

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**STOKASTİK EŞZAMANLI TOPLA-DAĞIT ARAÇ
ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN MELEZ YAKLAŞIM:
DİFERANSİYEL EVRİM ALGORİTMASI**

AYŞEGÜL GÜLTEPE

YÜKSEK LİSANS TEZİ

2011

**STOKASTİK EŞZAMANLI TOPLA-DAĞIT ARAÇ
ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN MELEZ YAKLAŞIM:
DİFERANSİYEL EVRİM ALGORİTMASI**

**HYBRID APPROACH FOR VEHICLE ROUTING PROBLEM
WITH STOCHASTIC SIMULTANEOUS PICKUP AND
DELIVERY: DIFFERENTIAL EVOLUTION ALGORITHM**

AYŞEGÜL GÜLTEPE

Başkent Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
ENDÜSTRİ Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2011

“ Stokastik Eşzamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi için Melez Yaklaşım: Diferansiyel Evrim Algoritması” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından, 08/09/2011 tarihinde, **ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI 'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof.Dr. İmdat KARA

Üye (Danışman) : Prof.Dr. Berna DENGİZ

Üye : Prof.Dr. Fulya ALTIPARMAK

ONAY

23/09/2011

Prof. Dr. Emin AKATA
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEŐEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarını hiçbir zaman esirgemeyerek beni yönlendiren tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Berna DENGİZ' e, tez izleme komitesinde yer alan tecrübelerinden ve fikirlerinden faydalandığım değerli hocalarım Prof. Dr. Fulya ALTIPARMAK ve Prof. Dr. İmdat KARA' ya teőekkürlerimi sunarım.

Çalıőmalarım sırasında bana vakit ayıran Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü Yrd. Doç. Dr. İsmail Karaoğlan'a őükranlarımı sunarım.

Son olarak tez çalıőmalarımı maddi olarak destekleyen TÜBİTAK'a teőekkürlerimi sunarım.

ÖZ

STOKASTİK EŞZAMANLI TOPLA-DAĞIT ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN MELEZ YAKLAŞIM: DİFERANSİYEL EVRİM ALGORİTMASI

Ayşegül GÜLTEPE

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Lojistik yönetimi ve tedarik zinciri yönetiminde en önemli işlemsel (operasyonel) kararlardan birisi toplam seyahat süresini enküçükleyecek şekilde tüm müşterilere servis sağlayacak araç rotalarının belirlenmesidir. Klasik araç rotalama problemi, bir depodan müşterilerin dağıtım ya da toplama taleplerini karşılayacak en uygun rotaların belirlenmesi olarak tanımlanır. Uygulamada karşılaşılan kısıtlamalara dayalı olarak ilgili kaynaklarda farklı araç rotalama problemleri tanımlanmaktadır. Bu problemlerden birisi Eşzamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemidir (ETD_ ARP). ETD_ ARP depodan müşterilere ürün dağıtımının yanı sıra müşterilerden de depoya geri dönecek ürünlerin toplanması işlemlerinin eşzamanlı gerçekleştirildiği bir araç rotalama problemidir. Bu tür problemlerde müşterilerden toplanan ve dağıtılan miktarların sabit olmadığı durum göz önüne alındığında problem stokastik eşzamanlı topla-dağıt araç rotalama problemi (SETD_ ARP) olmaktadır. Bu tez kapsamında, SETD_ ARP çözümü için kesikli diferansiyel evrim algoritması (KDEA) ve KDEA ve yerel aramanın avantajlarını kullanan melez algoritma (m_KDEA) geliştirilmiştir. Bu iki algoritma ve rassal arama(RA) algoritması bir grup test problemleri üzerinde karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları m_KDEA 'nın çözüm kalitesi açısından daha başarılı bir algoritma olduğunu göstermiştir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: eşzamanlı topla-dağıt araç rotalama problemi, diferansiyel evrim algoritması, stokastik eşzamanlı topla-dağıt araç rotalama problemi.

Danışman: Prof.Dr. Berna DENGİZ, Başkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü.

ABSTRACT

HYBRID APPROACH FOR VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH STOCHASTIC SIMULTANEOUS PICKUP AND DELIVERY: A DIFFERENTIAL EVOLUTION ALGORITHM

Ayşegül GÜLTEPE

Baskent University Institute of Science and Technology

Department of Industrial Engineering

One of the most important operational decisions in the field of logistics is to find a set of routes servicing all the customers with the objective of minimizing the total travel distance. Classical vehicle routing problem can be defined as the problem of designing optimal delivery or pickup routes from one depot to a number of customers. Different variants of vehicle routing problem depending on some restrictions, which are faced in the practice, have been proposed in the literature. One of these variants is the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery (VRP_SPD). In the VRP_SPD, the pickup and delivery demands of customers in each route are met simultaneously. If pickup and delivery demands of customers are not fixed, this type of problems can be defined Vehicle Routing Problem with Stochastic Simultaneous Pickup and Delivery (VRP_SSPD). In this thesis, a Discrete Differential Evolution Algorithm (DDEA) and a hybrid algorithm, integrating the advantage of Discrete Differential Evolution and local search, called (h_DDEA) are presented for this problem. In addition, Random Search (RS) algorithm is developed to see the performance of these two algorithms. The proposed h_DDEA performs better solutions than DDEA and RS in terms of solution quality over a suit of test problems.

KEYWORDS: vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery, differential evolution algorithm, vehicle routing problem with stochastic simultaneous pickup and delivery

Advisor: Prof.Dr. Berna DENGİZ, Baskent University, Industrial Engineering Department.

İÇİNDEKİLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER LİSTESİ	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	v
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. STOKASTİK EŞ ZAMANLI TOPLA DAĞIT ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ ..	4
2.1 Araç Rotalama Problemi	4
2.2 Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi.....	8
2. 3 Eşzamanlı Topla-Dağıt ARP	9
2. 3. 1 ETD_ARP için literatür araştırması	10
2. 4 Stokastik Eşzamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi Tanımı	14
2. 4. 1 SETD_ARP için literatür araştırması	16
3. SETD_ARP İÇİN ÖNERİLEN ÇÖZÜM YÖNTEMİ	17
3.1 Diferansiyel Evrim Algoritması	17
3.1.1 Çözüm gösterimleri	20
4. SETD_ARP İÇİN KDEA VE m_KDEA	22
4.1 KDEA ve m_KDEA için Kullanılan Ortak Yapılar.....	22
4.2 m_KDEA' da Yerel Arama için Uygun Kodlama Yapısı.....	24
4.3 Yerel Arama	29
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	34
5.1 Test Problemleri	34
5.1.1 Dethloff'ın test problemleri	34
5.1.2 Salhi ve Nagy'nin test problemleri	34
5.2 Stokastik Talep Verisi Üretimi	35
5. 3 Monte Carlo Benzetimi ile Amaç Fonksiyonunun Hesaplanması	36
5.4 Deneysel Sonuçlar	36
5.4.1 Parametrelerin belirlenmesi.....	37

5.5 SETD_ARP için Deneysel Karşılaştırma Sonuçları.....	40
6. SONUÇ	51
KAYNAKLAR LİSTESİ	53

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2. 1. Bir KARP'nin çözümünden elde edilen rotaların gösterimi.....	6
Şekil 2. 2. ARP'nin temel problemleri ve ara bağlantıları.....	8
Şekil 4. 1. 10 müşterili SETD_ARP için ortak bir kromozom örneği.....	22
Şekil 4. 2. PMX çaprazlama operatörünün uygulanişı.....	23
Şekil 4. 3. SETD_ARP için ayırma algoritması.....	26
Şekil 4. 4. Bir kromozomdan ETD_ARP için çözümün elde edilmesi	28
Şekil 4. 5 SETD_ARP için Prins'in Ayırma Algoritması uyarınca elde edilen rota	29
Şekil 4. 6 Yerel arama yapılarının karşılaştırılması	32
Şekil 4. 7: m_KDEA 'nın akış diyagramı.....	33
Şekil 5. 1: CMT12Y problemi için %90 araç doluluk oranı için yakınsama	48
Şekil 5. 2: CMT12Y problemi için %80 araç doluluk oranı için yakınsama	48
Şekil 5. 3: CMT12Y problemi için %70 araç doluluk oranı için yakınsama	49
Şekil 5. 4: Üç farklı doluluk oranı için gerekli olan araç sayısı	50

ÇİZELGELER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2. 1. ETD-ARP ile ilgili sezgisel çalışmalar	13
Çizelge 5. 1. m_KDEA'nın parametreleri için varyans analizi sonuçları	38
Çizelge 5. 2 m_KDEA'nın parametreleri için Duncan testi.....	39
Çizelge 5. 3. Araç kapasitesi %70 dolu iken test problemleri için deneysel sonuçlar	42
Çizelge 5. 4. Araç kapasitesi %80 dolu iken test problemleri için deneysel sonuçlar	44
Çizelge 5. 5. Araç kapasitesi %90 dolu iken test problemleri için deneysel sonuçlar	46

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$ N $	Problemdeki müşteri sayısı
NP	Yığın genişliği
A	Düğümüleri birbirine bağlayan ayrıtlar kümesi
c_{ij}	[i-j] ayrıtlının uzunluğunu/maliyetini [i-j]
K	Araç sayısı
d_i	i müşterisinin dağıtım talebi ($i \in N_0$)
$f(s)$	s çözümünün amaç fonksiyonu değeri
N	Düğüm kümesi (0, ..., N)
$N(s)$	s çözümünün komşuluk yapısı
N_0	Müşteriler kümesi (1, ..., N)
n_i	i müşterisi ($i \in N_0$)
Q	Araç kapasitesi
p_i	i müşterisinin toplama talebi ($i \in N_0$)
s	Problemin mümkün bir çözümü
λ_k	Sabit ceza katsayısı
ξ_i	Müşteri talepleri
ARP	Araç Rotalama Problemi
DE	Diferansiyel Evrim
DK	Değişim Katsayısı
DKİ	Değişken Komşu İniş
EÇ	Eniyi Çözüm
EÇS	Eniyi Çözüm Süresi
ETD_ARP	Eşzamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi
GA	Genetik Algoritma
GSP	Gezgin Satıcı Problemi
GTDP	Genelleştirilmiş Topla-Dağıt Problemi
KARP	Klasik Araç Rotalama Problemi

KDEA	Kesikli Diferansiyel Evrim Algoritması
m_KDEA	Melez Kesikli Diferansiyel Evrim Algoritması
KKA	Karınca Kolonisi Algoritması
KKE	Karınca Kolonisi Eniyileme
KSE	Kuş Sürüsü Eniyileme
KTD_ARP	Karma Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi
OÇ	Ortalama Çözüm
OÇS	Ortalama Çözüm Süresi
ÖDST_ARP	Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi
RA	Rassal Arama
SETD_ARP	Stokastik Eşzamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi
STARP	Stokastik Talepli Araç Rotalama Problemi
TA	Tabu Arama
TB	Tavlama Benzetimi
TD_ARP	Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi
YA	Yerel Arama

1. GİRİŞ

Günümüzde küreselleşmenin etkisiyle işletmeler ürünlerini dünyaya sunarken, küresel pazarın zor rekabet koşullarına da uyum sağlamak zorunda kalmışlardır. Bu ortamda işletmelerin rakiplerine karşı rekabet avantajı elde ederek ayakta kalabilmeleri, müşteri memnuniyetini mümkün olan en yüksek karlılık seviyesinde sağlamaları ile mümkündür. Birbiriyle çelişen bu iki amaç doğrultusunda, kaynakların verimli şekilde kullanımı ile müşteri taleplerinin ihtiyaçlar doğrultusunda etkin bir şekilde karşılanması gerekmektedir. Bu amaca ulaşmanın yollarından birisi de, tedarikçiden müşteriye kadar uzanan dağıtım ağının etkin bir şekilde tasarlanmasıdır.

Dağıtım ağlarının tasarımında hammadde, yarı ürün ve ürünün etkin şekilde depolanmasının yanı sıra verilmesi gereken kararlardan birisi de, müşterilere ürünlerin nasıl gönderileceğidir. Bu nedenle tüm müşterilere servis sunulabilmesi için bazı operasyonel kısıtları dikkate alarak en küçük maliyetli araç rotalarının belirlenmesi olarak tanımlanan Araç Rotalama Problemi (ARP) işletme tarafından çözümlenmelidir. İşletmelerdeki toplam lojistik ve dağıtım maliyetlerinin 1/3 – 2/3 gibi büyük bir kısmı taşımadan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle taşımadan kaynaklanan masrafları azaltarak, tasarrufa dönüştürme fırsatı sağlayan ARP işletme yöneticileri açısından son yıllarda önemli bir ilgi alanı haline gelmiştir.

Klasik araç rotalama problemi, bir depodan müşterilerin dağıtım ya da toplama taleplerini karşılayacak en uygun rotaların belirlenmesi olarak tanımlanır. Uygulamada karşılaşılan kısıtlamalara dayalı olarak ilgili kaynaklarda farklı araç rotalama problemleri tanımlanmaktadır. Bu problemlerden birisi Eşzamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemidir (ETD_ ARP). ETD_ ARP depodan müşterilere ürün dağıtımının yanı sıra müşterilerden de depoya geri dönecek ürünlerin toplanması işlemlerinin eşzamanlı gerçekleştirildiği bir araç rotalama problemidir. Bu tür problemlerde müşterilerden toplanan ve dağıtılan talep miktarlarının sabit olmadığı ve taleplerin o anda öğrenildiği durum göz önüne alındığında problem stokastik eşzamanlı topla-dağıt araç rotalama problemi (SETD_ ARP) olmaktadır.

Sağlık, gıda, otomotiv gibi farklı sektörlerde SETD_ ARP'nin uygulamaları ile sıklıkla karşılaşılmaktadır. Örneğin, bir hastaneye gereksinim duyulan uygun kan grubundaki kanı bırakırken hastaneden iade edilecek kanı almak gerekebilir.

Bırakılacak ve alınacak kan miktarları önceden belli olmayıp hastaların durumuna göre ortaya çıkacaktır. Süpermarketlere dağıtılan dolu süt şişeleri ve aynı anda toplanan boş süt şişeleri de benzer bir problem oluşturmaktadır. Bu örneklerde aynı anda toplama ve dağıtma varken miktarların önceden belli olmadığı durum söz konusudur. Diğer bir deyişle, bir müşteriye uğranıldığında toplama ve dağıtımın aynı anda yapılmakta ve talepler de o anda öğrenilmektedir.

Bilindiği gibi ARP NP-zor problemdir. Dolayısıyla ARP'nin bir türü olan SETD_ARNP de NP-zor problemler sınıfında yer almaktadır. Literatürde ARP ve ARP alanındaki problemlerle ilgili çok sayıda çalışma vardır. Bunlarla ilgili genel inceleme makalelerinden bu çalışmaların çoğu görülebilir [Yeun ve ark., 2008]. Bu tez çalışması sırasında yaptığımız araştırma sonucunda SETD_ARNP ile ilgili çok az sayıda çalışmaya rastlanılmıştır. Bu çalışmalarda kısıtlı sayıdaki problemlerle çalışılmış olup bu nedenle de geliştirdikleri algoritmalarla ilgili genel sonuçlar verememişlerdir [Hou ve Zhou, 2010, Hou, Zhou ve Zhao, 2010].

SETD_ARNP'nin yukarıda belirtilen stokastik yapısı nedeniyle, belirsizlik ortamında çözülmesi gereken lojistik problemleri için literatürdeki eksiklikten doğan gereksinim üzerine bu tez kapsamında, SETD_ARNP için bir kesikli diferansiyel evrim algoritması (KDEA) ve bu algoritmanın iyileştirilmesi amacıyla KDEA ve DKİ'ye dayalı bir melez algoritma (m_KDEA) geliştirilmiştir.

Son yıllarda araştırmacılar tarafından önerilen algoritmaların büyük bir kısmı melez algoritmalarıdır. Melez algoritmalarda, metasezgisel algoritma basit Yerel Arama (YA) veya başka bir metasezgisel algoritma ile birleştirilmekte ve birden fazla metasezgiselin avantajından birlikte yararlanılmaktadır. Bu avantajdan yararlanmak üzere, bu tezde geliştirilen KDEA, Değişken Komşu İniş (DKİ) algoritması melez yaklaşım için yerel arama olarak kullanılmıştır. Böylece SETD_ARNP için KDEA ve DKİ 'nin avantajları bir araya getirilerek daha etkin bir algoritma elde edilmiştir.

Literatür bilgimize göre, SETD_ARNP problemini bu tez çalışmasında dikkate alındığı şekilde ele alan bir çalışma olmadığı gibi bir problem setine de rastlanmamıştır. Bu nedenle, gerekli test problemleri literatürde, eş zamanlı topla dağıt problemleri (taleplerin belirli olduğu durum) için kullanılan test problemlerinin stokastik test problemlerine dönüştürülmesi ile elde edilmiştir. Bu konudaki

açıklamalar tezin ilerleyen bölümlerinde verilmektedir. Bu yönüyle bu tez SETD_ARP problemleri için bundan sonra yapılacak çalışmalarda kullanılabilir bir stokastik problem kümesi ve bu tezde önerilen m_KDEA ile elde edilmiş çözümler sunmaktadır.

Sonuçlar m_KDEA'nın SETD_ARP için bu tezde dikkate alınan diğer algoritmalara göre daha kaliteli çözümler verdiği görülmüştür.

Tezin diğer bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir: İkinci bölümde SETD_ARP'ne değinilmiş, SETD_ARP açıklanmadan önce sırasıyla ARP, Topla-Dağıt ARP (TD_ARP), ETD_ARP anlatılmış ve bu bölümün sonunda SETD_ARP açıklanıp literatür araştırmasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, KDEA anlatılmıştır. Dördüncü bölümde bu problemin çözümü için geliştirilen m_KDEA anlatılmıştır. Devam eden bölümde ise önerilen algoritmalarla ilgili deneysel çalışmalar yapılarak; önce SETD_ARP için geliştirilen yöntemlerin performans değerlendirilmesinde kullanılan test problemleri, ardından da bu problemlere ilişkin çözümler verilmiştir. Tezin son bölümü olan sonuç kısmında ise, yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

2. STOKASTİK EŞ ZAMANLI TOPLA DAĞIT ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

ETD_ARP'de müşterilerden toplanan ve dağıtılan talep miktarlarının sabit olmadığı ve taleplerin o anda öğrenildiği durum göz önüne alındığında problem SETD_ARP olmaktadır.

Sağlık, gıda, otomotiv gibi farklı sektörlerde SETD_ARP'nin uygulamaları ile sıklıkla karşılaşılmaktadır. Örneğin, bir hastaneye gereksinim duyulan uygun kan grubundaki kanı bırakırken hastaneden iade edilecek kanı almak gerekebilir. Bırakılacak ve alınacak kan miktarları önceden belli olmayıp hastaların durumuna göre ortaya çıkacaktır. Süpermarketlere dağıtılan dolu süt şişeleri ve aynı anda toplanan boş süt şişeleri de benzer bir problem oluşturmaktadır. Bu örneklerde aynı anda toplama ve dağıtma varken miktarların önceden belli olmadığı durum söz konusudur. Diğer bir deyişle, bir müşteriye uğranıldığında toplama ve dağıtımın aynı anda yapılmakta ve talepler de o anda öğrenilmektedir.

Şekil 2. 2'de ARP'nin temel problemleri yer almaktadır. ARP'ye çeşitli kısıtlar eklenerek ARP'nin temel problemlerinden biri olan TD_ARP elde edilmektedir. TD_ARP'nin üç farklı tipi bulunmaktadır. Bunlar; Önce Dağıt Sonra Topla ARP, Karma Topla Dağıt ARP ve Eşzamanlı Topla-Dağıt ARP' dir. Bu tezde Eşzamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Probleminin (ETD_ARP) stokastik talepli durumu ele alınmaktadır (SETD_ARP). SETD_ARP açıklanmadan önce sırasıyla ARP, TD_ARP, ETD_ARP anlatılmıştır ve bu bölümün sonunda SETD_ARP açıklanıp literatür araştırmasına yer verilmiştir.

2.1 Araç Rotalama Problemi

İşletmecilikte taşıma maliyetlerinin önemi bilindiği için bu maliyetlerin en küçüklenmesi konusunda pek çok araştırmanın yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmaların önemli bir kısmının Araç Rotalama Problemi alanında olduğu gözlenmektedir [Ergülen ve Güngör, 2006]. ARP bir tedarik noktasından çeşitli talep noktalarına yapılan taşıma işleminin maliyetlerini azaltmak ve müşteri hizmetlerini arttırmak için bir aracın izlemesi gereken en iyi rotanın bulunması problemi [Alkan, 2003]. Diğer bir deyişle; ARP, bir veya birden fazla depodan müşterilerin dağıtım ya da toplama taleplerini karşılayacak en uygun rotaların belirlenmesi olarak tanımlanır.

