) = \min \{ 25, 60 - 45 \} = 15$$

$$RP(4) = 60 - 45 = 15$$

$$RP(3) = \min \{ 15, 60 - 35 \} = 15$$

$$RP(0) = \min \{ 15, 60 - 30 \} = 15$$

$D_5 = 30 \leq RD(0) = 30$ ve $P_5 = 15 \geq RP(0) = 15$ olduğundan depodan sonra 5 nolu müşteri rotaya eklenebilir.

$D_5 = 30 \geq RD(3) = 25$ ve $P_5 = 15 \leq RP(3) = 15$ olduğundan 3 nolu müşteriden sonra 5 nolu müşteri rotaya eklenemez.

$D_5 = 30 \geq RD(4) = 15$ ve $P_5 = 15 \leq RP(4) = 15$ olduğundan 4 nolu müşteriden sonra 5 nolu müşteri rotaya eklenemez.

Rotalanmamış tek müşteri 5 nolu müşteri olduğundan ve 5 nolu müşteri rotada sadece depodan sonra eklenebileceğinden, hesaplama yapmadan 5 nolu müşteriye rotaya ekleyebiliriz. Böylece 2.aracın rotası da 0 – 5 – 3 – 4 – 0 olarak belirlenir.

Uygulama sonucunda 5 adet müşteriye 60 ton kapasiteli iki araçla hizmet vererek minimum dolaşım mesafesine ulaşmış oluyoruz. Sonuç :

1.Araç Rotası : 0 – 1 – 2 – 0 Dolaşım mesafesi : 120 km.

2.Araç Rotası : 0 – 5 – 3 – 4 – 0 Dolaşım mesafesi : 200 km.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

HETEROJEN ARAÇ FİLOLU EŞ ZAMANLI DAĞITIM-TOPLAMALI

ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ

Teoride çok sık karşılaşılmamasına rağmen uygulamada kullanılan araç filoları genellikle homojen değildirler. Yani araç filoları kapasite, sabit ve değişken maliyetler ya da özel konteynirlara sahip değişik araçlardan oluşmaktadırlar. Bu nedenle gerçek hayat uygulamalarında genellikle heterojen araç filolu araç rotalama problemleriyle karşılaşılmaktadır. Fakat heterojen araç filolu araç rotalama problemlerinin çözümü zor olduğundan dolayı literatürde bu konuda çok fazla çalışma yapılmamıştır. Literatürde bulunan çalışmalarda da sadece dağıtım ya da toplama yapılan problemlerin heterojen araç filolu araç rotalama problemleri için çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. Yapılan literatür araştırmasında heterojen araç filolu eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemleri üzerine yapılan bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Bu bölümde heterojen araç filolu eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemlerinin çözümü için yeni bir algoritma önerilmiştir. Önerilen algoritma, eş zamanlı araç rotalama probleminin çözümünde Dethloff'un ekleme temelli sezgisel algoritmasını ve araç filosunun seçiminde ise Taillard'ın (1996) heterojen araç filolu ARP için önerdiği algoritmanın maliyetleri karşılaştırma kısmını temel almaktadır.

1. ÖNERİLEN ALGORİTMANIN VARSAYIMLARI

- Tek bir depo mevcuttur.
- Depoda heterojen araç filosu bulunmaktadır.
- Depoda bulunan her tip aracın sayısı sınırlandırılmıştır.

- Her tip aracın sabit maliyeti ve değişken maliyetleri birbirinden farklıdır ve değişkendir.
- Her müşterinin dağıtım ve toplama işlemi eş zamanlı olarak gerçekleştirilmektedir.
- Her müşteriye tek bir ziyaret yapılacaktır.
- Her aracın başlangıç ve bitiş noktası depodur.
- Amaç toplam maliyeti minimize etmektir.

2. MATEMATİKSEL MODELİ

Heterojen araç filolu eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemlerinin çözümü için önerilen matematiksel model aşağıda sunulmuştur.

Notasyon :

J : Müşteri noktaları ($i, j=1,2,...,J$),

J_0 : Depo dahil tüm noktalar kümesi ($i, j=0,1,2,...,J$),

V : Araçlar ($v=1,2,...,V$).

Parametreler :

C_v : v 'inci aracın kapasitesi,

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

D_j : j noktasının depodan talep ettiği malzeme miktarı,

n : Dağıtım yapılacak nokta sayısı,

P_j : j noktasından depoya geri gönderilecek malzeme miktarı,

M : Çok büyük pozitif bir sayı,

M_v : v' inci aracın birim maliyeti.

Karar Değişkenleri :

l_v' : Depodan ayrılırken v' inci aracın yükü,

l_{vj} : j noktasından ayrılırken v' inci aracın yükü,

π_j : Alt tur oluşmasını engelleyen değişken,

$x_{ijv} : \begin{cases} 1, & v \text{ aracı } i \text{ ve } j \text{ arasında taşıma yapıyorsa,} \\ 0, & \text{diğer durumlarda.} \end{cases}$

Model :

$$\text{Min } z = \sum_{i \in J_0} \sum_{j \in J_0} \sum_{v \in V} M_v C_{ij} x_{ijv} \quad (1)$$

Kısıtlar :

$$\sum_{i \in J_0} \sum_{v \in V} x_{ijv} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (2)$$

$$\sum_{i \in J_0} x_{isv} = \sum_{j \in J_0} x_{sjv} \quad v = 1, 2, \dots, V \quad (3)$$

$$l_v' = \sum_{i \in J_0} \sum_{j \in J} D_j x_{ijv} \quad v = 1, 2, \dots, V \quad (4)$$

$$l_j \geq l_v' - D_j + P_j - M(1 - x_{0jv}) \quad v = 1, 2, \dots, V, \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (5)$$

$$l_j \geq l_i - D_j + P_j - M(1 - \sum_{v \in V} x_{ijv}) \quad i, j = 0, 1, 2, \dots, J \quad (6)$$

$$l_v' \leq C_v \quad v = 1, 2, \dots, V \quad (7)$$

$$l_{vj} \leq C_v \quad v = 1, 2, \dots, V, \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (8)$$

$$\pi_j \geq \pi_i + 1 - n(1 - \sum_{v \in V} x_{ijv}) \quad j = 1, 2, \dots, J; \quad i = 1, 2, \dots, J \quad (9)$$

$$\pi_j \geq 0 \quad j=1,2,\dots,J \quad (10)$$

$$x_{ijv} \in \{0,1\} \quad j=1,2,\dots,J ; i=1,2,\dots,J; v=1,2,\dots,V \quad (11)$$

Modeldeki (1), eşitliği toplam maliyeti minimize eden amaç fonksiyonudur. (2) nolu kısıt, her müşterinin sadece bir kez ziyaret edilmesini, (3) nolu kısıt, her müşteriye aynı araçla varılmasını ve müşteriden aynı aracın ayrılmasını sağlamaktadır. (4) nolu kısıt, başlangıçtaki araç yüklerini; (5) nolu kısıt, ilk müşteriden sonraki araç yükünü; (6) nolu kısıt, rota boyunca araç yüklerini sınırlandırmaktadır. (7) ve (8) nolu kısıtlar, sırasıyla ilk müşteriden sonraki ve rota boyunca araç yüklerinin kullanılan araç kapasitesini geçmemesini sağlamaktadır. (9) ve (10) nolu kısıtlar, alt tur oluşmasını engellemektedir.

Eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemleri ve heterojen araç filolu araç rotalama problemleri çözümü zor yani NP-hard problemler sınıfına girmektedir. Bu nedenle bu iki tip problemin birleşiminden oluşan heterojen araç filolu eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemleri de NP-hard problem sınıfına girmektedir. Bu tip problemlerin çözümünde araç ve müşteri sayısı arttıkça problem çözüm zamanı büyümekte ya da imkansızlaşmaktadır. Bu nedenle sözkonusu çalışmada bu tip problemlerin daha kısa sürede çözümü için geliştirilen sezgisel bir algoritma önerilmiştir.

