YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ VE ZAMAN PENCERELİ STOKASTİK ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİNE GENETİK ALGORİTMA YAKLAŞIMI

Endüstri Mühendisi Şükran ŞEKER

FBE Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Endüstri Mühendisliği Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı **:** Yrd. Doç. Dr. Ali Fuat GÜNERİ (Yıldız Teknik Üniversitesi)

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vi

KISALTMA LİSTESİ..... viii

ŞEKİL LİSTESİ..... ix

ÇİZELGE LİSTESİ xi

ÖNSÖZ xii

ÖZET xiii

ABSTRACT xiv

1. GİRİŞ 1

2. LOJİSTİK VE LOJİSTİK YÖNETİMİ 3

2.1 Lojistik Tanımı 3
2.2 Lojistik Süreçler 4
2.3 Lojistik Yönetimi..... 6
2.3.1 Lojistik Yönetimi İle İlgili Faaliyetler..... 8
2.3.1.1 Müşteri Hizmetleri..... 8
2.3.1.2 Sipariş Süreci..... 9
2.3.1.3 Fiziksel Dağıtım 9
2.3.1.4 Envanter Yönetimi..... 11
2.3.1.5 Talep Tahmini 13
2.3.1.6 Depolama ve Fiziksel Dağıtım 14
2.3.1.7 Fabrika ve Ambar Yeri Seçimi..... 16
2.3.1.8 Malzeme Yönetimi 17
2.3.1.9 Tedarik (Satın Alma) 19
2.3.1.10 Paketleme ve Etiketleme..... 20
2.3.1.11 Artık Parça Yönetimi 20
2.3.1.12 Geri Dönen Kaynakların İşlenmesi 21
2.3.2 Ulaştırma Sistemleri 21
2.3.2.1 Dağıtım Türü Seçimi 22
2.3.2.2 Alternatif Taşıma Şekilleri..... 23
2.3.2.2.1 Karayolu Taşımacılığı..... 24
2.3.2.2.2 Demiryolu Taşımacılığı 24
2.3.2.2.3 Denizyolu Taşımacılığı..... 24
2.3.2.2.4 Hava Taşımacılığı..... 25
2.3.2.2.5 Boruhattı Taşımacılığı 25
2.4 Taşıma Kararları..... 26
2.4.1 Taşıma Şeklini Seçme Kriterleri 26
2.4.1.1 Taşımanın Maliyetini ve Ücretlendirmesini Etkileyen Faktörler..... 27

2.4.1.2 Taşıyıcı Seçimi 28
2.4.2 Araç Yükleme ve Çizelgeleme 29
2.4.3 Araç Rotası Belirleme 29

3. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ (ARP) 31

3.1 Araç Rotalama Problemi ve Notasyonları 34
3.2 Araç Rotalama Prensipleri 37
3.3 Rotalama durumlarına Göre Araç Rotalama Problemlerinin Sınıflandırılması 38
3.3.1 Başlangıç ve Bitiş Noktasının Aynı Olduğu Araç Rotalama Problemleri (KUARP) 38
3.3.2 Başlangıç ve Bitiş Noktası Farklı ve Tek olan Araç Rotalama Problemleri (AUARP) 39
3.3.2.1 Tek Depo Çok Müşterili Araç Rotalama Problemleri 39
3.3.2.1.1 Tek Araçlı Rotalama 40
3.3.2.1.2 Çok Araçlı Rotalama 40
3.3.3 Çok Depo Çok Müşterili Araç Rotalama Problemleri 41
3.4 Kısıtlarına Göre Araç Rotalama Problemleri 43
3.4.1 Kapasite Kısıtlı ARP (KKARP) 44
3.4.1.1 Eşit Talepli Kapasiteli Araç Rotalama Problemleri (EKARP) 44
3.4.1.2 Eşit Olmayan Taleplere Sahip Kapasiteli Araç Rotalama Problemleri 45
3.4.2 Mesafe Kısıtlı ARP (MKARP) 45
3.4.3 Zaman Pencereli ARP (ZPARP) 46
3.4.4 Müşteri Tipi Farklı ARP 48
3.4.5 Karma Yüklemeli ARP 48
3.4.6 Periyodik Araç Rotalama Problemi (PARP) 49
3.4.7 Parçalı Dağıtımlı Araç Rotalama Problemi (PDARP) 49
3.4.8 Stokastik Araç Rotalama Problemi (SARP) 50
3.4.8.1 Stokastik Müşteri ve Talepli Araç Rotalama Problemleri 51
3.4.8.2 Stokastik seyahat zamanı veya servis zamanlı araç rotalama 51
3.4.9 Toplama-Dağıtım İşlemlerini Kapsayan Araç Rotalama Problemi (TDARP) 52
3.4.10 Geri Dönüşlü Araç Rotalama Problemi (GDARP) 53
3.5 Yolların Durumuna Göre Araç Rotalama Problemleri 55
3.5.1 Simetrik Yollu ARP 55
3.5.2 Asimetrik Yollu ARP 55
3.6 Araç Rotalama Problemleri İçin Çözüm Yöntemleri 55
3.6.1 Kesin Yöntemler 56
3.6.1.1 Dal ve Sınır Algoritmaları 56
3.6.1.2 Dal ve Kesme Algoritmaları 57
3.6.1.3 Dinamik Programlama 57
3.6.2 Sezgisel Yöntemler 58
3.6.2.1 Tur Kurucu Sezgiseller 59
3.6.2.1.1 Tasarruf (Saving) Algoritması 60
3.6.2.2 Tur Geliştirici Sezgiseller 61
3.6.2.2.1 Çok rotalı İyileştirme Algoritmaları 61
3.6.2.2.2 Thomson ve Psaraftis 61
3.6.2.2.3 Van Breedam Analizi 62
3.6.2.2.4 Kinderwater ve Savelsbergh 63
3.6.2.3 İki Aşamalı Metotlar 65
3.6.2.3.1 Süpürme (Sweep) Algoritması 65
3.6.2.3.2 Fisher and Jaikumar Atama Tabanlı Algoritması 67
3.6.2.3.3 Taç Yaprağı Algoritmaları 68

3.6.2.3.4 Taillard Algoritması ... 69
3.6.2.4 Önce Rotala Sonra Grupla Tipindeki İki Aşamalı Sezgiseller ... 69
3.6.3 Metasezgisel Yöntemler ... 69
3.6.3.1 Karınca Algoritması ... 70
3.6.3.2 Tabu Arama (TA) ... 73
3.6.3.3 Benzetimli Tavlama ... 75

4. GENETİK ALGORİTMALAR ... 78

4.1 Genetik Algoritma Tanımı ve Tarihçesi ... 78
4.2 Genetik Algoritma Terimleri ... 80
4.2.1 Gen ... 80
4.2.2 Kromozom (Birey) ... 80
4.2.3 Popülasyon ... 80
4.2.4 Kodlama ... 81
4.2.4.1 Binary (İkili) Kodlama ... 81
4.2.4.2 Permütasyon Kodlama ... 81
4.2.4.3 Değer Kodlama ... 82
4.2.4.4 Ağaç Kodlama ... 82
4.3 Genetik Algoritmanın Aşamaları ... 82
4.4 Birey Havuzunun Oluşturulması ... 83
4.4.1 Grow Yöntemi (Grow Method) ... 83
4.4.2 Full Yöntemi (Full Method) ... 84
4.4.3 Ramped half-and-half Yöntemi (Ramped half-and-half Method) ... 84
4.5 Seçim ... 85
4.5.1 Rulet Tekeri Seçimi: ... 85
4.5.2 Sıralama Seçimi: ... 86
4.5.3 Sabit Durum Seçimi: ... 86
4.5.4 Turnuva Seçimi ... 87
4.5.5 Seçkinlik ... 87
4.6 Genetik Algoritmalarda Kullanılan Operatörler ... 87
4.6.1 Çaprazlama Operatörü ... 87
4.6.1.1 Tek Nokta Çaprazlama ... 87
4.6.1.2 İki Noktalı Çaprazlama ... 88
4.6.1.3 Pozisyona Dayalı Çaprazlama ... 88
4.6.1.4 Sıraya Dayalı Çaprazlama ... 88
4.6.1.5 Kısmi Planlı Çaprazlama ... 89
4.6.1.6 Doğrusal Sıralı Çaprazlama ... 89
4.6.2 Mutasyon Operatörü ... 89
4.6.2.1 Ters Mutasyon ... 89
4.6.2.2 Komşu İki Geni Değiştirme ... 90
4.6.2.3 Keyfi İki Geni Değiştirme ... 90
4.6.2.4 Keyfi Üç Geni Değiştirme ... 90
4.6.2.5 Araya Yerleştirme ... 90
4.7 Genetik Algoritmanın Çalışma Prensibi ... 91
4.8 Genetik Programın Parametrelerinin Belirlenmesi ... 93
4.9 Genetik Algoritmanın Performansını Etkileyen Nedenler ... 95

5. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜNDE GENETİK ALGORİTMA TEKNİĞİNİN KULLANILMASI ... 96

5.1 Problem Tanımı ... 96

5.2 Liu'nun Formülasyonu 97
5.2.1 Stokastik modeller 99
5.2.2 Hibrid Genetik Algoritma 99
5.3 Problem ile İlgili Veriler 101
5.4 Problemin Çözümü 103
5.5 Bulgular 103
5.6 Sonuç ve Değerlendirmeler 109

6. SONUÇ 112

KAYNAKLAR 114

İNTERNET KAYNAKLARI 117

EKLER 118

Ek 1 10'luk populasyon boyutu için özet GA sonuç çıktıları 119
Ek 2 20'lik popülasyon boyutu için özet GA sonuç çıktıları 121
Ek 3 30'luk populasyon boyutu için özet GA sonuç çıktıları 123

ÖZGEÇMİŞ 125

SİMGE LİSTESİ

A	Düğümler arasındaki yayların kümesi
$[a_i, b_i]$	Zaman penceresi
c_{ij}	i müşterisinden j müşterisine maliyet
C	Araç Kapasitesi
Dij	i. ve j. nokta arası mesafe
$e^{-\Delta/t}$	Amaç değerini artıran hareketler
E	Yay kümesi
E_i	Katının enerjisi
E_j	j durumuna geçen katının enerjisi
$f(x,y,t)$	Karar vektörü
$g(x,y)$	Bütün araçların toplam seyahat uzaklığı
$G(V,E)$	Graf Kümesi
I^{r}	Rotalar kümesi
K	Kesme noktası
K_k	Aracın bir müşteriye servis verdikten sonra kalan kapasitesi
l_{ij}	Gezgin satıcı probleminde i den j ye gitme maliyeti
L_k	Mesafe kısıtı
m	Toplam Araç Sayısı
M	Rasgele sayı
N	Toplam Müşteri Sayısı
S_i^k	k aracının i müştersine servis süresi
t_{ij}	i noktasından j noktasına seyehat zamanı
Qi	i. müşterinin talebi
Q_x	Başvuru fonksiyonu
P	Aracın seyir sırasında katettiği toplam mesafe
P_c	Çaprazlama oranı
P_m	Mutasyon oranı
P_r	Herhangi bir müşteriye servis olasılığı
S	Uzay
T	Sıcaklık parametresi
T_{ij}	Stokastik seyahat zamanı
V	Kromozom
δ	Dairesel permütasyon

Δ	Tabu araması için amaç fonksiyon
V	Bir nokta kümesi
Z	Amaç Fonksiyon

KISALTMA LİSTESİ

ARP	Araç Rotalama Problemi
AUARP	Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi
BI	En iyi iyileştirme
CLM	Council of Logistics Management
EDI	Elektronik Veri Transferi
EKARP	Eşit Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
FI	İlk iyileştirme
GA	Genetik Algoritma
GDARP	Geri Dönüşlü Araç Rotalama Problemi
KKARP	Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
KUARP	Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemi
MKARP	Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
MRP	Material Resource Planning
PARP	Periyodik Araç Rotalama Problemi
SC	Zincir çaprazlama
PDARP	Parçalı Dağıtımlı Araç Rotalama Problemi
SE	Zincir değiş-tokuşu
SM	Zincir bağdaştırma
SR	Zincir yer değiştirme
SARP	Stokastik Araç Rotalama Problemi
TDARP	Toplama-Dağıtım İşlemlerini Kapsayan Araç Rotalama Problemi
TSP	Gezgin Satıcı Problemi
ZPARP	Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Hedeflerin Hiyerarşisi 3
Şekil 2.3 Lojistik Yönetiminin Aşamaları..... 6
Şekil 2.4 Fiziksel Dağıtım Süreci 10
Şekil 2.5 Fiziksel Dağıtım Listesi..... 16
Şekil 2.6 Malzeme Yönetim Sistemi 18
Şekil 2.7 Taşıma Türünün Belirlenmesi..... 23
Şekil 3.1 Tek Araçlı Araç Rotalama Yöntemi..... 40
Şekil 3.2 Çok Araçlı Araç Rotalama Yöntemi 41
Şekil 3.3 Çok depo- çok müşterili ARP Örneği 43
Şekil 3.4 Geri Dönüşlü Araç Rotalamanın grafiksel gösterimi 54
Şekil 3.4 Tasarruf Yönteminin Uygulanması..... 61
Şekil 3.5 Thomson ve Psaraftis yönteminin uygulanması 62
Şekil 3.6 String Cross (zincir çaprazlama) öncesi ve sonrası..... 62
Şekil 3.7 Zincir değiş-tokuş öncesi ve sonrası 63
Şekil 3.8 Kinderwater ve Savelsbergh Yöntemi..... 64
Şekil 3.9 Kinderwater ve Savelsbergh Yöntemine ait uygulamalar 65
Şekil 3.10 Fisher and Jaikumar Atama Tabanlı Algoritması 68
Şekil 3.11 Karıncaların izlediği yol 70
Şekil 3.12 Karıncaların bir engelle karşılaşması 71
Şekil 3.13 Engelle karşılaşan karıncaların seçimi 71
Şekil 3.14 Karıncaların kısa yolu bulmaları 71
Şekil 4.1 Binary Kodlama Gösterimi..... 81
Şekil 4.2 Permütasyon kodlama 81
Şekil 4.3 Değer Kodlama ile kodlanmış kromozom örnekleri 82
Şekil 4.4 Grow yöntemi ile oluşturulmuş ağaç yapısı 83
Şekil 4.5 Full yöntemi ile oluşturulmuş ağaç yapısı 84
Şekil 4.6 Ramped half-and-half yöntemiyle oluşturulmuş ağaç yapısı 84
Şekil 4.7 Rulet Tekeri Kromozom Dağılımı 85
Şekil 4.8 Sıralamadan önce (uygunluk çizgesi)..... 86
Sekil 4.9 Sıralamadan sonra (sıra numaraları çizgesi)..... 86
Şekil 4.10 Tek Noktalı Çaprazlama..... 88

Şekil 4.11 Pozisyona Dayalı Çaprazlama 88
Şekil 4.12 Komşu iki geni değiştirme 90
Şekil 4.14 Keyfi Üç Geni Değiştirme 90
Şekil 4.15 Genetik algoritmanın işlem adımları 92
Şekil 5.2 İterasyon sayısına bağlı optimum rota uzunluğu 105
Şekil 5.3 İterasyon sayısına bağlı rota uzunluğu değişimi. 107
Şekil 5.4 İterasyon sayısına bağlı rota uzunluğu değişimi 109

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Taşıma Türlerinin Her Bir Kriter Açısından Değerlendirilmesi 27
Çizelge 3.1 Araç rotalamanın kısa bir tarihçesi..... 55
Çizelge 3.1 Sweep (Süpürme Algoritması) yönteminin algoritması 67
Çizelge 5.1 Probleme ait uzaklık matrisi 101
Çizelge 5.2 Müşterilerin servis göreceği zaman aralığı..... 102
Çizelge 5.3 Müşterilerin birbirlerine ve depoya olan seyahat zamanı..... 102
Çizelge 5.4 GA uygulaması simülasyon verileri. 104
Çizelge 5.5 GA uygulaması simülasyon sonuçları. 105
Çizelge 5.6 10 luk popülasyon boyutu için bulunan optimum rota. 105
Çizelge 5.7 GA uygulaması simülasyon verileri 106
Çizelge 5.8 GA uygulaması simülasyon sonuçları 106
Çizelge 5.9 20’ lik popülasyon boyutunda optimum rota 107
Çizelge 5.10 GA uygulaması simülasyon verileri. 108
Çizelge 5.11 GA uygulaması simülasyon sonuçları. 108
Çizelge 5.12 30’luk popülasyon boyutu için optimum rota. 108

ÖNSÖZ

Rekabetin hata affetmediği günümüzde, Tedarik Zinciri Yönetimindeki lojistik unsurlar eskisinden çok daha fazla önemsenmeye değer hale geldi. Lojistik faaliyetlerden olan Fiziksel dağıtım da mamullerin üretim aşamasından sonra tüketiciye teslimine kadar yapılan işlem demektir. Son yıllarda fiziksel dağıtıma olan ilgi hayli artmıştır. Özellikle 1970'lerde ortaya çıkan enerji krizi taşımacılık faaliyetlerine doğrudan etki etmiştir.

Günümüz dünyasında, müşteri taleplerinin zamanında ve en az maliyetle karşılanması rekabet açısından önem kazanmıştır. Fiziksel dağıtım sürecinde ulaşımdaki Araç Rotalama Problemlerinin (ARP) çözümü şirketlere maliyet açısından büyük kazanç sağlamaktadır. Maliyetin az olması aracın kat ettiği yolun en kısa olmasını gerektirmektedir. Bir noktadan başka bir noktaya giderken en kısa yolun tercih edilmesi maliyetin azaltılmasını amaçlayan bir yaklaşımdır.

Araç rotalama probleminin amacı taşıma maliyetlerini azaltmak ve müşteri hizmetlerini arttırmaktır. Bu yönüyle Araç rotalama problemleri günümüzün rekabetçi dünyasında şirketlerin üzerinde durması gereken en önemli konulardan biri olmaktadır.

Bu tezde stokastik çevre koşullarını dikkate alarak oluşturulan araç rotalama problemine genetik algoritma yöntemini uygulayarak en kısa rota uzunluğunu bulunmuştur.

Bu tezimde bana yardımcı olan başta tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Ali Fuat Güneri'ye olmak üzere manevi desteklerinden dolayı aileme ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Şükran Şeker

Mayıs, 2007

ÖZET

Tedarik zincirinin bir parçası olan lojistik, ürün ve ilgili bilgilerin üretim noktasının başından tüketim noktasına kadar, müşteri gereksinimlerini karşılamak amacıyla, etkin ve düşük maliyetli bir şekilde akış ve depolanması süreçlerinin planlanması, uygulama ve kontrol edilmesidir. Araç Rotalama Problemleri de lojistik dağıtım sisteminin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Araç rotalama problemleri ulaştırma problemlerinin en fazla üzerinde tartışılan ve çalışılan konulardan biridir. Rotalama problemi müşterilerin bilinen taleplerini sadece bir kez olmak üzere minimum maliyetli rotalarla ve en az araç kullanarak karşılamaktır. Araç rotalama problemlerinden olan Stokastik Araç Rotalama Problemi ise Araç Rotalama Probleminin bir veya birkaç komponentin rassal olmasıdır. Araç Rotalama Problemlerinin birçok çözüm tekniği vardır. Bu tezde Stokastik Araç Rotalama Problemini çözmek üzere Genetik Algoritma kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Lojistik yönetimi, fiziksel dağıtım, araç rotalama problemleri, genetik algoritma.

ABSTRACT

Logistic is that part of the supply chain process that plans, implements, and controls the efficient, effective flow and storage of goods, services, and related information from the point-of origin to the point-of-consumption in order to meet customers' requirements. Vehicle routing problem (VRP) plays key role in logistic distribution system. One of the most commonly studied and discussed transportation problems is the vehicle routing problem or VRP. The vehicle routing problem (VRP) is associated with the design of a set of minimum cost routes for a fleet of vehicles to serve, exactly once, a set of customers with known demands. The problem has two objectives, one of them minimize the total distance traveled so the minimal number of routes the other is the minimal cost routes for the vehicles. Stochastic VRP (SVRP) is VRPs where one or several components of the problem are random. There are many solution techniques for Vehicle Routing Problems. In this thesis Genetic Algorithm used to solve Stochastic Vehicle Routing Problem.

Keywords: Logistic management, physical distribution, vehicle routing problems, genetic algorithm.

1. GİRİŞ

Günümüz dünyası firmaların ürün fiyatlarını dolayısıyla maliyetlerini ve verimliliklerini daha iyi kontrol etmelerini zorunlu kılmaktadır. Bunu gerçekleştirmek sadece şirket içi süreçleri iyileştirmekle olmamakta aynı zamanda lojistiğin parçası olan satıcı, müşteri, dağıtımcı ve nakliyeci ile karşılıklı güvene dayalı bir işbirliğine gidilmesini gerektirmektedir.

Lojistik, tedarikçiden müşteriye kadar olan hammadde, yarı mamul ve mamul stokların hareketi ve depolanmasının stratejik olarak yönetimidir. Lojistikte amaç üretim ve pazarlama faaliyetlerinin bir yapı altında toplanarak hammadde satın alınmasından bitmiş ürünün pazarlamasına kadar olan tüm faaliyetlerin verimli şekilde çalışmasını sağlamaktır. Lojistiğin genel olarak amacı mümkün olan en düşük toplam maliyet ile hedeflenen müşteri servisi düzeyini başarmaktır. Lojistik yönetimi geçmiş yıllarda fiziksel dağıtım, malzeme lojistik yönetimi, malzeme yönetimi, dağıtım lojistiği, pazarlama lojistiği ve toplam dağıtım yönetimi gibi ifadelerle birlikte kullanılmaktaydı. Lojistik müşteri ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik olarak orijin noktasından tüketim noktasına kadar mal, servis ve ilgili bilginin depolanması, etkin ve verimli bir şekilde akışının planlanması, uygulanması ve kontrolü sürecidir.

Bir işletmenin başlıca lojistik amacı, hedeflere minimum maliyetle ulaşabilen bir sistem kurmaktır. Lojistik sürecinin en önemli bileşenlerinden biri de ürünlerin hareketlerini başlangıç noktasından satış noktasına kadar takip etmektir. Dağıtım faaliyetleri, ürünlerin hareketlerinin ve bu kapsamda yapılan faaliyetler çerçevesinde ulaşım metodunun belirlenmesidir. Doğru yolun seçimi için, birçok yerel, bölgesel ve uluslar arası yerli ve yabancı hizmetlerden haberdar olmak gereklidir. Lojistik süreç içerisinde dağıtım genelde tek başına yüksek maliyetli bir işlemdir. Bu nedenle önemli bir bileşen olup etkin olarak yönetilmesi gereklidir.

Fiziksel Dağıtım, müşterinin siparişini müşterinin istediği zamanda ve minimum maliyetle teslim edilmesi problemi ile ilgilenir. Dağıtım yönetiminin amacı, istenen müşteri hizmet düzeyine en düşük maliyetle ulaşacak bir dağıtım sistemini tasarlamak ve buna işlerlik kazandırmaktır. Bu amaca ulaşmak için malların taşınması ve depolanması ile ilgili tüm faaliyetlerin bütünleşik olarak organize edilmesi gerekir.

Fiziksel dağıtım sistemlerinde karşılaşılan en önemli problemlerden biri etkin bir dağıtım sisteminin oluşturulmasıdır. Yani, bir veya birden çok merkezden alınan malın, bir veya birden çok son kullanıcıya doğru zamanda ulaştırılması gerekmektedir. Bu da, günümüzde lojistik firmalarının sıkça karşılaştığı bir problem olan “Araç Rotalama Problemleri”ni

karşımıza çıkarmaktadır.

İşletmelerin toplam lojistik maliyetlerinin %30-%60'ı dağıtım maliyetlerinden kaynaklandığından dağıtım ekipmanının ve personelinin etkili ve verimli bir şekilde kullanılması işletme yöneticileri açısından önemli bir ilgi alanı haline gelmiştir. Bu bakımdan dağıtım maliyetlerini azaltmak ve müşterilere sunulan servisin kalitesini arttırmak için en kısa zamanı ya da mesafeyi verecek olan, bir aracın şebeke içerisinde izleyeceği en uygun rotayı bulmak günümüzde en çok tartışılan konu haline gelmiştir

Araç rotalama problemi, bir noktadan başlayarak, uğranması gereken tüm noktalara en kısa zaman ve en düşük maliyet ile uğranmasını sağlayan bir rota çizme problemidir. Bu tür problemler için uzun yıllardan beri yapılan çalışmalarda, her türlü duruma uyarlanabilecek optimum bir matematiksel formül bulunamamıştır. Ancak, farklı bilim adamlarının farklı algoritmaları, matematiksel modellerin yetersiz kaldığı durumlarda ise sezgisel ve metasezgisel metotlar kullanılarak geliştirilen çok çeşitli algoritmalardan söz etmek mümkündür.

Araç rotalama problemleri için metasezgisel yöntemler çözüm uzayında etkili bir şekilde arama yapmak için, farklı yapılardaki alt kademe sezgisel algoritmaların zekice birleştirilmesi ile oluşturulmuş iteratif problem çözme prosedürleridir.

Metasezgisel metotlardan olan Genetik Algoritmalar doğada geçerli olan en iyinin yaşaması kuralına dayanarak sürekli iyileşen çözümler üretir. Genetik algoritmalar problemlere tek bir çözüm üretmek yerine farklı çözümlerden oluşan bir çözüm kümesi üretir. Böylelikle, arama uzayında aynı anda birçok nokta değerlendirilmekte ve sonuçta bütünsel çözüme ulaşma olasılığı yükselmektedir.

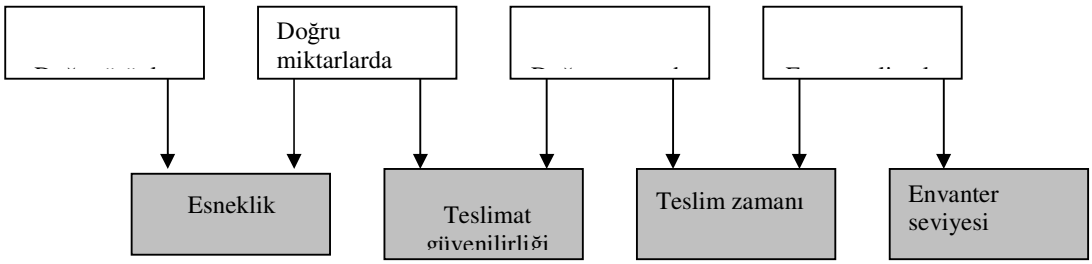
Bu çalışmada, lojistik yönetimi ve lojistik yönetiminin çok önemli konusu olan fiziksel dağıtım faaliyetlerine değinilmiştir. Bununla birlikte, fiziksel dağıtım içinde sıkça karşımıza çıkan araç rotalama problemleri ve bu problemlere çözüm olarak geliştirilen çeşitli algoritmalar ayrıntılarıyla incelenmiştir. Çalışmanın sonunda metasezgisel yöntemlerden olan Genetik Algoritmayla Stokastik Araç Rotalama Problemine çözüm aranmıştır.

2. LOJİSTİK VE LOJİSTİK YÖNETİMİ

2.1 Lojistik Tanımı

Lojistik, Lojistik Yönetimi Derneği CLM (Council of Logistics Management) tarafından tedarik zincirinin bir parçası olarak değerlendirilmekte ve hammadde, yarı mamul, mamul ve ilgili bilgilerin üretim noktasının başından tüketim noktasına kadar, müşteri gereksinimlerini karşılamak amacıyla, etkin ve düşük maliyetli bir şekilde akış ve depolanması süreçlerinin planlanması, uygulanma ve kontrol edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu tanımdan da anlaşılacağı gibi "lojistik öncelikli olarak müşteri gereksinimlerini karşılamaya dönük bir yönetim sürecidir (Akın, 2002). Bir başka tanımda lojistik için, "bir ürünün üretildiği ülkedeki fabrikadan, gönderildiği ülkedeki müşterinin kapısına teslim edilmesine kadar geçen bütün safhalarda verilen hizmetleri içeriyor" denilmiştir (Hürriyet arşivi, 1998).

Lojistik için en ünlü tanım göz önünde tutulursa yedi D'den meydana geldiği görülür; Şekil 2.1 de ifade edildiği gibi bunlar doğru ürün, doğru miktarda ve doğru durumda, doğru yerde, doğru zamanda, doğru müşteri için, doğru fiyattır.



Şekil 2.1 Hedeflerin Hiyerarşisi (Teigen, 1997)

İşletmecilik uygulamalarında lojistik kavramı kısaca malzemeleri yönetme sanatı olarak özetlenebilir. Bu ifadeye göre lojistikle ilgili faaliyetlerin, hammadde kaynağından başlayan ve malların son kullanıcıların eline geçtiğinde biten bütün malzeme hareketlerini kapsadığını söyleyebiliriz.

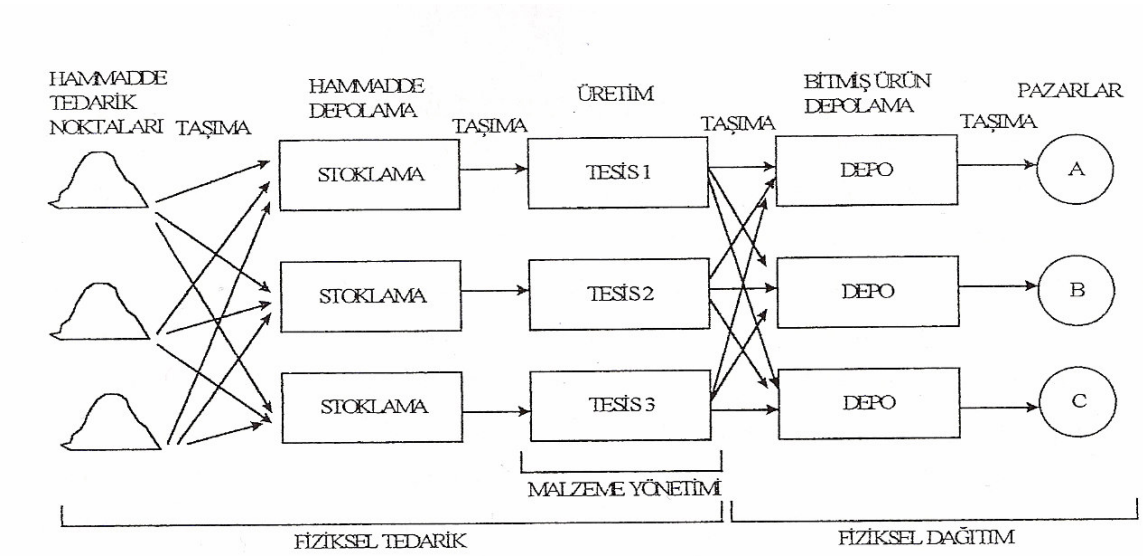
Lojistik; bilgi, sevkıyat, envanter, malzeme taşıma, depolama ve paketlemenin entegrasyonunu içerir. Lojistiğin sorumluluğu hammadde, yarı mamul ve bitmiş mamulün ihtiyaç duyulan yerde ve mümkün olan en düşük maliyetle; coğrafi olarak konumlandırılmasıdır.

Modern anlamda lojistik ise, fiziksel dağıtım, imalat desteği tedarik faaliyetlerine yöneltilen planlama, dağıtım, denetim, finans ve insan kaynakları sürecine yol göstermede başlı başına

mantıksal bir fonksiyondur (Akcan, 2003).

Ballou (1999) da lojistiği; müşteri gereksinimlerini karşılamak amacıyla, hammaddelerin işlenmekte olan parçaların, son ürünlerin ve bunlara ilişkin bilgilerin kaynaktan tüketileceği noktaya etkin ve ekonomik bir şekilde akışının ve gerektiğinde depolanmasının planlanması, uygulanması ve kontrol edilmesi süreci olarak tanımlanır.

Lojistik faaliyetlerini, fiziksel tedarik ve fiziksel dağıtım olarak iki bölümde incelemek mümkündür (Şekil 2.2). Fiziksel tedarik lojistik faaliyetlerinin hammaddeyle ilgili olan kısmıdır yani hammaddenin temininden üretime kadar olan süreçteki malzeme ve taşımayla ilgilenir. Fiziksel dağıtım ise, lojistik faaliyetlerinin bitmiş ürünle ilgili olan kısmıdır ve üretim sonrasında ürünün taşınması ve depolanması ile ilgilenir. Ayrıca sadece bitmiş ürünle ilgili değil pazarlama lojistiği olarak da bilinir (Coyle ve Bardi, 1980).



Şekil 2.2 Lojistikte Fiziksel Tedarik, Malzeme Yönetimi ve Fiziksel Dağıtım (Coyle ve Bardi, 1980)

2.2 Lojistik Süreçler

Lojistik için yapılabilecek genel tanımlardan biri de şu şekilde ifade edilebilir: Müşteri istek ve ihtiyaçlarına uygun olarak üretim noktasından tüketim noktasına hammadde, yarı mamul, son mamul ve ilgili bilginin verimli ve etkili şekilde akışı ve depolanmasıdır. Bu hizmetin içinde yer aldığı sürece de "lojistik süreç" denir. Lojistik süreç, lojistik hizmetin planlanması, uygulanmaya konması ve kontrol edilmesidir. Lojistik süreçte yer alan unsurlar, tedarik süreçte yer alan işletmeler, üreticiler, dağıtıcılar (toptancı ve perakendeciler),

taşıma/depolama, sigortalama hizmeti veren hizmet sağlayıcılar olarak sayılabilir. Üretim ve dağıtım zincirinin tüm halkaları lojistik kapsamına girdiği için lojistik, global rekabette başarılı olmanın en etkili yoludur.

İşletmenin lojistikle ilgili faaliyetleri üç ayrı sınıflama içinde tartışılabilir. Bunlar: fiziksel dağıtım, imalat desteği ve tedarik işlevleridir (Timur, 1998).

Fiziksel dağıtım yönetim süreci ürünlerin müşterilere doğru olan fiziksel hareketleri ile ilgilenir. Bu anlamda fiziksel dağıtım, müşterileri pazarlama kanalındaki son durak olarak düşünmektedir. Ürünlerin varlığı, her kanal üyesine ait pazarlama çabasının hayati bir parçasıdır. Malları kendi mülkiyetinde bulunmayan bir imalatçı acentesinin bile, beklenen pazarlama sorumluklarını yerine getirebilmesi malların mevcut olmasına bağlıdır. Ekonomik anlamda, ihtiyaç duyulduğu zamanda uygun mal türleri telim edilmedikçe pazarlama çabalarının bütünü üzerinde büyük ölçüde tehlikeli bir durum ortaya çıkabilir. Müşteri hizmetleri yer ve zamanının pazarlamanın ayrılmaz bir parçası haline gelmesi, fiziksel dağıtım süreci yoluyla gerçekleşir. Böylece, fiziksel dağıtım müşteri ile işletme arasındaki bağlantıları düzenlenmiş olur.

İmalat desteği süreci imalat aşamaları arasında akarak imalat halindeki malın üzerindeki denetimi sağlar. İmalat desteği sürecinin asıl işlevi üretim planının gelişimine katkıda bulunmak ve imalat işlemlerinin uygun bir biçimde sürmesini sağlamak için üretilmekte olan mal ve malzemeleri tedarik etmektir. Böylece, imalat desteği düşüncesinin bütünü, üretim nasıl yapıldığından ziyade hangi ürünlerin, ne zaman ve nerede imal edileceği üzerinde yoğunlaşır.

Tedarik işlevi, arz kaynakları yerleşim yerinden imalatçılara veya montaj fabrikalarına, depolara ya da perakendeci mağazalara işlenmiş malların ve/veya parçaların, malzemelerin satın alınması ve fiziksel hareketleri ile ilgilenir (Leenders, Fearon ve England, 1985).

Fiziksel dağıtım işletme dışına giden müşteri yükleri ile ilgilenirken, tedarik işlevi; imalat sınıflama ve montaj faaliyetlerine destek olan ve işletme içine doğru gelen malzeme yükleri ile ilgilidir.

Ross (1998)'e göre lojistiğin üç ana süreci vardır;

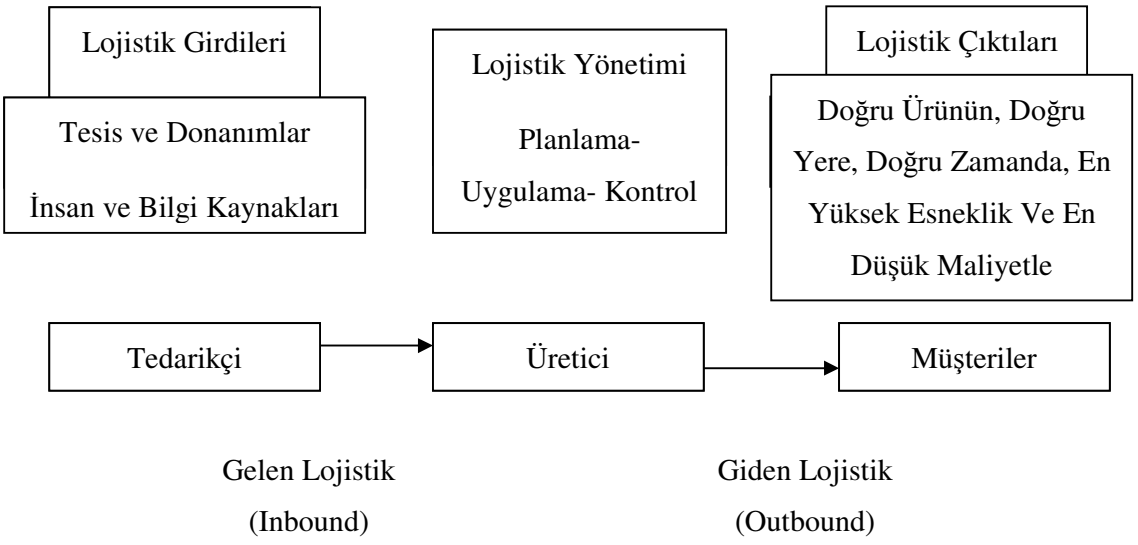
Birincisi envanterin depolanmasıdır. Bu süreçte meydana gelen aktiviteler envanterin kontrolü, tekrar siparişi ve satın alınması ve depolama ambarları ve ambarların konumu, sayısı, tasarımı ve tipidir.

İkinci süreç ise dağıtımdaki son kullanıcıya kadar tüm dağıtım kanalı ve üretim boyunca tedarikçideki envanterin hareketi ile ilgilenir. Bu süreçte nakliye şeklinin kullanımı ve etkin seçimi çok önemlidir.

Son ve en önemli süreç müşteri ihtiyaçlarının karşılanmasıdır. Bu sürecin lojistikteki rolü, farklı Pazar avantajları ile yatırım sağlamak için depolama alanın optimize edilmesi ve zamanının(harekette) yararlı kullanımı anlamında en düşük maliyeti araştırmaktır.

2.3 Lojistik Yönetimi

Lojistik yönetimi, tedarikçiden üreticiye ya da üreticiden son kullanıcıya olan tüm mal, hizmet ve bilgi akışı faaliyetleridir. Bu bağlamda, tedarikçiden üreticiye kadar olan lojistik faaliyetleri Tedarik Lojistiği, üretim içinde yer alan lojistik faaliyetleri Üretim Lojistiği ve üreticiden son kullanıcıya kadar olan lojistik faaliyetleri de Dağıtım Lojistiği adı altında incelenebilir. Buna bağlı olarak lojistik yönetiminin sisteminin aşamaları şekil 2.3 de gösterilmiştir (Arslan, 2002).



Şekil 2.3 Lojistik Yönetiminin Aşamaları (Tanyaş, 2002).

Lojistiğin dayandığı ve beraberinde hareket ettiği temeller vardır. Bunlar;

- **Strateji:** Mevcut faaliyet maliyetinin minimizasyonu, müşteriye katma değer sağlayabilme, kontrol edilme ve ortama uyarlanabilme gibi stratejilerin belirlenmesi lojistik faktörünün temel dayanaklarından biridir.

- **Yapı:** İşletmeler arasında fonksiyonel bir bütünlük sağlanabilmesi halinde lojistik hizmetleri daha sağlam yürütülebilmektedir.
- **Kapasite:** Lojistik firmasının güçlü ve sağlam bir lojistik ağ tasarımına ve kanal sistemine sahip olması, ağın çeşitli alanlarında kilit stok seviyeleri bulundurması çok büyük önem taşır.
- **Hareket:** Malzeme, bilgi ve hizmet akışının maksimum düzeyde olması lojistik faaliyetlerinin daha hızlı ve doğru gerçekleşmesi açısından çok büyük önem taşır.
- **İnsan:** Fonksiyonel bütünleşme, organizasyonlar arası ilişki ve etkileşimde en önemli ve kilit faktördür.
- **Finansal Öğeler:** Pazar hareketlerinin takibi, zamanında müdahale ve iyi bir sermaye altyapısının önemi çok büyüktür.
- **Fiziksel Olanaklar:** İşlevsel süreçler ve işlevlerin bütünleşmesi bu faktöre örnek olarak verilebilir (Arslan, 2002).

