T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TALEP BELİRSİZLİĞİ ALTINDA KAPASİTE KISITLI YER SEÇİMİ VE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN HİBRİT SEZGİSEL BİR ÇÖZÜM ÖNERİSİ

ENGİN PEKEL

DOKTORA TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. SELİN SONER KARA

İSTANBUL, 2018

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TALEP BELİRSİZLİĞİ ALTINDA KAPASİTE KISITLI YER SEÇİMİ VE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN HİBRİT SEZGİSEL BİR ÇÖZÜM ÖNERİSİ

Engin PEKEL tarafından hazırlanan tez çalışması 23.11.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Selin SONER KARA

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Selin SONER KARA

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Nezir AYDIN

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Berk AYVAZ

İstanbul Ticaret Üniversitesi _____

Prof. Dr. Alev TAŞKIN GÜMÜŞ

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Umut ASAN

İstanbul Teknik Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Bu çalışmam süresince her türlü yardım ve fedakârlığı sağlayan, bilgi, tecrübe ve güler yüzü ile çalışmama ışık tutan, ayrıca bana bu çalışmayı vererek kendimi geliştirmeye yönelik de birkaç adım ileride olmamı sağlayan, danışman hocam Doç.Dr. Selin SONER KARA'ya, tez izleme komitesinde bulunan jüri hocalarım Doç. Dr. Nezir AYDIN'a ve Dr. Öğr. Üyesi Berk AYVAZ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmayı, yetiştirilmemde emeği geçen ve benden maddi, manevi hiçbir desteği esirgemeyen aileme ithaf ederim.

Kasım, 2018

Engin PEKEL

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vi

KISALTMA LİSTESİ vii

ŞEKİL LİSTESİ viii

ÇİZELGE LİSTESİ x

ÖZET xi

ABSTRACT xiii

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 2
1.2 Tezin Amacı 11
1.3 Hipotez 11

BÖLÜM 2

YER SEÇİMİ VE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ TİPLERİ 13

2.1 Kapasite Kısıtlı Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi 14
2.2 Aksama Problemi 15
2.3 Dinamik Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi 15
2.4 Stok Yönetimli Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi 15
2.5 Belirsizlik Altında Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi 16
2.6 Zaman Pencereli Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi 16

BÖLÜM 3

BELİRSİZLİK ALTINDA KAPASİTE KISITLI YER SEÇİMİ VE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ ... 17

3.1 Kapasite Kısıtlı Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi ve Matematiksel Modeli 18
3.2 Kapasite Kısıtlı Yer Seçimi ve Araç Rotalama Probleminde Belirsizlik Durumları 21

3.3 Kapasite Kısıtlı Yer Seçimi ve Araç Rotalama Probleminde Zaman Penceresi ... 23

BÖLÜM 4

DEĞİŞKEN KOMŞULUK VE EVRİMSEL YEREL ARAMA HİBRİT ALGORİTMASI ... 25

4.1 Hibrit Algoritmanın Genel Yapısı ... 25
4.2 Kapasite Kısıtlı Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi için Değişken Komşuluk Arama ... 26
4.3 Çözümlerin Temsili Gösterimi ... 27
4.4 Değişken Komşuluk Arama Algoritmasında Komşuluk Yapıları ... 28
4.5 Değişken Komşuluk Arama Algoritmasında Çeşitlendirme ... 31
4.6 Evrimsel Yerel Arama Algoritması ... 32

BÖLÜM 5

HİBRİT ALGORİTMANIN BİLİNEN VERİ SETLERİNE UYGULANMASI ... 34

5.1 Hibrit Algoritmanın Uygulandığı Veri Setleri ve Özellikleri ... 34
5.2 Karşılaştırmada Kullanılan Algoritmalar ... 35

BÖLÜM 6

ÖNERİLEN ALGORİTMANIN İKİ FARKLI ÖRNEK OLAYA UYGULANMASI ... 41

6.1 Örnek Olay 1: Belirsizlik Altında ve Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi ... 41
6.1.1 Örnek olayda kullanılan veriler ... 42
6.1.2 Verilere istatistiksel analiz uygulanması ... 43
6.1.3 GA-ANN yapısının uygulanması ... 44
6.1.4 DKA algoritmasının uygulanması ve sonuçlar ... 46
6.2 Örnek Olay 2: Belirsizlik Altında, Kapasite Kısıtlı ve Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi ... 48
6.2.1 Örnek olayın belirli talep ve zaman kısıtsız çözümü ... 48
6.2.2 Örnek olayın bulanık talep ve zaman kısıtlı çözümü ... 55

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER ... 75

KAYNAKLAR ... 77

EK-A

LİTERATÜR ... 91

ÖZGEÇMİŞ ... 113

SİMGE LİSTESİ

AK	Araç kapasitesi
CC_i	Firmanın i. müşteriye ödeyeceği ceza maliyeti
c_{ij}	İki düğüm arasındaki taşıma maliyeti
Cr	Kredibilite oranı
CrD	Depo için önceden belirlenen güvenilirlik oranı
CrV	Araç için önceden belirlenen güvenilirlik oranı
d_i	i. müşterinin talebi
dk_k	k. depo için kapasite miktarı
EC_i	i. müşterinin kapasiteyi aşma maliyeti
$\mathrm{EQ_i}$	i. müşterinin aşan talep miktarı
i	Herhangi bir i. müşteri
j	Herhangi bir j. müşteri
k	Herhangi bir k. depo
N	Tüm müşteri ve depo kümesi
$\mathrm{N_c}$	Müşteri kümesi
N_d	Depo kümesi
O_k	k. depoyu açma maliyeti
PC	Birim talep başına ceza maliyeti
PCC	Birim ürün başına firmaya uygulanacak ceza maliyeti
PWC	Aracın saat başına birim maliyeti
u_{ij}	i. müşteriden j. müşteriye atama yapıldığında oluşan dağıtım miktarı
VC	Aracın sabit maliyeti (Her rota için)
VWC	Aracın bekleme maliyeti
WT	İlgili aracın bekleme süresi
x_{ij}	i. müşteriden j. müşteriye rota seçilip seçilmemesi
y_k	k. deponun açılıp açılmaması
z_{ik}	i. müşteriden k. depoya hizmet verilip verilmemesi

KISALTMA LİSTESİ

AC	Karşılanmayan talep için ilave maliyet
AN	Üretilen otomobil sayısı
BKKYSAR	Bulanık kapasite kısıtlı yer seçimi ve araç rotalama
BKS	Şu ana kadar bulunan en iyi sonuç
CCI	Müşteri güven indeksi
CWC	Hizmetin zamanında teslim edilememesi durumunda oluşan maliyet
DC	Dağıtım hizmeti veren merkezin maliyeti
DKA	Değişken komşuluk arama
DP	Dağıtım noktası
ECI	Ekonomik güven indeksi
EYA	Evrimsel yerel arama
GA	Genetik algoritma
I	Enflasyon
IPI	Sanayi üretim indeksi
KKYSAR	Kapasite kısıtlı yer seçimi ve araç rotalama
MDI	Müşteri depo ilişkisi
NBKS	İlgili algoritma tarafından bulunan en iyi sonuçların toplamı
NIBS	İlgili algoritma tarafından bulunan en iyi ve yeni sonuçların toplamı
NOV	Araç sayısı
TC	Toplam maliyet
TRC	Ulaştırma maliyeti
UR	İşsizlik oranı
VWC	Teslimat zamanından önce ulaşan aracın bekleme maliyeti
YSA	Yapay sinir ağları
YSARP	Yer seçimi ve araç rotalama problemi

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 1988-2016 yılları arasında YSARP'nin yayınlandığı dergiler 3
Şekil 1.2 1988-2016 yılları arasında YSARP üzerine yapılan çalışmaların sayısı 4
Şekil 1.3 Talep tahmininde kullanılan modeller ve dağılım oranları 4
Şekil 1.4 Ulaşım süreleri için kullanılan modeller ve dağılım oranları 5
Şekil 1.5 Çalışmalarda tercih edilen kapasite kısıtlı modellerin oranı 6
Şekil 1.6 Literatürde kullanılan zaman kısıtlı çalışma oranları 6
Şekil 1.7 YSARP'de tercih edilen amaç fonksiyonu çeşitleri 7
Şekil 1.8 YSARP'de tercih edilen çözüm metotları 8
Şekil 1.9 YSARP'de tercih edilen başlangıç çözümlerinin dağılımı 9
Şekil 1.10 YSARP'de tercih edilen detaylı çözüm yöntemlerinin dağılımı 10

Şekil 2.2 Yer seçimi ve rotalama problemi için hiyerarşik sınıflandırma 14

Şekil 3.1 Belirsizlik altında KKYSARP modelinin süreci 17

Şekil 4.1 Hibrit algoritmanın genel akış şeması 26
Şekil 4.2 Problemin temsili çözümünün kodlanması 28
Şekil 4.3 $N1$ komşuluk yapısının uygulanması 30
Şekil 4.4 $N2$-ekleme komşuluk yapısının uygulanması 30
Şekil 4.5 $N3$-değişim komşuluk yapısının uygulanması 30
Şekil 4.6 $N4$-2-Opt komşuluk yapısının uygulanması 31
Şekil 4.7 $N5$- 3-Opt komşuluk yapısının uygulanması 31
Şekil 4.8 $N7$- depo ekle/çıkart komşuluk yapısının uygulanması 31
Şekil 4.9 3-Opt karşılıklı değişim operatörü 32
Şekil 4.10 Tekli karşılıklı değişim operatörü 33

Şekil 6.1 Firmanın muhtemel depo yerleri ve müşterilerin dağılımı 42
Şekil 6.2 Örnek olayda uygulanan genel adımlar 42
Şekil 6.3 Altı farklı girdiye ait verilerin zaman serisi 43
Şekil 6.4 Müşterilerden gelen toplam sayıları 43
Şekil 6.5 Firmanın mevcut rota planı 46
Şekil 6.6 İyileştirme yapılan rotaların son hali 46
Şekil 6.7 D1 ve D2 depo yerleri seçilmeden yapılan rotalama 47
Şekil 6.8 Dağıtım yerlerini ve müşterilerin harita üzerinde gösterimi 48

Şekil 6.9 900 birimlik araç kapasitelerine göre rotalanma 52
Şekil 6.10 2500 birimlik araç kapasitelerine göre rotalama 53
Şekil 6.11 Heterojen araç kapasitelerine göre rotalama 54
Şekil 6.12 900 birimlik araç kapasitesi için maliyet değişim grafiği 59
Şekil 6.13 900 birim araç kapasitesine sahip filoların iyileştirilmiş çözümü 61
Şekil 6.14 2500 birimlik araç kapasitesi için maliyet değişim grafiği 64
Şekil 6.15 2500 birim araç kapasitesine sahip filoların iyileştirilmiş çözümü 66
Şekil 6.16 Heterojen araç kapasitesi için maliyet değişim grafiği 69
Şekil 6.17 Heterojen araç kapasitesine sahip filoların iyileştirilmiş çözümü 71

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Modelde kullanılan parametreler 18
Çizelge 3.2 Modelde kullanılan değişkenler 18

Çizelge 4.1 Uygulanan DKA algoritmasının sözde kodu 27

Çizelge 5.1 Üç farklı veri setine göre özet çizelge 36
Çizelge 5.2 Tuzun seti için en iyi sonuçlar 38
Çizelge 5.3 Prodhon seti için en iyi sonuçlar 39
Çizelge 5.4 Barreto seti için en iyi sonuçlar 40

Çizelge 6.1 Verilerin istatistiksel analizi 44
Çizelge 6.2 Altı farklı veri parametresinin en iyi on $R2$ değerleri 44
Çizelge 6.3 Dört farklı veri parametresinin en iyi on $R2$ değerleri 45
Çizelge 6.4 On yıl sonrası için minimum, muhtemel ve maksimum değerler 45
Çizelge 6.5 On yıl sonrası için üç farklı maliyet durumu 47
Çizelge 6.6 Üç farklı filo tipine göre rotalama ve tesis yeri maliyetleri 50
Çizelge 6.7 Çizelge 6.8-6.10'da kullanılan kısaltmaların açılımı. 55
Çizelge 6.8 900 birimlik araç kapasitesine sahip filo için elde edilen çözümler 56
Çizelge 6.9 2500 birimlik araç kapasitesine sahip filo için elde edilen çözümler 57
Çizelge 6.10 Heterojen araç kapasitesine sahip filo için elde edilen çözümler 58
Çizelge 6.11 900 birimlik filo için başlangıç çözümünün detaylı gösterimi 62
Çizelge 6.12 900 birimlik filo için iyileştirilmiş çözümünün detaylı gösterimi 63
Çizelge 6.13 2500 birimlik filo için başlangıç çözümünün detaylı gösterimi 67
Çizelge 6.14 2500 birimlik filo için iyileştirilmiş çözümünün detaylı gösterimi 68
Çizelge 6.15 Heterojen filo için başlangıç çözümünün detaylı gösterimi 72
Çizelge 6.16 Heterojen filo için iyileştirilmiş çözümünün detaylı gösterimi 73

Çizelge A.1 Literatür taramasında incelenen makale ve bildirilerin özet çizelgesi 92

ÖZET

TALEP BELİRSİZLİĞİ ALTINDA KAPASİTE KISITLI YER SEÇİMİ VE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN HİBRİT SEZGİSEL BİR ÇÖZÜM ÖNERİSİ

Engin PEKEL

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Selin SONER KARA

Günümüzde, firmalar dağıtım veya depolama merkezi üzerinden müşterilerine en az maliyetle hizmet vermeyi amaçlamaktadır. Bu çalışma kapsamında, Kapasite Kısıtlı Yer Seçimi ve Araç Rotalama (KKYSAR) problemi için Değişken Komşuluk Arama (DKA) ve Evrimsel Yerel Arama (EYA) algoritmalarını birleştiren ve DKAxEYA olarak adlandırılan yeni bir hibrit metot önerilmektedir. KKYSAR problemi açılacak depoların belirlenmesi, müşteri ve araçların her bir açık depoya atanması ve müşteri taleplerini karşılayacak rotaların uygulanmasını içermektedir. Önerilen sezgisel yöntem, deterministik bir yapıya sahip olan yedi farklı komşuluk yapısından ve EYA algoritmasından oluşmaktadır. Dahası, önerilen algoritmanın performansı, literatürde bulunan veri setleri üzerinden en etkili sezgiseller ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, DKAxEYA algoritmasının yedi farklı etkili çözüm üreten sezgisel yöntemleri göz önüne alındığında, hem ortalama fark olarak iyi sonuçlar hem de iki tane en iyi sonuç verdiğini göstermektedir.

Ayrıca çalışma kapsamında, Bulanık Kapasite Kısıtlı Yer Seçimi ve Araç Rotalama (BKKYSAR) problemi önerilen DKAxEYA algoritması kullanılarak çözülmüştür. Müşteri talepleri bulanık, müşteri ve depolar arasında seyahat süresi deterministik olarak değerlendirilmiştir. Örnek olayda en düşük çok amaçlı maliyeti vermesi için heterojen ve homojen filo tipleri beraber uygulanmıştır. Çok amaçlı maliyet fonksiyonu ulaştırma maliyeti, ek maliyet, araç bekleme maliyeti ve gecikme maliyetinden oluşmaktadır.

Bulanık bir şans kısıtı programı güvenilirlik teorisi kullanılarak modele eklenmiştir. Önerilen metot dört aşama uygulayarak çözüme ulaşmaktadır. İlk aşamada, Açgözlü sezgisel metodu kullanılarak başlangıç çözümü elde edilmekte ve sonra yedi farklı komşuluk yapısından meydana gelen DKA algoritması ikinci aşamada çözüm kalitesini iyileştirmek için uygulanmaktadır. Üçüncü aşamada, bir çeşitlendirme yöntemi EYA algoritması kullanılarak iyileştirilmiş çözüme uygulanmakta ve sonra DKA sezgiseli son aşamada tekrar uygulanmaktadır. DKAxEYA algoritması 57 müşteri ve 5 dağıtım noktası olan örnek bir olaya uygulanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Alçalan değişken komşuluk, kapasite kısıtlı yer seçimi ve araç rotalama, sezgisel

ABSTRACT

A HYBRID HEURISTIC SOLUTION PROPOSAL FOR CAPACITATED LOCATION ROUTING PROBLEM UNDER DEMAND UNCERTAINTY

Engin PEKEL

Department of Industrial Engineering

PhD Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Selin SONER KARA

Nowadays, companies aim to service their customers via distribution center or depot at minimum cost. In this study, a new hybrid heuristic algorithm is proposed to solve the Capacitated Location Routing Problem (CLRP), which combines Variable Neighborhood Search (VNS) and Evolutionary Local Search (ELS) and named DKAxEYA. The CLRP problem consists of determining the depots to be opened, the customers and the vehicles to be assigned to each open depot, and the routes to be performed to meet the demand of the customers. The proposed heuristic algorithm includes a deterministic VNS that consists of seven different neighborhoods and ELS. Further, the proposed algorithm's performance is experimentally compared with number of the most effective heuristics proposed for the solution of the CLRP, on the benchmark instances from the literature. The computational results show that DKAxEYA provides both good average solutions and two best solutions considering the seven different effective heuristics within reasonable computing time.

Besides, a Fuzzy Capacitated Location Routing Problem (FCLRP) is solved by using a heuristic method that combines DKAXEYA. Demands of the customer and travel times between customers and depots are considered as fuzzy and deterministic variables, respectively in FCLRP. Heterogeneous and homogeneous fleet sizes are performed together to reach the least multi-objective cost in a case study. The multi-objective cost consists of transportation cost, additional cost, vehicle waiting cost and delay cost. A fuzzy chance constrained programming model is added by using credibility

theory. The proposed method reaches the solution by performing four stages. In the first stage, initial solutions are obtained by using a greedy heuristic method, and then VNS heuristic, which consists of seven different neighborhood structures, is performed to improve the solution quality in the second stage. In the third stage, a perturbation procedure is applied to the improved solution using ELS algorithm, and then VNS heuristic is applied again in the last stage. DKAxEYA algorithm is applied to a case study, which has 57 customers and 5 distributing points, effectively in a reasonable time.

Keywords: Capacitated location routing problem, heuristic, variable neighborhood descent

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günlük hayatta firmalar arasındaki rekabet sürekli artmakta, tüketim bilincinin artması ve kaynakların azalması nedeniyle firmaların ayakta kalabilmeleri için kaynakları verimli bir şekilde kullanarak, mal ve hizmeti kaliteli ve ucuz bir şekilde üretmeleri gerekmektedir. Bu amaca ulaşmakta kullanılacak yollardan birisi de, tedarikçiden müşteriye kadar uzanan dağıtım ağı boyunca hammadde, yarı ürün ve ürünün etkin bir şekilde depolanması ve taşınmasıdır. Tüm bu akış aslında bir dağıtım ağı tasarlanması ile ilgilidir. Dağıtım ağı tasarımında verilen kararlar genelde stratejik seviye kararlar olup uzun zaman aralıklarında bu işlemler gerçekleşmektedir. Dağıtım ağı tasarımı yapılması ihtiyacı aşağıdaki sorulardan kaynaklanmaktadır [1].

- Fabrika ve depolar hangi bölgeye yerleştirilecek ve bu bölgelerden müşterilere hangi rota izlenerek en uygun bir şekilde tedarik sağlanacak
- Araç ve depo kapasitesinin dağıtıma olan etkisi
- Optimal stok politikası
- Talep ve ulaşım süresini ne kadar değişken olduğu
- Tek ya da çoklu amaç fonksiyonu kullanımı
- Zaman kısıtı

Yukarıda belirtilen durumlar etkili bir dağıtım ağı kurmada son derece önemli sorunlardır. Etkin bir dağıtım ağı için bu soruların tümüne eş zamanlı olarak karar verilmesi gerekmektedir. Tesis yerleşim yerini belirlenmesi en önemli sorunların başında gelmektedir. Çünkü tesis kurma işlemleri yüksek maliyetlere sahiptir ve kurulan tesisler uzun yıllar boyunca değişmemektedir. Müşteri ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde tesislerin yerlerinin ve

hangi müşterinin hangi tesisten hizmet göreceğinin belirlenmesi son derece önemlidir. Yer seçiminin ve yerleşiminin belirlenmesinin ardından bekleyen en büyük sorun araç rotalama problemidir. Yapılan çalışmalarda, tesis yerinin seçimi ve araç rotalama yapılması genellikle aşamalı olarak yapılmaktadır. Aşamalı yapılan çalışmalarda eş zamanlı olarak hem tesis yerinin belirlenmesi hem de araçların rotalanması yapılmaktadır. Bir sonraki adımda tekrar elde edilen çözümden daha iyi bir çözüm elde edilmeye çalışılır. Çalışmaların ufak bir kısmında ise ardışık çözüme gidilmektedir. Bu çözüm tipinde ilk olarak tesis yerinin belirlenmesi ardından bu tesis yerine göre en iyi şekilde araçların rotalanması sağlanmaktadır. Bu durum, yapılan çalışmalarda da pek kabul görmemektedir. Gerçek olayları temel alması açısından aşamalı çözümler genellikle tercih edilmektedir [2].

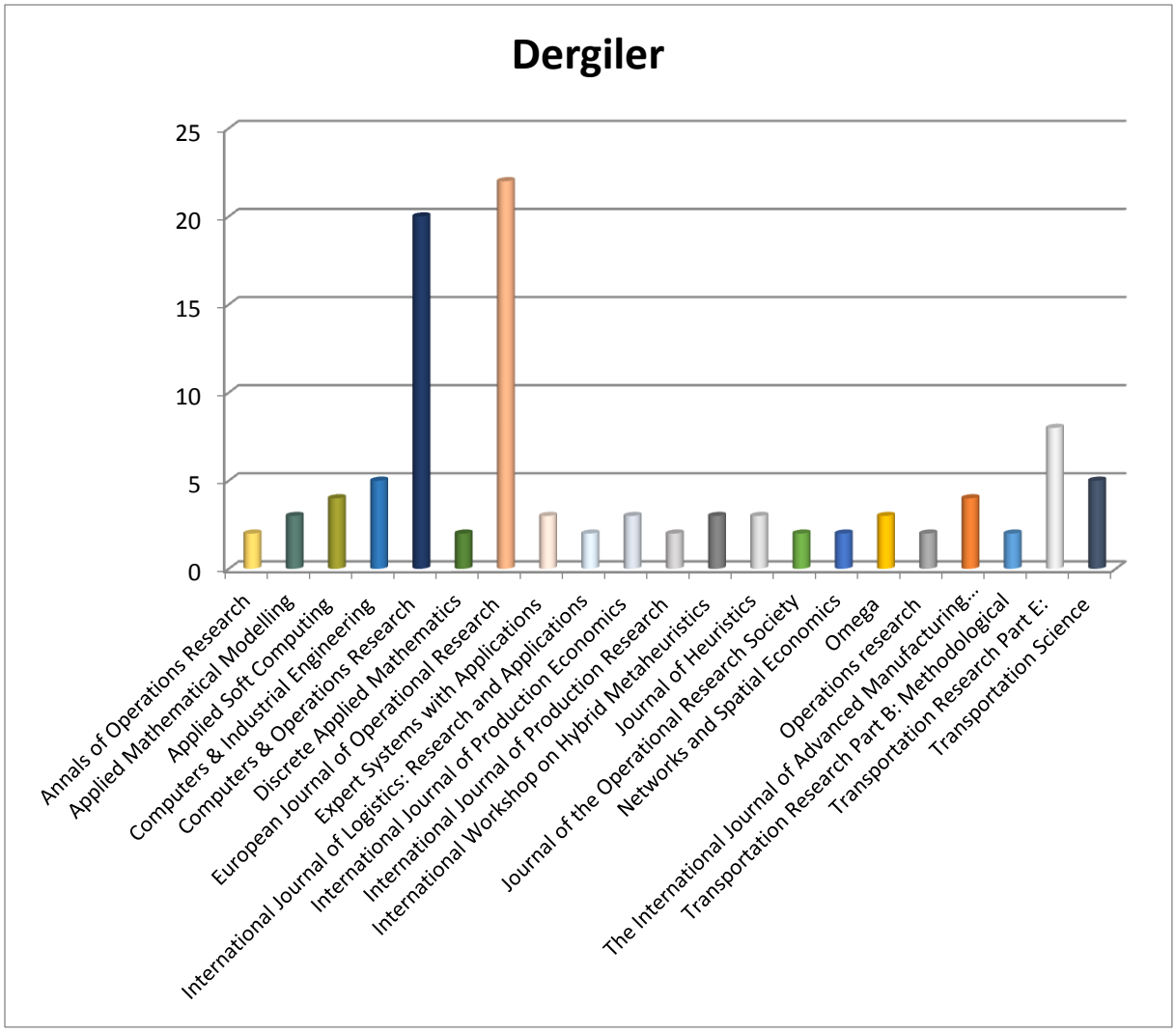
Optimal stok politikası son yıllarda çalışmalarda kendisine yer bulmaya başlamıştır. Dolayısı ile amaç fonksiyonlarına stok maliyeti de eklenmektedir [3]. Günümüzde stok politikası deterministik ya da olasılıklı olarak değerlendirilmekte ve buna göre modele eklenmektedir. Günlük hayatın karmaşıklığı sadece stok değil, aynı zamanda talep ve ulaşım sürelerinin durumunu da etkilemektedir. Ele alınan talep ve ulaşım süreleri deterministik, stokastik ya da bulanık olarak ele alınmakta ve daha gerçekçi çözümler bulunması amaçlanmaktadır.

1.1 Literatür Özeti

Yer seçimi ve araç rotalama probleminin (YSARP) temelleri 1960'lı yıllara kadar uzanmaktadır. Fakat bu dönemdeki modeller günümüzde ilgilendiğimiz modellerden oldukça farklıdır. En önemli farklardan birisi, planlanan rota üzerinde bulunan son müşterinin herhangi bir depoya dönmesi gerektiğinin matematiksel modele dahil edilmemesidir. Tam manada, yer seçimi ve araç rotalama probleminin 1970'lerin sonu ile 1980'lerin başında ortaya çıktığı belirtilmektedir [4]. Yer seçimi ve araç rotalama problemi çözülmesi zor olan NP-hard problemlerindendir.

Yer seçimi ve araç rotalanması üzerine yapılan yaklaşık 150 makale ve bildiri çalışması incelenmiştir. İncelenen bütün makale ve bildirilerin detaylı açıklaması çalışmanın Ek-A bölümünde belirtilmiştir. Literatür özeti bölümü altında, incelemesi yapılan çalışmaların detaylı bir analizi yapılacaktır.

Şekil 1.1 1988-2016 yılları arasında YSARP'nin yayınlandığı dergileri göstermektedir.



Şekil 1.1 1988-2016 yılları arasında YSARP'nin yayınlandığı dergiler

1988-2016 yılları arasında yer seçimi ve rotalama problemleri birçok derginin ilgisi çekmiş ve yayınlanmıştır. Fakat bazı dergiler özellikle yer seçimi ve rotalama problemlerine daha fazla önem vermiş ve yayınlayarak okuyucuları ile buluşturmuştur. Bu dergiler arasında, European Journal of Operational Research ve Computers & Operation Research dergileri sırasıyla 22 ve 20 yayın basmıştır. Bu iki derginin ardından Transportation Research Part E 5 yayın basmıştır. Bu ilk 3 derginin özellikle takip edilmesi yer seçimi ve rotalama problemlerinde çok büyük bir öneme sahiptir. Diğer dergilere ait yayın sayıları Şekil 1.1'de gösterilmektedir.

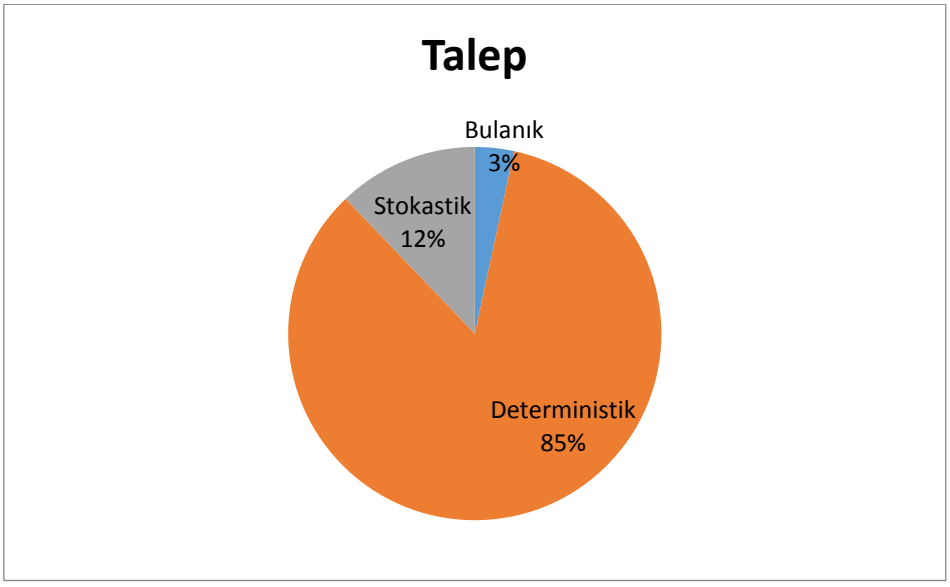
1988-2016 yılları arasında yer seçimi ve rotalama problemi üzerine yapılan çalışmaların sayısı Şekil 1.2'de gösterilmektedir. 1988-2001 yılları arasında yer seçimi ve rotalama problemleri çok fazla ilgi görmemekteyken, 2002 yılından itibaren ivme kazanmaya başlamıştır.



Şekil 1.2 1988-2016 yılları arasında YSARP üzerine yapılan çalışmaların sayısı

2008 yılında 14 yayın sayısına ulaşıldıktan sonra negatif bir ivme ile 2011 yılında 6 yayın sayısına kadar azalma olmuştur. Daha sonra, yer seçimi ve rotalama problemi tekrar ilgi çekmeyi başarmış 2013 yılında 21 sayısına ulaşmıştır. Sonraki yıllarda bir miktar azalma olsa da, yer seçimi ve rotalama problemleri son yıllarda popüler konular arasındadır.

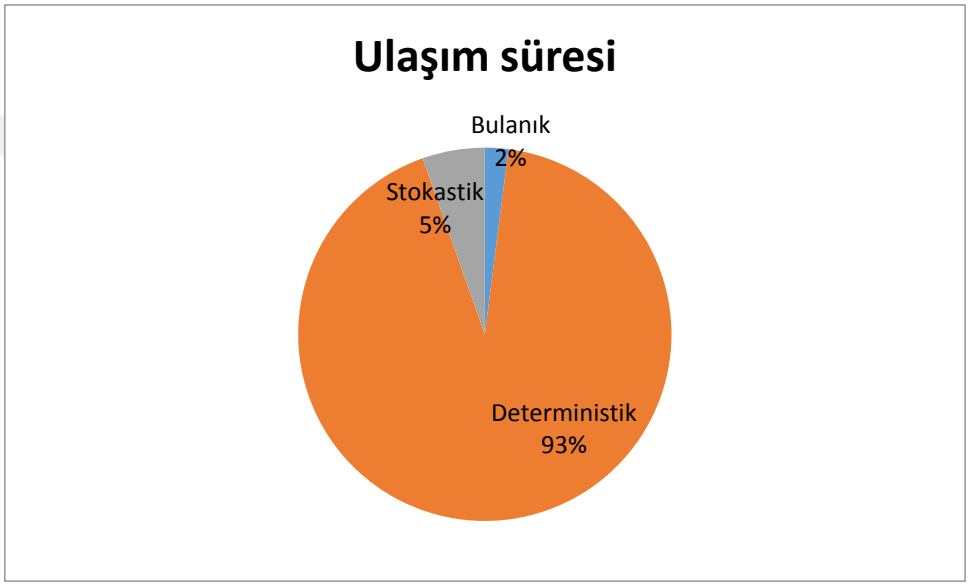
Şekil 1.3, müşteri taleplerinin belirlenmesinde tercih edilen durumları göstermektedir. Genellikle yapılan çalışmalarda taleplerin durumu deterministik olarak ele alınmıştır. Taleplerin deterministik ele alınması gerçek yaşamda pek fazla gerçek sonuçlar vermemekte olup bu durum yapılan çalışmalarda belirtilmektedir.



Şekil 1.3 Talep tahmininde kullanılan modeller ve dağılım oranları

Deterministik taleplerin daha fazla ağırlıkta olmasının en temel sebebi literatürde kullanılan veri setlerinin deterministik talep yapısında olmasından kaynaklanmaktadır. Bu açığı kapatmak amacı ile son yıllarda stokastik ve bulanık talep tahminleri kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle stokastik talep tahmini yapılan çalışmaların gerçek hayatta karşılaşılan durumları daha iyi yansıttığı ortaya çıkmaktadır [5]. Gelecek yıllarda özellikle stokastik talep tahmini olmak üzere bulanık talep tahmininde artış olması beklenmektedir.

Şekil 1.4, araçların ulaşım sürelerinin belirlenmesinde tercih edilen modelleri göstermektedir. Genellikle yapılan çalışmalarda ulaşım sürelerinin durumu deterministik olarak ele alınmıştır.



Şekil 1.4 Ulaşım süreleri için kullanılan modeller ve dağılım oranları

Ulaşım sürelerinin deterministik ele alınması gerçek yaşamda pek fazla gerçek sonuçlar vermemekte olup bu durum yapılan çalışmalarda belirtilmektedir. Deterministik ulaşım sürelerinin daha fazla ağırlıkta olmasının en temel sebebi literatürde kullanılan veri setlerinin deterministik ulaşım sürelerine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Bu açığı kapatmak amacı ile son yıllarda stokastik ve bulanık ulaşım süresi tahminleri kullanılmaya başlanmıştır [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18]. Özellikle stokastik ulaşım süresi tahmini yapılan çalışmaların gerçek hayatta karşılaşılan durumları daha iyi yansıttığı ortaya çıkmaktadır. Gelecek yıllarda özellikle stokastik ulaşım sürelerinin başta olmak üzere bulanık ulaşım sürelerinin kullanılmasında artış olması beklenmektedir.

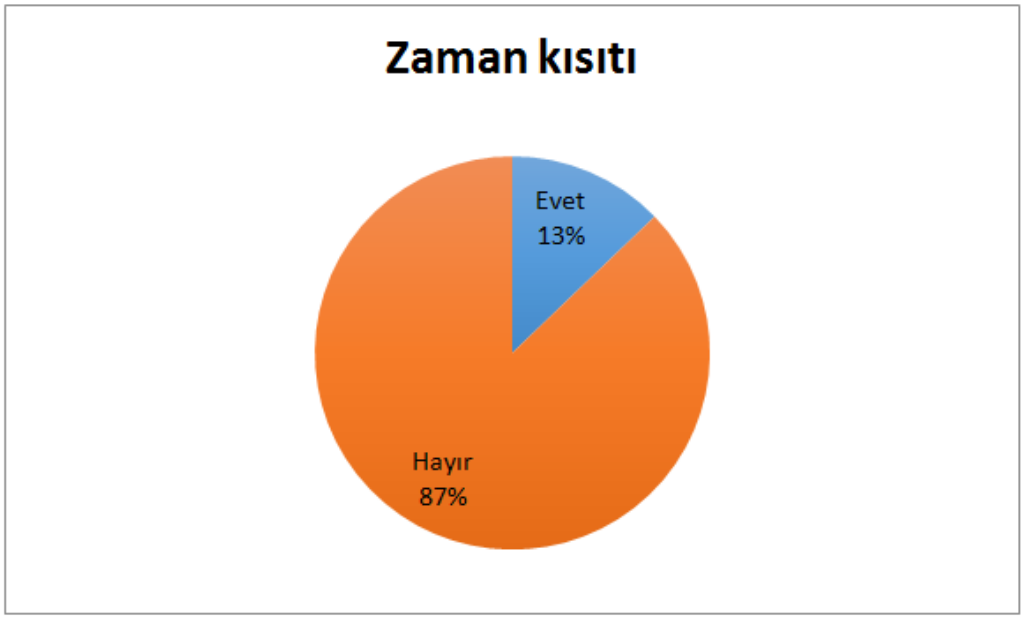
Şekil 1.5, yer seçimi ve rotalama problemlerinde kullanılan kapasite kısıtlı çalışmaların oranını göstermektedir. Yapılan çalışmaların hemen hemen tamamında araç ve depoların kapasite kısıtlı olduğu göz önüne alınmıştır.



Şekil 1.5 Çalışmalarda tercih edilen kapasite kısıtlı modellerin oranı

Gerçek hayatta karşılaşılan örneklerin tamamı kapasite kısıtlı olmasından dolayı, yapılan çalışmalarda genel itibari ile kapasite kısıtına sahiptir. Kapasite kısıtının olmadığı çalışmalar %3'lük bir orana sahiptir [19], [20], [21], [22].

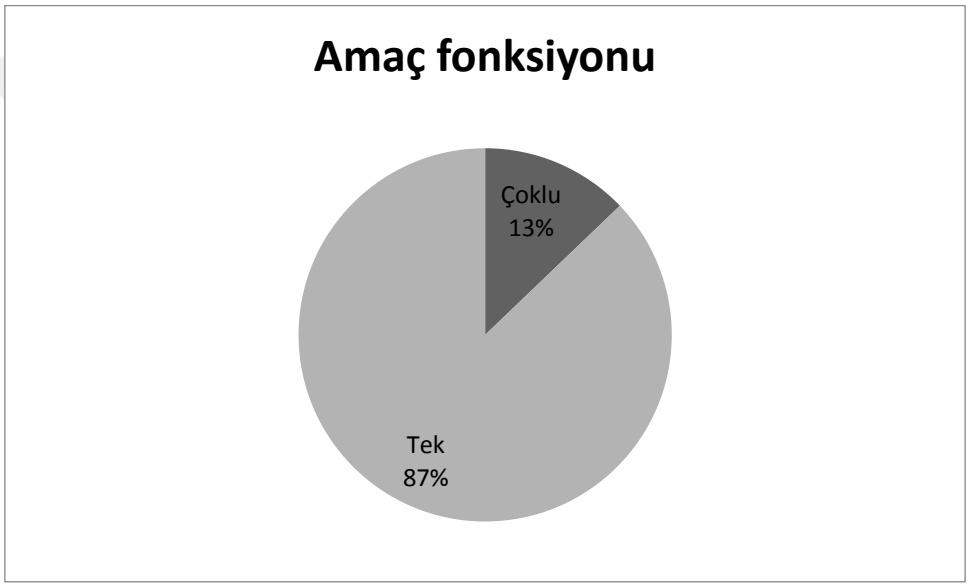
Şekil 1.6, yer seçimi ve rotalama problemlerinde zaman kısıtlı olan çalışmaların oranını göstermektedir. Yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğunda planlama ufku ya da zaman kısıtı problemlerde göz önüne alınmamıştır.



Şekil 1.6 Literatürde kullanılan zaman kısıtlı çalışma oranları

Bu durum hem yapılan çalışmaların bu problem tipine ait bazı alt dallarda etkili olmaması hem de bazı çalışmalarda göz ardı edilmesinden dolayı ortaya çıkmaktadır. Özellikle son yıllara bakıldığında zaman ufkunun, yer seçimi ve rotalama problemleri ile bir araya getirilmeye çalışıldığı görülmektedir [4], [7], [11], [13], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37]. Dolayısıyla, gelecek çalışmalarda zaman kısıtlı ya da zaman ufku barındıran çalışmaların artması beklenebilir.

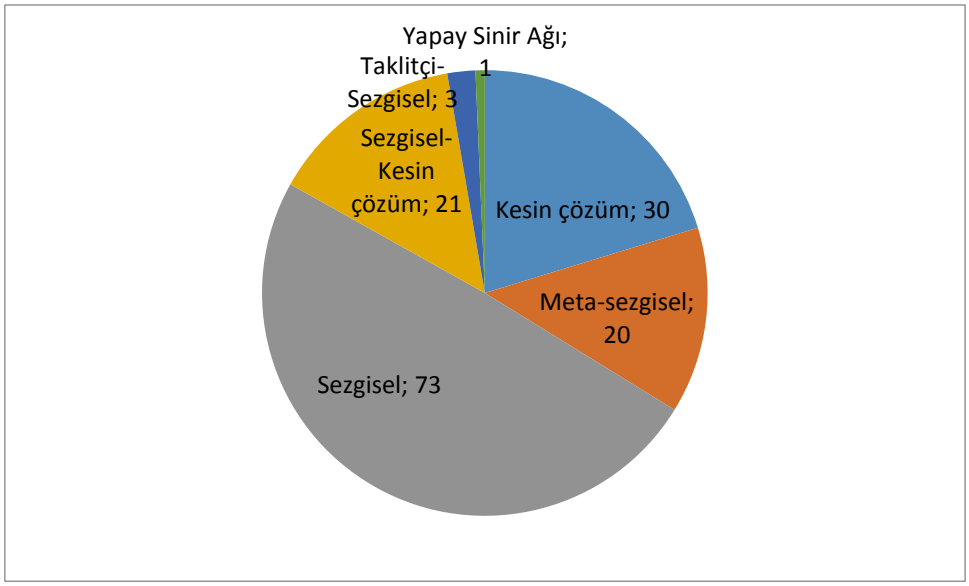
Şekil 1.7, yer seçimi ve rotalama probleminde tercih edilen amaç fonksiyonu çeşitlerini göstermektedir. Yer seçimi ve rotalama probleminde genellikle tek amaçlı matematiksel model kullanılmaktadır.



Şekil 1.7 YSARP'de tercih edilen amaç fonksiyonu çeşitleri

Kullanılan tek amaçlı fonksiyon ise çoğunlukla maliyetin minimize edilmeye çalışılmasını amaçlamaktadır. Çok amaçlı KKYSAR problemlerinde ulaştırma, depo ve araç maliyetlerinin minimize edilmesine ek olarak farklı amaçlar modele dahil edilmektedir [9], [11], [13], [29], [32], [37], [38], [39], [40], [41], [42], [43], [44], [45], [46], [47], [48], [49]. İlgilenilen amaç fonksiyonları arasında risk faktörü ve çevre güvenliği önde gelmektedir. Bu amaç fonksiyonlarının kullanıldığı alanlar genellikle yeşil tedarik zincirinde ya da tersine lojistik ağında karşımıza çıkmaktadır.