3. GELİŞTİRİLEN ALGORİTMA

Çözüm için geliştirilen algoritma üç ana aşamadan oluşmaktadır. Bunlardan birincisi, algorithmada kullanılacak olan araç kombinasyonlarının belirlenmesi; ikincisi, ekleme temelli sezgisel algoritmanın uygulanarak araç rotaları kümelerinin oluşturulması ve sonuncusu, bulunan rotaların maliyetlerinin hesaplanarak en az maliyetli rota kümesinin belirlenmesidir.

Algoritmanın adımları aşağıda verildiği şekildedir:

Adım 1: Rotalanacak noktaların nokta kümesini (J_0) oluşturunuz.

Adım 2: Her rota için kullanılacak araçların bütün kombinasyonlarını hesaplayınız. Bu adımda her rotanın belirlenmesinde sırasıyla her tip aracın deneneceği düşünülerek kullanılacak araç tiplerine göre kombinasyonlar hesaplanır. Örneğin her rota için 30 ton-45 ton-60 tonluk araç tipleri sırasıyla denenecektir.

Adım 3: Araç sıra listesini sıradaki kombinasyon için hesaplayınız. Bu adımda da rotalar belirlenirken kullanılacak araç sırası listesi bulunmaktadır. Toplam $N!$ tane kombinasyon olacaktır. Örneğin ilk rota için 30 ton, ikinci rota için 30 ton ve üçüncü rota için 45 ton gibi.

Adım 4: Araç sıra listesi dolu gelmişse **Adım 5'e**, boş gelmişse **Adım 7'ye** gidiniz.

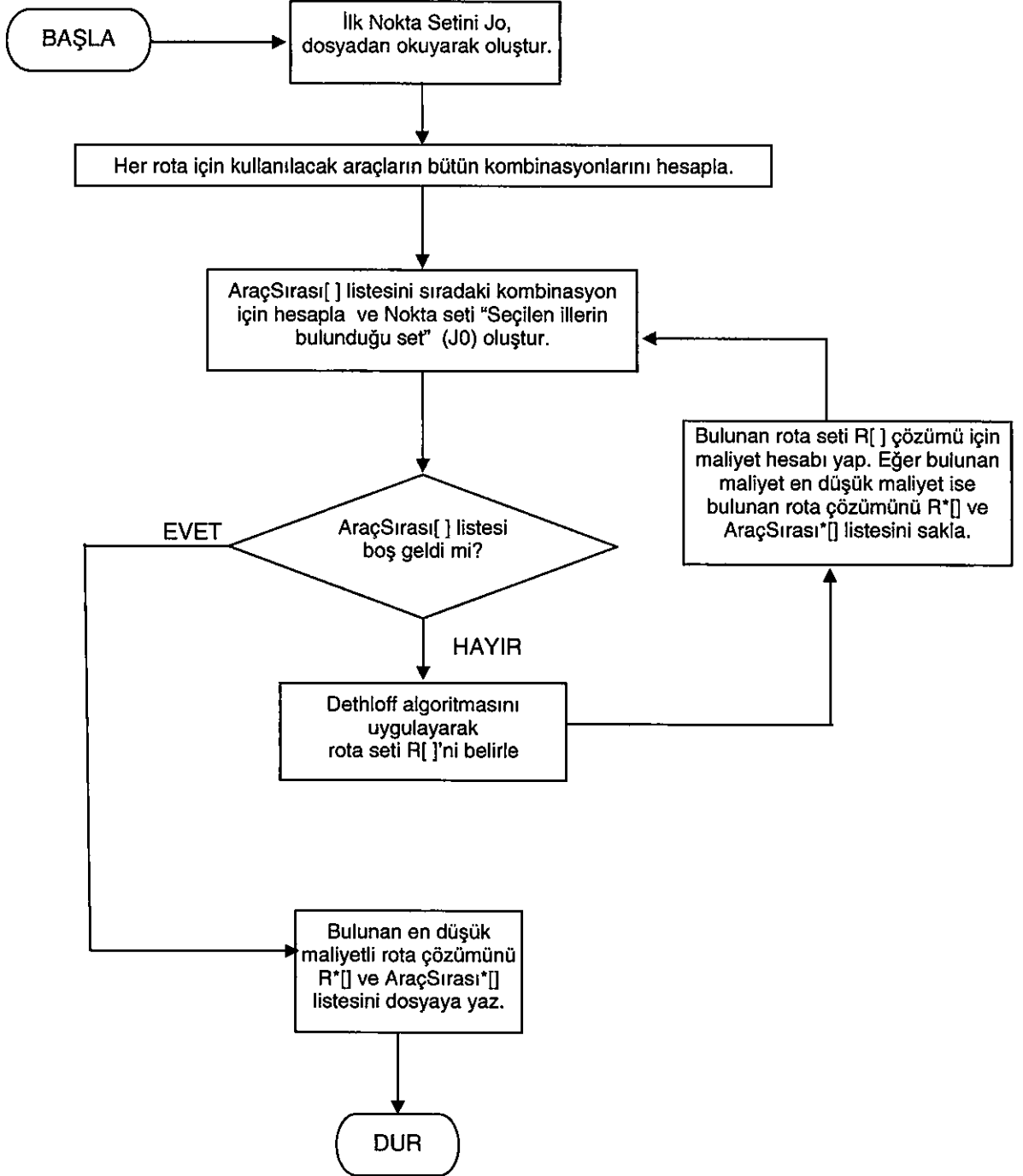
Adım 5: Araç sıra listesine uygun olarak Dethloff algoritmasını uygulayarak araç rotalarını belirleyiniz. Bu adımda yapılacak işlemler bu çalışmanın İkinci Bölümünde ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Adım 6: Bulunan rota kümesi $R[]$ çözümü için maliyet hesabını yapınız. Eğer bulunan maliyet en düşük maliyet ise, bulunan rota çözümünü $R^*[]$ ve $AracSirasi^*[]$ listesini saklayınız ve **Adım 3'e** gidiniz.

Adım 7: Bulunan en düşük maliyetli rota çözümünü $R^*[]$ ve $AracSirasi^*[]$ listesini dosyaya yazınız.

Adım 8: Durunuz.

Yukarıda adımları tanımlanan algoritmanın akış diyagramı Şekil-6'da verilmektedir.



Şekil-6: Önerilen Algoritmanın Akış Diyagramı

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

HETEROJEN ARAÇ FİLOLU - EŞ ZAMANLI DAĞITIM-TOPLAMALI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ İÇİN KARAR DESTEK SİSTEMİ

1. KARAR DESTEK SİSTEMİ

Terim olarak Karar Destek Sistemleri (KDS)'nin kullanıldığı ilk çalışma Gorry ve Scott Morton(1971)'a aittir. En genel anlamıyla KDS, yönetici konumundaki karar vericilerin karar vermelerinde yardımcı olan sistemlerdir. Diğer bir deyişle, verilmesi gereken kararlar ilgili veriyi daha iyi anlayarak, daha etkin karar seçeneklerini oluşturma, alternatifleri belirleme ve değerlendirme işlevlerinde destek sağlayan ve doğru karar verme olasılığını artıran sistemlerdir. Temel olarak KDS, karar vericinin karar vermesini gerektiren durumla ilgili olarak istediği, ihtiyaç duyduğu bilgileri derleyip, dilediğince değerlendirdiği ve daha bilgili olarak karar verebilmesi imkanının ortaya çıktığı bir ortam oluşturur (Gökçen, 2002).