Lojistik Yönetim Konseyi tanımı doğrultusunda, aşağıda lojistik yönetim sürecinde bir ürünü başlangıç noktasından satış noktasına kadar olan faaliyetleri belirtmiştir.

1. Müşteri hizmetleri
2. Sipariş süreci
3. Dağıtım kanalları
4. Envanter kontrol
5. Talep tahmini
6. Dağıtım
7. Ambarlama / depolama
8. Fabrika ve depo yeri seçimi
9. Malzeme yönetimi
10. Tedarik
11. Malzeme ve hizmet desteği

12. Paketleme

13. Artık parça yönetimi

14. Geri dönen kaynakların işlenmesi (Yıldıztekin, 2003).

2.3.1 Lojistik Yönetimi İle İlgili Faaliyetler

Bu faaliyetler tedarikçi ile müşteri arasındaki tüm mal, hizmet ve bilgi akışını kapsayan faaliyetlerdir.

2.3.1.1 Müşteri Hizmetleri

Lojistik yönetimini kullanan bir işletmenin en önem verdiği konulardan biri müşteri istekleri ile paralel doğrultuda hareket ederek müşteri memnuniyetini yüksek tutmaktır. Bu yüzden lojistik yönetimi kapsamı içinde müşteri hizmetleri faaliyetlerine dikkat edilmelidir. Bu bağlamda, bir ön çalışma ile müşteri hizmetlerinin nasıl olması gerektiği, (firma ile uyum sağlayan, en uygun maliyetli ve müşteri merkezli felsefe ile) incelenir. Bütün lojistik yönetim faaliyetlerinde müşteri hizmetleri konusunda yapılan çalışmalar bağlayıcı bir güçtür. İşletmenin pazardaki başarısını sağlamak için gerekli olan müşteri memnuniyetinin sağlanması, müşteri hizmetleri bölümünün başlıca görevidir.

Lojistik yönetimini kullanan bir işletmenin her birimi müşterinin almak istediği malı; doğru ürünü, doğru yerde, doğru durumda, doğru fiyatta ve doğru zamanda olacak şekilde planlamalıdır. Bu tip müşteri hizmetleri, bütünleşmiş lojistik yönetimin başarılı bir uygulaması ile müşteri memnuniyetinin gerekli seviyede tutulmasını sağlar (Ölçer ve Önüt, 2002).

Lojistik hizmetlerinde hizmet düzeyi birbirine bağımlı dört grup faktörle açıklanır;

1. Sipariş dönemi zamanı ve hız
2. Güvenilirlik (tutarlılık, her zaman aynı ve sürekli servis, doğruluk, varan malların kalitesi)
3. İletişim (beklentiler, normlardan sapmalar, siparişle ilgili uyarılar, geri bildirim, siparişten faturaya bilgi akışı vb.)
4. Kolaylık (sipariş vermede, bilgi akışında, tarifelerde, sipariş iptallerinde, şikayet

edebilmede vb.) (Sağlam, 2003).

Müşteri hizmetleri, mevcut beklentileri elde tutabilmek için bir dizi aktiviteyi kapsar. Yeni müşteriler kazanmaya çalışmaktan önce mevcut müşterilere kaliteli hizmet sunulmalıdır. Parça ve servis desteği müşteri hizmetlerinin bir parçasıdır. Satılan ekipmanların bakımı yapılmalıdır. Benzer şekilde, ihtiyaç duyulan yedek parçalar tedarik edilmelidir. Ürünlerin geri toplanması da önemli bir müşteri hizmetidir. Tüketicinin korunması hareketinin yaygınlaşmasıyla işletmeler müşterilerle daha yoğun ilgilenmeye başlamışlardır (Ölçer ve Önüt, 2002).

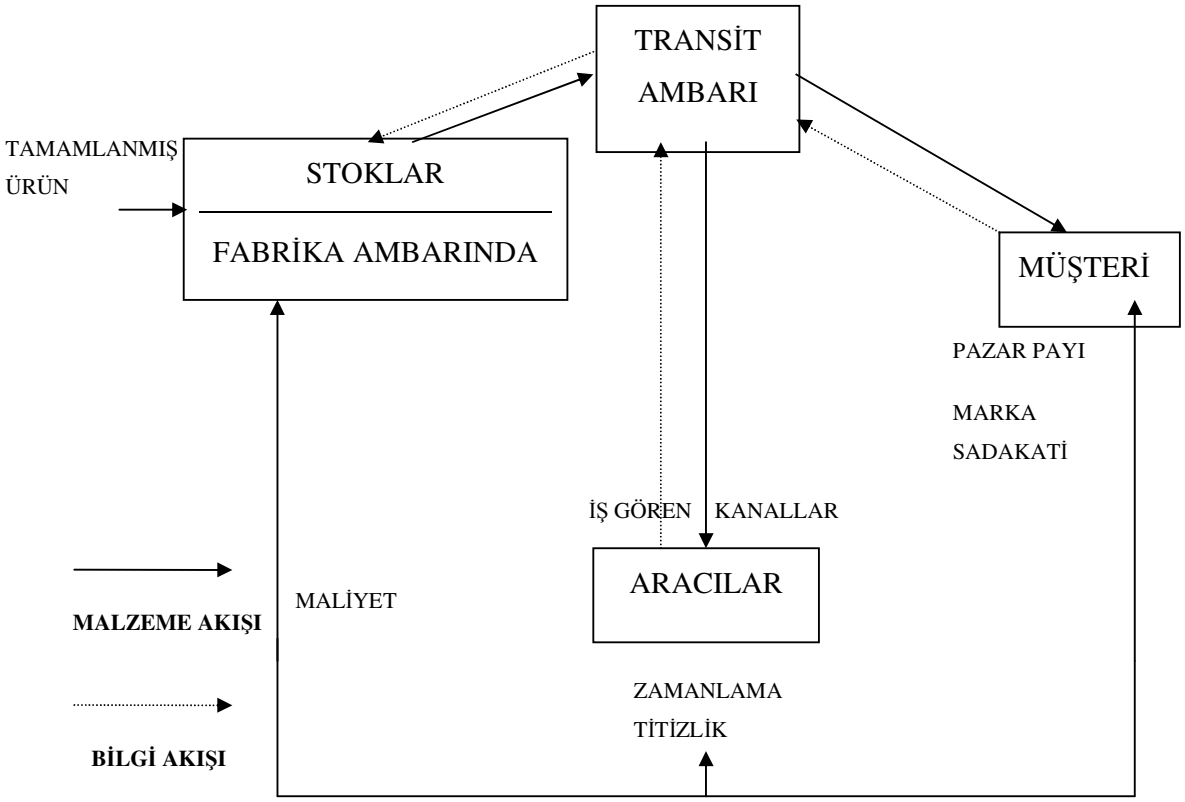
2.3.1.2 Sipariş Süreci

Müşteri sipariş ilişkilerinden oluşan siparişlerinde lojistik açıdan en önemli olay müşteri siparişlerinin yerinde ve zamanında müşteriyi memnun edecek bir sonuçla teslim edilmesidir. Sipariş işlerinin bir lojistik faaliyet olması sebebiyle sipariş işlerinde bir takım değişiklikler yapılabilir. Bu durum, ek masraflar getirmekle birlikte fiziksel dağıtım masraflarını azaltır. Eğer, firma sipariş işlerini bir lojistik faaliyet olarak ele alsa ve telefon, bilgisayarlar vasıtasıyla müşteri ilişkilerini yönlendirse sipariş işleri için gerekli olan süre yarı yarıya indirilebilir. Bu da firmaya daha ucuz taşıma vasıtası kullanma imkanı sağlar. Bu sebeple sipariş işleri faaliyetleri lojistik açısından büyük önem taşır.

İşletmenin ürün dağıtımını hızlı ve doğru olması işletmenin sağladığı müşteri hizmetleri seviyesi ile olur. Gelişmiş sistemlerde üretim ve dağıtım sürecinden ambarlama ve depolama faaliyetlerine olan süre azalır. Sürecin büyük bir kısmında satış işlemleri alıcının bilgisayarından satıcının bilgisayarı ile olur. Sık sık, diğer lojistik harcamaların korunması veya satışların artması müşteri hizmetlerini daha da geliştirir (Ölçer ve Önüt, 2002).

2.3.1.3 Fiziksel Dağıtım

1960'lı ve 1970'li yılların başlarında Fiziksel Dağıtım Yönetimi hızla benimsenmiş ve yayılmış bir lojistik kavramdı. Ve günümüzün tedarik zinciri yönetimi ile lojistik yönetiminin temellerini oluşturmaktaydı. Fiziksel Dağıtım Yönetimi üretim veya ticaret ile elde edilen malların üreticiden tüketiciye taşınmasını içeren faaliyetler dizisidir. Günümüzde de lojistik ve tedarik zinciri yönetiminin temel işlevi olsa da süreçler Fiziksel Dağıtım yönetimi çağına göre oldukça karmaşıktır. Şekil 2.4'te döneme ait fiziksel dağıtım süreci genel hatlarla gösterilmiştir (Akın, 2002).



Şekil 2.4 Fiziksel Dağıtım Süreci (Akın,2002).

Daha o dönemde fiziksel dağıtım yönetiminin marka sadakati ile pazar payını yaratan ve bunların idamesini sağlayan anahtar faaliyet olduğu görülmüştür. Fiziksel dağıtım yönetiminin firmaya bu artıları kazandırabilmesi için etkin olarak yürütmesi gereken 3 kritik unsur vardı. Bunlar;

1. Dağıtım zamanlaması
2. Titiz ve güven veren bir dağıtım
3. Maliyet; Firmalar müşteri bağlılığını ve Pazar payını arttırmak için gerekli olan yönetim maliyetlerine göre bütçe planlaması yapmalıydı.

Sonuç olarak etkin fiziksel dağıtım yönetimi işletmeler için en önemli konular arasında yerini aldı. Fiziksel dağıtım yönetiminde stok seviyelerini ve dağıtım koordinasyonunu sağlamak için 5 unsurda yoğunlaşmak gerekmekteydi:

1. Mal Miktarı: Bütün Ambarlardaki ve üretim sürecindeki mallar,
2. Nakliye: Hangi malın, hangi müşteriye, hangi kanaldan gideceği,

3. Depolama: Maliyetler üzerinde direkt etkisi,
4. Sipariş İletişimi: Gelişmiş bilgi sisteminin müşteri siparişinin gelişimine ve idamesine izin verecek şekilde düzenlenmesi,

Kullanışlılık: Bütün sistemdeki kapasitenin etkin olarak kullanımına dair yönetim yaklaşımıdır. Firmanın etkin ve ekonomik üretimi üzerinde yoğunlaşılmıştır. Mekanik üretim tekniklerinde bu yaklaşım öncelikli öneme sahiptir (Akın, 2002).

Lojistikte dağıtım kanalları çok çeşitli yollardan yapılmaktadır. Bunlardan bazıları;

Direk dağıtım: Perakendeciler araçların tamamını dolduracak miktarda siparişler veriyorlarsa, ara depolar taşıma maliyetini düşürmüyorsa kullanılır. Ayrıca büyük ve güçlü perakendecilerin ihtiyaçlarının temini için ya da hızlı tüketim mallarında olduğu gibi ulaştırma zamanı kritik önem arz ediyorsa da tercih edilebilir. Operasyon masrafından kurtulmuş olunur, daha küçük araçlarla daha fazla noktaya taşıma yapılması gerektiği için taşıma maliyeti artar.

Dağıtım merkezi- ambar kullanılarak yapılan dağıtım: Değişik tesislerden gelen ürünler bir merkezde toplanır, araçlar daha optimal yüklenir, operasyon masrafı doğmasına karşın taşıma maliyetleri düşer. Ambarlar ise daha çok stoğa yönelik imalat tipi mevcutsa kullanılır. Farklı tesislerden gelen ürünler bir ambarda depolanır ve talep doğduğunda müşteriye gönderilir.

Cross-Dock'la yapılan dağıtım: Bu dağıtım sisteminde ise mallar imalatçıdan depoya gelir, oradan da mümkün olduğunca kısa sürede perakendecilere gönderilir. Stok maliyetini ve ulaştırma sürelerini kısaltır, başlangıç yatırım maliyeti gerektirir ve yönetimi zordur. Hızlı bir taşıma sistemine ihtiyaç duyar. Araçları tam yükleyecek talebin olduğu ve çok fazla aracın kullanıldığı geniş dağıtım sistemleri için uygun bir stratejidir (Sağlam, 2003).

2.3.1.4 Envanter Yönetimi

Stok veya envanter, üretimde beklenmeyen durumlar, gecikmeler, mevsimlik dalgalanmalar ve diğer düzensizliklere karşı işletmeyi güvence altına almak üzere atıl bekletilen ancak gerektiğinde kullanılacak olan kaynakları ifade eder. Başka bir deyişle, bir üretim sisteminde üretilen mamule dolaylı veya dolaysız olarak katılan bütün fiziksel varlıklar ve mamulün kendisi stok kavramı içinde düşünülebilir. Bundan dolayı stok, işletmede bulunan hammadde, yarı mamul ve mamulleri kapsar ve söz konusu varlıkların miktarı veya parasal değeri ile ölçülür.

Envanter politikası veya envanter yönetimi, gelecekteki talebi karşılamak için ürünlerin ve gerekli maddelerin en iyi şekilde temin edilmesi temeline dayanır. Bir işletmenin etkin ve verimli bir faaliyet göstermesi, stok politikası ile yakından ilgilidir. Stok politikası, işletmenin üretim, satış ve finanssal koşullarını göz önüne alarak, işletmenin yapısına göre en ekonomik stok miktarını belirlemeyi ve bu miktarı aynı seviyede tutmayı amaçlar. Stok politikası, hammadde ve malzemenin tedarik edilmesinden, yükleme ve boşaltma işlemlerine, malzemenin işletme içindeki akışının düzenlenmesinden depolanmasına ve parçaların veya tamamlanmış ürünlerin sevkine kadar geniş bir uygulama alanını kapsar.

Envanter kavramı birden fazla anlam taşıyabilir:

1. Belirli bir zamanda eldeki stok,
2. Malların parça parça listesi,
3. Eldeki kalemleri sayma ve ölçme işlemi,
4. Finansal ve muhasebe kayıtları açısından bir kuruluşun sahip olduğu malların belli bir zamandaki stok değeri (Sağlam, 2003).

Lojistik anlamında kullanılan tanım daha çok 1 no'lu tanım olacaktır. Envanter bulundurmak hiçbir zaman bir amaç değildir ve işletmeler mümkün olan en düşük stok seviyesi ile çalışmak isterler. Zaten optimal olan da, mümkün olan en düşük stok seviyesi ile çalışmaktır. Ancak çeşitli nedenlerle işletmeler stok bulundurmak zorunda kalırlar.

İşletmelerde stok bulundurma nedenleri genel olarak iki başlık altında toplanabilir: İşletme, kararlaştırılmış bir stok planı olmadığı halde, kendi iradesi dışında oluşan bir stok bulundurabilir. Bu istenmeyen stok, işletmenin belirli bir dönemde elden çıkarmayı planladığı malların, düzensiz satışlar ve kullanımlar sonucu elinde kalması durumunda ortaya çıkar. Diğer yandan işletme, kendi yararına uygun olarak belirli bir malı belli bir sürede elinde bulundurmayı kararlaştırmış olabilir. İşletmenin bu tip stoklama politikasının amacı, mevcut ve gelecekteki ihtiyaçları karşılamak, beklenmeyen ve ani bir ihtiyacın ortaya çıkması halinde tedarik güçlüklerini göz önüne almak istemesidir. Başka bir deyişle, talebin değişebilirliği, belirsizlik şartları, işletmenin kapasitesi, çeşitli faaliyetler için zamana ihtiyacın olması gibi nedenler, stokların doğmasına neden olur.

Stok, tedarik zamanındaki belirsizliklerin doğurduğu riskleri de ortadan kaldırır. Sürekli bir üretim için, birçok işletmede hammadde ve yedek parça stokları bir zorunluluktur. Mevsimlik dalgalanmaların geçerli olduğu mal ve piyasalarda denge unsuru olarak stoklara ihtiyaç

vardır. Malın üretiminin mevsimlik olduğu durumlarda da devamı ve istikrarı, bir seviyede olan talebin karşılanması için üretim devresinde bütün dönemin talebini kapsayan ölçüde üretimde bulunmak, bunu stok halinde muhafaza etmek ve talep oldukça arz etmek gerekir.

Diğer bir stok bulundurma fonksiyonu da hammadde talepleriyle ilgilidir. Büyük miktarlardaki alımlar, alış ıskontosundan yararlanma imkanı sağlar. Böylece maliyetler düşürülebilir.

Stok bulundurmanın yararları yanında dezavantajları da vardır. Bunların başında, stok bulundurmanın meydana getirdiği maliyetler yer alır. Stoklar çok fazla yer kaplayabilir, depolama ve sigorta giderleri yüksek olabilir. Ayrıca gereğinden fazla depo personeli kullanmak gerekebilir. Stoklar, durdukları yerde bozulup eskime, değer kaybetme, çalınma gibi durumlarla da karşılaşabilir. Sermayenin gereğinden fazla stoklara bağlanması da fırsat maliyetini oluşturur.

Envanter kontrolü ve envanter yönetimi, kuruluşun sahibi olduğu stokların maliyet, zaman ve hizmet açısından rekabet avantajı sağlamak üzere optimal kullanımı için sürdürülen yönetim faaliyetlerini kapsar.

Envanter kontrol faaliyetleri, müşteri ve üretim ihtiyaçlarının tedariki için gerekli finanssal hareketlerin sürdürülmesi açısından önemlidir. Başarılı envanter kontrolü, diğer lojistik faaliyetlerdeki gerekli envanter seviyesini arzu edilen müşteri hizmetleri seviyesine getirir ve bununla beraber en uygun maliyeti sağlar (Günhan, 2002).

2.3.1.5 Talep Tahmini

Talep tahmini müşterinin gelecekte ihtiyacı olacak ürün miktarının ve buna bağlı olarak ihtiyaç duyulacak hizmetlerin belirlenmesidir. Talep tahmini, tüketicilerin gelecekte ne miktar mal ve hizmet talep edeceklerinin kestirilmesi işlevidir. Bu tahmin işletmenin üretim seviyesinin saptanmasında temel oluşturur. Hangi ürünün üretileceği, tüketicilerin bu üründen ne miktar talep edecekleri ve bu talebin çoğunlukla hangi tarihlerde gerçekleşme olasılığının bulunduğu talep tahminleri ile yorumlanır.

Satış tahminleri, periyodik pazar işlemleri bilgisine bağlıdır. Satış tahminleri, yöneticiye kolaylık getirir ve lojistik yönetici ihtiyaçlara uygun malzeme tahmini yapmak zorundadır. Malzeme kontrolü, talepler için çok önemlidir. Lojistik personel talep tahmini işlemini verimli bir kontrol için de geliştirmelidir (Sağlam, 2003).

2.3.1.6 Depolama ve Fiziksel Dağıtım

Depo, hammadde, yarı tamamlanmış ve tamamlanmış mamullerin bulunduğu yerdir. Depolama, fiziksel dağıtımın en önemli hareket merkezlerinden biridir. Dağıtımın iyi bir biçimde yapılabilmesi kullanılan depoların amaca uygunluk göstermesiyle olanaklıdır. Depolama işlevinin temel amacı büyük miktarlarda ve müşteri siparişlerine göre düzenlenmiş mamullerin depoya ve depodan pazara olan hareketlerinde kolaylık sağlamaktır.

Ürünler müşteri ihtiyacı olamadıkça fabrikada veya müteakip satılacağı ve tüketileceği alanda depolanmalıdır ve ihtiyaca göre üretilmelidir. Özel depolama faaliyetleri ile işletmenin kendi depolama kabiliyetleri, depo kiralama veya boş alan kiralama gibi alternatifler incelenir. İşletmenin kendine ait alanlarda depolama yapması dizayn, emniyet ve bakım, güvenlik sistemleri, personel eğitimi ve üretkenliğin ölçülmesi konularını kapsar.

Lojistik sürecinin en önemli bileşenlerinden biri ürünlerin hareketlerini başlangıç noktasından satış noktasına kadar takip etmektir. Dağıtım faaliyetleri, ürünlerin hareketlerinin ve bu kapsamda yapılan faaliyetler çerçevesinde ulaşım metodunun belirlenmesidir. Doğru yolun seçimi için, birçok yerel, bölgesel ve uluslar arası yerli ve yabancı hizmetlerden haberdar olmak gereklidir. Lojistik süreç içerisinde dağıtım genelde tek başına yüksek maliyetli bir işlemdir. Bu nedenle önemli bir bileşen olup etkin olarak yönetilmesi gereklidir. Bu bağlamda dağıtım faaliyetlerinin kilit noktasında depolama sistemi karşımıza çıkmaktadır. Depolama işleminin, lojistik sistemi içinde temel olarak beş fonksiyonu vardır:

1. Depo, lojistik sistem içinde değer ekleme alanı görevi görür.
2. Müşteri siparişlerinin ürün karışımının hazırlanmasını sağlar. Müşterinin birçok farklı üründen oluşan siparişinin hazırlanması için deponun birçok farklı alanından değişken sayıda ürün alınması gereklidir.
3. Deponun üçüncü fonksiyonu hizmet sağlamaktır. Müşteri hizmetinin ne kadar önemli olduğu açıktır. Müşteri siparişini geçtiğinde, müşteriye mantıklı uzaklıkta olan bir depoda ürünün var olması, müşteriye zamanında teslimat yapılabilmesi ve müşteri tatmini ile sonuçlanacaktır ve gelecekte satışı olumlu yönde etkileyecektir.
4. Depolamanın dördüncü fonksiyonu olumsuz ihtimallere karşı koruma sağlamasıdır. Nakliye gecikmeleri, satıcı stoksuzluğu, grevler gibi olumsuz durumlarda kanala depolardaki stoklardan mal verilmesi uygun olur.
5. Depolamanın bir başka fonksiyonu ise üretimin ara aşamalarındaki yan ürünlerin

stoklanması ile çeşitli durumlarda iş merkezlerinde meydana gelebilecek duruşlardaki kayıpların azaltılması ve üretimin tam kapasite çalışmadığı durumlarda yarı ürün stoğu yapılarak çok yoğun zamanlardaki mesailerin önlenmesidir (Sağlam, 2003).

Depo yönetiminin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi, farklı müşteri ihtiyaçlarının, depo alanı kullanımının, stok düzeyi yönetiminin, tedarik zinciri yönetiminin, yüksek depo ve dağıtım maliyetlerinin, yeni bilgi teknolojilerinin doğru bir şekilde gerçekleştirilmesine bağlıdır. Etkin bir depo yönetimi için depolanacak olan hammadde, yarı mamul ve ürün depolanması ve tekrar toplanarak siparişlerin hazır edilmesi en önemli olaydır. Bu nedenle parçanın depodan hızlı bir şekilde çekilmesi gereken durumlarda, depodan ürünlerin toplanma verimliliği, tüm lojistik zinciri içerisinde önemli bir rol oynamaktadır.

Dağıtım şirketlerinin başarısının altında yatan yöntemler envanter ve üretim kontrolü ve depo yönetimidir. Malzeme taşıma ve depolama faaliyetlerinin fiziksel süreci de depolama olarak belirtilmektedir. Depolama faaliyetleri malzemelerin fiziksel depolama ve çekme işlemleri yanı sıra depolanmış ürünle ilgili bilgilerin takip edilmesi ile de ilgilidir. Genel olarak depolama aşağıdaki altı faaliyeti kapsar:

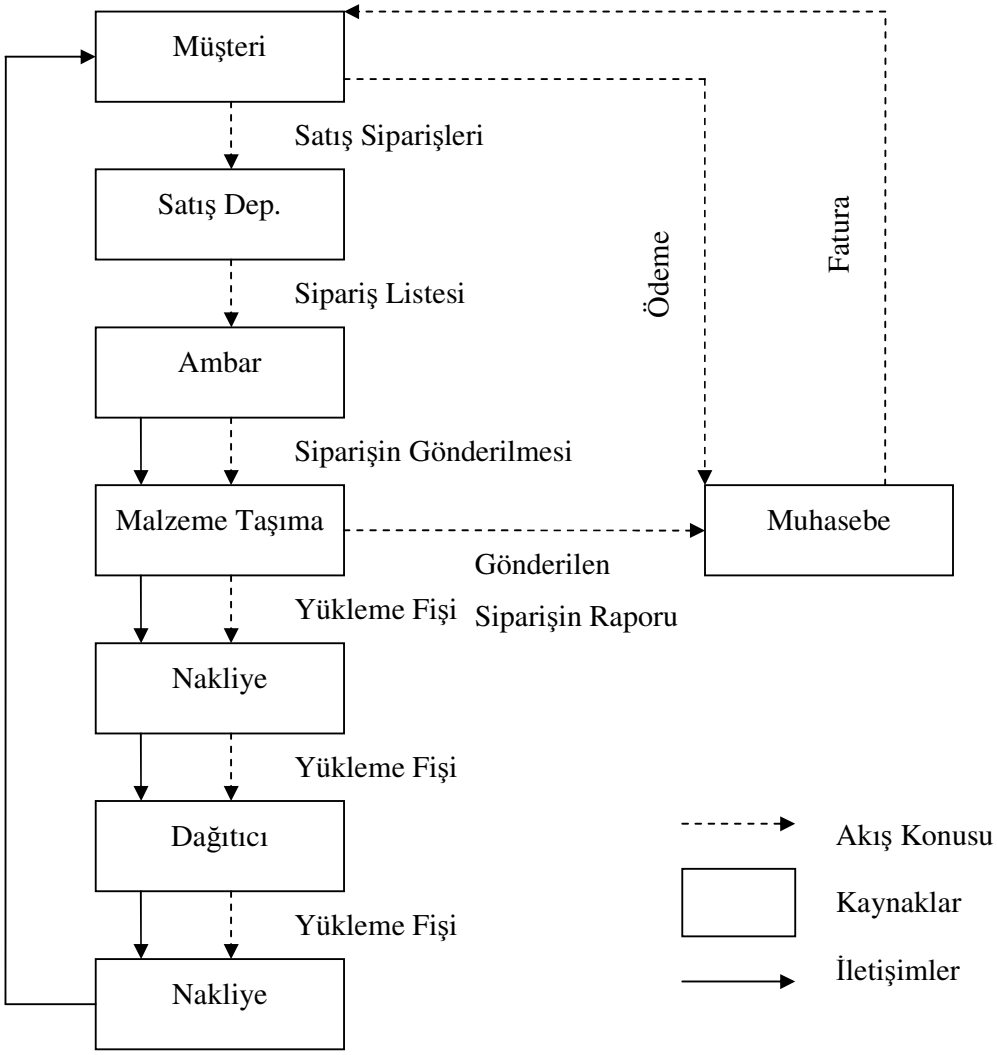
1. Kabul
2. Nakliye
3. İşleme
4. Depolama
5. Paketleme
6. Gönderime Hazırlama

Bu işlemlerin karmaşıklığının azaltılması için otomatik depolama ve çekme sistemlerinin kullanılması önerilmektedir (Arslan, 2002).

Eğer konu bir işletmedeki ürünlerin akışı ise, bu akışa “Fiziksel Dağıtım Sistemi” denir. Fiziksel dağıtım sistemlerinin konusu, işletmede üretilip bitirilmiş ürünlerdir. Fiziksel dağıtım sistemlerinin kaynakları ise

1. Müşteriler
2. Satış ve muhasebe departmanları ve ambarlar
3. Bitmiş ürünlerin taşınması için gerekli malzeme taşıma ve nakliye ekipmanları
4. Bitmiş ürünün dağıtıcılarıdır.

Fiziksel dağıtım sisteminin iletişim olayları da şunları kapsar, satış siparişleri, paketleme listeleri, teslimat raporları, teslimatlar, kanbanlar, Elektronik veri transferi (EDI) faturaları ve yükleme fişleridir. Fiziksel dağıtım sistemi ile ilgili şematik gösterim şekil 2.5 dedir.



Şekil 2.5 Fiziksel Dağıtım Listesi (Tanyaş, 2002).

2.3.1.7 Fabrika ve Ambar Yeri Seçimi

İşletmenin kendine ait bir ambarının bulunmaması durumunda en uygun bir yerde ambar kiralamak son derece önemlidir. Stratejik yerleşim planlamasında ambarın yeri işletmenin müşterilerine verdiği hizmetin seviyesinin gelişmesini sağlar. Doğru yerin seçimi aynı zamanda malın fabrikadan ambara ve ambardan müşteriye transfer ücretinin düşük olmasını sağlar.

Yer seçimi konusunda öncelik olarak işletmenin çeşitli pazarlara olan mesafesi incelenir. Müşterinin ihtiyaçları ve ihtiyaç duyulan hammaddenin mesafesi önemli etkenlerden olup, aynı zamanda işletmenin ulaşım kanalarına olan yakınlığı, bulunduğu bölgedeki ambarlama imkanı da önemlidir. Önemli olan bir diğer faktör ise; işçi ücretleri, dağıtım hizmetleri, vergiler, güvenlik, yasal sorunlar, bölgesel faktörler, yeni endüstrilere ve gelişime bakış açısı ile arazi kiralarıdır. Fabrika ve ambar yeri seçimindeki yanlışlıklar, gelecekte önemli maddi kayıplara, çevresel sorunlara, gelişme güçlüklerine yol açacaktır (Günhan, 2002).

2.3.1.8 Malzeme Yönetimi

Malzeme yönetimi; hammadde akışı, süreç içersindeki envanter ve hazır hale gelen ürünün pazara veya ambarlara ulaşımının bütün yönleriyle ilgilidir. Malzeme yönetiminin temel amacı;

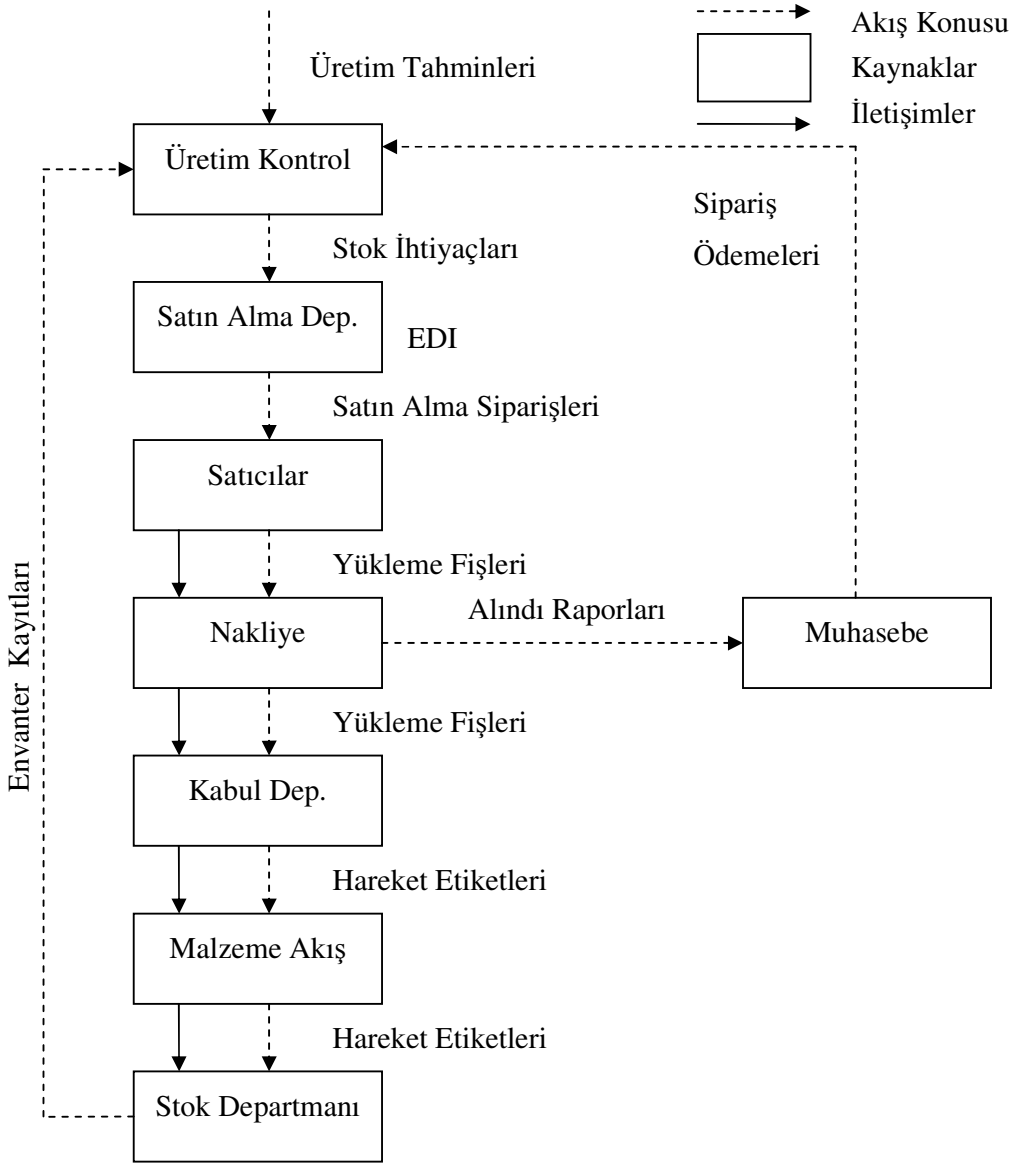
- Stok miktarını minimize etmek
- Dağıtım, transfer mesafesine minimize etmek
- Süreçteki malzemeleri minimize etmek
- Tek bir üretim hattının olmasını sağlamak
- Kullanılmayan malzeme kayıplarını, kırık, çalıntı ve hırsızlığı minimize etmek.

Düşük değerli malzeme elde etmede malzeme yönetim maliyetleri ile toplam ürün maliyeti oranı önemlidir. Düşük kaliteli malzeme ile çalışmak; doğrudan kayıp veya hasarlı ürüne, müşteri memnuniyetsizliğine, üretim gecikmesine, atıl işgücü ve teçhizata neden olur. Etkin bir malzeme yönetimi, maliyetlerin azalmasında ve üretim artmasında önemli bir rol oynar.

Malzeme yönetimi, bir malzemenin akışının planlanması, tedarik edilmesi, depolanması, miktar ve zaman yönlerinden kontrol edilmesidir. Hammadde ve diğer araç ve gereçlerin üretime hazır olduğu zaman ile bunlara ihtiyaç duyulan zamanın olabildiğince birbirine yakın olmasına çalışır. Malzeme taşımanın üretim üzerine etkisi büyüktür. Malzeme taşıma süreçleri tezgahların ve onları çalıştıran işçilerin verimine, tezgahlar arasında bulunması gereken yarı mamul envanterinin miktarına, genel imalat giderlerine doğrudan etki ederler. Bu nedenle taşıma şeklinin mümkün olduğu kadar ekonomik, taşıma uzaklığının mümkün olduğu kadar kısa ve taşıma için ayrılacak tesis alanının da mümkün olduğu kadar küçük olması sağlanmalıdır. Gelişen teknoloji malzeme taşıma şekillerini de değiştirmiş ve geliştirmiştir. Bilgisayar destekli sistemlerin kurulmasıyla malzeme taşıma da daha etkin, daha verimli ve

daha ekonomik bir hal almıştır.

Malzeme yönetimi sistemindeki iletişim olayları, üretim tahmini, envanter kayıtları, stok talepleri, sipariş emirleri, yükleme faturaları, hareket etiketleri, alındı raporları, kanbanlar, elektronik veri değişimi ve sipariş ödemeleridir. Malzeme yönetim sistemi şematik olarak şekil 2.6 da gösterilmiştir (Tanyaş, 2002).



Şekil 2.6 Malzeme Yönetim Sistemi (Tanyaş, 2002).

Malzeme yönetim sistemi içinde MRP (Malzeme İhtiyaç Planlaması) çok büyük önem taşımaktadır. MRP'nin gelişim 1950 yıllardan itibaren başlamıştır. 1950'lı yıllara kadar tüm üretim planlama ve kontrol aktiviteleri klasik ve manuel yöntemlerle sürdürülmekteydi.

Bilgisayarların veri tutma kapasitelerinin artmasıyla birlikte, 1950'lı yıllarda Amerika'da bir stok kontrol sistemi olarak Malzeme İhtiyaç Planlaması sistemi geliştirildi. Kısaca, Malzeme İhtiyaç Planlaması aşağıdaki sorulara cevap verebilmeyi sağlamaktadır :

1. Hangi ürünler ne miktarlarda üretilecek?
2. Bunları üretmek için gereken malzemeler nelerdir?
3. Herbir malzeme türünden ne kadar stok var?
4. Eksik malzemeler ne şekilde karşılanacak?

Bu açıdan Malzeme İhtiyaç Planlaması, doğru malzeme siparişleri üreten güçlü bir araçtır.

Satınalma sistemi, Malzeme İhtiyaç Planlaması'nın sonucunda, tedarikçilerden ne zaman ve hangi malzemeler için sipariş verileceğini belirler. İş emirlerinin onaylanmasından sonra üretim süreçleri tamamlanır.

Atölye kontrol sistemi, gerçek üretim verilerinin sisteme girilmesini gerekli kılmaktadır. Bu şekilde, Malzeme İhtiyaç Planlaması gerçek verileri kullanır. Kapasite planlaması, işçilik, makina ve diğer kaynaklara olacak ihtiyaçları belirler ve planlanan üretim aktiviteleri ile fiili üretim arasındaki döngüyü tamamlar.

1979'da simülasyon ve finansal konular da Kapalı Devre Malzeme İhtiyaç Planlaması sistemine eklenince, Üretim Kaynakları Planlaması (MRP II) ortaya çıkmıştır. MRP II, imalatın kaynaklarını planlama aracıdır.

Malzeme İhtiyaç Planlaması'na ek olarak, MRP II, tüm planların simülasyonu ve finansal yönetim, atölye kontrol, satın alma, kapasite planlaması gibi konuları da içermektedir. MRP II'nin temel faydası, imalatın tüm kaynaklarını kontrol eden bir araç olmasından doğmaktadır (Arslancan, 2003).

2.3.1.9 Tedarik (Satın Alma)

Her işletmede bir yere kadar diğer işletmeler tarafından sağlanan hizmet ve malzemeye ihtiyaç duyulur. Tedarik, firmanın üretim ve dağıtım süreçlerinin etkin olarak devam etmesi için malzeme ve hizmet alımıdır. Tedarik fonksiyonu, kaynak seçimi, kazanç sağlayacak malzeme formunun belirlenmesi, alım zamanlaması, fiyat belirleme, kalite kontrolü ve daha birçok faaliyeti kapsar (Günhan, 2002).

Satın alma, tedarikçilerin tedarikçilerinden başlayıp, müşterilerin müşterilerine kadar uzanan

tedarik zincirinin yerel parçasıdır. Bu zincirin iyi yönetilmesi, yapılan işin maliyetini düşürmek ve müşteriler için bir değer ekleme işlevi yerine getirmek demektir (Sağlam, 2003).

2.3.1.10 Paketleme ve Etiketleme

Paketleme, birçok açıdan bakılarak farklı yönlerden tanımlanabilen bir konudur. Pazarlama açısından müşteriye ürün hakkında bilgi sağlamak ve ürünü satma araçlarından biri olan paketleme, üretim için üretim etkinliğine boyut, şekil vb. özellikleri ile etkide bulunan bir fonksiyona sahiptir. Yasal açıdan bakıldığında, ürünün içeriğinin yasalara uygun şekilde kullanıcıya yansıtıldığı bir ortamdır.

Paketlemenin iki temel fonksiyonu vardır. Bunlar; pazarlama ve lojistiktir.

Pazarlama felsefesinde paketleme, ürünün teşvikinde ve reklamında kullanılan bir yöntemdir. Ürünün şekli, ağırlığı, rengi ve görüntüsü müşteriyi etkiler ve ürün hakkında bilgilendirir.

Lojistik açısından paketlemenin iki rolü vardır. Birincisi, ürünün nakliyesi ve depolanması esnasında dış etkilerden korunması, ikincisi ise; ürünün depolanması ve transferi esnasında kullanılacak işçi ve malzeme maliyetinin azaltılmasıdır. Ürün paketlenmediği takdirde taşıma esnasında yaşanacak zorluklar nedeniyle işçilik maliyetleri, nakliye ve depolanma esnasında üründe meydana gelebilecek hasarlar nedeniyle malzeme maliyetleri artacaktır genellikle ihraç edilecek malların paketlerinin daha dayanıklı olması önemlidir (Günhan, 2002).