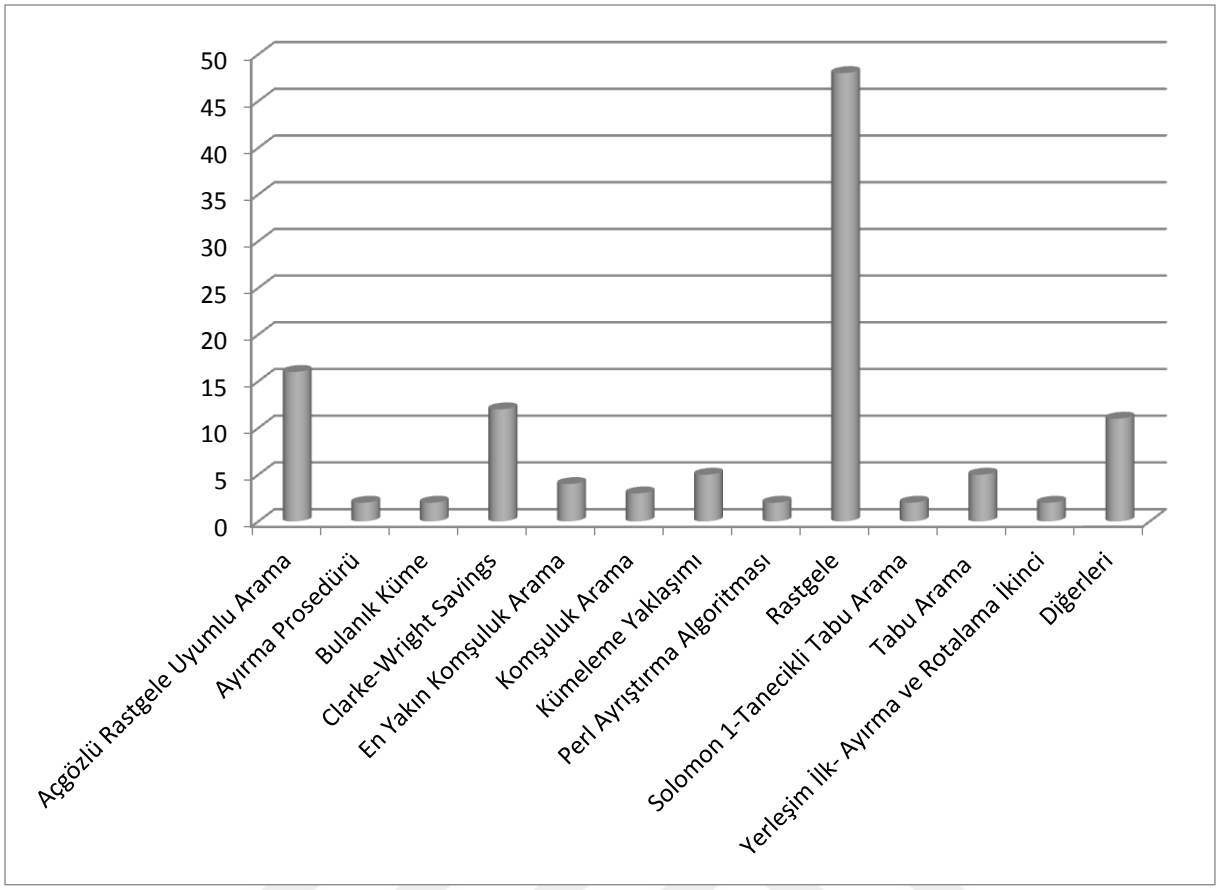
Şekil 1.8, yer seçimi ve rotalama probleminde tercih edilen çözüm metotlarının dağılımı göstermektedir.



Şekil 1.8 YSARP'de tercih edilen çözüm metotları

Yer seçimi ve rotalama problemlerinde ağırlıklı olarak sezgisel yöntemler tercih edilmektedir [50], [51], [52], [53], [54], [55], [56], [57], [58], [59], [60], [61], [62], [63], [64], [65], [66], [67], [68], [69], [70], [71], [72], [73], [74], [75], [76], [77], [78], [79], [80], [81], [82], [83], [84], [85], [86], [87], [88], [89], [90], [91], [92], [93], [94], [95]. Bunun en önemli sebeplerinden biri problem boyutunun çok büyük olmasıdır. Eğer, problem boyutu küçük ya da orta ölçekli olursa kesin çözüm veren yöntemler CPLEX algoritması, dal-sınır algoritması ya da hedef programlama ile çözülmeye çalışılmaktadır [96]. Problem boyutu büyük olan problemlerde sezgisellerin meta sezgisellere göre daha fazla tercih edilmesi durumu Şekil 1.8'de görülmektedir. Bu durumun temel sebebi aslında, yer seçimi ve rotalama problemleri çok sabit bir problem yapısına sahip değildir ve bu durum meta sezgiselleri bir adım geriye atmaktadır. Ayrıca, yapılan çalışmaların bazılarında hem kesin çözüm veren hem de sezgisel yöntemler kullanılmıştır [97], [98], [99], [100]. Böyle olan çalışmalarda [101] , [102], [103], [104], [105], [106], [107], [108], [109], [110], [111], [112], [113], [114], [115], [116], [117], [118] , küçük ve orta ölçekli problemler kesin çözüm veren yöntemler ile çözülürken, büyük ölçekli problemleri kesin çözüm veren yöntemler ile çözmek neredeyse olanaksız olduğundan sezgisel ya da meta sezgisel yöntemlere başvurulmaktadır.

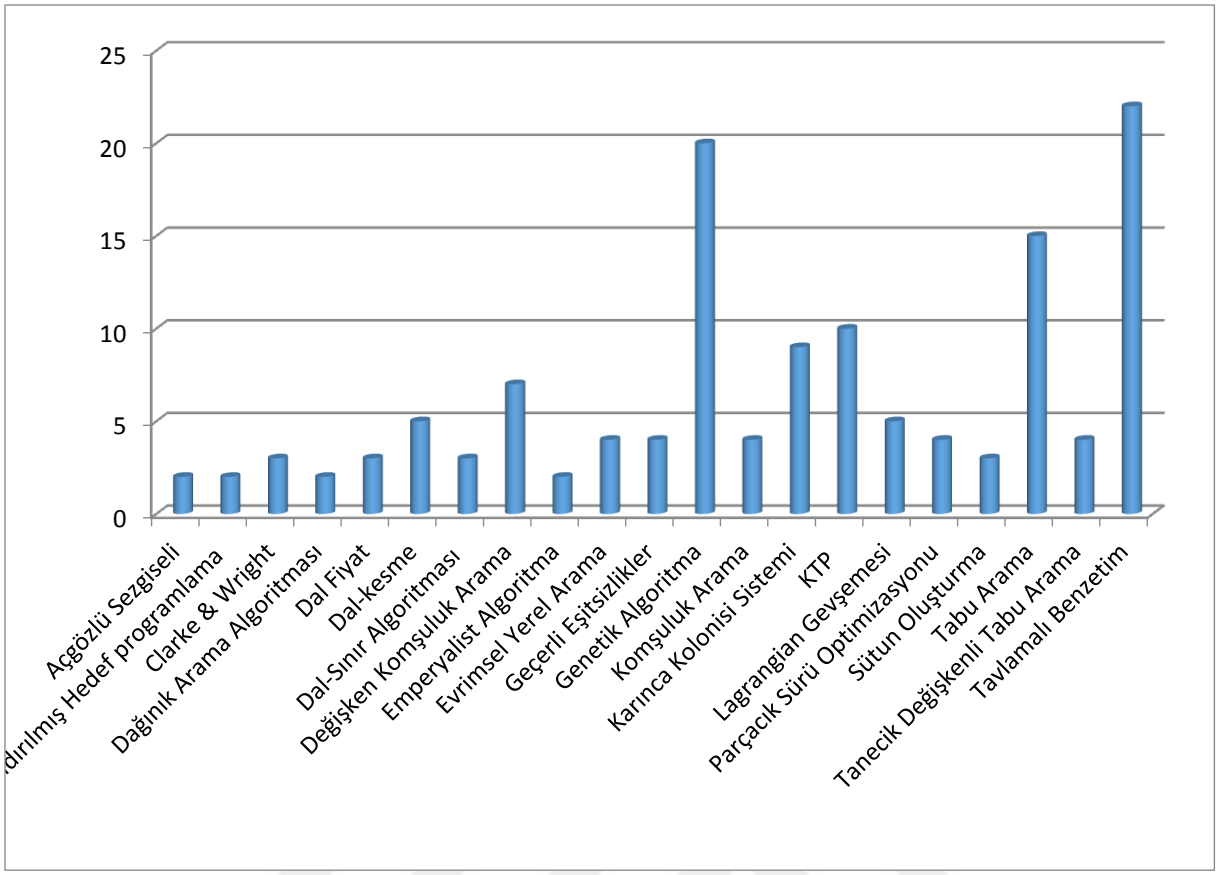
Şekil 1.9, yer seçimi ve rotalama probleminde tercih edilen başlangıç çözümlerinin dağılımını göstermektedir.



Şekil 1.9 YSARP'de tercih edilen başlangıç çözümlerinin dağılımı

Başlangıç çözümleri, sezgisel [119] ya da meta sezgisel [120], [121], [122], [123] , [124], [125], [126], [127], [128], [129], [130], [131], [132], [133], [134]yöntemler ile çözüm araması yapılırken ilk aşamada gerekli çözüm havuzu sağlamaktadır. Bu çözüm havuzu uygun çözümleri barındırmakta olup, uygun çözümler üzerinde bir sonraki aşamada en iyi çözüme ulaşma çalışmaları yapılmaktadır. Başlangıç çözümlerinin oluşturulması aşamasında, ağırlıklı olarak rastgele arama [135], [136], [137], [138] yapılarak havuz oluşturulur. Fakat bazı çalışmalarda daha makul çözüm havuzları elde etmek amacıyla Açgözlü rastgele uyumlu arama ve Clarke&Wright savings yöntemleri daha fazla kullanmaktadır. Bu iki algoritmanın ardından, kümeleme ve tabu arama algoritmalarından da faydalanılmaktadır. Kesin çözüm ile problem çözülürken başlangıç çözümleri oluşturulması yapılmaz.

Şekil 1.10, yer seçimi ve rotalama probleminde tercih edilen detaylı çözüm yöntemlerinin dağılımını göstermektedir. Sezgisel ve meta sezgisel yöntemlerin daha ağırlıkta olduğunu belirtmiştik (Şekil 1.8).



Şekil 1.10 YSARP'de tercih edilen detaylı çözüm yöntemlerinin dağılımı

Tavlamalı benzetim, GA ve Tabu arama yönteminin diğer yöntemlere kıyasla daha fazla kullanıldığı Şekil 1.10'da görülmektedir. Karınca kolonisi ve değişken komşuluk arama algoritmaları diğer ilk 3 algoritmayı takip etmektedir. Bu algoritmaların bu kadar çok uygulanması aslında her zaman çok iyi çözümler vermesinden kaynaklanmamaktadır. Yapılan çalışmaların çoğunda diğer farklı algoritmalar ile çalışmalar yapılarak bu algoritmalardan elde edilen sonuçlar ile değerlendirilmesi gelecek çalışma olarak sunulmaktadır. Bu gelecek algoritma çalışmaları arasında emperyalist algoritma ve arı algoritması kendine yer bulmaya başlamaktadır. Fakat akıllı su damlacığı, parlamenter optimizasyon algoritması ve yarasa algoritmaları gibi algoritmalar henüz yer bulmamıştır. Diğer bir çözüm yöntemi olan kesin çözüm veren yöntemlerde uygulanmaktadır. Karışık tam sayılı programlama, Lagrangian gevşemesi, dal-kesme ve dal-fiyat yöntemleri kesin çözüm veren algoritmalar arasında uygulanmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Günlük hayatta firmalar arasındaki rekabet sürekli artmakta, tüketim bilincinin artması ve kaynakların azalması nedeniyle firmaların ayakta kalabilmeleri için kaynakları verimli bir şekilde kullanarak, mal ve hizmeti kaliteli ve ucuz bir şekilde üretmeleri gerekmektedir. Tesis yerleşim yerini belirlenmesi en önemli sorunların başında gelmektedir. Çünkü tesis kurma işlemleri yüksek maliyetlere sahiptir ve kurulan tesisler uzun yıllar boyunca değişmemektedir. Yer seçiminin ve yerleşiminin belirlenmesinin ardından bekleyen en büyük sorun araç rotalama problemidir. Bu sorunlar üzerinde iyileştirme yapmak amacıyla talep miktarlarının belirsiz olduğu ve kapasite kısıtının bulunduğu tesis yerleşim ve araç rotalama problemlerinde mevcut uygulanmış algoritmaların daha iyi çözümler sunması amacıyla iyileştirilmesi ya da bu problem tipinde kullanılmamış farklı sezgisel yöntemlerin uygulanması amaçlanmaktadır.

Literatürde YSARP için etkin çözümler elde edilmeye çalışılırken, ağırlıklı olarak özel olarak tanımlanan komşuluk yapılarına benzer arama yöntemleri uygulanmıştır. Fakat belirli noktalara kadar iyi çözümler elde ettikten sonra yerel minimum noktalarına takılmış ve daha fazla iyileştirme sunamamıştır. Özel tanımlanan komşuluk yapılarının daha kapsamlı bir hali olan DKA algoritması daha etkin çözümler elde edilmesi için tercih edilmiştir. Ayrıca yerel minimum noktalarına takılıp kalmaması için EYA algoritması ile hibritlenerek daha iyi çözümlerin elde edilmesi beklenmektedir. DKA ve EYA algoritmaları hibritlenerek DKAxEYA algoritması denilmiş ve literatürde var olan veri setleri üzerinde yürütülmüştür. Hibrit sezgisel DKAxEYA algoritması özellikle kapasite ve araç kısıtı bulunan veri setleri üzerinde yürütüldüğünde literatürde mevcut olan etkili çözüm veren diğer sezgisel yöntemlerden daha iyi olan iki yeni sonuç ortaya koymaktadır. Ayrıca diğer veri setleri üzerinde yürütüldüğünde, ortalama fark ve süre olarak da oldukça iyi sonuçlar sunmaktadır. Elde edilen sonuçlar, DKAxEYA algoritması içerisinde arama yapan komşuluk sırasının ve saptırma metotlarının etkili sonuçlar elde edilmesinde son derece önemli olduğu ortaya koymaktadır.

1.3 Hipotez

Literatürde mevcut olan DKA algoritmasının yine literatürde bilinen yer seçimi ve araç rotalama problemi veri setlerine uygulanması pek etkin çözümler sunmamaktadır. Yer seçimi ve araç rotalama problemi kapsamında, DKA algoritmasının EYA algoritması ile melezlenmesi

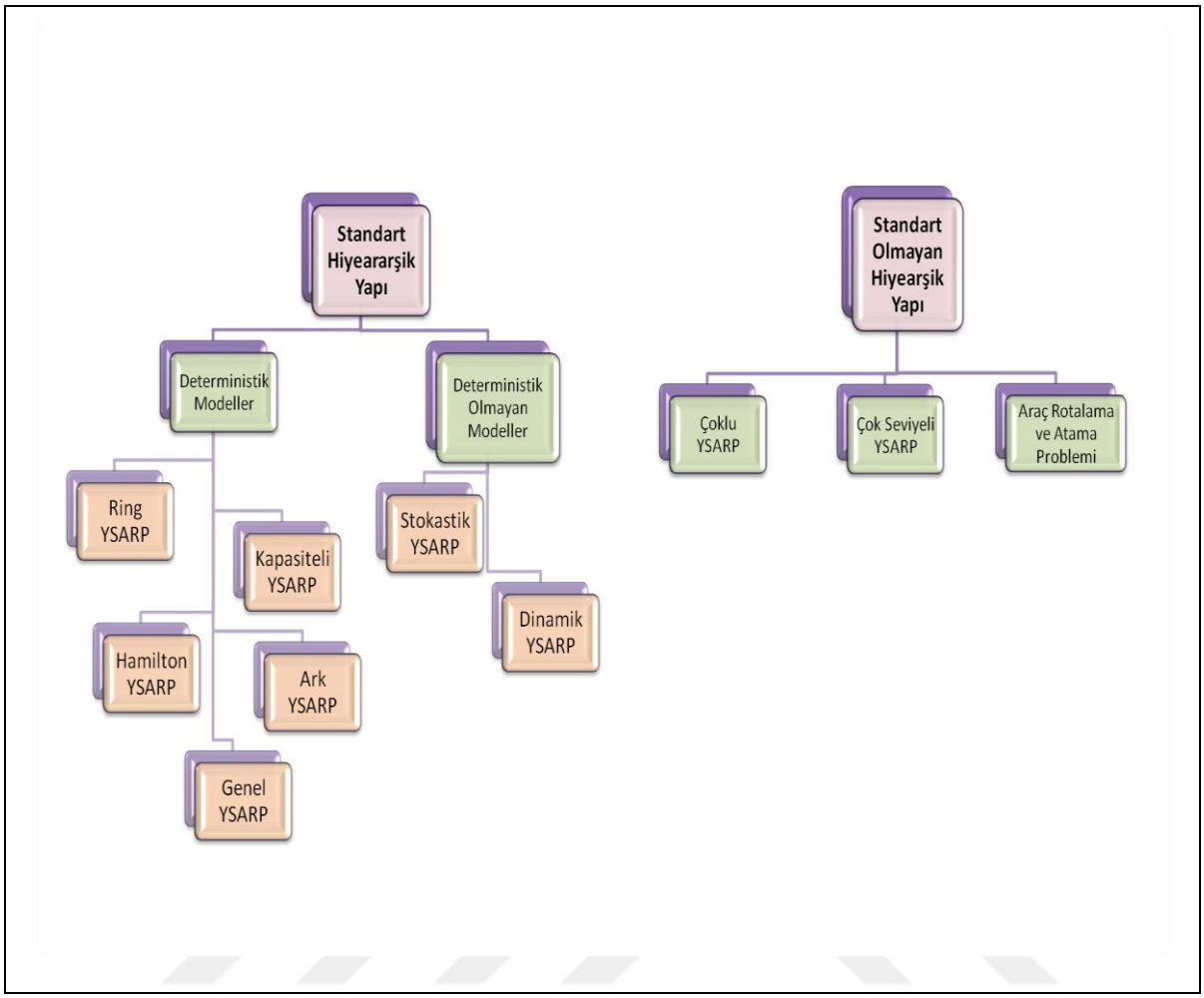
sonucu literatürde mevcut olan veri setlerinde daha etkin çözümlerin bulunması amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

YER SEÇİMİ VE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ TİPLERİ

Yer seçimi ve araç rotalama problemi (YSARP), genellikle potensiyel depo yerlerinin belirlenmesinin ardından müşteriler ve depolar arasında optimal araç rotalama yapılmasını amaçlayan bir problem tipidir. Bu problem tipinde depolar, müşteriler, araçlar ve ürünler farklı karakteristik özelliklere sahip olabilmektedir. Depolar sayı (maksimum ve sabit), kapasite (kısıtlı ve kısıtsız), tip (homojen ve heterojen), maliyet (sabit ve değişken) ve aday yer (sonlu ve sonsuz) şeklinde farklı özellikler barındırmaktadır. Müşteriler operasyon tipi (sadece teslimat, sadece toplama ve hem teslimat hem de toplama), talep yapısı (deterministik, stokastik ve bulanık), lokasyon (düğüm ve kenar bazlı) ve servis çizelgesi (sabit zamanlı, zaman pencereli ve periyodik) şeklinde farklı özellikler barındırmaktadır. Araçlar depo başına araç sayısı (birden fazla ve tek), tip (homojen ve heterojen), kapasite (kısıtlı ve kısıtsız), maliyet (sabit ve değişken) ve atanan rota sayısı (tek ve birden fazla) şeklinde farklı özellikler barındırmaktadır. Ayrıca, ürünler sayı (tek ve birden fazla) ve karakteristik (tehlike madde içeren ve içermeyen) açısından da farklı özellikler içermektedir.

Yer seçimi ve araç rotalama probleminin birçok çeşidi bulunmaktadır. Şekil 2.1, yer seçimi ve araç rotalama problemi için geçerli olan hiyerarşik yapıyı göstermektedir.



Şekil 2.1 Yer seçimi ve rotalama problemi için hiyerarşik sınıflandırma

2.1 Kapasite Kısıtlı Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi

KKYSAR problemi, açılması muhtemel bir takım tesis yerinin seçilmesi ve müşterilerin rotalanması işlemini aynı anda optimize etmeye çalışmaktadır. Problemin çözümü sırasında açılması muhtemel tesislerin kapasiteleri göz önüne alınarak değerlendirme yapılmaktadır. Tesis kapasitelerine ek olarak araç kapasiteleri de son derece önemlidir. Bu problem tipinde rotalama maliyetleri ve seçilen tesise ait sabit maliyetlerin toplamı en aza indirgenmeye çalışılmaktadır [139]. Literatür detaylı bir şekilde incelendiğinde, bu problem tipi üzerine yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda bu problem tipi için birçok algoritma geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Ayrıca, geliştirilen algoritmaların test edilmesi aşamasında, literatürde çok sık şekilde kullanılan bazı veri setleri bulunmaktadır. Bu veri setleri Prodhon, Barreto ve Tuzun Burke'nin hazırlamış olduğu verilerden meydana gelmektedir. Yukarıda belirtilen veri setleri homojen filo kapasitelerinden meydana gelmektedir. Tez kapsamında

temel çalışma alanımız KKYSAR problemi olmuştur. Bu problem üzerine iki farklı örnek olayın çözümü önerdiğimiz hibrit algoritma ile gerçekleştirilmiştir.

2.2 Aksama Problemi

Aksama problemleri yer seçimi ve araç rotalama problemlerinde rastgele olarak meydana gelebilmektedir. Yer seçimi ve araç rotalama problemlerinde genel olarak karşılaşılan problem, taşıma süreci belirli prosedürlere bağlı olan tehlike ürünlerin taşınmasıdır. Tehlikeli ürünlerin taşınması beklenen ve belirli şatlara bağlı olarak çözülebilecek bir durumdur [140]. Fakat doğa olayı ve terörist saldırısı gibi ani gelişen durumlar da nadirde olsa meydana gelebilmektedir. Bu gibi durumların ortaya çıkması firmalar için çok ciddi anlamda maliyete yol açmaktadır. Bu gibi nedenlerden dolayı, rota üzerinde karşılaşılabilecek istenmeyen durumlar göz önüne alınarak rotalama yapılmaktadır.

2.3 Dinamik Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi

Dinamik yer seçimi ve araç rotalama problemi zaman içerisinde ortaya çıkan yeni amaç fonksiyonuna adapte olmak için uygulanmaktadır. Gerçek hayatta, amaç fonksiyonu çevresel faktörlerden ya da firmanın kendi politikası çerçevesinde değişime uğrayabilmektedir. Önemli olan bu değişime çok kısa süre uyum sağlamaktır. Çünkü kısa sürede uyum sağlanamaması firmanın çok ciddi boyutlarda kayıplar ile karşılaşmasına neden olabilmektedir. Bu problem tipinde daha esnek çözümler üretecek ve belirsizlik durumları ile baş edebilecek modellerin geliştirilmesi amaçlanmaktadır [74].

2.4 Stok Yönetimli Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi

Envanter yönetimi son derece önemli bir operasyonel karar sürecidir ve genellikle müşteri hizmetini iyileştirme ve maliyetleri azaltma araçlarından biri olarak değerlendirilmektedir [3]. Stok yönetimli yer seçimi ve araç rotalama probleminde, temel yer seçimi ve araç rotalama problemine ek olarak stok yönetimi de göz önüne alınmaktadır. Problemde ideal stok seviyesi belirlenmeye çalışılır. Belirlenen stok seviyesi, seçilmesi muhtemel tesis yerlerinin kapasite kısıtına göre değerlendirilir. İlerleyen süreçte kapasite yetersizliği ile karşı kaşıya kalınması önlenmiş olur. Çünkü tesis yatırımı son derece ağır maliyet getirmekte ve kısa sürede yetersiz kalması firmalar açısından son derece yıpratıcı etkiye sahip olabilmektedir.

2.5 Belirsizlik Altında Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi

Gerçek hayatta talep ya da ulaşım süreleri çoğu zaman sabit değildir. Bu durum hem dağıtım firmalarının hem de müşterilerin maliyet olarak kayıplarına yol açabilmektedir. Bu maliyetlerin önüne geçebilmek için stokastik, bulanık ya da yapay sinir ağlarının kullanıldığı modeller geliştirilmekte ve uygulanmaktadır. Uygulanan modeller içerisinde ağırlıklı olarak stokastik modeller kullanılmıştır. Stokastik modellerde talepler ya da seyahat süreleri stokastik olarak değerlendirilmektedir. Bu problem tipi genellikle iki aşamada çözülmektedir. Birinci aşamada yer seçimi yapılırken, ikinci aşamada müşterilerin rotalanması gerçekleştirilir [72].

Bulanık mantık ve yapay sinir ağlarının uygulandığı modeller stokastik modellere göre oldukça azdır. Bulanık mantık, KKYSAR problemlerinde taleplerin ya da ulaşım sürelerinin bulanık olarak değerlendirilmesi ile uygulanmaktadır. Problemde, üçgensel bulanık üyelik fonksiyonu kullanılmaktadır. Yapay sinir ağlarının kullanıldığı uygulamalarda, gelecek dönemlere ait talep tahminleri yapılır ve bu tahminler ölçüsünde yer seçimi ve araç rotalama yapılmaktadır.

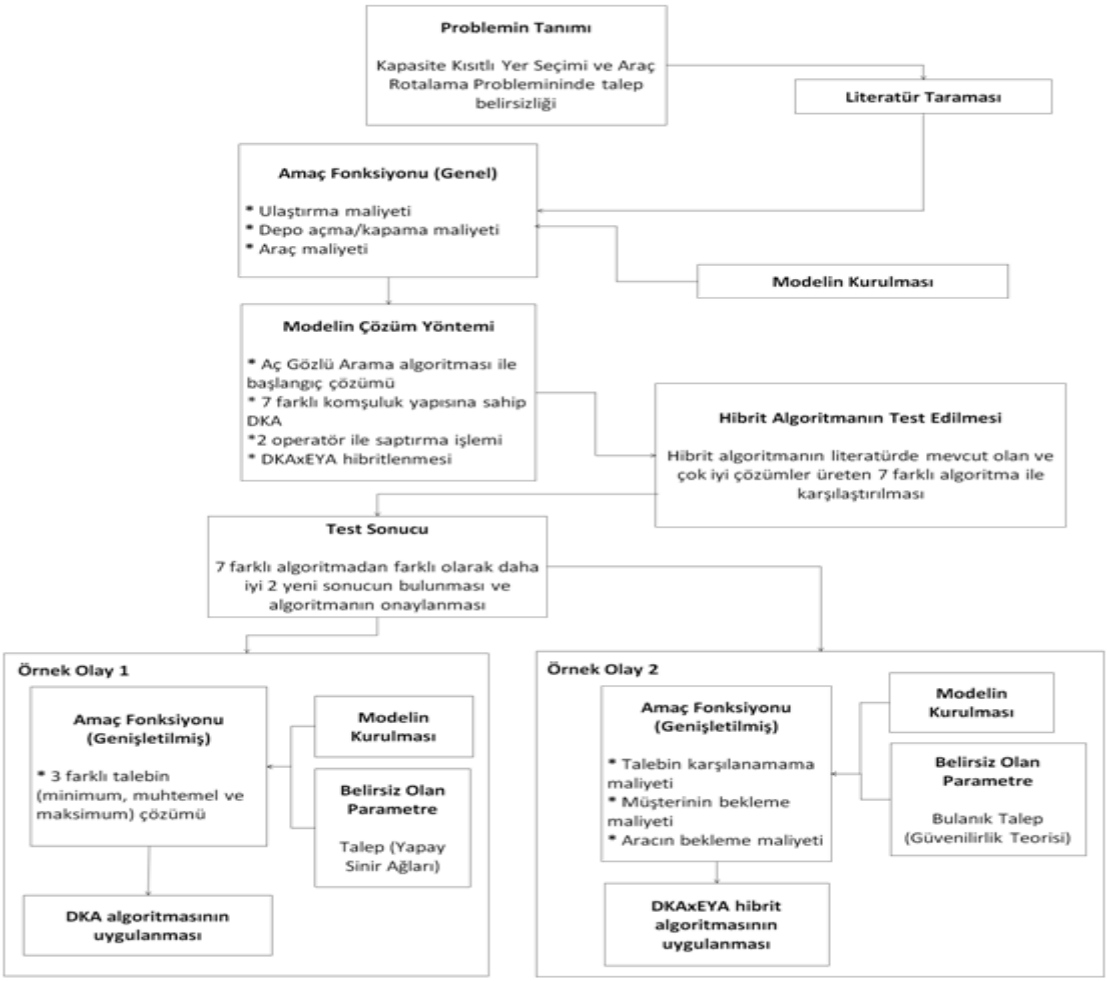
2.6 Zaman Pencereli Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi

Günümüzde KKYSAR problemlerinde zaman son derece önemlidir. Zamanında müşteri siparişlerinin yetiştirilmesi teslim edecek firmalar açısından çok kritik bir konudur. Zamanında teslimat olmaması alıcı konumunda olan müşteriye tazminat ödenmesine kadar varabilmektedir. Bundan dolayı teslimat sürelerinin çok iyi bir şekilde planlanması gerekmektedir. Burada yapılan çalışmalarda teslimat için verilen zaman aralığının çoğunluğu deterministik olarak alınmaktadır. Fakat son yıllarda bu çalışmalarda deterministik teslimat süreleri yerini stokastik başta olmak üzere bulanık taleplere bırakmaktadır.

BÖLÜM 3

BELİRSİZLİK ALTINDA KAPASİTE KISITLI YER SEÇİMİ VE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

Şekil 3.1 belirsizlik altında KKYSARP modelinin sürecini göstermektedir.



Şekil 3.1 Belirsizlik altında KKYSARP modelinin süreci

Tez kapsamında ele alınan problemin tanımı yapıldıktan sonra detaylı bir literatür araştırması yapılmıştır. KKYSARP'nin en genel matematiksel modeli sunulmuştur. DKAxEYA hibrit algoritması bu modele uygulanmış ve literatürde mevcut olan test setleri üzerinden diğer sezgisel yöntemler ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu elde edilen bulgular neticesinde hibrit algoritmanın etkili olduğu ortaya konmuştur. Algoritmanın onaylanması ile iki farklı örnek olay üzerinden belirsizlik altında KKYSARP için çözüm geliştirilmiş ve detayları ile sunulmuştur.

3.1 Kapasite Kısıtlı Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi ve Matematiksel Modeli

KKYSAR problemine ait matematiksel model aşağıda gösterilmektedir. i ve j herhangi bir müşteri ve k herhangi bir depo olsun.

Çizelge 3.1, KKYSAR probleminin matematiksel modelinin oluşturulmasında kullanılan parametreleri göstermektedir.

Çizelge 3.1 Modelde kullanılan parametreler

Notasyon	Açıklama
N_c	Müşteriler setleri
N_d	Depo setleri
N	Tüm setler
c_{ij}	İki düğüm arasındaki taşıma maliyeti
d_i	i.müşterinin talebi
AK	Araç kapasitesi
VC	Aracın sabit maliyeti (Her rota için)
dk_k	k.depo için kapasite miktarı
O_k	k.depoyu açma maliyeti

Çizelge 3.2, KKYSAR probleminin matematiksel modelinde bulunmak istenen değişkenleri göstermektedir.

Çizelge 3.2 Modelde kullanılan değişkenler

Notasyon	Açıklama
x_{ij}	i.müşteriden j.müşteriye rota seçilirse 1, diğer durumda 0
z_{ik}	i.müşteri k.depodan hizmet alırsa 1, diğer durumda 0
y_k	k. deponun açılması durumunda 1, diğer durumda 0
u_{ij}	i.müşteriden j.müşteriye gidilirken dağıtımı yapılacak ürün miktarı

(3.1) eşitliği toplam depo kurulum, araç kullanım ve taşıma maliyetini en küçüklemektedir.

$$TC = Min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{ij} x_{ij} + \sum_{k \in N_d} O_k y_k + \sum_{k \in N_d} \sum_{i \in N_c} VC x_{ki} \quad (3.1)$$

(3.2) kısıtında tüm müşterilerin hizmet alması sağlanmaktadır. Bu kısıt sayesinde müşteri hizmet aldıktan sonra dağıtım yapan araç ya bir sonraki müşteriye hizmet götürecektir ya da başladığı depoya geri dönecektir.

$$\sum_{j \in N} x_{ij} = 1 \qquad \forall i \in N_c \quad (3.2)$$

(3.3) kısıtında bütün müşteri ve depo düğümlere giren ve çıkan hat sayısı birbirine eşitlenmektedir.

$$\sum_{j \in N} x_{ji} = \sum_{j \in N} x_{ij} \qquad \forall i \in N \quad (3.3)$$

(3.4) kısıtı her müşterinin mutlaka bir depodan hizmet almasını garantilemektedir.

$$\sum_{k \in N_d} z_{ik} = 1 \qquad \forall i \in N_c \quad (3.4)$$

(3.5), (3.6) ve (3.7) eşitlikleri bir rotanın başladığı depoda sonlanmasını sağlamaktadır.

$$x_{ik} \leq z_{ik} \qquad \forall i \in N_c, \forall k \in N_d \quad (3.5)$$

(3.5) eşitliği rota üzerinde bulunan son müşterinin gireceği deponun açılmış olmasını sağlamaktadır.

$$x_{ki} \leq z_{ik} \qquad \forall i \in N_c, \forall k \in N_d \quad (3.6)$$

(3.6) eşitliği üzerinde bulunan ilk müşterinin çıkış yaptığı deponun açılmış olmasını sağlamaktadır.

$$x_{ij} + z_{ik} + \sum_{m \in N_d, m \neq k} z_{jm} \leq 2 \qquad \forall i, j \in N_c, i \neq j, \forall k \in N_d \quad (3.7)$$

(3.7) eşitliği rota üzerinde birbirine bağlı iki müşterinin farklı depolara atanmasını engellemektedir.

$$\sum_{k \in N_d} d_i z_{ik} \leq dk_k y_k \qquad \forall k \in N_d \quad (3.8)$$

(3.8) eşitliği depolara atanan müşterilerin toplam dağıtım taleplerinin depo kapasitesinden küçük olmasını sağlamaktadır. İlgili deponun rotalarına atanmış olan müşterilerin hizmet talep miktarı ilgili deponun kapasitesini aşamayacaktır.

$$\sum_{j \in N} u_{ji} - \sum_{j \in N} u_{ij} = d_i \qquad \forall i \in N_c \qquad (3.9)$$

(3.9) eşitliği i. müşterinin hizmet miktarının tek seferde karşılanmasını sağlamakta ve bir düğümden bir sonraki düğüme giderken taşınan ya da karşılanan hizmet miktarını belirlemektedir.

$$\sum_{j \in N_c} u_{kj} = \sum_{j \in N_c} z_{jk} d_j \qquad \forall k \in N_d \qquad (3.10)$$

(3.10) eşitliği açılmış bir depoya atanmış olan müşteri taleplerinin toplamını, depodan dağıtıma çıkan toplam talep miktarına eşitlemektedir.

$$\sum_{j \in N_c} u_{jk} = 0 \qquad \forall k \in N_d \qquad (3.11)$$

(3.11) eşitliği depoya dönen dağıtım taleplerini rota sonunda bütün dağıtım taleplerinin dağıtılmış olacağından "0"a eşitlemektedir. Daha açık bir şekilde, deponun bir talebi olmadığından "0"a eşitlemektedir.

$$u_{ij} \leq (AK - d_i) x_{ij} \qquad \forall i \in N_c, \forall j \in N \qquad (3.12)$$

$$u_{ij} \geq d_j x_{ij} \qquad \forall i \in N, \forall j \in N_c \qquad (3.13)$$

(3.12) ve (3.13) eşitliği u karar değişkenin alt ve üst sınırlarını belirleyen kısıtlardır.

$$x_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall i, j \in N \qquad (3.14)$$

$$z_{ik} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in N_c, \forall k \in N_d \qquad (3.15)$$

$$y_k \in \{0,1\} \qquad \forall k \in N_d \qquad (3.16)$$

(3.14), (3.15) ve (3.16) kısıtları ise kullanılan değişkenlerin ikili değişken olduğunu göstermektedir.

3.2 Kapasite Kısıtlı Yer Seçimi ve Araç Rotalama Probleminde Belirsizlik Durumları

Yukarıda modeli verilen KKYSAR probleminin en temel halidir. Belirtilen modelde depo, araç ve ulaştırma maliyetinin göz önüne alındığı en genel durumdur. Fakat gerçek hayatta talep ya da ulaşım süreleri çoğu zaman sabit değildir. Bu durum hem dağıtım firmalarının hem de müşterilerin maliyet olarak kayıplarına yol açabilmektedir. Bu maliyetlerin önüne geçebilmek için stokastik, bulanık ya da yapay sinir ağlarının kullanıldığı modeller geliştirilmekte ve uygulanmaktadır. Uygulanan modeller içerisinde ağırlıklı olarak stokastik modeller kullanılmıştır. Bulanık ve yapay sinir ağlarının [141] uygulandığı modeller stokastik modellere göre oldukça azdır. Bu çalışma kapsamında bulanık ve yapay sinir ağlarının kullanıldığı modeller ele alınmış ve ileri ki bölümlerde ele alınan örnek olaylara uygulanmıştır. Bu bölümde sadece bulanık modelin detayları verilecek, yapay sinir ağları olan model ise örnek olay içerisinde ele alınacaktır.

Uygulanan bulanık modelde müşteri talepleri bulanık olarak ele alınmıştır. Stokastik talep yerine bulanık talep metodunun seçilmesindeki en temel sebep daha kısa sürede çözüm elde edilmesidir. Ayrıca, bulanık taleplerin seçilmesi güvenilirlik teorisi ile farklı çözüm uzaylarında etkin arama imkanı sunmaktadır. Talebin bulanık olarak ele alınması yeni bir maliyet ortaya çıkarmaktadır. Eğer müşteri ürün teslimi sırasında daha fazla ürün talep eder ve karşılanamazsa bir kayıp ortaya çıkacaktır. Böyle bir durumun olmaması için amaç fonksiyonuna yeni bir maliyet unsuru eklenmiştir.

Güvenilirlik teorisi, önceden belirlenen güvenilirlik oranı ile teorik denklemden elde edilen oranı karşılaştırır. Karşılaştırma sonucu teorik denklemden elde edilen değer kullanıcı tarafından önceden belirlenen değerden büyük olursa güvenilirlik oranı hesaplanan müşterinin talebi rotaya eklenir. Eğer küçük gelirse rotaya dahil edilmez. Güvenilirlik teorisinin temel mantığı eğer herhangi bir müşteri bulanık talebinin en küçük değeri maksimum kalan araç kapasitesinden büyükse hiçbir şekilde o müşteriyi rotaya dahil etmemek ya da müşteri bulanık talebinin en büyük değeri minimum kalan araç kapasitesinden küçükse kesinlikle rota dahil edilmesidir. Bunun arasında kalan değerler için 0 ile 1 arasında elde edilen değerlerin önceden belirlenen güvenilirlik oranından büyük ya da küçük olması belirler.

Bir sonraki müşteri talebinin, k. aracın kalan kapasitesini (VCR_k) aşmaması için güvenilirlik oranı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. $VCR_k = \{VCR_{1,k}, VCR_{2,k}, VCR_{3,k}\}$ üçgensel bulanık

üyelik fonksiyonuna sahip olsun. d_i $i.$ müşterinin deterministik talebi olmak üzere, $d_i = \{d_{1,i}, d_{2,i}, d_{3,i}\}$ üçgensel bulanık üyelik fonksiyonuna sahip olsun. Denklem (3.17) hesaplanan güvenilirlik oranı ölçüsünde araç kapasitesinin aşılmasını önlemeye çalışmaktadır.

$$Cr\left(\sum_{i=1}^{i=n} d_i \leq VC\right) \geq CrV \tag{3.17}$$

Denklem (3.18) hesaplanan güvenilirlik oranı ölçüsünde depo kapasitesinin aşılmasını önlemeye çalışmaktadır.

$$Cr\left(\sum_{i=1}^{i=m} d_i \leq DC\right) \geq CrD \tag{3.18}$$

Eğer araç ya da depo kapasitesi için hesaplanan güvenilirlik oranı önceden belirlenen güvenilirlik seviyesinden büyükse kısıt sağlanmış olacağından Denklem (3.19) hesaplanabilir. Denklem (3.19) geri kalan araç kapasitesi için tanımlanmıştır. Bu denklemde, araç kapasitesine göre açılım yapılmıştır. Eğer VCR_k yerine, kalan depo kapasitesi DCR_k yerleştirilirse denklem (3.18) için güvenilirlik oranı hesaplanmış olur [7]. Örnek olarak, önceden belirlenen güvenilirlik oranı CrV ve CrD 0.8 değerine eşit olsun. Daha sonra teorik Cr hem araç ham de depo için hesaplanır ve önceden belirlenen güvenilirlik oranı ile karşılaştırılır. Karşılaştırma sonucu teorik denklemden (Denklem (3.19)) elde edilen değer kullanıcı tarafından önceden belirlenen değerden büyük olursa güvenirlirlik oranı hesaplanan müşterinin talebi rotaya eklenir. Eğer küçük gelirse rotaya dahil edilmez.

$$Cr\{d_{i+1} \leq VCR_k\} = \begin{cases} 0 & Eğer\ d_{1,i+1} \geq VCR_{3,k} \\ \dfrac{VCR_{3,k} - d_{1,i+1}}{2 * (VCR_{3,k} - d_{1,i+1} + d_{2,i+1} - VCR_{2,k})} & Eğer\ d_{1,i+1} \leq VCR_{3,k}, d_{2,i+1} \geq VCR_{2,k} \\ \dfrac{d_{3,i+1} - VCR_{1,k} - 2*(d_{2,i+1} - VCR_{2,k})}{2 * (VCR_{2,k} - d_{2,i+1} + d_{3,i+1} - VCR_{1,k})} & Eğer\ d_{2,i+1 \leq VCR_{2,k}, d_{3,i+1} \geq VCR_{1,k}} \\ 1 & Eğer\ d_{3,i+1} \leq VCR_{1,k} \end{cases} \tag{3.19}$$

Yukarıda belirtilen denklemlere göre ataması yapılan ($Cr \geq VCR_k\ ya\ da\ Cr \geq DCR_k$ olduğunda) bir müşterinin ilgili araçta ya da depoda kapasite aşma sorunu meydana gelebilir. Bu durumunda karşılanamayan talep ortaya çıkar ve maliyeti ise aşağıdaki denklem (3.20)'de formüle edilmiştir.

$$EC_i = PC * EQ_i \qquad \forall\, i \tag{3.20}$$

EC_i i. müşterinin kapasiteyi aşma maliyeti, PC birim talep başına ceza maliyeti ile EQ_i i. müşterinin aşan talep miktarının çarpımından elde edilmektedir.