ARP, lojistik alanlarında ortaya çıkan bir problemdir. Bazı sektörlerde, taşıma mallara eklenen yüksek oranlı bir katma değer anlamına gelir. Bu yüzden taşıma problemlerinde maliyetlerin düşürülmesi için kullanılan metotlar ile toplam maliyetlerde %5'ten %20'lere varan kazançlar sağlanmaktadır. (<http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP/>)

Bir ARP'yi oluşturan ana kavramlar; yol şebekesi, müşteriler, işletme birimi/birimleri, araçlar ve sürücülerdir. ARP dağıtım ve/veya toplama faaliyetlerinin yönetimiyle uğraşan problemler bütününün genel bir adıdır. ARP'yi oluşturan kavramların kısıtları çözülecek problemin türünü belirlemektedir.

ARP'nin en basit şekline Klasik ARP (KARP) denir. KARP'de kapasite kısıtına sahip homojen bir araç filosu vardır. Depo yeri, müşteriler ve bu müşterilerin dağıtım/toplama talepleri bilinmektedir.

KARP'de birinci şehir depo olmak üzere n adet şehir ve m adet araç vardır. Her bir aracın kapasitesi Q ve i düğümünden j düğümüne olan mesafe c_{ij} olarak tanımlanır. KARP ile m adet aracın rotası belirlenirken aşağıda belirtilen kısıtlar dikkate alınır:

1. Her müşteri sadece bir araç tarafından bir kez ziyaret edilir.
2. Bir rota depodan başlayarak yine aynı depoda sonlanır.
3. Rota sayısı ve konfigürasyonu ile ilgili kısıtlar vardır.

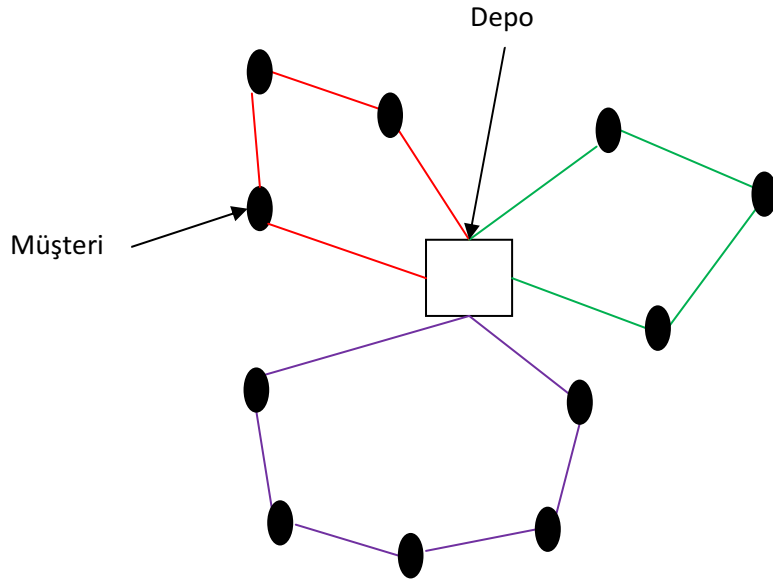
Bu temel kısıtlar haricinde problemin özelliğine göre farklı kısıtlar dikkate alınabilmektedir [Eryavuz ve Gencer, 2001].

Örneğin;

- Tüm müşterilerin talepleri karşılanmalıdır.
- Bir rota üzerindeki aracın toplayacağı ve dağıtacağı yük miktarı toplamı araç kapasitesini aşamaz.

Amaç yukarıdaki kısıtları sağlarken araçların katettiği toplam mesafeyi en küçükleyen rotalar kümesinin bulunmasıdır.

KARP en genel haliyle şu şekilde tanımlanabilir: $G = (N, A)$ tam bağlı (bütün düğümlerin bir ayrıtla birbirine doğrudan bağlı olduğu) bir şebeke olsun. Bu şebekede ilk düğümün (0) ana depoyu diğerlerinin ise müşterileri gösterdiği düğüm kümesi $N = \{0, \dots, |N|\}$; bu düğümleri birbirine bağlayan ayrıtlar kümesi ise $A = \{(i, j) | i \neq j \text{ ve } i, j \in N\}$ ile gösterilir. Bu şebekede c_{ij} , (i, j) ayrıtının uzunluğunu/maliyetini göstermekte ve üçgensel eşitsizlik $(c_{ij} \leq c_{ik} + c_{kj})$ sağlanmaktadır. Her müşterinin talep miktarı d_i 'dir ve Q kapasiteli yeterli sayıda araç depoda hazır olarak beklemektedir. Örnek bir KARP çözümü Şekil 2. 1' de verilmektedir.



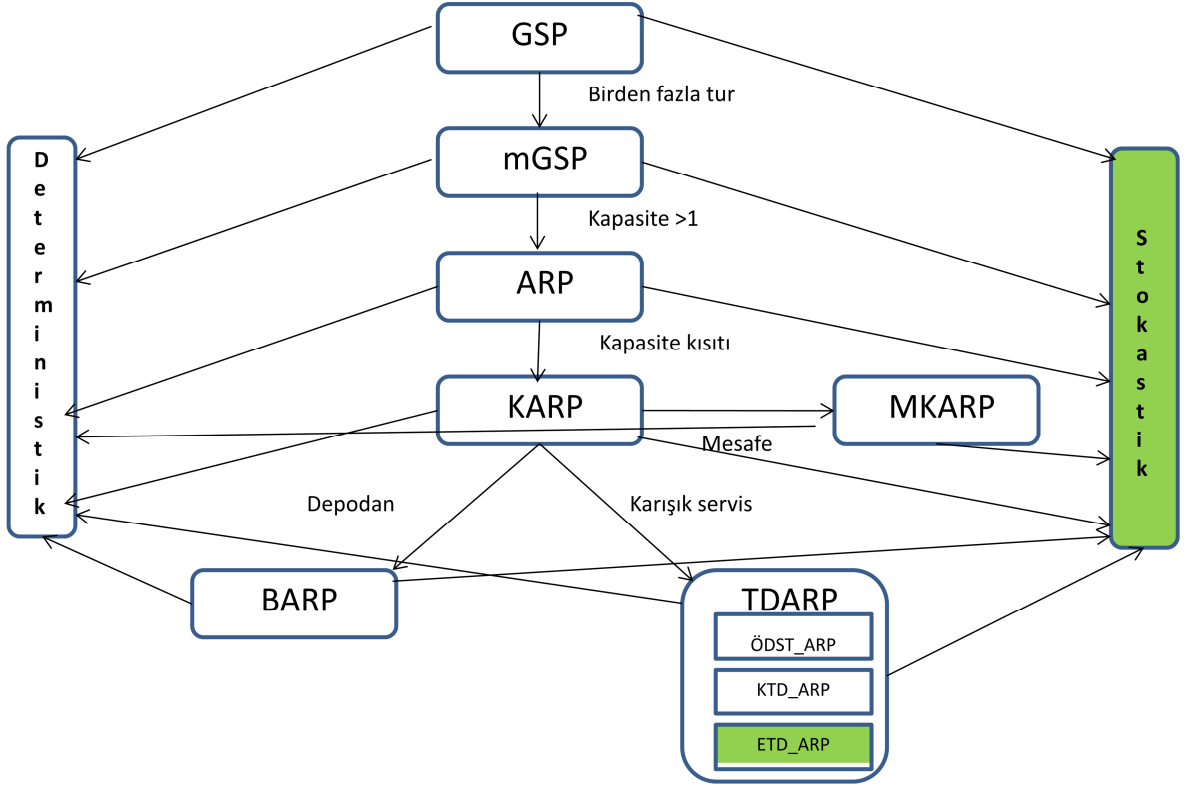
Şekil 2. 1. Bir KARP'nin çözümünden elde edilen rotaların gösterimi

Tüketim mallarının fabrikalardan toptancılara dağıtımı, ARP için iyi ve kolay anlaşılır bir örnek problemdir. Burada fabrikalar depolar, toptancılar ise talep merkezleri (müşteriler) durumundadır. Literatürde yer alan çalışmalar; farklı özellikler içeren KARP modellenmesi, bu problemlerin en iyi çözümünün araştırılmasında farklı çözüm algoritmalarının kullanılması ve gerçek hayattaki çeşitli sorunların çözümü için uygulamalar yapılması şeklindedir [Ergülen ve Güngör, 2006]. Araç rotalama problemi toplama veya dağıtım noktalarından oluşan bir grup rotanın tasarlanmasını içerir.

Araç rotalama konusu 1950'li yıllarda bilim insanlarının ilgi alanına girmeye başlamıştır. 1970'li yılların başında ortaya çıkan petrol krizine karşın taşımacılıkta hızlı gelişmeler kaydedilmiş ve bu konuda çalışmalar yapılmıştır. 1980'li yıllarda ekonomik sorunların yanı sıra, ulaştırma türleri arasında giderek artan kırılcı bir rekabet ortaya çıkmıştır. Araç rotalama problemi ilk olarak 1959 yılında Dantzig ve Ramser tarafından literatüre kazandırılmıştır. Bu çalışmada benzin istasyonlarına benzin dağıtım problemi ele alınmış ve problemin çözümü için ilk matematiksel programlama modeli kurulmuştur. Daha sonra 1964 yılında Clark and Wright probleme sezgisel bir çözüm önermiştir. Bu çalışmadan sonra literatürde KARP' ye ilgi daha da artmıştır. KARP şu ana kadar üzerinde en fazla yöntem geliştirilen en iyileme problemlerinden biridir [Erol, 2006].

ARP belirli bir problemi göstermek yerine, KARP'nin yapısındaki geniş çeşitlilikten kaynaklanan birbirinden farklı problemleri kapsamaktadır. Pratikte farklı durumlar için geliştirilmiş çok sayıda ARP ile karşılaşmaktadır. Buna göre problemde yer alan işletme birimi/ birimleri, araçlar, sürücüler, yollar ve müşterilerin özelliklerine göre çeşitli ARP türleri tanımlanmaktadır. Bu nedenle farklı kriterler dikkate alınarak ARP için çeşitli sınıflandırmalar yapılmıştır. Örneğin; çevre durumuna göre deterministik ve stokastik, rotaların durumuna göre açık uçlu ve kapalı uçlu, yolların durumuna göre simetrik ve asimetrik ARP'den bahsedilebilir.

Sınıflandırmada kullanılan kriterlerin en önemlisi kısıtlardır. Bir problem çoğu zaman dikkate alınan kısıtın ismi ile anılmaktadır. Pratikte kurulan lojistik sistemlerinde ARP'nin birebir modellenip çözümlenmesi zor olduğundan, bazı önemli kısıtlar seçilip diğerleri göz ardı edilerek problemler tanımlanmaya çalışılır. Şekil 2. 2'de ARP'nin temel problemleri ve ara bağlantıları yer almaktadır. Şekilden görüleceği gibi GSP, ARP'nin temelini oluşturmaktadır. GSP birden fazla turdan oluşuyorsa mGSP' ye dönüşmektedir. mGSP' de kapasite 1 birimden büyük ise ARP haline gelmektedir. ARP' ye kapasite kısıtı eklenerek KARP, KARP'ye ise mesafe kısıtı eklenerek MKARP elde edilir. KARP, depodan müşterilere hizmet vermekte ise BARP, karışık servis yapısına sahip ise TDARP olmaktadır. TDARP' nin üç tipi bulunmaktadır (ÖDST_ARP, KTD_ARP, ETD_ARP). Bu tezde ETD_ARP' nin stokastik talepli durumu ele alınmaktadır (SETD_ARP).



Şekil 2. 2. ARP'nin temel problemleri ve ara bağlantıları [Toth ve Vigo, 2002]

2.2 Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi

TD_ARP, her bir i müşterisi için dağıtılacak ve toplanılacak homojen malların talebini temsil eden d_i ve p_i miktarlarıyla ilişkilidir. Bazen dağıtma ve toplama talepleri arasındaki net farkı gösteren tek bir talep miktarı $d_i = d_i - p_i$ kullanılır.

TD_ARP, KARP'nin genelleştirilmiş bir halidir ve tesislerden müşterilere yapılan dağıtım işlemi ile müşterilerden tesislere yapılan toplama işleminin aynı araçlarla gerçekleştirildiği rotalama problemi olarak tanımlanmaktadır. Gerçek hayatta sağlık, gıda, otomotiv gibi birçok sektörde uygulama alanı olan TD_ARP, son yıllarda araştırmacıların üzerinde çeşitli çalışmalar yaptığı bir problem türü olarak karşımıza çıkmaktadır. Gıdaların marketlere dağıtımını esnasında günü geçmiş ürünlerin toplanması, yedek parçaların bayiliklere dağıtılırken bayiliklerden de kullanılmış parçaların geri dönüşüm için toplanması, kanların kan merkezlerinden hastanelere taşınması esnasında aynı zamanda hastanelerden kanların toplanması, TD_ARP'nin günlük hayattaki uygulamalarından bazılarıdır.

TD_ARP en genel hali ile şu şekilde tanımlanabilir: $G = (N, A)$ tam bağlı (bütün düğümler arasında doğrudan bir ayırım mevcut olduğu durum) bir şebeke olsun.

N düğümler kümesi ve A ise bu düğümler arasında tanımlanan ayrıtlar kümesidir, $A = \{(i, j) | i \neq j \text{ ve } i, j \in N\}$. Düğüm kümesindeki ilk düğüm depoyu, diğer düğümler müşterileri temsil etmektedir. Bu şebekede c_{ij} , (i, j) ayrıtlarının uzunluğunu (maliyetini) göstermektedir ve üçgensel eşitsizlik $(c_{ij} \leq c_{ik} + c_{kj})$ sağlanmaktadır. Taşımayı gerçekleştirecek araçlar depoda beklemektedir ve araç kapasiteleri (Q) özdeşdir. TD_arp, tanımlanan bu yapıda aşağıdaki kısıtları sağlayan en küçük maliyetli rotaların bulunması problemi [Karaoğlan, 2009].

1. Her müşteri kesinlikle bir kez ziyaret edilmeli,
2. Bir rota depodan başlayarak yine aynı depoda sonlanır,
3. Bir rota üzerindeki aracın, toplayacağı ve dağıtacağı yük miktarı toplamı araç kapasitesini aşamaz.

TD_arp için dikkate alınan varsayıma göre müşterilerden toplanan ürünlerin doğrudan diğer bir müşteriye taşınması söz konusu değildir. Yani bütün talepler ya depodan müşteriye ulaştırılmakta ya da müşteriden depoya taşınmaktadır. [Nagy ve Salhi, 2005]. Bu varsayımlar altında TD_arp'ın üç farklı tipi bulunmaktadır [Karaoğlan, 2009]. Bunlar; Önce Dağıt Sonra Topla arp (ÖDST_arp), Karma Topla Dağıt arp (KTD_arp) ve Eşzamanlı Topla-Dağıt arp (ETD_arp)' dir. Bu tezde ETD_arp' nin stokastik talepli durumu ele alınmaktadır.

2. 3 Eşzamanlı Topla-Dağıt arp

ETD_arp probleminde ÖDST_arp ve KTD_arp'den farklı olarak, bir müşteri aynı anda hem toplama hem de dağıtım müşterisi olabilmektedir. Aracın müşteriye uğradığında, hem dağıtılacak ürünü bırakıp hem de müşteriden depoya götürülecek ürünü toplayarak iki işlemi bir arada (önce verilecek ürünü bırakır sonra toplanacak ürünü alır) yaptığı problem tipidir. Gıda sektöründe, marketlere içeceklerin dağıtıldıktan sonra aynı marketten boş şişelerin geri dönüşüm için toplanması bu problem tipine örnek olarak verilebilir [Ropke ve Pisinger, 2006]. Tanımlarından da anlaşılacağı gibi ETD_arp, ÖDST_arp ve KTD_arp'nin genel halidir.

2. 3. 1 ETD_ARP için literatür araştırması

ETD_ARP ilk olarak 1989 yılında Min tarafından, halk kütüphanesine ait kitapların dağıtımı ve toplanmasıyla ilgili gerçek bir hayat problemini çözmek amacıyla ortaya çıkmıştır [Min, 1989]. Min problemi çözmek için bir matematiksel model ve önce grupla sonra rotala prensibine dayalı sezgisel bir algoritma önermiştir. Sezgisel algoritmada öncelikle müşteriler iki ayrık kümede gruplandırılmış, ardından her bir grup için GSP çözülmüş ve uygun çözüm elde edilene kadar araç kapasitesini aşan arklar cezalandırılarak GSP'nin çözümüne devam edilmiştir.

90'lar boyunca ETD-ARP ile ilgili pek fazla çalışma yapılmamıştır. Bu yıllarda Halse, problem için önce grupla sonra rotala yapısında iki aşamalı bir algoritma [Halse, 1992], Salhi ve Nagy ise ekleme yöntemine dayalı bir sezgisel [Salhi ve Nagy, 1999] önermiştir. Salhi ve Nagy, bu sezgiseli problemin çok depolu hali için de uygulamıştır.

2000'li yıllarda, pratikte toplama faaliyetleriyle daha çok karşılaşılmasının bir sonucu olarak probleme ilgi de giderek artmıştır. Dethloff matematiksel bir model ve ucuz ekleme, artık kapasite gibi dört farklı ölçüte göre ekleme stratejisini uygulayan tur kurucu bir sezgisel geliştirmiştir [Dethloff, 2001]. Bu çalışmasında ayrıca, kullandığı ekleme ölçütlerinin algoritmanın performansı üzerindeki etkilerini ve problemin diğer ARP çeşitleriyle ilişkisini incelemiştir. Bir diğer matematiksel model ve eklemeye dayalı sezgisel de Nagy ve Salhi tarafından önerilmiştir [Nagy ve Salhi, 2005]. Bu sezgiselde, ARP'de uygun olmayan rotaların uygun rotalara dönüştürülmesi amacıyla önerilen yaklaşımlar ETD_ARP'de kullanılmıştır. Tang ve Galvao ise KARP için geliştirilen tur parçalama [Beasley, 1983] ve süpürme algoritmalarını ETD_ARP'ye uyarlamışlardır [Tang ve Galvao, 2002].

Son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde, ETD_ARP'nin çözümü için daha çok metasezgisel algoritmaların kullanıldığı görülmektedir [Karaoğlan, 2009]. Ropke ve Pisinger ETD-ARP'nin yanı sıra ARP' nin birçok çeşidini çözmek amacıyla büyük komşuluk arama (large neighborhood search) sezgiselini geliştirmişlerdir [Ropke ve Pisinger, 2006]. Tabu arama (TA) algoritmasını Crispim ve Brandao DKİ algoritması ile [Crispim ve Brandao, 2005], Chen ise Tavlama Benzetimi (TB) [Chen, 2006] algoritması ile birlikte kullanarak ETD_ARP'yi çözebilmek için melez algoritmalar geliştirmişlerdir. Chen'in çalışmasında TB

melez algoritmanın temel adımlarını oluşturmakta ve her sıcaklık değerinde kabul edilen çözüm tabu listesinde tutulmaktadır. Ayrıca bu algortmada kullanılan komşuluk yapısı ardışık olarak değiştirilmiştir. Chen ve Wu, 2006 yılındaki bir diğer çalışmalarında öncekinden farklı olarak TB yerine Kayıttan Kayıda (KK) [Chen ve Wu, 2006] algoritmasını kullanmışlardır. TB'nin KK algoritması ile arasındaki tek fark; TB'de yeni çözümün kabul edilmesi belli bir olasılığa göre gerçekleşmektedir, KK algoritmasında ise o ana kadar elde edilmiş en iyi çözüme bağlı olarak belirlenen bir eşik değeri ile yapılan deterministik karşılaştırmaya göre sonuç belirlenmektedir. Montane ve Galvao tarafından, 1-1 yer değiştirme, 1-0 yer değiştirme, çaprazlama ve 2-opt olmak üzere dört farklı komşuluk yapısıyla birlikte uzun dönemli hafıza kullanan TA algoritması önerilmiştir [Montane ve Galvao, 2006]. Önerilen algoritmanın etkinliğini ölçebilmek için elde ettikleri çözümleri, geliştirdikleri matematiksel modelin iki saat çalıştırılmasıyla elde ettikleri üst sınırlar ile karşılaştırmışlardır. Bianchessi ve Righini çalışmalarında, değişik çözüm kurucu ve yerel arama algoritmalarıyla birlikte düğüm değiştirme ve hat değiştirmeye dayalı değişen komşuluk yapısını kullanan bir TA algoritması önererek, algoritmanın performansını karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir [Bianchessi ve Righini, 2007]. Wassen ve ark. bir noktanın yerleştirilmesi, iki noktanın farklı turlar arasına yer değiştirmesi ve rotanın yönünün ters çevrilmesi hareketlerinin oluşturduğu komşuluk yapılarını kullanan tepkisel TA algoritmasını geliştirmişlerdir [Wassen ve ark. , 2007]. Tepkisel TA'da çeşitlendirme ve yoğunlaşma stratejileri arasında denge kurabilmek amacıyla, tabu süresi dinamik olarak değiştirilmiştir. ETD_ARP ile ilgili araştırmalar 2009 yılında da sürmüştür. En son yapılan çalışmalarda daha çok, bu problem için bugüne kadar daha az uygulanmış metasezgiseller kullanılmıştır. Zachariadis ve ark. , problemi TA ile rehberli YA'yı birlikte kullanan melez bir algoritma ile çözmüşlerdir [Zachariadis ve ark. , 2009]. Ai ve Kachitvichyanukul tarafından Kuş Sürüsü En İyileme (KSE)' ye [Jin Ai ve Kachitvichyanukul, 2009], Gajpal ve Apad tarafından ise karınca kolonisi eniyilemeye (KKE) [Gajpal ve Apad, 2009] dayalı birer algoritma geliştirilmiştir. KKE algoritması; (i) en yakın komşu sezgiseli kullanılarak elde edilen başlangıç çözümüne göre yol yoğunluğu ve parametrelere başlangıç değerlerinin belirlenmesi (ii) yol yoğunluklarına göre her karınca için çözümün elde edilip yerel aramanın yapılması, ardından da yoğunlukların ve elit karıncaların güncellenmesi olmak üzere iki ana adımdan oluşmaktadır. 2009 yılında problemle ilgili yapılan bir

diğer çalışma ise Subramanian ve ark. tarafından geliştirilen paralel bir algoritmadır [Subramanian ve ark, 2009]. Bu algorithmada sıralı olarak yerel arama yapılmakta ve kullanılan komşuluk yapıları da rastsal olarak değiştirilmektedir. Paralel bir yöntem olmasından dolayı kısa sürelerde çözüm elde etmesi, algoritmanın en önemli özelliğidir. 2010 yılında ETD_ARP ile ilgili yapılan çalışmalar, Zachariadis ve ark. , Uyarlamalı Hafıza Metodolojisi ve TA'ya dayalı başka bir melez algoritma geliştirmişlerdir [Zachariadis ve ark. , 2010]. Çatay tarafından yeni tasarruf tabanlı görülebilir fonksiyon ve feromon güncelleme prosedürü uygulanarak karınca kolonisi algoritması kullanılmıştır [Çatay, 2010]. Mingyong ve Erbao tarafından geliştirilen sezgisel yaklaşımda başlangıç yığını kurmak için yeni ondalık kodlama kullanılmış, var olan diferansiyel evrim algoritmasından farklı olarak geliştirilmiş diferansiyel evrim algoritması kullanılmıştır. Uygun olmayan çözümleri elemek için ceza tekniği kullanılmıştır ve çaprazlama operatörü olarak, iterasyon ile değişen kendini uyarlayan çaprazlama oranı düzenlenmiştir [Mingyong ve Erbao, 2010].

