

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇOK DEPOLU ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİNİN
KARINCA KOLONİSİ OPTİMİZASYONU İLE
MODELLENMESİ VE BİR ÇÖZÜM ÖNERİSİ**

Endüstri Mühendisi Şule YILMAZ

**FBE Endüstri Mühendisliği Anabilimdalı Endüstri Mühendisliği Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Tufan DEMİREL

İSTANBUL, 2008

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖNSÖZ	xvi
ÖZET	xvii
ABSTRACT	xviii
1. GİRİŞ	1
2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ	3
2.1 Araç Rotalama Problemi Notasyonları	6
2.2 Araç Rotalama Probleminin Lojistik Yönetimindeki Önemi.....	8
2.3 Araç Rotalama Problemi Türleri	9
2.3.1 Dinamik ve Statik Çevre Durumuna Göre Araç Rotalama Problemi.....	10
2.3.1.1 Statik Araç Rotalama Problemi	10
2.3.1.2 Dinamik Araç Rotalama Problemi	10
2.3.2 Rotalama Durumuna Göre Araç Rotalama Problemi	12
2.3.2.1 Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemi	12
2.3.2.2 Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi	12
2.3.3 Kısıtlarına Göre Araç Rotalama Problemi	13
2.3.3.1 Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi	13
2.3.3.2 Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi	14
2.3.3.3 Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi	15
2.3.3.4 Toplama ve Dağıtım İşlemlerini Kapsayan Araç Rotalama Problemi	16
2.3.3.5 Periyodik Yüklemeli Araç Rotalama Problemi	18
2.3.3.6 Parçalı Dağıtım Araç Rotalama Problemi.....	19
2.3.3.7 Stokastik Araç Rotalama Problemi.....	19
2.3.3.8 Geri Dönümlü Araç Rotalama Problemi	20
2.3.3.9 Çok Depolu Araç Rotalama Problemi	21
2.3.4 Yolların Durumuna Göre Araç Rotalama Problemi	22
2.3.4.1 Simetrik Yollu Araç Rotalama Problemi	22
2.3.4.2 Asimetrik Yollu Araç Rotalama Problemi.....	22
3. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ İÇİN ÇÖZÜM YOLLARI	23
3.1 Kesin Yöntemler	23
3.1.1 Dal ve Sınır Algoritmaları.....	24
3.1.2 Dal ve Kesme Algoritmaları	26
3.1.3 Kesme Düzlemi Algoritması	26
3.1.4 Sütun Üretme Algoritması	27
3.1.5 Dal ve Değer Algoritması	27
3.1.6 Dinamik Programlama	27

3.2	Sezgisel Yöntemler	28
3.2.1	Klasik Sezgisel Algoritmalar	30
3.2.1.1	Yapısal Sezgisel (Tur Kurucu) Algoritmalar	30
3.2.1.1.1	Tasarruf Algoritması	31
3.2.1.1.2	Yerleştirme Algoritması	33
3.2.1.1.3	En Yakın Komşu Yöntemi	33
3.2.1.1.4	En Kısa Yol Yöntemi	34
3.2.1.1.5	Christodes Algoritması	34
3.2.1.2	İyileştirme (Tur Geliştirici) Sezgisel Algoritmalar	35
3.2.1.2.1	Tek Rota İyileştirmeli Sezgisel Algoritmalar	35
3.2.1.2.2	Çok Rotalı İyileştirmeli Algoritmalar	37
3.2.1.2.3	Van Breedam Sezgiseli	37
3.2.1.2.4	Thomson ve Psaraftis Sezgiseli	39
3.2.1.2.5	Kinderwater ve Savelsbergh Sezgiseli	40
3.2.1.3	İki Aşamalı Sezgisel Yöntemler	41
3.2.1.3.1	Süpürme Algoritması	41
3.2.1.3.2	Fisher ve Jaikumar Algoritması	43
3.2.1.3.3	Bramel ve Simichi Levi Algoritması	44
3.2.1.3.4	Önce Rotala Sonra Grupla Yöntemi	44
3.2.1.3.5	Taç Yapağı Algoritması	44
3.2.1.3.6	Taillard Algoritması	45
3.2.1.3.7	Budanmış Dal ve Sınır Algoritması	45
3.2.2	Metasezgisel Algoritmalar	45
3.2.2.1	Benzetimli Tavlama	46
3.2.2.2	Tabu Arama	47
3.2.2.3	Genetik Algoritma	49
3.2.2.4	Yapay Sinir Ağları	51
3.3	Sezgisel Tekniklerinin Kıyaslanması	51
4.	KARINCA KOLONİSİ OPTİMİZASYONU	53
4.1	Karınca Kolonisi Optimizasyonu Tanımı ve Tarihçesi	53
4.2	Karınca Kolonisi Optimizasyonu Algoritmaları	57
4.2.1	Karınca Sistemi	57
4.2.2	Rank Temelli Karınca Sistemi	61
4.2.3	Karınca-Yoğunluk, Karınca-Nicelik ve Karınca-Çevrim	61
4.2.4	Maksimum-Minimum Karınca Sistemi	62
4.2.5	Ant-Q	63
4.2.6	Çoklu Karınca Sistemi	63
4.2.7	Melez Karınca Kolonisi Optimizasyonu	64
4.2.8	Global Karınca Kolonisi Optimizasyonu	64
4.2.9	Karıncalar	64
4.2.10	Karınca Kolonisi Sistemi	65
4.2.11	İyileştirilmiş Karınca Kolonisi Sistemi	69
4.2.12	ACS-3-Opt	69
4.3	Karınca Kolonisi Optimizasyonu Algoritmalarının Uygulandığı Problemler	69
4.3.1	Gezgin Satıcı Problemi	70
4.3.2	Araç Rotalama Problemi	71
4.3.3	Kuadratik Atama Problemi	73
4.3.4	Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi	73
4.3.5	En Kısa Ortak Süper Ardıllık Problemi	73
4.3.6	Çizge Boyama Problemi	74
4.3.7	Ardışık Sıralama Problemi	74

4.3.8	Dinamik Kombinasyon Optimizasyon Problemleri.....	75
4.4	KKO Algoritmalarının Diğer Metasezgisellerle Kıyaslanması	75
5.	ÇOK DEPOLU ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİNİN MODELLENMESİNDE VE ÇÖZÜMÜNDE KARINCA KOLONİSİ OPTİMİZASYONU KULLANIMI.....	77
5.1	Problemin Tanımı	77
5.2	Problemle İlgili Veriler	78
5.3	Problemin Modeli ve Çözümü	79
5.4	Bulgular.....	87
5.5	Çözüm Üzerinde İyileştirme Aranması	91
5.5.1	Açının Değiştirilmesi.....	91
5.5.1.1	Küçük Hacimli Problemler İçin Açının Değiştirilmesi	91
5.5.1.2	Orta Hacimli Problemler İçin Aç Değişimi	97
5.5.1.3	Büyük Hacimli Problemler İçin Aç Değişimi.....	103
5.5.2	α Parametresinin Değiştirilmesi	109
5.5.2.1	Küçük Hacimli Problemler İçin α Parametresinin Değiştirilmesi.....	110
5.5.2.2	Orta Hacimli Problemler İçin α Parametresinin Değiştirilmesi	111
5.5.2.3	Büyük Hacimli Problemler İçin α Parametresinin Değiştirilmesi.....	113
5.5.3	β Parametresinin Değiştirilmesi	115
5.5.3.1	Küçük Hacimli Problemler İçin β Parametresinin Değiştirilmesi.....	115
5.5.3.2	Orta Hacimli Problemler İçin β Parametresinin Değiştirilmesi	116
5.5.3.3	Büyük Hacimli Problemler İçin β Parametresinin Değiştirilmesi.....	118
5.5.4	α ve β Parametrelerinin Değiştirilmesi	119
5.5.4.1	Küçük Hacimli Problemler İçin α ve β Parametrelerinin Değiştirilmesi.....	120
5.5.4.2	Orta Hacimli Problemler İçin α ve β Parametrelerinin Değiştirilmesi	121
5.5.4.3	Büyük Hacimli Problemler İçin α ve β Parametrelerinin Değiştirilmesi.....	122
5.5.5	ρ Parametresinin Değiştirilmesi	124
5.5.5.1	Küçük Hacimli Problemler İçin ρ Parametresinin Değiştirilmesi.....	124
5.5.5.2	Orta Hacimli Problemler İçin ρ Parametresinin Değiştirilmesi	125
5.5.5.3	Büyük Hacimli Problemler İçin ρ Parametresinin Değiştirilmesi	126
5.5.6	α ve ρ Parametrelerinin Değiştirilmesi	128
5.5.6.1	Küçük Hacimli Problemler İçin α ve ρ Parametresinin Değiştirilmesi	128
5.5.6.2	Orta Hacimli Problemler İçin α ve ρ Parametresinin Değiştirilmesi.....	129
5.5.6.3	Büyük Hacimli Problemler İçin α ve ρ Parametresinin Değiştirilmesi	131
5.5.7	q_0 Parametresinin Değiştirilmesi	132
5.5.7.1	Küçük Hacimli Problemler İçin q_0 Parametresinin Değiştirilmesi.....	132
5.5.7.2	Orta Hacimli Problemler İçin q_0 Parametresinin Değiştirilmesi	133
5.5.7.3	Büyük Hacimli Problemler İçin q_0 Parametresinin Değiştirilmesi.....	135
5.6	Sonuç ve Değerlendirme	136
6.	SONUÇ	140
	KAYNAKLAR.....	142
	İNTERNET KAYNAKLARI.....	146
	ÖZGEÇMİŞ.....	147

SİMGE LİSTESİ

A_i	i noktasının karınca kararlılığı tablosu
a	Adım sayısı
$a_{ij}(t)$	t . iterasyonda (i,j) kenarında karınca kararlılığı
B	Şehirleri gösteren bileşenler kümesindeki bağlantılar kümesi
C	Araç Kapasitesi
c_{ij}	i müşterisinden j müşterisine maliyet
cl	Aday listesi mesafe sıralama parametresi
d_{ij}	i . ve j . nokta arası mesafe
d_k	k taç yaprağının maliyeti
E	Kenar Kümesi
E_i	Katının enerjisi
E_j	j durumuna geçen katının enerjisi
$f(x)$	Fonksiyon
$G(V,E)$	Graf Kümesi
I^r	Rotalar kümesi
$Jr_i r_j$	r_i ve r_j arasındaki bağıntının maliyetini
K	Zincirlerin maksimum uzunluğu
k_B	Fiziksel tavlama sürecinde Boltzman Sabiti
L	Mesafe kısıtı
L^b	En iyi turun uzunluğu
l_{ij}	Gezgin satıcı problemde i den j ye gitme maliyeti
$L^k(t)$	t iterasyonunda k karıncası tarafından üretilen turun uzunluğu
L_{nn}	En yakın komşu sezgiseli turu
M	Toplam Araç Sayısı
m	Karınca sayısı
M_k	Karıncanın özel hafızası, Yasak listesi
N	Toplam Müşteri Sayısı
n	İterasyondaki şehir sayısı
N_i	i noktasının komşuluğunda olan noktalar kümesi
N_i^k	k karıncasının henüz ziyarete etmediği i noktasının komşuluğunda olan noktalar kümesi
Q	Toplam Talep Kısıtı
q	Müşteri toplama talebi
q_i	i . müşterinin talebi

Q_x	Başvuru fonksiyonu
q_0	Sözde rastlantısal kural olasılığı
Q_1	Karınca-nicelik modelinde sabit feromon miktarı
Q_2	Karınca yoğunluk modelinde sabit feromon miktarı
Q_3	Karınca-çevrim modelinde sabit feromon miktarı
P	Planlama periyodu
p	Aracın seyir sırasında katettiği toplam mesafe
$p_{ij}^k(t)$	k karıncasının t . iterasyonda i noktasındayken j noktasını seçme olasılığı
R	Şehirleri gösteren bileşenler kümesi
r	Tesis kümesi
R_i	Araç rotası
(r,s)	Karıncaların yaptığı en iyi turdaki r ve s noktalarını birleştiren kenar
S	Uzay
s	Sözde-rastlantısal durum geçiş kuralı
s_i	Servis süresi
s_{ij}	i ve j noktalarının birleştirilmesi sonucu oluşan kazanç
s'	Alt uzay
T	Sıcaklık parametresi
t_{ij}	Stokastik seyahat zamanı
$\tau_{ij}(t)$	t zamanında (i, j) kenarı üzerindeki feromon miktarıdır
t_{max}	Maksimum iterasyon sayısı
$T^k(t)$	t iterasyonunda k karıncası tarafından üretilen tur
T_r	Minimal kapsayan ağaç
τ_0	Başlangıç feromon seviyesidir
$[\tau_{min}, \tau_{max}]$	Feromon aralığı
δ	Dairesel permütasyon
$\Delta\tau_{ij}^k(t)$	k karıncasının t . iterasyonda (i,j) kenarına bıraktığı feromon miktarı
X_{ijk}	Karar değişkeni
X ve Y	Ardışık Sıralama Probleminde iki ardıl
x, y	Noktanın koordinatı
V	Düğüm Kümesi
V_0	Depo kümesi
Z	Amaç Fonksiyon
θ_i	Açı

ρ	Buharlaşma katsayısıdır
ρ_i	Işın Uzunluğunu
η_{ij}	i noktasından j noktasına hareketin sezgisel değeri
α	Feromon izinin ağırlılığını kontrol eden parametre
β	Sezgisel değeri kontrol eden parametre
ψ	Kapalı tur
γ	Öğrenme basamağı parametresi

KISALTMA LİSTESİ

ANTS	Yaklaşık Nondeterministik Ağaç Araştırma
ARP	Araç Rotalama Problemi
AYARP	Asimetrik Yollu Araç Rotalama Problemi
AUARP	Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi
BI	En İyi İyileştirme
ÇDARP	Çok Depolu Araç Rotalama Problemi
DARP	Dinamik Araç Rotalama Problemi
FI	İlk İyileştirme
GA	Genetik Algoritma
GAP	Genelleştirilmiş Atama Problemini
GDARP	Geri Dönümlü Araç Rotalama Problemi
GKKO	Global Karınca Kolonisi Optimizasyonu
IAS	Geliştirilmiş Karınca Sistemi
JSP	Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi
KKARP	Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
KKS	Karınca Kolonisi Sistemi
KKO	Karınca Kolonisi Optimizasyonu
KS	Karınca Sistemi
KUARP	Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemi
MACS	Çoklu Karınca Kolonisi Sistemi
MKARP	Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
MKKO	Melez Karınca Kolonisi Optimizasyonunda
MMAS	Maks-Min Karınca Sistemi
OSS	Açık Dükkan Çizelgeleme Problemi
PARP	Periyodik Araç Rotalama Problemi
PDARP	Parça Dağıtımli Araç Rotalama Problemi
RCPS	Kaynak Kısıt Proje Çizelgeleme Problemi
SARP	Statik Araç Rotalama Problemi
SC	Zincir Çaprazlama
SCS	En Kısa Ortak Süper Ardıllık
SE	Zincir Değiş-tokuşu
SM	Zincir Bağdaştırma
SOP	Ardışık Sıralama Problemi
SR	Zincir Yerdeğiştirme

TA	Tabu (Yasak) Arama
TB	Tavlama Benzetimi
TDARP	Toplama ve Dağıtım İşlemlerini Kapsayan Araç Rotalama Problemi
TDVRP	Zamana Bağımlı Araç Rotalama Problemi
QAP	Kuadratik Atama Problemi
ZPARP	Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Gezgin Satıcı Problemi çözüm uygulaması	4
Şekil 2.2 Basit bir Araç Rotalama Problemi örneği ve çözüm uygulaması	6
Şekil 2.3 Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi çözüm uygulama örneği	14
Şekil 2.4 Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Probleminin grafiksel gösterimi	15
Şekil 2.5 Zaman Pencere Araç Rotalama Probleminin çözüm uygulama örneği	16
Şekil 2.6 Toplama ve Dağıtım İşlerini Kapsayan Araç Rotalama Probleminin grafiksel görünümü	18
Şekil 2.7 Geri Dönüşümlü Araç Rotalama Probleminin grafiksel görünümü	21
Şekil 3.1 Çözüm uzayı ve araştırma ağacındaki gösterimi	25
Şekil 3.2 Çözüm uzayının alt kümeler ayrılması ve araştırma ağacında gösterimi	26
Şekil 3.3 Çözüm alt uzaylarının değerlendirilmesi ve yeni alt çözümlere ulaşılması	26
Şekil 3.4 Tasarruf sezgiselinin uygulanması	32
Şekil 3.5 Yerleştirme sezgiselinin uygulanması	33
Şekil 3.6 Christodes Algoritmasının uygulanışı	35
Şekil 3.7 2-opt algoritmasının uygulanışı	36
Şekil 3.8 3-opt sezgiselinin uygulanması	36
Şekil 3.9 Zincir Çaprazlama örneği	37
Şekil 3.10 Zincir değiş-tokuşu örneği	38
Şekil 3.11 Zincir yerdeğiştirme operasyonu	38
Şekil 3.12 Döngüsel transfer operatörü	40
Şekil 3.13 Müşteri kaydırma	40
Şekil 3.14 Müşteri çaprazlama	41
Şekil 3.15 Müşteri değiş-tokuşu	41
Şekil 3.16 Süpürme Algoritmasının algoritması.	42
Şekil 3.17 Süpürme Algoritması uygulanması	43
Şekil 4.1 Gerçek karıncaların en kısa yolu bulma aşamaları	54
Şekil 4.2 Tek köprülü yol seçim deneyi	55
Şekil 4.3 Karınca Kolonilerine çift köprülü yol seçim deney ve sonuçları	56
Şekil 4.4 Değişik α ve β parametre değer kombinasyonları için elde edilen çözüm sonuçları	59
Şekil 5.1 Müşterilerin kendilerine en yakın depoya atanmasının şematik gösterimi	80
Şekil 5.2 Önerilen çözüm yaklaşımı için pseudo code	82
Şekil 5.3 Program akış şeması.....	83
Şekil 5.4 Kullanıcı arayüzü ile problem verilerinin yüklenmesi	84

Şekil 5.5 Kullanıcı arayüzünde aday listelerinin belirlenmesi	85
Şekil 5.6 Kullanıcı arayüzünde hesaplanan en kısa yollarının gösterimi ve programın nihai hesaplama sonucunu vermesi	86
Şekil 5.7 Küçük hacimdeki problemler için elde edilen sonuç ve bilinen en iyi sonuçlarla kıyaslanması.	89
Şekil 5.8 Orta hacimdeki problemler için elde edilen sonuç ve bilinen en iyi sonuçlarla kıyaslanması.	89
Şekil 5.9 Büyük hacimdeki problemler için elde edilen sonuç ve bilinen en iyi sonuçlarla kıyaslanması.	90
Şekil 5.10 P01 problemi için açı değiştirilmesiyle elde edilen sonuçların önerilen çözüm sonucu ve bilinen en iyi sonuçla kıyaslaması.	93
Şekil 5.11 P02 problemi için açı değiştirilmesiyle elde edilen sonuçların önerilen çözüm sonucu ve bilinen en iyi sonuçla kıyaslaması.	95
Şekil 5.12 P03 problemi için açı değiştirilmesiyle elde edilen sonuçların önerilen çözüm sonucu ve bilinen en iyi sonuçla kıyaslaması.	96
Şekil 5.13 P05 problemi için açı değiştirilmesiyle elde edilen sonuçların önerilen çözüm sonucu ve bilinen en iyi sonuçla kıyaslaması.	99
Şekil 5.14 P06 problemi için açı değiştirilmesiyle elde edilen sonuçların önerilen çözüm sonucu ve bilinen en iyi sonuçla kıyaslaması.	101
Şekil 5.15 P07 problemi için açı değiştirilmesiyle elde edilen sonuçların önerilen çözüm sonucu ve bilinen en iyi sonuçla kıyaslaması.	103
Şekil 5.16 P15 problemi için açı değiştirilmesiyle elde edilen sonuçların önerilen çözüm sonucu ve bilinen en iyi sonuçla kıyaslaması.	105
Şekil 5.17 P18 problemi için açı değiştirilmesiyle elde edilen sonuçların önerilen çözüm sonucu ve bilinen en iyi sonuçla kıyaslaması.	107
Şekil 5.18 P21 problemi için açı değiştirilmesiyle elde edilen sonuçların önerilen çözüm sonucu ve bilinen en iyi sonuçla kıyaslaması.	109

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 ARP türlerinin ilgi alanları	10
Çizelge 3.1 Araç rotalamanın kısa bir tarihçesi	23
Çizelge 3.2 Araç Rotalama Problemi için kesin çözüm yöntemleri	24
Çizelge 5.1 Seçilen problem örneklerinin özellikleri	78
Çizelge 5.2 Geliştirilen çözüm yaklaşımı sonucunda elde edilen sonuçlar	87
Çizelge 5.3 Geliştirilen çözüm yaklaşımı sonucunda elde edilen sonuçlar ve bilinen en iyi sonuçlarla kıyaslanması	88
Çizelge 5.4 Geliştirilen çözüm yaklaşımında programın probleme göre çözüm üretme zamanları	90
Çizelge 5.5 P01 için açışiğımi ile elde edilen sonuçlar ve önerilen çözüm sonucuyula kıyaslamalar.....	92
Çizelge 5.6 P01 problemi için açışiğımi ile elde edilen sonuçların bilinen en iyi sonuçla kıyaslanması	92
Çizelge 5.7 P02 için açışiğımi ile elde edilen sonuçlar ve önerilen çözüm sonucuyula kıyaslamalar.....	93
Çizelge 5.8 P02 problemi için açışiğımi ile elde edilen sonuçların bilinen en iyi sonuçla kıyaslanması	94
Çizelge 5.9 P03 için açışiğımi ile elde edilen sonuçlar ve önerilen çözüm sonucuyula kıyaslamalar.....	95
Çizelge 5.10 P03 problemi için açışiğımi ile elde edilen sonuçların bilinen en iyi sonuçla kıyaslanması	96
Çizelge 5.11 P05 için açışiğımi ile elde edilen sonuçlar ve önerilen çözüm sonucuyula kıyaslamalar.....	97
Çizelge 5.12 P05 problemi için açışiğımi ile elde edilen sonuçların bilinen en iyi sonuçla kıyaslanması	98
Çizelge 5.13 P06 için açışiğımi ile elde edilen sonuçlar ve önerilen çözüm sonucuyula kıyaslamalar.....	99
Çizelge 5.14 P06 problemi için açışiğımi ile elde edilen sonuçların bilinen en iyi sonuçla kıyaslanması	100
Çizelge 5.15 P07 için açışiğımi ile elde edilen sonuçlar ve önerilen çözüm sonucuyula kıyaslamalar.....	102
Çizelge 5.16 P07 problemi için açışiğımi ile elde edilen sonuçların bilinen en iyi sonuçla kıyaslanması	102

Çizelge 5.17 P15 için aç ı değ iş imi ile elde edilen sonuç lar ve önerilen ç özü m sonuc uyla kıyaslamalar.....	104
Çizelge 5.18 P15 problemi için aç ı değ iş imi ile elde edilen sonuç ların bilinen en iyi sonuç la kıyaslanması	105
Çizelge 5.19 P18 için aç ı değ iş imi ile elde edilen sonuç lar ve önerilen ç özü m sonuc uyla kıyaslamalar.....	106
Çizelge 5.20 P18 problemi için aç ı değ iş imi ile elde edilen sonuç ların bilinen en iyi sonuç la kıyaslanması	106
Çizelge 5.21 P21 için aç ı değ iş imi ile elde edilen sonuç lar ve önerilen ç özü m sonuc uyla kıyaslamalar.....	108
Çizelge 5.22 P21 problemi için aç ı değ iş imi ile elde edilen sonuç ların bilinen en iyi sonuç la kıyaslanması	108
Çizelge 5.23 Küçük hacimli problemlerde α parametresi değ iş iminin kıyaslaması.....	110
Çizelge 5.24 Küçük hacimli problemlerde α parametresi değ iş imi sonuç larının önerilen ç özü m sonuç ları ile kıyaslaması	111
Çizelge 5.25 Küçük hacimli problemlerde α parametresi değ iş imi sonuç larının bilinen en iyi ç özü m sonuç ları ile kıyaslaması	111
Çizelge 5.26 Orta hacimli problemlerde α parametresi değ iş iminin kıyaslaması	111
Çizelge 5.27 Orta hacimli problemlerde α parametresi değ iş imi sonuç larının önerilen ç özü m sonuç ları ile kıyaslaması	112
Çizelge 5.28 Orta hacimli problemlerde α parametresi değ iş imi sonuç larının bilinen en iyi ç özü m sonuç ları ile kıyaslaması	113
Çizelge 5.29 Büyük hacimli problemlerde α parametresi değ iş iminin kıyaslaması.....	113
Çizelge 5.30 Büyük hacimli problemlerde α parametresi değ iş imi sonuç larının önerilen ç özü m sonuç ları ile kıyaslaması	114
Çizelge 5.31 Büyük hacimli problemlerde α parametresi değ iş imi sonuç larının bilinen en iyi ç özü m sonuç ları ile kıyaslaması	114
Çizelge 5.32 Küçük hacimli problemlerde β parametresi değ iş iminin kıyaslaması.....	115
Çizelge 5.33 Küçük hacimli problemlerde β parametresi değ iş imi sonuç larının önerilen ç özü m sonuç ları ile kıyaslaması	116
Çizelge 5.34 Büyük hacimli problemlerde β parametresi değ iş imi sonuç larının bilinen en iyi ç özü m sonuç ları ile kıyaslaması	116
Çizelge 5.35 Orta hacimli problemlerde β parametresi değ iş iminin kıyaslaması	116
Çizelge 5.36 Orta hacimli problemlerde β parametresi değ iş imi sonuç larının önerilen ç özü m sonuç ları ile kıyaslaması	117

Çizelge 5.37 Orta hacimli problemlerde α parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması	118
Çizelge 5.38 Büyük hacimli problemlerde β parametresi değişiminin kıyaslaması.....	118
Çizelge 5.39 Büyük hacimli problemlerde β parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması	119
Çizelge 5.40 Büyük hacimli problemlerde β parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması	119
Çizelge 5.41 Küçük hacimli problemlerde α ve β parametresi değişiminin kıyaslaması	120
Çizelge 5.42 Küçük hacimli problemlerde α ve β parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması	120
Çizelge 5.43 Küçük hacimli problemlerde α ve β parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması	121
Çizelge 5.44 Orta hacimli problemlerde α ve β parametresi değişiminin kıyaslaması.....	121
Çizelge 5.45 Orta hacimli problemlerde α ve β parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması	122
Çizelge 5.46 Orta hacimli problemlerde α ve β parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması	122
Çizelge 5.47 Büyük hacimli problemlerde α ve β parametresi değişiminin kıyaslaması	122
Çizelge 5.48 Büyük hacimli problemlerde α ve β parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması	123
Çizelge 5.49 Büyük hacimli problemlerde α ve β parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması	123
Çizelge 5.50 Küçük hacimli problemlerde ρ parametresi değişiminin kıyaslaması.....	124
Çizelge 5.51 Küçük hacimli problemlerde ρ parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması	124
Çizelge 5.52 Küçük hacimli problemlerde ρ parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması	125
Çizelge 5.53 Orta hacimli problemlerde ρ parametresi değişiminin kıyaslaması	125
Çizelge 5.54 Orta hacimli problemlerde ρ parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması	126
Çizelge 5.55 Orta hacimli problemlerde ρ parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması	126
Çizelge 5.56 Büyük hacimli problemlerde ρ parametresi değişiminin kıyaslaması.....	126
Çizelge 5.57 Büyük hacimli problemlerde ρ parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması	127

Çizelge 5.58 Büyük hacimli problemlerde ρ parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması	127
Çizelge 5.59 Küçük hacimli problemlerde α ve ρ parametresi değişiminin kıyaslaması	128
Çizelge 5.60 Küçük hacimli problemlerde α ve ρ parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması	129
Çizelge 5.61 Küçük hacimli problemlerde α ve ρ parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması	129
Çizelge 5.62 Orta hacimli problemlerde α ve ρ parametresi değişiminin kıyaslaması.....	129
Çizelge 5.63 Orta hacimli problemlerde α ve ρ parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması	130
Çizelge 5.64 Orta hacimli problemlerde α ve ρ parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması	130
Çizelge 5.65 Büyük hacimli problemlerde α ve ρ parametresi değişiminin kıyaslaması	131
Çizelge 5.66 Büyük hacimli problemlerde α ve ρ parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması	131
Çizelge 5.67 Büyük hacimli problemlerde α ve ρ parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması	132
Çizelge 5.68 Küçük hacimli problemlerde q_0 parametresi değişiminin kıyaslaması.....	132
Çizelge 5.69 Küçük hacimli problemlerde q_0 parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması	133
Çizelge 5.70 Küçük hacimli problemlerde q_0 parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması	133
Çizelge 5.71 Orta hacimli problemlerde q_0 parametresi değişiminin kıyaslaması	134
Çizelge 5.72 Orta hacimli problemlerde q_0 parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması	134
Çizelge 5.73 Orta hacimli problemlerde q_0 parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması	134
Çizelge 5.74 Büyük hacimli problemlerde q_0 parametresi değişiminin kıyaslaması.....	135
Çizelge 5.75 Büyük hacimli problemlerde q_0 parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması	136
Çizelge 5.76 Büyük hacimli problemlerde q_0 parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması	136
Çizelge 5.77 Seçilen ÇDARP örnekleri için en iyi sonucu veren açılı ve parametre değerleri	138

ÖNSÖZ

Araç Rotalama Problemlerinin çözümü Lojistik maliyetlerin azaltılması açısından büyük fayda sağlamaktadır. Araç Rotalama Problemi taşıma ve dağıtım maliyetlerini azaltmanın yanı sıra müşteri hizmetlerini arttırmayı da amaçlamaktadır. Rekabetçi çevre yapısı dolayısıyla Araç Rotalama Problemleri çözümü üzerinde durulması gereken bir konu olmaktadır.

Bu çalışmada müşteri taleplerinin birden fazla depodan karşılanması durumunda araç rotalarının belirlenmesi için gerçek karıncalardan esinlenerek geliştirilen Karınca Kolonisi Optimizasyonundan faydalanılarak bir çözüm önerisi geliştirilmiştir.

Tez çalışmamda gerek teorik gerek uygulama alanlarında bilgilerini sunan, çalışmalarımda bana yardımcı olan ve hoşgörüsünü esirgemeyen tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Tufan Demirel'e sonsuz saygı ve teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans tez çalışmam süresince ve tüm hayatım boyunca maddi manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve canım eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca program yazılımındaki katkılarından dolayı Yük. İnşaat Mühendisi Boğaçhan Akalın'a ve destek olan arkadaşlarıma çok teşekkür ederim

Mayıs, 2008

Şule Yılmaz

ÖZET

Araç Rotalama Problemi, bir işletmenin belirli sayıda müşterisine birtakım operasyonel kısıtları göz önüne alarak en az maliyetle hizmet sunabilmesi için araç rotalarının belirlenmesi problemidir. Araç Rotalama Problemi, Tedarik Zincirinde ve aynı zamanda Tedarik Zincirinin parçası olarak Lojistikte yer alan ana karar alanlarından olan taşıma ile doğrudan ilişkilidir. Gerçek dünya uygulamalarında birçok değişik kısıtlar ve farklılıklar Araç Rotalama Problemlerinde çeşitliliği de beraberinde getirmiş, literatürde ve uygulamalarda farklı özellik ve kısıtlara sahip Araç Rotalama Problemlerinin incelenmesine yol açmıştır. Çok Depolu Araç Rotalama Problemi de müşterilere daha iyi hizmeti daha az maliyetle daha kısa sürede ve daha kısa yol kat ederek sunabilmek için müşterilerin taleplerinin tek bir depodan karşılanması yerine, müşterilere göre farklı yerlere konumlanmış birden fazla depodan karşılanması ile ortaya çıkmıştır. Lojistik maliyetlerde önemli yere sahip olan Araç Rotalama Problemlerinin çözümü için kesin ve sezgisel birçok çözüm metotları önerilmiş ve özellikle son dönemlerde metasezgisel olanlar üzerine yoğunlaşmıştır. Karınca Kolonisi Optimizasyonu da gerçek karıncalardan ilham alınarak geliştirilmiş bir metasezgiseldir. Bu tez çalışmasında, Çok Depolu Araç Rotalama Problemini çözmek için Karınca Kolonisi Optimizasyonundan yararlanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Araç Rotalama Problemi ve Türleri, Araç Rotalama Problemi Çözüm Teknikleri, Karınca Kolonisi Optimizasyonu.

ABSTRACT

Vehicle Routing Problem is the problem of defining the vehicle routes for a company to serve its customers with minimum costs considering some operational constraints. Vehicle Routing Problem is directly concerned with the transportation which is one of main decision areas both in Supply Chain Management and in Logistics as a part of Supply Chain Management. Lots of various constraints and differences in real world applications brought together the variety in Vehicle Routing Problem and caused the investigations of Vehicle Routing Problems which have different properties and constraints in articles and applications. The Multi Depot Vehicle Routing Problem appeared from the idea of compensation of the customer demands from more than one depots located in different places according to the customers instead of compensating from one depot to supply a higher quality of service with a lower cost and in a shorter time period. Many of deterministic and heuristic solution methods are proposed to solve the Vehicle Routing Problem which is an important factor in logistics costs and especially nowadays the metaheuristic solutions are intensified. Ant Colony Optimisation is a metaheuristic solution which is developed by the inspiration of real ants. In this study, the Ant Colony Optimisation is profitted to solve the Multi Depot Vehicle Routing Problem.

Keywords: Vehicle Routing Problem and derivatives, Vehicle Routing Problem Soution Technics, Ant Colony Optimisation.

1. GİRİŞ

Günümüz rekabetçi çevresinde firmaları ayakta tutan ve rakiplerine göre öne geçiren en önemli noktalardan biri firmanın kurduğu tedarik zincirinin etkinliğidir. Tedarik Zinciri; tedarikçilerden fabrikalara ham madde ve ihtiyaç olan girdilerin taşınmasından, fabrikalardaki girdilerin ürünlere çevrilmesine, ürünlerin çeşitli depo ve ambarlara taşınmasından ürünlerin nihai müşteriye teslimatına kadar tüm prosesleri kapsar. Bu prosesler Tedarik Zinciri içerisinde lojistik sistemi oluşturan proseslerdir. Firmalar günümüz rekabetçi çevresinde müşteri odaklılığı koruyarak tutunabilmek için tedarik zincirlerine ve tedarik zincirleri içerisinde lojistik sistemlerine her zaman olduğundan daha çok önem vermek zorundadırlar.

Tedarik Zinciri içerisindeki önemli karar alanlarından birini oluşturan ve lojistikteki anahtar karar alanı olan taşıma kararları; taşıma türü seçimi, kargo büyüklüğü, rotalama ve çizelgeleme gibi birçok süreci içerir. Firmaların gerekli ham madde temininin üretimi aksatmayacak şekilde fabrikaya getirilmesi, mamul ve yarı mamul üretiminde gecikme ve beklemeleri önleyecek biçimde malzemelerin taşınması, nihai ürünün son müşteriye müşterinin istediği zamanda ulaştırılması, müşteriden olan geri dönüşlerde optimal taşımaların sağlanması hep taşıma kararlarıyla ilgili olması taşıma kararlarının önemini daha açık göstermektedir.

Fiziksel Dağıtımla doğrudan ilişkili olan taşıma işlemleri, ürün fiyatları haricinde, diğer ilgili faaliyetlerden daha fazla orana sahiptir ve genellikle toplam lojistik maliyetlerin yarısını ve hatta yarısından fazlasını oluşturmaktadır. Taşıma maliyetlerini aşağıya çekmek için firmalar müşteri memnuniyeti için çaba sarf ederken diğer bir yandan, maliyetleri alabildiğince azaltacak yöntemlere başvurmaldırlar. Bu yüzden firmalar, işgücü, araç gibi kaynakların daha iyi kullanılmasını sağlama yoluna gitmektedirler.

Bu noktada taşıma maliyeti, kullanılan araç sayısı, araçların gideceği toplam mesafe ve toplam süre gibi ölçütler önem kazanmaktadır. Araçlardan verimli bir şekilde faydalanmak ise araç filosunun belirli noktalar arasında ürün dağıtım ve teslimatı için etkin bir rota gerçekleştirmesi olmaktadır. Genel olarak bir işletmenin konumları bilinen belirli sayıda müşterisine bazı operasyonel kısıtları göz önüne alarak hizmet sunabilmesinde minimum maliyeti veya minimum mesafeyi amaçlaması araç rotalama problemini teşkil etmektedir.

Araç Rotalama Problemleri günümüzde firmalarda lojistik ve dağıtım planlarının yapılmasında, depolardan bayilere mal sevkiyatı veya satış personelinin saha dağıtımı sırasında, belediyeler için çöp toplama ve sokak temizleme gibi kamu hizmetleri sunmasında, benzin istasyonlarına akaryakıt dağıtımında veya süpermarket zincirlerine ürün tedarikinde, kargo dağıtımında yada kola, su gibi gıda maddelerinin market, büfe, bakkal gibi birimlere

dağıtılmasında sıkça karşımıza çıkmaktadır.

Genellikle depodan başlayarak tüm müşterilere en kısa zaman ve en düşük maliyet ile uğranmasını sağlayan rotayı çizme problemi olan Araç Rotalama Problemi için bir çok metot optimum rotayı belirlemek için kullanılmıştır. Fakat uzun yıllardan beri çalışmalar yapılmış olmasına rağmen her türlü duruma uyarlanabilecek optimum bir matematiksel formül geliştirilememiştir. Sezgisel ve metasezgisel metotlar bu açıdan matematiksel modellerin yetersiz kaldığı durumlarda algoritmaların geliştirilmesine katkı sağlamaları açısından önem taşımaktadırlar.

Algoritmik yöntemlerden farklı olarak hedefe ulaşma yolunu gösteren sezgisel yaklaşımlar problemin durum uzayı büyük olduğunda ve problem karmaşıklık içerdiğinde çözüm için yolun bulunmasındaki yardımcı anahtardır. Araç Rotalama Problemleri için çözüm uzayında kısmi sınırlı araştırma alanında çözüm gerçekleştiren, az bir miktar hesaplama zamanı içinde iyi kalitede sonuçlar üreten klasik sezgiseller ve çözüm uzayının umut verici bölgelerinde derin araştırmalar gerçekleştirebilen metasezgiseller yaygın olarak başvuru çözüm metotlarıdır.

Araç Rotalama Problemlerine uygulanan birçok farklı metasezgisel metottan biri olan Karınca Kolonisi Optimizasyonu doğada bütün gün yiyecek aramak için faaliyet gösteren karıncaların tabiatlarından esinlenerek geliştirilmiştir. Karıncalar besin bulma esnasında geçtikleri güzergaha zamanla azalan kendilerinden bir iz bırakırlar. Başka karıncalar besin ararken ve aynı karınca yuvaya dönerken bırakılan izden yani mevcut bilgilerden faydalanır. Bu durumdan esinlenerek geliştirilen Karınca Kolonisi Optimizasyonu en kısa uzunluğu bulmak için mevcut bilgilerden faydalanan, bunun yanında sezgiselliği ile farklı yeni durumları değerlendiren ve işbirliğinden yararlanmaktadır.

Bu çalışmada, Tedarik Zincirinin bir parçası olan lojistik sistemi ile doğrudan alakalı olan fiziksel dağıtım sürecinde sıkça rastlanılan araç rotalama problemleri üzerinde durulmuştur. Araç Rotalama Problemlerinin çeşitli kısıt ve özellikleri ile türleri ve bu problemlere çözüm olarak sunulan değişik algoritmalar detaylı olarak incelenmiştir. Çalışmanın sonunda metasezgisel yöntemlerden olan Karınca Kolonisi Optimizasyonu kullanılarak Çok Depolu Araç Rotalama Problemine model geliştirilmiş ve çözüm aranmıştır.

2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

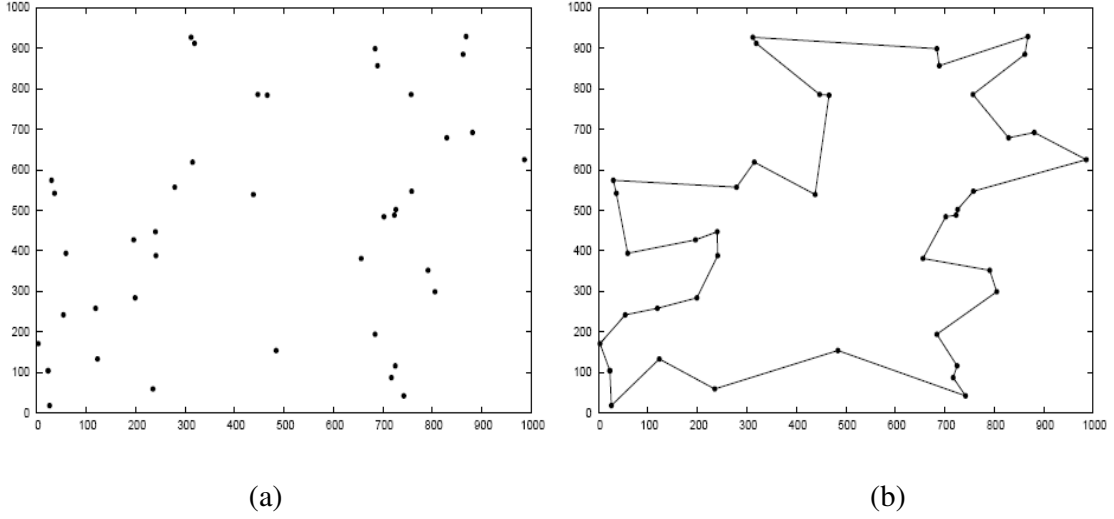
Araç Rotalama Problemi (ARP) ilk olarak 1959 yılında Dantzig ve Ramser tarafından literatüre kazandırılmıştır. Yazarlar bu çalışmalarında benzin istasyonlarına benzin dağıtım problemi üzerinde durmuşlar ve problemin çözümü için ilk matematiksel programlama modelini kurmuşlardır. Araç Rotalama Problemi (ARP) genel olarak bir işletmenin konumları belirli n adet müşterisine (talep noktasına) servis sunabilmesi için bazı operasyonel kısıtların göz önüne alındığı ve minimum maliyetin amaçlandığı araç rotalarının belirlenmesi problemidir (Erol, 2006).

Araç rotalama problemi, problemi çözmek için gerekli olan hesaplama gücünün problemin boyutuyla birlikte exponansiyel olarak arttığı NP-zor problemler sınıfına giren, yaygın olarak bilinen bir tamsayılı programlama problemidir. Bu tür problemlerde doğru sonuca hızlı bir şekilde ulaşabilmek için, yaklaşık sonuçların bulunması hedeflenir. Bu görev genellikle, problemin doğasını anlamaya çalışan çeşitli sezgisel yöntemlerle yerine getirilir (Şeker, 2007).

ARP hem teorik hem de pratik oluşu geçmiş yıllarda araştırmacıların gösterdikleri ilginin miktarını açıklar. ARP iki çok iyi bilinen problemin birleşimi gibi görülebilir: Gezgin Satıcı Problemi (TSP) ve Sırt Çantası Problemi (BBP) (Machado ve diğerleri 2002).

Gezgin Satıcı Problemi (TSP) : Gezgin Satıcı Problemi (TSP) en iyi bilinen rotalama problemlerinden biridir. Bir TSP de bir satıcı tarafından ziyaret edilmesi gereken bir şehir grubundan oluşur ve satıcı daha sonra mutlaka başladığı şehre geri dönmelidir. Problem çözülürken toplam mesafeyi minimize edecek rotalar yapılmaya çalışılır. m-TSP ise m adet satıcının verilen şehirleri dolaştığı ve her şehrin yalnızca bir satıcı tarafından ziyaret edildiği problemidir. Her satıcı aynı şehirden (depo olarak adlandırılır) başlar ve kendi seyahati bittiğinde tekrar bu şehre dönmek zorundadır [1]. ARP genelleştirilmiş TSP dir. TSP benzeri ARP limiti olmayan tek araçlı, depo olmayan ve talepsiz müşterilerden oluşur. m-TSP benzeri ARP ise bir depodan, limiti olmayan m adet araçtan ve talepsiz müşterilerden oluşur (Gambardella, 2000).

Aşağıdaki şekilde bir TSP örneği Şekil 2.1’de anlatılmaktadır. Şekil 2.1 (a)’da koordinat düzlemi üzerinde gösterilen şehirler arasında satıcının izleyeceği rota TSP uygulanmasıyla Şekil 2.1’(b) de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Gezgin Satıcı Problemi çözüm uygulaması (Ropke, 2005)

Sırt Çantası Problemi (BPP) : Bir araç rotalama problemi örneğinde uygun çözümün olup olmadığının araştırılması bir BPP örneğidir. Bu problemin karar versiyonu, tüm kenarların maliyetlerinin 0 olduğu (Bu nedenle tüm fizibil çözümler aynı maliyete sahiptir.) Araç Rotalama Problemi (ARP) modeline denktir. İlk dönüşüm BPP yapısının, ikinci dönüşüm ise TSP yapısının bir dönüşümü olarak düşünülebilir. Tüm problemin çözümü, gruplama (packing) kısıtlarına (her k segmentindeki talep C' 'yi aşmamalıdır) da uyan bir TSP turudur. Bu iki modelin birleşiminden oluştuğu için (her ikisi de NP Hard) ARP pratikte çözülmesi çok zor olan bir problemdir [2].

İşletmelerde özellikle ürünlerin dağıtımı sırasında karşılaşılan ARP, bazı sektörlerde oldukça yüksek maliyetlere sebep olmaktadır. Bu sebeple ARP'nin etkili bir şekilde çözümü büyük tasarruflar sağlanması açısından önemlidir. Bir Araç Rotalama Probleminde yer alan ana kavramlar aşağıda açıklanmaktadır: (Erol, 2006)

Araçların İlerlediği Yol Şebekesi: ARP'de talep noktaları ve işletme birimleri (depo, dağıtım merkezi, bayi, durak, istasyon vs.) bir graf üzerindeki noktalar ile gösterilmekte olup bu noktalar arasındaki doğrular ise müşteriler arası veya müşteri- işletme birimi arası yolları temsil etmektedir. Bu grafa çözümde yer alan her doğru, amaç fonksiyonu değerini (maliyetini) uzunluğu ile orantılı olarak belirli bir ölçüde etkilemektedir.

Müşteriler (Talep Noktaları): Problemden müşteriler belirli bir talep miktarı ve lokasyona sahiptirler. Her müşterinin birbirleri ile ve işletme birimi ile arasındaki mesafesi bilinmektedir. Bir ARP çözümünün uygun bir çözüm olarak kabul edilmesi için tüm

müşterilerin talepleri karşılanmak zorundadır. Bazı ARP türlerinde müşterilerin önceliklendirilmesi yapılabilmektedir.

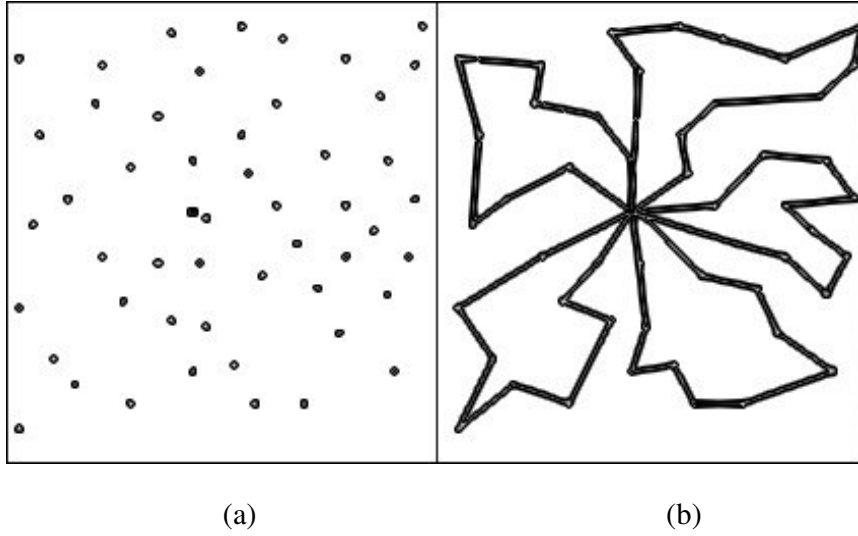
İşletme Birimi: Müşterilere hizmetin götürüldüğü işletmeye ait noktalardır. Araçlar işletme birimlerinden müşterilerin taleplerini karşılayıp tekrar işletme birimlerine dönerler. İşletme birimleri gerçek hayatta depolar, dağıtım merkezleri, bayi vb. ünitelerdir. Bazı ARP türlerinde birtane işletme birimi olduğu halde, bazılarında birden fazla olabilmektedir. Birden fazla işletme biriminin yer aldığı problemlerde birimlerin kapasite kısıtı da (karşılayabileceği maksimum talep miktarı) göz önüne alınabilmektedir.

Araç Filosu: ARP’de araçların hareketleri maliyet oluşturmaktadır ve genellikle rotası planlanacak araç sayısı değişkendir. Araçların yük kapasitesi veya gidebileceği maksimum yol, yükleme boşaltma gibi kısıtları da olabilmektedir. Bazı problemlerde homojen diğer bir deyişle aynı kapasiteli ve kısıtlı araçlarla, bazı problemlerde ise kapasiteleri farklı heterojen araçlarla rotalama yapılmaktadır.

Sürücüler: Bazı ARP türlerinde sürücülere ait çalışma periyodu, fazla mesai, öğle arası gibi kısıtlar da yer alabilmektedir. Araç rotalarının çıkarılmasında bu kısıtlar da dikkate alınmalıdır.

Temel ARP mutlaka tek bir depo tarafından karşılanması gereken ve bilinen bir seviyede talebe sahip olan müşterilerden oluşur. Her araç için teslim rotaları depoda başalar ve biter böylece tüm müşterilerin talepleri karşılanır ve her müşteri sadece bir araç tarafından ziyaret edilir. Araç kapasiteleri verilir ve sıklıkla her aracın seyahat edeceği maksimum mesafe bulunur. Muhtemel amaçlar toplam seyahat edilen mesafeyi minimize eden bir rota kümesi bulmak veya gerekli araç sayısını ve bu araçların seyahat ettiği mesafeyi minimize etmek olabilir (Baker ve Ayeche, 2003).

Basit bir ARP örneği ve çözüm uygulaması Şekil 2.2’de görülmektedir. Şekil 2.2 (a)’da tek depo olan bir ARP’de depo kare ile ve müşteriler noktalarla gösterilmiştir. Şekil 2.2 (b)’de ise bu depodan müşterilere hizmet verilen rotalar gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Basit bir Araç Rotalama Problemi örneği ve çözüm uygulaması (Olivera ve Viera, 2005)

Bir ARP çözümünün amaç fonksiyonları çeşitli olabilir. ARP çözümleri genelde, araç sayısını, seyahat edilen mesafeyi, sarfedilen iş gücünü minimize etmek, hizmet şartlarını karşılamak, siparişleri maksimize etmek veya birim mesafe başına teslim edilen miktarı maksimize etmek gibi amaçlardan birini taşır (Savelsbergh, 2003).

2.1 Araç Rotalama Problemi Notasyonları

ARP çözüm bölgesi $G(V,E)$ grafının kenarları ile sınırlanan kombinasyonel bir problemidir. Klasik bir ARP modelinin formülasyonu:

$G=(V,E)$: Bir graf,

$V = \{v_0, v_1, \dots, v_n\}$ Düğüm kümesi,

$E = \{(v_i, v_j) : v_i, v_j \in V, i \neq j\}$ Bir kenar kümesi ise,

V kümesinde v_0 merkez depoyu, diğer n sayıda nokta ise müşterileri ifade etmektedir. Her müşteri pozitif bir q_i talebine sahiptir ve her biri C kapasiteli m araçtan oluşan bir araç filosu depoda bulunmaktadır. Literatürde bu kapasite kısıtının yer almadığı problemlere Çoklu Gezgin Satıcı Problemi adı verilmektedir. ARP’de temel amaç tüm müşterilere hizmet götürmek için her aracın gideceği güzergahı çizmek, diğer bir deyişle m adet rota belirlemektir. Kuşkusuz bunu yaparken de kısıtlara uyularak maliyetin minimize edilmesi arzulanmaktadır. Tek depolu klasik bir ARP’nin doğrusal modeli aşağıdaki gibi formüle edilebilir:

M: Araç Sayısı

N: Müşteri Sayısı

d_{ij} : i. ve j. nokta arasındaki mesafe

q_i : i. Müşterinin talep miktarı

C: Araç Kapasitesi

Değişken;

$$X_{ijk} : \begin{cases} 1, k \text{ nolu arac } i \text{ noktasından } j \text{ noktasına hareket ederse} \\ 0, \text{ aksi takdirde} \end{cases}$$

$$\text{Amaç fonksiyonu: } \min Z = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0, j \neq i}^N \sum_{k=1}^M d_{ij} X_{ijk} \quad (2.1)$$

Şu kısıtlara göre:

$$i=0 \text{ için } \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ijk} = M \quad (2.2)$$

$$i \in \{1, \dots, N\} \text{ için } \sum_{k=1}^M \sum_{j=0}^N X_{ijk} = 1 \quad (2.3)$$

$$j \in \{1, \dots, N\} \text{ için } \sum_{k=1}^M \sum_{i=0, i \neq j}^N X_{ijk} = 1 \quad (2.4)$$

$$k \in \{1, \dots, M\} \text{ için } \sum_{i=1}^N X_{i0k} \leq 1 \quad (2.5)$$

$$k \in \{1, \dots, M\} \text{ için } \sum_{i=1}^N q_i \sum_{j=0, j \neq i}^N X_{ijk} \leq C \quad (2.6)$$

Amaç fonksiyonu (2.1) toplam kat edilecek mesafenin yani maliyetin minimize edilmesi gerektiğini ifade etmektedir. (2.2) nolu kısıt denklemi işletme biriminden çıkacak araç sayısının M adet olduğunu, (2.3) ve (2.4) kısıt denklemleri bir müşterinin mutlaka bir araç tarafından ziyaret edilmesi ile müşteriye gelen ve müşteriden çıkan yollardan sadece bir tanesinin kullanılmasının zorunlu olduğunu (2.5) nolu kısıt denklemi bir aracın ancak bir defa işletme biriminden çıkacağı dolayısıyla rotalamada bir defa kullanılacağını (2.6) nolu kısıt denklemi ise araçlara yüklemelerin araç kapasite değeri C'yi geçmemesini belirtmektedir. Bazı problemlerde araç sayısı kısıtı olarak en fazla M tane aracın kullanılması gerektiği yer almaktadır. Bu durumda (2.2) nolu denklemde eşitlik ifadesi yerine küçük eşit ifadesi yer

alacaktır. Modelde yer alan temel kısıtlar olan (2.3) ve (2.4) nolu denklemler rotaların sürekliliğini sağlaması açısından önemlidir.

Bir ARP problemine genel olarak şu bilgilere ihtiyaç vardır: (Erol, 2006)

- Her müşteriden diğer müşterilere ulaşım süresi veya aralarındaki mesafe
- İşletme birimlerinden her müşteriye ulaşım süresi veya aralarındaki mesafe
- Talep noktalarındaki talep miktarı
- Araç sayısı ve araç kapasite değeri
- Optimize edilmesi gereken unsur veya unsurlar (amaç fonksiyonu).

2.2 Araç Rotalama Probleminin Lojistik Yönetimindeki Önemi

Tam bir lojistik sistemi tedarikçilerden fabrikalara ham madde ve ihtiyaç olan girdilerin taşınması, fabrikalardaki girdilerin ürünlere çevrilmesini, ürünlerin çeşitli depo ve ambarlara taşınması ve son olarak bu ürünlerin nihai müşteriye teslimatı gibi tüm prosesleri kapsar. Bir firmanın dağıtım faaliyetleri; ürün ile şirket çalışmasının bitiminden sonra olan tüm taşıma ve depolama faaliyetlerini kapsar.

Tedarik zinciri içerisinde dört ana karar alanı vardır. Bunlar; yerleştirme, üretim, envanter ve taşımadır. Taşıma kararları; taşıma türü seçimi, kargo büyüklüğü, rotalama ve çizelgelemeyi içerir. Taşıma bir çok firma için lojistik maliyetlerdeki en önemli tek elemanı gösterir. Lojistikte taşıma kararları anahtar karar alanını oluşturur. Ürün fiyatları haricinde, taşıma lojistik maliyette, ortalama olarak, diğer ilgili faaliyetlerden daha fazla orana sahiptir. Genellikle taşıma maliyetleri toplam lojistik maliyetlerin $1/3 - 2/3$ ni oluşturmaktadır (Marinakı, 2001).

Taşıma maliyetlerini aşağıya çekmek insan, araç gibi kaynakların daha iyi kullanılmasıyla sağlanır. Araçlardan verimli bir şekilde faydalanmanın en önemli adımı araç filosunun belirli noktalar arasında ürün dağıtım ve teslimatı için etkili rota gerçekleştirmeleridir [3].