3.3 Kapasite Kısıtlı Yer Seçimi ve Araç Rotalama Probleminde Zaman Penceresi

Günümüzde KKYSAR problemlerinde zaman son derece önemlidir. Zamanında müşteri siparişlerinin yetiştirilmesi teslim edecek firmalar açısından çok kritik bir konudur. Zamanında teslimat olmaması alıcı konumunda olan müşteriye tazminat ödenmesine kadar varabilmektedir. Bundan dolayı teslimat sürelerinin çok iyi bir şekilde planlanması gerekmektedir. Burada sadece müşteri teslimatının zamanında yapılmaması değil, aynı zamanda aracın teslimat için belirtilen zaman aralığından daha erken teslimat adresine ulaşması aracın boş beklemesi durumunu ortaya çıkarmaktadır. Burada aracın boşta kalma durumu firma için bir kayıp maliyeti oluşturmaktadır.

Müşteri talebinin ilgili zaman aralığında teslim edilememesi durumunda firma için bir ceza maliyeti ortaya çıkmaktadır. Müşteri siparişinin teslim edilme zaman aralığı $Cus_{dl} = \{t_{min}, t_{max}\}$ şeklinde tanımlansın. dt_i i. müşteri için siparişin teslim edilme zamanı eğer teslimat için son zaman dilimi olan t_{max}'dan büyükse bir ceza maliyeti meydana gelmektedir. Bu ceza maliyeti CC_i Denklem (3.21)'de gösterilmiştir. İlgili müşteri için ödenecek ceza maliyeti, gecikme süresi, talep ve ilgili müşteri için ürün başına ödenecek birim ceza maliyetinin çarpımından elde edilmektedir.

$$CC_i = \begin{cases} PCC * d_i * (dt_i - t_{max}) & Eğer\ dt > t_{max} \\ 0 & Eğer\ dt \leq t_{max} \end{cases} \tag{3.21}$$

Aracın, siparişin teslim zaman aralığından önce gelmesi durumunda, aracın beklemeden kaynaklanan kayıp maliyeti ortaya çıkmaktadır. VWC aracın bekleme maliyeti, PWC aracın saat başına birim maliyeti ile WT ilgili aracın bekleme süresinin çarpımından elde edilmektedir. Denklem (3.22) aracın beklemesi durumunda ortaya çıkacak olan maliyeti göstermektedir.

$$VWC_i = \begin{cases} PWC * WT_i & Eğer\ WT_i > 0 \\ 0 & Eğer\ WT_i \leq 0 \end{cases} \tag{3.22}$$

Nihai olarak, amaç fonksiyonu denklem (3.23)'de gösterildiği gibi ifade edilmektedir.

$$Toplam\ maliyet = TC + \sum_i EC_i + \sum_i CC_i + \sum_i VWC_i \quad (3.23)$$

TC araç maliyeti, depo maliyeti ve mesafelerden kaynaklanan ulaştırma maliyetini ifade etmektedir. Son amaç fonksiyonunda en uygun dağıtım merkezi belirlenmeye çalışılırken, aynı zamanda en ideal filo sayısı, hangi müşterilerin hangi depodan hizmet alacakları ya da hangi müşteriden önce veya sonra hizmet alacakları belirlenmektedir. Bu işlem sırasında bulanık talepler kullanılmasından dolayı talebin karşılanamadığı durumu en aza indirgemeye çalışmaktadır. Ayrıca, teslimat yapan filoların, müşteri siparişini zamanında ulaştırmasına ve araçların boşta kalmasını önlemeye çalışmaktadır. İlk belirtilen amaç fonksiyonundan çok daha fazla ölçüte maruz kaldığından problemin çözüm süresi daha fazla artmaktadır.

BÖLÜM 4

DEĞİŞKEN KOMŞULUK VE EVRİMSEL YEREL ARAMA HİBRİT ALGORİTMASI

Bu bölümde DKA ve EYA algoritmaların melezlenmiş halinin genel yapısı ve özellikleri, çözümün temsili kodlanması ve algoritmada kullanılan komşuluk operatörlerinin detaylı anlatımını içermektedir.

4.1 Hibrit Algoritmanın Genel Yapısı

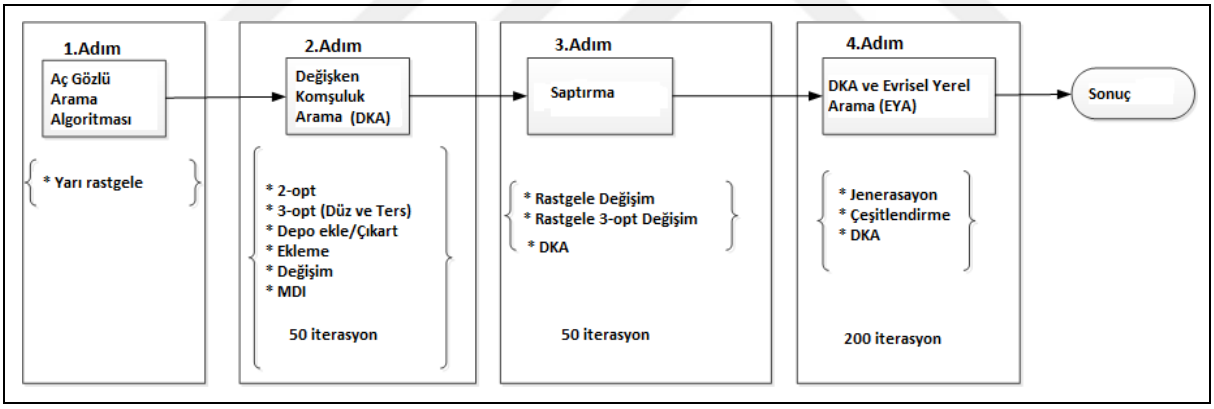
Şekil 4.1, DKA ve EYA algoritmaların melezlenmiş halinin genel akış şemasını sunmaktadır. Hibrit algoritmanın ilk adımında Aç Gözlü Arama algoritması uygulanır. Bu arama algoritması belirli bir dereceye kadar iyi bir başlangıç çözümünün elde edilmesi sağlar. Bu arama sırasında başlangıç deposunun rastgele olarak seçilmesi sağlanmıştır. Müşterilerin ise en yakın olanların alınması sağlanarak bir sonuç vermesi amaçlanmıştır. Burada sadece depoların rastgele belirlenmesinden dolayı, algoritma yarı rastgele ifadesi kullanılmıştır.

Daha sonra ikinci adım olan DKA algoritması (Şekil 4.1) gösterildiği sıra ile 50 adım boyunca uygulanıp, başlangıç çözümünün bir adım daha iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Burada ifade edilen komşuluk sıralamaları son derece önemlidir. Sıraların farklı olarak kullanılması daha farklı sonuçlar sağlamakta fakat elde edilen sonuçlar daha kötü olmaktadır. Sıralama üzerine çalışma boyunca birçok varyasyonlar uygulanmış ve ağırlıklı olarak aşağıda belirtilen sıralama daha iyi iyileştirme olanağı tanımıştır. Ayrıca uygulanan adım sayısının daha fazla artırılması süre kaybına yol açmakta ve daha iyi çözümler bulmaya yöneltmemektedir.

Bir sonraki aşama olan 3. adımda saptırma işlemi uygulanmıştır. Saptırma işleminde temel olarak iki farklı operatör kullanılmıştır. Bu operatörlerin detaylı açıklaması grafiksel gösterimi bölüm 4.4'de verilmiştir. Bu operatörlerden ilki rastgele değişim operatörüdür. Bu operatör,

DKA algoritmasında kullanılan değişim adlı komşuluk yapısına çok benzemektedir. Burada tek fark, operatör uygulanırken müşteri seçimi sırasında çözümü iyileştireni seçmekten ziyade rastgele bir müşteri seçimi yaparak değişimi uygular. Bu durum o anda kötü sonuçlar üretse bile daha iyi çözümlerin bulunmasında farklı çözüm uzaylarının taranmasına olanak tanır. Bir diğer saptırma aracı rastgele 3-opt değişim operatörünün uygulanmasıdır. Bu operatör 3-opt operatörünün karşılıklı değişimine dayanmaktadır. Bununda temeli Genetik Algoritma (GA)'da kullanılan çaprazlama mantığına benzemektedir. Bu iki operatörün birlikte 50 adım boyunca uygulanması sonucunda daha farklı çözüm uzaylarının taranıp daha iyi çözümler elde edilebilmektedir.

4. adımda 3. adımdan gelen en iyi çözüm saklanır ve elit olarak kaydedilir. Daha sonra 3 farklı yeni nesil üretilir fakat bu yeni nesiller en iyi çözümden elde edilerek yapılmaktadır. Böylece yeni nesil üretme bölümü tamamlanır. Oluşan yeni nesiller burada çeşitlendirme işlemine uğrar. Çeşitlendirme işlemine uğrayan yeni nesiller üzerinde tekrar 200 adım boyunca DKA uygulanır ve daha iyi sonuçların elde edilmesi amaçlanır. Çeşitlendirme işleminde kullanılan araçlar daha önce 3.adımda uygulanan operatörlerdir.



Şekil 4.1 Hibrit algoritmanın genel akış şeması

4.2 Kapasite Kısıtlı Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi için Değişken Komşuluk Arama

KKYSAR problemi için değişik metotlar günümüze kadar uygulanmış ve uygulanmaya devam etmektedir. DKA algoritması farklı zorluk seviyelerinde olan birçok problem tiplerini çözmekte kullanılmaktadır. Çözülmesi zor olan problemlerden biri de KKYSAR problemidir. DKA algoritması bu problemlerin çözülmesinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. DKA algoritması daha önce tanımlanan komşuluk yapılarına göre arama yaparak çözümü iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Komşuluk yapıları seçilen düğümler arasında genellikle değişim

ya da ekleme yaparak iyileştirme sürecini yürütmeyi amaçlamaktadır. Ele alınan problemin çözümünde kullanılan komşuluk yapıları ilerleyen bölümlerde detaylı olarak anlatılmıştır. Temel olarak DKA algoritması uygulanan komşulukların başarılı sonuçlar üretmesi için üç kuralı barındırır [142]. Bu üç kural aşağıda verilmiştir;

- Bir çözüm noktası, bir komşuluk yapısına göre yerel bir minimum noktası olsa bile bir diğer komşuluk için olmak zorunda değildir.
- Genel bir minimum çözüm noktası uygulanan diğer komşuluk yapılarına göre yerel bir minimumdur.
- Birçok problemde yerel minimum çözüm noktaları bir ya da birçok komşuluk yapısına göre oldukça birbirine yakın değerdedir.

Çizelge 4.1 uygulanan DKA algoritmasının sözde kodlarını göstermektedir.

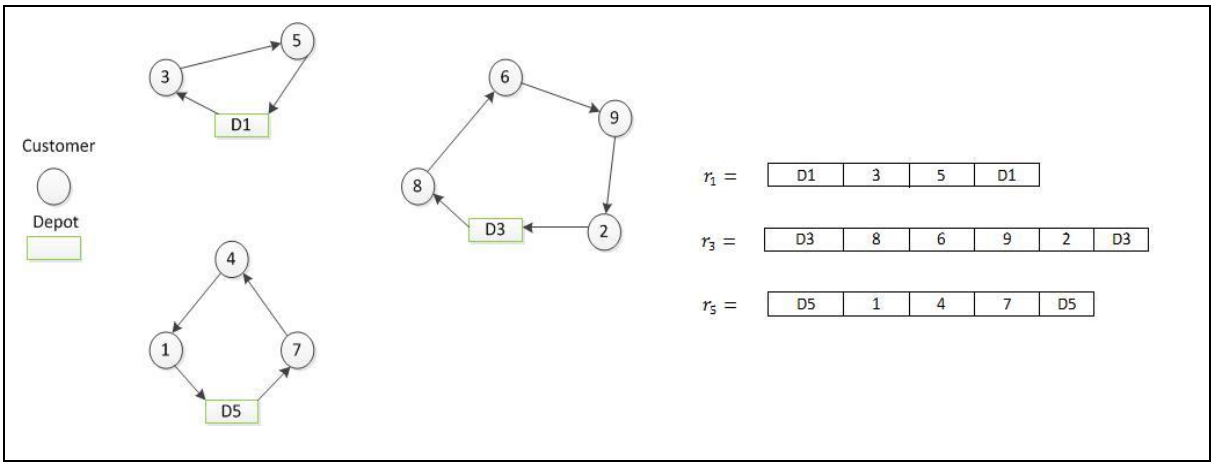
Çizelge 4.1 Uygulanan DKA algoritmasının sözde kodu

1 **Girdi:** Bir takım komşuluk yapıları tanımlanmalı $N_l, l = 1, \dots, l_{max}$
2 **Başlangıç:** $l \leftarrow 1$; Rastgele bir başlangıç çözümü bulunur x
3 $l \leq l_{max}$ **olduğu durumda**
4 **Eğer** x N_l komşuluk yapısı için yerel optimum değilse **o halde**
5 $x' \leftarrow$ **ilk çözüm** in $N_l(x)$
6 $x \leftarrow x'; l \leftarrow 1;$
7 **Diğer durumda** $l \leftarrow l + 1;$
8 dön $x;$

4.3 Çözümlerin Temsili Gösterimi

Uygulanacak olan hibrit DKA ve EY algoritmasının verimli sonuçlar üretmesi için algoritmanın ilk aşaması olan DKA kısmının oldukça iyi sonuçlara yaklaşması gerekmektedir. DKA algoritmasının verimli sonuçlar vermesi ve kısa sürede çözüm üretmesi için algoritmanın temsili çözümünün etkili bir şekilde kodlanması gerekmektedir. Burada etkin olmayan bir kodlama algoritmanın daha iyi sonuçlar üretmesini engelleyebilmektedir.

Şekil 4.2, problemin temsili çözümünün nasıl kodlandığını göstermektedir.



Şekil 4.2 Problemin temsili çözümünün kodlanması

Burada temsili olarak, 9 müşteri ve 5 depo için rotaların nasıl temsili olarak kodlanacağı belirtilmiştir. Gösterilen temsili kodlamada üç farklı rotanın nasıl temsil edileceği belirtilmiştir.

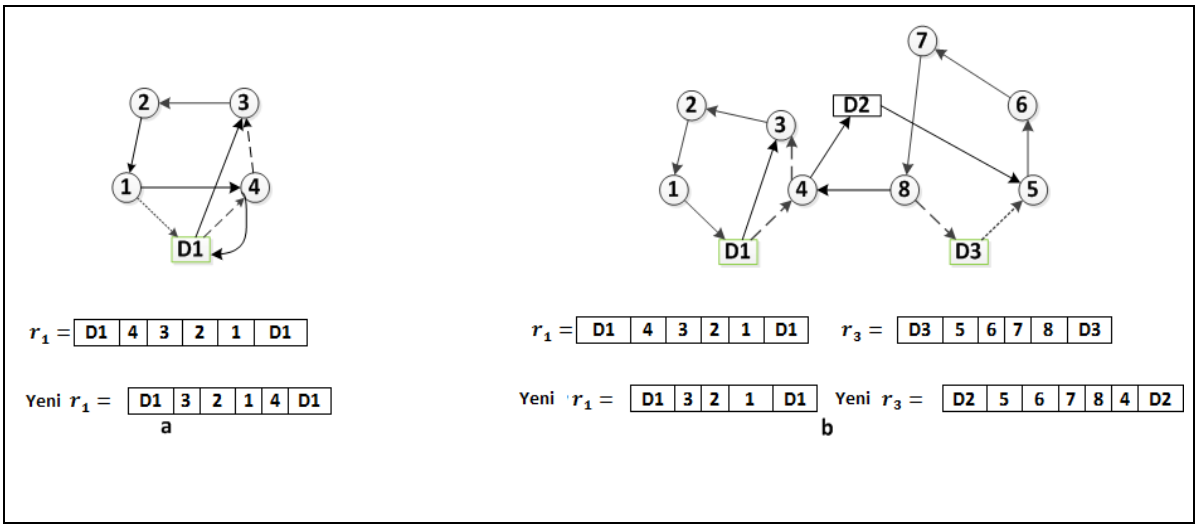
4.4 Değişken Komşuluk Arama Algoritmasında Komşuluk Yapıları

DKA metodu bir x başlangıç çözümü seçerek metot içerisinde önceden belirlenen komşuluk yapılarına göre arama yapmaya başlar. Arama sırasında belirlenen komşuluklarda iyileştirme olduğu sürece bu arama devam eder. Eğer belirli bir aralık boyunca arama yapılırken daha iyi sonuçlar elde edilmezse, program arama yapmayı durdurur. Önerdiğimiz DKA kapsamında uyguladığımız yedi farklı komşuluk yapısı (N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6 ve N_7) bulunmaktadır. Bu komşuluk yapıları literatürde oldukça bilinen ve uygulanan yapılardır. Şekil 4.3, N_1 komşuluk yapısını göstermektedir. Bu komşuluk yapısı temel olarak müşterilerin yerlerini değiştirerek daha iyi çözümler elde etmeyi amaçlar. Fakat burada müşteri değişimine ek olarak depo değişimi durumlarını da göz önüne alır ve bu iki durumun kesişimi (hem depo hem de müşteri değişimi) daha iyi sonuçlar verirse bu çözümü yakalar ve en iyi çözüm olarak alır. Bu komşuluk yapısı müşteri depo ilişkisi (MDI) olarak adlandırılabilir. Şekil 4.4, N_2 komşuluk yapısını göstermektedir. Bu komşuluk yapısında herhangi bir müşteri aynı ya da farklı araçta bulunan bir diğer müşterinin sağ ya da sol tarafına eklenir ve ekleme işlemi sonrasında daha iyi sonuç verip vermediği kontrol edilir. Eğer daha iyi sonuç elde edilirse bu işlem daha iyi sonuç üretmeyecek hale gelene kadar devam eder. Şekil 4.5, N_3 komşuluk yapısını göstermektedir. Bu komşuluk yapısında herhangi bir müşteri aynı ya da farklı bir araçta bulunan bir diğer müşteri ile karşılıklı olarak yer değiştir. Eğer bu karşılıklı yer değiştirme

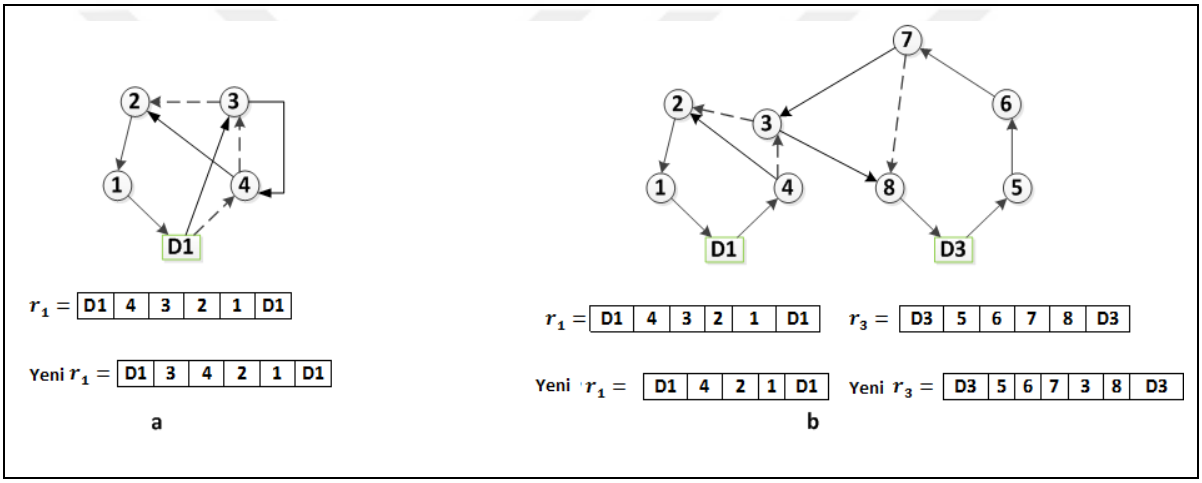
işlemi daha iyi sonuç üretirse uygulanmaya devam eder. Şekil 4.6 N_4 komşuluk yapısını göstermektedir. Şekil 4.6'nın a kısmı, aynı araç üzerinde bulunan iki müşteri seçilir ve bir sonraki müşteri ile olan bağlantısı kesilir. Ardından ikisi arasında kalan bağlantılar da sıfırlanır ve daha sonra a kısmında görüldüğü gibi bağlanır. Şekil 4.6'nın b kısmı, aynı ya da farklı depolara sahip fakat araçların kesinlikle farklı olduğu rotalar seçilir. Bu rotalarda iki müşteri belirlenir ve bir sonraki müşteri ile olan bağlantısı kesilir. Ayrıca bu rotaların başlangıç ya da son müşterilerinin depo ile olan bağlantısı da kesilir. Böylece dört farklı yeni rota elde edilir ve bu yeni rotaların daha iyi sonuçlar verip vermediği kontrol edilir. Şekil 4.7, N_5 komşuluk yapısını göstermektedir. Bu komşuluk yapısı üç farklı müşterinin seçilmesi ile başlar. Eğer bu üç müşteri aynı araç üzerinde ise Şekil 4.7'nin a kısmında gösterildiği gibi uygulanır. Seçilen herhangi üç müşterinin bir sonraki müşteri ile bağlantısı kesilir ve yeni birleştirme işlemi yapılır. Şekil 4.7 b kısmında, aynı ya da farklı depoya sahip farklı araçlardan üç müşteri belirlenir. Bunlardan iki tanesi bir araçta, diğeri farklı bir araçta olur. Seçilen müşterilerin bir sonraki müşteri ile bağlantıları kesilir ve yeni birleştirme işlemi yapılır. 3-opt yer değiştirme işlemi Şekil 4.7'de gösterildiği gibi yapılmakta olup, bu duruma ek olarak birleştirme işlemi terse çevrilerek yapılırsa daha farklı bir çözüm elde edilir. Bu durum da ters yer değiştirme olarak adlandırılır ve N_6 olarak ifade edilir. Temel olarak bu operatör birden fazla müşteriyi farklı bir araçtaki müşteriye ekleme işlevini yerine getirir. Şekil 4.8, N_7 komşuluk yapısını göstermektedir. Bu komşuluk yapısı ile daha önce oluşturulan araçların bağlı oldukları depo yerlerinin değiştirilmesi sonucu daha iyi çözümlerin elde edilip edilemeyeceğini araştırır. Eğer daha iyi sonuçlar elde edilirse arama devam eder, aksi taktirde arama sonlanır.

Bizim çalışma kapsamında uyguladığımız komşuluk yapılarının sıralaması aşağıda belirtildiği şekilde uygulanmıştır;

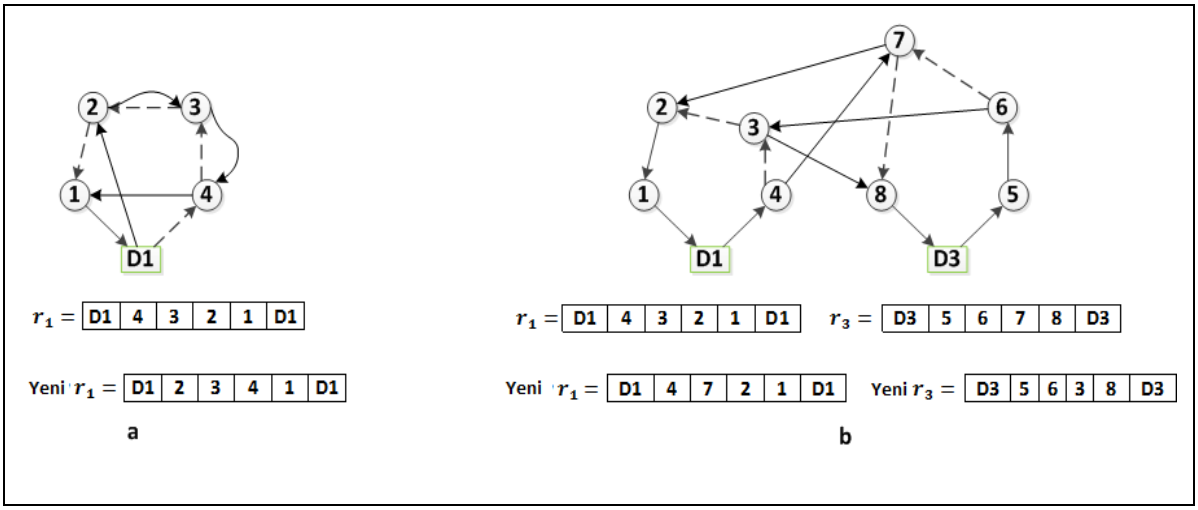
- 2-Opt (N_4)
- 3-Opt (N_5) (Düz ekleme)
- 3-Opt (N_6) (Ters ekleme)
- Depo ekle/çıkart (N_7)
- Ekleme (N_2)
- Değişim (N_3)
- MDI (N_1)



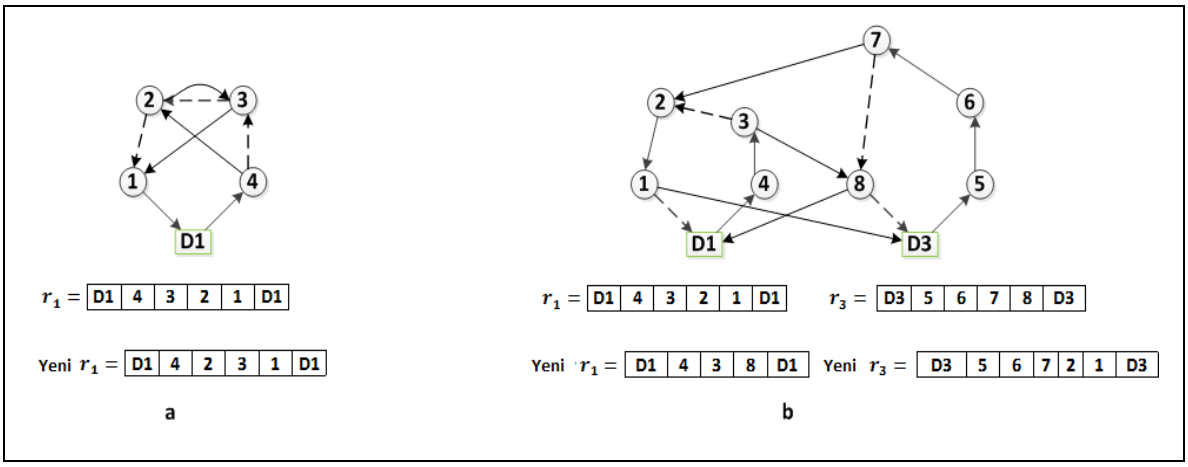
Şekil 4.3 N_1 komşuluk yapısının uygulanması



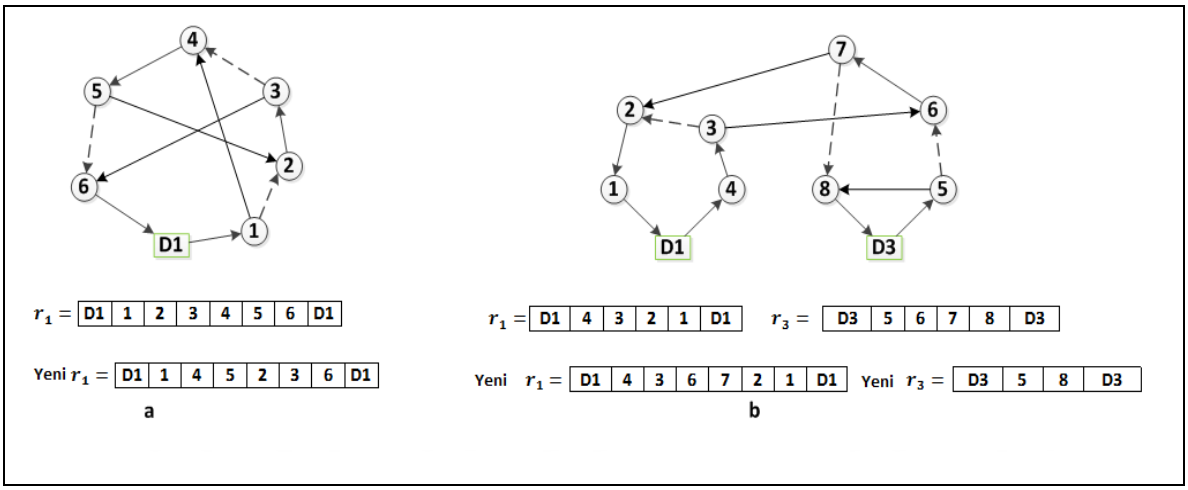
Şekil 4.4 N_2 ekleme komşuluk yapısının uygulanması



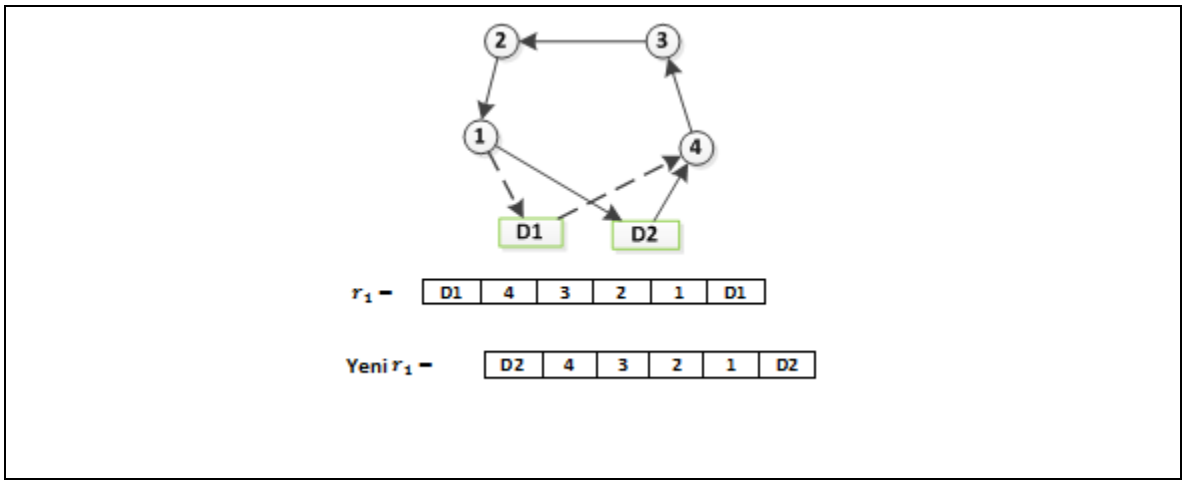
Şekil 4.5 N_3 değişim komşuluk yapısının uygulanması



Şekil 4.6 N_4 2-Opt komşuluk yapısının uygulanması



Şekil 4.7 N_5 3-Opt komşuluk yapısının uygulanması



Şekil 4.8 N_7 depo ekle/çıkart komşuluk yapısının uygulanması

4.5 Değişken Komşuluk Arama Algoritmasında Çeşitlendirme

Başlangıç çözümünün iyileştirilmesi aşamasında ilk olarak uygulanan DKA algoritmasının uygulanmasıdır. Fakat burada arama başlamadan önce belirli olasılıklara sahip "saptırma"

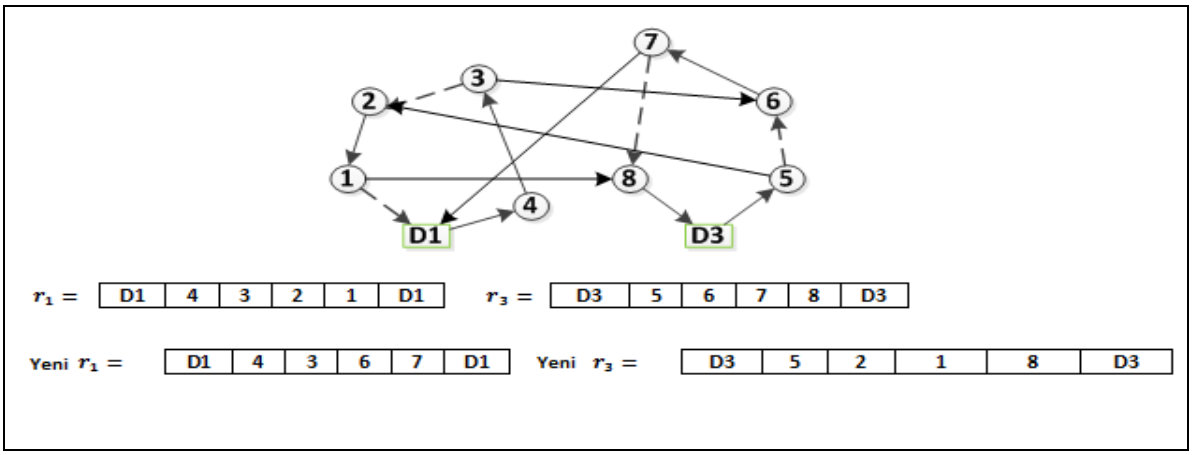
operasyonları uygulanır. Böylece arama uzayının genişletilmesi amaçlanır. Bu işlemin ardından, belirlenen adım sayısı süresince sırası yukarıda belirtilen komşuluklar uygulanır. Böylece, yedi farklı komşuluk yapısına göre arama operasyonu gerçekleşmiş olur. Uygulanan algoritmada saptırma işlemi için % 10 olasılıkla depo ekle/çıkart, % 50 olasılıkla herhangi bir müşterinin eklenmesi, % 10 olasılıkla hem depo ekle/çıkart hem de herhangi bir müşterinin eklenmesi ve % 30 olasılıkla 2-opt ve herhangi bir müşterinin eklenmesi operatörleri uygulanacaktır.

4.6 Evrimsel Yerel Arama Algoritması

Evrimsel yerel Arama (EYA) algoritması kendisine verilen bir çözümün (başlangıç ya da iyileştirilmiş çözüm) belirli bir prosedür çerçevesinde daha iyi bir değere ulaşmasını amaçlamaktadır. EYA algoritması, bir çözüm adayları popülasyonu oluşturur ve bu populasyon zamanla evrimleşir. Bir adayın çözüme ne kadar yakın olduğu, uygulamaya bağlı bir fonksiyondur. Ayrıca popülasyon büyüklüğünün büyümesi çözüm süresini çok fazla arttırırken, daha iyi çözümler sunmayabilir. Dolayısıyla belirli popülasyon seviyeleri deneme yapılarak hem süre hem de çözüm kalitesi açısından etkin sonuçlar hedeflenmelidir.

Çalışma kapsamında kullanılan EYA operatörleri 3-Opt karşılıklı değişim ve tekli değişim olmak üzere 2 adettir.

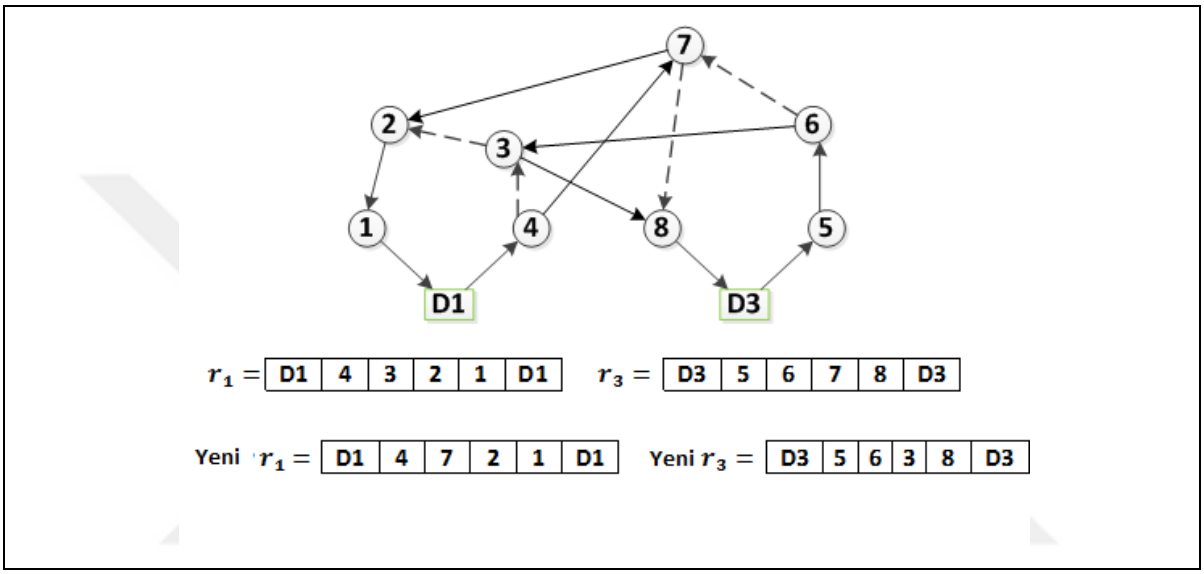
Şekil 4.9 3-Opt karşılıklı değişim operatörünü göstermektedir. Burada D1 deposundan başlayan rota D2 deposundan başlayan rotadan 6 ve 7 numaralı müşteri grubunu kopartarak kendi bünyesine katarken, D2 deposundan başlayan rota D1 deposundan başlayan rotadan 2 ve 1 numaralı müşteri grubunu bünyesine katmaktadır.



Şekil 4.9 3-Opt karşılıklı değişim operatörü

Böylece karşılıklı rastgele değişim meydana gelmektedir. Bu karşılıklı değişimden elde edilecek sonucun daha iyi bir sonuç vermesi gerekmektedir. Önemli olan çözümün çok fazla değişime uğramadan farklı çözüm uzaylarını aramasını sağlamaktır.

Şekil 4.10 EYA algoritmasında kullanılan bir diğer değişim operatörünü göstermektedir. Rastgele farklı iki rota üzerinde bulunan birer müşteri karşılıklı olarak yer değiştirirler ve bir önceki operatörün yaptığı gibi çok fazla değişime uğramadan farklı çözüm uzaylarında arama yapılır.



Şekil 4.10 Tekli karşılıklı değişim operatörü

EYA algoritması hibrit DKAxEYA algoritmasının 4.adımında uygulanan kısmı olup, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da gösterilen operatörler sayesinde yürütülmektedir.

BÖLÜM 5

HİBRİT ALGORİTMANIN BİLİNEN VERİ SETLERİNE UYGULANMASI

5.1 Hibrit Algoritmanın Uygulandığı Veri Setleri ve Özellikleri

Hibrit algoritma literatürde bulunan 3 farklı veri seti üzerinde denenmiştir. 3 farklı veri seti ise toplamda 79 tane farklı olay barındırmaktadır. Literatürde karşılaştırma yapmak için kullanılan veri setleri Tuzun ve Burke tarafından 1999 yılında, prins ve çalışma arkadaşları tarafından 2004 ve Barreto tarafından 2004 yıllarında önerilmiştir. Önerilen veri setleri birçok araştırmacı tarafından güvenle ve sıklıkla kullanılmaktadır.

İlk veri seti 1999 yılında Tuzun ve Burke tarafından önerilmiştir. Önerilen bu veri setinde toplam olarak 36 tane alt setler bulunmaktadır. Bu alt setlerin hepsinde araç kapasite mevcut olup 150 br olarak alınmış fakat depo kapasitesi kullanılmamıştır. Ayrıca bu alt veri setlerinde 100, 150, 200 müşterili düğümler ile 10 ve 20 olan muhtemel depo ya da hizmet dağıtım tesisleri kullanılmıştır.

İkinci veri seti 2004 yılında Prins ve arkadaşları tarafından önerilmiştir. Önerilen bu veri seti toplamda 30 tane alt veri seti içermektedir. Bu veri setinde hem araç hem de depo kapasiteleri bulunmaktadır. Kullanılan araç kapasiteleri 150 ile 75 olarak değişmektedir. Ayrıca bu veri setinde 20, 50, 100 ve 200 müşteriye sahip düğümler bulunmaktadır. Muhtemel depo ya da hizmet dağıtım noktaları 5 ve 10 olarak belirlenmiştir.

Üçüncü veri seti yine 2004 yılında fakat farklı bir araştırmacı tarafından önerilmiştir. Barreto'nun önerdiği bu veri seti 13 farklı alt setten meydana gelmektedir. Diğer veri setlerinden daha farklı bir yapıya sahiptir. Buradaki temel farklılık araç ve depo kapasite kısıtlarını içermemesidir. Yukarıda bahsedilen veri setlerinde kapasite kısıtları mevcuttur.

Barreto veri setinde kullanılan müşteri sayıları 20 ile 150 arasında ve depo sayıları ise 5 ile 10 arasında değişim göstermektedir.