ETD-ARP ile ilgilenen üç yüksek lisans tezinde de, problemin çözümü için metasezgisel yöntemler geliştirilmiştir. Vural'ın çalışması, çözümün gösterimi için Bean [Bean, 1994] tarafından önerilen rassal anahtarlama yaklaşımının kullanıldığı, iki farklı Genetik Algoritma (GA)'yı içermektedir [Vural, 2003]. Performansının pekiyi olmadığı belirtilen ilk algorithmada basit genetik operatörler kullanılmıştır. İkinci algorithmada ise çizelgeleme problemi için önerilen bir çaprazlama operatörü, üç farklı mutasyon operatörü ve turların iyileştirilmesi aşamasında da or-opt sezgiseli kullanılmıştır. Gökçe'nin yüksek lisans tezinde ise, ETD-ARP ile birlikte çeşitli ARP türleri için KKE'ye dayalı bir algoritma geliştirilmiştir [Gökçe, 2004]. Bu algorithmada çözümlerin iyileştirilmesi için rota içi 2-opt sezgiseli kullanılmıştır. Göksal'ın yüksek lisans tezinde, ETD_ARP 'nın çözümü için GA, KSE ve DKİ algoritmasına dayalı iki melez algoritma geliştirilmiştir [Göksal, 2010].

Literatürde ETD-ARP için Min [Min, 1989], Dethloff [Dethloff, 2001], Nagy ve Salhi [Nagy ve Salhi, 2005], Montane ve Galvao [Montane ve Galvao, 2006], Dell'Amico ve ark. [Dell'Amico ve ark. , 2006] , Ai ve Kachitvicanukul [Ai ve Kachitvicanukul, 2009] ve Karaoğlan [Karaoğlan, 2009] tarafından matematiksel modeller geliştirilmiştir.

Çizelge 2. 1 bu bölümde adı geçen ETD_ ARP ile ilgili sezgisel yöntemleri genel özellikleriyle kronolojik olarak özetlemektedir. Bu çizelge Subramanian ve ark. tarafından 2009 yılına kadar yapılan çalışmaları içermektedir [Subramanian ve ark. ,2009]. Bu tezde çizelgeye 2011 yılına kadar yapılmış çalışmalarda eklenmiştir. Görüldüğü gibi probleme olan ilgi giderek artmış ve çözümü için genellikle metasezgiseller kullanılmıştır.

Çizelge 2. 1. ETD-ARP ile ilgili sezgisel çalışmalar (Subramanian ve ark. ,2009 'dan değiştirilerek)

Yazarlar	Yıl	Yaklaşım
Min	1989	İlk çalışma
Halse	1992	Önce grupla sonra rotala stratejisi 3-opt prosedürü
Salhi ve Nagy	1999	Ekleme tabanlı sezgisel
Dethloff	2001	Dört farklı kritere göre ekleme tabanlı bir tur geliştirici sezgisel
Tang ve Galvao	2002	Tur parçalama ve süpürme algoritmaları probleme uyarlanmış
Vural	2003	GA
Gökçe	2004	Karınca Kolonisi
Salhi ve Nagy	2005	Farklı fizibilite seviyelerindeki sezgiseller
Crispim ve Brandao	2005	TA + DKİ
Ropke ve Pisinger	2006	Büyük Komşuluk Arama
Chen	2006	TB + TA
Chen ve Wu	2006	KK + tabu listesi
Montane ve Galvao	2006	Uzun dönemli hafıza kullanan TA
Bianchessi ve Righini	2007	Tur geliştirme ve yerel arama sezgiselleri TA + DKİ
Wassan ve ark.	2007	Tepkisel TA
Zachariadis ve ark.	2009	TA + rehberli YA
Ai ve Kachitvichyanukul	2009	KSE
Gajpal ve Apad	2009	KKE
Subramanian ve ark.	2009	Paralel İteratif Yerel Arama
Çatay	2010	KKA
Zachariadis ve ark.	2010	Uyarlamalı Hafıza Metodolojisi + TA
Mingyong ve Erbao	2010	Kendini uyarlayabilen çaprazlama operatörü ve ceza fonksiyonu ile geliştirilmiş DE
Göksal	2010	GA+DKİ, KSE+DKİ

2. 4 Stokastik Eşzamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi Tanımı

SETD_ARP problemi $G = (N, A, C)$ şebekesi üzerinde tanımlanır. Burada $N = \{0, \dots, |N|\}$ düğümler (müşteriler) kümesini gösterir. 0 düğümü depoyu temsil ederken, $A = \{(i, j) : i \neq j, i, j \in N\}$ birleştiren arkların kümesini ve $C = \{c_{ij} : i \neq j, i, j \in N\}$ düğümler arasındaki seyahat zamanlarını veya uzaklıkları gösterir. Bu çalışmada maliyet matrisi C' nin simetrik olduğu ve üçgensel eşitsizliği sağladığı kabul edilmiştir $c_{ij} \leq c_{ik} + c_{kj}$. Q kapasitesine sahip bir araç müşterilerin taleplerine bağlı olarak eş zamanlı dağıtım ve toplama gerçekleştirirken toplam beklenen seyahat mesafesi de minimize edilir. SETD_ARP' de aşağıdaki kabuller yapılmaktadır.

- Müşteri talepleri ξ_i bilinen olasılık dağılımlarından gelen rassal değişkenlerdir.
 $\xi_i, i = 1, \dots, n$
- Her bir müşterinin gerçek talebi ancak araç müşteriye ulaştıktan sonra elde edilmektedir.
- Müşteri talepleri ξ_i araç kapasitesi Q' yu geçemez ($\xi_i \leq Q$) ve talepler kesikli veya sürekli olasılık dağılımlarından gelebilir.

SETD_ARP için uygun bir çözüm depodan başlayan ve depoda sonlanan tur için müşterilerin permutasyonudur $s=(s(0), s(1), \dots, s(n), s(0))$. Araç müşterilere başlangıç (öncelik) turundaki sıraya göre hizmet verir ve müşterinin gerçek talebine göre bir sonraki düğüme gitmeye ya da depoya geri dönmeye karar verir. Beklenen maliyet, rotanın beklenen uzunluğu ve rota kırılması gerçekleştiğinde uygulanan yardımcı eylemlerin beklenen maliyetini içerir.

Rota kırılması gerçekleştiğinde uygulanacak olan yardımcı eylemler toplam beklenen maliyeti etkileyen en önemli faktörlerdir [İşleyen, 2008].

Literatürde kullanılan yardımcı eylemler kısaca aşağıda anlatılmaktadır:

Stewart ve Golden, kapasite aşılması durumunda iki farklı yardımcı eylem uygulamışlardır. Bunlardan birincisinde k rotasında oluşan her kırılmada sabit ceza katsayısı λ_k uygulanmış, ikincisinde ise, k rotasında araç kapasitesi Q'yu aşan her

birim talep için ceza katsayısı λ_k uygulanmıştır. Her iki durumda da toplam maliyet rotaların belirli maliyetleri ve ceza katsayılarının oluşturduğu maliyetlerdir [Stewart ve Golden, 1983].

Dror ve Trudeau, rota kırılmasının meydana geldiği düğüm ve sonraki düğümler için müşterilere bireysel olarak hizmet verilmesi gerektiğini varsaymışlar, fakat bu varsayımın fazla maliyete yol açtığı ve gerçek durumu yansıtmadığı belirlenmiştir [Dror ve Trudeau, 1986] .

Dror ve ark. çalışmalarında, yardımcı eylemi şöyle tanımlamışlardır. Araç talebi karşılayamadığı her durumda depoya geri dönerek topladığı malları bırakıp planlanan rotada hizmet verilmemiş bir sonraki müşteriden yeniden başlayarak turuna devam edecektir [Dror ve ark. , 1989].

Teodorovic ve Pavkovic, Dror ve ark.'nın yardımcı eylem yaklaşımını, hesaplama etkinliği açısından basite indirgeyerek her rotada en fazla bir kırılma olabileceğini varsaymışlardır [Teodorovic ve Pavkovic,1992].

Ak ve Erera çift araçlı yardımcı eylem olarak adlandırdıkları bir yöntemi rota kırılması durumunda uygulamışlardır [Ak ve Erera,2007]. Çift araçlı yardımcı eylem, basit yardımcı eylemin bir uzantısıdır. Başlangıç turundaki müşterilerin talebini karşılamak için iki araç görevlendirilir. Eğer araçlardan birinin servis işlemi süresince kapasite aşma durumu ortaya çıkarsa diğer araç ilk aracın karşılayamadığı müşterilerin taleplerini kendi turunu tamamladıktan sonra karşılamak için görevlendirilir.

Bahsedilen çalışmaların hepsinde tanımlanan yardımcı eylemler rota kırılması ortaya çıktıktan sonra uygulanmaktadır. Ancak araç bir müşterinin talebini karşıladıktan sonra, takip eden müşteriye gitmeyip, daha sonraki müşterilerde meydana gelebilecek rota kırılma risklerini azaltmak için depoya geri dönerek topladığı malları bırakır, yükünü tamamlar ve planlanan rotada hizmet verilmemiş bir sonraki müşteriden başlayarak turuna devam eder. Yapılan bu eylem “koruyucu stoklama” politikası ya da pro-aktif yardımcı eylem olarak adlandırılır [İşleyen, 2008].

Pro-aktif yardımcı eyleme ilk olarak Bertsimas ve ark. çalışmalarında yer vermişlerdir [Bertsimas ve ark., 1995]. Araştırmacılar tek araçlı STARP' de

başlangıç turunun beklenen maliyetini iyileştirebilmek için depoya dönüşleri içeren rotanın oluşturulması aşamasında, dinamik programlamayı kullanmışlardır.

Yang [Yang,1996] ve Yang ve ark. [Yang ve ark., 2000]'de çalışmalarında tek ve çok araçlı STARP için koruyucu stoklama politikasını kullanarak rotaları oluşturmuşlardır.

Secomandi ise, müşteri taleplerinin kesin olarak öğrenilmesinden sonra veya her rota kırılmasından sonra başlangıç rotasının planlanan şekilde değil yeniden eniyilenecek, elde edilen rotanın belirlenmesi yaklaşımı üzerine çalışmıştır [Secomandi, 2000, 2001]. Bu yaklaşım koruyucu stoklama stratejisinden daha küçük beklenen değere sahip sonuçlar bulabilmesine rağmen hesaplama zamanı olarak daha fazla işlem zamanı gerektirir.

Bu çalışmada ele alınan SETD_ ARP 'nin temel özellikleri:

- Müşteri taleplerinin (toplama ve dağıtım) normal dağıldığı varsayılmıştır.
- Tam teslimatlı servis politikası kullanılmıştır.
- Kullanılan modelleme tekniği “yardımcı eylemli stokastik programlama” tekniğidir (Dror (1989)).

2. 4. 1 SETD_ ARP için literatür araştırması

Literatürde SETD_ ARP konusunda var olan çok az sayıdaki çalışma aşağıda özetlenmektedir.

2010 yılında Hou ve Zhou tarafından belirsiz talepli ve servis süreli ETD_ ARP konusunda bir çalışma yapılmıştır [Hou ve Zhou, 2010]. Metasezgisel olarak GA' yı kullanmıştır. Araç kapasitesinin %10 aşılmasına izin verilen bu çalışmada ayrıca ceza fonksiyonu uygulanmıştır. 2010 yılında Hou, Zhou ve Zhao tarafından belirsiz talepli ve servis süreli ETD_ ARP konusunda başka bir çalışma daha yapılmıştır [Hou, Zhou ve Zhao, 2010]. Bu çalışmada metasezgisel olarak yeni kesikli diferansiyel evrim algoritması kullanılmıştır. Bu çalışmada yeni bir mutasyon operatörü geliştirilmiştir. Bu çalışmada da araç kapasitesini %10 aşmaya izin verilmiştir ve ceza fonksiyonu uygulanmıştır.

3. SETD_ ARP İÇİN ÖNERİLEN ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Bu tez kapsamında SETD_ ARP için literatürde ilk kez DKİ ile melezleştirilmiş KDEA metasezgiseline dayalı melez algoritma (m_KDEA) önerilmiştir. Önerilen algoritmaların performansı literatürdeki test problemleri üzerinde incelenmiştir.

Bu bölümde, önerilen sezgisel yöntem detaylarıyla izleyen alt bölümlerde açıklanmaktadır.

3.1 Diferansiyel Evrim Algoritması

Diferansiyel Evrim (DE) algoritması ilk olarak Price ve Storn tarafından 1995 yılında “Chebychev polynomial fitting” problemini çözmek için tanımlanmıştır [Storn ve Price. , 1995 ve 1997]. DE bir çok alanda başarıyla uygulanmıştır, bu alanlar; dijital filtre tasarımı [Storn, 1999], [Storn, 1996], haberleşmede [Storn, 1996], sinir ağlarının eğitilmesinde [Masters ve Land, 1997], çizelgeleme problemlerinde [Rüttgers, 1997], çoklu sensör füzyonlarında [Joshi ve Sanderson, 1999], ısı transferlerinde [Babu ve Sastry, 1999], sistem tasarımında [Storn, 1999], aerodinamik dizaynda [Rogalsky ve ark. , 2000], deprem yer değiştirmelerinde [Ruzek ve Kvasnicka, 2001] , mikroişlemci sentezinde [Rae ve Parameswaran, 2001], karakter tanımda [Ilonen ve ark., 2003], kanser teşhisinde [Abbass, 2002] ve permütasyon akış sıralaması problemlerinde [Taşgetiren ve ark. , 2004] uygulanmıştır.

DE ‘yi diğer sezgisellerle (GA ve KSE) karşılaştırıldığında, gerçek hayat ve yapay problemlerde DE’nin tek amaç için, sağlam (robust) olması bakımından ve sayısal optimizasyonda diğerlerinden üstün olduğu görülmüştür [Ursem ve Vadstrup, 2003, Thomsen, 2003, Krink ve ark. , 2004, Vesterstrzm ve Thomsen, 2004]. DE ile ilgili daha çok bilgi ve literatür araştırması [Corne ve ark.. , 1999, Lampinen, 2001, Babu ve Onwubolu, 2004, Price ve ark. , 2005]’da bulunmaktadır. Ayrıca DE’nin avantajları; basit yapıda olması, pratik uygulamalar için hemen erişilebilir olması, basit bir kavram olması, kullanımının kolay olması, çözüm hızının iyi olması ve güçlü olmasıdır.

DE algoritması tipik bir yığın tabanlı gelişim algoritmasıdır. Mutasyon, çaprazlama ve seçim gibi GA’ ya benzer şekilde benzer operatörleri kullanan yığın tabanlı bir algoritmadır. DE’nin parametreleri yığın genişliği, çaprazlama oranı ve mutasyon oranıdır. Mutasyon, yığın içindeki en küçük amaç fonksiyonuna sahip yığın

bireyine, yine rasgele seçilen iki vektörün ölçeklendirilmiş farkını ekleyerek çalışan arama işlemini sağlayan bir süreçtir. Seçim işlemi genellikle açgözlü (greedy) seçim olarak adlandırılır. Böylece yakınsama hızlanmaktadır ve bu yönüyle algoritma GA'ya göre avantaj kazanmaktadır. Sürekli problemler için önerilen versiyonunda her bireyin eşit seçilme şansı vardır. Bu da GA'dan olan diğer bir farklılığıdır. Algoritma bir ebeveyn vektörden, mutasyon ve çaprazlamayı birlikte kullanarak bir deneme vektörü üretir [Karaboğa, 2004].

Kesikli diferansiyel evrim algoritması (KDEA) ise, birleşli (kombinatorial) eniyileme problemleri için çözümleri kesikli değerleri temel alan yeni ve değişik bir algoritmadır. KDEA sırasıyla üç yığın yaratır, bunlar; target yığın, mutant yığın ve trial yığındır.

Basit KDEA

Parametreleri belirle

Hedef yığını üret

Hesapla

$i \rightarrow 1$

yap

{

Mutant yığını elde et

Trial yığını elde et

Trial yığını hesapla

Seçim işlemi

$i++$

}while ($i > \text{Durdurma ölçütü}$)

KDEA' nın ana elemanları şu şekildedir [Taşgetiren ve ark. , 2010]:

Target birey: X_i^t t inci nesildeki i ' inci bireyi göstermektedir ve gösterimi $X_i^t = [x_{i1}^t, x_{i2}^t, \dots, x_{iD}^t]$ şeklindedir. x_{ij}^t j inci boyutun ($j = 1, 2, \dots, D$) i 'inci bireyinin eniyileme edilen parametre değeridir.

Mutant birey: V_i^t t inci nesildeki i ' inci bireyi göstermektedir ve gösterimi $V_i^t = [v_{i1}^t, v_{i2}^t, \dots, v_{iD}^t]$ şeklindedir. v_{ij}^t j inci boyutun ($j= 1,2,\dots,D$) i 'inci bireyinin eniyileme edilen parametre değeridir.

Trial birey: U_i^t t inci nesildeki i ' inci bireyi göstermektedir ve gösterimi $U_i^t = [u_{i1}^t, u_{i2}^t, \dots, u_{iD}^t]$ şeklindedir. u_{ij}^t j inci boyutun ($j= 1,2,\dots,D$) i 'inci bireyinin eniyileme edilen parametre değeridir.

Target yığını: X^t t ' inci nesildeki NP bireyden oluşan yığının kümesidir. $X^t = [X_1^t, X_2^t, \dots, X_{NP}^t]$. KDEA' da başlangıç yığınındaki (target yığını) bireyler rassal olarak oluşturulur.

Mutant yığını: V^t t ' inci nesildeki NP bireyden oluşan yığının kümesidir. $V^t = [V_1^t, V_2^t, \dots, V_{NP}^t]$. Mutant yığını target yığınından Eş. (3. 1) ile elde edilmektedir [Taşgetiren ve ark. , 2010].

$$v_j^t = \begin{cases} DC_{dp}(x_g^{t-1}) & r < P_m \text{ ise} \\ F(x_g^{t-1}) & \text{dd,} \end{cases} \quad (3. 1)$$

x_g^{t-1} $t-1$ neslindeki target yığının en iyi çözümüdür; P_m , mutasyon olasılığıdır. ; DC_{dp} , düğümlerin d , yıkma büyüklüğüne (müşteri sayısına bağlı olarak rassal olarak üretilir) ve p , karışıklık dayanımına bağlı olarak yapılan yıkma ve yapma prosedürüdür. $F(.)$, aynı birey içindeki düğümler arasındaki rassal ekleme (insert) hareketidir. r , $[0,1]$ arasında üretilen rassal bir sayıdır ve Eş. (3. 1)' e göre $F(x_g^{t-1})$ veya $DC_{dp}(x_g^{t-1})$ ile mutant birey, v_j^t , elde edilir.