İşletmeler pazarda lider olabilmek için iyi düzenlenmiş bir lojistik planı ile gecikmeleri tamamen ortadan kaldırarak müşteri memnuniyetini artırmak zorundadır. Müşteri memnuniyeti için çaba sarf edilirken diğer bir yandan, maliyetleri alabildiğince azaltacak yöntemlere başvurulmalıdır. Firmalara değişikliklere karşı esnek, aynı zamanda düşük maliyetli sonuçlar veren rota planlarının hızlı bir şekilde hazırlanması müşterilerin memnuniyeti ve işletme karlılığı açısından oldukça önemlidir. Bu noktada maliyet ile kullanılan araç sayısı, araçların gideceği toplam mesafe ve toplam süre gibi ölçütler göz

önüne alınmaktadır. ARP genel olarak bir işletmenin konumları belirli n adet müşterisine (talep noktasına) tam olarak servis sunabilmesi için bazı operasyonel kısıtların göz önüne alındığı ve minimum maliyetin amaçlandığı araç rotalarının belirlenmesi problemidir. ARP'ye günümüz organizasyonlarında sıkça rastlanılmaktadır. Bu tip problemler pratikte aşağıdaki süreçlerde görülebilmektedir: (Erol, 2006)

- Firmalarda lojistik ve dağıtım planlarının yapılması,
- Depolardan bayilere mal sevkiyatı sırasında,
- Satış personelinin saha dağıtımı,
- Bölge bayi kontrol uygulaması,
- Belediyeler için çöp toplama ve sokak temizleme planı,
- Benzin istasyonlarına akaryakıt dağıtımı,
- Saha satış uygulamaları,
- Kargo dağıtımı,
- Okul servis araçlarının rotalanması.

Hergün yakıt, ekipman, bakım ve işgücü için büyük miktarlarda paralar ödenmektedir. Buyüzden, taşıma üzerine harcanan paraları azaltmak için girişimde bulunmaktadır. Bunun için birçok yaklaşım ele alınabilir, ekipmanlar geliştirilebilir veya altyapı iyileştirilebilir. Ayrıca Yöneylem Araştırmalarına eldeki kaynaklarla en iyi ne yapılacağının bulunması için başvurulabilir. Toth ve Vigo (2002) dağıtım sürecinin planlanmasında bilgisayarlı prosedürlerin kullanımının taşıma maliyetlerinde %5-%20 arasında tasarruf sağladığını değerlendirmişlerdir. Dahası, taşıma bugün dünya CO₂ kirliliğinin önemli bir kısmına sebep olmaktadır. Pedersen'e göre (2005) 1998 yılında Avrupa Birliği içinde CO₂ emisyonunun %28'inden taşıma faaliyetleri sorumludur (Ropke, 2005).

2.3 Araç Rotalama Problemi Türleri

ARP değişik parametrelere ve bu parametrelerin etki alanlarına göre çeşitli gruplara ayrılmaktadır. Bir araç rotalama probleminin amaç fonksiyonu toplam kat edilen mesafeyi veya zamanı minimum seviyeye getirmek veya araç sayısını en azlamak olabilir. ARP en genel hatlarla; araç sayısının bir veya birden çok olması, araç filosunun aynı tip veya farklı tip araçlardan oluşmasına, problemde tek veya daha fazla depo bulunmasına, müşteri taleplerinin stokastik veya deterministik olmasına, toplam zaman veya toplam mesafe, zaman penceresi

veya araç kapasitesi gibi kısıtların olup olmamasına göre çeşitli gruplara ayrılır. Aşağıda yer alan Çizelge 2.1 bu çeşitlenmeyi ana hatları ile göstermektedir.

Çizelge 2.1 ARP türlerinin ilgi alanları (Geloğulları, 2001)

Parametre	İlgi Alanı
Amaç Fonksiyonu	Mesafeyi veya zamanı veya araç sayısını minimize etmek
Filo boyutu	Tek araç veya birden fazla araç
Filo tipi	Homojen veya heterojen filo
Depo sayısı	Tek depo veya birden fazla depo
Talep yapısı	Deterministik talep veya stokastik talep
Toplam zaman veya mesafe kısıtı	Kısıtın olma veya olmaması durumu
Zaman penceresi	Kısıtın olma veya olmaması durumu
Öncelik ilişkileri	Kısıtın olma veya olmaması durumu
Araç kapasitesi	Kısıtın olma veya olmaması durumu
Graf yapısı	Doğrudan veya dolaylı Simetrik veya asimetrik

2.3.1 Dinamik ve Statik Çevre Durumuna Göre Araç Rotalama Problemi

Bu durumda araç rotalama problemleri genel olarak statik veya dinamik gerçekleşen durumlara göre gruplandırılmıştır.

2.3.1.1 Statik Araç Rotalama Problemi

Statik Araç Rotalama Problemi (SARP); rotalama süreci başlamadan önce planıcı tarafından planlanacak rotalarla ilgili tüm bilgilerin bilinmesi ve rotalar oluşturulduktan sonra rotalamaya ilişkin bilgilerin değişmemesi şartlarını içerir(Larsen, 2001).

Bu tür problemlerde, problem çözülmeden önce gerekli tüm bilgiler (kısıtlar, talepler, kapasiteler, maliyet bilgileri vb.) bilinmektedir ve bu bilgiler problemin çözüm aşamasında da değişkenlik göstermez, sabittir. Literatürde çoğunlukla SARP üzerinde çalışmalar yapılmış olup bu problem deterministik ARP olarak da karşımıza çıkmaktadır. Gerçek hayatta SARP çözüm yöntemleri, önceden miktarı ve zamanı bilinen talepler için rota planları oluşturmada ve servis sistemlerinin genel olarak değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Erol, 2006).

2.3.1.2 Dinamik Araç Rotalama Problemi

Dinamik Araç Rotalama Probleminde (DARP) yer alan “dinamik” yaklaşımı karar verici için dinamik olarak araç rotaları ve çizelgelenmesi için gerekli bilgilerin açığa çıkmasını

göstermektedir. Yöneylem metodolojisinden bakıldığında, dinamik problem statik problemlerden bir çok temel yönden farklılık gösterdiğinden dolayı ilginç bir konu olarak görülmektedir. Bir optimizasyon problemini dinamik yapan iki önemli durum vardır: problemle ilgili bilgiler zamana bağımlıdır ve çözümler mutlaka zaman ilerledikçe yeni gelen bilgilerle aynı zamanlarda bulunmalıdır. Bu ön çözümün bulunamayacağı anlama gelmektedir (Bianchi, 2000).

Psaraftis, DARP nin konvansiyonel statik rotalama probleminden ayrıldığı 12 konu sıralamaktadır. Bunlar şöyle sıralanabilir:

Zaman boyutu önemlidir: Bir statik rotalama probleminde zaman boyutu belki önemli olabilir belki olmaz. DARP ise zaman boyutu her zaman önemlidir.

Problem belki açık uçlu olabilir: Statik problemlerde proses geçici olarak sınırlandırılmıştır. Rotalar depoda başlar ve depoda son bulur. DARP’de ise proses sınırlandırılmış değildir.

Gelecek bilgiler kesin olmayabilir veya bilinmiyordur: Statik problemde tüm bilgilerin bilindiği varsayılır. Gerçek hayatta karşılaşılan DARP’de gelecek kesin olarak bilinemez.

Yakın dönem durumları daha önemlidir: Dinamik bir rotalamanın hazırlıklarında uzun dönemli ihtiyaçlar için araç kaynaklarını önermek makul değildir. Burda yakın dönem durumları üzerine odaklanılmalıdır.

Bilgi güncelleme mekanizması önemlidir: DARP’de hemen hemen tüm girdiler operasyon günü boyunca değişikliklere bağımlıdır.

Yeniden sıralama ve yeniden atama kararları garanti edilebilir: DARP’de yeni girdi alınan kararın yarı optimal olduğu anlamına gelebilir. Bu yeni durumu karşılayabilmek için araçların yeniden rotalanmasını ve hatta yeniden atanmasını zorunlu kılar.

Daha hızlı hesaplama zamanları gereklidir: DARP’de şimdiki probleme cevap veren çözüm hemen görülmek istenir.

Süresiz erteleme mekanizmaları gereklidir: Süresiz erteleme belirli bir talebin diğer taleplere göre istenmeyen coğrafi karakteristikleri yüzünden ertelenme olasılığı anlamına gelmektedir. Zaman penceresi kısıtı kullanılarak bu örnek hafifletilebilir.

Amaç fonksiyonu farklı olabilir: Geleneksel seyahat edilen toplam mesafeyi minimize etmek gibi statik amaç fonksiyonları DARP’de proses açık uçlu olduğu için anlamsızdır. Eğer gelecek bilgi hakkında hiçbir girdi erişilebilir değilse sadece bilinen girdilerin optimize edilmesi makuldur.

Zaman kısıtları farklı olabilir: En son toplama zamanı gibi zaman kısıtları DARP’de SARP’ye göre daha ılımlı olma eğilimindedir.

Çeşitli araç filosu esnekliği zayıftır: DARP’de yedek araçlara hızlı erişim için yeterli zaman olmayabilir.

Kuyruklanma durumu önemli olabilir: Eğer müşteri talep oranı belli bir eşiği aşarsa sistem sıkışık hale gelebilir ve algoritmalar anlamsız sonuçlar üretmek için sınırlandırılırlar(Larsen, 2001).

DARP’nin gerçek hayata uyan bir çok örneği sıralanabilir Gezgin Tamirci de buna bir örnektir. Bu problem en çok çalışılan DARP örneklerinden biridir. Bir elektrik şirketinin elektrik tedarikindeki ani kesintileri tamir için ev ev dolaşan tamircisi buna bir misal eşkil edebilir (Larsen, 2001).

2.3.2 Rotalama Durumuna Göre Araç Rotalama Problemi

Rotalama durumlarına göre araç rotalama problemleri açık uçlu ve kapalı uçlu araç rotalama problemleri olarak ikiye ayrılır.

2.3.2.1 Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemi

Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemlerinde (KUARP) her rota bir işletme biriminde başlatılıp, aynı işletme biriminde bitirilmelidir. Tek işletme birimli problemlerde bunun sağlanması için kurulan modele aşağıdaki kısıt eklenmelidir.

$$k \in \{1, \dots, M\} \text{ için } \sum_{j=1}^N X_{0jk} = \sum_{i=1}^N X_{i0k} \leq 1 \quad (2.7)$$

0 nolu nokta işletme birimini yani depoyu temsil ettiği için bu noktadan çıkan aracın mutlaka bu noktaya dönmesi, (2.7) numaralı denklemde aynı araç için bu nokta ile başlayıp bu noktada biten X karar değişkenlerinin değerleri birbirine eşitlenerek sağlanmaktadır. Literatürdeki araştırmalar çoğunlukla KUARP ile yapılmaktadır (Erol, 2006).

2.3.2.2 Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi

Açık Uçlu Araç Rotalama Problemlerinde (AUARP) rotalar merkez depo ile başlamakta, talep noktası ile sona ermektedir. Bunun sağlanması için ek olarak bir kısıtın modele eklenmesine gerek yoktur. Sonuç zaten açık uçlu rotalar doğuracaktır. Fakat rotaların kesin olarak bir müşteride sona ermesini sağlayan kısıt denklemi aşağıda yer almaktadır:

$$k \in \{1, \dots, M\} \text{ için } \sum_{j=1}^N X_{0jk} + \sum_{i=1}^N X_{i0k} = 1 \quad (2.8)$$

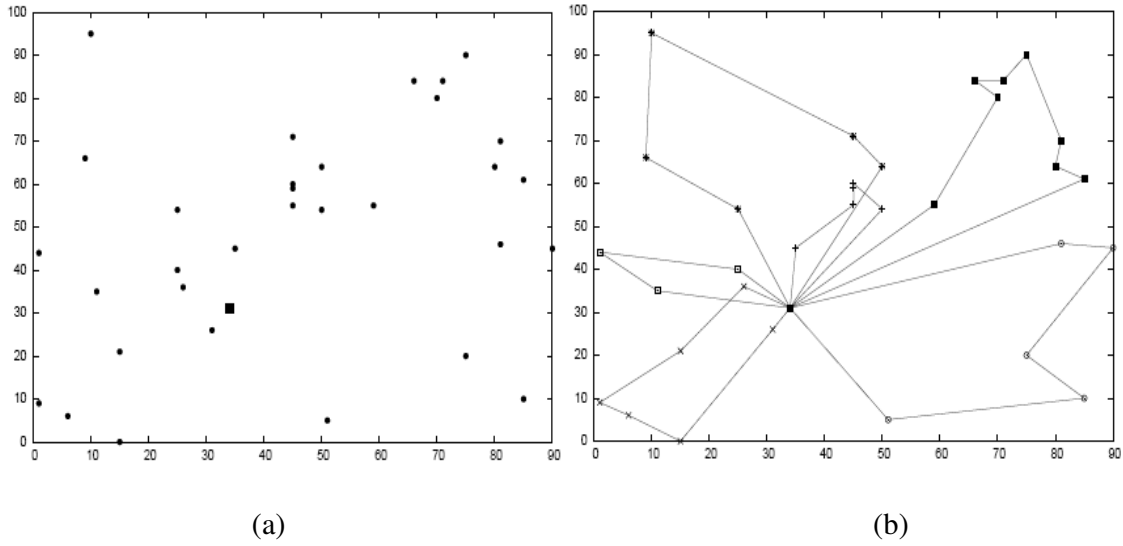
Bu denklemle bir aracın 0 nolu nokta (işletme birimi) ile başlayan veya biten ilgili X değişkenlerinden ancak biri bir değerini alabilir ve böylece aracın sadece işletme biriminden çıkması, oraya tekrar dönmemesi garantilenmiş olmaktadır (Erol, 2006).

2.3.3 Kısıtlarına Göre Araç Rotalama Problemi

Gerçek hayatta firmaların lojistik sistemlerini işletirken karşılaştıkları sorunlar, araç rotalarının modellenmesinde bir çok kısıtlar ortaya çıkarmaktadır. Bu kısıtların hepsinin aynı anda göz önünde bulundurulması çok zor olduğu için önemli görülen kısıtlar seçilip eklenerek araç rotalarında optimizasyona erişilmeye çalışılır.

2.3.3.1 Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi

Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KKARP) bir veya daha fazla sayıda işletme birimi (depo) bulunan bir işletmenin talepleri belli n adet müşterisine ulaşabilmesi için yükleme kapasiteleri kısıtlı araçların rota planlaması problemidir. Literatürde klasik ARP ile KKARP bir olarak tutulup, genellikle tüm ARP uygulamalarında kapasite kısıtı bulunmaktadır. KKARP’de bir rotada yer alan müşterilerin toplam talebi araç kapasitesi C ’yi geçmemelidir. ARP modelinde bu kısıt (2.6) numaralı denklemde gösterilmektedir. KKARP’nin farklı versiyonları bulunmaktadır. Örneğin bazı problemlerde her aracın bir sabit çalıştırma maliyeti bulunup bu değer amaç fonksiyonuna eklenmektedir. Bu durumda sabit maliyet unsurundan dolayı amaç fonksiyonunda kullanılan araç sayısı minimize edilmeye çalışılmakta ve çözümde sonuç olarak bazı araçların rotalaması yapılmamaktadır. Başka bir KKARP çeşidi ise problemde farklı tipte ve dolayısıyla yükleme kapasiteleri farklı olan araçların (C_k , $k=1, \dots, M$) söz konusu olmasıdır (Erol, 2006). Aşağıda yer alan şekil bir KKARP çözüm örneğini teşkil etmektedir. Şekil 2.3 (a)’da 32 müşterili bir KKARP örneği şekil üzerinde gösterilmiştir. Şekil 2.3 (b)’de ise bu örnek için optimal çözümü göstermektedir.



Şekil 2.3 Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi çözüm uygulama örneği (Ropke, 2005)

KKARP’de araç kapasitesi sınırlı olduğu için araç periyodik olarak depoya tekrar yükleme için dönmelidir. KKARP’de müşteri talebinin parçalanamaz. Bu yüzden KKARP çözümü her müşterinin birkere ziyaret edildiği vetoplam tur talebinin en fazla C olduğu turların toplamından oluşur [4].

2.3.3.2 Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi

Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Probleminde (MKARP) rotalara atanan her aracın gidebileceği maksimum mesafe kısıtı bulunmaktadır. Daha önce verilen modelde bu kısıt aşağıdaki (2.9) nolu kısıt eklenerek bulunmaktadır. Denklemden L , bir aracın gidebileceği maksimum mesafe değerini ifade etmektedir.

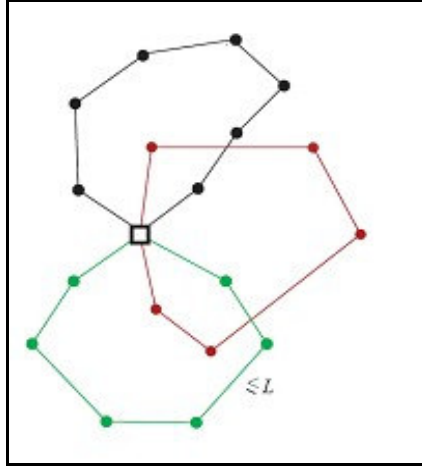
$$k \in \{1, \dots, M\} \text{ için } \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N d_{ij} \sum_{j=0, j \neq i}^N X_{ijk} \leq L \quad (2.9)$$

Literatürde KKARP’nin olduğu gibi MKARP’nin de farklı versiyonları bulunabilmektedir. Örneğin farklı tipteki araçlar için farklı mesafe kısıtı (L_k , $k=1, \dots, M$) söz konusu olabilir. Bunun yanında mesafe kısıtı yerine mesafeyle orantılı seyir süresi kısıtı da olabilir. Bu durumda araç her bir müşteriye uğradığında s_i servis süresi kadar bekleyecektir. Bu tip problemlerde (2.9) numaralı kısıt aşağıdaki hali alacaktır.

$$k \in \{1, \dots, M\} \text{ için } \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N d_{ij} \sum_{j=0, j \neq i}^N pX_{ijk} + \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \frac{s_i + s_j}{2} \sum_{j=0, j \neq i}^N X_{ijk} \leq T \quad (2.10)$$

Burada p aracın seyir süresini kat ettiği toplam mesafe yoluyla hesaplamakta kullanılan bir parametredir. Servis sürelerinin (s_i) ikiye bölünerek hesaplanmasının sebebi, aracın rotasında bulunan yolları sıralarken rota içerisindeki bir müşterinin bir yolun başlangıcında diğer yolun ise sonunda yer alması ve bu sebeple denklemdeki toplam ifadesi ile iki defa karşılaşılmasıdır. Bunların yanında yükleme kapasitesinin ve mesafe kısıtının birlikte kullanıldığı problemler bulunmaktadır. Bu tip problemlerde 2.8 ve 2.9 numaralı kısıtlar beraber kullanılmaktadır (Erol, 2006).

Aşağıda yer alan Şekil 2.4’de hem araç kapasitesi kısıtı hem de mesafe kısıtı bulunan araç rotalama problemine örnek verilmektedir. Araç rotaları hem bir rota ile hizmet edilen müşteri taleplerinin toplam talebi araç kapasitesini geçmemektedir hem de bir turda katedilen toplam mesafe, mesafe kısıtını aşmamaktadır. Şekil ile anlatımı aşağıda yer alan Şekil 2.4’de gösterilmektedir.



Şekil 2.4 Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Probleminin grafiksel gösterimi (Laporte, 2004)

2.3.3.3 Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi

Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi (ZPARP) dağınık olarak dağıtılmış müşteriler kümesine bir depodan en düşük maliyetli rotaların tasarlanması problemi olarak tanımlanabilir. Rotalar, verilen bir zaman aralığında her müşteri bir kere ve sadece bir araç tarafından ziyaret edilecek şekilde tasarlanmalıdır ve her rota depoda başlayıp son bulmalıdır (Braysy ve Gendreau, 2001).

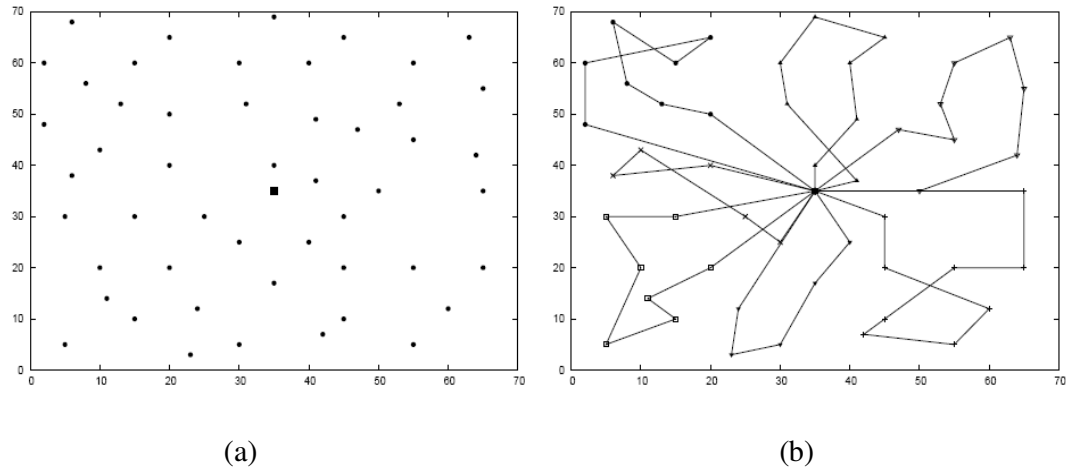
Amaç fonksiyonu araç filosunu, toplam seyahat süresini ve tüm müşterilere kendi saatlerinde tedarik için gerekli bekleme zamanlarını minimize eder. ZPARP, ARP’ye göre aşağıdaki ek kısıtlar eklenerek karakterize edilmiştir: [2]

- Eğer bir müşteri kendi zaman penceresinin üst sınırından sonra ziyaret edildiyse çözüm

fizibil değildir.

- Bir aracın zaman penceresinin alt sınırından önce müşteriye ziyaret etmesi rotayda fazladan bekleme zamanına sebep olacaktır.
- Her rota depo ile ilgili zaman penceresi içerisinde başlamalı ve bitmelidir.
- İlimli zaman pencerelerinin olduğu durumda, geç hizmet sonucun fizibilliğine etki etmez ama amaç fonksiyonuna ek değerle ceza verir.

Aşağıdaki yer alan Şekil 2.5 (a)'da ZPARP'nin Solomon'un 50 müşterili örneklerinden biri görülmektedir. Şekil 2.5 (b)'de ise çözüm uygulaması yer almaktadır.



Şekil 2.5 Zaman Pencereli Araç Rotalama Probleminin çözüm uygulama örneği (Ropke, 2005)

2.3.3.4 Toplama ve Dağıtım İşlemlerini Kapsayan Araç Rotalama Problemi

Bu problem toplama ve dağıtım işlemlerini birlikte kapsayan bir araç rotalama problemi (TDARP) türüdür. Bütün dağıtım taleplerinin depodan başladığı ve bütün toplama taleplerinin depoya getirilmesi gerektiği ve bu sayede müşteriler arasında mal akışının olmadığı kısıtlı bir durum dikkate alınır. Başka bir alternatif, kısıtı tüm müşterilerin tam olarak bir kez ziyaret edileceği hale getirerek esnetmektir. Başka bir basitleştirme de her bir aracın malları toplama işlemine başlamadan önce dağıtım işlemlerini tamamladığını varsaymaktır.

Amaç; araç akışını ve toplam dolaşım süresini minimize etmek ve bunu yaparken araçların malları müşterilere dağıtmak için ve müşterilerden topladığı malları depoya getirmek için yeterli kapasiteye sahip olmasına dikkat etmektir. Her rotaya atanmış olan toplam miktar araç kapasitesini aşmıyorsa ve araç müşterilerden malı toplamak için yeterli kapasiteye sahipse

çözüm fizibildir. Bir rotanın maliyeti klasik ARP problemindeki gibidir ancak burada ek olarak, bir rotanın sadece dağıtım fizibilitesine, toplama fizibilitesine, yükleme fizibilitesine sahip olduğunda fizibil olabileceği sınırlaması getirilir. Öncelikle q değişkenini müşterinin toplama talebi olarak tanımlanmalıdır.

Dağıtım fizibilitesi; Bu durum, bir rotada dağıtılan toplam malın araç kapasitesini aşmaması anlamına gelir. $R_i = \{v_0, v_1, \dots, v_{m+1}\}$ rotası ve bu rotaya atanan C kapasiteli araç kısıtı şöyle ifade edilebilir:

$$C_d(v_k) \leq C \text{ ve } C_d(v_{k+1}) > C ;$$

$C_d(v_k)$, v_0 'da (depoda) başlayan ve v_k 'da biten bir rotadaki tüm müşterilere dağıtılacak olan mal toplamıdır.

$$C = \sum_{v_i \in P(l, v_k)} d_i q(l, v_k) \quad (2.11)$$

$P(v_1, v_k)$, depodan v_k 'ya kadar, v_k da dahil, yol boyunca ziyaret edilen müşterileri gösterir.

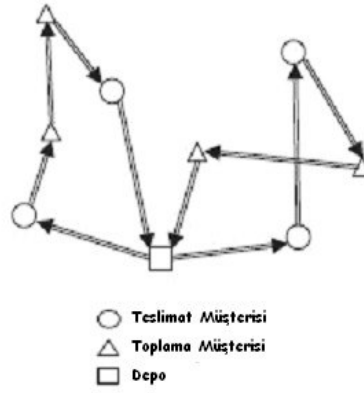
Toplama fizibilitesi; Bu kısıtlar aracın rotadaki tüm müşterilerin mallarını toplayabilecek kapasiteye sahip olduğunu güvence altına alır. $C_q(v_k) \leq C$ ve $C_q(v_{k+1}) > C$; $C_q(v_k)$, v_k 'ya kadar ve v_k da dahil rotadaki tüm müşterilerden toplanan toplam maldır. Yani;

$$C_q(v_k) = \sum_{v_i \in P(l, v_k)} q_i \quad (2.12)$$

Yükleme fizibilitesi ; Aracın kapasitesi rotanın herhangi bir düğümünde bozulabilir. Böyle bir bozulma müşterilerin sıralanışına bağlı olacaktır. $L(v_k)$ v_k müşterisi terk edildikten sonraki araç yükü olsun. Aracın depoyu $L(1) \leq C$ şeklindeki bir ilk yükle terk ettiğini varsayalım. O zaman rotanın herhangi bir yerinde aracın yükü,

$$L(v_k) = C_p(v_k) + L(1) - C_d(i_k) \quad (2.13)$$

Bu eşitlikte verilen araç yükü, aracın kapasitesini aşabilir. Bu, yolun fizibil olmaması anlamına gelir çünkü araç yol üzerinde bulunan bir sonraki v_{k+1} müşterisine hizmet edemez. Bu nedenle bir rota $L(v_k) \leq C$ ve $L(v_{k+1}) > C$ ise fizibildir [2].



Şekil 2.6 Toplama ve Dağıtım İşlerini Kapsayan Araç Rotalama Probleminin grafiksel görünümü (Montane ve Galvao, Basımda)

Yukarıdaki Şekil 2.6’da toplama ve dağıtım işlemlerini birlikte kapsayan araç rotalama problemine ilişkin örnek şekilli anlatım bulunmaktadır.

2.3.3.5 Periyodik Yüklemeli Araç Rotalama Problemi

Periyodik araç rotalama probleminde (PARP) planlama periyodu P güne yükseltilerek klasik araç rotalama problemi genelleştirilir. Amaç araç akışını ve müşterilerin taleplerini karşılamak için gerekli olan toplam zamanı minimize etmektir. ARP’nin tüm kısıtları sağlanıyorsa çözüm fizibildir. Ayrıca araç depoya bir günde geri dönmeyebilir. P gün içinde tüm müşteriler en az bir kere ziyaret edilmiş olmalıdır.

Tüm rotalardaki maliyet minimize edilir. Her müşteri, tek bir araçla sadece bir ziyarette karşılanması gereken, önceden bilinen günlük bir talebe sahiptir. Planlama periyodu $P=1$ ise problem klasik araç rotalama problemi haline gelir. PARP’de her müşteri k defa ziyaret edilmelidir. $1 \leq k \leq P$ olmalıdır. PARP’nin klasik modelinde müşterilerin günlük talebi daima sabittir. PARP, global maliyetlerin düşürülmesi ve kısıtların karşılanabilmesi amacıyla, her gün için bir grup rota üreten bir problem olarak görülebilir. PARP ayrıca çok aşamalı bir kombinasyonel optimizasyon problemi olarak da görülebilir: İlk aşamada, amaç her müşteri için bir grup fizibil alternatif (kombinasyon) oluşturmaktır. İkinci aşamada, her müşteri için günlük kısıtları sağlayan alternatiflerden biri seçilmelidir. Bu yüzden her gün için ziyaret edilen müşterileri seçilmelidir. Üçüncü aşamada, her gün için ayrı ayrı klasik araç rotalama problemi çözülür[2].

2.3.3.6 Parçalı Dağıtım Araç Rotalama Problemi

Parça Dağıtım Araç Rotalama Probleminde (PDARP) eğer toplam maliyetlerin düşmesine katkı sağlayacaksa, aynı müşteri farklı araçlardan hizmet alabilir. Burada, eğer müşterinin siparişlerinin hacmi aracın kapasitesi kadar büyükse, klasik ARP probleminin genişletilmesi konusu kritik bir konudur. PDARP’de optimum sonucu bulmak ARP’dekinden çok daha zordur. Amaç araç akışını ve müşterilerin taleplerini karşılamak için gerekli olan toplam zamanı minimize etmektir. Bir müşterinin birden fazla araçtan hizmet görmesi dışında ARP kısıtlarının tümü sağlanıyorsa çözüm fizibildir. Tüm rotalardaki toplam maliyet minimize edilir. ARP’yi PDARP’ye dönüştürmenin kolay bir yolu, her müşteri siparişini daha küçük olan ve bölünemeyen siparişlere ayırarak, dağıtımların parçalanmasına izin vermektir [2].

2.3.3.7 Stokastik Araç Rotalama Problemi

Stokastik Araç Rotalama Problemi (SARP), klasik araç rotalama probleminin, problem elemanlarından bir ya da birkaçının rastgele olduğu bir modele dönüştürülmesiyle elde edilir. SARP’nin 3 farklı türü vardır:

- **Stokastik müşteriler:** Her i müşterisi p_i olasılığı ile vardır, $1-p_i$ olasılığıyla yoktur.
- **Stokastik talepler:** Her müşterinin talebi q_i , rassal bir değişkendir.
- **Stokastik zamanlar:** Servis zamanları s_i ve dolaşım zamanları t_{ij} rassal değişkenlerdir.

SARP’de çözüme ulaşmak için iki aşama kullanılır. Önce rassal değişkenlerin gerçekleşme değerleri bilinmeden bir ilk çözüm belirlenir. İkinci adımda ise, rassal değişkenlerin değerleri bilindiğinde düzeltici bir işlem yapılabilir. Amaç araç filosunu ve varlığı belirlenmiş olan rassal değerli müşterilerin taleplerini karşılamak için gerekli olan toplam zamanı ve servis sürelerini minimize etmektir. Bazı verilerin rassal olduğu durumlarda, rassal değerlerin tüm gerçekleşme durumlarında kısıtların karşılanmasını beklemek artık imkansızdır. Bu nedenle karar verici ya belirli bir olasılıkla bazı kısıtların karşılanması koşulunu koyabilir ya da herhangi bir kısıt bozulduğunda probleme düzeltici işlemler ekleyebilir.

$$\sum_{i < j} c_{ij} x_{ij} + Q(x) \quad (2.14)$$

formülünü aşağıdaki koşullar altında minimize et:

x_{ij} , (v_i, v_j) zaman düzleminde başlangıç çözümünde görünen tamsayı bir değişkendir. Eğer $i, j > 1$ ise x_{ij} sadece 0 ve 1 değerini alabilir. Eğer $i=1$ ise aracın depo ve v_j arasında bir geri dönüş hareketi yaptığı durumda, x_{ij} 2’ye eşittir.

$Q(x)$ ikinci aşamada beklenen başvuru fonksiyonudur. Probleme bağımlıdır ve mümkün başvuru hareketlerinin kısmi seçimi ile ilişkilidir[2].

Örneğin kapasite kısıtlı toplamalı SARP probleminde olabilecek başvuru hareketleri:

- Araç dolu ise boşaltmak için depoya geri dön ve sonra toplamalara planlanan şekilde devam et.
- Araç dolduğunda yine bir önceki adım gibi depoya geri dön ve planlanan rotanın geri kalan kısmını yeniden optimize et.
- Araç dolu olmasa bile depoya önleyici bir geri dönüş hareketi planla. Böyle bir durumda bu karar, birikmiş olan miktara ve aracı depodan ayıran uzaklığa göre verilir.

Dolu olmayan bir araç, bir sonraki müşterinin araç kapasitesinin aşılmasına neden olacağı biliniirse, depoya dolmadan geri dönebilir [2].

2.3.3.8 Geri Dönüştü Araç Rotalama Problemi

Geri Dönüştü Araç Rotalama Problemi (GDARP) müşterilerin bazı ticaret mallarını geri gönderdiği ya da talep ettiği araç rotalama problemi tipidir. Bu yüzden TDARP’de müşterilerin geri gönderecekleri malların araçlara sığabilmesi koşulu hesaba katılmalıdır. Buradaki kritik varsayım, her bir rotada toplama işlemine başlayabilmek için önce dağıtım işlemlerinin tamamlanmasıdır. Bu durum araçların arkadan yüklemeli olmasından kaynaklanır. Çünkü dağıtım noktalarında araçlardaki yüklerin yeniden düzenlenmesi ekonomik ve fizibil olmayacaktır. Dağıtılacak ve toplanacak miktarlar sabittir ve önceden bilinir. Amaç, toplam kat edilen yolun minimum olduğu rotalar oluşturmaktır. Fizibil bir çözüm, dağıtım işlemlerinin toplama işlemlerinden önce tamamlandığı ve araç kapasitesinin rotaya atanan geri dönüş noktalarıyla bozulmadığı rotaları içerir.

Bir rotanın maliyeti klasik ARP problemindeki gibidir ancak burada ek olarak, bir rotanın sadece dağıtım fizibilitesine, toplama fizibilitesine, yükleme fizibilitesine sahip olduğunda fizibil olabileceği sınırlaması getirilir. Öncelikle p değişkenini müşterinin toplama talebi olarak tanımlanmalıdır.

Dağıtım fizibilitesi; Bu durum, bir rotada dağıtılan toplam malın araç kapasitesini aşmaması anlamına gelir. $R_i = \{v_0, v_1, \dots, v_{m+1}\}$ rotası ve bu rotaya atanan C kapasiteli araç kısıtı şöyle ifade edilebilir: $C_d(v_k) \leq C$ ve $C_d(v_{k+1}) > C$; $C_d(v_k)$, v_0 ’da (depoda) başlayan ve v_k ’da biten bir rotadaki tüm müşterilere dağıtılacak olan mal toplamıdır.

$$Cd(v_k) = \sum_{v_i \in P(1, v_k)} d_i p(1, v_k) \quad (2.15)$$

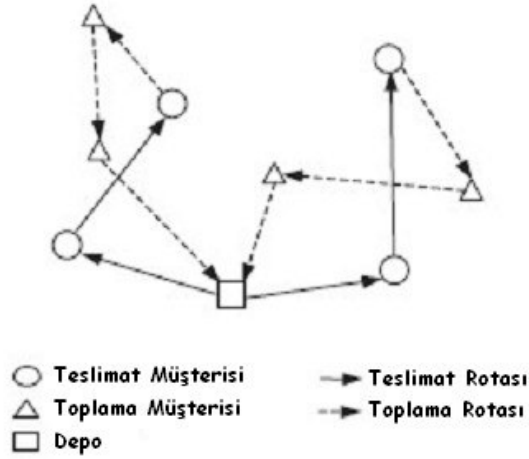
$P(v_1, v_k)$, depodan v_k 'ya kadar, v_k da dahil, yol boyunca ziyaret edilen müşterileri gösterir.

Toplama fizibilitesi; Bu kısıtlar aracın rotadaki tüm müşterilerin mallarını toplayabilecek kapasiteye sahip olduğunu güvence altına alır. $C_p(v_k) \leq C$ ve $C_p(v_{k+1}) > C$; $C_p(v_k)$, v_k 'ya kadar ve v_k da dahil rotadaki tüm müşterilerden toplanan toplam maldır. Yani ;

$$C_p(v_k) = \sum_{v_i \in P(1, v_k)} p_i \quad (2.16)$$

Yükleme fizibilitesi ; Aracın kapasitesi rotanın herhangi bir düğümünde bozulabilir. Böyle bir bozulma müşterilerin sıralanışına bağlı olacaktır. L_k , v_k müşterisi terk edildikten sonraki araç yükü olsun. Aracın depoyu $L(1) \leq C$ şeklindeki bir ilk yükle terk ettiğini varsayalım. O zaman rotanın herhangi bir yerinde aracın yükü, $L(v_k) = C_p(v_k) + L(1) - C_d(i_k)$. Bu eşitlikte verilen araç yükü, aracın kapasitesini aşabilir. Bu, yolun fizibil olmaması anlamına gelir çünkü araç yol üzerinde bulunan bir sonraki v_{k+1} müşterisine hizmet edemez. Bu nedenle bir rota $L(v_k) \leq C$ ve $L(v_{k+1}) > C$ ise fizibildir[2].

Aşağıda yer alan Şekil 2.7'de GDARP için şematik bir gösterim yer almaktadır.



Şekil 2.7 Geri Dönüşümlü Araç Rotalama Probleminin grafiksel görünümü (Montane ve Galvao, Basımında)

2.3.3.9 Çok Depolu Araç Rotalama Problemi

Bir işletme müşterilerine hizmet sunmada kullandığı birden çok depoya sahip olabilir. Çok Depolu Araç Rotalama Problemi (ÇDARP) müşterilerin depolara atanmasını gerektirmektedir. Her depoya bir araç filosu verilir. Her araç bir depodan başlar, o depoya atanan müşterileri ziyaret eder ve aynı depoya geri döner. ÇDARP'nin amacı seyahat mesafesini ve araç sayısını minimize etmektir. Bu problemdeki amaç fonksiyonu, toplam ticari ürün talepleri bir çok

depodan karşılanırken araç filosunu ve toplam seyahat süresini minimize etmektir. Çözüm, her rota standart ARP kısıtlarını karşıladığında ve aynı depoda başlayıp bitmesi durumunda fizibildir.

Bu ARP'nin çok depolu olması durumundaki uzantısıdır ve problemdeki noktalar $V=\{v_1, \dots, v_n\} \cup V_0$ ile gösterilir ve $V_0=\{v_{01}, \dots, v_{0d}\}$ depoları göstermektedir. $R_i=\{d, v_1, \dots, v_m, d\}$ ile $d \in V_0$ i rotası gösterilir. Rota maliyeti standart ARP'de olduğu gibi hesaplanır[2].

Gerçekte sadece tek depodan bir dağıtım sistemini yürütme ihtimali zayıf olmasına rağmen ÇDARP yayınlanmış çalışmaların azlığı sıkıntısı içerisinde. ÇDARP çözümünde yaygın olarak kullanılan teknik iki aşamalı bir yaklaşımdır, ilk olarak müşteriler kendileri için en yakın olan müşteriye atanır ve her depo için ARP çözülür (Salhi ve Sari, 1997).

Bu tür problemlerin esas zorluğuna karşın, önce grupla sonra rotala tipindeki iki aşamalı yaklaşık metodun pratik boyutlardaki problemler için ümit vericidir. ÇDARP için toplam çözüm maliyeti ilk aşamada kullanılan atama algoritmasına kuvvetli şekilde bağlıdır ve bu algoritmalar çözülecek problem örneğinin coğrafi topolojisine dayanmaktadır. ÇDARP'de müşterilere bir çok depodan biri tarafından hizmet verilmelidir. ARP'deki gibi her araç ayrıldığı depoya geri dönmelidir (Tansini, Urquhart ve Viera, 2000).

2.3.4 Yolların Durumuna Göre Araç Rotalama Problemi

2.3.4.1 Simetrik Yollu Araç Rotalama Problemi

Genellikle ARP'de bir noktadan diğerine olan gidiş dönüş mesafesi birbirine eşittir ($d_{ij} = d_{ji}$). Literatürde böyle problemler Simetrik Araç Rotalama Problemleri (SYARP) olarak belirtilmektedir (Erol, 2006).

2.3.4.2 Asimetrik Yollu Araç Rotalama Problemi

Bazı durumlarda ARP'de yer alan y ve z noktaları için y noktasından z noktasına gitmek için gerekli olan mesafe z'den y noktasına olan mesafeye eşit olamayabilir ($d_{yz} \neq d_{zy}$). Bu tip ARP'de araçların ilk olarak hangi müşteriye gideceği önem kazanmakta, bu da rotanın gidiş yönünü saptayarak rota mesafesinin hesaplanmasını belirlemektedir. Bu tip problemlere Asimetrik Yollu Araç Rotalama Problemi (AYARP) denmektedir (Erol, 2006). Tanımlanan 2.3 ve 2.4 nolu kısıtlar rotalar için yolların sürekliliğini göstermektedir.

3. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ İÇİN ÇÖZÜM YOLLARI

Araç Rotalama Problemi (ARP) 1950’li yılların sonunda ortaya atılmasıyla birlikte tam sayılı programlama ile küçük çaplı problemleri çözülmeye çalışılmıştır. ARP’de kısmen daha büyük problemin çözümü için rota kurma sezgiselleri üzerinde 1960’lı yıllarda, iki fazlı sezgisellermüzerinde ise 1970’li yıllarda çalışılmıştır. 1980’li yıllarda yaklaşık 50 müşterili problemler matematiksel programlama ile optimal olarak çözülmeye başlanmıştır. 1990’lı yıllardan günümüze kadar ise araç rotalama problemi çözümü için metasezgisellerden faydalanılmıştır ve optimum sonuçlar elde edilmektedir. ARP için sunulan çözümlere ilişkin kısa bir tarihçe aşağıdaki Çizelge 3.1’de yer almaktadır.

Çizelge 3.1 Araç rotalamanın kısa bir tarihçesi (Tanyaş, 2002)

1950’ler:	ARP tamsayılı programlama olarak formüle edilmiş ve 10-20 müşterili küçük prblemler çözülmüştür.
1960’lar:	Rota kurma sezgiselleri sunulmuş ve 30-100 müşterili problemler çözülmüştür.
1970’ler:	İki fazlı sezgiseller, interaktif (insan-makina) sezgisellergeliştirilmiş, yaklaşık 50 müşterili problemler optimal metotlarla çözülebilir hale gelmiştir.
1980’ler:	Matematiksel programlama esaslı prosedürler literatüre sunulmuştur. Etkileşimli (interaktif: insan-makina) sezgiseller geliştirilmiştir. Optimal yöntemler kullanılarak yaklaşık 50 müşteriye sahip olan bazı problemler çözülmüştür.
1990’lar:	Araç rotalama problemlerine metasezgiseller uygulanmıştır. 50 – 100 müşteriye sahip bazı problemler optimal olarak çözülmüştür.

ARP, üzerinde en çok durulan ve en çok çalışılan NP-zor birleşti eniyileme problemlerinden birisidir. Ayrıca, dağıtım (veya toplama) maliyetlerinin toplam lojistik maliyetinden büyük bir pay alması nedeniyle, ARP dağıtım yönetimi ve lojistik alanında da önemli bir rol oynamaktadır. ARP için önerilen çözüm yöntemleri, kesin ve yaklaşık algoritmalar olmak üzere iki gruba ayrılabilir (Alabaş ve Dengiz, 2004).

3.1 Kesin Yöntemler

Kesin yöntemler ile ARP için optimum sonuçlar bulunabilmektedir. Fakat büyük ölçekli problemlerin çözümlerinde çözüm zamanı çok uzun olabilmektedir. ARP çözümü için 1981 yılında kullanılan kesin çözüm yöntemi dinamik programlamadır. Dinamik programlama ile 10-25 arasında müşterili probler çözülmeye çalışılmıştır. Aynı yıl içerisinde dal ve sınır algoritması da önerilmiştir. Dal ve kesme algoritması 1985 yılında ARP’ye önerilmiştir. Göreceli olarak daha büyük ölçekli problemler için dal ve kesme düzlemi algoritmasının uygulanması ise 1994 yılındadır. 2003 yılına gelindiğinde ise branch-cut –price algoritması

ARP çözümleri için uygulanmıştır. Aşağıdaki Çizelge 3.2’de belli başlı bazı kesin çözüm yöntemlerinin ARP uygulamaları hakkında bilgi yer almaktadır.

Çizelge 3.2 Araç Rotalama Problemi için kesin çözüm yöntemleri (Laporte, 2005)

1981	Durum Aralık Gevşemesi ile Dinamik Programlama (Christofides, Mingozi, Toth; $10 \leq n \leq 25$)
	Dal ve Kesme Algoritması (k- en kısa mesafe ağacı ve q- yol) (Christofides, Mingozi, Toth; $10 \leq n \leq 25$)
1985	Dal ve Kesme Algoritması (Laporte, Nobert, Desrochers, $n \leq 60$)
1994	Dal ve Kesme Algoritması (ARP nin sınırlı versiyonu için) (Fisher, $n \leq 135$)
	Dal ve Kesme Algoritması (Ralphs vd., $n \leq 101$)
	Dal ve Kesme Algoritması (Augerat vd., $n \leq 135$)
2000	Dal ve Kesme Algoritması (Blasum ve Hochstattler, $n \leq 76$)
2002	Dal ve Kesme Algoritması (Naddif ve Rinaldi)
2003	Branch and Cut and Price (Fukasava vd.)
	Dal ve Kesme Algoritması (Wenger)
2004	İki-emptia ağ akış formülasyonu (Baldacci, Hadjiconstantinou, Mingozi, $n \leq 135$)

3.1.1 Dal ve Sınır Algoritmaları

Dal ve sınır algoritması böl ve ele geçir stratejisini kullanarak çözüm uzayını alt problemlere ayırır ve daha sonra her bir alt problemi ayrı ayrı optimize eder. Dal ve sınır yöntemini kullanarak öncelikle tüm S çözüm uzayını değerlendirilmiş olur. İlerleme ve sınırlama aşamalarında problemi esnek hale getirilir. Böylelikle S fizibil çözüm uzayında bulunmayan çözümler de kabul edilmiş olur. Bu esnek değerleri çözümlmek, optimum çözüme daha düşük bir sınır değeri getirir. Bu değer S ’in bir elemanıysa ya da s' ile eşit maliyete sahipse ($s' \in S$), problem sona ermiştir, başka bir ifadeyle yeni çözüm olan s' optimaldir. Aksi durumda S uzayında S_1, K, K, S_n olarak n adet alt küme tanımlanır. Öyleki:

$$\bigcup_{i=1}^n S_i = S \quad (3.1)$$

Bu alt kümelerin her biri bir alt problem olarak tanımlanır. Bu alt problemleri aday alt problemler listesine eklenir. Bu durum dallandırma olarak adlandırılır. Algoritmaya devam etmek için aday alt problemlerden biri seçilir ve ilerletilir [2].

Seçilen alt problemle ilgili dört muhtemel sonuç vardır (Ralphs, 2003) :

- s' ten daha iyi bir sonuç bulursak bunu s' ile değiştiririz ve devam ederiz.
- Alt problemin hiçbir sonuca ulaşamadığı ve alt problemi iptal etmemiz gereken durumlarla da karşılaşabiliriz.
- Aksi halde alt problemimizin alt sınırını üst global sınır ile karşılaştırırız. Mevcut üst sınırdan daha büyük ya da eşitse yine alt problemi iptal edebiliriz.
- Son olarak eğer alt problemi eleyemiyorsak, daha fazla dallanmaya ve bu alt probleme yeni alt problemler eklemeye zorlanırız. Alt problemlerin ortaya çıkmadığı bir noktaya gelene kadar yani optimum sonuca ulaşincaya kadar algoritmaya devam ederiz.

Keşfedilmemiş alt kümeler, başlangıçta sadece kök içeren ve klasik Dal ve Sınır Algoritmasının her iterasyonunda bir nokta işleminden geçiren dinamik oluşturulan araştırma ağacında noktalar olarak gösterilir. İterasyonun üç önemli bileşeni vardır: İşlem görecektir noktanın seçimi, sınır hesaplaması ve dallanma. Bir sonraki alt problemin seçimi alt problemlerin sınır değerine dayanıyorsa, nokta seçiminden sonra iterasyonun ilk işlemi dallanmadır yani çözüm uzayının müteakip iterasyonda işlem görmek için iki veya daha fazla alt uzaylara ayrılmasıdır. Her alt küme için içlerinden en iyisini korumak için mevcut en iyi ile kıyaslanan tek bir çözüm olup olmadığı kontrol edilir. Diğer türlü alt küme için sınır fonksiyonu hesaplanır ve mevcut en iyi çözümle kıyas edilir. Optimal çözümü olmayan alt küme elenir, diğerleri sınırlarıyla birlikte noktalar havuzunda saklanır. Noktalar erişilir olmaz sınırlar hesaplandığından beri nokta değerlendirmesi için olan bu duruma “hevesli strateji” ismi verilmektedir. Alternatif strateji ise seçilen noktanın sınırının hesaplanmasıyla başlar ve sonra eğer gerekliyse nokta üzerinde dallanmaya gidilir. Bu strateji “tembel strateji” olarak adlandırılır. Aşağıda yer alan Şekil 3.1 de Dal ve Sınır Algoritmasının ve araştırma ağacının şekillendirilmiş anlatımı görülmektedir (Clausen, 1999).



Şekil 3.1 Çözüm uzayı ve araştırma ağacındaki gösterimi (Clausen, 1999)



Şekil 3.2 Çözüm uzayının alt kümelerine ayrılması ve araştırma ağacında gösterimi (Clausen, 1999)



Şekil 3.3 Çözüm alt uzaylarının değerlendirilmesi ve yeni alt çözümlere ulaşılması (Clausen, 1999)

3.1.2 Dal ve Kesme Algoritmaları

Dal ve kesme algoritması dal ve sınır algoritmasının ve kesme düzlemi algoritmasının melez bir algoritmasıdır. Bu metot tam sayı kısıtı olmayan lineer programı düzenli simpleks algoritma kullanarak çözer. Optimum bir çözüm elde edildiğinde ve bu çözüm tam sayı varsayılan bir değişken için tam sayı olamayan değer içerdiğinde, tüm fizibil tamsayı noktalar tarafından tatmin edilen ama mevcut kesirli çözüm tarafından bozulan daha ilerdeki lineer kısıtları bulmak için kesme düzlemi algoritması kullanılır. Eğer böyle bir eşitsizlik bulunursa, bu lineer programa eklenir öyleki “daha az kesirli” farklı bir sonuç verebilir. Bu proses tam sayılı çözüm bulunana veya artık kesme düzlemi bulunmayana kadar tekrar eder [5].

3.1.3 Kesme Düzlemi Algoritması

Doğrusal Programlama problemlerinin tamsayılıçözümlerini sağlayacak hesaplama yöntemi 1959 yılında R.E. Gomory tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem tüm(saf) tamsayılı programlamayı ve karışık tamsayılı programlamayı içermektedir. Bu yöntemde takip edilecek aşamalar şunlardır:

- İlk aşama, eğer gerekli ise, orijinal sınırlamaları tamsayılaştırmadır. Bu, katsayılar tam olsun diye, tüm sınırların değiştirilmesi anlamına gelir.

- Kesme düzlemi probleminin optimal çözüm tablosu bulunur. Eğer optimal çözüm değerleri tamsayı ise, çözüm elde edilmiştir. Yoksa sonraki aşamaya geçilir.
- Bu aşamada kesme bulunur. Bu amaçla optimal çözüm tablosundan tamsayı olmayan değişkenlerin biri seçilir ve yeni bir kısıtlama elde edilir (Çevik, 2006).

3.1.4 Sütun Üretme Algoritması

Sütun üretme geniş ölçekli lineer programlama problemlerinin çözümü için bir tekniktir. Sütun üretme tekniği kullanılırken, çözülen modeldeki tüm değişkenler açıkça kullanılmaz sadece bir altkümedekiler kullanılır. Simpleks algoritmanın özellikleri kullanılarak gerekli olduğunda değişkenler dinamik olarak oluşturulur. Simpleks algoritma lineer programlamaya muhakkak optimal olmayan fizibil çözüm anlamına gelen temel bir fizibil çözüm sürdürür. Simpleks algoritmanın her iterasyonunda temel giriş için yeni bir sütun seçilir. Tipik yaklaşım en az indirimli maliyet olan sütunu seçmektir. Eğer böyle bir sütun bulunamazsa simpleks algoritması çözüme erişmiştir (Ropke, 2005).

3.1.5 Dal ve Değer Algoritması

Dal ve değer paradigması iki kavram üzerine dayanmaktadır. Birinci kavram orjinal veya yoğun formülasyonu çok sütun ama tipik olarak orjinal formülasyondan daha az satır içeren bir modele dönüştüren “ayırışma”dır. İkinci kavram ise sütun üretmedir. Dal ve sınır çerçevesi içinde daha alt sınır dinamik sütun üretme ile çözüldüğünde sonuç veren dal ve sınır algoritması dal ve değer algoritması olarak adlandırılır. Sütun üretme tabanlı lineer programlama relaksasyonunun en üstüne dal ve sınır araştırması eklemek çok açık görünür ama bu yaklaşımın bazı gizli tehlikeleri mevcuttur. Bu tehlikelere bir örnek dallanırken değer probleminin yapısı değiştirilmeden nasıl alt problemler oluşturulacağıdır (Ropke, 2005).

3.1.6 Dinamik Programlama

Dinamik programlama, bir dizi karar verme işlemini optimize eden bir matematik işlemleri bütünüdür. Temelde, dinamik programlama, problem çözümüne, problemin veya problemin bir kısmının parçalara bölünmesi ve bu parçaların çözülerek, bu çözümlerin depolanması şeklinde bir problem çözüm yaklaşımı sunmaktadır. Bu çözümler, ihtiyaç duyulduğunda, yeniden çözmek yerine, yeniden canlandırılmak suretiyle problemin genel çözümüne eklenerek, nihai çözüme ulaşılmaktadır. Dinamik programlama, çok aşamalı karar verme problemlerinde optimal bir silsileye karar vermede kullanılabilir. Dinamik programlama, özellikle karâr aşamasının zaman periyodunda silsile halinde olan problemlere çok uygundur. Periyotlar birbirine öyle bir bağla bağlıdır ki bir zaman döneminde alınan kararlar sonraki

karar verme aşamalarını etkilemektedir. Problem, alt problemlere bölünür ve her bir alt problem için optimal bir çözüm bulunur, n sayıda karar verme aşamalarına sahip bir problem, n sayıda ve her biri tek bir karar değişkenine sahip, problemlere bölünür. Hesaplama süresi, bir problem içindeki değişkenler sayısınca eksponensiyel olarak büyürken, alt problemler sayısınca doğrusal olarak büyür. Bir problemin tümü sistem ve alt problemler de basamak olarak düşünülebilir. Dinamik programlamada basamaklar, genellikle, bir zaman aralığını temsil eder. Bir sistemin her bir basamağında, problemin çözüm şanlarına karşılık gelen birden fazla durum vardır. Durumlar, tamamlanmamış çözümleri karakterize eder. Karar verici, her bir basamakta, o basamak için en iyi sonucu veren karar vermelidir. Bir karar, sistemi bir durumdan diğerine taşır. Bir sistemi bir durumdan diğerine taşıyan her bir aşamaya basamak denir. Dinamik programlama genellikle geriye doğru, yani son durumdan ilk duruma doğru, bir işlemler silsilesi şeklinde uygulanır. Bu geriye doğru endükleme tekniği, son durumdan, bir önceki basamağın durumlarına doğru yapılır (Çetin, 2005). Araç rotalama problemleri için dinamik programlama konusunda ise 1971 yılında Elion ve arkadaşları çalışmada bulunmuştur (Alabaş ve Dengiz, 2004).

3.2 Sezgisel Yöntemler

Algoritma mekanik davranan kişiye ve makineye bir takım verilerden yola çıkarak ve sonlu sayıda aşamalardan geçerek belli bir problemi çözme imkanı veren, çok kesin komutlar bütününde oluşmaktadır. Bir algoritmanın çalışmasındaki mutlak zorunluluk, her türlü belirsizlikten arınmış olmasıdır. Bir algoritmanın yürütülmesi, her biri komutla belirlenen bir etkiler dizisi oluşturur ve bir dizi önceki komutun yürütülmesinin sona ermesiyle birlikte yürütülmeye başlar. Algoritmanın temel yapısı olan, zaman içerisindeki bu sıralılık, emredici programlamada temel bir varsayımdır. Genel olarak algoritmaların aşağıdaki özellikleri ele alınmaktadır: (Nabiyev, 2003)

- Genellik,
- Kesin sıralılık,
- Sırayı belirleyen kumanda yapısı,
- Sonluluk ve neticelik.

Algoritma belirli bir işin veya problemin sonucunu elde etmek için art arda uygulanacak adımları ve koşulları kesin olarak ortaya koyar. Buradan da anlaşılacağı gibi algoritma genel olarak tek bir işin kotarılması üzerine yoğunlaşmıştır. Örneğin bir kümenin elemanlarını

sıralama, bir graf üzerinde en kısa yolun bulunması, bir matrisin determinantının alınması gibi algoritmalar tek bir amaca yöneliktir (Erol, 2006).

Feigenbaum ve Fieldman'a göre sezgisellik, problemin durum uzayı çok büyük olduğunda çözümün aranmasını kesin bir biçimde sınırlayan kural, strateji, hile ve diğer etmenlerin kullanımıdır. Dolayısıyla sezgisellik problem karmaşıklık içerdiğinde çözüm için yolun bulunmasındaki yardımcı anahtardır. Ancak bir problem için geçersiz olan sezgisel yaklaşım diğeri için başarılı sonuçlar verebilir. Sezgisel yaklaşım, algoritmik yöntemlerden farklı olarak hedefe ulaşmanın kesin yolunu göstermektedir. Söz konusu zayıflık sezgisel yöntemlerle değil, problem alanının kendisi ile ilgilidir. Diğer bir problem ise doğrudan algoritmaların sezgiselliği ile ilgilidir. Sezgisel yaklaşımların temel adımları aşağıdaki gibidir: (Nabiyev, 2003)

- Mümkün olabilecek durumların içinde herhangi birinin ele alınması
- Ele alınmış duruma mümkün gidişler uygulayarak durumun değiştirilmesi
- Durumun değerlendirilmesi
- Gereksiz durumların atılması
- Eğer sonuca ulaşılmışsa çözümün tamamlanması, aksi halde yeni değerler ele alınarak işlemlerin tekrarlanması.