5.2 Karşılaştırmada Kullanılan Algoritmalar

DKAxEYA algoritması en etkili 7 farklı sezgisel yöntem ile karşılaştırılmıştır. Aç Gözlü Rastgele Adaptif Arama Prosedürü ve Evrimsel Yerel Arama (GRASP + ELS) [143] hibrit algoritması ilk olarak iterative yerel arama yapıldıktan sonra mutasyon ve çaprazlama kullanılarak algoritmanın etkinliği arttırılmaya çalışılmıştır. Algoritma 5 defa çalıştırılmış ve bu koşumlar süresince elde edilen en iyi değer verilmiştir. Bu algoritmanın belirtilen işlem süresi en iyi çözümün elde edildiği koşumun süresidir.

Tavlamalı Benzetim Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi (SALRP) [83] algoritması sadece tek koşum yapılarak elde edilen sonuçları raporlamaktadır. Tavlamalı Benzetim algoritması kullanılarak kapasite kısıtlı ve kısıtsız yer seçimi ve araç rotalama problemi üzerine yürütülmüştür.

Değişken Komşuluk Arama ve Tamsayılı Lineer Programlama (VNS + ILP) [88] hibrit algoritması sadece Prodhon test verisi için uygulanmış olup 30 koşum yapılmış ve elde edilen en iyi sonuç alınmıştır. Çözümün elde edilmesinde oluşan süresi en iyi çözümün olduğu süredir.

Adaptif Geniş Komşuluk Arama (ALNS -5000 K) [70] algoritması 5000 K iterasyon boyunca 5 defa koşum yapılarak elde edilen en iyi sonucu ve çözüm süresini almaktadır. Algoritma içerisinde tanımlanan farklı komşuluk yapılarını çok uzun iterasyon zarfınca çalıştırarak daha iyi sonuçların elde edilmesi amaçlamaktadır.

Aç Gözlü Rastgele Adaptif Arama Prosedürü ve Tamsayılı Lineer Programlama (GRASP + ILP) [144] hibrit algoritması 10 koşum yapılarak elde edilen en iyi sonucu ve çözüm süresini almaktadır. Algoritmanın çalışması, KKYSARP için 3 aşamalı bir çözüm önerilmiştir. Birinci aşamada, Açgözlü rastgele uyarlamalı arama algoritması uygulanmış ve birçok muhtemel çözümler elde edilmiştir. İkinci aşamada, tamsayılı lineer programlama uygulanıp, uygun bir rota elde etmek için bu rotaların kombinasyonları girdi olarak kullanılmıştır. Üçüncü aşamada, ilk iki aşamada elde edilen çözümleri daha fazla iyileştirmek amacıyla, aynı tamsayılı lineer programlamayı sütun oluşturma yöntemi çözümlemiştir.

Tanecikli Değişken Tabu Komşuluk Arama (GVTNS) [52] algoritması tek koşum yapılarak elde edilen sonuçları ve çözüm sürelerini almaktadır. Komşuluk yapılarının daha fazla özelleştirilerek uygulanması sonucu daha etkin çözümlerin elde edilmesi amaçlanmaktadır.

HYBRIDGA+ [145] hibrit algoritması 10 koşum yapılarak elde edilen en iyi sonuçları ve çözüm sürelerini almaktadır. Genetik Algoritma prosedürlerinin daha fazla özelleştirilmiş yapıları kullanılarak daha etkin çözümlerin elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Çizelge 5.2, 5.3 ve 5.4 'de Tuzun [146], Prodhon [147] ve Barreto [87] test setlerinin olduğu sonuçları göstermektedir. DKAxEYA algoritması diğer algoritmalar ile karşılaştırılmış ve daha iyi bulduğu sonuçlar tabloda belirtilmiştir. NBKS ilgili algoritma tarafından bulunan en iyi sonuçların toplam sayısını, NIBS ilgi algoritma tarafından bulunan en iyi ve yeni sonucu göstermektedir. BKS şu ana kadar bulunan en iyi sonucu ifade etmektedir. Çizelge 5.2'de, Tuzun veri seti üzerinde karşılaştırma amacı ile kullanılan algoritmaların ve DKAxEYA algoritmasının sonuçları verilmiştir. Tuzun veri seti, depo ve araç kısıtı barındırmayan bir veri setidir. Tuzun veri seti üzerinde uygulanan algoritma iyi sonuçlar üretmiş ve bu durum Çizelge 5.2'de gösterilmiştir. DKAxEYA algoritması, Çizelge 5.3'de Prodhon veri seti üzerinde uygulanmış ve 2 yeni sonuç (275281 ve 200079) bulmuştur. Bu durum, uygulanan algoritmanın etkili bir algoritma olduğunu göstermektedir. Prodhon veri seti araç ve depo kısıtlarının bulunduğu bir veri setidir. Buna benzer bir diğer veri seti ise Barreto veri setidir. Algoritmanın bu veri seti üzerinde uygulanması ile ortalama olarak iyi sonuçlar elde edilmiş ve bu durum Çizelge 5.4'de gösterilmiştir. Çizelge 5.1'de üç farklı veri setine göre elde edilen sonuçları gösterilmektedir.

Çizelge 5.1 Üç farklı veri setine göre özet çizelge

Algoritma	**CPU**	**CPU Endeks**	**Tuzun**		**Barreto**		**Prodhon**		**Genel**	
			Ort. Fark	**Ort. Süre**	**Ort. Fark**	**Ort. Süre**	**Ort. Fark**	**Ort. Süre**	**Ort. Fark**	**Ort. Süre**
GRASP+ELS	Core2 Quad, 2.83 GHZ	3987	1.30	607	0.08	188	1.12	258	1.03	406
SALRP	Core2 Quad, 2.66 GHZ	3770	1.50	826	0.29	161	0.46	422	0.91	563
VNS+ILP	Core2 Quad, 2.83 GHZ	3987	-	-	-	-	0.13	-	-	-
ALNS – 5000K	AMD Opteron 275, 2.20 GZ	1291	0.18	8103	0.06	1772	0.27	4221	0.19	5587
GRASP+ILP	Intel Xeon E5472, 3.00 GHZ	4177	0.18	2590	0.14	264	0.13	1163	0.15	1665
GVTNS	Core2 Duo, 2.00 GHZ	1160	0.76	201	0.67	53	0.37	91	0.60	135
HYBRIDGA+	Core i7-4790, 3.60 GHZ	9995	0.71	364	0.00	94	0.32	199	0.45	257
DKAxEYA	AMD A9-9410, 2.90 GHZ	2570	0.62	504	0.17	112	0.45	148	0.48	304

CPU endeks ne kadar yüksekse işlemci hızı o kadar yüksek demektir. Kullandığımız işlemci hızı düşük olarak değerlendirilebilir. Çizelge 5.1'de genel ortalamalar dikkate alındığında, DKAxEYA algoritmasının GRASP+ELS, SALRP ve GVTNS algoritmalarından daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. HybridGA+ algoritması ile çok yakın ortalama değere sahip olup, süre (dakika) açısından geri kalmış gibi görünse de, aynı işlemci hızında çalıştırılınca DKAxEYA algoritması daha kısa sürede sonuca ulaşacaktır. ALNS-5000K ve GRASP+ILP algoritmaları çok daha iyi sonuçlar üretmelerine rağmen süre olarak çok fazla zamana ihtiyaç duymaktadırlar.

Çizelge 5.2 Tuzun seti için en iyi sonuçlar

Test setleri	BKS	GRASP + ELS			SALRP			ALNS – 5000 K			GRASP + ILP			GVTNS			HYBRIDGA+			DKAxELS			
		En iyi	Fark	Süre	En iyi	Fark	Süre	En iyi	Fark	Süre	En iyi	Fark	Süre	En iyi	Fark	Süre	En iyi	Fark	Süre	En iyi	Fark	Süre	Std. Sap.
111112	**1467.68**	1473.36	0.39	233	1477.24	0.65	369	**1467.68**	0.00	-	1469.40	0.12	198	1479.21	0.79	84	1469.54	0.13	78	**1467.68**	0.00	80	0.06
111122	**1449.20**	**1449.20**	0.00	9	1470.96	1.50	274	**1449.20**	0.00	-	**1449.20**	0.00	580	1485.28	2.49	126	**1449.20**	0.00	92	1453.67	0.31	91	0.11
111212	**1394.80**	1396.59	0.13	112	1408.65	0.99	231	**1394.80**	0.00	-	1394.90	0.01	220	1402.59	0.56	74	1395.80	0.07	71	1406.30	0.83	75	0.07
111222	**1432.29**	**1432.29**	0.00	114	**1432.29**	0.00	420	**1432.29**	0.00	-	1432.30	0.00	755	1463.23	2.16	99	**1432.29**	0.00	88	**1432.29**	0.00	84	0.14
112112	**1167.16**	**1167.16**	0.00	27	1177.14	0.86	348	**1167.16**	0.00	-	1169.10	0.17	278	**1167.16**	0.00	83	1167.53	0.03	79	1170.25	0.27	74	0.12
112122	**1102.24**	**1102.24**	0.00	259	1110.36	0.74	342	**1102.24**	0.00	-	1102.40	0.01	634	**1102.24**	0.00	105	1102.38	0.01	102	1104.86	0.24	116	0.04
112212	**791.66**	792.03	0.05	5	**791.66**	0.00	360	**791.66**	0.00	-	791.70	0.01	227	**791.66**	0.00	96	791.91	0.03	74	791.88	0.03	77	0.07
112222	**728.30**	**728.30**	0.00	48	731.95	0.50	418	**728.30**	0.00	-	**728.30**	0.00	550	**728.30**	0.00	126	730.27	0.27	108	729.49	0.16	107	0.03
113112	**1238.24**	1240.39	0.17	55	1238.49	0.02	300	1238.49	0.02	-	1238.49	0.02	286	1238.49	0.02	82	1238.49	0.02	83	1239.22	0.08	139	0.10
113122	**1245.30**	1246.00	0.06	233	1247.28	0.16	428	1245.31	0.00	-	**1245.30**	0.00	646	1247.27	0.16	127	1246.06	0.06	104	1247.27	0.16	83	0.01
113212	**902.26**	902.30	0.00	249	**902.26**	0.00	291	**902.26**	0.00	-	902.30	0.00	231	**902.26**	0.00	71	903.50	0.14	88	902.60	0.04	98	0.05
113222	**1018.29**	**1018.29**	0.00	196	1024.02	0.56	316	**1018.29**	0.00	-	**1018.29**	0.00	749	**1018.29**	0.00	85	1019.39	**0.11**	99	**1018.29**	0.00	173	0.10
131112	**1866.75**	1944.57	4.16	518	1953.85	4.67	743	1914.41	2.55	-	1899.90	1.78	1640	1933.67	3.58	179	1921.30	2.92	288	1925.44	3.14	351	0.12
131122	**1823.20**	1864.24	2.25	705	1899.05	4.16	835	1823.53	0.02	-	1825.30	0.12	3612	1852.14	1.59	173	1830.75	0.41	317	1845.56	1.23	393	0.17
131212	**1964.30**	1992.41	1.43	727	2057.53	4.75	456	1975.83	0.59	-	**1964.30**	0.00	1275	1983.09	0.96	184	1981.26	0.86	288	1976.54	0.62	343	0.17
131222	**1792.80**	1835.25	2.37	415	1801.39	0.48	833	1796.45	0.20	-	**1792.80**	0.00	3099	1803.01	0.57	175	1813.72	1.17	322	1801.43	0.48	433	0.13
132112	**1443.32**	1453.78	0.73	103	1453.30	0.69	750	1444.73	0.10	-	1446.80	0.24	871	**1443.32**	0.00	186	1457.01	0.95	262	1444.80	0.10	438	0.06
132122	**1434.60**	1444.17	0.67	662	1455.50	1.46	828	1434.63	0.00	-	1443.90	0.65	2738	1441.43	0.48	210	1446.46	0.83	390	1444.62	0.70	393	0.05
132212	**1204.42**	1219.86	1.28	459	1206.24	0.15	752	**1204.42**	0.00	-	1204.80	0.03	2082	**1204.42**	0.00	128	1211.83	0.62	270	1205.63	0.10	425	0.04
132222	**930.99**	945.81	1.59	224	934.62	0.39	842	931.28	0.03	-	931.30	0.03	3734	931.28	0.03	177	934.37	0.36	318	932.31	0.14	462	0.02
133112	**1694.18**	1712.11	1.06	271	1720.81	1.57	742	**1694.18**	0.00	-	1695.90	0.10	938	1701.34	0.42	182	1708.63	0.85	357	1720.93	1.59	395	0.05
133122	**1392.00**	1402.94	0.79	524	1415.85	1.71	833	1392.01	0.00	-	1398.00	0.43	2751	1416.74	1.78	175	1400.01	0.58	340	1397.97	0.43	434	0.05
133212	**1198.20**	1214.82	1.39	251	1216.84	1.56	756	1198.28	0.01	-	1198.60	0.03	1010	1213.87	1.31	207	1213.93	1.31	235	1199.06	0.07	468	0.05
133222	**1151.80**	1155.96	0.36	375	1159.12	0.64	837	**1151.80**	0.00	-	1157.30	0.48	3560	**1151.80**	0.00	208	1157.11	0.46	347	1154.32	0.22	471	0.03
121112	**2243.40**	2295.90	2.34	655	2324.10	3.60	1328	2251.93	0.38	-	**2243.40**	0.00	2805	2258.02	0.65	315	2270.18	1.19	623	2284.90	1.85	714	0.13
121122	**2138.40**	2203.57	3.05	432	2258.16	5.60	1455	2159.93	1.01	-	**2138.40**	0.00	5680	2166.20	1.30	300	2177.32	1.82	700	2163.03	1.15	995	0.12
121212	**2209.30**	2246.39	1.68	1566	2260.30	2.31	1319	2220.01	0.49	-	**2209.30**	0.00	3004	2239.65	1.37	287	2230.37	0.95	616	2220.60	0.51	732	0.17
121222	**2222.90**	2265.53	1.92	2192	2326.53	4.66	1428	2230.94	0.36	-	2225.10	0.10	6143	2236.73	0.62	351	2250.38	1.24	659	2248.80	1.17	860	0.20
122112	**2073.73**	2106.47	1.58	1521	2112.65	1.88	1320	**2073.73**	0.00	-	2077.80	0.20	3462	2103.82	1.45	278	2101.75	1.35	593	2100.64	1.30	900	0.09
122122	**1692.17**	1779.05	5.13	618	1722.99	1.82	1400	**1692.17**	0.00	-	1694.80	0.16	8547	1717.92	1.52	433	1712.60	1.21	726	1717.74	1.51	935	0.11
122212	**1453.18**	1474.25	1.45	514	1469.10	1.10	1299	**1453.18**	0.00	-	1465.40	0.84	3471	1469.45	1.12	318	1466.64	0.93	690	1468.27	1.04	914	0.05
122222	**1082.46**	1085.69	0.30	1243	1088.64	0.57	1429	1082.74	0.03	-	1082.90	0.04	5292	**1082.46**	0.00	349	1087.91	0.50	749	1085.77	0.30	913	0.03
123112	**1954.70**	2004.33	2.54	1451	1994.16	2.02	1318	1960.30	0.29	-	**1954.70**	0.00	3865	1969.38	0.75	261	1976.97	1.14	701	1969.73	0.79	954	0.07
123122	**1918.93**	1964.40	2.37	1273	1932.05	0.68	1412	1926.64	0.40	-	1931.10	0.63	9367	1935.74	0.88	344	1951.47	1.70	813	1940.47	1.12	1308	0.16
123212	**1762.00**	1778.80	0.95	1398	1779.10	0.97	1314	1762.03	0.00	-	1763.10	0.06	3766	1776.90	0.85	349	1772.91	0.62	630	1770.33	0.47	1048	0.08
123222	**1390.87**	1453.82	4.53	2202	1396.42	0.40	1427	1391.68	0.06	-	1392.00	0.08	5157	1391.50	0.05	317	1399.82	0.64	803	1395.07	0.30	1665	0.03
Ort.		**1522.01**	**1.30**	**607**	**1526.41**	**1.50**	**826**	**1502.90**	**0.18**	**8103**	**1502.18**	**0.18**	**2590**	**1512.50**	**0.76**	**201**	**1511.70**	**0.71**	**364**	**1510.49**	**0.62**	**504**	**0.09**
NBKS		**6**			**3**			**16**			**10**			**10**			**2**			**3**			
NIBS		**0**			**0**			**6**			**6**			**2**			**0**			**0**			

Çizelge 5.3 Prodhon seti için en iyi sonuçlar

Test setleri	BKS	GRASP + ELS			SALRP			VNS + ILP			ALNS – 5000 K			GRASP + ILP			GVTNS			HYBRIDGA+			DKAxEYA			
		En iyi	Fark	Süre	En iyi	Fark	Süre	En iyi	Fark	Süre	En iyi	Fark	Süre	En iyi	Fark	Süre	En iyi	Fark	Süre	En iyi	Fark	Süre	En iyi	Fark	Süre	Std. sap.
20-5-1a	**54793**	**54793**	0.00	0	**54793**	0.00	20	**54793**	0.00	-	**54793**	0.00	-	**54793**	0.00	2	**54793**	0.00	2	**54793**	0.00	2	**54793**	0.00	0	0.00
20-5-1b	**39104**	**39104**	0.00	0	**39104**	0.00	15	**39104**	0.00	-	**39104**	0.00	-	**39104**	0.00	3	**39104**	0.00	3	**39104**	0.00	2	**39104**	0.00	0	0.00
20-5-2a	**48908**	**48908**	0.00	0	**48908**	0.00	19	**48908**	0.00	-	**48908**	0.00	-	**48908**	0.00	1	**48908**	0.00	2	**48908**	0.00	2	**48908**	0.00	0	0.00
20-5-2b	**37542**	**37542**	0.00	0	**37542**	0.00	15	**37542**	0.00	-	**37542**	0.00	-	**37542**	0.00	3	**37542**	0.00	3	**37542**	0.00	1	**37542**	0.00	0	0.00
50-5-1a	**90111**	**90111**	0.00	3	**90111**	0.00	75	**90111**	0.00	-	**90111**	0.00	-	**90111**	0.00	15	**90111**	0.00	13	**90111**	0.00	17	**90111**	0.00	0	0.00
50-5-1b	**63242**	**63242**	0.00	0	**63242**	0.00	58	**63242**	0.00	-	**63242**	0.00	-	**63242**	0.00	18	**63242**	0.00	9	**63242**	0.00	15	**63242**	0.00	9	0.26
50-5-2a	**88298**	88643	0.39	11	**88298**	0.00	95	**88298**	0.00	-	**88298**	0.00	-	**88298**	0.00	18	89342	1.18	12	**88298**	0.00	18	**88298**	0.00	5	0.00
50-5-2b	**67308**	**67308**	0.00	16	67340	0.05	59	**67308**	0.00	-	**67308**	0.00	-	67373	0.10	22	67951	0.96	10	**67308**	0.00	17	**67308**	0.00	11	0.26
50-5-2bis	**84055**	**84055**	0.00	0	**84055**	0.00	75	**84055**	0.00	-	**84055**	0.00	-	**84055**	0.00	21	84126	0.08	8	**84055**	0.00	15	**84055**	0.00	5	0.80
50-5-2bbis	**51822**	**51822**	0.00	11	**51822**	0.00	66	**51822**	0.00	-	**51822**	0.00	-	51883	0.12	27	52213	0.75	9	**51822**	0.00	14	51883	0.12	10	0.00
50-5-3a	**86203**	**86203**	0.00	0	86456	0.29	74	**86203**	0.00	-	**86203**	0.00	-	**86203**	0.00	17	86203	0.00	18	**86203**	0.00	16	**86203**	0.00	5	0.59
50-5-3b	**61830**	**61830**	0.00	0	62700	1.41	58	**61830**	0.00	-	**61830**	0.00	-	**61830**	0.00	23	61885	0.09	20	**61830**	0.00	14	**61830**	0.00	0	0.00
100-5-1a	**274814**	276960	0.78	148	277035	0.81	349	275813	0.36	-	275524	0.26	-	275457	0.23	220	276137	0.48	75	276467	0.60	73	275281*	0.17	43	2.87
100-5-1b	**213615**	215854	1.05	68	216002	1.12	269	213973	0.17	-	213704	0.04	-	214056	0.21	230	216154	1.19	59	214686	0.50	79	214195	0.27	83	5.93
100-5-2a	**193671**	194267	0.31	212	194124	0.23	349	**193671**	0.00	-	**193671**	0.00	-	193708	0.02	122	193896	0.12	76	194013	0.18	73	**193671**	0.00	39	6.44
100-5-2b	**157095**	157375	0.18	125	157150	0.04	212	157157	0.04	-	**157095**	0.00	-	157178	0.05	100	157180	0.05	82	157172	0.05	67	157150	0.04	74	2.78
100-5-3a	**200079**	200345	0.13	141	200242	0.08	250	200160	0.04	-	200246	0.08	-	200339	0.13	97	200777	0.35	69	200327	0.12	75	**200079***	0.00	64	3.73
100-5-3b	**152441**	152528	0.06	221	152467	0.02	197	152466	0.02	-	**152441**	0.00	-	152466	0.02	100	153435	0.65	68	152653	0.14	62	152983	0.36	60	6.21
100-10-1a	**287695**	301418	4.77	48	291043	1.16	270	288540	0.29	-	292868	1.80	-	287892	0.07	2622	287864	0.06	203	289649	0.68	95	301270	4,72	55	4.19
100-10-1b	**230889**	269594	16.76	186	234210	1.44	203	232230	0.58	-	233146	0.98	-	234080	1.38	1067	232599	0.74	117	233453	1.07	87	241152	4.44	112	3.89
100-10-2a	**243590**	243778	0.08	260	245813	0.91	261	243677	0.04	-	243829	0.10	-	243695	0.04	236	245484	0.78	52	244075	0.20	110	243842	0.10	56	4.88
100-10-2b	**203988**	**203988**	0.00	139	205312	0.65	199	**203988**	0.00	-	**203988**	0.00	-	**203988**	0.00	259	204252	0.13	42	**203988**	0.00	98	**203988**	0.00	106	1.92
100-10-3a	**250882**	253511	1.05	164	**250882**	0.00	338	251128	0.10	-	253722	1.13	-	252927	0.82	723	254558	1.47	82	253510	1.05	109	252890	0.80	61	5.09
100-10-3b	**204317**	205087	0.38	203	205009	0.34	240	204706	0.19	-	204601	0.14	-	204664	0.17	584	205824	0.74	78	204755	0.21	85	204664	0.17	80	1.97
200-10-1a	**475294**	486467	2.35	1521	481002	1.20	1428	478349	0.64	-	478951	0.77	-	475327	0.01	3960	477009	0.36	320	480435	1.08	896	478094	0.59	400	8.30
200-10-1b	**377043**	382329	1.40	359	383586	1.74	1336	378631	0.42	-	378065	0.27	-	377327	0.08	4006	377716	0.18	239	380505	0.92	777	378823	0.47	710	3.33
200-10-2a	**449006**	452276	0.73	112	450848	0.41	1796	449571	0.13	-	450377	0.31	-	449291	0.06	4943	**449006**	0.00	231	451293	0.51	836	450113	0.25	530	5.63
200-10-2b	**374280**	376027	0.47	1610	376674	0.64	1245	375129	0.23	-	374751	0.13	-	374575	0.08	3486	374717	0.12	290	374943	0.18	765	375160	0.24	610	4.22
200-10-3a	**469433**	478380	1.91	1596	473875	0.95	1776	471024	0.34	-	474087	0.99	-	469870	0.09	4075	471978	0.54	330	475276	1.24	835	472417	0.64	720	4.85
200-10-3b	**362653**	365166	0.69	591	363701	0.29	1326	363907	0.35	-	366416	1.04	-	363103	0.12	7888	362827	0.05	214	365592	0.81	721	363537	0.24	590	11.53
Ort.		**199630**	**1.12**	**258**	**197778**	**0.46**	**422**	**196911**	**0.13**	-	**197357**	**0.27**	**4221**	**196776**	**0.13**	**1163**	**197229**	**0.37**	**91**	**197534**	**0.32**	**199**	**197752**	**0.45**	**148**	**2.99**
NBKS		**12**			**10**			**14**			**16**			**11**			**7**			**13**			**14**			
NIBS		**0**			**0**			**0**			**2**			**0**			**1**			**0**			**0**			

Çizelge 5.4 Barreto seti için en iyi sonuçlar

Test setleri	BKS	GRASP + ELS			SALRP			ALNS – 5000 K			GRASP + ILP			GVTNS			HYBRIDGA+			DKAxEYA			
		En iyi	Fark	Süre	En iyi	Fark	Süre	En iyi	Fark	Süre	En iyi	Fark	Süre	En iyi	Fark	Süre	En iyi	Fark	Süre	En iyi	Fark	Süre	Std. sap.
Christofides69-50x5	565.6	565.6	0.00	8	565.6	0.00	53	565.6	0.00	-	569.5	0.71	18	580.4	2.62	22	565.6	0.00	16	565.6	0.00	11	0.03
Christofides69-75x10	844.4	850.8	0.76	86	848.9	0.53	127	848.9	0.53	-	844.6	0.00	88	853.8	1.11	45	844.4	0.00	62	854.5	1.19	44	0.04
Christofides69-100x10	833.4	833.4	0.00	127	838.3	0.59	331	833.4	0.00	-	840.7	0.88	492	837.1	0.44	111	833.4	0.00	82	835.5	0.25	97	0.09
Daskin95-88x8	355.8	355.8	0.00	130	355.8	0.00	577	355.8	0.00	-	355.8	0.00	210	361.6	1.63	97	355.8	0.00	161	355.8	0.00	62	0.00
Daskin95-150x10	43919.9	43963.6	0.10	1697	45109	2.71	323	44004.9	0.19	-	43952.3	0.07	1842	44578.9	1.50	199	43919.9	0.00	530	43920.1	0.00	690	2.65
Gaskell67-21x5	424.9	424.9	0.00	0	424.9	0.00	18	424.9	0.00	-	424.9	0.00	2	424.9	0.00	4	424.9	0.00	2	424.9	0.00	0	0.00
Gaskell67-22x5	585.1	585.1	0.00	15	585.1	0.00	17	585.1	0.00	-	585.1	0.00	3	585.1	0.00	6	585.1	0.00	2	585.1	0.00	0	0.00
Gaskell67-29x5	512.1	512.1	0.00	9	512.1	0.00	24	512.1	0.00	-	512.1	0.00	5	512.1	0.00	7	512.1	0.00	3	515.1	0.60	1	0.00
Gaskell67-32x5	562.2	562.2	0.00	18	562.2	0.00	27	562.2	0.00	-	562.2	0.00	6	562.2	0.00	20	562.2	0.00	4	562.2	0.00	1	0.00
Gaskell67-32x5	504.3	504.3	0.00	34	504.3	0.00	25	504.3	0.00	-	504.3	0.00	8	504.3	0.00	15	504.3	0.00	3	504.3	0.00	1	0.00
Gaskell67-36x5	460.4	460.4	0.00	0	460.4	0.00	32	460.4	0.00	-	460.4	0.00	9	460.4	0.00	22	460.4	0.00	5	460.4	0.00	1	0.00
Min92-27x5	3062.0	3062.0	0.00	35	3062.0	0.00	23	3062.0	0.00	-	3062.0	0.00	4	3062.0	0.00	7	3062.0	0.00	3	3062.0	0.00	0	0.00
Min92-134x8	5709.0	5719.3	0.18	280	5709.0	0.00	522	5709.0	0.00	-	5719.3	0.18	750	5789.0	1.40	134	5709.0	0.00	343	5714.7	0.10	550	0.78
Ort.		**4492.27**	**0.08**	**188**	**4579.85**	**0.29**	**161**	**4494.51**	**0.06**	**1772**	**4491**	**0.14**	**264**	**4547.06**	**0.67**	**53**	**4487.62**	**0.00**	**94**	**4489.25**	**0.17**	**112**	**0.28**
NBKS		10			10			11			8			7			13			8			
NIBS		0			0			0			0			0			0			0			

BÖLÜM 6

ÖNERİLEN ALGORİTMANIN İKİ FARKLI ÖRNEK OLAYA UYGULANMASI

6.1 Örnek Olay 1: Belirsizlik Altında ve Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi

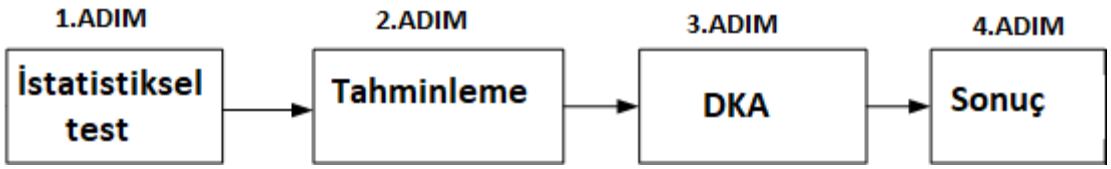
İlk örnek olayda, bir otomotiv yedek parça dağıtıcısı firma, müşterilerine hizmet ulaştırmak için depo yerlerini ve dağıtım sırasını belirlemeye çalışmaktadır. Bu örnek olayda KKYSAR problemi için yapay sinir ağları gelecek müşteri taleplerini belirlemek üzere uygulanmıştır. Problemin çözümünden önce verilerin iyi bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Çünkü burada kullanılacak en önemli veri müşterinin gelecek dönemlere ait talep miktarının etkili bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle tahmin işleminde Genetik Algoritma ile Yapay Sinir Ağları hibrit edilerek veri setine uygulanmıştır. Gelecek dönemlere ait talep tahminleri elde edildikten sonra yer seçimi ve araç rotalama problemine geçilmiştir. Problemin çözümünde ise Değişken Komşuluk Arama algoritması kullanılmıştır. Kullanılan algoritma beş farklı komşuluk yapısı ile ideal bir çözüm vermiştir.

Şekil 6.1, örnek olay için kullanılan firmanın muhtemel depo yerlerini ve hizmet bekleyen müşterilerini göstermektedir. Şekil 6.1'de gösterilen koyu renkteki D1 ve D2 şu an mevcut sistemde kullanılan depo noktalarıdır. D3, D4, D5, D6, D7, D8 ve D9 ise muhtemel yeni açılması düşünülen depo yerleridir. Ayrıca şekil üzerinde 30 müşterinin yerleri yıldız şeklinde tek tek belirtilmiştir.



Şekil 6.1 Firmanın muhtemel depo yerleri ve müşterilerin dağılımı

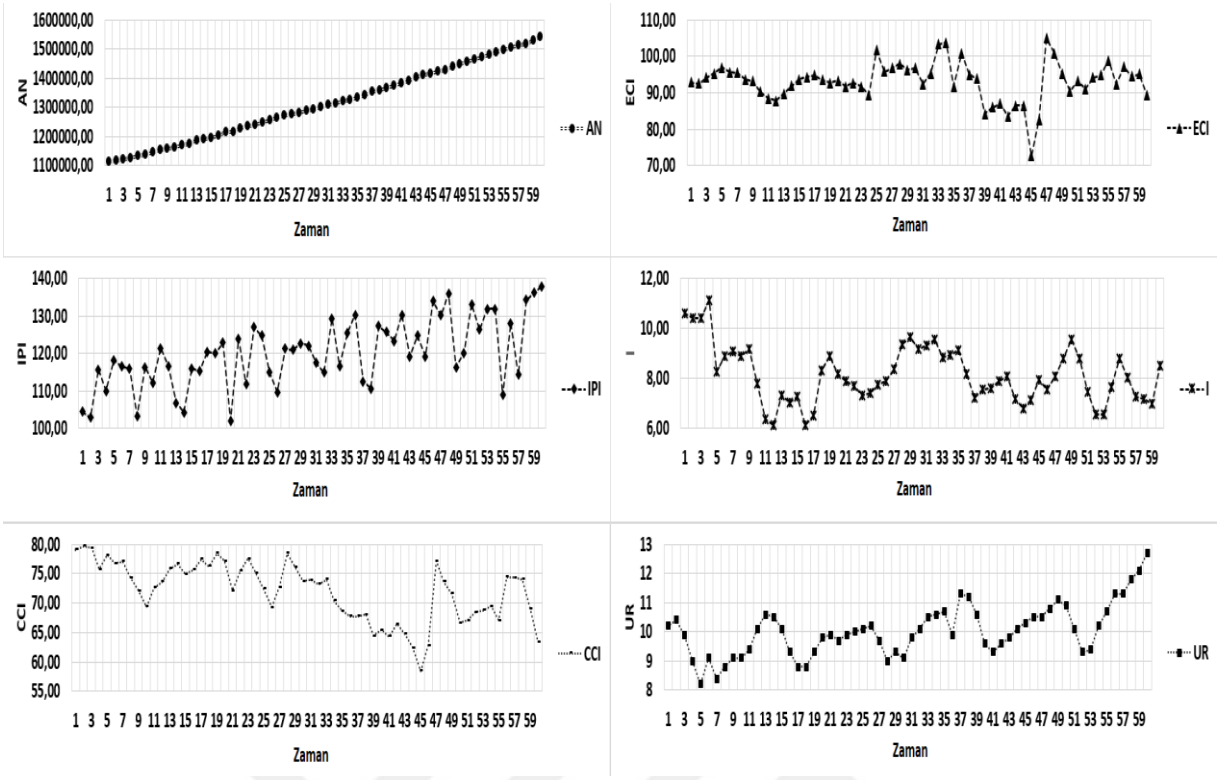
Örnek olay üzerinde uygulanacak aşamalar aşağıda verilen Şekil 6.2'de gösterilmektedir.



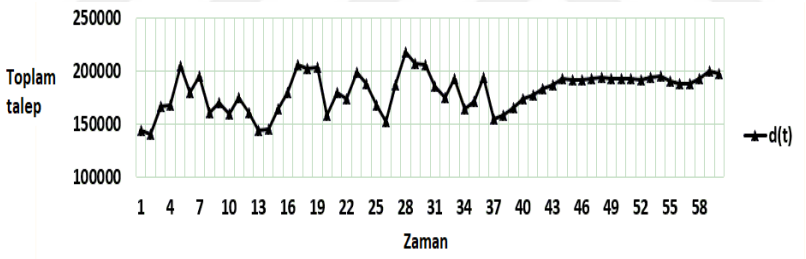
Şekil 6.2 Örnek olayda uygulanan genel adımlar

6.1.1 Örnek olayda kullanılan veriler

Müşterilerin taleplerini etkileyen bazı faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler işsizlik oranı (UR), müşteri güven indeksi (CCI), enflasyon (I), sanayi üretim indeksi (IPI), ekonomik güven indeksi (ECI) ve üretilen otomobil sayısı (AN) olarak ilk bakışta karşımıza çıkmaktadır. Fakat bu faktörlerin etkisi olup olmadığını görmek için bazı testlerin yapılması gerekmektedir. Yukarıda bahsedilen veriler Türkiye İstatistik Kurumundan elde edilmiştir. Şekil 6.3, altı farklı girdiye ait verilerin zaman serisini göstermektedir. Şekil 6.4, firmanın müşterilerinden gelen talep miktarlarını göstermektedir. Her iki şekilde gösterilen zaman aralığı 2012-2016 yılları arasındaki aylık verilerden oluşmaktadır.



Şekil 6.3 Altı farklı girdiye ait verilerin zaman serisi



Şekil 6.4 Müşterilerden gelen toplam sayıları

6.1.2 Verilere istatistiksel analiz uygulanması

Verilerin daha önce verilen zaman serilerinde lineer bir yapı göze çarpmamaktadır. Fakat bu durumun istatistiksel olarak gösterilmesi gerekmektedir. Çizelge 6.1 GA-ANN tahmin modelinde kullanılacak olan verilerin F testi sonuçlarını göstermektedir. Çizelgede bulunan verileri %95 güvenirlilik oranına göre değerlendirdiğimizde CCI ve ECI verilerinin SPSS programı tarafından oluşturulan regresyon temelli modelde pek etki etmeyebileceğini belirtmektedir. Veriler arasında lineer bir ilişki olmayabilir ve bu durumda lineer olmayan bir ilişki olup olmadığının kontrolü yapılırsa daha sağlıklı sonuçlar elde edilmiş olur.

Çizelge 6.1 Verilerin istatistiksel analizi

Parametre	Hata kareler toplamı	Bağımsızlık derecesi	Ortalama hata kareleri	F testi	Önem seviyesi
UR	936.541	4	234.135	3.431	0.017
CCI	230.296	3	76.765	1.125	0.351
I	952.114	5	190.423	2.791	0.030
IPI	2856.460	3	952.153	13.954	0.000
ECI	9.630	2	4.815	0.071	0.932
AN	2311.871	4	577.968	8.470	0.000
Hata	2592.865	38	68.233	-	-

6.1.3 GA-ANN yapısının uygulanması

Uygulanan GA-ANN modeli dört farklı parametre olan popülasyon büyüklüğü, çaprazlama oranı, mutasyon oranı ve gizli nöron sayısına göre oluşturulan farklı kombinasyonlarının sonuçları elde edilmiştir. Çizelge 6.2 altı farklı veri girdisi olan parametrelerin elde edilen en iyi on değerini göstermektedir. Bu sonuçların elde edilmesi için 3800 farklı varyasyon denenmiştir. Gösterilen değerler eğitim ve test setlerine ait olup, en iyi durum popülasyon büyüklüğü 20, çaprazlama oranı 0.8 mutasyon oranı 0.5 ve gizli nöron sayısı 16 olduğunda ortaya çıkmaktadır. Sırasıyla eğitim ve test için R^2 değerinin 0.9526 ve 0.8011 bulunması oldukça iyi sonuçlardır. Genellikle %80 üzerinde olan değerler iyi olarak kabul edilmektedir.

Çizelge 6.2 Altı farklı veri parametresinin en iyi on R^2 değerleri

Popülasyon Büyüklüğü	Çaprazlama oranı	Mutasyon oranı	Gizli Nöron	R^2 Eğitim (Ortalama)	R^2 Test (Ortalama)	Eğitim Standard Sapma	Test Standart Sapma
20	0.8	0.5	16	0.9526	0.8011	0.0087	0.0117
20	0.5	0.7	15	0.9509	0.7927	0.0071	0.0063
20	0.8	0.1	19	0.9508	0.7209	0.0103	0.0094
20	0.7	0.4	16	0.9503	0.7978	0.0060	0.0078
20	0.6	1	12	0.9496	0.7585	0.0116	0.0148
20	0.7	0.1	19	0.9494	0.7589	0.0234	0.0219
20	0.5	0.1	16	0.9492	0.7826	0.0249	0.0170
20	0.7	0.7	15	0.9490	0.7083	0.0161	0.0247
20	0.5	0.1	17	0.9473	0.7480	0.0122	0.0129
20	0.7	0.2	13	0.9469	0.7730	0.0140	0.0144

Çizelge 6.3 dört farklı veri girdisi olan parametrelerin elde edilen en iyi on değerini göstermektedir. Bu sonuçların elde edilmesi için 3800 farklı varyasyon denenmiştir. Gösterilen değerler eğitim ve test setlerine ait olup, en iyi durum popülasyon büyüklüğü 20, çaprazlama oranı 0.7 mutasyon oranı 1 ve gizli nöron sayısı 20 olduğunda ortaya çıkmaktadır. Sırasıyla eğitim ve test için R^2 değerinin 0.7417 ve 0.6607 bulunması iyi sonuçlar olmadığını göstermektedir.

Çizelge 6.3 Dört farklı veri parametresinin en iyi on R^2 değerleri

Popülasyon Büyüklüğü	Çaprazlama oranı	Mutasyon oranı	Gizli Nöron	R^2 Eğitim (Ortalama)	R^2 Test (Ortalama)	Eğitim Standard Sapma	Test Standart Sapma
20	0.7	1	20	0.7417	0.6607	0.0126	0.0132
20	0.4	0.4	17	0.7411	0.7056	0.0098	0.0081
20	0.8	0.7	17	0.7400	0.6805	0.0040	0.0272
20	0.8	1	16	0.7357	0.6593	0.0086	0.0301
20	0.6	0.8	12	0.7320	0.6499	0.0092	0.0252
20	0.8	0.5	7	0.7319	0.7191	0.0198	0.0296
20	0.5	0.8	7	0.7245	0.6564	0.0120	0.0092
20	0.7	0.1	14	0.7219	0.6256	0.0144	0.0134
20	0.7	0.6	7	0.7213	0.6949	0.0138	0.0186
10	0.5	0.1	14	0.7200	0.7039	0.0129	0.0152

Her iki durum (Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3) incelendiğinde, en iyi değer Çizelge 6.2'de belirtilen ilk değerdir. Burada tüm altı girdinin kullanılmasının daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. İstatiksel analiz sonucu CCI ve ECI parametreleri lineer olarak etkisiz görünmesine rağmen, lineer olmayan yapıların tahminlemesinde başarılı olan GA-ANN ile tahminlendiğinde son derece önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. GA-ANN'nin lineer olmayan modellerin tahminleme işlemlerinde ne kadar önemli olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle gelecek yıllara ait olan taleplerin tahmininde bu altı veri temel alınmıştır.

Bu işlemden sonra müşteri taleplerinin on yıl sonraki tahminleri yapılmıştır. Ayrıca diğer verilerin gelecek yıllarda alacağı değer en kötü, olması daha muhtemel ve en iyi olarak üç farklı kategoride değerlendirilmiştir. Çünkü bu verilerin çok net tahminini yapmak günümüzde son derece zordur. Çizelge 6.4'de on yıl sonrası için verilerin en kötü, olması muhtemel ve en iyi ihtimalle olabileceği değerler verilmektedir. Bu veriler ile birlikte on yıl sonraki talep tahminleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 6.4 On yıl sonrası için minimum, muhtemel ve maksimum değerler

Girdi parametreleri	Minimum	Muhtemel	Maksimum
UR(2026)	12.70	10	8.70
CCI(2026)	58.50	71.81	79.65
I(2026)	11.14	8.20	6.13
IPI(2026)	102.10	120.15	137.90
ECI(2026)	72.60	92.96	104.80
AN(2026)	-	3,248,794	-

6.1.4 DKA algoritmasının uygulanması ve sonuçlar

Tahmin aşaması tamamlandıktan sonra, DKA algoritması uygulanmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Uygulanan komşuluk sayısı beş olup, bunlar N_1, N_2, N_3, N_4 ve N_6 komşuluk yapılarıdır.