Ambalaj üzerinde yeterli bilgilendirmenin olması, depolama ve lojistik personeline ürünle ilgili yeterli bilginin sağlanması açısından gereklidir. Bu amaçla ambalaj üzerinde bulunan sayısal kodlar, renk kodları, semboller ya da bu yöntemlerin kombinasyonu kullanılabilir. Müşteri odaklı yaşamın getirdiği gereklerden biri de, ambalajın müşterinin taşıma olanaklarına elverişli olarak tasarlanmasıdır. Malzeme aktarımı ve nakliye aşamalarında ürünün zarar görmemesi için ambalajın ürünü koruyucu nitelikte olması şarttır (Sağlam, 2003).

2.3.1.11 Artık Parça Yönetimi

Her ürün için üretim ve lojistik süreçlerde kullanılmayan malzeme mevcuttur. Eğer bu kullanılmayan malzemeler başka ürünler için de kullanılmamakta ise, başka şekillerde değerlendirilmelidir. Lojistik süreçte her türlü artık madde veya kalıntı etkili bir şekilde değerlendirilmeli, nakledilmeli veya depolanmalıdır. Eğer bu artık maddeler işlenmek suretiyle kullanabiliyorsa, lojistik yöneticiler bu maddeleri yeniden imal edilmesi veya

işlenmesi için ilgili bölümlere sevk ederler (Günhan, 2002).

2.3.1.12 Geri Dönen Kaynakların İşlenmesi

Geri dönen kaynakların işlenmesi, lojistik sürecinin önemli kısmı olan geri dağıtım anlayışı ile olur. Alıcılar üründeki hata, aşırı yıpranma, hatalı ürün alımı veya başka nedenlerden dolayı ürünü satıcılara iade edebilirler. Birçok endüstride ürünün geri dönmesi sonucunda, yerine yenisi ile değiştirilmesi, onarılması, yedek parça değişimi yüksek maliyetlere neden olur. Hatalı ürünün müşteriden üreticiye olan iadesi esnasında oluşan maliyet; ürünün, üreticiden müşteriye sunulması için yapılan maliyetin yaklaşık dokuz katıdır. Genellikle iade edilen ürünün nakliyesi, ambarlaması çok kolay olamaz ve yüksek lojistik maliyetlere neden olur. Müşteri taleplerinin daha değişken ve iade politikalarının daha çok görülmesiyle geri dağıtım çok daha önemli hale gelmiştir (Günhan, 2002).

2.3.2 Ulaştırma Sistemleri

Taşıma, ürünün ihtiyaçları tatmin etmek amacıyla zaman ve mekan faydası sağlayacak şekilde yer değiştirmesini sağlayan bir fonksiyondur (Tek, 1997).

Taşımacılık yönetimi malların başlangıç noktasından hedef noktaya fiziksel hareketinin yönetimidir. Taşımacılığın fiziksel dağıtımdaki yeri önemlidir. 1973 yılında dünyanın 500 büyük endüstri firması, ürünlerini pazara taşımak için 70 milyar dolara yakın harcama yapmışlardı. 1980'lerin başında bu rakam 214 milyar dolara varmıştı.

Taşımacılığın fiziksel dağıtım için beş temel şekli kullanılır: Karayolu, Havayolu, Denizyolu, Demiryolu, Boru hattı. Demiryolu, havayolu ve su taşımacılığı genellikle uzun mesafelerde, karayolu ise kısa mesafelerde kullanılır (Menemencioğlu, 1999).

Taşıma dar anlamda bir nesnenin bir yerden başka bir yere nakli demektir. Geniş anlamda taşımacılık, müşteri ihtiyaçlarının giderilmesi amacıyla üretilen malların ihtiyaç duyulan bölge ve merkezlere zamanında ulaştırılmasıdır. Bu yönüyle taşımacılık ulaştırma sürecinin yanında yükün taşınması için gerekli evrakların (yük, araç, sürücü, gümrük vb) hazırlanmasından müşteri deposuna teslimine kadar çeşitli hizmetleri de içeren karmaşık ve daha kapsamlı bir sektör haline gelmiştir.

Taşıma sistemi içinde yer alan karayolları, demiryolları, kıtalar arası hava ve deniz koridorları somut ve görünür ulaştırma ağlarını ifade etmektedir. İki nokta arasındaki alternatif yollar ise rota/güzergah olarak karşımıza çıkmaktadır. Taşıma sisteminde bir ulaşım ağı içinde birçok

yol ve rotanın kesiştiği ara noktalar ve merkezler bulunmaktadır. Taşıma terminalleri olarak adlandırılan bu merkezlerde taşımacılık hizmetleri (yükleme, indirme-boşaltma, elleçleme, depolama) ve aktarma işlemleri yapılmaktadır (Çancı ve Erdal, 2003).

Transport lojistiklerindeki bir anahtar karar alanı özel müşterek taşıyıcıların karlarını arttırmaya yönlendirir. Sahiplenmiş kamyonla taşıma karları transit geçişteki navlunun doğruluğu ve yön çizme program yapmanın üzerindeki kontrol ve güvenlik düzeltilir (Lal, 1991).

Bir malın başlangıçtan sona ulaştırılmasında çeşitli taraflar rol almaktadır:

Gönderici (shipper), kendi ekipmanını kullanarak malı doğrudan alıcıya gönderebilir, taşıma işletmesi (common carier) kullanarak gönderebilir, nakliyeci (forwarder) kullanarak gönderebilir. Bir nakliyeci genel olarak çeşitli göndericilerden aldığı yükleri birleştirir ve kendi ekipmanıyla veya taşıma işletmesini kullanarak gönderir (Yıldırım, 2003).

Başlıca taşıma kararları dağıtım türü seçimi, sevkiyat, taşıyıcı güzergahı (rota) seçimi, araç yükleme çizelgelemedir.

2.3.2.1 Dağıtım Türü Seçimi

Taşıma türünün belirlenmesi çeşitli kriterlere bağlıdır. Bunların en önemlileri: Taşıma sistemi içerisinde gerçekleşen (taşıma, taşıma terminalleri, depolama, gümrükleme, dağıtım, paketleme..vb.) tüm maliyetler; Sözleşme kapsamında belirtilen yerler arasındaki taşıma işleminin süresi ya da teslim hızı; Taşıma güvenliği; Hizmet verilen yerlerin sayısı ve çeşitliliği; Taşınacak yükün taşıma türüne uygunluğu; Malın değeri, malın hacmi, malın ağırlığı ve büyüklüğü; Malın raf ömrü ve iklim şartlarına uygunluğunun kontrolü; Malın hasarlara karşı dayanıklılığı; Düzenli hat seferlerinin sıklığı ve bu seferlere uyulabilmesidir (Çancı ve Erdal, 2003).

Dağıtım türü seçimi problemi dağıtım türlerinin kapasitelerini, maliyetlerini, elleçleme gereksinimlerini, ve mesafelerini hesaba katarak yükü en iyi ulaştırma türünü seçerek ulaştırmaya odaklanmıştır. Ulaştırma türünün seçiminde bazı faktörler önemlidir; hizmetin sıklığı, hız nakliye süresi, nakliye süresi değişkenliği, maliyet, uygunluk, güvenlik, emniyet ve müşteri hizmetleri. Faktör analizi, ağırlıklı faktör analizi, ve analitik hiyerarşi süreci de ulaştırma türü seçiminde kullanılabilir. Birden fazla ulaştırma türü devreye girdiğinde problem karmaşık bir hal alır ve aktarma maliyetleri de önem kazanır. Aktarma maliyetleri, aktarma noktası ve aktarma noktasına getiren ve götüren ulaştırma şekillerine bağlı olarak

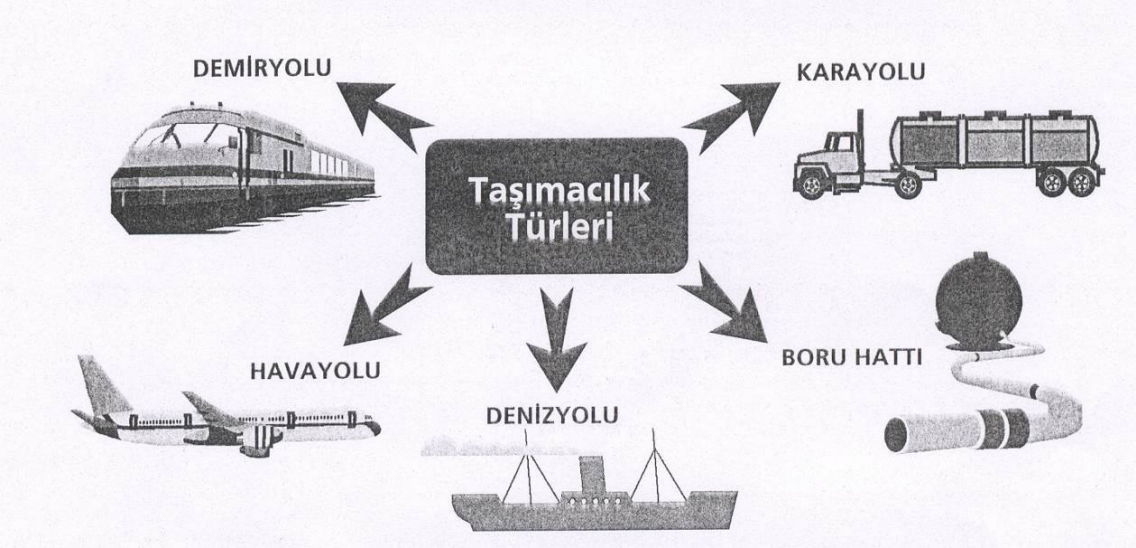
değiştiğinde karmaşıklık daha fazla artmaktadır. Nakliye süresi ulaştırma türüne de bağlı olduğu için ulaştırma türü seçimi kararları ulaşımdaki envanter maliyetini kaynaktaki ve tüm tüketim merkezlerindeki envanterleri de etkilemektedir. Hızlı ulaştırma türü düşük envantere ihtiyaç duymaktadır (Yıldırım, 2003).

Taşıma türünün belirlenmesinde maliyet, hız, güvenilirlik, izlenebilirlik, emniyet ve esneklik değişkenleri büyük önem arz etmektedir (Çancı ve Erdal, 2003).

Gerçek hayatta, verilen iki nokta arasında birden fazla ulaştırma türü olabilir. Bu ulaştırma türleri arasında envanter ve taşıma maliyeti de hesaba katılarak bir seçim yapılması gerekir. Ulaştırma türleri ve birbirine bağladıkları noktaların sayısı az olduğu takdirde bu hesabın yapılması çok zor değildir. Fakat verilen nokta ve aralarındaki alternatif ulaştırma türlerinin sayısı artarsa çözümü bulmak oldukça zorlaşır. Burada en ucuz yolu düşünmek gerekmektedir ve aynı zamanda ulaştırma türlerinin arasındaki geçişler ve ulaşım sırasında oluşan aktarma maliyetleri de göz önüne alınmalıdır. Bütün bu kısıtlar düşünüldüğünde problem giderek karmaşıklaşır [1].

2.3.2.2 Alternatif Taşıma Şekilleri

Taşıma türünün (kara, hava, deniz, demiryolu veya boru hattı) belirlenmesi çeşitli kriterlere bağlı olup bu kriterler arasında en önemlileri aşağıda açıklanmıştır. Şekil 2.7 de taşıma türleri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Taşıma Türünün Belirlenmesi (Çancı ve Erdal, 2003).

2.3.2.2.1 Karayolu Taşımacılığı

Karayolu taşımacılığı bugün dünyanın birçok yerinde en çok kullanılan taşıma şeklidir. Bu taşımacılıkta kamyon, kamyonet, tır, çekici, tanker, motorlu araçlar kullanılır. Karayolu taşımacılığı ile tüm üretim ve tüketim merkezleri kendi içlerinde ve aralarında birbirlerine bağlanabilmektedir.

Karayolu taşımacılığı çok az zarar ve kayıpla güvenilir ve hızlı bir hizmet sunar. Karayolu taşımacılığı aynı zamanda çok esnektir; çünkü, karayolu ağı çok gelişmiş olduğu için diğer taşıma alternatiflerine oranla müşteriye daha çok yakınlaşabilir, müşterinin kapısına kadar hizmet götürülebilir.

Karayolu taşımacılığının zayıf sayılabilecek yönleri enerji tüketiminin yüksek olması ve uzak mesafelerde ekonomikliğini kaybetmesidir. Ayrıca kötü hava şartları da olumsuz etkilemektedir (Lambert, Stock ve Ellram, 1998).

Günümüzde karayolu taşımacılığı ağırlıklı olarak TIR'larla yapılmaktadır. TIR'lara, duruma göre paletler ve konteynırler yüklenir. Karayolu taşımacılığı iklim ve coğrafi etkenler yanında sosyo-politik durumlardan da etkilenmektedir. Örneğin İsrail'den geçen bir TIR'ın, Arap ülkelerinden geçiş izni alabilmesi imkansıza yakın bir durumdur. Savaş, anarşik olaylar, doğal afetler vb. yine kara taşımacılığını etkiler. Ayrıca herhangi bir sınırdan geçişte hazırlanacak dokümanlar ve yaşanan gecikme maliyet artışını pekiştirici etki yapar (Kocaoğlu, 2003).

2.3.2.2.2 Demiryolu Taşımacılığı

Şehirlerarası ve ülkelerarası uzun mesafelerde bu taşımacılık türünden yararlanılır. Demiryollarının maliyetleri sabit olduğundan ancak kitlesel taşıma yapıldığında ekonomik olur. Zayıf yönleri ise yol ve zaman dayanıklılığı az olan malların taşınmasında elverişli olmamasıdır. Ayrıca büyük sermaye gerekli ve arazi eğimlerinin çok olduğu yerlere tren yolu ağı kurmak çok zordur (Lambert, Stock ve Ellram, 1998).

2.3.2.2.3 Denizyolu Taşımacılığı

Su yolları taşımacılığı bir çok kategoride incelenebilir: nehirler ve kanallar gibi ülke içi su yolları, göller, kıyısal ve kıyılar arası okyanus, uluslar arası deniz taşımacılığı. Su yolları taşımacılığı hızın çok kritik olmadığı demir cevheri, tohum, kömür, hamur odunu, kireçtaşı gibi düşük değerli olan kitlesel bir yığın halinde taşınabilen ürünler üzerine yoğunlaştırılmıştır. Bozulmayan ve dökme halindeki yığın mamuller için en uygun ve

ekonomik taşıma şeklidir. Bu anlamda tren yolu ve boru hattı taşımacılığıyla rekabet etmektedir.

Su yolları taşımacılığının zayıf yönlerinden biri yavaş olmasıdır. Hava koşullarında da olumsuz etkilenebilir. Ayrıca liman, iskele gibi pahalı terminal tesisleri gerektirir. Maliyetleri düşürmek ve zaman kazanmak için birçok yurtiçi ve çoğu uluslar arası sevkıyatlarda konteynır gemileri diğer kargo gemilerine oranla daha çok tercih edilmektedir. Koyternır gemileri ile taşımacılıkta; bir ülkedeki sevkıyatçı kargosunu kendisine ait olan veya kiralamış olduğu konteynıra yerleştirir ve bu konteynır karayolu veya demiryolu ile konteynır gemisine yüklenmek üzere limana götürülür, limanda konteynır olduğu gibi gemiye yüklenir ve gidilecek limana varıldığında yine olduğu gibi gemiden indirilip tren yolu veya karayolu ile müşteriye ulaştırılır. Böyle bir sevkıyat şekli sayesinde, gönderilen malın konteynır içindeki hareketi söz konusu değildir, dolayısıyla bunun getireceği zaman kayıpları engellenmiştir. Ayrıca konteynır kullanımı işgücü ihtiyaçlarını azaltmakta ve taşıma esnasında meydana gelebilecek zarar ve hırsızlık riskini en aza indirmektedir (Lambert, Stock ve Ellram, 1998).

2.3.2.2.4 Hava Taşımacılığı

Havayolu ulaştırması, uluslar arası ve kıtalar arası taşımacılıkta önemli bir yol oynamaktadır. Malın havayolu ile gönderilmesinde malın yapısı, ambalajı , nakliye süresinin kısalığından dolayı elde edilecek tasarruflar, alıcı ve satıcı için stoklamadaki tasarruflar gibi etmenler dikkate alınır.

Havayolu taşımacılığı öteki taşıma şekillerine kıyasla en hızlı taşımacılık türüdür. Hızlı olduğu için, imalatçıların minimum stoklarla iş görmelerini ve üretim planlamasını kolaylaştırır. Uzak yerlere en kısa yoldan ulaşımı sağlar. Özellikle ilaç, kitap, çiçek, yaş meyve ve sebze, çabuk bozulan gıda ürünleri, canlı kümes hayvanlarının taşınmasında önemi büyüktür. Güvenli ve hızlı hizmet sağlar. Zayıf yönleri ise yatırım açısından büyük sermaye gerektirmesi, yakıt tüketiminin ve işletme maliyetinin yüksek olmasıdır.

Hava yolu ile genellikle yüksek değerli ürünlerin taşınması ekonomiktir. Düşük değerli ürünleri için değildir, çünkü hava nakliyesinin yüksek fiyatı bu düşük değerli ürünlerin fiyatının çok yüksek bir yüzdesini oluşturur (Lambert, Stock ve Ellram, 1998).

2.3.2.2.5 Boruhattı Taşımacılığı

Boruhattı taşımacılığı özellikle ham petrol, benzin, fuel oil, gaz yağı, doğal gaz gibi sıvı ve gaz maddelerin uzak mesafelere kesintisiz olarak taşınmasında büyük rol oynamaktadır.

Ayrca boraks, fosfat gibi büyük hacimli katı maddeler ile pnömatik maddeler gibi küçük hacimli katı maddelerin taşınmasında da boru hattı kullanılmaktadır. Boru hattı taşınmacılığında bir devamlılık söz konusudur. Ürün hareketi pompa istasyonlarınca otomatik olarak sağlanır, dolayısıyla yoğun bir işgücüne gereksinim duyulmaz.

Boruhattı taşımacılığı ürünlerin zamanında teslim edilmesinin başlıca nedenleri şunlardır(Lambert, Stock ve Ellram, 1998):

1. Boru hattındaki ürün akışının bilgisayar tarafından görüntülenip kontrol edilmesi
2. Boru hattındaki çatlamalar ve kırılmaların neden olduğu kayıp ve zararlara çok ender rastlanılması
3. Hava şartlarının boru hattında akan ürün üzerine etkisi çok az olması
4. Boru hattı taşımacılığında çok işgücüne gereksinim duyulmadığından dolayı grev ve işçi yokluğu gibi nedenlerin operasyonları pek etkilememesi

Boru hattı taşımacılığının en üstün yanı ucuz ve sürekli oluşu ve enerji tüketiminin düşük oluşudur. Fakat boru döşeme, pompa ve dağıtım istasyonları için gerekli olan ilk yatırım miktarı fazladır (Lambert, Stock ve Ellram, 1998).

2.4 Taşıma Kararları

Lojistik faaliyetlerinden fiziksel dağıtım yöneticisinin taşıma fonksiyonu ile alması gereken kararları 3 ana başlık altında toplamak mümkündür:

1. Taşıma türünün belirlenmesi,
2. Araç yükleme ve çizelgeleme,
3. Araç rotası belirleme.

2.4.1 Taşıma Şeklini Seçme Kriterleri

Taşıma Şeklinin seçilmesinde dikkate alınan başlıca kriterler şunlardır;

1. *Hız;* taşımada geçen zamanı ifade eder.
2. *Bulunabilirlik;* bir taşıma türünün belirli iki noktası arasında hizmete hazır bulunma yeteneğini gösterir.
3. *Güvenilirlik;* beklenen teslimat zamanlarında ortaya çıkabilecek varyansları ifade etmektedir.
4. *Kapasite;* taşıma türünün her türlü taşıma gereksinmesini karşılayabilme yeteneğidir.

5. *Servis Sıklığı;* tarifelerin sayısını göstermektedir.

Çizelge 2.1'de taşıma türleri incelenmiş ve her bir kritere göre en iyi alternatif 1 değerini en kötü alternatif ise 5 değerini almaktadır (Aşıcı ve Tek, 1985).

Çizelge 2.1 Taşıma Türlerinin Her Bir Kriter Açısından Değerlendirilmesi (Aşıcı ve Tek, 1985)

Kriterler	**Taşıma Türleri**				
	Demiryolu	Karayolu	Suyolu	Havayolu	Boru hattı
Hız	3	2	4	1	5
Bulunabilirik	2	1	4	3	5
Güvenilirlik	3	2	4	5	1
Kapasite	2	3	1	4	5
Sıklık	4	2	5	3	1

Yukarıda bahsedilen 5 kritere ek olarak taşıma türünün seçiminde etkili olan başka faktörler de mevcuttur. Bu faktörlere örnek olarak taşımanın maliyeti, taşınacak ürünün değeri, çeşitli taşıma türleri arasındaki rekabet, üretim ve pazar noktalarının yerleşimi, taşınacak toplam tonaj ve doğrudan ya da aktarmalı taşıma zorunluluğu verilebilir.

Taşıma maliyeti açısından en iyi alternatiften en kötü alternatife doğru taşıma türlerini sıralarsak elde edilecek sıra şu olur: boru hattı => denizyolu => demiryolu => karayolu => havayolu.

Taşınan mamulün değeri de denizyolu => demiryolu => karayolu => havayolu yönünde gidildikçe artmaktadır.

Taşınacak malın tonajı çok fazlaysa demiryolu veya denizyolu taşımacılığı ekonomiktir. Düşük ağırlıktaki küçük ambalajlı ürünler için ise karayolu veya havayolu seçenekleri dikkate alınmalıdır.

2.4.1.1 Taşımanın Maliyetini ve Ücretlendirmesini Etkileyen Faktörler

Taşımanın maliyetini ve ücretlendirmesini etkileyen faktörler iki ana grupta toplanabilir.

Ürüne ilişkin faktörler ve pazara ilişkin faktörler.

Ürüne İlişkin Faktörler: Ürünün özellikleriyle ilgili olan birçok faktör taşıma maliyetini ve fiyatlandırılmasını etkilemektedir. Bu faktörler;

1. *Yoğunluk;* ürünün ağırlığının hacmine oranıdır. Çelik, yapı inşa ürünleri, konserve yiyecekler gibi ürünlerin yoğunlukları fazladır, yani bu ürünlerin ağırlıkları boyutlarına oranla çok fazladır. Taşıma ücreti alınırken bu dikkate alınır.
2. *İstif edilebilirlik;* bir ürünün taşıma aracının içindeki yeri doldurma derecesidir. Bir ürünün istif edilebilirlik özelliğini boyutu, şekli, kırılganlığı ve diğer fiziksel özellikleri etkiler.
3. *Taşıma zorluğu veya kolaylığı;* istif edilebilirlik özelliğiyle alakalıdır. Taşıması zor olan ürünlerin taşıma maliyetleri de yüksektir.
4. *Sorumluluk;* ürünün sorumluluğu taşıma maliyeti açısından çok önemli bir faktördür. Sorumluluğu yüksek olan ürünler ağırlıklarına oranla değerleri çok yüksek olan ürünlerdir.

Pazara İlişkin Faktörler: Ürünün özelliklerine ek olarak pazara ilişkin faktörlerde taşımanın maliyetini ve fiyatlandırılmasını etkilemektedir. Bu faktörler;

1. Pazardaki taşıma türlerinin kendi içlerindeki ve birbirleri arasındaki rekabetin derecesi
2. Pazarların yerleri
3. Nakliyecilere ilişkin hükümet yönetmelik ve tüzüğünün kapsamı
4. Pazarın dışındaki ve içindeki taşıma trafiğinin dengesi veya dengesizliği
5. Ürün hareketlerinin mevsimselliği

Ürünün uluslar arası mı yoksa yurt içinde mi taşındığı (Akcan, 2003).

2.4.1.2 Taşıyıcı Seçimi

Taşıma türünün belirlenmesiyle birlikte düşünülmesi gereken bir diğer konu taşıyıcı seçimidir. Taşıyıcı seçimi yapılırken aşağıdaki faktörler göz önünde bulundurulmalıdır;

- Taşıma maliyetleri ve fiyat tarifeleri
- Teslimat zamanı konusunda tutarlılık
- Taşıyıcının nitelikleri ve yetenekleri
- Teknik araç-gereç ve donanım
- Programlama esnekliği

- Etkin müşteri hizmetleri
- Firma saygınlığı ve pazar deneyimi
- Taşıma firmasının finansal yapısı
- Taşıma/yük sorumluluğu ve risklere karşı koruma
- Taşıma sürecinin güvenliğidir (Kocaoğlu, 2003).

2.4.2 Araç Yükleme ve Çizelgeleme

Araç yükleme problemi bir kamyon ya da nakliye aracının kapasitesini aşmayacak maksimum birimde (adet, hacim, ağırlık vb.) ve en yüksek değerli ürünlerin taşınmasını sağlayacak bir yöneylem problemi olarak düşünülebilir (Kocaoğlu, 2003).

Bu işlemlerde tam sayılı doğrusal ve deterministik dinamik programlama temeli olan algoritmalar kullanılmaktadır. Problemde boyut sayısı (hem araç hacmi hem de yük hacmi gibi) arttıkça problemler daha karmaşık hale gelebilir.

Araç çizelgeleme problemleri ise, genelde doğru güzergahlara, doğru araçların veya sürücülerin atanması ve bunu yaparken maliyetin minimum edilmesini içeren "atama" problemleri halini almaktadır. Araç çizelgeleme problemlerinin daha ileri safhalarında simülasyon veya PERT gibi tekniklerden de yararlanılabilir. Araç çizelgeleme problemlerinde zaman ve zaman bazlı aktivitelerin önemi vardır. Mesela tek bir aracın aynı yükleme ve boşaltma zamanlarına sahip iki farklı lokasyonda bulunamaması gibi. İşte zaman ve mekan olarak araçların programlanması araç çizelgeleme problemlerinin ana amacını oluşturur.

Araç çizelgeleme problemleri ile ilgili pratikte karşılaşılan pek çok sınırlama bu problemleri daha karmaşık hale getirmektedir (Beydilli, 2003):

- Bir aracın bir günlük turu içindeki toplam zaman ya da mesafe limiti,
- Bazı taşımaların yalnızca bazı araçlar ile yapılabilmesi,
- Bir aracın her duraktaki bekleme veya iş görme süresi kısıtı,
- Araçların geri dönüş yapabilecekleri depo sayısı.

2.4.3 Araç Rotası Belirleme

Araç rotalama problemleri, literatürde üzerinde oldukça araştırma yapılmış bir konudur. Bu

konu ile ilgili bu kadar çok araştırma yapılmasına rağmen, bugün bile tüm işletmelerin rotalama sorunlarını çözecek bir sistem geliştirilmiş değildir.

Araç rotalama problemi, “araç kapasite kısıtlayıcılarına uygun olarak toplam mesafeyi minimize edecek taşıma güzergahının belirlenmesi” şeklinde tanımlanabilmektedir. Buna göre belli bir sunum merkezinden istemleri belirlenmiş boşaltma noktalarına kapasiteleri birbirine eşit veya farklı taşıma araçlarıyla yapılacak taşımanın güzergahının belirlenmesi istenmektedir. Güzergah belirlenmesinde gözetilen ölçüt ise toplam taşıma mesafesinin minimizasyonudur. Araç rotalama problemleri, her rotanın bağladığı yerde sonlanacak ve kurulan rotanın toplam mesafesini minimize edecek şekilde dizayn edilmektedir (Ünsal, 2000).

3. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ (ARP)

Lojistik genel olarak ürünün ya da hizmetin bir tedarik noktasından çeşitli talep noktalarına taşınması olarak tanımlanmaktadır. Tam bir lojistik sistemi; hammaddelerin satıcılardan yada tedarikçilerden alınarak taşınması, bu hammaddelerin üretim için imalat fabrikalarına dağıtılması, üretilen bu ürünlerin depolara ya da dağıtım merkezlerine aktarılması ve son olarak müşterilere dağıtılmasını kapsamaktadır. Hem dağıtım hem de tedarik prosedürleri etkili bir taşıma yönetimine ihtiyaç duymaktadır. İyi bir dağıtım yönetimi işletmenin toplam dağıtım maliyetlerinde önemli ölçüde bir azalma sağlayabilmektedir (Karahan, 2003).

İşletmecilikte taşıma maliyetlerinin önemi bilinen bir gerçektir. Bu nedenle taşıma maliyetlerinin minimizasyonu konusunda pek çok araştırmanın yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmaların önemli bir kısmının Araç Rotalama Problemi alanında olduğu gözlenmektedir(Ergülen ve Güngör, 2006).

Araç rotalama problemi(ARP) taşıma maliyetlerini azaltmak ve müşteri hizmetlerini arttırmak için bir aracın takip etmesi gereken en iyi rotayı bulmaktır (Alkan, 2003). Diğer bir tanıma göre; ARP, coğrafi olarak dağınık müşterilere bir veya birden fazla depodan hizmet vermek üzere görevlendirilen araçların optimum dağıtım/toplama rotalarının tasarlanması problemidir. ARP dağıtım yönetiminin kalbidir. ARP'nin en basit şekline Klasik ARP denir. Klasik ARP'de birinci şehir depo olmak üzere n adet şehir ve m adet araç vardır. Her bir aracın kapasitesi C ve i düğümünden j düğümüne olan mesafe d_{ij} olarak tanımlanır. ARP ile m adet aracın rotası belirlenirken:

1.Her bir şehir yalnız bir defa ziyaret edilir.

2.Her bir araç rotasına aynı depoda başlar ve sonlandırır.

3.Rota sayısı ve konfigürasyonu ile ilgili kısıtlar vardır.

Bu temel kısıtlar haricindeki kısıtlar problemin özelliğine göre değişmektedir (Eryavuz ve Gencer, 2001).

Tüketim mallarının fabrikalardan toptancılara dağıtımı sorunu, ARP için iyi ve kolay anlaşılır bir örnek problemdir. Burada fabrikalar arz merkezleri, toptancılar ise talep merkezleri durumundadır. Literatürde yer alan çalışmalar; farklı özellikler içeren ARP problemlerinin modellenmesi, bu problemlerin optimum çözümünün araştırılmasında farklı çözüm

algoritmalarının kullanılması ve gerçek hayattaki çeşitli sorunların çözümü için uygulamalar yapılması seklindedir (Ergülen ve Güngor, 2006).

Araç rotalama problemi toplama veya dağıtım noktalarından oluşan bir grup rotanın tasarlanmasını içerir. Araçların varış zamanları bir kısıt olarak probleme eklendiğinde araç rotalama problemi bir çizelgeleme problemine dönüşür (Tovya,1983).

Taşıt rotalama konusunun 1950'li yıllarda bilim adamlarının ilgi alanına girmeye başladığı gözlenmiştir. 1970'li yılların başında ortaya çıkan petrol krizine karşın taşımacılıkta hızlı gelişmeler kaydedilmesi bu konuda yapılan çalışmalara yoğunluk kazandırmıştır. 1980'li yıllarda ekonomik sorunların yanı sıra, ulaştırma türleri arasında giderek artan ve kırıcı bir rekabet ortaya çıkmıştır.

Araç rotalama problemi ilk olarak 1959 yılında Dantzig ve Ramser tarafından literatüre kazandırılmıştır. Yazarlar bu çalışmalarında benzin istasyonlarına benzin dağıtımı problemi üzerinde durmuşlar ve problemin çözümü için ilk matematiksel programlama modelini kurmuşlardır. Daha sonra 1964 yılında Clark and Wright probleme sezgisel bir çözüm önermiş ancak bu çalışmadan sonra literatürde ARP' ye ilgi daha da artarak büyümüştür. ARP şu ana kadar üzerinde en fazla yöntem geliştirilen optimizasyon problemlerinden biridir (Erol, 2006).

Solomon, ARP araştırmaları üzerinde zaman kısıtlarını konu alan çeşitli problemleri incelemiştir. Problemin bu tipinde, çizelgelemenin uzaysal anlayışıyla geçici anlayışı karıştırılmaktadır.

Ek olarak Koskosidis, daha esnek çalışma zamanı kısıtlarına izin vermiştir. Koskosidis'e göre eğer araç çok geç yada çok erken ulaşıyorsa bu ceza maliyeti gerektirir. Malakandri ve Daskin trafik sıkışıklığı temelli, zaman bağımlı ARP algoritmaları üzerinde çalışmışlardır. Bunun sonucunda trafik sıkışıklığının olduğu durumlarda sabit bir rotanın olmayacağını, bunun seyahat edilecek zamanın günü hangi saatleri olacağına bağlı olduğunu ileri sürmüşlerdir (Alkan, 2003).

Araç rotalama problemi, problemi çözmek için gerekli olan hesaplama gücünün problemin boyutuyla birlikte exponansiyel olarak arttığı NP Hard 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.

Zor kombinatoryal problemler aşağıdaki iki problem türünün birleşiminden oluşur**:**

Gezgin Satıcı Problemi (TSP) : Eğer araçların kapasitesi C sonsuz ise, bu bir Çoklu Gezgin Satıcı Problemi (MTSP) örneğidir. Grafa 0. düğümün k-1 tane (k rota sayısıdır.) kopyasının ve kenarlarının (k depo düğümlerinin arasında kenar yoktur.) eklenmesiyle MTSP eşdeğer bir TSP örneğine çevrilebilir.

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.

ARP, taşıma, dağıtım ve lojistik alanlarında ortaya çıkan bir problemdir. Bazı sektörlerde, taşıma mallara eklenen yüksek oranlı bir katma değer anlamına gelir. Bu yüzden taşıma problemlerinin çözümünde bilgisayar tabanlı metotların kullanılması toplam maliyetlerde %5'ten %20'lere varan kazançlar sağlamaktır[3].

Bir araç probleminde kullanılabilecek tipik amaç fonksiyonları ise aşağıdaki gibidir (Toth ve Vigo, 2002):

- Araçların toplam gideceği mesafeyi veya seyir süresini azaltmaya çalışarak global taşıma maliyetlerinin minimize edilmesi.
- Tüm müşterilerin taleplerini karşılamak koşuluyla sistemdeki araç sayısının minimize edilmesi.
- Araç yüklemeleri veya araç seyir süreleri açısından tüm rotaların dengelenmesi.

ARP'nin temel bileşenlerini; talep yapısı, taşınacak malzemenin tipi, dağıtım/toplama noktaları ve araç filosu oluşturur.

1. Talep Yapısı: ARP problemlerinde talep statik veya dinamik olabilir. Statik talep durumunda talep önceden bilinir. Dinamik durumda ise bazı düğümlerdeki talep bilinmekte, bazıları ise araç rotasında devam ederken belirli olmaktadır.

2. Malzeme Tipi: Araçlarda çok çeşitli malzemeler taşınmaktadır. Tehlikeli maddeler, gıda maddeleri, gazete dağıtımı, çöp toplama, bütün bunlar basit paketler olarak adlandırılır ve probleme ilave bir karmaşıklık getirmezler. Diğer taraftan öğrenci servisleri; güvenlik, etkinlik, eşitlik, gibi ilave bazı amaçlardan dolayı daha karmaşık yapıya sahiptir. Tehlikeli maddeleri taşıyan araçların rotalarının belirlenmesinde ise coğrafi özellikler büyük önem taşır.

3. Dağıtım/Toplama Noktaları: Birçok ARP'nin de dağıtım noktaları müşterilerin bulunduğu yer, toplama noktaları ise depodur. Tüketim mallarının fabrikalardan toptancılara dağıtımı buna iyi bir örnektir.

Depo genellikle aracın rotasına başladığı ve geri döndüğü noktadır. Depo sayısına göre problem tek depolu veya çok depolu diye adlandırılabilir. Çok depolu problemlerde depoların her biri kendi araçlarıyla işlerini yürütebilir. Bu durumda problem birkaç bağımsız tek depolu ARP'ne dönüşür. Araç bir depodan çıkıp başka bir depoda yükleme/boşaltma yapabilir. Bu durumda problem bir bütün olarak ele alınmalıdır.

Dağıtım noktaları sabit ve önceden biliniyorsa hangi noktalara hangi araçların hizmet vereceği belirlenmelidir. Diğer durumda dağıtım noktaları potansiyel yerler arasından seçileceği için ilave bir yerleştirme kararı gereklidir.

Bazı ARP'lerde dağıtım ve toplama noktaları aynıdır. Örneğin öğrenci servislerinde okul, gidişte dağıtım noktası, duraklar toplama noktası; öğrenciler evlerine dönerken ise okul depo, duraklar dağıtım noktalarıdır.

4. Araç Filosu: Bütün ARP'lerde araçların kapasitesinin bilindiği ve çoğunlukla araçların homojen (aynı kapasitede) olduğu varsayılır. Filo heterojen ise filodaki araçların taşıma kapasiteleri farklıdır. Bu durumda hangi araç tipin hangi rotaya hizmet vereceğinin belirlenmesi ilave bir kararı gerektirir. Araçların diğer özellikleri arasında hız, yakıt tüketimi, taşınacak malzemeye uygunluğu sayılabilir. Bu özelliklerin rotalama kararlarına doğrudan etkisi yoktur (Eryavuz ve Gencer, 2001).

3.1 Araç Rotalama Problemi ve Notasyonları

ARP çözüm bölgesi G(V,E) grafının kenarları ile sınırlanan kombinasyonel bir problemdir.

Klasik bir ARP modelinin formülasyonu:

G=(V,E): Bir graf,

$V=\{v_0, v_1,\ldots..v_n\}$: Düğüm kümesi,

$E=\{v_i, v_j): v_i, v_j \in < V, i\neq j)$: Bir yay 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}: { 1, k nolu araç i noktasından j noktasına hareket ederse ; 0, aksi takdirde }

Amaç fonksiyonu:
$$MinZ = \sum_{i=0}^{N} \sum_{j=0, j\neq i}^{N} \sum_{k=1}^{M} d_{ij} X_{ijk} \qquad (3.1)$$

Şu kısıtlara göre:

i=0 için
$$\sum_{k=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} X_{ijk} = M \qquad (3.2)$$

$i\in\{1,\ldots.N\}$ için
$$\sum_{k=1}^{M} \sum_{j=0,\, j\neq i}^{N} Xijk = 1 \qquad (3.3)$$

$j\in\{1,\ldots.N\}$ için
$$\sum_{k=1}^{M} \sum_{i=0,\, i\neq j}^{N} Xijk = 1 \qquad (3.4)$$

$$k \in \{1,\ldots.M\} \text{ için } \quad \sum_{i=1}^{N} X_{i0k} \leq 1 \tag{3.5}$$

$$k \in \{1,\ldots..M\} \text{ için } \quad \sum_{i=1}^{N} q_i \sum_{j=0,\, j\neq i}^{N} X_{ijk} \leq C \tag{3.6}$$

Amaç fonksiyonu (3.1) toplam kat edilecek mesafenin yani maliyetin minimize edilmesi gerektiğini ifade etmektedir. (3.2) nolu kısıt denklemi işletme biriminden çıkacak araç sayısının M adet olduğunu, (3.3) ve (3.4) kısıt denklemleri bir müşterinin mutlaka bir araç tarafından ziyaret edilmesi ile müşteriye gelen ve müşteriden çıkan yollardan sadece bir tanesinin kullanılmasının zorunlu olduğunu (3.5) nolu kısıt denklemi bir aracın ancak bir defa işletme biriminden çıkacağı dolayısıyla rotalamada bir defa kullanılacağını (3.6) 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 (3.2) nolu denklemde eşitlik ifadesi yerine küçük eşit ifadesi yer alacaktır. Modelde yer alan temel kısıtlar olan (3.3) ve (3.4) nolu denklemler rotaların sürekliliğini sağlaması açısından önemlidir. Bir ARP problemine genel olarak şu bilgilere ihtiyaç vardır:

- 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).

ARP literatüründe çok çeşitli optimizasyon kriterleri mevcuttur. Bunlardan en yaygın olanları, rota sayısı, toplam rota uzunluğu, rota süresi, müşteri memnuniyeti, yük dengeleme şeklinde sıralanabilir. Bu kriterlerden rota sayısı ve toplam rota uzunluğu ARP amaç fonksiyonunda en yaygın olarak kullanılanıdır. ARP'nin çözümünde hem sezgisel hem de optimum metotlar kullanılabilir. Laporte ve Nobert, ARP için çeşitli optimum çözüm algoritmaları geliştirmişlerdir. Magnanti, 1981 yılında yaptığı çalışmasında tamsayılı programlama formülasyonunu; küme bölme formülasyonu, araç akış formülasyonu ve malzeme/eşya akış formülasyonu şeklinde üç alt kategoriye ayırarak incelemiştir.

ARP hizmet sunulan müşteri sayısı ve coğrafi alan olarak büyük ölçekli bir problemdir.

Müşteri sayısı arttıkça alternatif rota sayısı artmakta ve hesaplama zorlaşmaktadır. Bu nedenle ARP çözümünde sezgisel algoritmalar ön olana çıkmaktadır (Eryavuz ve Gencer, 2001).