Problem için geliştirilmiş bir sezgisel algoritma, aşağıdaki faktörler göz önüne alınarak değerlendirilebilmektedir: (Erol, 2006)

Çözüm Kalitesi ve Hesaplama Zamanı: Çözüm kalitesi ve hesaplama zamanı bir algoritmanın etkinliğinin değerlendirilmesi için önmeli kriterlerdir. Bundan dolayı bir algoritma ayarlanabilir parametreler setine sahip olmalı ve bu parametreler kullanıcıya etkinlik açısından hesaplama maliyeti ile çözüm kalitesi arasında bir vurgulamanın yapılabilmesine imkan vermelidir. Diğer bir deyişle çözüm kalitesi ile hesap zamanı arasındaki ilişki kontrol edilebilmelidir.

Algoritma Basitliği ve Gerçeklenebilirlik: Algoritma prensipleri basit olmalı ve genel olarak uygulanabilir olmalıdır. Bu durum problem yapısı ile ilgili başlangıçta çok az bilgiye sahip olunması halinde bile algoritmanın yeni alanlara kolaylıkla uygulanabilmesini sağlar.

Esneklik: Algoritmalar modelde, sınırlamalarda ve amaç fonksiyonlarında yapılacak değişiklikleri kolayca karşılayabilmelidir.

Dinçlik: Yöntem başlangıç çözümünün seçimine sahip olmaksızın her zaman yüksek kaliteli, kabul edilebilir çözümleri üretebilme Kabiliyetine sahip olmalıdır.

Basitlik ve Analiz Edilebilirlik: Karmaşık algoritmalar, esneklik ve çözüm kalitesi açısından basit algoritmalarından daha zor analiz edilebilmektedir. Algoritma kolayca analiz edilebilir olmalıdır.

Laporte ve Semet 2002 yılında ARP için sezgisel yaklaşımlara farklı bir sınıflandırma önermişlerdir. Sezgiselleri Klasik Sezgiseller ve Metasezgiseller olmak üzere iki ana gruba ayırmışlardır (Ropke, 2005). Klasik sezgiseller çoğunlukla 1960-1990 yılları arasında geliştirilmiştir ve metasezgiseller daha çok son 20 yıl içerisinde gelişme göstermektedir. Yapısal ve iyileştirme sezgiseller çözüm uzayında kısmi sınırlı araştırma alanında gerçekleştirirler ve genellikle az bir miktar hesaplama zamanı içinde iyi kalitede sonuçlar üretirler. Dahası, bu sezgisellerden bir çoğunun uzantıları gerçek dünya durumunda karşılaşılabilen kısıt çeşitliliğinin hesaplanması için kullanılabilir. Buyüzden ticari paketlerde hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Metasezgisellerde vurgu, çözüm uzayının umut verici bölgelerinde derin araştırmalar gerçekleştirebilmesindedir. Bu metotlar genellikle sofistike komşuluk araştırma kurallarını, hafıza yapılarını ve çözümün yeniden birleştirilmesini birleştirir. Bu metotlar kullanılarak elde edilen çözüm kalitesi klasik sezisellerle elde edilenlerden sıklıkla daha yüksektir ama hesaplama zamanı için ödenen değer artmaktadır. Dahası, prosedürler duruma bağımlıdır ve iyi ayarlanmış parametreye ihtiyaç duyarlar bu da diğer durumlara uyumu zorlaştırır (Laporte ve diğerleri, 2000; Laporte ve Semet, 1999).

3.2.1 Klasik Sezgisel Algoritmalar

Klasik ARP sezgiselleri belli üç grup içinde sınıflandırılırlar (Laporte ve Semet, 1999):

Yapısal Sezgiseller: aşamalı olarak bir fizibil çözüm inşa ederler ve bu esnada çözüm maliyetini gözetler ama kendi başına bir iyileştirme aşaması içermez.

İyileştirme Sezgiselleri: Bu sezgiseller araç rotaları arasında veya içinde bir sıra tepe noktası veya kenar değişimleri gerçekleştirerek herhangi bir fizibil çözüm yükseltme eğilimi içerisindedir.

İki aşamalı Sezgiseller: Problem iki doğal bileşene ayrıştırılır; köşelerin fizibil rotalar içine kümelenmesi ve gerçek rota yapılması (bu iki aşama arasında muhtemel geri besleme döngüsü ile birlikte).

3.2.1.1 Yapısal Sezgisel (Tur Kurucu) Algoritmalar

Laporte ve Semet 2002 yılında yapısal sezgisellerin tanımını şöyle yapmışlardır: Yapısal sezgiseller aşamalı olarak bir fizibil çözüm inşa ederler ve bu esnada çözüm maliyetini gözetler ama kendi başına bir iyileştirme aşaması içermezler. Son 40 yıl boyunca ARP için bir

çok yapısal sezgisel önerilmiştir. Tasarruf ve yerleştirme sezgiselleri yapısal sezgisellerdendir (Ropke, 2005). ARP çözümlerinin yapılmasında iki ana teknik vardır: bir tasarruf kriteri kullanarak var olan rotaları birleştirmek ve bir yerleştirme kullanarak köşeleri araç rotalarına adım adım atamaktır (Laporte ve Semet, 1999).

3.2.1.1.1 Tasarruf Algoritması

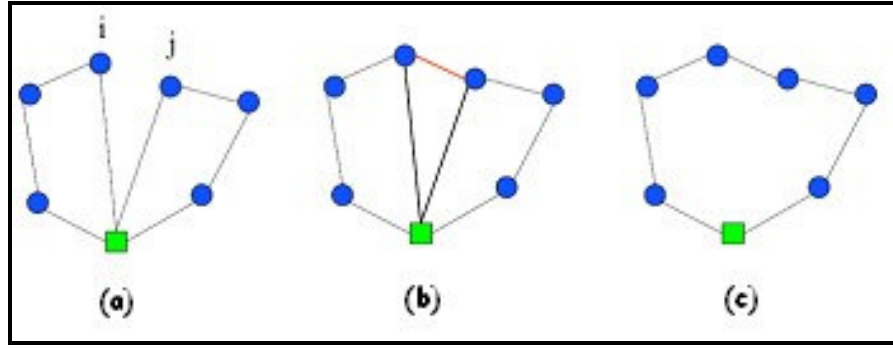
Clark ve Wright Algoritması en çok bilinen ARP sezgisellerden biridir. 1964'te Clark ve Wright tarafından geliştirilmiştir ve araç sayısının (bu bir karar değişkenidir) belirli olmadığı problemlere uygulanır ve hem yönlendirilmiş hem de yönlendirilmemiş problemler için eşit derecede iyi sonuçlar verir [2]. Tasarruf (kazanç) sezgiseli ilk olarak her müşterinin kendi rotasında hizmet aldığı bir çözüm inşa eder. Daha sonra rotalar birer birer bazı kriterlere göre birleştirilir. Tasarruf algoritmaları rota birleştirmek için kullanılan kriterlere (rota birleştirilmesiyle elde edilen kazanç nedir) göre ve rotaların nasıl birleştirildiğine göre çeşitlenir (Ropke, 2005).

Metodun mantığı tüm varış noktalarına hizmet veren ve tekrar orijin noktasına geri dönen hayali bir araç ile başlar. Daha sonra iki tane varış noktası aynı rota üzerinde birleştirilir. Böylece bir araç elimine edilmiş ve orijinden bir noktaya, diğer noktadan orijine seyahat mesafesi eksilmiştir. Ancak iki nokta arasında bir seyahat mesafesi ilave edilmiştir. Bir rota üzerinde hangi noktaların birleştirileceğini belirlemek için mesafeler birleşme öncesi ve sonrası hesaplanır. İki noktanın (i ve j) birleştirilmesi sonucu oluşan kazanç ise

$$s_{ij} = d_{(0,i)} + d_{(j,0)} - d_{(i,j)} \quad (3.2)$$

şeklinde hesaplanır. Bu hesaplama işlemi ikili tüm noktalar için uygulanır. En büyük kazanç değerini veren nokta çiftleri birleştirilmek için seçilir. Bu metodunun amacı tüm araçların almış olduğu toplam seyahat mesafesini minimize etmek yada servis için gerekli olacak araç sayılarını azaltmaktır (Karahana, 2003).

Şekil 3.4'de Tasarruf algoritmasının uygulanışı şematik olarak görülmektedir.



Şekil 3.4 Tasarruf sezgiselinin uygulanması (Savelsbergh, 2003)

Algoritma paralel ve sıralı versiyonlarına göre şu şekilde çalışmaktadır (Laporte ve diğerleri, 2000).

Paralel Versiyon

1.Adım: (Tasarrufların hesaplanması) Tasarruflar hesaplanır. $s_{ij} = d_{i0} + d_{0j} - d_{ij}$; $i, j = 1, K, K, n$ ve $i \neq j$. $(0, i, 0)$, $i = 1, K, K, K, n$ için n araç rotası oluşturulur. Araç rotaları artış göstermeyecek şekilde (büyükten küçüğe doğru) sıralanır.

2.Adım: (En uygun birleşme) Oluşturulan tasarruf listesinin en üst noktasından başlanılarak devam edilir. $(0, j)$ ile başlayan ve $(i, 0)$ ile biten, fizibil bir şekilde birleşebilecek s_{ij} tasarrufu veren iki rotanın olup olmadığı belirlenir. Eğer varsa $(0, j)$ ve $(i, 0)$ silinip (i, j) oluşturularak bu iki rota birleştirilir.

Sıralı Versiyon

1.Adım: (Tasarrufların hesaplanması) Tasarruflar hesaplanır. $s_{ij} = d_{i0} + d_{0j} - d_{ij}$; $i, j = 1, K, K, n$ ve $i \neq j$. $(0, i, 0)$, $i = 1, K, K, K, n$ için n araç rotası oluşturulur. Araç rotaları artış göstermeyecek şekilde (büyükten küçüğe doğru) sıralanır.

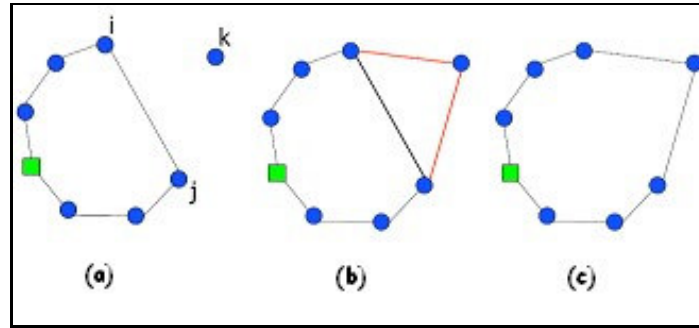
2. Adım : (Rota uzantısı) Sırasıyla her $(0, i, \dots, j, 0)$ rotası göz önüne alınır. Mevcut rotayı başka bir $(k, 0)$ ile biten veya $(0, l)$ ile başlayan rotayla birleştirmek için kullanılan s_{ki} veya s_{jl} tasarruf değerleri hesaplanır. Birleşme gerçekleştirilir ve bu operasyon mevcut rotaya uygulanır. Eğer hiç fizibil birleşme yoksa bir sonraki rota göz önüne alınır ve aynı işlemler uygulanır. Hiç rota birleşmesi fizibil olmadığında işlem tamamlanır.

Tasarruf algoritmasının bir çok varyansları ve iyileştirilmiş halleri önerilmiştir ve heterojen zaman pencereli ARP, tam araç yüklü müşteri tipi farklı ARP ve kapasite kısıtlı ARP gibi değişik araç rotalama problemlerine uygulanmıştır (Ropke, 2005).

3.2.1.1.2 Yerleştirme Algoritması

Yerleştirme sezgiselleri her periyotta bir müşteri yerleştirerek çözüm inşa eder. Yerleştirme sezgisel her periyotta bir rota oluşturabilir (ardışık yerleştirme sezgiseli) veya paralel olarak bir çok veya bütün rotaları oluşturabilir (paralel ekleme sezgiseli). Hangi müşterinin yerleştirileceği ve müşterinin nereye ekleneceği yerleştirme sezgisellerindeki farklılıkları oluşturur. Çok basit bir yerleştirme sezgiseli toplam maliyeti en az etkileyen müşterinin eklenmesinin seçilmesidir (Ropke, 2005).

Yerleştirme prosedürü k noktasından oluşan bir altturu ele alır ve henüz altturla yer almayan hangi noktanın alttura eklenmesini belirlemeye çalışmaktadır (seçim basamağı) ve altturla nereye eklenmesi gerektiğinin (yerleştirme basamağı) belirlenmesidir (Marinakakis, 2001).



Şekil 3.5 Yerleştirme sezgiselinin uygulanması (Savelsbergh, 2003)

3.2.1.1.3 En Yakın Komşu Yöntemi

En yakın komşu sezgiselinde her iterasyonda gidilecek noktayı seçerken bulunulan noktaya en yakın noktanın seçilmesinden oluşur. Algoritma bütün noktalar ziyaret edilene kadar devam eder ve bütün noktalar ziyaret edildikten sonra tekrar başlangıç noktasına döner. Bu sezgisel TSP’de yaygın olarak kullanılan bir metottur. Satıcı bir şehirden başlar ve başlangıç şehrine en yakın olan şehri ziyaret eder. Ziyaret edilecek şehir kalmadığında satıcı başlangıç şehrine geri döner. Bu metodun basamakları şu şekildedir (Marikanis, 2001):

1. Adım: Herhangi bir nokta ile başla.

2.Adım: Henüz rotada olmayan ve en son eklenen noktaya en yakın olan noktaya git.

3.Adım: 2. adımı bütün noktalar rotaya dahil olana kadar tekrarla. Daha sonra rotanın ilk ve son noktalarını birleştir.

TSP için yaygın olarak kullanılan bu sezgisel ARP çözümü için de uygulanmaktadır. TSP de satıcı yerine ARP de araç rota oluşturmak için yola çıkar ve TSP de başlangıç şehri ARP de depodur ve araç rota oluşturmaya burdan başlar ve tüm müşteriler ziyaret edildikten sonra araç tekrar depoya döner.

3.2.1.1.4 En Kısa Yol Yöntemi

En kısa yol yöntemi sadece bir dağıtım noktasının ve bir varış noktasının olduğu şebekelerde rotalama işlemi yapmak için kullanılmaktadır. Bu yöntemde bağlantılar ve düğümlerle temsil edilen bir şebeke bulunmaktadır. Şebeke içerisinde bulunan düğümler bağlantılar vasıtasıyla birbirine birleştirilir. Bu bağlantılar maliyet, zaman, mesafe yada bunların bir karışımı olarak ifade edilebilir. Bu yöntemin çözümü orjin noktasında başlar ve şu şekilde devam eder (Karahana, 2003).

n. iterasyonun amacı: Orjine en yakın olan düğüm belirlenir. Belirlenen bu düğüm gidilecek yer oluncaya kadar $n=1, 2, 3, \dots$ için tekrarlanır.

n. iterasyonun girişi: Orjine en yakın düğümleri (n-1) düğümleri bir önceki iterasyonda çözülür. Orjine eklenen bu düğümler çözülmüş düğümler, eklenmemiş olanlar da çözülmemiş düğümler olarak adlandırılır.

n. en yakın düğüm için aday: Çözüme katılmamış her noktanın yolu her iterasyon için bir adaydır.

n. en yakın noktanın hesaplanması: Her çözülmüş düğüm ve onun adayları için orjin noktasından bu çözülmüş düğümlere en kısa yol mesafesi hesaplanır.

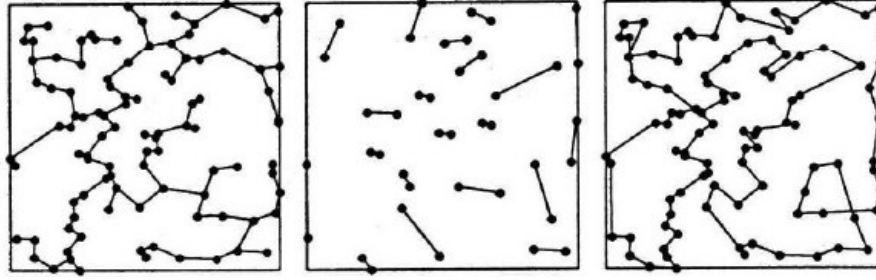
3.2.1.1.5 Christodes Algoritması

Christodes kapsayan ağaçları Euler grafiğine dönüştüren bir metot önermişlerdir. Bunun için, ağacın tek dereceli düğümlere kusursuz eşleme eklemek önemlidir. Kusursuz eşleme kenarları eklendikten sonra bütün düğümlerin deeceleri çift ve buyüzden bu grafik Euler grafiği olur. Bundan sonraki çözüm prosedür şu basamaklar üzerinedayandırılır (Marinakis, 2001):

1. Adım: Verilen G grafiğinde bir tane minimal kapsayan ağaç T_r bul.

2. Adım: T_r ağacındaki tüm tek dereceli düğümleri belirle. Orjinal maliyet matrisi kullanarak tüm tek dereceli düğümlere minimum kusursuz eşleme çöz. Euler döngüsü elde etmek için kapsayan ağaç T_r 'nin kenarlarına eşleme kenarlarını ekle. Bu alt grafikte her düğüm bazı düğümlerin derecesi 2 den daha fazla olmasına rağmen çifttir.

3. Adım: Derecesi 2 den büyük olan düğümler üstünden çokgenleri çıkar ve Euler döngüsünü Hamilton döngüsüne dönüştür. Hesaplama süresinin çoğunu minimum eşleme altyordamı kullanır ve bu sezgisel bir $O(n^3)$ dür. Ama tek dereceli nokta sayısı n den oldukça daha az olabilir (Marinakis, 2001).



Şekil 3.6 Christodes Algoritmasının uygulanışı (Gambardella, 2000)

3.2.1.2 İyileştirme (Tur Geliştirici) Sezgisel Algoritmalar

Bu sezgiseller araç rotaları arasında veya içinde bir sıra tepe noktası veya kenar değişimleri gerçekleştirerek herhangi bir fizibil çözüm yükseltme eğilimi içerisindedir (Laporte ve Semet, 1999). İyileştirme algoritmaları isteğe göre (keyfi) seçilmiş bir çözümle başlar ve başka iyileştirmenin mümkün olmadığı bir yerel minimumda biter. Araç rotalama problemleri için en iyi bilinen iyileştirme algoritmaları kenar değişim sezgiselleridir (Marinakis, 2001).

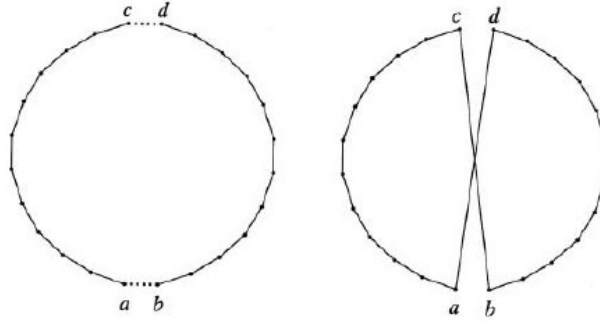
3.2.1.2.1 Tek Rota İyileştirmeli Sezgisel Algoritmalar

İçinde yer alan tek bir rotanın iyileştirilmesi amacı ile kullanılan ve 1965 yılında Lin tarafından Gezgin Satıcı Problemi için geliştirilen λ -opt literatürde en fazla kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde λ adet doğru (bir rotadan çıkarılarak)mümkün olan permütasyonlarda rotanın çeşitli noktalarına eklenmektedir. Mevcut çözümden daha iyi çözüm bulunması halinde yöntem bu yeni rotayı çıktı olarak vermektedir. λ -opt yöntemi genellikle birbiri ile kesişmeyen doğruların bulunduğu bir rota oluşturulmaya çalışılır. λ -opt yönteminin bazı versiyonlarında başlangıç rotasından daha iyi sonucun elde edildiği durumda çözüm saklanarak algortmadan çıkılmayıp, arama süreci devam ettirilmektedir. Genel olarak bir ARP'de λ -opt algoritması $O(n^\lambda)$ sürede sonuç bulması beklenmektedir. λ -opt yöntemi üzerinde değişiklikler yapılarak örneğin ard arda gelen belli sayıda nokta yer değiştirilerek bu süre kısaltılabilmektedir (Laporte ve diğerleri, 2000).

İyileştirme adımları yazılım dilinde “opt” adındaki bir fonksiyon içine kodlanıldığı için 3-opt algoritması $\text{opt}(\text{opt}(\text{rota}))$ ile, 4-opt algoritması ise $\text{opt}(\text{opt}(\text{opt}(\text{rota})))$ ile tekrarlamalı bir şekilde elde edilebilir (Erol, 2006). Bu algoritmaların değişik biçimleri geliştirilmiştir.

2-opt

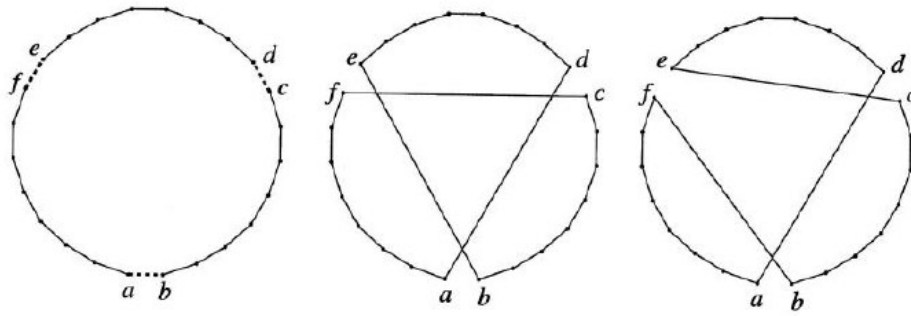
Bir 2-opt procedürü iki kenarın elimine edilmesini ve yeni bir tur elde etmek için sonuçta oluşan iki rotayı tekrar bağlamaktan oluşmaktadır. Patikaları tekrar bağlamanın sadece bir yolu vardır (Marinakis, 2001).



Şekil 3.7 2-opt algoritmasının uygulanışı (Gambardella, 2000)

3-opt

3-opt sezgiseli 2-opt sezgiseline çok benzemektedir ama 3-opt sezgiseli daha geniş bir komşuluk kullandığından dolayı mevcut turu modifiye etmede daha esneklik sunar. Tur iki yerine üç parçaya ayrılır. Bir tur oluşturmak için kalan oluşan üç patikayı birleştirmek için 8 durum vardır (Marinakis, 2001).



Şekil 3.8 3-opt sezgiselinin uygulanması (Gambardella, 2000)

Lin- Kerningham

Bu algoritma Lin ve Kernighan (1973) tarafından geliştirildi ve yıllarca TSP için en iyi sezgisel olarak değerlendirildi. Bu algoritma her iterasyonda dinamik olarak değiştireceği kenar sayısına karar vermektedir (Marinakis, 2001).

Or-opt

Bu prosedür 1976 yılında Or tarafından önerilmiştir ve bilinen en iyi düğüm değişim sezgiselidir. Bu algoritma üçe kadar komşu düğümlerden oluşan ardışık dizini kaldırır ve bunu aynı rota içinde başka yere ekler. Or-opt sezgiseli üç kenarın çıkarılıp diğer üç kenar tarafından yerine konulan 3-opt sezgiselinin özel bir durumu gibi düşünülebilir. Or-opt prosedüründe ardışık düğümler zinciri çıkarıldığında iki kenar silinir ve üçüncü kenar zinciri rotaya tekrar eklerken elimine edilir. Ama muhtemel Or-opt değişimlerinin sayısı muhtemel 3-opt değişimlerinin sayısından azdır. Or-opt prosedürü 3-opt ile üretilen sonuçlarla karşılaştırılabilir kalitede çözümleri geliştirmiştir ve bunun için önemli miktarda daha az işlem zamanı gerektirmiştir (Marinakos, 2001).

Literatürde ARP, TSP ve LRP gibi rotalama problemleri için geliştirilen sezgisel ve metasezgisel yöntemlerde sıkça kullanılan λ -opt algoritması, sürecin ilk aşamalarında elde edilen çözüm %60, son iterasyonlarda ise bu oran giderecek düşerek %2 civarında iyileştirmeler yapmaktadır (Laporte ve diğerleri, 2000).

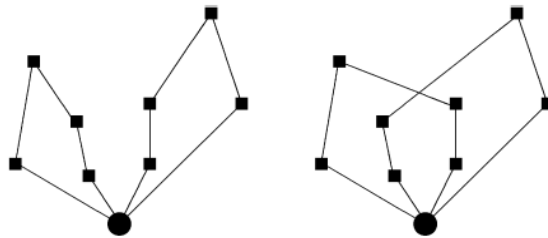
3.2.1.2.2 Çok Rotalı İyileştirmeli Algoritmalar

İyileştirme algoritmaları fizibil olan bir çözümü kenar ve düğümleri araç rotası içinde veya araç rotaları arasında birbirleri ile değiştirerek fizibil bir çözümün aranmasıdır. ARP için çok rotalı iyileştirme sezgiselleri çok rotanın bulunduğu problemlerde kullanılırken her bir rotada aynı anda işlem yaparlar [2]

3.2.1.2.3 Van Breedam Sezgiseli

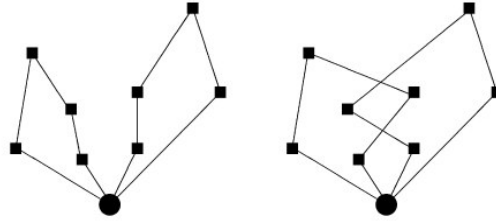
Burada ilgilenilen 4 operasyon vardır. Bunlar Zincir Çaprazlama (SC), Zincir Değiş-tokuşu (SE), Zincir Yerdeğiştirme (SR) ve Zincir Bağdaştırma (SM).

Zincir Çaprazlama (SC): İki farklı rotanın iki kenarını çaprazlayarak değişen iki zincir arasındaki harekettir. Şekil 3.9 da bir örneği görülmektedir (Van Breedam, 2001).



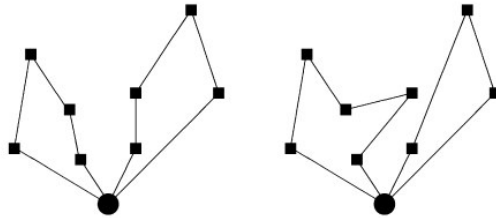
Şekil 3.9 Zincir Çaprazlama örneği (Van Breedam, 2001)

Zincir Değiş-tokuşu (SE): İki rota arasında durakların iki zincirinin değiş-tokuşuyla bir komşuluk çözümü üreten harekettir. Sembolik olarak, her iki rotada değişen zincirlerin uzunluğunu gösteren tamsayılar x_1 ve x_2 temsil edilen (x_1, x_2) olarak gösterilir. Eğer K zincirlerin maksimum uzunluğunu gösterecek, $1 \leq x_1 \leq K$ ve $1 \leq x_2 \leq K$ kısıtı karşılanmalıdır. x_1 ve x_2 zincirlerinin uzunlukları ister istemez eşit olmaz. Şekil 3.10 da bu operasyon gösterilmektedir (Van Breedam, 2001).



Şekil 3.10 Zincir değiş-tokuşu örneği (Van Breedam, 2001)

Zincir Yerdeğiştirme (SR): Bir rotadan diğerine bir zincirin hareketi bu şekilde tanımlanır. Sembolik olarak gösterimi ise $(x, 0)$ veya $(0, x)$ şeklindedir. Maksimum zincir uzunluğunu gösteren K parametresi yer değiştirecek durakların maksimum sayısını kısıtlamaktadır. Şekil 3.11 bu operasyonu göstermektedir.



Şekil 3.11 Zincir yerdeğiştirme operasyonu (Van Breedam, 2001)

Zincir Bağdaştırma (SM): Zincir değiş-tokuşu ve zincir yerdeğiştirme operasyonlarının bir karışımıdır. Bu operasyon uygulama esnasında zincir değiş-tokuşu veya zincir yerdeğiştirmeden en iyisini seçer (Van Breedam, 2001).

Bu hareketleri değerlendirmek için Van Breedam iki lokal iyileştirme stratejisi sunar: 1. İlk İyileştirme (FI): Amaç fonksiyonunu iyileştiren ilk hareketin implementasyonunu içerir. 2. En

İyi İyileştirme (BI): Olabilecek tüm hareketleri inceler, en iyi olanı seçer. Van Breedam bundan sonra lokal iyileştirme prosedürünü etkileyen bir parametreler kümesi tanımlar.

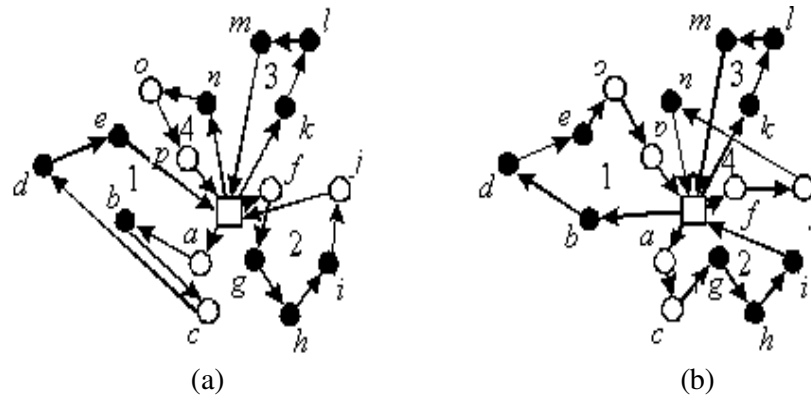
- Başlangıç çözümü (zayıf, iyi).
- SR, SM, SE hareket tipleri için ($k=1$ ya da 2), (k) zincir uzunluğu
- Seçim stratejisi (FI, BI).
- $K > 1$ olan bir string uzunluğu için değerlendirme prosedürü. (Bir çift rota arasındaki tüm mümkün string uzunluklarını değerlendir, Değerlendirme süreci tamamlandıktan sonra herhangi bir iyileştirme kararını vermeden k 'nın değerini arttır (Laporte ve diğerleri, 2000).

Van Breedam yaptığı çalışmalarda SE operasyonu içeren yerel iyileştirme sezgiseli bilinen en iyi sonuca göre %2,2lik üzerinde sonuçlar verdi, SC operasyonu ile kıyaslandığında %4,7 daha iyi sonuç verdi ama SC operasyonunun işlem zamanından dört kat daha fazladır (Laporte ve Semet, 1999).

3.2.1.2.4 Thomson ve Psaraftis Sezgiseli

Thomson ve Psaraftis (1993) yılında döngüsel permütasyonun bir sonraki rotasına değiştirilen her rotadan k müşteri ve b rotanın dairesel permütasyonu içindeki genel bir (b -periyodik, k -transfer) düzeni tanımlar (Laporte ve diğerleri, 2000).

Thomson ve Psaraftis; her j ve sabit tamsayı k için k taleplerinin I^j rotasından I^{δ_j} rotasına transferini içeren dairesel k -transferleri konseptine dayanan bir metot önermişlerdir. $\{I^r\}$ rotalar kümesi ($r=1, \dots, m$), fizibil bir çözüm oluşturur ve $\delta, \{r=1, \dots, m\}$ alt kümesinin dairesel bir permütasyonudur. Özellikle δ sabit bir kardinal olan C 'ye sahipse, C -dairese k -transferine ulaşırız. k kukla taleplerine her rotada izin vererek, talep transferleri rotaların dairesel permütasyonlarından çok permütasyonlar arasında oluşur. Aşağıdaki şekilde 3-dairesel 2-transfer operatörü görülmektedir [2].



Şekil 3.12 Döngüsel transfer operatörü [2]

3.2.1.2.5 Kinderwater ve Savelsbergh Sezgiseli

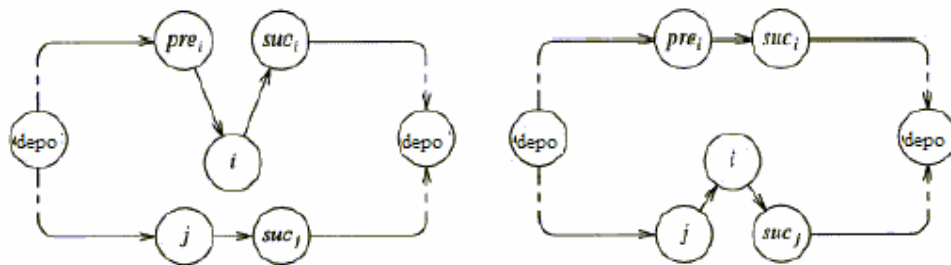
Kinderwater ve Savelsbergh sezgisel yönteminde turlar izole olarak düşünülmez. Yollar ve müşteriler farklı turlar arasında değiştirilebilir (Gambardella, 2000). Bu değişikliği yapan operasyonlar; [1]

Müşteri Kaydırma: Bir rotada bulunan bir müşteri diğer bir rotaya kaydırılmasıdır.

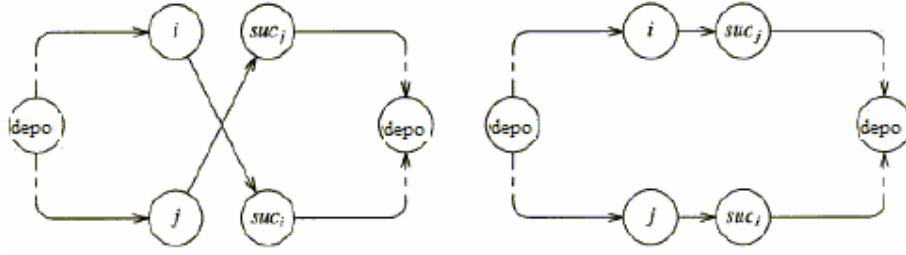
Çaprazlama: İki rota bir noktada kesiştirilmesidir.

Müşteri değiş-tokuşu: İki farklı rotada bulunan iki müşteri birbiri ile yer değiştirilmesidir.

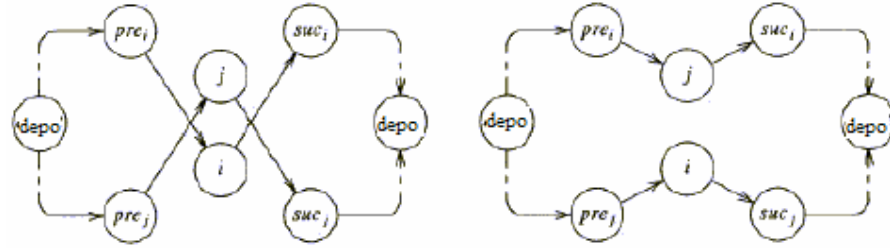
Bu operasyonlar Şekil 3.13, Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’de gösterilmektedir.



Şekil 3.13 Müşteri kaydırma (Gambardella, 2000)



Şekil 3.14 Müşteri çaprazlama (Gambardella, 2000)



Şekil 3.15 Müşteri değiş-tokuşu (Gambardella, 2000)

3.2.1.3 İki Aşamalı Sezgisel Yöntemler

Bu sezgiselde problem iki doğal bileşene ayrılır; fizibil rotalara köşeler kümelenir, gerçek rota inşa edilir ve bu iki aşama arasında muhtemel geribesleme döngüleri olur [1].

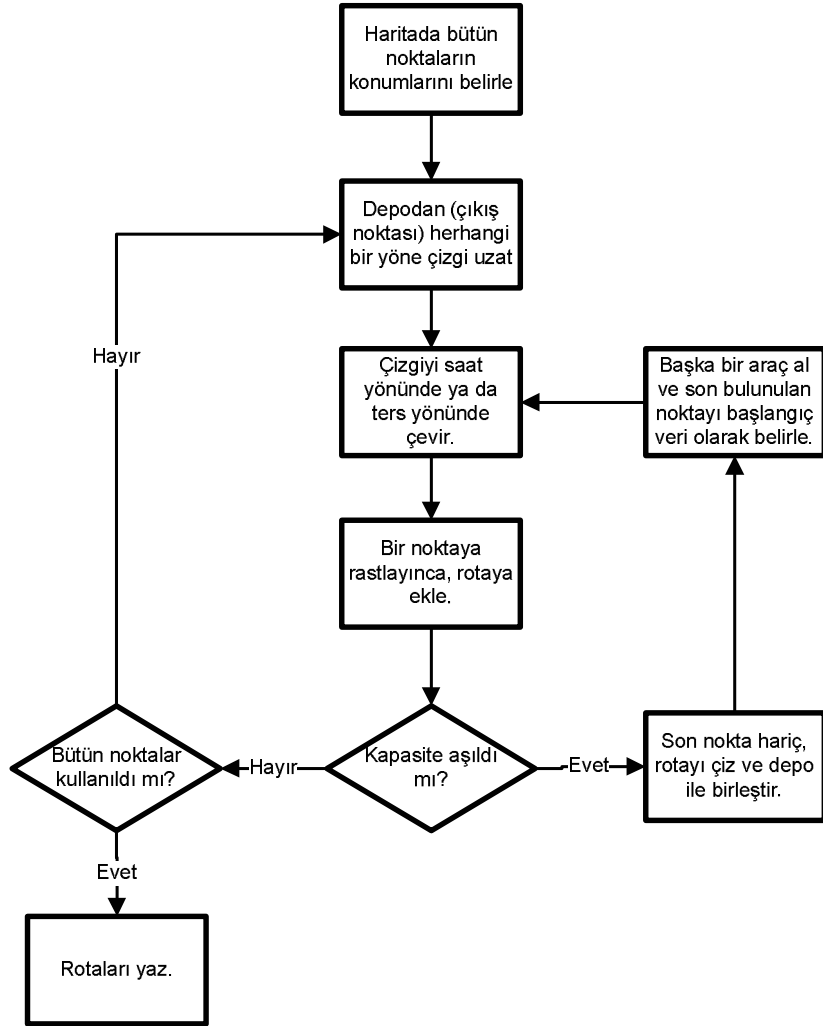
3.2.1.3.1 Süpürme Algoritması

Bu algoritma ARP nin düzlemsel örneklerine uygulanır. Fizibil kümeler ilk olarak depoyu merkez alan ışının eksen üzerindeki dönerek şekillenir. Bir araç rotası her küme için bir TSP çözülerek elde edilir. Bu algoritma ilk olarak 1971 yılında Wren kitabına geçmektedir ama yaygın olarak Gillett ve Miller (1974) bu popüler etmişlerdir. Bu metodun basitleştirilmiş yürütme sistemi şöyledir: Her i tepe noktası polar koordinant sisteminde (θ_i, ρ_i) , ile gösterilir. Burda θ_i açığı ve ρ_i ışın uzunluğunu göstermektedir. Keyfi seçilen i^* noktasına $\theta_{i^*}^* = 0$ değeri atanır ve merkezi $(0, i^*)$ ilk ışından 0 da konuşlanan geri kalan açığı hesaplar. Kenarları açıları θ_i nin artacak şekilde sıralanır. Algoritmanın adımları şöyledir (Laporte ve Semet, 1999):

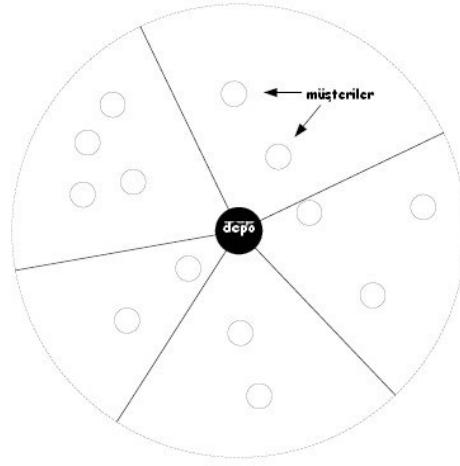
1. Adım: (Rota sıfırlama) Kullanılmamış k aracı seçilir.

2. Adım: (Rota yapma) En küçük açığa sahip rotalanmamış kenardan başlayarak araç kapasitesini veya maksimum rota uzunluğunu aşmayacak şekilde noktalar k aracına atanır. Eğer rotalanmamış noktalar kaldıysa 1. Adıma dönülür.

3. Adım: (Rota Optimizasyonu) (tam veya yaklaşık olarak) TSP ile çözülerek ayrı ayrı her aracın rotası optimize edilir.



Şekil 3.16 Süpürme Algoritmasının algoritması (Kocaoğlu, 2003).



Şekil 3.17 Süpürme Algoritması uygulanması (Ropke, 2005)

Süpürme algoritmasının bir uygulaması Şekil 3.16’da gösterilmektedir. Şekilde dairedeki her parça bir araç tarafından hizmet edilmektedir.

3.2.1.3.2 Fisher ve Jaikumar Algoritması

Fisher ve Jaikumar 1981 yılında araç sayısı sabit K sayısı olan kapasite kısıtlı ARP için bir gruplama örneği sunmuşlardır. Yaklaşımlarında; ilk olarak müşteri sayısı seçilir ve kalan her i müşteri için i müşterisini k müşterisi ile rotalamak için sezgisel maliyet d_{ik} hesaplanır. Daha sonra Genelleştirilmiş Atama Problemi (GAP) tarafsız d_{ik} kullanılarak çözülür. Bu kapasite kısıtını karşılayan K grup oluşturur. Her grup optimumluk için TSP çözerek rotdanır (Ropke, 2005).

Fisher ve Jaikumar Algoritması grupları şekillendirmek için geometrik metot yerine Genelleştirilmiş Atama Problemini (GAP) uygular (Laporte ve Semet, 1999). Fisher ve Jaikumar Algoritmasının çözüm adımları şöyledir (Marinak, 2001):

1. Safha

1. **Adım:** Grupların çekirdeğini oluşturacak m müşteri seçilir ve her birine bir araç ayrılır.
2. **Adım:** Her i müşterisi ve her k grubu için, grubun çekirdeği ile ilgili olarak bir yerleştirme maliyeti d_{ik} hesaplanır.
3. **Adım:** Grupları elde etmek için uygun GAP çözülür.

2. Safha

4. **Adım:** GAP ile gösterilen gruptaki müşteri kümeleri için TSP çözülür.

3.2.1.3.3 Bramel ve Simichi Levi Algoritması

Bramel ve Simchi-Levi 1995 yılında kapasite kısıtlı yerleştirme problemi çözerek belirlenmiş müşteriler ve ikinci basamakta geriye kalan köşelerin adım adım kendi bölüştürülmüş rotalarına eklendiği bir iki aşamalı sezgisel tanımlamıştır. Yazarlar ilk olarak toplayıcı olarak isimlendirilen m çekirdeği n müşteri yerleri arasına yerleştirmeyi ve böylece toplayıcıya atanan toplam talebin Q kapasite kısıtını aşmayacağını temin ederken müşterilerin kendine en yakın çekirdeğe olan toplam uzaklıklarını minimize etmeyi önermişlerdir. Araç rotaları her basamakta en az yerleştirme maliyetine sahip rotaya atanmış müşterinin eklenmesiyle oluşturulur. Yazarlar kendi algoritmalarının asimptotik olarak optimum olduğunu ama deneysel performansın en iyi metotlarla rekabet edemediğini göstermişlerdir (Laporte ve Semet, 1999).

3.2.1.3.4 Önce Rotala Sonra Grupla Yöntemi

Bu grupta yer alan metotlar ilk aşamada çevre kısıtlarını dikkate almadan büyük bir Gezgin Satıcı Problemi turu oluştururlar ve ikinci bir aşamada bu turu fizibil araç rotalarına ayırırlar. Bu yaklaşım araç sayısının sınırlı olmadığı problemlere uygulanır. Bu ilk olarak, ikinci aşamadaki problemin standart bir en kısa yol problemi olduğunu ve $O(n^2)$ zamanında çözülebileceğini araştırmış olan Beasley tarafından öne sürülmüştür. En kısa yol probleminde i ve j düğümleri arasındaki dolaşım maliyeti d_{ij} 'nin, $c_{0i} + c_{0j} + l_{ij}$ ye eşittir (l_{ij} , gezgin satıcı problemi turunda i 'den j 'ye gitme maliyetidir.) Önce rotala sonra grupla sezgiselinin diğer yaklaşımlarla rekabet edebilir özellikte olduğunu kanıtlayan bulgulara sahip değiliz (Laporte ve Semet, 1999).

3.2.1.3.5 Taç Yaprak Algoritması

Sweep (süpürme) algoritmasının bir uzantısı olarak düşünülebilir. Burada taç yaprakları denilen birçok rota oluşturulur ve alt problem kümesi çözülerek bir seçim yapılır (Laporte ve Semet, 1999).

$$\text{Minimize et } \sum_{k \in S} d_k x_k \quad (3.3)$$

Şu kısıtlara göre,

$$\sum_{k \in S} a_k x_k = 1 \quad i = 1, K, K, n \quad (3.4)$$

$$x_k = 0 \text{ veya } 1 \quad k \in S$$

I rotalar kümesi olmak üzere, sadece ve sadece k çözüme ait olduğunda $x_k = 1$ olur. a_{ik} , i nin k rotasına ait olması durumunda 1'e eşit olan ikili sistemdeki parametredir. d_k ise k taç yaprağının maliyetidir. Bu formülasyon ilk olarak Balinski ve Quandt tarafından 1964 yılında önerilmiştir ama $|S|$ büyük olduğunda pratik olmamaktadır (Laporte ve diğerleri, 2000).

3.2.1.3.6 Taillard Algoritması

Taillard algoritmasının belirgin özelliği, ana problemlerin alt problemlere ayrılmasıdır. Düzlemsel problemlerde bu alt problemler ilk olarak köşe noktalarını depoda merkezlenen kısımlara ve her kısmın içindeki eş merkezli bölgelere ayırma yoluyla bulunur. Her alt problem bağımsız olarak çözülebilir ancak köşe noktalarının periyodik olarak hareket etmeleri gerekmektedir. Bu durum depo merkezlendiğinde ve köşe noktaları düzlem üzerinde uniform bir şekilde dağıtıldığında duyarlılık yaratır. Düzlemsel olmayan ya da düzlemsel olup da bu özellikleri içermeyen problemler için yazar depoda konuşlanmış olan en kısa dönüş mesafelerine dayalı farklı bir metod sunar. Bu ayrıştırma metodu alt problemlerin farklı işlemciler arasında dağıtılması gibi paralel uygulamalar için en uygundur. Bu iki stratejinin birleştirilmesi mükemmel sonuçlar verir [2].

3.2.1.3.7 Budanmış Dal ve Sınır Algoritması

Christodes, Mingozzi ve Toth 1979 yılında Budanmış Dal ve Sınır Algoritmasını önermişlerdir. Bu prosedürdeki araştırma ağacı araç rotası olarak birçok seviye içerir ve her seviye bir fizibil araç rotaları kümesi ve egemen olunamayan araç rotaları kümesi içerir. Araştırma ağacı her seviyede bir tek dallanmadan oluşur, tüm dallanmalardan ama rota seçim adımında bitanesi çıkartıldığından itibaren. Fakat, kısıtlı ağaç her seviyede bir kaç umut verici rota korunarak yapılabilir (Laporte ve Semet, 1999).

Bu yöntemde, tüm olası dallanma olanakları kullanılmaz. Dallanma, sezgisel kural(lar) marifeti ile daraltılır ve böylece birerleme ağacının çok daha az sayıda düğüm içermesi ve daha kısa sürede bir sonuca ulaşılması sağlanır. Ulaşılan sonucun en iyi olması garantisi yoktur; iyi bir çözüm elde edilmeye çalışılır (Ulusoy, 2002).

3.2.2 Metasezgisel Algoritmalar

Metasezgiseller iyi çözümler belirlemek için çözüm uzayı araştıran ve standart rota yapım ve iyileştirme sezgisellerinin bazılarını sıklıkla oturtan genel çözüm prosedürleridir. Klasik yaklaşımlardan büyük bir farklılıkla, metasezgiseller gerilemeye ve hatta araştırma prosedürünün gidişatında fizibil olmayan ara çözümlere izin verirler (Braysy ve Gendreau, 2001).

3.2.2.1 Benzetimli Tavlama

Benzetimli Tavlama metasezgiselinin (BT) prensibi katıların fiziki tavlama presesinden çıkarılmıştır. Kirckpatrick ve arkadaşları 1983 yılında ve Cerny 1985 yılında kombinatoriyal problemler için BT kullanımını önerdiler. Bunların çalışmaları Metropolis ve arkadaşlarının 1953 yılındaki “İstatiksel Matematik” içinde yer alan araştırmalarına dayanmaktadır (Van Breedam, 2001).

Tavlama terimi fiziksel olarak, ısı banyosundaki bir katının yüksek enerji durumlarından başlayarak daha düşük enerji durumlarının elde edilme sürecini temsil etmektedir. Bu süreç çok genel olarak iki işlemden oluşmaktadır (Güden ve diğerleri, 2005):

- Isı banyosunun başlangıç sıcaklığının katının eriyebileceği bir değere kadar yükseltilmesi.
- Katılar düşük enerjili durumda, yani düşük sıcaklıkta daha karardır. Yani katıların parçacıkları düşük sıcaklıklarda daha düzenlidir. Bundan dolayı katının parçacıkları kendini düzenleyene kadar ısı banyosunun sıcaklığının giderek azaltılması.

Eniyileme problemleriyle Tavlama Benzetimi (TB) arasındaki benzerlikler aşağıdaki gibi gösterilebilir (Güden ve diğerleri, 2005):

- Katının farklı fiziksel durumları problemdeki mümkün çözümlere,
- Sistemin enerjisi amaç fonksiyonuna,
- Bir durumun enerjisi bir çözümün amaç fonksiyonu değerine,
- Yarı kararlı durum yerel en iyi çözüme,
- Yer durumu genel en iyi çözüme karşılık gelir.

Katıların tavlama sürecinde geçirdiği durumları benzetebilmek için Metropolis vd (1953) tarafından "Metropolis Algoritması" geliştirilmiştir. Algoritmada i durumunda bulunan katının enerjisi E_i iken, bir sonraki j durumuna geçen katının enerjisi E_j 'dir. Eğer j durumundaki enerji i durumundaki enerjiden küçük veya eşitse, j durumu yeni mevcut çözüm olarak kabul edilir. Aksi takdirde j durumu (3.5) nolu formüle göre elde edilen olasılık değeri ile kabul edilir. Bu olasılık değeri "Metropolis Kriteri" olarak anılır. Burada k_B fiziksel tavlama sürecinde "Boltzman Sabiti" olarak bilinen fiziksel bir sabiti ifade eder.

$$\exp\left[\frac{E_i - E_j}{k_B * T}\right] \quad (3.5)$$

TB algoritmasının amacı, tüm mümkün çözüm noktalarının bir alt kümesinde (S) tanımlanmış bir $f(x)$ fonksiyonunu eniyileyecek bir x çözümü bulmaktır. TB algoritması rassal olarak seçilen bir başlangıç çözümüyle aramaya başlar. Bundan sonra uygun bir mekanizma ile bu çözüme komşu bir çözüm seçilir ve $f(x)$ 'de meydana gelen değişim hesaplanır. Eğer değişim istenilen yönde ise komşu çözüm mevcut çözüm olarak alınır. Eğer istenen yönde bir değişim sağlanmamışsa, TB algoritması bu çözümü "Metropolis Kriteri" ile elde edilen olasılık değeri ile kabul eder. Amaç fonksiyonunda ters yönde bir değişim yaratan bir çözümün belli olasılık değeri ile kabulü, TB algoritmasının yerel en iyi noktalardan kurtulmasını sağlamaktadır. Yukarıdaki olasılık değerine göre T değeri yüksek olduğunda amaç fonksiyonunda meydana gelen artışların çoğu kabul edilecektir. T değeri azaldıkça kabul edilme oranı da azalacaktır. Bu nedenle TB algoritmasında yerel noktalara takılmamak için başlangıç sıcaklık değeri yüksek seçilerek yavaş yavaş azaltma yoluna gidilmektedir (Güden ve diğerleri, 2005).

Osman'ın 1993 yılında yaptığı BT uygulaması hem daha anlaşılması zordur hem de daha başarılıdır. Bu algoritma daha iyi bir çözümünden başlar, deneme fazında algoritmanın bazı parametreleri ayarlanmıştır. Zengin çözüm komşulukları keşfedilir ve soğutma çizelgesi daha karmaşıktır. Algoritmanın komşuluk yapısı seçilen iki rota p ve q arasında değişim üretim mekanizması kullanır (Gendreau, Laporte ve Potvin, 1999).

3.2.2.2 Tabu Arama

Tabu (Yasak) Arama (TA) Glover tarafından 1989 yılında önerilmiştir. Hesaplamalar tabu aramanın; esnekliği ile bir çok kesin prosedürü yenen ve bilinen hemen hemen tüm tekniklerle rekabet edebilen kurulmuş iyi bir yaklaşık tekniği olduğunu göstermektedir. TA deterministik iteratif iyileştirme algoritmasını bir olasılıkla maliyet artış çözümleri de onaylamak için birleştirir. Bu; araştırmanın yerel minimum değerden uzağa yönlendirilerek araştırma uzayının diğer kısımlarının da keşfedilmesidir. Bir sonraki ziyaret edilen çözüm en iyi maliyetli mevcut çözümün geçerli komşusu seçilir, hatta eğer mevcut çözümün maliyetinden daha kötü olsa bile. Geçerli komşuların kümesi araştırmayı bir döngüden korumak için tasarlanan tabu listesi ile kısıtlanır. Algoritmanın yürütülmesi esnasında tabu listesi dinamik olarak güncellenir. Tabu; ileriki bir kaç iterasyonda kabul edilemeyecek çözümleri tanımlamaktadır. Ama tabu listesindeki bir çözüm eğer kalitesi bazı durumlarda yeterince iyiye kabul edilebilir (Marinakakis, 2001).

TA akıllı problem çözme prensipleri üzerine kurludur. Temel elementlerden biri esnek ve dinamik bellek yapısı yani bir tabu listesi kullanmasıdır. TA prosedürü basittir. Her iterasyonda en iyi hareket seçilir. Eğer bu hareket amaç fonksiyonunu kötüleştirirse sadece eğer ters hareketi yasak durumu yoksa yani tabu listesinde değilse gerçekleştirilir. Eğer tabu

listesinde ise, yasak listesinde olmayan bir sonraki en iyi hareket seçilir ve uygulanır. Bu proses bir durma kriterine ulaşıncaya kadar tekrar eder (Van Breedam, 2001).

Tabu Arama (TA) algoritmasının en temel elemanları ve bunların işleyiş şekli aşağıda sırasıyla verilmektedir (Güden ve diğerleri, 2005).

Başlangıç Çözümünün Oluşturulması: En genel şekilde başlangıç çözümü rassal olarak elde edilir. Ancak, farklı problemler için geliştirilmiş olan bir sezgisel algorithmadan yararlanarak da başlangıç çözümünün elde edilmesi mümkündür.

Hareket Mekanizması: Mevcut bir çözümde yapılan bir değişiklikle yeni çözümün elde edilmesi hareket mekanizmasıyla gerçekleştirilir. Hareket mekanizmasındaki olası hareketler, mevcut çözümün komşularını oluşturur. Hareket mekanizması algoritmanın etkinliği açısından önemli olduğu için problemin yapısına bağlı olarak uygun bir şekilde seçilmelidir.

Aday Liste Stratejileri: TA algoritması yapılması mümkün olan, tabu olmayan ve amaç fonksiyonunun değeri açısından en iyi sonucu veren hareketlerin seçilmesi kuralına dayalı olarak çalışır. Aday liste stratejileri mümkün hareket listeleridir. Bu listelerden hareketler belirli stratejilere göre seçilir.

Hafıza: TA algoritmasının temel elemanlarından birisi de hafızadır. Arama boyunca ortaya çıkan durumlar, H hafızasına kaydedilir. Bu hafıza kısa dönemli hafıza olarak adlandırılır. Yapılmasına izin verilmeyen hareketler "tabu" olarak adlandırılır ve esnek hafıza içinde "tabu listesi" adı altında kaydedilirler. Bu hareketler belli bir süre sonra tabu listesinden çıkarılır ve yapılmasına izin verilir.

Tabu Yıkma Kriterleri: Tabu yıkma kriterleri, tabunun ortadan kalkabileceği durumları ifade etmektedir. En genel tabu yıkma kriteri, mevcut durumdan daha iyi bir sonuç verecek tabu hareketinin yapılmasına izin verilmesidir. Bu kriterin kullanılması TA algoritmasının etkinliğini arttırmaktadır. Ayrıca, eğer tüm mümkün hareketler tabu ise bu hareketlerden tabu süresinin bitmesine en yakın olan bir tabu hareketine izin verilir.

Durdurma Koşulu: TA algoritması, bir veya birden fazla durdurma koşulunu sağlayıncaya kadar aramasını sürdürmektedir. Bu koşullardan bazıları aşağıda verilmiştir.

- Seçilen bir komşu çözümün komşusunun olmaması,
- Belirli bir iterasyon sayısına ulaşılması,
- Belirli bir çözüm değerine ulaşılması,
- Algoritmanın bir yerde tıkanması ve daha iyi sonuç üretememesi

ARP ye ilk TA uygulamalarından biri Willard'a atfedilir (1989). Pureza ve Franca (1991) farklı bir rotaya bir nokta hareket ettirerek veya fizibilliği koruyarak iki rota arasındaki köşeleri değış tokuş ederek bir çözümün komşularını tanımlar. Willard'ın yaptığı gibi, her iterasyonda tabu olamayan en iyi hareket seçilir. Willard algoritmasından iyi olmakla birlikte iyi sonuçlar üretememiştir. İleri araştırmalar TA çalışması için daha teferruatlı araştırma mekanizmalarının gerekli olduğunu göstermiştir (Gendreau, Laporte ve Potvin, 1999).