İlk olarak aşağıda gösterilen Şekil 6.5'de firmanın mevcut rota planı görülmektedir. Mevcut rotalama planında ortaya çıkan rotalama ve depolama maliyeti 274740$ olarak gerçekleşmektedir. Toplamda dokuz farklı rota kullanılmaktadır. En çok müşteriye hizmet ulaştırılan rota 8 numara ile gösterilmektedir.

Rota 1:	D1	4	9	D1			
Rota 2:	D1	5	6	D1			
Rota 3:	D1	15	14	13	10	D1	
Rota 4:	D1	25	7	29	D1		
Rota 5:	D1	30	3	D1			
Rota 6:	D2	2	8	20	1	D2	
Rota 7:	D2	11	21	12	23	D2	
Rota 8:	D2	17	28	22	26	24	D2
Rota 9:	D2	18	19	27	16	D2	

Şekil 6.5 Firmanın mevcut rota planı

Şekil 6.6, mevcut depo tesisleri değiştirilmeden var olan rotaların iyileştirilmesi sonucu elde edilen yapıyı göstermektedir. Toplamda ilk halinde olduğu gibi dokuz farklı rota bulunmaktadır. Burada ortaya çıkan toplam maliyet 268270 $ olarak gerçekleşmektedir. İlk yapıdan bir miktar daha düşük maliyet sunmakta olup, bu durumda %2.35'lik bir iyileştirme olanağı vermektedir.

Rota 1:	D1	4	D1				
Rota 2:	D1	9	15	14	13	D1	
Rota 3:	D1	16	18	19	27	10	D1
Rota 4:	D1	24	17	28	22	26	D1
Rota 5:	D1	29	7	25	D1		
Rota 6:	D2	2	8	20	1	D2	
Rota 7:	D2	5	6	D2			
Rota 8:	D2	11	12	23	21	D2	
Rota 9:	D2	30	3	D2			

Şekil 6.6 İyileştirme yapılan rotaların son hali

Şekil 6.7, D1 ve D2 depo yerleşim yerleri seçilmemiş olsaydı hangi rotaların oluşturulacağını ve tesis yerlerini seçileceğini göstermektedir. Bu durumda, D1 ve D2 tesis yerleri seçilmemektedir. Bu tesis yerleri yerine D3, D4 ve D6 tesis yerleri tercih edilmektedir. Ayrıca

dokuz olan rota sayısı sekize düşmektedir. Böyle bir durumda ortaya çıkacak toplam maliyet 212550 $ olarak gerçekleşebilirdi.

Rota 1:	D3	3	2	8	20	D3	
Rota 2:	D3	4	5	D3			
Rota 3:	D3	6	30	D3			
Rota 4:	D4	10	21	11	1	15	D4
Rota 5:	D4	12	23	13	14	D4	
Rota 6:	D4	16	18	19	27	D4	
Rota 7:	D6	17	29	24	26	22	D6
Rota 8:	D6	28	7	9	25	D6	

Şekil 6.7 D1 ve D2 depo yerleri seçilmeden yapılan rotalama

Çizelge 6.5, on yıl sonrası için daha önceden bahsedilen üç farklı duruma göre oluşabilecek sonuçları göstermektedir. Bu sonuçların gösterimi sırasında farklı filo kapasitelerine göre ortaya çıkacak maliyetler sunulmaktadır. Çizelge 6.5 incelendiğinde, talebin minimum olduğu senaryonun gerçekleşmesi durumunda ortaya çıkabilecek en düşük maliyet 314660 $ olmaktadır. D1, D2 ve D8 depoları tercih edilmekte ve dört farklı rota kullanılmaktadır. Burada her bir aracın kapasite homojen ve 100 br olarak alınmıştır. Belirlenen en düşük maliyette dört farklı rota için 40 araç gerekmektedir. Eğer minimum talep değil de muhtemel talep senaryosu gerçekleşirse, bu durumda en düşük maliyet 375370 $ olarak hesaplanmaktadır. Bu durumda D1, D2, D3 ve D6 depo yerleri tercih edilmektedir. Ayrıca altı farklı rota kullanılmakta ve 42 adet araca ihtiyaç duyulmaktadır. Maksimum talep senaryonun gerçekleşmesi durumunda, toplam maliyet 381260 $ olarak gerçekleşmektedir. D1, D2, D3 ve D8 depo yerleri kullanıma alınmaktadır. Beş farklı rota oluşturulmakta ve 50 adet araç ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 6.5 On yıl sonrası için üç farklı maliyet durumu

	Minimum			**Muhtemel**			**Maksimum**		
	Maliyet($)	Depo	Rota	Maliyet($)	Depo	Rota	Maliyet($)	Depo	Rota
Filo kap.: 300	361500	1, 2, 6, 8	14	412330	1, 2, 3, 5	17	431990	1, 2, 3, 7, 8	17
Filo kap.: 400	355690	1, 2, 6, 8	10	402120	1, 2, 3, 4	13	435010	1, 2, 3, 5, 8	13
Filo kap.: 500	345620	1, 2, 4	9	391680	1, 2, 3, 4	9	426080	1, 2, 3, 6, 8	10
Filo kap.: 600	319450	1, 2, 3	6	377130	1, 2, 3, 8	8	416210	1, 2, 5, 6, 8	8
Filo kap.: 700	327070	1, 2, 3	6	376760	1, 2, 3, 8	7	410320	1, 2, 7, 8, 9	7
Filo kap.: 800	324650	1, 2, 3	5	**375370**	1, 2, 3, 6	6	396870	1, 2, 3, 9	7
Filo kap.: 900	317760	1, 2, 3	4	382490	1, 2, 3, 8	6	382220	1, 2, 6, 8	6
Filo kap.: 1000	**314660**	1, 2, 8	4	379220	1, 2, 3, 9	5	**381260**	1, 2, 3, 8	5
Filo kap.: 1100	321580	1, 2, 8	4	384340	1, 2, 6, 8	5	384540	1, 2, 3, 8	5

Nihai olarak, gelecek yıllarda kullanılması kuvvetle muhtemel D1 ve D2 depo yerleri olarak görünmektedir. Çünkü her üç durumda da ortak olarak seçilen bu depo yerleridir. Ayrıca D3 depo yeri D1 ve D2 depo yerlerinden sonra seçilme ihtimali daha fazladır.

6.2 Örnek Olay 2: Belirsizlik Altında, Kapasite Kısıtlı ve Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi

Belirsizlik altında depo yeri seçimi ve araç rotalama problemi üzerine örnek bir olay ele alınmıştır. Örnek olayın çözümü hem deterministik hem de bulanık olarak gerçekleştirilmiştir. Örnek olay olarak Hatay'da hizmet veren bir gıda firması Şekil 6.8'de harita üzerinde mavi noktalar ile gösterilen müşterilerine hizmet ulaştırmayı planlamaktadır. Yeşil büyük noktalar ise hizmetin sağlanacağı dağıtım merkezleridir.



Şekil 6.8 Dağıtım yerlerini ve müşterilerin harita üzerinde gösterimi

6.2.1 Örnek olayın belirli talep ve zaman kısıtsız çözümü

Yukarıda detayları verilen örnek olayın ilk olarak belirli talep ve zaman kısıtı olmadan en iyi çözümün bulunması amaçlanmaktadır. Buradan farklı filolara göre elde edilecek en iyi çözümlerin bir sonraki bölümde bulanık talep ve zaman kısıtlı olayda maliyetlerin nasıl değişime uğradığını göstermesi açısından son derece önemlidir. Şekil 6.9, 900 birimlik araç kapasitelerine göre müşterilerin ilgili dağıtım merkezlerine göre oluşturulan araçların rotalarını göstermektedir. Şekil 6.10, 2500 birimlik araç kapasitelerine göre müşterilerin ilgili dağıtım merkezlerine göre araç rotalarını göstermektedir. Şekil 6.11, heterojen araç

kapasitelerine göre müşterilerin ilgili dağıtım merkezlerine göre araç rotalarını göstermektedir. Çizelge 6.6, üç farklı filo tipine göre rotalama ve tesis yeri maliyetlerini göstermektedir.

900 birimlik homojen filolar kullanıldığında 4866.22 TL ulaştırma, 800 TL tesis yeri ve 2000 TL araç maliyeti olmak üzere toplam 7666.22 TL'lik bir maliyet ortaya çıkmaktadır. Ayrıca bu filo yapısında toplam sekiz araç gerekmektedir. Dağıtım merkezi olarak 2 ve 3 numaralı tesis yerleri seçilmektedir.

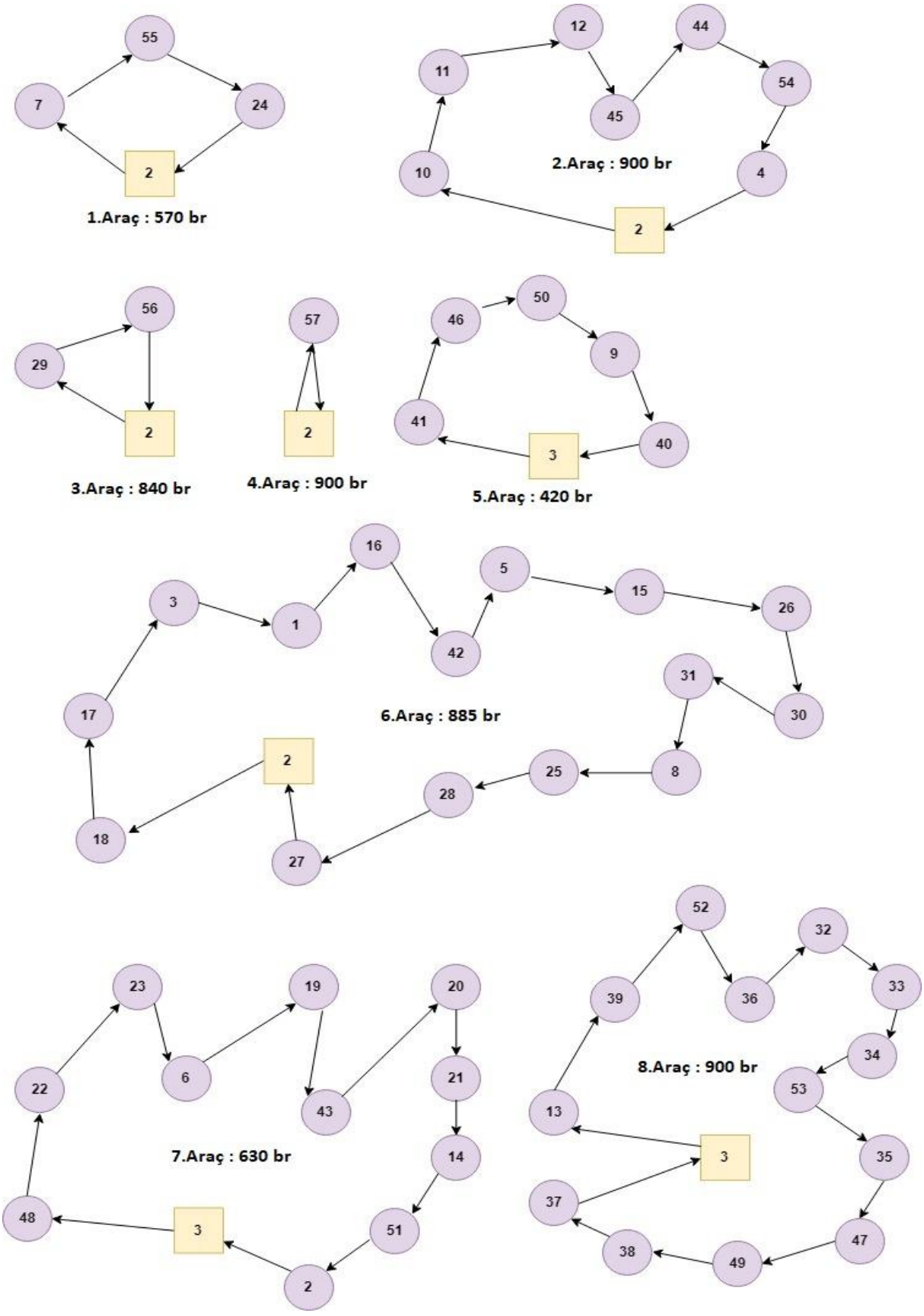
2500 birimlik homojen filolar kullanıldığında 3908.14 TL ulaştırma, 800 TL tesis yeri ve 750 TL araç maliyeti olmak üzere toplam 5458.14 TL'lik bir maliyet ortaya çıkmaktadır. Ayrıca bu filo yapısında toplam üç araç gerekmektedir. Dağıtım merkezi olarak 2 ve 3 numaralı tesis yerleri seçilmektedir.

Çizelge 6.6 Üç farklı filo tipine göre rotalama ve tesis yeri maliyetleri

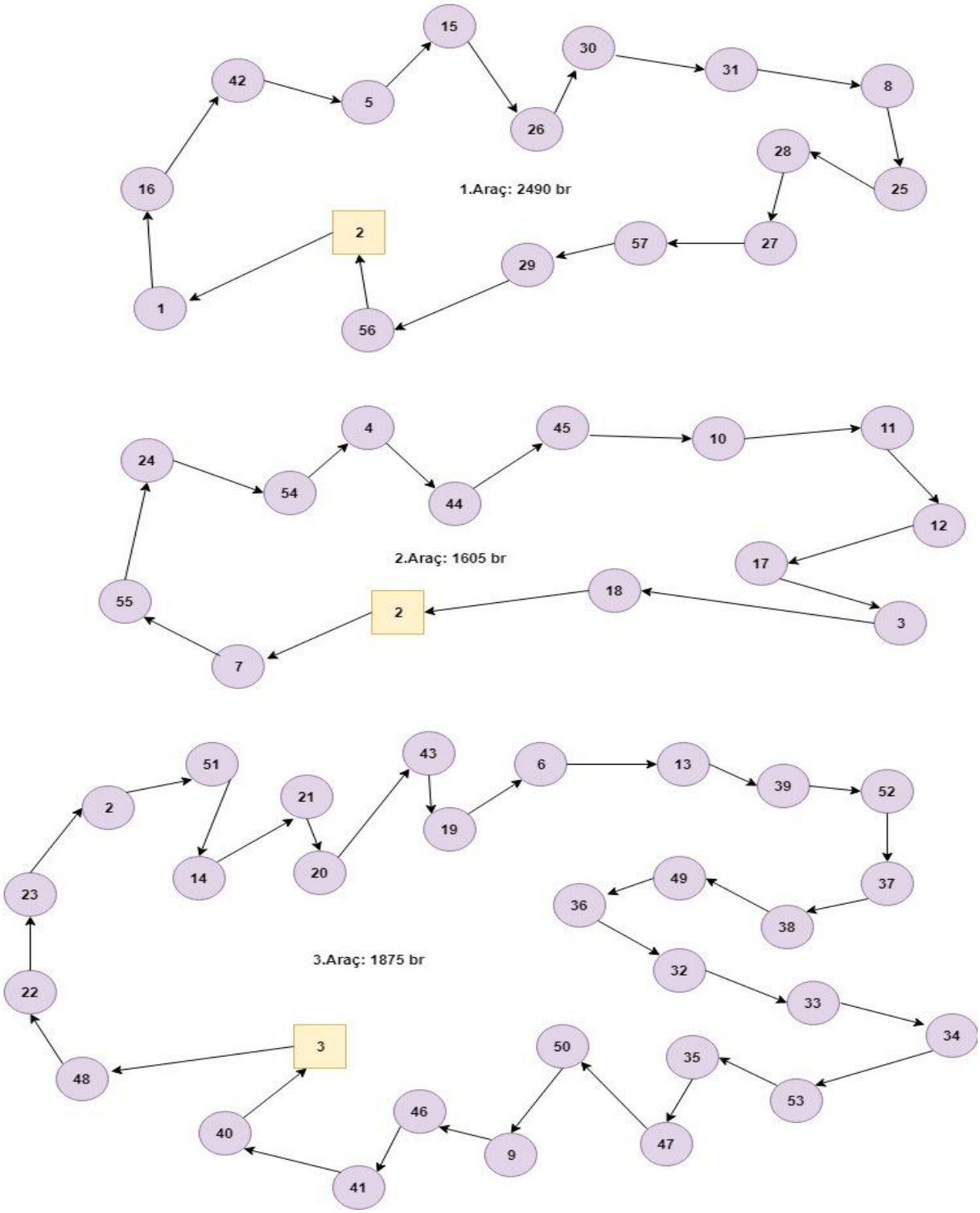
900 birimlik homojen filo			**2500 birimlik homojen filo**			**Heterojen filo**		
Müşteri	Ulaştırma maliyeti	Araç	Müşteri	Ulaştırma maliyeti	Araç	Müşteri	Ulaştırma maliyeti	Araç
7	43.32	1	1	78.88	1	4	36.31	1
55	128.55	1	16	30.55	1	54	107.65	1
24	34.16+197.50	1	42	26.82	1	24	56.67	1
10	59.49	2	5	10.53	1	7	158.32+210.35	1
11	2.79	2	15	41.59	1	44	58.33	2
12	1.96	2	26	50.97	1	55	202.27+169.56	2
45	23.30	2	30	20.46	1	14	126.88	3
44	54.32	2	31	44.84	1	1	63.46	3
54	167.75	2	8	44.83	1	3	11.40	3
4	107.65+36.31	2	25	40.43	1	17	11.11	3
29	114.81	3	28	32.42	1	12	10.37	3
56	15.53+102	3	27	29.26	1	11	1.96	3
57	123.46+123.46	4	57	49.07	1	45	22.26	3
41	73.45	5	29	17.05	1	10	21.13	3
46	77.62	5	56	15.53+102	1	18	19.05	3
50	584.44	5	7	43.32	2	56	87.87	3
9	527.58	5	55	128.55	2	29	15.53	3
40	152.27+49.56	5	24	34.16	2	57	17.05	3
18	54.17	6	54	56.67	2	15	85.54	3
17	20.52	6	4	107.65	2	51	53.41	3
3	11.11	6	44	69.40	2	2	25.77+108.93	3
1	11.40	6	45	54.32	2	30	218.42	4
16	30.55	6	10	21.13	2	26	20.46	4
42	26.82	6	11	2.79	2	31	31.90	4
5	10.53	6	12	1.96	2	8	44.83	4
15	41.59	6	17	10.37	2	25	40.43	4
26	50.97	6	3	11.11	2	28	32.42	4
30	20.46	6	18	27.97+54.17	2	27	29.26	4
31	44.84	6	48	36.51	3	5	49.11	4
8	44.83	6	22	27.19	3	42	10.53	4
25	40.43	6	23	0.14	3	16	26.82	4
28	32.42	6	2	64.84	3	20	69.79	4
27	29.26+156.60	6	51	25.77	3	21	0.82	4
48	36.51	7	14	23.25	3	43	16.05	4
22	27.19	7	21	42.30	3	19	35.80	4
23	0.14	7	20	0.82	3	6	6.32	4
6	22.72	7	43	15.53	3	23	22.72	4
19	6.32	7	19	35.80	3	22	0.14	4
43	35.80	7	6	6.32	3	48	27.19	4
20	15.53	7	13	66.53	3	13	53.34	4
21	0.82	7	39	61.01	3	39	61.01	4
14	42.30	7	52	2.72	3	52	2.72	4
51	23.25	7	37	44.57	3	37	44.57	4
2	25.77+108.93	7	38	37.79	3	38	37.79	4
13	50.21	8	49	42.79	3	49	42.79	4
39	61.01	8	36	83.64	3	36	83.64	4
52	2.72	8	32	253.04	3	32	253.04	4
36	134.19	8	33	192.90	3	33	192.90	4
32	253.04	8	34	33.67	3	34	33.67	4
33	192.90	8	53	38.95	3	53	38.95	4
34	33.67	8	35	11.39	3	35	11.39	4
53	38.95	8	47	66.62	3	47	66.52	4
35	11.39	8	50	653.77	3	50	653.77	4
47	66.62	8	9	527.58	3	9	527.58	4
49	43.32	8	46	86.51	3	46	86.51	4
38	42.79	8	41	77.62	3	41	77.62	4
37	37.79+124.56	8	40	40.21+49.56	3	40	40.21	4
800	4866.22	2000	800	3908.14	750	800	4672.19	1000

2500 ve 900 birimlik araç kapasitelerine sahip heterojen araç filoları kullanıldığında, 2 ve 3 numaralı dağıtım merkezleri seçilmekte ve bunların maliyeti 800 TL olarak bulunmaktadır. Ayrıca dört araç gerekmekte ve araçların maliyeti 1000 TL olmaktadır. Ulaştırma maliyeti 4672.19 TL ve toplam maliyet ise 6472.19 TL olarak hesaplanmıştır.

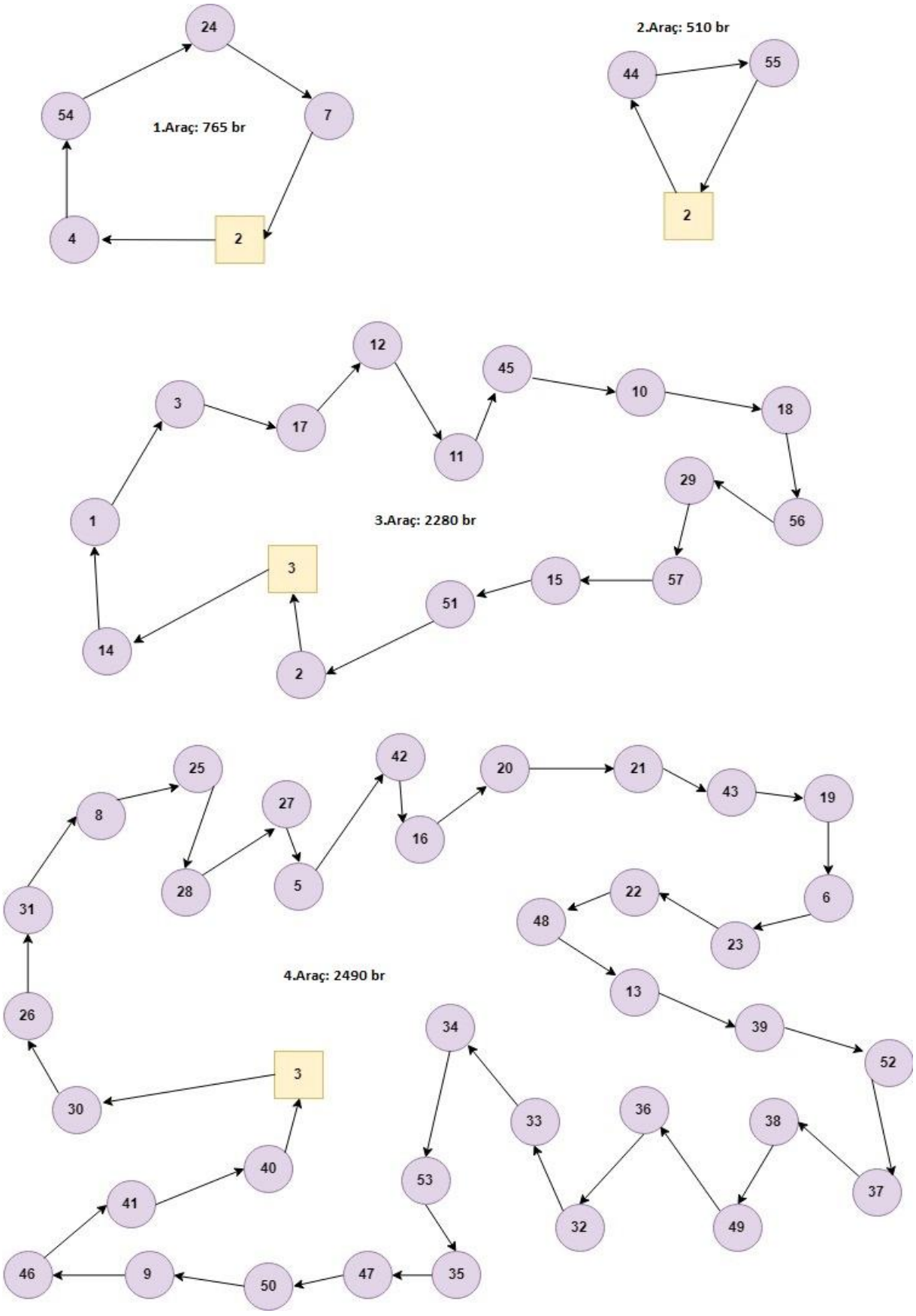
Üç farklı filo tipi incelendiğinde, en düşük maliyetin 2500 araç kapasitesine sahip filolar tarafından sağlandığı görülmektedir. Bu durumda, araç maliyetlerinin sabit alınması da etkili olmaktadır. Araç maliyetleri kapasite miktarına göre değişken alındığında şüphesiz daha farklı sonuçlar elde edilecektir. Aşağıda bu üç duruma ait rotalama görselleri şekillerde sunulmaktadır.



Şekil 6.9 900 birimlik araç kapasitelerine göre rotalanma



Şekil 6.10 2500 birimlik araç kapasitelerine göre rotalama



Şekil 6.11 Heterojen araç kapasitelerine göre rotalama

6.2.2 Örnek olayın bulanık talep ve zaman kısıtlı çözümü

Çizelge 6.7, Çizelge 6.8-6.10'da kullanılan kısaltmaların açılımı göstermektedir. Müşterinin siparişinin karşılanamama durumda birim maliyet 0.1 TL, aracın birim bekleme maliyeti 0.5 TL ve müşteri siparişinin zamanında karşılanmaması durumunda birim maliyet 0.4 TL olarak ele alınmıştır.

Çizelge 6.7 Çizelge 6.8-6.10'da kullanılan kısaltmaların açılımı.

Kısaltma	Açılımı
NOV	Araç sayısı
DP	Dağıtım noktası
DC	Dağıtım hizmeti veren merkezin maliyeti ($)
TRC	Ulaştırma maliyeti ($)
AC	Karşılanmayan talep için ilave maliyet ($)
VWC	Teslimat zamanından önce ulaşan aracın bekleme maliyeti ($)
CWC	Hizmetin zamanında teslim edilememe durumunda oluşan maliyet ($)
TC	Toplam maliyet ($)

Çizelge 6.8 900 birimlik araç kapasitesine sahip filo için elde edilen çözümler

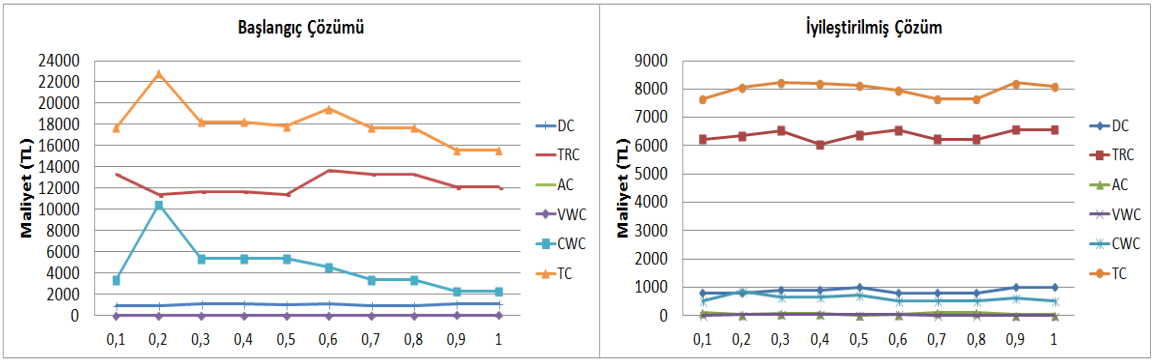
	Başlangıç Çözümü								İyileştirilmiş çözüm							
Cr	NOV	DP	DC (TL)	TRC (TL)	AC (TL)	VWC (TL)	CWC (TL)	TC (TL)	NOV	DP	DC (TL)	TRC (TL)	AC (TL)	VWC (TL)	CWC (TL)	TC (TL)
0.1	8	1,3	900	13316.10	18.50	53	3426	17713.60	7	2,3	800	6234.29	102	7	511.20	7654.49
0.2	7	1,3	900	11367.96	33	31	10446	22777.96	7	2,3	800	6355.66	37.50	25	843.10	8061.26
0.3	7	1,4	1100	11675.73	28.50	41.50	5388	18233.73	7	1,3	900	6537.90	78	43.50	657.80	8217.20
0.4	7	1,4	1100	11675.73	28.50	41.50	5388	18233.73	7	1,3	900	6047.90	78	43.50	639.50	8198.90
0.5	7	3,4	1000	11398.02	28.50	41.50	5388	17856.02	7	3,4	1000	6374.43	21	31	715.40	8141.83
0.6	7	1,5	1100	13711.41	30	52.50	4596	19489.91	7	2,3	800	6547.15	37.50	41	519.60	7945.25
0.7	8	1,3	900	13316.10	18.50	53	3426	17713.60	7	2,3	800	6234.29	102	7	511.20	7654.49
0.8	8	1,3	900	13316.10	18.50	53	3426	17713.60	7	2,3	800	6234.29	102	7	511.20	7654.49
0.9	8	1,5	1100	12094.45	12	55.50	2304	15565.95	8	3,4	1000	6563.77	27	0.5	625.80	8217.07
1.0	8	1,5	1100	12094.45	12	55.50	2304	15565.95	8	3,4	1000	6563.77	27	0.5	508.30	8099.57

Çizelge 6.9 2500 birimlik araç kapasitesine sahip filo için elde edilen çözümler

	Başlangıç Çözümü							İyileştirilmiş çözüm						
Cr	NOV	DP	DC (TL)	TRC (TL)	AC (TL)	VWC (TL)	CWC (TL)	TC (TL)	NOV	DP	DC (TL)	TRC (TL)	AC (TL)	VWC (TL)	CWC (TL)	TC (TL)
0.1	3	1,5	1100	10107.14	8.50	13	49212	60440.64	3	2,3	800	4831.82	0	22	14840.30	20494.12
0.2	3	1,3	900	10498.33	14.50	24	62212	73648.83	4	2,3	800	5460.20	0	21	16840.50	23121.70
0.3	3	3,4	1000	11133.07	23.50	17	61862	74035.57	3	2,3	800	5446.97	0	0	18324.70	24571.67
0.4	3	2,4	1000	11468.57	8.50	13	68820	81310.07	3	2,3	800	4895.73	0	6.50	14752.80	20455.03
0.5	3	1,3	900	10498.33	14.50	24	62212	73648.83	4	2,3	800	5460.20	0	21	16840.50	23121.70
0.6	3	2,5	1000	11518.36	8.50	13	68820	81359.86	3	2,3	800	5466.57	0	45	16224.90	22536.47
0.7	3	1,4	1100	11082.79	23.50	17	61862	74085.29	3	2,3	800	5386.22	0	42	15336.20	21564.42
0.8	3	4,5	1200	11191.73	23.50	17	61072	73504.23	3	1,3	900	5307.12	0	22.50	14909.30	21138.92
0.9	3	1,3	900	10498.33	14.50	24	72012	82540.83	3	2,3	800	4893.94	5	16.50	14980.20	20690.64
1.0	3	2,4	1000	11468.57	8.50	13	58920	71410.07	3	2,3	800	4895.73	0	6.50	14752.80	20455.03

Çizelge 6.10 Heterojen araç kapasitesine sahip filo için elde edilen çözümler

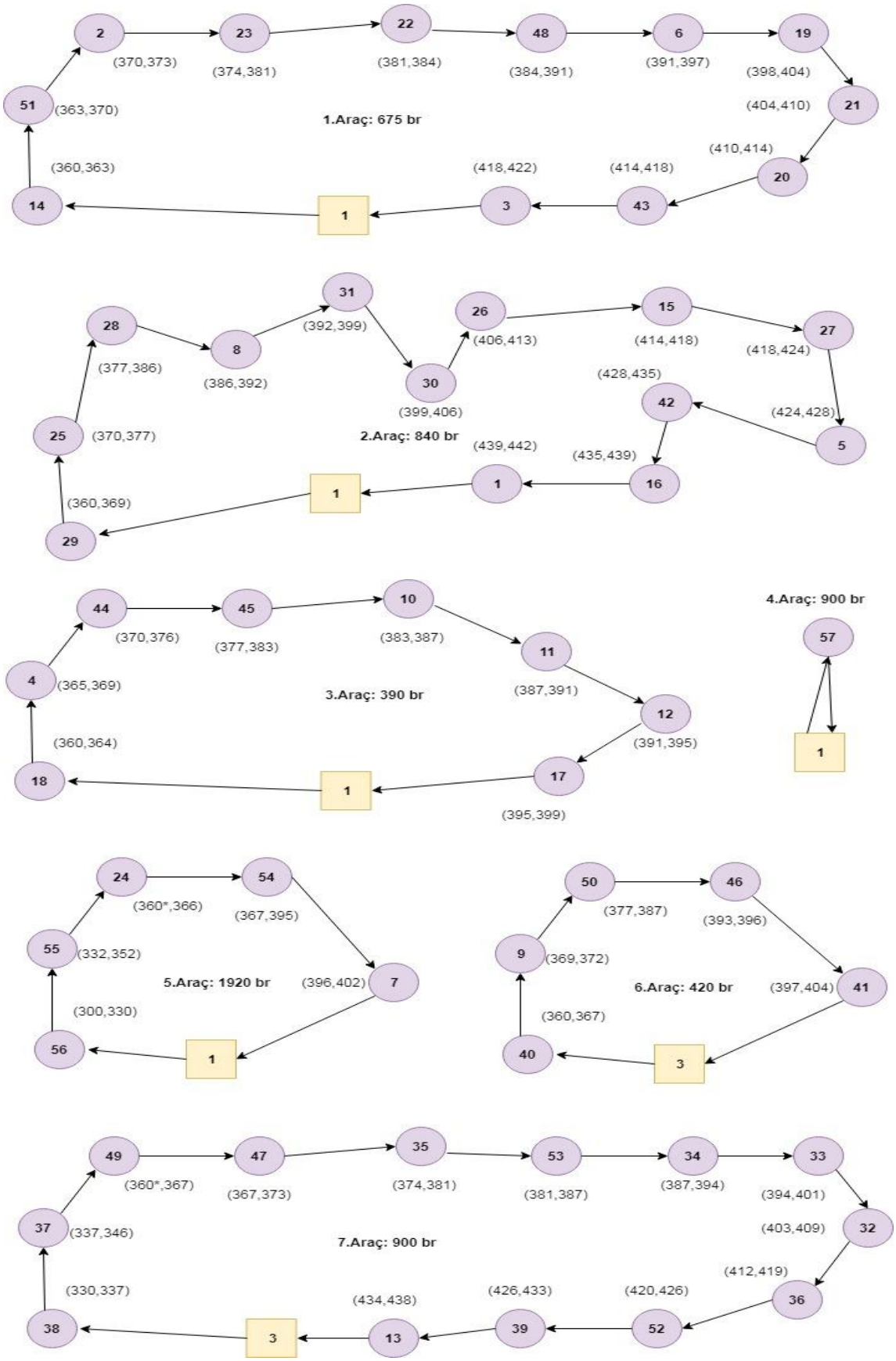
	Başlangıç Çözümü								İyileştirilmiş çözüm							
Cr	NOV	DP	DC (TL)	TRC (TL)	AC (TL)	VWC (TL)	CWC (TL)	TC (TL)	NOV	DP	DC (TL)	TRC (TL)	AC (TL)	VWC (TL)	CWC (TL)	TC (TL)
0.1	4	2,3	800	10216.63	14.50	17	47650	58698.13	4	2,4	1000	6850.03	196.50	14.50	10198	18259.03
0.2	4	1,2	900	9939.31	8.50	13	48820	59680.81	4	2,4	1000	6545.32	18.50	29	10090	17592.82
0.3	4	1,4	1100	9856.51	18.50	31	36734.80	47740.81	4	2,4	1000	6473.70	106	202.50	10048	17830.20
0.4	4	1,4	1100	9779.90	14.50	13	46420	57327.40	4	3,4	1000	6629.14	37	10	10570	18246.14
0.5	**4**	**2,3**	**800**	**11204.35**	**8**	**38**	**33636.80**	**45687.15**	**4**	**3,4**	**1000**	**6204.43**	**20**	**13**	**9824**	**17061.43**
0.6	4	1,5	1100	9910.54	14.50	30	38820.70	49875.74	4	2,4	1000	6715.40	134	34.50	10096	17979.90
0.7	4	2,4	1000	9998.80	8.50	20	65820	76847.30	4	2,5	1000	6960.05	208.50	30.50	10342	18541.05
0.8	4	1,2	900	10366.85	12.50	13	43098	54390.35	4	3,5	1000	7388.38	25.50	26	10072	18511.88
0.9	4	1,2	900	10385.63	26	13	45464	56788.63	4	2,3	800	7385.46	112.50	40	10312	18649.96
1.0	4	2,4	1000	9928.12	5	37.50	46114	57084.62	4	2,4	1000	7268.08	5	51.50	10066	18390.58



Şekil 6.12 900 birimlik araç kapasitesi için maliyet değişim grafiği

900 birimlik kapasiteye sahip araçlardan meydana gelen filo için, farklı Cr değerlerine göre başlangıç çözümleri elde edilmiştir. $Cr = 0.9$ ve $Cr = 1.0$ değerleri en iyi başlangıç çözümünü vermekte olup bu çözümün toplam maliyeti 15565.95 TL'dir. Elde edilen en iyi başlangıç çözümünde kullanılan araç sayısı 8 olup bunları hepsi homojendir. Kullanılan dağıtım noktası adedi 2 olup sırasıyla 1. ve 5. Dağıtım noktalarıdır ve toplam maliyeti 1100 TL'dir (%7.07). Toplam maliyetin 12094.45 TL'lik kısmı ulaştırma maliyeti oluşturmakta olup bu da %77.70'lik bir orana denk gelmektedir. Aslında toplam maliyetin büyük bir kısmını ulaştırma maliyeti oluşturmaktadır. Müşteri talebinin karşılanamama durumunda ortaya çıkan AC, VWC ve CWC maliyetleri sırasıyla 12 TL (%0.08), 55.50 TL (%0.36) ve 2304 TL (%14.80) olarak bulunmuştur. Şekil 6.12 900 birimlik araç kapasitesine sahip filoların farklı güvenilirlik oranlarına göre elde edilen maliyetleri göstermektedir. Başlangıç çözümünde genel olarak Cr değerlerinin artması toplam maliyetin azalmasını sağlamaktadır. Elde edilen başlangıç çözümünün iyileştirilmesi için DKAXEYA hibrit algoritması uygulanmıştır. Algoritmanın başarılı bir şekilde uygulanmasından sonra toplam maliyet 7654.09 TL olarak bulunmuş ve toplam maliyet açısından bakıldığında % 50.83'lük bir iyileştirme sağlanmıştır. En düşük toplam maliyeti veren Cr değerleri ise başlangıç çözümünden farklı olarak $Cr = 0.7$ ve $Cr = 0.8$ değerleridir. Bu durum, farklı Cr değerleri ile denemeler yapılmasının farklı çözüm uzaylarında da arama yapma imkânı tanıdığını göstermektedir. Bunun sonucunda daha iyi çözümlere ulaşma imkânı ortaya çıkmaktadır. Nitekim bu örnek olay çalışmasında bu durum ortaya çıkmış farklı Cr değerleri daha fazla iyileşme olanağı sunmuştur. Başlangıç çözümü iyileştirildikten sonra müşterinin bekleme maliyeti olan CWC tamamen ortadan kaldırılmıştır.

Ulaştırma maliyeti 6234.29 TL olarak bulunmuş ve %48.45'lik bir iyileşme sağlanmıştır. Tüm bu durum Çizelge 6.6'de detaylı bir şekilde sunulmuştur. Ayrıca Şekil 6.13'de kullanılan dağıtım merkezi ve müşterilerin hangi rotalarda oldukları detaylı olarak gösterilmiştir. Çizelge 6.11 ve Çizelge 6.12, 900 birimlik araç filosuna göre elde edilen en iyi başlangıç ve iyileştirilmiş çözümlerin detaylı sonuçlarını müşteri bazında sunmaktadır. Şekil 6.12'de iyileştirilmiş çözüm incelendiğinde, Cr değeri 0.3 değerinden 0.8 değerine doğru artarken toplam maliyette azalma sağlanırken, 0.8 değerinden sonra tekrar toplam maliyet artmaya başlamaktadır.