Model odaklı ve veri odaklı olarak iki tip KDS vardır. Model odaklı KDS'ler çeşitli modeller kullanılarak uygun karar alternatiflerini ortaya çıkarmaya yarayan KDS'lerdir. Veri odaklı KDS'ler ise büyük veri havuzlarını analiz ederek yöneticilerin karar vermelerini kolaylaştırabilecek faydalı bilgileri ortaya çıkarmaya yarayan KDS'lerdir. Bu çalışmada hazırlanan karar destek sistemi Model odaklı KDS'ler sınıfına girmektedir.

2. KARAR DESTEK SİSTEMLERİNİN ÖZELLİKLERİ

Karar Destek Sistemlerinin karakteristik özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Karar vericilerin yerini almaz, onları destekler.

- Yarı yapıli ya da yapısız karar durumlarında kullanılır.
- Karar verme sürecinin verimliliğinden çok etkinliğı üzerine odaklanmıştır.
- Karar verme sürecinin tüm aşamalarını destekler. Problem tanımından seçime kadar karar verme sürecinin her aşamasında karar vericinin bakış açısı ve yargılarını kullanır.
- Karşılıklı etkileşimli ve kolay kullanımlıdır.
- Kullanıcı tarafından kontrol edilebilir.
- Yöneticiler ve müdürler tarafından kullanıldığı gibi işletmenin her kademesindeki karar vericiler tarafından kullanılır.
- Veriye ulaşım ve veri çağırma fonksiyonları ile modeller ve analitik teknikler kullanır.
- Evrimsel bir tasarım süreciyle geliştirilir.
- Öğrenmeyi kolaylaştırır.
- Karar ortamında yada kullanıcının karar verme tarzında oluşacak değişikliklere kolayca adapte edilebilir (Kabakçı, 1999).

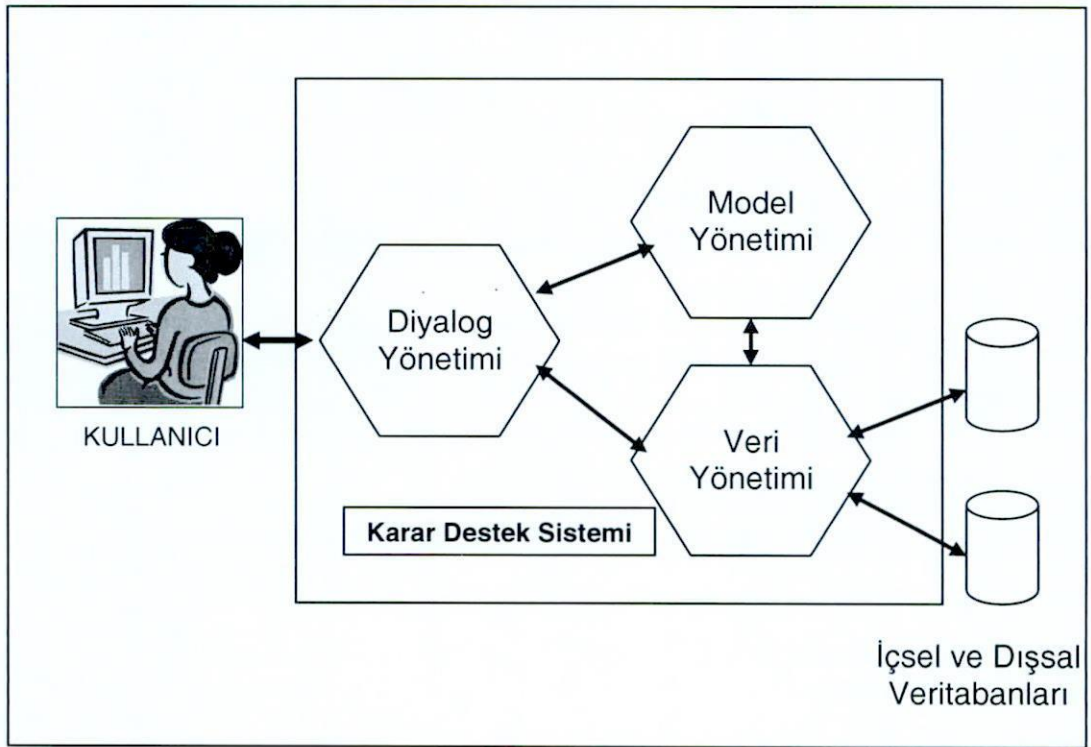
3. KARAR DESTEK SİSTEMLERİNİN TEMEL BİLEŞENLERİ

Tipik bir KDS üç bileşene sahiptir (Şekil-7). Bunlar, Veri yönetimi, Model Yönetimi ve Diyalog Yönetimidir.

Veri Yönetimi, karar vericinin belli bir kararı verebilmesi için, ilgili verinin getirilmesi, saklanması ve organize edilmesiyle ilgili değişik faaliyetlerin yerine getirilmesi, saklanması ve organize edilmesiyle ilgili değişik faaliyetlerin yerine getirildiğı bir KDS bileşenidir. Bu bileşenin faaliyetlerini yerine getiren iki önemli alt sistem, veritabanı ve veritabanı yönetim sistemidir.

Model yönetimi, KDS için analitik yetenek sağlayan değişik kantitatif modellerin getirilmesi, saklanması ve organize edilmesiyle ilgili faaliyetlerin yerine getirildiği bir KDS bileşenidir. Bu bileşenin iki önemli alt sistemi, model tabanı ve model tabanı yönetim sistemidir.

Diyalog yönetimi, kullanıcı ile KDS'nin iletişimin sağlayan KDS bileşenidir. Kullanıcının sistemle doğrudan temasta bulunduğu tek bileşendir. Bu bileşen temel olarak girdi-çıkı araçları, konuşma-sorgulama dili işleyicisi, diyalog üretme ve yönlendirme araçlarını içerir. Kullanıcıdan gelen işlem komutlarını bilgisayar programlarına dönüştürür. Bu programlar doğrultusunda model yönetimi ve veri yönetimi ile ilişki kurar ve kullanıcının istediği bilgileri oluşturur (Gökçen, 2002).



Şekil-7: Karar Destek Sistemlerinin Temel Bileşenleri (Gökçen, 2002)

4. HETEROJEN ARAÇ FİLOLU EŞ ZAMANLI DAĞITIM-TOPLAMALI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ İÇİN KARAR DESTEK SİSTEMİ

Bu tezde, heterojen araç filolu eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemlerinin çözümü için önerilen algoritmayı esas alan bir karar destek sistemi hazırlanmıştır. Hazırlanan karar destek sistemi, tek bir depodan Türkiye'deki çeşitli illere dağılmış müşterilerin dağıtım ve toplama taleplerini minimum maliyetle yapabilecek uygun araç filosu karışımını ve bu araçların hangi güzergahları kullanacağını gösteren rotaları belirlemekte ve karar vericiye sunmaktadır.

Hazırlanan KDS'nin ara yüzleri Visual Basic 6.0 programlama diliyle, hesaplama algoritması ise C++ programlama diliyle kodlanmıştır. Program verilerin girildiği ve sonuçların alındığı arayüz olmak üzere iki ana arayüzden oluşmaktadır.