3.2 Araç Rotalama Prensipleri

Literatürde çok sayıda araç rotalama problemleri ve bu problemlerin her biri için geliştirilmiş pek çok algoritma mevcuttur. Ancak bu algoritmaların hiç biri pratik yaşamda işletmeler için en optimum çözümü verememektedir. Bu yüzden araştırmacılar bugün hala araç rotalama problemlerinde en etkin ve sağlıklı sonuçları verecek algoritmalar yaratmak için çalışmaktadırlar.

Araştırmacılar ve uygulayıcılar araştırmalar ve uygulama esnasında daha başarılı ve uygulanabilir rotaların oluşturulması için çalışmalarda aşağıdaki 8 prensibin göz önünde bulundurulması konusunda hem fikir olmuşlardır (Ballou, 1999):

1. Noktalar arasında en yakın olanlar seçilmelidir. Bu sayede toplam gidilen yolun kısalması sağlanır.
2. Farklı günlerdeki dağıtımlar birleştirilmelidir. Bu şekilde benzer noktalardaki dağıtımlar birleştirilerek, aynı rotaların yakın tarihlerde tekrar gidilmesi engellenir.
3. Rotalara, mümkün olan en uzak noktaya uğrayarak başlanmalıdır.
4. Yapılacak olan rotalamaların şekli, gözyaşı şeklinde olmalıdır. Bu sayede uzak noktalara ulaşımda kazanç elde edilmiş olur.
5. Mümkün olan en yüksek kapasiteli araçlar seçilmelidir. Bu sayede toplam maliyetler azalacak ve avantaj elde edilecektir.
6. Eğer yapılabiliyorsa dağıtım ve tedarik aynı araçlar ile yapılmalıdır. Bu sayede toplam maliyet ve gereken zaman azalacaktır.
7. Rota dışındaki noktalara ulaşılmasında küçük araçlar kullanılmalıdır.
8. Gerekirse dağıtımların ve tedariklerin zamanları tekrar kararlaştırılarak zaman tasarrufu sağlanmalıdır.

Günümüzde farklı durumlar için geliştirilmiş pek çok araç rotalama problemi ile karşılaşılıyorsa da temelde üç temel tipte rotalama probleminin varlığında söz etmek mümkündür (Alkan, 2003).

3.3 Rotalama durumlarına Göre Araç Rotalama Problemlerinin Sınıflandırılması

1) Başlangıç ve bitiş noktasının aynı olduğu problemler ki buna Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemleri de denebilir.

2) Başlangıç noktası ile bitiş noktasının farklı olduğu problemler (Açık Uçlu Araç Rotama Problemleri)

3) Birden çok başlangıç ve bitiş noktası olan problemler

Bahsettiğimiz bu üç temel problem hakkında bazı temel kural ve açıklamalara değinelim.

3.3.1 Başlangıç ve Bitiş Noktasının Aynı Olduğu Araç Rotalama Problemleri (KUARP)

Taşıma araçları özel olduğu zaman aynı başlangıç ve bitiş noktası olan problemlerle sıkça karşılaşılır. Dağıtım kamyonlarının depodan perakendecilere dağıtım yapıp dönmesi, nakliye araçlarının depodan müşteriye oradan tekrar depoya dönmesi veya okul otobüsleri, gazete dağıtım araçları veya çöp araçlarının hareketleri de bu problem tipindedir. Bu tip problemler, farklı başlangıç ve hedef noktası olan problemlerin farklı bir türüdür. Amaç, noktaların en az ulaşma süresi ve toplam mesafeyle ziyaret edilmesini sağlayacak sırayı bulmaktır (Alkan, 2003).

Başlangıç ve bitiş noktalarının aynı olduğu bu tarz problemler genellikle "Gezgin Satıcı Problemleri" adı altında işlenir. Bu konu ile ilgili bir kaç metot geliştirilmiştir. Ancak çok sayıda uğrak noktasının olduğu durumlarda optimum bir rota belirlemek çok kolay olmamaktadır. Gerçekçi problemlerin bilgisayar ortamında çözümlenmesi için uzun zaman aldığından, heuristik metotlar bu tür problemler için iyi alternatifler oluştururlar.

Başlangıç ve Bitiş noktasının aynı olduğu problemlerde her rota bir işletme biriminde başlatılıp, aynı işletme biriminde bitirilmelidir. Tek işletme birimli problemlerde bunun sağlanması için kurulan modele aşağıdaki kısıt eklenmelidir.

$$\sum_{j=1}^{N} X_{0jk} \oplus \sum_{i=1}^{N} X_{i0k} \qquad k \in \{1,.....,M\} \text{ için} \qquad (3.7)$$

0 nolu nokta işletme birimini yani depoyu temsil ettiği için bu noktadan çıkan aracın mutlaka bu noktaya dönmesi, (3.7) no lu denklemde aynı araç için bu nokta ile başlayıp bu noktada biten X karar değişkenlerinin değerleri birbirine eşitlenerek sağlanmaktadır. Literatürdeki

araştırmaların çoğu KUARP ile ilgilidir (Erol, 2006).

3.3.2 Başlangıç ve Bitiş Noktası Farklı ve Tek olan Araç Rotalama Problemleri (AUARP)

Bu tip problemlerde rotalar merkez depo ile başlamakta, talep noktası ile sona ermektedir. Bunun sağlanması için ek olarak bir kısıtın modele eklenmesine gere yoktur. Sonuç zaten açık uçlu rotalar doğuracaktır. Fakat rotaların kesin olarak bir müşteride sona ermesini sağlayan denklem aşağıdaki gibidir:

$$\sum_{j=1}^{N} X_{0jk} \oplus \sum_{i=1}^{N} X_{i0k} = 1 \qquad k \in \{1,.....,M\} \text{ için} \qquad (3.8)$$

Bu denklemle bir aracın 0 nolu nokta ile başlayan veya biten ilgili X değişkenlerinden ancak biri bir değerini alabilir ve böylece aracın sadece işletme biriminden çıkması, oraya tekrar dönmemesi garantilenmiş olur. Gerçek hayatta AUARP bir firmanın lojistik taşımacılığını başka bir firmaya verdiği durumlarda kullanılır (Erol, 2006).

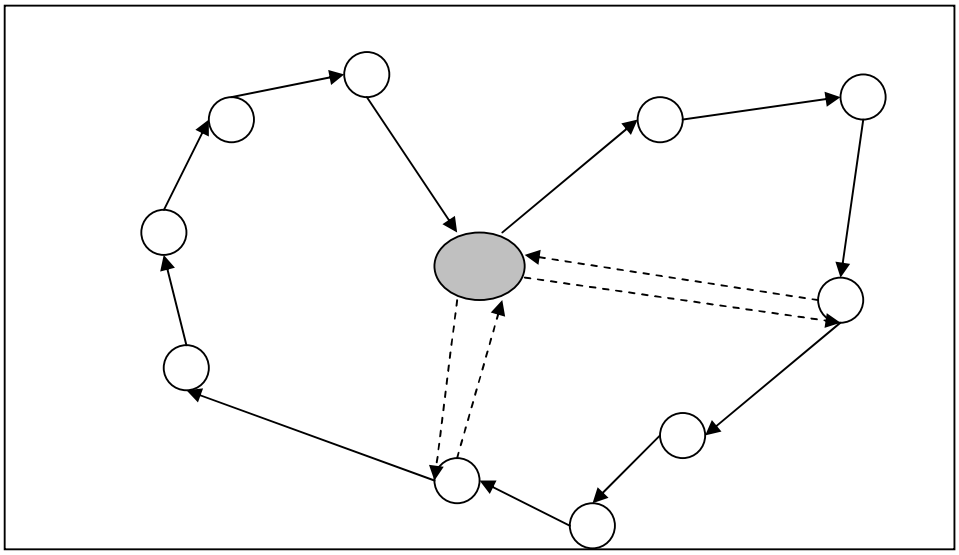
Tek bir başlangıç noktası ve bundan farklı tek bir bitiş noktası olan problemlerin çözümü için pek çok metot geliştirilmiştir. Ancak bu tür bir araç rotalama problemini çözmek için geliştirilmiş en basit ve kolay metot "En Kısa Yol Metodu"dur. Bu metotta üzerinde durulan yaklaşım şu şekildedir: elimizde düğümler (nodes) ve bağlantılardan (links) oluşan bir ağ vardır ve bu ağda n adet düğüm birbirlerine bağlantılar ile bağlanmıştır. Düğümler bağlantı noktalarını, linkler ise bağlantı noktaları arasındaki maliyetleri (zaman, uzaklık vs. cinsinden) ifade eder. İlk etapta tüm düğümler çözülmemiş olarak düşünülür ve çözülmüş her düğümün rotaya eklenmesi kararlaştırılır. Amaç orijin noktasından varış noktasına bu düğümleri kullanarak en kısa yoldan ulaşmaktır. Bu amaçla ilk olarak orijin noktasına en yakın düğüm seçilir. Seçilen bu düğüm çözülmüşler içine eklenir ve kalan (n-1) çözülmemiş düğüme bakılır. En son seçilen düğümün bağlantıda bulunduğu çözülmemiş düğümlerden en kısa olanı seçilerek varış noktasına kadar ulaşılır. Böylece sonuçta orijinden (depo olabilir) varış noktasına (müşteri olabilir) en kısa mesafe ile ulaşılmış olur (Ballou, 1999).

3.3.2.1 Tek Depo Çok Müşterili Araç Rotalama Problemleri

Tek orijin noktası ve çok sayıda varış noktası olan bir şebeke içerisinde araç rotalama iki şekilde yapılabilmektedir. Bunlar tek araçlı rotalama ve çok araçlı rotalama yöntemleridir.

3.3.2.1.1 Tek Araçlı Rotalama

Tek araçlı rotalama yönteminde şebekede bulunan tüm müşterilerin ihtiyaçları sadece bir araç kullanılarak karşılanmaya çalışılmaktadır. Araç kendi kapasitesini dolduracak kadar yüklendikten sonra birinci rota başlar ve belirlenen rota üzerindeki tüm müşterilere uğradıktan sonra tekrar depoya döner. Şebekede talebi karşılanmayan diğer müşterilerin talepleri aynı yöntemle aracın kapasitesine uygun bir şekilde tekrar araca yüklenir ve araç ikinci rotasına çıkar. Bu şekilde şebeke içindeki müşterilerin ihtiyaçları karşılanıncaya kadar araç rotalama devam edilir (Karahan, 2003). Tek araçlı araç rotalama örneği Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

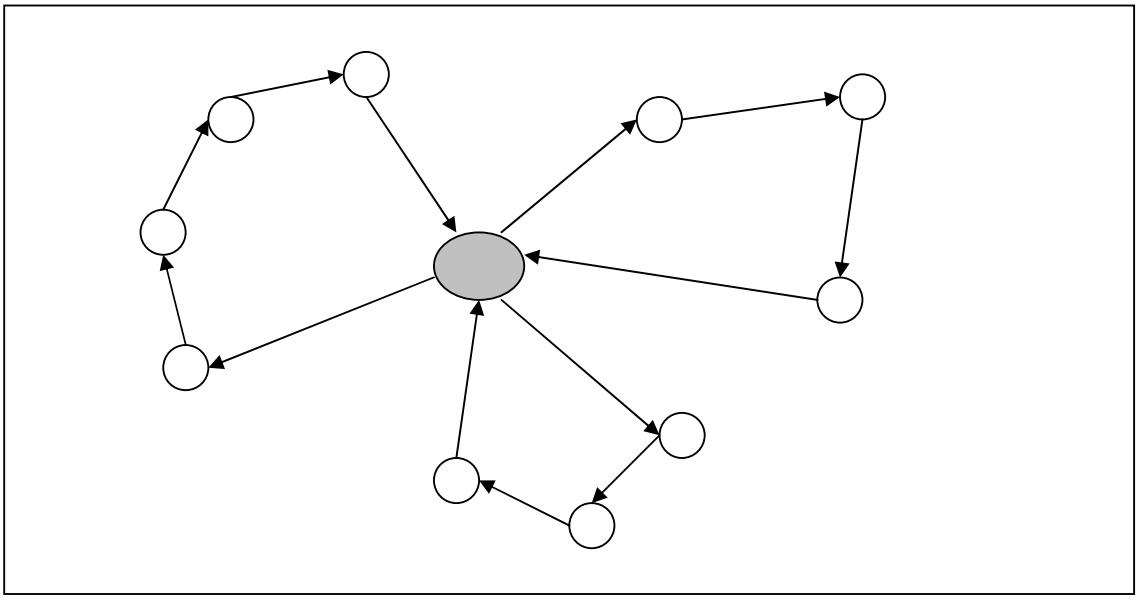


Şekil 3.1 Tek Araçlı Araç Rotalama Yöntemi (Karahan, 2003).

3.3.2.1.2 Çok Araçlı Rotalama

Bu yöntemde şebekede bulunan müşterilerin ihtiyaçları çok sayıda araç kullanılarak karşılanmaya çalışılır. Şebekede müşterilerin talepleri araç kapasitelerine uygun olarak yüklendikten sonra araçlar aynı anda belirlenen rota üzerindeki noktalara uğrayarak talepleri karşılarlar ve tekrar depoya geri dönerler. Araçlar ikinci bir rota için yüklenmezler. Çok araçlı araç rotalamanın tek araçlı araç rotalamadan farkı, şebeke içerisindeki rota sayısı kadar araca ihtiyaç duyulmasıdır. Bu yöntem diğer yöntemlere göre talepleri daha hızlı karşılamaktadır. Bu amaçla, zaman kısıtının önemli olduğu durumlarda geçerli olur (Karahan, 2003).

Çok araçlı rotalama örneği Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.2 Çok Araçlı Araç Rotalama Yöntemi (Karahan, 2003).

Bu problemler içine zaman kısıtı katılarak zaman pencereli araç rotalama problemleri adı altında genişletilebilir. Ancak standart araç rotalama problemleri için geliştirilmiş bazı çözüm stratejileri aşağıdaki gibidir:

- Önce Gruplandırma-Sonra Rotalama Teknikleri ile müşteriler arasında önce uygun gruplandırmalar oluşturulur daha sonra bu müşteriler içerisinde en ekonomik rotalama yapılır.
- Önce Rotalama- Sonra Gruplandırma Teknikleri ilk tekniğin tersi durumunda çalışır. Genelde farklı yapılardaki araçların söz konusu olduğu problemlerde kullanılır.
- Tasarruf ve Ekleme Tekniklerinde her adımda bir öndeki adımın oluşturduğu çözüm yetersiz kalmaktadır.
- İyileştirme ve Değiştirme Teknikleri, genellikle dal değiştirme sezgiseli heuristiği olarak bilinir ve daima fizibilite ve optimalliğe yakınlık sağlar. Diğer iyileştirme teknikleri, 2 ve 3 opt geliştirme algoritmalarında mesafeyi kısaltacak şekilde yolculuk geliştirilir (Ballou, 1999).

3.3.3 Çok Depo Çok Müşterili Araç Rotalama Problemleri

Çok sayıda müşteriye hizmet götürecek birden fazla kaynak noktası bulunduğunda, her kaynağa atanacak müşteriler ile bu müşteriler arasındaki en uygun rotanın bulunması problemi ile karşılaşılmaktadır. Bu problem genelde birden fazla tedarikçi, fabrika ya da

deponun aynı ürünü bir den fazla müşteriye ulaştırma çabası şeklinde günümüzde uygulama alanı bulmaktadır. Şu haliyle bile çözülmesi zor olan bu problem, her kaynaktan çıkacak olan ürün sayısının toplam müşteri talebi ile sınırlandırılması halinde oldukça kompleks bir hal almaktadır. Bu tip problemler genellikle doğrusal programlama algoritmaları içindeki "Transportasyon Metodu" ile çözülmektedir (Ballou,1999).

Bu problemde birden çok sayıda depoya dağıtılmış m adet taşıt burada depolanmış olan ürünleri istem noktalarına dağıtmaktadır. Buna göre her taşıt öyle bir güzergah izlemelidir ki toplam kat edilen mesafe en azlanırken tüm istemler karşılanmış ve taşıtlar depolarına dönmüş olmalıdır.

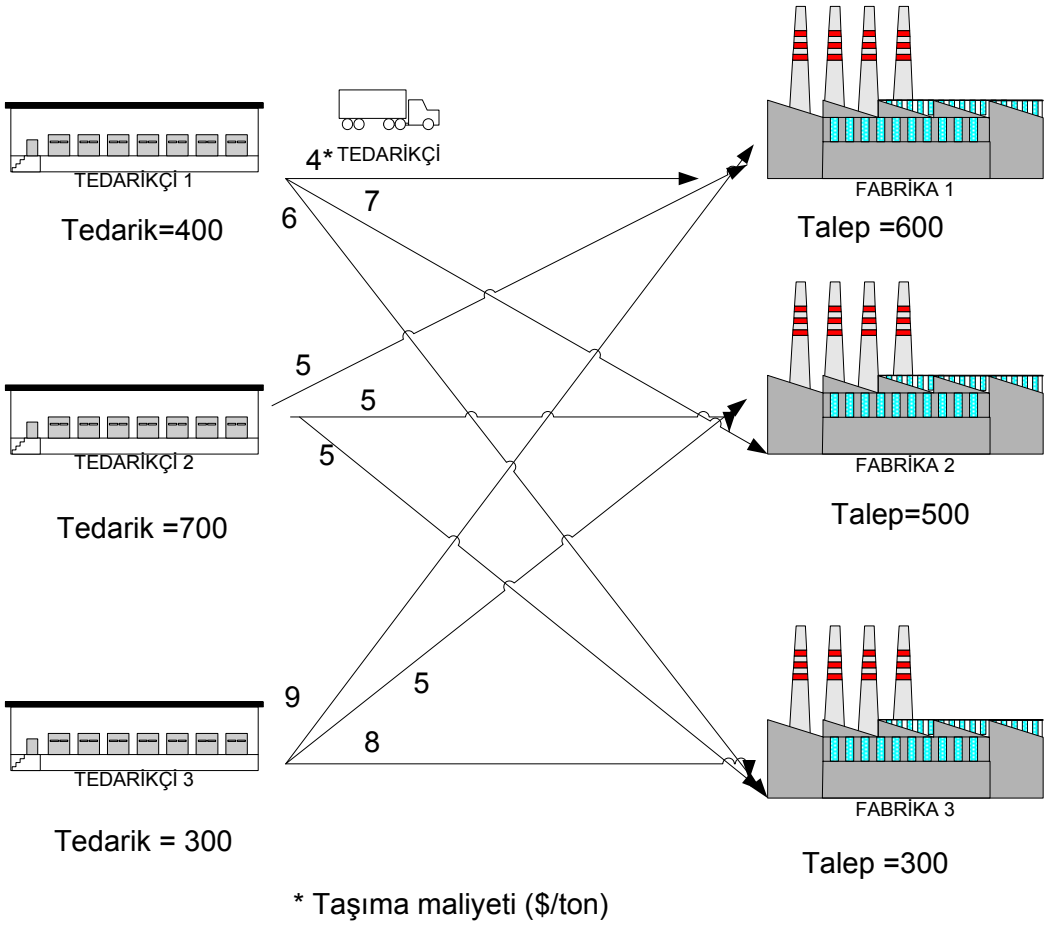
Depolarda bulunan m adet araç, her rotadaki toplam talebi karşılamak zorundadır. Rotalama kararı her aracın, hangi rotayı izlemesi gerektiğini belirleme işlemini içinde barındırır. Bu belirleme, toplam uzaklığın minimizasyonu, taleplerin karşılanması, her hedefin yalnızca bir defa ziyaret edilmesi, araçların depolara geri dönmesi gibi kriterler dikkate alınarak yapılır.

Çok depolu araç rotalama probleminde araçlar birden fazla depoda konuşlanabilir ve toplam maliyeti minimize edecek ve toplam talepler karşılanacak şekilde araç sayısı minimize edilmeye çalışılır. Akış tipi homojendir yani tüm araçlar aynıdır. Talepler deterministiktir. Problem dağıtım ve toplama operasyonlarına uyarlanabilir.

Tek depolu araç rotalama problemlerini çözmek için kullanılan başlıca yöntemler dal ve sınır teknikleridir. Ancak geniş tabanlı problemlerin çözülebilmesi için sadece sezgisel yöntemler uygundur. Örneğin 4 depolu yüzlerce talep notası bulunan bir problem bilgisayar aracılığıyla 10 saniyeden kısa bir süre içinde çözülebilir (Tovya, 1983).

Bu konuyu basit bir örnek üzerinde inceleyelim (Ballou, 1999):

"Bir cam fabrikası, ihtiyacı olan hammaddeyi almak için 3 farklı tedarikçi ile anlaşmış ve bu tedarikçilerden aldığı hammaddelerin farklı bölgelere kurulmuş 3 fabrikasına getirilmesini talep etmektedir. Her tedarikçinin sağlayacağı hammadde miktarı, fabrikaların hammadde talepleri ve tedarikçiler ile fabrikalar arasındaki taşıma maliyetleri Şekil 3.3'de gösterilmiştir."



Şekil 3.3 Çok depo- çok müşterili ARP Örneği (Ballou, 1999).

Örnekte verilen sayısal veriler TORA optimizasyon programına koyulduğunda elde edilen optimum sonuçlara göre her tedarikçinin her fabrikaya minimum maliyet ile ne kadar hammadde taşıyacağı aşağıda gösterilmiştir.

Tedarikçi 1, 400 birim malı Fabrika 1'e

Tedarikçi 2, 200 birim malı Fabrika 1'e, 200 birim malı Fabrika 2'ye, 300 birim malı Fabrika 3'e ve

Tedarikçi 3, 300 birim malı Fabrika 2'ye taşıyarak minimum maliyetli taşıma şeklini elde etmişlerdir.

Bu rotalama kararı sonucunda elde edilen maliyet = $6600'dır.

3.4 Kısıtlarına Göre Araç Rotalama Problemleri

ARP'de gerçek hayatta kurulan lojistik sistemlerin tamamen modellenip çözülmesi zor

olduğundan, bazı önemli kısıtlar seçilip diğer unsurlar göz ardı edilerek optimum sonuç bulunmaya çalışılmaktadır. Bu kısıtlardan önemlileri araç yükleme, mesafe kısıtı, zaman pencereleri ve yükleme boşaltma durumudur.

3.4.1 Kapasite Kısıtlı ARP (KKARP)

KKARP, bir veya daha fazla depo bulunan bir işletmede taleplerin n adet müşterisine ulaşabilmesi için yükleme kapasiteleri kısıtlı araçların rota planlaması problemidir. Literatürde klasik ARP ile KKARP eş 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 (3.6) no lu denklemde gösterilmektedir.

Bununla birlikte KKARP'lerin çözümlenmesi için geliştirilmiş algoritmalarda en göze çarpan özelliklerden biri de müşteri taleplerinin eşitliğidir. Hizmet götürülecek tüm müşterilerin eşit taleplerde bulunması ya da bulunmaması halinde tek müşteriye bir veya birden fazla araç ile hizmet götürülmesi durumu ortaya çıkmaktadır (Glynn ve Robinson, 1997).

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 (Ck, k=1,….M) söz konusu olmasıdır (Erol, 2006).

3.4.1.1 Eşit Talepli Kapasiteli Araç Rotalama Problemleri (EKARP)

Kapasiteli araç rotalama problemlerinde eşit taleplerin söz konusu olduğu bir senaryo kuralım: Bir müşteri w birim ürün talep etsin. Eğer bu talebi birden fazla araca bölebilirsek, o zaman bu talebi aynı lokasyondaki w farklı müşteriye 1'er birim ürün götürmek gibi düşünebiliriz. Bu şartlarda yeni problemde kapasite sınırı, bir aracın ziyaret edebileceği maksimum müşteri sayısı olarak ifade edilebilir. Burada kapasite $C \geq 1$ dir. Bu halde, eğer talepleri bölmeye izin varsa ki bu durum genelde istenmez, her müşterinin 1 birim talep ettiği bir durumda bir araç en fazla C adet müşteriyi ziyaret edebilir. Bu yüzden bu model bazen ayrılabilir talepli KKARP ya da eşit talepli KKARP adını alır.

1985'de Haimovich ve Rinnooy Kan tarafından ortaya atılmış daha sonra 1990'da Altınkemer ve Gavish tarafından KKARP için geliştirilmiş basit bir sezgisel; bir "Gezgin Satıcı Turunu" bölümlere ayırmak, her bölüme bir araç göndermek ve her bölümde en fazla C adet durak

noktası oluşturmaktır. Bu sezgisel "Tekrarlı Tur Bölümlendirme" adını alır ve depo ve tüm müşteriler arasında dolaşan bir Gezgin Satıcı Turu ile başlar. Depodan başlayarak tüm müşterileri sırasıyla ziyaret ederken, her bölümde en fazla C adet müşteri olacak şekilde bir bölümlendirme yapılır ve her bölümün ucu tekrar depoya bağlanır. Her bölüm C adet veya daha az müşteri içerebilir. Bu durum, bu problem için fizibil bir çözüm arz edebilir (Glynn ve Robinson, 1997).

3.4.1.2 Eşit Olmayan Taleplere Sahip Kapasiteli Araç Rotalama Problemleri

Kapasiteli araç rotalama problemlerinin bu versiyonunda ise, her *i* müşterisi w_i talebine sahiptir ve kapasite sınırı, bir araç tarafından taşınan toplam yükün C'den fazla olamayacağını ifade eder. Burada amaç fonksiyonu diğer problemlerde olduğu gibi tüm araçlar için en kısa taşıma mesafesinin bulunmasıdır.

Bu tipteki araç rotalama problemlerinde, müşteri talepleri birden fazla araca dağılamaz ve her müşteriye yalnızca bir aracın hizmet götürmesi gerektiği varsayılır. Kapasiteli araç rotalama problemlerinin daha genel bir versiyonu olan bu tip problemlere bazen "ayrılamaz talepli" KKARP de denir. Bir müşterinin talebini parçalara bölmek çoğu zaman işletmeler için uygun bir çözüm değildir çünkü bu durum hem fiziksel olarak imkansız olabilir hem de müşteri hizmeti veya finansal yönetim güçlükleri yaratabilir.

Bu tipteki araç rotalama modelleri, pratikte de en fazla karşılaşılan problemlerdir. Çünkü gerçek hayatta pek çok kısıt araç rotalama problemlerine dahil edilir ve problemin çözülmesi zorlaşır. Bu amaçla akademik alanda bu konuda pek çok araştırma yapılarak, bu problemlerin çözülmesi için çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Bu tip problemlerin çözülmesinde sıkılıkla kullanılan metotlar; TSP (Gezgin Satıcı Problemi), Savings (Tasarruf) Tekniği, Sweep Metodu vs…dir (Glynn ve Robinson, 1997).

3.4.2 Mesafe Kısıtlı ARP (MKARP)

Bu problemde rotalara atanan her aracın gidebileceği maksimum mesafe kısıtı bulunmaktadır. Daha önce verilen modelde bu kısıt aşağıdaki (3.9) nolu kısıt eklenerek bulunmaktadır. Denklemde L, bir aracın gidebileceği maksimum mesafe değerini ifade etmektedir.

$$k \in \{1,.....,M\} \text{ için } \sum_{i=0}^{N}\sum_{J=0}^{N} d_{ij} \sum_{j=0,\, j\neq i}^{N} Xijk \leq L \qquad (3.9)$$

Literatürde KKARP'nin olduğu gibi MKARP'nin de farklı versiyonları bulunabilmektedir. Örneğin farklı tipteki araçlar için farklı mesafe kısıtı (Lk, k=1…….,M) söz konusu olabilir.

Bunun yanında mesafe kısıtı yerine mesafeyle orantılı seyir süresi kısıtı da olabilir. Bu durumda araç her bir müşteriye uğradığında si servis süresi kadar bekleyecektir. Bu tip problemlerde 9 nolu kısıt aşağıdaki hali alacaktır.

$$k \in \{1,.....,M\} \text{ için} \qquad \sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{N} dij \sum_{j=0,\, j\neq i}^{N} pX_{ijk} \oplus \sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{N} \frac{S_i \oplus S_j}{2} \sum_{j=0,\, j\neq i}^{N} X_{ijk} \leq L \qquad (3.10)$$

Burada p aracın seyir süresini kat ettiği toplam mesafe yoluyla hesaplamakta kullanılan bir parametredir. Servis sürelerinin 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.

Rota süresi ile birlikte taşıt sayısının da sınırlı olduğu bir problemin çözümünde bazı noktalara uğranılmaması durumu ile karşılaşılabilir. Eğer bütün adreslere mutlaka uğranılması gerekiyorsa ve taşıt sayısını arttırmak olanaksızsa, maksimum rota süresi aşılmak zorunda kalınabilir. Bu durumda aşılan her birim süre için ceza maliyeti verilerek toplam ceza maliyeti minimize edilebilir (Erol, 2006).

3.4.3 Zaman Pencereli ARP (ZPARP)

Pek çok dağıtım sisteminde her müşteri, talebini karşılayacak ürün miktarının yanında bu dağıtımın tamamlanacağı bir zaman dilimi belirleyebilir. Bu zaman dilimine "Zaman Penceresi" denir. Burada amaç; depoda başlayan ve biten, araç kapasitesini aşmadan ve belirli zaman kısıtları içerisinde belli bir küme müşteriye hizmet eden araçların minimum mesafeyi sağlayacak rotaların oluşturulmasıdır (Glynn ve Robinson, 1997). Bu tür modeller litaratürde " Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemleri" adını alır.

Bu problemde her müşteriye belli bir zaman aralığında ([ai, bi]) ulaşılması gerekir. [ai, bi] ifadesine zaman penceresi denilmektedir. Problemde her araç işletme biriminden 0 zamanında ayrılacak ve bir i müşterisine uğradığında si servis süresi kadar müşteriye hizmet edecektir.

Aracın talep noktasına gelme zamanı, belirli bir zaman aralığı içinde olmalıdır. Eğer araç müşteriye daha erken ulaşmış ise ai başlangıç zamanına kadar beklemesi gerekmektedir. ZPARP'de amaç zaman penceresine uyularak minimum maliyetle rotalamanın yapılmasıdır. Öncelikle müşterinin istediği zaman aralığında hizmet vermek, sonra rotanın optimize edilmesi yoluyla çözüme ulaşılır (Erol, 2006).

Yüksek düzeyde uygulanabilir ve ekonomik öneminden dolayı bu problem pek çok çeşidiyle literatürde yer bulmuştur. Bu konu ile ilgili çalışma için Solomon ve Desrosiers (1998)

incelebilir. Pek çok çalışma problemi emprik açıdan ele alırken, pek az çalışmada da problemin analitik yönü incelenmiştir. Bu konu üzerinde çalışmalar yapan diğer akademisyenler, Federgruen ve von Ryzin (1992), Brameil ve Simchi – Levi (1996) dir (Karahan, 2003).

Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi (ZPARP) bir (N,A) grafında tanımlanır. N müşterileri ve 0 ve n+1 düğümleri depoyu göstermektedir.Müşteriler 1,….,n' e kadar N tanedir. A ise düğümler arasındaki yayları göstermektedir. Bütün rotalar 0'da başlamakta ve n+1 de sona ermektedir. i ve j müşterisi arasındaki maliyet cij ve seyahat zamanı tij olmak üzere (i,j)ЄA dır. tij seyahat süresi i. müşterideki servis zamanını da içerir. Araçların kümesi ise V ile gösterilir. Her müşterinin qi talebine sahipken araçlar ise C kapasitesine sahiptir. Her müşteri için servis göreceği zaman bir zaman aralığında [ai,bi], (iєC) tanımlanır. Bu zaman aralığına zaman penceresi denir. Araçlar aynı zamanda depodan [ao,bo] zaman aralığında ayrılır ve $[a_{n+1}, b_{n+1}]$ zaman aralığında ise depoya dönerler. Bir araç zamanından önce müşteriye ulaşmışsa servis zamanı gelinceye kadar bekler ve bir maliyet oluşmaz. Ancak aracın müşteriye verilen zaman aralığından sonra servis vermesine izin verilmez.

Model iki çeşit karar değişkeni içerir. Karar değişkeni $X_{ij}^{k}\left(\forall(i,j)\in A,\forall k\in V\right)$ eğer araç i den j ye hareket etmişse 1 değilse 0 dır. $S_i^k\left(\forall i\in N,\forall k\in V\right)$ k aracının zamanını K є V olmak üzere i. müşterideki servis zamanıdır (i є N). Eğer k aracı i müşterisine servis vermiyorsa S_i^k nın anlamı yoktur. $S_0^k=0,\forall k, ve\ S_{n+1}^k$ k aracının depoya varış zamanını içerir. Minimum maliyetli rotaları elde etmek amacımızken müşterilerin sadece bir kez servis görmesi bir kısıttır. Parçalı dağıtımlara izin verilmez. Müşterilerin servis görmesinin zaman penceresi ve araçların kapasitesine bağlı olarak fizibil rotalar elde edilebilir. ZPARP matematiksel olarak şöyle tarif edilebilir.

Min $$\sum_{k\in V}\sum_{(I,J)\in A}c_{ij}X_{ij}^{k} \qquad (3.11)$$

Kısıtlar

$$\sum_{k\in V}\sum_{j\in N}X_{ij}^{k}=1 \qquad \forall i\in C \qquad (3.12)$$

$$\sum_{i\in C}q_i\sum_{j\in N}X_{ij}^{k}\le 1 \qquad \forall k\in V \qquad (3.13)$$

$$\sum_{j \in N} X_{0k}^{k} = 1 \qquad \forall k \in V \qquad (3.14)$$

$$\sum_{i \in N} X_{ih}^{k} - \sum_{j \in N} X_{hj}^{k} = 0 \qquad \forall h \in C, \forall k \in V \qquad (3.15)$$

$$\sum_{i \in N} X_{i,n+1}^{k} = 1 \qquad \forall k \in V \qquad (3.16)$$

$$X_{ij}^{k}(S_i^k + t_{ij} - S_j^k) \leq 0 \qquad \forall (i,j) \in A, \forall k \in V \qquad (3.17)$$

$$a_i \leq S_i^k \leq b_i \qquad \forall i \in N, \forall k \in V \qquad (3.18)$$

$$X_{ij}^{k} \in \{0,1\} \qquad \forall (i,j) \in A, \forall k \in V \qquad (3.19)$$

Amaç fonksiyon (3.11) maliyetin minimize edilmesini ifade eder. Kısıt (3.12) her müşterinin sadece bir araca atanması gerektiğini, kısıt (3.13) araçların kapasite sınırı dışında servis veremeyeceğini, kısıt (3.14), (3.15) ve (3.16) aracın akışını yani depodan sadece bir kez çıkmasını ve uğradığı her bir düğüme (h) $h \in C$ yine sadece bir kez uğramasını sonra n+1 deposuna geri dönmesini gösterir. Kısıt (3.16) modelin ağ yapısında modelin bir parçasıdır. (0,n+1) yayı ağda boş turu ifade eder. Kullanılan her bir aracın maliyeti c_v ve araç sayısının minimize edilmesi toplam maliyetin minimize edilmesi anlamına gelir. Kısıt (3.17) aracın i müşterisinden j müşterisine gitmesi durumunda k aracının j müşterisine $S_i^k + t_{ij}$ süresinden önce varamayacağını gösterirken kısıt (3.18) servis süresinin bütün zaman pencerelerinin geçerliliğini ve kısıt (3.19) ise denklemin bütünlüğünü ifade eder (Braysy ve Gendreau, 2001).

3.4.4 Müşteri Tipi Farklı ARP

Burada iki grup müşteri bulunmakta, bazı müşterilere L grubu ürün teslim edilirken, diğer müşterilerden B grubu ürün alımı yapılmaktadır. Bir araç her iki müşteri grubuna da servis yapabilmektedir fakat ilk olarak L grubu müşterileri ziyaret etmesi gerekmektedir (Önce mal teslimi, sonra mal alımı). Modelde ürün teslimatı yapılacak müşterilerin talebi pozitif iken ürün alımı yapılacak müşterilerin talebi negatiftir.

3.4.5 Karma Yüklemeli ARP

Karma yüklemeli ARP'de bir müşteriye hem ürün teslimatı hem de müşteriden ürün alımı

yapılmaktadır. Buna bağlı olarak her müşterinin arz ve talep değeri bulunmaktadır (Erol, 2006).

3.4.6 Periyodik Araç Rotalama Problemi (PARP)

Klasik ARP'de tipik planlama periyodu bir gündür. Periyodik araç rotalama probleminde ise planlama periyodu M güne yükseltilerek klasik araç rotalama problemi genelleştirilir.

Problem aşağıdaki gibi tanımlanır:

Amaç: Amaç araç akışını ve müşterilerin taleplerini karşılamak için gerekli olan toplam zamanı minimize etmektir.

Uygunluk: ARP'nin tüm kısıtları sağlanıyorsa çözüm fizibildir. Ayrıca araç depoya bir günde geri dönmeyebilir. M gün içinde tüm müşteriler en az bir kere ziyaret edilmiş olmalıdır.

Formülasyon: Tüm rotalardaki maliyet minimize edilir. Her müşteri, tek bir araçla sadece bir ziyarette karşılanması gereken, önceden bilinen günlük bir talebe sahiptir. Planlama periyodu M=1 ise problem klasik araç rotalama problemi haline gelir. PARP'de her müşteri k defa ziyaret edilmelidir. $1 \leq k \leq M$ 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) yaratmaktır. **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].

3.4.7 Parçalı Dağıtımlı Araç Rotalama Problemi (PDARP)

Bu problemde 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: Amaç araç akışını ve müşterilerin taleplerini karşılamak için gerekli olan toplam zamanı minimize etmektir.

Uygunluk: Bir müşterinin birden fazla araçtan hizmet görmesi dışında ARP kısıtlarının tümü sağlanıyorsa çözüm fizibildir.

Formülasyon: 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].

3.4.8 Stokastik Araç Rotalama Problemi (SARP)

Stokastik araç rotalama problemi, klasik araç rotalama probleminin, problem elemanlarından bir ya da birkaçının rasgele olduğu bir modele dönüştürülmesiyle elde edilir. SARP'nin 3 farklı türü vardır:

Stokastik müşteriler: Her v_i müşterisi p_i olasılığı ile vardır, $1-p_i$ olasılığıyla yoktur.

Stokastik talepler: Her müşterinin talebi d_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: Amaç araç akışını ve varlığı belirlenmiş olan rassal değerli müşterilerin taleplerini karşılamak için gerekli olan toplam zamanı ve servis sürelerini minimize etmektir.

Uygunluk: 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.

Formülasyon: $$\sum_{i<j} c_{ij}x_{ij} \oplus Q(x) \qquad (3.20)$$

formülünü aşağıdaki koşullar altında minimize et:

x_{ij}, (vi, vj) zaman düzleminde başlangıç çözümünde görünen tamsayılı bir değişkendir. Eğer i, j >1 ise x_{ij} sadece 0 ve 1 değerini alabilir. Eğer i=1 ise aracın depo ve vj 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. 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 bilinirse, depoya dolmadan geri dönebilir [2].

Problemdeki Belirsizlik: Belirsizlik problemin çeşitli parametrelerinde olabilir. Rassal müşteriler, talebin rassal olması veya servis zamanı ve seyahat zamanının rassal olması gibi.

Modelleme Metodu: Modelleme problemin tipine göre değişmektedir.

Çözüm Teknikleri: Modelin durumuna göre çeşitli çözüm teknikleri kullanılır. Bu çözümler kesin çözümler ve sezgisel çözümler olmak üzere ikiye ayrılır. Kesin çözümler arasında dal-sınır ve dal-kesme ve dinamik programlama sayılabilir. Sezgiseller arasında ise tasarruf, tabu arama ve genetik algoritmalar sayılabilir (Shen , Ordonez ve Dessouky, 2006).

3.4.8.1 Stokastik Müşteri ve Talepli Araç Rotalama Problemleri

Bu durum dağıtım noktalarında talebin belirsiz yani rassal değişken olması durumunu kapsamaktadır. Bu konuyu ilk ele alan kişi Tillman (1969) bu problemi Tasarruf algoritması ile çözüm aramıştır. Yine bu problemi ele alan diğer araştırmacılar Stewart ve Golden Olasılık kısıtlı program ve recourse metodlarını uygulamışlardır. Skotastik müşterili Araç rotalama probleminde talep deterministik yani belirliyken bir müşteriye servis vermek p_i olasılığıyla gerçekleşmektedir (Shen, Ordonez ve Dessouky, 2006).

3.4.8.2 Stokastik seyahat zamanı veya servis zamanlı araç rotalama

Bu problem tipi belirsiz çevre şartları veya trafik durumunun etkisiyle seyahat zamanının belirsizleşmesini ifade eder. Bu konuda ilk çalışma Kao (1978) sezgisel esaslı dinamik programlama kullanarak stokastik seyahat zamanlı gezgin satıcı problemine çözüm aramıştır. Carraway, Morin, Moskowitz (1989) da stokastik seyahat zamanlı gezgin satıcı problemine genelleştirilmiş dinamik programlama uygulamıştır (Shen , Ordonez ve Dessouky, 2006).