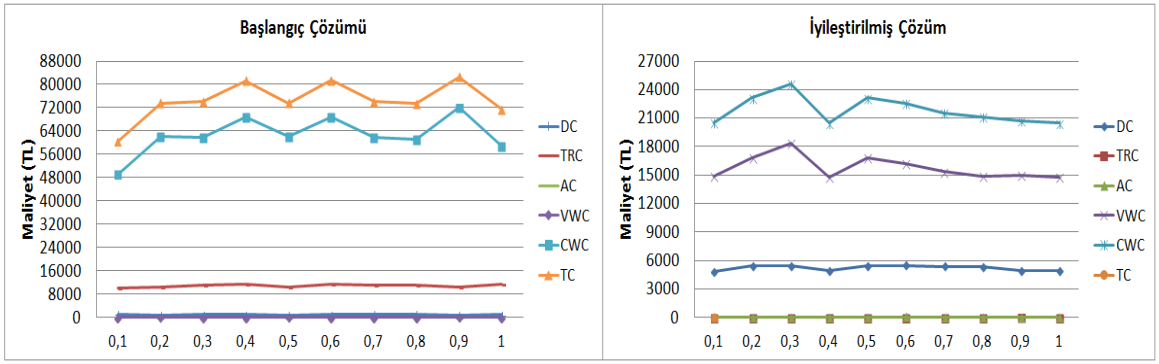
Şekil 6.13 900 birim araç kapasitesine sahip filoların iyileştirilmiş çözümü

Çizelge 6.11 900 birimlik filo için başlangıç çözümünün detaylı gösterimi

Müşteri	Müşterinin bulunduğu araç	Beklenen sipariş teslim zamanı aralığı (.dk)	Siparişin boşaltılma süresi (dk)	Müşteriye ulaşım süresi (dk)	Gerçekleşen sipariş tesliminin başlangıç ve bitiş zamanı (.dk)	Ek maliyet (TL)	Araç bekleme maliyeti (TL)	Müşterinin bekleme maliyeti (TL)	Ulaştırma maliyeti (TL)
1	1	(360-420)	3	0	(360,363)	0	0	0	0
45	1	(360-420)	6	1	(364,370)	0	0	0	50.34
44	1	(360-420)	6	1	(371,377)	0	0	0	54.32
23	1	(360-420)	7	2	(373,380)	0	0	0	152.37
43	1	(360-420)	4	1	(381,385)	0	0	0	50.61
22	1	(360-420)	3	1	(386,389)	0	0	0	50.74
2	1	(360-420)	3	1	(390,393)	0	0	0	64.90
21	1	(360-420)	6	1	(394,400)	0	0	0	59.80
3	1	(360-420)	4	1	(401,405)	0	0	0	52.86
20	1	(360-420)	4	1	(406,410)	0	0	0	52.04
40	1	(360-420)	7	2	(412,419)	0	0	0	152.83
27	1	(360-420)	6	3	(421,427)	0	0	16	251.07
19	1	(360-420)	6	2	(429,435)	0	0	100.8	161.88
4	1	(360-420)	4	2	(437,441)	0	0	108.8	180.75+115.10
5	2	(360-420)	4	0	(360,364)	0	0	0	61.02
17	2	(360-420)	4	1	(365,369)	0	0	0	77.16
14	2	(360-420)	3	1	(370,373)	0	0	0	72.58
42	2	(360-420)	7	1	(374,381)	0	0	0	51.35
51	2	(360-420)	7	1	(382,389)	0	0	0	53.42
15	2	(360-420)	4	1	(390,394)	0	0	0	53.41
26	2	(360-420)	7	1	(395,402)	0	0	0	50.97
18	2	(360-420)	4	2	(404,408)	0	0	0	175.12
16	2	(360-420)	4	1	(409,413)	0	0	0	51.22
12	2	(360-420)	4	1	(414,418)	0	0	0	57.66
6	2	(360-420)	6	1	(419,425)	0	0	0	92.45
29	2	(360-420)	9	2	(427,436)	0	0	145.6	187.36
25	2	(360-420)	7	1	(437,444)	0	0	272	60.90
11	2	(360-420)	4	2	(446,450)	0	0	166.4	165.51
48	2	(360-420)	7	1	(452,459)	1.5	0	972.8	131.03+130.47
28	3	(330-390)	9	0	(330,339)	0	0	0	121.15
54	3	(300-420)	30	3	(342,372)	0	0	0	269.84+218.55
37	4	(300-390)	9	0	(300,309)	0	0	0	261.05
34	4	(360-420)	7	2	(360*,367)	0	24.5	0	156.41
9	4	(360-420)	3	4	(371,374)	0	0	0	352.62
31	4	(360-420)	7	4	(378,385)	0	0	0	367.20
10	4	(360-420)	4	2	(387,391)	0	0	0	186.36
13	4	(360-420)	4	2	(393,397)	0	0	0	156.49
55	4	(330-420)	20	4	(401,421)	0	0	0	373.16
24	4	(360-420)	6	0	(421,427)	0	0	11.2	34.16
30	4	(360-420)	7	4	(431,438)	4.5	0	176	407.57+172.33
38	5	(330-390)	7	0	(330,337)	0	0	0	297.23
32	5	(360-420)	6	4	(360*,366)	0	9.5	0	355.80
33	5	(360-420)	7	2	(368,375)	0	0	0	192.90
36	5	(360-420)	7	1	(376,383)	0	0	0	70.03
35	5	(360-420)	7	1	(384,391)	0	0	0	73.35
52	5	(360-420)	6	2	(393,399)	0	0	0	168.87
39	5	(360-420)	7	0	(399,406)	0	0	0	2.72+216.91
56	6	(300-360)	30	0	(300,330)	0	0	0	90.53
7	6	(360-420)	6	1	(360*,366)	0	14.5	0	100.28+113.27
57	7	(300-360)	45	0	(300,345)	0	0	0	90
8	7	(360-420)	6	1	(360*,366)	6	7	0	77.86+150.91
41	8	(360-420)	7	0	(360,367)	0	0	0	257.51
46	8	(360-420)	3	1	(368,371)	0	0	0	77.62
47	8	(360-420)	6	2	(373,379)	0	0	0	172.93
49	8	(360-420)	7	0	(379,386)	0	0	0	43.32
50	8	(330-390)	10	7	(393,403)	0	0	177.6	689.04
53	8	(330-390)	6	1	(404,410)	0	0	156.8	722.45+451.57
Araçların maliyeti	2000	**Dağıtım merkezi maliyeti**	1100			12	55.5	2304	10094.45
Toplam maliyet = 2000 + 1100 +12 + 55.5 + 2304 + 10094.45 = 15565.95									

Çizelge 6.12 900 birimlik filo için iyileştirilmiş çözümünün detaylı gösterimi

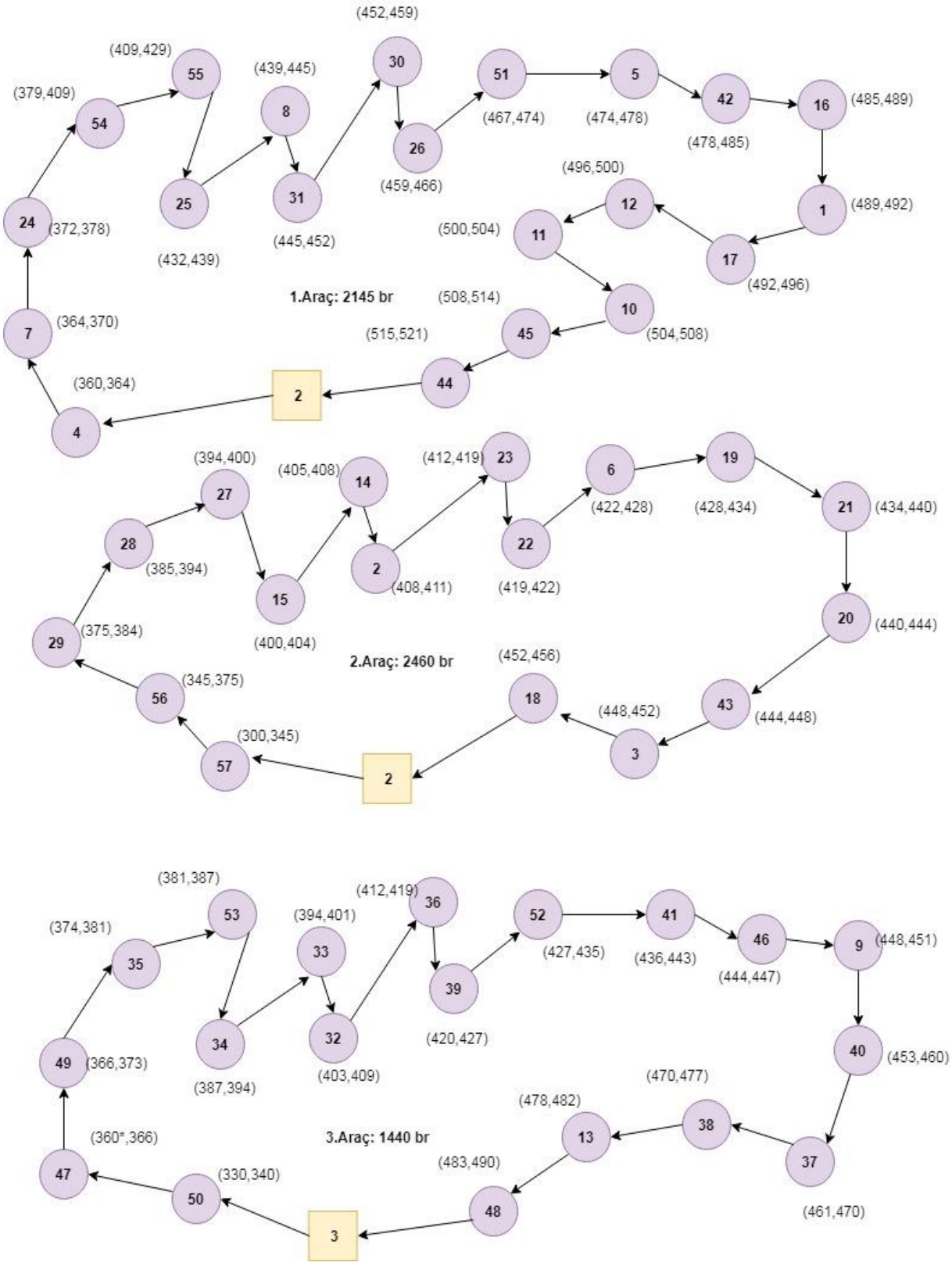
Müşteri	Müşterinin bulunduğu araç	Beklenen sipariş teslim zamanı aralığı (.dk)	Siparişin boşaltılma süresi (dk)	Müşteriye ulaşım süresi (dk)	Gerçekleşen sipariş tesliminin başlangıç ve bitiş zamanı (.dk)	Ek maliyet (TL)	Araç bekleme maliyeti (TL)	Müşterinin bekleme maliyeti (TL)	Ulaştırma maliyeti (TL)
14	1	(360-420)	3	0	(360,363)	0	0	0	63.46
51	1	(360-420)	7	0	(363,370)	0	0	0	23.25
2	1	(360-420)	3	0	(370,373)	0	0	0	25.77
23	1	(360-420)	7	1	(374,381)	0	0	0	64.84
22	1	(360-420)	3	0	(381,384)	0	0	0	0.14
48	1	(360-420)	7	0	(384,391)	0	0	0	27.19
6	1	(360-420)	6	0	(391,397)	0	0	0	39.24
19	1	(360-420)	6	1	(398,404)	0	0	0	6.32
21	1	(360-420)	6	0	(404,410)	0	0	0	34.57
20	1	(360-420)	4	0	(410,414)	0	0	0	0.82
43	1	(360-420)	4	0	(414,418)	0	0	0	15.55
3	1	(360-420)	4	0	(418,422)	0	0	0	45.48+11.40
29	2	(360-420)	9	0	(360,369)	0	0	0	93.24
25	2	(360-420)	7	1	(370,377)	0	0	0	60.90
28	2	(330-390)	9	0	(377,386)	0	0	0	32.42
8	2	(360-420)	6	0	(386,392)	0	0	0	31.31
31	2	(360-420)	7	0	(392,399)	0	0	0	44.83
30	2	(360-420)	7	0	(399,406)	0	0	0	44.84
26	2	(360-420)	7	0	(406,413)	0	0	0	20.46
15	2	(360-420)	4	1	(414,418)	0	0	0	50.97
27	2	(360-420)	6	0	(418,424)	0	0	0	39.51
5	2	(360-420)	4	0	(424,428)	0	0	25.6	49.11
42	2	(360-420)	7	0	(428,435)	0	0	128	10.53
16	2	(360-420)	4	0	(435,439)	0	0	96	26.82
1	2	(360-420)	3	0	(439,442)	0	0	76	30.55+0
18	3	(360-420)	4	0	(360,364)	0	0	0	24.74
4	3	(360-420)	4	1	(365,369)	0	0	0	90.43
44	3	(360-420)	6	1	(370,376)	0	0	0	69.40
45	3	(360-420)	6	1	(377,383)	0	0	0	54.32
10	3	(360-420)	4	0	(383,387)	0	0	0	21.13
11	3	(360-420)	4	0	(387,391)	0	0	0	2.79
12	3	(360-420)	4	0	(391,395)	0	0	0	1.96
17	3	(360-420)	4	0	(395,399)	0	0	0	10.37+17.33
57	4	(300-360)	45	0	(300,345)	0	0	0	90+90
56	5	(300-360)	30	0	(300,330)	0	0	0	90.53
55	5	(330-420)	20	2	(332,352)	30	0	0	200.45
24	5	(360-420)	6	0	(360,366)	6	4	0	34.16
54	5	(300-420)	30	1	(367,395)	60	0	0	56.67
7	5	(360-420)	4	1	(396,402)	6	0	0	105.76+113.27
40	6	(360-420)	7	0	(360,367)	0	0	0	49.56
9	6	(360-420)	3	2	(369,372)	0	0	0	152.27
50	6	(330-390)	10	5	(377,387)	0	0	0	527.57
46	6	(360-420)	3	5	(393,396)	0	0	0	584.44
41	6	(360-420)	7	1	(397,404)	0	0	0	77.62+73.45
38	7	(330-390)	7	0	(330,337)	0	0	0	161.60
37	7	(300-390)	9	0	(337,346)	0	0	0	37.79
49	7	(360-420)	7	1	(360,367)	0	3	0	78.88
47	7	(360-420)	6	0	(367,373)	0	0	0	43.32
35	7	(360-420)	7	1	(374,381)	0	0	0	66.62
53	7	(330-390)	6	0	(381,387)	0	0	0	11.39
34	7	(360-420)	7	0	(387,394)	0	0	0	38.96
33	7	(360-420)	7	0	(394,401)	0	0	0	33.67
32	7	(360-420)	6	2	(403,409)	0	0	0	192.90
36	7	(360-420)	7	3	(412,419)	0	0	0	253.04
52	7	(360-420)	6	1	(420,426)	0	0	0	134.19
39	7	(360-420)	7	0	(426,433)	0	0	96	2.71
13	7	(360-420)	4	1	(434,438)	0	0	89.6	61.01+50.21
Araçların maliyeti	1750	Dağıtım merkezi maliyeti	800			102	7	511.2	4484.29
Toplam maliyet	= 1750 + 800 + 102 + 7 + 511.2 + 4484.29 = 7654.49 TL								



Şekil 6.14 2500 birimlik araç kapasitesi için maliyet değişim grafiği

2500 birimlik kapasiteye sahip araçlardan meydana gelen filo, farklı Cr değerlerine göre başlangıç çözümleri elde edilmiştir. $Cr = 0.1$ değeri en iyi başlangıç çözümünü vermekte olup bu çözümün toplam maliyeti 60440.64 TL'dir. Elde edilen en iyi başlangıç çözümünde kullanılan araç sayısı 3 olup bunları hepsi homojendir. Kullanılan dağıtım noktası adedi 2 olup sırasıyla 1. ve 5. Dağıtım noktalarıdır ve toplam maliyeti 1100 TL'dir (%1.82). Toplam maliyetin 10107.14 TL'lik kısmı ulaştırma maliyeti oluşturmakta olup bu da %16.72'lik bir orana denk gelmektedir. 900 birimlik araç kapasitesinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında burada ulaştırma maliyetinin oransal olarak düşük olduğu görülmektedir. Toplam maliyet içerisinde en büyük oranı oluşturan ise 49212 TL (%81.42) ile müşterinin bekleme maliyetidir. 2500 birimlik araç kapasitesine sahip filoların kullanılması durumunda müşterinin beklemesinden dolayı ortaya çıkan maliyet oldukça artmaktadır. Bunun en önemli nedeni müşteri siparişlerinin teslim zamanlarının birbirine çok yakın olması ve 900 birimlik araç kapasitesinde gerekli olan araç sayısından daha aza sahip olunması bu duruma yol açmaktadır. Şekil 6.14 2500 birimlik araç kapasitesine sahip filoların farklı güvenilirlik oranlarına göre maliyetlerde olan değişimi grafiksel olarak göstermektedir. Başlangıç çözümünde Cr değerinin 0.1'den büyük olduğu durumlarda toplam maliyetin müşteri bekleme maliyeti ile çok fazla ilişkili olduğu ve düzensiz bir şekilde artıp azaldığı görülmektedir. Fakat önerilen algoritmanın uygulanması ile sonuçlar oldukça değişmektedir. Önerilen algoritma uygulandıktan sonra toplam maliyet 20455.03 TL olarak gerçekleşmektedir. Uygulanan algoritma müşteri temin sürelerini çok etkin bir şekilde planlayarak müşteri bekleme maliyetlerini önemli oranda azaltmıştır. Müşteri talebinin karşılanamama durumu ortadan kalkmıştır. Sadece çok küçük bir miktar olan

6.50 TL'lik araç bekleme maliyeti ortaya çıkmaktadır. Ulaştırma maliyeti 4895.73 TL ve dağıtım merkezi maliyeti ise 800 TL olarak bulunmuştur. İyileştirilen çözümde ulaştırma maliyeti oran olarak %23.93'lük bir orana sahiptir. Algoritma uygulandıktan sonra toplam maliyet açısından bakıldığında %66.16'lik oranda azalma göstermiştir. Bu durum detaylı bir şekilde Çizelge 6.9'da gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 6.15'de kullanılan dağıtım merkezi ve müşterilerin hangi rotalarda oldukları detaylı olarak gösterilmiştir. Çizelge 6.13 ve Çizelge 6.14, 2500 birimlik filolara göre elde edilen en iyi başlangıç ve iyileştirilmiş çözümlerin detaylı sonuçlarını müşteri bazında sunmaktadır. Şekil 6.14'de iyileştirilmiş çözüm bölümünde Cr değeri 0.5'den 1 değerine doğru artış gösterirken, toplam maliyet düzenli bir azalış eğilimi sergilemektedir.



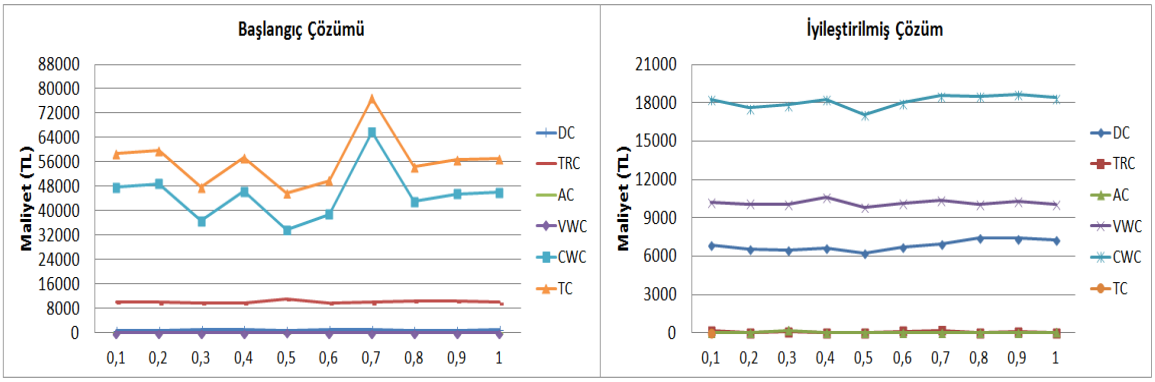
Şekil 6.15 2500 birim araç kapasitesine sahip filoların iyileştirilmiş çözümü

Çizelge 6.13 2500 birimlik filo için başlangıç çözümünün detaylı gösterimi

Müşteri	Müşterinin bulunduğu araç	Beklenen sipariş teslim zamanı aralığı (.dk)	Siparişin boşaltılma süresi (dk)	Müşteriye ulaşım süresi (dk)	Gerçekleşen sipariş tesliminin başlangıç ve bitiş zamanı (.dk)	Ek maliyet (TL)	Araç bekleme maliyeti (TL)	Müşterinin bekleme maliyeti (TL)	Ulaştırma maliyeti (TL)
1	1	(360-420)	3	0	(360,363)	0	0	0	0
45	1	(360-420)	6	1	(364,370)	0	0	0	50.34
44	1	(360-420)	6	1	(371,377)	0	0	0	54.32
23	1	(360-420)	7	2	(379,386)	0	0	0	152.37
43	1	(360-420)	4	1	(387,391)	0	0	0	50.61
22	1	(360-420)	3	1	(392,395)	0	0	0	0.14
2	1	(360-420)	3	1	(396,399)	0	0	0	61.90
21	1	(360-420)	6	1	(400,406)	0	0	0	59.80
3	1	(360-420)	4	1	(407,411)	0	0	0	52.86
20	1	(360-420)	4	1	(412,416)	0	0	0	52.04
40	1	(360-420)	7	2	(418,425)	0	0	0	152.83
27	1	(360-420)	6	3	(428,434)	0	0	89.6	251.07
19	1	(360-420)	6	2	(436,442)	0	0	179.2	161.88
4	1	(360-420)	4	2	(444,448)	0	0	153.6	180.75
54	1	(300-420)	30	1	(449,479)	0	0	4524	107.65
55	1	(330-420)	20	0	(479,499)	0	0	7316	39.87
16	1	(360-420)	4	3	(502,506)	0	0	524.8	254.54
42	1	(360-420)	7	0	(506,513)	0	0	1376	26.82
5	1	(360-420)	4	0	(513,517)	0	0	595.2	10.53
17	1	(360-420)	4	1	(518,522)	0	0	627.2	77.16
14	1	(360-420)	3	1	(523,526)	0	0	412	72.58
15	1	(360-420)	4	1	(527,531)	0	0	684.8	69.21
26	1	(360-420)	7	1	(532,539)	0	0	1792	50.97
18	1	(360-420)	4	2	(541,545)	0	0	774.4	175.12
7	1	(360-420)	6	1	(546,552)	0	0	907.2	90.12
24	1	(360-420)	6	2	(554,560)	0	0	1500.8	158.32
10	1	(360-420)	4	3	(563,567)	0	0	915.2	256.86
6	1	(360-420)	6	1	(568,574)	0	0	1065.6	96.05
29	1	(360-420)	9	2	(576,585)	0	0	3244.8	187.56
8	1	(360-420)	6	1	(586,592)	5	0	1859.2	90.97+150.91
56	2	(300-360)	30	0	(300,330)	0	0	0	90.53
46	2	(360-420)	3	4	(360*,363)	0	13	0	398.19
41	2	(360-420)	7	1	(364,371)	0	0	0	77.62
13	2	(360-420)	4	1	(372,376)	0	0	0	92.43
12	2	(360-420)	4	2	(378,382)	0	0	0	153.66
47	2	(360-420)	6	2	(384,390)	0	0	0	210.11
9	2	(360-420)	3	3	(393,396)	0	0	0	252.44
34	2	(360-420)	7	4	(400,407)	0	0	0	352.62
48	2	(360-420)	7	3	(410,417)	0	0	0	286.99
51	2	(360-420)	7	1	(418,425)	0	0	0	103.99
11	2	(360-420)	4	1	(426,430)	0	0	38.4	105.56
25	2	(360-420)	7	2	(432,439)	0	0	192	165.51
28	2	(330-390)	9	0	(439,448)	0	0	395.2	32.42
31	2	(360-420)	7	1	(449,456)	0	0	464	60.74
30	2	(360-420)	7	0	(456,463)	0	0	576	44.84
32	2	(360-420)	6	7	(470,476)	0	0	560	683.39
33	2	(360-420)	7	2	(478,485)	0	0	928	192.90
36	2	(360-420)	7	1	(486,493)	0	0	1056	70.03
35	2	(360-420)	7	1	(494,501)	0	0	1184	73.55
37	2	(300-390)	9	1	(502,511)	0	0	1705.6	141.51
38	2	(330-390)	7	0	(511,518)	0	0	1456	37.79
52	2	(360-420)	6	1	(519,525)	0	0	1108.8	78.05
39	2	(360-420)	7	0	(525,532)	0	0	1680	2.72
49	2	(360-420)	7	1	(533,540)	0	0	1808	115.56
50	2	(330-390)	10	7	(547,557)	3.5	0	7518.4	689.04+886.76
57	3	(300-360)	45	0	(300,345)	0	0	0	97.89
53	3	(330-390)	6	5	(350,356)	0	0	0	469.44+451.57
Araçların maliyeti	750	**Dağıtım merkezi maliyeti**	1100			8.5	13	49212	9357.14
Toplam maliyet = 750 + 1100 + 8.5 + 13 + 49212 + 9357.14 = 60440.64									

Çizelge 6.14 2500 birimlik filo için iyileştirilmiş çözümünün detaylı gösterimi

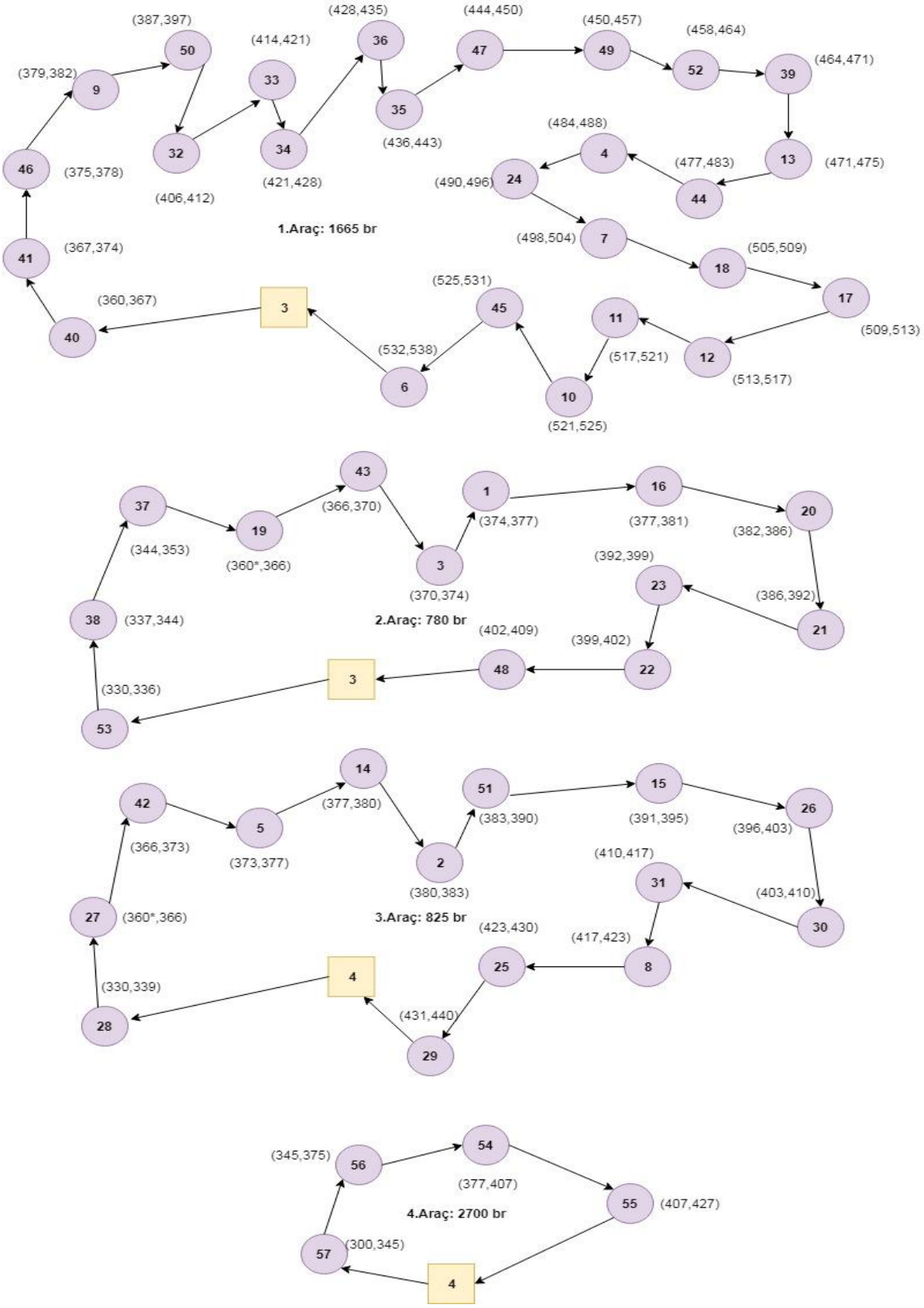
Müşteri	Müşterinin bulunduğu araç	Beklenen sipariş teslim zamanı aralığı (.dk)	Siparişin boşaltılma süresi (dk)	Müşteriye ulaşım süresi (dk)	Gerçekleşen sipariş tesliminin başlangıç ve bitiş zamanı (.dk)	Ek maliyet (TL)	Araç bekleme maliyeti (TL)	Müşterinin bekleme maliyeti (TL)	Ulaştırma maliyeti (TL)
4	1	(360-420)	4	0	(360,364)	0	0	0	36.31
7	1	(360-420)	6	0	(364,370)	0	0	0	28.82
24	1	(360-420)	6	2	(372,378)	0	0	0	158.32
54	1	(300-420)	30	1	(379,409)	0	0	0	56.67
55	1	(330-420)	20	0	(409,429)	0	0	0	39.87
25	1	(360-420)	7	3	(432,439)	0	0	192	261.33
8	1	(360-420)	6	0	(439,445)	0	0	212.8	40.43
31	1	(360-420)	7	0	(445,452)	0	0	400	44.83
30	1	(360-420)	7	0	(452,459)	0	0	512	44.84
26	1	(360-420)	7	0	(459,466)	0	0	624	20.46
51	1	(360-420)	7	1	(467,474)	0	0	752	92.92
5	1	(360-420)	4	0	(474,478)	0	0	345.6	43.07
42	1	(360-420)	7	0	(478,485)	0	0	928	10.53
16	1	(360-420)	4	0	(485,489)	0	0	416	26.82
1	1	(360-420)	3	0	(489,492)	0	0	276	30.55
17	1	(360-420)	4	0	(492,496)	0	0	460.8	17.33
12	1	(360-420)	4	0	(496,500)	0	0	486.4	10.37
11	1	(360-420)	4	0	(500,504)	0	0	512	1.96
10	1	(360-420)	4	0	(504,508)	0	0	537.6	2.79
45	1	(360-420)	6	0	(508,514)	0	0	985.6	21.13
44	1	(360-420)	6	1	(515,521)	0	0	1064	54.32+58.33
57	2	(300-360)	45	0	(300,345)	0	0	0	90
56	2	(300-360)	30	0	(345,375)	0	0	0	31.41
29	2	(360-420)	9	0	(375,384)	0	0	0	15.53
28	2	(330-390)	9	0	(385,394)	0	0	0	62.30
27	2	(360-420)	6	0	(394,400)	0	0	0	29.26
15	2	(360-420)	4	0	(400,404)	0	0	0	39.51
14	2	(360-420)	3	1	(405,408)	0	0	0	69.21
2	2	(360-420)	3	0	(408,411)	0	0	0	34.16
23	2	(360-420)	7	1	(412,419)	0	0	0	64.84
22	2	(360-420)	3	0	(419,422)	0	0	0	0.14
6	2	(360-420)	6	0	(422,428)	0	0	14.4	22.76
19	2	(360-420)	6	0	(428,434)	0	0	89.6	6.32
21	2	(360-420)	6	0	(434,440)	0	0	268.8	34.57
20	2	(360-420)	4	0	(440,444)	0	0	128	0.82
43	2	(360-420)	4	0	(444,448)	0	0	153.6	15.53
3	2	(360-420)	4	0	(448,452)	0	0	179.2	45.48
18	2	(360-420)	4	0	(452,456)	0	0	204.8	27.97+54.17
50	3	(330-390)	10	0	(330,340)	0	0	0	203.43
47	3	(360-420)	6	7	(360*,366)	0	6.5	0	653.77
49	3	(360-420)	7	0	(366,373)	0	0	0	43.32
35	3	(360-420)	7	1	(374,381)	0	0	0	64.82
53	3	(330-390)	6	0	(381,387)	0	0	0	11.39
34	3	(360-420)	7	0	(387,394)	0	0	0	38.96
33	3	(360-420)	7	0	(394,401)	0	0	0	33.67
32	3	(360-420)	6	2	(403,409)	0	0	0	192.90
36	3	(360-420)	7	3	(412,419)	0	0	0	253.04
39	3	(360-420)	7	1	(420,427)	0	0	0	136.53
52	3	(360-420)	6	0	(427,435)	0	0	78.4	2.72
41	3	(360-420)	7	1	(436,443)	0	0	256	97.15
46	3	(360-420)	3	1	(444,447)	0	0	96	77.62
9	3	(360-420)	3	1	(448,451)	0	0	112	86.51
40	3	(360-420)	7	2	(453,460)	0	0	528	152.27
37	3	(300-390)	9	1	(461,470)	0	0	852.8	122.69
38	3	(330-390)	7	0	(470,477)	0	0	800	37.79
13	3	(360-420)	4	1	(478,482)	0	0	371.2	137.09
48	3	(360-420)	7	1	(483,490)	0	0	1915.2	53.38+36.51
Araçların maliyeti	750	Dağıtım merkezi maliyeti	800			0	6.5	14752.8	4145.73
Toplam maliyet	= 750 + 800 + 6,5 + 14752.8 + 4145.73 = 20455.03								



Şekil 6.16 Heterojen araç kapasitesi için maliyet değişim grafiği

Araç filosu 2 adet 900 birimlik ve 2 adet 2500 birimlik filolardan meydana geldiğinde Çizelge 6.10'da gösterilen sonuçlar elde edilmektedir. Homojen olmayan araç kapasiteleri uygulandığında elde edilen en iyi başlangıç çözümü 45687.15 TL olarak gerçekleşmektedir. Burada toplam maliyetin en büyük kısmını müşterinin siparişi zamanında teslim alamamasından dolayı ortaya çıkan maliyet oluşturmak olup, bu maliyet 33636.80 TL (%73.62) olarak bulunmuştur. Bu maliyetin ardından ikinci olarak ulaştırma maliyeti gelmektedir. Ulaştırma maliyeti 11204.35 TL bulunmuş olup %24.52'lik bir orana denk gelmektedir. Müşteri bekleme ve ulaştırma maliyetleri göz önüne alındığında, dağıtım merkezi, talebin karşılanamama durumu ve araç bekleme maliyetleri çok düşük bir orandadır. Fakat bu en iyi başlangıç çözümünde müşteri bekleme maliyetinin çok yüksek olması bu çözümün çok daha fazla iyileştirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Şekil 6.16 heterojen araç kapasitesine sahip filoların farklı güvenilirlik oranlarına göre maliyetlerde olan değişimi grafiksel olarak göstermektedir. Başlangıç çözümünde Cr 0.5 değerine düzensiz azalışlar görülüp en düşük toplam maliyet elde edildikten sonra Cr değerinin artmaya devam etmesi toplam maliyeti genel olarak yukarı taşımaktadır. Elde edilen en iyi başlangıç çözümü iyileştirildikten sonra en düşük maliyet 17061.43 TL olarak bulunmaktadır. Hem başlangıç hem de iyileştirilmiş çözümde en düşük maliyeti sağlayan Cr değeri 0.5 olarak gerçekleşmiştir. Toplam maliyet 45687.15 TL'den 17061.43 TL'ye düşerek % 62.66'lık bir azalma göstermiştir. Başlangıç çözümü iyileştirildikten sonra müşterinin bekleme süresi önemli ölçüde azalmıştır. Müşteri talebinin karşılanamama durumu ortaya çıkacak bir miktar artış göstermiştir. Ulaştırma maliyeti 11204.35 TL'den 6204.43 TL'ye düşerek % 44.63 oranında azalmıştır. Ayrıca Şekil 6.17'de kullanılan

dağıtım merkezi ve müşterilerin hangi rotalarda oldukları detaylı olarak gösterilmiştir. Çizelge 6.15 ve Çizelge 6.16 heterojen filolara göre elde edilen en iyi başlangıç ve iyileştirilmiş çözümlerin detaylarını müşteri bazında sunmaktadır. Şekil 6.16'nın iyileştirilmiş çözümünde Cr 0.5 değerine düzensiz azalışlar görülüp en düşük toplam maliyet elde edildikten sonra Cr değerinin artmaya devam etmesi toplam maliyeti genel olarak yukarı taşımaktadır.



Şekil 6.17 Heterojen araç kapasitesine sahip filoların iyileştirilmiş çözümü

Çizelge 6.15 Heterojen filo için başlangıç çözümünün detaylı gösterimi

Müşteri	Müşterinin bulunduğu araç	Beklenen sipariş teslim zamanı aralığı (.dk)	Siparişin boşaltılma süresi (dk)	Müşteriye ulaşım süresi (dk)	Gerçekleşen sipariş tesliminin başlangıç ve bitiş zamanı (.dk)	Ek maliyet (TL)	Araç bekleme maliyeti (TL)	Müşterinin bekleme maliyeti (TL)	Ulaştırma maliyeti (TL)
1	1	(360-420)	3	0	(360,363)	0	0	0	78.88
45	1	(360-420)	6	1	(364,370)	0	0	0	50.34
44	1	(360-420)	6	1	(371,377)	0	0	0	54.32
23	1	(360-420)	7	2	(379,386)	0	0	0	152.37
43	1	(360-420)	4	1	(387,391)	0	0	0	50.61
22	1	(360-420)	3	1	(392,395)	0	0	0	50.74
2	1	(360-420)	3	1	(396,399)	0	0	0	64.90
21	1	(360-420)	6	1	(400,406)	0	0	0	59.80
3	1	(360-420)	4	1	(407,411)	0	0	0	52.86
20	1	(360-420)	4	1	(412,416)	0	0	0	52.04
40	1	(360-420)	7	2	(418,425)	0	0	0	152.83
27	1	(360-420)	6	3	(428,434)	0	0	89.6	251.07
19	1	(360-420)	6	2	(436,442)	0	0	179.2	161.88
4	1	(360-420)	4	2	(444,448)	0	0	153.6	180.75
54	1	(300-420)	30	1	(449,479)	0	0	4524	107.65
55	1	(330-420)	20	0	(479,499)	0	0	7316	39.87
16	1	(360-420)	4	3	(502,506)	0	0	524.8	254.54
42	1	(360-420)	7	0	(506,513)	0	0	1376	26.82
5	1	(360-420)	4	0	(513,517)	0	0	595.2	10.53
17	1	(360-420)	4	1	(518,522)	0	0	627.2	77.16
14	1	(360-420)	3	1	(523,526)	0	0	412	72.58
15	1	(360-420)	4	1	(527,531)	0	0	684.8	69.21
26	1	(360-420)	7	1	(532,539)	0	0	1792	50.97
18	1	(360-420)	4	2	(541,545)	0	0	774.4	175.12
7	1	(360-420)	6	1	(546,552)	0	0	907.2	90.12
24	1	(360-420)	6	2	(553,559)	0	0	1489.6	158.32
10	1	(360-420)	4	3	(562,564)	0	0	908.8	256.86
6	1	(360-420)	6	1	(565,571)	0	0	1044	96.06
29	1	(360-420)	9	2	(573,582)	0	0	3182.4	187.36
8	1	(360-420)	6	1	(583,589)	5	0	1825.6	90.97+200.19
37	2	(300-390)	9	0	(300,309)	0	0	0	295.44
32	2	(360-420)	6	4	(360*,366)	0	23.5	0	379.32
33	2	(360-420)	7	2	(368,375)	0	0	0	192.90
36	2	(360-420)	7	1	(376,383)	0	0	0	70.03
35	2	(360-420)	7	1	(384,391)	0	0	0	73.35
38	2	(330-390)	7	1	(392,399)	0	0	0	107.28
52	2	(360-420)	6	1	(400,406)	0	0	0	78.05
39	2	(360-420)	7	0	(406,413)	0	0	0	2.72
49	2	(360-420)	7	1	(414,421)	0	0	0	115.56
50	2	(330-390)	10	7	(428,438)	0	0	2249.6	689.04
53	2	(330-390)	6	7	(445,451)	3	0	616	722.45+391.89
56	3	(300-360)	30	0	(300,330)	0	0	0	102.09
46	3	(360-420)	3	1	(360*,363)	0	14.5	0	398.19
41	3	(360-420)	7	1	(364,371)	0	0	0	77.62
13	3	(360-420)	4	1	(372,376)	0	0	0	92.43
12	3	(360-420)	4	1	(377,381)	0	0	0	153.66
47	3	(360-420)	6	4	(385,391)	0	0	0	210.11
9	3	(360-420)	3	3	(394,397)	0	0	0	252.44
34	3	(360-420)	7	4	(401,408)	0	0	0	352.62
48	3	(360-420)	7	3	(411,418)	0	0	0	286.99
51	3	(360-420)	7	1	(419,426)	0	0	0	103.99
11	3	(360-420)	4	1	(427,431)	0	0	44.8	105.56
25	3	(360-420)	7	2	(433,440)	0	0	208	165.51
28	3	(330-390)	9	0	(440,449)	0	0	1040	32.42
31	3	(360-420)	7	1	(450,457)	0	0	480	60.74
30	3	(360-420)	7	0	(457,464)	0	0	592	44.84+243.39
57	4	(300-360)	45	0	(300,345)	0	0	0	239.55+239.55
Araçların maliyeti	1000	**Dağıtım merkezi maliyeti**	800			8	38	33636.8	10204.35
Toplam maliyet = 1000 + 800 + 8 + 38 + 33636.8 + 10204.35 = 45687.15									

Çizelge 6.16 Heterojen filo için iyileştirilmiş çözümünün detaylı gösterimi

Müşteri	Müşterinin bulunduğu araç	Beklenen sipariş teslim zamanı aralığı (.dk)	Siparişin boşaltılma süresi (dk)	Müşteriye ulaşım süresi (dk)	Gerçekleşen sipariş tesliminin başlangıç ve bitiş zamanı (.dk)	Ek maliyet (TL)	Araç bekleme maliyeti (TL)	Müşterinin bekleme maliyeti (TL)	Ulaştırma maliyeti (TL)
40	1	(360-420)	7	0	(360,367)	0	0	0	49.56
41	1	(360-420)	7	0	(367,374)	0	0	0	40.21
46	1	(360-420)	3	1	(375,378)	0	0	0	77.62
9	1	(360-420)	3	1	(379,382)	0	0	0	86.51
50	1	(330-390)	10	5	(387,397)	0	0	0	527.58
32	1	(360-420)	6	9	(406,412)	0	0	0	935.08
33	1	(360-420)	7	2	(414,421)	0	0	0	192.90
34	1	(360-420)	7	0	(421,428)	0	0	16	33.67
36	1	(360-420)	7	0	(428,435)	0	0	128	42.99
35	1	(360-420)	7	1	(436,443)	0	0	256	73.35
47	1	(360-420)	6	1	(444,450)	0	0	268.8	66.62
49	1	(360-420)	7	0	(450,457)	0	0	480	43.32
52	1	(360-420)	6	1	(458,464)	0	0	425.6	112.86
39	1	(360-420)	7	0	(464,471)	0	0	704	2.72
13	1	(360-420)	4	1	(471,475)	0	0	326.4	61.01
44	1	(360-420)	6	2	(477,483)	0	0	638.4	173.30
4	1	(360-420)	4	1	(484,488)	0	0	409.6	69.40
24	1	(360-420)	6	2	(490,496)	0	0	784	163.55
7	1	(360-420)	6	2	(498,504)	0	0	561.6	158.32
18	1	(360-420)	4	1	(505,509)	0	0	544	90.12
17	1	(360-420)	4	0	(509,513)	0	0	569.6	20.52
12	1	(360-420)	4	0	(513,517)	0	0	595.2	10.37
11	1	(360-420)	4	0	(517,521)	0	0	620.8	1.96
10	1	(360-420)	4	0	(521,525)	0	0	646.4	2.79
45	1	(360-420)	6	0	(525,531)	0	0	1176	21.13
6	1	(360-420)	6	1	(532,538)	0	0	806.4	91.70+73.99
53	2	(330-390)	6	0	(330,336)	0	0	0	268.62
38	2	(330-390)	7	1	(337,344)	0	0	0	112.94
37	2	(300-390)	9	0	(344,353)	0	0	0	37.79
19	2	(360-420)	6	2	(360*,366)	0	2.5	0	172.38
43	2	(360-420)	4	0	(366,370)	0	0	0	35.80
3	2	(360-420)	4	0	(370,374)	0	0	0	45.48
1	2	(360-420)	1	0	(374,377)	0	0	0	11.40
16	2	(360-420)	4	0	(377,381)	0	0	0	30.55
20	2	(360-420)	4	1	(382,386)	0	0	0	69.79
21	2	(360-420)	6	0	(386,392)	0	0	0	0.82
23	2	(360-420)	7	0	(392,399)	0	0	0	41.83
22	2	(360-420)	3	0	(399,402)	0	0	0	0.14
48	2	(360-420)	7	0	(402,409)	0	0	0	27.19+36.51
28	3	(330-390)	9	0	(330,339)	0	0	0	33.08
27	3	(360-420)	6	0	(360*,366)	0	10.5	0	29.26
42	3	(360-420)	7	0	(366,373)	0	0	0	45.27
5	3	(360-420)	4	0	(373,377)	0	0	0	10.53
14	3	(360-420)	3	0	(377,380)	0	0	0	43.15
2	3	(360-420)	3	0	(380,383)	0	0	0	34.16
51	3	(360-420)	7	0	(383,390)	0	0	0	25.77
15	3	(360-420)	4	1	(391,395)	0	0	0	53.41
26	3	(360-420)	7	1	(396,403)	0	0	0	50.97
30	3	(360-420)	7	0	(403,410)	0	0	0	20.46
31	3	(360-420)	7	0	(410,417)	0	0	0	44.84
8	3	(360-420)	6	0	(417,423)	0	0	0	44.83
25	3	(360-420)	7	0	(423,430)	0	0	48	40.43
29	3	(360-420)	9	1	(431,440)	0	0	228.8	60.90+29.35
57	4	(300-360)	45	0	(300,345)	0	0	0	17.03
56	4	(300-360)	30	0	(345,375)	0	0	0	31.41
54	4	(300-420)	30	2	(377,407)	0	0	0	192.35
55	4	(330-420)	20	0	(407,427)	20	0	0	39.87+242.97
Araçların maliyeti	= 1000	Dağıtım merkezi maliyeti	= 1000			20	13	9824	5204.43
Toplam maliyet	= 1000 + 1000 + 20 + 13 + 9824 + 5204.43 = 17061.43								

Belirsizlik altında dağıtım yerinin belirlenmesi ve araçların rotalanması probleminde, bulanık bir örnek olay çalışması yapılmıştır. Çözümü yapılan örnek olayda, en düşük ulaştırma maliyetini homojen araç filosundan olan 2500 birimlik araçlar vermiş olup bu değer 4895.73 TL olarak bulunmuştur. Fakat en düşük ulaştırma maliyetini vermesini

rağmen, en düşük toplam maliyeti vermemektedir. En düşük toplam maliyet ise 900 birimlik araç kapasitesine sahip homojen filolarda bulunmuştur. Bulunan değer heterojen araç filosundan % 55.14'lük bir oranda daha düşük toplam maliyet sunmaktadır. 900 birimlik araç kapasitesine sahip filolar toplam maliyet açısından oldukça iyi sonuçlar vermektedir.