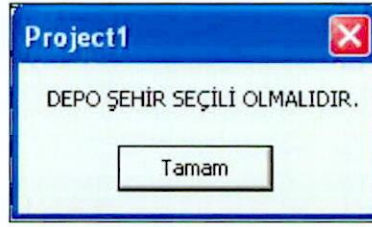
Giriş arayüzü kullanıcının verileri ve hesaplama kriterlerini girdiği bir arayüzdür. Bu arayüzde öncelikle dağıtım ve toplama yapılacak iller seçilerek illerin dağıtım ve toplama talepleri girilir. Bu talepler girildikçe rota bilgileri bölümünde toplam giden yük ve gelen yük bilgileri otomatik olarak hesaplanarak kullanıcıya gösterilmektedir. "Kapasite seçimi" bölümünde rotalamada kullanılacak araçların tiplerine göre ayrı ayrı sayıları, kapasiteleri, değişken ve sabit maliyetleri girilir. Yine araçlar eklendikçe toplam araç sayısı ve toplam kapasite otomatik olarak hesaplanarak kullanıcıya gösterilmektedir. Eğer toplam gelen ve giden yük miktarları toplam kapasiteden fazlaysa Rota Bilgileri bölümünde kırmızı harflerle "Toplam Araç Kapasitesi Yeterli Değil" ikazı verilmektedir ve program hesaplama yapmamaktadır. Malzeme ve araç bilgileri girildikten sonra hesaplama katsayıları bölümüne ceza ve ödül katsayıları GAMA ve LAMDA değerleri 0 ile 1 arasında olacak şekilde girilir ve "Hesaplama" düğmesine basılarak hesaplama işlemine başlanılır.

Kullanıcı tarafından sık sık tekrarlanan malzeme transferleri mevcutsa programın her kullanıldığında bu değerlerin tekrar tekrar girilmesini engellemek için program menüsüne "Program Sakla" ve "Program Yükle"

butonları yerleştirilmiştir. Kullanıcı sık sık tekrarladığı malzeme transfer bilgilerini programa girdikten sonra “Program Sakla” butonuna basarak girilen verileri hafızaya alır ve daha sonraki kullanımında “Program Yükle” butonuyla bu verileri programa tekrar çağırabilir. Programın giriş arayüzü Şekil-8’de görülmektedir.

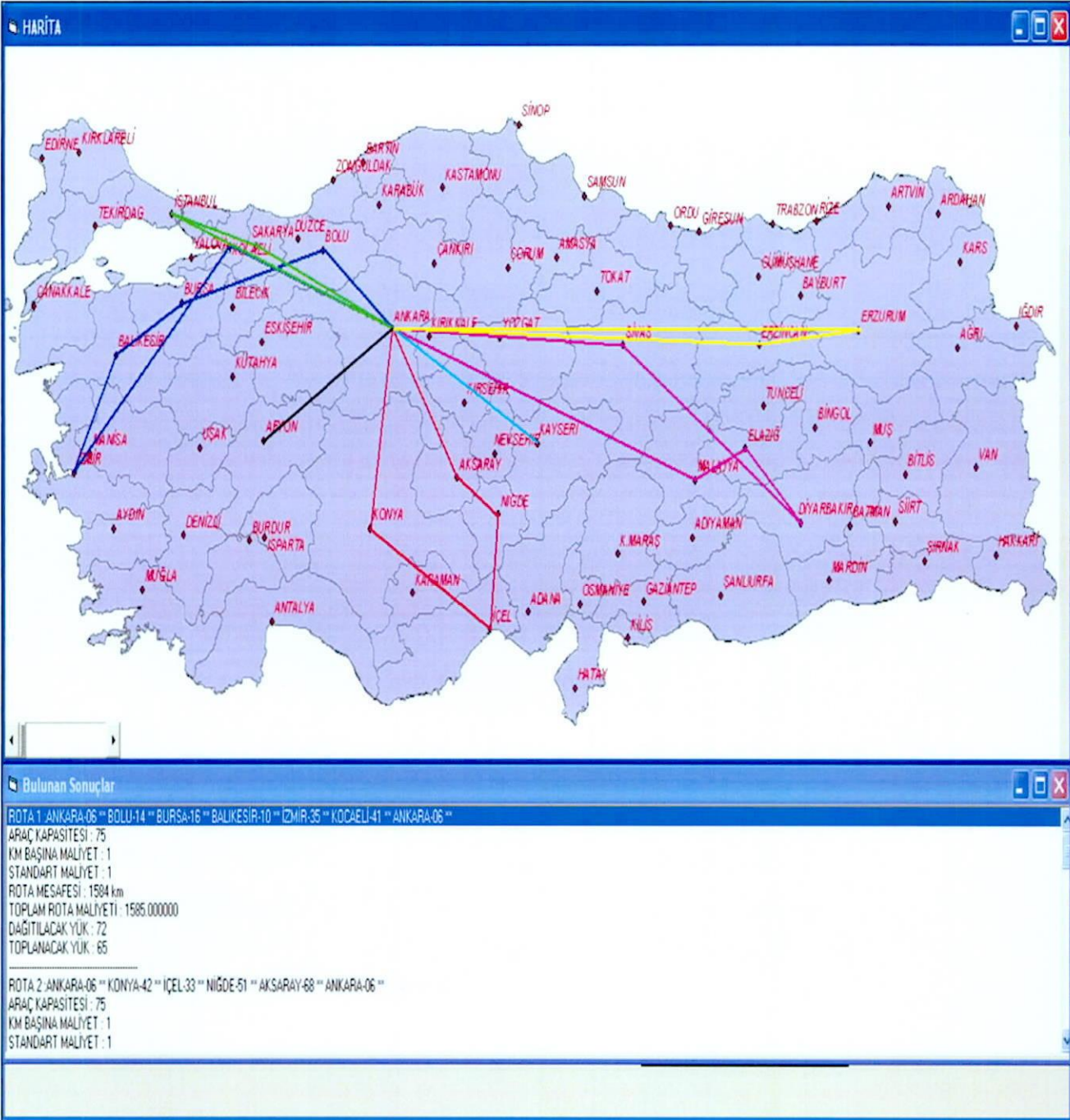
Şekil-8: Karar Destek Sistemi Giriş Arayüzü

“Hesaplama” butonuna basıldığında kullanıcı depo şehrini seçmemiş ise Şekil-9’daki hata mesajı ile karşılaşmaktadır.



Şekil-9: Depo Şehri Seçilmemesi Hata Mesajı

Hesaplamalar tamamlandığında bulunan rotaların Türkiye siyasi haritası üzerinde çizilerek gösterildiği bir arayüz ile, bulunan rotaların detaylarının bulunduğu bir sonuç arayüzü ekrana yansımaktadır (Şekil-10). Bu sonuç arayüzünde bulunan rotalar, rotaların kullandığı güzergahı, rotada kullanılan araç tipi, rotanın toplam mesafesi, rotanın maliyeti ve dağıtılacak ve toplanacak malzeme miktarları görülebilmektedir.



Şekil-10: Sonuç Arayüzü

BEŞİNCİ BÖLÜM

KDS' NİN K.K. LOJİSTİK KOMUTANLIĞI RİNG SEFERLERİNİN DÜZENLENMESİNDE KULLANILMASI

1. K.K.LOJ.K.LIĞI RİNG SEFERLERİ ESASLARI

Mevcut ulaştırma sistemleri ile gönderilmesi ekonomik olmayan ikmal maddelerinin, birlik, kurum, ikmal merkezi, bakım merkezi ve ulaştırma terminal birlikleri arasında emniyetle ve süratle taşınabilmesi için K.K.LoJ.K.lığı tarafından 1998 yılından itibaren ring taşımacılığı faaliyeti icra edilmektedir. K.K.LoJ.K.lığı tarafından planlanan ve Ankara'da konuşlu Ulaş.Orta Oto Tb.K.lığı araçları kullanılarak icra edilen bu ring taşımacılığı için Türkiye genelinde 7 adet ring güzergahı belirlenmiştir. Belirlenen ring güzergahları şu şekildedir:

1. İstanbul Ringi (906 Km.)
2. Ege Ringi (1289 Km.)
3. Marmara Ringi (1289 Km.)
4. Akdeniz Ringi (1317 Km.)
5. İç Anadolu Ringi (800 Km.)
6. Doğu Anadolu Ringi (1752 Km.)
7. Güneydoğu Ringi (1832 Km.)