3.4.9 Toplama-Dağıtım İşlemlerini Kapsayan Araç Rotalama Problemi (TDARP)

Bu problemde müşterilerin bazı malları geri gönderebileceği olasılığı düşünülmektedir.

Bu yüzden TDARP'de müşterilerin geri gönderecekleri malların araçlara sığabilmesi koşulu hesaba katılmalıdır. Bu kısıt problemi planlamayı daha zor hale getirir ve araç kapasitelerinin iyi kullanılamamasına, yolun uzamasına ve daha fazla araç ihtiyacının doğmasına neden olur.

Bu nedenle 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: 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.

Uygunluk: Her rotaya atanmış olan toplam miktar araç kapasitesini aşmıyorsa ve araç müşterilerden malı toplamak için yeterli kapasiteye sahipse çözüm fizibildir.

Formülasyon: 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 tanımlamalıyız.

Dağıtım fizibilitesi; Bu durum, bir rotada dağıtılan toplam malın araç kapasitesini aşmaması anlamına gelir. $R_{i=}\{ v_{0,} v_1,\ldots\ldots,v_{m+1}\}$ rotası ve bu rotaya atanan C kapasiteli araç kısıtı şöyle ifade edilebilir: $C_d (v_k) \leq C$ ve $C_d (v_{k+1}) \rangle C$; $C_d (v_k)$, v_0·da (depoda) başlayan ve v_k'da biten bir rotadaki tüm müşterilere dağıtılacak olan mal toplamıdır.

$$Cd(vk) = \sum_{vi \in P(1,vk)} di.P(v1,vk) \tag{3.23}$$

$P(v_1, v_k)$, 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 $C_p (v_{k+1}) \rangle C$; $C_p (v_k)$, v_k'ya kadar ve v_k da dahil rotadaki tüm müşterilerden toplanan toplam maldır. Yani ;

$$Cp(vk) = \sum_{vi \in P(1, vk)} pi.P(v1,vk) \quad (3.24)$$

Yükleme fizibilitesi ; Aracın kapasitesi rotanın herhangi bir düğümünde bozulabilir. Böyle bir bozulma müşterilerin sıralanışına bağlı olacaktır. K_k v_k müşterisi terk edildikten sonraki araç yükü olsun.Aracın depoyu $K_1 \leq C$ şeklindeki bir ilk yükle terk ettiğini varsayalım. O zaman rotanın herhangi bir yerinde aracın yükü,

$$K(v_k) = C_p(v_k) + K_1 - C_d(i_k) \quad (3.25)$$

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 $K(v_k) \leq C$ ve $K(v_{k+1}) \rangle C$ ise fizibildir [2].

3.4.10 Geri Dönüşlü Araç Rotalama Problemi (GDARP)

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. GDARP, TDARP'ye, her rotada toplama işlemine başlamadan önce dağıtımın yapılması kısıtı konusunda benzer.

Amaç: Toplam kat edilen yolun minimum olduğu rotalar oluşturmak.

Uygunluk: Fizibil bir çözüm, dağıtım işlemlerinin toplama işlemlerinden önce tamamlandığı ve araç kapasitesinin rotaya atanan geri dönüş noktalarıyla bozulmadığı rotaları içerir.

Formülasyon: 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 tanımlamalıyız.

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

$$Cd(vk) = \sum vi \in P(1, vk)^{diP(v1,vk)} \tag{3.21}$$

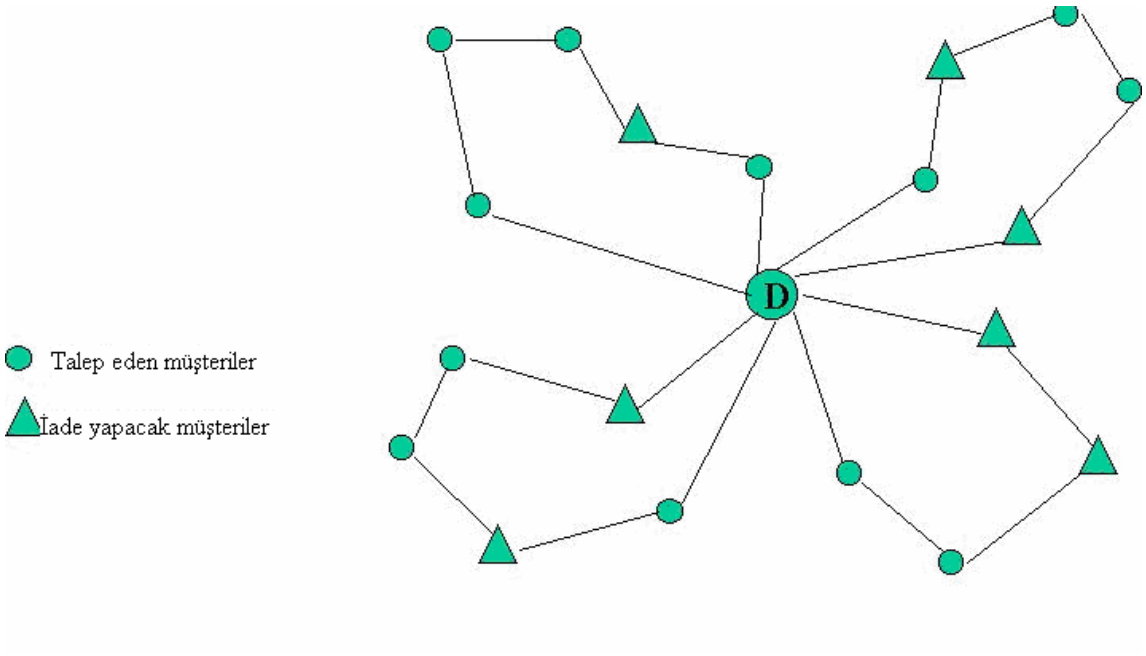
$P(v_1, v_k)$, depodan v_k'ya kadar, v_k da dahil, yol boyunca ziyaret edilen müşterileri gösterir.

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

$$Cp(vk) = \sum vi \in p(1, vk)^{piP(v1,vk)} \tag{3.22}$$

Yükleme fizibilitesi ; Aracın kapasitesi rotanın herhangi bir düğümünde bozulabilir. Böyle bir bozulma müşterilerin sıralanışına bağlı olacaktır. $K_{k,}$ v_k müşterisi terk edildikten sonraki araç yükü olsun. Aracın depoyu $K_1 \leq C$ şeklindeki bir ilk yükle terk ettiğini varsayalım. O zaman rotanın herhangi bir yerinde aracın yükü, . $K(v_k) = C_p\ (v_k) + K_1 - C_d\ (i_k)$. 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 $K\ (v_k) \leq C$ ve $K(v_{k+1}) \rangle\ C$ ise fizibildir.

Şekilde Şekil 3.4 de GDARP için şematik bir grafik görmekteyiz.



Şekil 3.4 Geri Dönüşlü Araç Rotalamanın grafiksel gösterimi [2].

3.5 Yolların Durumuna Göre Araç Rotalama Problemleri

Yolların durumuna göre ARP yi iki şekilde değerlendirebiliriz.

3.5.1 Simetrik Yollu ARP

Genellikle bir noktadan diğerine olan gidiş dönüş mesafesi birbirine eşittir (dij=dji). Literatürde böyle problemler Simetrik Araç Rotalama Problemleri olarak belirtilmektedir.

3.5.2 Asimetrik Yollu ARP

Bazı durumlarda bir noktadan diğerine olan gidiş dönüş mesafesi birbirine eşit olmayabilir. Burada aracın ilk olarak hangi müşteriye gideceği önem kazanmaktadır, bu da rotanın dönüş yönünü saptayarak rota mesafesinin hesaplanmasını belirlemektedir (Erol, 2006).

3.6 Araç Rotalama Problemleri İçin Çözüm Yöntemleri

Araç rotalamanın kısa bir tarihçesi Çizelge 3.1 de verilmiştir. 1960'larda ve 1970'lerde araç rotalama problemlerinin araştırılması rota kurma, rota geliştirme ve iki aşamalı sezgiseller üzerine odaklanmıştır. 1980'lerde matematik programlama esaslı sezgiseller geliştirilmiştir. Bu sezgiseller daha fazla hesaplama çabasına gereksinim duymakta ancak oldukça yüksek kaliteli sonuçlar üretmektedir. 1980'lerin sonuna gelindiğinde yaklaşık 50 müşterisi olan problemler optimal olarak çözülmeye başlanmıştır. 1990'larda araştırma odağı araç rotalama problemlerine genel amaçlı metahöristikler uygulamaya alınmıştır. Bu meta-sezgiseller benzetimde tavlama, genetik algoritmalar, sinir ağları ve tabu arama metotlarını içermektedir. Bu metotların bazıları tanınmış problem kümelerine doğruluğu yüksek çözümler üretmişlerdir.

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.

3.6.1 Kesin Yöntemler

Kesin yöntemler ile optimum sonuçlar bulunmaktadır. Ancak özellikle büyük ölçekli problemlerin çözümünde çözüm zamanı çok uzun olabilmektedir. Kesin yöntemler matematiksel programlama tabanlı yöntemler olup, ortak özellikleri optimum sonuç vermeleridir. Tamsayılı model olarak formüle edilen araç rotalama probleminin çözümü için dal-sınır (Branch and Bound), kesme düzlemi (Cutting Plane) ve dal-kesme (Branch and Cut) yöntemleri kullanılmaktadır. Ayrıca dinamik programlama, lagrangian ayrıştırma, ağaç arama ve sütun yaratma (column generation) kesin çözüm yöntemleri arasında yer almaktadır.

3.6.1.1 Dal ve Sınır Algoritmaları

Kapasiteli araç rotalama problemleri için en başarılı kesin çözüm yöntemlerinden biri Fisher'in 71 müşterili çözmeyi başarabilen K-Tree metodudur. Buna rağmen kesin olarak çözülemeyen küçük istisnalar da bulunmaktadır. Daha büyük örneklerin üstesinden gelebilmek ya da çözüme daha hızlı ulaşabilmek için sezgisel metotlardan yararlanılmalıdır. Fisher algoritması seçilen müşteri gruplarının alt kümelerinin bir kenarını sınırlandırarak elde edilen parçalı problemlerin çözümünde kullanılır. Minimum dereceli kısıtlı K-Tree problemini bulabilmek için çevre kısıtları dualize edilir.

K-Tree metodu, asimetrik maliyetler, zaman penceresi ve uniform olmayan akışlar gibi gerçekçi değişkenlere uyum sağlayabilmek amacıyla genişletilebilir.

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 değerlendirmiş oluruz. İlerleme ve sınırlama aşamalarında problemi esnek hale getiririz. Böyle yaparak S fizibil çözüm uzayında bulunmayan çözümleri de kabul etmiş oluruz. Bu esnek değerleri çözümlemek, optimum çözüme daha düşük bir sınır değeri getirir. Bu değer S'in bir elemanıysa ya da s' ile eşit

maliyete sahipse (s' ∈ S), problem sona ermiştir, başka bir ifadeyle yeni çözüm olan s' optimaldir.

Aksi durumda S uzayında S1…….Sn olarak n adet alt küme tanımlarız. Örneğin:

$$\bigcup_{i=1}^{n} S_i = S \tag{3.26}$$

Bu alt kümelerin her biri bir alt problem olarak tanımlanır. Bu alt problemleri aday alt problemler listesine ekleriz. Bu durum dallandırma olarak adlandırılır. Algoritmaya devam etmek için aday alt problemlerden birini seçeriz ve ilerletiriz. Dört mümkün sonuç vardır:

- 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 ulaşıncaya kadar algoritmaya devam ederiz [3].

3.6.1.2 Dal ve Kesme Algoritmaları

Dal sınır Algoritmasındaki gibi, Kesme Düzlemi algoritması da sürekli bir doğrusal programlama probleminin optimum çözümüyle başlar. Ancak bu yöntemde dallanma ve sınırlamadan çok, kesme adı verilen özel kısıtlar ardı ardına oluşturularak çözüm uzayının düzenlenmesine gidilir (Taha, 2005).

3.6.1.3 Dinamik Programlama

Dinamik programlama, n değişkenli bir problemin optimum çözümünü problemin *n* aşamaya ayrıştırarak ve her aşamada tek değişkenli bir alt problemi çözerek belirler. Bunun hesaplama avantajı, n değişkenli alt problemler yerine tek değişkenli alt problemleri optimum kılmasıdır. Dinamik programlamanın asıl katkısı, problemleri aşamalara ayrıştırmasının çerçevesini oluşturan optimumluk ilkesidir. Optimizasyon problemine bağlı olarak aşamaların yapısı farklılıklar gösterdiğinden, dinamik programlama her bir aşamayı optimum kılmak için gerekli olan hesaplamaların ayrıntısını vermez. Bu ayrıntılar problem çözücü tarafından

doğaçlama olarak gerçekleştirilip tasarlanır.

Dinamik programlamada hesaplamalar yinelenerek yapılır, bu bakımdan bir alt problemin optimum çözümü bir sonraki alt problemin girdisidir. Son alt problem çözüldüğünde problemin tamamının optimum çözümüne ulaşılmış olur. Yinelenen hesaplamaların uygulama biçimi orijinal probleme bağlıdır. Özellikle, alt problemler bazı ortak kısıtlarla birbiriyle ilişkilendirilmiştir. Bir alt problemden bir sonrakine ilerledikçe bu kısıtların uygunluğuna dikkat edilmelidir (Taha, 2005) .

3.6.2 Sezgisel Yöntemler

Sezgisel yöntemler arama uzayında oldukça kısıtlı bir alanda tarama yapmalarına rağmen oldukça kısa bir sürede iyiye yakın çözümler üretmektedirler. Bunun yanında sezgisel teknikler genelde hızlı bir şekilde uygun bir ilk çözüm bularak bu çözümü iyileştirmeye çalışırlar. ARP için geliştirilen sezgisel yöntemlerin birçoğu simetrik yollu KKARP için geliştirilmişlerdir

Algoritma belirli bir problemi çözecek davranışın var olan veya sonradan tamamlanan veri modeline dayandırılarak adım adım ortaya koymak ve bunu bilgisayar ortamında herhangi bir programlama diliyle kodlamaktır.

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.

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.

ARP tipi problemlerin çözümünde genellikle sezgisel yöntemler kullanılır. Ancak bir problem için geçersiz olan sezgisel yaklaşım diğeri için başarılı sonuçlar verebilir. 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. Sezgisel yaklaşımların temel adımları aşağıdaki gibidir:

- 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.

Sezgisel algoritmalar belli bir amacı gerçekleştirmek veya hedefe varmak için çeşitli alternatif hareketlerden etkili olana karar vermek amacıyla tanımlanan kriterler veya bilgisayar metotlarıdır. Bu tür algoritmalar yakınsama özelliğine sahiptir ama kesin çözümü garanti etmezler ve sadece kesin çözümün yakınındaki bir çözümü garanti edebilirler (Erol, 2006).

Sezgisel Yöntemlerin Sınıflandırılması

ARP sezgisel algoritmaları genel olarak üç ana sınıfa ayrılır (Eryavuz ve Gencer, 2001):

1.Tur kurucu sezgiseller

2.Tur geliştirici sezgiseller

3.İki aşamalı metotlar

3.6.2.1 Tur Kurucu Sezgiseller

Bu yöntemler mümkün olmayan (infeasable) atamalarla çözüme başlar, her defasında iki düğüm arasına bir dal ekleyerek mümkün çözüme ulaşılır. Dal eklenirken araç kapasite kısıtına uyup uymadığı kontrol edilir. Eklenecek dal bazı maliyet tasarruflarına göre seçilir. Tur kurucu metotlar arasında en çok tercih edileni Clarke ve Wright'ın, Dantzg ve Ramser'in çalışmasından esinlenerek geliştirdikleri Tasarruf (Savings) algoritmasıdır. Tasarruf Algoritmasının temel konsepti değiştirilmeden sayısız algoritmalar geliştirilmiştir (Eryavuz ve Gencer, 2001). Bunun dışında yerleştirme (insertion), en yakın komşu (nearest neighbour) yöntemleri de bu kategoriye girer (Emel ve Taşkın, 2005).

3.6.2.1.1 Tasarruf (Saving) 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 [3].

İşlem bir başlangıç noktasının depo olarak ele alınmasıyla başlar. Başlangıçta tüm durakların depodan ziyaret edildiği varsayılır. Sonra iki alt turun birleştirilmesiyle elde edilen tasarruflar hesaplanır.

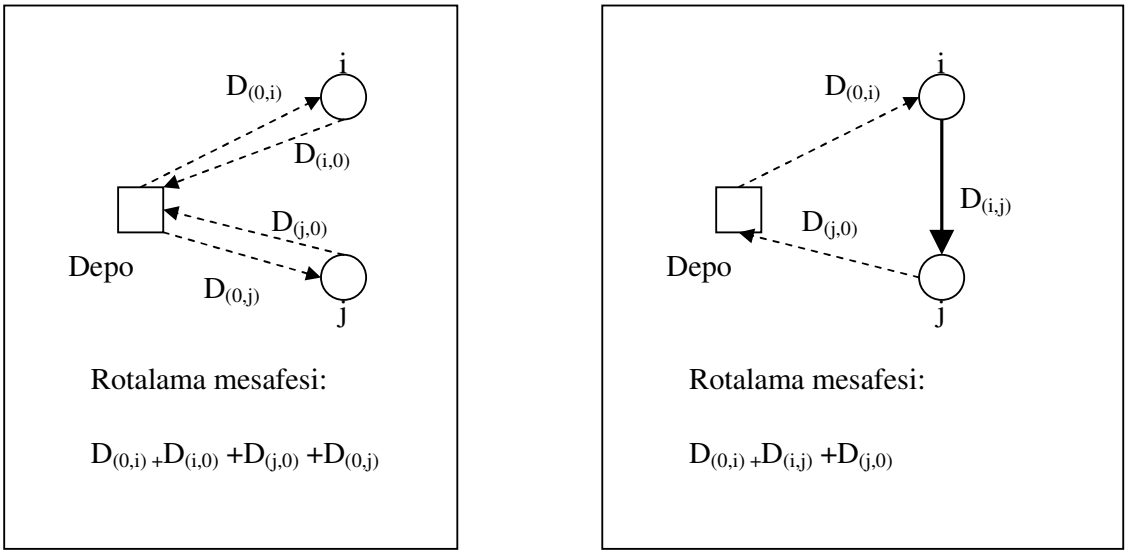
En büyük tasarruf değerinden başlayarak rotalar birleştirilir. Birleştirilen müşteriler bir tek büyük müşteri olarak kabul edilir. Algoritmanın temel konsepti aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Eryavuz ve Gencer, 2001).

Bu yöntem sweep yöntemine göre daha optimal sonuç vermektedir. Yapılan incelemelerde kazanç yönteminin hata oranının ortalama %2 civarında olduğu tespit edilmiştir. Bu oran sweep yöntemine nazaran daha optimaldir (Karahan, 2003).

Kazanç metodunun amacı tüm araçların almış olduğu toplam seyahat mesafesini minimize etmek yada servis için gerekli olacak araç sayılarını azaltmaktır. Metodun mantığı tüm varış noktalarına hizmet veren ve tekrar orijin noktasına geri dönen hayali bir araç ile başlar. Bu durum Şekil 3. 4 (a)'da gösterilmiştir. Yapılan bu işlem araç rotalamada alınacak en uzun mesafedir. 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 mesafe Şekil 3.4 (b)' de gösterilmiştir. Birleştirme sonucu oluşan kazanç ise

$$S= d_{(0,i)} + d_{(j,0)} - d_{(i,j)} \qquad (3.27)$$

şeklinde hesaplanır. Bu hesaplama işlemi ikili tüm noktalar için uygulanır. En büyük kazanç değerini veren nokta çiftleri birleştirilmek için seçilir. Oluşturulmuş rotanın son hali Şekil 3.4' de gösterilmiştir.



(a) (b)

Şekil 3.4 Tasarruf Yönteminin Uygulanması (Karahan, 2003).

Clarke ve Wright'ın geliştirdiği tasarruf algoritması araç rotalamada yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Araçların uğrak noktaları (n) küçük değerlerde ise, tasarruf metodu manuel çözüm yapmak için fizibil olabilir (Karahan, 2003).

3.6.2.2 Tur Geliştirici Sezgiseller

Bu metotlar bir mümkün çözümü başlangıç çözümü olarak alır ve o çözümü geliştirirler. Her bir iterasyonda dal kombinasyonları değiştirilir ve değişimin mümkün çözüme ulaştırıp ulaştırmadığı, maliyeti düşürüp düşürmediği kontrol edilir. Tur geliştirme sezgiselleri Lin ve Lenstra ve Rınnooykan'ın Seyyar Satıcı Problemi sezgiseline dayanır (Eryavuz ve Gencer, 2001).

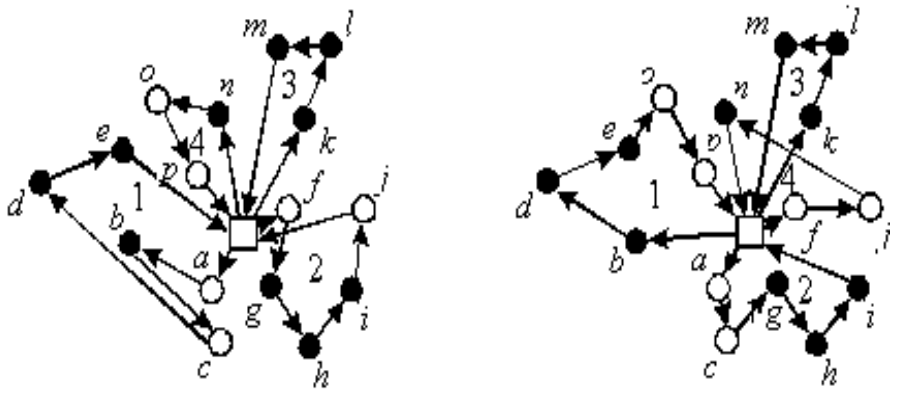
3.6.2.2.1 Çok rotalı İyileştirme Algoritmaları

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 [3].

3.6.2.2.2 Thomson ve Psaraftis

Thomson and Psaraftis (1993), her j ve sabit tamsayı k için k taleplerinin I^j rotasından $I^{\delta j}$ rotasına transferini içeren dairesel k-transferleri konseptine dayanan bir metot önermişlerdir.

Şekil 3.5 de Thomas ve Psaraftis yöntemi şematik olarak gösterilmiştir. { I^r }rotalar kümesi (r=1,…..m), fizibil bir çözüm oluşturur ve δ,{r=1,……m}alt kümesinin dairesel bir permütasyonudur. Özellikle δ sabit bir kardinal olan C'ye sahipse, C-dairesel 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 [3].



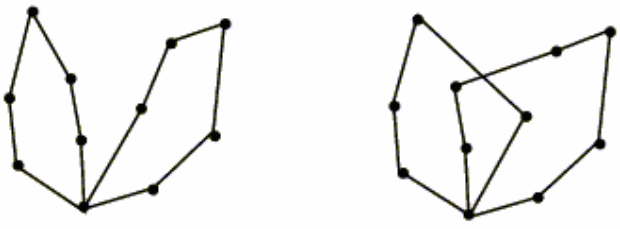
Şekil 3.5 Thomson ve Psaraftis yönteminin uygulanması [3].

Dairesel transfer operatörü olarak burada beyaz dairelerle belirtilen müşterileri rotalar arasında dairesel bir şekilde düzenli olarak eşzamanlı transfer etmek temel yaklaşımdır. Burada 1. rotadaki a ve c müşterileri, 2. rotadaki f ve j müşterileri, ve 4. rotadaki o ve p müşterileri 2., 4. ve 1. rotalara düzenli olarak transfer edilir. 3.rotaya dokunulmaz.

3.6.2.2.3 Van Breedam Analizi

Burada ilgilenilen 4 operasyon vardır:

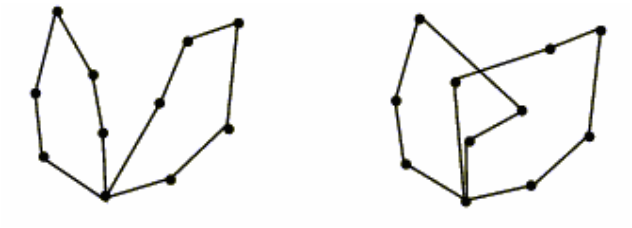
Zincir Çaprazlama (SC): İki farklı rotanın iki kenarı çaprazlanarak iki string (zincir) yer değiştirir. Bu yöntem Şekil 3.6 da gösterilmiştir.



Önce Sonra

Şekil 3.6 String Cross (zincir çaprazlama) öncesi ve sonrası [3].

Zincir Değiş-tokuşu (SE): İki rota arasında en fazla k köşesi içinden iki zincir yer değiştirir. Şekil 3.7 de zincir değiş-tokuşu şematik olarak gösterilmiştir.



Önce Sonra

Şekil 3.7 Zincir değiş-tokuş öncesi ve sonrası [3].

Zincir Yerdeğiştirme (SR): En fazla k köşesi içinden iki string k=1 ya da 2 değeriyle bir rotadan diğerine hareket der.

Zincir Bağdaştırma (SM): SE ve SR arasındaki en iyi hareket seçilir.

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.

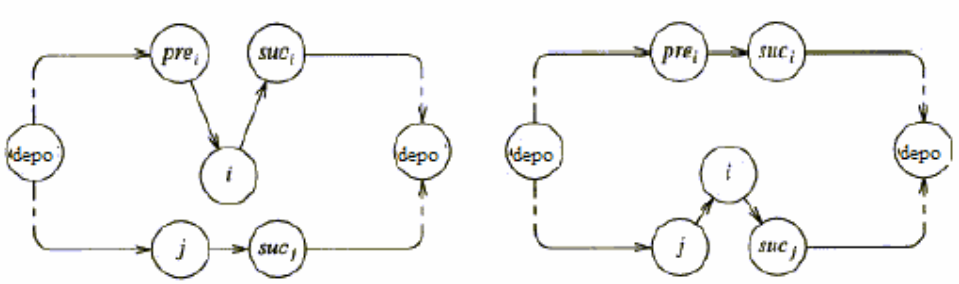
Van Breedam bundan sonra lokal iyileştirme prosedürünü etkileyen bir parametreler kümesi tanımlar.

- 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 [3].

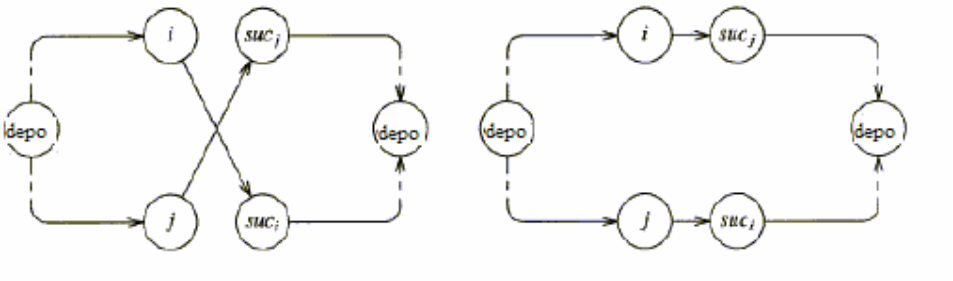
3.6.2.2.4 Kinderwater ve Savelsbergh

Kinderwater ve Savelsbergh sezgisel yönteminde turlar izole olarak düşünülmez. Bu nedenle yollar ve müşteriler farklı turlar arasında değiştirilebilir. Bu değişikliği yapan operasyonlar Şekil 3.8 ve Şekil 3.9 daki gibidir:

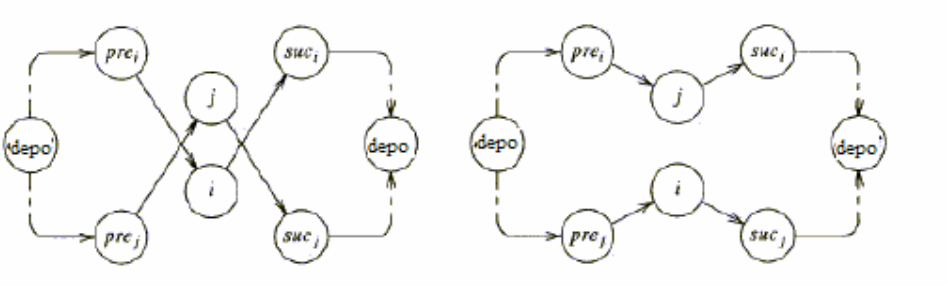
Müşteri Kaydırma: Bir rotada bulunan bir müşteri diğer bir rotaya kaydırılabilir.



Çaprazlama: İki rota bir noktada kesiştirilir.

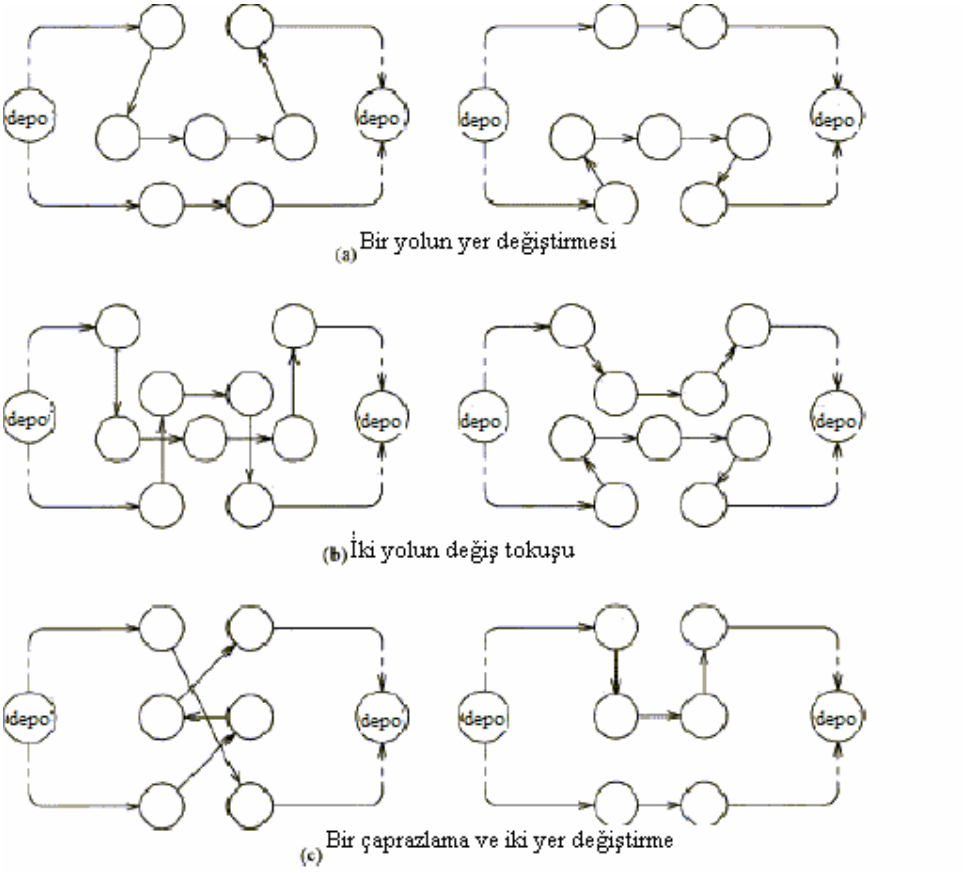


Müşteri değiş-tokuşu: İki farklı rotada bulunan iki müşteri birbiri ile yer değiştirir.



Şekil 3.8 Kinderwater ve Savelsbergh Yöntemi [3].

Aşağıdaki şekilde bu konuyla ilgili biraz daha karmaşık örnekler görülmektedir:



Şekil 3.9 Kinderwater ve Savelsbergh Yöntemine ait uygulamalar [3].

3.6.2.3 İki Aşamalı Metotlar

Bu metotların birinci aşamasında, düğümler araçlara kapasiteyi aşmayacak şekilde atanır. İkinci aşamada ise her bir araç için sezgisel yöntemler kullanılarak rota oluşturulur. Önce gruplama sonra rotalama tipindeki algoritmalar, iki aşamalı metotlara örnek olarak verilebilir. Gillet ve Miller'in 1974 yılında geliştirdikleri Süpürme(Sweep) algoritması, Fisher ve Jaikumar'ın 1981 yılında geliştirdikleri algoritma, Christofides, Mingozzi ve Toth'un 1980 yılında geliştirdikleri algoritma iki aşamalı algoritmalara örnek olarak verilebilir (Eryavuz ve Gencer, 2001). İki aşamalı yöntemler önce grupla sonra rotala (cluster first- route second), önce rotala sonra grupa (route first- cluster second) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Emel ve Taşkın, 2005).

3.6.2.3.1 Süpürme (Sweep) Algoritması

Sweep yöntemi ilk önce şebeke içerisindeki müşterileri araçlara atayan ve daha sonra gezgin satıcı yöntemiyle araçları rotalayan iki aşamalı bir metottur. Sweep yöntemi depoyu orijin

noktası olarak kabul eder ve depodan başlayarak müşteri noktalarına rassal olarak ulaşmaya çalışır. Öncelikle olarak bir i noktasına ya da müşterisine gidilir. Daha sonra aracın kapasitesi doluncaya kadar i+1, i+2, … noktalarına gidilir ve aracın kapasitesi dolduğunda tekrar depoya geri dönülür. Bu işlem tüm müşteriler bir rotaya atanıncaya kadar yada tüm araçlar kullanılıncaya kadar devam eder. Son olarak gezgin satıcı yöntemiyle rotalar optimize edilir (Karahan, 2003).

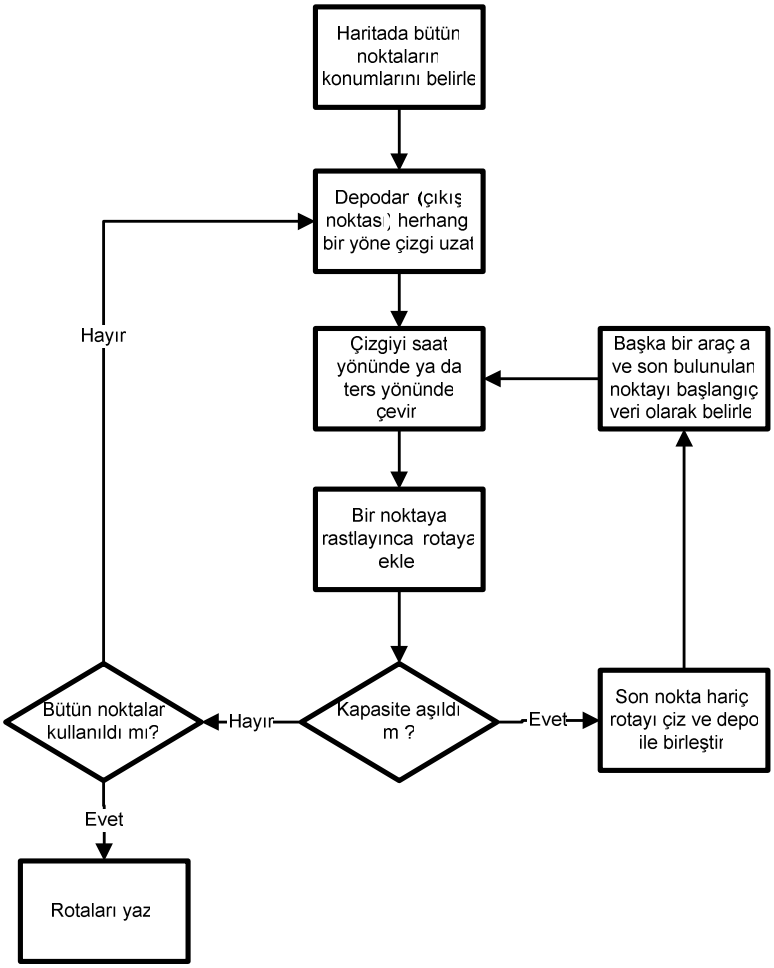
Araç rotalamada kullanılan sweep yöntemi çok basit bir şekilde yapılabilmektedir. Sweep yöntemi bilgisayar yazılımı içerisinde programlandığı zaman çok fazla bilgisayar hafızasına gerek duymadan hızlı bir şekilde problemi çözebilmektedir. Yapılan araştırmalarda bu yöntemin ortalama %10'luk bir hata ile optimuma yakın bir sonuç verdiği gözlenmiştir. Bu hata düzeyi küçük miktarlarda siparişlerin olduğu durumlarda kabul edilebilir (Ballou, 1999).

Sweep yönteminin adımları aşağıdaki gibidir:

1. Bir harita üzerinde depo (orjin noktası) ile müşteri noktalarının (varış noktaları) yeri doğru şekilde tespit edilir.
2. Herhangi bir araç belirlenir.
3. Bu araç göz önüne alınarak araç kapasitesine uygun yükleme yapılır. Öncelikle depodan herhangi bir noktaya gidilir. Eğer gidilen noktadaki talep miktarı aracın kapasitesini aşmıyorsa saat yönünde ya da ters yönde ikinci bir noktaya gidilir. Bu ikinci noktanın talep miktarı toplam miktara eklenir. Bu toplam miktar eğer aracın kapasitesini aşmıyorsa üçüncü bir noktaya gidilir, aksi halde araç depoya geri döndürülür.
4. Birinci araç depoya geri döndükten sonra ikinci araç için rota hazırlanır. İkinci aracın rotası birinci aracın en son uğradığı noktadan başlar. Ve 3. adındaki gibi devam edilir. Bu işlem şebeke içerisindeki tüm noktalar (müşteriler) rotaya katılıncaya kadar sürer.
5. Tüm noktalar rotalandıktan sonra belirlenen rotalar uygun bir şekilde optimize edilir.

Sweep Yönteminin yukarıda anlatılan algoritması Çizelge 3.1' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Sweep (Süpürme Algoritması) yönteminin algoritması (Kocaoğlu, 2003).



3.6.2.3.2 Fisher and Jaikumar Atama Tabanlı Algoritması

Fisher ve Jaikumar algoritması (1981), iyi bilinen bir algoritmadır. Grupları oluşturmak için Genelleştirilmiş Atama Problemini (GAP) çözer. K araç sayısı sabittir [3].

1. Aşama

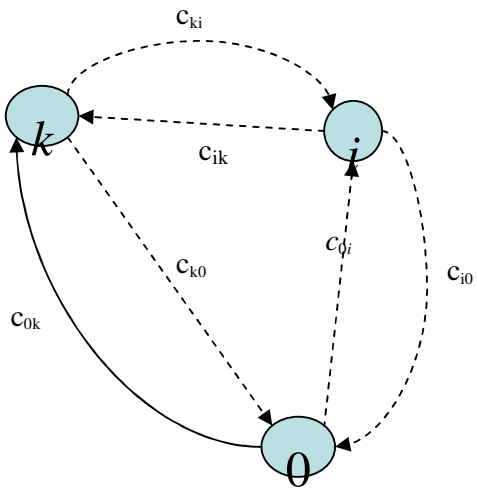
M adetli bir müşteri kümesi seç.

i. müşteriyi k rotasına eklemenin maliyetini hesapla

Müşterileri rotalara atamak için genelleştirilmiş atama probleminin çözüm yöntemini kullan.

2.Aşama

Her rota için bir gezgin satıcı problemini çöz (Fisher ve Jaikumar, 1981). Bu aşamanın uygulanış şekli Şekil 3.10 da gösterilmiştir.



$$d_{ik} = \min \{ c_{0i} + c_{ik} + c_{k0}, c_{0k} + c_{ki} + c_{i0} \} - c_{0k} - c_{k0} \quad (3.28)$$

Şekil 3.10 Fisher and Jaikumar Atama Tabanlı Algoritması (Ekleme maliyetleri) (Fisher ve Jaikumar, 1981).

3.6.2.3.3 Taç Yaprağı Algoritmaları

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

$$\min \sum k \in I \, d_k x_k \quad (3.29)$$

Şu kısıtlara göre;

$$\sum k \in I \, a_{ik} x_k = 1 \quad (3.30)$$

xk= 0 ya da 1 (k∈I), i=1,2,…n

I rotalar kümesi olmak üzere, sadece ve sadece k çözüme ait olduğunda xk = 1 olur. aik i nin k rotasına ait olması durumunda 1'e eşit olan ikili sistemdeki parametredir. dk ise k taç yaprağının maliyetidir.

Eğer rotalar köşelerin bitişik noktalarında ise bu problem dairesel özellik göstereceğinden polinimal zaman dikkate alınarak çözülür [3].

3.6.2.3.4 Taillard Algoritması

Taillard algoritması (1993), λ-interchange populasyon mekanizmasını kullanarak komşuluk bölgesini tanımlar. Bireysel rotalar Volgenant ve Jonker'in (1993) optimizasyon algoritmasını kullanarak yeniden iyileştirilir. Taillarda algoritmasının belirgin özelliği, ana problemlerin alt problemlere ayrılmasıdır.