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde, firmaların ayakta kalabilmek ya da müşteri payını arttırmak için maliyetleri çok etkin bir şekilde yönetmesi gerekmektedir. Bu maliyetlerin başında, ulaştırma maliyetleri gelmektedir. Ulaştırma maliyetleri taşıma maliyeti, depolama maliyeti ve araç maliyeti gibi unsurları içermektedir. Bu nedenle, çalışma kapsamında KKYSAR problemi üzerine çalışılmıştır.

İlk olarak, KKYSAR problemi için DKA ve EYA algoritmalarını birleştiren ve DKAxEYA olarak adlandırdığımız yeni bir hibrit metot önerilmektedir. KKYSAR problemi açılacak depoların belirlenmesi, müşteri ve araçların her bir açık depoya atanması ve müşteri taleplerini karşılayacak rotaların uygulanmasını içermektedir. Önerdiğimiz sezgisel yöntem, deterministik bir yapıya sahip olan yedi farklı komşuluk yapısından ve EYA algoritmasından oluşmaktadır. Dahası, önerilen algoritmanın performansı, literatürde bulunan veri setleri üzerinde en etkili sezgiseller ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar DKAxEYA algoritmasının yedi etkili sezgisel yöntemleri göz önüne aldığımızda, hem ortalama olarak iyi sonuçlar hem de iki tane en iyi sonuç verdiğini göstermektedir. Algoritmanın özellikle araç ve depo kapasitelerinde kısıt olan veri setlerinde daha iyi çözümler sunduğu görülmektedir.

İkinci olarak, çalışma kapsamında deterministik talebe sahip olan KKYSAR problemi üzerinde, DKA algoritmasının bazı komşulukları kullanılarak iyileştirme yapılması amaçlanmıştır. Örnek olay kapsamında, GA-ANN kullanılarak on yıl sonrası için talep tahminleri yapılmış ve elde edilen talepler üzerinden tesis yeri seçimi ve araçların rotalanması üzerine çözüm üretilmiştir.

Üçüncü olarak, bulanık kapasite kısıtlı BKKYSAR problemi önerdiğimiz DKAxEYA algoritması kullanılarak çözülmüştür. Müşteri talepleri bulanık, müşteri ve depolar arasında seyahat süresi deterministik olarak değerlendirilmiştir. Örnek olayda en düşük çok amaçlı maliyeti vermesi için heterojen ve homojen filo tipleri beraber uygulanmıştır. Çok amaçlı maliyet fonksiyonu ulaştırma maliyeti, ek maliyet, araç bekleme maliyeti ve gecikme maliyetinden oluşmaktadır. Bulanık bir şans kısıtı programı güvenilirlik teorisi kullanılarak modele eklenmiştir. Önerilen metot dört aşama uygulayarak çözüme ulaşmaktadır. İlk aşamada, Açgözlü sezgisel metodu kullanılarak başlangıç çözümü elde edilmekte ve sonra yedi farklı komşuluk yapısından meydana gelen DKA algoritması ikinci aşamada çözüm kalitesini iyileştirmek için uygulanmaktadır. Üçüncü aşamada, bir çeşitlendirme yöntemi EYA algoritması kullanılarak iyileştirilmiş çözüme uygulanmakta ve sonra DKA sezgiseli son aşamada tekrar uygulanmaktadır. DKAxEYA algoritması 57 müşteri ve 5 dağıtım noktası olan örnek bir olaya uygulanmaktadır.

Genel olarak elde edilen sonuçlar altında, önerilen DKAxEYA hibrit algoritması hem deterministik hem de bulanık taleplerin olduğu durumda etkili bir şekilde kullanılabilmektedir. Farklı talep tiplerine ek olarak, homojen ya da heterojen araç filoları için de etkili sonuçlar vermektedir.

Gelecek çalışmalarda, DKAxEYA hibrit algoritması KKYSAR problemi için herhangi bir müşterinin birden fazla rotadan hizmet alabildiği durumda nasıl bir performans sergileyeceği üzerine çalışılabilir. DKAxEYA hibrit algoritması teknisyen rotalama problemlerinde başarılı sonuçlar verip vermeyeceği üzerine çalışmalar yürütülebilir. Ayrıca, evde bakım hizmetleri için uygun rotaların oluşturulması sırasında etkin çözümler üretip üretmediği üzerine çalışılabilir.

KAYNAKLAR

[1] Karaoglan, I. ve Altiparmak, F., (2015). "A memetic algorithm for the capacitated location-routing problem with mixed backhauls", Computers & Operations Research, 55: 200-216.

[2] Lopes, R. B., Ferreira, C., Santos, B. S. ve Barreto, S., (2013). "A taxonomical analysis, current methods and objectives on location-routing problems", International Transactions in Operational Research, 20(6): 795-822.

[3] Ahmadi-Javid, A. ve Seddighi, A. H., (2012). "A location-routing-inventory model for designing multisource distribution networks", Engineering Optimization, 44(6): 637-656.

[4] Nikbakhsh, E. ve Zegordi, S. H., (2010). "A heuristic algorithm and a lower bound for the two-echelon location-routing problem with soft time window constraints", Scientia Iranica Transaction E: Industrial Engineering, 17(1): 36-47.

[5] Hassan-Pour, H. A., Mosadegh-Khah, M. ve Tavakkoli-Moghaddam, R., (2009). "Solving a multi-objective multi-depot stochastic location-routing problem by a hybrid simulated annealing algorithm", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, P.

[6] Golozari, F., Jafari, A. ve Amiri, M., (2013). "Application of a hybrid simulated annealing-mutation operator to solve fuzzy capacitated location-routing problem", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 67(5-8): 1791-1807.

[7] Zarandi, M. H. F., Hemmati, A., Davari, S. ve Turksen, I. B., (2013). "Capacitated location-routing problem with time windows under uncertainty", Knowledge-Based Systems, 37: 480-489.

[8] Herazo-Padilla, N., Montoya-Torres, J. R., Muñoz-Villamizar, A., Isaza, S. N. ve Polo, L. R., (2013). "Coupling ant colony optimization and discrete-event simulation to solve a stochastic location-routing problem", Winter Simulation Conference, 8-11.

[9] Ghaffari-Nasab, N., Jabalameli, M. S., Aryanezhad, M. B. ve Makui, A., (2013). “Modeling and solving the bi-objective capacitated location-routing problem with probabilistic travel times”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technolog.

[10] Laporte, G., Louveaux, F. ve Mercure, H., (1989). “Models and exact solutions for a class of stochastic location-routing problems”, European Journal of Operational Research, 39(1): 71-78.

[11] RAZMI, J. ve TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R., (2013). “Multi-objective invasive weed optimization for stochastic green hub location routing problem with simultaneous pick-ups and deliveries”, Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research, 4.

[12] Herazo-Padilla, N., Montoya-Torres, J. R., Isaza, S. N. ve Alvarado-Valencia, J., (2015). “Simulation-optimization approach for the stochastic location-routing problem”, Journal of Simulation, 9(4): 296-311.

[13] Nekooghadirli, N., Tavakkoli-Moghaddam, R., Ghezavati, V. R. ve Javanmard, S., (2014). “Solving a new bi-objective location-routing-inventory problem in a distribution network by meta-heuristics”, Computers & Industrial Engineering, 76: 204-221.

[14] Ghaffari-Nasab, N., Ahari, S. G. ve Ghazanfari, M., (2013). “A hybrid simulated annealing based heuristic for solving the location-routing problem with fuzzy demands”, Scientia Iranica, 20(3): 919-930.

[15] Mehrjerdi, Y. Z. ve Nadizadeh, A., (2013). "Using greedy clustering method to solve capacitated location-routing problem with fuzzy demands", European Journal of Operational Research, 229(1): 75-84.

[16] Torfi, F., Farahani, R. Z. ve Mahdavi, I., (2016). “Fuzzy MCDM for weight of object’s phrase in location routing problem”, Applied Mathematical Modelling, 40(1): 526-541.

[17] Wei-long, Y. ve Qing, L., (2007). “Solving the Stochastic Location-Routing Problem with Genetic Algorithm”, International Conference on Management Science and Engineering, 20-22 August 2007, Harbin, 429-434.

[18] Zhang, D., Li, X., Huang, Y., Li, S. ve Qian, Q., (2015). “A robust optimization model for green regional logistics network design with uncertainty in future logistics demand”, Advances in Mechanical Engineering, 7(12).

[19] Catanzaro, D., Gourdin, E., Labbé, M. ve Özsoy, F. A., (2011). “A branch-and-cut algorithm for the partitioning-hub location-routing problem”, Computers & operations research, 38(2): 539-549.

[20] Lee, Y., Kim, S. I., Lee, S. ve Kang, K., (2003). “A location-routing problem in designing optical internet access with WDM systems”, Photonic Network Communications, 6(2): 151-160.

[21] Ukkusuri, S. ve Yushimito, W., (2008). “Location routing approach for the humanitarian prepositioning problem”, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2089: 18-25.

[22] Berger, R. T., Coullard, C. R. ve Daskin, M. S., (2007). “Location-routing problems with distance constraints”, Transportation Science, 41(1): 29-43.

[23] Prodhon, C. ,(2011). “A hybrid evolutionary algorithm for the periodic location-routing problem”, European Journal of Operational Research, 210(2): 204-212.

[24] Prodhon, C. ve Prins, C., (2008). “A memetic algorithm with population management (MA| PM) for the periodic location-routing problem”, International Workshop on Hybrid Metaheuristics, 8-9 October 2008, Malaga, 43-57.

[25] Prodhon, C., (2009). “An elsxpath relinking hybrid for the periodic location-routing problem”, International Workshop on Hybrid Metaheuristics, 16-17 October 2009, Udine, 15-29.

[26] Li, S. R. ve Keskin, B. B., (2014). “Bi-criteria dynamic location-routing problem for patrol coverage”, Journal of the Operational Research Society, 65(11): 1711-1725.

[27] Ponboon, S., Qureshi, A. G. ve Taniguchi, E., (2016). “Branch-and-price algorithm for the location-routing problem with time Windows”, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 86: 1-19.

[28] Albareda-Sambola, M., Fernández, E. ve Nickel, S., (2012). “Multiperiod location-routing with decoupled time scales”, European Journal of Operational Research, 217(2): 248-258.

[29] Ramos, T. R. P., Gomes, M. I. ve Barbosa-Póvoa, A. P., (2014). “Planning a sustainable reverse logistics system: Balancing costs with environmental and social concerns”, Omega, 48: 60-74.

[30] ZENG, M. G., CUI, Z. S. ve YU, G. H., (2010). “Research on Location-Routing Problem of Relief System Based on Emergency Logistics [J]”, Chinese Journal of Management Science, 2: 11.

[31] Hemmelmayr, V. C., (2015). “Sequential and parallel large neighborhood search algorithms for the periodic location routing problem”, European Journal of Operational Research, 243(1): 52-60.

[32] Caballero, R., González, M., Guerrero, F. M., Molina, J. ve Paralera, C., (2007). "Solving a multiobjective location routing problem with a metaheuristic based on tabu search", Application to a real case in Andalusia, European Journal of Operational.

[33] Nadizadeh, A. ve Nasab, H. H., (2014). "Solving the dynamic capacitated location-routing problem with fuzzy demands by hybrid heuristic algorithm", European Journal of Operational Research, 238(2): 458-470.

[34] Zhalechian, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Zahiri, B. ve Mohammadi, M. (2016). "Sustainable design of a closed-loop location-routing-inventory supply chain network under mixed uncertainty", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation.

[35] Koç, Ç., Bektaş, T., Jabali, O. ve Laporte, G., (2016). "The fleet size and mix location-routing problem with time windows: Formulations and a heuristic algorithm", European Journal of Operational Research, 248(1): 33-51.

[36] Gündüz, H. I., (2011). "The single-stage location-routing problem with time Windows", International Conference on Computational Logistics, 24-26 September 2011, Shanghai, 44-58.

[37] Govindan, K., Jafarian, A., Khodaverdi, R. ve Devika, K., (2014). "Two-echelon multiple-vehicle location–routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food", International Journal of Production E.

[38] Zhao, J. ve Verter, V., (2015). "A bi-objective model for the used oil location-routing problem", Computers & Operations Research, 62: 157-168.

[39] Boyer, O., Sai Hong, T., Pedram, A., Mohd Yusuff, R. B. ve Zulkifli, N., (2013). "A mathematical model for the industrial hazardous waste location-routing problem", Journal of Applied Mathematics, 1-10.

[40] Rath, S. ve Gutjahr, W. J., (2014). "A math-heuristic for the warehouse location–routing problem in disaster relief", Computers & Operations Research, 42: 25-39.

[41] Samanlioglu, F., (2013). "A multi-objective mathematical model for the industrial hazardous waste location-routing problem", European Journal of Operational Research, 226(2): 332-340.

[42] Tavakkoli-Moghaddam, R., Makui, A. ve Mazloomi, Z., (2010). "A new integrated mathematical model for a bi-objective multi-depot location-routing problem solved by a multi-objective scatter search algorithm", Journal of Manufacturing Systems, 29(2).

[43] Alumur, S. ve Kara, B. Y. (2007). “A new model for the hazardous waste location-routing problem”, Computers & Operations Research, 34(5): 1406-1423.

[44] Liu, J. ve Kachitvichyanukul, V., (2015). “A PARETO-BASED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION ALGORITHM FOR MULTI-OBJECTIVE LOCATION ROUTING PROBLEM”, International Journal of Industrial Engineering, 22(3).

[45] Lin, C. K. Y. ve Kwok, R. C. W., (2006). “Multi-objective metaheuristics for a location-routing problem with multiple use of vehicles on real data and simulated data”, European Journal of Operational Research, 175(3): 1833-1849.

[46] Wang, H., Du, L. ve Ma, S., (2014). “Multi-objective open location-routing model with split delivery for optimized relief distribution in post-earthquake”, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 69: 160-179.

[47] Martínez-Salazar, I. A., Molina, J., Ángel-Bello, F., Gómez, T. ve Caballero, R., (2014). “Solving a bi-objective Transportation Location Routing Problem by metaheuristic algorithms”, European Journal of Operational Research, 234(1): 25-36.

[48] Coutinho-Rodrigues, J., Tralhão, L. ve Alçada-Almeida, L., (2012). “Solving a location-routing problem with a multiobjective approach: the design of urban evacuation plans”, Journal of Transport Geography, 22: 206-218.

[49] Mohammadi, M., Torabi, S. A. ve Tavakkoli-Moghaddam, R., (2014). “Sustainable hub location under mixed uncertainty”, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 62: 89-115.

[50] Albareda-Sambola, M., Fernández, E. ve Laporte, G., (2007). “Heuristic and lower bound for a stochastic location-routing problem”, European Journal of Operational Research, 179(3): 940-955.

[51] Escobar, J. W., Linfati, R., Toth, P. ve Baldoquin, M. G., (2014). “A hybrid granular tabu search algorithm for the multi-depot vehicle routing problem”, Journal of Heuristics, 20(5): 483-509.

[52] Escobar, J. W., Linfati, R., Baldoquin, M. G. ve Toth, P., (2014). “A Granular Variable Tabu Neighborhood Search for the capacitated location-routing problem”, Transportation Research Part B: Methodological, 67: 344-356.

[53] Ambrosino, D., Sciomachen, A. ve Scutellà, M. G., (2009). “A heuristic based on multi-exchange techniques for a regional fleet assignment location-routing problem”, Computers & Operations Research, 36(2): 442-460.

[54] Liu, S. C. ve Lin, C. C. (2005). “A heuristic method for the combined location routing and inventory problem”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 26(4): 372-381.

[55] Hansen, P. H., Hegedahl, B., Hjortkjaer, S. ve Obel, B., (1994). “A heuristic solution to the warehouse location-routing problem”, European Journal of Operational Research, 76(1): 111-127.

[56] Manzour-al-Ajdad, S. M. H., Torabi, S. A. ve Salhi, S., (2012). “A hierarchical algorithm for the planar single-facility location routing problem”, Computers & Operations Research, 39(2): 461-470.

[57] Marinakis, Y., Marinaki, M. ve Migdalas, A., (2016). “A hybrid clonal selection algorithm for the location routing problem with stochastic demands”, Annals of Mathematics and Artificial Intelligence, 76(1-2): 121-142.

[58] Rahim, F. ve Sepil, C., (2014). “A location-routing problem in glass recycling”, Annals of Operations Research, 223(1): 329-353.

[59] Ahmadi-Javid, A. ve Seddighi, A. H., (2013). “A location-routing problem with disruption risk”, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 53: 63-82.

[60] Lin, C. K. Y., Chow, C. K. ve Chen, A., (2002). “A location-routing-loading problem for bill delivery services”, Computers & Industrial Engineering, 43(1): 5-25.

[61] Chan, Y., Carter, W. B. ve Burnes, M. D., (2001). “A multiple-depot, multiple-vehicle, location-routing problem with stochastically processed demands”, Computers & Operations Research, 28(8): 803-826.

[62] Nguyen, V. P., Prins, C. ve Prodhon, C., (2010). “A multi-start evolutionary local search for the two-echelon location routing problem”, International Workshop on Hybrid Metaheuristics, 1-2 October 2010, Vienna, 88-102.

[63] Guerrero, W. J., Prodhon, C., Velasco, N. ve Amaya, C. A., (2015). “A relax-and-price heuristic for the inventory-location-routing problem”, International Transactions in Operational Research, 22(1): 129-148.

[64] Vincent, F. Y., Lin, S. W., Lee, W. ve Ting, C. J., (2010). “A simulated annealing heuristic for the capacitated location routing problem”, Computers & Industrial Engineering, 58(2): 288-299.

[65] Bouhafs, L., Hajjam, A. ve Koukam, A., (2008). “A Tabu search and ant colony system approach for the capacitated location-routing problem”, Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed

Computing, 6-8 August 2008.

[66] Vidović, M., Ratković, B., Bjelić, N. ve Popović, D., (2016). "A two-echelon location-routing model for designing recycling logistics networks with profit: MILP and heuristic approach", Expert Systems with Applications, 51: 34-48.

[67] Liu, S. C. ve Lee, S. B., (2003). "A two-phase heuristic method for the multi-depot location routing problem taking inventory control decisions into consideration", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 22(11-12): 941-950.

[68] Escobar, J. W., Linfati, R. ve Toth, P., (2013). "A two-phase hybrid heuristic algorithm for the capacitated location-routing problem", Computers & Operations Research, 40(1): 70-79.

[69] Wang, X., Sun, X. ve Fang, Y. (2005). "A two-phase hybrid heuristic search approach to the location-routing problem", International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 10-12 October 2005, Hawaii, 3338-3343.

[70] Hemmelmayr, V. C., Cordeau, J. F. ve Crainic, T. G., (2012). "An adaptive large neighborhood search heuristic for two-echelon vehicle routing problems arising in city logistics", Computers & Operations Research, 39(12): 3215-3228.

[71] Sun, J. U., (2015). "An Endosymbiotic Evolutionary Algorithm for the Hub Location-Routing Problem", Mathematical Problems in Engineering, Article ID 525980.

[72] Marinakis, Y., (2015). "An improved particle swarm optimization algorithm for the capacitated location routing problem and for the location routing problem with stochastic demands", Applied Soft Computing, 37: 680-701.

[73] Kim, J. S. ve Lee, D. H., (2015). "An integrated approach for collection network design, capacity planning and vehicle routing in reverse logistics", Journal of the Operational Research Society, 66(1): 76-85.

[74] Gao, S., Wang, Y., Cheng, J., Inazumi, Y. ve Tang, Z., (2016). "Ant colony optimization with clustering for solving the dynamic location routing problem", Applied Mathematics and Computation, 285: 149-173.

[75] Yang, J. ve Sun, H., (2015). "Battery swap station location-routing problem with capacitated electric vehicles", Computers & Operations Research, 55: 217-232.

[76] Lam, M. ve Mittenthal, J., (2013). "Capacitated hierarchical clustering heuristic for multi depot location-routing problems", International Journal of Logistics Research and Applications, 16(5): 433-444.

[77] Derbel, H., Jarboui, B., Hanafi, S. ve Chabchoub, H., (2012). “Genetic algorithm with iterated local search for solving a location-routing problem”, Expert Systems with Applications, 39(3): 2865-2871.

[78] Wu, T. H., Low, C. ve Bai, J. W., (2002). “Heuristic solutions to multi-depot location-routing problems”, Computers & Operations Research, 29(10): 1393-1415.

[79] Marinakis, Y., Marinaki, M. ve Matsatsinis, N., (2008). “Honey bees mating optimization for the location routing problem”, International Engineering Management Conference, 28-30 June 2008, Estoril.

[80] Guerrero, W. J., Prodhon, C., Velasco, N. ve Amaya, C. A., (2013). “Hybrid heuristic for the inventory location-routing problem with deterministic demand”, International Journal of Production Economics, 146(1): 359-370.

[81] Vincent, F. Y. ve Lin, S. W., (2014). “Multi-start simulated annealing heuristic for the location routing problem with simultaneous pickup and delivery”, Applied Soft Computing, 24: 284-290.

[82] Macedo, R., Alves, C., Hanafi, S., Jarboui, B., Mladenović, N., Ramos, B. ve de Carvalho, J. V., (2015). “Skewed general variable neighborhood search for the location routing scheduling problem”, Computers & Operations Research, 61: 143-152.

[83] Yu, V. F. ve Lin, S. Y., (2016). “Solving the location-routing problem with simultaneous pickup and delivery by simulated annealing”, International Journal of Production Research, 54(2): 526-549.

[84] Nguyen, V. P., Prins, C. ve Prodhon, C., (2012). “Solving the two-echelon location routing problem by a GRASP reinforced by a learning process and path relinking”, European Journal of Operational Research, 216(1): 113-126.

[85] Schittekat, P. ve Sörensen, K., (2009). “OR Practice-Supporting 3PL Decisions in the Automotive Industry by Generating Diverse Solutions to a Large-Scale Location-Routing Problem”, Operations research, 57(5): 1058-1067.

[86] Dalfard, V. M., Kaveh, M. ve Nosratian, N. E., (2013). “Two meta-heuristic algorithms for two-echelon location-routing problem with vehicle fleet capacity and maximum route length constraints”, Neural Computing and Applications, 23(7-8): 2341-2349.

[87] Barreto, S., Ferreira, C., Paixao, J. ve Santos, B. S., (2007). “Using clustering analysis in a capacitated location-routing problem”, European Journal of Operational Research, 179(3): 968-977.

[88] Pirkwieser, S. ve Raidl, G. R., (2010). “Variable neighborhood search coupled with ILP-based very large neighborhood searches for the (periodic) location-routing problem”, International Workshop on Hybrid Metaheuristics, 1 – 2 October 2010, Vienna.

[89] Macedo, R., Hanafi, S., Jarboui, B., Mladenović, N., Alves, C. ve de Carvalho, J. V., (2013). “Variable neighborhood search for the location routing problem with multiple routes”, Proceedings of 2013 International Conference on Industrial Engineering.

[90] Albareda-Sambola, M., Díaz, J. A. ve Fernández, E., (2005). “A compact model and tight bounds for a combined location-routing problem”, Computers & Operations Research, 32(3): 407-428.

[91] Bashiri, M., Rasoulinejad, Z. ve Fallahzade, E., (2016). “A new approach on auxiliary vehicle assignment in capacitated location routing problem”, International Journal of Systems Science, 47(4): 886-902.

[92] Boccia, M., Crainic, T. G., Sforza, A. ve Sterle, C., (2010). “A metaheuristic for a two echelon location-routing problem”, International Symposium on Experimental Algorithms, 20-22 May 2010, Naples.

[93] Melechovský, J., Prins, C. ve Calvo, R. W., (2005). “A metaheuristic to solve a location-routing problem with non-linear costs”, Journal of Heuristics, 11(5-6): 375-391.

[94] Peng, Y., (2008). “Integrated Location-Routing Problem Modeling and GA Algorithm Solving”, International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), 20-22 October 2008, Hunan.

[95] Prins, C., Prodhon, C. ve Calvo, R. W., (2006). “A memetic algorithm with population management (MA| PM) for the capacitated location-routing problem”, European Conference on Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization, 10-12 April 2006.

[96] Belenguer, J. M., Benavent, E., Prins, C., Prodhon, C. ve Calvo, R. W., (2011). “A branch-and-cut method for the capacitated location-routing problem”, Computers & Operations Research, 38(6): 931-941.

[97] Contardo, C., Hemmelmayr, V. ve Crainic, T. G., (2012). “Lower and upper bounds for the two-echelon capacitated location-routing problem”, Computers & Operations Research, 39(12): 3185-3199.

[98] Drexl, M., (2013). “Applications of the vehicle routing problem with trailers and transshipments”, European Journal of Operational Research, 227(2): 275-283.

[99] Karaoglan, I., Altiparmak, F., Kara, I. ve Dengiz, B., (2012). "The location-routing problem with simultaneous pickup and delivery: Formulations and a heuristic approach", Omega, 40(4): 465-477.

[100] Menezes, M. B., Ruiz-Hernández, D. ve Verter, V., (2016). "A rough-cut approach for evaluating location-routing decisions via approximation algorithms", Transportation Research Part B: Methodological, 87: 89-106.

[101] Aksen, D. ve Altinkemer, K., (2008). "A location-routing problem for the conversion to the "click-and-mortar" retailing: The static case", European Journal of Operational Research, 186(2): 554-575.

[102] Ambrosino, D. ve Scutella, M. G., (2005). "Distribution network design: new problems and related models", European journal of operational research, 165(3): 610-624.

[103] Asefi, H., Lim, S. ve Maghrebi, M., (2015). "A mathematical model for the municipal solid waste location-routing problem with intermediate transfer stations", Australasian Journal of Information Systems, 19.

[104] Baldacci, R., Mingozzi, A. ve Wolfler Calvo, R., (2011). "An exact method for the capacitated location-routing problem", Operations Research, 59(5): 1284-1296.

[105] Ceselli, A., Righini, G. ve Tresoldi, E., (2014). "Combined location and routing problems for drug distribution", Discrete Applied Mathematics, 165: 130-145.

[106] Contardo, C., Cordeau, J. F. ve Gendron, B., (2013). "An exact algorithm based on cut-and-column generation for the capacitated location-routing problem", INFORMS Journal on Computing, 26(1): 88-102.

[107] de Camargo, R. S., de Miranda, G. ve Løkketangen, A., (2013). "A new formulation and an exact approach for the many-to-many hub location-routing problem", Applied Mathematical Modelling, 37(12): 7465-7480.

[108] Ghani, N. E. A., Shariff, S. S. R. ve Zahari, S. M., (2014). "Optimization of location routing inventory problem with transshipment", INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICS, ENGINEERING AND INDUSTRIAL APPLICATIONS, 28-30 May 2014, Penang, 1-10.

[109] Karimi, H. ve Setak, M., (2014). "Proprietor and customer costs in the incomplete hub location-routing network topology", Applied Mathematical Modelling, 38(3): 1011-1023.

[110] Laporte, G., Nobert, Y. ve Taillefer, S., (1988). "Solving a family of multi-depot vehicle routing and location-routing problems", Transportation science, 22(3):

161-172.

[111] Li, J., Yunlong, Z. ve Hai, S., (2009). “An improved branch and bound algorithm for location-routing problems”, Computer Science-Technology and Applications, 25-27 December 2009, Chongqing, 58-63.

[112] May, M. D. ve Tu, C. Y., (2008). “Location-routing based dynamic vehicle routing problem for express pick-up service”, International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 8-11 December 2008, Singapore, 1830-1834.

[113] Pati, R. K., Vrat, P. ve Kumar, P., (2008). “A goal programming model for paper recycling system”, Omega, 36(3): 405-417.

[114] Prins, C., Prodhon, C., Ruiz, A., Soriano, P. ve Wolfler Calvo, R., (2007). “Solving the capacitated location-routing problem by a cooperative Lagrangean relaxation-granular tabu search heuristic”, Transportation Science, 41(4): 470-483.

[115] Riera-Ledesma, J. ve Salazar-González, J. J., (2012). “Solving school bus routing using the multiple vehicle traveling purchaser problem: A branch-and-cut approach”, Computers & Operations Research, 39(2): 391-404.

[116] Toyoglu, H., Karasan, O. E. ve Kara, B. Y., (2012). “A new formulation approach for location-routing problems”, Networks and Spatial Economics, 12(4): 635-659.

[117] Winkenbach, M., Kleindorfer, P. R. ve Spinler, S., (2015). “Enabling Urban Logistics Services at La Poste through Multi-Echelon Location-Routing”, Transportation Science, 50(2): 520-540.

[118] Xu, Z., Xu, D. ve Zhu, W., (2012). “Approximation results for a min–max location-routing problem”, Discrete Applied Mathematics, 160(3): 306-320.

[119] Lopes, R. B., Barreto, S., Ferreira, C. ve Santos, B. S., (2008). “A decision-support tool for a capacitated location-routing problem”, Decision Support Systems, 46(1): 366-375.

[120] Bozkaya, B., Yanik, S. ve Balcisoy, S. (2010). “A GIS-based optimization framework for competitive multi-facility location-routing problem”, Networks and Spatial Economics, 10(3): 297-320.

[121] Escobar, J. W., (2014). “Heuristic algorithms for the capacitated location-routing problem and the multi-depot vehicle routing problem”, A Quarterly Journal of Operations Research, 12(1): 99.

[122] Gianessi, P., Alfandari, L., Létocart, L. ve Wolfler Calvo, R., (2015). "The Multicommodity-Ring Location Routing Problem", Transportation Science, 50(2): 541-558.

[123] Javid, A. A. ve Azad, N., (2010). "Incorporating location, routing and inventory decisions in supply chain network design", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 46(5): 582-597.

[124] Koç, Ç. ve Karaoglan, I., (2016). "The green vehicle routing problem: A heuristic based exact solution approach", Applied Soft Computing, 39: 154-164.

[125] Marinakis, Y. ve Marinaki, M., (2008). "A bilevel genetic algorithm for a real life location routing problem", International Journal of Logistics: Research and Applications, 11(1): 49-65.

[126] Mokhtarinejad, M., Ahmadi, A., Karimi, B. ve Rahmati, S. H. A., (2015). "A novel learning based approach for a new integrated location-routing and scheduling problem within cross-docking considering direct shipment", Applied Soft Computing, 34: 274-2.

[127] Peng, Y. ve Chen, Z. X., (2009). "Two-phase particle swarm optimization for multi-depot location-routing problem", International Conference on New Trends in Information and Service Science, 30 June - 2 July 2009, Beijing, 240-245.

[128] Rahmani, Y., Ramdane Cherif-Khettaf, W. ve Oulamara, A., (2016). "The two-echelon multi-products location-routing problem with pickup and delivery: formulation and heuristic approaches", International Journal of Production Research, 54(4): 999-1019.

[129] Rieck, J., Ehrenberg, C. ve Zimmermann, J., (2014). "Many-to-many location-routing with inter-hub transport and multi-commodity pickup-and-delivery", European Journal of Operational Research, 236(3): 863-878.

[130] Ting, C. J. ve Chen, C. H., (2013). "A multiple ant colony optimization algorithm for the capacitated location routing problem", International Journal of Production Economics, 141(1): 34-44.

[131] Yan, J., Zhang, Q., Zhang, W. ve Zhen, T., (2008). "A hybrid ant colony algorithm for the capacitated location-routing problem", 3rd International Conference on Intelligent System and Knowledge Engineering, 17-19 Novermber 2008, Xiamen, 38-43.

[132] Zarandi, M. H. F., Hemmati, A. ve Davari, S., (2011). "The multi-depot capacitated location-routing problem with fuzzy travel times", Expert Systems

with Applications, 38(8): 10075-10084.

[133] Zhang, Y., Qi, M., Lin, W. H. ve Miao, L., (2015). “A metaheuristic approach to the reliable location routing problem under disruptions”, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 83: 90-110.

[134] Zhang, B., Ma, Z. ve Jiang, S., (2008). “Location-routing-inventory problem with stochastic demand in logistics distribution systems”. 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 12-17 October 2008, Dali.

[135] Bouhafs, L. ve Koukam, A., (2006). “A combination of simulated annealing and ant colony system for the capacitated location-routing problem”, International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems, 9-11 October 2006.

[136] Chanchan, W., Zujun, M. ve Huajun, L., (2008). “Stochastic dynamic location-routing-inventory problem in closed-loop logistics system for reusing end-of-use products”, International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation.

[137] Chen, X., Shi, Q., Qian, R. ve Yang, X., (2009). “Evolutionary Algorithm of Port Based Location Routing Problem”, WRI Global Congress on Intelligent Systems, 19-21 May 2009, Xiamen, 14-18.

[138] Huang, S. H., (2015). “Solving the multi-compartment capacitated location routing problem with pickup–delivery routes and stochastic demands”, Computers & Industrial Engineering, 87: 104-113.

[139] Contardo, C., Cordeau, J. F. ve Gendron, B., (2013). “A computational comparison of flow formulations for the capacitated location-routing problem”, Discrete Optimization, 10(4): 263-295.

[140] Hatefi, S. M., Jolai, F., Torabi, S. A., v Tavakkoli-Moghaddam, R. (2015). "Reliable design of an integrated forward-revere logistics network under uncertainty and facility disruptions: A fuzzy possibilistic programming model", KSCE Journal of Civil Engineering, 19(4), 1117-1128.

[141] Schwardt, M. ve Fischer, K., (2009). “Combined location-routing problems—a neural network approach”, Annals of Operations Research, 167(1): 253-269.

[142] Jarboui, B., Derbel, H., Hanafi, S. ve Mladenović, N., (2013). “Variable neighborhood search for location routing”, Computers & Operations Research, 40(1): 47-57.

[143] Duhamel, C., Lacomme, P., Prins, C. ve Prodhon, C., (2010). “A GRASP× ELS approach for the capacitated location-routing problem”, Computers &

Operations Research, 37(11): 1912-1923.

[144] Contardo, C., Cordeau, J. F. ve Gendron, B., (2014). “A GRASP+ ILP-based metaheuristic for the capacitated location-routing problem”, Journal of Heuristics, 20(1): 1-38.

[145] Lopes, R. B., Ferreira, C., ve Santos, B. S., (2016). "A simple and effective evolutionary algorithm for the capacitated location–routing problem". Computers & Operations Research, 70, 155-162.

[146] Tuzun, D. ve Burke, L. I., (1999). “A two-phase tabu search approach to the location routing problem”, European Journal Of Operational Research, 116(1): 87-99.

[147] Prodhon, C., (2007). “A metaheuristic for the periodic location-routing problem”, Operations Research Proceedings 5-7 September 2007, Saarland, 159-164.

EK-A

LİTERATÜR

Literatür çalışması kapsamında incelenen makale ve bildirilerin detaylı açıklaması bir çizelge halinde aşağıda sunulmaktadır.