Belirlenmiş olan bu güzergahlar üzerindeki birlikler taşıma taleplerini haftalık olarak K.K.LoJ.K.lığına bildirmektedir ve tüm talepleri toplayan K.K.LoJ.K.lığı güzergahlara tahsis etmesi gereken araçların tahsisini yapmaktadır. Güzergahlar standart olarak belirlendiği için araç planlamasında toplam talepler hesaba katılmamakta ve bu nedenle gereksiz

araç hareketleri, gereğinden fazla kat edilen mesafe ve maliyetlerle karşı karşıya kalınmaktadır. Bunun yanında hesaplamalar el ile yapıldığından personel ve zaman israfına da yol açmaktadır.

K.K.LoJ.K.lığı ring taşımacılığının karakteristik özellikleri Tablo-5'de sunulmuştur.

Tablo-5: K.K.LoJ.K.lığı Ring Seferlerinin Karakteristik Özellikleri

S.No	Özellikler	Durum
1	Mevcut Araç Sayısı	Çok araç
2	Mevcut Filo Tipi	Heterojen (birden fazla araç tipi)
3	Araçların Yerleşimi	Tek depoda
4	Taleplerin Yapısı	Deterministik (bilinen) talepler
5	Taleplerin Yerleşimi	Düğümelerde
6	Temel Şebeke Yapısı	Yönsüz
7	Araç Kapasite Kısıtları	Belirli (değişik araç kapasiteleri)
8	Maksimum Rota Süreleri	Belirsiz
9	Operasyonlar	Eş zamanlı dağıtım-toplama
10	Maliyet	Değişken veya rotalama maliyeti Sabit işletme veya araç maliyeti
11	Amaç	Toplam rotalama maliyetini minimize etmek Gerekli araç sayısını minimize etmek

K.K.LoJ.K.lığı ring seferlerinin karakteristik özelliklerinden birisi de müşteriler arası malzeme akışının da olmasıdır. Fakat bu çalışmada bu özellik göz ardı edilmiştir ve yapılan uygulamada müşteriler arası malzeme akışının olmadığı durumlar değerlendirilmeye alınmıştır.

2. RİNG SEFERLERİNİN BELİRLENMESİ

Karar Destek Sisteminin uygulaması Tablo-6'da sunulan K.K.Loju.K. ring seferlerinin 9 haftalık taşıma verileri kullanılarak yapılmıştır. K.K.Loju.K. ring seferleri verileri incelendiğinde ring seferlerinin farklı sayıda 2 tip araç ile yapıldığı görülmektedir. Bunlar birisi 75 m³ taşıma kapasiteli MAN 33-372 (6X4) SEMİTRAYLER, diğeri 53 m³ taşıma kapasiteli 3335 MERCEDES ACTROS ÇEKİCİ aracıdır. 2007 yılı Ulaştırma Komutanlığı Ulaştırma Orta Oto Taburu Askeri Araçlar ile Taşıma Maliyetleri Hesaplama Esasları ve Sonuç Raporunda araçların sabit ve değişken maliyetleri hesaplanmış ve araç tipi farklılığı göz ardı edilerek bir aracın km. başına maliyetinin 1,35 YTL. olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada da mevcut durumla bir karşılaştırma yapıldığından araç birim maliyetleri 1,35 YTL. olarak alınmıştır.

Dethloff çalışmasında farklı ödül ve ceza katsayılarıyla denemeler yapmış ve küçük ceza, büyük ödül değerlerinde daha iyi sonuçlar elde edildiğini ifade etmiştir.

Yaşa (2004), Dethloff'un algoritmasını kullanarak yaptığı tez çalışmasında 0-1 arasında değer alabilen ceza ve ödül katsayılarını hangi değerler için daha iyi sonuç verdiğini araştırmış ve çok büyük farklılıklar olmamakla birlikte ceza değerinin küçük; ödül değerinin büyük olduğu durumlarda daha iyi sonuçlar elde edildiğini göstermiştir. Bu nedenle yapılan uygulamada ceza değeri 0,1 ve ödül değeri 0,9 olarak kullanılmıştır.

Tablo-6: K.K.Loju.K.Ring Seferlerine Ait 9 Haftalık Dağıtım-Toplama Çizelgesi

ŞEHİR / HAFTA	1		2		3		4		5		6		7		8		9	
	D	T	D	T	D	T	D	T	D	T	D	T	D	T	D	T	D	T
AFYONKARAHİSAR	28	33	27	45	6	32	75	30	60	13	40	60	25	41	23	40	27	52
AKSARAY	5	0	0	0	3	30	1	0		0	30	0	3	0	2	0	7	0
BALIKESİR	25	0	55	10	40	0	35	3	38	0	42	0	30	15	40	0	75	10
BOLU	3	0	1	0	8	0	2	0	4	0	0	0	0	0	2	0	1	0
BURSA	5	0	1	0	8	66	5	30	22	60	3	1	6	30	2	0	2	8
DIYARBAKIR	25	30	0	30	5	30	0	30	2	38	0	30	41	30	10	26	10	30
ELAZIĞ	18	13	40	15	15	0	30	0	38	17	0	14	0	19	5	15		14
ERZİNCAN	23	23	19	13	25	28	23	30	30	10	20	28	8	0	4	6	10	4
ERZURUM	23	5	10	10	30	25	30	15	30	5	30	25	35	10	20	5	8	25
İSTANBUL	33	43	19	50	32	45	37	65	37	75	27	45	20	57	20	37	19	49
İZMİR	37	70	36	41	54	14	58	56	30	47	45	24	25	20	40	20	0	21
KAYSERİ	57	30	43	30	46	30	64	30	30	30	50	28	43	30	36	35	58	28
KIRIKKALE	0	0	0	0	2	0	2	0	0	30	0	0	3	0	0	0	1	0
KOCAELİ	2	12	11	5	8	5	10	16	4	0	0	1	3	0	7	0	4	0
KONYA	23	12	14	11	16	12	20	0	25	10	15	7	25	15	23	11	27	12
MALATYA	10	21	20	15	20	10	16	28	20	6	0	20	13	33	21	19	20	13
MANİSA	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0
MERSİN	37	10	25	10	30	10	40	16	25	10	32	10	29	10	30	0	18	10
NİĞDE	10	21	16	53	0	0	29	1	45	45	0	1	3	0	1	0	0	20
SAKARYA	40	15	46	15	25	21	51	48	23	19	28	38	46	15	66	33	46	19
SIVAS	10	0	2	15	5	0	5	14	15	0	10	30	1	20	4	12	13	8
TOPLAM	414	338	385	368	378	362	533	412	478	415	372	362	359	353	356	259	346	323

Tablo-7: Birinci Hafta Rota Bilgileri

Rota No	Kullanılan Araç	Rota	Dağıtım	Toplama	Mesafe	Maliyet
1	75 m ³	Ankara-Bolu-Bursa-Balıkesir-İzmir-Aksaray-Ankara	75	70	1706 km.	2303,1 YTL.
2	53 m ³	Ankara-Konya-Afyon-Ankara	51	45	738 km.	996,3 YTL.
3	75 m ³	Ankara-Sakarya-Kocaeli-İstanbul-Ankara	75	70	906 km.	1223,1 YTL.
4	75 m ³	Ankara-İçel-Diyarbakır-Malatya-Ankara	72	61	1987 km.	2682,45 YTL.
5	75 m ³	Ankara-Kayseri-Niğde-Ankara	67	51	794 km.	1071,9 YTL.
6	75 m ³	Ankara-Elazığ-Erzurum-Erzincan-Sivas-Ankara	74	41	1957 km.	2641,95 YTL.
TOPLAM			414	338	8088 km.	10918,8 YTL.