Trial yığını: U^t t ' inci nesildeki NP bireyden oluşan yığının kümesidir. $U^t = [U_1^t, U_2^t, \dots, U_{NP}^t]$. Trial yığını Eş. (3. 2)' ye göre elde edilir [Taşgetiren ve ark. , 2010] :

$$u_j^t = \begin{cases} CR(v_j^t, x_j^{t-1}) & r < P_c \text{ ise,} \\ v_j^t & \text{dd,} \end{cases} \quad (3. 2)$$

CR , çaprazlama operatörünü göstermektedir ve P_c , çaprazlama olasılığıdır. Eğer rassal sayı olan r , P_c ' den küçük ise trial bireyi yaratmak için çaprazlama operatörü ($u_j^t = CR(v_j^t, x_j^{t-1})$) uygulanır, değilse, $u_j^t = v_j^t$ formülü ile trial birey elde edilir.

Buradan da görüldüğü gibi trial birey, mutant bireyin çıktısı şeklinde veya çaprazlama operatörüyle elde edilir.

Uygunluk fonksiyonu: Enküçükleme probleminde amaç fonksiyonu $f(X_i^t)$ ile gösterilir.

Sonbulma ölçütü: Arama işlemini durdurmak için bir şart gerekmektedir. Bu şartlar; a) maksimum iterasyon sayısı veya b) CPU zamanı olarak belirlenebilir. İterasyon sayısı belirlenen maksimum iterasyon sayısına ulaştığında yada elde edilen çözümlerde belirlenen iterasyon sayısı kadar iyileşme olmadıysa durdurma işlemi gerçekleştirilir.

Seçme işlemi: Son olarak trial ve target bireylerin amaç fonksiyonları, $f(\cdot)$, karşılaştırılarak seçme işlemi gerçekleştirilir. Amaç fonksiyonu, ana rotadaki j 'inci bireyin bölünmüş turlarının uzunlukları toplamıdır. Eş. (3. 3) uygulandıktan sonra elde edilen yığın yeni target yığınıdır [Taşgetiren ve ark. , 2010].

$$x_j^t = \begin{cases} u_j & f(u_j) \leq f(x_j^{t-1}) \text{ ise,} \\ x_j^{t-1} & \text{dd.} \end{cases} \quad (3. 3)$$

3.1.1 Çözüm gösterimleri

ETD_ARN ve ARN için üç farklı kodlama yapısının kullanıldığı görülmektedir. Bunlardan ilk ikisi müşterilerin sıralanmasına dayalı olan kodlama tipidir. Bu kodlama tipi, "permütasyon kodlama" olarak adlandırılır. Permütasyon kodlamanın birinci tipinde her bir tur depo ile bir diğerinden ayrılmaktadır. Permütasyon kodlamanın ikinci tipinde ise, tüm müşterilerden oluşan büyük bir tur elde edilip özel bir ayırma algoritması kullanılarak bu büyük turdan, araç kapasitelerini aşmayacak şekilde alt turlar elde edilir. Bu tür kodlama ARN için ilk kez, Prins (2004) tarafından geliştirilen GA' da kullanılmıştır [Prins, 2004]. Prins bu çalışmada kod çözme (decoding) yöntemi olarak; ilk kez Ulusoy tarafından

(1987) kapasiteli ark rotalama probleminde büyük bir turu uygun rotalara bölmek amacıyla uygulanan ayırma algoritmasını kullanmıştır. Bean ise (1994), söz konusu problemler için “rassal anahtarlama” olarak adlandırılan bir kodlama yapısı geliştirmiştir [Bean, 1994]. Rassal anahtarlama, her müşteriye tanımlanan bir aralıkta (genellikle 0 ile 1 arasında) bir rassal sayı atanır ve bu rassal sayılar tercihe göre küçükten büyüğe veya büyükten küçüğe sıralanarak müşterilerin ziyaret sırası elde edilir. Bu kodlama yapısının en önemli özelliği, tek-noktalı, iki-noktalı ve çok-noktalı gibi basit çaprazlama operatörleri kullanılarak uygun çözümlerin elde edilmesidir.

4. SETD_ ARP İÇİN KDEA VE m_KDEA

4.1 KDEA ve m_KDEA için Kullanılan Ortak Yapılar

Birey Kodlama yapısı

m_KDEA'da target yığının, mutant yığının ve trial yığının elde edilmesinde çözümler permütasyon kodlamanın birinci tipiyle gösterilmiştir. Trial yığın elde edildikten sonra en iyi amaç fonksiyonuna sahip olan trial bireye yerel arama uygulanması aşamasında, uygun rotalara bölünebilmesi ve yerel aramaların kolay uygulanması nedeniyle çözümler permütasyon kodlamanın ikinci tipiyle gösterilmiştir.

Şekil 4. 1' de 10 müşteriden oluşan bir SETD_ ARP için permütasyon kodlamanın kullanıldığı bir çözüm gösterimi yer almaktadır.

0	4	9	2	6	5	8	1	3	4	7
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Şekil 4. 1. 10 müşterili SETD_ ARP için ortak bir kromozom örneği

Başlangıç Yığınının Oluşturulması

KDEA' da başlangıç yığınındaki (target yığını) bireyler rassal olarak oluşturulur. Yığın NP bireyden oluşmaktadır. Gösterimi $X^t = [X_1^t, X_2^t, \dots, X_{NP}^t]$ şeklindedir. Her bir birey için amaç fonksiyonu hesaplanarak en küçük amaç fonksiyonuna sahip birey seçilir.

Mutasyon Operatörü

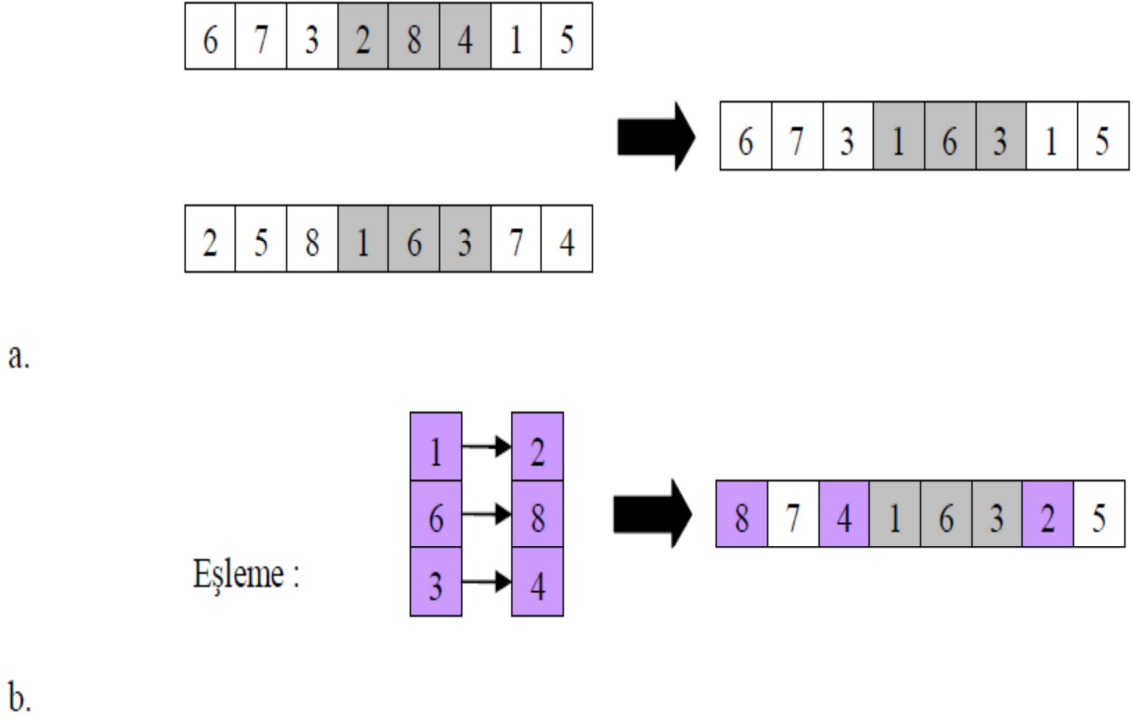
Target yığınından seçilen en küçük amaç fonksiyonuna sahip bireye mutant operatörü uygulanır, uygulanan mutasyonda DC_{dp} olarak En Yakın Komşu Sezgiseli kullanılmıştır. Bu yeni bireyin adı mutant bireydir.

Çaprazlama Operatörü

Target yığınından rastgele seçilen bireyle (mutant birey hariç) mutant birey çaprazlanır. Elde edilen yeni birey Trial birey olarak adlandırılır. Bu tez çalışmasında çaprazlama operatörü olarak PMX kullanılmıştır. Permütasyon kodlamanın kullanıldığı algoritmalarda uygun olmayan çözümlerin elde edilmesini önlemek amacıyla, literatürde özel çaprazlama operatörleri geliştirilmiştir. Bu

operatörler; kısmi çaprazlama (partial mapped crossover, PMX), sıralı çaprazlama (order crossover, OX) ve çevrim çaprazlamadır (cycle crossover, CX). Bunlardan literatürde en sık kullanılanları PMX ve OX'dir.

Şekil 4. 2'de iki çözümden PMX operatörü kullanılarak yeni bir çözümün elde edilmesi örnek üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 4. 2. PMX çaprazlama operatörünün uygulandığı

- Tur üzerinde rastgele seçilen iki nokta arasında kalan kısmın kopyalanması
- Eşleşmenin yapılarak tekrarların ortadan kaldırılması

PMX'de önce rasgele iki nokta belirlenir (k_1 ve k_2) ve çaprazlanacak turlardan birinci turun kopyası alınarak yeni çözüm elde edilir. Daha sonra, ikinci turun k_1 ve k_2 noktaları arasında kalan kısmı yeni turda aynı noktalar arasına olduğu gibi kopyalanır (Bkz. Şekil 4. 2.a). Bu işlem sonucunda uygun olmayan bir tur (bazı müşteriler turda iki kez bulunurken, bazıları hiç bulunmamaktadır) elde edilmektedir. Bu uygun olmayan turu uygun hale getirmek için, çaprazlanacak turlarda k_1 ve k_2 noktaları arasındaki müşteriler karşılıklı olarak eşleştirilir (Bkz. Şekil 4. 2.b). Son aşamada yeni turun, k_1 ve k_2 noktaları dışında kalan kısmı tek

tek incelenerek, tekrar eden müşterilerin eşleriyle yerleri değiştirilir (Bkz. Şekil 4.2.b).

KDEA yukarıda verilen yapılara göre kodlanmıştır. Algoritma akışı, Şekil 4.7 de verilen m_KDEA ile (A) adımı hariç olmak üzere aynı akış diyagramı içinde izlenebilir. Bu ortak yapılara ek olarak aşağıda açıklanan yerel arama yapıları uygulanmış ve m_KDEA SETD_ARP için geliştirilmiştir.

4.2 m_KDEA' da yerel arama için uygun kodlama yapısı

Permutasyon kodlama ile çözüm KDEA operatörlerinin uygulanmasında ve bilginin düzgün taşınmasında bazı kolaylıklar sağlayacak şekilde tüm müşterilerin içinde bulunduğu büyük bir tur sırası olarak gösterilir. Ancak bu büyük turun kapasite kısıtına uygun rotalara bölünmesi için bir ayırma işlemi gereklidir. Permutasyon kodlamanın gösterdiği büyük turun kapasite kısıtına uygun olarak rotalara ayrılması işleminde, Prins'in 2004 yılında KARP için geliştirdiği GA'da kullandığı ayırma algoritmasından faydalanılmıştır [Prins, 2004]. Büyük turun rotalara ayrılması için kullanılan yöntem aşağıda anlatılmaktadır. Bu tezde Prins'in kullandığı bu yapı SETD_ARP için kullanılmıştır.

Ayırma Algoritması:

Ayırma işleminde öncelikle SETD_ARP'nin bir $s = \{s_1, s_2, \dots, s_{|M|}\}$ çözümü için yardımcı $H = (Y, A)$ şebekesi elde edilir. Problemdeki müşteri sayısı $|N|$ olmak üzere bu şebekedeki düğüm sayısı $|N| + 1$ 'dir. Y düğümler kümesindeki ilk düğüm depoyu temsil eden aylak düğüm olup "0" ile gösterilirken, diğerleri müşterileri gösteren 1 ile $|N|$ arasındaki sayılardan oluşan düğümlerdir.

A hatlar kümesi, aynı rotada hizmet alan ve rota boyunca taşınan en büyük yükün (eb_yuk) araç kapasitesinden (Q) küçük olduğu alt müşteri sırasını $[s_{i+1}, s_{i+2}, \dots, s_j] \in s$, gösteren $(i, j), i < j$, hatlarından oluşmaktadır. Bir s için $(i, j) \in A$, hattı $[0 - s_{i+1} - s_{i+2} - \dots - s_j - 0]$ rotasına karşılık gelmektedir. Yardımcı şebekede (i, j) , hattının ağırlığı olan z_{ij} , rotanın maliyetine eşittir ve Eş. 4.1 ile hesaplanır. Bu eşitlikte, c_{ij} , i ve j müşterileri arasındaki mesafe/maliyettir. Ayırma işleminde elde edilen yardımcı şebekedeki, ilk düğümden son düğüme en küçük maliyetli yolun bulunması ile büyük turdan elde edilen rotalar belirlenmiş olur.

$$z_{ij} = c_{(0+s_{i+1})} + \sum_{k=i+1}^{j-1} c_{(s_k, s_{k+1})} + c_{(s_j, 0)} \quad (4. 1)$$

Prins (2004) ayırma işlemini iki aşamada gerçekleştirmiştir. Bu algorithmada H şebekesi açık bir şekilde oluşturulmamaktadır. Bunun yerine, algoritmanın ilk aşamasında Y düğümler kümesindeki her düğüm için V_j ve P_j olmak üzere iki etiket değeri hesaplanmaktadır. V_j H şebekesindeki 0 düğümünden j düğümüne en kısa yolun maliyetini, P_j ise bu yoldaki j düğümünün öncülünü göstermektedir. İlk aşamanın çıktısı olan P vektörü, ikincinin girdisidir. Şekil 4. 3'de bu algoritmanın SETD_ARP'ye uyarlanmış hali görülmektedir.

Algoritma: Ayırma işlemi

Girdi: SETD_ARP'ye ait problem girdileri ve bir s çözümü $s = \{s_1, s_2, \dots, s_{|N|}\}$

Çıktı: İlgilenilen s için rotalar kümesi R ve amaç fonksiyonu değeri $f(s) = V_{|N|}$

Başla

$R \leftarrow \emptyset; V_0 \leftarrow 0; V_j \leftarrow \infty; \text{for } \forall j \in \{1, 2, \dots, |N|\}$

$\text{for } i := \{1, 2, \dots, |N|\} \text{ do}$

$k \leftarrow 0; eb_yuk \leftarrow 0; yuk_\emptyset \leftarrow 0; yuk_s \leftarrow 0; j \leftarrow i$

tekrarla

$yuk_\emptyset \leftarrow eb_yuk + d_{sj}; \quad yuk_s \leftarrow yuk_s + p_{sj};$

$eb_yuk \leftarrow \max(yuk_\emptyset, yuk_s)$

$\text{if } j = i \text{ then } \cos t \leftarrow c_{0, s_i} + c_{s_i, 0}$

$\text{else } \cos t \leftarrow \cos t - c_{s_{j-1}, 0} + c_{s_{j-1}, s_j} - c_{s_j, 0}$

$\text{if } eb_yuk \leq Q \text{ then}$

$V_{i-1} + \cos t < V_j \text{ then } V_j \leftarrow V_{i-1} + \cos t$

$\text{if } P_j \leftarrow i - 1$

$j \leftarrow j + 1$

end if

$\text{until } j > |N| \text{ or } eb_yuk > Q$

End for

$\text{For } i := 1, 2, \dots, |N| \text{ do } route(i) \leftarrow \emptyset; r \leftarrow 0; j \leftarrow |N|$

tekrarla

$r \leftarrow r + 1; i \leftarrow P_j$

$\text{for } k := i + 1 \text{ to } j \text{ do } route(r) \leftarrow route(r) \cup \{s_k\} \text{ end for}$

$R \leftarrow R \cup route(r) \quad j \leftarrow i$

$\text{Until } i = 0$

Şekil 4. 3. SETD_ARP için ayırma algoritması

Algoritmanın tekrarlar döngüsünde (Bkz. Şekil 4. 3), A kümesiyle belirtilen tüm uygun alt rotalar incelenmektedir. İlgilenilen bir (i, j) hattı ile j düğümüne daha az bir maliyetle ulaşılabiliyorsa; V_j 'ye ilgili maliyet değeri, P_j 'ye ise bu maliyeti veren rotayı tutacak şekilde i değeri ($P_j=i$) atanmaktadır. Bu şekilde her döngüde; mevcut rotaya sıradaki s_j müşterisi eklenerek veya rota boyunca taşınan enbüyük yük miktarının araç kapasitesini geçmesi halinde yeni rota açılarak H üzerindeki tüm uygun rotalar gözden geçirilmektedir. Rotaların enbüyük yük miktarları ise Eş. 4.2, Eş. 4.3 ve Eş. 4.4'den yararlanılarak bulunmaktadır. Eş. 4.2 ve Eş.4.3' deki yuk_{δ} ve yuk_s ; halihazırdaki rotanın sonuna sıradaki s_j müşterisinin eklenmesiyle elde edilen yeni rotada aracın s_j 'ye gelinceye kadar ve s_j 'den sonra taşıdığı en büyük yük miktarları iken, eb_yuk (Eş. 4.4) s_j müşterisini de içine alan bu yeni rotada taşınan en büyük yük miktarıdır.

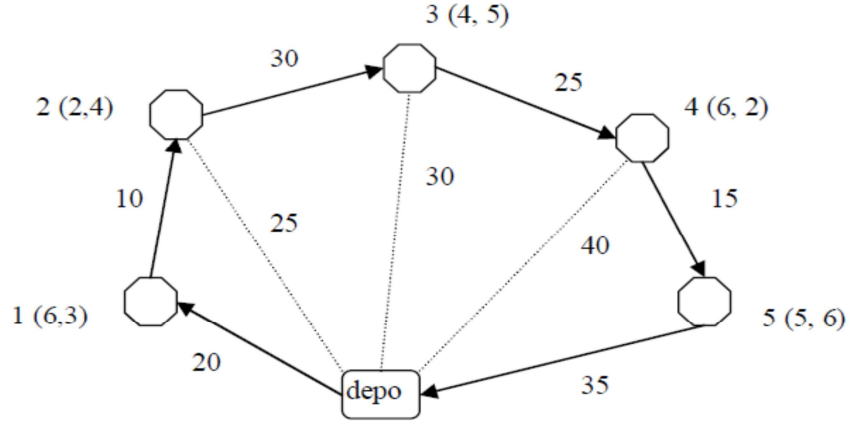
$$yuk_{\delta} = eb_yuk + d_{s_j} \quad (4.2)$$

$$yuk_s = \sum_{k=i+1}^r q_{s_k} \quad (4.3)$$

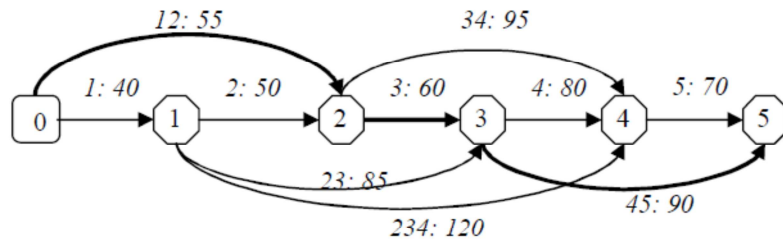
$$eb_yuk = enb(yuk_{\delta}, yuk_s) \quad (4.4)$$

Algoritmada elde edilen en son $V_{|N|}$ değeri s çözümünün amaç fonksiyonu değerini vermektedir. Bu maliyete sahip çözümün rotaları ise ayırma algoritmasının ikinci aşamasında P vektöründen yararlanılarak bulunmaktadır.

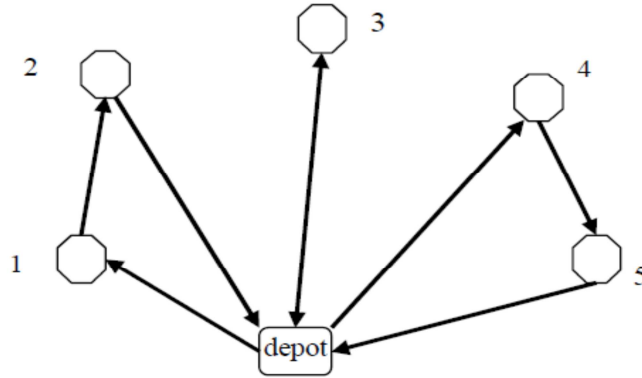
Şekil 4. 4'te büyük turdan ya da kromozomdan ayırma algoritması ile çözümün elde edilişi bir örnek üzerinde gösterilmektedir. Örnekteki beş müşterili ETD-ARP'ye ait kromozom $s=\{1, 2, 3, 4, 5\}$ olup, araç kapasitesi 12'dir. Şekil 4. 4.a'da müşterilerin üzerindeki parantez içindeki sayılar sırasıyla toplama ve dağıtım taleplerini, hatlar üzerindeki sayılar ise noktalar arasındaki uzaklığı vermektedir. Bu problemin çözümünü gösteren büyük tur için elde edilen H yardımcı şebekesi ise Şekil 4. 4.b'de yer almaktadır. H şebekesindeki $(0, 2)$ hattı 1'den 2'ye kadarki $\{1, 2\}$ müşterilerini içine alan $[0-1-2-0]$ turunu göstermektedir. Bu turun uzunluğu 55'dir.



a.



b.



c.