Çizelge A.1 Literatür taramasında incelenen makale ve bildirilerin özet çizelgesi

Sıra	Çalışma Türü	Yıl	Yazar	Dergi-Etkinlik	Çalışma Adı	Talep	Ulaşım Süresi	Tesis Sayısı	Kapasite Kısıtlı	Zaman Kısıtlı	Amaç Fonksiyonu	Çözüm Metodu	Ayrıntı	Başlangıç Çözümleri
1	Makale	1988	Laporte ve arkadaşları	Transportation science	Solving a Family of Multi-Depot Vehicle Routing and Location-Routing Problems	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Kesin çözüm	Dal-Sınır Algoritması	
2	Makale	1989	Laporte ve arkadaşları	European Journal of Operational Research	Models and exact solutions for a class of stochastic location-routing problems	Stokastik	Stokastik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Kesin çözüm	İki Aşamalı Stokastik-KTP	
3	Makale	1994	Hansen ve arkadaşları	European Journal of Operational Research	A heuristic solution to the warehouse location-routing problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Perl and Daskşin metodu	Perl and Daskşin metodu
4	Makale	1998	Min ve arkadaşları	European Journal of Operational Research	Combined location-routing problems: A synthesis and future research directions	Literatür Taraması	Literatür Taraması	Literatür Taraması	Literatür Taramas ı	Literatür Taraması	Literatür Taraması	Literatür Taraması	Literatür Taraması	Literatür Taraması
5	Makale	1999	Tuzun ve Burke	European journal of operational research	A two-phase tabu search approach to the location routing problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Tabu Arama	Clarke-Wright Savings
6	Makale	2001	Chan ve arkadaşları	Computers & Operations Research	A multiple-depot, multiple-vehicle, location-routing problem with stochastically processed demands	Stokastik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Uzay Doldurma Eğrisi	Clarke-Wright Savings
7	Makale	2002	Lin ve arkadaşları	Computers & Industrial Engineering	A location-routing-loading problem for bill delivery services	Deterministik	Deterministik	1	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Tavlamalı Benzetim	Clarke-Wright Savings
8	Makale	2002	Wu ve arkadaşları	Computers & Operations Research	Heuristic solutions to multi-depot location-routing problems	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Tavlamalı Benzetim	Perl Ayrıştırma Algoritması

Çizelge A.2 Literatür taramasında incelenen makale ve bildirilerin özet çizelgesi (devamı)

9	Makale	2003	Lee ve arkadaşları	Photonic Network Communications	A location-routing problem in designing optical Internet access with WDM systems	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Hayır	Hayır	Tek	Sezgisel	Tabu Arama	Tabu Arama
10	Makale	2003	Liu ve Lee	The International Journal of Advanced Manufacturing Technology	A two-phase heuristic method for the multi-depot location routing problem taking inventory control decisions into consideration	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Geliştirilen bir sezgisel	Mesafe Bazlı Arama
11	Makale	2005	Albareda-Sambola ve arkadaşları	Computers & operations research	A compact model and tight bounds for a combined location-routing problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Yoğunlaştırma -Farklılaştırma	Tabu Arama
12	Makale	2005	Liu ve Lin	The International Journal of Advanced Manufacturing Technology	A heuristic method for the combined location routing and inventory problem	Deterministik	Deterministik	1	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Tabu Arama-Tavlamalı Benzetim	Yerleşim ilk- Ayırma ve Rotalama İkinci
13	Makale	2005	Melechovsk ý ve arkadaşları	Journal of Heuristics	A Metaheuristic to Solve a Location-Routing Problem with Non-Linear Costs	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Meta-sezgisel	Değişken Komşuluk Arama-Tabu Arama	Rastgele-P Medyan
14	Bildiri	2005	Wang ve arkadaşları	IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics	A two-phase hybrid heuristic search approach to the location-routing problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Tesis için Tabu Arama-Rota için Karınca Kolonisi Sistemi	Uygulanma dı
15	Makale	2005	Ambrosino ve Scutella	European journal of operational research	Distribution network design: New problems and related models	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Kesin çözüm	KTP	

Çizelge A.3 Literatür taramasında incelenen makale ve bildirilerin özet çizelgesi (devamı)

16	Bildiri	2006	Bouhafs ve Koukam	International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems	A combination of simulated annealing and ant colony system for the capacitated location-routing problem	Deterministik	Deterministik	1	Evet	Hayır	Tek	Meta-sezgisel	Tavlamalı benzetim-Karınca kolonisi sistemi	Rastgele
17	Bildiri	2006	Prins ve arkadaşları	European Conference on Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization	A Memetic Algorithm with Population Management (MA|PM) for the Capacitated Location-Routing Problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Takitçi-Sezgisel	Genetik-Mesafe temelli	Rastgele
18	Bildiri	2006	Prodhon ve Prins	In International Workshop on Hybrid Metaheuristics	A Memetic Algorithm with Population Management (MA|PM) for the Periodic Location-Routing Problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Takitçi-Sezgisel	Genetik-Mesafe temelli	Rastgele
19	Makale	2006	Lin ve Kwok	European Journal of Operational Research	Multi-objective metaheuristics for a location-routing problem with multiple use of vehicles on real data and simulated data	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Çoklu	Sezgisel	Tabu Arama-Tavlamalı Benzetim	Kümeleme Yaklaşımı
20	Makale	2007	Alumur ve Kara	Computers & Operations Research	A new model for the hazardous waste location-routing problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Çoklu	Kesin çözüm	KTP	-
21	Makale	2007	Albareda-Sambola ve arkadaşları	European Journal of Operational Research	Heuristic and lower bound for a stochastic location-routing problem	Stokastik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	İki seviye stokastik-Alt Sınır	Alt Problemlere Ayırma
22	Makale	2007	Nagy ve Salhi	European Journal of Operational Research	Location-routing: Issues, models and methods	Literatür Taraması	Literatür Taraması	Literatür Taraması	Literatür Taraması	Literatür Taraması	Literatür Taraması	Literatür Taraması	Literatür Taraması	Literatür Taraması

Çizelge A.4 Literatür taramasında incelenen makale ve bildirilerin özet çizelgesi (devamı)

23	Makale	2007	Berger ve arkadaşları	Transportation Science	Location-Routing Problems with Distance Constraints	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Hayır	Hayır	Tek	Kesin çözüm	Sütun Oluşturma-Dal Fiyat	Tabu Arama
24	Makale	2007	Caballero ve arkadaşları	European Journal of Operational Research	Solving a multiobjective location routing problem with a metaheuristic based on tabu search. Application to a real case in Andalusia	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Evet	Çoklu	Sezgisel	Uyarlanabilir Hafıza Prosedürü	
25	Makale	2007	Prins ve arkadaşları	Transportation Science	Solving the Capacitated Location-Routing Problem by a Cooperative Lagrangean Relaxation-Granular Tabu Search Heuristic	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel-Kesin çözüm	Tesis için Lagrangian Gevşemesi-Rotalama için Tanecikli Tabu Arama	Rastgele
26	Bildiri	2007	Wei-long ve Qing	2007 International Conference on Management Science and Engineering	Solving the Stochastic Location-Routing Problem with Genetic Algorithm	Stokastik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Meta-sezgisel	GA	Rastgele
27	Makale	2007	Barreto ve arkadaşları	European Journal of Operational Research	Using clustering analysis in a capacitated location-routing problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Kümeleme Bazlı Ardışık Sezgisel	Rastgele
28	Makale	2008	Marinakis ve Marinaki	International Journal of Logistics: Research and Applications	A Bilevel Genetic Algorithm for a real life location routing problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Meta-sezgisel	İki seviye genetik	Açgözlü Rastgele Uyumlu Arama
29	Makale	2008	Lopes ve arkadaşları	Decision Support Systems	A decision-support tool for a capacitated location-routing problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel-Kesin çözüm	Dağıtım İlk-Yerleşim İkinci Sezgiseli	-
30	Makale	2008	Pati ve arkadaşları	Omega	A goal programming model for paper recycling system	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Kesin çözüm	Karışık Tam sayılı Hedef Programlama	-

Çizelge A.5 Literatür taramasında incelenen makale ve bildirilerin özet çizelgesi (devamı)

31	Bildiri	2008	Yan ve arkadaşları	Intelligent System and Knowledge Engineering	A Hybrid Ant Colony Algorithm for the Capacitated Location-Routing Problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Meta-sezgisel	Tavlamalı benzetim-Karınca kolonisi	Tavlamalı benzetim-Karınca kolonisi	
32	Makale	2008	Aksen ve Altinkemer	European Journal of operational Research	A location-routing problem for the conversion to the "click-and-mortar" retailing: The static case	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Kesin çözüm	Lagrangian Gevşemesi	-	
33	Bildiri	2008	Prodhon	Operations Research Proceedings	A Metaheuristic for the Periodic Location-Routing Problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Evet	Tek	Sezgisel	Yerel Arama	Clarke-Wright Savings	
34	Bildiri	2008	Bouhafs ve arkadaşları	Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing	A Tabu search and Ant colony system Approach for the Capacitated Location-Routing Problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Tabu Arama-Karınca Kolonisi Sistemi	Rastgele	
35	Bildiri	2008	Marinakis ve arkadaşları	2008 IEEE International Engineering Management Conference	Honey Bees Mating Optimization for the Location Routing Problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Bal Arısı Algoritması	Açgözlü Rastgele Uyumlu Arama	
36	Bildiri	2008	Peng	Intelligent Computation Technology and Automation	Integrated Location-Routing Problem Modeling and GA Algorithm Solving	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Meta-sezgisel	GA	Rastgele	
37	Makale	2008	Ukkusuri ve Yushimito	Transportation Research Record	Location Routing Approach for the Humanitarian Prepositioning Problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Hayır	Hayır	Tek	Kesin çözüm	KTP		
38	Bildiri	2008	May ve Tu	2008 IEEE International Conference on Industrial Engineering and E.M	Location-Routing Based Dynamic Vehicle Routing Problem for Express Pick-Up Service	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Kesin çözüm	KTP		

Çizelge A.6 Literatür taramasında incelenen makale ve bildirilerin özet çizelgesi (devamı)

39	Bildiri	2008	Zhang ve arkadaşları	2008 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing	Location-Routing-Inventory Problem with Stochastic Demand in Logistics Distribution Systems	Stokastik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Meta-sezgisel	GA	Rastgele
40	Bildiri	2008	Chanchan ve arkadaşları	2008 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation	Stochastic Dynamic Location-Routing-Inventory Problem in Closed-loop Logistics System for Reusing End-of-use Products	Stokastik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	İki Aşamalı Sezgisel	Rastgele
41	Makale	2009	Ambrosino ve arkadaşları	Computers & Operations Research	A heuristic based on multi-exchange techniques for a regional fleet assignment location-routing problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Çoklu Değişim Tekniği	İlk Kümeleme-İkinci Rotalama
42	Bildiri	2009	Prodhon	International Workshop on Hybrid Metaheuristics	An ELSxPath Relinking Hybrid for the Periodic Location-Routing Problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Evet	Tek	Sezgisel	Evrimsel Yerel Arama	Clarke-Wright Savings
43	Bildiri	2009	Li ve arkadaşları	Computer Science-Technology and Applications	An Improved Branch and Bound Algorithm for Location-routing Problems	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Kesin çözüm	Dal Sınır	-
44	Makale	2009	Schwardt ve Fischer	Annals of Operations Research	Combined location-routing problems—a neural network approach	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Yapay Sinir Ağı	Weiszfeld	Kendi Kendine Organize Olan Ağlar
45	Bildiri	2009	Chen ve arkadaşları	2009 WRI Global Congress on Intelligent Systems	Evolutionary Algorithm of Port Based Location Routing Problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Meta-sezgisel	GA	Rastgele

Çizelge A.7 Literatür taramasında incelenen makale ve bildirilerin özet çizelgesi (devamı)

46	Bildiri	2009	Hassan-Pour ve arkadaşları	Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture	Solving a multi-objective multi-depot stochastic location-routing problem by a hybrid simulated annealing algorithm	Stokastik	Stokastik	1'den fazla	Evet	Hayır	Çoklu	Sezgisel	Küme Ayırma-Tavlamalı Benzetim	Rastgele
47	Makale	2009	Schittekat ve Sörensen	Operations research	OR Practice Supporting 3PL Decisions in the Automotive Industry by Generating Diverse Solutions to a Large-Scale Location-Routing Problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Tabu Arama	Komşuluk Arama
48	Bildiri	2009	Peng ve Chen	New Trends in Information and Service Science	Two-Phase Particle Swarm Optimization for Multi-depot Location-Routing Problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Meta-sezgisel	Parçacık Sürü Optimizasyonu	Rastgele
49	Makale	2010	Bozkaya ve arkadaşları	Networks and Spatial Economics	A GIS-Based Optimization Framework for Competitive Multi-Facility Location-Routing Problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Meta-sezgisel	GA	Tabu Arama
50	Makale	2010	Duhamel ve arkadaşları	Computers & operations research	A GRASP×ELS approach for the capacitated location-routing problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Meta-sezgisel	İterative-Evrimsel Yerel Arama	Açgözlü Rastgele Uyumlu Arama
51	Makale	2010	Nikbakhsh ve Zegordi	Scientialranica Transaction E: Industrial Engineering	A Heuristic Algorithm and a Lower Bound for the Two-Echelon Location-Routing Problem with Soft Time Window Constraints	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Evet	Tek	Sezgisel	6 Komşuluk ve 3-opt	Yerleşim İlk- Ayırma ve Rotalama İkinci

Çizelge A.8 Literatür taramasında incelenen makale ve bildirilerin özet çizelgesi (devamı)

52	Bildiri	2010	Boccia ve arkadaşları	International Symposium on Experimental Algorithms	A Metaheuristic for a Two Echelon Location-Routing Problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Tabu Arama	Komşuluk Bazlı Tabu Arama
53	Bildiri	2010	Nguyen ve arkadaşları	International Workshop on Hybrid Metaheuristics	A Multi-Start Evolutionary Local Search for the Two-Echelon Location Routing Problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Evrimsel Yerel Arama	Açgözlü Rastgele Uyumlu Arama
54	Makale	2010	Tavakkoli-Moghaddam ve arkadaşları	Journal of Manufacturing Systems	A new integrated mathematical model for a bi-objective multi-depot location-routing problem solved by a multi-objective scatter search algorithm	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Çoklu	Sezgisel	Dağınık Arama Algoritması	Clarke-Wright Savings
55	Makale	2010	Vincent ve arkadaşları	Computers & Industrial Engineering	A simulated annealing heuristic for the capacitated location routing problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Tavlamalı Benzetim-Komşuluk Arama Algoritması	Açgözlü Rastgele Uyumlu Arama
56	Makale	2010	Vincent ve arkadaşları	Computers & Industrial Engineering	A simulated annealing heuristic for the open location-routing problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Tavlamalı Benzetim	Açgözlü Rastgele Uyumlu Arama
57	Makale	2010	Javid ve Azad	Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review	Incorporating location, routing and inventory decisions in supply chain network design	Stokastik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel-Kesin çözüm	Dal-Sınır Algoritması-Tabu arama ve Tavlamalı Benzetim	Rastgele
58	Makale	2010	ZENG ve arkadaşları	Chinese Journal of Management Science	Research on Location-Routing Problem of Relief System Based on Emergency Logistics	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Evet	Tek	Sezgisel	Tesis için Kümeleme Metodu-Rotalama için Karınca Kolonisi Metodu	Rastgele

Çizelge A.9 Literatür taramasında incelenen makale ve bildirilerin özet çizelgesi (devamı)

59	Bildiri	2010	Pirkwieser ve Raidl	International Workshop on Hybrid Metaheuristics	Variable Neighborhood Search Coupled with ILP-Based Very Large Neighborhood Searches for the (Periodic) Location-Routing Problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Değişken Komşuluk Arama	Rastgele
60	Makale	2011	Catanzaro ve arkadaşları	Computers & operations research	A branch-and-cut algorithm for the partitioning-hub location-routing problem	Deterministik	Deterministik	-	Hayır	Hayır	Tek	Kesin çözüm	Dal-kesme	-
61	Makale	2011	Belenguer ve arkadaşları	Computers & operations research	A Branch-and-Cut method for the Capacitated Location-Routing Problem	Deterministik	Deterministik	5 ya da 10	Evet	Hayır	Tek	Kesin çözüm	Dal-kesme	-
62	Makale	2011	Prodhon	European Journal of Operational Research	A hybrid evolutionary algorithm for the periodic location-routing problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Evet	Tek	Meta-sezgisel	Evrimsel Yerel Arama	Clarke-Wright Savings
63	Makale	2011	Baldacci ve arkadaşları	Operations Research	An Exact Method for the Capacitated Location-Routing Problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Kesin çözüm	Küme ayırma-Dual Tırmanma	-
64	Makale	2011	Zarandi ve arkadaşları	Expert Systems with Applications	The multi-depot capacitated location-routing problem with fuzzy travel times	Deterministik	Bulanık	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Güvenilirlik Teorisi-Tavlamalı Benzetim	En Yakın Komşuluk Arama
65	Bildiri	2011	Gündüz	International Conference on Computational Logistics	The Single-Stage Location-Routing Problem with Time Windows	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Evet	Tek	Sezgisel	Tabu Arama	Clarke-Wright Savings
66	Makale	2012	Manzour-al-Ajdad ve arkadaşları	Computers & Operations Research	A hierarchical algorithmfor the planar single-facility location routing problem	Deterministik	Deterministik	1	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Öklid Mesafeli	Weiszfeld metodu

Çizelge A.10 Literatür taramasında incelenen makale ve bildirilerin özet çizelgesi (devamı)

67	Makale	2012	Ahmadi-Javid ve Seddighi	Engineering Optimization	A location-routing-inventory model for designing multisource distribution networks	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Meta-sezgisel	Tavlamalı benzetim-Karınca kolonisi sistemi	En Yakın Komşuluk algoritması
68	Makale	2012	Toyoglu ve arkadaşları	Networks and spatial economics	A New Formulation Approach for Location-Routing Problems	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Kesin çözüm	KTP ve Kümeleme	-
69	Makale	2012	Hemmelmayr ve arkadaşları	Computers & operations research	An adaptive large neighborhood search heuristic for two-echelon vehicle routing problems arising in city logistics	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Geniş Komşuluk Arama	Clarke-Wright Savings
70	Makale	2012	Xu ve arkadaşları	Discrete Applied Mathematics	Approximation results for a min–max location-routing problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Kesin çözüm	Sabit Oran Yaklaştırma Algoritması	
71	Makale	2012	Derbel ve arkadaşları	Expert Systems with Applications	Genetic algorithm with iterated local search for solving a location-routing problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	GA-Yerel Arama Algoritması	Komşuluk Arama
72	Makale	2012	Contardo ve arkadaşları	Computers & operations research	Lower and upper bounds for the two-echelon capacitated location-routing problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel-Kesin çözüm	Dal Kesme - Uyarlanabilir Geniş Komşuluk Arama Algoritması	Clarke-Wright Savings
73	Makale	2012	Albareda-Sambola ve arkadaşları	European Journal of Operational Research	Multiperiod Location-Routing with Decoupled Time Scales	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Evet	Tek	Sezgisel-Kesin çözüm	Minimum Kapsar Ağaç-Geliştirilen Bir Sezgisel	Rastgele

Çizelge A.11 Literatür taramasında incelenen makale ve bildirilerin özet çizelgesi (devamı)

74	Makale	2012	Coutinho-Rodrigues ve arkadaşları	Journal of Transport Geography	Solving a location-routing problem with a multiobjective approach: the design of urban evacuation plans	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Çoklu	Kesin çözüm	KTP	
75	Makale	2012	Riera-Ledesma ve Salazar-González	Computers & Operations Research	Solving school bus routing using the multiple vehicle traveling purchaser problem: A branch-and-cut approach	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Kesin çözüm	Dal-kesme-Geçerli Eşitsizlik	
76	Makale	2012	Nguyen ve arkadaşları	European Journal of Operational Research	Solving the two-echelon location routing problem by a GRASP reinforced by a learning process and path relinking	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Clarke & Wright-En Yakın Komşuluk-Alt Turlar-Büyük Turlar	Açgözlü Rastgele Uyumlu Arama
77	Makale	2012	Karaoglan ve arkadaşları	Omega	The location-routing problem with simultaneous pickup and delivery: Formulations and a heuristic approach	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel-Kesin çözüm	Geçerli Eşitsizlikler ve KTP-Tavlamalı Benzetim	Rastgele
78	Makale	2013	Contardo ve arkadaşları	Discrete Optimization	A computational comparison of flow formulations for the capacitated location-routing problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Kesin çözüm	Dal-kesme	-
79	Makale	2013	Ghaffari-Nasab ve arkadaşları	Scientialranica	A hybrid simulated annealing based heuristic for solving the location-routing problem with fuzzy demands	Bulanik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Meta-sezgisel	Tavlamalı benzetim-Stokastik simülasyon	Clarke-Wright Savings
80	Makale	2013	Ahmadi-Javid ve Seddighi	Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review	A location-routing problem with disruption risk	Deterministik	Deterministik	1	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Tavlamalı Benzetim	Rastgele

Çizelge A.12 Literatür taramasında incelenen makale ve bildirilerin özet çizelgesi (devamı)

81	Makale	2013	Boyer ve arkadaşları	Journal of Applied Mathematics	A Mathematical Model for the Industrial Hazardous Waste Location-Routing Problem	Deterministik	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Çoklu	Kesin çözüm	Ağırlıklandırılmış Hedef programlama	-
82	Makale	2013	Samanlioglu	European Journal of Operational Research	A multi-objective mathematical model for the industrial hazardous waste location-routing problem	Deterministik	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Çoklu	Kesin çözüm	Leksikografik Ağırlıklandırılmış Tchebycheff	-
83	Makale	2013	Ting ve Chen	International Journal of Production Economics	A multiple ant colony optimization algorithm for the capacitated location routing problem	Deterministik	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Meta-sezgisel	Karınca Kolonisi Sistemi	Yerel Arama
84	Makale	2013	Camargo ve arkadaşları	Applied Mathematical Modelling	A new formulation and an exact approach for the many-to-many hub location-routing problem	Deterministik	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Kesin çözüm	Benders Ayrıştırma Algoritması	-
85	Makale	2013	Escobar ve arkadaşları	Computers & Operations Research	A two-phase hybrid heuristic algorithm for the capacitated location-routing problem	Deterministik	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Tanecik Değişkenli Tabu Arama	Ayırma Prosedürü
86	Makale	2013	Contardo ve arkadaşları	INFORMS Journal on Computing	An Exact Algorithm Based on Cut-and-Column Generation for the Capacitated Location-Routing Problem	Deterministik	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Kesin çözüm	Sütun Oluşturma-Dal Kesme	-
87	Makale	2013	Golozari ve arkadaşları	The International Journal of Advanced Manufacturing Technology	Application of a hybrid simulated annealing-mutation operator to solve fuzzy capacitated location-routing problem	Bulanık	Bulanık	Bulanık	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Tavlamalı Benzetim-Mutasyon Operatörü	Açgözlü Rastgele Uyumlu Arama

Çizelge A.13 Literatür taramasında incelenen makale ve bildirilerin özet çizelgesi (devamı)

88	Makale	2013	Drexl	European Journal of Operational Research	Applications of the vehicle routing problem with trailers and transshipments	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel-Kesin çözüm	İniş Sezgiseli	Kümeleme Yaklaşımı
89	Makale	2013	Lam ve Mittenthal	International Journal of Logistics Research and Applications	Capacitated hierarchical clustering heuristic for multi depot location-routing problems	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Tavlamalı Benzetim-Güvenilirlik Teorisi	Bulanık C-Ortalama Kümeleme
90	Makale	2013	Zarandi ve arkadaşları	Knowledge-Based Systems	Capacitated location-routing problem with time windows under uncertainty	Bulanık	Bulanık	1'den fazla	Evet	Evet	Tek	Sezgisel	Karınca Kolonisi Sistemi-Ayrık Sistem Simülasyonu	Rastgele
91	Bildiri	2013	Herazo-Padilla ve arkadaşları	2013 Winter Simulations Conference	COUPLING ANT COLONY OPTIMIZATION AND DISCRETE-EVENT SIMULATION TO SOLVE A STOCHASTIC LOCATION-ROUTING PROBLEM	Stokastik	Stokastik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Geliştirilen bir sezgisel	Rastgele
92	Makale	2013	Guerrero ve arkadaşları	International Journal of Production Economics	Hybrid heuristic for the inventory location-routing problem with deterministic demand	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Değişken Komşuluk Arama	Clarke-Wright Savings
93	Makale	2013	Ghaffari-Nasab ve arkadaşları	The International Journal of Advanced Manufacturing Technology	Modeling and solving the bi-objective capacitated location-routing problem with probabilistic travel times	Deterministik	Stokastik	1'den fazla	Evet	Hayır	Çoklu	Sezgisel	GA-Tavlamalı Benzetim	Rastgele
94	Makale	2013	Dalfard ve arkadaşları	Neural Computing and Applications	Two meta-heuristic algorithms for two-echelon location-routing problem with vehicle fleet capacity and maximum route length constraints	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel		

Çizelge A.14 Literatür taramasında incelenen makale ve bildirilerin özet çizelgesi (devamı)

95	Makale	2013	Mehrjerdi ve Nadizadeh	European Journal of Operational Research	Using greedy clustering method to solve capacitated location-routing problem with fuzzy demands	Bulanık	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Açgözlü Kümeleme-Karınca Kolonisi Sistemi	Rastgele
96	Makale	2013	Jarboui ve arkadaşları	Computers & Operations Research	Variable neighborhood search for location routing	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Hayır	Hayır	Tek	Sezgisel	Değişken Komşuluk Arama	Rastgele
97	Makale	2014	Escobar ve arkadaşları	Transportation Research Part B: Methodological	A Granular Variable Tabu Neighborhood Search for the capacitated location-routing problem	Deterministik	Deterministik	1	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Tanecik Değişkenli Tabu Komşuluk	Kümeleme Yaklaşımı
98	Makale	2014	Contardo ve arkadaşları	Journal of Heuristics	A GRASP + ILP-based metaheuristic for the capacitated location-routing problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Meta-sezgisel	Sütun Oluşturma	Açgözlü Rastgele Uyumlu Arama
99	Makale	2014	Escobar ve arkadaşları	Journal of Heuristics	A hybrid Granular Tabu Search algorithm for the Multi-Depot Vehicle Routing Problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Tanecik Değişkenli Tabu Komşuluk	Kümeleme Yaklaşımı
100	Makale	2014	Rahim ve Sepil	Annals of Operations Research	A location-routing problem in glass recycling	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Değişken Komşuluk Arama	Açgözlü Rastgele Uyumlu Arama
101	Makale	2014	Rath ve Gutjahr	Computers & Operations Research	A math-heuristic for the warehouse location–routing problem in disaster relief	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Çoklu	Sezgisel-Kesin çözüm	Matematiksel Sezgisel	Rastgele
102	Makale	2014	Li ve Keskin	Journal of the Operational Research Society	Bi-criteria dynamic location-routing problem for patrol coverage	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Evet	Tek	Sezgisel	Tavlamalı Benzetim- Sil ve Ekle	Açgözlü Rastgele Uyumlu Arama

Çizelge A.15 Literatür taramasında incelenen makale ve bildirilerin özet çizelgesi (devamı)

103	Makale	2014	Ceselli ve arkadaşları	Discrete Applied Mathematics	Combined location and routing problems for drug distribution	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Kesin çözüm: Sezgisel	Dal Fiyat: Tanecik Değişkenli Tabu Arama-Tavlamalı Benzetim; Komşuluk Arama
104	Makale	2014	Escobar	4OR	Heuristic algorithms for the capacitated location-routing problem and the multi-depot vehicle routing problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Kesin çözüm: Sezgisel	Dal Fiyat: Tanecik Değişkenli Tabu Arama-Tavlamalı Benzetim; Komşuluk Arama
105	Makale	2014	Zhang ve arkadaşları	Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review	Hybrid metaheuristic solutions to inventory location routing problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Kesin çözüm: Sezgisel	Dal Fiyat: Tavlamalı Benzetim; Solomon 1
106	Makale	2014	Rieck ve arkadaşları	European Journal of Operational Research	Many-to-many location-routing with inter-hub transport and multi-commodity pickup-and-delivery	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Kesin çözüm: Sezgisel-Kesin çözüm	Dal Fiyat: GA; Rastgele
107	Makale	2014	Wang ve arkadaşları	Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review	Multi-objective open location-routing model with split delivery for optimized relief distribution in post-earthquake	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Çoklu	Kesin çözüm: Sezgisel	Dal Fiyat: GA; Rastgele
108	Makale	2014	Vincent ve Lin	Applied Soft Computing	Multi-start simulated annealing heuristic for the location routing problem with simultaneous pickup and delivery	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Kesin çözüm: Sezgisel	Dal Fiyat: Çok Başlangıçlı Tavlamalı Benzetim; Rastgele

Çizelge A.16 Literatür taramasında incelenen makale ve bildirilerin özet çizelgesi (devamı)

109	Makale	2014	Ramos ve arkadaşları	Omega	Planning a sustainable reverse logistics system: Balancing costs with environmental and social concerns	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Evet	Çoklu	Kesin çözüm	Epsilon Kısıt-Pareto Yüzey	
110	Makale	2014	Karimi ve Setak	Applied Mathematical Modelling	Proprietor and customer costs in the incomplete hub location-routing network topology	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Kesin çözüm	Lagrangian Gevşemesi-Geçerli Eşitsizlik	
111	Makale	2014	Berglund ve Kwon	Networks and Spatial Economics	Robust Facility Location Problem for Hazardous Waste Transportation	Stokastik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Evet	Tek	Sezgisel-Kesin çözüm	GA-Robust KTP	Rastgele
112	Makale	2014	Martínez-Salazar ve arkadaşları	European Journal of Operational Research	Solving a bi-objective Transportation Location Routing Problem by metaheuristic algorithms	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Çoklu	Meta-sezgisel	Dağınık Tabu Arama Algoritması-GA	Popülasyon Bazlı
113	Makale	2014	Nekooghadirli ve arkadaşları	Computers & Industrial Engineering	Solving a new bi-objective location-routing-inventory problem in a distribution network by meta-heuristics	Stokastik	Stokastik	1'den fazla	Evet	Evet	Çoklu	Meta-sezgisel	Emperyalist Algoritması-Tavlamalı Benzetim-GA-Pareto	Rastgele
114	Makale	2014	Nadizadeh ve Nasab	European Journal of Operational Research	Solving the dynamic capacitated location-routing problem with fuzzy demands by hybrid heuristic algorithm	Bulanık	Deterministik	1'den fazla	Evet	Evet	Tek	Sezgisel-Kesin çözüm	Bulanık Şans Kısıt ve Güvenilirlik Teorisi-Karınca Kolonisi	Açgözlü Rastgele Uyumlu Arama
115	Makale	2014	Mohammadi ve arkadaşları	Transportation Research Part E: Logistics and Transportation R.	Sustainable hub location under mixed uncertainty	Stokastik	Stokastik	1'den fazla	Evet	Hayır	Çoklu	Sezgisel	Tavlamalı Benzetim-Emperyalist Yarışmacı	Rastgele

Çizelge A.17 Literatür taramasında incelenen makale ve bildirilerin özet çizelgesi (devamı)

116	Makale	2014	Govindan ve arkadaşları	International Journal of Production Economics	Two-echelon multiple-vehicle location–routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Evet	Çoklu	Meta-sezgisel	Parçacık Sürü Optimizasyonu-Değişken Komşuluk Arama	Rastgele
117	Makale	2015	Zhao ve Verter	Computers & Operations Research	A bi-objective model for the used oil location-routing problem	Deterministik	Deterministik	1	Evet	Hayır	Çoklu	Kesin çözüm	Ağırlıklandırılmış Hedef programlama	-
118	Makale	2015	Asefi ve arkadaşları	Australasian Journal of Information Systems	A mathematical model for the municipal solid waste location-routing problem with intermediate transfer stations	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Kesin çözüm	Karışık Tam sayılı Programlama	-
119	Makale	2015	Karaoglan ve Altiparmak	Computers & Operations Research	A memetic algorithm for the capacitated location-routing problem with mixed backhauls	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Takiltçi-Sezgisel	GA-Tavlamalı Benzetim	Rastgele
120	Makale	2015	Zhang ve arkadaşları	Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review	A metaheuristic approach to the reliable location routing problem under disruptions	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel-Kesin çözüm	Tavlamalı Benzetim-İki Seviye Stokastik	Solomon 1-Tanecikli Tabu Arama
121	Makale	2015	Mokhtarinejad ve arkadaşları	Applied Soft Computing	A novel learning based approach for a new integrated location-routing and scheduling problem within cross-docking considering direct shipment	Deterministik	Deterministik	1	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel-Kesin çözüm	GA-Filtreleme temelli öğrenme	İkili Kümeleme
122	Makale	2015	Liu ve Kachitvichyanukul	International Journal of Industrial Engineering	A PARETO-BASED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION ALGORITHM FOR MULTI-OBJECTIVE LOCATION ROUTING PROBLEM	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Çoklu	Sezgisel	Parçacık Sürü Optimizasyonu	Pareto Yüzeyi

Çizelge A.18 Literatür taramasında incelenen makale ve bildirilerin özet çizelgesi (devamı)

123	Makale	2015	Guerrero ve arkadaşları	International Transactions in Operational Research	A relax-and-price heuristic for the inventory-location-routing problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Yerel Arama-Lagrangian Gevşemesi	Sütun oluşturma
124	Makale	2015	Zhang ve arkadaşları	Advances in Mechanical Engineering	A robust optimization model for green regional logistics network design with uncertainty in future logistics demand	Stokastik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel-Kesin çözüm	Genetik ve Gauss-Seidel-İki Seviye Stokastik	Rastgele
125	Makale	2015	Sun	Mathematical Problems in Engineering	An Endosymbiotic Evolutionary Algorithm for the Hub Location-Routing Problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	endosimbiotik evrimsel algoritması	Rastgele
126	Makale	2015	Marinakis	Applied Soft Computing	An improved particle swarm optimization algorithm for the capacitated location routing problem and for the location routing problem with stochastic demands	Stokastik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Geliştirilmiş Parçacık Sürü Optimizasyonu	Rastgele
127	Makale	2015	Kim ve Lee	Journal of the Operational Research Society	An integrated approach for collection network design, capacity planning and vehicle routing in reverse logistics	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Entegre Tabu Arama	Açgözlü Rastgele Uyumlu Arama
128	Makale	2015	Yang ve Sun	Computers & Operations Research	Battery swap station location-routing problem with capacitated electric vehicles	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Tabu Arama-Clarke&Wright	Uyarlanmış Sweep Algoritması
129	Makale	2015	Winkenbach ve arkadaşları	Transportation Science	Enabling Urban Logistics Services at La Poste through Multi-Echelon Location-Routing	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Kesin çözüm	KTP	

Çizelge A.19 Literatür taramasında incelenen makale ve bildirilerin özet çizelgesi (devamı)

											P-Merkez	Kesin çözüm	Tek	Rastgele
130	Bildiri	2015	Ghani ve arkadaşları	INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICS, ENGINEERING AND INDUSTRIAL APPLICATIONS	Optimization of Location Routing Inventory Problem with Transshipment	Deterministik	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Rastgele
131	Makale	2015	Hemmelmayr	European Journal of Operational Research	Sequential and parallel large neighborhood search algorithms for the periodic location routing problem	Deterministik	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Evet	Tek	Sezgisel	Geniş Komşuluk Arama
132	Makale	2015	Herazo-Padilla ve arkadaşları	Journal of Simulation	Simulation–optimization approach for the stochastic location-routing problem	Deterministik	Stokastik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Karınca Kolonisi Sistemi-Ayrık Sistem Simülasyonu
133	Makale	2015	Macedo ve arkadaşları	Computers & Operations Research	Skewed general variable neighborhood search for the location routing scheduling problem	Deterministik	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Değişken Komşuluk Arama
134	Makale	2015	Huang	Computers & Industrial Engineering	Solving the multi-compartment capacitated location routing problem with pickup–delivery routes and stochastic demands	Stokastik	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Uyarlanmış Tabu Arama
135	Makale	2015	Gianessi ve arkadaşları	Transportation Science	The Multicommodity-Ring Location Routing Problem	Deterministik	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel-Kesin çözüm	Geçerli Eşitsizlikler ve Karışık Tam sayılı Programlama
136	Makale	2016	Marinakis ve arkadaşları	Annals of Mathematics and Artificial Intelligence	A hybrid clonal selection algorithm for the location routing problem with stochastic demands	Stokastik	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Hibrit Klon Seçim Algoritması

Çizelge A.20 Literatür taramasında incelenen makale ve bildirilerin özet çizelgesi (devamı)

137	Makale	2016	Bashiri ve arkadaşları	International Journal of Systems Science	A new approach on auxiliary vehicle assignment in capacitated location routing problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel-Kesin çözüm	Tavlamalı Benzetim-KTP	Rastgele
138	Makale	2016	Menezes ve arkadaşları	Transportation Research Part B: Methodological	A rough-cut approach for evaluating location-routing decisions via approximation algorithms	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel-Kesin çözüm	P-Medyan - Kombinasyonlu optimizasyon	-
139	Makale	2016	Lopes ve arkadaşları	Computers & Operations Research	A simple and effective evolutionary algorithm for the capacitated location–routing problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Meta-sezgisel	GA	Rastgele
140	Makale	2016	Vidović ve arkadaşları	Expert Systems with Applications	A two-echelon location-routing model for designing recycling logistics networks with profit: MILP and heuristic approach	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Açgözlü Sezgiseli	Açgözlü Rastgele Uyumlu Arama
141	Makale	2016	Gao ve arkadaşları	Applied Mathematics and Computation	Ant colony optimization with clustering for solving the dynamic location routing problem	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Karınca Kolonisi Sistemi	Rastgele Kümeleme
142	Makale	2016	Ponboon ve arkadaşları	Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review	Branch-and-price algorithm for the location-routing problem with time windows	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Evet	Tek	Kesin çözüm	Dal Fiyat	
143	Makale	2016	Torfi ve arkadaşları	Applied Mathematical Modelling	Fuzzy MCDM for weight of object's phrase in location routing problem	Stokastik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Tavlamalı Benzetim	Bulanık Küme

Çizelge A.21 Literatür taramasında incelenen makale ve bildirilerin özet çizelgesi (devamı)

144	Makale	2016	Yu ve Lin	International Journal of Production Research	Solving the location-routing problem with simultaneous pickup and delivery by simulated annealing	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel	Tavlamalı Benzetim	Açgözlü Rastgele Uyumlu Arama
145	Makale	2016	Zhalechian ve arkadaşları	Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review	Sustainable design of a closed-loop location-routing-inventory supply chain network under mixed uncertainty	Stokastik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Evet	Tek	Sezgisel-Kesin çözüm	İki Aşamalı Stokastik-Genetik ve Değişken Komşuluk Arama	Rastgele
146	Makale	2016	Koç ve arkadaşları	European Journal of Operational Research	The fleet size and mix location-routing problem with time windows: Formulations and a heuristic algorithm	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Evet	Tek	Sezgisel-Kesin çözüm	Geçerli Eşitsizlikler ve KTP-GA	Rastgele
147	Makale	2016	Koç ve Karaoglan	Applied Soft Computing	The green vehicle routing problem: A heuristic based exact solution approach	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel-Kesin çözüm	Dal Sınır Algoritması-Tavlamalı Benzetim	Rastgele
148	Makale	2016	Rahmani ve arkadaşları	International Journal of Production Research	The Two-Echelon Multi-products Location-Routing problem with Pickup and Delivery: Formulation and heuristic approaches	Deterministik	Deterministik	1'den fazla	Evet	Hayır	Tek	Sezgisel-Kesin çözüm	KTP-En İyi Ardışık Yerleştirme Sezgiseli	En Yakın Komşuluk Arama

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Engin PEKEL

Doğum Tarihi ve Yeri : 02.10.1988, İstanbul

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : pekelc@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Y. Lisans	Endüstri Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2015
Lisans	Endüstri Müh.	Sakarya Üniversitesi	2012
Lise	Fen	Vefa Poyraz Lisesi	2005

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2018-	Hitit Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2013-2017	Yıldız Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2013	Hitit Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YAYINLARI

Makale

1. Pekel, E. ve Soner Kara, S., (2018). "Solving Capacitated Location Routing Problem by Variable Neighborhood Descent and GA-Artificial Neural Network Hybrid Method", Promet-Traffic & Transportation, 30(5): 563-578.

2. Pekel, E. ve Soner Kara, S., (2017). "Passenger flow prediction based on newly adopted algorithms", Applied Artificial Intelligence, 31(1): 64-79.

3. Pekel, E. ve Soner Kara, S., (2017). "A comprehensive review for artificial neural network application to public transportation", Sigma: Journal of Engineering & Natural Sciences/Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 35(1).

4. Akkoyunlu, M. T., Pekel, E., Akkoyunlu, M. C., Pusat, S., Özkan, C., ve Soner Kara, S., (2017). "Determination of Effective Parameters for Coal Moisture Content Determination Using a 'Design of Experiment'Method", International Journal of Coal Preparation and Utilization, 1-8.

5. Pekel, E. ve Soner Kara, S., (2016). "Simulation-based fleet scheduling in the Metrobus", International Journal of Simulation and Process Modelling, 11(3-4), 326-336.

6. Pusat, S., Akkoyunlu, M. T., Pekel, E., Akkoyunlu, M. C., Özkan, C., ve Soner Kara, S., (2016). **"**Estimation of coal moisture content in convective drying process using ANFIS**",** Fuel processing technology, 147, 12-17.

7. Pekel, E. ve Soner Kara, S., (2015). "A Simulation Based Scheduling In Bus Rapid Transit System", Sigma: Journal of Engineering & Natural Sciences/Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 33(1).

Bildiri

1. Pekel, E. ve Soner Kara, S., (2018). "Variable Neighborhood Search and Evolutionary Local Search for Capacitated Location Routing Problem", 3rd International Meditertanean Science and Engineering Congress (IMSEC 2018), October 24-26, Adana, Turkey.

2. Pekel, E. ve Soner Kara, S., (2017). "The Future Customer Demand In Location-Routing Problem", The 14th International Symposium on OPERATIONAL RESEARCH, September 27-29, Bled, Slovenia.

3. Pekel, E., Gul, M. ve Celik, E., (2017). "Forecasting Daily Patient Visits In An Emergency Department By Ga-Ann Hybrid Approach", The 14th International Symposium On Operational Research, September 27-29, Bled, Slovenia.

4. Pekel, E. ve Soner Kara, S., (2016). "The Prediction Of Passenger At Carsamba Airport", International Conference on Advances in Science ICAS, August 31 –

September 2, İstanbul, Turkey.

5. Pekel, E. ve Soner Kara, S., (2015). “Prediction of Short-Term Passenger Flow in Bus Rapid Transit”, 4th International Fuzzy Systems Symposium, November 5-6, İstanbul, Turkey.

6. Pekel, E. ve Soner Kara, S., (2014). “Comparison of Tabu Search Algorithm and Mathematical Model in a Pipeline Network”, 15th International Conference on Operational Research KOI, September 24-26, Osijek, Croatia.

7. Pekel, E. ve Soner Kara, S., (2013). “Warehouse Management Wıth A Sımulatıon Programme”, International Logıstics and Supply Chain Congress, November 7-9, Nevşehir, Turkey.

8. Soner Kara, S., Pekel, E., Ercins, Y. ve Çelik, MK., (2013). “Assignment Problem of Injection Machines in an Electronic Equipment Manufacturer”, 26th European Conference on Operational Research, July 1-4, Rome, Italy.

Kitap

1. Pekel, E., ve Kara, S. S. (2016). A Review Of Chaos Theory Practiced In Neural Network. In Uncertainty Modelling in Knowledge Engineering and Decision Making: Proceedings of the 12th International FLINS Conference, World Scientific, Roubaix.