Tablo-8: İkinci Hafta Rota Bilgileri

Rota No	Kullanılan Araç	Rota	Dağıtım	Toplama	Mesafe	Maliyet
1	53 m ³	Ankara-Bolu-Kocaeli-Bursa-İzmir-Ankara	49	46	1375 km.	1856,25 YTL.
2	75 m ³	Ankara-Elazığ-Diyarbakır-Erzurum-Erzincan-Ankara	69	68	2112 km.	2851,2 YTL.
3	75 m ³	Ankara-Kayseri- Malatya-Sivas-Ankara	65	60	1350 km.	1822,5 YTL.
4	75 m ³	Ankara-Konya-İçel-Niğde-Ankara	55	74	1150 km.	1552,5 YTL.
5	75 m ³	Ankara-Sakarya-Afyon-Ankara	73	60	875 km.	1181,25 YTL.
6	75 m ³	Ankara-Balıkesir-İstanbul-Ankara	74	60	1377 km.	1858,95 YTL.
TOPLAM			385	368	8239 km.	11122,65 YTL.

Tablo-9: Üçüncü Hafta Rota Bilgileri

Rota No	Kullanılan Araç	Rota	Dağıtım	Toplama	Mesafe	Maliyet
1	75 m ³	Ankara-Kırıkkale-Bolu-Sakarya-Kocaeli-İstanbul-Manisa-Ankara	75	75	1697 km.	2290,95 YTL.
2	53 m ³	Ankara-Konya-İçel-Aksaray-Ankara	49	52	1089 km.	1470,15 YTL.
3	75 m ³	Ankara-Malatya-Elazığ-Diyarbakır-Erzurum-Sivas-Ankara	75	65	2112 km.	2851,2 YTL.
4	75 m ³	Ankara-İzmir-Afyon-Ankara	60	46	1164 km.	1571,4 YTL.
5	75 m ³	Ankara-Kayseri-Erzincan-Ankara	71	58	1450 km.	1957,5 YTL.
6	75 m ³	Ankara-Balıkesir-Bursa-Ankara	48	66	1063 km.	1435,05 YTL.
TOPLAM			378	362	8575 km.	11576,25 YTL.

Tablo-10: Dördüncü Hafta Rota Bilgileri

Rota No	Kullanılan Araç	Rota	Dağıtım	Toplama	Mesafe	Maliyet
1	75 m ³	Ankara-Konya-Aksaray-Elazığ-Diyarbakır-Malatya-Sivas-Kırıkkale-Ankara	74	72	2094 km.	2826,9 YTL.
2	53 m ³	Ankara-Balıkesir-Bursa-Kocaeli-Bolu-Ankara	52	49	1155 km.	1559,25 YTL.
3	75 m ³	Ankara-Kayseri-Ankara	64	30	640 km.	864 YTL.
4	75 m ³	Ankara-Afyon-Ankara	75	30	514 km.	693,9 YTL.
5	75 m ³	Ankara-Niğde-İçel-Ankara	69	17	1027 km.	1386,45 YTL.
6	53 m ³	Ankara-Erzurum-Erzincan-Ankara	53	45	1752 km.	2365,2 YTL.
7	75 m ³	Ankara-İstanbul-Ankara	37	65	906 km.	1223,1 YTL.
8	75 m ³	Ankara-İzmir-Ankara	58	56	1158 km.	1563,3 YTL.
9	53 m ³	Ankara-Sakarya-Ankara	51	48	610 km.	823,5 YTL.
		TOPLAM	533	412	9856 km.	13305,6 YTL.

Tablo-11: Beşinci Hafta Rota Bilgileri

Rota No	Kullanılan Araç	Rota	Dağıtım	Toplama	Mesafe	Maliyet
1	75 m ³	Ankara-Malatya-Elazığ-Sivas-Kırıkkale-Ankara	73	53	1528 km.	2062,8 YTL.
2	53 m ³	Ankara-Konya-İçel-Ankara	50	20	1089 km.	1470,15 YTL.
3	75 m ³	Ankara-Erzincan-Erzurum-Diyarbakır-Ankara	62	53	2112 km.	2851,2 YTL.
4	75 m ³	Ankara-Kayseri-Niğde-Ankara	75	75	794 km.	1071,9 YTL.
5	75 m ³	Ankara-Afyon-Ankara	60	13	514 km.	693,9 YTL.
6	75 m ³	Ankara-Balıkesir-Bursa-Ankara	60	60	1063 km.	1435,05 YTL.
7	75 m ³	Ankara-Bolu-Kocaeli-İstanbul-Ankara	45	75	906 km.	1223,1 YTL.
8	75 m ³	Ankara-İzmir-Sakarya-Ankara	53	66	1365 km.	1842,75 YTL.
TOPLAM			478	415	9371 km.	12650,85 YTL.

Tablo-12: Altıncı Hafta Rota Bilgileri

Rota No	Kullanılan Araç	Rota	Dağıtım	Toplama	Mesafe	Maliyet
1	75 m ³	Ankara-Aksaray-Niğde-İçel-Diyarbakır-Elazığ-Malatya - Ankara	62	75	2048 km.	2764,8 YTL.
2	53 m ³	Ankara-Erzurum-Erzincan-Ankara	50	53	1752 km.	2365,2 YTL.
3	75 m ³	Ankara-Balıkesir-Bursa-Kocaeli-İstanbul-Ankara	72	47	1377 km.	1858,95 YTL.
4	75 m ³	Ankara-İzmir-Sakarya-Ankara	73	62	1365 km.	1842,75 YTL.
5	75 m ³	Ankara-Konya-Afyon-Ankara	55	67	738 km.	996,3 YTL.
6	75 m ³	Ankara-Kayseri-Sivas-Ankara	60	58	958 km.	1293,3 YTL.
TOPLAM			372	362	8238 km.	11121,3 YTL.

Tablo-13: Yedinci Hafta Rota Bilgileri

Rota No	Kullanılan Araç	Rota	Dağıtım	Toplama	Mesafe	Maliyet
1	53 m ³	Ankara-Aksaray-Niğde-Erzincan-Erzurum-Elazığ-Sivas-Kırıkkale-Ankara	53	49	2195 km.	2963,25 YTL.
2	75 m ³	Ankara-Sakarya-Kocaeli-İstanbul-Ankara	69	72	906 km.	1223,1 YTL.
3	75 m ³	Ankara-Balıkesir-İzmir-Manisa-Bursa-Ankara	61	73	1407 km.	1899,45 YTL.
4	75 m ³	Ankara-Diyarbakır-Malatya-Ankara	54	63	1824 km.	2462,4 YTL.
5	75 m ³	Ankara-İçel-Kayseri-Ankara	72	40	1129 km.	1524,15 YTL.
6	75 m ³	Ankara-Afyon-Konya-Ankara	50	56	738 km.	996,3 YTL.
TOPLAM			359	353	8199 km.	11068,65 YTL.

Tablo-14: Sekizinci Hafta Rota Bilgileri

Rota No	Kullanılan Araç	Rota	Dağıtım	Toplama	Mesafe	Maliyet
1	75 m ³	Ankara-Niğde-İçel-Elazığ-Diyarbakır-Erzurum-Erzincan-Sivas-Ankara	74	64	2453 km.	3311,55 YTL.
2	75 m ³	Ankara-Bolu-Kocaeli-Bursa-İzmir-Afyon-Ankara	74	60	1381 km.	1864,35 YTL.
3	75 m ³	Ankara-Aksaray-Kayseri-Malatya-Ankara	59	54	1383 km.	1867,05 YTL.
4	75 m ³	Ankara-Balıkesir-İstanbul-Ankara	60	37	1377 km.	1858,95 YTL.
5	53 m ³	Ankara-Konya-Ankara	23	11	516 km.	696,6 YTL.
6	75 m ³	Ankara-Sakarya-Ankara	66	33	610 km.	823,5 YTL.
		TOPLAM	356	259	7720 km.	10422 YTL.