3.2.2.3 Genetik Algoritma

Evrimsel Programlamanın bir parçası olan Genetik Algoritmalar (GA) Darwin'in evrim teorisinden esinlenerek ortaya çıkmıştır. Evrimsel programlama, 1960'lı yıllarda Rechenberg'in "Evrimsel Stratejileri" adlı çalışmalarıyla gündeme gelmiştir. Evrimsel programlama genellikle genetik algoritmaları, evrimleşme stratejisini ve genetik programlamayı içermektedir. Genetik algoritmalarla evrimleşme stratejisi arasında önemli fark genetik algoritmaların çaprazlama ve mutasyon operatörlerini, evrimleşme stratejisinin ise yalnız mutasyon işlemini kullanmasıdır (Nabiyev, 2003).

GA genetik popülasyonu üzerine dayalı uyarlamalı bir sezgisel araştırma metodudur. Temel kavramları 1975 yılında Holland tarafından geliştirilmiştir, karmaşık problemlerin çözümünde GA kullanımının pratikliği De Jong (1975) ve Goldberg (1989) tarafından yapılan çalışmalarda ispat edilmiştir. GA, bazı yakınsama kriterleri ile karşılaşılınca kadar her iterative proses boyunca yavruların yeni jenerasyonunu oluşturarak kromozomlarla kodlanmış bireylerin popülasyonunu geliştirir. Bu kriterler mesela, jenerasyon sayısının maksimumluğuna veya benzer bireylerden oluşmuş homojen popülasyon yakınsamasına karşılık gelebilir. En iyi kromozom üretildiğinde kodu çözülür ve uygun çözümü sağlar (Braysy ve Gendreau, 2001). Bireylerin yeni jenerasyonunun oluşturulması aslında dört adım yada evreyi kapsar: Gösterim, seçim, rekombinasyon ve mutasyondur.

Gösterim: Çözüm uzayının gösterimi çözümün önemli özelliklerinin şifre çözümünden oluşur. Bu popülasyonun bir bireyini tanımlayan kromozomdur. Genellikle bir çözümün temel karakteristiklerini yaklayan ardışık genlerden yapılmıştır (Bräysy, 2001).

Seçim: Bu faz birleştirme amaçları için popülasyondan iki çift bireyi rast gele gelmekten oluşur. Bir popülasyon üyesinin seçim olasılığı genetik çeşitliliği koruyarak genetik kaliteyi vurgulamak için genellikle uygunluğu ile orantılıdır. Burda uygunluk çözüm uzayı keşfedilirken maksimum yapılacak kazanç, fayda ve iyiliğin ölçümüne işaret eder.

Rekombinasyon: Rekombinasyon yeni nesili şekillendiren yavruları üretmek için seçilen çiftlerin genlerini kullanır.

Mutasyon: İlave çözüm uzayı keşfi ve genetik çeşitliliği sağlamak ve sunmak için eş zamanlı olarak tek bireyin bazı genlerini rastgele olarak değiştirmeyi içerir (Bräysy ve Gendreau, 2001).

Genetik algoritmanın çalışmasını aşağıdaki gibi özetlenebilir [6];

1. Adım: Olası çözümlerin kodlandığı bir çözüm grubu oluşturulur (çözüm grubu, biyolojideki benzerliği nedeniyle, toplum (population), çözümlerin kodları (string) da kromozom olarak adlandırılır).
2. Adım: Her kromozomun ne kadar iyi olduğu bulunur (uygunluk fonksiyonu).
3. Adım: Bu kromozomlar eşlenerek (mating), yeniden kopyalama (recombination) ve değiştirme (crossover) operatörleri uygulanır. Bu sayede yeni bir toplum oluşturulur.
4. Adım: Yeni kromozomlara yer açmak için eski kromozomlar ortadan kaldırılır.
5. Adım: Tüm kromozomların uygunlukları tekrar hesaplanır.
6. Adım: Eğer jenerasyon süresi dolmamışsa 3. adıma gidilir.
7. Adım: O ana kadar bulunmuş en iyi kromozom sonuçtur.

Kromozom sayısı, mutasyon oranı, çaprazlama özelliği, nesillerin değerlendirilmesi GA performansını etkileyen durumlardır [6].

Kromozom sayısı: Kromozom sayısını arttırmak çalışma zamanını arttırırken azaltmak da kromozom çeşitliliğini yok eder.

Mutasyon Oranı: Kromozomlar birbirine benzemeye başladığında hala çözüm noktalarının uzağında bulunuyorsa mutasyon işlemi GA'nın sıkıştığı yerden kurtulmak için tek yoldur. Ancak yüksek bir değer vermek GA'yı kararlı bir noktaya ulaşmaktan alıkoyacaktır.

Kaç Noktalı Çaprazlama Yapılacağı: Normal olarak çaprazlama tek noktada gerçekleştirilmekle beraber yapılan araştırmalar bazı problemlerde çok noktalı çaprazlamanın çok yararlı olduğunu göstermiştir.

Çaprazlamanın sonucu elde edilen bireylerin nasıl değerlendirileceği: Elde edilen iki bireyin birden kullanılıp kullanılamayacağı bazen önemli olmaktadır. Nesillerin birbirinden ayrık olup olmadığı: Normal olarak her nesil tümüyle bir önceki nesle bağlı olarak yaratılır. Bazı durumlarda yeni nesli eski nesille birlikte yeni neslin o ana kadar elde edilen bireyleri ile yaratmak yararlı olabilir.

Parametre kodlanmasının nasıl yapıldığı: Kodlananın nasıl yapıldığı en önemli noktalardan biridir. Örnek vermek gerekirse kimi zaman bir parametrenin doğrusal yada logaritmik kodlanması GA'nın performansında önemli bir farka yol açabilir.

Kodlama gösteriminin nasıl yapıldığı: Bu da GA'nın performansını etkileyen bir noktadır. İkilik düzen, kayan nokta aritmetiği ya da gray kodu ile gösterim en yaygın yöntemlerdir.

Başarı değerlendirmesinin nasıl yapıldığı: Akıllıca yazılmamış bir değerlendirme işlevi çalışma zamanını uzatabileceği gibi çözüme hiçbir zaman ulaşmamasına neden olabilir.

3.2.2.4 Yapay Sinir Ağları

Bir yapay sinir ağı; ağırlıklandırılmış bağlantılarla zengin bir şekilde bağlanmış birimlerden oluşan bir sayısal modeldir, tıpkı insan beynindeki nöronlar gibi; bir birimden başka bir tanesine bir bağlantı boyunca sinyal gönderilir ve ilgili ağırlıkla değiştirilir (Gendreau, Laporte ve Potvin, 1999). Bir yapay sinir ağı ağırlıklandırılmış bağlarla bağlanan temel noktalardan oluşan bir ağı içerir. Noktalar, basit bir hesaplamayı gerçekleştirmeye yetenekli, ağırlıklandırılmış verilerin toplamından oluşan, eşik veya yanlılık olarak nitelendirilen bir kısıtın eklenmesiyle takip edilen ve lineer olmayan cevap fonksiyonunun uygulaması olan hesaplama birimlerini gösterir. Bir birimin hesaplama sonucu çıktısını atar. Bu çıktı girgin bağlantılarla bağlanmış noktalar için girdidir. Ağın genel görevi noktaların ortaklaşa hesabının ortalaması ile gerekli girdi-çıkı ilişkisi gibi uygun ağ yapılandırılmayı başarmaktır (Marinakis, 2001).

Görünüşte biyolojik karşılıkları ile ilgili olmalarına rağmen yapay sinir ağları insan anlayışıyla ilgili karakteristikler sergilerler. Özellikle, bu ağlar tecrübeden öğrenebilirler ve kendi ağırlıklarının aratan ayarlardab özel örneklerden genel kavramlar çıkarır. Bu modeller insan zekasıyla ilgili modeller ve yapay görüntü ve konuşma anlama gibi geleneksel hesaplamaların yetersiz kaldığı durumlar için tasarlanmıştır. Yapay sinir ağları ile TSP üzerine geliştirilen modeller etkili sonuçlar vermelerine rağmen diğer metasezgisellerle rekabet edebilir durumda değil (Gendreau, Laporte ve Potvin, 1999).

3.3 Sezgisel Tekniklerinin Kıyaslanması

Christodes vd. tanımladığı 14 kıyaslama probleminde tasarruf algoritması, süpürme algoritması, Fisher ve Jaikumar algoritması, Taillard algoritması, tabu arama ve benzetimli tavlama algoritması kıyaslanmak için uygulanmıştır. Bu kıyaslama problemlerine bilinen en iyi çözümleri Taillard algoritması önermiştir. Klasik sezgiseller yeterince iyi çözümler verirler ama hiç biri tabu arama uygulamaları sonuçları ile rekabet edemez. Benzetimli tavlama iyi

kalitede sonuçlar üretir ama bu sonuçlar Taillard algoritması ile elde edilen sonuçlar kadar iyi değildir (Marinakakis, 2001).

Gendreau, Laporte ve Potvin (1999) ARP için metasezgiselleri kıyaslamak için çeşitli örnekler üzerinde uygulamalar yapmışlardır. Yapılan bu araştırma metotların en iyisinin bir kaç yüz müşterili örnekler için hesaplama zamanındaki önemli maliyet olsa da mükemmel ve bazen optimum sonuçlar verdiğini göstermiştir. Tabu Arama en etkili yaklaşım olarak görülmektedir. GA ve yapay sisnir ağlarına dayanan prosedürler, BT veya deterministic tavlama dayalı prosedürler çok rekabetçi değilken açıkça daha iyi yapmışlardır. Verilen yaklaşımlardan herhangi birinin ard arda uygulamalarından elde edilen performans iyileştirmeleri hibrid GA'nın gelecekte mevcut etkinliği yakalayabilecek olduğunu göstermektedir. TA metasezgiseli tam olarak kullanılamamıştır. Diğer bir gözlem ise kıyaslama olarak kullanılan verilerin metasezgisellerin, özellikle TA, çeşitli uygulamalarında keskin farklılıklara izin verdiğidir. Klasik sezgisellere göre metasezgiseller daha fazla zaman kullanırlar ama daha iyi çözüm sağlarlar. Genellikle klasik sezgiseller optimum veya bilinen en iyi çözüm değerinin %2-%10 arası çözüm verirler, en iyi metasezgisel uygulamaları ise %0,5'ten daha az sapar. TA uygulandığı kıyaslama problemlerinde çok iyi çözümler vermiştir. Uygulanan 14 kıyaslama probleminden iki tanesi optimum çözümdür, diğerleri de optimum olmaya yakındır. GA, BT ve TA tarafından üretilen en iyi sonuçlar kıyaslanabilir kalitededir. GA diğer iki metottan daha çok hesaplama zamanı gerekmektedir (Gendreau, Laporte ve Potvin, 1999).

Literatürde ARP, için geliştirilen sezgisel ve metasezgisel yöntemlerde sıkça kullanılan tek rota iyileştirmeli (λ -opt) algoritması, sürecin ilk aşamalarında elde edilen çözüm %60, son iterasyonlarda ise bu oran giderecek düşerek %2 civarında iyileştirmeler yapmaktadır (Laporte ve diğerleri, 2000).

Van Breedam'ın yaptığı çalışmalarda çok rota değiştirmeli (SE operasyonu içeren) yerel iyileştirme sezgiseli bilinen en iyi sonuca göre %2,2lik üzerinde sonuçlar verdi, SC operasyonu ile kıyaslandığında %4,7 daha iyi sonuç verdi ama SC operasyonunun işlem zamanından dört kat daha fazladır (Laporte ve Semet, 1999).

4. KARINCA KOLONİSİ OPTİMİZASYONU

4.1 Karınca Kolonisi Optimizasyonu Tanımı ve Tarihçesi

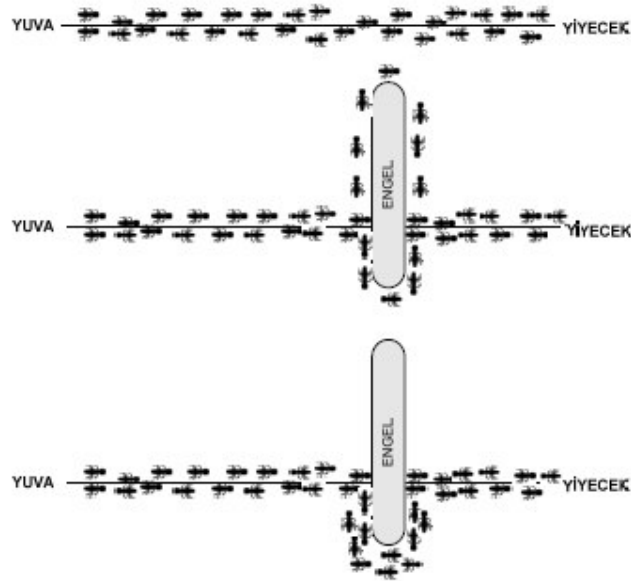
Günümüzde biyolojik yapılardan esinlenerek oluşturulan sistemler önem kazanmaktadır. Doğadaki bazı sosyal sistemler sınırlı yetenekli basit bireyler tarafından oluşturulmalarına rağmen kollektif zeka davranışları sergilerler. Problemlere uyarlanan zeki çözümler bu bireylerin kendi içindeki organizasyonları ve dolaylı iletişimlerinden ortaya çıkar. Karıncaların kollektif davranışının taklidi olan Karınca Algoritmaları son zamanlarda geliştirilen popülasyon tabanlı yaklaşımlardan biridir. Karıncalar tek başlarına basit yeteneklere sahip olmalarına rağmen, koloninin bütünü yüksek bir yapıdadır; kendilerinden çok büyük cisimleri taşımak, köprüler oluşturmak veya yuva ile yiyecek arasındaki en kısa yolu bulmak gibi karmaşık işlemlere karşı zeki çözümler üretirler (Nabiyev, 2005).

Karınca Kolonisi Optimizasyonu (KKO) hesapsal optimizasyon problemlerine çözümler bulmak için yapay karıncaları kullanan meta-sezgisel bir tekniktir. KKO gerçek karıncaların davranışları üzerine kuruludur (Bella ve McMullen, 2004). Yani KKO gerçek karıncaların davranışlarından esinlenmiştir, daha önceden elde edilmiş sonuçların kalitesi üzerine bilgiler içeren dinamik hafıza yapısındaki problem verileri yardımıyla birçok farklı yapıcı ölçümsel izler üzerine gerçekleştirilen paralel araştırmalar önerir. (Maniezzo, Gambardella, ve de Luigi, 2003)

Karınca kolonileri, besin kaynaklarından yuvalarına doğru ya da tam tersi şekilde yürürken toprağa, yol üzerinde iz oluşturmak için feromon denilen maddeler bırakırlar. Karıncalar feromonu koklayabilirler ve yollarını bulurken seçim yapmak durumunda kaldıklarında yoğun feromon konsantrasyonu bulunan yolları seçerler. Feromon izi karıncaların besin kaynaklarına (veya yuvalarına) geri dönüş yolunu bulmalarına olanak tanır. Aynı zamanda yuvadaki bazı karıncalar tarafından bulunan besin kaynaklarının diğer karıncalar tarafından bulunmasına olanak tanır (Dorigo, Di Caro ve Gambardella, 1999). Bir karınca bir yolu takip ettiği zaman yola bırakılan feromon miktarı çözümün kalitesiyle orantılıdır. Bir karınca iki veya daha fazla yol arasından seçim yapması gerektiğinde, geniş miktar feromonlu yol(lar) karınca tarafından yüksek seçilme olasılığına sahiptir (Karadimas ve diğerleri, 2006).

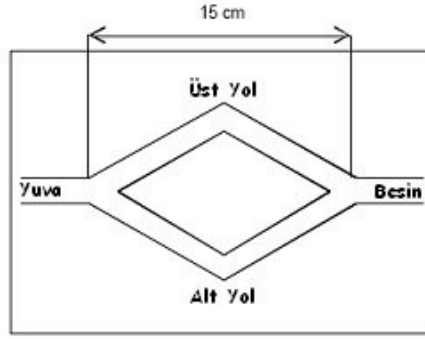
Gerçekte, karıncalar yuvadan besin kaynağına doğru ilerlerken, belirli bir miktar feromon bırakırlar ve olasılığa dayanan bir yöntemle feromonun daha çok olduğu yolu, feromonun az olduğu yola tercih ederler. Yuva ve besin kaynağı arasındaki yolda herhangi bir engel meydana geldiğinde ise bu engelin hemen önündeki karınca devam edemez ve yeni gidiş yönü için bir tercih yapmak zorunda kalır. Bu konumda, karıncanın yeni yön seçeneklerinin seçilme

olasılıkları eşittir. Açıklamak gerekirse, eğer karınca sağ ve sol yönlerinden bir tanesini seçebiliyorsa, bu yönlerin seçilme şansları eşittir. Karınca yaptığı seçime göre yoluna devam eder ve kendi yolunu çizer. Buradaki ilginç noktalardan bir tanesi de, kolonide engel karşısında yol için seçim (eşit olasılıklı seçim) yapan karıncaların seçtikleri yolun gıdaya giden en kısa yol olmaması durumunda, güzergâhlarını (koloni güzergâhı) çok hızlı bir şekilde yeniden yapılandırırları gerçeğidir. Yapılan seçimler de, bu yol üzerindeki feromon miktarını artıracak ve sonradan gelen karıncalar için tercih sebebi olacaktır(Dalkılıç ve Türkmen, 2003).



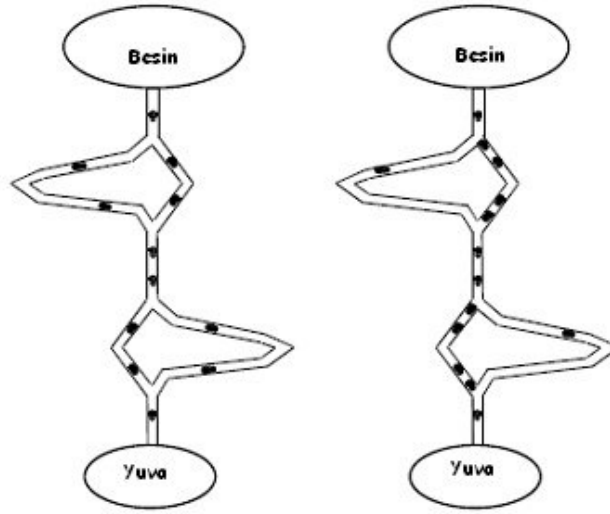
Şekil 4.1 Gerçek karıncaların en kısa yolu bulma aşamaları (Keskintürk ve Söyler, 2006).

Karıncaların bu yol seçim davranışları deneyler yapılarak incelenmiştir. Deneysel olarak feromon iz takibinin bir karınca kolonisi tarafından en kısa yolu gidebildiği gösterilmiştir. Bu konuda yapılan ilk deney tek köprü deneyidir (Deneubourg ve diğerleri, 1990). Bu deneyde; yuva ve besin kaynağı her yolu aynı uzunluğa sahip bir köprü ile birbirinden ayrılmıştır. Daha sonra karıncalar yuva ve besin arasında hareket etmeleri için serbest bırakılmıştır ve bu iki yoldan zamanla hangisini seçeceği gözlemlenmiştir. Sonuç; bazı salınımların gerçekleşebileceği geçici bir ilk aşamadan sonra karıncalar aynı yola yönelme eğilimi göstermişlerdir. Karıncaların bu davranışı gösterme sebebi yolda biriken ve karıncaların yol tercihlerinde etkili olan feromon maddesidir (Dorigo, Di Caro ve Gambardella, 1999).



Şekil 4.2 Tek köprülü yol seçim deneyi (Dorigo, Di Caro ve Gambardella, 1999).

Köprüyü oluşturan yollarının farklı uzunlukta ve köprü sayılarının birden fazla olduğu durumda feromon yayma mekanizması yüzünden en kısa yol seçildiği gözlemlenmiştir (Gos ve diğerleri, 1989): İlk başta yol tercih etmeleri gerektiğinde kısa yolu tercih eden karıncalar besine ilk ulaşırlar ve bu karıncalar geri dönüşe başladıkları zaman kısa olan yolda uzun olan yola göre daha fazla feromon bulunduğu için karıncalar kısa olan yolu seçmeleri için uyarılırlar. İleri doğru hareket eden karıncalar da bu feromon miktarından etkilenmiş olarak yol seçiminde bulunurlar. Sonuç itibariyle karıncalar kısa yolu tercih etmiş olurlar. Böylelikle karıncaların ilk rast gele hareketlerinin önemi azalır ve karıncaların stokastik feromon iz takip davranışı ana mekanizma olur (Dorigo, Di Caro ve Gambardella, 1999).



Şekil 4.3 Karınca Kolonilerine çift köprülü yol seçim deney ve sonuçları (Dorigo, Di Caro ve Gambardella, 1999).

Karıncaların bu yol seçim özelliği, bir takım özellikler aynen kullanılarak ve bazı eklemelerle gerçek problemlerin çözümünde kullanılabilir hale getirilmiştir. Gerçek karıncalardan aynen alınan özellikler şöyledir:

- Karıncalar arasında feromen aracılığı ile kurulan iletişim,
- Feromen miktarının fazla olduğu yolların öncelikle tercih edilmesi,
- Kısa yollar üzerinde feromen miktarının daha hızlı artması.

Aynen alınan özelliklerin yanı sıra karıncalardan daha iyi bir performans alabilmek için bir takım özellikler eklenmiştir (Ekin ve Yakhno, 2001):

- Yapay karıncalar zamanın ayırık olarak hesaplandığı bir ortamda yaşarlar,
- Yapay karıncalar tamamen kör olmayıp, problem ile ilgili detaylara erişebilirler,
- Yapay karıncalar belli bir miktar hafıza ile, problemin çözümü için oluşturdukları bilgileri tutabilirler.

Yapay karıncalar bulunan çözümün kalite fonksiyonu olan feromon miktarını biriktirir. Yapay karıncaların feromon yaymadaki zamanlamaları probleme bağımlıdır ve sıklıkla gerçek karıncaların davranışlarını yansıtmaz. Mesela, birçok durumda yapay karıncalar bir çözüm üretildikten sonra feromon izini güncellerler. Tüm sistem verimliliğini iyileştirmek için, KKO

algoritmaları ileriye bakma, yerel optimizasyon, gerileme gibi gerçek karıncalarda bulunmayan fazladan yeteneklerle zenginleştirilebilir (Dorigo, Di Caro ve Gambardella, 1999).

Karıncalar iz (feromon) ve çekicilik olarak adlandırılan iki parametreye dayalı stokastik yerel karar politikası uygulayarak hareket ederler. Her karınca, hareket ederek aşamalı olarak probleme çözüm üretir. Bir karınca çözümü tamamladığında, çözümü değerlendirir ve çözümde kullanılan bileşelerdeki iz değerini modifiye eder. Bu feromon bilgisi ilerdeki karıncaların araştırmasını yönlendirir. Bundan başka, bir KKO algoritması iki mekanizma daha içerir: iz buharlaşması ve seçmeli olarak bekletici faaliyetler. İz buharlaşması zamanla birlikte bazı bileşenlerin üstündeki limitsiz iz birikimini önlemek için tüm iz değerlerini azaltır (Maniezzo, Gambardella ve de Luigi, 2003). Bekletici faaliyetler KKO metasezgiselinin seçimli bileşenidir ve tekli karıncalar tarafından gerçekleştirilemeyen merkezileşmiş faaliyetleri yürütmede kullanılır. Yerel optimizasyon probleminin aktivite edilmesi veya yerel olmayan perspektiften araştırma prosesini bekletici ilave feromon bırakmamayı veya faydalı olup olmadığını karar vermede kullanılacak global bilgiyi toplamak bekletici faaliyetlere örnek olarak verilebilir (Dorigo ve Di Caro, 1999).

KKO algoritmalarında yukarıda bahsedilen karakteristiklere sahip sınırlı hacimdeki yapay karınca kolonisi, optimizasyon problemlerine iş birliği halinde iyi kalitede çözümler üretebilmek için araştırma yaparlar. Her bir karınca, bazı probleme bağlı kriterlere göre seçilmiş başlangıç durumundan itibaren bir çözüm veya çözümün bir parçasını üretir. Kendi çözümünü üretirken her bir karınca problemin karakteristiği ve kendi performansı üzerine bilgi toplar ve bu bilgileri diğer karıncalar tarafından görülebilecek şekilde problemin gösterilmesinin değişiminde kullanır. Yani karınca, diğer karıncaların davranışlarını etkileyecek şekilde gittikleri yol üzerinde feromon biriktirirler. Karıncalar işbirlikçi davranış sergilerken rastlantısal ve bağımsız olarak hareket ederler (Dorigo, Di Caro ve Gambardella, 1999).

4.2 Karınca Kolonisi Optimizasyonu Algoritmaları

İlk geliştirilen Karınca Kolonisi Optimizasyonu algoritması Dorigo ve diğerleri tarafından 1991 yılında geliştirilmiştir (Dorigo, Di Caro ve Gambardella, 1999). Bu algoritmanın işlem zamanı ve çözüm kalitesi olarak performansını artırmak, daha iyi çözümler elde etmek amacıyla birçok değişik KKO algoritmaları geliştirilmiştir.

4.2.1 Karınca Sistemi

İlk KKO algoritması Karınca Sistemidir (KS). KS, 1991 yılında Dorigo ve diğerleri tarafından

Gezgin Satıcı Problemi (TSP) ve Kuadratik Atama Problemi (QAP) çözümü için önerilmiştir. KS'nin önemi birçok ilgi alanına başarılı uygulama bulan karınca algoritmalarının ana prototipi olmasından kaynaklanmaktadır (Dorigo, Di Caro ve Gambardella, 1999).

Genel olarak, karınca sistemi şöyle çalışır: Her karınca olasılıksal durum geçiş kuralına göre şehir seçerek tam bir tur üretir. Karıncalar bu esnada yüksek feromon miktarına sahip kısa kenarlarla bağlanan noktalara gitmeyi seçerler. Bir kere bütün karıncalar kendi turlarını tamamlarlar, global feromon güncelleme kuralı uygulanır; bütün kenarlardaki feromonun bir kısmı buharlaşır ve daha sonra her karınca turun kısalığı ile orantılı olarak turuna ait kenarlara bir miktar feromon bırakır (diğer bir deyişle çok kısa turlara dahil olan kenarlar yüksek miktartlı feromon alan kenarlardır). Daha sonra bu proses tekrarlanır (Dorigo ve Gambardella, 1997a)

KS'nde her karınca belli bazı kaarkteristikleri olan ajanlar olarak nitelendirilmişlerdir. Karınca bağlantı kenarındaki mevcut iz (feromon) miktarının ve mesafenin fonksiyonu olan bir olasılıkla ziyaret edeceği noktayı seçer, geçerli bir tur tamamlanana kadar karıncanın çoktan ziyaret edilen noktalara geçişlerine izin verilmez (bu izin yasak listesi adı verilen bir yapı ile kontrol edilir) ve karınca bir turu tamamladığında ziyaret edilen (i, j) kenarlarına iz yapan feromon maddesi yayar (Dorigo, Maniezzo ve Colorni, 1996).

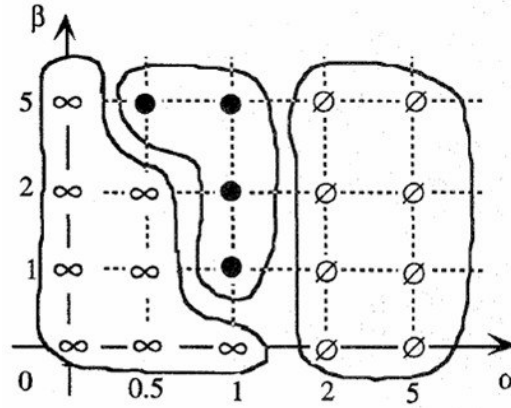
Algoritma t_{max} iterasyonu boyunca yürütülür. Her iterasyon boyunca m karınca olasılıksal durum geçiş kuralı uygulanan a adımı yürüten bir tur inşa eder. Uygulamada, karınca i noktasında hareket için j noktasını seçtiğinde, (i, j) kenarı yapılmakta olan tura eklenir. Bu basamak karınca kendi turunu tamamlayana kadar tekrar ettirilir. i noktasının karınca kararlılığı tablosu $A_i = [a_{ij}(t)]_{N_i}$ yerel sezgisel bilgilerle birlikte yerel feromon izlerinin kullanımıyla şöyle elde edilir (Dorigo, Di Caro ve Gambardella, 1999).

$$a_{ij}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in N_i} [\tau_{il}(t)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} \quad \forall j \in N_i \quad (4.1)$$

Burada $\tau_{ij}(t)$ t zamanında (i, j) kenarı üzerindeki feromon miktarıdır, $\eta_{ij} = 1/d_{ij}$ olarak hesaplanır ve i noktasından j noktasına hareketin sezgisel değeridir, d_{ij} ise i ve j arasındaki mesafedir, N_i , i noktasının komşularını gösteren kümedir. α ve β sezgisel değeri ve feromon izinin ağırlığını kontrol eden iki parametredir. Eğer $\alpha = 0$ ise, en yakın şehirlerin seçilmesi daha muhtemeldir. Öte yandan $\beta = 0$ ise, sadece feromon amplifikasyonu (yükseltmesi) çalışır ve bütün karıncaların genellikle aynı turları yapmaları durumu olan ve oldukça güçlü bir alt optimal durum olan durgunluğun çabuk ortaya çıkmasına sebep olur (Dorigo, Maniezzo ve Colorni, 1996).

Eğer $\alpha = 0$ ise, en yakın şehirlerin seçilmesi daha muhtemeldir. Öte yandan $\beta = 0$ ise, sadece feromon amplifikasyonu (yükseltmesi) çalışır: bu metod bütün karıncaların genellikle güçlü yarı optimal olan aynı turları yapmaları durumu olan durgunluğun çabuk ortaya çıkmasına sebep olur (Dorigo, Maniezzo ve Colorni, 1996; Dorigo ve Di Caro, 1999).

Dorigo, Maniezzo ve Colorni (1996) her bir parametre için değişik bir çok değerleri diğerleri sabit tutarak test etmişlerdir. Ortalama değerlendirme ile ilgili bazı istatistiksel bilgiler elde etmek için her bir deneyde sadece değerlerden biri değiştirilerek her ayarlama için 10 simülasyondan fazla simülasyon yapmışlardır. Parametrelerin geçerli varsayılan değerlerini şöyle bulmuşlardır: $\alpha = 1$, $\beta = 1$. Aşağıdaki grafikte Dorigo ve arkadaşlarının belirli parametre değerleri için elde ettikleri çözüm durumları görülmektedir.



Şekil 4.4 Değişik α ve β parametre değer kombinasyonları için elde edilen çözüm sonuçları (Dorigo, Maniezzo ve Colorni, 1996).

Bir k karıncasının t inci algoritma iterasyonunda turunu inşa ederken i noktasında bulunan k karıncasının komşularından j noktasına $j \in N_i^k$ gideceği şehri seçme olasılığı şudur:

$$p_{ij}^k(t) = \frac{a_{ij}(t)}{\sum_{l \in N_i^k} a_{il}(t)} \quad (4.2)$$

Burada $N_i^k \subseteq N_i$ k karıncasının henüz ziyarete etmediği i noktasının komşuluğunda olan noktalar kümesidir ve N_i^k karıncanın özel hafızası olan M_k kullanılarak N_i içerisinde yer alan noktaların arasından seçilir. Her karıncanın özel hafızası çoktan ziyaret edilen şehirleri taşır ve bu yasak listesi olarak da adlandırılır. Her k karıncası için hafıza karınca i noktasında yerleşikken ziyaret etmesi gerekli noktaların kümesini tanımlamak için kullanılır (bu TSP'de

bir şehri sadece bir kere ziyaret etmeye karşılık gelir) (Dorigo, Di Caro ve Gambardella, 1999).

Bütün karıncalar kendi turlarını tamamladıktan sonra, tüm kenarlardaki feromon buharlaşması olur ve her k karıncası geçtiği her kenara bir miktar feromon $\Delta\tau_{ij}^k(t)$ bırakır:

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} 1/L^k(t) & \text{if } (i, j) \in T^k(t) \\ 0 & \text{if } (i, j) \notin T^k(t) \end{cases} \quad (4.3)$$

$T^k(t)$, t iterasyonunda k karıncası tarafından üretilen turdur ve $L^k(t)$ bu turun uzunluğunu ifade etmektedir.

Uygulamada, karıncalar tarafından yeni feromon ilavesi ve feromon buharlaşması kenarlara uygulanan şu kuralla yürütülür:

$$\tau_{ij}(t) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t) \quad (4.4)$$

Burada $\Delta\tau_{ij}(t) = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k(t)$, m her iterasyondaki karınca sayısı, n uygulamadaki nokta sayısı olmak üzere $m = n$ eşitlenir. $\rho \in (0,1]$ feromon buharlaşma katsayısıdır. Buharlaşma oranı daha önceki çözümlerin önemini azaltılmasını sağlamaktadır (Dorigo ve Gambardella, 1997a). Feromonun başlangıç miktarı $\tau_{ij}(0)$ tüm kenarlarda τ_0 küçük pozitif kısıta eşitlenir. τ_0 başlangıç feromon seviyesidir. $\tau_0 = (n \cdot L_{nn})^{-1}$ olarak tanımlanır ve L_{nn} feromon bileşeni olmayan olasılıklı en yakın komşu sezgiseline eşittir (Maniezzo, Gambardella ve de Luigi, 2003).

Feromon güncellemesinde iki temel elemandan bahsedilebilir (Stützle ve Hoos, 2000):

- Tüm yollardaki feromonların, belirlenen oranda (buharlaşma oranı) buharlaştırılması.
- Karıncaların geçiş yapmış oldukları yollardaki feromon miktarlarının, o yolu kullanan karıncanın yol uzunluğuyla ters orantılı olarak artırılması.

KS bazı göreceli olarak küçük (30-75 arası değişen şehirlere sahip) TSP problemleri üzerinde diğer sezgisellerle kıyaslanmıştır (Dorigo, Maniezzo ve Coloni, 1996). Küçük boyutlu problemlerde bazı genel amaçlı sezgisellere benzer veya onlardan daha iyi performansa sahiptir. Maalesef, büyüyen boyuttaki problemler için KS bilinen en iyi çözüme ulaşamamıştır. Ayrıca performansı geliştirmek için Dorigo ve diğerleri izin başlangıcından itibaren en iyi turu üreten karıncanın kullandığı kenarların daha fazla feromon aldığı bekletici faaliyet “daemon activity” olan “elitist karıncaları” önermişlerdir. (Dorigo, Di Caro ve Gambardella, 1999).

4.2.2 Rank Temelli Karınca Sistemi

Bullnheimer, Hartl ve Strauss (1997a) KS'nin başka bir değiştirilmiş hali olan Rank Temelli Karınca Sistemini (KS_{rank}) önerdiler. Buna göre :

Tur uzunluklarına göre m karınca sıralanır ($L1(t) \leq L2(t) \leq \dots Lm(t)$) ve ilk $\sigma-1$ karıncanın ziyaret ettiği kenarlar ziyaret eden karınca sırasına orantısal feromon miktarı alır.

İzin başlangıcından beri en iyi turu üreten karıncanın kullandığı kenarlar ayrıca ek feromon alırlar (ve bu durum KS'de önerilen “elitist karıncalar” feromon güncellemesi ile aynıdır). Bir karıncanın feromon düzeyi karıncanın sıra değerine bağlıdır (Keskintürk ve Söyler, 2006).

4.2.3 Karınca-Yoğunluk, Karınca-Nicelik ve Karınca-Çevrim

Colorni, Dorigo ve Maniezzo (1991) Karınca Sistemi altında üç farklı yaklaşım geliştirmiştir. Bu algoritmalar karınca-yoğunluk, karınca-nicelik ve karınca-çevrim algoritmalarıdır. Bu üç algoritma birbirinden feromon izi güncelleme açısından farklılık göstermektedir. Karınca – yoğunluk ve karınca-nicelik algoritmalarında karıncalar bir çözümü inşa ederlerken feromon bırakırlar, karınca-çevrim algoritmasında ise karıncalar komple bir tur inşa ettikten sonra feromon bırakırlar (Dorigo, Di Caro ve Gambardella, 1999; Colorni, Dorigo ve Maniezzo, 1991).

Karınca-nicelik modelinde karınca i noktasından j noktasına gittiği her zaman sabit bir nicelik Q_1 miktarı feromon bırakır. Karınca-nicelik modelinde feromon güncellemesi şöyle olur:

$$\Delta\tau_{ij}^k(t, t+1) = \begin{cases} \frac{Q_1}{d_{ij}} & t \text{ ve } t+1 \text{ arası karınca } i \text{ ve } j \text{ arası giderse} \\ 0 & \text{öbürtürlü} \end{cases} \quad (4.5)$$

Karınca yoğunluk modelinde ise karınca i noktasından j noktasına gittiği uzunluğun her birimi için Q_2 birim feromon bırakır.

$$\Delta\tau_{ij}^k(t, t+1) = \begin{cases} Q_2 & t \text{ ve } t+1 \text{ arası karınca } i \text{ ve } j \text{ arası giderse} \\ 0 & \text{öbürtürlü} \end{cases} \quad (4.6)$$

Karınca-çevrim modelinde ise yukarıda anlatılan iki modelden daha büyük farklılık gösterir. Karınca –çevrim modelinde feromon güncellemesi en son yapılır:

$$\Delta\tau_{ij}^k(t, t+n) = \begin{cases} \frac{Q_3}{L^k} & \text{karınca } i - j \text{ yolunu turunda kullanırsa} \\ 0 & \text{öbürtürlü} \end{cases} \quad (4.7)$$

Buradan anlaşılacağı üzere bir karınca i noktasından j noktasına gittiğinde aradaki mesafe üzerindeki feromon yoğunluğu; Karınca-yoğunluk modelinde aradaki mesafe d_{ij} 'den bağımsız olarak artar, Karınca- nicelik modelinde ise d_{ij} ile ters orantılı olarak artar (Colorni, Dorigo ve Maniezzo, 1991; Dorigo, Maniezzo ve Colorni, 1996).

Karınca-çevrim algoritması üretilen sonucun iyi olmasıyla orantılı olan miktarda bıraktıkları global bilgiyi kullanırlar. Aslında, daha kısa yol üreten karıncaların iz miktarına etkisi diğer karıncalardan daha fazladır. Diğer taraftan, karınca-nicelik ve karınca-yoğunluk algoritmaları yerel bilgi kullanırlar. Bunların araştırmaları elde edilen en son sonucun hiçbir ölçümü tarafından yönetilemez (Dorigo, Maniezzo ve Colorni, 1996).

Bir dizi kıyaslama problemleri üstünde yapılan deneyler karınca-çevrim algoritmasının performansının diğer iki algoritmadan çok daha iyi olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak KS üzerindeki araştırmalar karınca-çevrim algoritmasının karakteristiklerinin daha iyi anlaşılması doğrultusunda yönlendirmiştir ve diğer iki algoritma bırakılmıştır (Dorigo, Maniezzo ve Colorni, 1996; Dorigo, Di Caro ve Gambardella, 1999).

4.2.4 Maksimum-Minimum Karınca Sistemi

Maks-Min Karınca Sistemi (MMAS) Stützle ve Hoos tarafından 1997 yılında geliştirilmiştir (Dorigo, Di Caro ve Gambardella, 1999). MMAS'yi KS'den ayıran iki temel özellikten ilki, her iterasyonda sadece bir karıncanın feromon yenilemesine izin verilerek çözümün sağlanmasıdır. Bu karınca, bir önceki iterasyondaki en iyi çözümü veren karıncadır. İkinci özellik ise, araştırmadaki dalgalanmayı önlemek için, feromon izlerinin sınırlı bir aralıkta $[\tau_{\min}, \tau_{\max}]$ olmasıdır. Feromon izleri üst limitten başlatılır ve bu da başlangıçta yüksek oranda iyileşme sağlar. MMAS'de alt ve üst limitler uygun seçilmediği takdirde tüm karıncalar aynı yoldan gitmekte ve bu da iyi bir çözümün bulunmasını engellemektedir. Alt ve üst sınırlar aşağıdaki formüllerle hesaplanır (Keskintürk ve Söyler, 2006).

$$\tau_{\max} = \frac{1}{\rho} * \frac{1}{L^b} \quad (4.8)$$

$$\tau_{\min} = \frac{\tau_{\max}}{2n} \quad (4.9)$$

Burada, L^b bulunan en iyi turun uzunluğunu, ρ feromon buharlaşma katsayısını, n ise karıncaların hareket ettikleri sistemdeki nokta sayısını göstermektedir.

4.2.5 Ant-Q

Gambardella ve Dorigo 1995'te, Q-öğrenmeden bazı fikirleri entegre eden KS'nin uzantısı olan Ant-Q algoritmasını önermişlerdir. Bu algoritmadaki en önemli farklılıklardan biri γ öğrenme basamağı parametresinin de göz önünde bulundurularak feromon güncelleme değerlerinin hesaplanmasıdır (Gambardella ve Dorigo, 1995).

Ant-Q Karınca Kolonisi Sistemi'nden karıncaların adım adım çevrim içi feromon güncelleme gerçekleştirmede kullandığı τ_0 değerinde farklılık gösterir. Ant-Q'da, bir k karıncası çevrim içi adım adım aşağıdaki denklemle feromon güncellemesi yürütür (Dorigo, Di Caro ve Gambardella, 1999):

$$\tau_{ij}(t) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \rho\gamma^* \max_{l \in N_j^k} \tau_{jl} \quad (4.10)$$

Daha sonra karınca kolonisi sisteminde olduğu sabit τ_0 değeri kullanmak Ant-Q'daki gibi komplike terim tahmininden dolayı çalışmalar hemen hemen aynı performans elde edilmesine rağmen Karınca Kolonisi Sistemi üzerinde yoğunlaştırılmıştır (Dorigo, Di Caro ve Gambardella, 1999).

4.2.6 Çoklu Karınca Sistemi

Çoklu koloni yaklaşımı, iki veya daha fazla koloninin çözümünün birleştirilmesi esasına dayanır. Bu konudaki iki temel yaklaşımdan ilki olan heterojen yaklaşım tüm kolonilerin birbirinden farklı davranış sergilemesi esasına dayanmaktadır ve çok kriterli optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılmıştır. İkinci yaklaşımda tüm koloniler birbirine paralel olarak çalışırlar ve her t jenerasyon sonunda koloniler arasında feromonlar vasıtası ile karşılıklı bilgi alışverişi olur. Çoklu Karınca Sisteminde bilgi alışverişi için önerilen 4 yöntem vardır (Keskintürk ve Söyler, 2006):

- Her bilgi alışverişinde global en iyi çözümler hesaplanır ve tüm kolonilere gönderilir. Böylece her koloni yeni bir lokal en iyi çözüme sahip olur.
- Koloniler arasında bir köprü kurulur ve her bilgi alışverişi adımı, her koloni lokal en iyi çözümleri en yakınındaki bir ya da daha fazla koloniye gönderir.
- Bir önceki seçenekteki bilgiler kullanılarak her bilgi alışverişi adımı, bir kolonideki en iyi mb karınca, en yakınındaki en iyi mb karıncayla karşılaştırılır ve 2mb karıncanın en iyi mb tanesi alınarak feromon güncellemesinde kullanılır.

- Bu seçenek 2. ve 3. seçeneklerinin birleştirilmesinden oluşur.

4.2.7 Melez Karınca Kolonisi Optimizasyonu

KKO ile SOP-3-değişimi yaklaşımının birleştirilmesinden elde edilen yeni algoritmaya verilen isimdir. KKO algoritmasına ek olarak yerel arama içerir. Melez Karınca Kolonisi Optimizasyonunda (MKKO) yerel arama şöyle uygulanır: Bir kere karıncalar kendi çözümlerini inşa ederler, daha sonra yerel arama rutininin uygulaması ile her çözüm kendi yerel optimumuna taşınır. Daha sonra yerel olarak optimum çözümler feromon iz güncelleme kuralına göre kenarlardaki feromon izlerinin güncellenmesinde kullanılırlar (Gambardella ve Dorigo, 2000).

4.2.8 Global Karınca Kolonisi Optimizasyonu

Global Karınca Kolonisi Optimizasyonu (GKKO), tüm düğümlere uğrama kısıtını içermeyen problemlerin çözümüne yönelik olarak geliştirilmiş olan bir KKO algoritmasıdır. Geliştirilmiş birçok KKO sisteminden farklı olarak, karıncaların tam bir tur yapma zorunlulukları yoktur. Herhangi bir düğümden başlayarak ve herhangi bir ya da birden fazla düğüme uğrayarak bir çözüm alternatifi geliştirmek mümkündür. Geçiş kuralı bir fark dışında mevcut KKO algoritmaları ile aynıdır. Bu fark alternatifler arasından seçilenin iki düğüm arasındaki bir yol değil bütün bir tur olmasıdır. Feromon güncellemesi GKKO'da sadece global olarak yapılmaktadır. Ancak bu güncelleme sadece en iyi tura sahip karıncanın yolu için değil tüm karıncaların yolları için yapılmaktadır (Keskintürk ve Söyler, 2006).

4.2.9 Karıncalar

Karıncalar (ANTS) 1999'da Maniezzo tarafından önerilmiş KS'nin uzantısı olan bir algoritmadır. ANTS iz dağılımını başlangıç durumuna getirme ve kullanma için çekicilik fonksiyonu gibi genel algoritmanın elementlerini belirtir. Bu durum, ağaç araştırma algoritmaları ile yapıda benzer hasıl olan algoritmayı yapan genel KKO çerçevesinin varlığını meydana getirir. Aslında, ANTS'ı ağaç araştırma algoritmasından ayıran temel özellik araştırma ağacının tamamlanmamış (yaklaşık) araştırması tarafından ve hareket edeceği durumun olasılıksal (non-deterministik) seçimi tarafından yerine getirilen komple gerileme mekanizmasının azlığıdır. Bu durum ayrıca ANTS adının arkasındaki gerektirir. ANTS kelimesi Yaklaşık Nondeterministik Ağaç Araştırma'nın (Approximated Nondeterministic Tree Search) İngilizce karşılıklarının baş harflerinden oluşmuştur. ANTS algoritması iyi sonuçlar elde edebilmek için, bir ajan (karınca) geçmişte uygulanmış ve arzu edilir sonuçları üretmede (geçmiş çözümlere ait bilgileri kullanma) efektif olmuş faaliyetleri seçmelidir, ama bu faaliyetleri keşfetmek için önce seçilmemiş olan faaliyetleri de

denemelidir (yeni çözümler araştırma). Kullanma ve araştırmanın her ikisi de görevde başarısız olmadan sadece takip edilir, buyüzden, ANTS algoritması araştırmayı kolaylaştıran durgunluğu önleme prosedürü ile hareketlerin arzu edilirlğini belirleyen iz ve çekicilik tabanlı olasılık tanımlama mekanizmasını entegre eder (Maniezzo, Gambardella ve de Luigi, 2003).

4.2.10 Karınca Kolonisi Sistemi

Karınca Kolonisi Sistemi (KKS) algoritması KS'nin performansını geliştirmek için Dorigo ve Gambardella tarafından tanıtılmış bir algoritmadır (1997). KKS algoritması Karınca Sisteminden üç temel bakımdan farklılık gösterir (Dorigo ve Gambardella, 1997a):

- Durum kuralı yeni kenarların araştırılması ve bir öncekilerin ve problem hakkında biriktirilen bilginin kullanılması arasında denge için yeni bir yol sağlarlar,
- Global güncelleme kuralı en iyi karınca turunun ait olduğu kenarlara uygulanır,
- Karıncalar yeni bir çözüm inşa ederken yerel feromon güncelleme kuralı uygulanır.

KKS Durum Geçiş Kuralı

Yeni bir çözüm inşa etme esnasında durum geçiş kuralı her karıncanın ziyaret edilecek bir sonraki noktayı karar verdiği fazdır. KKS'nde yeni durum seçim kuralı; sözde-rastlantısal-orantılı durum geçiş kuralı tanıtılmıştır. Sözde rastlantısal kural ile seçilen nokta q_0 olasılığı (geçmiş çözümleri kullanma) ile en iyi, $1-q_0$ olasılık (yeni çözümler araştırma) ile rastlantısal noktadır (Maniezzo, Gambardella ve de Luigi, 2003). Bu karar verme kuralı çifte fonksiyona sahiptir: $q \leq q_0$ ise karar verme kuralı problem hakkında elde edilen erişilebilir bilgiyi kullanır, bu sezgisel bilgi feromon izleri şeklinde depolanan öğrenilmiş bilgi ve noktalar arası uzaklıklarla ilgilidir, $q > q_0$ ise meyilli (önyargılı) araştırma gerçekleştirir. q_0 düzeni araştırmanın derecesini ayarlamaya ve araştırma uzayında keşif yapmaya veya en iyi çözümlerde sistemin aktivitesini yoğunlaştırmayı seçmeye izin verir. q_0 çözümlerde genellikle 0,9 olarak alınır (Dorigo, Di Caro ve Gambardella, 1999). KKS'nde sözde-rastlantısal-orantılı durum geçiş kuralı aşağıdaki formülasyonla gösterilir.

$$s = \begin{cases} \arg \max_{(ij) \notin M_k} \{\tau_{ij}^\alpha * \eta_{ij}^\beta\} & \text{if } q \leq q_0 \\ p_{ij}^k & \text{öbürtürlü} \end{cases} \quad (4.11)$$

$$p_{ij}^k = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha + \eta_{ij}^\beta}{\sum_{im \in M_k} \tau_{im}^\alpha + \eta_{im}^\beta} & \text{if } (ij) \notin M_k \\ 0 & \text{öbürtürlü} \end{cases} \quad (4.12)$$

KS rastlantısal orantılı kural kullanılarak η_{ij} ve τ_{ij} değerlerine bağlı olarak olasılık dağılımı ile rastlantısal olarak seçilir. KKS sözde-rastlantısal orantılı durum geçiş kuralı önceki ve toplanan bilginin kullanılması ve yeni şehirlerin araştırılması arasında denge sağlar (Maniezzo, Gambardella ve de Luigi, 2003). τ_{ij} , i ve j noktaları arasındaki kenarda depolanan feromon iz miktarını, η_{ij} ise i ve j noktaları arasındaki mesafenin tersini ifade etmektedir. M_k ise yapay karıncanın ziyaret ettiği noktaları tekrar ziyaret etmesini önleyen hafızası yani yasak listesidir. α ve β ise sezgisel değeri ve feromon izinin ağırlığını kontrol eden iki parametredir. α değeri, ilgili yolun feromon miktarının önemini belirler ve önceki iterasyonların sonuçlarının ilerleyen iterasyonlara aktarılmasını temin eder. α değerinin yüksek olması feromonun yoğun olduğu yolların seçilme olasılığını artırırken tesadüflüğü azaltmaktadır. β değeri ise yol uzunluklarının, bir sonraki noktanın seçimindeki etkisini belirlemektedir. β değeri arttıkça bir sonraki yolun seçiminde tesadüflük artmaktadır. β değerinin düşük olması ise alternatif çözümlerin araştırılması ihtimalini azaltır. α ve β parametre değerleri birbirinden bağımsız değildir. Problemin özelliğine göre değişen bu parametreler için denemeler yapılarak en etkin parametrelerin belirlenmesi gerekir (Dorigo, Maniezzo ve Colomi, 1991).

KKS Feromon İzi Güncelleme

Karınca Kolonisi Sisteminde sadece genel (global) olarak en iyi karıncanın yani feromon izinin başlangıcından beri en kısa turu yapan karıncanın feromon biriktirmesine izin verilir. Bu seçim, sözde-rastlantısal-orantılı geçiş kuralı ile birlikte araştırmayı dağa güdümlü yapmaya çalışmaktadır: Karıncalar algoritmanın mevcut iterasyonunda bulunan en iyi yolun komşuluğunda araştırırlar. Global güncelleme bütün karıncalar kendi turlarını güncelledikten sonra yapılır. Feromon güncelleme kuralı global güncelleme kuralının uygulanmasıyla güncellenir (Dorigo ve Gambardella, 1997a).

$$\tau(r, s) = (1 - \rho) * \tau(r, s) + \rho \Delta \tau(r, s) \quad (4.13)$$

$$\Delta \tau(r, s) = \begin{cases} (L_{gb})^{-1} & \text{if } (r, s) \in \text{global} - \text{eniyi} - \text{tur} \\ 0 & \text{öbürtürlü} \end{cases} \quad (4.14)$$

Karınca Kolonisi Sisteminde yeni bir çözüm inşa ederken yerel (lokal) feromon güncellemesi de yapılır. Lokal feromon güncellemesi, turları dinamik olarak değiştirerek geçiş yapılan

yolları daha cazip hale getirmeye yarar. Karıncalar değişen feromon miktarlarına bağlı olarak her iterasyonda turlarını da değiştirmektedirler. Böylelikle sürekli olarak daha kısa turları bulmak amaçlanmaktadır (Keskintürk ve Söyler, 2006). Diğer bir deyişle, lokal güncellemenin etkisi kenarların arzulanırlığını dinamik olarak değiştirir ve yerel güncelleme olmadan bütün karıncalar bir önceki en iyi turun dar bir komşuluğunda araştırma yaparlar (Dorigo ve Gambardella, 1997a).

Yerel feromon güncellemede, $\tau_{ij}(t)$, t iterasyonuna kadar biriken feromon düzeyi, $\Delta\tau_{ij}^t(t+1)$, t iterasyonundaki feromon düzeyi ve ρ ($0 \leq \rho \leq 1$) feromon buharlaşma parametresi olmak üzere lokal feromon düzeyi şöyle hesaplanır:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k(t+1) \quad (4.15)$$

$$\Delta\tau_{ij}^k(t+1) = \begin{cases} \frac{1}{L^k(t+1)} & k \text{ karıncası } (i, j) \text{ yolunu giderse} \\ 0 & \text{öbürtürlü} \end{cases} \quad (4.16)$$

Global ve yerel olarak feromon izi güncelleme formülasyonlarında yer alan ρ parametresi buharlaşma oranı olarak adlandırılır ve tüm feromon değerlerinin düzgün olarak azalmasının fonksiyonu olarak nitelendirilebilir. Alt optimal bölgeye doğru algoritmanın çok hızlı yakınsamasını dengelemek için feromonun buharlaşması gereklidir. Araştırma uzayında yeni alanların bulunuşunu ve unutmanın faydalı şeklini yürütür (Dorigo ve Blumb, 2005). ρ parametresi genellikle 0,9 olarak ayarlanır. Her kenardaki $\tau_{ij}(0)$ yani τ_0 başlangıç feromon seviyesidir. $\tau_0 = (n * L_{nn})^{-1}$ olarak tanımlanır (Maniezzo, Gambardella. ve de Luigi, 2003). Burada L_{nn} en yakın komşu sezgiseli ile üretilen tur uzunluğudur ve n nokta sayısıdır (Chen ve Ting, 2005).

Karınca Kolonisi Sistemi aday listesi olarak adlandırılan fazladan yerel sezgisel bilgi sağlayan veri yapısından da faydalanır. Bir aday listesi verilen bir noktadan ziyaret için tercih edilen noktaların listesidir. KKS'nde bir karınca i noktasındayken i noktasının ziyaret edilmemiş tüm komşularını gözden geçirmek yerine aday listesi içerisindeki noktalar arasında ziyaret edeceği noktayı seçer, sadece eğer aday listesindeki noktalardan ziyaret edilmemiş durumda olan yoksa diğer noktalar göz önünde bulundurulabilir. Bir noktanın aday listesi artan mesafeye göre sıralanan cl noktaları (cl bir parametredir) içerir (Dorigo, Di Caro ve Gambardella, 1999). Literatürde aday listesinin büyüklüğünü tespiti yönelik araştırmalar yapılmıştır. Bunlardan biri aday listesinin büyüklüğünü problemdeki tüm müşteri sayısının kesirleriyle

sınırlandırılarak belirlemiştir. Mesela, Bullnheimer ve arkadaşları önceki araştırmalarında aday listesinin büyüklüğünü müşteri sayısına aldirmaksızın toplam müşterilerin $\frac{1}{4}$ 'üne eşit olarak ayarlamıştır (Bullnheimer, Hartl ve Strauss, 1999). Büyük Gezgin Satıcı Problemleri üzerinde aday listesi eklenerek çok az modifiye edilmiş KKS versiyonu sonuçları aday listelerinin KKS'nin en iyi performansını ve ortalamasını geliştirebildiğini/arttırdığı yönünde olduğu ortaya çıkmıştır (Dorigo ve Gambardella, 1997b).

Her karıncanın hafızası çoktan ziyaret edilen noktaları içerir ve tabu (yasak) listesi olarak adlandırılır. Hafıza her k karıncası için, i noktasında bulunan karıncanın ziyaret edeceği noktalar kümesini tanımlamada kullanılır. M_k ile karınca bir noktayı iki kere ziyaret etmesini önleyen fizibil çözümler üretebilir. Ayrıca hafıza karıncanın üretilen tur uzunluğunu hesaplama ve geride kalan aynı patikayı örterek seyahat edilen kenarlarda feromon biriktirmesine izin verir (Dorigo ve Di Caro, 1999). Her yeni turun başında bu hafıza boşaltılır ve ziyaret edilen her yeni noktanın eklenmesiyle her adımda güncellenir (Dorigo ve Gambardella, 1997b).

Dorigo, Maniezzo ve Colorni (1996) bütün karıncaların aynı turu yapması olan “durgunluk davranışını” araştırmışlardır. Durgunluk davranışı sistemin yeni olasılıklar üretme (bulma) açısından sonlandığını ve daha iyi yeni bir turun meydana çıkmayacağını gösterir. Bazı parametre ayarları ile birçok çevrimden sonra algoritmanın stokastik yapısına rağmen bütün karıncaların kenarların diğer turlara göre o turda içerdiği çok yüksek olan feromon seviyesinden dolayı aynı turu izlediğini gözlemlemişlerdir. Böylelikle algoritmanın iterasyonu da kendiliğinden sonlanmaktadır (Dorigo, Maniezzo ve Colorni, 1996).