Şekil 4. 4. Bir kromozomdan ETD_ARNP için çözümün elde edilmesi

- Beş noktalı bir ETD_ARNP örneği
- Ayırma işleminin uygulanışı
- Elde edilen rotalar

Aynı şekilde (1, 4) hattı da, 2'den 4'e kadarki {2, 3, 4} müşterilerinden oluşan ve 120 birim uzunluğa sahip [0-2-3-4-0] turunu ifade etmektedir. Toplamda enküçük maliyeti veren hatlar koyu renk ile gösterilmiştir. H şebekesinde ilk düğümden son

düğüme kadar olan en kısa yol bulunduğunda, bu yolun değerinin 205 ($55+60+90=205$) birim olduğu görülmektedir. En kısa yola göre elde edilen rotalar (Bkz. Şekil 4. 4.c)'de gösterilmiştir. Sonuç olarak elde edilen rotaların gösterimi aşağıdaki şekli almaktadır.

0	1	2	0
0	3	0	
0	4	5	0

Şekil 4. 5 SETD_ ARP için Prins'in Ayırma Algoritması uyarınca elde edilen rota kodlaması

4.3 Yerel Arama

Permutasyon kodlamaya dayalı olarak geliştirilen DKİ ile melezleştirilmiş m_KDEA'da, çaprazlama operatörü ile elde edilen çocuklara yerel arama olarak DKİ algoritması kullanılmıştır. Metasezgisel algoritmalarının performansının artırılmasında arama sırasında elde edilen çözümlerin YA algoritması ile iyileştirilmesi önemli bir etkiye sahiptir. Bir problemin çözümü için metasezgisel algoritmanın basit yerel arama ya da bir diğer metasezgiselle birlikte kullanıldığı algoritmalar melez algoritmalar olarak adlandırılmaktadır. Literatürde son yıllarda çeşitli Birleşim Eniyileme Probleminin çözümü için melez algoritmaların çok sık kullanıldığı görülmektedir. Önerilen m_KDEA' da DKİ ' nin kullanıldığı melez bir algoritmadır. Geliştirilen m_KDEA' nın her iterasyonunda çaprazlama ile elde edilen iki yeni çözüm yani çocuklar (C1 ve C2) arasından en küçük amaç fonksiyonuna sahip olan çocuk seçilir ve bu amaç fonksiyonu o zamana kadar bulunmuş en küçük amaç fonksiyonundan daha küçükse en küçük amaç fonksiyonu güncellenir, eğer bu değer en küçük amaç fonksiyonundan büyükse en küçük amaç fonksiyonu değişmez ve eğer belli bir iterasyon amaç fonksiyonunda iyileşme gerçekleşmez ise DKİ algoritması ile iyileştirme gerçekleştirilmektedir. Bunun için, öncelikle seçilen bireyin karşılık geldiği rotalar ayırma algoritması (Bkz. Şekil 4. 4) ile bulunmalıdır. Rotalar DKİ ile iyileştirildikten sonra, çözüm Şekil 4.1' de gösterilen kodlama yapısına dönüştürülür. Mladenovic ve Hansen tarafından önerilen DKİ algoritması, arama sırasında sistematik bir şekilde kullanılan

komşuluk yapısını değiştirerek iyi ya da en iyi çözüme ulaşmaya çalışan metasezgisel bir algoritmadır [Mladenovic ve Hansen, 1997]. Bu tezde uygulanan DKİ'de bu yöntemden esinlenerek şu şekilde yapılmıştır: DKİ'nin uygulanabilmesi için öncelikle problem için kullanılacak komşuluk yapıları kümesinin, belirlenmesi gerekmektedir. Bu komşuluk yapıları, belirlenen sırayla kullanılarak çözüm uzayında arama gerçekleştirilir. Aramaya ilk sıradaki komşuluk yapısı ile başlanır. Herhangi bir anda kullanılan komşuluk yapısı ile mevcut çözüm iyileştirilmiş ise o ana kadar bulunan eniyi çözüm güncellenir ve o komşuluk yapısıyla aramaya devam edilir. Aksi takdirde bir sonraki komşuluk yapısı ile aramaya devam edilir. Tüm komşuluk yapıları sırasıyla uygulanıp bir iyileşme gerçekleşmemiş ise yeni iterasyona geçilir.

Komşuluk Yapısı Seçimi:

Bu çalışmada sonucu iyi yönde etkileyen komşuluk yapısı deneysel olarak belirlenmiştir. Öncelikle dikkate alınan üç komşu hareketinin, çaprazlama(cross), ekleme(insert), yer değiştirme (swap), hangi sıralamasının etkili olduğu ETD_ARP üzerinde denenmiştir. Bununla ilgili karşılaştırma grafiği seçilmiş örnek problem için Şekil 4. 6' da görülmektedir.

Çaprazlama: Bu hareket tipinde, r_1 rotasına ait ardışık n_1 ve n_2 müşterileri arasındaki hat ile, r_2 rotasına ait ardışık n_3 ve n_4 müşterileri arasındaki hat kaldırılarak her iki rota iki parçaya bölünür. Ardından n_1 ile n_4 ve n_3 ile n_2 arasına yeni hatlar eklenerek; r_1 rotasının ilk kısmı r_2 rotasının ikinci kısmıyla, r_2 rotasının ilk kısmı da r_1 rotasının ikinci kısmıyla birleştirilmiş olur. Bu komşuluk yapısında tüm rota çiftleri ve ayırma noktaları dikkate alınmaktadır.

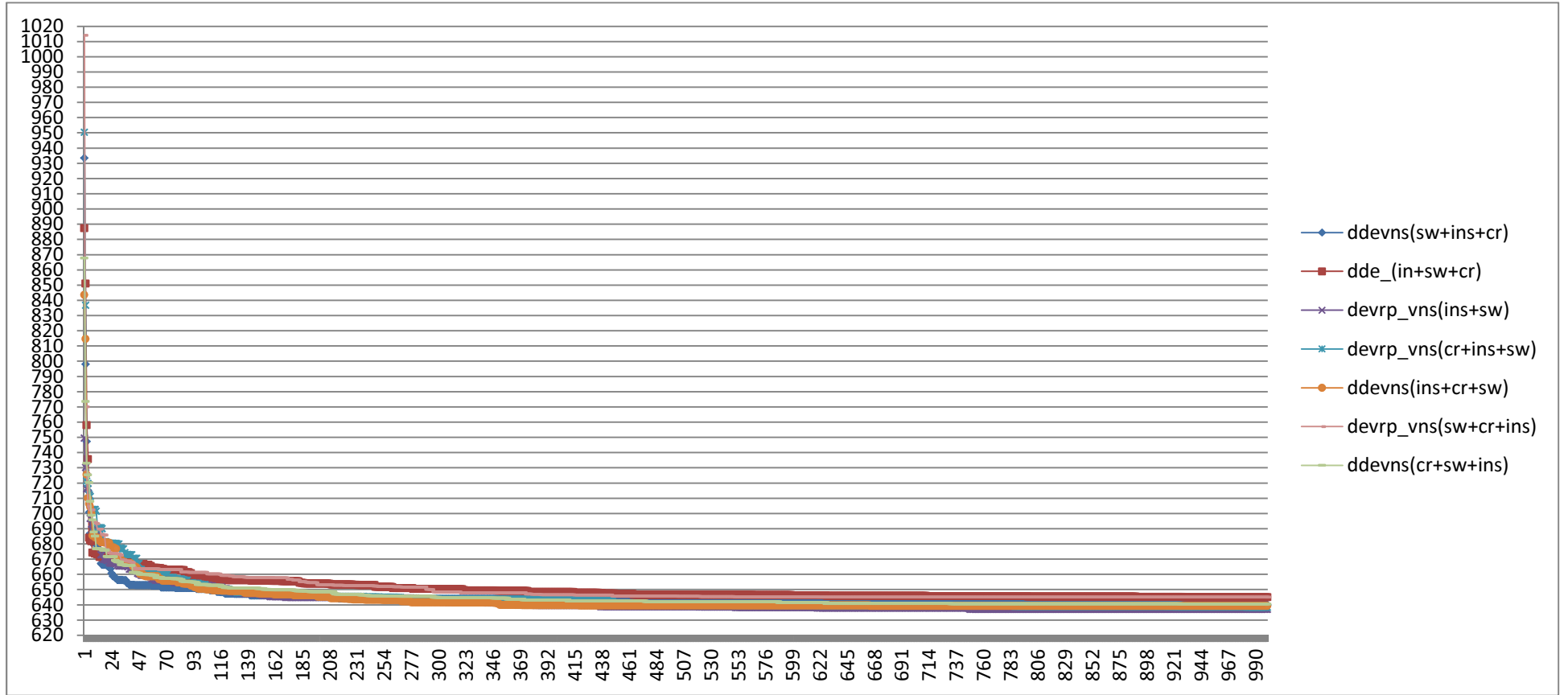
Yer değiştirme: Rota içinden veya rotalar arası seçilen n_1 ve n_2 müşterilerinin pozisyonları değiştirilir.

Ekleme: Rota içinden veya rotalar arası seçilen n_1 ve ardışık n_2 ve n_3 müşterisi n_2 ve n_3 arasındaki hat kaldırılarak n_1 ile n_2 müşterisi ve n_1 ile n_3 müşterisi arasına yeni hatlar eklenir.

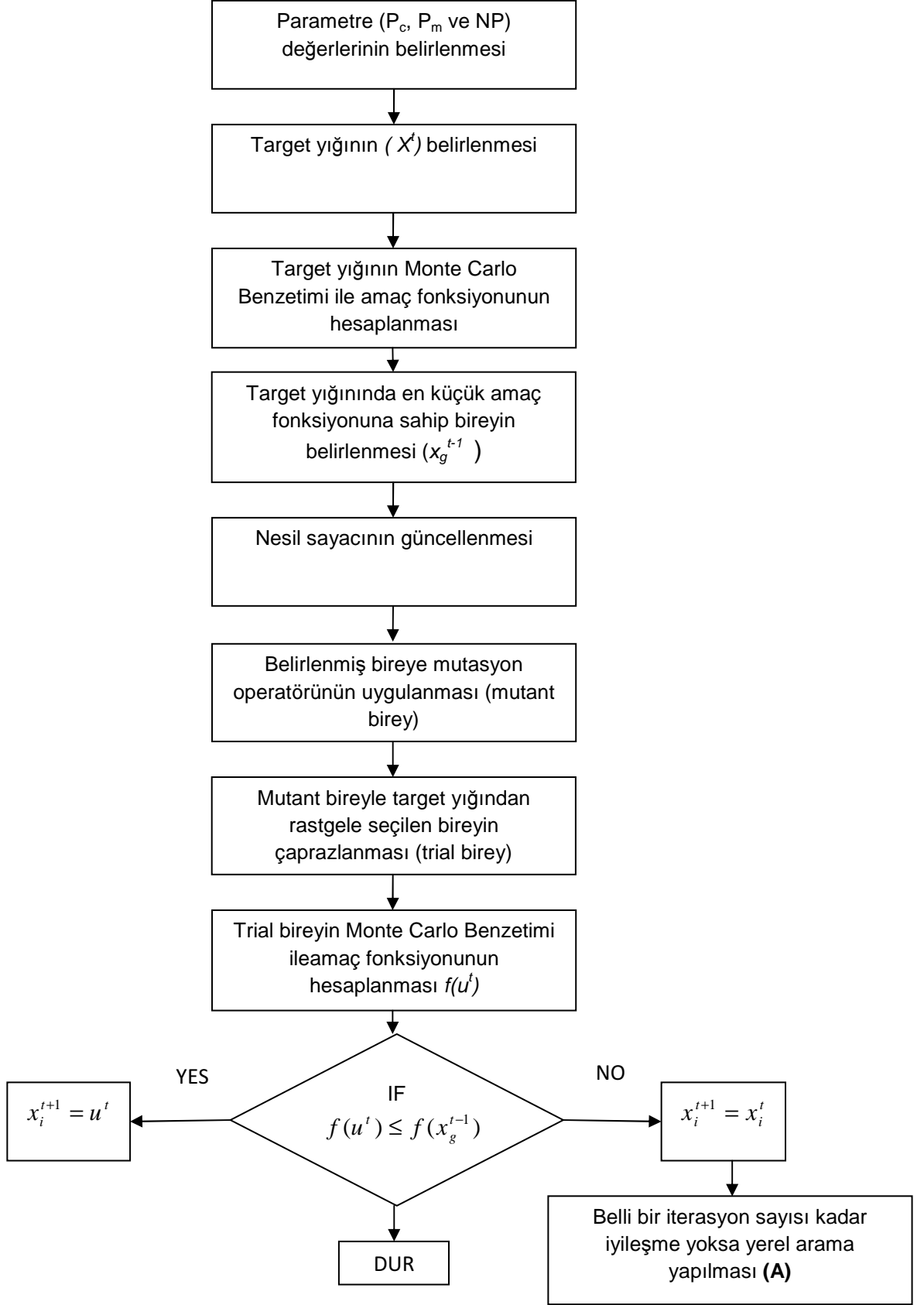
DKİ algoritmasının performansında bu komşuluk yapılarının uygulanma sırasının etkisi büyüktür.

DKİ, her bir komşuluk yapısında en iyi iyileştirme stratejisine göre aramayı gerçekleştirmektedir. Arama sırasında sadece uygun çözümler dikkate alınmaktadır. Dolayısıyla, yeni çözümün kapasite kısıtına uygun olup olmadığını anlamak için her hareketin ilgili olduğu rota veya rotaların en büyük yükünde neden oldukları değişimin bulunması gerekmektedir. Bu hesabın kolay ve kısa sürede gerçekleştirilmesinde Bianchessi ve Righini (2007) tarafından tanımlanan özel matematiksel bağıntılardan yararlanılmıştır [Bianchessi ve Righini, 2007].

Şekil 4. 6'da görüldüğü gibi ekleme, yerdeğiştirme sıralaması ile uygulanan komşuluk yapısı diğer yapılara göre daha iyi çözüm vermektedir. Diğer taraftan komşuluk hareketi olarak kullanılan çaprazlama hareketinin hem algoritmanın kendi içindeki çaprazlama ile elde edilen iyi çözümleri eski haline döndürme olasılığı hem de algoritmanın zamanının uzamasına yol açması nedeniyle bundan vazgeçilmiş ve sadece ekleme ve yerdeğiştirme hareketlerinin verilen bu sıra ile kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 4. 6 Yerel arama yapılarının karşılaştırılması



Şekil 4. 7: m_KDEA 'nın akış diyagramı

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Önerilen algoritmaların performansının belirlenmesi amacıyla literatürde var olan çeşitli test problemi kümeleri kullanılarak deneysel çalışma yapılmıştır. Deneysel çalışmada; her test problemi geliştirilen algoritmalar ile 10 kez çözülerek elde edilen çözüm değerleri ve hesaplama zamanları tutulmuştur. Denemeler, 2 GB RAM'e sahip, Intel core 2 duo E7500 2.93 Ghz hızındaki bir bilgisayarda gerçekleştirilmiş olup, algoritmalar Visual C++ programlama dilinde kodlanmıştır. Bu bölümde, önce kullanılan test problemleri hakkında kısa bilgi verilip, ardından deneysel çalışma sonuçları sunulmuştur.

5.1 Test Problemleri

Deneysel çalışmalarda, iki farklı test problemi kümesi kullanılmıştır.

5.1.1 Dethloff'ın test problemleri

Birinci problem kümesi, Dethloff (2001) tarafından üretilmiştir ve her biri 50 müşterili, 40 ETD_ARP'nden oluşmaktadır. Bu problemler aşağıda açıklanan biçimde stokastik problemlere dönüştürülmüştür. Bu problemlerde, müşterilerin test yüzeyi üzerine yerleştirilmesinde iki farklı coğrafik senaryo kullanılmıştır. İlk senaryoda müşteriler [100x100] 'lük ızgara yüzey üzerine tamamen rassal olarak yerleştirilmiştir (SCA tipi). Diğer senaryoda ise; müşterilerin yarısı ilk senaryodaki gibi, diğer yarısı ise [100/3 x 100/3] 'lük ızgara yüzey üzerine rassal olarak yerleştirilmiştir. Böylece, müşterilerden bazılarının yerleşim bölgesinin bir bölümünde yoğunlaşması sağlanmıştır (CON tipi). Müşterilerin dağıtım talepleri, [0, 100] aralığında rassal olarak üretilmiştir. Toplama talepleri ise her müşterinin kendi dağıtım talebine bağlı olarak, $p_i = q_i * (0,5 + r_i')$ şeklinde hesaplanmıştır.

Burada; r_i' , [0, 1] aralığında rassal bir sayıdır. Dethloff (2001), farklı araç kapasitesine bağlı olarak, her senaryo için iki, toplamda ise dört problem grubu (SCA3, CON3, SCA8, CON8 grupları) tanımlamıştır. Böylece, her grup için 10 olmak üzere toplamda 40 test problemi üretmiştir.

5.1.2 Salhi ve Nagy'nin test problemleri

İkinci test problemi kümesi Salhi ve Nagy (1999) tarafından, Christofides, Mignozzi ve Toth'un (1980) literatürde CMT problemleri olarak bilinen 14 KARP'nden türetilmiştir. Bu problemlerden 7 tanesi araç kapasitesi kısıtının yanı sıra, enbüyük

rota uzunluğu kısıtına da sahiptir. Bu kısıtın olduğu test problemleri deneysel çalışmanın dışında tutulmuştur. CMT problemlerinin müşteri sayısı 50 ile 200 arasında değişmektedir. Salhi ve Nagy 5 farklı yaklaşım kullanarak, 14 problemden 5 grup problem (70 adet) elde etmiştir. Bunlardan; X ve Y grubundakiler (CMTX ve CMTY problemleri) ETD_ARP türünde iken, T, Q, H grubundakiler (CMTT, CMTQ, CMTH problemleri) ise KTD_ARP'dir. X tipi problemler şu yöntemle elde edilmiştir. Önce her i müşterisi için koordinatlarına (x_i, y_i) bağlı olarak r_i oranı $r_i = \min(x_i / y_i, y_i / x_i)$, hesaplanmıştır. Ardından, orijinal talep değerleri bu oran kullanılarak toplama ve dağıtım talebi olarak ayrılmıştır. Öyleki; o_i i müşterisinin orijinal talebi olmak üzere dağıtım ve toplama talepleri sırasıyla $q_i = r_i * o_i$ ve $p_i = o_i - q_i$ olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde her müşterinin elde edilen taleplerinin yerleri değiştirilerek ($p_i = r_i * o_i$ ve $q_i = o_i - p_i$) Y tipi problemler elde edilmiştir.

Yürütülen deneysel çalışmada 54 adet ETD_ARP türünde problem çözülmüştür, bu problemlerin 40 tanesi Dethloff'a, 14 tanesi ise Salhi ve Nagy'ye aittir.

5.2 Stokastik Talep Verisi Üretimi

Bu tez çalışmasında, Dethloff 'ın ve Salhi ve Nagy'nin test problemlerinde belirledikleri toplama ve dağıtım talepleri normal dağılımın ortalaması olarak kabul edilip, normal dağılımın varyansı değişim katsayısını 0,05 kabul edip şu şekilde hesaplanmıştır:

$$\text{Değişim katsayısı} = \frac{\sigma}{\mu}$$

Buradan da $Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \Rightarrow X = Z * \sigma + \mu$ formülasyonuna göre toplama ve

dağıtım talepleri test problemleri verilerine bağlı olarak oluşturulmuştur. Bu talepler Monte Carlo denemeleri için oluşturulan $500 \times |N|$ 'lik matris içinde yer almaktadır. Her birey için 30 deneme rassal olarak çekilir (Monte Carlo benzetimi bu tezde 30 deneme olarak belirlendi).