Tablo-15: Dokuzuncu Hafta Rota Bilgileri

Rota No	Kullanılan Araç	Rota	Dağıtım	Toplama	Mesafe	Maliyet
1	75 m ³	Ankara-Aksaray-Kayseri-Diyarbakır-Elazığ-Ankara	75	72	1885 km.	2544,75 YTL.
2	75 m ³	Ankara-Balıkesir-İzmir-Niğde-Ankara	75	51	1849 km.	2496,15 YTL.
3	75 m ³	Ankara-Kırıkkale-Bolu-Sakarya-Kocaeli-İstanbul-Ankara	71	68	1060 km.	1431 YTL.
4	75 m ³	Ankara-Konya-Bursa-Afyon-Ankara	56	72	1276 km.	1722,6 YTL.
5	75 m ³	Ankara-Sivas-Erzincan-Erzurum-Malatya-İçel-Ankara	69	60	2237 km.	3019,95 YTL.
		TOPLAM	346	323	8307 km.	11214,45 YTL.

3. UYGULAMA SONUÇLARI

Haftalara göre kullanılan araçların karşılaştırılması Tablo-16'da sunulmuştur.

Tablo-16: Haftalara Göre Kullanılan Araçların Karşılaştırılması

Haftalar	Mevcut Durum	KDS	Tasarruf
1	8	6	2
2	7	6	1
3	7	6	1
4	9	9	0
5	8	8	0
6	10	6	4
7	8	6	2
8	8	6	2
9	7	5	2
TOPLAM	72	58	14

Tablo-16 incelendiğinde iki hafta hariç diğer haftalarda müşterilere daha az araçla hizmet edildiği görülmektedir. 9 haftalık periyotta toplam 14 araç tasarruf edilmiştir. K.K.Loaj.K.lığı ring seferleri hizmeti düşünüldüğünde her araç için 2 şoför ve 1 araç komutanı planlandığından 9 haftada 28 şoför ve 14 araç komutanı tasarruf edilmiştir.

Hazırlanan KDS talepleri Türkiye sınırları içerisinde değerlendirerek, K.K.Loaj.K.lığı gibi bölgelere ayırmadığından farklı bölgelerdeki illere tek araçla hizmet verebilmektedir. Örneğin 6.'inci hafta verileri incelendiğinde mevcut duruma göre 10 araç kullanılmaktadır. Bu araçlardan 2 tanesi

İstanbul ringine; 2 tanesi Ege ringine, 2 tanesi Güneydoğu ringine ve 1 er tane Marmara ringine, Akdeniz ringine, İç Anadolu ringine ve Doğu ringine tahsis edilmiştir. İstanbul ringinde toplama talebi tek araçla karşılanamadığından 2 araç planlanmıştır. Oysa KDS ring bölgelerini kaldırıp Türkiye'yi bir bütün olarak değerlendirerek, İstanbul ringindeki talepleri diğer bölgelerdeki araçların boş kapasitelerini kullanarak karşıladığından araç sayısını ve dolayısıyla maliyeti azaltmaktadır.

Haftalara göre kat edilen mesafelerin karşılaştırılması Tablo-17'de sunulmuştur.

Tablo-17: Haftalara Göre Kat edilen Mesafelerin Karşılaştırılması(km.)

Haftalar	Mevcut Durum	KDS	Tasarruf
1	11017	8088	2929
2	9185	8239	946
3	9185	8575	610
4	11380	9856	1524
5	10091	9371	720
6	13212	8238	4974
7	11017	8199	2818
8	10937	7720	3217
9	9185	8307	878
TOPLAM	95209	76593	18616

Tablo-17 incelendiğinde, KDS'nin kullanılması ile kat edilen mesafelerde de büyük tasarruflar sağlandığı görülmektedir.

Haftalara göre ring seferleri masraflarının karşılaştırılması Tablo-18'de sunulmuştur.

Tablo-18: Haftalara Göre Maliyetlerin Karşılaştırılması (YTL.)

Haftalar	Mevcut Durum	KDS	Tasarruf
1	14872,95	10918,8	3954,15
2	12399,75	11122,65	1277,1
3	12399,75	11576,25	823,5
4	15363	13305,6	2057,4
5	13622,85	12650,85	972
6	17836,2	11121,3	6714,9
7	14872,95	11068,65	3804,3
8	14764,95	10422	4342,95
9	12399,75	11214,45	1185,3
TOPLAM	128532,15	103400,55	25131,6

Tablo-18 incelendiğinde ring seferleri rotalarının KDS ile belirlenmesi sonucu maliyet açısından her hafta tasarruf edilmiştir. 9 haftalık ring seferleri için mevcut durumda toplam 128.532,15 YTL. harcanırken rotalar bu çalışmada önerilen KDS ile düzenlenmiş olsaydı toplam 103.400,55 YTL. harcanacaktı. Bu durumda KDS 9 haftada toplam 25.131,6 YTL. tasarruf sağlamaktadır.

Hazırlanan KDS, Intel Pentium Centrino 1,86 Ghz İşlemcili 512 Mb. Bellekli bir bilgisayarda çalıştırılmış ve müşteri noktaları ve araç sayılarına göre çalışma süreleri Tablo-19'da sunulmuştur.

Tablo-19: Müşteri Noktaları ve Araç Sayılarına Göre KDS Çalışma Süreleri

S.No.	Müşteri Sayısı	Araç Sayısı	Çalışma Süresi (Sn.)
1	10	7	3
2	10	8	20
3	10	9	195
4	20	7	28
5	20	8	236
6	20	9	2160

Tablo-19 incelendiğinde müşteri sayısı aynı olup, araç sayısının farklı olduğu durumlarda, araç sayısı arttıkça araç sıra listesindeki kombinasyonların artması nedeniyle çalışma sürelerinin arttığı görülmektedir. Araç sayısı aynı olup, müşteri sayısının farklı olduğu durumlarda ise ekleme temelli sezgisel algoritmanın döngü sayısı müşteri sayısı kadar arttığından çalışma süresi de artmaktadır.

ALTINCI BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde heterojen araç filolu eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemlerinin çözümü için bir algoritma önerilmiş ve bu algoritmayı esas alan bir KDS hazırlanmıştır. Hazırlanan karar destek sistemi K.K.Loş.K.lığı ring seferlerinin 9 haftalık dağıtım-toplama verileri için çalıştırılmış ve mevcut durumla karşılaştırılmıştır. Uygulama sonucunda KDS' nin mevcut durumundan daha iyi sonuçlar verdiği görölmüşür. Fakat önerilen algoritmada müşteriler arası malzeme akışı dikkate alınmadığından hazırlanan bu KDS K.K.Loş.K.lığı ring seferlerinin planlanmasında sadece müşteriler arası malzeme akışı olmadığı durumlarda kullanılabilir.

Yapılan uygulama kullanılan araç sayılarına, kat edilen mesafeye ve toplam maliyetlere göre karşılaştırılmıştır.

Uygulama sonucuna göre 9 haftalık periyotta mevcut durumda 72 araç kullanılırken KDS ile 58 araç kullanılmakta ve toplam 14 araç tasarruf edilmektedir (Tablo-16). Kullanılan araç sayısına bağlı olarak 9 haftada 42 personel tasarrufu sağlamıştır. Böylece bu tasarruf, dolaylı olarak sabit maliyetlerin düşmesini de sağlayacaktır.