Dorigo ve Gambardella (1997a), karıncaların optimal sayısını gösteren fonksiyonlar ve bu fonksiyonların problem boyutunun fonksiyonu olarak nasıl değiştiğini tespit için gözlemler yapmışlardır. Algoritmada kullanılan karınca sayısı n genellikle problemde bulunan nokta (düğüm) sayısına (Gezgin Satıcı Problemlerinde şehir sayısına) m eşit olarak alınır. Çözüm prosesinin verimliliğinde feromonlar arasındaki iletişimin önemi ve m karınca sayısının etkisini değerlendirmek için yürütülen deneyler sonucu bir çok karıncanın ve iz (feromon) haberleşme sisteminin kullanımında sinerjik bir etki olduğu elde edilmiştir. n tane karınca arasında haberleşme olduğunda, olmaması durumuna göre daha efektif bir arama yapılmıştır. Haberleşen karıncalar durumunda sinerjik etkinin maksimuma ulaştığı $m = n$ verilen bir “en iyi noktası” vardır (Dorigo, Maniezzo ve Colorni, 1996).

KKS performanslarını daha da iyileştirmek için yeel arama prosedürleri eklenmiştir. Yerel Arama, algoritma sonucu elde edilen çözümlere uygulanan bir iyileştirme prosedürdür. 2-opt ve ilerleme ekleme gibi sezgisellerle iyileştirilmesi yapılan çalışmalarla, geliştirici sezgisel

tarafından veya rastlantısal olarak üretilen çözümlerden başlayan bir tur geliştirme sezgiselini iterasyonel olarak yürütülmesinden daha efektif olduğu gösterilmiştir (Dorigo ve Gambardella, 1997b).

4.2.11 İyileştirilmiş Karınca Kolonisi Sistemi

İyileştirilmiş Karınca Koloni Sistemi (IACS) ilk olarak Ting ve Chen tarafından (2004) önerilen KKS tabanlı bir algoritmadır. IACS aşağıda bahsedilen 4 adımı içerir (Chen ve Ting, 2005):

1. **Adım:** Parametreleri ayarla ve feromon izlerini başlangıç seviyesine getir.
2. **Adım:** Durum seçim kuralı ile her karınca çözümü inşa eder ve yerel feromon güncellemeyi uygular.
3. **Adım:** Karıncaların çözümlerini iyileştirmek için yerel arama uygulanır.
4. **Adım:** Global feromon bilgisi güncellenir.

Yerel arama KKS ye uygulanan bir prosedürdür. IACS’de yerel aramanın iki farklı tipi ile mevcut iterasyonda en iyi çözüme uygulanır. Bunlar; 2-opt ve ilerleme eklemedir.

4.2.12 ACS-3-Opt

Karınca Kolonisi Sistemine geliştirilmiş tur sezgiselinin eklenerek ACS-3-Opt algoritması elde edilmiştir. Bu algoritma yerel arama olarak 3-opt tur iyileştirme sezgiseli eklenerek oluşturulmuştur. Bu algoritma, Gezgin Satıcı Problemi (TSP) ve Asimetrik Gezgin Satıcı Probleminin (ATSP) her ikisini birden çözme yeteneğini sürdürmek için geliştirilmiştir (Dorigo ve Gambardella, 1997a). KKS-3-opt’da bekletici program karıncalar tarafından üretilen çözümleri geliştirmek için opt yerel araştırma prosedürünün varyansı tabanlı yerel araştırma prosedürünü aktive eder ve ondan sonra çevrim dışı feromon iz güncellemesini gerçekleştirir (Dorigo, Di Caro ve Gambardella, 1999).

4.3 Karınca Kolonisi Optimizasyonu Algoritmalarının Uygulandığı Problemler

Karınca algoritmaları ilk defa Dorigo ve meslektaşları tarafından (1991) Gezgin Satıcı Problemi (TPS) veya Kuadratik Atama Problemi (QAP) gibi zor birleşimsel optimizasyon problemlerine zor etmenli bir yaklaşım olarak ileri sürülmüştür (Colorni, Dorigo ve Maniezzo, 1991).

Bilimsel bir çok karınca tabanlı algoritma çalışmaları vardır. Mevcut uygulamalar Araç Rotalama Problemi (VRP), Ardışık Sıralama Problemi (SOP) (Gambardella ve Dorigo, 2000), Grafik Renklendirme Problemi, İletişim Ağlarında Rotalama, Makine Araç Yavaşlık

Problemi, Alan Planlama Problemi, Kaynak Kısıt Proje Çizelgeleme Problemi (RCPS) ve Açık Dükkan Çizelgeleme Problemi (OSS) gibi birçok problemlere uygulandı (Dorigo ve Blumb, 2005; Dorigo, Di Caro ve Gambardella, 1999; Maniezzo, Gambardella ve de Luigi, 2003).

4.3.1 Gezgin Satıcı Problemi

Gezgin Satıcı Problemi (TSP), seyahat eden bir satıcının gezmesi gereken bütün şehirleri, herhangi bir şehirden başlayarak en ucuz maliyetle (en kısa yolu kullanarak) dolaşıp, tekrar başladığı şehire dönmesini vurgulayan bir optimizasyon problemidir. Bu tür optimizasyon problemlerinin çözümleri için günümüze kadar birçok algoritma geliştirilmiş ve çözüme ulaşılmaya çalışılmıştır. Gezilmesi gereken şehir sayısı arttıkça, problem kompleks hale gelmektedir (Dalkılıç ve Türkmen, 2003). TSP ile ilgili matematiksel problemler 1800’lü yıllarda matematikçi William Rowan Hamilton ve Thomas Penyngton Kirkman ele almıştır. Gezgin Satıcı Probleminde belli bir sayıda şehir ve bir şehirden diğerine hareket maliyeti verildiğinde her şehri bir kez ziyaret ederek ve sonunda başlangıç şehrine dönen en ucuz turun bulunması amaçlanmaktadır [7].

R şehirleri gösteren bileşenler kümesi olsun, B , R ’deki elemanların tamamını birbirine bağlayan bağlantılar kümesi ve $Jr_i r_j$, r_i ve r_j arasındaki i ve j şehirleri arasındaki mesafe olan bağlantının maliyetini (uzunluğu) gösteriyor olsun. TSP, $G=(R,B)$ grafiğinde Hamilton çevriminin en kısa uzunluğunu bulma problemidir. G grafiğinin Hamilton çevrimi G grafiğindeki tüm NR noktaları bir kere ve yalnız bir kere ziyaret eden ψ kapalı turudur ve uzunluğu birleştirilen tüm kenarların uzunluk toplamı kadardır. TSP problemi karınca kolonisi optimizasyonları içinde önemli yer tutmaktadır çünkü; TSP bu metodlarla çözülmeye çalışan ilk problemidir (Colorni, Dorigo ve Maniezzo, 1991).

Karınca Kolonisi Optimizasyonu algoritmaları ile çözülmek için TSP’nin seçilme nedenleri arasında şunlar sayılabilir (Dorigo ve Di Caro, 1999):

- Karınca kolonisi metaforunun adapte edilmesi diğerlerine göre daha kolaydır,
- TSP çok zor bir problemidir (NP-zor),
- Hesapsal optimizasyonda (combinatorial optimization) en çok çalışılmış problemlerden biridir,
- TSP açıklanması ve ifade edilmesi kolay bir problemidir.

Yukarıda belirtilen sebeplerden ötürü de ayrıca TSP, karınca kolonisi optimizasyonu algoritmalarının üzerinde en çok çalışıldığı problem tiplerinden biridir. Dahası geliştirilen

karınca algoritmaları daha çok TSP üzerinde kıyas edilmiştir.

KKO algoritmalarından olan Karınca Sistemi, TSP örneklerine uygulanarak çıkan sonuçlar bilinen en iyi çözümlerle kıyaslandığında KS'nin göreceli küçük çaplı problemlerde (30-75 arası değişen şehirlere sahip) bilinen en iyi çözümü bulacak ve iyileştirecek kapasitede olduğu ama maalesef büyüyen boyuttaki problemler için KS'nin bilinen en iyi çözüme ulaşamamış olduğu gösterilmiştir (Dorigo, Di Caro ve Gambardella, 1999). KS'nin performansını artırmak için formülasyondaki parametre değerleri ile ilgili testler yapılarak en iyi çözüm performansını veren parametre değerleri saptamaya yönelik çalışmalar da literatürde mevcuttur (Dorigo, Maniezzo ve Coloni, 1996). Ayrıca KS'nin performansı Genetik Algoritma (GA) ve Benzetimli Tavlama (SA) gibi diğer sezgisellerin sunduğu performansla kıyaslamak için literatürde yer alan TSP kıyaslama problemleri kullanılmıştır (Bullnheimer, Hartl ve Strauss, 1997a).

Karınca Kolonisi Sistemi de simetrik Gezgin Satıcı Problemi ve Asimetrik Gezgin Satıcı Problemine (ATSP) uygulanmış ve elde edilen sonuçlar KKS'nin iyi çözümlere erişebilir yetenekte olduğunu göstermiştir (Gambardella ve Dorigo, 1996). KKS'nin performansını geliştirmek için değişik aday boyutları ile testler yürütülmüş, daha sonra da KKS'nin TSP ve ATSP problemlerinin her ikisini birden çözme yeteneğini sürdürmek için kısıtlanmış 3-opt prosedürünü KKS'ne eklenerek uygulamalar yapılmıştır (Dorigo ve Gambardella, 1997a). Daha geniş Gezgin Satıcı Probleminin çözümü için paralel genetik algoritma ve çoklu karınca kolonileri kavramlarından oluşan hibrid bir sezgisel geliştirilmiştir (Tsai, Tsai ve Tseng, 2004). Paralel Karınca Kolonisi Optimizasyonu algoritması da TSP üzerinde çözüme ulaşılmaya çalışılan başka bir KKO sezgiselidir. Bu çalışmayla çoklu karınca kolonileri arasındaki iletişim etkisi araştırılmak istenmiştir (Manfrin ve diğerleri, 2006). Ant-Q Karınca Kolonisi Optimizasyonu algoritması da yeni geliştirildiğinde TSP'ye uygulanmış ve elde edilen sonuçlar özellikle Asimetrik Gezgin Satıcı Problemlerinde (ATSP) tercihen zor örneklerinde optimal çözümleri bulmada etkili olduğunu göstermiştir (Gambardella ve Dorigo, 1995). Maksimum-Minimum Karınca Sistemi de (MMAS) performansını test etmek için TSP üzerinde uygulanmıştır (Stützle ve Hoos, 2000).

4.3.2 Araç Rotalama Problemi

Bullnheimer, Hartl ve Strauss (1997b) Araç Rotalama Problemi çözümü için KS kullanan ilk araştırmacılarıdır. Bu araştırmacılar, KS'yi ARP'ye uygulayarak elde ettikleri sonuçları Yasak Arama (TA), Benzetimli Tavlama (BT) gibi diğer meta sezgisellerle kıyaslamışlar ve KS'nin kıyaslama problemleri için bilinen en iyi sonuçları iyileştiremeye de iyi sonuçlar elde edilebileceğini göstermişlerdir (Bullnheimer, Hartl ve Strauss, 1997b).

Araç Rotalama Problemlerinin çözümünde Karınca Kolonisi Optimizasyonu algoritmalarından daha çok faydalanabilmek için bir çok KKO algoritmaları geliştirilmiştir. Ayrıca geliştirilen KKO algoritmalarının performanslarını test etmek için TSP'nin yanı sıra ARP'den de faydalanılmıştır.

Bullnheimer, Hartl ve Strauss (1999) ARP için Geliştirilmiş KS (IAS) geliştirdiler. Bundan başka Gambardella ve arkadaşları (1999) zaman pencereli araç rotalama problemine çoklu karınca koloni sistemi (MACS-VRPTW) önerdiler ve literatürde kıyaslama problemleri için bilinen bazı en iyi sonuçları geliştirdiler. MACS-VRPTW'de bir koloni araç sayısını en aza indirmeye çalışırken diğer koloni ziyaret edilen mesafeyi minimize edecek şekilde tasarlanmıştır. Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemine uygulanan diğer bir Karınca Kolonisi Optimizasyonu algoritması İyileştirilmiş Karınca Kolonisi Sistemidir (IACS). Bu uygulamalar IACS'nin diğer meta sezgisellerle ARP çözümleri için rekabet edebilir kapasitede olduğunu göstermiştir ve literatürde yer alan 56 Solomon Kıyaslama Problemlerinden 14 tanesi için yeni en iyi sonuçlar önermiştir (Chen ve Ting, 2005).

Araç Rotalama Problemlerinde elde edilen rotaların iyileştirilmesine yönelik de stratejiler geliştirilmeye çalışılmıştır. Her araç tarafından ziyaret edilen müşteri yerlerinin mümkün şekilde çift olarak değişimi üzerine kurulu olan 2-opt sezgiseli ve aday listeleri kullanılması stratejileri geliştirilmiştir. Yapılan deneyler, aday listesi boyutunun ARP'ye iyi çözümleri bulmak için önemli olduğunu göstermektedir (Bella ve McMullen, 2004).

Zamana Bağımlı Araç Rotalama Problemi (TDVRP) de KKO algoritmalarından Çoklu Karınca Kolonisi Sistemi (MACS) uygulanarak çözülmeye çalışılmıştır ve yapılan deneyler sonucunda yüksek trafik koşul varvasyonlarına sahip durumlarda bu modelin en uygun model olduğunu gösterilmiştir (Donatti ve diğerleri, 2006). Zamana bağımlılık gerçek dünyada çok yaygın bir durum olduğu için KKO algoritmaları da yaygın bir şekilde kullanıldı. Kentsel bir çevrede fiziksel dağıtım için yapılan çalışmalar KKO algoritmalarının Yöneylem Araştırmalarında önemli bir araç olduğu gösterilmiştir (Rizzoli ve diğerleri, 2005).

Araç Rotalama Problemlerinden müşteri taleplerinin stokastik olduğu Dinamik Araç Rotalama Problemine (DARP) KKS uygulanmıştır ve literatürde yer alan kıyaslama problemleri için iyi sonuçlar elde edilebilmiştir (Montemanni ve arkadaşları, 2005). Stokastik müşteri taleplerini karşılamada farklı araç tipleri ile karşılanması ve birden fazla depodan faydalanılması durumu çözümü için de KKO algoritmalarından faydalanmıştır (Gambardella ve diğerleri, 2004).

Kapasite kısıtı bulunan Araç Rotalama Problemi (KKARP) de KKO algoritmaları ile çözüme ulaşılmaya çalışılmış ve 50 noktaya kadar KKO algoritmasının iyi sonuç verdiğini

gösterilmiştir (Mazzeo ve Loiseau, 2004).

4.3.3 Kuadratik Atama Problemi

Kuadratik Atama Probleminde (QAP), r tesis kümesi ve r lokasyon tesisi kümesinin bulunduğu ve her lokasyon çifti için, bir uzaklık belirtilir ve her tesis çifti için bir akış ağırlığı (iki tesis arasındaki taşınan tedarik miktarı gibi) belirtilir. QAP; ilgili akışlarla çarpılmış uzaklıkların toplamını minimize etme amacıyla tüm tesislerin değişik lokasyonlara atanması problemidir [8].

QAP, TSP'den sonra KS gibi algoritmaların uygulandığı ilk problemlerden biridir. Yerel arama prosedürü ile iyileştirilmiş hibrid Karınca Kolonisi Sistemi ile HAS-QAP modeli geliştirilerek QAP'ye uygulanmıştır. Gerçek dünya uygulamalarında HAS-QAP en iyi sonuç veren modeller arasında yer almakta olduğu gösterilmiştir (Gambardella, Taillard ve Dorigo, 1999). QAP çözümü için kullanılan bir başka KKO algoritması da KS metaforu ile uyumlu bir şekilde tanımlanan ve her yapıcı adımda yeni bir aşağı sınırın kullanımı gibi ayırıcı bir özellik içeren geliştirilmiş sezgisel bir tekniktir (Maniezzo, 1998). QAP çözümünde KS uygulamasının performansına bakıldığında ise literatürde yer alan kıyas problemleri için KS performansının hep iyi olduğu gösterilmiştir (Dorigo, Maniezzo ve Colorni, 1996).

4.3.4 Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi

Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi (JSP), sonlu sayıda m tane tezgahta işlenmek üzere yine sonlu sayıda n tane işi, önceden belirlenen bir sıra ve kapasite kısıtlarını yerine getirerek, amaç fonksiyonunu optimum kılacak şekilde her bir işlemin başlama zamanını belirlemek olarak tanımlanabilir. Bu problemde her bir işin tezgahlara uğrayacağı sıra farklıdır ve iki tip kısıtlamadan söz edilebilir. Birincisi, bir işin bir operasyonu bitmeden diğer operasyonunun başlayamamasıdır. Aynı zamanda bir iş bir anda sadece bir tezgah tarafından işlenebilir. İkincisi ise bir tezgah aynı anda sadece bir işin bir operasyonunu gerçekleştirir (Şevkli ve Yenisey, 2006).

Literatürde JSP çözümü için KS uygulaması 15 makine-15 işe kadar boyutları olan problemlere uygulanmış ve optimal değer $\%10$ dışına çıkmayacak sonuçlara ulaşılabilmektedir. Bu sonuçlar çok iyi olmamasına rağmen ümit verici olarak nitelendirilmiş ve uygulanabilir sistemlere öncülük edecek yeni çalışmalar önermiştir (Colorni ve diğerleri, 1994; Dorigo, Maniezzo ve Colorni, 1996).

4.3.5 En Kısa Ortak Süper Ardılık Problemi

En Kısa Ortak Süper Ardılık (SCS) en kısa uzunluğun bir ortak süper ardılıdır. Bu

problemde, iki ardıl X ve Y verilir ve bu ardılların mümkün en kısa süper ardıllını bulmak amaçtır. Genellikle SCS değeri tek değildir [9].

En Kısa Ortak Süper Ardıllık Probleminin çözümü için KKO algoritmalarından KS uygulanmış ve AS-SCS tekniği geliştirilmiştir. Geliştirilen bu teknik En Kısa Ortak Süper Ardıllık Problemi uygulamalarında diğer meta sezgisellere göre daha iyi performans göstermiş ve iyi sonuçlara daha hızlı ulaşmıştır (Michel ve Middendorf, 1999).

4.3.6 Çizge Boyama Problemi

Çizge boyama uygun kısıtlara göre bir çizgedeki uygun nesnelere “renkler”in atanmasıdır. En basit ifadesiyle, zirve boyama olarak adlandırılan komşu iki köşenin aynı rengi paylaşmayacak şekilde bir çizgenin boyanmasıdır. Benzer olarak bir kenarı boyama, iki bağlı kenarın aynı rengi paylaşmayacak şekilde her kenara renk atamasıdır ve düzlemsel bir çizgenin yüzey boyanması bir sınırı paylaşan iki yüzeyin aynı renk olamayacak şekilde yüzey veya bölgelere renk atamasıdır [10].

Çizge Boyama Problemi (GCP) için KKO algoritmaları önerilerek problemin çözümü için uygulandı. Bunlardan en yaygın olanı iki sezgiseldir: Her karınca yapısal bir sezgiseldir ve bir hareket bir köşe seçmeye ve onu boyamaya bağımlıdır (Dsatur). Diğer karınca boyama metodunda ise her karınca yapısal bir sezgisel yerine yerel aramadır (ANTCOL). Yapılan testler ANTCOL algoritmasının Dsatur algoritmasından daha iyi çözümler sunabildiğini göstermiştir. (Hertz ve Zufferey, 2006).

4.3.7 Ardışık Sıralama Problemi

Ardışık Sıralama Problemi (SOP), noktalar arasındaki kısıtların aşılmasına göre noktalarda ve kenarlarda ağırlıklarla birlikte yönetilen grafikte en az ağırlıkta Hamilton yolunun bulunmasını içerir. Asimetrik TSP’ye bitiş şehrinin başlangıç şehrine bağlanmaması yönüyle benzer. SOP ilk olarak üretim planlama sisteminin sezgisel tasarımı için tarafından formüle edilmiş NP-zor kombinasyonel optimizasyon problemidir (Escudero, 1988). SOP toplama ve teslimat kısıtları olan tek araç rotalama problemi, üretim planlama ve esnek imalat sistemlerinde ulaşım problemleri gibi gerçek dünyada karşılaşılan problemlerin modelleridir (Dorigo, Di Caro ve Gambardella, 1999). Buyüzden uygulama bakış açısından önemli bir problemidir.

Ardışık sıralama problemi için SOP-3 değişimi diye adlandırılan yeni bir yerel optimizör ve Karınca Kolonisi Optimizasyonu algoritmasının birleştiren HAS-SOP algoritmasının yapılan testler sonucunda var olan çözüm metodlarına göre daha etkili olduğu tespit edilmiş ve birçok standart test grupları için bilinen en iyi sonuçlar iyileştirilmiştir (Gambardella ve Dorigo,

2000).

4.3.8 Dinamik Kombinasyon Optimizasyon Problemleri

KKO algoritmalarının dinamik kombinasyon optimizasyon problemlerine uygulamalarında yapılan araştırmalar haberleşme ağları üzerinde odaklanmıştır. Bu, ağ optimizasyon problemleri KKO meta sezgiselinin hepsiyle eşleşen ağ yapısının eş zamansız değerlendirmesi, durağan olmayan stokastik dinamikler ve esas bilgi ve ölçümleme dağılımı gibi karakteristiklere sahip olmasından dolayıdır. Bu problemlerde karıncalar bağlantılarla ilgili feromon iz değişimlerinde korunan bilginin kullanımını yapan olasılıklı geçiş kuralını uygulayarak kaynaktan varış noktalarına patika inşa eden ve ağ boyunca seyahat eden veri paketleri gibidirler. Haberleşme ağları için KKO yürütümleri; bağlantı yönelimli ağlar ve bağlantısız ağlar için olanlar olmak üzere iki sınıfta toplanırlar. Bağlantı yönelimli ağlarda aynı oturumun tüm paketleri başlangıç hazırlık/ayarlama fazı tarafından seçilen ortak patikayı takip ederler. Öte yandan, bağlantısız olanlarda veya datagramlarda aynı oturumun ağ veri paketleri farklı patikaları takip ederler. (Dorigo, Di Caro ve Gambardella, 1999).

4.4 KKO Algoritmalarının Diğer Metasezgisellerle Kıyaslanması

KKO algoritmaları yukarıda bahsedilen bir çok değişik optimizasyon problemlerine uygulanmıştır. Değişik problemler üzerinde uygulanan KKO algoritmaları kıyaslama problemleri üzerinde denenerek ya performansları test edilmiştir ya da diğer sezgisel metotlarla kıyaslanmıştır.

KKO algoritmalarının TSP örnekleri üzerindeki uygulamaları öncelikle KS'nin küçük çaplı problemlerde bilinen en iyi çözümü bulacak kapasitede olduğunu göstermiştir (Dorigo ve arkadaşları, 1999). KS'nin performansı Genetik Algoritma (GA) ve Benzetimli Tavlama (BT) gibi diğer sezgisellerin sunduğu performanslarla kıyaslandığında ise bu sezgisellerle rekabet edecek potansiyele sahip olmakla birlikte GA ve BT, KS'den çok az olmakla birlikte biraz daha iyi bir performans sergilemiştir (Bullnheimer, Hartl ve Strauss, 1997b).

Araç Rotalama Problemlerine KKO algoritmalarından KS uygulanarak elde edilen sonuçlar Tabu Arama (TA), Benzetimli Tavlama (BT) gibi diğer meta sezgisellerle kıyaslandığında KS'nin kıyaslama problemleri için bilinen en iyi sonuçları iyileştiremeye de iyi sonuçlar elde edilebileceğini göstermiştir (Bullnheimer, Hartl ve Strauss, 1997b). Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemlerine uygulanan Çoklu Karınca Kolonisi Sistemi (MACS-VRPTW) literatürde bilinen bazı en iyi sonuçları geliştirmiştir (Gambardella, Taillard ve Agazzi, 1999). Aynı tür araç rotalama problemlerine uygulanan başka bir KKO algoritması İyileştirilmiş Karınca Kolonisi Sistemidir (IACS) ve diğer meta sezgisellerle ARP çözümleri için rekabet

edebilir kapasitede olduğunu göstermiştir (Chen ve Ting, 2005). Karınca Kolonisi Sistemi simetrik Gezgin Satıcı Problemi ve Asimetrik Gezgin Satıcı Problemine (ATSP) uygulanmış ve elde edilen sonuçlar KKS'nin iyi çözümlere erişebilir yetenekte olduğunu göstermiştir (Gamberdella ve Dorigo, 1996).

Ardışık Sıralama Problemi için uygulanan KKO algoritmaları ile iyi sonuçlar elde edilmiştir ve birçok kıyaslama örneği için bilinen en iyi sonuç geliştirilmiştir (Dorigo ve Di Caro, 1999).

En Kısa Ortak Süper Ardılık Problemi için geliştirilen AS-SCS tekniği uygulamalarında diğer meta sezgisellere göre daha iyi performans göstermiş ve iyi sonuçlara daha hızlı ulaşılmıştır (Michel ve Middendorf, 1999).

Ardışık sıralama problemi için HAS-SOP algoritmasının yapılan testler sonucunda var olan çözüm metodlarına göre daha etkili olduğu tespit edilmiştir (Gambardella ve Dorigo, 2000).

5. ÇOK DEPOLU ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİNİN MODELLENMESİNDE VE ÇÖZÜMÜNDE KARINCA KOLONİSİ OPTİMİZASYONU KULLANIMI

Bu bölümde çok depolu araç rotalama probleminde çözüme ulaşmak için metasezgisel yaklaşımlardan biri olan Karınca Kolonisi Optimizasyonu tekniklerinden Karınca Kolonisi Sistemi kullanılarak geliştirilen bir modelleme ve çözüm önerisi sunulmuştur.

Geliştirilen model ve önerilen çözüm literatürde yer alan kıyaslama problemleri üzerinde test edilerek mukayeseler elde edilmiştir.

Elde edilen çözümün kalitesini geliştirmek için modelde yer alan açılar ve KKS formülasyonunda çözümün mesafe ve feromon bağımlılıklarını etkileyen parametreler değiştirilerek elde edilen sonuçlarda iyileştirmeler elde edilmeye çalışılmıştır.

5.1 Problemin Tanımı

ARP lojistikte önemli bir yere sahiptir. ARP ile lojistik maliyetlerin büyük bir kısmını oluşturan dağıtım maliyetleri en az seviyeye indirilebildiği gibi önemli oranda zaman tasarrufu da sağlanabilir. Bu yüzden ARP üzerinde yapılan çalışmalara gerçek dünya örneklerinde de sıkça karşılaşılmaktadır ve kullanılmaktadır.

ARP çeşitlerinden biri olan ÇDARP servis verilecek müşteriler, araçlar ve birden fazla depodan oluşmaktadır. ÇDARP müşterilere daha iyi hizmet sunulması açısından birden fazla deponun konuşlanmış olmasıyla gerçek dünyada da oldukça sık karşılaşılan ARP çeşitidir. Mesela, bir süpermarket zinciri süpermarketlerine tedarik sağlayan depolarının sayısı birden fazla olabilmektedir. Yada internet üzerinden ürün siparişi yapan bir alışveriş şirketi şehir veya ülke geneline dağılan müşterilerine ürünleri zamanında ulaştırabilmek için birden fazla depodan faydalanmaktadır. ÇDARP literatürde ilgi görmesine rağmen diğer ARP türlerine göre irdelendiği çalışma sayısı sınırlıdır.

Bu sebeplerden ötürü, ARP türlerinden gerçek dünyada yaygın kullanım alanı olduğu düşünülen buna karşın literatürde sınırlı sayıda çalışmada işlenilmiş olan ÇDARP çözümü ile ilgilenilmiştir.

Geliştirilen çözüm yaklaşımın ana kısmını KKO kullanılması oluşturmaktadır. KKO gerçek karıncaların davranışlarından esinlenilerek geliştirilmiş ve TSP, Atölye Tipi Çizelgeleme, Çizge Boyama ve ARP gibi farklı optimizasyon problemlerinin çözümlerinde faydalanılmış bir metasezgiseldir. Literatürde KKO'nun ARP üzerinde çokça uygulandığı ve Tabu Arama, Benzetimli Tavlama gibi bir çok metasezgisellerle kıyaslandığı çalışmalar mevcuttur. Hatta KKO kullanılarak bazı tür ARP (ZPARP) için bilinen en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Buna

karşın yapılan taramalarda literatürde KKO ile çözülmüş ÇDARP çalışmalarına rastlanılmamıştır.

Böylelikle ÇDARP çözümüne ulaşmak için KKO'ndan yararlanılarak bir model ve çözüm önerisi sunulmaya çalışılmıştır.

5.2 Problemle İlgili Veriler

ÇDARP için geliştirilmeye çalışılmış olan model ve çözüm önerisinin etkinliği, optimum çözüme ulaşma becerisini tespit edebilmek için literatürde yer alan problem kümelerinden faydalanılmıştır. Çözüm önerisi literatürde yer alan ÇDARP örnekleri üzerinde uygulanmıştır.

Cordeau, Gendreau ve Laporte 1997 yılında hazırladıkları ve çözüm için Tabu Arama tekniğinden faydalandıkları makalelerinde kullandıkları test problemleri literatürde faydalanılan ve birçok yaklaşımın etkinliğini test için kullanılan ÇDARP örnek problem kümesidir (Cordeau, Gendreau ve Laporte, 1997). İlgili problem kümesinin verilerine ve bilinen en iyi sonuçları ve çözümlerine internet üzerinden erişilebilmektedir[11].

Literatürde yer alan ÇDARP örneklerinin özellikleri şöyledir:

- 50-360 müşteri arasında değişen müşterilere sahiptirler,
- 2-9 arasında depo vardır,
- Hepsinde araçların taşıyabileceği kapasite belirlidir yani bir kapasite kısıtı mevcuttur,
- Bazı problemlerde zaman kısıtı da mevcuttur.

KKO kullanılarak geliştirilen modelin ve çözüm önerisinin test edilmesi için örnek problem kümesindeki problemlerden müşteri sayısı çeşitliliğine göre seçilmiş olan 9 problem üzerinde test edilmiştir. Bu problemler, müşteri kümesi az, müşteri kümesi kısmen büyük ve müşteri kümesi geniş olması durumuna göre seçilmiştir.

Seçilen problemlerde yer alan müşterilerin sayıları, koordinatları, hizmet verecek araçların kapasiteleri, müşteri talepleri birbirinden farklılık göstermektedir. Aşağıdaki çizelgede seçilen problemlerin özellikleri özet olarak yer almaktadır.

Çizelge 5.1 Seçilen problem örneklerinin özellikleri

Problemin Adı	Müşteri Sayısı	Depo Sayısı	Araç Kapasitesi
P01	50	4	80
P02	50	4	160
P03	75	5	140
P05	100	2	200

P06	100	3	100
P07	100	4	100
P15	160	4	60
P18	240	6	60
P21	360	9	60

5.3 Problemin Modeli ve Çözümü

Geliştirilen çözüm yaklaşımında amaç fonksiyonu her deponun kullanılarak tüm müşterilere hizmet verilmesi esnasında toplam seyahat edilen mesafenin minimize edilmesidir. Bunun için müşterilere birden fazla depodan hizmet sağlanıldığı düşünülmektedir. Fakat bir müşterinin talebi sadece bir depodan tedarik edilebilir yani bir müşterinin birden fazla depodan servis edilmesi söz konusu değildir. Ayrıca her müşteri sadece bir araç tarafından ziyaret edilebilir durumdadır ve müşterinin taleplerinin bir kerede karşılanması gerekmektedir, müşteri talebinin bölünmesi veya parça parça karşılanması söz konusu değildir. Her araç seyahata başladığı depoya geri döner ve bir araç birden fazla depodan yükleme yapamaz.

Ayrıca depolarda bulunan ürün miktarı müşteri taleplerini fazlasıyla karşılayacak durumdadır. Her müşterinin talebi birbirinden farklıdır ve talep miktarı bilinmektedir. Araçların yükleme kapasiteleri bellidir ve önceden bilinmektedir. Araçların tur esnasında arızalanmadığı, duraklama yapmadığı, rota esnasında araç yakıtının tükenmediği kabul edilmektedir.

Literatürde genelde ÇDARP çözümlerinde uygulanan yaklaşımlar iki aşamadan oluşmaktadır. Çözüm aşamaları önce gruplama yapıp sonra rotalama yapılmasına veya önce rotalama yapıp sonra gruplama yapılması şeklinde farklılık göstermektedir.

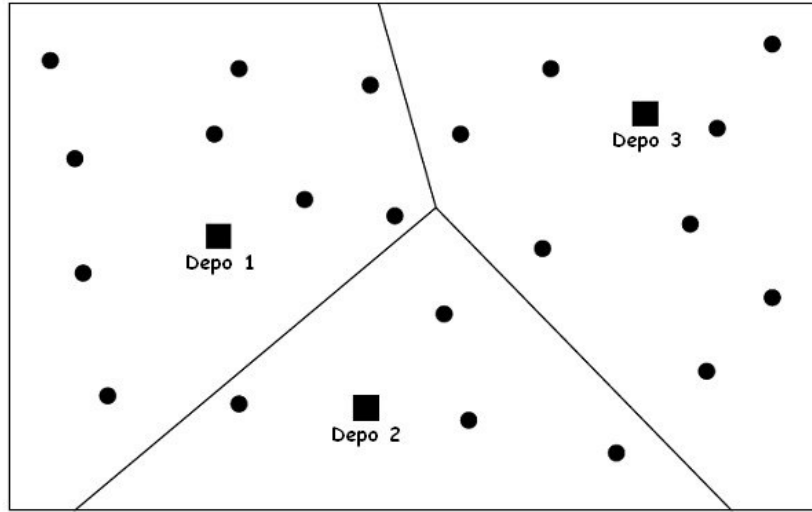
Önerilen çözüm de bu bağlamda üç aşamadan oluşmaktadır. Fakat rotalama ve gruplama sırası açısından önce gruplama yapılmakta daha sonra da rotalama yapılmaktadır. Çözüm ÇDARP'nin önce depolara göre müşterilerin gruplanmasından sonra da rotalanmasından oluşmaktadır.

Birinci Aşama

Geliştirilen çözüm metodunun ilk aşamasını gruplandırma oluşturmaktadır. Gruplama ile her müşteri kendilerine ait hizmet alacakları depolara göre gruplandırılır.

Müşterilerin depolara göre gruplanması esnasında uygulanabilecek bir çok metot mevcuttur. Bunlardan bir tanesi Bompadre, Dror ve Orlin tarafından 2006 yılında yapılan çalışmadır. Bu çalışmada birden fazla depo bulunan problemde müşteriler depolara atanırken göreceli olarak çok basit bir kural işletilmiştir. Buna göre her müşteri kendisine en yakın depoya

atanmıştır(Bompadre, Dror ve Orlin, 2006). Müşterilerin kendilerine en yakın depoya atanması ile her grupta bir depo bulunacak şekilde gruplama gerçekleştirilmiş olur.



Şekil 5.1 Müşterilerin kendilerine en yakın depoya atanmasının şematik gösterimi (Bompadre, Dror ve Orlin, 2006)

Bu yaklaşım uzun prosedürler için basit ve kolay uygulanabilir olması açısından oldukça uygundur. Bu açıdan önerilen çözümün ilk aşaması olan gruplandırma aşaması için bu yaklaşımın uygulanması seçilmiştir. Bu metot ile çözümün ilk aşaması olan gruplama yapılır ve çözüm prosedürü kolaylaştırılmış olunur. ÇDARP için gruplama aşamasının etkinliği tüm çözümün etkinliğinde önemli rol oynayacaktır. Ayrıca geliştirilen yaklaşımda rotalama aşaması daha çok üzerinde durulan kısmı oluşturmaktadır.

İkinci Aşama

Gruplama işlemi yapıldıktan sonra rotalama prosesi gelmektedir. Rotalama prosesi çözüm modelinin ikinci ve üçüncü kısımlarını oluşturan iki aşamaya ayrılmaktadır.

İkinci aşamanın başında gruplama işlemi ile birlikte depoya ait küme kendi içinde basit ARP'ne dönüştürülmüş olmaktadır. Süpürme Algoritmasından esinlenerek oluşan her grup içerisinde depo referans noktası (orijin) alınarak müşteriler polar koordinat düzlemine her i noktasını (θ_i, ρ_i) gösterilecek şekilde aktarılır. Daha sonra $\rho_i = 0$ ve θ için değer vererek KKO karıncaların çözüm aradıkları grupları oluşturan ve çözüm işlemlerini basitleştiren aday listesinin oluşumu sağlanır.

Aday listesi KKO içinde kullanılan ve karıncaların ziyaret edecekleri müşteri listesini gösterir. Bu açıdan sonuçlar üzerinde önemli etkilerinin olması, değişik aday listelerinin

çözümde farklılıklara götüreceği, iyi oluşturulmuş aday listelerinin iyi sonuçlar elde edilmesine katkı sağladığı görülür.

Aday listesi oluşturulurken bir aday listesindeki toplam müşteri taleplerinin araç kapasitesini aşmamasına dikkat edilir. Her aday listesi mutlaka depo içermelidir.

Üçüncü Aşama

Üçüncü aşamada oluşturulan aday listelerinde KKO algoritmalarından KKS kullanılarak rotalama yapılır.

Öncelikle aday listesindeki müşterilerin ve deponun arasındaki her bağlantıya karıncaların hareket etmelerinde önemli bir faktör olan feromon için başlangıç feromon miktarı atanır. Başlangıç feromonu depodan başlayarak aday listesinde yer alan müşterilerin en yakın komşu müşteri şeklinde belirlenen tur uzunluğundan $\tau_0 = (n * L_{mn})^{-1}$ formülü göz önüne alınarak atanır. Her aday listesinde bulunan müşteri sayısı kadar karınca depoda konuşlanır. Her karıncanın ziyaret ettiği şehirlerden oluşan yasak listesi oluşturulur. Yasak listesi karıncanın bir müşteriyi bir defadan fazla ziyaret etmesini önler ve bu liste başlangıçta boş kümedir.

Çözüme ulaşmak için rotalar KKO algoritmalarının bir türü olan KKS kullanılarak oluşturulmuştur. Her karınca gideceği bir sonraki müşteriyi seçerken KKS'nin sözde-rastlantısal orantılı durum geçiş kuralını kullanır. Karınca formül 4.11 ve 4.12'de ifade edildiği şekilde davranır.

Yani karınca üretilen rassal sayının q_0 'dan büyük oluşunda yeni çözümler arayarak, üretilen rassal sayının q_0 'dan küçük oluşunda bilinen bilgiler kullanılarak bir sonraki müşteri seçilir.

Bir sonraki müşteriye geldiğinde bir önceki müşteri artık karıncanın yasak listesine eklenir ve aynı müşteri aday listesinden çıkarılır. Karınca ziyaret edilmemiş şehirlerden birine gitmek için yine yukarıda anlatıldığı şekilde hareket eder. Karıncalar, yasak listeleri başlangıç aday listesine eşit oluncaya ve aday listesi boş oluncaya kadar harekete devam ederler.

Karıncalar tüm müşterileri dolandıktan sonra gidilen en kısa yolların üzerine bir sonraki iterasyonda kullanılmak üzere bilgi yani feromon bırakırlar. Feromon güncellemesi global olarak yani her karınca turunu tamamladıktan sonra yapılır. Bunun sonucunda karıncaların yaptıkları tur uzunlukları sıralanır ve sadece en kısa turu yapan karıncanın geçtiği bağlantılar üzerinde feromon güncellemesi yapılır. Feromon güncellemesi formül 4.13 ve 4.14'de belirtilen ifadeye göre gerçekleştirilir.

Feromon güncellenmesi ile karıncalar bir sonraki iterasyon için tekrar başlangıç konumuna (depoya) getirilir. Karıncalar belirlenen iterasyon sayısına ulaşana kadar yukarıdaki işlemler

tekrar edilir. Nihayetinde her aday listesi ve gruplar için en yüksek feromon değerli bağlantıların oluşturduğu nihai araç rotalarına ulaşılmış olunur.

```

1. For v=1 to  $V_0$   $S_v = \emptyset$ 
   For her müşteri  $x_i$  bul  $y_v$ , en yakın depo ve  $S_v = S_v \cup \{x_i\}$  End for
   End for

2. Depo orijin,  $\theta$  açısı ayarla
   Depodan saat yönü tersinde müşterileri sırala rotaya ata
   Müşteri mevcut rotaya ata, atanamazsa yeni rotaya başla

3.  $\alpha, \beta, \rho, q_0$  ayarla
   For her (r, s),  $\tau(r,s)=\tau_0$  End for
   3.1 Yasak Listesi dolana kadar tekrarla
     For i=1 to n yap
       For k=1 to m yap
         Formül 4.11 ve 4.12 ye göre müşteri seç
         Karınca seçilen müşteri git
         Seçilen müşteri Yasak Listesine ekle
       3.2 For k=1 to m yap
          $L^k(t)$  hesapla
       End for
        $L^b$  hesapla
       For her (r,s) için formül 4.13 ve 4.14 göre feromon güncelle
     End for

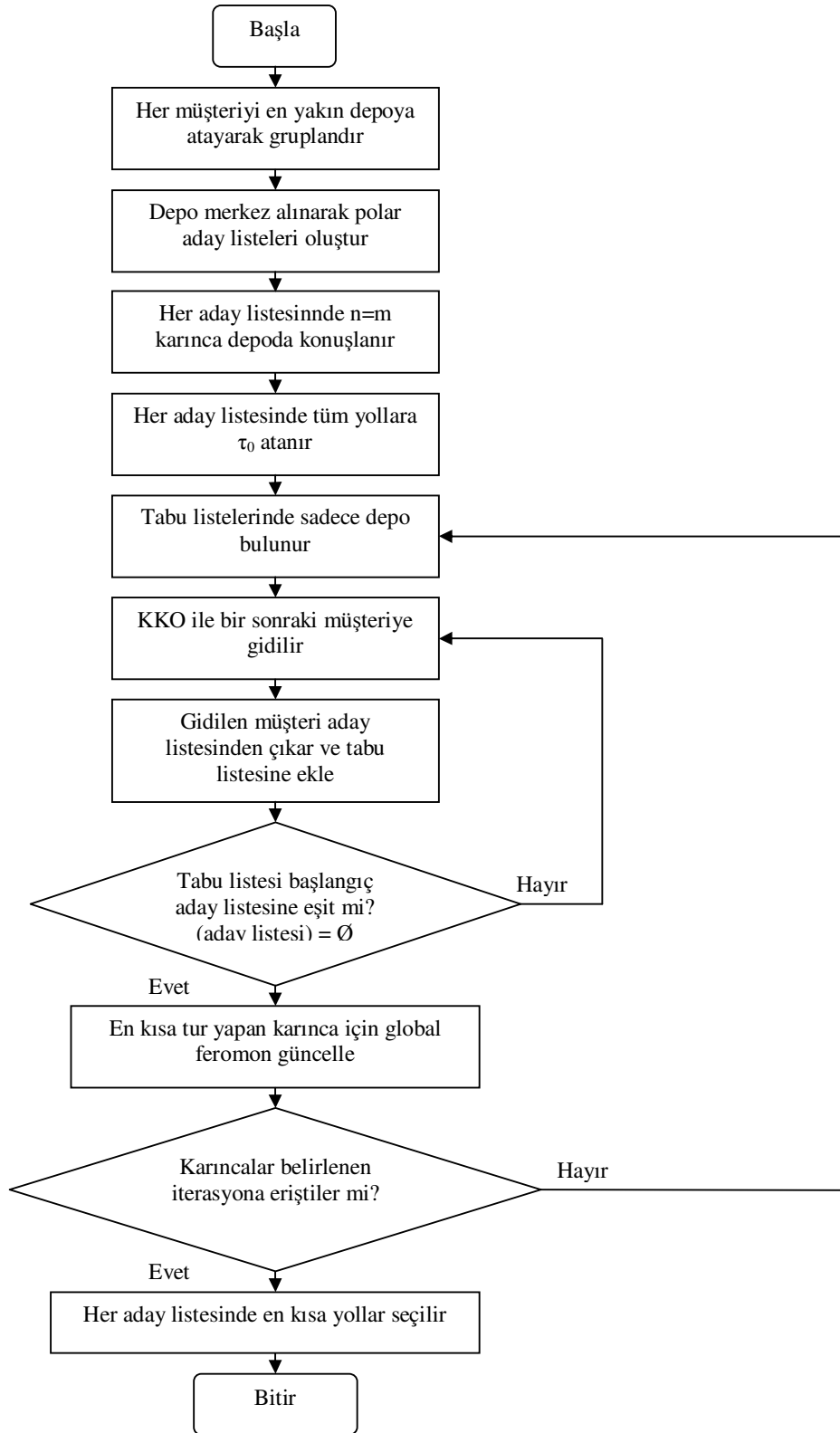
4. If Bitis_durum=True
   then en iyi yol cs göster
   else adım 3 e git

```

Şekil 5.2 Önerilen çözüm yaklaşımı için pseudo code

ÇDARP uygulanmak için geliştirilen bu yaklaşımın özet kodu Şekil 5.2’de yer almaktadır.

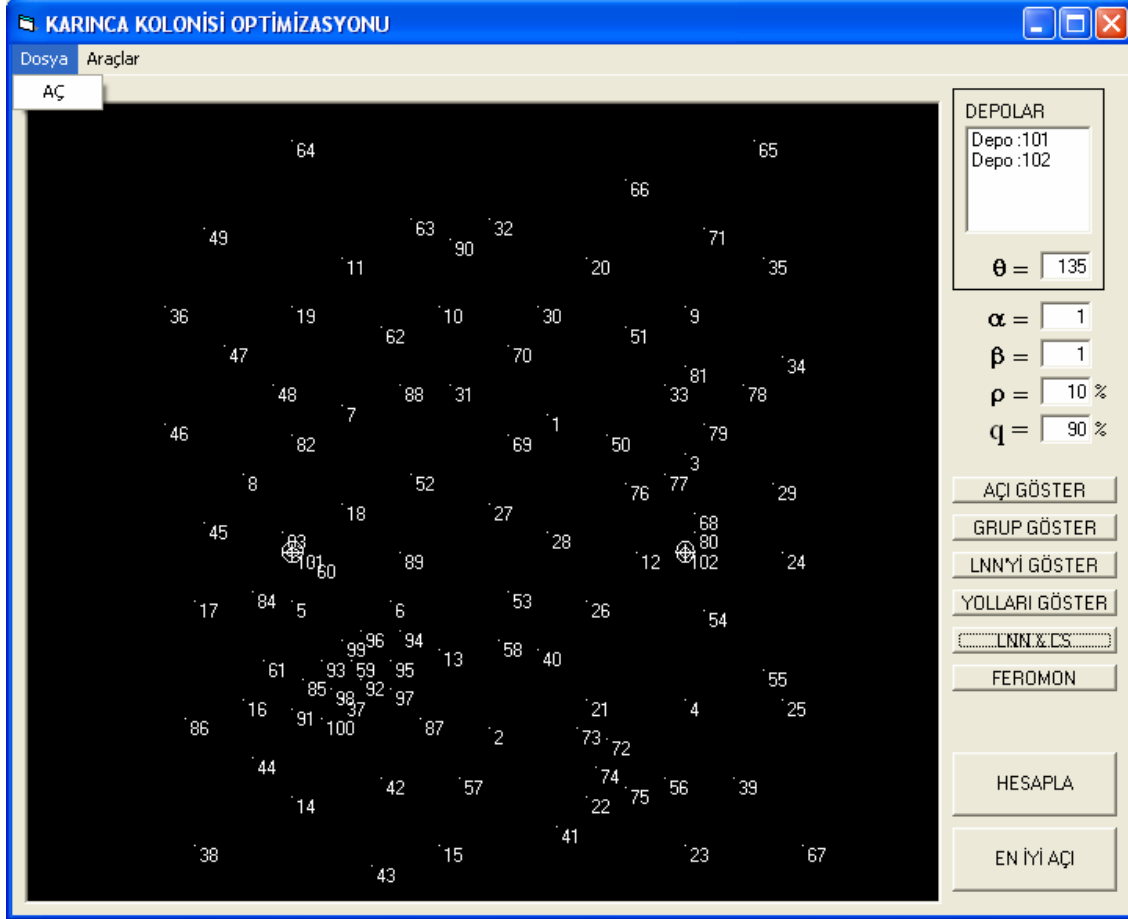
Bu yaklaşım bilgisayar yardımı ile çözülmesi için yapılan programlama Visual Basic 5 programlama dili ile yapılmıştır. Yapılan programın ayrıntılı akış şeması Şekil 5,3’te yer almaktadır. Problem çözümü için program 1,00 GB hafıza ve 1,86 Ghz işlemciye sahip bir bilgisayardan faydalanılmıştır ve bütün denemeler aynı bilgisayarda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.3 Program akış şeması

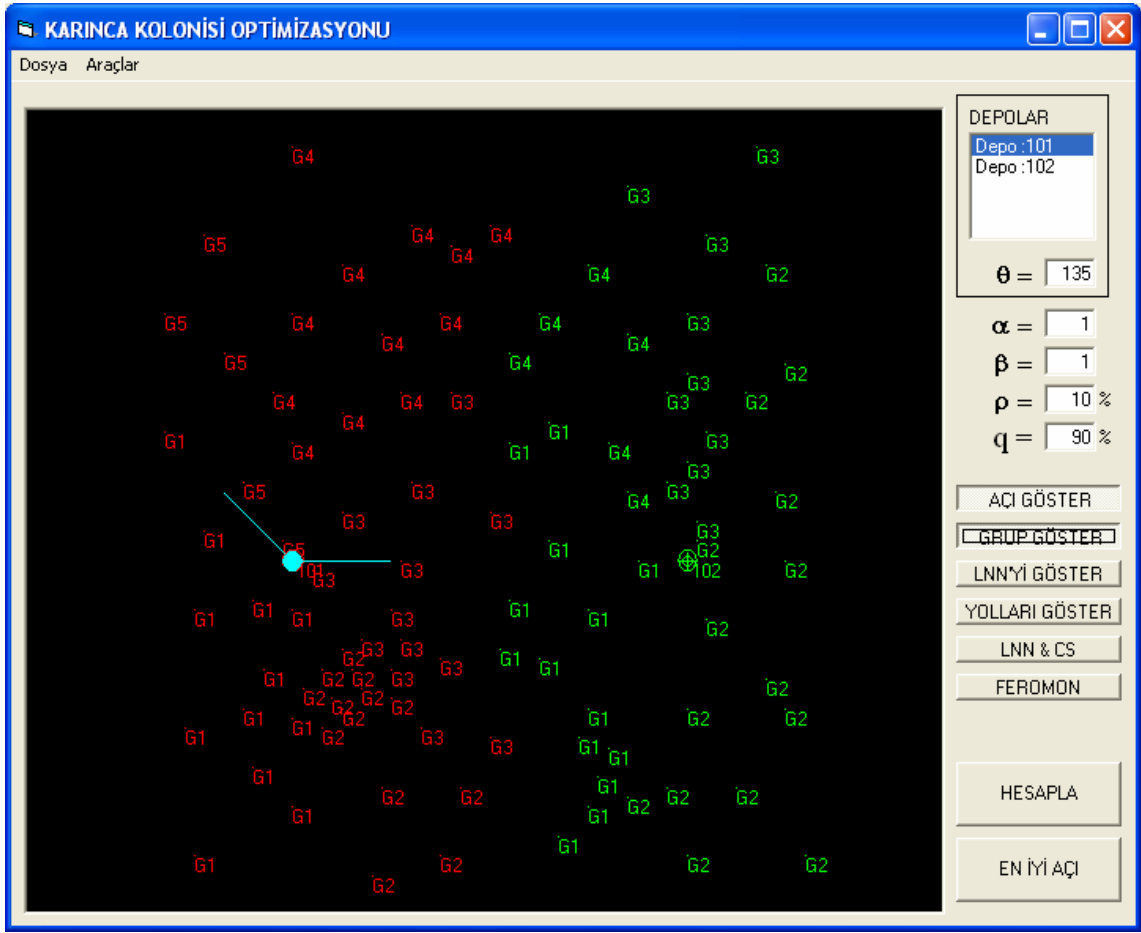
Programda çözüm aşamasını kolaylaştırmak için bir kullanıcı ara yüzü oluşturulmuştur. Kullanıcı arayüzü problemin çözüm aşamalarını ekrana yansıtarak adımların görülmesini sağlamıştır.

Ayrıca kullanıcı ara yüzü, çözümlerden sonra çözümün iyileştirilmesi için çözüm aşamalarını etkileyecek aç ve parametre değişikliklerini kolaylaştırmaktadır. Arayüze yerleştirilen komutlar sayesinde problem verisi olan müşterilerin, depoların koordinatları kolaylıkla ekranda görülmektedir.



Şekil 5.4 Kullanıcı arayüzü ile problem verilerinin yüklenmesi

Kullanıcı arayüzü hangi müşterilerin hangi depolara atandığını görsel olarak görme imkanı sunacak şekilde tasarlanmıştır. Aynı şekilde depo kümelerinde müşterilerin oluşturulan koordinant sisteme göre atandıkları aday listeleri de görsel olarak görünmektedir. Arayüze yerleştirilen θ aç etiketi depolara göre yapılan gruplandırmada aday listelerinin oluşturulmasında başlangıç açısının belirlenmesini sağlamaktadır.

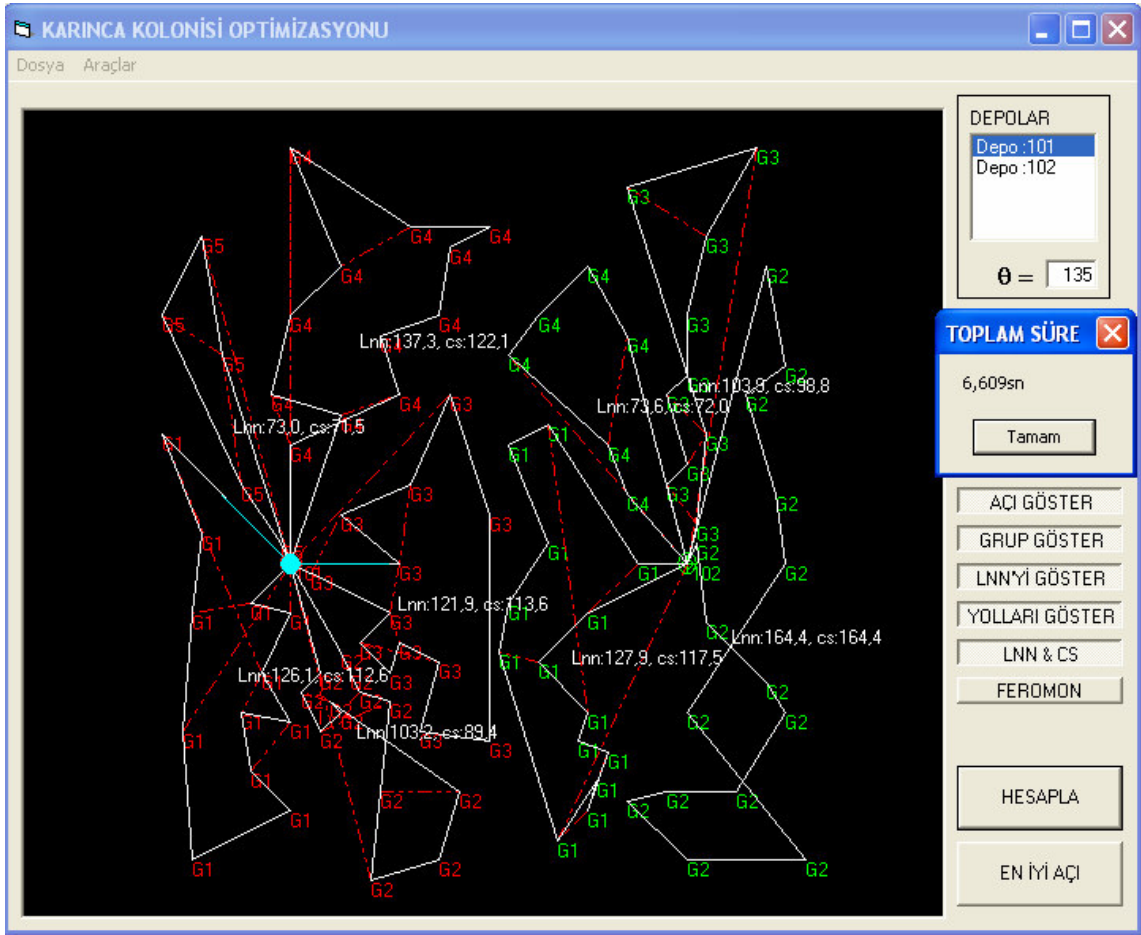


Şekil 5.5 Kullanıcı arayüzünde aday listelerinin belirlenmesi

Kullanıcı ara yüzünde yer alan Araçlar menüsünden Gruplandır seçilerek aday listeleri oluşturulur ve bu durum kullanıcı ara yüzünde Grup Göster komutu ile görülebilir.

Problem, kullanıcı ara yüzünde yer alan Hesapla komutunun çalıştırılmasıyla program geliştirilen çözüm yaklaşımını çözmeye başlar.

Program çözümün sonuçlandırılmasıyla bitirilir ve çıktı olarak hesaplama süresini verir. Bununla birlikte kullanıcı ara yüzü isteğe bağlı olarak oluşturulan rotaları gösteririr. Bunun yanında τ_0 başlangıç feromonunun hesaplanması için en yakın komşu stratejisiyle oluşturulan L_{nn} yolu, bu yolun uzunluğu ve çözüm sonunda ulaşılan rotaların uzunlukları da kullanıcı ara yüzünden takip edilebilir.



Şekil 5.6 Kullanıcı arayüzünde hesaplanan en kısa yollarının gösterimi ve programın nihai hesaplama sonucunu vermesi

Elde edilen çözümlerin iyileştirilebilmeleri için formülde yer alan ve karınca davranışlarını etkileyen parametreler ve aday listelerini oluşturan müşterilerin değişmesini sağlayan ve aday listesini oluşturmada kullanılan Süpürme Algoritmasındaki θ açısı değiştirilerek farklı denemeler yapılmıştır. Bu parametre ve açı değerlerinin ayarlanabilir olarak kullanıcı arayüzüne yerleştirilmesi çözüm algoritmasının farklı parametrelere göre çözümde sağladığı iyileştirme ve değişikliklerin belirlenebilmesi açısından önemlidir.