Bu alt problemlerden olan düzlemsel problemlerde, ilk olarak köşe noktalarını depoda merkezlenen sektörlere ve her sektörün 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 (shortest spanning aborescences) farklı bir metot sunar. Bu metot alt problemlerin farklı işlemciler arasında dağıtılmasına olanak veren paralel uygulamalar için en uygundur.

Bu iki stratejinin birleştirilmesi mükemmel sonuçlar verir [3].

3.6.2.4 Önce Rotala Sonra Grupla Tipindeki İki Aşamalı Sezgiseller

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 dij'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 [3].

3.6.3 Metasezgisel Yöntemler

1990'larda araştırma odağı araç rotalama problemlerine genel amaçlı metahöristikler uygulamaya kaymıştır. Bu meta-sezgiseller benzetimdeki tavlama, genetik algoritmalar, sinir ağları ve tabu arama metotlarını içermektedir. Bu metotların bazıları tanınmış problem kümelerine doğruluğu yüksek çözümler üretmişlerdir (Tanyaş, 2002).

Metasezgisel yöntemler çözüm uzayında etkili bir şekilde arama yapmak için, farklı yapılardaki alt kademe sezgisel algoritmaların zekice birleştirilmesi ile oluşturulmuş iteratif problem çözme prosedürleridir. Bu yöntemler her iterasyonda bir çözümden veya çözüm koleksiyonundan yola çıkarak yeni çözümler üretirler. Çoğu metasezgisel yaklaşım çözüm uzayında stokastik fakat bilinçli bir şekilde arama yapar (Erol, 2006).

Bölgesel optimizasyon problemleri yöntemleri olan klasik sezgisel yöntemlerde çözüm uzayında arama, belirlenen komşuluk yapısı ile daha iyi bir komşu çözüm bulunamadığı durumlarda sonlandırılmaktadır. Bu sebeple yöntemler lokal minimum noktalarda takılmakta ve arama stratejisi kör bir şekilde uygulanmaktadır. Metasezgisel yöntemler ise lokal minimum noktalardan kurtulmak için daha kötü çözümlerin de kabul edildiği global optimizasyon yöntemleridir. Bu yöntemlerin dezavantajı algoritma içinde bir durdurma kriterinin bulunmayışı, yani algoritmanın ne zaman duracağını bilmemesidir (Breedam, 2001). Aşağıda literatürde kabul görmüş en yaygın meta-sezgisel yöntemlere değinilerek bu meta- sezgisellerin çalışma prensipleri anlatılacaktır.

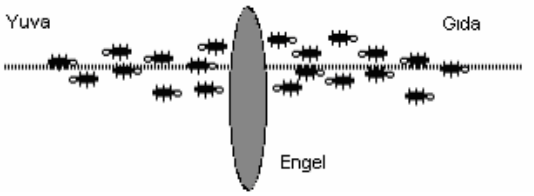
3.6.3.1 Karınca Algoritması

Karıncalar, yuvalarından bir gıda kaynağına giden en kısa yolu, herhangi görsel ipucu kullanmadan bulma yetisine sahiptirler. Ayrıca, çevrelerindeki değişikliklere çok iyi uyum sağlama özellikleri vardır . Örnek vermek gerekirse, bir gıdaya giden yolda herhangi bir problem meydana gelmesi (bir engelin ortaya çıkması gibi) ve yolun kullanılamaz olması durumunda, yeniden en kısa yolu bulurlar. Şekil 3.11, karıncaların yuvalarından doğrusal bir yol boyunca gıdaya gidişlerini göstermektedir .

Şekil 3.11 Karıncaların izlediği yol (Dalkılıç ve Türkmen, 2003).

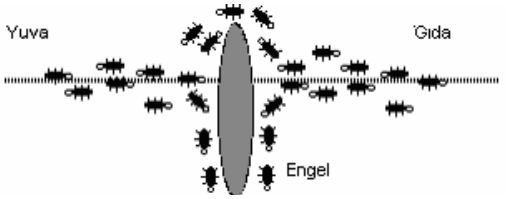
Karıncaların bu yolu bulmak için kullandıkları araç feromenlerdir (pheromone). Feromen, bazı hayvanların kendi cinslerinden diğer hayvanları etkilemek için kullandıkları bir tür kimyasal salgıdır. Karıncalar ilerlerken, belirli bir miktar feromen depo ederler ve olasılığa dayanan bir yöntemle feromenin daha çok olduğu yolu az olduğu yola tercih ederler. Depo ettikleri feromenleri, gıdaya giderken seçtikleri yola bırakarak, kendilerinden sonraki karıncalara yol seçiminde yardımcı olurlar. Bu içgüdüsel davranış, onların gıdaya giden en kısa yolu, önceden var olan bir yolun kullanılamaz olması durumunda dahi nasıl bulduklarını

açıklar.



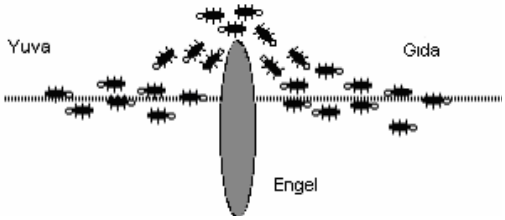
Şekil 3.12 Karıncaların bir engelle karşılaşması (Dalkılıç ve Türkmen, 2003).

Gerçekte, gıdaya giden yolda herhangi bir engel meydana geldiğinde (Şekil 3.12), 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 (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Engelle karşılaşan karıncaların seçimi (Dalkılıç ve Türkmen, 2003).

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 yapılandırdıkları gerçeğidir. Yapılan seçimler de, bu yol üzerindeki feromen miktarını artıracak ve sonradan gelen karıncalar için tercih sebebi olacaktır.



Şekil 3.14 Karıncaların kısa yolu bulmaları (Dalkılıç ve Türkmen, 2003).

Sonradan gelen karıncaların, yeni en kısa yolu seçmelerindeki feromen pozitif etkisinin (yol üzerindeki feromen) oluşabilmesi için, karınca ile yol üzerindeki engel arasındaki etkileşim

çok hızlı bir şekilde gerçekleşmelidir. Her karıncanın, ortalama aynı hızda ve aynı miktarda feromen bıraktığı göz önüne alınırsa, karıncanın engeli fark edip en kısa yolu seçmesi, normal süreçten biraz daha uzun sürmelidir. Fakat, sonradan gelen karıncaların feromene dayalı yol seçimi toplamda gıdaya giden süreci kısaltır (Şekil 3.14).

Gerçek karıncalar, kör olmalarına rağmen yuvalarından yiyeceğe giden en kısa yolu bulabilmektedir. Karıncaların bu özelliği, bir takım özellikler aynen kullanılarak ve bazı eklemelerle gerçek problemlerin çözümünde kullanılabilir hale getirilmiştir.

Aynen alınan özellikler:

• Karıncalar arasında feromen aracılığı ile kurulan iletişim,

• Feromen miktarının fazla olduğu yolların öncelikle tercih edilmesi,

• Kısa yollar üzerinde feromen miktarının daha hızlı artması.

Eklenen özellikler:

• Zamanın ayrık olarak hesaplandığı bir ortamda yaşarlar,

• Tamamen kör olmayıp, problem ile ilgili detaylara erişebilirler (Dalkılıç, Türkmen, 2003).

ARP için ilk karınca sistemi 1997 yılında Bullnheimer tarafından ortaya atılmıştır. Bullnheimer problemin en temel şekli olan kapasiteli araç rotalama problemin ele almıştır.

ARP'nin daha kompleks versiyonları için Gambardella, Taillard ve Ragazzi, 1999'da zaman pencereli araç rotalama problemi için çoklu karınca kolonisi sistemini geliştirmişlerdir. Bu sistem birden çok amaç fonksiyonunun optimize edilebilmesi için, yapay karınca kolonileri hiyerarşisinin organizasyonu ile tasarlanmıştır. İlk koloni araç sayısını minimize ederken, ikinci koloni dolaşılan uzaklığı minimize eder. Koloniler arasındaki işbirliği feromon aracılığıyla bilgilerin aktarılması yoluyla gerçekleşir.

Bulnheimer'in tasarımında iki temel karınca sistemi adımı vardır: Araç rotalarının oluşturulması ve iz güncellemesidir.

Algoritma kurulduktan sonra bu iki adım her iterasyon için tekrarlanır. Yapay karıncaların ilk yerleşimleri dikkate alındığında, iterasyon başlangıcında, her müşterideki karınca sayısının eşit olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Yapay karıncalar tarafından oluşturulan araç rotalarını kısaltan 2-opt sezgiseli, çözüm kalitesini göreceli olarak iyileştirir. Bu lokal arama yöntemine ek olarak algoritmanın başlangıç fazında belirlenen müşterilerin seçimi için üye

listeleri oluşturulur. Her vi lokasyonu için V-{vi}değerini, üye listelerini bulmak amacıyla, artan dij uzaklığına göre sıralarız. Kapasiteli araç rotalama problemi için önerilen karınca sistemi aşağıda şematize edilmiştir:

1.Çözümü başlat

2.I^{max} iterasyonları için şunları yap:

-Tüm karıncalar için formülden ve üye listelerinden yararlanarak yeni bir çözüm üret.

-Tüm araç rotalarını 2-opt sezgiselini kullanarak geliştir.

-Feromon izlerini, yollarını güncelle [3].

3.6.3.2 Tabu Arama (TA)

TA tekniğine ait ilk çalışmalar Glover (1986, 1989, 1990) a aittir. Teknik genel zeki problem çözme eğilimlerinden kaynaklanmaktadır ve zekice problem çözme prensiplerini ortaya çıkarmaya çalışır. Dolayısıyla TA nın yapay zeka ve optimizasyon alanlarının birleştiren kavramlara dayandığı söylenebilir. TA yönteminin özü olurluluk yada yerel optimallik sınırlarını aşmak için tasarlanan prosedürlere dayanır. TA yerel optimalliğin ötesindeki çözüm uzayını keşfetmek için yerel bir sezgisel arama prosedürüne kılavuzluk eden bir meta-sezgidir. TA bu kılavuzluğu, hafızasında aramanın hikayesini tutarak, yani bazı adaylara "yasak" koyarak, aramayı sınırlandırması ve yerel optimallikten kurtarmasıyla yerine getirmektedir. Bununla beraber, Brucker (1995)'e göre, genel TA çerçevesi, belli bir algoritmayı zorlamaktan ziyade, çözüm prosedürlerinin tasarımı için üst düzey bir serbestliğe izin vererek yeni taktiklerin keşfedilmesini sağlar. Laguna ve Glover (1996)'ya göre de, TA çok çeşitli iş problemlerinin çözümü için bir kapı açan yenilikçi bir yaklaşımdır. Bu yenilikçi yaklaşım muhtemelen şeffaf ve tabii bir usa sahiptir; onun amacı hafızanın zekice kullanımını uyarlamaktır.

TA'nın işleyişi basitçe şöyledir: Bir başlangıç seçimi ele alınır, bu seçimin komşuları bir komşuluk yapısıyla belirlenir, bir amaç fonksiyonuna göre komşular değerlendirilir, değerlendirilen komşu tabu listesinde yoksa yada aspirasyon kriterini tatmin ediyorsa bu çözüm şimdiye kadar bulunan en iyi çözümle karşılaştırılır ve tabu listesine eklenir, eğer çözüm en iyi çözümden daha iyi ise sonraki arama için yeni başlangıç çözümü olarak alınır. Bu işlem bir durdurma kriteri karşılanıncaya kadar tekrarlanır (Cedimoğlu ve Geyik, 2001).

Tabu arama herhangi bir başlangıç çözümü ile aramaya başlamakta ve komşu kümesindeki

eniyi amaç fonksiyon değerine sahip ve tabu olmayan çözümü yeni çözüm olarak dikkate almaktadır. Bu işlemler seçilen bir durdurma koşulu gerçekleşinceye kadar devam etmekte, arama boyunca karşılaşılan en iyi çözüm Tabu arama metodunun bulduğu sonuç olmaktadır.

Çevrimi önlemek ve aramayı farklı bölgelere yönlendirmek amacıyla tabu olarak sınıflandırılan çözümler tabu listelerine kaydedilmektedir. Bu listeler en son hareketin listenin başına eklenmesi ve en eski hareketin listeden çıkarılması prensibine göre yönetilirler. Tabu listesine kaydedilen hareketlerin tabu süresi boyunca yeniden kullanılmasına izin verilmemektedir. Ancak, o ana kadar bulunan en iyi çözümden daha iyi bir çözüm üreten bir tabu hareketi ile karşılaşılırsa bu harekete izin verilir. Bu kriter literatürde en yaygın kullanılan tabu yıkma kriteri olarak bilinmekte ve istek kriteri olarak adlandırılmaktadır.

Tabu listeleri, tabu aramanın kısa dönemli belleğini oluşturur. Bir çok başarılı tabu arama uygulaması ise kısa dönem belleğin yanı sıra, hareketlerin sıklık bilgilerini tutan uzun dönemli bellek kullanmaktadır. Sıklık bilgileri aramanın belli bölgelerde yoğunlaşmasını engellemek ve yayılmasını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.

Genel olarak, tabu arama esaslı algoritmalar bu tür metasezgisellerin tabanını oluşturan bazı ortak bileşenleri bir araya getirmektedir. Bu bileşenler komşuluk tanımını, kısa dönemli bellek, uzun dönemli bellek ve bir istek kriterini içermektedir. Bu standart bileşenlere ek olarak, stratejik osilasyon gibi daha dikkat gerektiren uyarlanabilir programlama teknikleri de mevcuttur (Tanyaş, 2002).

Adım 1:Bir başlangıç çözümü seç, onu mevcut çözüm ve en iyi çözüm olarak kaydet.

Adım 2:Mevcut çözümün komşularını bir komşuluk yapısıyla üret.

-Tabu olmayan veya tabu olsa bile aspirasyon ölçütünü sağlayan bir komşu çözüm seç ve onu yeni çözüm olarak taşı.

-Mevcut çözümden yeni çözüme taşıma özelliğini tabu listesine ekleyerek listeyi güncelle.

-Eğer yeni çözüm o ana kadarki en iyi çözümden daha iyi ise onu yeni en iyi çözüm olarak kaydet.

Adım3:Bir durdurma ölçütü sağlanıncaya kadar Adım 2`yi tekrarla (Özyurt ve Asken, 2005) aşamalarından oluşmaktadır.

Bunların işleyiş şekli aşağıda sırasıyla verilmektedir.

Başlangıç Çözümünün Oluşturulması:

En genel şekilde başlangıç çözümü rassal olarak elde edilir.Ancak, farklı problemler için geliştirilmiş olan bir sezgisel algoritmadan yaralanarak da başlangıç çözümünün elde edilmesi mümkündür (Gülden ve diğerleri, 2005).

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 (Gülden ve diğerleri, 2005) .

3.6.3.3 Benzetimli Tavlama

TB algoritması, katıların belirli bir başlangıç sıcaklığından başlayarak yavaş yavaş soğutulduğu tavlanma sürecinin benzetimi olan stokastik bir arama algoritmasıdır. Kirkpatrick, Gerlatt ve Vechi (1983) ve Cerny (1985) tarafından ayrı ayrı önerilmiştir. Son yıllarda birçok araştırmacı TB algoritmasını kombinasyonel eniyileme problemlerinde kullanmaktadır. 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:

- Isı banyosunun başlangıç sıcaklığının katının eriyebileceği bir değere kadar yükseltilmesi.

- Katılar düşük enerjili durumda, yani düşük sıcaklıkta daha kararlıdır. Yani katıların parçacıkları düşük sıcaklıklarda daha düzenlidir. Bundan dolayı katının parçacıkları kendini düzenleyene kadar ısı banyosunun sıcaklığının giderek azaltılması. Katının sıvı durumunda tüm parçacıkları gelişi güzel hareket ederler. Katı durumda ise bir kafes şeklinde düzenlenirler. Bu durumda sistemin enerjisi en azdır ve bu duruma yer durumu denmektedir. Bir katının yer durumu, sıcaklık yeteri kadar yükseltilmiş ve soğutmada yeteri kadar yavaş yapılmasıyla elde edilir. Aksi halde katının bulunduğu durum yarı kararlı bir durumdur

Eniyileme problemleriyle TB arasındaki benzerlikler aşağıdaki gibi gösterilebilir:

- 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 bu tavlanma sürecinde geçirdiği durumları benzetebilmek için Metropolis vd (1953) tarafından "Metropolis Algoritması" geliştirilmiştir. Algoritmada i durumunda bulunan katının enerjisi Ei iken, bir sonraki j durumuna geçen katının enerjisi Ej'dir. Eğer j durumundaki enerji i durumundaki enerjiden küçük veya eşitse, j durumu yeni mevcut çözüm olarak kabul edilir.

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, 2003).

Tavlama benzetimi ayrıca çözüm kalitesine neden olan lokal optimumlardan kaçınmayı sağlayan bir tırmanma işleminin temel dinamiklerine izin vermeye çalışan bir yöntem olarak da algılanabilir.

$$\Delta=f(x)-f(x_t) \tag{3.31}$$

iken $\Delta \leq 0$ ise S' çözümü yeni çözüm olarak kabul edilir. Aramanın lokal optimumdan uzaklaşması için, $\Delta>0$ ise amaç değerini arttıran hareketler $e^{-\Delta/T}$ olasılığıyla kabul edilirler. Burada T sıcaklık parametresidir. T'nin değeri çok yüksek bir değerden 0'a yakın düşük bir değere kadar değişkenlik gösterir. Bu değerler soğutma çizelgesi ile kontrol edilirler.Tavlama benzetiminin t. iterasyonunda N(x) arasından bir x çözümü rassal olarak seçilir. $f(x)<f(x_t)$ ise x_{t+1} x'e eşit kabul edilir.Aksi halde

$$x_{t+1} = \begin{cases} x, & p_t \text{ olasılığıyla} \\ x_t, & 1-p_t \text{ olasılığıyla} \end{cases} \tag{3.32}$$

p_t genellikle t'nin ve $f(x)-f(x_t)$'nin azalan bir fonksiyonudur. p_t genellikle $e^{-\Delta/T}$ olarak tanımlanır [3].

Araç rotalama problemlerinin çözümünde kullanılan ve metasezgisel bir yöntem olan Genetik Algoritma 4. bölümde ayrıntılarıyla ele alınmıştır.

4. GENETİK ALGORİTMALAR

4.1 Genetik Algoritma Tanımı ve Tarihçesi

Geçtiğimiz yüzyılda genetik algoritma bir çok uygulama alanı bulmuştur. Bunun en önemli nedeni genetik algoritmanın sezgisel yöntemlerle çözümü zor olan problemlere çözüm bulması, güçlü ve geniş uygulama alnına sahip olmasından ileri gelmektedir (Gen ve Cheng,1999).

Genetik algoritma (GA), doğadaki evrim mekanizmasını örnek alan bir arama metodudur ve bir veri grubundan özel bir veriyi bulmak için kullanılır (Lawrence, 1990). GA, araştırma ve optimizasyon algoritmaları olup, canlılardaki doğal gelişim prensibine dayanmaktadırlar. GA çözüm uzayındaki her noktayı, kromozom adı verilen bir dizi ile kodlar. Her kuşakta, GA, çaprazlama ve mutasyon gibi genetik operatörleri kullanarak yeni bir popülasyon oluşturur. Birkaç kuşak sonunda, popülasyon daha iyi uygunluk değerine sahip üyeleri içerir (Jang,1997).

Genetik algoritmaların temel ilkeleri ilk kez Michigan Üniversitesi'nde John Holland tarafından ortaya atılmıştır. Holland 1975 yılında yaptığı çalışmaları "Adaptation in Natural and Artificial Systems" adlı kitabında bir araya getirmiştir. İlk olarak Holland evrim yasalarını genetik algoritmalar içinde eniyileme problemleri için kullanmıştır. Daha sonra öğrencisi olan David Goldberg tezinde; gaz boru hattının kontrolünü içeren bir problemin çözümünü Genetik Algoritma (GA) ile gerçekleştirmiştir.

Genetik algoritmalar doğada geçerli olan en iyinin yaşaması kuralına dayanarak sürekli iyileşen çözümler üretir. Bunun için "iyi"nin ne olduğunu belirleyen bir uygunluk (fitness) fonksiyonu ve yeni çözümler üretmek için yeniden kopyalama (recombination), değiştirme (mutation) gibi operatörleri kullanır. Genetik algoritmaların bir diğer önemli özelliği de bir grup çözümlerle uğraşmasıdır. Bu sayede çok sayıda çözümün içinden iyileri seçilip kötüleri elenebilir [4].

Genel olarak genetik algoritma beş temel unsurdan oluşmakla beraber Michalewicz tarafından şöyle tanımlanmıştır

1. Problem için çözümlerin genetik gösterimi
2. Çözümler için bir başlangıç popülasyonu oluşturma

3. Kromozomların uygunluklarını belirlemek için bir evrimsel değerlendirme fonksiyonuna karar vermek
4. Genetik çeşitliliği sağlamak için yavru genleri oluşturmak için genetik operatörleri kullanmak
5. Genetik algoritmanın parametre değerlerini tespit etmek (Michalewicz,1996).

Genetik algoritmalar problemlere tek bir çözüm üretmek yerine farklı çözümlerden oluşan bir çözüm kümesi üretir. Böylelikle, arama uzayında aynı anda birçok nokta değerlendirilmekte ve sonuçta bütünsel çözüme ulaşma olasılığı yükselmektedir. Çözüm kümesindeki çözümler birbirinden tamamen bağımsızdır. Her biri çok boyutlu uzay üzerinde bir vektördür.

Genetik algoritmalar problemlerin çözümü için evrimsel süreci bilgisayar ortamında taklit ederler. Diğer eniyileme yöntemlerinde olduğu gibi çözüm için tek bir yapının geliştirilmesi yerine, böyle yapılardan meydana gelen bir küme oluştururlar. Problem için olası pek çok çözümü temsil eden bu küme genetik algoritma terminolojisinde popülasyon adını alır. Popülasyonlar; vektör, kromozom veya birey adı verilen sayı dizilerinden oluşur. Birey içindeki her bir elemana gen adı verilir. Popülasyondaki bireyler evrimsel süreç içinde genetik algoritma işlemcileri tarafından belirlenirler [5].

Genetik Algoritmaların geleneksel yöntemlerden farkı aşağıdaki gibidir.

1. Genetik algoritma parametrelerin kodlarıyla uğraşır. Parametrelerin kendileriyle direkt ilgilenmez.
2. Genetik algoritma bir tek yerden değil, bir grup çözüm içinden arama yapar.
3. Genetik algoritma ne yaptığı konusunda bilgi içermez, nasıl yaptığını bilir. Bu nedenle bir kör arama (blind search) metodudur.
4. Genetik algoritmalar olasılık kurallarına göre çalışır. Programın ne kadar iyi çalışacağı önceden kesin olarak belirlenemez. Ama olasılıkla hesaplanabilir (Goldberg, 1989).

Genetik algoritmalar, her bir ferdi kromozomlar şeklinde temsil eden popülasyonlardan oluşur. Popülasyonun uygunluğu belirli kurallar dahilinde maksimize veya minimize edilir.

GA'ların avantajlarını şu şekilde sıralanabilir.

1-Sürekli ve ayrık parametreleri optimize eder.

2-Türevsel bilgiler gerekmez.

3-Maliyet fonksiyonunu geniş bir spektrumda araştırır.

4-Çok sayıda parametrelerle çalışma imkânı vardır.

5-Paralel PC 'ler kullanılarak çalıştırılabilir.

6-Karmaşık maliyet fonksiyon parametrelerini, yerel minimuma veya maksimuma takılmadan optimize edebilir.

7-Sadece tek çözüm değil. Birden fazla parametrelerin optimum çözümlerini elde edebilir.

Her problemin çözümü için GA kullanmak iyi bir yol değildir. Birkaç parametreli konveks analitik fonksiyonun çözümünde klasik metotlar daha hızlıdır. Böyle durumlarda nümerik metotlar tercih edilmelidir. Bununla beraber bazı realistik problemler bu kategoriye girmezler. Paralel bilgisayarlar kullanılırsa GA daha hızlı sonuç verebilir [6].

4.2 Genetik Algoritma Terimleri

Genetik Algoritmanın elemanları şöyledir:

4.2.1 Gen

Kalıtsal molekülde bulunan ve organizmanın karakterlerinin tayininde rol oynayan kalıtsal birimlere denir. Yapay sistemlerde gen, kendi başına anlamlı bilgi taşıyan en küçük birim olarak tanımlanır.

4.2.2 Kromozom (Birey)

Birden fazla genin bir araya gelerek oluşturduğu diziye denir. Kromozomlar, alternatif aday çözümleri gösterirler.

4.2.3 Popülasyon

Kromozomlardan oluşan topluluğa denir. Popülasyon, geçerli alternatif çözüm kümesidir. Popülasyondaki birey sayısı (kromozom) genelde sabit tutulur. GA'da popülasyondaki birey sayısı ile ilgili genel bir kural yoktur. Popülasyondaki kromozom sayısı arttıkça çözüme ulaşma süresi (iterasyon sayısı) azalır (Eiben ve Smith, 2003).

4.2.4 Kodlama

Kodlama GA'nın çok önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Probleme GA uygulanmadan önce, verinin uygun şekilde kodlanması gerekmektedir. Kurulan genetik modelin hızlı ve güvenilir çalışması için bu kodlamanın doğru yapılması gerekmektedir [7].

Kodlamanın nasıl yapılacağı probleme bağlı olarak yapılmalıdır. İyi bir genetik yapının oluşması iyi bir kodlamayla sağlanabilir. Bunun kararı uygulama hakkında yeterince bilgi sahibi olunmasıyla sağlanabilir. Aşağıda uygulamalarda kullanılan kodlama biçimlerine yer verilmiştir (Eiben ve Smith, 2003).

4.2.4.1 Binary (İkili) Kodlama

İkili kodlama en çok kullanılan yöntemdir, çünkü ilk GA araştırmaları bu kodlama yöntemini kullanıldı ve görece basit bir yöntemdir. İkili kodlamada, her kromozom bit (0 veya 1) karakter dizilerinden oluşmaktadır. İkili kodlama, fazla olasılıkta kromozomlar verir, bunlara düşük sayıda alel içerenler de dahildir [8]. Ancak, bu kodlama çoğu problemin çözümü için uygun değildir. Bunun için geçtiğimiz yıllarda çeşitli problemlerde genetik algoritmanın etkin olarak kullanılabilmesi için başka çeşit kodlama yöntemleri geliştirilmiştir (Gen ve Cheng, 1999). Şekil 4.1 de Binary kodlama biçimi gösterilmiştir.

Kromozom A:101100101100101011100101

Kromozom B: 111111100000110000011111

Şekil 4.1 Binary Kodlama Gösterimi

4.2.4.2 Permütasyon Kodlama

Permütasyon kodlama, gezgin satıcı problemi veya görev sıralama gibi sıralama problemlerinde kullanılabilir. Permütasyon kodlamada, her kromozom sıra'da konum belirten numara karakter dizisinden oluşur [8]. Şekil 4.2 de permütasyon kodlama gösterilmiştir.

Kromozom A: 1 5 3 2 6 4 7 9 8

Kromozom B: 8 5 6 7 2 3 1 4 9

Şekil 4.2 Permütasyon kodlama

4.2.4.3 Değer Kodlama

Gerçek sayılar gibi karmaşık değerlerin kullanıldığı problemlerde, ikili kodlama zor olduğu için doğrudan değer kodlanması kullanılabilir [7].

Şekil 4.3 de değer kodlama örnekleri verilmiştir.

Kromozom A: 1.2324 5.3243 0.4556 2.3293 2.4545

Kromozom B: ABDJEIFJDHDIERJFDLDFLFEGT

Kromozom C: (geri), (geri), (sağ), (ileri), (sol)

Şekil 4.3 Değer Kodlama ile kodlanmış kromozom örnekleri

4.2.4.4 Ağaç Kodlama

Ağaç kodlama genellikle evrimleşen program veya ifadeler için kullanılmaktadır. Örneğin genetik programlama için Ağaç kodlamada her kromozom bazı nesnelerin ağacıdır, örneğin işlevler veya programlama dilindeki komutlar gibi. Ağaç kodlama evrimleşen programlar veya ağaç şeklinde kodlanabilecek herhangi diğer yapılar için uygundur [8].

4.3 Genetik Algoritmanın Aşamaları

Başlangıç: n adet kromozom içeren popülasyonun rasgele oluşturulması (problemin uygun bir çözümü).

Tekrar üretim: Oluşturulan popülasyondan iki ebeveyn seçilmesi. Bu seçim işlemi skotastik olup uyumluluk fonksiyonu yüksek bireylerin seçilme şansı daha fazladır.

Yeni populasyon: Yeni popülasyon oluşuncaya kadar aşağıdaki adımların tekrar edilmesi.

Seçim: İki ebeveyn kromozomun uyumluluğuna göre seçimi (daha iyi uyum seçilme şansını artırır).

Çaprazlama: Yeni bir fert oluşturmak için ebeveynlerin bir çaprazlama olasılığına göre çaprazlanması. Eğer çaprazlama yapılmazsa yeni fert anne veya babanın kopyası olacaktır.

Mutasyon: Yeni ferdin mutasyon olasılığına göre kromozom içindeki konumu (lokus) değiştirilir. Mutasyon olasılığı oldukça küçük seçilmelidir.

Ekleme: Yeni bireyin yeni popülasyona eklenmesi. Ve 1,2,3 aşamalarının kromozom

sayısının eski popülasyondaki kadar olmasına kadar devam edilmesi.

Değiştirme: Algoritmanın yeniden çalıştırılmasında oluşan yeni popülasyonun kullanılması.

Test: Eğer sonuç tatmin ediyorsa algoritmanın sona erdirilmesi ve son popülasyonun çözüm olarak sunulması.

Döngü: Eğer sonuç tatmin etmiyorsa 2. adıma geri dönülmesin (Potvin, Duhamel ve Guertin 1996).

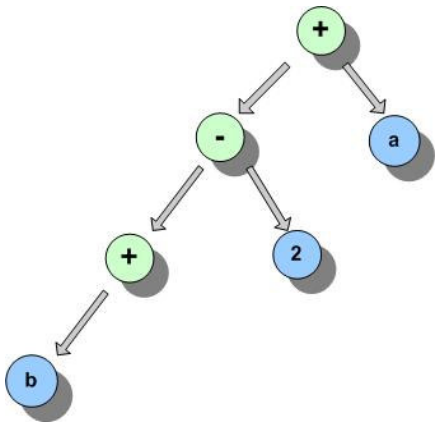
GA kullanılarak bir problem çözülecekse algoritmanın ne zaman sonlanacağına kullanıcı karar vermektedir. GA'nın belli bir sonlanma kriteri yoktur. Sonucun yeterince iyi olması veya yakınsamanın sağlanması algoritmanın durması için kriter olarak kullanılabilir [9].

4.4 Birey Havuzunun Oluşturulması

Genetik programlarda başlangıç popülasyonları problem çözümüne ulaşmada çok önemli bir etkendir. Bu nedenle probleme uygun "başlangıç popülasyonu oluşturma yöntemi" seçilmelidir. Bu yöntem deneme yanılma yöntemi ile aşağıda listelenmiş bazı başlangıç popülasyonu oluşturma yöntemleri arasından seçilebilir. Birey havuzunun oluşturulması bazı problemler için rasgele olabilmektedir.

4.4.1 Grow Yöntemi (Grow Method)

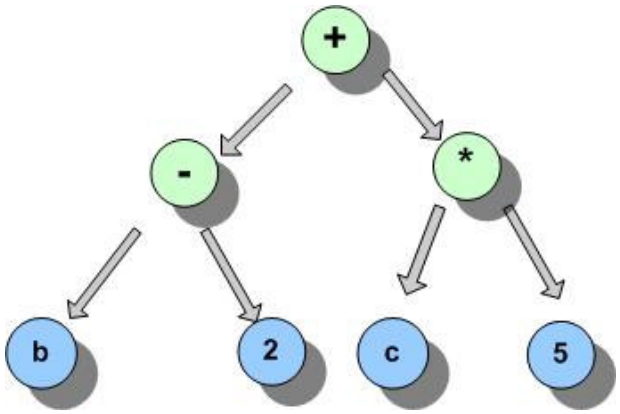
Bu metod ile oluşan bireyler m derinliğine sahip ağaçlardır. Algoritması; Ağacın kökünden başlayarak yapraklar (node) rasgele seçilen fonksiyon yada terminallerle doldurulur. Burada bir kökün yapraklarının ayni derinlikte olması gerekmez farklı farklı derinliklerde olabilirler [6]. Şekil 4.4 de Grow Yöntemi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Grow yöntemi ile oluşturulmuş ağaç yapısı [6].

4.4.2 Full Yöntemi (Full Method)

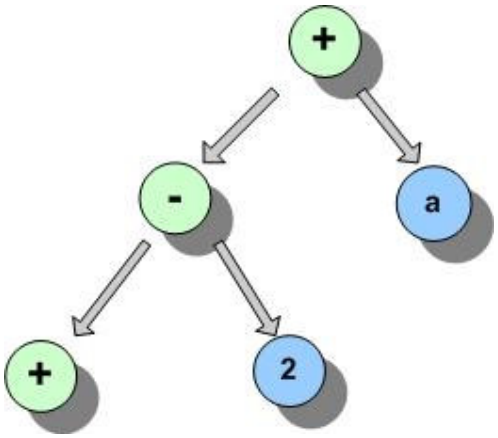
Bu metod Grow metoduna çok benzer fakat burada kökün bütün yapraklarının aynı uzunlukta olması ve Ağacın(tree) maksimum derinliğine (m) eşit olması gerekir [6]. Şekil 4.5 de Full Yöntemi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Full yöntemi ile oluşturulmuş ağaç yapısı [6].

4.4.3 Ramped half-and-half Yöntemi (Ramped half-and-half Method)

Bu yöntem Kozanın ortaya çıkarttığı yukarıda bahsedilen iki popülasyon oluşturma tekniğini de kapsayan bir metotdur. Buna göre kökün bir yaprağı (node) grow methodu ile oluşturulurken bir yaprağı full metodu ile oluşturulur [6]. Şekil 4.5 de Ramped half and half Yöntemi şematik olarak gösterilmiştir.



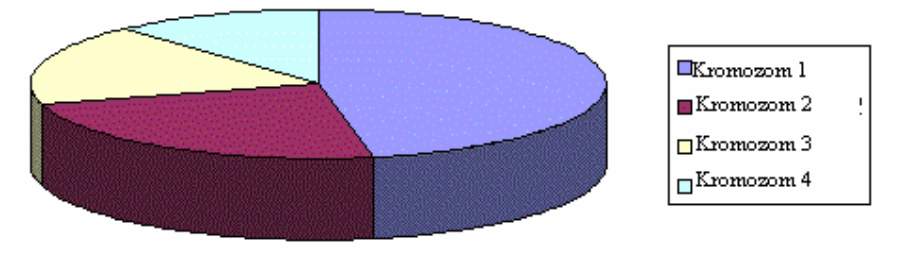
Şekil 4.6 Ramped half-and-half yöntemiyle oluşturulmuş ağaç yapısı [6].

4.5 Seçim

GA Akış semasından da bildiğimiz gibi, kromozomlar toplum içerisinden çaprazlama için ata olmak için seçilmektedir. Problem bu kromozomları nasıl seçileceğidir. Darwin'in evrim teorisine göre en iyi olan yeni yavruyu yaratmak için yaşamına devam eder. Seçim düzeneklerine rulet tekeri seçimi, turnuva seçimi, sıralama seçimi, sabit durum seçimi ve diğerleri verilebilir.

4.5.1 Rulet Tekeri Seçimi:

Bu yöntem Holland tarafından önerilmiştir. Temelinde Atalar uygunluklarına göre seçilirler (Gen, Cheng, 1999). Daha iyi kromozomlar, daha fazla seçilme sansına sahip olanlardır. Toplumdaki tüm kromozomların yerleştirildiği bir rulet tekerini hayal edelim. Rulet tekeri üzerindeki kromozomun yerinin boyutu kromozomun uygunluğuyla orantılıdır Sekil 4.7 rulet tekeri kromozom dağılımını göstermektedir. Daha uygun olan kromozom daha geniş bir kısma sahip olur.



Şekil 4.7 Rulet Tekeri Kromozom Dağılımı [10].

Bir bilye rulet tekerine atılmakta ve bilyenin durduğu yerdeki kromozom seçilir. Daha uygun olan kromozomlar böylece daha fazla sayıda seçilecektir.

Süreç aşağıdaki algoritma ile anlatılabilir.

Toplam: Toplumdaki tüm kromozomların uygunluk toplamını

hesaplar - S.

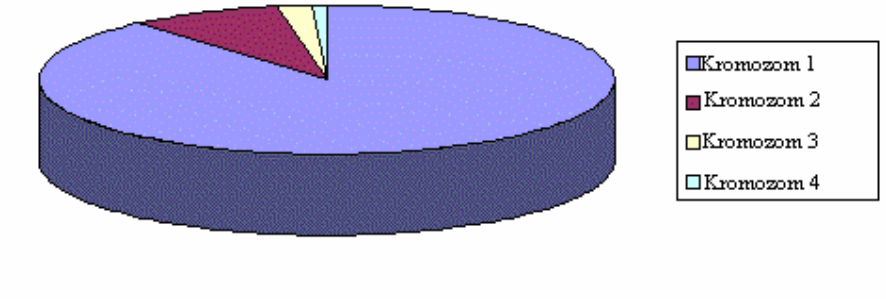
Seçim: (0,S) aralığından rasgele bir sayı üretilir - r.

Döngü: Toplum üzerinden gidip 0'dan itibaren uygunlukların toplamını al - s, s r'den büyük olduğu zaman dur ve bulunduğumuz yerdeki kromozomu döndür. Elbette, birinci aşama her toplum için bir kez yapılmaktadır (Kalaycı, 2006).

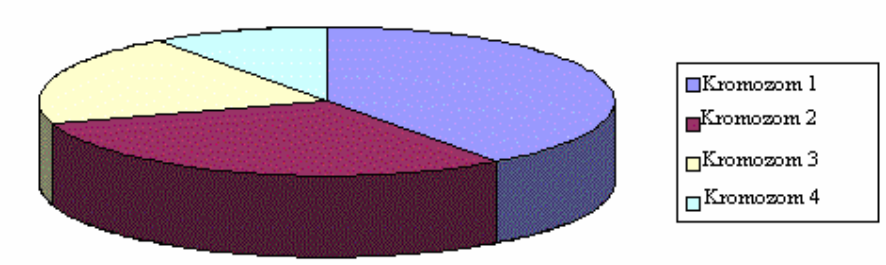
4.5.2 Sıralama Seçimi:

Bir önceki seçim düzeneğinde uygunluk değerleri arasında büyük farklar oluşunca problemler ortaya çıkacaktır. Örneğin, eğer en iyi kromozomun uygunluğu diğer tüm kromozomların toplamının %90'ı ise diğer kromozomların seçilme şansı çok azalacaktır.

Sıralama seçimi ilk önce toplumu sıralar ve her kromozom uygunluk değeri olarak sırasını kullanır. En kötü 1 uygunluğunu, ikinci kötü 2,…., en iyi N (toplumdaki kromozom sayısı) uygunluğunu alır. Sekil 4.8 ve 4.9'da görüldüğü üzere, uygunluk sıraya göre belirlendiği zaman durum değişmektedir.



Şekil 4.8 Sıralamadan önce (uygunluk çizgesi) [10].



Sekil 4.9 Sıralamadan sonra (sıra numaraları çizgesi) [10].

Bu şekilde tüm kromozomların seçilme sansı olacaktır. Ancak bu yöntem daha yavaş yakınsama neden olabilir, çünkü en iyi kromozomlar birbirlerinden çok farklı değillerdir (Kalaycı, 2006).

4.5.3 Sabit Durum Seçimi:

Bu özel bir ata seçme yöntemi değildir. Bu tip seçimin ana fikri, toplumun var olan kromozomlarının büyük bir kısmının yeni nesle aktarılmasıdır. Sabit durum seçimi şu şekilde çalışmaktadır. Her yeni nesilde yüksek uygunluk değerine sahip kromozomlar yeni yavruları oluşturmak için seçilir ve düşük uygunluk değerine sahip yavrular kaldırılarak yerlerine bu yeni oluşturulan yavrular koyulur. Toplumun geri kalan kısmı aynen yeni nesle

aktarılır(Kalaycı, 2006).

4.5.4 Turnuva Seçimi

Topluluktaki bireyler arasından rasgele belirli miktarda bireyler seçilerek aralarındaki uygunluk fonksiyonu yüksek olan birey tutulur geriye kalanlar atılır. Yeni topluluk bireyleri belli sayıdaki bireyler arasında yapılan yarışma sonucu oluşturulur.Yığın genişliğine ulaşılıncaya kadar bu işlem devam eder (Kahraman ve Özdağlar, 2004).