Kat edilen mesafe 9 haftalık periyotta karşılaştırıldığında, mevcut durumda 95209 km. yol kat edilirken KDS ile 76593 km. yol kat edilmekte ve toplamda 18616 km. yol tasarruf edilmektedir (Tablo-17). Böylece kat edilen mesafelerde sağlanan tasarruflar araçların amortisman ve bakım masraflarını azalttığı gibi araçlar trafikte daha az kalacağından kaza risk oranlarını da düşürecektir.

9 haftalık periyotta ring seferlerinin maliyetleri karşılaştırıldığında mevcut durumda 128.532,15 YTL. harcanırken KDS ile toplam 103.400,55

YTL. harcanmakta ve toplamda 25.131,6 YTL. tasarruf sağlanmaktadır (Tablo-18).

Uygulamada, 53 m3 ve 75 m3 olmak üzere iki araç kullanılmış ve 2007 yılı Ulaştırma Komutanlığı Ulaştırma Orta Oto Taburu Askeri Araçlar ile Taşıma Maliyetleri Hesaplama Esasları ve Sonuç Raporuna göre her ikisinin de km. başına maliyetinin 1,35 YTL. olarak alınmıştır. Oysa farklı tip ve farklı kapasiteli araçların sabit ve km. başına maliyetleri değişiklik gösterebilir. Hazırlanan KDS farklı araç tipleri için farklı değişken ve sabit maliyetlerin girişine imkan vermekte ve bu maliyetlere göre en iyi rotanın seçimini yapabilmektedir. Uygulama sonucunda toplam tasarruf 25.131,6 YTL. görülmekle birlikte araç maliyetleri farklı alındığında bu tasarruf daha da fazla olabilecektir.

Bu çalışmaya bağlı olarak ileride yapılacak çalışmalarda; müşteriler arası malzeme akışlı, heterojen araç filolu, eş zamanlı dağıtım-toplamalı, araç rotalama problemlerinin çözümü için bir algoritma geliştirilebilir.

Tezde önerilen algoritmaya zaman penceresi kısıtı eklenmemiştir. Yine geliştirilen algoritmaya zaman penceresi kısıtı da eklenerek yeni bir algoritma geliştirilebilir.

Bu çalışmada araç filosunun tek depoda konuşlandığı ve araçların dağıtım-toplama hizmetinden sonra tekrar depoya döndüğü varsayılmıştır. Çoklu depo durumlarında heterojen araç filolu eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemleri için yeni bir algoritma geliştirilebilir.

KAYNAKÇA

BRUCE,G. ,A.ASSAD ,L.LEVY, F.GHEYSENS. "The Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem", **Computers and Operations Research**, 11, 1984,s.49–66

CASCO, D.O., B.L.GOLDEN ve E.A.WASIL. "Vehicle Routing with Backhauls: Models, Algorithms and Case Studies", BRUCE L.,G. ve A.A.ASSAD(Ed), **Vehicle Routing: Methods and Studies**, 1988, s.127-147

DETHLOFF, Jan. "Vehicle Routing and Reverse Logistics: The Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-Up", **OR Spektrum**, 23, 2001, s.79-96.

EUNJEONG, C. ve D.W.TCHA. "A Column Generation Approach to the Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem", **Computers and Operations Research**, 34, 2007,s. 2080–2095

F.A.TANG, M. Ve R.D.GALVAO. "A Tabu Search Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pick-Up and Delivery Service", **Computers and Operations Research**, 33, 2006, s.595–619

GABOR, N. ve S. SALHI. "Heuristic Algorithms for Single and Multiple Depot Vehicle Routing Problems with Pickups and Deliveries", **Canterbury Business School Working Paper Series**, No:42, 2003, s. 6

GHEYSENS, F., B.GOLDEN, A.ASSAD . "A Comparison of Techniques for Solving the Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem", **OR Spektrum**, 6, 1984, s. 207–216.

GHEYSENS, F., B.GOLDEN, A.ASSAD. "A New Heuristic for Determining Fleet Size and Composition", **Mathematical Programming Study**, 26, 1986, s.233–236.

GÖKÇEN, Hadi. **Yönetim Bilgi Sistemleri**, Ankara, Epi Yayıncılık, 2002.

GÜL G., E. ve Ç. TAŞKIN. "Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları", **Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, 11(1), 2002, s. 129-152

HOKEY, Min. "The Multiple Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-Up Points", **Transportation Research-A**, 23A(5), 1989, s.377-386

JACQUES, R. ve F.F. BOCTOR. "A Sweep-Based Algorithm for the Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem", **European Journal of Operational Research**, 140, 2002, s.618-628

JOHNSON, D.S. ve L.A. MCGEOCH. "The Traveling Salesman Problem: A Case Study", E. H. AARTS, J. K. LENSTRA (Ed.). **Local Search in Combinatorial Optimization**, Chichester, John Wiley & Sons, 1997, s.215-310.

KABAKÇI, Can. **Karar Destek Sistemleri ve Bütünleşik Bir Tekstil Firmasının Tedarik Sistemine Uygulanması Üzerine Bir Araştırma**, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), İzmir, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü , 1999

LAWRENCE, B., B. GOLDEN, A. ASSAD ve M. BALL. "Routing and Scheduling of Vehicles and Crews", **Computers and Operation Research**, 10(2), 1983, s.63-211

MICHEL, G., G. LAPORTE, C. MUSARAGANYİ ve E. D. TAILLARD. "A Tabu Search Heuristic for the Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem ", **Computers and Operations Research**, 26, 1999, s.1153-1173

Online Logistics Tutorial. School of Industrial and System Engineering Georgia Institute of Technology. 19 Mayıs 1999 <http://www2.isye.gatech.edu/logisticstutorial/vehicle/tsp/tsp007_.htm>

PİNG, C., H. HUANG ve X. DONG. "An Ant Colony System Based Heuristic Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pickup", **Second IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications**, 2007, s.136-141

SAID, S. ve G. NAGY. "A Cluster Insertion Heuristic for Single and Multiple Depot Vehicle Routing Problems with Backhauling", **Journal of the Operational Research Society**, 50, 1999, s.1034-1042

SAID, S. ve M. SARI. "A Multi-Level Composite Heuristic for the Multi-Depot Vehicle Fleet Mix Problem", **European Journal of Operational Research**, 103, 1997, s.95-112

TAILLARD, Eric D.. "A Heuristic Column Generation Method for the Heterogeneous Fleet VRP", **Publication CRT**, 3, 1996, s.1-13

TAŞKIN, Çağatan. **Araç Rotalama Problemlerine Genetik Algoritma Yaklaşımı ve Bir Uygulama** (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Bursa, Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2003.

TOP, İsmail. **Araç Rotalama Problemlerinin Çözümünde Yeni Bir Sezgisel Algoritma: Yolcu Alma Algoritması ve Personel Servis Hizmetlerine Uygulanması**, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Ankara, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, 2004.

TOTH, P., ve D. VIGO. **The Vehicle Routing Problem**, Siam, 2002

Ulaştırma Komutanlığı Ulaştırma Orta Oto Taburu Askeri Araçlar İle Taşıma Maliyetleri Hesaplama Esasları ve Sonuç Raporu, Ankara, 2007.

VEÇİHLİ, Y. ve O. TÜRKBEY. "Tesis Yerleşim Problemlerine Sezgisel Metotlarla Yaklaşım", **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 18(4), 2003, s.45-56.

YAŞA, Ömer. **Ulaştırma Komutanlığı Ring Seferlerinin Eş Zamanlı Dağıtım Toplama Karar Destek Sistemi**, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Ankara, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, 2006.