Visual Basic 5 programlama dilinin sağladığı görsellikten faydalanarak çözümün ve çözüm aşamalarının görsel olarak yansıtılması, problemin çözümünde parametrelerde değişiklikler yapılabilmesi ve çözümü etkileyecek aday listelerinin oluşumunda farklı açılara imkan verecek değerlerin atanabilmesi çözümleri elde etmede basitlik sağlamıştır.

5.4 Bulgular

ÇDARP için KKO ile geliştirilen çözüm yaklaşımı problem kümesindeki belirlenen 9 probleme uygulanmıştır. Geliştirilen çözüm yaklaşımının problemlere verdiği sonuçların etkinliğinin ve sağladığı çözümün bilinen en iyi çözüme ne derece yakın olduğu irdelenmiştir.

İterasyon sayısının bitirilmesinde literatürde farklı kıstaslar uygulandığı görülmüştür. Fakat yaygın olarak literatürde kullanılan çok sayıda tekrar olduğu görülmüştür. Bu çalışma için daha önce yapılan çalışmalardan örnekle ve seçilen problemlere ve modele göre 2000 tekrardan sonra program sonlandırılmıştır. Yapılan bütün denemeler için de aynı iterasyon sayısı kullanılmıştır.

Problemlerin hepsi için aşağıda belirtilen parametre koşullarında çözümler yapılmıştır.

- $\theta = 45$
- $\alpha = 1$
- $\beta = 1$
- $\rho = 0,10$
- $q_0 = 0,80$

Bu parametreler altında problem için geliştirilen çözüm yaklaşımı ile seçilen problemlerde alınan sonuçlar aşağıda yer alan Çizelge 5.2’de görülmektedir.

Çizelge 5.2 Geliştirilen çözüm yaklaşımı sonucunda elde edilen sonuçlar

Problem Adı	Önerilen Çözüm Sonucu
P01	629,60
P02	543,00
P03	736,10
P05	879,70
P06	1.027,60
P07	1.079,70
P15	3.731,60
P18	5.703,20
P21	8.415,90

Çalışmada önerilen model literatürde yer alan problem kümeleri üzerinde uygulanması önerilen model ve çözüm yaklaşımının problemin bilinen sonuçları ile kıyaslanma yapılmasına imkan tanımıştır. Problem kümelerinin yer aldığı internet sitesinde aynı zamanda problemlerin çözümleri yani bilinen en iyi sonuçları da yer almaktadır[11]. Böylelikle

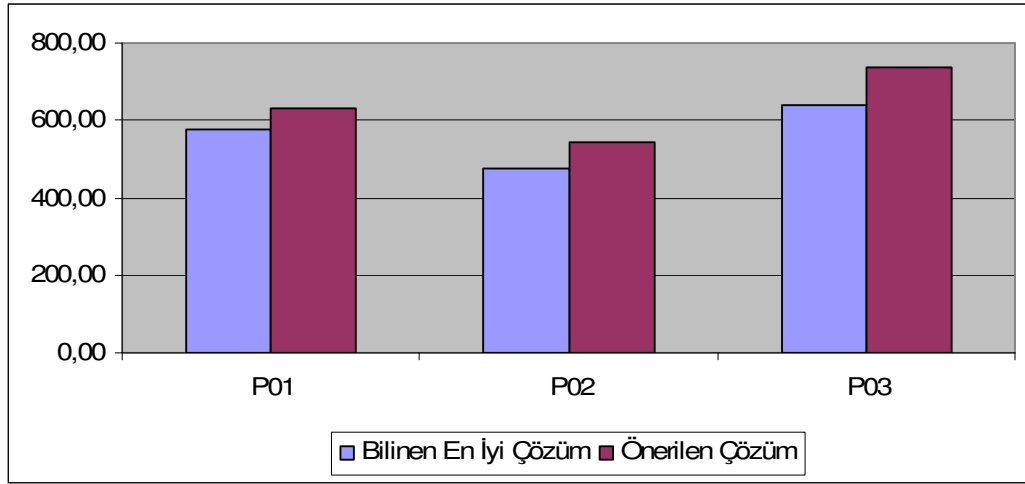
önerilen model bu ÇDARP örnekleri üzerinde test edilmiş ve kıyaslanmıştır. Çizelge 5.3’de görüldüğü üzere seçilen ÇDARP örnekleri için geliştirilen çözüm yaklaşımı bilinen en iyi sonuctan yüzde olarak %9,14 ve %54,02 sapma vermektedir. Sapmanın pozitif değer olması önerilen çözümün bilinen en iyi çözümden sapma oranında daha uzun değer verdiği göstermektedir.

Önerilen çözüm metodu en iyi P01 problemi için sonuç vermiştir. P18 problemi ise önerilen metodun en uzak sonuç verdiği problemidir. Müşteri sayısı problem büyüklüğünü doğrudan etkilemektedir. Depo sayısı problemde oluşan grupları, problemde hizmet veren araçların kapasitesi aday listelerinin oluşturulmasını etkilemektedir. Bu durum çözümde elde edilen mesafeler üzerinde etkilidir.

Çizelge 5.3 Geliştirilen çözüm yaklaşımı sonucunda elde edilen sonuçlar ve bilinen en iyi sonuçlarla kıyaslanması

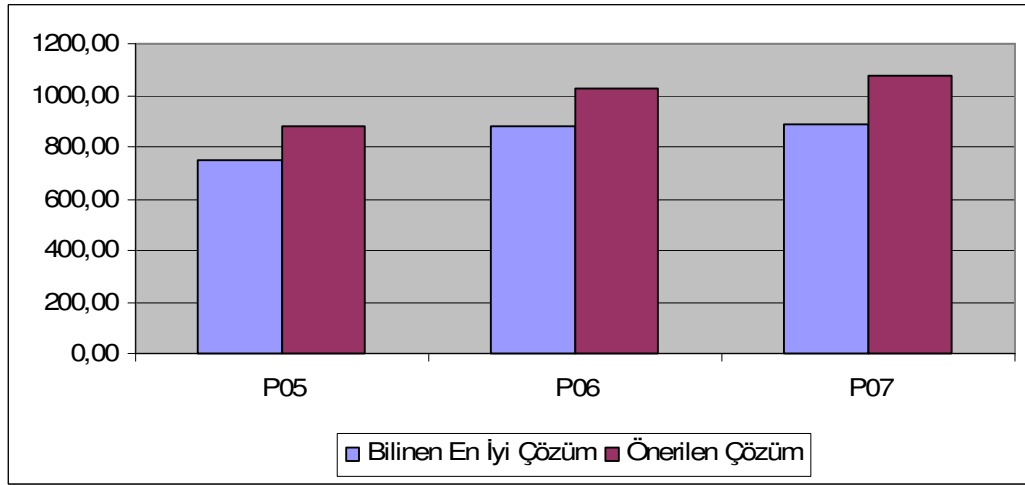
Problem Adı	Önerilen Çözüm Sonucu	Bilinen En İyi Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P01	629,60	576,87	52,73	%9,14
P02	543,00	473,53	69,47	%14,67
P03	736,10	641,19	94,91	%14,80
P05	879,70	750,03	129,67	%17,29
P06	1.027,60	876,50	151,10	%17,24
P07	1.079,70	885,80	193,90	%21,89
P15	3.731,60	2.505,42	1.226,18	%48,94
P18	5.703,20	3.702,85	2.000,35	%54,02
P21	8.415,90	5.474,84	2.941,06	%53,72

Küçük hacimli problemlerden P01 için önerilen çözüm bilinen en iyi sonuca en çok yaklaşan sonucu sunmuştur. P02 ve P03 için önerilen çözüm bilinen en iyi sonuca P01 için sunduğu sonuca göre daha uzak sonuçta çözüm sunmuştur. KKO kullanan öneri metot P01 için 52,73 birim daha uzun rota belirlemiştir. Öneri metot P02 için 69,47; P03 için 94,91 daha uzun mesafede çözüm vermiştir.



Şekil 5.7 Küçük hacimdeki problemler için elde edilen sonuç ve bilinen en iyi sonuçlarla kıyaslanması.

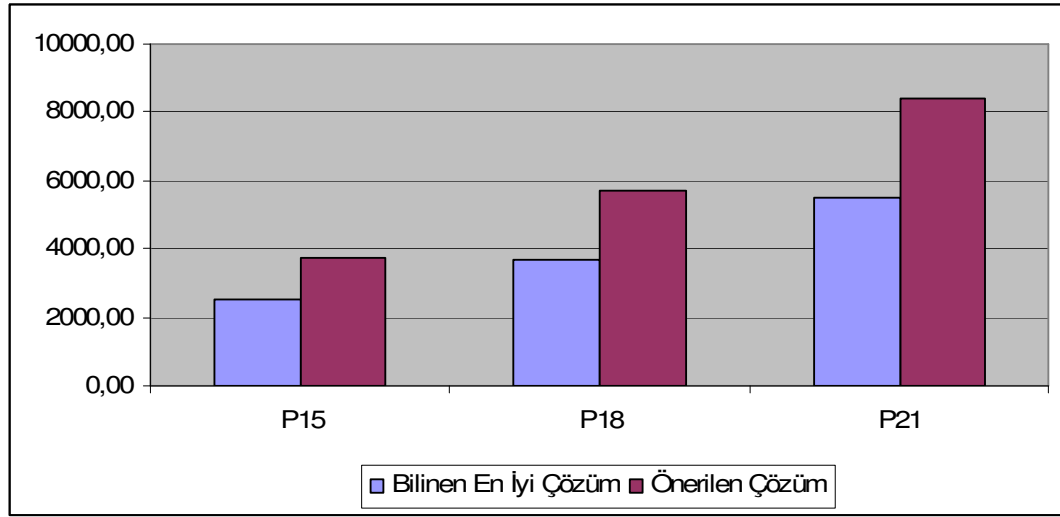
Orta hacimli problemlerden P06 için önerilen çözüm bilinen en iyi sonuca P05 ve P08 için önerilen çözümlere göre daha yakın sonucu sunmuştur. Önerilen çözüm P05 için bilinen en iyi sonuctan 129,67; P06 için 151,10; P07 için 193,90 daha uzun mesafede çözüm vermiştir. Bu durum P05 için %17,29 oranında; P06 için %17,24 oranında; P07 için %21,89 oranında sapma gerçekleştiğini göstermektedir.



Şekil 5.8 Orta hacimdeki problemler için elde edilen sonuç ve bilinen en iyi sonuçlarla kıyaslanması.

Büyük hacimli problemler için önerilen çözüm sonuçları bilinen en iyi sonuçlara en uzak sonuçlar olmuştur. Önerilen çözüm P15 için bilinen en iyi sonuctan 1.226,18; P18 için 2.000,35; P21 için 2.941,06 daha uzun mesafede çözüm vermiştir. Bu durum P15 için

%48,94 oranında; P18 için %54,02 oranında; P21 için %53,72 oranında sapma gerçekleştiğini göstermektedir.



Şekil 5.9 Büyük hacimdeki problemler için elde edilen sonuç ve bilinen en iyi sonuçlarla kıyaslanması.

Geliştirilen çözüm yaklaşımı için yazılan program problemin müşteri sayısı, depo sayısı ve araç kapasitelerine göre değişen süre aralıklarında cevap vermektedir. Müşteri sayısı problem büyüklüğünü doğrudan etkilemektedir. Depo sayısı problemde oluşan grupları ve çözüm süresini etkilemektedir. Programın çözüm süresini etkileyen diğer durum ise problemde hizmet veren araçların kapasitesidir. Araç kapasiteleri problemde aday listelerinin oluşturulmasında önemli olmasından ötürü program süresini etkilemektedir. Program 1,5-20 saniye aralıkta çözüme ulaşmaktadır. Aşağıda yer alan Çizelge 5.4 programın çözüm sürelerini göstermektedir.

Çizelge 5.4 Geliştirilen çözüm yaklaşımında programın probleme göre çözüm üretme zamanları

Problem Adı	Çözüm Süresi
P01	1,641
P02	2,238
P03	3,094
P05	6,266
P06	3,906
P07	3,797
P15	8,969
P18	12,844
P21	19,969

Buna göre küçük çaplı problemlerde ve araç kapasitesinin daha az olduğu problemde çözüme ulaşma süresi, az müşterili daha yüksek kapasiteli araçların hizmet verdiği probleme göre oldukça kısadır.

Orta büyüklükteki problemler için programın sonuç verme süresi araç kapasitesi ve depo sayısı ile ilişkilidir. Araç kapasitesinin arttığı yani karınca algoritmasının çalıştırıldığı aday listeleri büyüdükçe çözüm süresi yaklaşık olarak 3/2 kat artmaktadır.

Büyük hacimdeki problemler için ise müşteri ve depo sayısının arttıkça yani problem hacmi büyüdükçe ve grup ve aday listesi sayısı arttıkça çözüme ulaşma süresi de artmaktadır.

5.5 Çözüm Üzerinde İyileştirme Aranması

Önerilen çözüm yaklaşımı ve KKO özelliklerinden ötürü çözümü etkileyen bir çok faktör değiştirildiğinde problem çözümünde iyileştirme kaydedilip kaydedilemediği incelenmiştir. KKO anlatıldığı bölümde belirtildiği gibi formülü etkileyen parametre değerleri problem türüne göre değiştirildiğinde problem çözümünü etkilemektedir. Parametre değerleri için bir çok deneme yapılmalı ve buna göre her problem için en iyi çözümü veren parametreler belirlenmelidir. Ayrıca her problemde müşteri ve depolarının konumları farklı olduğu için geliştirilen modelin önemli noktalarından birini teşkil eden ve KKO ile çözüm aranan aday listelerinin oluşturulmasında önemli olan açının değiştirilmesi ve her problem için uygun açının bulunması gerekmektedir.

Önerilen çözüm yaklaşımında θ açısı; α , β , ρ ve q_0 parametrelerine elde edilen sonuçta iyileştirmeler sağlanabilmesi için farklı değerler verilerek denemeler yapılmıştır.

5.5.1 Açının Değiştirilmesi

θ açısı; ortalama için KKO uygulanan aday listelerinin belirlenmesinde depo orijin noktası olarak belirlenip Süpürme Algoritmasının uygulanmasında rol oynamaktadır. Her problemde depoların ve müşterilerin konumlarının farklı olması her problemde aynı değerde θ açısı için farklı sonuçlara yol açmaktadır.

ÇDARP seçilen örnekleri için 0-360 derece arasında dört açılı bölgesinde yer alan açılar için denemeler yapılmış ve diğer parametreler değiştirilmeden çözümler elde edilmeye çalışılmıştır.

5.5.1.1 Küçük Hacimli Problemler İçin Açının Değiştirilmesi

Küçük hacimli problem örnekleri olan P01, P02 ve P03 için 0-360 derece arasında dört açılı bölgesinde yer alan toplam 11 farklı açı ile denemeler yapılmıştır. Diğer parametreler

değiştirilmeden elde edilen çözümler her problem için ayrı ayrı olarak yer almaktadır. Sapmanın negatif değer olması ise elde edilen çözümün önerilen çözümden sapma miktarı oranında daha iyi olduğunu, farkın negatif değer olması ise elde edilen çözümün negatif değer kadar daha kısa olduğunu göstermektedir.

P01 Problemi

P01 problemi için açı değişimi önerilen çözüm sonucunda hiçbir iyileşme sağlayamamıştır.

Çizelge 5.5 P01 için açı değişimi ile elde edilen sonuçlar ve önerilen çözüm sonucuyla kıyaslamalar

Açı	Açı Değişim Sonucu	Önerilen Çözüm Sonucu	Fark	Sapma (Yüzde)
15	667,3	629,6	37,7	%5,99
60	636,2	629,6	6,6	%1,05
80	667,4	629,6	37,8	%6,00
100	678,5	629,6	48,9	%7,77
120	667,6	629,6	38	%6,04
135	669,4	629,6	39,8	%6,32
165	722,4	629,6	92,8	%14,74
200	642,7	629,6	13,1	%2,08
225	651,5	629,6	21,9	%3,48
240	648	629,6	18,4	%2,92
255	648	629,6	18,4	%2,92
285	657,9	629,6	28,3	%4,49
300	657,9	629,6	28,3	%4,49
320	648	629,6	18,4	%2,92
355	670,7	629,6	41,1	%6,53

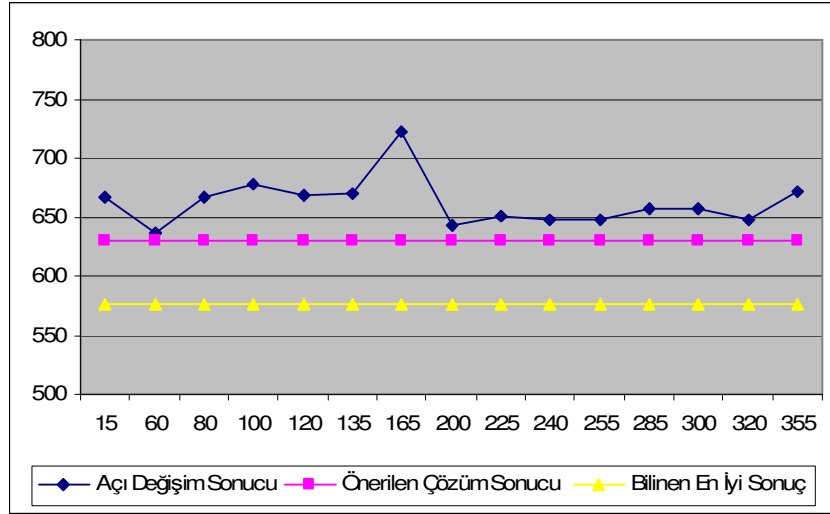
P01 problemi için açı değişimi önerilen çözüm sonucunda iyileştirme sağlayamamış bilinen en iyi sonuca da daha yakın çözümler sunamamıştır. Çizelge 5.6'da bu durum gösterilmektedir.

Çizelge 5.6 P01 problemi için açı değişimi ile elde edilen sonuçların bilinen en iyi sonuçla kıyaslanması

Açı	Açı Değişim Sonucu	Bilinen En İyi Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
15	667,3	576,87	90,43	%15,68
60	636,2	576,87	59,33	%10,28
80	667,4	576,87	90,53	%15,69
100	678,5	576,87	101,63	%17,62
120	667,6	576,87	90,73	%15,73
135	669,4	576,87	92,53	%16,04
165	722,4	576,87	145,53	%25,23

200	642,7	576,87	65,83	%11,41
225	651,5	576,87	74,63	%12,94
240	648	576,87	71,13	%12,33
255	648	576,87	71,13	%12,33
285	657,9	576,87	81,03	%14,05
300	657,9	576,87	81,03	%14,05
320	648	576,87	71,13	%12,33
355	670,7	576,87	93,83	%16,27

Şekil 5.10 P01 problemi için önerilen çözümün sunduğu sonuç, açının değiştirilmesi ile elde edilen sonuçlar ve bilinen en iyi sonuç grafik ortamında sunulmaktadır



Şekil 5.10 P01 problemi için açı değiştirilmesiyle elde edilen sonuçların önerilen çözüm sonucu ve bilinen en iyi sonuçla kıyaslaması.

P02 Problemi

P02 problemi için açı değişimi önerilen çözüm sonucunda iyileşme sağlayabilmiştir. θ açısı 60, 80 ve 240 derece olduğunda önerilen çözüm sonucundan daha iyi sonuçlar sunmuştur.

θ açısı 60 derece olduğunda önerilen çözüm sonucuna göre %1,97 oranında daha az yani 10,7 birim daha kısa mesafede sonuç vermiştir. 80 derece açıda önerilen çözüm sonucuna göre %0,94 oranında yani 5,1 birim; 240 derece açıda ise önerilen çözüm sonucuna göre %1,29 oranında yani 7 birim daha kısa mesafede sonuç vermiştir.

Çizelge 5.7 P02 için açı değişimi ile elde edilen sonuçlar ve önerilen çözüm sonucuyla kıyaslamalar

Açı	Açı Değişim Sonucu	Önerilen Çözüm Sonucu	Fark	Sapma (Yüzde)
-----	--------------------	-----------------------	------	---------------

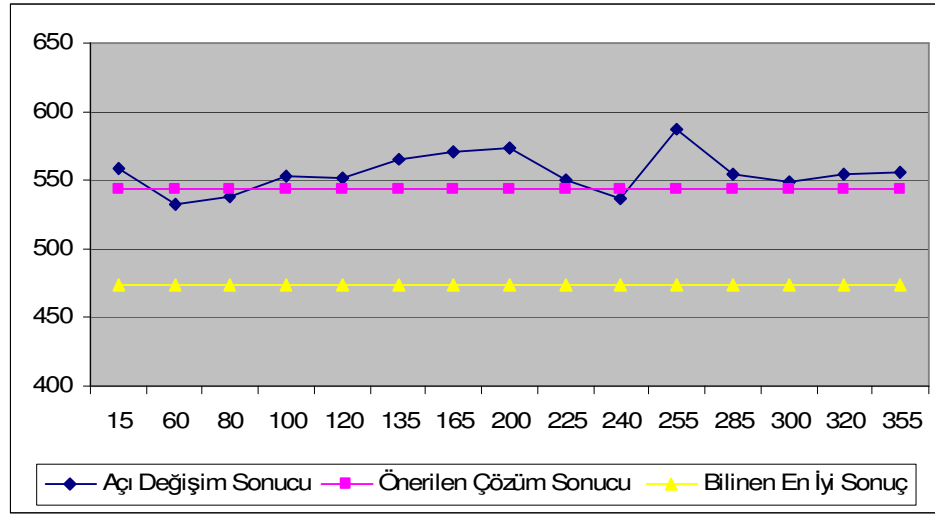
15	558,7	543	15,7	%2,89
60	532,3	543	-10,7	%-1,97
80	537,9	543	-5,1	%-0,94
100	553,4	543	10,4	%1,92
120	551,2	543	8,2	%1,51
135	564,9	543	21,9	%4,03
165	571,2	543	28,2	%5,19
200	573,8	543	30,8	%5,67
225	550,5	543	7,5	%1,38
240	536	543	-7	%-1,29
255	586,6	543	43,6	%8,03
285	553,9	543	10,9	%2,01
300	548,6	543	5,6	%1,03
320	553,8	543	10,8	%1,99
355	555,7	543	12,7	%2,34

P02 problemi için açılı değişimi önerilen çözüm sonucunda iyileştirme sağlayabildiği açılarda bilinen en iyi sonuca da daha yakın çözümler sunabilmektedir. Çizelge 5.8’de bu durum gösterilmektedir.

Çizelge 5.8 P02 problemi için açılı değişimi ile elde edilen sonuçların bilinen en iyi sonuçla kıyaslanması

Açılı	Açılı Değişim Sonucu	Bilinen En İyi Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
15	558,7	473,53	85,17	%17,99
60	532,3	473,53	58,77	%12,41
80	537,9	473,53	64,37	%13,59
100	553,4	473,53	79,87	%16,87
120	551,2	473,53	77,67	%16,40
135	564,9	473,53	91,37	%19,30
165	571,2	473,53	97,67	%20,63
200	573,8	473,53	100,27	%21,18
225	550,5	473,53	76,97	%16,25
240	536	473,53	62,47	%13,19
255	586,6	473,53	113,07	%23,88
285	553,9	473,53	80,37	%16,97
300	548,6	473,53	75,07	%15,85
320	553,8	473,53	80,27	%16,95
355	555,7	473,53	82,17	%17,35

Şekil 5.11 P02 problemi için önerilen çözümün sunduğu sonuç, açının değiştirilmesi ile elde edilen sonuçlar ve bilinen en iyi sonuç grafik ortamında sunulmaktadır



Şekil 5.11 P02 problemi için açı değiştirilmesiyle elde edilen sonuçların önerilen çözüm sonucu ve bilinen en iyi sonuçla kıyaslaması.

P03 Problemi

P02 problemi için açı değişimi önerilen çözüm sonucunda iyileşme sağlayabilmiştir. θ açısı 15 derece olduğunda önerilen çözüm sonucundan daha iyi sonuç sunmuştur.

θ açısı 15 derece olduğunda önerilen çözüm sonucuna göre %0,04 oranında daha az yani 0,3 birim daha kısa mesafede sonuç vermiştir.

Çizelge 5.9 P03 için açı değişimi ile elde edilen sonuçlar ve önerilen çözüm sonucuyla kıyaslamalar

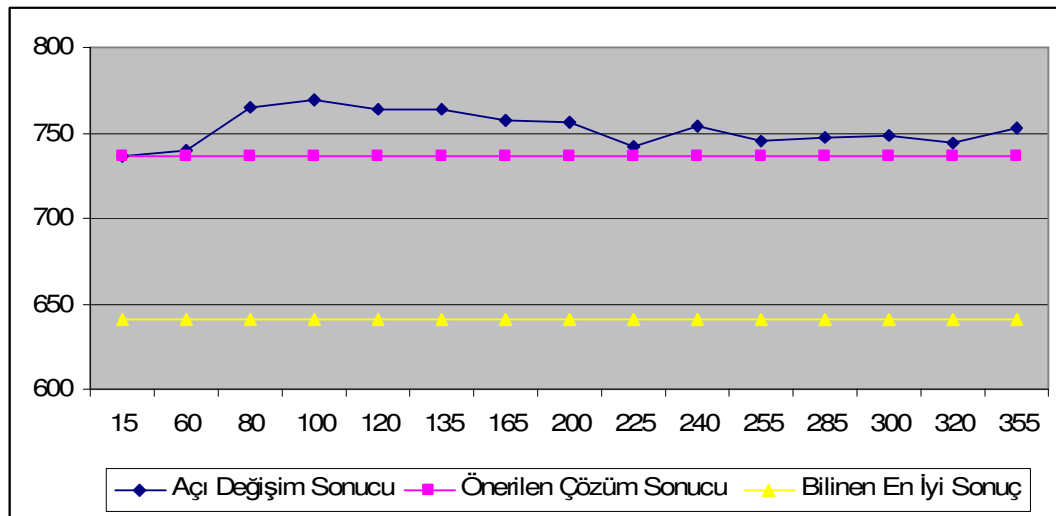
Açı	Açı Değişim Sonucu	Önerilen Çözüm Sonucu	Fark	Sapma (Yüzde)
15	735,8	736,1	-0,3	%-0,04
60	739,3	736,1	3,2	%0,43
80	765	736,1	28,9	%3,93
100	768,8	736,1	32,7	%4,44
120	763,6	736,1	27,5	%3,74
135	763,2	736,1	27,1	%3,68
165	756,7	736,1	20,6	%2,80
200	756,1	736,1	20	%2,72
225	741,8	736,1	5,7	%0,77
240	753,9	736,1	17,8	%2,42
255	745,5	736,1	9,4	%1,28
285	747,2	736,1	11,1	%1,51
300	748,6	736,1	12,5	%1,70
320	744	736,1	7,9	%1,07
355	752,2	736,1	16,1	%2,19

P03 problemi için açı değişimi önerilen çözüm sonucunda iyileştirme sağlayabildiği açıda bilinen en iyi sonuca da daha yakın çözüm sunabilmiştir. Çizelge 5.10'da bu durum gösterilmektedir.

Çizelge 5.10 P03 problemi için açı değişimi ile elde edilen sonuçların bilinen en iyi sonuçla kıyaslanması

Açı	Açı Değişim Sonucu	Bilinen En İyi Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
15	735,8	641,19	94,61	%14,76
60	739,3	641,19	98,11	%15,30
80	765	641,19	123,81	%19,31
100	768,8	641,19	127,61	%19,90
120	763,6	641,19	122,41	%19,09
135	763,2	641,19	122,01	%19,03
165	756,7	641,19	115,51	%18,01
200	756,1	641,19	114,91	%17,92
225	741,8	641,19	100,61	%15,69
240	753,9	641,19	112,71	%17,58
255	745,5	641,19	104,31	%16,27
285	747,2	641,19	106,01	%16,53
300	748,6	641,19	107,41	%16,75
320	744	641,19	102,81	%16,03
355	752,2	641,19	111,01	%17,31

Şekil 5.112 P03 problemi için önerilen çözümün sunduğu sonuç, açının değiştirilmesi ile elde edilen sonuçlar ve bilinen en iyi sonuç grafik ortamında sunulmaktadır



Şekil 5.12 P03 problemi için açı değiştirilmesiyle elde edilen sonuçların önerilen çözüm sonucu ve bilinen en iyi sonuçla kıyaslaması.

Görüldüğü üzere küçük hacimli problemlerde yani müşteri sayıları 50-75 arası değişen problemlerde KKO ile önerilen çözümde elde edilen sonuçlar ve θ açısı değişimi ile elde edilen sonuçlar arasında farklılıklar bulunmaktadır. P01 için açı değişimi elde edilen sonuçlar üzerinde hiç iyileştirme sağlayamamıştır. P02 için θ açısı 60, 80 ve 240 derece olduğunda elde edilen sonuçtan daha iyi sonuçlar sunmuştur. P03 için de θ açısı 15 derece olarak ayarlandığında %4 lük bir iyileştirme sağlamıştır.

Bu durumda P01 için en iyi çözüm sağlayan açı 45 derece, P02 için 60 derece ve P03 için 15 derecedir.

5.5.1.2 Orta Hacimli Problemler İçin Açı Değişimi

Orta hacimli problem örnekleri olan P05, P06 ve P07 için 0-360 derece arasında dört açı bölgesinde yer alan toplam 11 farklı açı ile denemeler yapılmıştır. Diğer parametreler değiştirilmeden elde edilen çözümler her problem için ayrı ayrı olarak yer almaktadır. Sapmanın negatif değer olması ise elde edilen çözümün önerilen çözümünden sapma miktarı oranında daha iyi olduğunu, farkın negatif değer olması ise elde edilen çözümün negatif değer kadar daha kısa olduğunu göstermektedir.

P05 Problemi

P05 problemi için açı değişimi önerilen çözüm sonucunda iyileşme sağlayabilmiştir. θ açısı 165, 225 ve 355 derece olduğunda önerilen çözüm sonucundan daha iyi sonuçlar sunmuştur.

θ açısı 165 derece olduğunda önerilen çözüm sonucuna göre %0,90 oranında daha az yani 7,9 birim daha kısa mesafede sonuç vermiştir. 225 derece açıda önerilen çözüm sonucuna göre %0,13 oranında yani 1,1 birim; 355 derece açıda ise önerilen çözüm sonucuna göre %2,57 oranında yani 22,6 birim daha kısa mesafede sonuç vermiştir.

Çizelge 5.11 P05 için açı değişimi ile elde edilen sonuçlar ve önerilen çözüm sonucuyla kıyaslamalar

Açı	Açı Değişim Sonucu	Önerilen Çözüm Sonucu	Fark	Sapma (Yüzde)
15	889,5	879,7	9,8	%1,11
60	902,2	879,7	22,5	%2,56
80	917	879,7	37,3	%4,24
100	941,7	879,7	62	%7,05
120	947,9	879,7	68,2	%7,75
135	948	879,7	68,3	%7,76
165	871,8	879,7	-7,9	%-0,90
200	894,8	879,7	15,1	%1,72

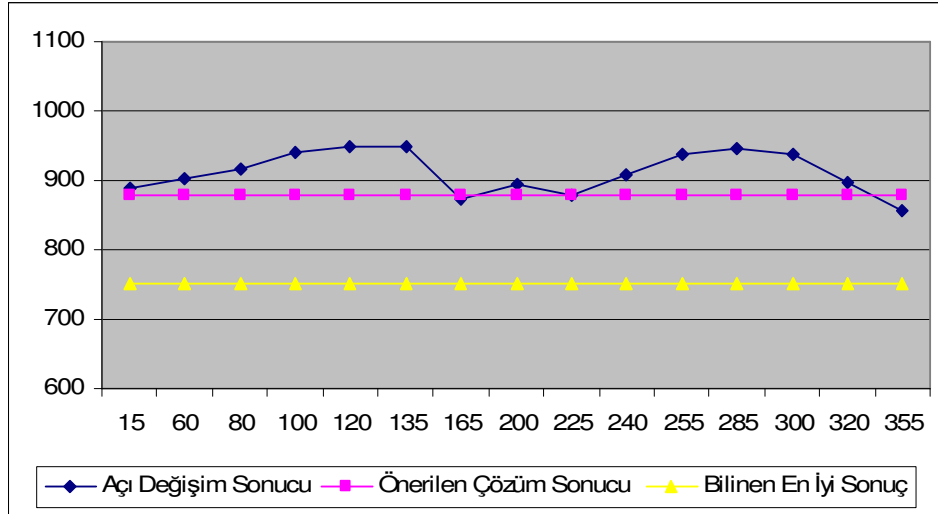
225	878,6	879,7	-1,1	%-0,13
240	907,9	879,7	28,2	%3,21
255	937,7	879,7	58	%6,59
285	947,1	879,7	67,4	%7,66
300	938,8	879,7	59,1	%6,72
320	897,6	879,7	17,9	%2,03
355	857,1	879,7	-22,6	%-2,57

P05 problemi için aç ı de ğ iř i m i ö n e r i l e n ç ö z ü m s o n u c u n d a i y i l e ř t i r m e s a ğ l a y a b i l d i ğ i a ç ı l a r d a b i l i n e n e n i y i s o n u c a d a d a h a y a k ı n ç ö z ü m l e r s u n a b i l m i ř t i r . Ç i z e l g e 5.12’ d e b u d u r u m g ö s t e r i l e m e k t e d i r .

Çizelge 5.12 P05 problemi için aç ı de ğ iř i m i i l e e l d e e d i l e n s o n u ç l a r ı n b i l i n e n e n i y i s o n u ç l a k ı y a s l a n m a s ı

Aç ı	Aç ı De ğ iř i m S o n u c u	Bilinen En İ y i S o n u ç	Fark	Sapma (Yüzde)
15	889,5	750,03	139,47	%18,60
60	902,2	750,03	152,17	%20,29
80	917	750,03	166,97	%22,26
100	941,7	750,03	191,67	%25,55
120	947,9	750,03	197,87	%26,38
135	948	750,03	197,97	%26,39
165	871,8	750,03	121,77	%16,24
200	894,8	750,03	144,77	%19,30
225	878,6	750,03	128,57	%17,14
240	907,9	750,03	157,87	%21,05
255	937,7	750,03	187,67	%25,02
285	947,1	750,03	197,07	%26,27
300	938,8	750,03	188,77	%25,17
320	897,6	750,03	147,57	%19,68
355	857,1	750,03	107,07	%14,28

ř e k i l 5.13, P05 p r o b l e m i i ç i n ö n e r i l e n ç ö z ü m ü n s u n d u ğ u s o n u ç , a ç ı n ı n d e ğ i ř t i r i l m e s i i l e e d l d e e d i l e n s o n u ç l a r v e b i l i n e n e n i y i s o n u ç g r a f i k o r t a m ı n d a s u n u l m a k t a d ı r



Şekil 5.13 P05 problemi için açı değiştirilmesiyle elde edilen sonuçların önerilen çözüm sonucu ve bilinen en iyi sonuçla kıyaslaması.

P06 Problemi

P06 problemi için açı değişimi önerilen çözüm sonucunda iyileşme sağlayabilmiştir. θ açısı 15, 60, 80, 100, 165, 200, 225, 240, 255, 285, 300 ve 355 derece olduğunda önerilen çözüm sonucundan daha iyi sonuçlar sunmuştur.

θ açısı 15 derece olduğunda önerilen çözüm sonucuna göre %1,73 oranında daha az yani 17,8 birim daha kısa mesafede sonuç vermiştir. 60 derece açıda önerilen çözüm sonucuna göre %1,61 oranında yani 16,5 birim; 80 derece açıda ise önerilen çözüm sonucuna göre %5,32 oranında yani 54,7 birim; 100 derece açıda önerilen çözüm sonucuna göre %4,91 oranında yani 50,5 birim; 165 derece açıda ise önerilen çözüm sonucuna göre %3,17 oranında yani 32,6 birim; 200 derece açıda önerilen çözüm sonucuna göre %8,29 oranında yani 85,2 birim; 225 derece açıda ise önerilen çözüm sonucuna göre %6,92 oranında yani 71,1 birim; 240 derece açıda önerilen çözüm sonucuna göre %1,94 oranında yani 19,9 birim; 255 derece açıda ise önerilen çözüm sonucuna göre %0,86 oranında yani 8,8 birim; 285 derece açıda önerilen çözüm sonucuna göre %4,94 oranında yani 50,8 birim; 300 derece açıda ise önerilen çözüm sonucuna göre %4,58 oranında yani 47,1 birim; 355 derece açıda önerilen çözüm sonucuna göre %7,14 oranında yani 73,4 birim daha kısa mesafede sonuç vermiştir.

Çizelge 5.13 P06 için açı değişimi ile elde edilen sonuçlar ve önerilen çözüm sonucuyla kıyaslamalar

Açı	Açı Değişim	Önerilen Çözüm	Fark	Sapma (Yüzde)
-----	-------------	----------------	------	---------------

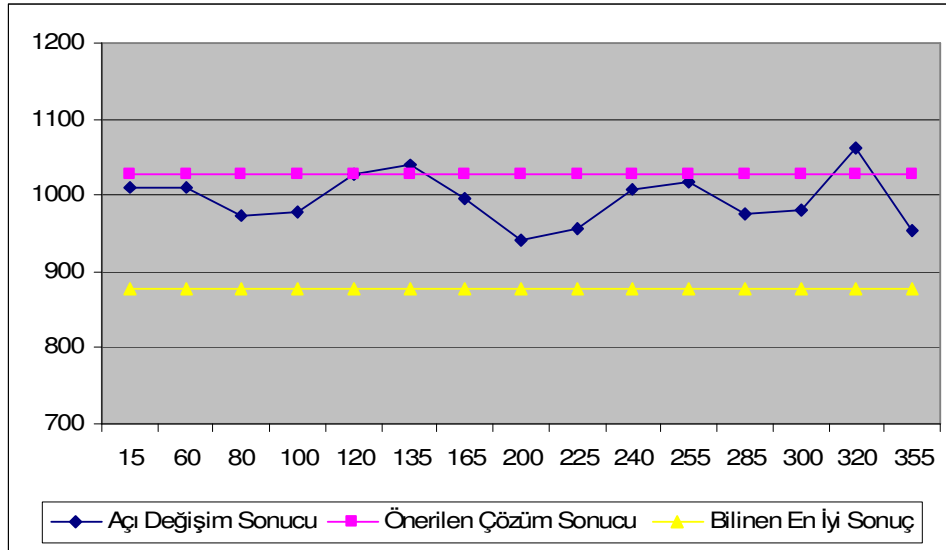
	Sonucu	Sonucu		
15	1009,8	1027,6	-17,8	%-1,73
60	1011,1	1027,6	-16,5	%-1,61
80	972,9	1027,6	-54,7	%-5,32
100	977,1	1027,6	-50,5	%-4,91
120	1028,1	1027,6	0,5	%0,05
135	1039,3	1027,6	11,7	%1,14
165	995	1027,6	-32,6	%-3,17
200	942,4	1027,6	-85,2	%-8,29
225	956,5	1027,6	-71,1	%-6,92
240	1007,7	1027,6	-19,9	%-1,94
255	1018,8	1027,6	-8,8	%-0,86
285	976,8	1027,6	-50,8	%-4,94
300	980,5	1027,6	-47,1	%-4,58
320	1062,1	1027,6	34,5	%3,36
355	954,2	1027,6	-73,4	%-7,14

P06 problemi için aç ı de ğ iř i m i ö n e r i l e n ç ö z ü m s o n u c u n d a i y i l e ř t i r m e s a ğ l a y a b i l d i ğ i a ç ı l a r d a b i l i n e n e n i y i s o n u c a d a d a h a y a k ı n ç ö z ü m l e r s u n a b i l m i ř t i r . Ç i z e l g e 5.14'de bu durum gösterilmektedir.

Çizelge 5.14 P06 problemi için aç ı de ğ iř i m i i l e e l d e e d i l e n s o n u ç l a r ı n b i l i n e n e n i y i s o n u ç l a k ı y a s l a n m a s ı

Aç ı	Aç ı De ğ i ř i m S o n u c u	Bilinen En İ y i S o n u ç	Fark	Sapma (Yüzde)
15	1009,8	876,5	133,3	%15,21
60	1011,1	876,5	134,6	%15,36
80	972,9	876,5	96,4	%11,00
100	977,1	876,5	100,6	%11,48
120	1028,1	876,5	151,6	%17,30
135	1039,3	876,5	162,8	%18,57
165	995	876,5	118,5	%13,52
200	942,4	876,5	65,9	%7,52
225	956,5	876,5	80	%9,13
240	1007,7	876,5	131,2	%14,97
255	1018,8	876,5	142,3	%16,24
285	976,8	876,5	100,3	%11,44
300	980,5	876,5	104	%11,87
320	1062,1	876,5	185,6	%21,18
355	954,2	876,5	77,7	%8,86

ř e k i l 5.14, P06 problemi için ö n e r i l e n ç ö z ü m ü n s u n d u ğ u s o n u ç , a ç ı n ı n d e ğ i ř t i r i l m e s i i l e e d l d e e d i l e n s o n u ç l a r v e b i l i n e n e n i y i s o n u ç g r a f i k o r t a m ı n d a s u n u l m a k t a d ı r



Şekil 5.14 P06 problemi için açı değiştirilmesiyle elde edilen sonuçların önerilen çözüm sonucu ve bilinen en iyi sonuçla kıyaslaması.

P07 Problemi

P06 problemi için açı değişimi önerilen çözüm sonucunda iyileşme sağlayabilmiştir. θ açısı 15, 60, 80, 100, 120, 135, 165, 225, 240, 255, 285, 300, 320 ve 355 derece olduğunda önerilen çözüm sonucundan daha iyi sonuçlar sunmuştur.

θ açısı 15 derece olduğunda önerilen çözüm sonucuna göre %2,17 oranında daha az yani 23,4 birim daha kısa mesafede sonuç vermiştir. 60 derece açıda önerilen çözüm sonucuna göre %0,62 oranında yani 6,7 birim; 80 derece açıda önerilen çözüm sonucuna göre %2,88 oranında yani 31,1 birim; 100 derece açıda önerilen çözüm sonucuna göre %5,26 oranında yani 56,8 birim; 120 derece açıda önerilen çözüm sonucuna göre %5,21 oranında yani 56,2 birim; 135 derece açıda önerilen çözüm sonucuna göre %5,36 oranında yani 57,9 birim; 165 derece açıda önerilen çözüm sonucuna göre %4,14 oranında yani 44,7 birim; 225 derece açıda önerilen çözüm sonucuna göre %2,81 oranında yani 30,3 birim; 240 derece açıda önerilen çözüm sonucuna göre %3,80 oranında yani 41 birim; 255 derece açıda önerilen çözüm sonucuna göre %4,72 oranında yani 51 birim; 285 derece açıda önerilen çözüm sonucuna göre %2,52 oranında yani 27,2 birim; 300 derece açıda önerilen çözüm sonucuna göre %1,82 oranında yani 19,7 birim; 320 derece açıda önerilen çözüm sonucuna göre %3,15 oranında yani 34 birim; 355 derece açıda ise önerilen çözüm sonucuna göre %4,01 oranında yani 43,3 birim daha kısa mesafede sonuç vermiştir.

Çizelge 5.15 P07 için aç ı değ iş imi ile elde edilen sonuç lar ve önerilen ç özü m sonuc uyla kıyaslamalar

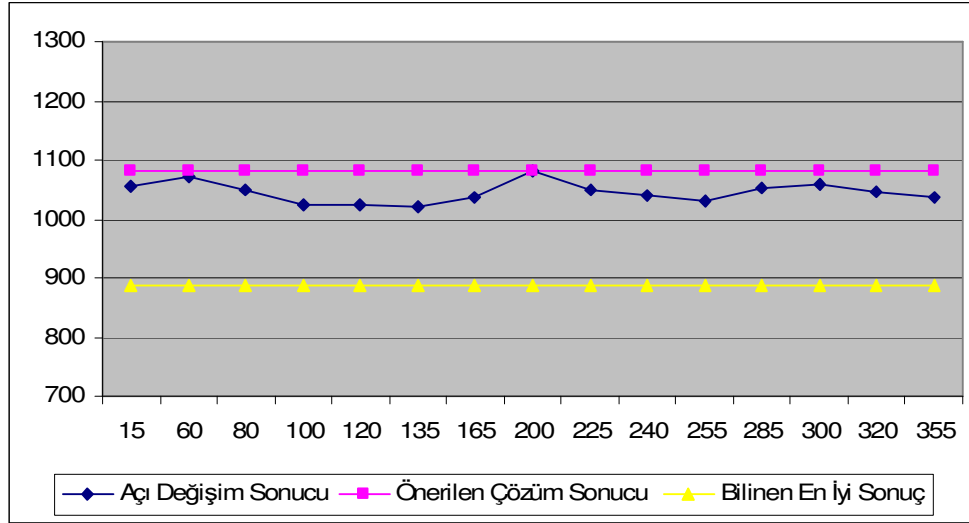
Aç ı	Aç ı Değ iş im Sonuc u	Önerilen Ç özü m Sonuc u	Fark	Sapma (Yüzde)
15	1056,3	1079,7	-23,4	%-2,17
60	1073	1079,7	-6,7	%-0,62
80	1048,6	1079,7	-31,1	%-2,88
100	1022,9	1079,7	-56,8	%-5,26
120	1023,5	1079,7	-56,2	%-5,21
135	1021,8	1079,7	-57,9	%-5,36
165	1035	1079,7	-44,7	%-4,14
200	1081,5	1079,7	1,8	%0,17
225	1049,4	1079,7	-30,3	%-2,81
240	1038,7	1079,7	-41	%-3,80
255	1028,7	1079,7	-51	%-4,72
285	1052,5	1079,7	-27,2	%-2,52
300	1060	1079,7	-19,7	%-1,82
320	1045,7	1079,7	-34	%-3,15
355	1036,4	1079,7	-43,3	%-4,01

P07 problemi için aç ı değ iş imi önerilen ç özü m sonuc unda iyileş tirme sağ layabildiğ i aç ıda bilinen en iyi sonuca da daha yakın ç özü m sunabilmiştir. Ç izelge 5.16'da bu durum gösterilemektedir.

Çizelge 5.16 P07 problemi için aç ı değ iş imi ile elde edilen sonuç ların bilinen en iyi sonuç la kıyaslanması

Aç ı	Aç ı Değ iş im Sonuc u	Bilinen En İyi Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
15	1056,3	885,8	170,5	%19,25
60	1073	885,5	187,2	%21,13
80	1048,6	885,8	162,8	%18,38
100	1022,9	885,8	137,1	%15,48
120	1023,5	885,8	137,7	%15,55
135	1021,8	885,8	136	%15,35
165	1035	885,8	149,2	%16,84
200	1081,5	885,8	195,7	%22,09
225	1049,4	885,8	163,6	%18,47
240	1038,7	885,8	152,9	%17,26
255	1028,7	885,8	142,9	%16,13
285	1052,5	885,8	166,7	%18,82
300	1060	885,8	174,2	%19,67
320	1045,7	885,8	159,9	%18,05
355	1036,4	885,8	150,6	%17,00

Şekil 5.15, P07 problemi için önerilen çözümün sunduğu sonuç, açının değiştirilmesi ile elde edilen sonuçlar ve bilinen en iyi sonuç grafik ortamında sunulmaktadır



Şekil 5.15 P07 problemi için açı değiştirilmesiyle elde edilen sonuçların önerilen çözüm sonucu ve bilinen en iyi sonuçla kıyaslaması.

P05 için önerilen çözümden iyileştirme sağlayan θ açısı 355 derece olduğunda aynı zamanda bilinen en iyi çözüm sonucuna en az sapma veren sonucu vermektedir. P06 için önerilen çözüm sonucuna en iyi iyileştirme sağlayan θ açısı 200 derecedir ve bilinen en iyi sonuca en yakın sonucu vermiştir. P07 için θ açısı 135 derece olduğunda önerilen sonuç üzerinde en iyi iyileştirmeyi yaptığı gibi bilinen en iyi sonuçtan da en az sapmayı vermiştir.

Bu durumda P05 için en iyi çözüm sağlayan açı 355 derece, P06 için 200 derece ve P07 için 135 derecedir.

5.5.1.3 Büyük Hacimli Problemler İçin Açı Değişimi

Büyük hacimli problem örnekleri olan P15, P18 ve P21 için 0-360 derece arasında dört açı bölgesinde yer alan toplam 11 farklı açı ile yapılan denemeler yapılmıştır. Diğer parametreler değiştirilmeden elde edilen çözümler her problem için ayrı ayrı olarak yer almaktadır. Sapmanın negatif değer olması ise elde edilen çözümün önerilen çözümden sapma miktarı oranında daha iyi olduğunu, farkın negatif değer olması ise elde edilen çözümün negatif değer kadar daha kısa olduğunu göstermektedir.

P15 Problemi

P15 problemi için açı değişimi önerilen çözüm sonucunda iyileşme sağlayabilmiştir. θ açısı 60, 80, 100, 120, 135, 165, 200, 225, 240, 255, 285, 300, 320 ve 355 derece olduğunda önerilen çözüm sonucundan daha iyi sonuçlar sunmuştur.

θ açısı 60 derece olduğunda önerilen çözüm sonucuna göre %11,71 oranında daha az yani 436,80 birim daha kısa mesafede sonuç vermiştir. 80 derece açıda önerilen çözüm sonucuna göre %12,04 oranında yani 449,10 birim; 100 derece açıda ise önerilen çözüm sonucuna göre %5,82 oranında yani 217,30; 120 derece açıda %7,16 oranında yani 267,30; 135 derece açıda %5,99 oranında yani 223,60; 165 derece açıda %24,86 oranında yani 927,80; 200 derece açıda %16,10 oranında yani 600,70; 225 derece açıda %17,97 oranında yani 670,40; 240 derece açıda %16,36 oranında yani 610,60; 255 derece açıda %15,78 oranında yani 588,90; 285 derece açıda %8,82 oranında yani 329,30; 300 derece açıda %9,90 oranında yani 369,30; 320 derece açıda %9,89 oranında yani 369,00; 355 derece açıda %10,72 oranında yani 400,00 birim daha kısa mesafede sonuç vermiştir.

Çizelge 5.17 P15 için açı değişimi ile elde edilen sonuçlar ve önerilen çözüm sonucuyla kıyaslamalar

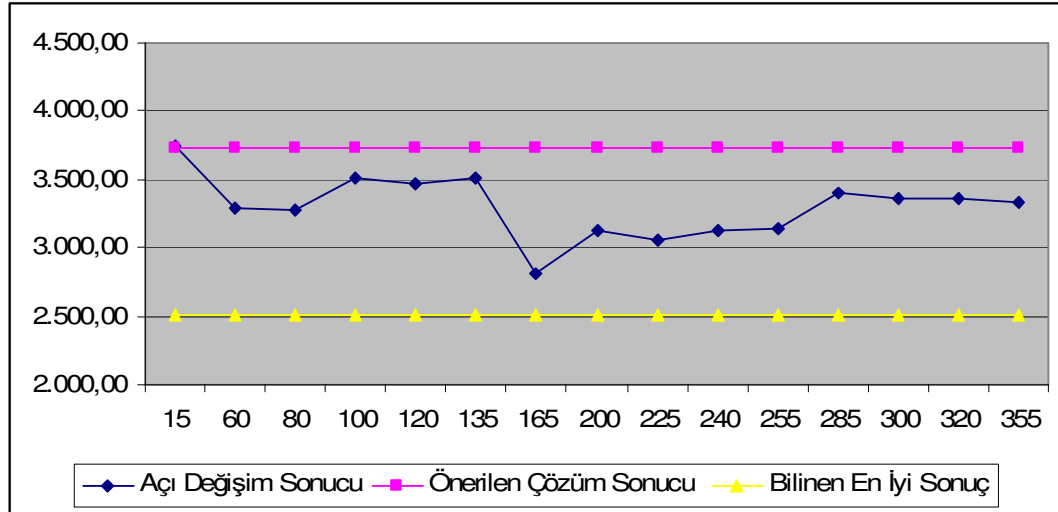
Açı	Açı Değişim Sonucu	Önerilen Çözüm Sonucu	Fark	Sapma (Yüzde)
15	3.742,90	3.731,60	11,30	%0,30
60	3.294,80	3.731,60	-436,80	%-11,71
80	3.282,50	3.731,60	-449,10	%-12,04
100	3.514,30	3.731,60	-217,30	%-5,82
120	3.464,30	3.731,60	-267,30	%-7,16
135	3.508,00	3.731,60	-223,60	%-5,99
165	2.803,80	3.731,60	-927,80	%-24,86
200	3.130,90	3.731,60	-600,70	%-16,10
225	3.061,20	3.731,60	-670,40	%-17,97
240	3.121,00	3.731,60	-610,60	%-16,36
255	3.142,70	3.731,60	-588,90	%-15,78
285	3.402,30	3.731,60	-329,30	%-8,82
300	3.362,30	3.731,60	-369,30	%-9,90
320	3.362,60	3.731,60	-369,00	%-9,89
355	3.331,60	3.731,60	-400,00	%-10,72

P15 problemi için açı değişimi önerilen çözüm sonucunda iyileştirme sağlayabildiği açılarda bilinen en iyi sonuca da daha yakın çözümler sunabilmiştir. Çizelge 5.18’de bu durum gösterilmektedir.

Çizelge 5.18 P15 problemi için açı değişimi ile elde edilen sonuçların bilinen en iyi sonuçla kıyaslanması

Açı	Açı Değişim Sonucu	Bilinen En İyi Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
15	3.742,90	2505,42	1237,48	%49,39
60	3.294,80	2505,42	789,38	%31,51
80	3.282,50	2505,42	777,08	%31,02
100	3.514,30	2505,42	1008,88	%40,27
120	3.464,30	2505,42	958,88	%38,27
135	3.508,00	2505,42	1002,58	%40,02
165	2.803,80	2505,42	298,38	%11,91
200	3.130,90	2505,42	625,48	%24,97
225	3.061,20	2505,42	555,78	%22,18
240	3.121,00	2505,42	615,58	%24,57
255	3.142,70	2505,42	637,28	%25,44
285	3.402,30	2505,42	896,88	%35,80
300	3.362,30	2505,42	856,88	%34,20
320	3.362,60	2505,42	857,18	%34,21
355	3.331,60	2505,42	826,18	%32,98

Şekil 5.16, P15 problemi için önerilen çözümün sunduğu sonuç, açının değiştirilmesi ile elde edilen sonuçlar ve bilinen en iyi sonuç grafik ortamında sunulmaktadır



Şekil 5.16 P15 problemi için açı değiştirilmesiyle elde edilen sonuçların önerilen çözüm sonucu ve bilinen en iyi sonuçla kıyaslaması.

P18 Problemi

P18 problemi için açı değişimi önerilen çözüm sonucunda iyileşme sağlayabilmiştir. Denenen bütün θ açısı derecelerinde önerilen çözüm sonucundan daha iyi sonuçlar sunmuştur.

Bunların içerisinde en büyük oranda iyileştirmeyi θ açısı 165 derece olduğunda önerilen çözüm sonucuna göre %25,77 oranında yani 1.469,50 birim daha kısa mesafede sonuç ile sağlamıştır. θ açısı 200, 225 derece olduğunda da sırasıyla %17,58 ve %17,04 oranında yani 1.002,40 ve 971,60 birim daha kısa mesafede sonuç vermiştir.

En az iyileştirmeyi ise θ açısı 15 derece olduğunda yapmıştır. θ açısı 15 derece olduğunda %0,30 oranında yani 17,20 birim daha kısa mesafede sonuç vermiştir.

Çizelge 5.19 P18 için açı değişimi ile elde edilen sonuçlar ve önerilen çözüm sonucuyla kıyaslamalar

Açı	Açı Değişim Sonucu	Önerilen Çözüm Sonucu	Fark	Sapma (Yüzde)
15	5.686,00	5.703,20	-17,20	%-0,30
60	4.990,00	5.703,20	-713,20	%-12,51
80	4.985,10	5.703,20	-718,10	%-12,59
100	5.280,20	5.703,20	-423,00	%-7,42
120	5.292,10	5.703,20	-411,10	%-7,21
135	5.290,50	5.703,20	-412,70	%-7,24
165	4.233,70	5.703,20	-1.469,50	%-25,77
200	4.700,80	5.703,20	-1.002,40	%-17,58
225	4.731,60	5.703,20	-971,60	%-17,04
240	4.738,20	5.703,20	-965,00	%-16,92
255	4.815,30	5.703,20	-887,90	%-15,57
285	5.118,80	5.703,20	-584,40	%-10,25
300	5.129,80	5.703,20	-573,40	%-10,05
320	5.021,50	5.703,20	-681,70	%-11,95
355	5.070,90	5.703,20	-632,30	%-11,09

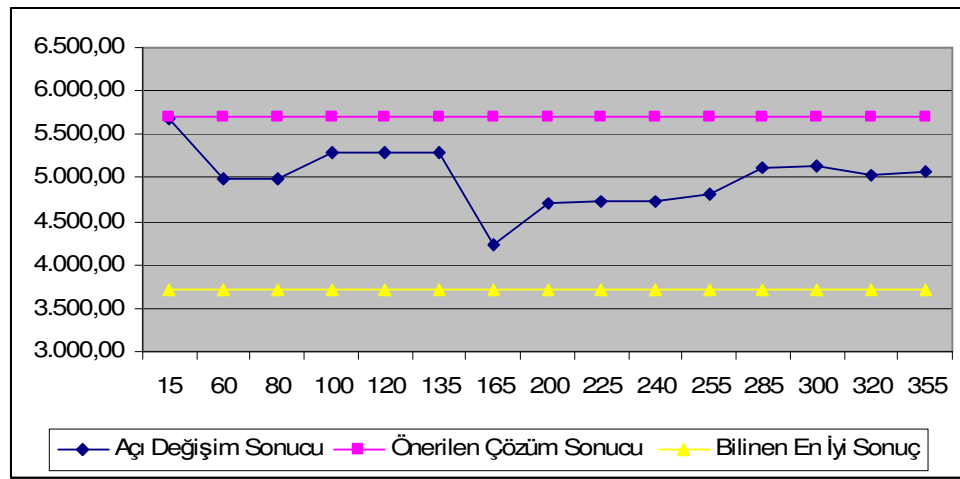
P18 problemi için açı değişimi önerilen çözüm sonucunda iyileştirme sağlayabildiği açılarda bilinen en iyi sonuca da daha yakın çözümler sunabilmiştir. Çizelge 5.20’de bu durum gösterilmektedir.

Çizelge 5.20 P18 problemi için açı değişimi ile elde edilen sonuçların bilinen en iyi sonuçla kıyaslanması

Açı	Açı Değişim Sonucu	Bilinen En İyi Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
15	5.686,00	3.702,85	1.983,15	%53,56
60	4.990,00	3.702,85	1.287,15	%34,76
80	4.985,10	3.702,85	1.282,25	%34,63
100	5.280,20	3.702,85	1.577,35	%42,60
120	5.292,10	3.702,85	1.589,25	%42,92
135	5.290,50	3.702,85	1.587,65	%42,88
165	4.233,70	3.702,85	530,85	%14,34
200	4.700,80	3.702,85	997,95	%26,95

225	4.731,60	3.702,85	1.028,75	%27,78
240	4.738,20	3.702,85	1.035,35	%27,96
255	4.815,30	3.702,85	1.112,45	%30,04
285	5.118,80	3.702,85	1.415,95	%38,24
300	5.129,80	3.702,85	1.426,95	%38,54
320	5.021,50	3.702,85	1.318,65	%35,61
355	5.070,90	3.702,85	1.368,05	%36,95

Şekil 5.17, P18 problemi için önerilen çözümün sunduğu sonuç, açının değiştirilmesi ile elde edilen sonuçlar ve bilinen en iyi sonuç grafik ortamında sunulmaktadır.



Şekil 5.17 P18 problemi için açı değiştirilmesiyle elde edilen sonuçların önerilen çözüm sonucu ve bilinen en iyi sonuçla kıyaslaması.

P21 Problemi

P21 problemi için açı değişimi önerilen çözüm sonucunda iyileşme sağlayabilmiştir. Denenen bütün θ açısı derecelerinde önerilen çözüm sonucundan daha iyi sonuçlar sunmuştur.

Bunların içerisinde en büyük oranda iyileştirmeyi θ açısı 165 derece olduğunda önerilen çözüm sonucuna göre %24,81 oranında yani 2.087,80 birim daha kısa mesafede sonuç ile sağlamıştır. θ açısı 200, 255 derece olduğunda da sırasıyla %16,18 ve %17,32 oranında yani 1.361,90 ve 1.457,50 birim daha kısa mesafede sonuç vermiştir.

En az iyileştirmeyi ise θ açısı 15 derece olduğunda yapmıştır. θ açısı 15 derece olduğunda %0,13 oranında yani 10,90 birim daha kısa mesafede sonuç vermiştir.

Çizelge 5.21 P21 için aç ı de ğ iř i mi ile elde edilen sonuç lar ve ö nerilen ç ö z ü m sonuc uyla kı ya sı la m a lar

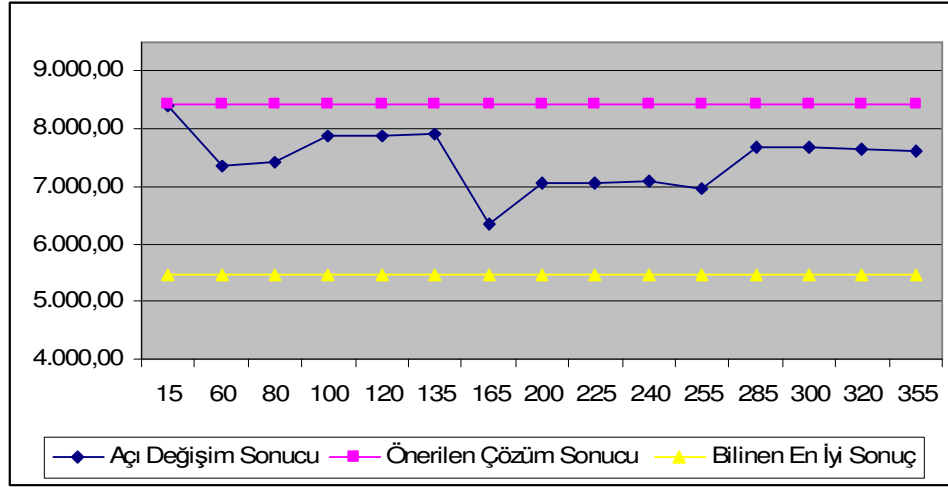
Aç ı	Aç ı De ğ iř i m Sonuc u	Ö nerilen Ç ö z ü m Sonuc u	Fark	Sapma (Yüz de)
15	8.405,00	8.415,90	-10,90	%-0,13
60	7.366,50	8.415,90	-1.049,40	%-12,47
80	7.410,70	8.415,90	-1.005,20	%-11,94
100	7.864,10	8.415,90	-551,80	%-6,56
120	7.886,30	8.415,90	-529,60	%-6,29
135	7.896,20	8.415,90	-519,70	%-6,18
165	6.328,10	8.415,90	-2.087,80	%-24,81
200	7.054,00	8.415,90	-1.361,90	%-16,18
225	7.057,70	8.415,90	-1.358,20	%-16,14
240	7.100,70	8.415,90	-1.315,20	%-15,63
255	6.958,40	8.415,90	-1.457,50	%-17,32
285	7.691,90	8.415,90	-724,00	%-8,60
300	7.667,10	8.415,90	-748,80	%-8,90
320	7.634,30	8.415,90	-781,60	%-9,29
355	7.605,40	8.415,90	-810,50	%-9,63

P21 problemi için aç ı de ğ iř i mi ö nerilen ç ö z ü m sonuc unda iyileş t i r m e sa ğ la y a b i l d i ğ i aç ı da bi len en i y i sonuc u da da ha ya k ı n ç ö z ü m sun a b i l m iř t i r. Ç izelge 5.22’de bu durum g ö s t e r i l e m e k t e d i r .

Çizelge 5.22 P21 problemi için aç ı de ğ iř i mi ile elde edilen sonuç lar ın bi len en i y i sonuc la kı ya sı la n m a s ı

Aç ı	Aç ı De ğ iř i m Sonuc u	Bi len En İ y i Sonuç	Fark	Sapma (Yüz de)
15	8.405,00	5.474,84	2.930,16	%53,52
60	7.366,50	5.474,84	1.891,66	%34,55
80	7.410,70	5.474,84	1.935,86	%35,36
100	7.864,10	5.474,84	2.389,26	%43,64
120	7.886,30	5.474,84	2.411,46	%44,05
135	7.896,20	5.474,84	2.421,36	%44,23
165	6.328,10	5.474,84	853,26	%15,59
200	7.054,00	5.474,84	1.579,16	%28,84
225	7.057,70	5.474,84	1.582,86	%28,91
240	7.100,70	5.474,84	1.625,86	%29,70
255	6.958,40	5.474,84	1.483,56	%27,10
285	7.691,90	5.474,84	2.217,06	%40,50
300	7.667,10	5.474,84	2.192,26	%40,04
320	7.634,30	5.474,84	2.159,46	%39,44
355	7.605,40	5.474,84	2.130,56	%38,92

Şekil 5.18, P21 problemi için önerilen çözümün sunduğu sonuç, açının değiştirilmesi ile elde edilen sonuçlar ve bilinen en iyi sonuç grafik ortamında sunulmaktadır.



Şekil 5.18 P21 problemi için açı değiştirilmesiyle elde edilen sonuçların önerilen çözüm sonucu ve bilinen en iyi sonuçla kıyaslaması.

P15 için önerilen çözümünden iyileştirme sağlayan θ açısı 165 derece olduğunda aynı zamanda bilinen en iyi çözüm sonucuna en az sapma veren sonucu vermektedir. P18 için önerilen çözüm sonucuna en iyi iyileştirme sağlayan θ açısı 165 derecedir ve bilinen en iyi sonuca en yakın sonucu vermiştir. P21 için θ açısı 165 derece olduğunda önerilen sonuç üzerinde en iyi iyileştirmeyi yaptığı gibi bilinen en iyi sonuçtan da en az sapmayı vermiştir.

Bu durumda P15, P18 ve P21 için en iyi çözüm sağlayan açı 165 derecedir.

5.5.2 α Parametresinin Değiştirilmesi

α parametresi feromon sezgiselinin formülasyonda etkisini kuvvetlendirmek için kullanılmaktadır. α değeri, seçilen yolun feromon miktarının önemini belirler ve önceki iterasyonların sonuçlarının ilerleyen iterasyonlara aktarılmasını sağlaması açısından önemlidir.

α parametresi değişimi her problem için bilinen en iyi sonuca en yaklaşık ve en uzak değeri veren iki θ açısı değeri için yapılmıştır. Literatürde yer alan örneklerle bakarak seçilen α parametresi için 2, 3 ve 5 değerleri seçilmiş ve çözüm üzerindeki iyileştirmeleri incelenmiştir.

Çözüm üzerindeki iyileştirmeler irdelenirken hem önerilen çözüme göre hem de bilinen en iyi sonuca göre iyileştirmeler sapma ve fark olarak bakılmıştır. Daha yalın anlatımın sağlanması için bundan sonra problem çeşitleri için önerilen sonuç ve bilinen en iyi sonuç değerleri tekrarlanmayacak sadece sapma ve fark değerleri verilecektir.

Ayrıca anlam bütünlüğünün sağlanması için problemler tek tek değil küçük, orta ve büyük ölçeğine göre birlikte ele alınacaktır.

5.5.2.1 Küçük Hacimli Problemler İçin α Parametresinin Değiştirilmesi

Küçük hacimli problemleri oluşturan P01, P02 ve P03 problemleri için α parametresi değeri diğer parametreler sabit bırakılırken sırasıyla 2, 3 ve 5 değerleri verilerek incelenmiştir.

Çizelge 5.23 Küçük hacimli problemlerde α parametresi değişiminin kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\alpha = 1$	$\alpha = 2$			$\alpha = 3$			$\alpha = 5$		
			Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P01	45	629,6	629,6	0	%0,00	629,6	0	%0,00	629,6	0	%0,00
	165	722,4	722,4	0	%0,00	722,4	0	%0,00	722,4	0	%0,00
P02	60	532,3	532	-0,3	%-0,06	532,3	0	%0,00	532	-0,3	%-0,06
	165	572,5	570,5	-2	%-0,35	573,5	1	%0,17	571,6	-0,9	%-0,16
P03	15	735,8	735,8	0	%0,00	735,8	0	%0,00	735,8	0	%0,00
	100	768,8	766,8	-2	%-0,26	767,1	-1,7	%-0,22	766,8	-2	%-0,26

P01 probleminde 45 ve 165 derece açıda α parametresi değişimi α parametresi 1 olmasına göre herhangi bir iyileşme sağlayamamıştır.

P02 probleminde 60 derece açıda α parametresinin değiştirilmesi iyileşme sağlayabilmiştir. α parametresi 2 ve 5 olduğunda %0,06 oranında α parametresi 1 olmasına göre iyileşme sağlamış yani 0,3 birim daha kısa mesafede çözüm vermiştir. α parametresi 3 olduğunda iyileşme sağlayamamıştır. 165 derecede α parametresi değişimi parametrenin 1 olduğu duruma göre azalma sağlamıştır. Buna göre α parametresi 2 olduğunda %0,35; α parametresi 5 olduğunda %0,16 α parametresi 1 olmasına göre iyileşme sağlamıştır. α parametresi 3 olması durumunda α parametresi 1 olmasına göre %17 oranında daha uzun mesafe sonucu vermiştir.

P03 probleminde 15 derece açıda α parametresi 2,3 ve 5 olduğunda α parametresi 1 olmasına göre hiç bir iyileştirme sağlayamamıştır. 100 derece açıda α parametresi 2 ve 5 olduğunda %0,26 oranında, α parametresi 3 olduğunda ise %0,22 oranında α parametresinin 1 olmasına göre iyileştirme sağlamıştır.

α parametresinin değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin önerilen çözüm sonucuna göre kıyaslaması yapılmıştır. P01 için herhangi bir değişim söz konusu değilken P02 için 60 derecede α parametresi 2 ve 5 olması önerilen çözüm sonucundan daha iyi sonuç sunmaktadır. 165 derecede ise α parametresi 2 olduğunda önerilen çözüme daha çok yaklaşılmıştır. P03 için 15 derecede α parametresi 2,3 ve 5 olması önerilen çözüm sonucundan daha iyi sonuç sunmaktadır. 100 derecede ise α parametresi 3 olduğunda önerilen çözüme daha çok yaklaşılmıştır.

Çizelge 5.24 Küçük hacimli problemlerde α parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\alpha=2$			$\alpha=3$			$\alpha=5$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P01	45	629,6	0	%0,00	629,6	0	%0,00	629,6	0	%0,00
	165	722,4	92,8	%14,74	722,4	92,8	%14,74	722,4	92,8	%14,74
P02	60	532	-11	-%2,03	532,3	-10,7	-%1,97	532	-11	-%2,03
	165	570,5	27,5	%5,06	573,5	30,5	%5,62	571,6	28,6	%5,27
P03	15	735,8	-0,3	-%0,04	735,8	-0,3	-%0,04	735,8	-0,3	-%0,04
	100	766,8	30,7	%4,17	767,1	31	%4,21	766,8	30,7	%4,17

α parametresinin değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin bilinen en iyi sonuca göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır.

Çizelge 5.25 Küçük hacimli problemlerde α parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\alpha=2$			$\alpha=3$			$\alpha=5$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P01	45	629,6	52,73	%9,14	629,6	52,73	%9,14	629,6	52,73	%9,14
	165	722,4	145,53	%25,23	722,4	145,53	%25,23	722,4	145,53	%25,23
P02	60	532	58,47	%12,35	532,3	58,77	%12,41	532	58,47	%12,35
	165	570,5	96,97	%20,48	573,5	99,97	%21,11	571,6	98,07	%20,71
P03	15	735,8	94,61	%14,76	735,8	94,61	%14,76	735,8	94,61	%14,76
	100	766,8	125,61	%19,59	767,1	125,91	%19,64	766,8	125,61	%19,59

5.5.2.2 Orta Hacimli Problemler İçin α Parametresinin Değiştirilmesi

Orta hacimli problemleri oluşturan P05, P06 ve P07 problemleri için α parametresi değeri diğer parametreler sabit bırakılırken sırasıyla 2, 3 ve 5 değerleri verilerek incelenmiştir.

Çizelge 5.26 Orta hacimli problemlerde α parametresi değişiminin kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\alpha = 1$	$\alpha=2$			$\alpha=3$			$\alpha=5$		
			Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P05	135	948	944,9	-3,1	-%0,33	943,2	-4,8	-%0,51	937	-11	-%1,16

	355	857,1	848,4	-8,7	%-1,02	850,9	-6,2	%-0,72	841,9	-15,2	%-1,77
P06	135	1.039,3	1039,3	0	%0,00	1039,3	0	%0,00	1039,3	0	%0,00
	200	942,4	942,4	0	%0,00	942,4	0	%0,00	942,4	0	%0,00
P07	135	1.021,8	1021,6	-0,2	%-0,02	1021,6	-0,2	%-0,02	1021,6	-0,2	%-0,02
	200	1.081,5	1081,3	-0,2	%-0,02	1082,4	0,9	%0,08	1081,5	0	%0,00

P05 probleminde 135 derece açıda α parametresinin her değişimi α parametresi 1 olmasına göre iyileşme sağlayabilmiştir. Buna göre α parametresinin 5 olması durumunda %1,16 oranında iyileşme sağlamıştır. α parametresinin 2 olması durumunda %0,33; α parametresinin 3 olması durumunda %0,51 oranında iyileşme sağlamıştır. 355 derece açıda da α parametresi 1 olmasına göre α parametresinin 5 olması durumunda %1,77 oranında; α parametresinin 2 olması durumunda %1,02; α parametresinin 3 olması durumunda %0,72 oranında iyileşme sağlamıştır.

P06 probleminde 135 ve 200 derecede α parametresinin değiştirilmesi α parametresi 1 olmasına göre herhangi bir iyileşme sağlayamamıştır.

P07 probleminde 135 derece açıda α parametresi 2, 3 ve 5 olduğunda α parametresi 1 olmasına göre %0,02 oranında iyileşme sağlayabilmiştir. 200 derece açıda α parametresi 2 olduğunda %0,02 oranında α parametresinin 1 olmasına göre iyileştirme sağlamıştır. α parametresi 3 ve 5 olduğunda ise iyileştirme sağlayamamıştır.

α parametresinin değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin önerilen çözüm sonucuna göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır. P05 için 355 derecede α parametresi 5 olduğunda önerilen çözümden %4,30 oranında; α parametresi 2 olduğunda önerilen çözümden %3,56 oranında; α parametresi 3 olduğunda önerilen çözümden %3,27 oranında daha iyi sonuç sunmuştur. P06 için 200 derecede α parametresi 2, 3 ve 5 olduğunda önerilen çözümden %8,29 oranında daha iyi sonuç sunmuştur.. P07 için 135 derecede α parametresi 2,3 ve 5 olarak değiştirilmesi sonuçta değişiklik sağlamamıştır. 200 derecede ise α parametresi 2 olduğunda önerilen çözüme daha çok yaklaşılmıştır.

Çizelge 5.27 Orta hacimli problemlerde α parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\alpha=2$			$\alpha=3$			$\alpha=5$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P05	135	944,9	65,2	%7,41	943,2	63,5	%7,22	937	57,3	%6,51
	355	848,4	-31,1	%-3,56	850,9	-28,8	%-3,27	841,9	-37,8	%-4,30
P06	135	1039,3	11,7	%1,14	1039,3	11,7	%1,14	1039,3	11,7	%1,14
	200	942,4	-85,2	%-8,29	942,4	-85,2	%-8,29	942,4	-85,2	%-8,29
P07	135	1021,6	-58,1	%-5,38	1021,6	-58,1	%-5,38	1021,6	-58,1	%-5,38
	200	1081,3	1,6	%0,15	1082,4	2,7	%0,25	1081,5	1,8	%0,17

α parametresinin değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin bilinen en iyi sonuca göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır.

Çizelge 5.28 Orta hacimli problemlerde α parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\alpha=2$			$\alpha=3$			$\alpha=5$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P05	135	944,9	194,87	%25,98	943,2	193,17	%25,75	937	186,97	%24,93
	355	848,4	98,37	%13,12	850,9	100,87	%13,45	841,9	91,87	%12,25
P06	135	1039,3	162,8	%18,57	1039,3	162,8	%18,57	1039,3	162,8	%18,57
	200	942,4	65,9	%7,52	942,4	65,9	%7,52	942,4	65,9	%7,52
P07	135	1021,6	135,8	%15,33	1021,6	135,8	%15,33	1021,6	135,8	%15,33
	200	1081,3	195,5	%22,07	1082,4	196,6	%22,19	1081,5	195,7	%22,09

5.5.2.3 Büyük Hacimli Problemler İçin α Parametresinin Değiştirilmesi

Büyük hacimli problemleri oluşturan P15, P18 ve P21 problemleri için α parametresi değeri diğer parametreler sabit bırakılırken sırasıyla 2, 3 ve 5 değerleri verilerek incelenmiştir.

Çizelge 5.29 Büyük hacimli problemlerde α parametresi değişiminin kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\alpha = 1$	$\alpha=2$			$\alpha=3$			$\alpha=5$		
			Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P15	15	3742,9	3742,4	-0,5	%-0,01	3738,4	-4,5	%-0,12	3741,7	-1,2	%-0,03
	165	2803,8	2786,2	-17,6	%-0,63	2783	-20,8	%-0,74	2803,9	0,1	%0,00
P18	45	5703,2	5716	12,8	%0,22	5704	0,8	%0,01	5717,8	14,6	%0,26
	165	4233,7	4240,5	6,8	%0,16	4228,1	-5,6	%-0,13	4237,1	3,4	%0,08
P21	45	8415,9	8428,6	12,7	%0,15	8411	-4,9	%-0,06	8378,2	-37,7	%-0,45
	165	6328,1	6293,3	-34,8	%-0,55	6299	-29,1	%-0,46	6319,9	-8,2	%-0,13

P15 probleminde 15 derece açıda α parametresinin her değişimi α parametresinin 1 olmasına göre iyileşme sağlayabilmiştir. Buna göre α parametresinin 3 olması durumunda %0,12 oranında iyileşme sağlamıştır. α parametresinin 2 olması durumunda %0,01; α parametresinin 5 olması durumunda %0,03 oranında iyileşme sağlamıştır. 165 derece açıda da α parametresinin 1 olmasına göre α parametresinin 3 olması durumunda %0,74 oranında; α parametresinin 2 olması durumunda %0,63 oranında iyileşme sağlamıştır.

P18 probleminde 45 derecede α parametresinin değiştirilmesi α parametresinin 1 olmasına göre herhangi bir iyileşme sağlayamamıştır. 165 derece açıda α parametresinin 1 olmasına göre α parametresi 3 olduğunda %0,13 oranında iyileştirme sağlamıştır.

P21 probleminde 45 derece açıda α parametresi 3 ve 5 olduğunda α parametresi 1 olmasına göre %0,06 ve %0,45 oranında iyileşme sağlayabilmiştir. 165 derece açıda α parametresi 2 olduğunda %0,55 oranında, α parametresi 3 olduğunda ise %0,46 oranında, α parametresi 5 olduğunda ise %0,13 oranında α parametresinin 1 olmasına göre iyileştirme sağlamıştır.

α parametresinin değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin önerilen çözüm sonucuna göre kıyaslaması aşağıdaki çizelge.de yer almaktadır. P15 için 165 derecede α parametresi 3 olduğunda önerilen çözümünden %25,42 oranında; α parametresi 5 olduğunda önerilen çözümünden %24,86 oranında; α parametresi 2 olduğunda önerilen çözümünden %25,33 oranında daha iyi sonuç sunmuştur.

P18 için 165 derecede α parametresi 2,3 ve 5 olarak değiştirilmesi sonuçta sırasıyla %25,65; %25,86 ve %25,71 oranında önerilen çözüm sonucuna göre iyileştirme sağlamıştır.

P21 için 45 derecede α parametresi 3 ve 5 olarak değiştirilmesi önerilen çözüm sonucuna göre %0,06 ve %0,45 oranında iyileştirme sağlamıştır. 165 derecede ise α parametresi 2 olduğunda önerilen çözümünden %25,22 oranında iyileştirme sağlamıştır. α parametresi 3 ve 5 olarak değiştirilmesi önerilen çözümünden sırasıyla %25,25 ve %24,91 oranında iyileştirme sunmuştur.

Çizelge 5.30 Büyük hacimli problemlerde α parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\alpha=2$			$\alpha=3$			$\alpha=5$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P15	15	3742,4	10,8	%0,29	3738,4	6,8	%0,18	3741,7	10,1	%0,27
	165	2786,2	-945,4	%-25,33	2783	-948,6	%-25,42	2803,9	-927,7	%-24,86
P18	45	5716	12,8	%0,22	5704	0,8	%0,01	5717,8	14,6	%0,26
	165	4240,5	-1462,7	%-25,65	4228,1	-1475,1	%-25,86	4237,1	-1466,1	%-25,71
P21	45	8428,6	12,7	%0,15	8411	-4,9	%-0,06	8378,2	-37,7	%-0,45
	165	6293,3	-2122,6	%-25,22	6299	-2116,9	%-25,15	6319,9	-2096	%-24,91

α parametresinin değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin bilinen en iyi sonuca göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır.

Çizelge 5.31 Büyük hacimli problemlerde α parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\alpha=2$			$\alpha=3$			$\alpha=5$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P15	15	3742,4	1236,98	%49,37	3738,4	1232,98	%49,21	3741,7	1236,28	%49,34
	165	2786,2	280,78	%11,21	2783	277,58	%11,08	2803,9	298,48	%11,91
P18	45	5716	2013,15	%54,37	5704	2001,15	%54,04	5717,8	2014,95	%54,42
	165	4240,5	537,65	%14,52	4228,1	525,25	%14,19	4237,1	534,25	%14,43
P21	45	8428,6	2953,76	%53,95	8411	2936,16	%53,63	8378,2	2903,36	%53,03

	165	6293,3	818,46	%14,95	6299	824,16	%15,05	6319,9	845,06	%15,44
--	-----	--------	--------	--------	------	--------	--------	--------	--------	--------

5.5.3 β Parametresinin Değiştirilmesi

β parametresi yol uzunluklarının, bir sonraki noktanın seçimindeki etkisini belirlemektedir ve en yakın şehirlerin seçilmesi olasılığını arttırır. β değeri arttıkça bir sonraki yolun seçiminde tesadüflük artmakta, β değeri azaldıkça alternatif çözümlerin araştırılması ihtimali azalmaktadır.

β parametresi diğer parametreler sabit tutularak değiştirilmiş ve önerilen çözüm sonucunda iyileştirme aranmıştır. β parametresi değiştirilmesi ile elde edilen sonuçlar önerilen çözüm sonucu ve bilinen en iyi sonuçla kıyaslanmıştır.

5.5.3.1 Küçük Hacimli Problemler İçin β Parametresinin Değiştirilmesi

Küçük hacimli problemleri oluşturan P01, P02 ve P03 problemleri için β parametresi değeri diğer parametreler sabit bırakılırken sırasıyla 2, 3 ve 5 değerleri verilerek incelenmiştir.

Çizelge 5.32 Küçük hacimli problemlerde β parametresi değişiminin kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\beta = 1$	$\beta = 2$			$\beta = 3$			$\beta = 5$		
			Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P01	45	629,6	629,6	0	%0,00	629,6	0	%0,00	629,6	0	%0,00
	165	722,4	722,4	0	%0,00	722,4	0	%0,00	722,4	0	%0,00
P02	60	532,3	532,3	0	%0,00	532,7	0,4	%0,08	536,1	3,8	%0,71
	165	572,5	573	0,5	%0,09	572,4	-0,1	%-0,02	572,5	0	%0,00
P03	15	735,8	735,8	0	%0,00	741,1	5,3	%0,72	735,8	0	%0,00
	100	768,8	769,1	0,3	%0,04	768,5	-0,3	%-0,04	768,6	-0,2	%-0,03

P01 probleminde 45 ve 165 derecede β parametresinin değişimi β parametresinin 1 olması durumuna göre herhangi bir iyileşme sağlayamamıştır.

P02 probleminde 60 derecede β parametresinin değiştirilmesi β parametresinin 1 olması durumuna göre herhangi bir iyileşme sağlayamamıştır. 165 derece açıda β parametresi 3 olduğunda β parametresinin 1 olması durumuna göre %0,02 oranında iyileştirme sağlamıştır.

P03 probleminde 45 derece açıda β parametresi değişimi β parametresinin 1 olması durumuna göre herhangi bir iyileşme sağlayamamıştır. 100 derece açıda β parametresi 3 olduğunda %0,04 oranında, β parametresi 5 olduğunda ise %0,03 oranında β parametresinin 1 olması durumuna göre iyileştirme sağlamıştır.

β parametresinin değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin önerilen çözüm sonucuna göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır. P01 için önerilen çözüm sonucuna göre iyileştirme olmamıştır.

P02 için 60 derecede β parametresi 2,3 ve 5 olarak değiştirilmesi sonuçta sırasıyla %1,97; %1,90 ve %1,27 oranında önerilen çözüm sonucuna göre iyileştirme sağlamıştır.

P03 için 15 derecede β parametresi 2 ve 5 olarak değiştirilmesi önerilen çözüm sonucuna göre %0,04 oranında iyileştirme sağlamıştır. 100 derecede ise β parametresi değişimi iyileştirme sağlamamıştır.

Çizelge 5.33 Küçük hacimli problemlerde β parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\beta = 2$			$\beta = 3$			$\beta = 5$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P01	45	629,6	0	%0,00	629,6	0	%0,00	629,6	0	%0,00
	165	722,4	92,8	%14,74	722,4	92,8	%14,74	722,4	92,8	%14,74
P02	60	532,3	-10,7	%-1,97	532,7	-10,3	%-1,90	536,1	-6,9	%-1,27
	165	573	30	%5,52	572,4	29,4	%5,41	572,5	29,5	%5,43
P03	15	735,8	-0,3	%-0,04	741,1	5	%0,68	735,8	-0,3	%-0,04
	100	769,1	33	%4,48	768,5	32,4	%4,40	768,6	32,5	%4,42

β parametresinin değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin bilinen en iyi sonuca göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır.

Çizelge 5.34 Küçük hacimli problemlerde β parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\beta = 2$			$\beta = 3$			$\beta = 5$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P01	45	629,6	52,73	%9,14	629,6	52,73	%9,14	629,6	52,73	%9,14
	165	722,4	145,53	%25,23	722,4	145,53	%25,23	722,4	145,53	%25,23
P02	60	532,3	58,77	%12,41	532,7	59,17	%12,50	536,1	62,57	%13,21
	165	573	99,47	%21,01	572,4	98,87	%20,88	572,5	98,97	%20,90
P03	15	735,8	94,61	%14,76	741,1	99,91	%15,58	735,8	94,61	%14,76
	100	769,1	127,91	%19,95	768,5	127,31	%19,86	768,6	127,41	%19,87

5.5.3.2 Orta Hacimli Problemler İçin β Parametresinin Değiştirilmesi

Orta hacimli problemleri oluşturan P05, P06 ve P07 problemleri için β parametresi değeri diğer parametreler sabit bırakılırken sırasıyla 2, 3 ve 5 değerleri verilerek incelenmiştir.

Çizelge 5.35 Orta hacimli problemlerde β parametresi değişiminin kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\beta = 1$	$\beta = 2$			$\beta = 3$			$\beta = 5$		
			Sonuç	Fark	Sapma	Sonuç	Fark	Sapma	Sonuç	Fark	Sapma

					(Yüzde)			(Yüzde)			(Yüzde)
P05	135	948	948,1	0,1	%0,01	939,3	-8,7	%-0,92	949,1	1,1	%0,12
	355	857,1	854,9	-2,2	%-0,26	853,3	-3,8	%-0,44	854,5	-2,6	%-0,30
P06	135	1039,3	1039,6	0,3	%0,03	1041,1	1,8	%0,17	1041,1	1,8	%0,17
	200	942,4	942,7	0,3	%0,03	942,7	0,3	%0,03	942,7	0,3	%0,03
P07	135	1021,8	1021,6	-0,2	%-0,02	1021,6	-0,2	%-0,02	1021,6	-0,2	%-0,02
	200	1081,5	1081,9	0,4	%0,04	1083	1,5	%0,14	1081,3	-0,2	%-0,02

P05 probleminde 135 derecede β parametresinin 3 olması %0,92 oranında; 355 derecede β parametresinin 3 olması %0,44 oranında, β parametresinin 2 olması %0,26 oranında, β parametresinin 5 olması %0,30 oranında β parametresinin 1 olması durumuna göre iyileşme sağlamıştır.

P06 probleminde β parametresinin değiştirilmesi β parametresinin 1 olması durumuna göre herhangi bir iyileşme sağlayamamıştır.

P07 probleminde 135 derece açıda β parametresi 2, 3 ve 5 olduğunda %0,02 oranında; 200 derece açıda β parametresi 5 olduğunda ise %0,02 oranında β parametresinin 1 olması durumuna göre iyileşme sağlanmıştır.

β parametresinin değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin önerilen çözüm sonucuna göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır. P05 için 355 derecede β parametresi 2, 3 ve 5 olduğunda sırasıyla %2,82, %3,00 ve %2,86 oranında önerilen çözüm sonucuna göre iyileştirme olmuştur.

P06 için 200 derecede β parametresi 2, 3 ve 5 olarak değiştirilmesi önerilen çözüme göre %8,26 oranında iyileştirme sağlamıştır.

P07 için 135 derecede β parametresi 2, 3 ve 5 olarak değiştirilmesi önerilen çözüme göre %5,38 oranında iyileştirme sağlamıştır.

Çizelge 5.36 Orta hacimli problemlerde β parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\beta = 2$			$\beta = 3$			$\beta = 5$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P05	135	948,1	68,4	%7,78	939,3	59,6	%6,78	949,1	69,4	%7,89
	355	854,9	-24,8	%-2,82	853,3	-26,4	%-3,00	854,5	-25,2	%-2,86
P06	135	1039,6	12	%1,17	1041,1	13,5	%1,31	1041,1	13,5	%1,31
	200	942,7	-84,9	%-8,26	942,7	-84,9	%-8,26	942,7	-84,9	%-8,26
P07	135	1021,6	-58,1	%-5,38	1021,6	-58,1	%-5,38	1021,6	-58,1	%-5,38
	200	1081,9	2,2	%0,20	1083	3,3	%0,31	1081,3	1,6	%0,15

β parametresinin değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin bilinen en iyi sonuca göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır.

Çizelge 5.37 Orta hacimli problemlerde α parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\beta = 2$			$\beta = 3$			$\beta = 5$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P05	135	944,9	194,87	%25,98	943,2	193,17	%25,75	937	186,97	%24,93
	355	848,4	98,37	%13,12	850,9	100,87	%13,45	841,9	91,87	%12,25
P06	135	1039,3	162,8	%18,57	1039,3	162,8	%18,57	1039,3	162,8	%18,57
	200	942,4	65,9	%7,52	942,4	65,9	%7,52	942,4	65,9	%7,52
P07	135	1021,6	135,8	%15,33	1021,6	135,8	%15,33	1021,6	135,8	%15,33
	200	1081,3	195,5	%22,07	1082,4	196,6	%22,19	1081,5	195,7	%22,09

5.5.3.3 Büyük Hacimli Problemler İçin β Parametresinin Değiştirilmesi

Büyük hacimli problemleri oluşturan P15, P18 ve P21 problemleri için β parametresi değeri diğer parametreler sabit bırakılırken sırasıyla 2, 3 ve 5 değerleri verilerek incelenmiştir.

Çizelge 5.38 Büyük hacimli problemlerde β parametresi değişiminin kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\beta = 1$	$\beta = 2$			$\beta = 3$			$\beta = 5$		
			Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P15	15	3742,9	3738,3	-4,6	%-0,12	3742,7	-0,2	%-0,01	3744,1	1,2	%0,03
	165	2803,8	2802,6	-1,2	%-0,04	2799,7	-4,1	%-0,15	2772	-31,8	%-1,13
P18	45	5703,2	5689,1	-14,1	%-0,25	5696,3	-6,9	%-0,12	5705,5	2,3	%0,04
	165	4233,7	4226	-7,7	%-0,18	4247,5	13,8	%0,33	4217,9	-15,8	%-0,37
P21	45	8415,9	8423,6	7,7	%0,09	8457,2	41,3	%0,49	8424,3	8,4	%0,10
	165	6328,1	6301,8	-26,3	%-0,42	6325,6	-2,5	%-0,04	6335,1	7	%0,11

P15 probleminde 15 derecede β parametresinin 2, 3 ve 5 olması durumunda sırasıyla %0,12; %0,01 ve %0,03 oranında; 165 derecede β parametresinin 2, 3 ve 5 olması durumunda sırasıyla %0,04; %0,15 ve %1,13 oranında β parametresinin 1 olması durumuna göre iyileşme sağlamıştır.

P18 probleminde 45 derecede β parametresinin 2, 3 ve 5 olması durumunda sırasıyla %0,25; %0,12 ve %0,04 oranında; 165 derecede β parametresinin 2 ve 5 olması durumunda sırasıyla %0,18 ve %0,37 oranında β parametresinin 1 olması durumuna göre iyileştirme sağlanmıştır.

P21 probleminde 45 derece açıda β parametresi değişimi β parametresinin 1 olması durumuna göre iyileştirme sağlamamıştır. 165 derece açıda β parametresi 2 ve 3 olduğunda ise %0,42 ve %0,04 oranında β parametresinin 1 olması durumuna göre iyileştirme sağlanmıştır.

β parametresinin değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin önerilen çözüm sonucuna göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır. P15 için 165 derecede β parametresi 2, 3 ve

5 olduğunda sırasıyla %24,90; %24,97 ve %25,72 oranında önerilen çözüm sonucuna göre iyileştirme olmuştur.

P18 için 165 derecede β parametresi 2, 3 ve 5 olarak değiştirilmesi önerilen çözümde sırasıyla %25,90; %25,52 ve %26,04 oranında iyileştirme sağlamıştır.

P21 için 165 derecede β parametresi 2, 3 ve 5 olarak değiştirilmesi önerilen çözümde sırasıyla %25,12; %24,84 ve %24,72 oranında iyileştirme sağlamıştır.

Çizelge 5.39 Büyük hacimli problemlerde β parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\beta = 2$			$\beta = 3$			$\beta = 5$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P15	15	3738,3	6,7	%0,18	3742,7	11,1	%0,30	3744,1	12,5	%0,33
	165	2802,6	-929	%-24,90	2799,7	-931,9	%-24,97	2772	-959,6	%-25,72
P18	45	5689,1	-14,1	%-0,25	5696,3	-6,9	%-0,12	5705,5	2,3	%0,04
	165	4226	-1477,2	%-25,90	4247,5	-1455,7	%-25,52	4217,9	-1485,3	%-26,04
P21	45	8423,6	7,7	%0,09	8457,2	41,3	%0,49	8424,3	8,4	%0,10
	165	6301,8	-2114,1	%-25,12	6325,6	-2090,3	%-24,84	6335,1	-2080,8	%-24,72

β parametresinin değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin bilinen en iyi sonuca göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır.

Çizelge 5.40 Büyük hacimli problemlerde β parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\beta = 2$			$\beta = 3$			$\beta = 5$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P15	15	3738,3	1232,88	%49,21	3742,7	1237,28	%49,38	3744,1	1238,68	%49,44
	165	2802,6	297,18	%11,86	2799,7	294,28	%11,75	2772	266,58	%10,64
P18	15	5689,1	1986,25	%53,64	5696,3	1993,45	%53,84	5705,5	2002,65	%54,08
	165	4226	523,15	%14,13	4247,5	544,65	%14,71	4217,9	515,05	%13,91
P21	15	8423,6	2948,76	%53,86	8457,2	2982,36	%54,47	8424,3	2949,46	%53,87
	165	6301,8	826,96	%15,10	6325,6	850,76	%15,54	6335,1	860,26	%15,71

5.5.4 α ve β Parametrelerinin Değiştirilmesi

α ve β parametrelerinin ayrı ayrı olarak değiştirilip sağladıkları iyileştirmelerin incelenmesinin yanı sıra birlikte değiştirilip sağladıkları iyileştirme incelenmiştir.

α ve β parametreleri diğer parametreler sabit kalırken sırasıyla 3, 5 ve 5,3 değerleri verilerek sağladıkları iyileştirmeler değerlendirilmiştir.

5.5.4.1 Küçük Hacimli Problemler İçin α ve β Parametrelerinin Değiştirilmesi

Küçük hacimli problemleri oluşturan P01, P02 ve P03 problemleri için α ve β parametreleri diğer parametreler sabit kalırken sırasıyla 3, 5 ve 5, 3 değerleri verilerek sağladıkları iyileştirmeler incelenmiştir.

Çizelge 5.41 Küçük hacimli problemlerde α ve β parametresi değişiminin kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\alpha = 1$ $\beta = 1$	$\alpha = 3$ $\beta = 5$			$\alpha = 5$ $\beta = 3$		
			Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P01	45	629,6	629,6	0	%0,00	629,6	0	%0,00
	165	722,4	722,4	0	%0,00	722,4	0	%0,00
P02	60	532,3	532	-0,3	%-0,06	532	-0,3	%-0,06
	165	572,5	571,9	-0,6	%-0,10	570,9	-1,6	%-0,28
P03	15	735,8	735,8	0	%0,00	735,8	0	%0,00
	100	768,8	766,8	-2	%-0,26	766,8	-2	%-0,26

α ve β parametrelerinin birlikte incelendiği durumda P02 ve P03 problemleri için $\alpha = 1$ $\beta = 1$ durumuna göre iyileştirmeler elde edilmiştir. Buna göre P02 için 165 derecede $\alpha = 5$ $\beta = 3$ olduğunda %0,28 oranında; P03 için 100 derecede $\alpha = 3$ $\beta = 5$ ve $\alpha = 5$ $\beta = 3$ olduğunda %0,26 oranında $\alpha = 1$ $\beta = 1$ durumuna göre iyileştirmeler görülmüştür.

α ve β parametresinin değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin önerilen çözüm sonucuna göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır. P02 için 60 derecede $\alpha = 3$ $\beta = 5$ ve $\alpha = 5$ $\beta = 3$ olarak değiştirilmesi sonuçta %2,03 oranında $\alpha = 1$ $\beta = 1$ durumuna göre iyileştirme sağlamıştır. P03 için 15 derecede $\alpha = 3$ $\beta = 5$ ve $\alpha = 5$ $\beta = 3$ olarak değiştirilmesi sonuçta %0,04 oranında $\alpha = 1$ $\beta = 1$ durumuna göre iyileştirme sağlamıştır.

Çizelge 5.42 Küçük hacimli problemlerde α ve β parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\alpha = 3$ $\beta = 5$			$\alpha = 5$ $\beta = 3$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P01	45	629,6	0	%0,00	629,6	0	%0,00
	165	722,4	92,8	%14,74	722,4	92,8	%14,74
P02	60	532	-11	%-2,03	532	-11	%-2,03
	165	571,9	28,9	%5,32	570,9	27,9	%5,14
P03	15	735,8	-0,3	%-0,04	735,8	-0,3	%-0,04
	100	766,8	30,7	%4,17	766,8	30,7	%4,17

α ve β parametrelerinin değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin bilinen en iyi sonuca göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır.

Çizelge 5.43 Küçük hacimli problemlerde α ve β parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\alpha = 3 \beta = 5$			$\alpha = 5 \beta = 3$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P01	45	629,6	52,73	%9,14	629,6	52,73	%9,14
	165	722,4	145,53	%25,23	722,4	145,53	%25,23
P02	60	532	58,47	%12,35	532	58,47	%12,35
	165	571,9	98,37	%20,77	570,9	97,37	%20,56
P03	15	735,8	94,61	%14,76	735,8	94,61	%14,76
	100	766,8	125,61	%19,59	766,8	125,61	%19,59

5.5.4.2 Orta Hacimli Problemler İçin α ve β Parametrelerinin Değiştirilmesi

Ortahacimli problemleri oluşturan P05, P06 ve P07 problemleri için α ve β parametreleri diğer parametreler sabit kalırken sırasıyla 3, 5 ve 5, 3 değerleri verilerek sağladıkları iyileştirmeler incelenmiştir.

Çizelge 5.44 Orta hacimli problemlerde α ve β parametresi değişiminin kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\alpha = 1 \beta = 1$	$\alpha = 3 \beta = 5$			$\alpha = 5 \beta = 3$		
			Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P05	135	948	946,3	-1,7	-0,18%	938,4	-9,6	-1,01%
	355	857,1	843,6	-13,5	-1,58%	845,7	-11,4	-1,33%
P06	135	1039,3	1039,3	0	0,00%	1039,3	0	0,00%
	200	942,4	942,4	0	0,00%	942,4	0	0,00%
P07	135	1021,8	1021,6	-0,2	-0,02%	1021,6	-0,2	-0,02%
	200	1081,5	1084,9	3,4	0,31%	1081,3	-0,2	-0,02%

α ve β parametrelerinin birlikte incelendiği durumda P05 ve P07 problemleri için $\alpha = 1 \beta = 1$ durumuna göre iyileştirmeler elde edilmiştir. Buna göre P05 için 355 derecede $\alpha = 3 \beta = 5$ ve $\alpha = 5 \beta = 3$ olduğunda sırasıyla %1,58 ve %1,33 oranında; P07 için 135 derecede $\alpha = 3 \beta = 5$ ve $\alpha = 5 \beta = 3$ olduğunda %0,02 oranında $\alpha = 1 \beta = 1$ durumuna göre iyileştirmeler görülmüştür.

α ve β parametresinin değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin önerilen çözüm sonucuna göre kıyaslaması aşağıdaki çizelge.de yer almaktadır. P05 için 60 derecede $\alpha = 3 \beta = 5$ ve $\alpha = 5 \beta = 3$ olarak değiştirilmesi önerilen çözüm sonucuna göre sırasıyla %4,10 ve %3,86 oranında iyileştirme sağlamıştır.

P06 için 200 derecede $\alpha = 3 \beta = 5$ ve $\alpha = 5 \beta = 3$ olarak değiştirilmesi %8,29 oranında önerilen çözüm sonucuna göre iyileştirme sağlamıştır. P07 için 135 derecede $\alpha = 3 \beta = 5$ ve $\alpha = 5 \beta = 3$ olarak değiştirilmesi önerilen çözüm sonucuna göre %5,38 oranında iyileştirme sağlamıştır.

Çizelge 5.45 Orta hacimli problemlerde α ve β parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\alpha = 3 \beta = 5$			$\alpha = 5 \beta = 3$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P05	135	946,3	66,6	%7,57	938,4	58,7	%6,67
	355	843,6	-36,1	%-4,10	845,7	-34	%-3,86
P06	135	1039,3	11,7	%1,14	1039,3	11,7	%1,14
	200	942,4	-85,2	%-8,29	942,4	-85,2	%-8,29
P07	135	1021,6	-58,1	%-5,38	1021,6	-58,1	%-5,38
	200	1084,9	5,2	%0,48	1081,3	1,6	%0,15

α ve β parametrelerinin değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin bilinen en iyi sonuca göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır.

Çizelge 5.46 Orta hacimli problemlerde α ve β parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\alpha = 3 \beta = 5$			$\alpha = 5 \beta = 3$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P05	135	946,3	196,27	%26,17	938,4	188,37	%25,11
	355	843,6	93,57	%12,48	845,7	95,67	%12,76
P06	135	1039,3	162,8	%18,57	1039,3	162,8	%18,57
	200	942,4	65,9	%7,52	942,4	65,9	%7,52
P07	135	1021,6	135,8	%15,33	1021,6	135,8	%15,33
	200	1084,9	199,1	%22,48	1081,3	195,5	%22,07

5.5.4.3 Büyük Hacimli Problemler İçin α ve β Parametrelerinin Değiştirilmesi

Büyük hacimli problemleri oluşturan P15, P18 ve P21 problemleri için α ve β parametreleri diğer parametreler sabit kalırken sırasıyla 3, 5 ve 5, 3 değerleri verilerek sağladıkları iyileştirmeler incelenmiştir.

Çizelge 5.47 Büyük hacimli problemlerde α ve β parametresi değişiminin kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\alpha = 1 \beta = 1$	$\alpha = 3 \beta = 5$			$\alpha = 5 \beta = 3$		
			Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P15	15	3742,9	3740,3	-2,6	%-0,07	3697,3	-45,6	%-1,22
	165	2803,8	2785,6	-18,2	%-0,65	2772,6	-31,2	%-1,11
P18	45	5703,2	5690,1	-13,1	%-0,23	5703,6	0,4	%0,01
	165	4233,7	4218,9	-14,8	%-0,35	4240,2	6,5	%0,15
P21	45	8415,9	8448,6	32,7	%0,39	8371,9	-44	%-0,52
	165	6328,1	6284	-44,1	%-0,70	6307,8	-20,3	%-0,32

α ve β parametrelerinin birlikte incelendiği durumda P15, P18 ve P21 problemleri $\alpha = 1 \beta = 1$ durumuna göre iyileştirmeler elde edilmiştir. Buna göre P15 için 15 derecede $\alpha = 3 \beta = 5$ ve α

$\alpha=5$ $\beta=3$ olduğunda sırasıyla %0,07 ve %1,22 oranında; P15 için 165 derecede $\alpha=3$ $\beta=5$ ve $\alpha=5$ $\beta=3$ olduğunda sırasıyla %0,65 ve %1,11 oranında; P18 için 45 derecede $\alpha=3$ $\beta=5$ olduğunda %0,23 oranında; P18 için 165 derecede $\alpha=3$ $\beta=5$ olduğunda %0,35 oranında; P21 için 165 derecede $\alpha=3$ $\beta=5$ olduğunda %0,70 oranında; 45 derecede $\alpha=5$ $\beta=3$ olduğunda %0,52 oranında $\alpha=1$ $\beta=1$ durumuna göre iyileştirmeler görülmüştür.

α ve β parametresinin değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin önerilen çözüm sonucuna göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır. P15 için 15 derecede $\alpha=5$ $\beta=3$ olduğunda %0,92 oranında; 165 derecede $\alpha=3$ $\beta=5$ ve $\alpha=5$ $\beta=3$ olarak değiştirilmesi sırasıyla %25,35 ve %25,70 oranında önerilen çözüm sonucuna göre iyileştirme sağlamıştır. P18 için 165 derecede $\alpha=3$ $\beta=5$ ve $\alpha=5$ $\beta=3$ olarak değiştirilmesi sırasıyla %26,03 ve %25,65 oranında; 45 derecede $\alpha=3$ $\beta=5$ olarak değiştirilmesi %0,23 oranında önerilen çözüm sonucuna göre iyileştirme sağlamıştır. P21 için 165 derecede $\alpha=3$ $\beta=5$ ve $\alpha=5$ $\beta=3$ olarak değiştirilmesi sırasıyla %25,33 ve %25,05 oranında önerilen çözüm sonucuna göre iyileştirme sağlamıştır.

Çizelge 5.48 Büyük hacimli problemlerde α ve β parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\alpha=3$ $\beta=5$			$\alpha=5$ $\beta=3$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P15	15	3740,3	8,7	%0,23	3697,3	-34,3	%-0,92
	165	2785,6	-946	%-25,35	2772,6	-959	%-25,70
P18	45	5690,1	-13,1	%-0,23	5703,6	0,4	%0,01
	165	4218,9	-1484,3	%-26,03	4240,2	-1463	%-25,65
P21	45	8448,6	32,7	%0,39	8371,9	-44	%-0,52
	165	6284	-2131,9	%-25,33	6307,8	-2108,1	%-25,05

α ve β parametrelerinin değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin bilinen en iyi sonuca göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır.

Çizelge 5.49 Büyük hacimli problemlerde α ve β parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\alpha=3$ $\beta=5$			$\alpha=5$ $\beta=3$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P15	15	3740,3	1234,88	%49,29	3697,3	1191,88	%47,57
	165	2785,6	280,18	%11,18	2772,6	267,18	%10,66
P18	45	5690,1	1987,25	%53,67	5703,6	2000,75	%54,03
	165	4218,9	516,05	%13,94	4240,2	537,35	%14,51
P21	45	8448,6	2973,76	%54,32	8371,9	2897,06	%52,92
	165	6284	809,16	%14,78	6307,8	832,96	%15,21

5.5.5 ρ Parametresinin Değiştirilmesi

ρ parametresi feromon buharlaşma parametresidir. Bir sonraki iterasyona aktarılacak feromon miktarı açısından önemlidir. Fakat feromon buharlaşmasının müşteriler arasındaki tüm yollarda aynı şekilde azalmaya sebep olduğu unutulmamalıdır.

ρ parametresi %20 ve %30 oranında değiştirilip diğer parametreler sabit bırakılarak sağlanabilecek iyileştirmeler irdelenmiştir.

5.5.5.1 Küçük Hacimli Problemler İçin ρ Parametresinin Değiştirilmesi

Küçük hacimli problemleri oluşturan P01, P02 ve P03 problemleri için ρ parametresi diğer parametreler sabit kalırken sırasıyla %20 ve %30 değerleri verilerek sağladıkları iyileştirmeler incelenmiştir.

Çizelge 5.50 Küçük hacimli problemlerde ρ parametresi değişiminin kıyaslaması

Problem Adı	Açı	ρ =%10	ρ =%20			ρ =%30		
			Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P01	45	629,6	629,6	0	%0,00	629,6	0	%0,00
	165	722,4	722,4	0	%0,00	722,4	0	%0,00
P02	60	532,3	532,7	0,4	%0,08	532,4	0,1	%0,02
	165	572,5	572,5	0	%0,00	573,6	1,1	%0,19
P03	15	735,8	735,8	0	%0,00	735,8	0	%0,00
	100	768,8	768,8	0	%0,00	769,3	0,5	%0,07

ρ parametresinin incelendiği durumda P01, P02 ve P03 problemleri için ilk sonuçlara göre hiç iyileştirmeler elde edilememiş hatta bazı durumlarda ρ =%10 olması durumuna göre daha da kötü sonuçlar vermiştir.

ρ parametresinin değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin önerilen çözüm sonucuna göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır. P01 için önerilen çözüm sonucuna göre iyileştirme sağlanamamıştır. P02 için 60 derecede ρ =%20 ve ρ =%30 olduğunda önerilen çözüm sonucuna göre sırasıyla %1,90 ve %1,95 oranında; P03 için ρ =%20 ve ρ =%30 olduğunda %0,04 oranında iyileştirme sunulmuştur.

Çizelge 5.51 Küçük hacimli problemlerde ρ parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	ρ =%20			ρ =%30		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P01	45	629,6	0	%0,00	629,6	0	%0,00
	165	722,4	92,8	%14,74	722,4	92,8	%14,74

P02	60	532,7	-10,3	%-1,90	532,4	-10,6	%-1,95
	165	572,5	29,5	%5,43	573,6	30,6	%5,64
P03	15	735,8	-0,3	%-0,04	735,8	-0,3	%-0,04
	100	768,8	32,7	%4,44	769,3	33,2	%4,51

ρ parametresi değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin bilinen en iyi sonuca göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır.

Çizelge 5.52 Küçük hacimli problemlerde ρ parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	ρ =%20			ρ =%30		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P01	45	629,6	52,73	%9,14	629,6	52,73	%9,14
	165	722,4	145,53	%25,23	722,4	145,53	%25,23
P02	60	532,7	59,17	%12,50	532,4	58,87	%12,43
	165	572,5	98,97	%20,90	573,6	100,07	%21,13
P03	15	735,8	94,61	%14,76	735,8	94,61	%14,76
	100	768,8	127,61	%19,90	769,3	128,11	%19,98

5.5.5.2 Orta Hacimli Problemler İçin ρ Parametresinin Değiştirilmesi

Orta hacimli problemleri oluşturan P05, P06 ve P07 problemleri için ρ parametresi diğer parametreler sabit kalırken sırasıyla %20 ve %30 değerleri verilerek sağladıkları iyileştirmeler incelenmiştir.

Çizelge 5.53 Orta hacimli problemlerde ρ parametresi değişiminin kıyaslaması

Problem Adı	Açı	ρ =%10	ρ =%20			ρ =%30		
			Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P05	135	948	948,7	0,7	%0,07	949	1	%0,11
	355	857,1	856,4	-0,7	%-0,08	855,7	-1,4	%-0,16
P06	135	1039,3	1039,3	0	%0,00	1039,3	0	%0,00
	200	942,4	942,7	0,3	%0,03	942,7	0,3	%0,03
P07	135	1021,8	1021,6	-0,2	%-0,02	1021,6	-0,2	%-0,02
	200	1081,5	1083	1,5	%0,14	1081,5	0	%0,00

ρ parametresinin incelendiği durumda P05 için 355 derecede ρ parametresi %20 olduğunda %0,08 oranında; ρ parametresi %30 olduğunda %0,16 oranında; P07 için 135 derecede ρ parametresi %20 ve %30 olduğunda %0,02 oranında ρ parametresi %10 olduğu duruma göre iyileştirmeler elde edilmiş, P06 için hiç iyileştirme sağlanamamıştır.

ρ parametresinin değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin önerilen çözüm sonucuna göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır. P05 için önerilen çözüm sonucuna göre 355

derecede için $\rho=\%20$ ve $\rho=\%30$ olduğunda sırasıyla %2,65 ve %2,73 oranında önerilen çözüm sonucuna göre iyileştirme sağlanmıştır.

P06 için 200 derecede $\rho=\%20$ ve $\rho=\%30$ olduğunda önerilen çözüm sonucuna göre %8,26 oranında; P07 için 135 derecede $\rho=\%20$ ve $\rho=\%30$ olduğunda %5,38 oranında önerilen çözüm sonucuna göre iyileştirme sunulmuştur.

Çizelge 5.54 Orta hacimli problemlerde ρ parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\rho=\%20$			$\rho=\%30$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P05	135	948,7	69	%7,84	949	69,3	%7,88
	355	856,4	-23,3	%-2,65	855,7	-24	%-2,73
P06	135	1039,3	11,7	%1,14	1039,3	11,7	%1,14
	200	942,7	-84,9	%-8,26	942,7	-84,9	%-8,26
P07	135	1021,6	-58,1	%-5,38	1021,6	-58,1	%-5,38
	200	1083	3,3	%0,31	1081,5	1,8	%0,17

ρ parametresi değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin bilinen en iyi sonuca göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır.

Çizelge 5.55 Orta hacimli problemlerde ρ parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\rho=\%20$			$\rho=\%30$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P05	135	948,7	198,67	%26,49	949	198,97	%26,53
	355	856,4	106,37	%14,18	855,7	105,67	%14,09
P06	135	1039,3	162,8	%18,57	1039,3	162,8	%18,57
	200	942,7	66,2	%7,55	942,7	66,2	%7,55
P07	135	1021,6	135,8	%15,33	1021,6	135,8	%15,33
	200	1083	197,2	%22,26	1081,5	195,7	%22,09

5.5.5.3 Büyük Hacimli Problemler İçin ρ Parametresinin Değiştirilmesi

Büyük hacimli problemleri oluşturan P15, P18 ve P21 problemleri için ρ parametresi diğer parametreler sabit kalırken sırasıyla %20 ve %30 değerleri verilerek sağladıkları iyileştirmeler incelenmiştir.

Çizelge 5.56 Büyük hacimli problemlerde ρ parametresi değişiminin kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\rho=\%10$	$\rho=\%20$			$\rho=\%30$		
			Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P15	15	3742,9	3754,4	11,5	%0,31	3742,2	-0,7	%-0,02
	165	2803,8	2799	-4,8	%-0,17	2791,1	-	%-0,45

							12,7	
P18	45	5703,2	5715,8	12,6	%0,22	5706,9	3,7	%0,06
	165	4233,7	4235,4	1,7	%0,04	4225,4	-8,3	%-0,20
P21	45	8415,9	8436,6	20,7	%0,25	8480,9	65	%0,77
	165	6328,1	6312,8	-15,3	%-0,24	6334,1	6	%0,09

ρ parametresinin incelendiği durumda P15 için 15 derecede ρ parametresi %30 olduğunda %0,02 oranında; 165 derecede ρ parametresi %20 ve %30 olduğunda sırasıyla %0,17 ve %0,45 oranında ve P21 için 165 derecede ρ parametresi %20 olduğunda %0,24 oranında ρ parametresi %10 olması durumuna göre göre iyileştirmeler elde edilmiş, P18 için hiç iyileştirme sağlanamamıştır.

ρ parametresinin değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin önerilen çözüm sonucuna göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır. P15 için önerilen çözüm sonucuna göre 165 derecede için ρ =%20 ve ρ =%30 olduğunda sırasıyla %24,99 ve %25,20 oranında iyileştirme sağlanmıştır.

P18 için 165 derecede ρ =%20 ve ρ =%30 olduğunda önerilen çözüm sonucuna göre sırasıyla %25,74 ve %25,91 oranında; P21 için 165 derecede ρ =%20 ve ρ =%30 olduğunda sırasıyla %24,99 ve %24,74 oranında iyileştirme sunulmuştur.

Çizelge 5.57 Büyük hacimli problemlerde ρ parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	ρ =%20			ρ =%30		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P15	15	3754,4	22,8	%0,61	3742,2	10,6	%0,28
	165	2799	-932,6	%-24,99	2791,1	-940,5	%-25,20
P18	45	5715,8	12,6	%0,22	5706,9	3,7	%0,06
	165	4235,4	-1467,8	%-25,74	4225,4	-1477,8	%-25,91
P21	45	8436,6	20,7	%0,25	8480,9	65	%0,77
	165	6312,8	-2103,1	%-24,99	6334,1	-2081,8	%-24,74

ρ parametresi değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin bilinen en iyi sonuca göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır.

Çizelge 5.58 Büyük hacimli problemlerde ρ parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	ρ =%20			ρ =%30		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P15	15	3754,4	1248,98	%49,85	3742,2	1236,78	%49,36
	165	2799	293,58	%11,72	2791,1	285,68	%11,40

P18	45	5715,8	2012,95	%54,36	5706,9	2004,05	%54,12
	165	4235,4	532,55	%14,38	4225,4	522,55	%14,11
P21	45	8436,6	2961,76	%54,10	8480,9	3006,06	%54,91
	165	6312,8	837,96	%15,31	6334,1	859,26	%15,69

5.5.6 α ve ρ Parametrelerinin Değiştirilmesi

α ve ρ parametreleri feromon ile alakalı oldukları için birlikte değerlendirilmişlerdir. α ve ρ parametreleri parametresi birlikte $\alpha=3$ $\rho=30\%$ ve $\alpha=5$ $\rho=30\%$ oranında değiştirilip diğer parametreler sabit bırakılarak sağlanabilecek iyileştirmeler irdelenmiştir.

5.5.6.1 Küçük Hacimli Problemler İçin α ve ρ Parametresinin Değiştirilmesi

Küçük hacimli problemleri oluşturan P01, P02 ve P03 problemleri için α ve ρ parametreleri diğer parametreler sabit kalırken sırasıyla $\alpha=3$ $\rho=30\%$ ve $\alpha=5$ $\rho=30\%$ değerleri verilerek sağladıkları iyileştirmeler incelenmiştir.

Çizelge 5.59 Küçük hacimli problemlerde α ve ρ parametresi değişiminin kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\alpha=1$ $\rho=10\%$	$\alpha=3$ $\rho=30\%$			$\alpha=5$ $\rho=30\%$		
			Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P01	45	629,6	629,6	0	%0,00	629,6	0	%0,00
	165	722,4	722,4	0	%0,00	722,4	0	%0,00
P02	60	532,3	532,3	0	%0,00	532,3	0	%0,00
	165	572,5	572,4	-0,1	%-0,02	570	-2,5	%-0,44
P03	15	735,8	735,8	0	%0,00	735,8	0	%0,00
	100	768,8	768,5	-0,3	%-0,04	766,8	-2	%-0,26

α ve ρ parametreleri incelendiği durumda P01 problemi için ilk sonuçlara göre hiç iyileştirmeler elde edilememiştir. P02 problemi için 165 derecede $\alpha=3$ $\rho=30\%$ olarak ayarlandığında %0,02 oranında; $\alpha=5$ $\rho=30\%$ olarak ayarlandığında ise %0,44 oranında ilk sonuçlara göre iyileştirme vermiştir.

P03 için ise $\alpha=3$ $\rho=30\%$ olarak ayarlandığında %0,04 oranında; $\alpha=5$ $\rho=30\%$ olarak ayarlandığında ise %0,26 oranında ilk sonuçlara göre iyileşme elde edilmiştir.

α ve ρ parametreleri değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin önerilen çözüm sonucuna göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır. P01 için önerilen çözüm sonucuna göre iyileştirme sağlanamamıştır. P02 için 60 derecede $\alpha=3$ $\rho=30\%$ ve $\alpha=5$ $\rho=30\%$ olduğunda önerilen çözüm sonucuna göre %1,97 oranında; P03 için 15 derecede $\alpha=3$ $\rho=30\%$ ve $\alpha=5$ $\rho=30\%$ olduğunda %0,04 oranında iyileştirme sunulmuştur.

Çizelge 5.60 Küçük hacimli problemlerde α ve ρ parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\alpha=3\rho=\%30$			$\alpha=5\rho=\%30$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P01	45	629,6	0	%0,00	629,6	0	%0,00
	165	722,4	92,8	%14,74	722,4	92,8	%14,74
P02	60	532,3	-10,7	%-1,97	532,3	-10,7	%-1,97
	165	572,4	29,4	%5,41	570	27	%4,97
P03	15	735,8	-0,3	%-0,04	735,8	-0,3	%-0,04
	100	768,5	32,4	%4,40	766,8	30,7	%4,17

α ve ρ parametreleri değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin bilinen en iyi sonuca göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır.

Çizelge 5.61 Küçük hacimli problemlerde α ve ρ parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\alpha=3\rho=\%30$			$\alpha=5\rho=\%30$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P01	45	629,6	52,73	%9,14	629,6	52,73	%9,14
	165	722,4	145,53	%25,23	722,4	145,53	%25,23
P02	60	532,3	58,77	%12,41	532,3	58,77	%12,41
	165	572,4	98,87	%20,88	570	96,47	%20,37
P03	15	735,8	94,61	%14,76	735,8	94,61	%14,76
	100	768,5	127,31	%19,86	766,8	125,61	%19,59

5.5.6.2 Orta Hacimli Problemler İçin α ve ρ Parametresinin Değiştirilmesi

Orta hacimli problemleri oluşturan P05, P06 ve P07 problemleri için α ve ρ parametreleri diğer parametreler sabit kalırken sırasıyla $\alpha=3\rho=\%30$ ve $\alpha=5\rho=\%30$ değerleri verilerek sağladıkları iyileştirmeler incelenmiştir.

Çizelge 5.62 Orta hacimli problemlerde α ve ρ parametresi değişiminin kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\alpha=1\rho=\%10$	$\alpha=3\rho=\%30$			$\alpha=5\rho=\%30$		
			Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P05	135	948	940,2	-7,8	%-0,82	945,1	-2,9	%-0,31
	355	857,1	843,2	-13,9	%-1,62	845,8	-11,3	%-1,32
P06	135	1039,3	1039,3	0	%0,00	1039,3	0	%0,00
	200	942,4	942,4	0	%0,00	942,4	0	%0,00
P07	135	1021,8	1021,6	-0,2	%-0,02	1021,6	-0,2	%-0,02
	200	1081,5	1083	1,5	%0,14	1081,5	0	%0,00

α ve ρ parametreleri incelendiği durumda P05 için 135 derecede α ve ρ parametreleri $\alpha=3$ $\rho=\%30$ ve $\alpha=5$ $\rho=\%30$ olduğunda sırasıyla %0,82 ve %0,32 oranında, 355 derecede α ve ρ parametreleri $\alpha=3$ $\rho=\%30$ ve $\alpha=5$ $\rho=\%30$ olduğunda sırasıyla %1,62 ve %1,32 oranında; P07 için 135 derecede α ve ρ parametreleri $\alpha=3$ $\rho=\%30$ ve $\alpha=5$ $\rho=\%30$ olduğunda %0,02 oranında ilk sonuçlara göre iyileştirmeler elde edilmiş, P06 için hiç iyileştirme sağlanamamıştır.

α ve ρ parametreleri değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin önerilen çözüm sonucuna göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır. P05 için önerilen çözüm sonucuna göre 355 derece için $\alpha=3$ $\rho=\%30$ ve $\alpha=5$ $\rho=\%30$ olduğunda sırasıyla %4,15 ve %3,85 oranında iyileştirme sağlanmıştır. P06 için 200 derecede $\alpha=3$ $\rho=\%30$ ve $\alpha=5$ $\rho=\%30$ olduğunda önerilen çözüm sonucuna göre %8,29 oranında; P07 için 135 derecede ρ $\alpha=3$ $\rho=\%30$ ve $\alpha=5$ $\rho=\%30$ olduğunda %5,38 oranında önerilen çözüm sonucuna göre iyileştirme sunulmuştur.

Çizelge 5.63 Orta hacimli problemlerde α ve ρ parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\alpha=3\rho=\%30$			$\alpha=5\rho=\%30$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P05	135	940,2	60,5	%6,88	945,1	65,4	%7,43
	355	843,2	-36,5	%-4,15	845,8	-33,9	%-3,85
P06	135	1039,3	11,7	%1,14	1039,3	11,7	%1,14
	200	942,4	-85,2	%-8,29	942,4	-85,2	%-8,29
P07	135	1021,6	-58,1	%-5,38	1021,6	-58,1	%-5,38
	200	1083	3,3	%0,31	1081,5	1,8	%0,17

α ve ρ parametreleri değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin bilinen en iyi sonuca göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır.

Çizelge 5.64 Orta hacimli problemlerde α ve ρ parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\alpha=3\rho=\%30$			$\alpha=5\rho=\%30$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P05	135	940,2	190,17	%25,35	945,1	195,07	%26,01
	355	843,2	93,17	%12,42	845,8	95,77	%12,77
P06	135	1039,3	162,8	%18,57	1039,3	162,8	%18,57
	200	942,4	65,9	%7,52	942,4	65,9	%7,52
P07	135	1021,6	135,8	%15,33	1021,6	135,8	%15,33
	200	1083	197,2	%22,26	1081,5	195,7	%22,09

5.5.6.3 Büyük Hacimli Problemler İçin α ve ρ Parametresinin Değiştirilmesi

Büyük hacimli problemleri oluşturan P15, P18 ve P21 problemleri için α ve ρ parametreleri diğer parametreler sabit kalırken sırasıyla $\alpha=3$ $\rho=\%30$ ve $\alpha=5$ $\rho=\%30$ değerleri verilerek sağladıkları iyileştirmeler incelenmiştir.

Çizelge 5.65 Büyük hacimli problemlerde α ve ρ parametresi değişiminin kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\alpha=1$ $\rho=\%10$	$\alpha=3\rho=\%30$			$\alpha=5\rho=\%30$		
			Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P15	15	3742,9	3738,3	-4,6	%-0,12	3746,7	3,8	%0,10
	165	2803,8	2777,3	-26,5	%-0,95	2794	-9,8	%-0,35
P18	45	5703,2	5685	-18,2	%-0,32	5668,6	-34,6	%-0,61
	165	4233,7	4214,4	-19,3	%-0,46	4248,8	15,1	%0,36
P21	45	8415,9	8424,4	8,5	%0,10	8423,3	7,4	%0,09
	165	6328,1	6328,1	0	%0,00	6310,8	-17,3	%-0,27

α ve ρ parametreleri incelendiği durumda P15 için 15 derecede $\alpha=3$ $\rho=\%30$ olduğunda %0,12 oranında, 165 derecede α ve ρ parametreleri $\alpha=3$ $\rho=\%30$ ve $\alpha=5$ $\rho=\%30$ olduğunda sırasıyla %0,95 olduğunda %0,35 oranında; P18 için 45 derecede $\alpha=3$ $\rho=\%30$ ve $\alpha=5$ $\rho=\%30$ olduğunda sırasıyla %0,32 ve %0,61 oranında, 165 derecede α ve ρ parametreleri $\alpha=3$ $\rho=\%30$ olduğunda %0,46 oranında; P21 için 165 derecede α ve ρ parametreleri $\alpha=5$ $\rho=\%30$ olduğunda %0,27 oranında $\alpha=1$ $\rho=\%10$ olması durumuna göre iyileştirmeler elde edilmiştir.

α ve ρ parametreleri değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin önerilen çözüm sonucuna göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır. P15 için önerilen çözüm sonucuna göre 165 derecede için $\alpha=3$ $\rho=\%30$ ve $\alpha=5$ $\rho=\%30$ olduğunda sırasıyla %25,57 ve %25,13 oranında iyileştirme sağlanmıştır. P18 için 45 derecede $\alpha=3$ $\rho=\%30$ ve $\alpha=5$ $\rho=\%30$ olduğunda önerilen çözüm sonucuna göre sırasıyla %0,32 ve %0,61 oranında, 165 derecede $\alpha=3$ $\rho=\%30$ ve $\alpha=5$ $\rho=\%30$ olduğunda önerilen çözüm sonucuna göre sırasıyla %26,10 ve %25,50 oranında; P21 için 165 derecede $\alpha=3$ $\rho=\%30$ ve $\alpha=5$ $\rho=\%30$ olduğunda sırasıyla %25,60 ve %25,01 oranında iyileştirme sunulmuştur.

Çizelge 5.66 Büyük hacimli problemlerde α ve ρ parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\alpha=3\rho=\%30$			$\alpha=5\rho=\%30$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P15	15	3738,3	6,7	%0,18	3746,7	15,1	%0,40

	165	2777,3	-954,3	%-25,57	2794	-937,6	%-25,13
P18	45	5685	-18,2	%-0,32	5668,6	-34,6	%-0,61
	165	4214,4	-1488,8	%-26,10	4248,8	-1454,4	%-25,50
P21	45	8424,4	8,5	%0,10	8423,3	7,4	%0,09
	165	6261,3	-2154,6	%-25,60	6310,8	-2105,1	%-25,01

α ve ρ parametreleri değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin bilinen en iyi sonuca göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır.

Çizelge 5.67 Büyük hacimli problemlerde α ve ρ parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$\alpha = 3\rho = \%30$			$\alpha = 5\rho = \%30$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P15	15	3738,3	1232,88	%49,21	3746,7	1241,28	%49,54
	165	2777,3	271,88	%10,85	2794	288,58	%11,52
P18	45	5685	1982,15	%53,53	5668,6	1965,75	%53,09
	165	4214,4	511,55	%13,82	4248,8	545,95	%14,74
P21	45	8424,4	2949,56	%53,87	8423,3	2948,46	%53,85
	165	6261,3	786,46	%14,36	6310,8	835,96	%15,27

5.5.7 q_0 Parametresinin Değiştirilmesi

q_0 parametresi sözde-rastlantısal geçiş kuralının işlemesi esnasında yer almaktadır. Geçmiş çözümlerin kullanılması ve yeni çözümlerin araştırılmasında rastlantısallığı sağlar.

q_0 parametresi %70 ve %90 alınarak geçmiş çözümlerin kullanılması ve yeni çözümlerin araştırılmasında rastlantısallığın sonuçlar üzerindeki iyileştirmeleri irdelenmiştir.

5.5.7.1 Küçük Hacimli Problemler İçin q_0 Parametresinin Değiştirilmesi

Küçük hacimli problemleri oluşturan P01, P02 ve P03 problemleri için q_0 parametresi diğer parametreler sabit kalırken sırasıyla $q_0 = \%70$ ve $q_0 = \%90$ değerleri verilerek sağladıkları iyileştirmeler incelenmiştir.

Çizelge 5.68 Küçük hacimli problemlerde q_0 parametresi değişiminin kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$q_0 = \%80$	$q_0 = \%70$			$q_0 = \%90$		
			Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P01	45	629,6	629,6	0	%0,00	629,7	0,1	%0,02
	165	722,4	722,4	0	%0,00	722,4	0	%0,00
P02	60	532,3	535,8	3,5	%0,66	536,5	4,2	%0,79
	165	572,5	570,9	-1,6	%-0,28	573,3	0,8	%0,14
P03	15	735,8	735,8	0	%0,00	735,8	0	%0,00
	100	768,8	767,1	-1,7	%-0,22	770,8	2	%0,26

q_0 parametresi incelendiği durumda P01 problemi için $q_0 = \%80$ olması durumuna göre hiç iyileştirmeler elde edilememiştir. P02 problemi için 165 derecede $q_0 = \%70$ olarak ayarlandığında $\%0,28$ oranında, P03 için 100 derecede $q_0 = \%70$ olarak ayarlandığında $\%0,22$ oranında $q_0 = \%80$ olması durumuna göre iyileşme elde edilmiştir.

q_0 parametresi değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin önerilen çözüm sonucuna göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır. P01 için önerilen çözüm sonucuna göre iyileştirme sağlanamamıştır. P02 için 60 derecede $q_0 = \%70$ ve $q_0 = \%90$ olduğunda önerilen çözüm sonucuna göre sırasıyla $\%1,33$ ve $\%1,20$ oranında; P03 için 15 derecede $q_0 = \%70$ ve $q_0 = \%90$ olduğunda önerilen çözüm sonucuna göre $\%0,04$ oranında iyileştirme sunulmuştur.

Çizelge 5.69 Küçük hacimli problemlerde q_0 parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$q_0 = \%70$			$q_0 = \%90$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P01	45	629,6	0	$\%0,00$	629,7	0,1	$\%0,02$
	165	722,4	92,8	$\%14,74$	722,4	92,8	$\%14,74$
P02	60	535,8	-7,2	$\%-1,33$	536,5	-6,5	$\%-1,20$
	165	570,9	27,9	$\%5,14$	573,3	30,3	$\%5,58$
P03	15	735,8	-0,3	$\%-0,04$	735,8	-0,3	$\%-0,04$
	100	767,1	31	$\%4,21$	770,8	34,7	$\%4,71$

q_0 parametresi değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin bilinen en iyi sonuca göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır.

Çizelge 5.70 Küçük hacimli problemlerde q_0 parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$q_0 = \%70$			$q_0 = \%90$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P01	45	629,6	52,73	$\%9,14$	629,7	52,83	$\%9,16$
	165	722,4	145,53	$\%25,23$	722,4	145,53	$\%25,23$
P02	60	535,8	62,27	$\%13,15$	536,5	62,97	$\%13,30$
	165	570,9	97,37	$\%20,56$	573,3	99,77	$\%21,07$
P03	15	735,8	94,61	$\%14,76$	735,8	94,61	$\%14,76$
	100	767,1	125,91	$\%19,64$	770,8	129,61	$\%20,21$

5.5.7.2 Orta Hacimli Problemler İçin q_0 Parametresinin Değiştirilmesi

Orta hacimli problemleri oluşturan P05, P06 ve P07 problemleri için q_0 parametresi diğer parametreler sabit kalırken sırasıyla $q_0 = \%70$ ve $q_0 = \%90$ değerleri verilerek sağladıkları iyileştirmeler incelenmiştir.

Çizelge 5.71 Orta hacimli problemlerde q_0 parametresi değişiminin kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$q_0 = \%80$	$q_0 = \%70$			$q_0 = \%90$		
			Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P05	135	948	944,7	-3,3	%-0,35	945,2	-2,8	%-0,30
	355	857,1	850,5	-6,6	%-0,77	851,7	-5,4	%-0,63
P06	135	1039,3	1039,3	0	%0,00	1039,3	0	%0,00
	200	942,4	942,7	0,3	%0,03	942,4	0	%0,00
P07	135	1021,8	1021,6	-0,2	%-0,02	1021,6	-0,2	%-0,02
	200	1081,5	1081,5	0	%0,00	1081,5	0	%0,00

q_0 parametresi incelendiği durumda $q_0 = \%80$ olmasına göre P05 problemi için 135 derecede $q_0 = \%70$ ve $q_0 = \%90$ olarak ayarlandığında sırasıyla %0,35 ve %0,30 oranında, 355 derecede $q_0 = \%70$ ve $q_0 = \%90$ olarak ayarlandığında sırasıyla %0,77 ve %0,63 oranında; P07 için 200 derecede $q_0 = \%70$ ve $q_0 = \%90$ olarak ayarlandığında %0,02 oranında iyileşme elde edilmiştir. P06 için herhangi bir iyileştirme sağlanamamıştır.

q_0 parametresi değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin önerilen çözüm sonucuna göre kıyaslaması aşağıdaki Çizelgede yer almaktadır. P05 için 355 derecede $q_0 = \%70$ ve $q_0 = \%90$ olduğunda önerilen çözüm sonucuna göre %3,32 ve %3,18 oranında; P07 için 135 derecede $q_0 = \%70$ ve $q_0 = \%90$ olduğunda %5,38 oranında önerilen çözüm sonucuna göre iyileştirme sunulmuştur. P06 için önerilen çözüm sonucuna göre 200 derecede $q_0 = \%70$ ve $q_0 = \%90$ olduğunda sırasıyla %8,26 ve %8,29 oranında iyileştirme sunulmuştur.

Çizelge 5.72 Orta hacimli problemlerde q_0 parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$q_0 = \%70$			$q_0 = \%90$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P05	135	944,7	65	%7,39	945,2	65,5	%7,45
	355	850,5	-29,2	%-3,32	851,7	-28	%-3,18
P06	135	1039,3	11,7	%1,14	1039,3	11,7	%1,14
	200	942,7	-84,9	%-8,26	942,4	-85,2	%-8,29
P07	135	1021,6	-58,1	%-5,38	1021,6	-58,1	%-5,38
	200	1081,5	1,8	%0,17	1081,5	1,8	%0,17

q_0 parametresi değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin bilinen en iyi sonuca göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır.

Çizelge 5.73 Orta hacimli problemlerde q_0 parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$q_0 = \%70$			$q_0 = \%90$		
		Sonuç	Fark	Sapma	Sonuç	Fark	Sapma

				(Yüzde)			(Yüzde)
P05	135	944,7	194,67	%25,95	945,2	195,17	%26,02
	355	850,5	100,47	%13,40	851,7	101,67	%13,56
P06	135	1039,3	162,8	%18,57	1039,3	162,8	%18,57
	200	942,7	66,2	%7,55	942,4	65,9	%7,52
P07	135	1021,6	135,8	%15,33	1021,6	135,8	%15,33
	200	1081,5	195,7	%22,09	1081,5	195,7	%22,09

5.5.7.3 Büyük Hacimli Problemler İçin q_0 Parametresinin Değiştirilmesi

Büyük hacimli problemleri oluşturan P15, P18 ve P21 problemleri için q_0 parametresi diğer parametreler sabit kalırken sırasıyla $q_0 = \%70$ ve $q_0 = \%90$ değerleri verilerek sağladıkları iyileştirmeler incelenmiştir.

Çizelge 5.74 Büyük hacimli problemlerde q_0 parametresi değişiminin kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$q_0 = \%80$	$q_0 = \%70$			$q_0 = \%90$		
			Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P15	15	3742,9	3741,4	-1,5	%-0,04	3714,9	-28	%-0,75
	165	2803,8	2808,1	4,3	%0,15	2736,6	-67,2	%-2,40
P18	45	5703,2	5718	14,8	%0,26	5643	-60,2	%-1,06
	165	4233,7	4254,3	20,6	%0,49	4177,3	-56,4	%-1,33
P21	45	8415,9	8462,1	46,2	%0,55	8321,4	-94,5	%-1,12
	165	6328,1	6348,7	20,6	%0,33	6156,5	-171,6	%-2,71

q_0 parametresi incelendiği durumda P15 problemi için $q_0 = \%80$ olması durumuna göre 15 derecede $q_0 = \%70$ ve $q_0 = \%90$ olarak ayarlandığında sırasıyla %0,04 ve %0,75 oranında, 165 derecede $q_0 = \%90$ olarak ayarlandığında %2,40 oranında; P18 için $q_0 = \%90$ olarak ayarlandığında 45 ve 165 derecede sırasıyla %1,06 ve %1,33 oranında; P21 için $q_0 = \%90$ olarak ayarlandığında 45 ve 165 derecede sırasıyla %1,12 ve %2,71 oranında iyileşme elde edilmiştir.

q_0 parametresi değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin önerilen çözüm sonucuna göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır. P15 için 165 derecede $q_0 = \%70$ ve $q_0 = \%90$ olduğunda önerilen çözüm sonucuna göre sırasıyla %24,75 ve %26,66 oranında; 45 derecede $q_0 = \%90$ olduğunda önerilen çözüm sonucuna göre %0,45 oranında; P18 için 165 derecede $q_0 = \%70$ ve $q_0 = \%90$ olduğunda sırasıyla %25,41 ve %26,76 oranında; 45 derecede $q_0 = \%90$ olduğunda önerilen çözüm sonucuna göre %1,06 oranında iyileştirme sunulmuştur. P21 için 165 derecede önerilen çözüm sonucuna göre $q_0 = \%70$ ve $q_0 = \%90$ olduğunda sırasıyla %24,56 ve %26,85 oranında iyileştirme sağlanmıştır

Çizelge 5.75 Büyük hacimli problemlerde q_0 parametresi değişimi sonuçlarının önerilen çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$q_0 = \%70$			$q_0 = \%90$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P15	15	3741,4	9,8	%0,26	3714,9	-16,7	%-0,45
	165	2808,1	-923,5	%-24,75	2736,6	-995	%-26,66
P18	45	5718	14,8	%0,26	5643	-60,2	%-1,06
	165	4254,3	-1448,9	%-25,41	4177,3	-1525,9	%-26,76
P21	45	8462,1	46,2	%0,55	8321,4	-94,5	%-1,12
	165	6348,7	-2067,2	%-24,56	6156,5	-2259,4	%-26,85

q_0 parametresi değiştirilmesi ile elde edilen iyileştirmenin bilinen en iyi sonuca göre kıyaslaması aşağıdaki çizelgede yer almaktadır.

Çizelge 5.76 Büyük hacimli problemlerde q_0 parametresi değişimi sonuçlarının bilinen en iyi çözüm sonuçları ile kıyaslaması

Problem Adı	Açı	$q_0 = \%70$			$q_0 = \%90$		
		Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)	Sonuç	Fark	Sapma (Yüzde)
P15	15	3741,4	1235,98	%49,33	3714,9	1209,48	%48,27
	165	2808,1	302,68	%12,08	2736,6	231,18	%9,23
P18	45	5718	2015,15	%54,42	5643	1940,15	%52,40
	165	4254,3	551,45	%14,89	4177,3	474,45	%12,81
P21	45	8462,1	2987,26	%54,56	8321,4	2846,56	%51,99
	165	6348,7	873,86	%15,96	6156,5	681,66	%12,45

5.6 Sonuç ve Değerlendirme

Bu tezde Araç Rotalama Problemlerinden Çok Depolu Araç Rotalama problemlerinde optimum çözüme ulaşabilmek için Karınca Kolonisi Optimizasyonu algoritmalarından Karınca Kolonisi Sistemi kullanılmıştır. Karınca Kolonisi Optimizasyonu gerçek karıncaların davranışlarından esinlenerek geliştirilmiş ve karmaşık optimizasyon problemlerine çözüm için uygulanan bir metasezgiseldir. Bu çalışmada araştırıldığı kadarıyla literatürde daha önce yapılmış bir örneğine rastlanılmayan ÇDARP için KKO uygulanmış ve bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Çözüm önerisinin etkinliğini ölçebilmek için literatürde yer alan küçük hacimli, orta hacimli ve büyük hacimli seçilen 9 adet ÇDARP üzerinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar üzerinde iyileştirme sağlanabilmesi, çözüm önerisinin çalışma prensibi ve parametrelerine göre sonucun nasıl etkilendiğini ortaya koyabilmek için 9 adet problem üzerinde 14 farklı durum denenmiştir. Bu çalışma ile hedeflenen ÇDARP için KKO uygulamalarının geliştirilmesinde bir başlangıç teşkil etmesidir.

KKO'nda karıncaların besine ulaşmak için yol seçiminde feromon iz takip davranışı önemli yer tutmaktadır. Kısa olan yollarda daha çok feromon miktarının bulunması karıncaları bu yolu seçme konusunda uyarır. KKO'nun ÇDARP çözümü için uygulanan bu çalışmada seçilen bazı örnek ÇDARP için iyiye yakın, %9 sapma ile oldukça güzel sonuçlar vermişlerdir. Bazı örnekler için ise %53 sapma ile sonuçlar vermiştir.

Çözüm üzerinde modeli oluşturan belli parametrelerin değiştirilmesi her problem için farklı iyileştirmeler sağlamış ve sonuçları bilinen en iyi sonuçlara göre olan sapma miktarını %7 oranına kadar geriletebilmiştir.

İterasyon sayısının bitirilmesinde farklı kıstaslar uygulansa da genelde literatürde çok sayıda tekrardan sonra bitirilmektedir. Bu çalışma için 2000 tekrardan sonra program sonlandırılmıştır.

Bu çalışma ile elde edilen sonuç ve değerlendirmeler şöyle sıralanabilir:

- ÇDARP örnekleri için KKO uygulanarak geliştirilen çözüm yaklaşımı bilinen en iyi sonuçlara %9,14 -%53,2 arasında sapma ile sonuçlar vermiştir.
- Çözüm modelinin ikinci aşamasını oluşturan θ açısı her problemin depo ve müşterilerinin konumlarının farklı olması sebebiyle her problem için farklı açılarda daha iyi sonuçlar sunabilmiştir.
- θ açısı değişimi problem örneklerinin sonuçlarını bilinen en iyi sonuçlardan sapma oranlarını %7,52 ve %15,59'a kadar geriletebilmiştir.
- α parametresi çözümde feromon sezgiselinin formülasyonda etkisini kuvvetlendirmektedir. α parametresinin arttırılması α parametresinin 1 olarak değerlendirildiği durumlara göre sonuçta iyileştirme sağlamaktadır.
- β parametresi yol uzunluklarının bir sonraki müşterinin seçimindeki etkisini arttırmaktadır. β parametresinin arttırılması β parametresinin 1 olarak değerlendirildiği duruma göre sonuçta iyileştirmeler sağlamıştır.
- β parametresi değişimi küçük ve orta hacimli problemlerde α parametresinindeğişimine göre daha az iyileştirmeler sağlarken büyük hacimli problemlerde daha büyük iyileştirmeler sağladığı görülmüştür.
- α ve β parametresi yol seçiminde feromon miktarının ve yol uzunluklarının etkilerinin rekabet edebilmesi için birlikte değiştirilmiştir. Bu durum orta ve büyük hacimli problemlerde iyileştirme olduğunu göstermiştir.
- ρ parametresi bir sonraki iterasyona aktarılacak feromon miktarı açısından önem

taşımaktadır. Feromon buharlaşma katsayısı olan ρ parametresinin arttırılması büyük ve orta hacimli problemler de yol uzunluğunun ortaya çıkmasına sebep verdiği için belirgin oranda olmasa da iyileştirme yaptığı gözlemlenmiştir.

- α ve ρ parametreleri feromon miktarının hem azaltılıp hem etkisini arttırmak için birlikte değerlendirildiğinde küçük oranlarda da olsa büyük ve orta hacimli problemlerde iyileşme sağlayabilmiştir.
- q_0 parametresi karıncaların sözde-rastlantısal geçiş kuralının işleminde geçmiş çözümlerin kullanılması ve yeni çözümlerin araştırılmasında rastlantısallığı sağlar. Bu olasılığın arttırılması azaltılmasına göre büyük hacimli problemlerde iyileştirme sağlayabilmiştir.
- Küçük hacimli problemlerde θ açısı değişimi sonuç iyileştirmede büyük etki yapmasına rağmen diğer parametrelerin değiştirilmesi sonuç üzerinde belirgin iyileştirmeler sağlayamamıştır.
- Orta hacimli problemlerde θ açısı değişimi önemli iyileştirmelere sebep olmuştur. Ayrıca orta hacimli problemlerde diğer parametrelerin değiştirilmesi farklı iyileştirmelerin olmasına sebep olduğu görülmüştür.
- Büyük hacimli problemlerde θ açısı değişimi ve diğer parametrelerin değiştirilmesi farklı iyileştirmelerin olmasına sebep olduğu görülmüştür.
- Araç kapasitesinin farklı oluşu aday listelerinin büyüklüklerini doğrudan etkilemiş, bu durum da parametre değişikliklerinde iyileştirmelerin belirgin olmasına sebep olmuştur.
- Depo sayısı müşterilerin ilk gruplara ayrılmasında etkili olmuş, konumlarıyla birlikte optimum sonuca ulaşmayı büyük oranda etkilemiştir.

Bu sonuç ve değerlendirmelerden hareketle denenen her problem çeşidinin müşteri sayısı, depo sayısı, müşteri ve depo konumları, araç kapasitesi gibi farklı özelliklerinden ötürü uygulanan çözüm önerisine en iyi sonucu vermeleri her problem için farklı θ açısı, α , β , ρ ve q_0 parametresi ile mümkün olmaktadır. Aşağıda yer alan çizelge bu durumu özetlemektedir:

Çizelge 5.77 Seçilen ÇDARP örnekleri için en iyi sonucu veren açı ve parametre değerleri

Eniyi Açı	En iyi α	En İyi β	En iyi ρ	En iyi q_0	En İyi Sonuç	Bilinen En İyi Çözüm	Fark	Sapma (Yüzde)
45	1	1	10	80	629,6	576,87	52,73	9,14%
60	3	5	10	80	532	473,53	58,47	12,35%
15	1	1	10	80	735,8	641,19	94,61	14,76%
355	5	1	10	80	841,9	750,03	91,87	12,25%

200	1	1	10	80	942,4	876,5	65,9	7,52%
135	2	1	10	80	1021,6	885,8	135,8	15,33%
165	1	1	10	90	2736,6	2505,42	231,18	9,23%
165	1	1	10	90	4177,3	3702,85	474,45	12,81%
165	1	1	10	90	6156,5	5474,84	681,66	12,45%

6. SONUÇ

Son yıllarda rekabetçi çevrede şirketleri ayakta tutan, onları rakiplerine göre öne geçiren en önemli noktaların başında şirketin kurduğu tedarik zincirinin etkinliği gelmektedir. Şirketler günümüz rekabetçi çevresinde müşteri odaklılığı koruyarak ayakta kalabilmek için tedarik zincirlerine ve tedarik zincirleri içerisinde lojistik sistemlerine daha çok önem vermek zorundadırlar.

Tedarik zinciri içerisinde ve lojistikte önemli karar alanlarından biri olan taşıma kararları gerekli ham madde temininin üretimi aksatmayacak şekilde fabrikaya getirilmesi, ürünün son müşteriye müşterinin istediği zamanda ulaştırılması gibi süreçlerle ilgili olmasından dolayı çok önemlidir. Taşıma türü seçimi, kargo büyüklüğü, rotalama ve çizelgeleme gibi birçok süreci içeren taşıma kararları ürün fiyatları haricinde, diğer ilgili faaliyetlerden daha fazla maliyet oranına sahiptir. Taşıma maliyetlerini aşağıya çekmek, müşteri memnuniyeti sağlarken maliyetleri alabildiğince azaltacak yöntemlere başvurarak sağlanabilir.

Taşıma maliyetleri, kullanılan araç sayısı, araçların gideceği toplam mesafe ve toplam süre gibi ölçütlerde optimumluk sağlanarak aşağıya çekilebilecektir. Taşıma maliyetlerinde en önemli tasarruf araçlardan verimli şekilde faydalanarak, araçların belirli noktalar arasında ürün dağıtım ve teslimatı için etkin rotalar gerçekleştirerek sağlanabilir. Araç rotalama problemleri günümüzde firmalarda lojistik ve dağıtım planlarının yapılmasında, depolardan bayilere mal sevkiyatı veya satış personelinin saha dağıtımını sırasında, belediyeler için çöp toplama ve sokak temizleme gibi kamu hizmetleri sunulmasında, benzin istasyonlarına akaryakıt dağıtımında veya süpermarket zincirlerine ürün tedarikinde, kargo dağıtımında yada kola, su gibi gıda maddelerinin market, büfe, bakkal gibi birimlere dağıtılmasında sıkça karşımıza çıkmaktadır.

Bu derece öneme sahip olan ve çok geniş alanlarda karşımıza çıkan Araç Rotalama Problemlerinin çözüme ulaştırılması müşteri memnuniyeti sağlanırken maliyetlerin azaltılmasında değer kazanmaktadır. Lojistik içerisinde önemli bir faaliyet olan araç rotalama işlemlerinin optimum şekilde yapılabilmesi literatürdeki bu yöndeki çalışmaların büyük bir kısmını teşkil etmektedir.

Literatürde Araç Rotalama Problemlerinin optimum şekilde çözüme ulaştırılmaları için birçok metot geliştirilmiştir. Bu metodlar, problemin zorluk derecesine, hacmine, kısıtlarına ve karmaşıklığına göre çeşitli şekillerde değişiklik göstermektedir. Araç kapasiteleri, dağıtım veya teslimat işleminin özellikleri, müşterilerin talepleri, araçların bir rotada kat edebileceği mesafe kısıtları, zaman kısıtlamaları, müşteri taleplerinin önceden bilinmesi, depo sayısı gibi durumlar araç rotalama faaliyetlerinde çeşitliliğe sebep olmaktadır. Bu denli çok çeşitli

durum, kısıt ve özelliklere göre Araç Rotalama Problemleri için uygulanan metotları da çeşitlendirmiştir.

Literatürde çok sayıda geliştirilmiş algoritma mevcuttur. Uzun yıllardan beri çalışmalar yapılmış olmasına rağmen her türlü duruma uyarlanabilecek optimum bir metot geliştirilememiş olması araştırmacıların araç rotalama problemlerinde en etkin sonuçları verecek algoritmaları bulmak için çalışmalarına devam etmelerine sebep olmaktadır.

Bu tez çalışmasında birden fazla depodan müşterilere hizmet sunan ARP çeşidi olan Çok Depolu Araç Rotalama Problemine yukarıda bahsedilen metotlardan doğada yiyecek aramak için faaliyet gösteren karıncaların tabiatlarından esinlenerek geliştirilmiş olan Karınca Kolonisi Optimizasyonu kullanılmıştır. Geliştirilen metodun etkinliğini tespit etmek için literatürde yer alan ÇDARP örneklerinden seçilen örnek problemlere uygulanmıştır.

Seçilen problemlerin müşterilerinin ve depolarının konumları, araç kapasitesi, müşteri talepleri Visual Basic 5'te kodlanmış ve kullanıcı arayüzünde gösterilmesi sağlanmıştır. Geliştirilen modelin tüm aşamalarının sağlanması için çözüm aşamalarının gerçekleştirilebileceği ve kullanım kolaylığı sağlayan düğmeler yerleştirilen kullanıcı arayüzü hesaplama sonrasında araçların rotalarının uzunluklarını göstermiştir.

Literatürde yer alan Çok Depolu Araç Rotalama Problemi örneklerinden küçük, orta ve büyük hacimli olarak seçilen 9 adet örnek için farklı aç ve parametrelerin değiştirilmesiyle her örnek için 14 farklı durum, toplamda 126 deneme yapılmıştır. Bu şekilde hesaplama ile küçük, orta ve büyük hacimli problemler için bilinen en iyi sonuca %7-%15 sapmayla optimum sonuçlar elde edilmiştir.

Karıncalar besin bulma esnasında geçtikleri güzergaha zamanla azalan kendilerinden bir iz bırakmaları, başka karıncaların besin ararken ve aynı karıncaların yuvaya dönerken bırakılan izden yani mevcut bilgiden faydalanmalarından esinlenerek geliştirilen Karınca Kolonisi Optimizasyonu en kısa uzunluğu bulmak için mevcut bilgilerden faydalanan, bunun yanında sezgiselliği ile farklı yeni durumları değerlendiren ve işbirliğinden yararlanarak çözüm sunabilen bir metasezgiseldir.

Bu uygulamada küçük, orta ve büyük hacimli seçilen örnekler üzerinde uygulama yapılmasıyla gösterilmiştir ki Karınca Kolonisi Optimizasyonu çözüm uzayının orta büyüklükte veya büyük olduğu, karmaşık yapıya sahip, belirli bir matematiksel modelle sonuca ulaşamayan, geleneksel eniyileme yöntemlerinden istenen sonucun alınmadığı alanlarda etkili ve kullanışlı bir metottur.

KAYNAKLAR

- Alabaş, Ç. ve Dengiz, B., (2004), “Yerel Arama Yöntemlerinde Yöre Yapısı : Araç Rotalama Problemine Bir Uygulama”, YA/EM'2004 - XXIV Ulusal Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği Kongresi, Gaziantep – Adana.
- Baker, B. M. ve Ayechev, M.A., (2003), “A Genetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem”, *Computers & Operations Research* 30, 787–800.
- Bella, J. E. ve McMullen, P. R., (2004), “Ant Colony Optimization Techniques for the Vehicle Routing Problem”, *Advanced Engineering Informatics* 18 , 41–48.
- Bianchi, L., (2000), “Notes on Dynamic Vehicle Routing” The State of the Art Technical Report, IDSIA.
- Bompadre, A., Dror, M. ve Orlin, J. B., (2006), “Probabilistic Analysis of Unit Demand Vehicle Routing Problems”, *Applied Probability Trust*.
- Bräysy, O., (2001), “Genetic Algorithms for the Vehicle Routing Problem with Time Windows”, Dept. of Mathematics and Statistics, University of Vaasa, Finland.
- Bräysy, O. ve Gendreau, M., (2001), “Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem with Time Windows”, SINTEF Report, SINTEF Applied Mathematics, Research Council of Norway, Norway.
- Bullnheimer, B., Hartl, R. F. ve Strauss, C., (1997a), “A New Rank-Based Version of the Ant System: A Computational Study”, (Tech. Rep. POM-03/97). Vienna, Austria: University of Vienna, Institute of Management Science.
- Bullnheimer, B., Hartl, R. F. ve Strauss, C., (1997b), “Applying the Ant System to the Vehicle Routing Problem”, 2nd International Conference on Metaheuristics - MIC97.
- Bullnheimer, B., Hartl, R.F. ve Strauss, C., (1999), “An Improved Ant System Algorithm for the Vehicle Routing Problem”, *Ann Oper Res.*, 89, 319–28.
- Chen, C. ve Ting, C., (2005), “A Hybrid Ant Colony System for Vehicle Routing Problem with Time Windows”, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 6, pp. 2822 – 2836.
- Clausen, J., (1999), “Branch and Bound Algorithms - Principles and Examples”, Department of Computer Science, University of Copenhagen.
- Colomi, A., Dorigo, M. ve Maniezzo, V., (1991), “Distributed Optimization by Ant Colonies”, Appeared in *Proceedings of Ecal91 - European Conference on Artificial Life*, Paris, France, Elsevier Publishing, 134–142.
- Colomi, A., Dorigo, M., Maniezzo, V. ve Trubian, M., (1994), “Ant System for job-shop scheduling”, *Belgian Journal of Operations Research, Statistics and Computer Science (JORBEL)*, 34, 39–53. In: Dorigo, M., Di Caro, G. ve Gambardella, L. M., (1999), “Ant Algorithms for Discrete Optimization”, *Artificial Life*, Vol. 5, No. 2, 137-172.
- Cordeau, J.F., Gendreau, M. ve Laporte, G., (1997), “A Tabu Search Heuristic for Periodic and Multi-Depot Vehicle Routing Problems”, *John Wiley & Sons, Inc. Networks* 30: 105-119.
- Çetin, E., (2005), “Dinamik Programlama ile Sınır Tenörü Optimizasyonu”, *Doğu ve Güneydoğu Madenlerinin Değerlendirilmesi Sempozyumu*, s.139-143.
- Çevik, O., (2006), “Tam Sayılı Doğrusal Programlama İle İşgücü Planlaması ve Bir Uygulama”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, İ.İ..B.F. Dergisi, Cilt.VIII , Sayı.1*.

- Dalkılıç, G., Türkmen, F., (2003), “Karıncı Kolonisi Optimizasyonu”, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Deneubourg, J.-L., Aron, S., Goss, S., ve Pasteels, J.-M., (1990). “The self-organizing exploratory pattern of the argentine ant”, *Journal of Insect Behavior*, 3, 159–168. In: Dorigo, M., Di Caro, G. ve Gambardella, L. M., (1999), “Ant Algorithms for Discrete Optimization”, *Artificial Life*, Vol. 5, No. 2, 137-172.
- Donati, A. V., Montemanni, R., Casagrande, N., Rizzoli, A. E. ve Gambardella, L. M., (2006), “Time Dependent Vehicle Routing Problem with a Multi Ant Colony System”, *European Journal of Operational Research*, In Press.
- Dorigo, M. ve Blumb, C., (2005), “Ant Colony Optimization Theory: A Survey”, *Theoretical Computer Science* 344, 243 – 278.
- Dorigo, M. ve Gambardella, L. M., (1997a), “Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem”, *IEEE Transactions On Evolutionary Computation*, Vol. 1, No. 1, 53-66.
- Dorigo, M. ve Gambardella, L. M., (1997b), “Ant Colonies for the Travelling Salesman Problem”, *BioSystems* 43, 73–81.
- Dorigo, M. ve Di Caro, G., (1999), “Ant Colony Optimization: A New Meta-Heuristic”, *Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation*, Vol.1, 1470-1477.
- Dorigo, M., Di Caro, G. ve Gambardella, L. M., (1999), “Ant Algorithms for Discrete Optimization”, *Artificial Life*, Vol. 5, No. 2, 137-172.
- Dorigo, M., Maniezzo, V. ve Colnari, A., (1991), “The Ant System: An Autocatalytic Optimizing Process”, *Technical Report TR91-016*, Politecnico di Milano.
- Dorigo, M., Maniezzo, V. ve Colnari, A., (1996), “Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents”, *IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics-Part B Cybernetics*, Vol 26, No 1, 29-41.
- Ekin, E. ve Yakhno, T., (2001), “A Case Study of Adopting Ant System to Optimization Problems”, *TAINN 2001*, Kıbrıs.
- Erol, V., (2006), “Araç Rotalama Problemleri İçin Popülasyon ve Komşuluk Tabanlı Metasezgisel Bir Algoritmanın Tasarımı ve Uygulaması”, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Sistem Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, Sabancı Kütüphanesi, İstanbul*.
- Escudero, L.F., (1988), “An inexact algorithm for the sequential ordering problem”, *European Journal of Operational Research*, vol: 37, 232-253. In: Maniezzo, V., Gambardella, L. M. ve de Luigi, F., (2003), “European Commission Project BISON”, (IST-2001-38923).
- Gambardella, L. M., (2000), “Vehicle Routing Problems (VRPs)”, *Technische Universiteit Eindhoven*.
- Gambardella, L.M. ve Dorigo, M., (1995), “Ant-Q: a reinforcement learning approach to the travelling salesman problem”, In *Proceedings of the Twelfth International Conference on Machine Learning*, Morgan Kaufmann, Palo Alto, California, USA, pp 252-260.
- Gambardella, L.M. ve Dorigo, M., (1996), “Solving Symmetric and Asymmetric TSPs by Ant Colonies”, *Proceedings of the IEEE Conference on Evolutionary Computation*.
- Gambardella, L. M. ve Dorigo, M., (2000), “An Ant Colony System Hybridized with a New Local Search for the Sequential Ordering Problem”, *INFORMS Journal on Computing* Vol. 12, No. 3, 237-255.

Gambardella, L. M., Rizzoli, A. E., Oliverio, F., Casagrande, N., Donati, A. V., Montemanni, R. ve Lucibello, E., (2004), "Ant Colony Optimization for vehicle routing in advanced logistics systems", IDSIA ve AntOptima via Fusoni 4, Switzerland.

Gambardella, L. M., Taillard, E. ve Agazzi, G., (1999), "MACS-VRPTW: A Multiple Ant Colony System for Vehicle Routing Problems With Time Windows", Technical Report IDSIA, IDSIA-06-99, Lugano, Switzerland.

Gambardella, L. M., Taillard, É. D. ve Dorigo, M., (1999), "Ant Colonies for the Quadratic Assignment Problem", The Journal of the Operational Research Society, Vol. 50, No. 2., pp. 167-176.

Geloğulları, C. A., (2001), "An Exact Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Backhauls", A Thesis Submitted to the Department of Industrial Engineering and the Institute of Engineering and Science of Bilkent University, Ankara.

Gendreau, M., Laporte, G. ve Potvin, J.Y., (1999), "Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem", Les Cahiers du GERAD G-98-52, Canada.

Goss, S., Aron, S., Deneubourg, J. L., ve Pasteels, J. M., (1989), "Self-organized shortcuts in the Argentine ant", *Naturwissenschaften*, 76, 579–581. In: Dorigo, M., Di Caro, G. ve Gambardella, L. M., (1999), "Ant Algorithms for Discrete Optimization", *Artificial Life*, Vol. 5, No. 2, 137-172.

Güden, H., Vakvak, B., Özkan, B. E., Altıparmak, F. ve Dengiz, B., (2005), "Genel Amaçlı Arama Algoritmaları ile Benzetim Eniyilemesi: En İyi Kanban Sayısının Bulunması", *Endüstri Mühendisliği Dergisi Cilt 16 Sayı 1 Syf (2-15)*.

Hertz, A. ve Zufferey, N., (2006), "A New Ant Algorithm for Graph Coloring", Workshop on Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization, NISCO 2006, Granada.

Karadimas, N. V., Kouzas, G., Anagnostopoulos, I. ve Loumos, V., (2006), "Urban Solid Waste Collection and Routing: the Ant Colony Strategic Approach", *I.J. of Simulation* Vol. 6 No 12-13, 45-53.

Karahan, A., (2003), "Tedarik Zinciri Yönetiminde Dağıtım Faaliyetlerinin Optimize Edilmesine Yönelik Bir Model Tasarımı", Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Keskintürk, T. ve Söyler, H., (2006), "Global Karınca Kolonisi Optimizasyonu", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 21, No 4, 689-698.

Kocaoğlu, B., (2003), "Üçüncü Parti Lojistik Yönetim Sistemlerinde Dağıtım Planlanması Faaliyetleri ve Türkiye'deki Firmaların Uygulamada Karşılaştığı Sorunların Analizi", YTÜ yüksek lisans tezi.

Larsen, A., (2001), "The Dynamic Vehicle Routing Problem", Ph.D. thesis, Department of Mathematical Modelling (IMM), Technical University of Denmark (DTU).

Laporte, G., (2004), "Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem: Fifteen Years of Research", *TraLog - Transportation and Logistics*, Molde University College, Molde, Norway.

Laporte, G., (2005), "Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem: Fifteen Years of Research", *Canada Research Chair in Distribution Management HEC Montreal*.

Laporte, G., Gendreau, B., Potvin, J. ve Semet, F., (2000), "Classical and Modern Heuristics for the Vehicle Routing Problem", *International Transactions. in Operational Research*, 7, 285- 300.

- Laporte, G. ve Semet, F., (1999), "Classical Heuristics for the Vehicle Routing Problem", Les Cahiers du GERAD, G-98- 54, Canada.
- Machado, P., Tavares, J., Pereira, F. B. ve Costa, E. (2002), "Vehicle Routing Problem: Doing it the Evolutionary Way", GECCO 2002: Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, New York.
- Maniezzo, V., Gambardella, L. M. ve de Luigi, F., (2003), "European Commission Project BISON", (IST-2001-38923).
- Maniezzo, V., (1998), "Exact and Approximate Nondeterministic Tree-Search Procedures for The Quadratic Assignment Problem", Tech. Rep. CSR 98-1, Scienze dell'Informazione, Università di Bologna, Italy.
- Manfrin, M., Birattari, M., Stützle, T. ve Dorigo, M., (2006), "Parallel Ant Colony Optimization for the Traveling Salesman Problem", LNCS 4150, pp. 224–234.
- Marinakis, Y., (2001), "Heuristic Solutions of Vehicle Routing Problems in Supply Chain Management", DSS Laboratory, Department of Production Engineering and Management, Technical University of Crete, Greece.
- Mazzeo, S. ve Loiseau, I., (2004), "An Ant Colony Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing", Electronic Notes in Discrete Mathematics, Vol: 18, pp: 181–186.
- Montané, A. F. T. ve Galvão, R. D., (Basımda), "A Tabu Search Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pick-up and Delivery Service", Computers & Operations Research.
- Montemanni, R., Gambardella, L.M., Rizzoli, A.E. ve Donati, A.V., (2005), "Ant Colony System for a Dynamic Vehicle Routing Problem", Istituto Dalle Molle di Studi sull'Intelligenza Artificiale (IDSIA), Switzerland.
- Michel, R. ve Middendorf, M., (1999), "An ACO Algorithm for the Shortest Common Supersequence Problem", Institute for Applied Computer Science and Formal Description Methods, University of Karlsruhe, Germany.
- Nabiyev, V. V., (2003), "Yapay Zeka: Problemler, Yöntemler, Algoritma", Seçkin Yayınevi, Ankara.
- Olivera, A. Ve Viera, O., (2005), "Solving the Vehicle Routing Problem with Multiple Trips by Adaptive Memory Programming", The biannual International Conference on Industrial Logistics ICIL'05, Uruguay.
- Ralphs, T.K., (2003), "Parallel Branch and Cut for Capacitated Vehicle Routing", Parallel Computing in Logistics, Vol. 29 , Issue 5, 607 – 629.
- Rizzoli, A.E., Oliverio, F., Montemanni, R. ve Gambardella, L.M., (2005), "Ant Colony Optimisation for Vehicle Routing Problems: from Theory to Applications", Istituto Dalle Molle di Studi sull'Intelligenza Artificiale (IDSIA) ve AntOptima via Fusoni 4, CH-6900, Switzerland.
- Ropke, S., (2005), "Heuristic and Exact Algorithms for Vehicle Routing Problems", University of Copenhagen, Department of Computer Science, Doktora Tezi, Danimarka.
- Salhi, S. ve Sari, M., (1997), "A Multi-Level Composite Heuristic for the Multi-Depot Vehicle Fleet Mix Problem", European Journal of Operational Research 103, 95-112.
- Savelsbergh, M., (2003), "Vehicle Routing and Scheduling", The Logistics Institute, Georgia Institute of Technology.
- Stützle, T. ve Hoos, H. H., (2000), "MAX-MIN Ant System", Future Generation Computer Systems, 16, 889–914.

Şeker, Ş., (2007), “Araç Rotalama Problemleri ve Zaman Pencere Stokatik Araç Rotalama Problemine Genetik Algoritma Yaklaşımı” Yıldız Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, Sabancı Kütüphanesi, İstanbul.

Şevkli, M. ve Yenisey, M. M., (2006), “Atölye tipi çizelgeleme problemleri için parçacık sürü optimizasyonu yöntemi”, itüdergisi/d mühendislik, Cilt:5, Sayı:2, Kısım:1, 58-68.)

Tansini, L., Urquhart, M. ve Viera, O., (2000), “Comparing Assignment Algorithms for the Multi-Depot VRP”, Dpto. Investigacion Operativa, Instituto de Computacion, Facultad de Ingenieria, UDELAR Latin-American Conference on Operations Research and Systems (CLAIO).

Tanyaş, M., (2002), “Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetimi”, Lojistik Tedarik Zinciri Yönetimi Seminer Notu, Kocaeli.

Tsai, C., Tsai, C. ve Tseng, C., (2004), “A New Hybrid Heuristic Approach for Solving Large Traveling Salesman Problem”, Information Sciences , No: 166, pp. 67–81.

Ulusoy, G., (2002), “Proje Planlamada Kaynak Kısıtlı Çizelgeleme”, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Sabancı Üniversitesi, İstanbul.

Van Breedam, A., (2001), “Comparing Descent Heuristics And Metaheuristics For The Vehicle Routing Problem”, Computers & Operations Research, 28, 289-315.

İNTERNET KAYNAKLARI

[1] <http://www.sintef.no/static/am/opti/projects/top/vrp/index.html>

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

[3] <http://www2.isye.gatech.edu/logisticstutorial/vehicle/vrtutor.htm>

[4] <http://www.idsia.ch/~monaldo/vrp.html>

[5] http://en.wikipedia.org/wiki/Branch_and_cut

[6] <http://www50.brinkster.com/hikomen/genetik%20algoritma.htm>

[7] http://en.wikipedia.org/wiki/Travelling_salesman_problem#_note-0#_note-0

[8] http://en.wikipedia.org/wiki/Quadratic_assignment_problem

[9] http://en.wikipedia.org/wiki/Shortest_common_supersequence

[10] http://en.wikipedia.org/wiki/Graph_coloring

[11] <http://neumann.hec.ca/chairedistributique/data/mdvrp/>

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	15.05.1983	
Doğum yeri	Kayseri	
Lise	1998-2001	Aksaray Fen Lisesi
Lisans	2001-2005	Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fak. Endüstri Mühendisliği
Yüksek Lisans	2005-	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği

Çalıştığı kurum(lar)

2005-Devam ediyor	İstanbul Metropolitan Planlama ve Kentsel Tasarım Merkezi Lojistik Grubu
-------------------	---