5.3 Monte Carlo Benzetimi ile Amaç Fonksiyonunun Hesaplanması

Müşteri taleplerinin normal dağılıma uygun olduğu varsayımı ile dikkate alınan SETD_ARN için Bölüm 5.2’de açıklanan stokastik talep verisi ile Monte Carlo benzetimi uygulanarak amaç fonksiyonu değerleri tahmin edilmiştir. Amaç fonksiyonu Bölüm 2.4’te açıklandığı gibi rassal olarak belirlenen araç rotası üzerindeki hareketi sırasında tam teslimatlı servis politikası, yardımcı eylemli stokastik programlama ile kullanılarak hesaplanmıştır. Problemin stokastik özelliği, yani her müşterinin talebinin önceden bilinmiyor olması yardımcı eylemli stokastik programlama kullanmayı zorunlu kılmaktadır. Bu özellikler için amaç fonksiyonu Monte Carlo benzetimi yoluyla elde edilebilir. Problemin stokastik olması, zorluğu ve karmaşıklığı, problem boyutunun büyüklüğü nedeniyle algoritmanın hesaplama zamanını çok uzatmaması için Monte Carlo deneme sayısı 30 olarak seçilmiştir. Algoritma sonuçları incelendiğinde, araç doluluk oranı %70 için KDEA ile elde edilen değişim katsayısının tamamında 0.10 ‘dan küçük çıktığı, m_KDEA ile elde edilen değişim katsayısının %98.15’inde 0.10 ‘dan küçük çıktığı görülmüştür. Araç doluluk oranı %80 için KDEA ve m_KDEA ile elde edilen değişim katsayısının %100’de 0.10 ‘dan küçük çıktığı görülmüştür. Araç doluluk oranı %90 için KDEA ile elde edilen değişim katsayısının %85.19’da 0.10 ‘dan küçük çıktığı, m_KDEA ile elde edilen değişim katsayısının %90.74’de 0.10 ‘dan küçük çıktığı görülerek 30 denemenin yeterli olduğu düşünülmüştür.

5.4 Deneysel Sonuçlar

ETD_ARN tipindeki sözü edilen test problemleri, önerilen m_KDEA ile üç farklı araç doluluk oranı için (%70, %80, %90) 10 defa çözülmüştür. 10 denemede bulunan eniyi çözüm (EÇ), en iyi çözümün bulunduğu süre (EÇS), ortalama çözüm (OÇ), 10 denemenin bilgisayar hesaplama zamanı ortalamasından elde edilen çözüm süresi (OÇS) ve değişim katsayısı(DK) hesaplanmıştır. Daha önce bu konuda yapılmış bir çalışma olmadığı için m_KDEA’ nın performansını görmek için Rassal Arama (RA) ve KDEA ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmayı uygun koşullarda gerçekleştirebilmek için m_KDEA’nın OÇS dikkate alınarak RA için durdurma kriteri olarak m_KDEA ‘nın OÇS alınmıştır. Böylece RA’ da 10 defa çözümlenerek karşılaştırma aynı koşullar altında gerçekleştirilmiştir.

5.4.1 Parametrelerin belirlenmesi

Bu bölümde önerilen algoritmalara ait bazı parametreler için uygun değerlerin belirlenmesi amacıyla, test problemlerinin çözülmesinden önce yapılan çalışmadan bahsedilmektedir.

m_KDEA'nın parametreleri; yığın genişliği, mutasyon oranı ve çaprazlama oranı olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmada yığın genişliği için 20, 30 ve 40 değerleri; mutasyon oranı olarak 0,05, 0,25, 0,45 ve çaprazlama oranı olarak 0,15, 0,55, 0,95 dikkate alınmıştır. Parametrelerin eniyi kombinasyonunu belirlemek amacıyla CMT'nin test problemlerinden 3'ü (farklı büyüklüklerdeki) m_KDEA'nın her parametre kombinasyonu için 5 kez çözülmüştür. Dolayısıyla deneysel çalışmada m_KDEA için (3x3x3x5) olmak üzere toplam 135 deneme yapılmıştır. m_KDEA'nın varyans analizine (ANOVA) göre %5 anlamlılık düzeyinde algoritmanın ortalama çözüm kalitesinde yığın genişliğinin, mutasyon oranının ve çaprazlama oranının anlamlı bir etkisinin olduğu görülmüştür. Duncan testi uygulandığında sonuçta önerilen m_KDEA'da; yığın genişliğinin 30 olmasına, mutasyon oranının 0,25 olarak kullanılmasına ve çaprazlama oranının 0,95 olmasına karar verilmiştir. m_KDEA için varyans analizi sonuçları şu şekildedir:

Çizelge 5. 1. m_KDEA'nın parametreleri için varyans analizi sonuçları

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:OBJVAL

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4,779E6	80	59734,121	220,610	,000
Intercept	2,156E8	1	2,156E8	796212,847	,000
PROBLEM	4736077,963	2	2368038,982	8745,636	,000
CROSSRATE	3860,202	2	1930,101	7,128	,001
MUTRATE	1332,079	2	666,039	2,460	,087
POPSIZE	11097,567	2	5548,784	20,493	,000
PROBLEM * CROSSRATE	3337,662	4	834,416	3,082	,016
PROBLEM * MUTRATE	943,706	4	235,927	,871	,481
PROBLEM * POPSIZE	1232,868	4	308,217	1,138	,338
CROSSRATE * MUTRATE	2860,070	4	715,018	2,641	,034
CROSSRATE * POPSIZE	215,907	4	53,977	,199	,939
MUTRATE * POPSIZE	1511,722	4	377,931	1,396	,235
PROBLEM * CROSSRATE * MUTRATE	3960,750	8	495,094	1,828	,071
PROBLEM * CROSSRATE * POPSIZE	825,551	8	103,194	,381	,930
PROBLEM * MUTRATE * POPSIZE	2833,607	8	354,201	1,308	,238
CROSSRATE * MUTRATE * POPSIZE	2445,612	8	305,702	1,129	,343
PROBLEM * CROSSRATE * MUTRATE * POPSIZE	6194,407	16	387,150	1,430	,125
Error	87728,851	324	270,768		
Total	2,205E8	405			
Corrected Total	4866458,527	404			

a. R Squared = ,982 (Adjusted R Squared = ,978)

Çizelge 5. 2 m_KDEA'nın parametreleri için Duncan testi

OBJVAL

Duncan^{a..b}

CROSSRATE	N	Subset	
		1	2
3,00	135	726,1831	
2,00	135	728,9588	
1,00	135		733,6630
Sig.		,167	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 270,768.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 135,000.

b. Alpha = 0,05.

OBJVAL

Duncan^{a..b}

MUTRATE	N	Subset	
		1	2
2,00	135	727,6203	
1,00	135	729,1818	729,1818
3,00	135		732,0027
Sig.		,436	,160

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 270,768.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 135,000.

b. Alpha = 0,05.

OBJVAL

Duncan^{a,b}

POPSIZE	N	Subset		
		1	2	3
3,00	135	723,8169		
2,00	135		728,4934	
1,00	135			736,4946
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 270,768.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 135,000.

b. Alpha = 0,05.

5.5 SETD_ARP için Deneysel Karşılaştırma Sonuçları

Bölüm 5. 2'de açıklandığı şekilde oluşturulan test problemleri için m_KDEA'nın performansı değerlendirilmiştir. Denemelerde m_KDEA ardışık 10 iterasyon boyunca bulunan eniyi çözümü iyileştiremezse yerel arama uygulanmıştır. Problemin stokastik olması nedeniyle araçların hangi doluluk oranıyla, hangi rotaların elde edileceği konusunda bilgi sahibi olabilmek için bu tezde geliştirilen algoritmalar üç farklı doluluk oranları(%70, %80, %90) dikkate alınarak sonuçlar elde edilmiştir. Böylece karar vericiye alternatif bilgi sunulabilecektir.

Tezde geliştirilen üç algoritma oluşturulan test problemleri üzerinde denenmiştir. Başarım ölçütü olarak ortalama çözüm (OÇ), en iyi çözüm (EÇ), ortalama çözüm süresi (OÇS), eniyi çözüm süresi (EÇS) ve değişim katsayısı (DK) dikkate alınmıştır. OÇ ve EÇ değerlerinin birimi mesafe birimi, OÇS ve EÇS'nin birimi ise saniyedir. Algoritmalar her bir problem için 10 kez çalıştırılmıştır.

Deneme sonuçları m_KDEA'nın diğer algoritmalara göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir. m_KDEA'nın SETD_ARP için bulduğu sonuçların DK'sının çok küçük olması algoritmanın sağlam (robust) bir algoritma olduğunun önemli bir göstergesidir. Çizelge 5. 3, Çizelge 5. 4, Çizelge 5. 5 elde edilen sonuçları göstermektedir. Araç doluluk oranı %70 için KDEA ve m_KDEA'nın EÇ'lerine göre, m_KDEA ile elde edilen sonuçlarda % 2. 657 iyileşme olduğu, OÇ'lerine göre ise m_KDEA ile elde edilmiş sonuçlarda % 1. 450 iyileşme sağlandığı görülmektedir. Bu iyileşmelere karşın OÇS'leri karşılaştırıldığında KDEA ile elde edilen çözüm süresinde % 127. 661 iyileşme sağlanırken, EÇS'leri

için KDEA ile elde edilen çözüm süresinde % 128. 23 iyileşme sağlanmaktadır (KDEA'nın yapısında yerel arama olmamasından dolayı daha kısa sürelerde çözümler elde edilmiştir). Araç doluluk oranı %80 için KDEA ve m_KDEA'nın EÇ'lerine göre, m_KDEA ile elde edilen sonuçlarda % 2. 704 iyileşme olduğu, OÇ'lerine göre ise m_KDEA ile elde edilmiş sonuçlarda % 1.727 iyileşme sağlandığı görülmektedir. Bu iyileşmelere karşın OÇS'leri karşılaştırıldığında KDEA ile elde edilen çözüm süresinde % 107. 839 iyileşme sağlanırken, EÇS'leri için KDEA ile elde edilen çözüm süresinde % 124. 825 iyileşme sağlanmaktadır. Araç doluluk oranı %90 için KDEA ve m_KDEA'nın EÇ'lerine göre, m_KDEA ile elde edilen sonuçlarda % 5. 746 iyileşme olduğu, OÇ'lerine göre ise m_KDEA ile elde edilmiş sonuçlarda % 6. 769 iyileşme sağlandığı görülmektedir. Bu iyileşmelere karşın OÇS'leri karşılaştırıldığında KDEA ile elde edilen çözüm süresinde % 78. 764 iyileşme sağlanırken, EÇS'leri için KDEA ile elde edilen çözüm süresinde % 89. 379 iyileşme sağlanmaktadır.

Çizelge 5. 3. Araç kapasitesi %70 dolu iken test problemleri için deneysel sonuçlar

Problem	KDEA					m_KDEA					RA	
	OÇ	EÇ	OÇS	EÇS	DK	OÇ	EÇ	OÇS	EÇS	DK	OÇ	EÇ
Con3_0	743,021	701,681	1512,432	1574,800	0,025	729,139	699,641	2162,388	1592,750	0,030	1519,120	1442,770
Con3_1	702,704	662,264	707,356	669,844	0,028	681,989	654,210	2465,982	2598,220	0,025	1438,000	1394,140
Con3_2	613,499	588,725	562,694	823,672	0,022	584,898	566,620	2495,159	2459,580	0,019	1283,840	1206,100
Con3_3	707,204	694,772	696,476	820,750	0,019	683,797	661,964	2519,432	2531,280	0,021	1534,480	1493,240
Con3_4	700,399	664,806	645,116	523,109	0,029	683,433	643,292	2427,568	2185,640	0,036	1466,150	1440,640
Con3_5	686,461	673,745	607,092	660,079	0,014	678,649	639,911	2560,942	2497,090	0,049	1509,800	1443,140
Con3_6	618,799	596,319	608,060	770,516	0,034	598,822	573,731	2402,176	2569,560	0,022	1251,600	1168,300
Con3_7	681,718	661,110	542,413	345,000	0,021	685,012	645,421	2363,358	2239,420	0,040	1658,100	1613,810
Con3_8	697,215	647,938	672,038	819,156	0,036	654,515	629,867	2443,506	2440,990	0,022	1407,740	1345,980
Con3_9	678,141	671,218	550,198	672,469	0,008	677,616	649,058	2520,776	2712,420	0,032	1479,830	1446,950
Con8_0	1092,040	1072,690	723,716	856,453	0,010	1099,760	1053,400	1064,811	1469,110	0,029	1632,080	1575,180
Con8_1	973,982	945,729	794,780	793,500	0,015	939,812	905,197	1185,306	1349,190	0,015	1542,520	1494,420
Con8_2	932,918	917,612	707,258	671,953	0,013	918,383	889,855	1198,199	1382,920	0,021	1398,690	1344,920
Con8_3	993,433	977,082	594,527	823,937	0,010	990,469	959,008	1212,147	1325,160	0,016	1643,630	1599,390
Con8_4	1012,780	978,308	679,602	870,562	0,020	1008,270	966,179	1238,823	1327,940	0,021	1560,690	1544,260
Con8_5	1035,630	1025,360	492,034	701,984	0,009	1041,550	1021,870	1070,400	856,062	0,012	1611,250	1513,980
Con8_6	895,463	868,882	512,649	664,500	0,019	865,212	842,387	1284,484	1485,910	0,015	1349,370	1272,570
Con8_7	1085,560	1069,370	686,023	696,093	0,010	1077,410	1049,320	1172,670	1199,330	0,020	1758,100	1704,400
Con8_8	999,465	978,589	642,536	591,375	0,013	989,954	962,235	1157,856	1190,590	0,017	1516,630	1420,130
Con8_9	1016,710	998,213	604,437	450,312	0,011	1024,770	1006,030	1106,519	857,937	0,020	1548,490	1520,510
Sca3_0	778,243	760,860	1383,984	1612,030	0,015	750,962	703,412	875,682	900,547	0,037	1878,460	1785,410
Sca3_1	914,924	880,969	671,902	738,734	0,022	856,287	828,499	972,647	950,016	0,027	2048,080	1970,150
Sca3_2	832,344	796,757	670,402	749,343	0,055	816,483	768,919	892,025	967,593	0,036	2027,710	1964,280
Sca3_3	809,735	790,488	608,700	635,781	0,010	796,951	754,819	957,478	1010,300	0,030	2027,740	1854,270
Sca3_4	896,230	843,531	567,092	437,781	0,033	846,136	809,706	970,248	1032,800	0,031	2127,060	2035,590
Sca3_5	865,697	839,440	567,494	704,282	0,043	853,564	815,709	978,420	985,922	0,035	2032,600	1956,160
Sca3_6	787,193	767,392	651,291	489,969	0,014	777,950	750,183	896,922	1029,360	0,034	1878,300	1829,830
Sca3_7	867,118	839,774	656,170	741,640	0,031	816,077	752,256	938,228	932,312	0,055	2069,160	1996,420
Sca3_8	869,848	862,951	598,113	313,203	0,006	870,672	847,373	986,919	1071,190	0,026	2168,490	2081,090

Sca3_9	834,983	823,902	609,811	661,468	0,012	799,898	770,144	943,813	932,594	0,026	2105,200	2039,450
Sca8_0	1318,450	1298,840	657,595	656,906	0,010	1274,910	1256,440	1278,131	1419,480	0,017	2068,620	1944,480
Sca8_1	1388,840	1346,630	773,640	867,453	0,021	1390,450	1362,330	1249,656	952,953	0,014	2226,300	2164,220
Sca8_2	1330,250	1305,220	790,875	803,922	0,017	1357,480	1318,660	1213,953	1061,780	0,018	2207,140	2172,750
Sca8_3	1317,030	1299,020	676,259	779,484	0,007	1323,220	1266,380	1074,983	879,218	0,028	2181,990	2056,100
Sca8_4	1426,530	1399,420	634,728	826,656	0,009	1417,760	1388,540	1200,224	1406,090	0,014	2312,850	2242,920
Sca8_5	1392,020	1355,670	673,678	631,062	0,023	1389,930	1344,180	1124,203	1012,130	0,025	2215,730	2186,860
Sca8_6	1343,410	1323,250	734,067	825,703	0,012	1328,860	1301,430	1080,838	1423,670	0,018	2073,060	2041,340
Sca8_7	1369,990	1334,270	725,521	711,015	0,010	1366,660	1337,060	1047,102	1135,980	0,019	2260,440	2187,920
Sca8_8	1456,980	1440,100	728,600	868,984	0,005	1442,980	1426,240	1118,807	1153,060	0,009	2335,710	2264,330
Sca8_9	1378,780	1349,220	618,549	749,063	0,012	1370,830	1334,300	1193,327	970,453	0,016	2279,920	2235,070
CMT1X	588,631	568,842	855,702	646,859	0,024	573,713	559,681	1949,323	1679,970	0,026	1287,120	1263,580
CMT1Y	599,770	566,421	522,759	464,375	0,042	601,229	565,303	2075,444	2135,980	0,056	1295,880	1266,000
CMT2X	895,627	872,931	1700,332	1789,380	0,024	913,880	875,519	2997,207	3459,330	0,103	2096,450	2045,930
CMT2Y	1010,340	955,560	1421,601	1784,970	0,028	979,638	871,184	3523,468	4640,940	0,054	2105,690	2073,520
CMT3X	1016,770	983,884	6038,037	12589,4	0,016	985,415	930,086	10440,784	10588,500	0,038	2863,140	2815,310
CMT12X	1012,920	986,503	4232,047	5133,170	0,023	1013,370	945,927	6551,124	8259,220	0,070	3318,600	3246,660
CMT3Y	1042,030	975,016	7466,129	5085,610	0,066	996,812	963,747	4152,066	4566,170	0,037	2859,400	2798,230
CMT12Y	1095,500	1073,890	4134,301	4555,170	0,017	1092,320	976,540	8224,257	9633,280	0,076	3320,270	3198,010
CMT11X	1458,730	1441,280	10083,698	10560,900	0,010	1424,750	1357,310	15064,310	12329,600	0,050	5294,630	5157,570
CMT11Y	1354,130	1296,000	7136,338	8245,530	0,018	1311,010	1262,400	18902,670	15993,800	0,029	5346,630	5277,740
CMT4X	1306,610	1255,040	6796,803	7210,850	0,053	1289,930	1204,110	12749,128	13981,200	0,044	4452,170	4358,520
CMT4Y	1414,860	1320,050	11297,027	11957,700	0,039	1425,470	1368,660	11164,584	11169,400	0,032	4419,910	4370,950
CMT5X	1538,830	1510,820	11274,825	12437,900	0,014	1616,160	1514,790	54989,000	56112,800	0,070	5775,490	5599,510
CMT5Y	1748,290	1658,510	11174,178	13586,700	0,021	1811,589	1693,000	85791,100	142189,000	0,065	5797,940	5593,350

Çizelge 5. 4. Araç kapasitesi %80 dolu iken test problemleri için deneysel sonuçlar

Problem	KDEA					m_KDEA					RA	
	OÇ	EÇ	OÇS	EÇS	DK	OÇ	EÇ	OÇS	EÇS	DK	OÇ	EÇ
Con3_0	727,038	701,679	1252,606	1439,250	0,027	691,225	660,468	1580,335	1496,200	0,034	1530,760	1503,450
Con3_1	684,544	653,635	682,442	805,422	0,033	652,828	614,248	1544,525	1629,250	0,042	1417,960	1360,940
Con3_2	591,421	570,575	709,997	806,547	0,034	585,566	559,422	2198,294	2393,420	0,032	1275,880	1210,250
Con3_3	670,860	662,875	610,114	450,219	0,008	660,991	645,363	1807,363	1632,090	0,010	1536,190	1514,650
Con3_4	679,733	656,151	729,628	726,390	0,040	679,547	648,142	1896,289	1779,700	0,039	1463,070	1438,330
Con3_5	672,770	660,662	609,564	487,329	0,013	655,430	633,655	2145,998	2173,580	0,023	1526,710	1488,720
Con3_6	599,005	567,267	688,492	780,968	0,029	586,140	568,965	2032,278	1979,640	0,025	1245,210	1201,940
Con3_7	668,799	650,738	724,850	374,360	0,032	648,421	619,890	1862,726	1800,830	0,035	1647,370	1592,070
Con3_8	643,495	598,396	610,973	637,578	0,030	601,375	572,158	2047,129	2086,330	0,041	1422,910	1385,610
Con3_9	662,693	648,528	564,959	779,985	0,014	661,556	635,190	1983,235	2275,860	0,032	1489,920	1444,310
Con8_0	1008,440	978,815	594,570	741,968	0,030	982,395	962,746	1324,097	1393,520	0,017	1598,890	1483,040
Con8_1	942,176	929,153	719,155	750,766	0,012	893,365	869,359	1197,058	1272,060	0,017	1508,290	1476,210
Con8_2	870,296	849,345	603,144	886,641	0,017	847,575	824,751	1406,628	1437,640	0,023	1374,400	1346,190
Con8_3	947,428	927,789	578,136	753,843	0,021	936,472	915,519	1310,913	1604,880	0,020	1617,450	1570,650
Con8_4	951,266	922,391	678,567	724,813	0,018	948,035	919,031	1325,962	1664,690	0,024	1513,550	1478,240
Con8_5	954,149	931,027	570,634	341,844	0,013	970,355	938,085	1412,354	1540,700	0,024	1603,730	1478,240
Con8_6	828,275	800,159	749,738	606,422	0,021	818,060	794,007	1315,403	739,437	0,021	1302,520	1248,220
Con8_7	1020,890	1007,640	696,733	864,297	0,017	1013,790	975,031	1461,738	1348,630	0,023	1714,940	1668,190
Con8_8	910,394	881,583	750,249	885,125	0,020	891,466	850,323	1297,371	1298,220	0,028	1495,790	1450,230
Con8_9	967,980	945,236	544,952	729,937	0,015	953,196	928,792	1253,137	1342,250	0,029	1562,990	1491,400
Sca3_0	753,993	715,582	1407,354	411,188	0,040	733,118	707,939	903,293	982,032	0,037	1859,340	1784,820
Sca3_1	860,642	813,005	633,758	709,063	0,032	833,222	780,946	903,125	872,531	0,037	2059,450	1997,370
Sca3_2	795,359	783,337	545,739	564,844	0,012	776,450	721,473	870,426	964,313	0,042	2019,080	1942,960
Sca3_3	784,519	738,065	714,042	630,844	0,030	782,579	733,790	941,810	1030,130	0,048	2013,730	1948,830
Sca3_4	843,102	792,140	626,280	669,797	0,033	806,359	715,185	963,485	1007,470	0,066	2129,460	2090,010
Sca3_5	804,539	759,723	572,105	758,765	0,027	803,451	753,131	918,382	617,656	0,043	2033,190	1976,930
Sca3_6	770,371	754,824	616,455	296,156	0,015	747,704	712,154	877,796	377,953	0,024	1883,770	1799,160
Sca3_7	818,825	810,087	655,948	596,484	0,007	792,525	710,987	946,997	1024,580	0,062	2077,070	2027,470
Sca3_8	862,546	847,040	610,505	762,578	0,018	832,861	781,715	934,180	987,969	0,026	2125,780	2054,840