4.5.5 Seçkinlik

Seçkinliğin ana fikri daha önce açıklandı. Çaprazlama ve Mutasyon yöntemleriyle yeni bir nesil oluştururken, en iyi kromozomları kaybetme olasılığımız vardır. Seçkinlik, en iyi kromozomların (ya da bir kısmının) ilk önce kopyalanıp yeni nesle aktarıldığı yöntemin adıdır. Geri kalan kromozomlar yukarıda anlatılan yöntemlerle üretilir. Seçkinlik GA'nın başarısını hızlı bir şekilde arttırabilir, çünkü bulunan en iyi çözümün kaybolmasını önler (Kalaycı, 2006).

4.6 Genetik Algoritmalarda Kullanılan Operatörler

Bu bölümde, problem çözümü için geliştirilen GA yaklaşımı için kullanılan çaprazlama ve mutasyon operatörleri kısaca izah edilmiştir.

4.6.1 Çaprazlama Operatörü

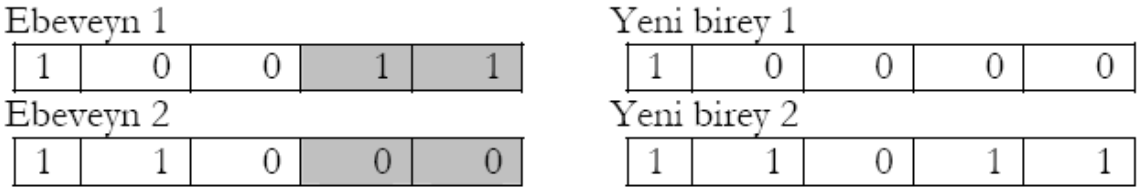
Çaprazlama, ebeveynlerden bazı genleri alarak yeni bireyler oluşturma işlemidir. Çaprazlama yapılacak konum rasgele seçilir. Oluşan yeni birey ebeveynlerinin bazı özelliklerini almış ve bir bakıma ikisinin kopyası olmuştur. Çaprazlama işlemi başka şekillerde de yapılabilir. Birden fazla çaprazlama noktası gibi daha iyi performans almak amacıyla değişik çaprazlamalar kullanılabilir (Kurt ve Semetay, 2001).

Popülasyonda ne oranda bir çaprazlamaya izin verildiği çaprazlama oranı (*pc*) ile gösterilir. Literatürde çeşitli çaprazlama operatörleri önerilmiştir. Bunlardan en yaygın kullanılanları tek noktalı çaprazlama ve çok noktalı çaprazlamadır. Bu çalışmada aşağıda açıklanan çaprazlama operatörleri incelenecektir.

4.6.1.1 Tek Nokta Çaprazlama

Tek nokta çaprazlamada rassal olarak seçilen iki genin yerleri karşılıklı olarak değiştirilir. Bu

yöntemde, $1 \leq k \leq L-1$ aralığında olmak üzere rassal olarak bir k kesme noktası seçilir. Örnek için $k=3$ alınmıştır. Seçilen noktanın sağında kalan ve eşleme bölümü adı verilen bölümlerin yerleri değiştirilerek iki yeni birey oluşturulur. Şekil 4.10 da tek nokta çaprazlama şematik olarak verilmiştir. Çok noktalı çaprazlama da ise, kesme noktası sayısı birden fazladır (Goldberg, 1989 ve Langner 2002).



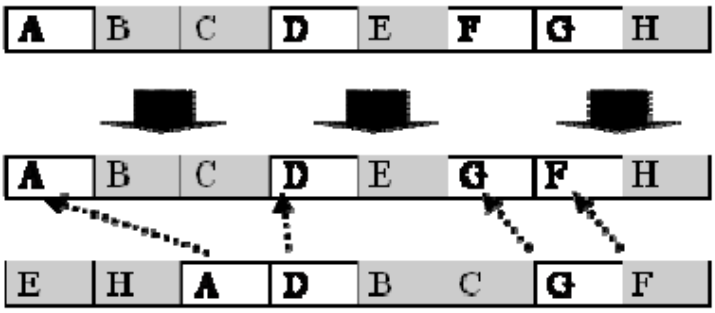
Şekil 4.10 Tek Noktalı Çaprazlama (Kaya, 2006)

4.6.1.2 İki Noktalı Çaprazlama

Bu operatörde çaprazlama 1 ile L-1 arasında rasgele iki bölge seçilir. Eşlenen iki dizide, bu çaprazlama noktaları arasında kalan bölümler yer değiştirerek iki tane yeni birey elde edilir (Kaya, 2006).

4.6.1.3 Pozisyona Dayalı Çaprazlama

Bu çaprazlamada Şekil 4.11 de görüldüğü gibi, rassal olarak seçilmiş pozisyondaki genler, bir ebeveynden çocuğa kalıtsallaştırılır (Kaya, 2006).



Şekil 4.11 Pozisyona Dayalı Çaprazlama (Kaya, 2006).

4.6.1.4 Sıraya Dayalı Çaprazlama

İlk olarak Davis tarafından önerilmiştir. Bu yöntemde bir grup nokta rasgele seçilir. Birinci kromozomun seçilen noktalara karşılık gelen karakterleri aynen yerlerini korur. İkinci kromozomun seçilen noktalara ait karakterleri birinci kromozomun aynı noktalarındaki

karakterlerin önüne getirilir. Geriye kalan boş pozisyonlara ikinci kromozomdan aktarılan yeni karakterler de göz önünde bulundurularak ilk kromozomun kullanılmayan karakterleri tarafından sıra ile (soldan sağa) yerleştirilerek yeni bir kromozom elde edilir. Bu tür çaprazlama kromozomu oluşturan karakterlerin sayı ve sıralarının önem taşıdığı durumlarda kullanılır (Kaya, 2006).

4.6.1.5 Kısmi Planlı Çaprazlama

Goldberg tarafından geliştirilen bu çaprazlama ilk olarak gezgin satıcı probleminde kullanılmıştır. Kısmi planlı çaprazlama operatöründe, kromozomlardan ortak bir aralık rassal bir şekilde seçilir, daha sonra, seçilmiş iki aralıktaki genler belirlenir. İkinci olarak, kromozomlarda bu iki aralık değiştirilir (Kaya, 2006).

4.6.1.6 Doğrusal Sıralı Çaprazlama

Falkenaur ve Bouffouix tarafından geliştirilmiştir. İşlem adımları

Mevcut popülasyon içerisinden rassal olarak iki kromozom seç,

Seçilen bu iki dizi (kromozom) üzerinde rassal olarak iki alt dizi seç,

P1 dizisinden seçilen alt diziyi kromozomdan kopar,

Boş kalan yerlere H yaz,

Benzer şekilde P2 dizisinde de aynı işlemleri gerçekleştir,

Birinci alt diziyi P1'e ve ikinci alt diziyi P2'ye yerleştir (Kaya, 2006).

4.6.2 Mutasyon Operatörü

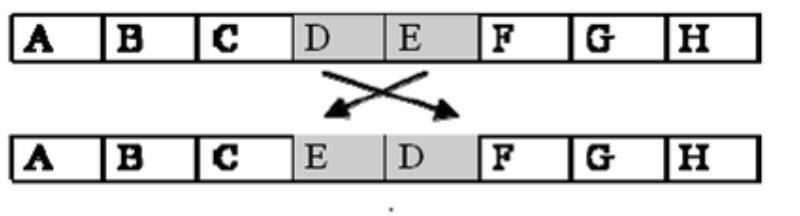
Canlılarda gen rekombinasyonlarının dışındaki diğer nedenlerle ve ani olarak meydana gelen kalıtsal değişimlere mutasyon denir. Mutasyon işlemi esnasında kromozomdaki gen sayısı değişmez sabit kalır. Mutasyon frekansının büyüklüğü GA'nın performansını etkilemektedir GA da incelenen mutasyon operatörleri aşağıda verilmiştir (Kaya, 2006).

4.6.2.1 Ters Mutasyon

Bir kromozomda rassal olarak iki pozisyon seçilir, bu iki pozisyondaki alt diziler ters çevrilir (Kaya, 2006).

4.6.2.2 Komşu İki Geni Değiştirme

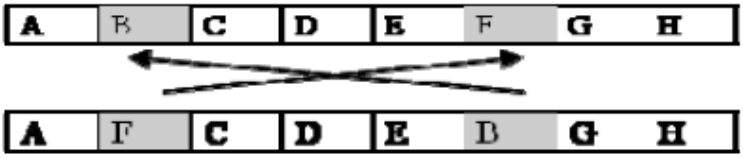
Rassal olarak seçilen iki komşu gen değiştirilebilir. Şekil 4.12'de komşu iki gen değiştirme mutasyon işlemi gösterilmiştir (Kaya, 2006).



Şekil 4.12 Komşu iki geni değiştirme (Kaya, 2006).

4.6.2.3 Keyfi İki Geni Değiştirme

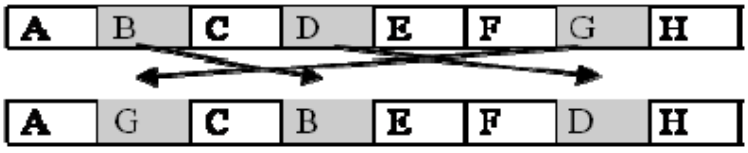
Rassal seçilen iki gen değiştirilebilir. Şekil 4.13 de keyfi iki işi değiştirme mutasyon işlemi gösterilmiştir (Kaya, 2006).



Şekil 4.13 Keyfi İki Geni Değiştirme (Kaya, 2006).

4.6.2.4 Keyfi Üç Geni Değiştirme

Rassal olarak seçilen üç gen keyfi olarak değiştirilir. Şekil 4.14 de keyfi üç geni değiştirme mutasyon işlemi gösterilmiştir (Kaya, 2006).



Şekil 4.14 Keyfi Üç Geni Değiştirme (Kaya, 2006).

4.6.2.5 Araya Yerleştirme

Bu mutasyon işleminde, bir operasyondaki bir gen kaydırılır ve diğer bir pozisyona konulur.

Kaydırma noktası rassal olarak seçilir (Kaya,2006).

4.7 Genetik Algoritmanın Çalışma Prensibi

1-Toplumda bulunacak birey sayısını belirleyerek başlanır. Bu birey sayısı ile ilgili olarak kesin olarak belirlenmiş bir sayı yoktur.

2-Dizilerin(kromozomların) ne kadar iyi olduğunu bulan işleve, uygunluk işlevi denir. Bu işlevin sonucunda dizilerin uygunluk değerlerinin bulunmasına uygunluk değeri hesabı denir. Bu işlev GA'nın ana yapısını oluşturan ve probleme özgü olarak çalışan tek kısımdır. Uygunluk işlevi, dizileri problemin parametreleri haline getirerek onların bir bakıma şifresini çözmektedir. Bu parametrelere göre uygunluk değeri hesabı yapılarak dizi uygunluğu bulunur. GA'nın başarısı bu işlevin verimli ve hassas olmasına bağlıdır.

3-Dizilerin eşlenmesi, dizilerin uygunluk değerine göre yapılır. Bu seçimi yapmak için rulet tekerleği seçimi, turnuva yöntemi gibi seçme yöntemleri kullanılır.

4-Çaprazlama (gen takası) ve değişim GA'nın yürütücüsü olarak kabul edilir. Çaprazlama basitçe iki birey dizi arasındaki belirlenen parçaların yer değiştirmesidir. Değiştirme ise aynı dizinin bir parçasının dışarıdan değiştirilmesi olarak tanımlanır. Çok düşük bir değiştirme olasılığı toplumda bazı özelliklerin kaybolmasına neden olabilir. Bunun için değiştirme olasılığı %1 ile %15 aralığında seçilir. Çaprazlama olasılığı ise gen çeşitliliğinin sağlanması açısından %60 ile %90 aralığında seçilir.

5-Bu değişimler sonucunda dizi yapılarının içerdikleri bilginin ilk nesildeki bilgileri ile aynı olması gerekmektedir. Bunun için çaprazlama ve değişim operatörlerinin uygulanmasından sonra diziye tamir operatörü uygulanarak dizi bilgilerinin korunması sağlanır. Aksi takdirde GA çözüm uzayından çok uzaklaşarak sistem çözümünün imkansızlaşmasına neden olur.

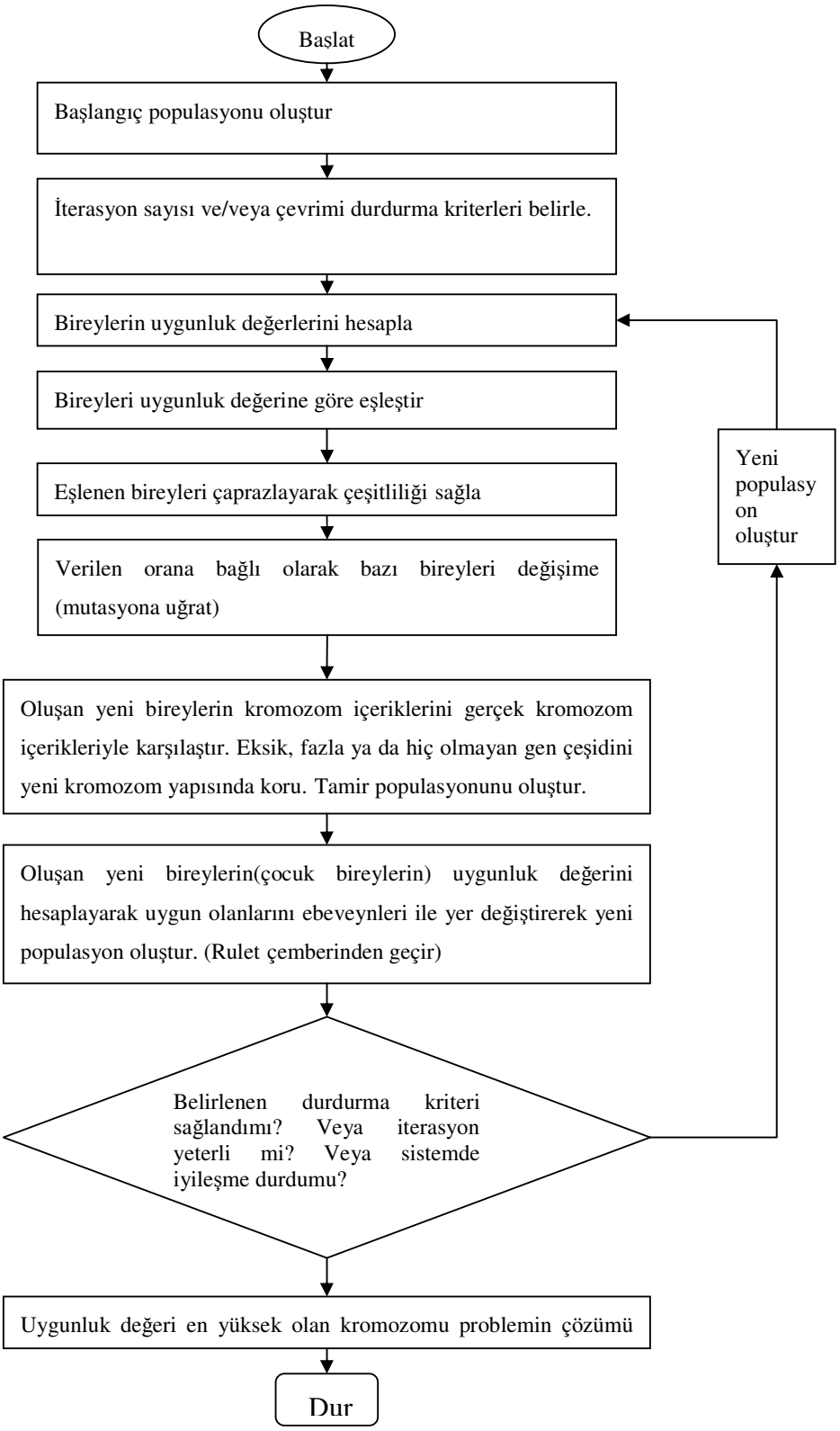
6-Eski diziler çıkartılarak sabit büyüklükte yeni toplum(yığın) sağlanır.

7-O andaki çözüm kümesindeki en iyi birey bir sonraki yığına aktarılır.

8-Tüm diziler yeniden yeniden hesaplanarak yeni toplumun başarısı bulunur.

9-GA, belirlenen döngü sayısı veya durdurma kriterleri sağlanana kadar defalarca çalıştırılır.

10-GA'nın işleyişinin sonucunda en iyi birey (dizi, kromozom) çözüm olarak alınır (Biroğul, 2005).



Şekil 4.15 Genetik algoritmanın işlem adımları (Biroğul, 2006)

4.8 Genetik Programın Parametrelerinin Belirlenmesi

Genetik parametrelerin belirlenmesi problemin türüne göre değişiklik arzeder. Hangi probleme hangi değişkenlerin daha uygun olduğunu ya daha önce yapılmış doğruluğu ispatlanmış deney sonuçlarından yada deneme yanılma metodunu kullanarak bulunur.

Popülasyonun boyutu (Population Size): Toplumdaki kromozom (birey) sayısını belirtir. Eğer çok az birey varsa, GA'nın çaprazlama yapacağı olasılıklar azalacaktır ve arama uzayının çok küçük bir kısmı araştırılacaktır. Eğer çok fazla birey varsa, GA bayağı yavaşlayacaktır. Araştırmalar bazı sınırlardan sonra çok büyük toplumların kullanılmasının yararlı olmadığını göstermiştir, bu problemin daha hızlı bir şekilde çözülmesine yardımcı olmamaktadır.

Çaprazlama olasılığı (Crossover Probability): Bu parametre çaprazlamanın ne kadar sıklıkla yapılacağını belirtir. Eğer herhangi bir çaprazlama yoksa yavrular ataların aynısı olacaktır. Eğer bir çaprazlama yapılırsa yavrular ataların parçalarından oluşur. Eğer çaprazlama olasılığı %100 ise yavrular tamamen çaprazlama ile yapılır. Eğer %0 ise yavrular ataların kromozomlarının aynısına sahip olurlar. (Bu yeni toplumun aynı olduğu anlamına gelmez) Çaprazlama, yeni kromozomların eski kromozomların iyi parçalarını alıp daha iyi olacakları düşüncesiyle yapılır, ancak eski toplumun bazı parçalarının bir sonraki nesle aktarılması da iyidir.

Bir sonraki nesilde yaşamını sürdürecek bireylerin belirlenmesi işleminde çaprazlama operatörünün kullanılma olasılığını ifade eder. Genellikle 0.5 ile 0.9 arasında değişen oranlarda seçilir.

Mutasyon olasılığı (Mutation Probability): Kromozom parçalarının ne kadar sıklıkla mutasyon geçireceğini belirtir. Eğer mutasyon yoksa yavrular çaprazlamadan hemen sonra değiştirilmeden üretilir (veya doğrudan kopyalanır). Eğer mutasyon varsa, yavruların kromozomlarının bir veya daha fazla parçası değişir. Eğer mutasyon olasılığı %100 ise tüm kromozom değişecektir. %0 ise hiçbir şey değişmez. Mutasyon genellikle GA'nın yerel aşırılıklara düşmesini engeller. Mutasyonlar çok sık oluşmamalıdır, çünkü GA rasgele aramaya dönüşebilir.

Bir sonraki nesilde yaşamını sürdürecek bireylerin belirlenmesi işleminde mutasyon operatörünün kullanılması olasılığını ifade eder. Genellikle 0.01 ile 0.1 arasında alınır (Kalaycı, 2006).

Birey seçim yöntemi (Individual Selection Method): Bir sonraki nesilde yaşamını sürdürecek bireylerin belirlenmesi işleminde çaprazlama ve mutasyon gibi işlemlerin uygulanacağı bireylerin seçiminde kullanılan yöntemi ifade eder. Bu yöntemlerden bazıları;

- Turnuva Seçimi (Tournament Selection)
- Uyum-oranlı Seçim (Fitness-proportionate Selection)
- Sigma-Scaling Selection
- Boltzmann Selection
- Sıralama Seçimi (Ranking Selection) dır.

Sonlandırma kriteri (Termination Criterion): Genetik programın sonlandırılması gerekip gerekmediğini belirleyen kriterdir. Örneğin, Genetik Programlama modelleyicisi belli bir süre sonunda genetik programın sonlandırılması gerektiğini düşünüyorsa programı bu süre kriterine göre tasarlayabilir. Maksimum nesil sayısı da bir sonlandırma kriteri olabilir. Programın herhangi bir bireyin aranılan uygunluk aralığına ulaştığını tesbit etmeside bir sonlandırma kriteri olabilir.

Maksimum Nesil Sayısı (Maximum Number of Generations) : Genetik Programda üretilecek maksimum nesil sayısını ifade etmektedir. Program maksimum nesil sayısına ulaştığında sonlandırılır.

Çaprazlama sonrasında oluşacak program ağaçlarının maksimum derinliği (Maximum Depth of Tree After Crossover) : Çaprazlama sonrasında çok büyük programların oluşması engellenmek istenirse, bu parametre ile oluşacak programların boyutları sınırlandırılabilir.

Mutantların (Mutasyon sonrasının) maksimum derinliği (Maximum Mutant Depth) : Mutasyon sonrasında çok büyük programların oluşması engellenmek istenirse, bu parametre ile oluşacak programların boyutları sınırlandırılabilir.

Başlangıç populasyonu oluşturma yöntemi (Population Initialization Method) : Genetik programlarda başlangıç popülasyonları problem çözümüne ulaşmada çok önemli bir etkendir. Bu nedenle probleme uygun "başlangıç popülasyonu oluşturma yöntemi" seçilmelidir. Bu yöntem deneme yanılma yöntemi ile aşağıda listelenmiş bazı başlangıç populasyonu oluşturma yöntemleri arasından seçilebilir :

- Full Yöntemi (Full Method)

- Grow Yöntemi (Grow Method)
- Ramped half-and-half Yöntemi (Ramped half-and-half Method) [6].

4.9 Genetik Algoritmanın Performansını Etkileyen Nedenler

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 yoludur. 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: Kodlamanın 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 nasıl olduğu yeterince açık olmamakla beraber 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 [8].

5. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜNDE GENETİK ALGORİTMA TEKNİĞİNİN KULLANILMASI

Bu bölümde bir araç rotalama problemini çözmek için metasezgisel bir yöntem olan "Genetik Algoritma" kullanılmıştır. Çeşitli denemeler yapılarak mevcut problem için en optimum sonuç bulunmuştur. Bu optimum sonuca ulaşmak için Genetik Algoritmanın performansını etkileyen bütün kriterler dikkate alınarak tekrar tekrar denemeler yapılarak optimum sonuca ulaşılmıştır.

5.1 Problem Tanımı

Örnek uygulamamızda 10 düğümlü bir araç rotalama problemi ele alınmıştır. GA bilindiği üzere geleneksel yöntemlerle çözümü zor veya imkansız olan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Bu uygulamada GA nın işleyişi basit bir problem üzerinde test edilip en optimum sonuca denemelerle ulaşılmıştır.

Uygulamamızda Bir dağıtım şirketinin dağıtım ağı ele alınmıştır. Buna göre bu dağıtım şirketinin mevcut 9 müşterisi olmak üzere merkezde konuşlanan bir deposu mevcuttur. Aşağıda deponun müşterilere ve müşterilerin birbirlerine uzaklıkları verilmiştir. Bu müşterilerle ilgili diğer veriler ise şöyledir. Şirketin dağıtım yapmak üzere eşit kapasiteye sahip üç tırı mevcuttur. Müşterilerin taleplerinin gün içinde belli bir zaman aralığında karşılanması beklenmektedir. Her bir tırın müşteriye servis süresi 15 dakika zaman birimi olarak sabit verilmiştir. Tırların müşterilere seyahat zamanı uzaklığa bağlı olarak olmakla beraber trafikteki gecikmeler ve diğer ulaşımı engelleyecek (örneğin kaza, aracın bozulması veya ulaşımı engelleyecek başka nedenler) sebeplerden dolayı stokastik (belirsiz) olarak tanımlanmıştır. Seyahat zamanlarıyla ilgili elde edilen ilgili olan istatistikler dahilinde elde edilen verilerin normal dağılıma uyduğu tespit edilerek bu verilerle ilgili normal dağılım parametreleri olan ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Amaç Fonksiyonumuz diğer araç rotalama problemlerinde olduğu gibi en düşük maliyetli rotaları tespit etmektedir. Bu rotalar tespit edilirken her müşterinin sadece bir araç tarafından servis görebileceği araçların rotasının depoda başlayıp depoda biteceği şartları mevcuttur. Amaç fonksiyon dahilinde zamandan tasarruf sağlanarak maliyetlerde de düşüş sağlanması hedeflenmekte müşterilerin talebinin de zamanında karşılanması ile de müşterilerin memnuniyeti sağlanacaktır. Daha öncede bahsedildiği gibi müşterilerin belli zaman aralığında

(zaman penceresi) servis göreceği kısıtı vardı. Ve problemde bu kısıtın en az %80 olasılıkla gerçekleşeceği dikkate alınarak programda P_r=0.8 olarak alınmıştır. Bu doğrultuda çözüm için seçilen genetik algoritma performans kriterleri tekrar tekrar denenerek hem en iyi çözüme ulaşılmış hem de aşağıdaki çalışmada da görüleceği üzere çözüme etki eden genetik algoritmanın kriterlerin çözümü nasıl etkilediği ortaya konmuştur. Mevcut problem dikkate alınarak ve veriler değerlendirerek yapılan literatür çalışmasında problemin stokastik (belirsiz) faktörlerinden dolayı ve zaman penceresi kısıtı varlığından dolayı "Stokastik Seyahat Zamanlı Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemine" uyduğu görülmüştür. Bu problem tipini çözmek üzere bir çok çalışma incelenmiş ve uygulanan yöntemlerden Liu'nun stokastik problemler için önerdiği formülasyon dikkate alınarak optimum çözüme ulaşılmıştır.

5.2 Liu'nun Formülasyonu

Problemimizi çözmek için kullandığımız Liu'nun formülasyonu aşağıda açıklanmıştır. Bu formülasyon stokastik problemleri çözmek üzere geliştirilmiştir. Liu'nun stokastik araç rotalama problemleri için kullandığı formülasyona ait kısıtlar şöyledir:

a)Bir araç sadece bir rota için atanır ve birden fazla müşteriye hizmet verebilir.

b) Bir müşteri sadece bir araç tarafından servis görebilir

c)Her rota depoda başlayıp depoda biter.

d)Her müşteri kendi zaman penceresinde servis görür.

Model içindeki her bir gösterge aşağıda tanımlanmıştır.

i=0 depo

i=1,2,3,…,n müşteriler

k=1,2,3,...,m araçlar

D_{ij}=i müşterisinden j müşterisine seyahat uzaklığı i,j=0,1,2,…,n

T_{ij}=Stokastik seyahat zamanı i den j ye i, j=0,1,2,….,n

$S_{i=}$ i müşterisi için servis zamanı i=1,2,…,n

$[a_i, b_i]$ = i müşterisinin servis görebileceği zaman aralığı (zaman penceresi)

Liu nun formülasyonuna göre üç karar vektörü (x,y,t) dikkate alınmıştır. $X=(x_1, x_{2,\ldots.} x_n)$

tamsayı karar vektörü olmak üzere müşterileri gösteriyor. $1 \le x_i \le n$ ve $x_i \neq x_j$ bütün $i \neq j$ ler için i,j= 1,2,…,n.

y= $(y_1, y_{2,\ldots} y_{m-1})$: tamsayı karar vektörü $y \equiv 0 \le y_1 \le y_2 \le \ldots.. \le y_{m-1} \le n \equiv y_m$ olmakla beraber $t=(t_1, t_{2,\ldots..}, t_m)$: Her bir t_k k aracının depodan çıkış zamanını gösteriyor. k araçları göstermekle beraber (k=1,2,…,m) işlemsel plan x,y,t karar vektörlerine karar vermek olmalıdır. Her bir k için $(1 \le k \le m)$ eğer $y_k=y_{k-1}$ ise k aracı kullanılmaz. Eğer $y_k \ge y_{k+1}$ ise k aracı kullanılır ki bu araç t_k zamanında depodan hareket eder. Ve k aracının turu $0 \to x_{y0+1} \to x_{y0+2} \to \ldots.. \to x_{y1} \to 0$ dır.

Böylece bütün araçların turu aşağıdaki gösterildiği gibidir.

Araç 1: $0 \to x_{y0+1} \to x_{y0+2} \to \ldots. \to x_{y1} \to 0;$

Araç 2: $0 \to x_{y1+1} \to x_{y1+2} \to \ldots.. \to x_{y2} \to 0;$

……

Araç m: $0 \to x_{ym-1+1} \to x_{ym-1+2} \to \ldots.. \to x_{ym} \to 0$

Bu gösterim biçimi sezgisel olmakla beraber karar değişkenlerinin sayısı n+2m-1 dir. Ayrıca x, y ve t karar değişkenleri şunları gösteriyor: a) her bir araç sadece bir kez kullanılır. b) her tur depoda başlar depoda biter c) Her müşteri sadece bir araç tarafından servis görür. d) Alt tur olasılığı yoktur.

$f_i(x,y,t)$ bazı araçların i müşterisine varış zamanı fonksiyonu olmak üzere i=1,2,…,n. $f_i(x,y,t)$ nin hesaplanması tamamiyle operasyonel duruma bağlı olmakla beraber aracın bir müşteriye varmasından sonra yükleme hemen veya sonra başlatılabilir. Burada biz aracın müşteriye müşteri için belirtilen zaman aralığından önce varması durumunda yükünü boşaltması için zaman aralığını beklediğini varsaymaktayız. Aracın müşteriye varış zamanı zaman penceresi aralığında olması durumunda servise hemen başlar. Her bir k için $1 \le k \le m$ eğer k aracı kullanılacaksa $(y_k > y_{k-1})$ dır.

$$f_{x_{yk-1}+1}(x, y, t) = t_k + T_{0_{x_{yk-1}+1}} \qquad (5.1)$$

ve

$$f_{x_{yk}-1+j}(x,y,t) = f_{x_{yk-1}+j-1}(x,y,t) \vee a_{x_{yk-1}+j-1} + S_{x_{yk-1}+j-1} x_{yk-1+j} \quad (5.2)$$

$2 \le j \le y_k - y_{k-1}$ için V maksimum işlemciyi ifade eder. Belirsiz seyahat zamanlarında T_{ij} varış zamanları $f_i(x,y,t)$, i=1,2,…,n belirsiz değişkenler olmak üzere (5.1) ve (5.2) eşitsizliklerinde ifade edilmişlerdir..

Sonra g(x,y)= $\sum_{k=1}^{m} g_k(x,y)$ bütün araçların toplam seyahat uzaklığı olmak üzere,

$$g_k(x,y) = \begin{cases} Do_{x_{yk-1}+1} + \sum_{j=y_{k-1}+1}^{yk-1} D_{xjxj+1} + D_{xjxj+1} + D_{x_{yk}0}, & y_k > y_{k-1} \\ 0, & y_k = y_{k-1} \end{cases} \text{ dır. k=1,2,….m} \quad (5.3)$$

(Liu, 2002).

5.2.1 Stokastik modeller

Seyahat zamanlarının rasgele değişkenler olduğunu varsayarsak Stokastik Seyahat Zamanlı Uzaklık Minimizasyon Modeli aşağıda verilmiştir.

Eğer müşterilerin zaman penceresinde servis görmesini bir α güvenlik düzeyi düşünürsek aşağıdaki olasılık kısıtı elde edilir.

$P_r\{a_i \le fi(x,y,t) \le b_i,\ i=1,2,\ldots n\} \ge \alpha$

$1 \le x_i \le n,$ i=1,2,….,n (5.4)

$x_i \ne x_j,\ _i \ne j,$ i,j=1,2,….,n

$0 \le y_1 \le y_2 \le \ldots\ldots \le y_{m-1} \le n$

$x_i, y_i,$ i=1,2,….,n j=1,2,…..,m-1 ve tamsayı (Liu, 2002).

5.2.2 Hibrid Genetik Algoritma

Stokastik modellere çözüm bulmak için bu algoritma ile çalışabilir. Bu algoritmada kromozom yapının gösterimi, başlangıç çözüm, çaprazlama ve mutasyon gösterimi aşağıda ifade edilmiştir.

V kromozomu ile işlemsel planı (V=(x,y,t)) x,y,t genleri karar vektörleridir. Genellemeden uzaklaşmadan deponun zaman aralığının da [a,b] arasında olduğunu varsayabiliriz. Burada t geninin $[a,b]^m$ hiperkübü aralığında olduğu kısıtı ortaya çıkar.

Şimdi bir kromozomu rasgele nasıl oluşturacağımıza bakalım. x geni için $\{x_1,x_2,\ldots x_n\}$ sıralamasını ele alalım . $x_i=i$, i=1,2,….,n olmak üzere ve aşağıdaki prosesi j=1 den n e tekrarlayalım: j ve n arasında rasgele bir durum $n^ı$ oluşturalım ve x_j ve x_nı değerlerini değiş-tokuş yapalım. $x=\{x_1,x_{2,\ldots}x_n\}$ sadece {1,2,…,n} nin bir rasgele düzenlemesidir. Sonra x=($x_1,x_{2,\ldots}x_n$) genini elde edelim. Her bir i için $1 \le i \le m-1$, bir y_i setini rasgele tamsayı 0 ve n arasında iken oluşturalım. Sonra $\{y_1,y_{2,\ldots},y_{m-1}\}$dizisini küçükten büyüğe sıaralayalım. t_i, [a,b] zaman penceresindedir. Sonra $t=(t_1+t_2+\ldots t_m\}$ genini elde ederiz. Eğer V kromozomu üretilirse V=[x,y,t] bir kromozom olarak kabul edilirse V={x,y,t} fizibil olacağını kanıtlar. Diğer taraftan yukarıdaki proses fizibil bir kromozom elde edilene kadar devam eder.

Şimdide çaprazlama operatörünü V_1 ve V_2 ikilisinde gösterelim. $V_1=(x_1,y_1,t_1)$ ve $V(x_2,y_2,t_2)$. İlk olarak rasgele bir sayı (0,1) aralığında üretelim.

$$t^{'} = c.t_1 + (1-c)t_2,\ t_2^{'} = (1-c).t_1 + c.t_2. \qquad (5.5)$$

$V_1^{'}$ ve $V_2^{'}$ bireyleri aşağıdaki çaprazlama işlemi ile elde edilir.

$V_1^{'} = (x_1, y_2, t_1^{'})$ ve $V_2^{'} = (x_2, y_1, t_2^{'})$.

V kromozomunu aşağıdaki yolla mutasyona uğratırız. x geni için 1 ve n arasında n_1 ve n_2 mutasyon biçimlerini rasgele üretelim. Ve $\{x_{n1},x_{n1+1,\ldots}x_{n2}\}$ sırasını düzenleyelim. Ve yeni sıra $\{x_{n1}^{'}, x_{n1+1}^{'},\ldots.x_{n2}^{'}\}$dır. Ve yeni gen $x^{'} = (x_{1,\ldots.}x_{n1-1}, x_{n1}^{'}, x_{n1+1}^{'},\ldots.,x_{n2}^{'}, x_{n2+1}^{'},\ldots..x_n)$. Benzer biçimde y geni için 1 ve m-1 arasında rasgele n_1 ve n_2 mutasyon biçimlerini düzenleyelim. Ve bir rasgele tamsayı numarası $y_i^{ı}$ kabul ederek o ve n arasında y_i^{yi} kuralım i=$n_1, n_{1+1},\ldots n_2$ ve $\{y_1,\ldots..y_{n1-1}, y_{n1}^{'}, y_{n1+1}^{'},\ldots.y_{n2}^{'}, y_{n2+1},\ldots., y_{m-1}\}$ sırasını düzenleyelim. Bu sıralamayı küçükten büyüğe yapıp $y^ı$ genini elde edelim. t geni için R^m de bir mutasyon şeklini d yi seçelim. Eğer t+M.d, $[a,b]^m$ zaman penceresinde değilse $[a,b]^m$ içinde olana kadar 0,M arasında bir rasgele sayıyı kullanarak M yi kuralım. M önceden karar verilmiş uzaklık basamak uzunluğu olarak tanımlanabilir. Eğer yukarıdaki proses t geni için $[a,b]^m$ de ve önceden belirlenmiş iterasyon sayısı dahilinde yapılan terarlamada istenen verimi vermiyorsa M=0 seçilir. Ebeveyn t genini yavru $t^{'}=t$+M.d ile yer değiştiririz (Liu, 2002).

5.3 Problem ile İlgili Veriler

Aşağıda dağıtım şirketinin dağıtım yaptığı 9 adet müşteriye ait veriler verilmiştir. İlk tabloda müşterilere ait uzaklık matrisi verilmiştir. İkinci tabloda müşterilerin servis görmesinin beklendiği zaman aralığı değerleri mevcuttur. Üçüncü tabloda ise müşterilerin depoya ve birbirlerine göre olan seyahat zamanları verilmiştir. Araçların servis süresi her bir müşteri için sabit ve 15 zaman birimi olarak alınmıştır. Buna göre C++ da verilerin kodlanması ve genetik algoritmanın adımlarının izlenmesi ile elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir. Çizelge 5.1 de Probleme ait uzaklık matrisi verilmiştir. Çizelge 5.2 de ise Müşterilerin servis göreceği zaman aralığı yani zaman penceresi değerleri verilmiştir. Çizelge 5.3 de ise müşterilerin birbirlerine ve depoya olan seyahat zamanları verilmiştir. Bu değerler normal dağılıma uymaktadır.

Çizelge 5.1 Probleme ait uzaklık matrisi

Uzaklık Matrisi (Dij)

	D	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D	0	19	16	16	17	15	17	19	16	22
1	19	0	20	34	53	49	57	49	22	17
2	16	20	0	15	41	43	53	52	35	53
3	16	34	15	0	28	38	51	51	39	15
4	17	53	41	28	0	17	38	43	53	41
5	17	49	43	38	17	0	16	22	41	50
6	17	57	53	51	38	16	0	13	43	38
7	19	49	52	51	43	22	13	0	32	16
8	16	22	35	39	53	41	43	32	0	26
9	22	17	53	15	41	50	38	16	26	0

,

Çizelge 5.2 Müşterilerin servis göreceği zaman aralığı

Zaman Penceresi [ai,bi]

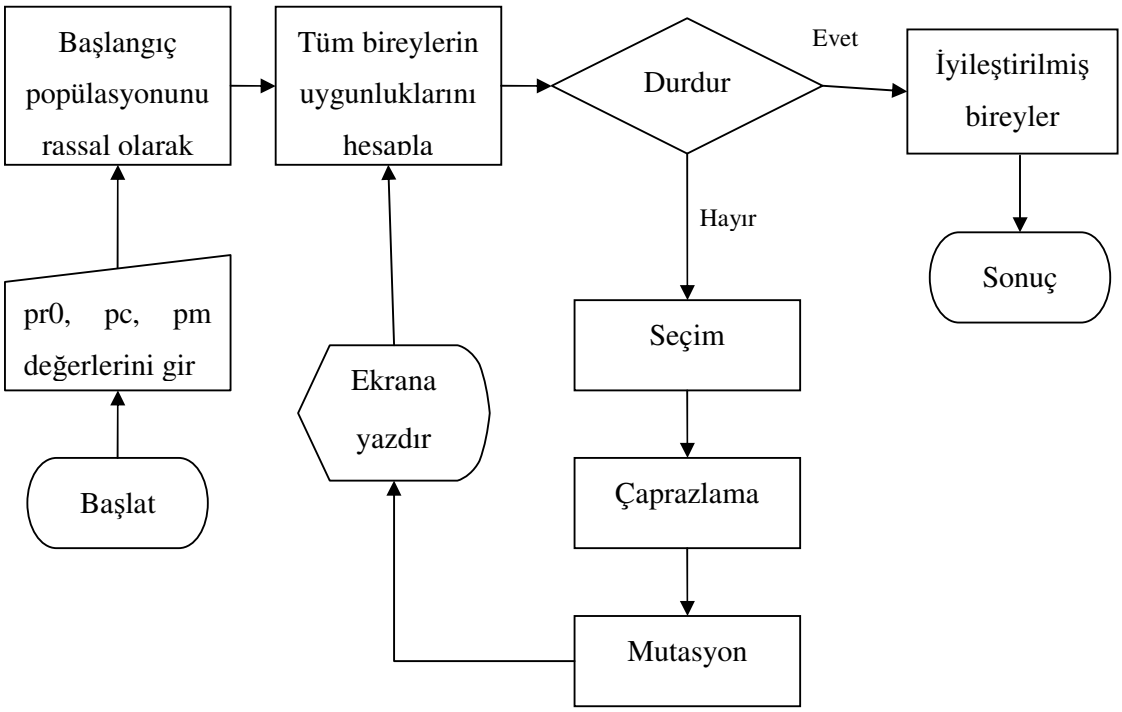
ai	bi
8.00	12.40
11.00	12.20
12.20	14.00
8.45	12.35
8.00	13.10
9.30	10.50
9.00	11.40
10.00	10.30
9.30	11.00

Çizelge 5.3 Müşterilerin birbirlerine ve depoya olan seyahat zamanı (μ, σ)

	D	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D	(0,0)	(60,30)	(12,6)	(60,30)	(60,30)	(60,30)	(15,7)	(60,30)	(60,30)	(60,25)
1	(60,30)	(0,0)	(42,21)	(12,6)	(36,18)	(15,7)	(42,21)	(15,7)	(12,6)	(15,5)
2	(12,6)	(42,21)	(0,0)	(42,21)	(36,18)	(42,21)	(12,6)	(45,22)	(36,18)	(45,24)
3	(60,30)	(12,6)	(42,21)	(0,0)	(30,15)	(5,2)	(45,22)	(12,6)	(30,15)	(30,15)
4	(60,30)	(36,18)	(36,18)	(30,15)	(0,0)	(30,15)	(36,18)	(30,15)	(12,6)	(12,6)
5	(60,30)	(15,7)	(42,21)	(5,2)	(30,15)	(0,0)	(42,21)	(12,6)	(30,15)	(30,15)
6	(15,7)	(42,21)	(12,6)	(45,22)	(36,18)	(42,21)	(0,0)	(42,21)	(36,18)	(36,18)
7	(60,30)	(15,7)	(45,22)	(12,6)	(30,15)	(12,6)	(42,21)	(0,0)	(36,18)	(36,18)
8	(60,30)	(12,6)	(36,18)	(30,15)	(12,6)	(30,15)	(36,18)	(36,18)	(0,0)	(42,21)
9	(60,25)	(15,5)	(45,24)	(30,15)	(12,6)	(30,15)	(36,18)	(36,18)	(42,21)	(0,0)

5.4 Problemin Çözümü

Çözüm için algoritma C++ da kodlanmış ve 512 Mb hafızada 1,7 Ghz işlemci bir bilgisayarda test edilmiştir. Problemin kodlanmasında aşağıdaki algoritma adımları izlenmiştir. Şekil 5.1 de Problem çözülürken izlenen akış şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Program akış şeması

Bu problemi çözmek için kullanılan GA'nın akış şeması şöyledir:

Başlangıçta P_r , P_c ve P_m değerleri girilir. Başlangıç popülasyonu rasgele oluşturulur. Tüm oluşturulan bireylerin uygunlukları hesaplanır. Daha sonra çaprazlama ve mutasyon yapabilmek için rulet tekerleği etrafına dizilen kromozomlardan rasgele iki ebeveyn seçilir ve çaprazlamaya ve mutasyona uğratılır. Elde edilen yeni bireyler ekrana yazdırılır. Tekrar yeni bireylerin uygunluk değerleri hesaplanır. Döngü bu şekilde durdurma kriteri sağlanıncaya kadar devam eder. Durdurma kriteri sağlandığında en iyi iyileştirilmiş bireyler (genler) ekrana yansıtılır. Böylece GA için optimum sonuca ulaşılır.