Sca3_9	809,325	798,501	546,767	729,859	0,007	790,765	744,650	880,508	1004,080	0,034	2075,970	2010,130
Sca8_0	1188,940	1155,510	685,882	761,156	0,017	1191,520	1160,620	1210,712	739,250	0,021	2046,020	1970,080
Sca8_1	1326,400	1293,090	685,961	666,234	0,013	1307,580	1264,260	1408,849	1543,390	0,033	2164,270	2004,640
Sca8_2	1290,730	1266,410	675,334	836,156	0,021	1287,320	1243,270	1466,385	1661,270	0,024	2167,370	2088,34
Sca8_3	1231,330	1185,080	817,436	851,890	0,025	1208,040	1167,240	1437,301	1504,330	0,032	2137,250	2056,690
Sca8_4	1329,010	1275,610	731,430	620,750	0,027	1300,580	1280,730	1163,935	1612,380	0,013	2281,540	2232,200
Sca8_5	1280,610	1261,790	680,925	771,078	0,009	1265,900	1243,540	1263,373	1051,140	0,011	2161,150	2071,600
Sca8_6	1246,390	1232,420	760,467	884,985	0,012	1243,280	1215,370	1371,237	1059,300	0,018	2014,630	1931,540
Sca8_7	1292,220	1256,800	569,661	798,656	0,027	1296,930	1240,130	1221,278	981,453	0,024	2252,500	2213,350
Sca8_8	1361,290	1338,360	715,106	865,578	0,012	1352,690	1327,010	1394,625	1587,410	0,018	2322,050	2259,240
Sca8_9	1295,090	1266,7	801,200	802,141	0,014	1295,720	1255,830	1272,311	1436,270	0,025	2253,550	2194,130
CMT1X	605,269	577,922	779,731	577,516	0,038	570,894	534,385	1290,054	574,078	0,037	1317,760	1291,050
CMT1Y	724,637	651,998	589,094	898,500	0,071	673,704	618,054	1594,858	1627,450	0,066	1358,640	1291,670
CMT2X	886,040	867,635	3827,153	1270,300	0,018	888,726	857,148	3187,483	3806,910	0,031	2114,870	2015,600
CMT2Y	1259,370	1137,100	1870,310	2102,970	0,058	1158,8	1068,340	2947,827	2468,940	0,058	2240,100	2119,160
CMT3X	1039,930	964,685	10468,777	10976,700	0,042	1016,680	931,421	12879,299	13240,100	0,041	2841,650	2804,920
CMT12X	1082,300	1028,790	3938,913	3270,360	0,041	1078,590	932,811	8052,968	9288,920	0,077	3284,050	3186,760
CMT3Y	1042,030	975,016	7466,129	5085,610	0,066	1093,560	1035,330	5194,305	5752,050	0,047	2897,160	2830,140
CMT12Y	1129,060	982,345	5477,266	4781,700	0,061	1150,860	1049,400	8660,131	9236,380	0,080	3322,240	3148,230
CMT11X	1563,500	1346,950	11440,293	21260,100	0,049	1469,080	1286,570	21387,340	19595,500	0,095	5327,440	5176,140
CMT11Y	1396,470	1209,830	10698,411	8145,590	0,087	1356,750	1298,430	39983,420	36831,800	0,053	5267,610	5109,580
CMT4X	1318,420	1230,880	9442,308	7970,310	0,033	1359,380	1188,380	11396,775	11636,000	0,067	4397,060	4218,550
CMT4Y	1602,890	1517,170	9761,864	9135,940	0,026	1543,120	1402,490	12771,428	13922,300	0,050	4419,3	4343,420
CMT5X	1557,980	1525,520	10148,248	4791,020	0,035	1647,470	1531,330	57846,090	63480,200	0,067	5808,19	5747,050
CMT5Y	1995,470	1845,450	11155,789	16251,800	0,039	2012,890	1889,630	48951,010	54225,700	0,048	5860,640	5657,260

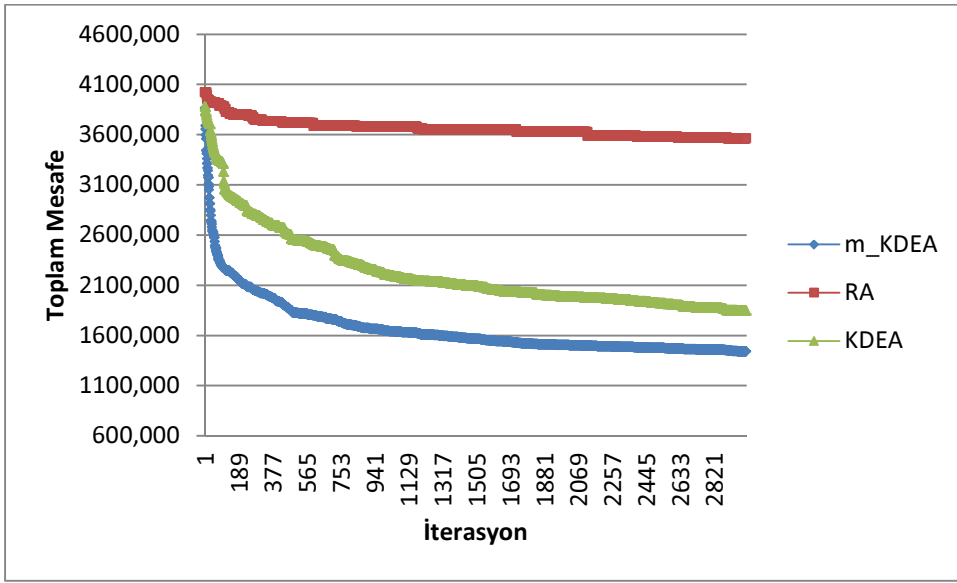
Çizelge 5. 5. Araç kapasitesi %90 dolu iken test problemleri için deneysel sonuçlar

Problem	KDEA					m_KDEA					RA	
	OÇ	EÇ	OÇS	EÇS	DK	OÇ	EÇ	OÇS	EÇS	DK	OÇ	EÇ
Con3_0	709,587	691,898	13023,414	13318,000	0,013	707,741	654,207	796,873	950,829	0,038	1544,610	1483,270
Con3_1	676,756	651,926	769,378	899,140	0,032	656,944	644,693	889,391	845,593	0,028	1475,370	1441,620
Con3_2	584,518	576,270	620,317	260,469	0,011	560,913	545,173	865,917	981,453	0,019	1294,030	1239,300
Con3_3	686,610	681,627	431,148	166,985	0,012	683,467	649,894	876,061	961,969	0,025	1565,900	1520,270
Con3_4	691,045	651,234	705,350	808,000	0,043	664,660	629,094	932,506	990,766	0,051	1475,520	1432,370
Con3_5	642,850	628,628	714,691	737,422	0,019	651,511	626,282	877,524	797,468	0,030	1525,710	1500,240
Con3_6	587,750	557,485	609,822	744,875	0,031	566,010	536,614	934,597	908,485	0,025	1248,640	1159,800
Con3_7	651,116	637,388	661,666	823,594	0,017	642,013	617,082	934,835	975,688	0,043	1637,020	1526,800
Con3_8	610,892	573,201	655,362	730,187	0,053	602,941	558,547	807,524	941,157	0,057	1413,070	1317,120
Con3_9	650,121	634,650	586,577	819,203	0,026	649,798	634,656	706,300	412,375	0,014	1490,660	1461,360
Con8_0	1363,360	1254,740	704,419	653,828	0,074	1194,450	1084,070	1345,363	1233,390	0,076	1849,920	1700,250
Con8_1	1143,640	1067,020	821,180	875,688	0,046	1062,690	1007,470	1500,437	1254,530	0,051	1657,400	1522,400
Con8_2	853,402	802,938	757,041	813,328	0,049	852,409	810,373	1438,131	980,875	0,063	1441,490	1381,780
Con8_3	1619,480	1319,290	744,092	914,172	0,123	1393,480	1267,310	1289,677	1399,860	0,059	2026,079	1966,680
Con8_4	952,842	910,592	753,642	774,468	0,028	953,017	894,339	1400,821	1761,410	0,048	1637,140	1580,030
Con8_5	1039,580	959,619	801,289	446,688	0,064	959,195	895,088	1636,679	1170,810	0,052	1705,680	1662,870
Con8_6	879,964	821,843	809,764	896,422	0,055	829,290	783,111	1685,251	1797,520	0,041	1408,930	1368,350
Con8_7	956,629	943,724	607,895	819,516	0,009	982,045	920,712	1417,251	625,094	0,043	1778,160	1700,730
Con8_8	1078,170	988,197	861,111	801,640	0,069	998,603	923,736	1378,743	1151,840	0,039	1597,520	1491,190
Con8_9	1075,320	989,956	818,884	912,031	0,090	1035,770	977,540	1462,853	1049,580	0,038	1708,840	1581,650
Sca3_0	739,155	717,835	1651,301	1815,700	0,031	718,546	693,383	1239,942	1418,000	0,029	1891,040	1825,370
Sca3_1	849,506	805,454	667,510	513,438	0,033	810,629	765,776	1178,423	1364,490	0,043	2004,280	1898,520
Sca3_2	837,944	786,498	695,898	667,359	0,037	800,623	756,167	1144,608	1288,200	0,050	1968,550	1912,290
Sca3_3	782,049	753,156	700,161	758,266	0,027	762,742	725,181	1213,656	1283,510	0,031	1992,750	1876,830
Sca3_4	831,644	782,785	495,548	814,079	0,030	772,924	727,764	1152,634	1165,010	0,046	2081,900	2031,190
Sca3_5	757,153	744,113	553,967	485,766	0,011	759,494	731,220	1070,834	675,481	0,034	2009,630	1935,960
Sca3_6	742,581	725,491	690,869	783,218	0,014	747,687	713,364	1226,849	1279,330	0,036	1854,370	1797,480
Sca3_7	793,737	788,580	480,511	725,062	0,003	774,552	722,916	1191,998	795,056	0,058	2047,900	1885,400
Sca3_8	820,655	796,839	635,295	627,031	0,022	807,668	778,020	1087,482	1229,880	0,025	2090,700	2019,060

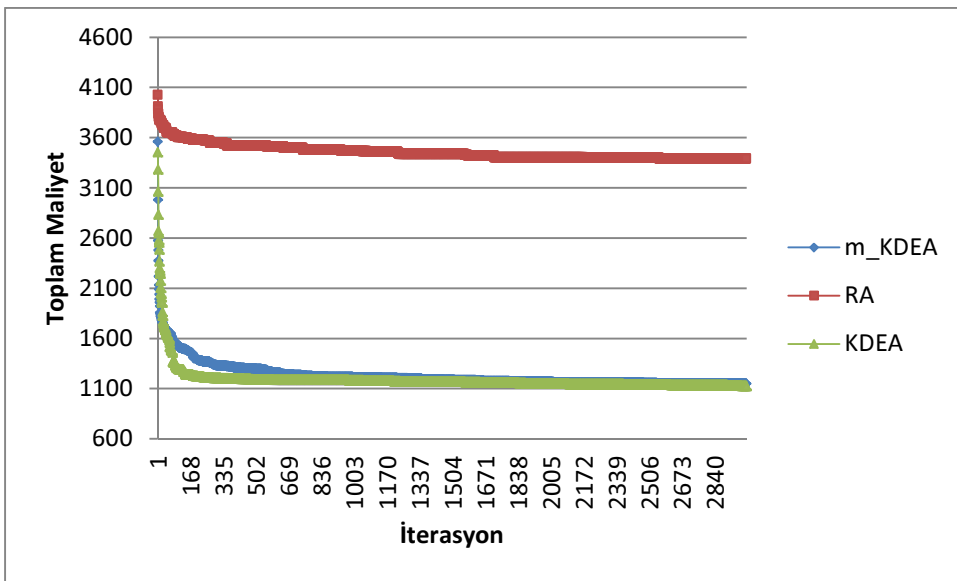
Sca3_9	814,214	793,649	542,110	645,719	0,018	819,972	757,621	994,460	1089,370	0,049	2059,550	1989,820
Sca8_0	1902,880	1683,340	637,302	826,625	0,089	1545,650	1397,610	1267,947	1467,550	0,071	2492,336	2400,530
Sca8_1	1793,460	1651,800	715,541	872,984	0,069	1559,320	1435,790	1459,801	1531,230	0,055	2504,610	2334,610
Sca8_2	2158,080	1954,830	644,113	624,719	0,060	1952,740	1639,200	1239,160	1284,860	0,145	2736,490	2656,390
Sca8_3	1768,430	1414,100	665,941	774,609	0,109	1445,840	1247,800	1368,539	1454,230	0,132	2372,550	2272,900
Sca8_4	1948,280	1668,670	674,961	621,687	0,080	1635,830	1413,580	1421,202	1583,670	0,080	2618,390	2459,480
Sca8_5	1832,600	1549,980	705,413	560,016	0,112	1554,340	1394,940	1379,708	1369,230	0,104	2494,240	2322,420
Sca8_6	1199,000	1183,120	643,039	463,547	0,018	1216,580	1154,230	1578,988	1806,470	0,037	2082,210	2014,110
Sca8_7	2656,346	2036,780	377,541	744,859	0,062	2256,294	1917,680	1318,576	1467,060	0,034	2699,980	2548,280
Sca8_8	1285,150	1240,120	789,205	657,609	0,037	1321,560	1251,290	1636,944	1847,670	0,034	2347,850	2274,930
Sca8_9	2156,380	2006,210	737,763	769,625	0,062	1817,290	1547,920	1137,561	1552,750	0,098	2802,963	2572,550
CMT1X	605,128	579,409	971,247	576,203	0,032	577,181	542,737	1407,285	1348,920	0,051	1306,670	1262,960
CMT1Y	1243,790	1071,210	578,464	860,828	0,082	1139,860	1044,580	1682,540	1529,360	0,064	1765,643	1709,680
CMT2X	876,795	831,891	3374,004	2477,560	0,052	875,702	845,878	5517,978	6255,550	0,025	2117,900	2062,680
CMT2Y	U.D.	U.D.	U.D.	U.D.	U.D.	U.D.	U.D.	U.D.	U.D.	U.D.	U.D.	U.D.
CMT3X	1094,290	986,182	11334,637	24314,900	0,081	1074,040	955,385	8380,068	5583,170	0,089	2860,450	2725,660
CMT12X	1833,360	1564,670	5142,895	5796,890	0,105	1435,600	1294,420	16068,394	26490,700	0,082	3398,430	3351,130
CMT3Y	1519,360	1364,850	7777,143	6063,330	0,101	1539,400	1387,360	5396,782	4357,750	0,059	3132,660	3060,160
CMT12Y	1847,760	1449,170	3016,500	3195,890	0,118	1442,100	1134,960	11713,628	12390,000	0,112	3508,270	3413,660
CMT11X	2304,250	1928,350	13182,388	8602,880	0,091	2094,920	1830,620	14900,230	18365,000	0,121	5639,280	5409,810
CMT11Y	1596,480	1290,940	13023,414	7704,560	0,121	1491,650	1350,090	14286,130	15384,700	0,058	5332,830	5154,620
CMT4X	1896,360	1269,370	16578,680	10088,500	0,277	1693,300	1462,720	12457,490	11111,400	0,071	4409,630	4353,440
CMT4Y	3550,610	3180,590	16577,120	12135,300	0,077	2676,800	2427,360	12792,563	9503,910	0,063	5086,120	4967,970
CMT5X	2529,050	1928,370	13603,540	11888,000	0,187	2199,810	2089,320	51181,670	46854,200	0,042	5793,940	5728,030
CMT5Y	5578,490	5343,610	15856,440	15433,500	0,052	4209,680	3962,830	24735,370	24886,600	0,069	6659,710	6420,140

U.D. : Uygun değilin kısaltmasıdır. Bu problem türü için araç kapasitesi yetersiz kalmış ve müşteri talepleri karşılanamadığı için araç doluluk oranı %90 olduğunda uygun çözüm bulunamamaktadır.

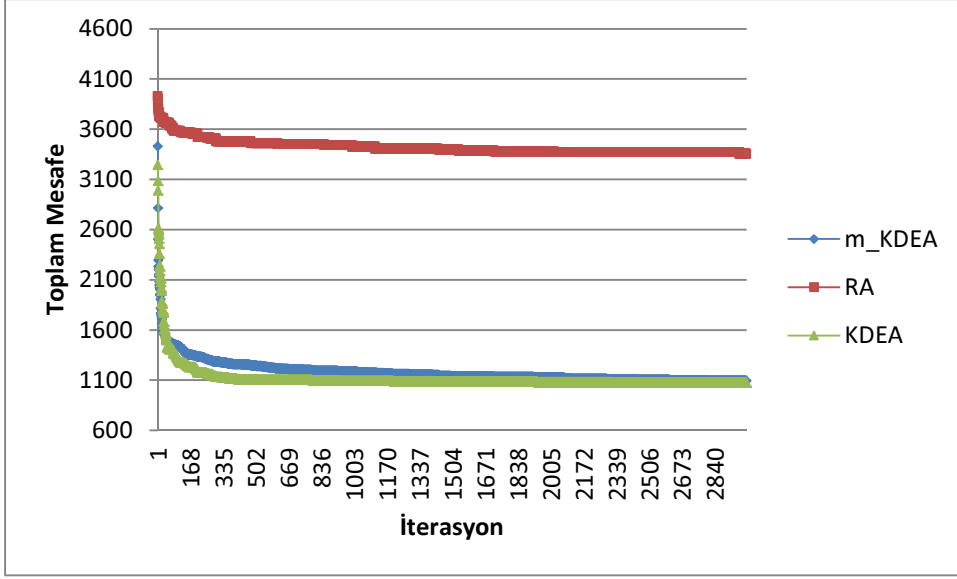
m_KDEA, KDEA ve Rassal Arama (RA) algoritmalarının yakınsaması CMT_12Y problemi üzerinde incelenmiştir. m_KDEA ve KDEA 3000 iterasyon için çalıştırılırken RA'da bu iki algoritmanın 3000 iterasyonuna karşılık gelen zaman boyunca çalıştırılmıştır. Şekil 5. 1- 5. 3 bu üç algoritmanın yakınsama grafiklerini göstermektedir.



Şekil 5. 1: CMT12Y problemi için %90 araç doluluk oranı için yakınsama

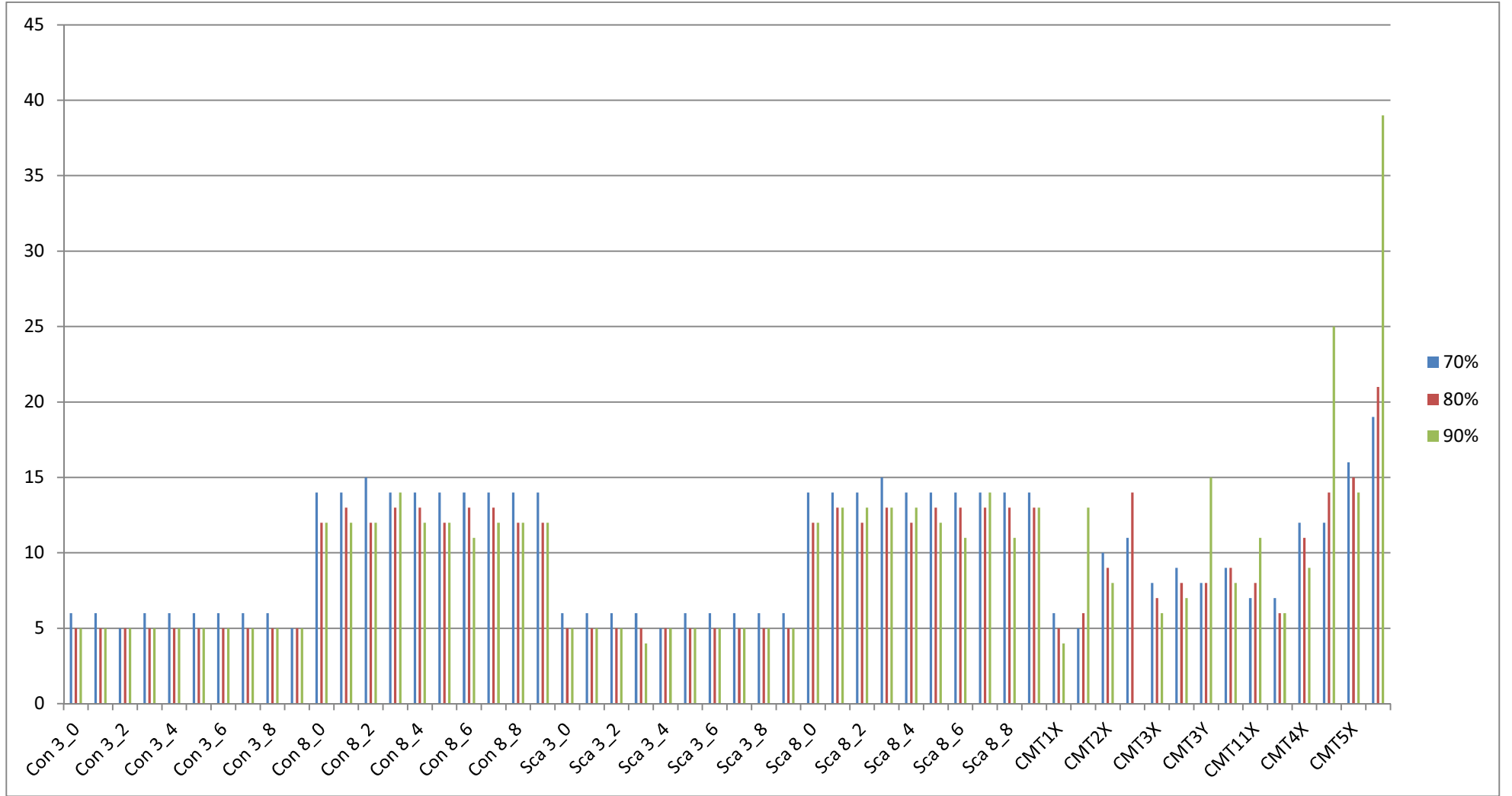


Şekil 5. 2: CMT12Y problemi için %80 araç doluluk oranı için yakınsama



Şekil 5. 3: CMT12Y problemi için %70 araç doluluk oranı için yakınsama

Şekil 5. 4 'de oluşturulan test problemleri için üç farklı doluluk oranına göre gerekli olan araç sayılarını gösteren grafik yer almaktadır. Buna göre her problem türü için farklı kapasitelerle araçlar depodan ayrılırsa araç sayısına ve rotaların uzunluğuna bağlı olarak maliyet hesaplanıp, araç sayısına ve doluluk oranına buna göre karar verilmektedir.



Şekil 5. 4: Üç farklı doluluk oranı için gerekli olan araç sayısı

6. SONUÇ

İşletmelerin küresel pazarın çetin rekabet koşullarında varlıklarını sürdürebilmeleri için pazarlarını genişletmesi gerekmektedir, pazarın genişlemesiyle birlikte lojistik faaliyetlerinin etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi giderek önem kazanmıştır. Çünkü etkin bir lojistik yönetimi; maliyetlerin düşmesini, üretimin artmasını, kalitenin yükselmesini ve müşteri memnuniyetini sağlamaktadır.

Lojistik faaliyetlerinin en önemlilerinden biri de küresel rekabet ortamında işletmeler için stratejik bir önem arz eden “Araç Rotalama”dır çünkü iyi tasarlanmadığında yüklü maliyetlere neden olur.

Araç rotalama sisteminin görevi tedarik noktasından alınan ürünlerin işletmeye getirilmesi ve ürünlerin depo ya da müşteriye ulaştırılmasıdır. Ancak son zamanlarda müşterilerin bilinçlenmesi, geri dönüşümün artması, müşteri memnuniyetini sağlamak adına fazladan hizmetlerin verilmeye başlanması, devletin çevresel kaygılar sonucu atıkların toplanması konusunda yaptırımlar uygulaması gibi nedenlerle araç rotalama faaliyetlerinde müşterilerden ürünlerin toplanması da söz konusu olmaktadır. Bu problem literatürde Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi (TD_ARP) olarak adlandırılır. TD_ARP toplama ve dağıtım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesine göre üç sınıfa ayrılmaktadır. Bunlardan birisi Eşzamanlı Topla- Dağıt Araç Rotalama Problemidir (ETD_ARP). ETD_ARP depodan müşterilere ürün dağıtımının yanı sıra müşterilerden de depoya geri dönecek ürünlerin toplanması işlemlerinin eşzamanlı gerçekleştirildiği bir araç rotalama problemdir. Bu tür problemlerde müşterilerden toplanan ve dağıtılan miktarların sabit olmadığı durum göz önüne alındığında problem stokastik eşzamanlı topla-dağıt araç rotalama problemi (SETD_ARP) olmaktadır. Tez kapsamında dikkate alınan SETD_ARP’de bir müşteri ziyaret edildiğinde hem dağıtım hem de toplama faaliyeti gerçekleştirilir ve amaç bu faaliyetleri içeren enküçük maliyetli araç rotalarının belirlenmesidir.

SETD_ARP NP-zor yapıda bir problem olduğu için çözümünde daha az işlem, daha kısa hesaplama süresi ile eniyi çözüme yakın, iyi kalitede çözümler üreten yaklaşık yöntemler tercih edilmektedir.

İlgili kaynaklarda SETD_ARNP üzerinde yeterince araştırma ve yayına rastlanamamıştır. Bu tez kapsamında, SET_ARNP'nin çözümü için kesikli diferansiyel evrim algoritmasına dayalı olarak geliştirilen melez algoritma (m_KDEA) yer almaktadır. SETD_ARNP için KDEA ve DKİ algoritmasına dayalı melez algoritma ilk defa bu tez kapsamında önerilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalarla önerilen m_KDEA'nın stokastik problemler için bulunduğu sonuçların değişim katsayıları çok küçük olduğundan algoritmanın kullanılabilir ve etkili çalıştığı görülmüştür.

Sonuç olarak bu tezde literatüre SETD_ARNP'nin çözümü için önce KDEA, sonra DKİ ile melezlenmiş KDEA'ya dayalı melez KDEA (m_KDEA) sunulmuştur. Çözümlerin permütasyon kodlama ile gösterildiği bu melez algoritmada, Prins (2004) tarafından KARP için önerilen ayırma algoritması, yine ilk kez SETD_ARNP için bu tezde uyarlanmıştır. Geliştirilen algoritmalar çözüm kalitesi açısından karşılaştırılarak RA'ya göre performansı ortaya konmuştur. Sonuçlar m_KDEA'nın KDEA'dan daha iyi sonuçlar verdiğini ve RA'ya göre çok daha etkin bir algoritma olduğunu göstermektedir. Çalışmanın ileri aşamalarında;

- Kesikli Diferansiyel Evrim algoritması (KDEA), performansı daha da iyileştirmek amacıyla başka metasezgisel yöntemlerle de melezleştirilebilir.
- Zaman penceresi ve/veya rotanın gidebileceği enbüyük mesafe gibi daha fazla operasyonel kısıtlar probleme eklenerek, geliştirilen algoritmalar daha gerçekçi uygulama problemlerine çözüm elde edebilmek için uyarlanabilir.
- Önerilen algoritmalar problemin çok depolu veya heterojen araç filolu hali dikkate alınarak uygulanabilir.

KAYNAKLAR LİSTESİ

Abbass, H. A., An Evolutionary Artificial Neural Networks Approach for Breast Cancer Diagnosis, *Artificial Intelligence in Medicine*, vol. 25, pp. 265-281 (2002).

Ak, A., Erera, A. L., A Paired-Vehicle Recourse Strategy for the Vehicle-Routing Problem with Stochastic Demands, *Transportation Science*, 41: 222 – 237 (2007).

Alkan, A., Lojistik Yönetiminde Filo Yönetim Sistemleri, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul (2003).

Babu, B. V. and Sastry, K. K. N., Estimation of Heat Transfer Parameters in a Trickle-Bed Reactor Using Differential Evolution and Orthogonal Collocation, *Computers and Chemical Engineering*, vol. 23, pp. 327-339 (1999).

Babu, B. V. and Onwubolu, G. C. (eds.), *New Optimization Techniques in Engineering*, Springer Verlag (2004).

Bean, J.C. , Genetic algorithms and random keys for sequencing and optimization, *ORSA Journal on Computing*, 6: 154-160 (1994).

Beasley, J. E. , Route first-cluster second methods for vehicle routing, *Omega*, 11: 403-408 (1983).

Bertsimas, D. J. , Chervi, P. , Peterson, M., Computational approaches to stochastic vehicle routing problems, *Transportation Science*, 29 (4): 342–352 (1995).

Bianchessi, N. , Righini G. , Heuristic algorithms for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery, *Computers and Operations Research*, 34(2): 578 (2007).

Chen, J. F. , Wu. , T. H., Vehicle routing problem with simultaneous deliveries and pickups, *The journal of the Operational Research Society*, 57(5): 579-587 (2006).

Chen, J.F. , Approaches for the vehicle routing problem with simultaneous deliveries and pickups, *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 23 (2): 141-150 (2006).

Christofides, N. , Mingozzi, A.,Toth, P., Contributions to the quadratic assignment problem, *European Journal of Operational Research*, 4: 243-247 (1980).

Corne, D. , Dorigo, M. and Glover, F. (eds.) , *Part Two: Differential Evolution, New Ideas in Optimization*, McGraw-Hill, pp. 77-158 (1999).

Crispim, J. , Brandao, J. , Metaheuristics applied to mixed and simultaneous extensions of vehicle routing problems with backhauls, *Journal of the Operational Research Society*, 56: 1296-1302 (2005).

Çatay, B. , A new saving-based ant algorithm for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery, *Experts Systems with Applications* (2010).

DellAmico, M. , Righini, G. , Salani, M. , A branch-and-price approach to the vehicle routing problem with simultaneous distribution and collection, *Transportation science*, 40(2): 235-247 (2006).

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

Dror, M. , Trudeau, P. , Stochastic vehicle routing with modified savings algorithm, *European Journal of Operational Research*, 23: 228-235 (1986).

Dror, M. , Laporte, G. , Trudeau, P. , Vehicle routing with stochastic demands; Properties and solution frameworks, *Transportation Science*, 23 (3): 166-176 (1989).

Ergülen, A. , Güngör, İ. , Bulanık Araç Rotalama Problemlerine Bir Model Önerisi ve Bir Uygulama, *Yönetim ve Ekonomi*, Cilt:13, Sayı: 1, Celal Bayar Üniversitesi, İ.İ.B.F. Manisa (2006).

Erol, V. , Araç rotalama problemleri için yığın ve komşuluk tabanlı metasezgisel bir algoritmanın tasarımı ve uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Sistem Mühendisliği, İstanbul, 3-120 (2006).

Eryavuz, M. , Gencer, C. , Araç rotalama problemine ait bir uygulama, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, 139-155 (2001).

Gajpal, Y. , Abad, P. , An ant colony system (ACS) for vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup, *Computers & Operations Research*, 36(12): 3215–3223 (2009).

Gökçe, E.I. , A revised ant colony system approach to vehicle routing problems, Yüksek Lisans Tezi, Sabancı Üniversitesi Fen ve Doğa Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 55-65 (2004).

Göksal, P. , Eşzamanlı topla-dağıt araç rotalama problemi için sezgisel yaklaşımlar: genetik algoritma ve kuş sürüsü eniyileme, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2010).

Hou L. , Zhou H. , Stochastic vehicle routing problem with uncertain demand and travel time and simultaneous pickups and delivery, 2010 Third International Joint Conference on Computational science and Optimization.

Hou L. , Zhou H. , Zhao J. , A novel discrete differential evolution algorithm for stochastic VRPSPD, *Journal of computational Information Systems* 6:82483-2491(2010).

Ilonen, J. , Kamarainen, J.-K. and Lampinen, J. , Differential Evolution Training Algorithm for Feed-Forward Neural Networks, In: *Neural Processing Letters* Vol. 7, No. 1 93-105 (2003).

- Isleyen, S. K. , Baykoc, O. F. , An efficiently novel model for vehicle routing problems with stochastic demands, *Asia Pacific Journal of Operational Research*, (2008).
- Jin Ai, T. , Kachitvichyanukul, V. , A particle swarm optimization for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery, *Computers and Operations Research*, 36: 1693-1702 (2009).
- Joshi, R. and Sanderson, A. C. , Minimal Representation Multisensor Fusion Using Differential Evolution, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A*, vol. 29, pp. 63-76 (1999).
- Karaoğlan, İ. , Dağıtım ağları tasarımında yer seçimi ve eğzamanlı topla-dağıt araç rotalama problemleri, *Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*, 1-40 (2009).
- Krink, T. , Filipić, B. , Fogel, G. , Thomsen, R. , Noisy optimisation problems—a particular challenge for differential evolution? , In: *Proceedings of the Sixth Congress on Evolutionary Computation (CEC-2004)*, IEE Press, Piscataway, NJ, USA, pp. 332–339 (2004).
- Lampinen, J. , A Bibliography of Differential Evolution Algorithm, Technical Report, Lappeenranta University of Technology, Department of Information Technology, Laboratory of Information Processing (2001).
- Masters, T. and Land, W. , A New Training algorithm for the General Regression Neural Network, *Proc. of the 1997 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pp. 1990-1994 (1997).
- Min, H. , The multiple vehicle-routing problem with simultaneous delivery and pick-up Points, *Transportation Research. Part A, Policy and Practice*, 23(5): 377–386 (1989).
- Mingyong, L. , Erbao, C. , An improved differential evolution algorithm for vehicle routing problem with simultaneous pickups and deliveries and time Windows, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Volume 23, Issue 2, Pages 188-195, March 2010.
- Montane, F.A.T. , Galvao, R.D., A tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery service, *Computers & Operations Research*, 33:595-619 (2006).
- Mladenovic, N. , Hansen, P. , Variable neighborhood search, *Computers & Operations Research*, 24(11):1097-1100.(1997).
- Nagy G, Salhi S. , Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickups and deliveries, *European Journal of Operetional Research*, 162:126–141 (2005).
- Price, K. , Storn, R. , and Lampinen, J. , *Differential Evolution – A Practical Approach to Global Optimization*, Springer-Verlag (2005).

Prins, S. , A simple and effective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem, *Computers & Operations Research*, 31: 1985–2002, (2004).

Rae, A. and Parameswaran, S. , Synthesising Application-Specific Heterogenous Multiprocessors Using Differential Evolution, *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences E84-A(12)*, 3125-3131 (2001).

Rogalsky, T. , Kocabiyik, S. and Derksen, R. W. , Differential Evolution in Aerodynamic Optimization, *Canadian Aeronautics and Space Journal*, 46(4), 183-190 (2000).

Ropke, S. , D. Pisinger. , A unified heuristic for a large class of vehicle routing problems with backhauls, *European Journal of Operational Research*, 171(3): 750-775 (2006).

Ruzek, B. and Kvasnicka, M. , Differential Evolution Algorithm in the Earthquake Hypocenter Location, *Pure and Applied Geophysics*, 158(4), 667-693 (2001).

Rüttgers, M. , Design of a New Algorithm for Scheduling in Parallel Machine Shops, *Proc. of the Fifth European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing*, pp. 2182-2187 (1997).

Salhi, S. , Nagy, G. , A cluster insertion heuristic for single and multiple depot vehicle routing problems with backhauling, *Journal of the Operational Research Society*, 50(10):1034–1042 (1999).

Secomandi, N. , Comparing neuro-dynamic programming algorithms for the vehicle routing problem with stochastic demands, *Computers and Operations Research*, 27 (5): 1171–1200 (2000).

Secomandi, N. , A rollout policy for the vehicle routing problem with stochastic demands, *Operations Research*, 49 (5): 796–802 (2001).

Stewart, W. , R. , Golden, B. , L. , Stochastic vehicle routing: A comprehensive approach, *European Journal Of Operational Research*, 14: 371-385 (1983).

Storn, R. and Price, K., Differential Evolution – a Simple and Efficient Adaptive Scheme for Global Optimization over Continuous Spaces, *Technical Report, TR-95-012, ICSI* (1995).

Storn, R. , Designing Digital Filters with Differential Evolution., In D. Corne, M. Dorigo, and F. Glover (eds.), *New Ideas in Optimization*, London: McGraw-Hill, UK, 109-125 (1999).

Storn, R. , Differential Evolution Design of an IIT-Filter with Requirements for Magnitude and Group Delay, *Proc. of IEEE International Conference on Evolutionary Computation*, pp. 268-273 (1996).

Storn, R. , Differential evolution design of an IIR-filter, In: Proceedings of IEEE Int. Conference on Evolutionary Computation ICEC'96. IEEE Press, New York. 268-273 (1996).

Storn, R. and Price, K., Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Space, Journal of Global Optimization, 11, pp. 341-359 (1997).

Storn, R. , System Design by Constraint Adaptation and Differential Evolution, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol. 3, pp. 22-34 (1999).

Subramanian, A. , Drummonda, L.M.A., Bentes, C., Ochi, L.S., Farias, R., A parallel heuristic for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery, Computers & Operations Research, 37(11): 1899-1911 (2009)

Tang, F.A. , Galvao, R.D. , Vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery service, Journal of the Operational Research Society of India, 39: 19-33 (2002).

Tasgetiren, M. F. , Liang, Y.-C. , Sevkli, M. and Gencyilmaz, G. , Differential Evolution Algorithm for Permutation Flowshop Sequencing Problem with Makespan Criterion, Proc. of the Fourth International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems, Sakarya, Turkey, pp. 442-452 (2004).

Taşgetiren, F. , Suganthan, P.N. , Pan, Q.K. , An ensemble of discrete differential evolution algorithms for solving the generalized traveling salesman problem, Applied Mathematics and Computation, Volume 215, Issue 9, 1 January 2010, Pages 3356-3368 (2010).

Teodorović, D. , Pavković, G. , A simulated annealing technique approach to the vehicle routing problem in the case of stochastic demand, Transportation Planning and Technology, 16: 261–273 (1992).

Thomsen, R. , Flexible ligand docking using differential evolution, In: Proceedings of the Fifth Congress on Evolutionary Computation, (CEC- 2003,. IEE Press, Piscataway, NJ, USA, pp. 2354–2361 (2003).

Toth, P. , Vigo, D. , The Vehicle Routing Problem, (2002).

Ulusoy, G., The fleet size and mixed problem for capacitated arc routing, European Journal of Operational Research, 22: 833-839 (1987).

Ursem, R. , Vadstrup, R. , Parameter identification of induction motors using differential evolution, In: Proceedings of the Fifth Congress on Evolutionary Computation (CEC-2003), IEE Press, Piscataway, NJ, USA, pp. 790–796 (2003).

Vesterström, J. , Thomsen, R. , A comparative study of differential evolution, particle swarm optimization and evolutionary algorithms on numerical benchmark problems, In: Proceedings of the Sixth Congress on Evolutionary Computation (CEC-2004), IEE Press, Piscataway, NJ, USA, pp. 1980–1987 (2004).

Vural, A. , A GA based meta- heuristic for capacited vehicle routing problem with simultaneous pick-up and deliveries, Yüksek Lisans Tezi, Sabancı Üniversitesi Fen ve Doğa Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-40 (2003).

Wassan, N. A. , Wassan, A. H. , Nagy, G. , A reactive tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pickups and deliveries, Journal of Combinatorial Optimization,15(4):368–86 (2007).

Yang, W. , Mathur, K. , Ballou, R. H. , Stochastic vehicle routing problem withrestocking, Transportation Science, 34 (1): 99–112 (2000).

Yang, W. H. , Stochastic Vehicle Routing with Optimal Restocking, PhD thesis, Case Western Reserve University, Cleveland, OH, U.S.A. 16-18 (1996).

Yeun, L. C. , Ismail, W. R. , Omar, K. , Zirour, M., Vehicle Routing Problem: Models and Solutions, Journal of Quality Measurement and Analysis 4 (1): 205-218 (2008).

Zachariadis, E. E. , Tarantilis, C. D. , Kiranoudis, C. T. , A hybrid metaheuristic algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up service, Expert Systems with Applications, 36 (2): 1070-1081 (2009).

Zachariadis, E. E. , Tarantilis, C. D. , Kiranoudis, C. T. , An adaptive memory methodology optimization for the vehicle routing problem with simultaneous pick-ups and deliveries, European Journal of Operational Research, 202(2): 401-411 (2010).

İnternet (www/ftp) Kaynakları:

<http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP/>

<http://www.idsia.ch/~monaldo/vrp.html#Problem>