5.5 Bulgular

Amaç fonksiyonu dahilinde en uygun rota uzaklığını bulmak üzere Genetik Algoritma kullanılmış girdi değerleri matris şeklinde C++ de kodlanmış ve sonuçlar 512 Mb hafızalı ve

1,7 Ghz işlemcili bilgisayarda test edilmiştir. Programda aşağıdaki denemeler sonucunda en optimum sonuca ulaşılmıştır.

Kromozomların kodlanmasında permütasyon kodlama kullanılmıştır. Bilindiği üzere GA da kodlamanın doğru seçilmesi hem sonucu etkilemekle beraber işlem süresinde de etkilidir. Bu bakımdan literatürde yapılan inceleme sonucu araç rotalama problemleri için en uygun kodlamanın permütasyon kodlama olduğuna karar verilmiş ve uygulanmıştır

Gen çeşitliliğini sağlayan böylece en uygun çözüme ulaşılmasını sağlayan çaprazlama ve mutasyon operatörlerinden denemeler sonucu en uygun çaprazlama operatörü olarak kısmi planlı çaprazlama operatörü seçilmiştir. Ve mutasyon operatörü olarak da komşu iki geni değiştirme mutasyon operatörü seçilmiştir. Uygunluk fonksiyonu programımız için uzaklıkların toplamı ile elde edilir. Kromozom seçimi yöntemi rulet tekerleği olmuştur. Bunun dışında denemeler popülasyon boyutu dikkate alınarak da yapılmış bunun için de 10, 20 ve 30 luk popülasyon boyutu seçilerek denemeler tekrarlanmıştır. Popülasyon boyutunun değişimiyle elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir. Her bir denemede döngü 500 defa tekrarlanmıştır. Bu sayı popülasyon boyutunun az olmasına bağlı olarak durdurma kriteri olarak da seçilmiştir.

Yapılan denemelerde çaprazlama oranı olarak bir çok denemeden sonra 10 luk popülasyon boyutu için en uygun 0.9 ve mutasyon oranı da 0.1 olarak bulunmuştur. Popülasyon boyutu 10 olduğunda en kısa rota uzunluğu elde edilmiştir. Programın çalıştırılmasıyla elde edilen çıktıların özeti Ek 1 de verilmiştir. Çizelge 5.4 10'luk popülasyon boyutu simüle edilirken kullanılan veriler özetlenmiştir.

Çizelge 5.4 GA uygulaması simülasyon verileri.

Simülasyon Parametreleri	
Popülasyon Boyutu	10
Düğüm Sayısı	10
İterasyon Sayısı	500
Mutasyon Oranı	0.1
Çaprazlama Oranı	0.9

GA'nın çalıştırılmasından sonraki bulgular Çizelge 5.5 de verilmiştir.

Çizelge 5.5 GA uygulaması simülasyon sonuçları.

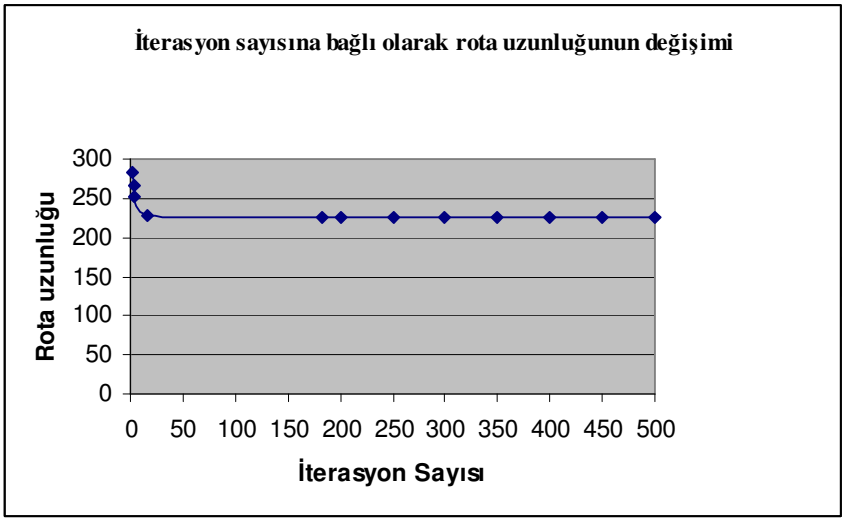
İterasyon Sayısı	Rota Uzunluğu
0	284
2	267
3	251
17	229
183	226

183. iterasyonda en optimum rota şu şekilde tespit edilmiştir. Daha sonra GA çalıştırılmaya devam edilmiş durdurma kriteri 500 iterasyona gelindiğinde de optimum rota değişmemiştir. 10'luk popülasyon boyutu için elde edilen rota Çizelge 5.6 da verilmiştir. Şekil 5.2 ise iterasyon sayısı ilerledikçe rota uzunluğunun değişimini vermektedir.

Çizelge 5.6 10 luk popülasyon boyutu için bulunan optimum rota.

9	1	8	2	3	6	7	5	4

.



Şekil 5.2 İterasyon sayısına bağlı optimum rota uzunluğu

GA 20’ lik popülasyon boyutu için GA tekrarlanmış en uygun çaprazlama ve mutasyon oranları birçok denemeden sonra sırasıyla 0.8 ve 0.01 bulunmuştur. Programın çalıştırılmasıyla elde edilen çıktıların özeti Ek 2 de verilmiştir. Şekil 5.7 20’lik popülasyon boyutu için yapılan denemede kullanılan değerleri özetlemektedir.

Çizelge 5.7 GA uygulaması simülasyon verileri

Simülasyon Parametreleri	
Populasyon Boyutu	20
Düğüm Sayısı	10
İterasyon Sayısı	500
Mutasyon Oranı	0.01
Çaprazlama Oranı	0.8

20 populasyon boyutlu GA sonuçları Çizelge 5.8 de verilmiştir.

Çizelge 5.8 GA uygulaması simülasyon sonuçları

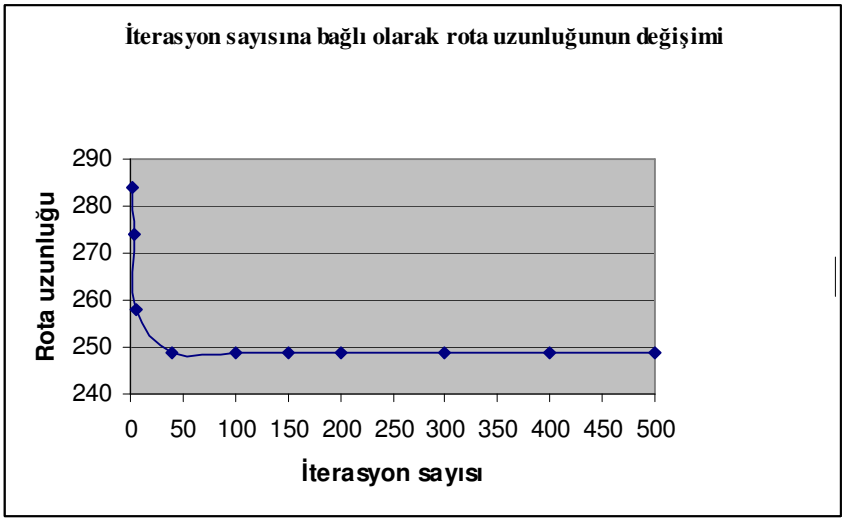
İterasyon Sayısı	Rota Uzunluğu
0	284
3	274
4	258
38	249
500	249

Optimum rota uzunluğu 38. iterasyonda elde edilmiştir. Ve 500 iterasyon boyunca sonuç değişmemiştir. Çizelge 5.9 da 20’lik popülasyon boyutu için elde edilen optimum rota verilmiştir.

Çizelge 5.9 20’ lik popülasyon boyutunda optimum rota

8	2	1	6	9	7	5	4	3

Şekil 5.3 20’lik popülasyon boyutunda yapılan denemeler sonucu optimum sonuca giderken iterasyon sayısına bağlı olarak rota uzunluğu değişimini vermektedir.



Şekil 5.3 İterasyon sayısına bağlı rota uzunluğu değişimi.

30’ luk popülasyon boyutu için GA aynı problem için tekrarlanmış ve en uygun çaprazlama oranı 0.5 ve mutasyon oranı ise 0.01 olarak tespit edilmiştir. Programın çalıştırılmasıyla elde edilen çıktıların özeti Ek 3 de verilmiştir. Çizelge 5.10 30’luk popülasyon boyutu için simülasyon yapılırken kullanılan verileri göstermektedir. Çizelge 5.11 de ise bu simülasyon sonucu iterasyon sayısına bağlı olarak rota uzunluğunun değişimini vermektedir.

Çizelge 5.10 GA uygulaması simülasyon verileri.

Simülasyon Parametreleri	
Populasyon Boyutu	30
Düğüm Sayısı	10
İterasyon Sayısı	500
Mutasyon Oranı	0.01
Çaprazlama Oranı	0.5

GA çalıştırılmasıyla aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

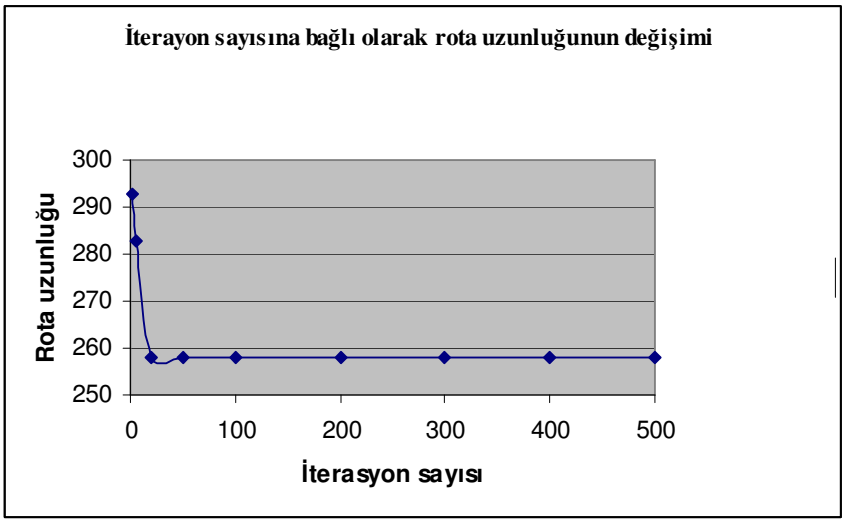
Çizelge 5.11 GA uygulaması simülasyon sonuçları.

İterasyon Sayısı	Rota Uzunluğu
0	293
5	283
20	258
400	258
500	258

Rota uzunluğu 30'luk popülasyon boyutu için 20. iterasyonda elde edilmiştir. 500 iterasyona kadar 30 luk popülasyon boyutu için optimum rota değişmemiştir. Çizelge 5.12 30'luk popülasyon boyutunda elde edilen optimum rotayı vermektedir. Şekil 5.4 de iterasyon sayısına bağlı olarak rota uzunluğunun değişimi grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 5.12 30'luk popülasyon boyutu için optimum rota.

2	4	5	7	8	1	6	9	3



Şekil 5.4 İterasyon sayısına bağlı rota uzunluğu değişimi

Testte elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Buna göre;

Popülasyon boyutu 10 için ve 0.9 çaprazlama ve 0.1 mutasyon oranı ile en kısa rota uzunluğu bulunmuştur. Optimum rota uzaklığı 226 uzaklık birimi elde edilmiştir.

Burada optimum sonuç 186. koşumda elde edilmiş ve 500 koşuma kadar tekrarlanmıştır. Burada x[0] müşterileri göstermekte y[0] araçların atanmasını göstermektedır. t[0] ise araçların depodan çıkış zamanlarına işaret etmektedir. Bu çözüme göre;

1.tır 0→9→1→0 Depodan çıkış saati 8:25

2.tır 0→8→2→3→0 Depodan çıkış zamanı 8:40

3.tır 0→6→7→5→4→0 Depodan çıkış zamanı 9:35

Toplam rota uzunluğu 226 uzaklık birimi olarak tespit edilmiştir.

Buna göre 1. tır 9 ve 1. müşterilere servis verirken bu müşterilere istenen zaman aralığında servis vermeleri için saat 8.25 de depodan hareket etmelidir. Aynı şekilde 2. tır sırasyla 8, 2 ve 3 müşterilerine servis verecek ve depodan 8.40 da ayrılacaktır. Son tır ise sırasıyla 6, 7 ve 5 ve 4 müşterilerine servis vermek üzere 9.35 de depodan çıkacaktır.

5.6 Sonuç ve Değerlendirmeler

Genetik Algoritma bu uygulamada bir Araç Rotalama Problemine optimum çözüm

bulabilmek için kullanılmıştır. GA'lar gerçekte karmaşık optimizasyon problemlerine çözüm bulmak için geliştirilmiştir. Bu çalışmada GA'nın çalışma prensibini ve performans kriterlerinin sonucu nasıl etkiledeğini ortaya koymak için GA için küçük sayılabilecek bir örnek üzerinde çalışılmıştır. Bu çalışma ile hedeflenen ilerde bu konuda yapılacak çalışmalara bir başlangıç teşkil etmesidir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ise şöyledir:

GA'ların en iyi şekilde çalışması için problemin karar değişkenlerinin uygun bir yöntemle kodlanması ve neyin iyi olduğunu GA'ya belirtmek üzere tasarlanan bir uygunluk (amaç) fonksiyonu gerekir. Uygunluk fonksiyonu her problem türü için farklıdır. Bizim problemimiz için en kısa rota uzaklığıdır.

GA'lar çözüm uzayını taramaya bir topluluk ile başladıkları için optimum çözüme yaklaşmak diğer yöntemlere göre daha kolay olmaktadır. Genel olarak optimum çözümü bulmayı garanti etmezlerse de buna yakın bir sonucu bulduğu bir çok araştırmayla ispatlanmıştır. GA'lar bir topluluk (başlangıçta bu topluluk genelde rasgele oluşturulur) ile başlar ve bu topluluk üzerinde çaprazlama, seçme ve mutasyon gibi yöntemlerin uygulanmasıyla problemin her aşamasında en iyiye doğru bir gidiş sağlanır. Bu çalışmada da başlangıç popülasyonu rasgele oluşturulmuş ve nesil çeşitliliğini sağlamak ve optimum sonuca ulaşmak üzere en uygun mutasyon ve çaprazlama oranları birçok denemeden sonra elde edilebilmiştir.

Rulet yöntemi seçiminde kromozomlar uyumluluk fonksiyonuna bir rulet etrafında gruplanır. Uyumluluk fonksiyonu herhangi bir kritere uygun bireylerin seçilmesi için kullanılır. Bu rulet üzerinden rasgele seçim yapılır. Uyumluluk fonksiyonu yüksek olan bireyin seçilme şansı artacaktır. Bu çalışmada rulet yöntemiyle rasgele seçim gerçekleştirilmiştir.

Popülasyonda kromozom sayısı arttıkça (popülasyon boyutu) büyüdükçe çözüme ulaşmak için gerekli koşum sayısı artar. En uygun çözümü bulmak için program pek çok defa çalıştırılır. Kromozom sayısı az olursa (popülasyon boyutu) GA çözüm aranan uzayın ancak bir kısmını gezebilir ve çaprazlama için fazla seçeneği yoktur. Kromozom sayısı çok fazla olursa GA çok yavaş çalışır. Gerçektende programın çalışması sırasında 30 luk popülasyon boyutunda programın 10 luk ve 20 lik popülasyon boyutuna göre daha yavaş çalıştığı görülmüştür. Ancak her üç popülasyon için de kendi içindeki optimum sonuca 30'luk popülasyon boyutunda 20. koşumda 20'lik popülasyonda 38. koşumda ve 10'luk popülasyonda ise 183. koşumda ulaşılmıştır. Optimum sonuç 10'luk popülasyon boyutu için elde edilmiştir. Bu sonuçla popülasyon boyutunun GA performansına etki ederek sonucu etkileyebildiği sonucuna vardık. Bunun için popülasyon boyutunun da denemeler sonucunda

tespit edilmesi gerekir.

GA kullanılarak bir problem çözülecekse algoritmanın ne zaman sonlanacağına kullanıcı karar vermektedir. GA'nın belli bir sonlanma kriteri yoktur. Sonucun yeterince iyi olması veya yakınsamanın sağlanması algoritmanın durması için kriter olarak kullanılabilir. Bu çalışmada 500 iterasyon sonlandırma kriteri olarak tercih edilmiştir. Bunun nedeni belli bir iterasyondan sonra yapılan birçok denemeden sonra sonucun değişmemesidir.

Yukarıdaki uygulamada görüldüğü gibi Stokastik Araç Rotalama örnek uygulaması için optimum sonuca GA ile birçok denemeden sonra ulaşılmıştır. En optimum sonucun 10'luk popülasyon boyutunda 0.8 çaprazlama oranı ve 0.1 mutasyon oranı ile elde edildiği görülmüştür. Bu denemelere ait sonuç çıktı özetleri Ek 1, Ek 2 ve Ek 3'de verilmiştir.

6. SONUÇ

Son yıllardaki, globalleşmeye paralel olarak şirketlerin de globalleşmesi ve/veya şirketlerin dikey bütünleşmeleri lojistik yönetimini öne çıkarmıştır. Etkin bir lojistik yönetiminin firmalar için; maliyet düşürücü, üretim arttırıcı, kalite yükseltici, müşteri memnuniyeti sağlayıcı vs. çok önemli etkileri vardır. Bu nedenle, lojistik yönetimi işletmeler için son yıllarda vazgeçilmez olmuştur.

Lojistik süreçlerinden olan Ürün Dağıtım Yönetimi ise küresel rekabet ortamında işletmeler için stratejik bir önem arz etmektedir. Dağıtım sisteminin görevi tedarik noktasından alınan ürünlerin işletmeye getirilmesi ile ürünlerin depo ya da müşteriye ulaştırılmasıdır. Dağıtım sistemine verilmesi gereken önemin sebepleri aşağıdadır.

1 Fiziksel dağıtım faaliyetlerinin etkin ve verimli bir şekilde yönetilmesi ve kontrol edilmesi hem tedarikçiler hem de üretici firmalar için büyük önem taşır. Çünkü tedarikçi ve üretici arasındaki etkin fiziksel dağıtım, üreticinin üretimi için gerekli malı zamanında alabilmesi ve aynı zamanda tedarikçinin etkin çalışmasını, üretici ile müşteri arasındaki etkin fiziksel dağıtım ise üreticinin malını doğru zamanda, doğru yere ulaştırarak rekabet avantajı kazanmasını sağlamaktadır.

2 Günümüzde artan rekabetle birlikte iş ortamında işletmeler ürünlerini müşteriye satabilmek için yoğun mücadele vermektedirler. Kötü yönetilen bir dağıtım sistemi müşterilerin ihtiyaç duydukları ürünleri hızlı ve isteğe uygun durumda almalarına engel olacaktır. Bunun yanında şirketlerin maliyet avantajını sağlayamaması neticesinde müşterilere uygun ürünleri istedikleri fiyata verememekte ve müşteri kaybına uğramaktadırlar. Bu yüzden işletmeler özellikle maliyet ve müşteri tatmini açısından dağıtım planlamasına daha fazla önem vermelidirler.

3 Dağıtımın bir parçası olan taşıma sisteminin maliyeti bir ürünün, hammaddenin yada yarı mamülün bulunduğu noktada taşıma için hazırlanmasını, araç tarafından bir noktadan diğer noktaya gitmesi için benzin, elektrik, su gibi giderlere yapılan harcamaları, bu araçların amortisman paylarını ve aracın ulaştığı noktadan üretime yada kullanıma hazır hale getirilmesi için yapılan maliyetleri kapsamaktadır.

4 İşletmelerin toplam lojistik ve dağıtım maliyetlerinin 1/3-2/3'ü taşıma maliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Dağıtım maliyetlerini azaltmak ve müşterilere sunulan servis kalitesini arttırmak için en kısa zamanı ya da mesafeyi verecek olan, bir aracın şebeke içerisinde izleyeceği en uygun rotayı bulmak günümüzde çok tartışılır bir konu haline

gelmiştir.

Lojistik faaliyetlerinden biri olan “Araç Rotalama” faaliyetleri içinde geliştirilmiş pek çok metot ve yazılım bulunmaktadır. Bu metodlar, problemin zorluk derecesine göre çeşitli şekillerde olabilir. Literatürde çok sayıda araç rotalama problemleri ve bu problemlerin her biri için geliştirilmiş pek çok algoritma mevcuttur. Ancak bu algoritmaların hiç biri pratik yaşamda işletmeler için en optimum çözümü verememektedir. Bu yüzden araştırmacılar bugün hala araç rotalama problemlerinde en etkin ve sağlıklı sonuçları verecek algoritmalar yaratmak için çalışmaktadırlar.

Tezin 5. bölümünde Stokastik Araç Rotalama problemi için yukarıda bahsedilen metodlardan Genetik Algoritma kullanılmış olup, algoritmaya müşterilerin uzaklıkları, araçların bu müşterilere seyahat zamanları ve servis görmeleri için zaman aralıkları matris şeklinde girdi olarak C++ da kodlanmıştır. GA yöntemi ile bir depodan başlanıp tüm düğümlerden geçip, depoda sonuçlandığı tüm olası durumlar hesaplanmış olup, en kısa mesafe yani en optimum rota uzunluğu GA parametrelerinin sürekli değiştirilmesiyle elde edilmiştir. Genetik Algoritma C++ da kodlanmış ve en iyi yani optimum sonucun 10’lu popülasyon boyutu ile sağlandığı görülmüştür. Bu uygulamada basit bir örnek üzerinde uygulama yapılmasına rağmen aslında Genetik Algoritmalar; arama uzayının büyük ve karmaşık olduğu, mevcut bilgiyle sınırlı arama uzayında çözümün zor olduğu, problemin belirli bir matematiksel modelle ifade edilemediği, geleneksel eniyileme yöntemlerinden istenen sonucun alınmadığı alanlarda etkili ve kullanışlıdır.

KAYNAKLAR

Akcan, S.(2003), "Lojistik Bilişimi Sistemlerinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Uzman Sistem", Çukurova Üniversitesi, Y.Lisans Tezi, Adana

Akın, B., (2002), "Lojistik Yönetimi Evrimi", Marmara Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

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

Arslan, P., (2002), "Lojistik Sektöründe İş Alanları", Ernst&Young Lojistik Sektörü Sunumu, İstanbul.

Arslancan, A., (2003), "Planlama Sistemlerinin Dünü Bugünü; Malzeme İhtiyaç Planlaması'ndan Tedarik Zinciri Yönetimi'ne", İstanbul.

Aşıcı, Ö. ve Tek, B., (1985), " Fiziksel Dağıtım Yönetimi", Bilgehan Basımevi, İzmir

Ballou, R., (1999), "Business Logistics Management, Planning, Organizing and Controlling the Supply Chain", Prentice Hall, USA.

Beydilli, S., (2003), "Transportation Management and Logistics", İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Biroğul, S., (2005), "Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Atölye Çizelgeleme", Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yükek Lisans Tezi, Ankara.

Braysy, O., Gendreau, M., (2001), "Route Construction and Local Search Algorithms for the Vehicle Routing Problems with Time Windows", Sintef Report Applied Mathematics, Research Council of Norway.

Breedam, A.V., (2001), "Comparing Descent Heuristics and Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem", Computers & Operations Research 28 (2001) 289–315.

Cheng, R., Gen, M., Tısujimiray, Y., (1999), "A Tutorial Survey of Job Shop Scheduling Problems Using Genetic Algorithms, Part II: Hybrid Genetic Search Strategies", Computers and Industrial Engineering 36, 343-364.

Coycle, J., Bardi, E.(1980), "Management of Business Logistics", Hardcover

Çancı, M., Erdal, M., (2003), "Lojistik Yönetimi-Freight Forwarder El Kitabı", UTİKAD, İstanbul.

Dalkılıç, G., Türkmen, F., (2003), "Karınca Kolonisi Optimizasyonu", Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Eiben, A.E, Smith, J.E., (2003), "Introduction to Evolutionary Computing", Springer.

Emel, G., Taşkın, Ç., (2005), "Araç Rotalama Problemlerinin İki Aşamalı Çözümünde Genetik Algoritma Kullanımı", Gazi Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 7/1.

Emel, G., Taşkın, Ç., (2002), "Genetik Algoritmalar Ve Uygulama Alanları ", Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi Cilt XXI, Sayı 1, s. 129-152.

Ergülen, A., Güngör, İ., (2006), "Bulanık Araç Rotalama Problemlerine Bir Model Önerisi ve

Bir Uygulama", Yönetim ve Ekonomi, Cilt:13, Sayı: 1, Celal Bayar Üniversitesi, İ.İ.B.F. Manisa.

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.

Eryavuz, M., Gencer, C., (2001), "Araç Rotalama Problemine Ait Bir Uygulama" Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi.

Fisher, M.L., Jaikumar R., (1981), "A Generalized Assignment Heuristic for Vehicle Routing", Vehicle Routing Problem, University of Colorado at Boulder, Leeds School of Business, Fall 2004

Geyik, F., Cedimoğlu, İ.H., (2001), "Komşuluk Arama Yöntemleriyle Atölye Tipi Çizelgeleme İçin Kullanılan Komşuluk Yapıları", YA/EM Ulusal Kongresi, 4-6 Temmuz**.**

Glynn, P., Robinson, S., (1997), "Springer Series in Operations Research", Springer, New York.

Goldberg, D.E., (1989), "Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning*",* Addison Wesley Publishing Company, USA.

Güden, H., Vakvak, B. ve Özkan B.E., Altıparmak F., 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).

Günhan, G., (2002), "Lojistik Yönetiminde Bilgisayar Uygulamaları", Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Jang, J.S.R., (1997), "Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence", Chapter 7: Derivative-Free Optimization, Prentice-Hall, s. 173-196, USA.

Kahraman, A.M., Özdağlar, D., (2004), "Su Dağıtım Sistemlerinin Genetik Algoritma İle Optimizasyonu", DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi Cilt: 6 Sayı: 3 S. 1-18.

Kalaycı, T.E., (2006), "Yapay Zeka Teknikleri Kullanan Üç Boyutlu Grafik Yazılımları İçin Extensible 3D (X3D) Altyapı Oluşturulması ve Gerçekleştirilmesi", Bilgisayar Mühendisliği Anabilim dalı, Yüksek Lisans Tezi.

Karahan, A., (2003), "Tedarik Zinciri Yönetiminde Dağıtım Faaliyetlerinin Optimize Edilmesine Yönelik Bir Model Tasarımı", Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Kaya, İ., (2006), "Çok Aşamalı Proseslerde Örnek Hacminin Belirlenmesi Üzerine Bir Model Ve Genetik Algoritmalar Yardımıyla Çözüm Önerisi", İTÜ.

Kocaoğlu, B., (2003), "Üçüncü Parti Lojistik Yönetim Sistemlerinde Dağıtım Planlanması Faaliyetleri ve Türkiye'deki Firmaların Uygulamada Karşılaştığı Sorunların Analizi", YTÜ yüksek lisans tezi.

Kurt, M., Semetay, C., (2001), "Genetik Algoritma ve Uygulama Teknikleri", M.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Makine Bölümü, İstanbul.

Lal G., (1991), "Fiziksel Dağıtım Kanallarının Optimizasyonu" , Yıldız Teknik Üniversitesi, İşletme Yönetimi, Yüksek Lisans Tezi, Sabancı Kütüphanesi, İstanbul.

Lambert, D.M, Stock, J.R. and Ellram, L.M., (1988), "Fundamentals of Logistics Management", Boston, MA: McGraw-Hill.

Langner, H.A., Montgomery, D.C., (2002), "Solving a Multistage Partial Inspection Problem Using Genetic Algorithms", International Journal of Production Research, Vol. 40, No. 8, 1923-1940

Lawrence, D., (1990), "Handbook of Genetic Algorithms", Addison Wesley.

Leenders, M.R., Fearon, H.E., England, W.B., (1985), "Purchasing and Materials Management", 8th ed, Irwin, Homewood, IL,

Liu, B., (2002), "Theory and Practice of Uncertain Programming, First Edition, Uncertainty Theory Laboratory Department of Mathematical Sciences Tsinghua University.

Menemencioğlu T., (1999), "Lojistik Yönetiminde Dağıtım Kanalları Yoluyla Sağlanacak Müşteri Memnuniyetinin İşletmenin Pazar Payına Etkisi ve Isıtma Sektöründeki Bir Uygulaması", Yıldız Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, Sabancı Kütüphanesi, İstanbul.

Michalewicz, Z., (1996), "Genetic Algorithm+Data structure =Evaluation Programs", 3 rd edition, Springer-Verlag, Newyork.

Ölçer, C., Önüt, S., (2002), "Lojistik Sektöründe İnsan Kaynakları Yönetimi", Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Potvin J.Y., Duhamel C., Guertin F.,(1996), "A Genetic Algorithm for Vehicle Routing with Backhauling", Applied Intelligence 6, 345-355, Kluwer Academic Publisher. Manufactured in The Netherlands.

Ross D.F., (1998), "Distribution Planning and Control", Kluwer Academic Publishers, London, s.779.

Sağlam, S., (2003), "Lojistik Yönetiminde Dış kaynak Kullanımı ve Türkiye'de bir Uygulaması", Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2003.

Shen, Z., Ordonez, F., Dessouky, M., (2006), "The Minimum Unmet Demand Stochastic Vehicle Routing Problem", Syf 5-7.

Taha, H., (2005), "Operations Research And Introduction", Copyright by Prentice Hall. Inc. Simon&Schuster/A Viacom Company.

Tanyaş, M., (2002), "Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetimi", Lojistik Tedarik Zinciri Yönetimi Seminer Notu, Kocaeli.

Tek Ö., (1997), "Pazarlama İlkeleri: Global Yönetimsel Yaklaşım Türkiye Uygulamaları", Cem Ofset Matbaacılık San A.Ş., s.643, İstanbul.

Teigen, R., (1997), "Supply Chain Management Introduction", International Journal of Flexible Manufacturing Systems, s.12.

Timur, N., (1998), "Sanayi İşletmelerinde Lojistik Faaliyetlerin Organizasyonu", T.C., Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir, s.204.

Yıldırım Ü., (2003), "Lojistik ve Ulaştırma Tasarım ve Planlama", Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Anabilim Dalı Ulaştırma Programı, Yüksek Lisans Tezi, Sabancı Kütüphanesi, İstanbul.

Toth, P., Vigo, D., (2002), "The Vehicle Routing Problem", Boğaziçi Üniversitesi Kütüphanesi, İstanbul.

Tovya, Y., (1983), "Four Heuristic Solution Procedures To The Travelling Salesman Problem", Bogazici University, Science and Engineering, Master of Science Thesis, Bogaziçi Üniversitesi Kütüphanesi, İstanbul

Ünsal, G., (2000), "Malzeme Dağıtım Modellerinde Yöneylem Araştırması: T.C Sağlık Bakanlığı'nda Bir Uygulama", Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

Yıldıztekin, A., (2003), "Hizmet Üreten (3PL) Kuruluşlar ile Hizmet Alan Kuruluşlar Arasındaki İlişkiler", Lojistik Derneği Toplantı Notları, İstanbul.

İNTERNET KAYNAKLARI

[1] http://www.lojistikkulubu.org

[2] http://www.idsia.ch/~monaldo/vrp.html#Problem

[3] http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP/

[4] http://www50.brinkster.com/hikomen/genetik%20algoritma.html

[5] http://tr.wikipedia.org/wiki/Genetik_Algoritmalar

[6] http://akademiyapayzeka.com/genetik programlama

[7] www.yapay-zeka.org

[8] http://lancet.mit.edu/galib-2.4/overview.html

[9] http://gokselucer.blogspot.com

[10] Marek Obitko (marek@obitko.com), 1998

EKLER

Ek 1 10'luk populasyon boyutu için özet GA sonuç çıktıları

Ek 2 20'lik popülasyon boyutu için özet GA sonuç çıktıları

Ek 3 30'luk populasyon boyutu için özet GA sonuç çıktıları

Ek 1 10'luk populasyon boyutu için özet GA sonuç çıktıları

P_r: 0.8

Pc: 0.9

Pm: 0.1

Hazirlaniyor...100%

nesil no: 0

en iyi= 284

x[0]= 8 2 1 6 9 7 3 5 4

y[0]= 0 3 9 9

t[0]= 0 37 62 55

mesafe 284

nesil no: 1

en iyi= 284

x[0]= 8 2 1 6 9 7 3 5 4

y[0]= 0 3 9 9

t[0]= 0 37 62 55

mesafe 284

nesil no: 2

en iyi= 267

x[0]= 8 2 1 6 9 3 7 5 4

y[0]= 0 0 3 9

t[0]= 0 7.6885 34.9682 59.3864

mesafe 267

nesil no: 3

en iyi= 251.

x[0]= 8 2 1 6 9 3 7 5 4

y[0]= 0 3 6 9

t[0]= 0 40.7822 35.5948 64.2015

mesafe 251

.

.

.

nesil no: 17

en iyi= 229

x[0]= 8 2 1 9 3 6 7 5 4

y[0]= 0 3 5 9

t[0]= 0 36.6708 36.1326 85.4229

mesafe 229

.

.

.

nesil no: 183

en iyi= 226

x[0]= 9 1 8 2 3 6 7 5 4

y[0]= 0 2 5 9

t[0]= 0 25.2113 40.0798 94.6049

  pr 0.8908 mesafe 226

nesil no: 184

en iyi= 226

.

.

.

nesil no: 499

en iyi= 226

x[0]= 9 1 8 2 3 6 7 5 4

y[0]= 0 2 5 9

t[0]= 0 25.2113 40.0798 94.6049

mesafe 226

nesil no: 500

en iyi= 226

x[0]= 9 1 8 2 3 6 7 5 4

y[0]= 0 2 5 9

t[0]= 0 25.2113 40.0798 94.6049

Ek 2 20'lik popülasyon boyutu için özet GA sonuç çıktıları

P_m:0.8

Pc:0.8

Pm:0.01

Hazirlaniyor...100%

nesil no: 0

en iyi= 284

x[0]= 8 2 1 6 9 7 3 5 4

y[0]= 0 3 9 9

t[0]= 0 37 62 55

mesafe 284

nesil no: 1

en iyi= 284

x[0]= 8 2 1 6 9 7 3 5 4

y[0]= 0 3 9 9

t[0]= 0 37 62 55

mesafe 284

nesil no: 2

en iyi= 284

x[0]= 8 2 1 6 9 7 3 5 4

y[0]= 0 3 9 9

t[0]= 0 37 62 55

mesafe 284

nesil no: 3

en iyi= 274

x[0]= 8 2 1 6 9 7 3 4 5

y[0]= 0 0 3 9

t[0]= 0 23.9799 36.8286 51.9942

mesafe 274

nesil no: 4

en iyi= 258

x[0]= 8 2 1 6 9 7 3 4 5

y[0]= 0 3 6 9

t[0]= 0 51.8302 42.2771 71.7455

mesafe 258

.

.

.

nesil no: 38

en iyi= 249

x[0]= 8 2 1 6 9 7 5 4 3

y[0]= 0 3 8 9

t[0]= 0 45.727 50.5567 81.0938

mesafe 249

nesil no: 38

en iyi= 249

x[0]= 8 2 1 6 9 7 5 4 3

y[0]= 0 3 8 9

t[0]= 0 45.727 50.5567 81.0938

mesafe 249

.

.

.

nesil no: 499

en iyi= 249

x[0]= 8 2 1 6 9 7 5 4 3

y[0]= 0 3 8 9

t[0]= 0 45.727 50.5567 81.0938

mesafe 249

nesil no: 500

en iyi= 249

x[0]= 8 2 1 6 9 7 5 4 3

y[0]= 0 3 8 9

t[0]= 0 45.727 50.5567 81.0938

mesafe 249

Ek 3 30'luk populasyon boyutu için özet GA sonuç çıktıları

Pr: 0.8

Pc: 0.5

Pm: 0.01

nesil no: 0

en iyi= 293

x[0]= 2 4 5 8 7 1 6 9 3

y[0]= 0 3 6 9

t[0]= 0 89 45 60

mesafe 293

nesil no: 1

en iyi= 293

x[0]= 2 4 5 8 7 1 6 9 3

y[0]= 0 3 6 9

t[0]= 0 89 45 60

mesafe 293

nesil no: 2

en iyi= 293

x[0]= 2 4 5 8 7 1 6 9 3

y[0]= 0 3 6 9

t[0]= 0 89 45 60

mesafe 293

.

.

.

nesil no: 5

en iyi= 283

x[0]= 2 4 5 8 1 7 6 9 3

y[0]= 0 3 6 9

t[0]= 0 109.535 55.2277 45.9984

mesafe 283

nesil no: 6

en iyi= 283

x[0]= 2 4 5 8 1 7 6 9 3

y[0]= 0 3 6 9

t[0]= 0 109.535 55.2277 45.9984

mesafe 283

.

.

.

nesil no: 20

en iyi= 258

x[0]= 2 4 5 7 8 1 6 9 3

y[0]= 0 4 6 9

t[0]= 0 89.5375 42.7236 44.8356

mesafe 258

.

.

.

nesil no: 499

en iyi= 258

x[0]= 2 4 5 7 8 1 6 9 3

y[0]= 0 4 6 9

t[0]= 0 89.5375 42.7236 44.8356

mesafe 258

nesil no: 500

en iyi= 258

x[0]= 2 4 5 7 8 1 6 9 3

y[0]= 0 4 6 9

t[0]= 0 89.5375 42.7236 44.8356

mesafe 258

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	21.12.1980	
Doğum yeri	Van	
Lise	1995-1998	Bahçelievler Lisesi
Lisans	1999-2004	Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fak. Endüstri Mühendisliği
Yüksek Lisans	2005-2007	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği

Çalıştığı kurum(lar)

2005 Ravelli Tekstil.
2005-Devam ediyor YTÜ Endüstri Mühendisliği Araştırma Görevlisi

1991-Devam ediyor YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi