

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI**

**DEPO OPERASYONLARI VE SİPARİŞ DAĞITIM
FAALİYETLERİNİN SEZGİSEL YÖNTEMLER KULLANARAK
EŞ ZAMANLI OPTİMİZASYONU**

**YUSUF ŞAHİN
1040201002**

DOKTORA TEZİ

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Abdullah EROĞLU**

ISPARTA - 2014



T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZ SAVUNMA
SINAV TUTANAĞI



Tez Savunması 1

Tarih:26/6/ 2014

Enstitü Yönetim Kurulunun 4/6/2014 tarih ve 8/h sayılı kararıyla oluşturulan jürimiz, İşletme Anabilim Dalı Bilim Dalını Seçiniz Bilim Dalı DOKTORA öğrencisi Yusuf ŞAHİN'in "DEPO OPERASYONLARI VE SİPARİŞ DAĞITIM FAALİYETLERİNİN SEZGİSEL YÖNTEMLER KULLANARAK EŞ ZAMANLI OPTİMİZASYONU" başlıklı tezini incelemek ve değerlendirmek üzere 26/6/2014 tarihinde saat 10:00'da toplanmış ve adayı tez savunmasına almıştır.

SDÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Lisansüstü Yönetmeliğinin 39. Maddesi uyarınca adaya 60 dakika süreyle teziyle ilgili Ek'te sunulan sorular yöneltilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonunda adayın tezinin aşağıda belirtilen sebeplerle,

Tezin kabul edilmesine (Öğrenci, varsa jüri tarafından gerekli görülen düzeltmeleri yaparak, tezinin onaylı son şeklini bir (1) ay içinde Enstitü'ye teslim etmelidir.)

Tezde düzeltme verilmesine (Öğrenci, tezde gerekli görülen düzeltmeleri yaptıktan sonra altı (6) ay içinde savunmasını yineleyecektir.)

Tezin reddedilmesine (Öğrenci yeni tez konusu belirleyecek)

***Tez adı değişikliği yapıldı/yapılmadı.**
oy birliği/oy çokluğu ile karar verilmiştir.

Gereği arz olunur.

Jüri	Adı Soyadı	İmza
Danışman	: Prof. Dr. Abdulah EROĞLU	
Üye	: Prof. Dr. M. Zihni TUNCA	
Üye	: Prof. Dr. Murat KARAÖZ	
Üye	: Doç. Dr. Gültekin ÖZDEMİR	
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Erdal AYDEMİR	

Ekler :

- 1) Tez Değerlendirme Jüri Raporları
- 2) Sınav soru tutanağı

SDÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği; Madde 39 (3) Jüri üyeleri, söz konusu tezin kendilerine teslim edildiği tarihten itibaren en geç bir ay içinde, hazırladıkları raporlarla birlikte toplanarak öğrenciyi tez savunma sınavına alırlar. Tez savunma sınavının yeri ve tarihi EYK'nca belirlenir. Jüri aralarında bir başkan seçer. Tez savunma sınavı, tez çalışmasının sunulması ve bunu izleyen soru-cevap bölümünden oluşur. Tez savunma sınavı en az kırkbeş, en çok doksan dakikadır.

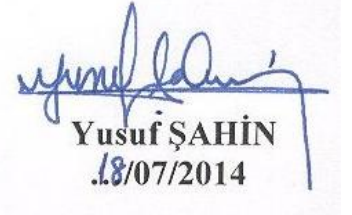
(4) Tez sınavının tamamlanmasından sonra jüri tez hakkında salt çoğunlukla kabul, ret veya düzeltme kararı verir. Bu karar, EABD Başkanlığınca tez sınavını izleyen üç gün içinde Enstitüye tutanakla bildirilir. Tezi reddedilen öğrenci yeni tez konusu sunmak zorundadır. Tezi hakkında düzeltme kararı verilen öğrenci en geç altı ay içinde gereğini yaparak tezinin aynı jüri önünde yeniden savunur. Bu savunma sonunda da tezi kabul edilmeyen öğrenci yeni tez konusu sunmak zorundadır. Yeni tez konusu bu Yönetmeliğin 38 inci maddesinde yer alan esaslara göre belirlenir.

Enstitü Yönetim Kurulu Kararı	Tarih:	Karar No:
Bu form sınavdan sonra danışman tarafından düzenlenerek ilgili Anabilim Dalı Başkanlığı aracılığı ile 3 gün içinde Enstitüye teslim edilir.		

SÜLEYMAN DEMİRELÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

YEMİN METNİ

Doktora tezi olarak sunduğum “Depo Operasyonları ve Sipariş Dağıtım Faaliyetlerinin Sezgisel Yöntemler Kullanarak Eş Zamanlı Optimizasyonu” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim.



Yusuf ŞAHİN
.18/07/2014

Hayattaki en değerli varlığım olan biricik aileme...

TEŞEKKÜR SAYFASI

Çalışma boyunca göstermiş olduğu anlayış, rehberlik ve destek için değerli hocam Prof. Dr. Abdullah EROĞLU'na en derin teşekkürlerimi sunarım. Tez izleme komitesinde de yer alan değerli jüri üyeleri Prof. Dr. M. Zihni TUNCA ve Doç. Dr. Gültekin ÖZDEMİR'e çalışmanın başından itibaren yaptıkları tavsiye ve yorumlar ile çalışmanın yönlendirilmesinde sağladıkları önemli katkılar nedeniyle ayrıca teşekkür etmek isterim. Yine değerli eleştirileri ile tezin son halini almasında önemli katkıları olan Prof. Dr. Murat KARAÖZ ve Yrd. Doç. Dr. Erdal AYDEMİR'e çok teşekkür ederim. Depo yönetimi konusunda çalışmalara başlamamı sağlayan değerli hocam Prof. Dr. Osman KULAK'a teşekkür ederim.

Doktora sürecinin başından itibaren derslere devam edebilmem ve tez ile ilgili çalışmalar yapabilmem için önemli destekleri olan başta İl AFAD Müdürlüğü Planlama ve Zarar Azaltma Şube Müdürü Jeoloji Mühendisi Veli BARDAK olmak üzere değerli idarecilerime teşekkürlerimi sunarım. Tez yazım sürecinde, kurumda yürütülen faaliyetler konusunda sağladıkları destekle iş yükümü hafifleten çalışma arkadaşlarım Ömer Zülkif ŞAHİN ve Celal PEMBEGÜL'e ayrıca teşekkürlerimi sunmak isterim.

Son olarak, onlara ayırmam gereken zamandan çalarak çalışmaya yoğunlaştığım özellikle son zamanlarda, göstermiş oldukları hoşgörü ve verdikleri eşsiz destek için eşim Işıl ŞAHİN, kızım Elif Nisa ŞAHİN, annem Güllü ŞAHİN, babam Halil ŞAHİN ve kardeşim Suat Sami ŞAHİN'e ayrıca teşekkürlerimi sunarım. Onların bugüne kadar sağladığı maddi ve manevi destekler olmaksızın bu çalışmayı yapabilmemin imkânı yoktu. İyi ki varsınız ve iyi ki benim ailemsiniz.

ŞAHİN, Yusuf

**Depo Operasyonları ve Sipariş Dağıtım Faaliyetlerinin Sezgisel Yöntemler
Kullanarak Eş Zamanlı Optimizasyonu**

Doktora

Isparta, 2014

ÖZET

Depolar lojistik yönetim sisteminde çok yönlü bir rol oynar. Ürünlerin birçoğu sürekli olarak talep edilir ve müşterilerin talebine göre tedarik zinciri boyunca taşınırlar. Bu noktada, depolama fonksiyonunun amacı, talep ile tedarik arasında bir tampon sağlamaktır. Depoların birçoğunda sipariş toplama ana faaliyettir ve ürünlerin müşteri taleplerine göre depolardaki konumlarından toplanmasını içerir. Diğer taraftan siparişlerin dış dağıtımının da planlanması gerekir. Bir veya daha fazla depodan coğrafi olarak dağılmış olan müşterilere yapılacak olan dağıtım için uygun rotanın belirlenmesi literatürde araç rotalama problemi olarak adlandırılır. Sipariş toplama ve araç rotalama problemleri birbiri ile ilişkili problemler olmasına rağmen bugüne kadar ayrı ayrı ele alınmışlardır. Bu çalışmada, sipariş toplama ve araç rotalama problemlerini hem klasik hem de çapraz geçitli depo sistemlerinde eş zamanlı olarak çözebilen çeşitli sezgisel yöntemler önerilmektedir. Müşteri ve sipariş grupları Genetik ve Tabu Arama Algoritmaları ile belirlenirken, araç rotaları Tasarruf ve En Yakın komşu sezgiselleri yardımıyla belirlenmiştir. Bu yöntemlere ilave olarak, belirlenen rotaların geliştirilmesi için 2-opt ve Or-opt sezgiselleri rotalama sezgisellerine entegre edilmiştir. Önerilen yöntemlerin etkinliğini araştırmak için bilinen 24 test problemi ile deneyler yapılmış ve sonuçları önceki çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak Tabu Arama - Kabul Eşiği Algoritması yöntemi çözüm kalitesi ve süresi bakımından en iyi sonuçları sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Sipariş toplama, araç rotalama, genetik, tabu arama

ŞAHİN, Yusuf

**Concurrent Optimization of Warehouse Operations and Order Distribution
Activities Using Heuristic Methods**

Doctor of Philosophy

Isparta, 2014

ABSTRACT

The warehouses play a versatile role in the logistics management system. Most of the products are offered constantly and they need to be pulled through the supply chain based on customer demand. At this point, the objective of the warehousing function is to provide a buffer between supply and demand. In most warehouses, order picking is the major activity and involves collecting of products according to customer orders. On the other hand, it is necessary to plan the outside distribution of the orders. Determining the suitable distribution routes from one or more warehouses to a number of geographically separated customers is called vehicle routing problem in the literature. Although the order picking and vehicle routing problems are related to each other, they have been handled separately by this time. In this study, various heuristic approaches which solve order picking and vehicle routing problems simultaneously for both conventional and multiple cross aisles warehouse systems are proposed. While the groups of the orders and customers are determined using Genetic and Tabu Search Algorithms, the routes of the vehicles are determined with the help of Savings and Nearest Neighbor Heuristics. In addition to these methods, 2-opt and Or-opt heuristics are integrated to the routing heuristics to improve the solution quality. In order to investigate the effectiveness of proposed methods, 24 well-known test problems are conducted and the obtained results are compared with previous researches. In conclusion, Tabu Search - Threshold Accepting method come out to be the most attractive approach in terms of solution quality and the computational efficiency.

Key Words: Order picking, vehicle routing, genetic, tabu search

İÇİNDEKİLER

DOKTORA JURİ ONAY SAYFASI	ii
YEMİN METNİ.....	iii
İTHAF SAYFASI	iv
TEŞEKKÜR SAYFASI	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	vii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

LOJİSTİK VE LOJİSTİK YÖNETİMİ

1.1. LOJİSTİĞİN TANIMI	4
1.2. LOJİSTİĞİN TARİHSEL GELİŞİMİ.....	7
1.3. LOJİSTİĞİN ÖNEMİ.....	10
1.4. LOJİSTİK YÖNETİMİ	11
1.5. LOJİSTİK YÖNETİMİNDE ANAHTAR FAALİYET KONULARI	13
1.6. DÜNYA VE TÜRKİYE LOJİSTİK PAZARI	15

İKİNCİ BÖLÜM

DEPO YÖNETİMİ

2.1. DEPO VE DEPOLAMA KAVRAMLARI.....	18
2.2. DEPONUN ÖNEMİ VE FONKSİYONLARI	20
2.2.1. Birleştirme (Konsolidasyon) Fonksiyonu	23
2.2.2. Yığın Ayrıştırma Fonksiyonu	23
2.2.3. Ürün Birleştirme Fonksiyonu.....	24
2.2.4. Çapraz Sevkiyat Fonksiyonu.....	24
2.2.5. Mevsimsel Depolama Fonksiyonu	24
2.2.6. Tersine Lojistik Fonksiyonu	25
2.2.7. Ulaştırma Fonksiyonu	25
2.3. DEPO TASARIMI VE DEPO SAHİPLİĞİ	26
2.4. DEPO TÜRLERİ.....	28

2.5.	DEPOLARDA GERÇEKLEŞTİRİLEN FAALİYETLER	30
2.5.1.	Kabul	31
2.5.2.	Fiziksel Depolama.....	31
2.5.3.	Sipariş Toplama (Ürün Birleştirme)	32
2.5.4.	Konsolidasyon.....	32
2.5.5.	Çapraz Sevkiyat	33
2.5.6.	Yükleme (Sevkiyat)	33
2.6.	DEPOLARDAKİ MALZEME ELLEÇLEME EKİPMANLARI.....	34
2.6.1.	Paletler.....	35
2.6.2.	Raf Sistemleri.....	36
2.6.3.	Taşıma Sistemleri.....	39
2.7.	DEPOLARDA VERİMLİLİK	42

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

DEPO İÇİ SİPARİŞ TOPLAMA FAALİYETİ

3.1.	SİPARİŞ TOPLAMA	44
3.2.	SİPARİŞ TOPLAMA SİSTEMLERİ.....	47
3.2.1.	Sipariş Toplama Sisteminin Tasarlanması	47
3.2.2.	Sipariş Toplama Yöntemleri	48
3.3.	SİPARİŞ TOPLAMA PROBLEMİ.....	52
3.3.1.	Sipariş Gruplama Problemi	54
3.3.2.	Toplayıcı Rotalama Problemi	60
3.3.3.	Çapraz Geçitli Depo Sistemleri İçin Modeller.....	63

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

4.1.	KAPASİTELİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ (KARP).....	66
4.2.	KARP İÇİN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ.....	68
4.2.1.	Kesin Çözüm Yöntemleri.....	69
4.2.2.	Sezgisel Yöntemler	70

BEŞİNCİ BÖLÜM

DEPO OPERASYONLARI VE SİPARİŞ DAĞITIM FAALİYETLERİNİN SEZGİSEL YÖNTEMLERLE EŞ ZAMANLI OPTİMİZASYONU

5.1.	TABU ARAMA ALGORİTMASI VE TEMEL KAVRAMLAR	82
------	---	----

5.1.1.	Algoritmanın Tarihçesi	83
5.1.2.	Tabu Arama Algoritması.....	85
5.1.3.	Tabu Arama Hafızası	86
5.1.4.	Tabu Süresi (<i>tabu tenure</i>).....	89
5.1.5.	Aspirasyon Kriteri	90
5.1.6.	Aday Çözümün Seçimi	91
5.2.	GELİŞTİRİLEN TABU ARAMA ALGORİTMASI ESASLI YÖNTEM	92
5.2.1.	Çözümün Kodlanması.....	92
5.2.2.	Başlangıç Çözümün Oluşturulması.....	94
5.2.3.	Uygunluk Fonksiyonu	96
5.2.4.	Komşuluk yapısı ve hareketleri.....	96
5.2.5.	Tabu Arama Hafızası	97
5.2.6.	Durdurma Kriteri.....	98
5.3.	GENETİK ALGORİTMA.....	99
5.3.1.	Genetik Algoritmanın Tarihçesi.....	99
5.3.2.	Genetik Algoritmalara Giriş.....	99
5.3.3.	Genetik Algoritmanın Çalışma Prensipleri	101
5.3.4.	Genetik Algoritmanın Adımları	103
5.4.	GELİŞTİRİLEN GENETİK ALGORİTMA ESASLI YÖNTEM	115
5.4.1.	Çözümün Kodlanması.....	116
5.4.2.	Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması.....	117
5.4.3.	Uygunluk Fonksiyonu	118
5.4.4.	Kromozomların Eşleştirme Havuzuna Alınması	121
5.4.5.	Çaprazlanacak Bireylerin Seçilmesi (Aile Seçimi).....	121
5.4.6.	Çaprazlama.....	123
5.4.7.	Mutasyon.....	125
5.4.8.	Elitizm.....	126
5.4.9.	Tamir Fonksiyonu	126

ALTINCI BÖLÜM

GELİŞTİRİLEN YAZILIM VE UYGULAMA

6.1.	PROGRAM VE ÖZELLİKLERİ	128
6.2.	EN İYİ PARAMETRE SGAETİNİN BELİRLENMESİ.....	133

6.2.1.	Genetik Algoritma İçin En Uygun Parametre Setinin Belirlenmesi	133
6.2.2.	Tabu Arama İçin En Uygun Parametre Setinin Belirlenmesi	140
6.3.	GELİŞTİRİLEN YÖNTEMLERİN ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI ...	143
6.3.1.	Klasik KARP Test Problemlerinin Geliştirilen Yöntemler İle Çözümü .	143
6.3.2.	Karşılaştırma İçin Kullanılan Test Problemleri ve Depo Yerleşimleri ...	145
6.3.3.	Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	151
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME		160
KAYNAKÇA		163
EKLER		184
EK-1. ÖRNEK SİPARİŞ LİSTESİ		185
EK-2. L32 Ortogonal Dizisi		186
EK-3. Y-n30-k3 SİPARİŞ LİSTESİ		187
EK-4. Y-n30-k5 SİPARİŞ LİSTESİ		189
EK-5. Y-n45-k5 SİPARİŞ LİSTESİ		190
EK-6. Y-n45-k7 SİPARİŞ LİSTESİ		191
EK-7. Y-n60-k5 SİPARİŞ LİSTESİ		192
EK-8. Y-n60-k7 SİPARİŞ LİSTESİ		193
EK-9. Y-n75-k5 SİPARİŞ LİSTESİ		194
EK-10. Y-n75-k7 SİPARİŞ LİSTESİ		195
EK-11. Klasik depo yerleşimi için elde edilen en iyi çözümlerin detayları		196
EK-12. Çapraz geçitli depo yerleşimi için elde edilen en iyi çözümlerin detayları.....		200
ÖZGEÇMİŞ		204

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

ABC	Yapay Ari Kolonisi
AGV	Otomatik Kılavuzlu Araç Sistemleri
ARP	Araç Rotalama Problemi
AS/RS	Otomatik Depolama ve Toplama Sistemleri
BRIC	Brezilya-Rusya-Hindistan-Çin
C	Araç Kapasitesi
CPFR	İşbirlikçi planlama, tahmin ve ikmal
DI_k	Yoğunluk indeksi
D_j	Oluşturulan sipariş grupları için toplam dolaşım mesafesi
d_{ij}^b	b grubunda i ve j konumları arasındaki mesafe
ECR	Etkili Tüketici Tepkisi
EPAL	Avrupa Palet Birliği
EYK	En Yakın komşu
F_i	i çözümünün uygunluk değeri
GA	Genetik Algoritma
GABM	GA-esaslı sipariş gruplama yöntemi
GARB	GA - Rota Benzerlik + Rastgele Başlangıç Popülasyonu
GAS	GA - Rastgele Başlangıç Popülasyonu
GSBM	Gipson ve Sharp Gruplama Yöntemi
IBM	İndeksli Gruplama Modeli
KARP	Kapasiteli Araç Rotalama Problemi
KE	Kabul Eşiği Algoritması
KMB	K-ortalamar Gruplama
LKH	Lin-Kernighan-Helsgaun
OX	Sıra Çaprazlama
P_k	k siparişindeki parça sayısı
p_m	Kromozom Seçim Olasılığı
PMX	Parçalı Haritalanmış Çaprazlama
RFID	Radyo Frekanslı Tanımlama
S	Tabu Başlangıç çözümü
S_{eniyi}	Tabu listesinde olmayan çözümlerin en iyisi
S_{ij}	S_i çekirdek siparişine j siparişi eklendiğinde oluşan yeni benzerlik faktörü
SMB	Özörgütlenme Harita Gruplama
T	Kabul Eşiği Değeri
TA	Tabu Arama
TAKE	TA - Kabul Eşiği Algoritması
TARB	TA - Rota Benzerlik Yöntemi
TAS	TA - Rastgele Başlangıç Çözüm
TDK	Türk Dil Kurumu
TSP	Gezgin Satıcı Problemi
u_i, u_j	Bir turdaki i ve j konumları için oluşturulmuş geliş ve gidiş sayıları
w_k	k siparişinin ağırlığı
x_{0i}	Referans noktası ile i konumu arasındaki mesafe
x_{0j}	Referans noktası ile j konumu arasındaki mesafe
x_{ij}	i konumu ile j konumu arasındaki mesafe

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Lojistiğin Gelişimi	9
Çizelge 1.2 Türkiye Lojistik Performans İndeksi	17
Çizelge 2.1 Depo Tasarımı ve Depo Operasyonları Problemleri için Kararlar	26
Çizelge 2.2 Depo sahipliği kararını etkileyen işleme özellikleri	27
Çizelge 2.3 Palet Standartları	35
Çizelge 2.4 Depo verimliliğini artırabilecek çalışmalar	43
Çizelge 3.1 Gruplama için sipariş yakınlığı ölçümleri	55
Çizelge 3.2 Türe göre sipariş gruplama sezgiselleri	56
Çizelge 4.1 KARP İle İlgili Literatür Araştırmaları	69
Çizelge 4.2 Kesin çözüm yöntemleri kullanılan çalışmalar	70
Çizelge 4.3 KARP'nin çözümünde metasezgisel kullanılan çalışmalar	81
Çizelge 5.1 Tabu Arama Uygulamaları	85
Çizelge 5.2 Yenilik tabanlı hafıza örnekleri	88
Çizelge 5.3 Sıklık tabanlı hafıza yapısı için örnekler	89
Çizelge 5.4 Genetik Algoritma ile ilgili terimler	100
Çizelge 5.5 Sigma azaltma yöntemiyle kromozomların derecelendirilmesi	121
Çizelge 5.6 Rulet tekeri seçiminde olasılıkların hesaplanması	122
Çizelge 5.7 Sıralama seçiminde olasılıkların hesabı	123
Çizelge 6.1 Parametre değerleri	134
Çizelge 6.2 İndirgenmiş TAGUCHI L32 Ortogonal Dizisi	135
Çizelge 6.3 Deneyler için kullanılacak parametreler	136
Çizelge 6.4 Deneylerde elde edilen uygunluk değerleri	137
Çizelge 6.5 Kovaryans eşitliği için test sonuçları	138
Çizelge 6.6 Varyansların homojenliği testi	138
Çizelge 6.7 Kruskal -Wallis testi sonuçları	139
Çizelge 6.8 GA_{vp} için en uygun parametre seti	140
Çizelge 6.9 GA_{op} için en uygun parametre seti	140
Çizelge 6.10 Tabu Arama için parametre değerleri	141
Çizelge 6.11 ANOVA için kullanılacak sonuçlar	141
Çizelge 6.12 Tabu Arama parametre seti için Kruskal - Wallis testi sonuçları	142

Çizelge 6.13 TA_{vtp} için en uygun parametre değerleri.....	142
Çizelge 6.14 TA_{op} için en uygun parametre değerleri.....	142
Çizelge 6.15 Kullanılan Klasik Test Problemleri	143
Çizelge 6.16 Karşılaştırma İçin Kullanılan Yöntemler	144
Çizelge 6.17 Klasik test problemlerinin geliştirilen yöntemler ile çözümü.....	144
Çizelge 6.18 Rastgele üretilen sipariş listelerine ait bilgiler.....	146
Çizelge 6.19 Klasik depo yerleşimim için elde edilen sonuçlar	149
Çizelge 6.20 Çapraz geçitli depo yerleşimim için elde edilen sonuçlar	150
Çizelge 6.21 Klasik depo yerleşimi için dış rota uzunlukları	151
Çizelge 6.22 Klasik depo dış rota için hesap süreleri	152
Çizelge 6.23 Çapraz geçitli depo yerleşimi için dış rota uzunlukları	153
Çizelge 6.24 Çapraz geçitli depo dış rota için hesap süreleri	154
Çizelge 6.25 Klasik depo için iç rota hesabı.....	155
Çizelge 6.26 Klasik depo iç rota hesap süreleri	156
Çizelge 6.27 Çapraz depo için iç rota hesabı	157
Çizelge 6.28 Çapraz depo iç rota hesap süreleri	158
Çizelge 6.29 Klasik ve çapraz geçitli depoların karşılaştırılması	159

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Temel Lojistik Faaliyetler	5
Şekil 1.2 Lojistik kavramı	6
Şekil 1.3 Lojistiğin Yönetiminin Temel Bileşenleri	12
Şekil 1.4 Dağıtım ve lojistiğin anahtar bileşenleri	14
Şekil 2.1 Lojistik sistem içerisindeki maliyet ilişkisi	20
Şekil 2.2 Deponun tedarik zinciri içerisindeki rolü	22
Şekil 2.3 Konsolidasyon	23
Şekil 2.4 Yığın Ayrıştırma	23
Şekil 2.5 Ürün Karması	24
Şekil 2.6 Taşıma Fonksiyonu	26
Şekil 2.7 Tipik depo fonksiyonları ve akışları	30
Şekil 2.8 Depo iş süreçleri	31
Şekil 2.9 Çapraz sevkiyat	33
Şekil 2.10 EURO paletin şekil ve standart ölçüleri	36
Şekil 2.11 Tek ve çift taraf palet rafı	36
Şekil 2.12 İçine girilebilir ve içinden geçilebilir raf sistemleri	37
Şekil 2.13 Kayar ve geri itmeli raf sistemleri	38
Şekil 2.14 Konsol raf sistemi	38
Şekil 2.15 Balkonlu raf sistemi	39
Şekil 2.16 Hafif ürün rafları	39
Şekil 2.17 Manüel ve motorlu transpalet	40
Şekil 2.18 Forklift	40
Şekil 2.19 Depolarda konveyör sistemleri	41
Şekil 2.20 Depolarda kullanılan vinç sistemleri	41
Şekil 2.21 AS/RS sistemleri	42
Şekil 3.1 Sipariş toplama sisteminin genel yapısı	45
Şekil 3.2 Tek sipariş toplanma	46
Şekil 3.3 Grup sipariş toplama	46
Şekil 3.4 Sipariş toplama sistemi tasarım prosedürü	48
Şekil 3.5 Sipariş toplama sistemlerinin sınıflandırılması	49
Şekil 3.6 Toplayıcının parçaya gittiği sipariş toplama sistemi	50

Şekil 3.7 Parçanın toplayıcıya geldiği sipariş toplama sistemi	51
Şekil 3.8 Sipariş yerleştirme sistemleri	51
Şekil 4.1 Araç rotalama problemi türleri ve birbiri ile ilişkisi	66
Şekil 4.2 KARP çözüm yöntemleri	68
Şekil 5.1 Kısa Dönem Hafıza Bileşenleri	88
Şekil 5.2 Aday çözüm listesi, tabu durumu ve aspirasyon kriteri arasındaki ilişki	92
Şekil 5.3 Sipariş toplama problemi için çözüm gösterimi	92
Şekil 5.4 KARP için çözüm gösterimi	93
Şekil 5.5 Sipariş toplama problemi için ikili yer değiştirme operatörü	96
Şekil 5.6 KARP için ikili yer değiştirme operatörü	97
Şekil 5.7 Kullanılan tabu hafızası	97
Şekil 5.8 Geliştirilen TA algoritmalarının akışı	98
Şekil 5.9 Genetik algoritmanın genel işleyişi	101
Şekil 5.10 GA'nın temel akış şeması	102
Şekil 5.11 İkili kodlama gösterimi	104
Şekil 5.12 Permutasyon kodlama	104
Şekil 5.13 Değer kodlama	104
Şekil 5.14 Ağaç kodlama	105
Şekil 5.15 Yeniden üretimin genetik algoritma uygulama süreci içerisindeki yeri	110
Şekil 5.16 Tek nokta çaprazlama	111
Şekil 5.17 Çok nokta çaprazlama	112
Şekil 5.18 Uniform çaprazlama	112
Şekil 5.19 PMX çaprazlama yöntemi	113
Şekil 5.20 Bit değiştirme yöntemi	114
Şekil 5.21 İkili yer değiştirme mutasyon yöntemi	114
Şekil 5.22 Ters çevirme mutasyon yöntemi	115
Şekil 5.23 Grup ve araç numarası dayalı kromozom yapısı	117
Şekil 5.24 Tasarruf sezgiseli konum esaslı gösterimi	119
Şekil 5.25 KARP çözümünde kullanılan uniform çaprazlama	124
Şekil 5.26 Kromozom yapısının değiştirilmesi	124
Şekil 5.27 Enjeksiyon çaprazlama	125
Şekil 5.28 İkili yer değiştirme yöntemi	125

Şekil 5.29 Yerine koyma yöntemi.....	126
Şekil 5.30 Tersine çevirme yöntemi.....	126
Şekil 5.31 Tamir işlemi.....	127
Şekil 5.32 Geliştirilen GA esaslı yöntemlerin akışı.....	127
Şekil 6.1 Programın Menü Görünümü.....	129
Şekil 6.2 GA için parametre giriş ekranı.....	129
Şekil 6.3 TA için parametre değeri giriş ekranı.....	130
Şekil 6.4 Çözüm yönteminin seçimi.....	130
Şekil 6.5 Rotalama yönteminin seçimi.....	130
Şekil 6.6 Programın arka planı.....	131
Şekil 6.7 Deneylerin listesi.....	131
Şekil 6.8 GA çözüm sayfası.....	132
Şekil 6.9 TA çözüm sayfası.....	132
Şekil 6.10 Çözüm grafiği sekmesi.....	132
Şekil 6.11 Test verisi detayı.....	133
Şekil 6.12 Elde edilen uygunluk değerlerinin grafik gösterimi.....	145
Şekil 6.13 Klasik depo yerleşimi.....	146
Şekil 6.14 Çapraz geçitli depo yerleşimi.....	147
Şekil 6.15 Depo özelliklerinin programa tanıtılması.....	148
Şekil 6.16 Klasik depo yerleşimi için dış rota uzunluklarının karşılaştırılması.....	151
Şekil 6.17 Klasik depo için dış rota çözüm sürelerinin karşılaştırılması.....	152
Şekil 6.18 Çapraz depo yerleşimi için dış rota uzunluklarının karşılaştırılması.....	153
Şekil 6.19 Çapraz depo yerleşimi için dış rota hesap sürelerinin karşılaştırılması.....	154
Şekil 6.20 Klasik depo yerleşimi için iç rota uzunluklarının karşılaştırılması.....	155
Şekil 6.21 Klasik depo yerleşimi için iç rota hesap sürelerinin karşılaştırılması.....	156
Şekil 6.22 Çapraz geçitli depo için iç rota mesafelerinin karşılaştırılması.....	157
Şekil 6.23 Çapraz geçitli depo için iç rota hesap sürelerinin karşılaştırılması.....	158
Şekil 6.24 Depo yerleşimlerinin karşılaştırılması.....	159

GİRİŞ

Dünya üzerinde farklı noktalarda bulunan ülkelerin birbiriyle olan bağlantısını ifade eden küreselleşme, teknoloji ve iletişim alanlarındaki yenilikler sayesinde dünyanın elektronik bir köy haline gelmesinin neticesinde ortaya çıkmış önemli bir kavramdır. Bugünkü ekonomik ve sosyal durumu temsil eden küreselleşme olgusu, uluslararası, ekonomik, kültürel ve siyasi alanlarda genişlemeye sebep olmakta ve günlük yaşamımızı önemli derecede etkilemektedir. Günümüz şirketlerinin küresel rekabet ortamında başarılı bir büyüme gösterebilmeleri için küresel düşünceleri, küresel eğilimleri ve pazarı iyi takip etmeleri ve sonuçta mevcut pozisyonlarına uygun kararlar alabilmeleri gerekmektedir.

Küresel pazarda rekabetin şiddetlenmesi ile birlikte, pazardaki mevcut konumunu kaybetmek istemeyen, dahası bu konumu iyileştirmek isteyen işletmeler maliyetleri azaltmaya yönelik çalışmalara yönelmişlerdir. Bu konuda yapılan çalışmalarda, firmaların ürettikleri ürün ve/veya hizmet için özellikle katma değer yaratmayan faaliyetler üzerinde durulmaktadır. Ürün (mamul) veya hizmet sunumu için gerekli olan temel sistem girdilerini en az maliyetle sağlayabilen, müşteriye yönelik sunumu da yine en düşük maliyetle ortaya koyabilen firmalar piyasa koşullarında başarıya ulaşabilmektedir.

Günümüzde işletmeler ana faaliyet alanlarında yer alan süreçlere yoğunlaşarak üretim süreçlerindeki derinliği azaltma yoluna gitmektedir. Bu noktada, ürünlerin kalite ve çeşitliliğini artırırken taşıma gibi katma değer yaratmayan faaliyetleri azaltma yönünde yapılan çalışmalar önem kazanmıştır. Hızlı, ekonomik ve herhangi bir şekilde hata kabul etmeyen taşıma sistemlerinin hayata geçirilmesi konusunda lojistik oldukça önemli bir rol üstlenmektedir. Ana faaliyetlerin dışında kalan faaliyetlerde dış kaynak kullanma yoluna giden sanayi şirketlerinin en çok iş ilişkisine girdikleri firmaların başında lojistik firmaları gelmektedir. Küresel kaynaklardan üretim için gerekli olan hammaddeyi tedarik eden firmalar, ürettikleri ürünleri de yine küresel pazarda satışa sunarlar. Bunun sonucu olarak, gerek hammaddenin üretim birimine getirilmesi, gerekse bitmiş ürünün pazara arzı sırasında lojistik firmaları ile yoğun iş ilişkisi ortaya çıkmaktadır. Çalışılan firmanın fiyat, hız, kalite ve güvenilirlik gibi kriterleri karşılama

derecesi işletme başarısına doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle uzun süreli iş ilişkileri kurulabilecek doğru firmaların belirlenmesi günümüzde oldukça önemli hale gelmiştir.

Lojistik operasyonlarının yürütülmesi sürecinde ürünlerin müşteriden istek gelinceye kadar bekletildikleri noktalar depolardır. Depolar, ürünlerin saklandığı ve depolandığı alanlar olmanın yanında, tedarik zincirinin esnekliğine önemli derecede etki eden kritik noktalardır. Depolarda, sipariş kabulü, kalite kontrol, ürünlerin stok alanlarına yerleştirilmesi, çapraz sevkiyat, sipariş toplama, sipariş birleştirme ve sevkiyat gibi faaliyetler gerçekleştirilmektedir. Gerçekleştirilen bu faaliyetler içerisinde, müşteri ihtiyaçlarının karşılanması için siparişte yer alan parçaların depo içerisinde buldukları noktalardan alınarak sevkiyat noktasına getirilmesi işlemi olan sipariş toplama faaliyeti, toplam depo işletim maliyetinin önemli bir kısmını oluşturur. Sipariş toplama faaliyeti, siparişlerin elle toplandığı depolama sistemleri için yüksek işçilik, otomatik olarak toplandığı sistemler için ise yüksek yatırım maliyeti anlamına gelir. Otomatik sistemler ile mukayese edildiğinde, ilk yatırım maliyetleri daha düşük olması sebebiyle sipariş toplamanın insanlar tarafından yapıldığı depo sistemleri dünya genelinde daha yaygın kullanıma sahiptir. Bu tarz depo sistemlerinde, sipariş toplama maliyeti toplam depo maliyeti içerisinde en yüksek payı aldığı için depo profesyonelleri ve akademisyenler sipariş toplama verimi artırma konusuna yoğun ilgi göstermektedir.

Siparişlerin depo içerisinde toplanıp birleştirilmesinin ardından sevkiyat işlemi gerçekleştirilir. Bir veya daha fazla depodan yapılacak sevkiyat sırasında dağıtım araçlarının dolaşacağı rotanın belirlenmesi için bir dağıtım planı hazırlanır. Bu plan kapsamında, dağıtım için ne kadar araca ihtiyaç duyulduğu, hangi müşteriye hangi araç ile taşıma yapılacağı gibi konular planlanır. Bu planlama, dağıtım araçlarının dolaştıkları toplam mesafenin belirli kısıtlar altında minimizasyonu için en uygun rotaların belirlenmesi ile ilgili bir konudur ve literatürde Araç Rotalama Problemi olarak ele alınmaktadır. En uygun rotanın belirlenmesiyle sağlanacak tasarruf araç rotalamayı önemli bir karar problemi haline getirmiştir. Sağlanabilecek tasarrufun büyüklüğü araç rotalama konusuna araştırmacıların ve profesyonel yöneticilerin gösterdikleri ilginin artmasına neden olmaktadır.

Bugüne kadar yapılan çalışmalar incelendiğinde bu iki konunun birbirinden bağımsız olarak ele alındığı görülmektedir. Dağıtım için kullanılacak olan rota dikkate alınmadan yapılan sipariş toplama faaliyetinin ardından siparişlerin sevkiyata

hazırlanması için ekstra iş yükü ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma kapsamında, müşteri siparişlerinin hazırlaması ve dağıtımı ile ilgili faaliyetinin verimliliğini arttırmak için sipariş toplama ve araç rotalama problemlerine eş zamanlı çözümler üreten Tabu Arama ve Genetik Algoritma esaslı bütünleşik yöntemler önerilmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde lojistik ve lojistik yönetimi konuları ele alınmaktadır. Lojistiğin tarihçesi, bileşenleri, önemi ve unsurları gibi konular bu bölüm kapsamında kısaca açıklanmıştır. İkinci bölümde depo yönetimi ile ilgili kavramlar incelenmiştir. Depoların görevleri, türleri, depolarda yürütülen faaliyetler gibi konular bu bölümde ele alınmaktadır. Üçüncü bölümde depo içi sipariş toplama problemi tanımlanmış ve literatürde yer alan çözüm yöntemleri sunulmuştur. Dördüncü bölümde araç rotalama problemi ve çözümü ile ilgili yöntemler ile literatür araştırmasına yer verilmiştir. Beşinci bölümde çalışma kapsamında kullanılan metasezgisel yöntemler olan Tabu Arama ve Genetik Algoritma yöntemleri açıklanmış ve belirtilen problemlere bu yöntemlerin uygulanışı anlatılmıştır. Altıncı bölümde, yapılan deneysel çalışmalar ile geliştirilen yöntemlerin ve kullanılan depo yerleşimlerinin karşılaştırmaları sunulmuştur. Son bölümde yapılan çalışma özetlenmiş ve çalışma ile ilgili sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

LOJİSTİK VE LOJİSTİK YÖNETİMİ

Lojistik yönetimi işletmenin başarısında önemli rol oynayan fonksiyonel alanlardan oluşur. Her bir fonksiyonel alanın başarısı, işletmenin maliyetlerini azaltırken müşteri hizmetleri açısından kalitenin artmasını sağlar. Lojistik, küresel pazarın farklı noktalarına yayılmış durumda olan müşterilere, yine dünyanın farklı noktalarında faaliyet gösteren rakiplerden daha hızlı ve etkin şekilde ulaşmanın önemli bir anahtarıdır. 1960'lı yıllardan bu yana iş dünyasında sıklıkla duymaya alıştığımız lojistik ve lojistik yönetimi ile ilgili kavramlar çalışmanın bu bölümünde ele alınmıştır.

1.1. LOJİSTİĞİN TANIMI

İlk olarak askeri alanda kullanılan lojistik kelimesinin 1905 yılında Albay Chauncey B. Baker tarafından “*Malzeme ve personelin taşıma, tedarik, bakım ve yenilenmesi*” şeklinde askeri bir fonksiyonu tanımlamak amacı ile kullanıldığı bilinmektedir (Gülenç ve Karagöz, 2008: 75). II. Dünya Savaşı sırasında askeri alanda başarı ile tatbik edilen lojistik yönetimi anlayışı, savaş alanında bulunan personel ve malzemenin iyileştirilmesi, devamlılığının sağlanması, dağıtımı ve yeniden yerleştirilmesi faaliyetlerini ifade etmek için kullanılmıştır. Lojistik, savaşın ardından küresel pazarda yoğunlaşan rekabetle birlikte hızla gelişim göstermiş ve işletmeler tarafından daha yaygın kullanılmaya başlamıştır.

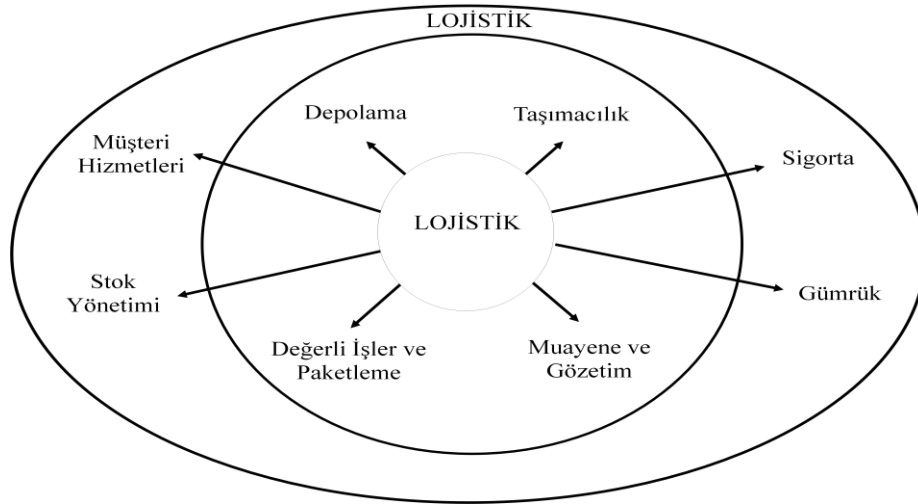
Lojistik kelimesi Yunanca “logistikos” (hesaplama yeteneği) ve Fransızca “logistique” (arz etmek, kışla, konak yeri) kelimelerinden türemiş bir kavramdır (Russels, 2000: 14). Esas olarak “logic” ve “statistics” kelimelerinin birleşmesinden meydana gelen bu kelimenin Türkçe karşılığı “istatistiksel mantık”tır. Askerlerin konak yeri, hesap ve mantık kavramlarının bileşimiyle lojistik kavramı ortaya çıkmıştır.

Britanica sözlüğünde “bir eylem (operasyon) ile ilgili tüm detaylarıyla ele alınması faaliyeti”¹ şeklinde tanımlanan lojistik, TDK'nın güncel sözlüğünde “Kişilerin ihtiyaçlarını karşılamak üzere her türlü ürünün, hizmetin ve bilgi akışının çıkış

¹ <http://www.britannica.com/bps/dictionary?query=logistics> (Erişim 07.05.2013)

noktasından varış noktasına kadar taşınmasının etkili ve verimli bir biçimde planlanması ve uygulanması”² şeklinde tanımlanmaktadır.

Lojistik, malzemenin çıkış noktasından nihai tüketim noktasına kadar gerçekleştirilen faaliyetlerin eşgüdümünün sağlanması şeklinde tanımlanabilir. İlk başlarda taşımacılık ve depolama faaliyetlerinden oluşan lojistiğe iade, paketleme, tersine lojistik, stok yönetimi, tedarik ve dağıtım gibi faaliyetlerin de eklenmesi ile kapsamı genişlemiş ve bugünkü halini almıştır. Taşıma, depolama ve paketleme lojistiğin ürün akışı ile ilgili faaliyetlerini oluştururken; gümrükleme, sigorta, stok yönetimi, sipariş ve müşteri hizmetleri yönetimi katma değerli faaliyetlerini oluşturmaktadır (Tanyaş, 2011: 4-5). Lojistiğin temel faaliyetleri Şekil 1.1’de gösterilmektedir.



Şekil 1.1 Temel Lojistik Faaliyetler

Kaynak: (Tanyaş, 2011: 6)

Literatürde ve iş dünyasında lojistik ile ilgili birçok terim kullanılmasına karşın lojistiğin, tedarik, malzeme yönetimi ve dağıtımın birleşiminden oluştuğu söylenebilir. Bu tanıma göre lojistik, bilgi akışı ve fiziksel akışın yanı sıra, hammadden bitmiş ürüne kadar depolama faaliyetleri ile de ilgilenmektedir. Tedarik ve malzeme yönetimi üretim sürecine doğru olan akışı ifade ederken dağıtım bitmiş ürünün müşteriye olan hareketini ifade etmektedir (Rusthon vd., 2006: 4).

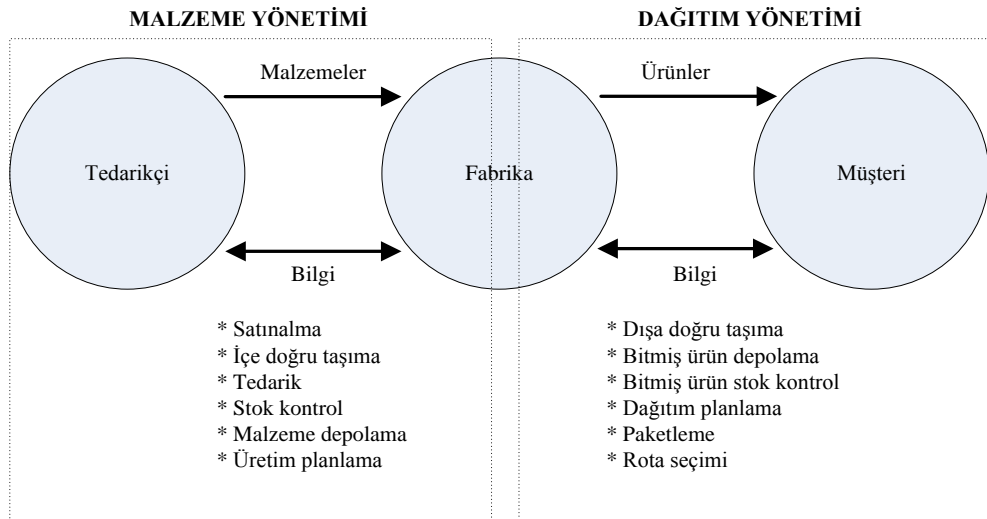
Lojistik, bireysel müşterilerin veya şirketlerin ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için çıkış noktası ile nihai tüketim noktası arasında oluşan kaynak akışının planlı yönetimi olarak da tanımlanabilir. Lojistik operasyonları sırasında taşınan kaynak gıda, malzeme

²<http://www.tdk.gov.tr> (Erişim: 07.05.2013)

ve araç gibi somut bir öge olabileceği gibi, bilgi ve enerji gibi soyut öğeler de olabilir. Basit bir anlatımla lojistik, duran veya hareket halindeki envanterin bir yönetim şeklidir. Burada iki tane önemli nokta bulunmaktadır. Bunlardan birincisi müşteri ihtiyaçlarının karşılanması, ikincisi ise üretim noktasından tüketim noktasına kadar tüm akışın kapsanmasıdır. Müşteri, ürünün nihai kullanıcısı olan birey ya da işletmedir. Müşterinin istediği ürünün, talep ettiği zamanda, miktarda ve yerde olması müşteri memnuniyetinin temelini oluşturduğu için firmanın müşteri memnuniyetini sağlamasında büyük öneme sahiptir.

Lojistik en genel tanımıyla bir ürünü kaynağından (tedarikçiler), nihai tüketicisine (müşteriler) ulaştırmak için gerekli olan tüm faaliyetler olarak tanımlanabilir. Bu faaliyetler tedarik zinciri olarak adlandırılan bir akış içerisinde gerçekleştirilir. Geleneksel tedarik zinciri kapsamında tedarikçiler, üreticiler, toptancı/dağıtımıcılar, mağaza ve müşteriler yer almaktadır (Orhan, 2003: 7).

Rekabet ortamında yaşamını sürdürmek isteyen bir işletmenin üretim için gerekli olan hammadde ile müşterinin beklentisi olan bitmiş ürünü doğru yerde, doğru zamanda ve doğru miktarda hazır bulundurması lojistik yönetiminin tüm bileşenleri ile birlikte işletmeye doğru bir şekilde uygulanmasına bağlıdır. Taşımacılık ve depolama faaliyetlerinin entegrasyonu ile başlayan lojistik diğer işletme faaliyetlerinin de eklenmesiyle daha geniş bir alanı kapsar hale gelmiştir. Lojistik kavramının genel yapısı Şekil 1.2’de gösterilmektedir.



Şekil 1.2 Lojistik kavramı

Kaynak: (Jessop ve Morrison, 1994:16)

1.2. LOJİSTİĞİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Tarihsel gelişimine bakıldığında, lojistik kavramının askeri kökenli bir kavram olduğu görülmektedir. Tarih boyunca yapılan savaşlarda askerlere giyecek, yiyecek ve savaş malzemesi sağlamada gösterilen başarının savaşın sonucuna doğrudan etki ettiği bilinen bir gerçektir. Lojistik ve dağıtım faaliyetlerinin önem kazanmasını sağlayan en önemli faktör ise II. Dünya Savaşı sırasında lojistiği askeri alandaki gelişimidir. Personel, araç, gereç ve malzemelerin planlı bir şekilde sevk ve idare edilmesi müttefik ülkelerin başarısında önemli rol oynamıştır (Kayabaşı, 2010: 84).

1950'li yıllara kadar dünya genelinde işletmeler lojistik kavramını tanımamakta ve lojistik faaliyetlerini farklı bölüm ve sorumluluklar altında sürdürmekteydiler. Bu dönemde dağıtım sistemleri planlanmamış ve kesin olarak belirtilmemiştir. Üreticiler üretir, dağıtıcılar dağıtır ve ürünler bir şekilde perakende satış noktalarına ulaşırdı. Dağıtım daha çok taşıma endüstrisi ve kendi hesabına taşıma yapabilecek filosu olan üreticiler tarafından gerçekleştirilmekteydi. Dağıtımla ilgili fonksiyonlar arasında çok küçük bir kontrol olmasına karşın gerçek bir bağlantı söz konusu değildi (Rusthon vd., 2006: 8). Bu yıllarda lojistik konusuna olan ilginin artmasının bir sebebi de Amerika Birleşik Devletleri'nde endüstrinin karmaşık bir şekilde gelişmesidir. İlk zamanlar yalnızca üretime önem verilmiş ve üretim konusunda organizasyon prensipleri ve teknik gelişmeler uygulanmıştır. Gelişmişlik açısından İngiltere'nin gerisinde bulunan A.B.D.'de aradaki farkın kapanması için yoğun çaba sarf edilmiş ve kitle üretimindeki artış ile birlikte lojistik faaliyetlere ilişkin ihtiyaçlar ortaya çıkmıştır (Orhan, 2003: 17).

1956 yılında Amerikalı Malcom P. Mclean tarafından deniz konteynırlarının keşfi, endüstrilerdeki üretim durumunun değişimine ve insanların tüketim alışkanlıklarının da değişmesine yol açmıştır. 1956–1965 arasındaki dönemde bütünleşik lojistik kavramı berraklaşmaya başlamıştır. Bu dönemde dünyanın ekonomik yapısı ve değişen eğilimler, lojistik kavramının gelişmesi için önemli fırsatlar yaratmıştır. Bu on yıllık dönem içerisinde ortaya çıkan dört temel gelişim, lojistik işlevini kavramsallaşmasını güçlendirmiştir. Söz konusu gelişmeleri aşağıdaki gibi ifade etmek mümkündür (Çekerol, 2013: 5):

- ✓ Toplam maliyet analizi gelişimi,
- ✓ Sistem yaklaşımı uygulaması,

- ✓ Müşteri hizmetlerine önem verilmesi,
- ✓ Pazarlama kanalları üzerindeki çalışmaların tekrar gözden geçirilmesi.

1960'lı yılların başında, malzeme yönetimi ve fiziksel dağıtım yönetimi parçalı yönetim anlayışının yerini almaya başladı. Firmalar, trafik, satın alma ve depolama gibi ayrık süreçleri aşamalı bir şekilde malzeme yönetimi ve fiziksel dağıtım yönetimi olmak üzere iki ana başlık altında toplamışlardır (Masters ve Pohlen, 1994: 14). Bu yıllarda, dünyadaki ekonomik durum ve değişen eğilimler lojistik kavramının gelişmesi için gerekli olan uygun bir zemini hazırlamış ve özellikle pazarlama yaklaşımının gelişmesiyle, lojistik kavramı destekleyen faaliyetlerden biri olarak değerlendirilmeye başlanmıştır (Orhan, 2003: 17).

1970'li yıllar dağıtım kavramının gelişiminde bir dönüm noktasıdır. Malzeme yönetimi ve fiziksel dağıtım faaliyetlerinde bilgisayarların kullanılmaya başlanması gelişmiş bilgisayar uygulamalarının sayısının hızla artmasını sağlamıştır. Bilgisayarlar yöneticilerin büyük veri tabanlarını yönetebilmelerini ve kısa sürede karmaşık hesaplamaları yapabilmelerini sağlamıştır. Malzeme ihtiyaç planlaması bu durumun bir yansımasıdır (Masters ve Pohlen, 1994: 15). Bu dönemde yaşanan ekonomik belirsizlikler ve krizler nedeniyle firmalar lojistik maliyetlerini azaltıcı yönde çalışmalara yönelmişlerdir. Bu yıllarda Japon Toyota Motor firmasından Taiichi Ohno tarafından kanban ve tam zamanında üretim sistemleri geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sistemler tedarik konusuna verilen önemin daha da artmasını sağlamıştır.

1980'li yıllara gelindiğinde, oldukça hızlı maliyet artışları ve gerçek maliyet dağılımlarının net olarak ortaya konulması dağıtımdaki uzmanlaşmanın önemli oranda artmasına katkıda bulunmuştur. Bu uzmanlaşma, uzun dönemli planlama ve maliyet azaltıcı önlemleri tanımlama ve sürdürme konularında bir hareketlenmeyi de beraberinde getirmiştir. Bu önlemler arasında, dağıtımın merkezileştirilmesi, stok tutmadaki şiddetli düşüş ve gelişmiş bilgi ve kontrolün sağlanması için bilgisayarların kullanımı sayılabilir. Bu aşamada, üçüncü parti lojistik firmalarının ortaya çıkışı da bilgi ve ekipman teknolojisindeki gelişime öncülük etmiştir (Rusthon vd., 2006: 8-9).

1980'li yılların sonu ve 1990'lı yılların başında, hızlı bir değişimle birlikte ekonomik yaşam önem kazanmıştır. Bu dönemde, malzeme yönetimi, üretim planlama ve fiziksel dağıtım gibi konuların birlikte ele alınması lojistik yöneticilerinin sorumluluğunun artmasına neden olmuştur. Şirketlerin yeniden yapılanması, uluslararası

pazarlar ile kalite ve zaman gibi ölçütlerin rekabet koşullarını değiştirmesi lojistiğin daha da önemli bir hale gelmesini sağlamıştır. İş dünyasında artan rekabet ve daha gelişmiş tüketici hizmetlerine duyulan ihtiyaç, ürün rekabetinin gelecekte bireysel firmalardan çok, stratejik olarak düzenlenmiş lojistik tedarik zinciri yoluyla olacağını tahminlenmesini sağlamıştır (Kayabaşı, 2010: 84).

1990'lı yıllarda akademisyenlerin bu alana olan ilgilerinin şirketlerin ilgisine paralel olarak artmasıyla araştırmalar büyük bir ivme kazanmış ve lojistik sistemlerinin tamamen yenilenmesi teorileri hayata geçirilmeye başlanmıştır. 1990'lı yıllar tedarik zinciri yönetimi kavramının ön plana çıktığı ve lojistik faaliyetlerin bütünleşme içinde olduğu bir dönem olmuştur (Çekerol, 2013: 7).

2000'li yılların başından itibaren internet ve veritabanı uygulamalarının geniş kullanım bulması nedeniyle bu yıllar firmaların lojistiği stratejik açıdan değerlendirmeye başlamışlardır. Kullanılan yazılım, donanım ve diğer otomasyon sistemlerinin gelişimine paralel olarak lojistik, operasyonel hız, doğruluk ve esneklik açısından bu yıllarda önemli gelişim göstermiştir. Lojistiğin tarihsel gelişimi Çizelge 1.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1.1 Lojistiğin Gelişimi

AŞAMALAR	YÖNETİM MERKEZİ	ÖRGÜTSEL TASARIM
1960 YILLARI		
Depolama ve Ulaştırma	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Satış Pazarlama, ✓ Depolama, ✓ Stok Yönetimi, ✓ Ulaştırma Etkinliği, 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Dağınık Lojistik Faaliyetler ✓ Lojistik Faaliyetler arasında zayıf bağlantı ✓ Düşük lojistik yönetimi otoritesi işletme başarısını destekler
1980 YILLARI		
Toplam Maliyet Yönetimi	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Lojistiğin merkezileştirilmesi, ✓ Toplam maliyet yönetimi, ✓ Süreç optimizasyonu, ✓ Rekabetçi avantaj olarak lojistik 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Merkezleşmiş lojistik faaliyetler, ✓ Büyüyen lojistik yönetimi otoritesi, ✓ Bilgisayar uygulamaları
1990 YILLARI		
Entegre Lojistik Yönetimi	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Lojistik planlama, ✓ Tedarik zinciri stratejileri, ✓ İşletme faaliyetleri ile bütünleşme, ✓ Süreç kanalları ile bütünleşme, 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Lojistik faaliyetlerde genişleme, ✓ Tedarik zinciri planlama, ✓ Toplam kalite yönetimi için destek, ✓ Lojistik yönetim faaliyetleri,
2000 YILLARI		
Tedarik Zinciri Yönetimi	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Stratejik tedarik zinciri görüşü, ✓ Ekstranet teknoloji kullanımı, ✓ Kanal güçlerini ortak bir kuvvet aracı kullanmak için tedarik zinciri TQM göstergelerinde işbirliği yapmak, 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ticari ortaklık, ✓ Sanal örgüt, ✓ Talepteki değişimler, ✓ Benchmarking ve yeniden yapılanma,
2000 YILI SONRASI		
E-Tedarik Zinciri Yönetimi	<ul style="list-style-type: none"> ✓ SCM kavramına internetin uygulanması, ✓ Düşük maliyetli anında veri tabanı paylaşımı, ✓ Elektronik bilgi ✓ SCM senkronizasyonu, 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tedarik zinciri ağı ile ticaret ortaklığı yapmak, ✓ .com, -e eklentisi v.b. piyasa değişiklikleri ✓ Örgütsel çeviklik ve ölçülebilirlik.

Kaynak: (Güleç ve Karagöz , 2008: 77)

1.3. LOJİSTİĞİN ÖNEMİ

Ticari hayata paralel olarak gelişim gösteren lojistik, küresel ölçekteki firmaların sayısındaki artış, ticaretin önündeki sınırların ve sınırlamaların ortadan kalkması ve buna bağlı olarak da rekabet alanının genişlemesiyle birlikte oldukça önemli bir faaliyet alanı haline gelmiştir. Günümüzde dünyanın herhangi bir köşesindeki hammaddenin işletmeye getirilmesi ve bitmiş ürünün de yine dünyanın herhangi bir köşesindeki müşteriye ulaştırılması ile ilgili faaliyetlerin en az maliyetle yapılması firmalara rekabet avantajı sağlayan bir durumdur. İster üretim isterse hizmet sektöründe faaliyet gösterecek bütün işletmeler malzeme veya ürün taşımak durumundadır.

Üreticilerin, tedarikçilerden hammaddeyi toplayarak bitmiş ürünü müşteriye ulaştıran fabrikaları, perakende mağazalarının toptancılardan gelen gönderileri, televizyonlardaki haber programların tüm dünyadan derleyerek izleyiciye ulaştırdıkları haberleri vardır. Birçok insan kasaba ve şehirlerde yaşar ve kırsal alanlardan gelen yiyecekleri tüketir. İnternet üzerinden kitap, elektronik eşya vb. sipariş ettiğinde bu ürün tüketicilere dünyanın diğer ucundan getirilerek ulaştırılır. Bir şeyler satın alındığında, kiralandığında veya ödünç alındığında birileri bunu bulunduğu yerden alarak müşterilere ulaştırılması için kapıya kadar lojistiğini sağlar. Malzemenin tedarikçiden müşteriye kadar olan yolculuğunda taşıma ve depolama ile ilgili tüm faaliyetlerden sorumlu olan fonksiyon lojistikdir (Waters, 2003: 4).

Lojistik, işletmenin müşterileri, tedarikçileri ve paydaşları için fayda üreten bir kavramdır. Zaman ve mekân lojistik zinciri içerisinde fayda ifade eden bileşenlerdir. Ürün veya hizmetler müşterinin istediği zamanda istediği yerde olmaz ise herhangi bir anlam ifade etmez. Taşıma ve stoklar lojistik faaliyetler içerisindeki başlıca maliyet kalemleridir. Deneyimler göstermişti ki her biri toplam lojistik maliyetinin $\frac{1}{2}$ 'si ile $\frac{2}{3}$ 'ü arasındaki kısmını oluşturmaktadır. Taşıma ürüne "*mekan*" değeri eklerken, stoklama ürüne "*zaman*" değeri eklemektedir (Ballou, 1999: 11-12). Lojistik faaliyetlerini etkin bir şekilde yürüten firmalar, zaman ve mekân değeri artan ürünleri vasıtasıyla pazarlama çalışmalarının başarısını da arttırabilmektedir.

Lojistik genel anlamda ulaşım ile ilgili bir kavramdır. İşletmelerin üretim süreçlerinde kullandıkları hammadde, yarı mamul, mamul ve hizmetlerin üretim ve tüketim noktaları arasındaki akışının planlanması ve kontrolü ile ilgilenen lojistiğin

işletmeler açısından önem kazanmasının temel nedenler aşağıda sıralanmıştır (Küçük, 2012: 54).

- Taşıma uzaklıklarının ve maliyetlerinin artması,
- Üretim teknolojilerinin pek çok alanda doyum noktasına ulaşması nedeni ile yöneticilerin maliyet düşürmek için lojistik alanına yönelmesi.
- Stok kontrolünde tam zamanında tedarik, malzeme ihtiyaç planlaması, KANBAN vb. sistemlerin yaygın biçimde kullanılması,
- Mamul çeşitlerinin değişen ve gelişen müşteri isteklerini karşılama zorunluluğu ile hızla artması,
- Bilgisayar kullanımının yaygınlaşması ve haberleşme sistemlerinin gelişmesi,
- Çevreyi koruma amacı ile kullanılmış malzemelerin yeniden kullanılmak üzere işlenmesi,
- Büyük uluslararası üretim ve satış firmalarının çoğalması.

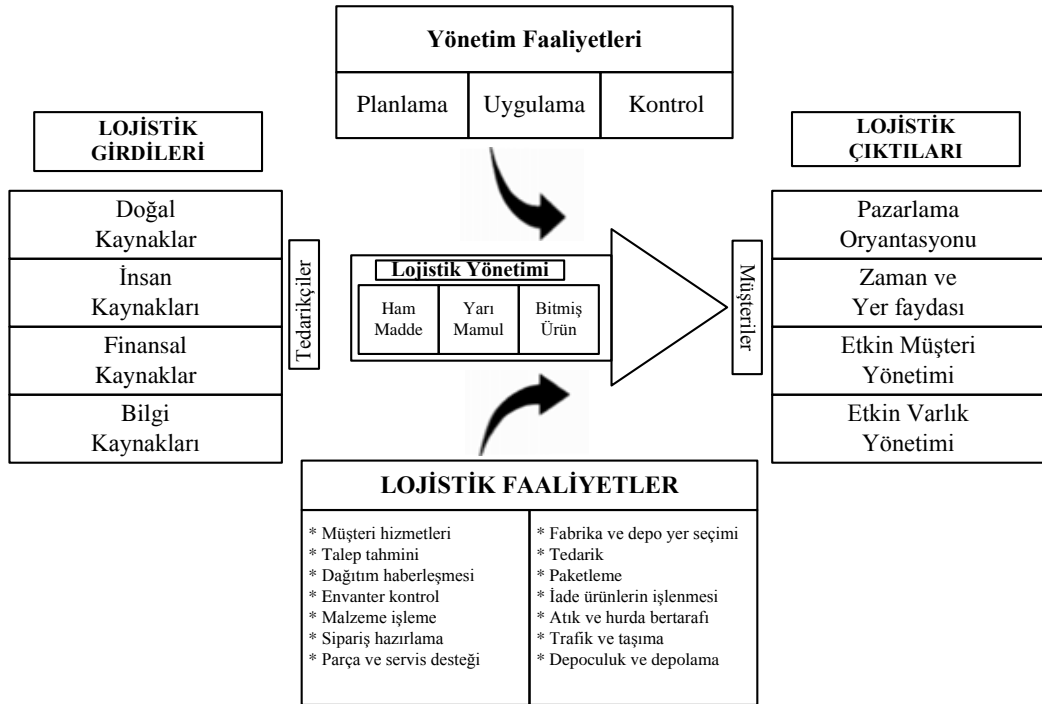
1.4. LOJİSTİK YÖNETİMİ

Lojistik yönetimi, tedarik zinciri içerisindeki süreçte müşterilerin ihtiyaçlarını karşılamak üzere her türlü ürün, hizmet ve bilgi akışının ve depolanmasının, başlangıç noktasından, ürünün tüketildiği son noktaya kadar olan hareketinin, etkili ve verimli bir şekilde planlama, uygulama ve denetleme hizmeti olarak ifade edilmektedir. Bir işletmenin piyasada rekabet edebilmesinin ilk ve vazgeçilmez koşulu kendisini diğerlerinden ayıran farklı bir noktaya konumlandırabilmesidir. Bu hedefe ulaşabilmesi için ilk olarak kendini müşterinin gözünde farklılaştırması ve ardından da yüksek kâr amacına ulaşabileceği faaliyetleri uygun bir şekilde organize etmesi gerekir.

Lojistik yönetimi, malzeme ve bilgi akışının koordinasyonu boyunca müşteri ihtiyaçlarının tatmin edilmesiyle, tedarikçilerin ötesinde firma ve firma operasyonları aracılığıyla pazaryerinden olan uzantıyı ifade eder (Lambert vd., 1998: 3). Lojistik yönetiminin kavramının en geçerli tanımı Lojistik Yönetim Konseyi (The Council of Logistics Management: CLM) tarafından yapılmıştır. Bu tanıma göre lojistik yönetimi, “Müşteri isteklerini karşılamak üzere, hammaddenin başlangıç noktasından, ürünün tüketildiği son noktaya kadar olan tedarik zinciri içindeki malzemelerin, servis hizmetlerinin ve bilgi akışının etkili ve verimli bir şekilde, her iki yöne doğru

hareketinin ve depolanmasının, planlanması, uygulaması ve kontrol edilmesidir” (Baki, 2004: 13). Bu tanım lojistiğin tedarik zincirinde bir aşama olduğunu ve lojistik yönetiminin bu aşamalarda mal, hizmet ve bilgi akışının yönetimi olduğunu ifade etmektedir.

Lojistik yönetimi; işletmelerin maliyetlerini düşürmesine ve müşteri hizmetlerini geliştirmelerine yardımcı olan önemli bir fonksiyondur. Hammaddenin alımından ürünün nihai müşteriye teslimine kadar geçen süreci kapsar. Lojistik Yönetimi kavramı bir üretim işletmesi için ele alındığında, Tedarik Lojistiği (Inbound Logistics), Üretim Lojistiği (Manufacturing Logistics) ve Bitmiş Ürün Lojistiği (Outbound Logistics) olmak üzere üç aşamadan oluştuğu görülmektedir. Bu aşamaların bütünü işletme lojistiğini meydana getirir. Şekil 1.3'te lojistik yönetiminin temel bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 1.3 Lojistiğin Yönetiminin Temel Bileşenleri

Kaynak: (Lambert vd., 1998: 5)

Mal ve hizmet üretiminin her aşamasında alıcıya sunulan değeri artırmak için yararlanılan araçların tamamı değer zincirini meydana getirir. Bir işletme için değer zincirini oluşturan ana faaliyetler; tedarik lojistiği, operasyonlar, dağıtım lojistiği, pazarlama ve satış ile satış sonrası hizmetlerdir. Değer zincirindeki faaliyetleri destekleyen aktiviteler ise; altyapı, insan kaynakları, teknoloji geliştirme ve tedarik

olarak sıralanabilir. İşletmelerin lojistik süreçlerini başarılı bir şekilde yönetimi insan, süreç ve teknoloji boyutlarının tümünü bir arada içeren ve ölçülebilir sonuçlara odaklanan, komple bir çözüm gerektirir (Küçük, 2003: 97).

Bir firmanın tedarik zinciri içerisinde yürütülen lojistik operasyonlarının iki yönü vardır. Bunlardan birincisi, işletmenin hammadde, yarı mamul ve hizmet sağlayan firmalarla ilişkilerini düzenleyen, üretim için gerekli olan girdilerin zamanında ve yeterli miktarda hazır bulundurulması ile görevli olan tedarik lojistiğidir. Tedarik zinciri içerisinde işletmeye doğru olan malzeme hareketleri için 3. Parti Lojistik firmaları tam zamanında taşıma hizmeti gerçekleştirebilir. Bu da malzemelerin gerektiği anda gelmesine olanak sağlayarak işletmenin sermayesini stoka bağlamamasını ve çok fazla depo yatırımı yapmamasını sağlar (Çancı ve Erdal, 2009: 48).

İşletme tarafından üretilen ürünlerin hâlihazırda buldukları depolardan alınarak müşteriye ulaştırılması sürecinde gerçekleştirilen depolama ve taşıma işlemleri dağıtım lojistiğini oluşturur. Lojistik faaliyetlerini bir plak gibi düşünülürse, plağın bir yüzünü tedarik lojistiği oluştururken diğer yüzünü dağıtım lojistiği oluşturur. Dağıtım lojistiğinin amacı, müşteri servis düzeyini karşılamak, ürünlerin üretim noktalarından nihai tüketim noktalarına olan fiziki taşıma ve depolama faaliyetlerini içine alan maliyetleri minimize etmektir. Satın alma haricinde tedarik ve dağıtım lojistiğinde gerçekleştirilen faaliyetler benzerdir (Lai ve Cheng, 2009: 38-39).

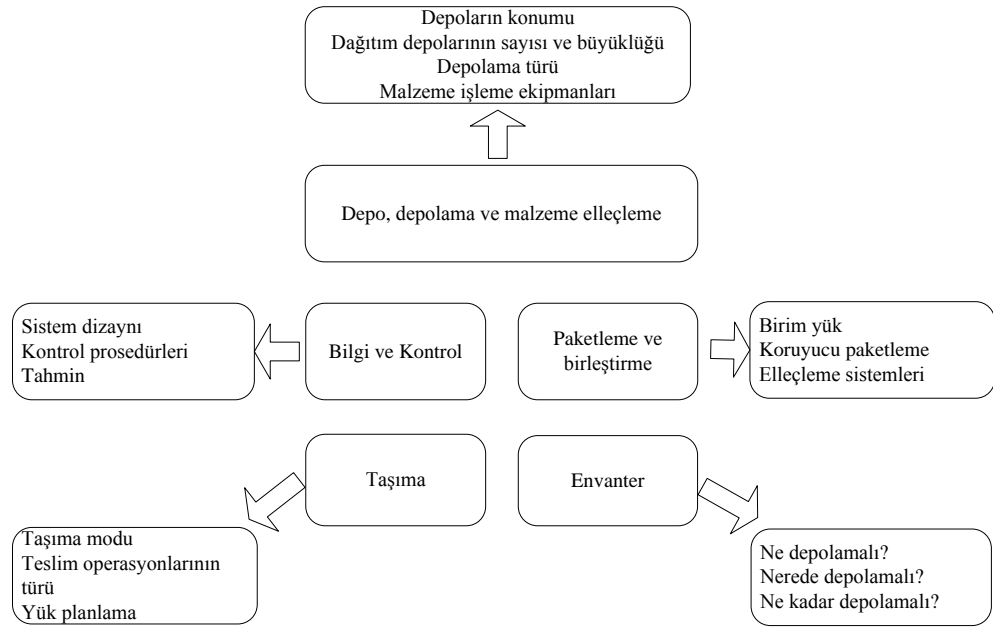
1.5. LOJİSTİK YÖNETİMİNDE ANAHTAR FAALİYET KONULARI

Üretim ve satış fonksiyonları için bir destek fonksiyonu olan lojistik yönetimi içerisindeki temel faaliyetler aşağıda listelenmiştir (Tanyaş, 2011: 13-14).

- Taşımacılık (Kara, Hava, Deniz, İç Suyolu, Demir, Boru, Karma),
- Uluslararası Taşımacılık,
- Kalite Kontrol - Gözetim - Teslimat Öncesi Kontrol
- Dış Ticaret, Gümrük, Antrepo, Sigorta
- Depolama, Katma Değerli İşlemler
- Stok ve Envanter Yönetimi
- Tedarik ve Sevkiyat Sipariş Yönetimi
- Dağıtım

- Filo ve Trafik Yönetimi
- İade ve İmha İşlemleri
- Üretim (Tesis İçi) Lojistiği
- Yeşil Lojistik
- Paketleme
- Proje, Mühendislik ve Danışmanlık.

Taşıma yönetimi, filo yönetimi, depolama, malzeme elleçleme, sipariş hazırlama ve dağıtım, lojistik şebeke tasarımı, envanter yönetimi, arz/talep planlaması gibi faaliyetleri bünyesinde barındıran lojistik yönetimi, tedarik, satın alma, üretim planlama ve programlama, montaj ve ambalajlama ile müşteri hizmetleri gibi konularda diğer işletme birimlerine destek sağlamaktadır. Dağıtım ve lojistiğin bileşenleri ve ilişkili elemanların detayları Şekil 1.4'te gösterilmektedir.



Şekil 1.4 Dağıtım ve lojistiğin anahtar bileşenleri

Kaynak: (Rushton vd., 2006: 6)

Tüm bu bileşenler ve alt bileşenler hem bölgesel anlamda hem de bir bütün olarak tedarik zincirinin tamamında sistematik bir şekilde planlanmalıdır. Lojistik faaliyetlerinin etkin olarak yürütülebilmesi için iyi bir planlama ve planlanan faaliyetlerin operasyonel anlamda mümkün olduğunca verimli bir şekilde yerine getirilmesi gerekir. İşletmeler lojistik yönetiminin stratejik öneminin farkına vardıklarında bunu ortaya çıkarabilmenin zorluğu ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu

potansiyelin ortaya çıkarılabilmesi kolay bir deneyim olmamakla birlikte, lojistik yönetimini stratejik olarak değerlendirilen firmalardan çok azı büyük firmaların lojistik alanında elde ettiği başarıyı elde edebilmektedir (Robeson ve Copacino, 1994: 60).

1.6. DÜNYA VE TÜRKİYE LOJİSTİK PAZARI

Son otuz yılda ülkeler uluslararası ticaretin önündeki engelleri büyük ölçüde kaldırmıştır. Bu dönemde, ithal ürünlere uygulanan vergi tarifelerinin düşürülmesi ve dahası birçok üründe ithalat vergisinin alınmaması ticarete büyük bir ivme kazandırmıştır. Ticaret hacminin genişlemesi ile birlikte, firmalar arasında rekabet avantajı sağlama potansiyeli nedeniyle lojistik sektörü sürekli artan bir öneme sahip olmuştur. Küresel lojistik sektörü nakliye, depolama, karayolu / demiryolu / havayolu kargo ve ulaştırma ile ilgili bir dizi karmaşık faaliyeti bünyesinde barındırır. CandM Araştırma raporu verilerine göre küresel lojistik pazarı 2013 yılında 4 trilyon Dolarlık bir büyüklüğe ulaşmıştır. Küresel taşımacılık hizmetleri ise 2011 yılından bu yana yıllık %7 büyümeye göstermektedir. Taşımacılık hizmetleri pazarının 2016 yılında 3.8 trilyon Dolar seviyesine ulaşacağı tahmin edilmektedir³.

Dünya Ticaret Örgütü (DTÖ) verilerine göre son on yılda ulaştırma hizmetlerinin toplam hizmetler içindeki değeri %28 dolaylarında gerçekleşirken, bu oran 2010 yılında %30'un üzerinde gerçekleşmiştir. Diğer hizmet kalemleri incelendiğinde ulaştırma ve lojistik sektörünün hizmet sektörü içinde önemli bir yere sahip olduğu görülmektedir⁴. Geline nokta, gelişmekte olan pazarların dört büyük BRIC ülkesiyle ilgili sınırlı olmadığını anlaşılmıştır. Türkiye, Endonezya, Vietnam ve Meksika gibi ülkelerin yanında, gelişmekte olan “yeni dalga ülkelere” liderlik yapabilecek temel ekonomik özelliklere sahiptir⁵.

Türkiye, konumu itibarıyla komşu ülkeler arasında taşımacılık merkezi olabilecek veya bağlantı işlevi görebilecek bir noktada yer alması sebebiyle BRIC ülkeleri kadar dikkat çeken bir gelişim göstermektedir. Coğrafi konumu itibarıyla

³ <http://www.businessvibes.com/blog/report-global-logistics-industry-outlook#.dpuf> (Erişim: 05.07.2014)

⁴ Türkiye Ulaştırma ve Lojistik Meclisi Sektör Raporu (2012), ISBN:978-605-137-126-9, TOBB Yayın Sıra No: 2012/165

⁵ T.C. Başbakanlık Yatırım Destek ve Tanıtım Ajansı, (2010). *Taşımacılık ve Lojistik Sektörü Raporu*.

Url: <http://www.invest.gov.tr/tr-TR/infocenter/publications/Documents/LOJISTIK.SEKTORU.PDF> . s.4 (Erişim:12.02.2014).

Türkiye'nin Batı ile Doğu arasında bir köprü niteliğinde olması, bölgenin ekonomik gelişimi açısından taşımacılık sektörünü son derece kritik bir sektör haline getirmektedir⁶. Yetki belgesi almamış firmalar nedeniyle Türkiye'deki lojistik firmalarının sayısı tam olarak bilinmemekle birlikte 1.500 civarında uluslararası karayolu taşımacılık firması, 800.000 adet kamyon ve 45.000 adet çekici olduğu bilinmektedir. Bunun dışında lojistik sektörünü hangi şirketlerin oluşturduğu ile ilgili belirsizlik halen sürmektedir (Tanyaş, 2011: 14).

1996 yılında yürürlüğe giren Gümrük Birliği anlaşması ve Türkiye'nin olası AB üyeliği lojistik sektörüne yatırım yapmayı teşvik edici önemli fırsatlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Taşımacılık Türkiye'nin AB'ye uyum sürecinde gündeminde yer alan beş önemli başlık arasındadır yer almaktadır. AB'ye uyum süreci altyapı, araçlar ve çevre standartları ile uyumu, lojistik ağın geliştirilmesini ve dış ticaret politikalarının iyileştirilmesini konularını kapsamaktadır⁷. 2008 yılında yapılan Türkiye Lojistik Sektörü Araştırmasına göre Türkiye lojistik sektörü 59 milyar dolar, lojistik hizmet sağlayıcı pazarı 22 milyar dolar değerindedir. Sektör 2002'den bu yana %300'lük bir büyüme gösterirken, lojistik hizmet sağlayıcıları ise yalnızca %7'lik bir artış sağlayabilmiştir. Bu rakamlar pazarın hizmet sağlayıcılar için ciddi bir büyüme potansiyeline sahip olduğuna işaret etmektedir⁸.

Dünya Bankası tarafından 2007 yılından bu yana yayınlanan Lojistik Performans Endeksi raporunda 2007 yılında 34. Sırada bulunan Türkiye, 2010 yılında 39, 2012 yılında 27 ve 2014 yılında 30. sırada yer almıştır. Lojistik performans indeksinde yer alan ve belirlenen temel ölçütlerin her biri lojistik sektörü için büyük önem taşımaktadır. Gümrük, lojistik altyapı, uluslararası sevkiyatlar, lojistik hizmet kalitesi ve lojistik yetkinlikler, sevkiyatların takibi ve izlenebilmesi, sevkiyatların alıcıya zamanında ulaşması ölçütleri bu endeks kapsamında değerlendirilmektedir. Türkiye'nin 2010, 2012 ve 2014 yıllarına ilişkin Lojistik Performans İndeksi ölçütleri Çizelge 1.2'de gösterilmektedir.

⁶ T.C. Başbakanlık Yatırım Destek ve Tanıtım Ajansı, (2010), *a.g.k.*, s.4.

⁷ <http://webnak.com.tr/blog/lojistik-sektoru/> (Erişim 12.02.2014)

⁸ <http://www.quattrobc.com/Content.asp?Lan=Tr&cType=Logistics> (Erişim 12.02.2014)

Çizelge 1.2 Türkiye Lojistik Performans İndeksi

ÖLÇÜT	2010		2012		2014	
	Sıra	Puan	Sıra	Puan	Sıra	Puan
Gümrük	46	2.82	32	3.16	34	3.23
Lojistik Altyapı	39	3.08	25	3.62	27	3.53
Uluslararası Sevkiyatlar	44	3.15	30	3.38	48	3.18
Lojistik Hizmet Kalitesi ve Lojistik Yetkinlikler	37	3.23	26	3.52	22	3.64
Sevkiyatların takibi ve izlenebilmesi	56	3.09	29	3.54	19	3.77
Sevkiyatların alıcıya zamanında ulaşması	31	3.94	27	3.87	41	3.68

Kaynak: http://lpi.worldbank.org/sites/default/files/International_LPI_from_2007_to_2014.xlsx

Bu sıralamanın içeriğine yakından bakıldığında, lojistik hizmetlerinin kalitesi ve yetkinliği ile lojistik ürünlerinin alıcıya zamanında ulaştırılmasında Türkiye önemli mesafe kat ettiği görülmektedir. Gümrük ve lojistik altyapıyı temel alan ölçütlerde de 2010 ile 2012 arasında önemli gelişmeler yaşandığını, endeksteeki sıralamaya ve değerlere bakarak anlamak mümkündür. Türkiye, mevcut durumda 3.50 puanla 30. sırada yer aldığı bu endeks sıralaması ile ilgili olarak 2023 yılında ilk 10 arasında bulunmayı hedeflemektedir.⁹

⁹ <http://www.utikad.org.tr/db/images/LOJISTIK2.pdf> (Erişim 12.02.2014)

İKİNCİ BÖLÜM

DEPO YÖNETİMİ

Geçmişte depolar, değer yaratmayan, sadece üretici ile tüketici arasında tampon görevi gören maliyet merkezleri olarak değerlendirilmekteydi. Tedarik zinciri içerisinde stokların (bilginin) görünürlüğünün sınırlı ve stoklardaki akışının yavaş olması, firmaları ellerinde gerekenden daha çok stok tutma mecburiyetinde bırakmıştır. Dünya üzerindeki üretim merkezlerinin değişmesi, elektronik ticaretin ve müşteriden gelen talebin artmasıyla birlikte depo operasyonlarında da bir dizi değişim meydana gelmiştir (Richards, 2011: 7-8). Önceleri sadece ürünlerin elde bulundurulması ve dış etkilere karşı koruması olarak ele alınan depolama, malzeme elleçleme, stok hareketlerinin izlenmesi, üretim ve pazarlama fonksiyonları ile bütünleşme ve ürüne değer katan diğer faaliyetlerin eklenmesiyle birlikte farklı bir noktaya taşınmıştır. İhtiyaçlar doğrultusunda geçmişten günümüze kadar depo yönetiminde meydana gelen bu önemli değişimler, bilişim teknolojilerindeki gelişmeler ve nihayetinde depo yönetim yazılımlarının da eklenmesiyle modern depo yönetim sistemlerinin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Çalışmanın bu bölümünde, depo, depolama ve depo sistemleri ile ilgili kavramlar ele alınmaktadır.

2.1. DEPO VE DEPOLAMA KAVRAMLARI

Depo; ürünlerin hammadde aşamasından üretim ortamına, oradan da tüketim merkezlerine dağıtımına kadar olan bütün bir faaliyetler dizisinin gerçekleştirilmesinde stratejik rol oynayan ara noktalardır (Çancı ve Erdal, 2009: 92). Üretim hattında bekleyen malzeme ve hammaddeler ile dağıtım kanalı içerisinde bulunan tamamlanmış ürünler genel anlamda “stok” olarak tanımlanır. Ürün stokları üreticilerden, toptancılara, perakendecilere ve nihayetinde tüketicilere doğru geçerler. Depolar, lojistik kanalları içerisinde yer alan bu envanterin stoklanarak talep ile tedarikin koordine edildiği hizmet noktalarıdır (Acar, 2010: 23).

Depolar malzemelerin tedarik zinciri içerisindeki hareketi sırasında akışın bölündüğü noktalarda ürünlerin bekledikleri stratejik noktalardır. Uygulamada bu noktalar kömür, cevher ve sebze gibi ürünlerin yığınlar halinde depolandığı alanlar

olabildiği gibi karmaşık ve ürüne değer katan karmaşık faaliyetlerin gerçekleştirildiği alanlar da olabilmektedir (Waters, 2003: 283).

Depo, sevk zamanında ve müşteri sipariş zamanlarında iyileştirme yapabilmek için imkan ve fırsatlarının olduğu, kullanılan teknoloji ve ekipmanlar nedeniyle üst seviye uzmanlık gerektiren, işletmenin rekabet gücüne doğrudan etki eden stratejik bir noktadır. Depolarda gerçekleştirilen faaliyetlerin verimli bir şekilde yürütülebilmesi için profesyonel ve sistemli bir çalışma ile bir bütün olarak nitelikli işgücüne ihtiyaç vardır. Depolar, düşük nitelikli insanların çalıştırıldığı, ürün ve malzemelerin rastgele istif edildiği ve işletme için maliyet oluşturan bir alan olarak değerlendirilmemelidir¹⁰.

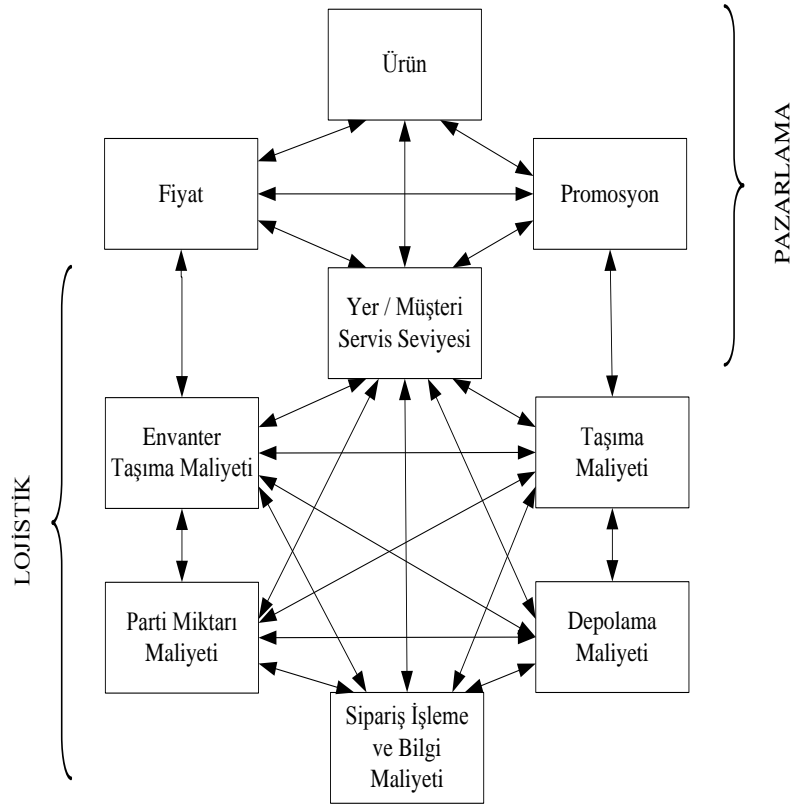
Dünya genelinde, profesyonel olarak yönetilen depoların yanında, şirketlerin sahip olduğu kişisel depolar ve hatta bahçe depoları da dâhil olmak üzere milyonlarca depolama faaliyetinin yürütüldüğü tahmin edilmektedir. Depolar, arzu edilen müşteri hizmet seviyesinin mümkün olan en düşük maliyetle sağlanmasında hayati bir rol oynar. Depolama, başlangıç noktası ile nihai ihtiyaç noktası arasında ürünlerin (hammadde, parçalar, yarı mamul ve nihai ürün) depolandığı, yönetime durum hakkında bilgi sağlayan ve depolanan ürünlerin dağıtımının gerçekleştirildiği lojistik sistemi elemanı olarak tanımlanabilir. Dağıtım merkezi terimi deponun tam karşılığı olmamakla birlikte bazı kaynaklarda bu anlamda kullanıldığı görülmektedir (Lambert vd., 1998: 266).

İşletmelerin üretim sürecinde kullanacakları hammadde, yarı mamul ve yardımcı malzemeler ile bakım işlemlerinde kullandıkları bakım onarım sarf malzemeleri ve yedek parçalar ile üretim sürecinin çıktıları olan mamullerin stoklama ve envanterin yönetim işlemlerinin bütününe depolama denir (Acar, 2010: 24). Depolama; depoya gelen ürünlerin teslim alınması, talep gelinceye kadar bekletilmesi ve müşteri talebinin ardından hazırlanarak sevkiyatının yapılması sürecinin bütünüdür. Depolama faaliyeti, ürünlerin hazırlanarak müşteriye ulaştırılması noktasında firmaların müşteriye katma değerli hizmet sağlamaları için gerekli bir tedarik zinciri fonksiyonu haline gelmiştir.

Klasik depolamanın ana amacı, ürünlerin doğru ve zarar görmeyecek şekilde depolanması iken günümüz modern depolama anlayışında ürünlerin teslim alınmasından müşteriye sevkine kadar birçok işlem gerçekleştirilmektedir. Ana faaliyetlerin yanı sıra günümüz modern depolarında gerçekleştirilen diğer faaliyetler; ürünlerin sınıflandırılması, kalite kontrol, ambalajlama, barkodlama, etiketleme, stok

¹⁰ <http://www.temesist.com/tr/deponun-tanimi-depo-nedir-depo-hizmetleri.html> (Erişim: 30.03.2014)

hareketlerinin kaydını tutma ve ilgili taraflar (gönderen, alıcı, müşteri, üretici v.s.) ile haberleşmeyi sağlamaktır (Çancı ve Erdal, 2009: 93). Taşıma ve üretim maliyetlerinin düşürülmesi, arz ve talebin dengelenmesi, üretim ve pazarlama sürecine katkı sağlanması açısından büyük önem taşıyan depolama faaliyetleri, mümkün olan en düşük maliyet ile istenen müşteri servis düzeyinin elde edilmesi için hayati bir rol oynar. Lojistik sistem içerisindeki maliyet ilişkisi Şekil 2.1.'de gösterilmektedir (Stock ve Lambert, 2001: 390).



Şekil 2.1 Lojistik sistem içerisindeki maliyet ilişkisi

Kaynak: (Stock ve Lambert, 2001: 390)

2.2. DEPONUN ÖNEMİ VE FONKSİYONLARI

Depolar modern tedarik zincirlerinin kritik bileşenleridir. Ürünün hammadde ve yarı mamul halinden nihai ürüne dönüşüncüye kadar geçen sürede tedarik, üretim ve dağıtım aşamalarında sürece dâhil olur. Zincir içerisinde bir sonraki müşteriye ürünün ulaştırılmasında dağıtım noktası olarak kullanılan depolar, yüksek müşteri servis düzeyinin yakalanmasında kritik bir görevi yerine getirir. Stokların azaltılması için

esnek üretim, tam zamanında üretim, Etkili Tüketici Tepkisi (ECR - Efficient Consumer Response) Planlama, Tahminleme ve İkmal İşbirliği (Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment) gibi sistemler kullanılmasına karşın müşteriye doğru olan akış içerisinde depolara olan ihtiyaç hala devam etmektedir (Rusthon vd., 2006: 255-256).

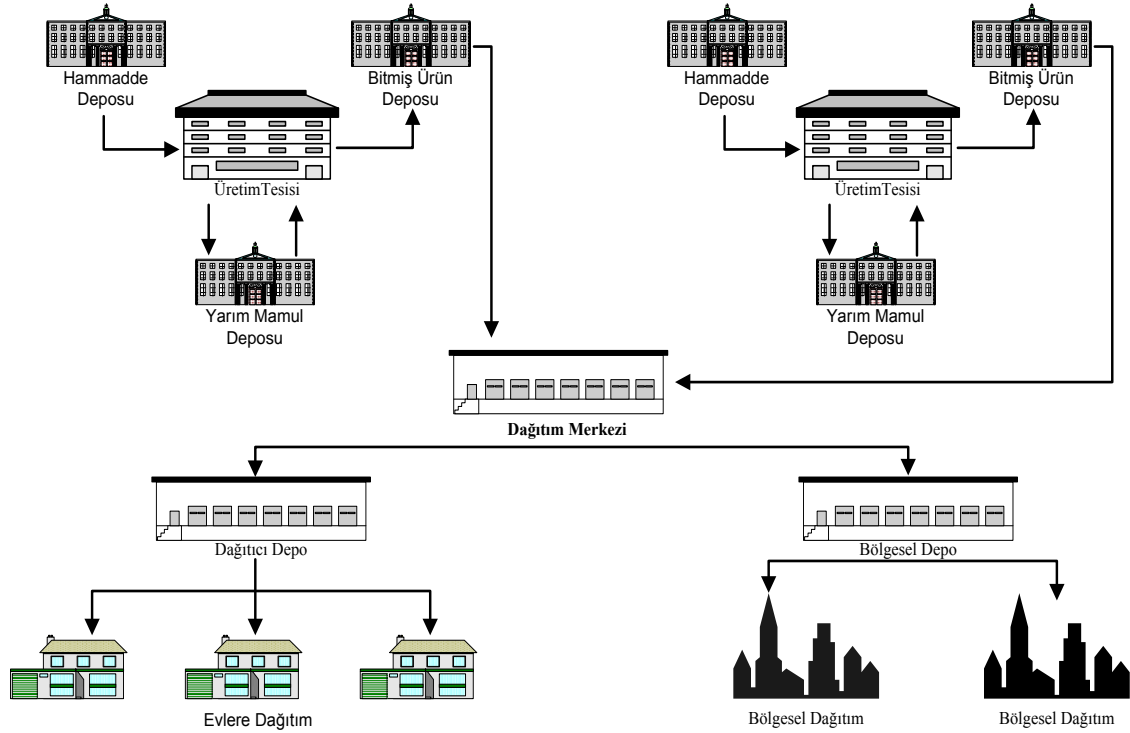
Depoların sadece hammadde ve bitmiş ürünlerin depolandığı alanlar olarak ele alınması doğru bir yaklaşım değildir. Birçok firma depoları, muayene, paketleme, etiketlemenin yapıldığı ve ürünün perakende mağazalarda satışa hazır hale getirildiği konvansiyonel alanlar olarak kullanmaktadır. Malların üretiminden satışına kadar uygun koşullar altında korunmasını sağlayan depolama faaliyetinin temel amacı, zaman faydası yaratmak ve arz ile talebin dengelenmesini sağlamaktır. Lojistik sürecinin etkin bir şekilde yürütülmesinde önemli bir etkisi bulunan depolama faaliyetine olan gereksinimin temel nedenleri şu şekilde özetlenebilir (Kayabaşı, 2010: 109):

- Bazı mallar mevsimlik olarak üretilir, ancak yıl boyunca tüketilirler,
- Bazı mallar ise düzenli olarak üretilir, ancak mevsimlik olarak tüketilirler,
- Mallar, beklenen fiyat artışları nedeni ile veya oluşabilecek kıtlıktan korunmak amacıyla depolanırlar,
- Miktar veya fiyat indirimlerinden yararlanılmak amacıyla depolama yapılır,
- Çabuk bozulabilen mallar pazara sevk edilmeden önce depolanmaktadır.

Lojistik hizmetlerinin yönetiminde yaşanan gelişmeler, bu hizmetlerin etkin ve kesintisiz gerçekleştirilmesine duyulan ihtiyacı da artırmıştır. Bu durum, sürekli ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilecek olan dağıtım ağı işleyişine bağlıdır. Kapıdan kapıya teslimatların gerçekleştirildiği günümüz lojistik anlayışında, ara noktalar olan depolarda, malların güvenli bir şekilde saklanması, istiflenmesi, ambalajlanması ve kalite kontrolünün gerçekleştirilmesi gibi önemli faaliyetler gerçekleştirilmektedir (Çancı ve Erdal, 2009: 91).

Yukarıda belirtilen faaliyetlerin tümü lojistik zincirinin performansını etkileyen önemli faaliyetlerdir. Bu faaliyetlerin ürünlere herhangi bir zarar vermeden, hatasız bir şekilde yürütülmesi önemli olmakla birlikte günümüzde lojistik faaliyetlerin geldiği noktaya bakıldığında hiç de yeterli değildir. Üreticiler esas uzmanlık alanları olan konulara odaklanmak istedikleri için lojistik sistem içerisinde özellikle depolama ve taşıma ile ilgili faaliyetler için dış kaynak kullanımına sıcak bakmaktadırlar.

Günümüzde depolar hammadde, malzeme ve bitmiş ürünler için bir bekleme noktası olmaktan ziyade, müşteriye sunulan hizmetin kalitesini arttıracak katma değerli faaliyetlerin yürütüldüğü bir aşama olarak değerlendirilmektedir. Şekil 2.2'de deponun lojistik zinciri içerisindeki rolü gösterilmektedir. Bu örnekte, farklı üreticilerin bitmiş ürün depolarından gelen ürünler dağıtım merkezinden dağıtıcı ve bölgesel depoya, oradan da müşterilere ulaştırılmaktadır.



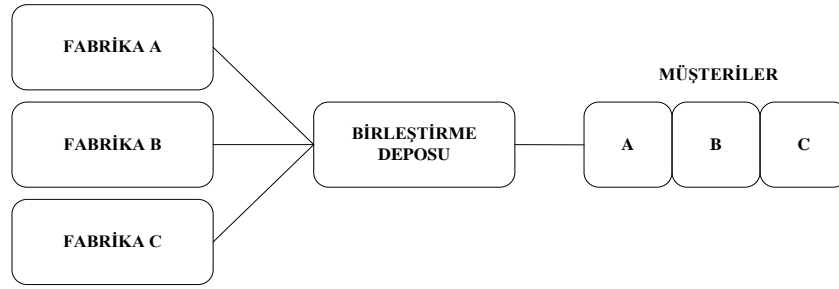
Şekil 2.2 Deponun tedarik zinciri içerisindeki rolü

Kaynak: (Frazelle, 2001:2)

Depolamanın ekonomik açıdan faydası, toplam lojistik maliyetinde düşüş sağlaması halinde görülecektir. Lojistik sistem içerisine bir depo eklendiğinde toplam taşıma maliyetinde meydana gelen düşüş, deponun kurulması ve çalıştırılması ile ilgili yapılan masraftan daha büyük olursa bir tasarruf sağlanmış ve deponun ekonomik faydası doğrulanmış demektir. Birleştirme, yığın ayrıştırma, mevsimsel depolama, tersine lojistik, sipariş birleştirme ve çapraz sevkiyat gibi fonksiyonlar depoların ekonomik olarak katkı sağlamasını hedefleyen fonksiyonlardan bazılarıdır.

2.2.1. Birleştirme (Konsolidasyon) Fonksiyonu

Taşıma oranlarının yapısı depo faaliyetinin kullanımına etki eden en önemli etmendir. Eğer ürünler farklı kaynaklarda üretiliyor ise küçük gönderilerin birleştirilerek taşıma ekonomisi sağlayacak birleştirme noktalarının kullanımı faydalı olacaktır. Birleştirme depolarına gelen parçalar, kalite kontrol ve paketleme işlemlerinin ardından sevkiyata hazır hale getirilmiş olur. Deponun birleştirme fonksiyonu Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

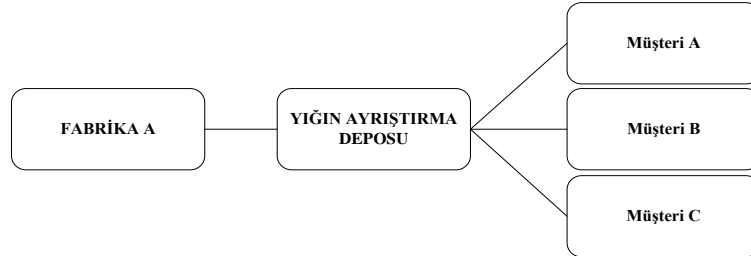


Şekil 2.3 Konsolidasyon

Kaynak: (Bowersox vd., 2010:249)

2.2.2. Yiğın Ayırıştırma Fonksiyonu

Yiğın ayırıştırma fonksiyonu birleştirme fonksiyonun tam tersi bir fonksiyondur. Genel yapısı Şekil 2.4'te gösterilen yiğın ayırıştırma fonksiyonu, bir kaynaktan tek bir yiğın halinde gelen ürünlerin yiğın ayırıştırma depolarında müşteri isteklerine göre daha küçük birimlere ayrılması işlemidir. Bir bütün halinde belirli bir noktaya kadar birlikte taşındıktan sonra müşteriden gelen talebe göre ürünlerin ayırma tabi tutulmasıyla ölçek ekonomisinden faydalanılmış ve taşımadan tasarruf sağlanmış olur (Keskin, 2011: 334).

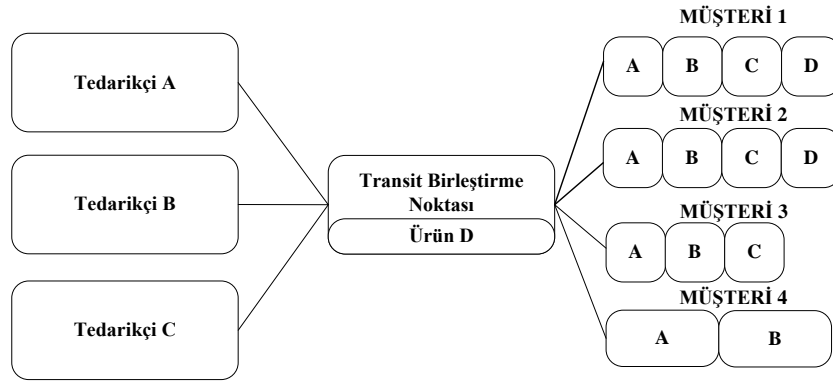


Şekil 2.4 Yiğın Ayırıştırma

Kaynak: (Bowersox vd., 2010:249)

2.2.3. Ürün Birleştirme Fonksiyonu

Ürün birleştirmenin asıl hedefi üretim operasyonlarını desteklenmesidir. Ürünler ve ürün bileşenleri, üretim tesisine optimum yakınlıktaki ikinci kuşak tedarikçiler tarafından birleştirilir (Keskin, 2011: 333). Gümrük komisyoncusu (freight forwarder) işletmeler lojistik alanında uzmanlaşmış kurumlar olduğu için aynı veya farklı firmalara ait ürünleri, üretim ortamından müşterilerine ulaştırmaları konusunda hizmet sağlamaktadırlar (Çancı ve Erdal, 2009: 97). Bu fonksiyonun örnek yapısı Şekil 2.5'te gösterilmektedir.



Şekil 2.5 Ürün Karması

Kaynak: (Bowersox vd., 2010:251)

2.2.4. Çapraz Sevkiyat Fonksiyonu

Çapraz sevkiyat, teslim alınan ürünün istif alanına taşınmadan doğrudan sevkiyat noktasına gönderilmesi işlemidir. Bu işlemde, sipariş birleştirme, ambalajlama ve etiketleme gibi katma değerli faaliyetlere ihtiyaç duyulmasına karşın istif alanına herhangi bir yönlendirme yapılmadığı için sipariş toplama işlemi gerçekleştirilmez. Müşteriden gelen talebe göre hazır hale getirilen siparişin doğrudan sevkiyatı gerçekleştirilir.

2.2.5. Mevsimsel Depolama Fonksiyonu

Depolamanın doğrudan ekonomik faydalarından biri de ürünlerin mevsimsel olarak depolanmasıdır. Tarım ürünleri gibi bazı ürünler yılın belirli zamanlarında üretilip yıl boyunca tüketilirken, bahçe mobilyası gibi ürünler yıl boyu üretilirken

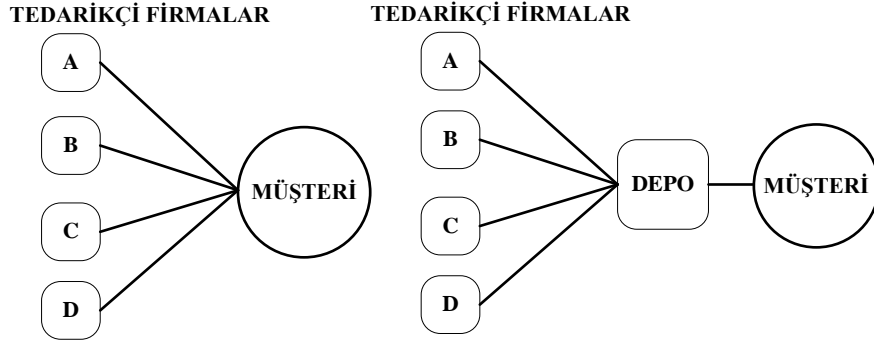
sadece belirli dönemde yoğun olarak talep görürler. Her iki durumda da pazarlama faaliyetlerinin desteklenebilmesi için depolama yapılması kaçınılmazdır. Depolama, envanter açısından malzeme kaynakları ve müşteriler tarafından ortaya konan kısıtlara karşılık tampon görevi görür (Bowersox v.d., 2010: 250).

2.2.6. Tersine Lojistik Fonksiyonu

Bütünleşik lojistik sisteminde ürünler genellikle müşteriye doğru taşınır. Ancak bazı durumlarda ürünlerin tedarik zinciri içerisinde ters yönde taşınması gerekir. Bu durum literatürde tersine lojistik olarak adlandırılır (Bloomberg vd., 2002: 202). Tersine lojistik ürünlerin geri kazanım, tamir ve yeniden üretiminde ürünün tüketiciden alınarak geri dönüşüm işleminin uygulanacağı tesise getirilmesinde lojistiğin üstlendiği göreve karşılık gelir. Depolar tersine akışta ürünlerin biriktirilmesi ve tasnif edilmesinde kullanılan geçici bekleme noktaları olarak görev yaparlar. Tersine lojistik kaynakların sınırlı olduğu günümüz şartlarında önemi oldukça artmış bir faaliyet alanıdır.

2.2.7. Ulaştırma Fonksiyonu

Bir ürün veya malzemenin taşıma modlarından biri kullanılarak bir yerden başka bir yere götürülmesi işlemine taşıma denilmektedir. Bir depodan başka bir depoya veya bir üretim noktasından başka bir üretim noktasına yapılan taşıma işlemi sırasında ürün birleştirme ve yığın ayırma gibi fonksiyonları yerine getiren depoların kullanımı taşıma maliyetlerinin azaltılmasında önemli bir faktördür. Bir müşterinin birbirinden farklı ürünleri birden fazla tedarikçiden temin etmesi gerektiği düşünülecek olursa, tedarikçiler tarafından gönderilen ürünlerin tedarik noktalarına yakın bir depoda toplandıktan sonra müşteriye gönderilmesi ürünlerin ayrı ayrı müşteriye gönderilmesine göre mesafe açısından tasarruf sağlayacağı açıkça görülecektir. Şekil 2.6'da, fiziksel dağıtım sürecinde hareket merkezlerinden olan depoların taşıma fonksiyonu gösterilmektedir.



Şekil 2.6 Taşıma Fonksiyonu

Kaynak: (Waters, 2003 : 12)'den düzenleme yapılarak aktarılmıştır.

2.3. DEPO TASARIMI VE DEPO SAHİPLİĞİ

Tedarik zincirinin önemli bir parçası olan depoların etkin yönetimi için yukarıda tanımlanan tüm fonksiyonlar bir bütünsellik içinde incelenmelidir. Bu fonksiyonların etkin bir şekilde işlevlerini yerine getirebilmeleri için depo tasarımı ve depo operasyonları olarak sınıflandırılan problemlerin çözülmesi gerekir. Depo tasarımı ve operasyonları ile ilgili problemler ve bu problemlere ait kararlar Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Depo Tasarımı ve Depo Operasyonları Problemleri için Kararlar

PROBLEMLERİ		KARARLAR	
Depo tasarımı	Genel yapı	• Malzeme akışı, bölüm tanımlama, bölümlerin ilişkili konumları	
	Boyutlandırma ve Ölçülendirme	• Deponun boyutları, bölümlerin boyutları ve ölçüleri	
	Bölüm yerleşimi	• Palet blok istifleme modeli (palet depolama için), Geçit yönlendirmeleri, geçitlerin sayısı, uzunluğu ve genişliği, kapı yerleri	
	Ekipman seçimi	• Otomasyon seviyesi, depolama ekipmanı seçimi, malzeme taşıma ekipmanı seçimi (sipariş toplama, sıralama)	
	Operasyon yöntemi	• Depolama stratejisi seçimi, sipariş toplama yöntemi seçimi	
Depo operasyonu	Kabul ve sevkiyat	• Kamyon-yük rampası ataması, sipariş-kamyon ataması, kamyon dağıtım çizelgesi	
	Depolama	Stoklama Üniteleri-bölüm ataması	• Farklı depo bölümlerine parçaların atanması, yer tahsisi
		Bölgelere ayırma	• Stoklama Ünitelerinin bölgelere atanması, toplayıcıların bölgelere atanması
		Depolama yeri ataması	• Depolama yeri ataması, depolama sınıflarının özellikleri
	Sipariş Toplama	Gruplama	• Grup büyüklüğü, sipariş-grup ataması
		Rotalama ve sıralama	• Sipariş toplama turlarının rotalama ve sıralaması, ikamet noktası seçimi (Otomatik depolama ve toplama sistemleri için)
Sıralama		• Sipariş-şerit ataması	

Kaynak: (Gu vd., 2007: 3)

Depo tasarımı, yerleşim düzenlemesi gibi daha çok fiziksel yapı ve donanım ile ilgili problemlere odaklanır. Depo operasyonları ile ilgili kararlarda ise depo operasyon maliyetlerini minimize edecek atama, gruplama, rotalama ve sıralama problemlerine odaklanılmaktadır. Her bir depo operasyonu için literatürde birçok çalışma olmakla birlikte, çalışmanın depo içerisi ile ilgili kısmında sipariş toplama (hazırlama) operasyonlarına odaklanılmıştır. Özellikle dağıtım merkezlerinde büyük miktarlardaki birçok siparişin kısa zaman dilimlerinde toplanması (hazırlanması) tedarik zincirinin performansını etkilediği için bu alanda birçok yöntem geliştirilmiştir.

İşletmelerin kullanacakları depolama tesisleri işletmenin kendine has özellikleri ve lojistik ihtiyaçlarına göre değişiklik göstermektedir. Depo sahipliğine karar verme noktasında firmalar, üretim miktarı, talebin dengeli olması, hizmet verilen pazarın yoğunluğu, güvenlik, kontrol ihtiyaçları ve müşteri servis ihtiyaçları gibi kriterleri göz önünde bulundurarak karar vermek zorundadır. Genel depolamada, maliyetlerin neredeyse tamamı değişken maliyet iken firmaların kendi depolarında, depoların işletme maliyetleri sebebiyle yüksek sabit maliyet söz konusu olmaktadır. Bu nedenle, yüksek üretim veya ticaret hacmine sahip firmaların özel depolarını kurmaları, daha düşük hacimli ticari faaliyetleri olan firmaların genel depoları tercih etmeleri yerinde olacaktır. Depo sahipliği kararını etkileyen işletme özellikleri Çizelge 2.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.2 Depo sahipliği kararını etkileyen işleme özellikleri

İŞLETME ÖZELLİĞİ	ÖZEL	GENEL
Çıktı miktarı	Yüksek	Düşük
Talep değişkenliği	Dengeli	Dalgalı
Pazar yoğunluğu	Yüksek	Düşük
Özel fiziksel kontrol	Evet	Hayır
Müşteri servis ihtiyaçları	Yüksek	Düşük
Güvenlik gereklilikleri	Yüksek	Düşük
Çoklu kullanım ihtiyacı	Evet	Hayır

Kaynak: (Colliander ve Tjellander, 2013: 15)

Genel depo kullanımı işletmelere, sermayenin korunması, yoğun talebi karşılamak için depo alanı artırma kabiliyeti, riskin azaltılması, ölçek ekonomisi, esneklik, vergi avantajı ve depolama ve işleme maliyetlerinin azaltılması gibi avantajlar sağlar. Diğer taraftan, iletişim problemleri, ihtiyaç duyulan özel hizmetlerin varlığı ve

ihtiyaç halinde alan gerekliliği gibi dezavantajları söz konusudur (Stock ve Lambert, 2001 : 401-403).

Özel depo kullanımını, işletme ihtiyaçlarına göre tasarımda esneklik, depo operasyonları üzerinde daha çok kontrol, büyük hacimli ürün hareketleri için birim maliyetin düşüklüğü, vergi avantajı (amortisman v.b.), alan içerisinde müşterilerle temas, daha fazla görünürlük ve insan gücünün daha fazla kullanımı gibi avantajları beraberinde getirir. Kısıtlı kapasite nedeniyle düşük esneklik, ilk yatırım ve işletme maliyetleri bu tür depoların dezavantajıdır (Stock ve Lambert, 2001 : 404-405).

2.4. DEPO TÜRLERİ

Lojistik faaliyetlerin temelinde hammadde, yarı mamul ve bitmiş ürünlerin bir yerden diğer bir yere taşınması vardır. Hammaddenin kaynağından alınmasının ardından, fiziksel olarak değişime uğradığı noktalar ile el değiştirdiği noktalarda taşıma hızı sıfıra düşer. Ürünün fiziksel olarak herhangi bir değişime uğramadan durakladığı bu yerler depo, aktarma merkezi, ambar, transfer merkezi ve antrepo gibi isimler almaktadır.

Eski yönetim anlayışına göre yalnızca ürünlerin saklandığı yer olan depolar, tüketici/müşteri taleplerinin üreticileri yönlendirmesiyle tedarik zinciri içerisinde pazarlamaya yardımcı süreçlerin gerçekleştirildiği bir yer halini almıştır. Bu açıdan bakıldığında depolama diğer süreçlere kaynak sağlayıcı bir göreve sahiptir. Depolar özellikle perakende sektöründe, tüketici gereksinimlerine göre perakendecinin kendi perakende ağını desteklemesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Diğer yandan, artan depolama ve sevkiyat maliyetleri üreticilerin insan gücü yoğun operasyonlar yerine katma değerli hizmetlere olan ilgilerinin artmasına neden olmaktadır (Gürdal, 2006: 17).

Depolar çeşitli şekillerde sınıflandırmaya tabi tutulabilir. İklimlendirme durumu, işletme fonksiyonu, ürünlerin türü, otomasyon düzeyi, deponun konumu ve mülkiyet yapısı gibi kriterlere göre sınıflandırma işlemi yapılabilmektedir¹¹. İşletmelerin kullanacakları depolama tesisleri işletmenin kendine has özellikleri ve lojistik ihtiyaçlarına göre farklılık gösterir. Depo sahipliğine karar vermek isteyen firmaların, üretim miktarı, dengeli bir talebin olması, hizmet verilen pazarın yoğunluğu, güvenlik

¹¹ <http://temesist.com/tr/depo-yatirim-planlamasi-ve-depo-turleri.html> (Erişim: 01.04.2014)

ve kontrol ihtiyaçları ve müşteri servis ihtiyaçları gibi kriterleri göz önünde bulundurması gerekir. Mülkiyet yapısına göre değerlendirildiğinde özel, genel ve kontrat depoları olmak üzere üç tür depodan söz edilebilir.

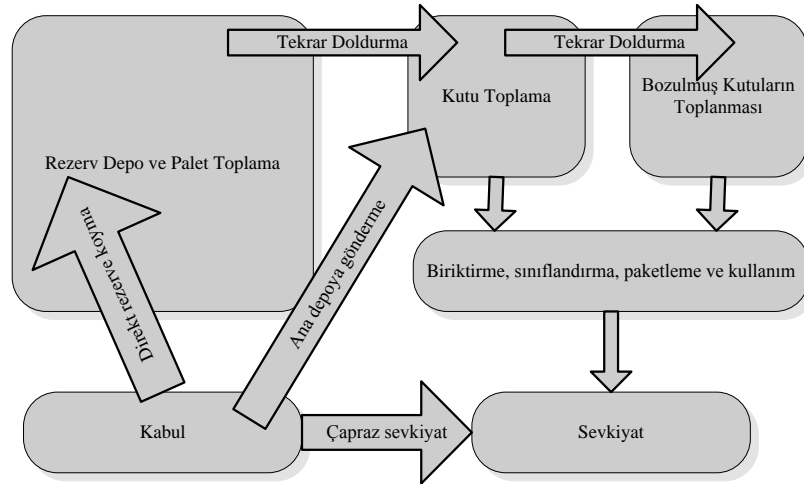
Özel depolar, işletmelerin kendi tedarik zincirinin bir parçası olarak sahip oldukları veya kiraladıkları depolardır. İşletmeler kendi ana faaliyetlerini desteklemek için özel depolarını işletirler. İşletmelerin zel depolara sahip olmaları, lojistik sisteminin merkezi parçası olan depolar üzerinde önemli bir kontrol sağlarken, depoların lojistiğin geri kalan faaliyetleri ile entegrasyonuna olanak sağlar (Waters, 2003: 290). Yüksek retim veya ticaret hacmine sahip firmalar genellikle bu tür depoları tercih ederler. Yüksek miktar ve yüksek kullanım ölçek ekonomisi sebebiyle özel depo kullanımını teşvik eden başlıca unsurlardır. Özel depoların başlıca faydaları; cevap verebilirlik, erişebilirlik ve maliyet avantajı, depo çalışanlarının yetenek ve deneyiminden istifade, kontrol ve görülebilirlik ile esneklik sağlamasıdır (Acar, 2010: 43).

Genel depolar nc parti lojistik firmaları tarafından işletilen depolardır. Genellikle kısa dönemli kullanım için tercih edilen bir depo türüdür. Depolama ihtiyaı bulunan firma veya kişilere belirli bir ücret karşılığı depo alanı sağlanır. Bu depo türü, kiralanan alan bakımında işletmelere esneklik sağlar. Soğuk hava depoları, antrepolar, yığın depolama tesisleri, tanklar ve diğer özellikli ürün depoları bu tür depolara örnek olarak gösterilebilir.

Kontrat depoları da yine nc parti lojistik firmaları tarafından işletilen, genel depoların özel bir formudur. Bu tür depolar, müşteri ihtiyaına göre bir deponun tamamı veya bir kısmı kontrat dâhilinde müşteriye kirallanır. Yeni bir iş veya pazara girmek isteyen, depo sahipliği ile ilgili maliyetlerden korunarak kazanç elde etmek isteyen, kişisel risk ve sorumluluğu minimize etmek isteyen firmaların başvurdukları bir depolama yöntemidir. Kullanıcı ile depo sahibi, depo hizmeti sağlayan arasında imzalanan sözleşmeyle tüm risk paylaşılır. Bu sözleşmeyle depo stok alanı, yazılımlar, işçiler ve yönetim kullanıcının lojistik sisteminin hizmetine sunulur. Genel depoların kullanımını için de müşteri ve hizmet sağlayıcı arasında sözleşme imzalanmaktadır. Fakat kontratlı depoların kullanımını için imzalanan sözleşmeler uzun dönemli olmakla birlikte, sözleşme bitiminden önce ürünler depolardan alınsa bile geri kalan zaman dilimi için de firma ödeme yapma yükümlülüğü altına girmektedir.

2.5. DEPOLARDA GERÇEKLEŞTİRİLEN FAALİYETLER

Depolama işletmelerin lojistik sisteminde önemli bir rol oynar. Diğer faaliyetlerle birlikte müşterilere kabul edilir bir servis düzeyi sağlar (Stock ve Lambert, 2001: 396). Depolarda hareket, depolama ve bilgi transferi olmak üzere üç önemli fonksiyon söz konusudur. Hareket fonksiyonu; teslim alma, transfer ve bir yerlere koyma, sipariş toplama, seçme, biriktirme, sınıflandırma, ara depolama ve sevkiyat gibi alt işlemlerden oluşur. Teslim alma işleminde, depoya gelen ürün taşıma aracından indirilir, envanter kayıtları güncellenir, kalite veya sayı olarak herhangi bir tutarsızlığın olup olmadığı kontrol edilir. Transfer ve yerleştirme işleminde, gelen ürün ilgili depo alanına yerleştirilir. Bu işlem paketlerin açılması ve fiziki transfer gibi adımları da içerir. Sipariş toplama ve seçimi, müşteri siparişinin karşılanması için doğru üründen doğru miktarda elde edilmesi faaliyetidir. Bu faaliyet birçok depoda en çok yürütülen faaliyet olarak ortaya çıkmaktadır. Toplanan siparişleri biriktirme/sınıflandırma işlemi, sipariş toplama işlemi gruplama suretiyle yapıldı ise gerçekleştirilmesi gereken bir faaliyettir. Çapraz sevkiyat, teslim alınan ürünlerin direkt olarak sevkiyat noktasına transfer edilmesi işlemidir. Bu işlemden kısa bekleme veya servislere ihtiyaç duyulabilmesine rağmen sipariş toplama işlemi gerçekleştirilmez. Temel depo fonksiyonları ve akışları Şekil 2.7’de gösterilmiştir (Lambert vd., 1998: 275-276).

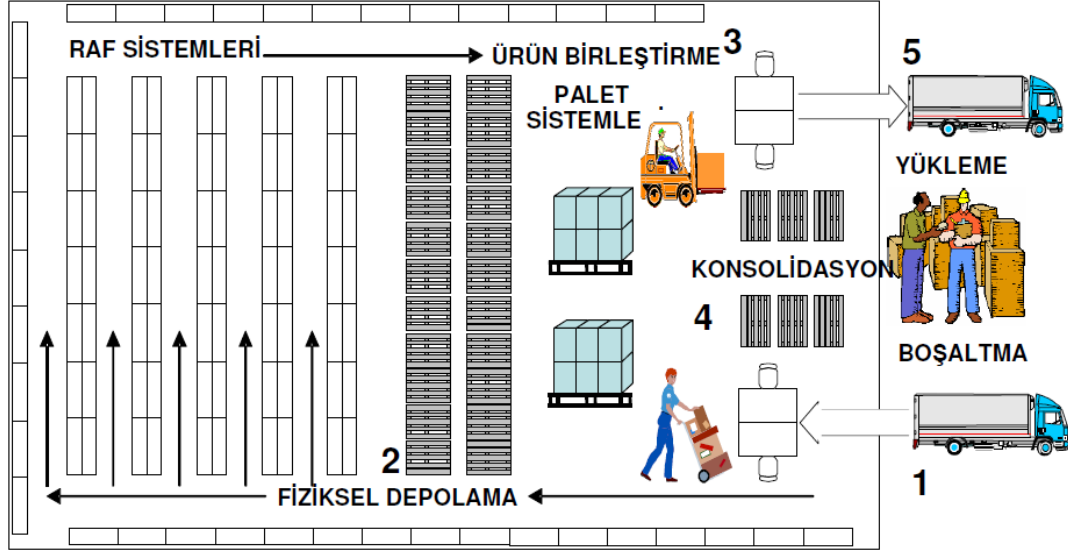


Şekil 2.7 Tipik depo fonksiyonları ve akışları

Kaynak: (Tompkins vd., 1996 ; Lambert v.d., 1998: 277)

Depolama süreçleri, göndericiden ürünlerin alınması ve bu işlemin organizasyonu ile başlar. Hammaddenin ya da yarı mamulün depoya girmesi, fiziksel

depolamanın gerçekleştirilmesi, ambalajlama-etiketleme-konsolidasyon işlemlerinin yanı sıra dağıtım öncesi son kontrollerin yapılması ve depolanıp son kullanıcıya uygun şekillerde ulaştırılması depolama iş süreçlerinin temel halkalarını oluşturmaktadır (Lambert vd., 1998: 268). Depo iş süreçleri Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Depo iş süreçleri

Kaynak: (Çancı ve Erdal, 2009: 95)

2.5.1. Kabul

Depoya gelen bir ürünün karşılaştığı ilk iş sürecidir. Gelen yükün fiziksel olarak indirilmesi, kalite kontrolünün yapılması ve belgelerin kullanılan sistemlere kaydedilmesi aşamalarından oluşur. Gelen ürün ve yapılan kontrol işlemlerinin mahiyetine göre ürünlerin ambalajlarından çıkarılması ve tekrar ambalajlanması faaliyetleri de bu kısımda gerçekleştirilebilmektedir.

2.5.2. Fiziksel Depolama

Kabul işlemleri tamamlanan ürünler depo içerisinde kendileri için tahsis edilmiş alanlara gönderilirler. Depolar iki bölgeden oluşmaktadır (Çancı ve Erdal, 2009: 94);

Ayırım bölgesi: Eşyaların olabilecek en ekonomik şekilde depolandığı alanlar olup rezerv depolama ve palet sistemlerinden oluşmaktadır.

İleri bölge: Müşteri siparişlerinin depo görevlileri tarafından kolaylıkla taşınmasına yardımcı olacak şekilde stoklandıkları özel bölgedir. Eşyalar genellikle depolama modüllerine kolay erişimin sağlanabilmesi için küçük miktarlarda depolanır. Bu bölgedeki depolama raf sistemlerinden oluşmaktadır

2.5.3. Sipariş Toplama (Ürün Birleştirme)

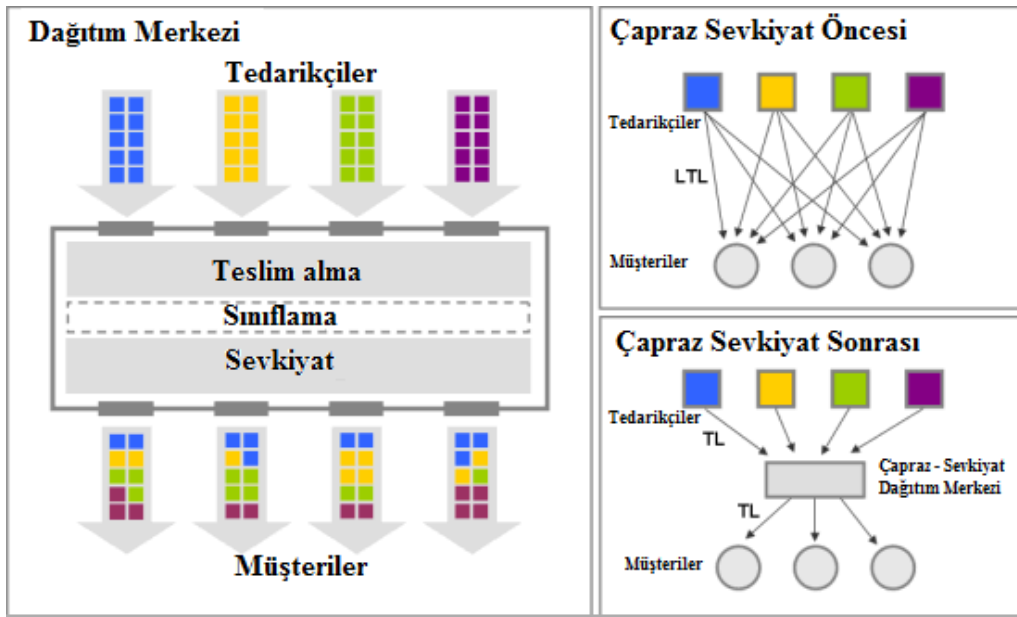
Manuel depo sistemlerinde sipariş toplayıcılar, otomatik depo sistemlerde ise otomatik depolama ve toplama ekipmanları tarafından gerçekleştirilen sipariş toplama faaliyeti toplam depolama maliyetinin önemli bir kısmını oluşturur. Sipariş toplama faaliyeti, manüel sistemlerde sipariş toplayıcıya, deponun giriş-çıkış noktasında hangi siparişlerin hangi sıra ile toplayacağını gösteren sipariş listesinin ulaştırılması ile başlar. Sipariş toplayıcı listede yer alan rotaya göre ilgili konumlardan siparişte yer alan parçaları alarak deponun giriş-çıkış noktasına gelir. Ürün boyutunun yeterince büyük olduğu durumlarda tek sipariş toplama yapılırken, toplama aracının kapasitesinin birden fazla siparişi aynı anda toplamak için yeterli olması durumunda, sipariş toplayıcının giriş-çıkış noktasına geri dönmeden birçok stok alanını dolaşarak birden fazla siparişi aynı anda toplayabilmektedir. Sipariş toplama faaliyetinin ayrık (tek tek) toplama, grup toplama, dalga toplama ve alan toplama gibi türleri bulunmaktadır.

2.5.4. Konsolidasyon

Sevkiyat noktasına getirilen ürünler nicelik ve nitelik olarak kalite kontrol işlemine tabi tutulduktan sonra müşteri siparişlerine göre ürün birleştirme ve ambalajlama işlemleri gerçekleştirilir. Birleştirme, toplanarak deponun giriş-çıkış noktasına getirilen ürünlerin müşteri siparişleri dikkate alınarak yeniden düzenlenmesi olayını ifade eder. Sipariş toplayıcının siparişleri tek tek toplaması halinde siparişlerin tasnifi için ekstra bir işleme gerek kalmazken, grup toplamada bir toplama aracı içerisinde birden fazla müşteriye ait sipariş bulunduğundan konsolidasyon işleminden önce siparişler müşteri isteklerine göre tasnif edilmek zorundadır. Bu çalışma kapsamında, depo içi sipariş toplama faaliyeti depo dışı dağıtım rotasına göre yapıldığı için sipariş tasnif ve hazırlama ihtiyacı azaltılmaktadır.

2.5.5. Çapraz Sevkiyat

Birçok perakende zincirinde çok başarılı uygulamalar sağlayan ve üreticiden gelen sevkiyatın ele alındığı bir sistemi içeren çapraz sevkiyat, gelen sevkiyatların sıralanması, sınıflandırılması ve sevkiyat noktasına gönderilmesi herhangi bir yeniden sipariş ve depolama olmaksızın direkt olarak taşıyıcılara transferini sağlayan sistemdir. Çapraz sevkiyat gelen parçaları direkt olarak sevkiyat noktasına yönlendirerek depolama faaliyetlerini devre dışı bırakır. Saf bir çapraz sevkiyat operasyonu parçaların depo içerisine fiziksel olarak dağıtımını, depolanması ve sipariş toplama faaliyetlerine gerek kalmaksızın sevkiyatını sağlar. Çapraz sevkiyat ile birden fazla tedarikçiden gelip birden fazla müşteriye giden ürünlerin taşımaları organize edilerek hem karmaşa hem de taşımaların maliyetini azaltılmış olur. Bir tedarik sisteminin çapraz sevkiyat uygulaması öncesindeki ve sonrasındaki görünümü Şekil 2.9'da gösterilmektedir.



Şekil 2.9 Çapraz sevkiyat¹²

2.5.6. Yükleme (Sevkiyat)

Depolarda gerçekleştirilen faaliyetlerden sonuncusu sevkiyattır. Müşteri isteklerine göre depo içerisinde buldukları konumlardan toplanarak deponun çıkış noktasına getirilen ürünler kalite kontrolün ardından sevkiyat planına göre

¹² <http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch5en/conc5en/crossdocking.html> (Erişim: 20.02.2014), (Düzenleme yapılmıştır)

geçekleştirilen paketleme ve etiketleme işlemleri ile sevkiyata hazır hale getirilir ve dağıtım araçlarına yüklenirler. İşletmeler için sevkiyat planlama bir uzmanlık alanı olup, bu konuda uzmanlaşmış kişiler istihdam edilmeye başlanmıştır. Sevkiyat planı kapsamında araç seçimi, toplam araç sayısının belirlenmesi, rota planlaması ve fatura/irsaliye hazırlama gibi işlemler gerçekleştirilir. Bu işlemlerin ardından sevk emirleri ile araçlar depodan ayrılırlar.

2.6. DEPOLARDAKİ MALZEME ELLEÇLEME EKİPMANLARI

Hammaddeden başlamak üzere tedarik zinciri içerisinde ürünlerin duraksadığı noktalar haricinde (depo stok alanları) sürekli bir hareket söz konusudur. Depo, terminal veya üretim alanlarında gerçekleştirilen faaliyetlerin en başında ürün hareketleri gelir. Malzeme elleçleme "herhangi bir formdaki malzemenin taşınması, paketlenmesi ve depolanması ile ilgili bilim dalı" olarak tanımlanmaktadır (Bloomberg vd., 2002: 186). Malzeme elleçleme doğru malzemenin yer, miktar, zaman, yöntem ve maliyet bakımından doğru bir şekilde işlenmesi olarak da tanımlanabilir. Günümüz modern lojistik faaliyetlerinde önemli payı olan elleçleme, malzemelerin bir noktadan bir başka noktaya insan veya makine gücü ile aktarılması anlamına gelmektedir. İngilizcedeki "handling" terimin Türkçe karşılığı olarak kullanılmaya başlayan elleçleme için bazı kaynaklarda, taşıma, aktarma, yükleme, boşaltma gibi terimlerin kullanıldığı görülmektedir (Keskin, 2011: 369).

Depo içerisinde elle veya farklı tipte alet, donanım veya cihaz yardımıyla gerçekleştirilen elleçleme çalışmalarının ekonomik ve emniyetli bir şekilde yerine getirilmesi başlıca hedeftir. Kutu, palet veya ambalaj ile taşınan hammadde, yarı mamul veya bitmiş ürünler için depo içi taşıma, kaldırma, yükleme ve boşaltma faaliyetlerinde konveyör, forklift, transpalet, vinç, asansör sistemleri ve AS/RS gibi sistem ve ekipmanlar yoğun olarak kullanılır. Ürünlerin depolanmasında kullanılan raf sistemleri ile birlikte etiketleme ve RFID (radyo frekansı ile tanıma) gibi otomatik tanıma sistemleri de malzeme elleçleme sisteminin bir parçasıdır. Bu bölümde depolardaki malzeme elleçleme sistem ve ekipmanları ele alınmıştır.

2.6.1. Paletler

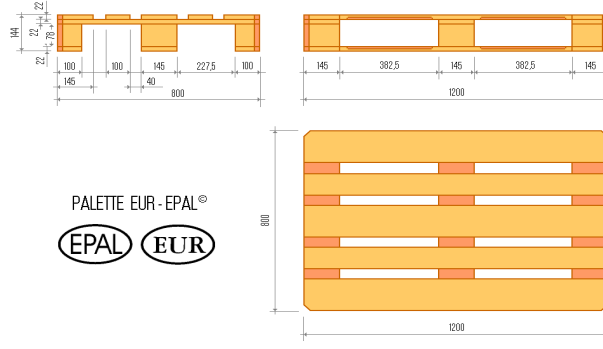
Paletler özellikle forkliftler ile taşıma yapmak için tasarlanmış, taşıma ve depolama amacıyla kullanılabilen depo ekipmanlarıdır. Birim yüklerin taşınmasında esnek ve ekonomik olması nedeniyle depolarda kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Paletleri diğer donanımlardan ayıran özelliği, sadece bulunduğu organizasyon içerisinde kullanılmayıp, tedarikçiler tarafından birim yük gönderimi ve üretici tarafından bitmiş ürün gönderimi için de kullanılabilir olmasıdır (Jessop ve Morrison, 1994: 258). Plastik, metal veya ahşap malzemeden imal edilebilen ve ürünlerin bir arada tek bir birim olarak taşınmasını sağlayan paletlerin ticari hayatta kullanımının artmasıyla birlikte, tedarikçi, üretici, müşteri ve taşıma şirketinin herhangi bir zorlukla karşılaşmadan kullanabilmesi için belirli bir standardın olması zorunlu hale gelmiştir. Madde taşımacılığında kullanılan 6 çeşit paletin temel ölçü ve toleransları ISO (International Organization for Standardization) tarafından 6780 nolu standartta belirtilmiştir. ISO'nun belirlemiş olduğu standartlar ve yaygın olarak kullanıldığı bölgeler Çizelge 2.3'te gösterilmektedir.

Çizelge 2.3 Palet Standartları

Ebat (mm)	Ebat (inç)	Kayıp alan, ISO Konteynır	Bölge
1219 x 1016	48.00 x 40.00	3.7%	Kuzey Amerika
1200 x 1000	47.24 x 39.37	6.7%	Avrupa, Asya; 48x40" 'a yakın.
1140 x 1140	44.88 x 44.88	8.1%	Avustralya
1067 x 1067	42.00 x 42.00	11.5%	Kuzey Amerika, Avrupa, Asya
1100 x 1100	43.30 x 43.30	14%	Asya
1200 x 800	47.24 x 31.50	15.2%	Avrupa; birçok kapıdan geçer

Avrupa'da ticaretin birçok alanında yaygın olarak kullanılan EURO palet ile ilgili standartlar Avrupa Palet Üreticileri Birliği (EPAL: European Pallet Association) tarafından belirlenmektedir. EPAL palet üretiminde kullanılan çivi ve ağaç türlerine karar verme yetkisine sahiptir ve palet standartlarına değişiklik getirebilir. Bu standartlaşmanın temel nedeni dolaşım sınırlarında birinci tip paletlerin geri dönüşüm özelliğinin bulunması sebebiyle bakımı yapılarak takas yöntemiyle el değiştirme olanağının bulunmasıdır¹³. 80 x 120 cm'lik EURO paletin şekil ve standart ölçüleri Şekil 2.10'da gösterilmektedir.

¹³ <http://www.telsankereste.com/hakkimizda/euro-palet-2/>



Şekil 2.10 EURO paletin şekil ve standart ölçüleri¹⁴

2.6.2. Raf Sistemleri

Depo yönetiminin en önemli unsuru olan raf sistemleri, düzensizlik ve karışıklıkların önlenmesi, doğru ve zamanında paketleme yapılabilmesi, ürün birleştirme ve konsolidasyon işlemlerinde önemli kolaylıklar sağlar (Acar, 2010: 95). Depolarda palet üzerine yerleştirilmiş ürünler, borular, demir çubuklar, levhalar, plakalar, kablolar, lastikler ve variller için benzer tasarıma sahip raflar kullanılırken, V kayışı, zincir ve diğer ağır ürünlerin depolanması için özel amaçlara yönelik olarak tasarlanmış raflar kullanılabilir (Jessop ve Morrison, 1994: 262-263).

En çok tercih edilen raf türleri *tek* ve *çift derinlikli raflardır*. Tek derinlikli rafta tek yönden yükleme ve boşaltma yapılırken, çift derinlikli rafta uygun araçlar kullanılarak iki farklı geçitten aynı rafa veya bir geçitten aynı rafın iki tarafına ulaşılabilir. Daha etkili depolama ve minimal depo alanı sağlamak isteyen firmalar daha çok çift derinlikli raf sistemlerini tercih etmektedir. Tek ve çift taraflı palet rafları Şekil 2.11’de gösterilmektedir.

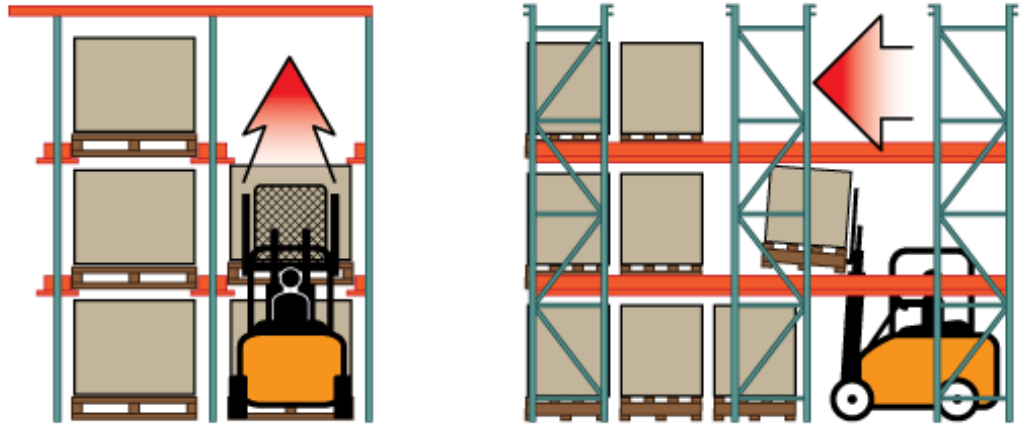


Şekil 2.11 Tek ve çift taraf palet rafı¹⁵

¹⁴ <http://www.telsankereste.com/hakkimizda/euro-palet-2/> (Erişim:23.12.2013)

¹⁵ shunlisteel.en.made-in-china.com, cgld.e.tradeee.com (Erişim: 23.12.2013)

İçine girebilir ve **içinden geçebilir** raflar, bilhassa tek veya az çeşitteki büyük miktarlarda ve aynı zamanda ağırlık olarak fazla malların depolanması için kullanışlı raf sistemleridir (Acar, 2010: 102). Bu raflarda yükler dik kirişlere bağlı raylar tarafından desteklenmektedir. Benzer genişlikte yükler gerektiren bu raflarda forkliftler dikmeler ve kirişler arasında sürülür. İçine girebilir raflarda bir taraf kapalı olduğu için depolanan ürünlere LIFO (son giren ilk çıkar) kuralı uygulanırken, içinden geçebilir raflarda diğer rafın diğer ucu da açık olduğu için FIFO (ilk giren ilk çıkar kuralı) da uygulanabilir¹⁶. Şekil 2.12’de içine girebilir ve içinden geçebilir raf sistemleri gösterilmektedir.



Şekil 2.12 İçine girilebilir ve içinden geçilebilir raf sistemleri¹⁷

Kayar ve **geri itmeli** raf sistemleri ürünlerin yerçekimi ile hareketinin sağlandığı raflardır. Genelde yüksek talepli ürünlerin depolanmasında kullanılan bu raf sistemleri ebat ve şekil olarak aynı özelliklere sahip ürünlerin depolanması için uygun bir raf sistemidir. Bu sistemleri palet depolama için kullanılabilceği gibi kutu depolama için de kullanılabilir. Kayar ve geri itmeli raf sistemlerinde ilk palet rafa konulduktan sonra forklift yardımıyla bu palet ittilerek ikinci bir paletin rafa yüklenmesi sağlanır. Takip eden paletler de aynı şekilde raflara yerleştirilir. Paletlerin boşaltılması için dinamik rulo ve kaset sistemleri kullanılır. Bu sistemler önden palet alındıkça raflardaki paletleri öne doğru yönlendirir. Şekil 2.13’te kayar ve geri itmeli raf sistemleri için örnekler sunulmuştur.

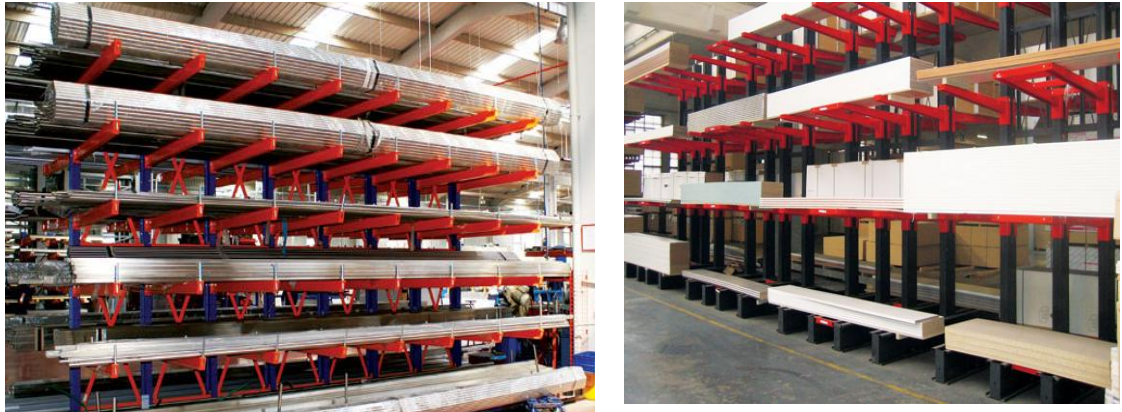
¹⁶ <http://www.ise.ncsu.edu/kay/mhetax/StorEq/> (Erişim: 24.12.2013)

¹⁷ <http://material-handling-blog.wh1.com/best-pallet-rack-drive-in-through/> (Erişim: 24.12.2013)



Şekil 2.13 Kayar ve geri itmeli raf sistemleri¹⁸

Konsol raflar, boru ve uzun ahşap malzeme ile metal ve ahşap plakaların depolanması için kullanılan bir raf çözümdür. Tek ve çift derinlikli raf sistemlerine benzeyen bu raf sisteminde ön taraftaki destek çubuklar ile rafın tabanını oluşturan metal levha elimine edilmiştir. Şekil 2.14’de konsol raf sistemi gösterilmektedir.

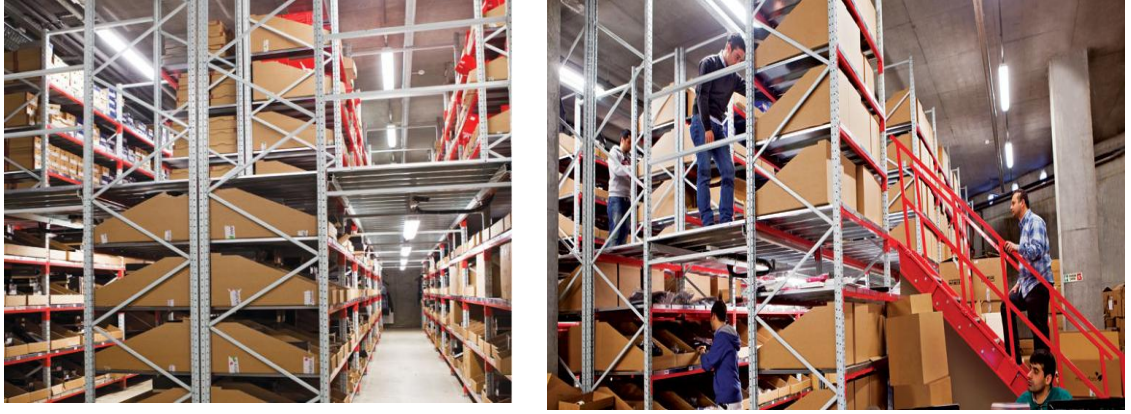


Şekil 2.14 Konsol raf sistemi¹⁹

Balkonlu raf sistemleri, depo içerisinde farklı amaçlarla ekstra alan oluşturmak için kullanılan sistemlerdir. Bu tür raf sistemleri ile yükseklikten maksimum derece faydalandığı için hacimsel olarak da daha çok depolama sağlanmış olmaktadır. Fazla sayıda ürünün ve yüksek ürün hareketliliğinin olduğu depolarda tercih edilen bir raf sistemidir. Şekil 2.15’te balkonlu bir raf sistemi gösterilmektedir.

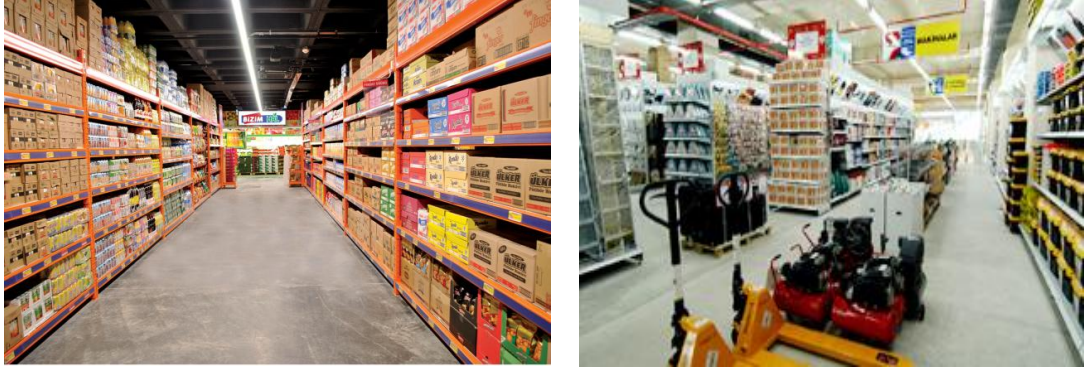
¹⁸ http://www.deporafsystemleri.org/geri_itmeli_olan_dinamik_depo_raf_urunu.html (Erişim: 24.12.2013)

¹⁹ http://www.ucge-drs.com/alt_kategori.asp?CatID=98&Cat=Konsollu-Depo-Raf-Sistemleri (Erişim: 25.12.2013)



Şekil 2.15 Balkonlu raf sistemi²⁰

Hafif ürün raf sistemleri, genellikle küçük hacimli, kutulu veya açık ürünlerin depolanmasında kullanılan raf sistemleridir. Küçük hacimli ürünlerin stoklandığı depolarda, toptancılarda, büyük market zincirlerinde ve yapı malzemesi satan marketlerde sıklıkla kullanılan bu raf sistemleridir. Şekil 2.16'da ülkemizde faaliyet gösteren, toptan ve perakende satış yapan bir market zincirinde kullanılan raf sistemleri gösterilmiştir.



Şekil 2.16 Hafif ürün rafları²¹

2.6.3. Taşıma Sistemleri

Hem manüel hem de otomatik sipariş toplama sistemlerinde malzeme ve ürün hareketini sağlayan başlıca unsurlar taşıma araçlarıdır. Ürünlerin buldukları raflardan veya depo içi konumlardan alınarak sevkiyat noktasına getirilmesi için kullanılan araç basit bir el arabası veya transpalet olabileceği gibi oldukça gelişmiş bir teknolojiye sahip bir AGV (otomatik kılavuzlu araç sistemleri), AS/RS sistemi veya otomatik

²⁰ http://www.ucge-drs.com/alt_kategori.asp?CatID=99 (Erişim: 25.12.2013)

²¹ www.bizimtoptan.com.tr (Erişim: 26.12.2013)

konveyör de olabilir. Kullanılacak taşıma sistemi depolanan ürünün özelliği ve firmanın finansal imkânlarına gibi kriterlere göre değerlendirilerek belirlenir.

Transpalet, palet üstü yüklerin hidrolik sistem ile kaldırılarak depo içerisinde yatay olarak hareket etmesini sağlayan basit bir taşıma aracıdır. İnsan gücü ile kontrol edilen manüel ve motor yardımı ile yükleme ve boşaltma işlemlerinin gerçekleştirildiği motor kontrollü transpalet türleri depolarda yaygın olarak kullanılır. İş ve ürün güvenliği için özellikle taşıma kapasitesi ile taşıma hızına dikkat edilmesi gerekir. Manuel ve motorlu transpalet örnekleri Şekil 2.17'de gösterilmiştir.



Şekil 2.17 Manüel ve motorlu transpalet²²

Forkliftler, transpaletlere göre daha ağır yüklerin kaldırılmasında kullanılan taşıma araçlarıdır. Malzeme kaldırma ve istifleme operasyonlarında en çok kullanılan mekanik malzeme elleçleme ekipmanı olan ve günümüzde birçok türü bulunan forkliftlerin farklı kapasitelere sahip çeşitleri depolarda yaygın olarak kullanılır (Jessop ve Morrison, 1994: 295). Açık alanlarda kullanım için benzin, dizel ve LPG ile çalışan türleri olan bu araçların iç mekân kullanımı için akümülatör ile çalışan modelleri de bulunmaktadır. Şekil 2.18'de LPG ve akümülatör ile çalışan forklift modelleri gösterilmektedir.



Şekil 2.18 Forklift²³

²² <http://www.transpalet.biz.tr> (Erişim: 26.12.2013)

²³ <http://forklifts.hyundai.eu/en/products/forklifts> (Erişim: 26.12.2013)

Konveyör sistemleri malzemenin belirli bir noktadan alınarak, işletme veya depo içerisinde yerden veya havadan taşınması için kullanılan sistemlerdir. Makaralı, bantlı, plakalı, zincirli ve asma konveyör gibi çeşitleri bulunan bu taşıma sistemi; çıktının yüksek, rotanın sabit, akışın sürekli ve engebeli zeminler veya çok kademeli operasyonlar gibi karakteristik özellikleri olan sistemler için uygundur. Konveyör sistemlerinin yüksek yatırım maliyeti, yaya ve araç trafiğine engel teşkil etmesi ve gelecekteki değişiklikler için esnek olmaması gibi dezavantajları da mevcuttur (Rusthon vd., 2006: 299). Şekil 2.19’da depolarda kullanılan konveyör sistemleri gösterilmektedir.



Şekil 2.19 Depolarda konveyör sistemleri²⁴

Vinçler özellikle çok ağır yüklerin taşınmasında kullanılan sistemlerdir. Kollu, gezer köprülü ve liman vinci gibi çeşitleri olan bu taşıma sistemlerinin büyük çoğunluğu elektrik enerjisi ile çalışır ve sabit kablolu, radyo veya kızıl ötesi dalgalarla kontrol edilen kumandalar veya operatörler tarafından yönlendirilirler (Rushton vd., 2006: 299). Depolarda kullanılan değişik vinç sistemleri Şekil 2.20’de gösterilmiştir.



Şekil 2.20 Depolarda kullanılan vinç sistemleri²⁵

²⁴ www.dliquidators.com (Erişim: 27.12.2013)

²⁵ <http://www.atoxgrupo.com/website/en/metal-shelving/automated-warehouses> (Erişim: 27.12.2013)

Otomatik depolama ve toplama sistemleri (AS/RS), karuseller, kutu ve parça toplama ekipmanları, konveyörler, robotlar ve tarama sistemleri günümüz depolarında kullanılan olağan ekipmanlar haline gelmiş ve bu ekipmanların kullanımı ile birçok işletme etkinlik ve verimlilik konusunda önemli gelişmeler sağlamıştır. Bu sistemlerin, operasyon maliyetlerinin azaltılması, servis düzeyinin artırılması ve daha doğru bilginin zamanında sağlaması bakımından birçok faydası olmasına karşın bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu sistemlerin kullanımında firmaların karşılaştıkları tipik problemler; yüksek ilk yatırım maliyeti, ekipmanın arıza süresi, bakım ve onarım kesintileri, yazılımla ilişkili problemler, kapasite problemleri, değişen çevre koşullarına karşı esnekliğin olmaması, bakım maliyetleri, kullanıcı ara yüzü/eğitimi, işçi kabulü ve kullanılan ekipmanın modasının geçmesidir (Stock ve Lambert, 2001: 449-450). Şekil 2.21’de otomatik depolama ve toplama sistemleri olan kullanılan ekipmanlar gösterilmektedir.



Şekil 2.21 AS/RS sistemleri²⁶

2.7. DEPOLARDA VERİMLİLİK

Verimlilik; bir üretim ya da hizmet sisteminin ürettiği çıktı ile bu çıktıyı yaratmak için kullandığı girdi arasındaki oransal ilişki ile hesaplanır. Verimlilik ürün veya hizmetin üretiminde kullanılan emek, sermaye, arazi, malzeme, enerji, bilginin etkin kullanımı olarak tanımlanabilir. Lojistikte maksimum etkinliği sağlamak için lojistik sisteminin bütün bileşenleri en üst düzeyde çalıştırılmalıdır. Bunun anlamı özellikle depolama alanlarında en üst düzey verimlilik sağlamak zorundadır. Verimlilik depo sisteminde firma için maliyet düşüşü, müşteri için ise yüksek hizmet

²⁶ <http://www.mhi.org/as-rs> (Erişim: 27.12.2013)

seviyesi sağlanması bakımından önemlidir (Stock ve Lambert, 2001: 423). Verimliliği arttırmak için yöntem, donanım, sistem ve personel ile ilgili yapılabilecek iyileştirmeler Çizelge 2.4'te sunulmaktadır.

Çizelge 2.4 Depo verimliliğini attırabilecek çalışmalar

YAPILABİLECEK ÇALIŞMALAR	
YÖNTEM	<ul style="list-style-type: none"> • Dar geçit ekipmanları ve raflarının kullanımı ile depolama kapasitesinin artırılması, • Belirli bir sayıdaki ürün için ihtiyaç duyulan geçit ziyaret sayısını azaltmak için malzemelerin çok kademeli ve hareketli kutu veya raflara konması, • Depo içerisindeki dolaşım süresi ve mesafesinde tasarruf sağlamak için yüksek talebe sahip ürünlerin kabul ve sevkiyat noktalarının yakınına konumlandırılması, • Ekipman ve personel kullanımının maksimize edilmesi için benzer işlemler gerektiren ürünlerin depo içerisinde aynı alan konması, • Çalışanların performans standartlarının artırılabilmesi için iş basitleştirme prosedürlerinin geliştirilmesi, • Seyrek olarak toplanan düşük talepli ürünler için grup toplama yönteminin kullanımı, • Ekipman kullanımının maksimizasyonu için hem depo içi dağıtım hem de toplama işlemleri için malzeme işleme ekipmanlarının kullanımı, • Ürün işleme ihtiyacının ve taşıma hasarlarının azaltılabilmesi için streç film ile sıkıca sarma, • İşçilik maliyetlerinin ve envanter bulunurluğunun iyileştirilmesi için yıllık fiziksel envanterde kısıtlamaya gitmek yerine dönemsel envanter sayımın kullanımı, • Modası geçmiş ürünlerin incelenmesi ve hangi ürünlerin envanterden çıkarılacağı belirlenmesi için yapılacak olan çalışmalar, • Kuruluş yeri kötü olan veya çalışması ekonomik olmayan depoların kapatılması.
DONANIM	<ul style="list-style-type: none"> • Otomatik bir depoda paketlerin kontrol ve rotalanması için elektronik tarayıcıların kullanımı, • Lokasyon hatalarını azaltmak ve işgücü verimini arttırmak için otomatik etiketleyicilerin kullanımı, • Parçaların arama zamanının azaltmak için online bilgisayar sıralamalı dağıtım ve toplama listelerinin oluşturulması, • Malzeme işleyen personel ile diğer depo personelinin iletişimi için sabit bağlantıya izin vermek, • Bilgi transfer hızının ve doğruluğunun artırılması için depo operasyonlarının tamamında bilgisayarın kullanımı, • İşçilik maliyetlerini azaltmak ve verimliliği arttırmak için depo operasyonları otomatik veya yarı otomatik olarak gerçekleştirilmesi.
SİSTEM	<ul style="list-style-type: none"> • Bilgisayar rotalayıcı/lokasyon sistemlerinin deponun etkinliğinin ve verimliliğinin artırılması için kullanımı, • Hesaplanan iş standartlarına göre işçinin etkinliğinin gösterilmesi, • Parçaların kendilerine ayrılmış olan alanlardan alınarak merkezi bir yerde birleştirilmesi, • Deponun blok olarak kullanımını arttırmak için parçaların bilgisayar desteği ile depo alanına rastgele olarak atanması,
MOTİVASYON	<ul style="list-style-type: none"> • Çalışan verimliliği ve etkinliğinin artırılabilmesi için periyodik olarak anahtar depo operasyonları ile ilgili olarak eğitimlerin verilmesi. • İş geliştirme programları, • Teşvik ve ödül sistemlerinin uygulanması.

Kaynak: (Stock ve Lambert, 2001: 423-425)

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

DEPO İÇİ SİPARİŞ TOPLAMA FAALİYETİ

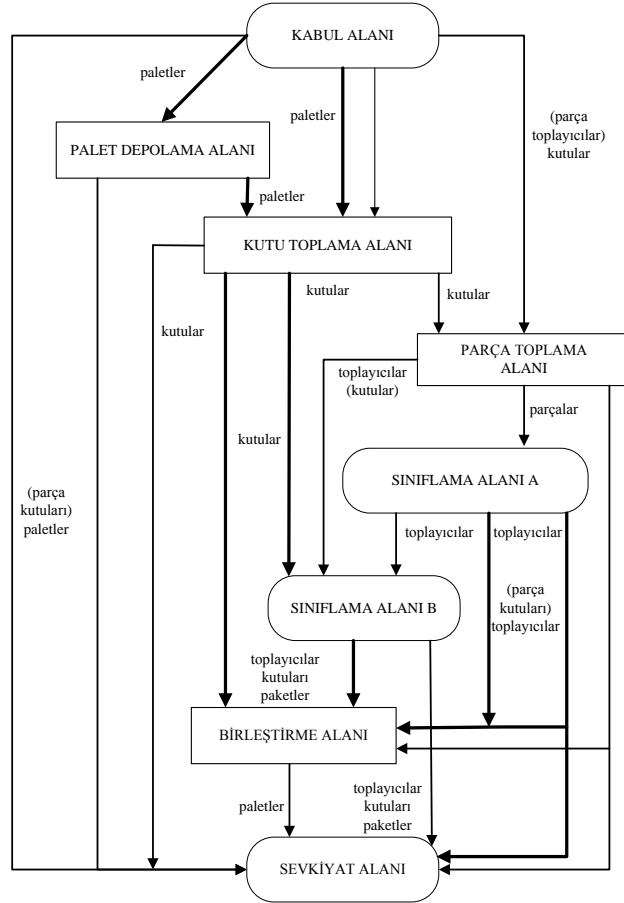
Müşteri ihtiyaçlarının, depo alanı kullanımının, stok düzeyinin, depo ve dağıtım maliyetlerinin ve gelişen bilgi teknolojilerinin sağlıklı bir şekilde yönlendirilmesi başarılı bir depo yönetiminin başlıca şartıdır. Depo yönetim sisteminde depolanacak olan hammadde, yarı mamul veya ürünün uygun şekilde depolanması ve müşteriden istek geldiğinde hızlı bir şekilde hazırlanarak sevkiyatın yapılması lojistik zincirinin etkinliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Sipariş hazırlama faaliyetinin lojistik zinciri üzerindeki böyle önemli bir etkiye sahip olması, depo yöneticilerinin siparişleri en ekonomik şekilde toplama ve dolaşım mesafesi ile dolaşım süresini minimize etme konularına odaklanmalarını sağlamaktadır.

Planlama ve depo kontrolü sipariş hazırlama süreci için kritik öneme sahip olan faaliyetlerin başında gelmektedir. Manüel sipariş toplama sistemlerinde depo alanı atama, alanlara ayırma, sipariş birleştirme, envanter yönetimi gibi konular planlama başlığı altında değerlendirilirken, gruplama ve toplayıcı rotalama gibi günlük faaliyetler kontrol konuları arasında yer alır. Deponun etkili planlama ve kontrolü yapılmaksızın sipariş toplama sisteminin verimliliğinden bahsetmek mümkün değildir. Sipariş toplama faaliyeti özellikle manüel sipariş toplama sistemleri için işgücünün en yoğun kullanıldığı bir faaliyettir. Bu faaliyetin toplam depolama maliyetinin %55'lik kısmını oluşturduğu tahmin edilmektedir (Roodbergen ve De Koster, 2001a: 32). Bazı çalışmalarda bu oranın %60-65 düzeyinde olduğu belirtilmektedir (Henn vd., 2010; Drury, 1988; Coyle vd., 1996). Dolayısıyla maliyetleri düşürmek isteyen depo yöneticileri ve depo konusunda çalışmalar yapan akademisyenler açısından sipariş toplama faaliyeti dikkat çekici bir çalışma alanıdır (Şahin ve Kulak, 2013: 142). Bu bölümde sipariş toplama sistemleri ve sipariş toplama problemi ile ilgili konular ele alınmış ve mevcut literatür sunulmuştur.

3.1. SİPARİŞ TOPLAMA

Günümüzde işletmeler, depolarda ve dağıtım merkezlerinde maliyetleri düşürme ve verimliliği arttırmanın yollarını aramaktadırlar. Müşterilerin ihtiyaçlarının

karşlanması için talep ettikleri ürünlerin depo içerisinde buldukları stok veya istif alanlarından alınarak sevkiyat noktasına getirilmesi işlemi olan sipariş toplama, bu işlemin elle yapıldığı depolarda yüksek işçilik, otomatik yapıldığı depolarda ise yüksek ilk yatırım maliyetine yol açar (De Koster vd., 2006: 481). Depoya teslimlerinin ardından ilgili stok alanlarına dağıtılan ürünler müşteriden sipariş gelmesi durumunda bu noktalardan alınarak toplama alanlarına taşınırlar. Depo alanlarından getirilen bu parçalar müşteri siparişi dikkate alınarak düzenlenir ve sevkiyata hazır hale getirilir. Depolanan ürünlerin türüne göre depolama ve sipariş toplama sistemleri farklılık gösterir. Ürünler stok alanlarından ayrı parçalar halinde, kutu içerisinde veya palet üzerinde toplanabilir. Klasik bir sipariş toplama sisteminin genel yapısı Şekil 3.1’de gösterilmektedir.

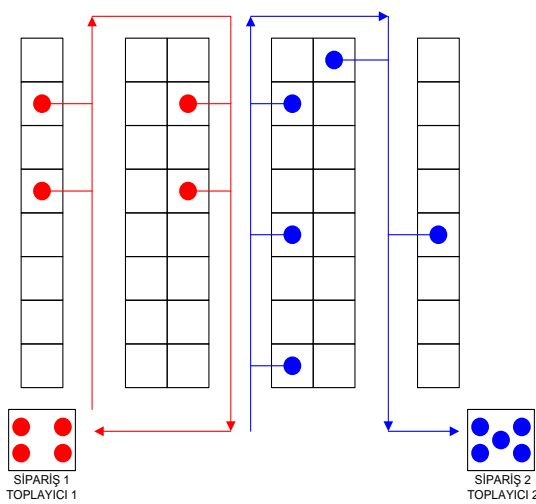


Şekil 3.1 Sipariş toplama sisteminin genel yapısı

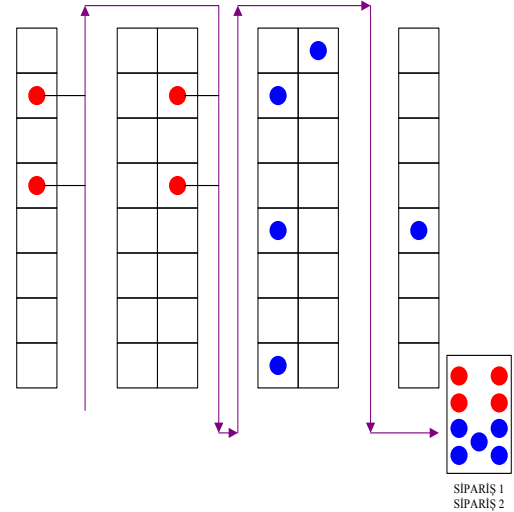
Kaynak: (Choe ve Sharp, 1991)

Sipariş toplamanın depolama faaliyetleri içindeki etkisinin tartışıldığı bir ortamda yeni sorunlar ortaya çıkmaktadır. Birden fazla siparişin tek bir grup içerisinde toplanması toplama verimini artırırken, küçük miktarlarda ama sık siparişler veren

müşterilerin siparişleri grubun toplanmasını beklediği için gecikebilmektedir. Toplanan siparişlerin sınıflanmasının zaman alması ve siparişlerin geliş sırasının da toplama işleminde dikkate alınması gerekliliği yeni problemleri de beraberinde getirmektedir. Bu sorunların aşılabilmesi için depo yöneticileri ve araştırmacılar yeni sipariş toplama sistemleri ve sipariş toplama politikaları geliştirme konusunda çeşitli çalışmalar yapmaktadırlar. Tüm bu sorunlara rağmen siparişlerin gruplar halinde toplanması hala toplama verimini önemli ölçüde artıran bir stratejidir. Toplama aracının kapasitesinin yeterli olduğu durumlarda toplayıcının bir turda birden fazla siparişi toplayarak sevkiyat noktasına taşınması dolaşım mesafesini ve dolaşım süresini minimize eden bir yaklaşımdır. Şekil 3.2 ve 3.3'te sırasıyla tek sipariş toplama ve grup sipariş toplama durumları gösterilmektedir.



Şekil 3.2 Tek sipariş toplama



Şekil 3.3 Grup sipariş toplama

Herbir müşteri siparişinin toplama aracının kapasitesini dolduracak kadar büyük olması halinde “tek sipariş toplama” veya “ayrı ayrı sipariş toplama” yöntemi ile her turda tek bir sipariş toplanabilir. Temel sipariş toplama yöntemi olan tek sipariş toplama kolay anlaşılabilmesi ve uygulanabilmesi nedeniyle yaygın bir kullanıma sahiptir. Tek sipariş toplama yönteminde sipariş toplayıcı bir sipariş toplama turunda sadece bir sipariş toplar. Bu yöntemi kullanmanın avantajı, sipariş geldiği andan itibaren müşteri cevap süresinin kısa olması ve doğru parçaların toplanıp toplanmadığının anında kontrol edilebilmesidir. Dezavantajı ise toplam dolaşım mesafesi bakımından diğer sipariş toplama yöntemleri ile karşılaştırıldığında oldukça verimsiz bir sipariş toplama yöntemi olmasıdır.

Sipariş toplama aracının aynı anda birden fazla siparişi toplayabilecek büyüklükte bir kapasitesi olması halinde kullanılacak siparişlerin gruplanarak toplanması stratejisi verimliliği büyük ölçüde arttıracak etkili bir yöntemdir. *Sipariş gruplama* bir turunda birlikte toplanacak siparişlerin kümesini belirleme işlemidir. Toplama mesafesini kısaltmak suretiyle toplama verimliliğinde önemli oranda artış sağlanması sebebiyle çok tercih edilen bir sipariş toplama yöntemidir. Siparişler birbirine olan yakınlıkları ve geldikleri zaman dilimi dikkate alınarak belirlenebilir. Yakınlığın dikkate alınması durumunda, bir sipariş depo içerisinde bulunduğu konumdan alındıktan sonra ziyaret edilecek diğer nokta, diğer siparişlerin bu siparişe olan uzaklıkları dikkate alınarak yapılabilir.

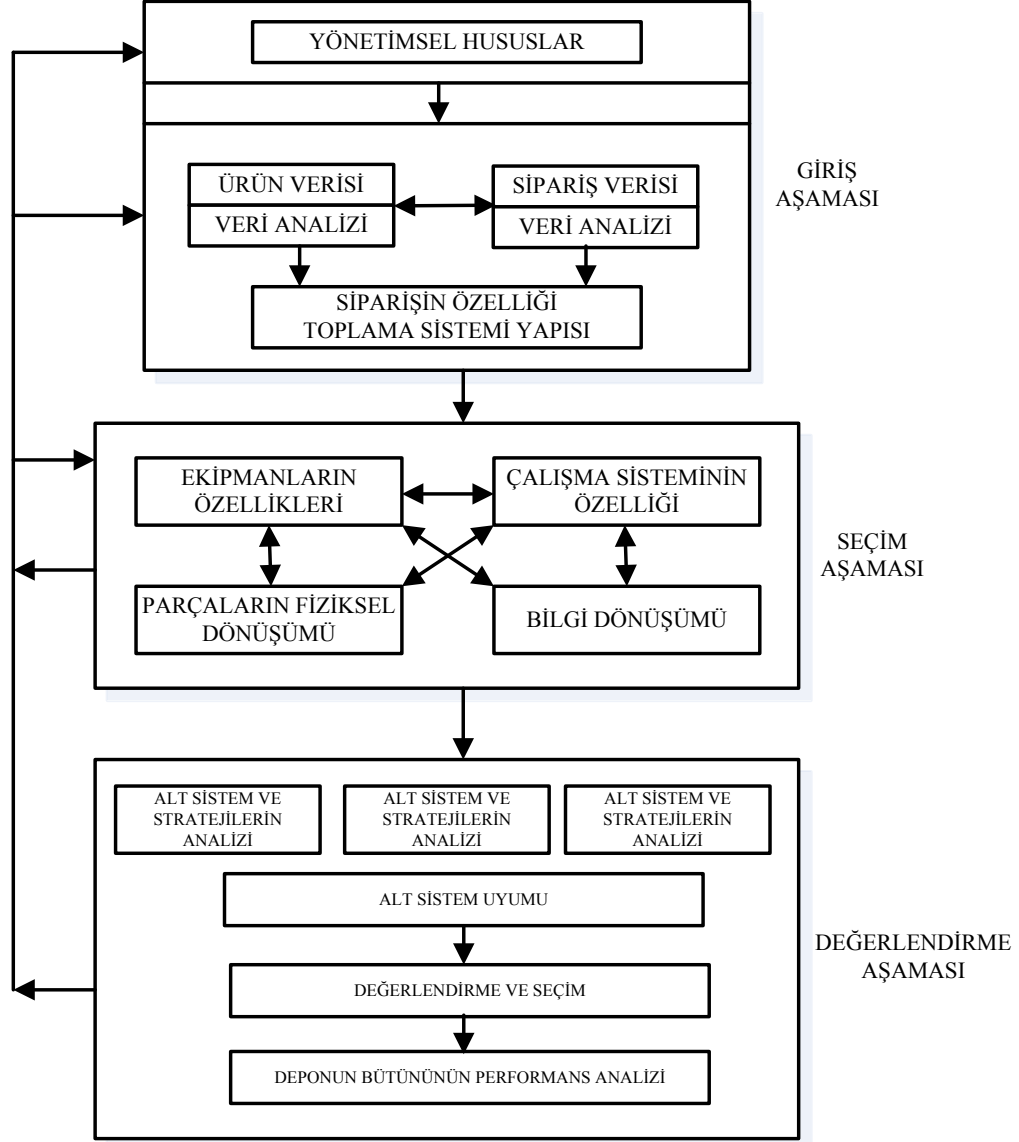
3.2. SİPARİŞ TOPLAMA SİSTEMLERİ

Modern depoların birçoğunda sipariş toplama gerçekleştirilen ana faaliyetlerden bir tanesidir. Sipariş toplama süreci tipik olarak müşteri tarafından talep edilen ürünlerin depo içerisinde bulunduğu noktadan alınması faaliyetidir. Sipariş toplama süreci, sipariş toplayıcıya deponun giriş-çıkış noktasında hangi siparişlerin hangi sıra ile toplayacağını gösteren sipariş listesinin ulaştırılması ile başlar. Siparişlerin toplanması için yapıya bağlı olarak insan ya da otomatik makine sistemleri kullanılmakla birlikte, çoğunlukla insan kullanılmaktadır.

3.2.1. Sipariş Toplama Sisteminin Tasarlanması

Sipariş toplama sisteminin tasarımı ürünler, müşteri siparişleri, farklı türde fonksiyonel alanlar, donanım tiplerinin farklı birleşimleri ve her bir fonksiyonel alan için uygulanan operasyonel politikalar gibi bileşenler nedeniyle oldukça karmaşık bir süreçtir. Bu sistemin tasarımı için yapılan en kapsamlı çalışma, yukarıdan aşağıya ayrıştırma ve aşağıdan yukarıya modifikasyona dayalı bilişsel bir izlek (prosedür) geliştiren Yoon ve Sharp (1996) tarafından yapılmıştır. Sipariş toplama sisteminin tasarım sürecini giriş, seçim ve değerlendirme aşaması olarak üç parçaya ayırmışlardır. **Giriş aşamasında**, yönetimsel konular (bütçe ve proje süresi), operasyonel kısıtlamalar (mevcut toplan alan, tavan yüksekliği, vardiya sayısı), müşteri siparişi ve ürünlerle ilgili işlem verileri dikkate alınır. **Seçim aşamasında** tasarımcı donanım türüne (raf ve

toplayıcı), operasyon stratejilerine, taşıma yöntemleri ve bilgi transferi gibi konulara karar vermek durumundadır. *Nihai değerlendirme aşamasında* ise tasarımcının farklı alt sistemler arasındaki nicel ve nitel uyumu sağlaması gerekir. Belirtilen bu izlek Şekil 3.4'te gösterilmektedir (Dallari vd., 2009: 2).

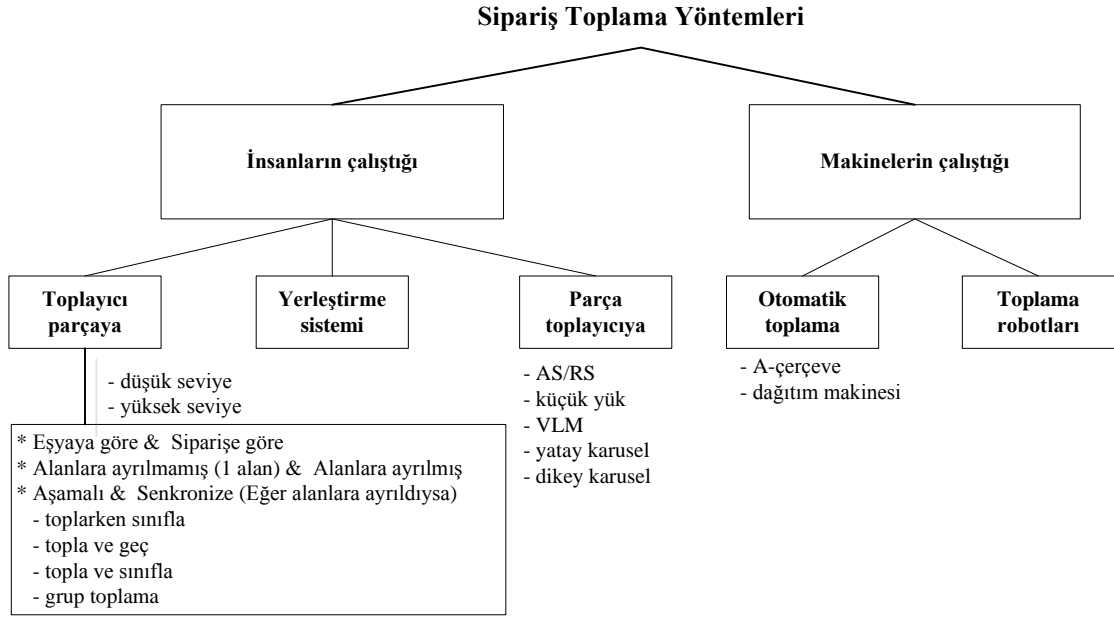


Şekil 3.4 Sipariş toplama sistemi tasarım prosedürü

3.2.2. Sipariş Toplama Yöntemleri

Depolama ve sipariş toplama temel depo operasyonlarıdır. Depoların verimliliği depolama ve sipariş toplama için kullanılan yöntemlere sıkı sıkıya bağlıdır. Bu noktada önemli olan en uygun yöntemin hangisi olduğunun belirlenmesidir. Birbirinden farklı özellikte ürünlerin depolandığı depo sistemlerinde aynı anda birden fazla sipariş

toplama sistemi kullanılabilir. Sipariş toplama sistemleri genel olarak insan ve makinenin çalıştığı sistemler olmak üzere ikiye ayrılır. Depoların çoğunda sipariş toplamak için insanlardan faydalanılır. İnsanların çalıştığı bu depolarda ise toplayıcının parçaya gittiği sipariş toplama yöntemi daha yaygındır. Sipariş toplama yöntemleri Şekil 4.5'te gösterilmektedir (De Koster vd., 2007: 485-486).



Şekil 3.5 Sipariş toplama sistemlerinin sınıflandırılması

Piyasada çok sayıda depolama ve toplama teknolojisinin olması nedeniyle bu seçim özellikle deneyimsiz kişiler için oldukça güçtür. Bu teknolojilerin seçimi, ürün yelpazesinin nicel ve nitel özellikleri ile işgücü oranına bağlıdır. Yüksek işçilik maliyetleri ve yüksek çıktı miktarı otomatik sipariş toplama ve depolama sistemleri ile birlikte tarayıcı, mobil terminal, ses tanıma donanımları gibi yüksek seviyeli teknolojinin kullanımını gerektirir. Hacim ve sipariş yoğunluğu olarak düşük hacimli olan depolarda daha çok sipariş bazında toplama tercih edilir. Az sayıda siparişin işlendiği depolarda sipariş toplayıcılar aynı siparişin farklı parçalarının toplanması için görev yapabilir. Fakat çıktı hacminin oldukça büyük olduğu depolarda sipariş bazlı toplama yapmak olanaksız bir durumdur. Bu tür sistemlerde birden fazla siparişin bir grup içerisinde toplandığı grup toplama yöntemi seçilmelidir. Sipariş toplamanın makineler tarafından yapıldığı sistemde ise parçaların depodaki konumlarına yerleştirilmesi ve geri alınması işlemleri AS/RS makineleri tarafından gerçekleştirilmektedir.

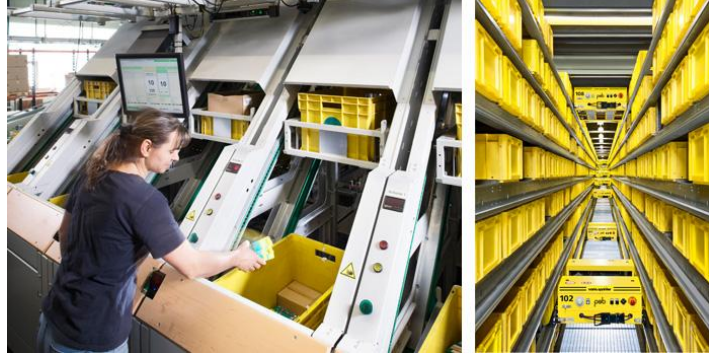
Toplayıcının parçaya gittiği sipariş toplama sistemlerinde ürünlerin depo içerisinde buldukları konumdan alınarak giriş çıkış noktasına getirilmesi işlemi sırasında hareketli olan sipariş toplayıcıdır. Bu sistemler düşük seviye ve yüksek seviye olarak ikiye ayrılır. Düşük seviye sipariş toplama sisteminde sipariş toplayıcı istenen ürünleri buldukları raf veya kutulardan geçitleri içerisinde dolaşarak toplar. Yüksek rafların kullanıldığı diğer sistemde ise sipariş toplayıcı parçaları asansörlü sipariş toplama aracı veya vinç yardımıyla toplar. Bu sistemde kullanılan vinçler sipariş toplama noktasına geldiğinde otomatik olarak durur ve sipariş toplayıcı parçayı alıncaya kadar beklerler. Bu tip sistemler yüksek seviyeli veya araçlı adam sipariş toplama (man-board order picking) sistemleri olarak adlandırılır (De Koster vd., 2006: 483). Şekil 3.6'da toplayıcının parçaya gittiği sipariş toplama sistemi gösterilmektedir.



Şekil 3.6 Toplayıcının parçaya gittiği sipariş toplama sistemi²⁷

Parçanın toplayıcıya geldiği sipariş toplama sistemlerini oluşturan mantıksal bileşenler depolama alanı, ileri alan ve ikisinin bağlantısını sağlayan ve "besleme sistemi" olarak adlandırılan konveyör gibi malzeme elleçleme sistemleridir. İleri alan sipariş toplama bölümlerinden oluşur. Belirli sayıda siparişin hazırlanması için talep edilen birim yükler depo içerisinde buldukları noktalardan alınarak toplama alanına getirilirler. Her bir sipariş toplama bölümünde birim yüklerin alınması için bir sipariş toplayıcı bulunur. Bu sistem işçilik saati ve depolama alanı bakımından oldukça avantajlı bir sistemdir. Şekil 3.7'de parçanın toplayıcıya geldiği bir sipariş toplama sistemi gösterilmektedir.

²⁷ <http://www.assemblymag.com/articles/91189-flow-racks-clear-growth-path-for-canadian-auto-plant>



Şekil 3.7 Parçanın toplayıcıya geldiği sipariş toplama sistemi²⁸

Sipariş dağıtım veya yerleştirme (put systems) sistemlerinde, siparişler buldukları raflardan toplayıcı-parça veya parça-toplayıcı sipariş toplama yöntemlerinden biri kullanılarak getirildikten sonra toplayıcılar tarafından müşteri siparişleri doğrultusunda sipariş içerisinde bulunan diğer parçalarla birlikte müşteriye gönderilmek üzere kutu içerisine konulur. Bu sipariş toplama sistemi özellikle kısa sürede çok sayıda müşteri siparişinin hazırlandığı firmalarda popüler bir yöntemdir. Amazon firmasına ait Almanya deposu buna örnek olarak verilebilir (De koster vd., 2006: 484). Şekil 3.8’de bir sipariş yerleştirme sistemi gösterilmektedir.



Şekil 3.8 Sipariş yerleştirme sistemleri²⁹

Otomatik makinelerin ve robotların kullanıldığı sistemler, sipariş toplama verimini ve doğruluğunu artırması, yüksek müşteri hizmet seviyesi sağlaması ve konvansiyonel depolarla karşılaştırıldığında depolama alanından önemli ölçüde tasarruf sağlaması gibi nedenlere günümüzde kullanımı her geçen gün artan sistemlerdir. Hacim, parça yoğunluğu ve gerçekleştirilen katma değerli faaliyetler bu tarz sistemlerin

²⁸ http://www.expo21xx.com/automation21xx/17853_st2_mobile-robots/default.htm

²⁹ <http://www.directindustry.com/prod/knapp/digital-order-picking-systems-13910-810047.html> (Erişim:03.10.2013)

seçiminde kullanılan kriterlerden bazılarıdır. Günümüzde sipariş toplama sistemleri hakkında yapılan bilimsel çalışmalar yatırım ve işletim maliyeti nedeniyle daha çok otomatik sistemlerle ilgilidir. Bu çalışma kapsamında yoğun kullanım nedeniyle manüel sipariş toplama sistemlerindeki sipariş toplama problemi ele alınmıştır.

3.3. SİPARİŞ TOPLAMA PROBLEMİ

Geleneksel bir depo ortamında sipariş toplama problemi, bir tur veya gruba ait olan siparişlerin içerisinde bulunan parçaların depolandığı noktalardan alınırken izlenecek olan ziyaret sırasını belirleme problemidir. Bu özelliği nedeniyle Gezgin Satıcı Problemi olarak ele alınan sipariş toplama problemi, “sipariş toplayıcı veya toplama aracının, tur veya grupta yer alan siparişlere ait ürünleri ilgili alanlardan toplaması” şeklinde de ifade edilebilir. Giriş-çıkış veya yükleme-boşlatma noktasında başlamak üzere, toplayıcı özel bir sıraya göre listede yer alan siparişleri topladıktan sonra tekrar giriş-çıkış noktasına geri döner. Sipariş toplayıcının bir turda topladığı siparişlerin tamamına sipariş grubu adı verilir.

Depo yöneticileri, depo sisteminin çıktı miktarını artırabilmek için bir tur veya grupta bulunan siparişlerin toplanması için gerekli olan süreyi minimize etme adına en uygun toplama sırasını belirlemeye çalışırlar. Talep edilen ürünler toplama araçlarının mevcut kapasitesi dikkate alınarak depo içerisinde buldukları konumlardan toplanırlar. Toplama aracı kapasitesinin tanımlanması için literatürde müşteri siparişlerinin sayısı (Le Duc ve De Koster, 2007) ve parça sayısı (Henn vd., 2010, Bozer ve Kile, 2008) gibi kriterler kullanılmaktadır.

Won ve Olafsson (2005)’a göre, kapasiteyi aşmayacak şekilde siparişlerin gruplara atanması problemi kutu paketleme (bin packing) problemi ile eşdeğerken, gruplarda yer alan parçaların toplama sırasının belirlenmesini Gezgin Satıcı Problemi ile eşdeğerdir. Bu sebeple bütünleşik sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama problemi, Kutu Paketleme ve Gezgin Satıcı Problemleri olarak ele alınmış ve bir matematiksel model önermiştir. Won ve Olafsson (2005)’in önermiş olduğu matematiksel model uyarlanmıştır (Kulak vd., 2012: 57-58).

Karar Değişkenleri ve Parametreler:

$$x_k^b = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } k \text{ siparişi } b \text{ grubuna atanırsa,} \\ 0, & \text{Aksi takdirde,} \end{cases}$$

$$y_{ij}^b = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } b \text{ grubunda } i \text{ konumu } j \text{ konumundan hemen sonra ziyaret edilirse,} \\ 0, & \text{Aksi takdirde,} \end{cases}$$

C: Araç kapasitesi

w_k : k siparişinin ağırlığı

P_k : k siparişindeki parça sayısı (Her sipariş en az bir adet olmak üzere birden fazla parça içerebilir)

u_i, u_j : Bir turdaki i ve j konumları için oluşturulmuş geliş ve gidiş sayıları

d_{ij}^b : b grubunda i ve j konumları arasındaki mesafe,

n : Sipariş sayısı

b : Oluşturulan grup sayısı

$$\min Z = \sum_{b=1}^B \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m d_{ij}^b y_{ij}^b \quad (3.1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^m y_{ij}^b = 1 \quad \forall j, \forall b \quad (3.2)$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m y_{ij}^b = 1 \quad \forall i, \forall b \quad (3.3)$$

$$u_i - u_j + n \cdot y_{ij}^b \leq m - 1 \quad 2 \leq i, j \leq m, \forall b \quad (3.4)$$

$$\sum_{k=1}^n w_k x_k^b \leq C \quad \forall b \quad (3.5)$$

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^m \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m y_{ij}^b = \sum_{k=1}^n P_k x_k^b, \quad \forall b \quad (3.6)$$

$$\sum_{b=1}^B X_k^b = 1 \quad \forall k \quad (3.7)$$

$$y_{ij}^b, X_k^b = 0 \text{ veya } 1 \quad (3.8)$$

Amaç fonksiyonu (3.1) siparişlerin toplanması için depo içerisinde dolaşılacak toplam mesafenin en az olmasını ifade etmektedir. (3.2) ve (3.3) numaralı kısıtlar her turdaki depo konumları için bir gelişin ve bir gidişin olduğunu göstermektedir. (3.4)

numaralı kısıt ise oluşturulan bir grup içinde sadece tek bir turun olmasını garanti etmektedir. (3.5) numaralı kısıt ile gruba atanan siparişlerin toplam ağırlığının araç kapasitesini aşamayacağı ifade edilmektedir. Matematiksel modeldeki (3.6) numaralı kısıt ise bir sipariş grubu için turdaki toplam ziyaret sayısının o sipariş grubundaki toplam parça sayısına eşit olmasını göstermektedir. Sipariş toplama problemlerinde her sipariş en az bir adet olmak üzere birden fazla parça içerebilir. Depoda tanımlı konumlar her parça için olup, sipariş gruplama sırasında hiçbir sipariş bölünemez. Dolayısı ile toplayıcı rotalaması gerçekleşirken gruplanan siparişlere ait tüm parçalar için depodaki konumları ziyaret edilir. Modelde her bir siparişin mutlaka bir gruba atanması koşulunu (3.7) numaralı kısıt sağlar. Nihai olarak (3.8) numaralı kısıt ile tüm değişkenlerin 0 ya da 1 tamsayı değerini alacağı garanti edilmektedir.

3.3.1. Sipariş Gruplama Problemi

Aynı tur içerisinde toplanması gereken siparişlerin belirlendiği problem olan sipariş gruplama problemi, dolaşım mesafesini ve depo maliyetlerini azalttığı için depo operasyonları yönetiminde ele alınması gereken konular içerisinde yüksek bir önceliğe sahiptir. Siparişlerin gruplanarak toplanması stratejisi, seyahat süresi ve dolaşım mesafesini azaltarak depo verimliliği arttırması bakımından oldukça popüler bir stratejidir. Gruplama probleminde ele alınan esas konu grup oluşumu iken sipariş toplama probleminde toplayıcının rotalaması (ziyaret sırası) konusu da dikkate alınmaktadır. Toplayıcının parçaya gittiği sistemlerde siparişleri gruplamak için her bir sipariş bir gruba atanmak suretiyle araç kapasitesi dikkate alınarak sipariş grupları oluşturulur.

Geleneksel yolla çözülemeyecek, en az her bir NP problem kadar zor olan problemler NP-Zor problem olarak sınıflandırılır. Gezgin satıcı problemi, sırt çantası problemi ve kutu paketleme gibi problemler NP-Zor sınıfına giren problem türleridir. Sipariş gruplama problemi de yine uygulamada çözümü zor olan NP-Zor sınıfı bir problem olup, literatürde bu problem için geliştirilen yöntemlerin büyük bir çoğunluğu sezgisel yöntemdir. Sipariş gruplama sezgiselleri tasarruf ve çekirdek algoritmalar olarak iki gruba ayrılır. Çekirdek algoritmalar ilk olarak grup için bir siparişi çekirdek sipariş olarak belirler ve araç kapasitesini dikkate alarak diğer siparişleri bu çekirdek siparişin yanına ekleyerek sipariş gruplarını oluşturur. Bu algoritmaların gruplamada

gösterdikleri performans, ortak lokasyon sayısı (Elsayed, 1981), birleştirilmiş lokasyon sayısı (Elsayed, 1983), ortak kapsamdaki bölge ve alanlar (Hwang vd., 1988) vb. yakınlık kurallarına bağlı olarak değişiklik gösterir. Literatürde kullanılan yakınlık kuralları Çizelge 3.1’de gösterilmiştir. Ho ve Tseng (2006) çekirdek sipariş belirleme için 9 ve siparişleri gruba atamak için 10 kriter belirleyerek iki çapraz geçitli ve bir giriş-çıkış noktalı depo sistemi için gruplama performanslarını karşılaştırmıştır.

Çizelge 3.1 Gruplama için sipariş yakınlığı ölçümleri

Sıra	Yakınlık ölçütü	Çalışmalar
1	İki sipariş arasındaki ortak konum sayısı	Elsayed (1981)
2	İki siparişin toplam konum sayısı	Elsayed ve Stern (1983)
3	Bir siparişin her konumu ve diğer siparişin en yakın konumu arasındaki toplam mesafe	Elsayed ve Stern (1983)
4	Boşluk doldurma eğrileri esaslı tanımlanmış iki siparişin sipariş-teta değerlerinin farkı	Gibson ve Sharp (1992)
5	İki sipariş birleştirildiğinde uğranılacak ek geçitlerin sayısı	Rosenwein (1996)
6	İki sipariş birleştirildiğinde elde edilecek seyahat kazancı	Elsayed ve Ünal (1989)
7	Ağırlık merkezi ölçüsü	Rosenwein (1996)
8	Ekonomik dışbükey tabanlı ölçüm	Hwang ve Lee (1998)
9	Ortak kapsamdaki bölge ve alanlar	Hwang vd., (1988)

Kaynak: (Gu vd., 2007: 12)

Tasarruf algoritmaları Clarke ve Wright (1964) tarafından araç rotalama problemi için geliştirilen algoritmaya dayanır. Bu algoritma her siparişi ayrı bir gruba atayarak başlar, daha sonra seyahat mesafesi ile ilgili kazançları dikkate alarak siparişleri birleştirir. Sipariş grupları oluşturulurken toplama aracı kapasitesi dikkate alınır. De Koster vd., (1999) sipariş toplayıcının parçaya gittiği sipariş toplama sistemleri çekirdek ve tasarruf algoritmalarını kullanarak karşılaştırma yapmıştır. Bu karşılaştırma neticesinde, tasarruf algoritmalarının en büyük boşluk (largest gap), çekirdek algoritmalarının ise S-şekilli rotalama yöntemi ile kullanıldığında daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Rosenwein (1996), sipariş gruplama problemi için tasarruf sezgiselini de içeren bir dizi sezgisel yöntemi karşılaştırmıştır. Bu çalışmada, minimum ek geçit ve ağırlık merkezi mesafe ölçütü olmak üzere bir çift ölçüt sipariş çiftlerinin yakınlığını değerlendirmek için kullanmıştır. Çizelge 3.2’de çekirdek ve tasarruf algoritmalarını kullanan çalışmalar ve sipariş yakınlık kuralları gösterilmektedir.

Çizelge 3.2 Türe göre sipariş gruplama sezgiselleri

ÇEKİRDEK ALGORİTMA		TASARRUF ALGORİTMASI	
Çalışmalar	Yakınlık Ölçütü	Çalışmalar	Yakınlık Ölçütü
Elsayed (1981)	(1)	Rosenwein (1996)	(5), (7)
Elsayed ve Stern (1983)	(1),(2),(3)	Hwang ve Lee (1988)	(8)
Elsayed ve Ünal (1989)	(6)	Elsayed ve Ünal (1989)	(6)
Gipson ve Sharp (1992)	(3, 4)	De Koster ve diğ. (1999)	(6)
Hwng ve Lee (1988)	(8)		
Pan ve Liu (1995)	(9)		
Gibson ve Sharp (1992)	(3), (4)		
Pan ve Liu (1995)	(1), (3), (4), (6)		
De Koster ve diğ.(1999)	(3), (5), (6), (7)		

Kaynak: (Gu vd., 2007: 12)

Daha önce de belirtildiği gibi siparişlerin gruplanması için geldikleri zaman aralığı (zaman penceresi) de bir ölçüt olarak kullanılabilir ve bu gruplamaya zaman pencereci sipariş gruplama adı verilir. Aynı zaman aralığında (zaman penceresi) gelen siparişler zaman pencereci gruplama ile alt gruplara ayrılabilir. Sipariş gruplamada sipariş yakınlık ölçütünün kullanımı depo içi dolaşım mesafesi ve çıktı miktarını optimize ederken, zaman pencereci gruplama ise siparişlerin termin (son teslim zamanı) performansını optimize eder. Tang ve Chew (1997), Chew ve Tang (1999) ve Le-Duc ve De Koster (2005, 2007) sipariş toplayıcının parçaya gittiği ve sipariş gelişlerinin stokastik olduğu sipariş toplama sisteminde değişken zaman pencereci sipariş gruplama konusunu ele almışlardır. Bu çalışmalarda, sipariş grubunun boyutunu sabit tutmak için gruplama problemi bir servis sistemi ve olasılık modeli olarak modellenmiştir. Ayrıca, siparişler toplama gruplarına atanmadan önce bir kuyruk modeli olarak düzenlenmiştir. Simülasyon çalışmalarının sonuçları karşılaştırılmış ve önerilen modellerin yüksek doğruluk düzeyi sağladığı belirlenmiştir. Van Nieuwenhuysse ve De Koster (2009), sistemin beklenen çıkış zamanını tahmin etmek için değişken ve sabit zaman penceresinin kullanıldığı analitik bir model önermiştir. Sonuç olarak, her iki durumda da iş istasyonları dengelenecek şekilde iş gücünün toplama ve sınıflandırma operasyonlarına konumlandırılması halinde ortalama çıktı süresinin minimize edilebileceğini göstermişlerdir.

3.3.1.1. Matematiksel Modeller

Sipariş sayısının fazla olmadığı durumlar için sipariş gruplama probleminin çözümüne yönelik olarak literatürde çeşitli matematiksel modeller yer almaktadır. Roodbergen ve Koster (2001a), paralel geçitli depo sisteminde ortalama sipariş toplama zamanının optimizasyonu için dinamik programlama esaslı bir algoritma önermiştir. Roodbergen ve Koster (2001b), çapraz geçitli depo sistemlerinde iki veya daha çok paralel geçit bulunması durumunu ele almış ve en kısa sipariş toplama rotasının belirlenmesi için dal ve sınır algoritmasını kullanmışlardır. Gademann vd., (2001), herhangi bir sipariş grubunun maksimum hazırlık zamanını minimum yapmak için bir dal-sınır algoritması önermişlerdir. Dal-sınır algoritması için başlangıç üst sınır 2-opt sezgiseli ile belirlenmiştir. Bozer ve Kile (2008), yürü ve topla (walk-and-pick) esaslı sipariş gruplama probleminin bazı özel durumları için karma tam sayılı bir matematiksel çözüm yöntemi önermiştir. Önerilen yöntem Ruben ve Jacobs (1999) ve De Koster vd., (1999) tarafından önerilen iki farklı sezgisel yöntemle karşılaştırılmıştır. Yu ve De Koster (2009), yürü ve topla tipi sipariş toplama sisteminde sipariş gruplama ve toplama alanı bölgeleme yöntemlerinin ortalama sipariş çıktı zamanı üzerindeki etkisini analiz etmek için kuyruk teorisi esaslı bir model önermişlerdir. Gerçek bir uygulama ve simülasyondan elde edilen sonuçlar, önerilen yöntemin kabul edilebilir bir doğruluk seviyesinde sipariş toplama sistemlerinin tasarım ve seçimi için kullanılabileceğini göstermiştir. Van Nieuwenhuyse ve Koster (2009), depo yöneticilerinin sipariş toplama ile ilgili kararlarının ortalama müşteri siparişi çıktısına etkisini araştırmak için zaman kısıtlı sipariş gruplama ve toplama problemine yönelik matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Bukchin vd., (2012), dinamik, sınırlı ve dar bir çevrede sipariş gecikmeleri ile sipariş toplayıcıların fazla mesai maliyetlerini minimize etmek için Markov Zinciri esaslı bir yöntem önermişlerdir. Pan vd. (2012), senkronize edilmiş bir alanda, toplayıcının parçaya gittiği (picker-to-part) sipariş toplama sistemi için sipariş gruplama ve toplama alanı bölgelendirmenin (picking area zoning) ortalama çıktı zamanına etkisini analiz etmek üzere olasılık ve kuyruk ağı teorisini kullanmışlardır.

3.3.1.2. Simülasyon Modelleri

Depo içi operasyonların etkinliğini araştırmak için analitik yöntemlerin yanı sıra simülasyon esaslı çalışmalar da literatürde yer almaktadır. Tang ve Chew (1997), sipariş gruplama ve depo yeri tahsis etme stratejilerini analiz eden bir yöntem önermiştir. Bu yöntemde, siparişler müşteri esaslı gruplanmakta ve toplanması için bir simülasyon modeli kullanılmaktadır. Lin ve Lu (1999), sipariş toplama stratejilerini belirlemek için simülasyon esaslı bir yöntem geliştirmiştir. Siparişler analitik bir yöntemle gruplara ayrıldıktan sonra her bir sipariş grubuna uygun toplama stratejisi simülasyon ile gerçekleştirilmektedir. Petersen ve Aase (2004), sipariş toplama mesafesini etkileyen farklı toplama, depolama ve rotalama stratejilerini karşılaştırmak için simülasyon esaslı bir model geliştirmiştir. Bu çalışmada özellikle grup esaslı toplama stratejisinin daha iyi sonuçlar sağladığı tespit edilmiştir. Hsieh ve Tsai (2006), sipariş toplamaya etki eden atama, toplama rotası ve sipariş birleştirme ile ilgili farklı politikaları değerlendiren simülasyon esaslı bir yöntem önermiştir. Ayrıca Roodbergen ve Vis (2006), farklı iki rotalama politikası için ortalama rota uzunluğunu hesaplayan analitik bir yöntem önermiştir. Analitik yöntemin sonuçları ile simülasyon çalışmasının sonuçları karşılaştırılmıştır. Yu ve de Koster (2008), topla ve geç (pick-and-pass) tipi sipariş toplama sistemini Whitt'in kuyruk ağı analizcisini kullanarak G/G/m kuyruk tipi şeklinde modelleyerek simülasyon ile analiz etmişlerdir. Pan ve Shih (2008), çoklu sipariş toplayıcının olduğu bir sistemde birim zamanda toplanan parçaların sayısını tahminlemek için önerdikleri çıktı modelini FlexSim® simülasyon programını kullanarak doğrulamıştır. Çıktı modeli, Larvis ve Mcdowell (1991)'in düşük talepli ürünleri en uzak koridora yerleştirme politikasının rastgele atama politikasına göre daha kötü sonuçlar ürettiğini göstermiştir. Melacini vd. (2011), sipariş boyutu ve parça sayısı durumlarına göre yürü ve topla türü sipariş toplama sisteminde performansı değerlendirmek için analitik modeller ve kuyruk ağı teorisini kullanmıştır. Analitik modeller seyahat mesafesini, kuyruk ağı teorisi ise ortalama sipariş çıktısını analiz etmek için kullanılmıştır. Pan ve Wu (2012), farklı büyüklükteki depolarda sipariş büyüklüğü, toplayıcı sayısı ve geçit sayısı gibi parametreleri dikkate alarak sipariş toplama sisteminin etkinliğini artırmak için eM-plant® programı ile simülasyon çalışmaları yaparak birçok depo atama stratejisini değerlendirmiş ve duyarlılık analizi yapmıştır. Yang vd. (2012) de yine eM-Plant programını kullanarak depolardaki sipariş

toplama performansını arttırmak için farklı depo özellikleri için simülasyon çalışması yapmıştır. Gerçek bir durumdan elde edilen veriler ile yapılan deneyler ve duyarlılık analizlerinin depo yöneticilerine depo planlama ve dizayn geliştirme için referans olacağı belirtilmektedir.

3.3.1.3. Metasezgisel Modeller

Son yıllarda sipariş gruplama ve siparişlere ait rotaların oluşturulması için farklı metasezgiseller geliştirilmiştir. Won ve Olafsson (2005), sipariş gruplama ve araç rotalama problemlerini hiyerarşik olarak çözen iki sezgisel yöntem önermişlerdir. Yazarlar sadece araç kullanım etkinliği ve sipariş toplama zamanı ile belirlenen depo verimliliğini arttırmaya değil, aynı zamanda müşteri cevap süresinin optimizasyonunu da sağlamaya çalışmıştır. Hsu vd., (2005), klasik depo sistemleri için sipariş gruplarını oluşturan ve dolaşım mesafesi ölçütünü kullanan genetik algoritma (GA) esaslı bir çözüm yöntemi (GABM) önermiştir. Bu çalışmada gruplara ait rotalama S-şekilli rotalama yöntemi ile sağlandığı için etkin olmayan rotalar oluşturulmaktadır. Tsai vd., (2008), depo içi operasyonlarının optimizasyonu ile ilgili GA esaslı bir yöntem önermiştir. Sipariş grupları ve bu gruplara ait depo içi rotaların belirlenmesi için birbiri ile ilişkili iki farklı GA ile geliştirilmiştir. Rotaların belirlenmesi için de GA uygulanması nedeniyle zaman performansı düşük çözümler elde edilmiş, bunu tolare etmek için çok büyük problem kümeleri için dahi popülasyon hacmini 20 kromozom olarak belirlemiştir. Ho vd., (2008), Ho ve Tseng (2006)'da önerilen çekirdek sipariş seçim ve sipariş ekleme kurallarına yeni kurallar eklemiş ve sipariş toplama problemini en büyük boşluk ve "en büyük boşluk - benzetimli tavlama" yöntemlerini kullanarak çözmüşlerdir. Zhang ve Liu (2009), düzensiz depo yerleşiminde sipariş toplama probleminin çözümü için Genetik Algoritma esaslı bir yöntem önermiştir. Geliştirdikleri yöntemi diğer bir genetik algoritma esaslı yöntem ile karşılaştırmış ve daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Henn (2012), sipariş gruplama toplama problemlerine yönelik olarak İteratif Lokal Arama (Iterated Local Search) ve Karınca Kolonisi Optimizasyonu (Ant Colony Optimization) esaslı iki sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. Hsieh ve Huang (2011), sipariş toplama ve gruplama problemleri için K-ortalama Gruplama (KMB) ve Özörgütlenme Harita Gruplama (SMB) isimli iki sezgisel önermişlerdir. Bottani ve diğerleri (2012), sipariş toplayıcının seyahat süresini düşürerek sipariş toplama

verimliliğini artırmak için depo içerisine parça atamalarını yapmak için GA esaslı bir yöntem önermişlerdir.

Henn ve Wäscher (2012), manüel sipariş toplama sistemi için tabu arama ve özellik esaslı tırmanış araması (hill climbing) algoritmalarının kullanıldığı iki yöntem önermiş ve yöntemlerin performanslarını literatürdeki mevcut yöntemlerle karşılaştırmışlardır. Hong vd. (2012), paralel geçitli sipariş toplama sistemlerinde büyük boyutlu sipariş toplama durumları için indeksli gruplama yöntemi (IBM - indexed batching model) adını verdikleri bir yöntem önermişlerdir. IBM diğer klasik sipariş gruplama formülasyonlarından farkı, siparişlerin gruplara her bir sipariş grubunun grup bırakma sırasındaki pozisyonuna göre belirlenen grup indekslerine göre gruplara atanmasıdır. Bu çalışmada, kesin çözüm kontrolü içim karma tamsayılı matematiksel model ile büyük çaplı problemlerin çözümü için benzetimli tavlama esaslı çözüm yöntemi önerilmiştir. Kulak vd., (2012), klasik ve çapraz geçitli depo sistemlerinde sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama problemlerinin eş zamanlı çözümü için kümeleme algoritmaları ile entegre Tabu Arama esaslı çözüm yöntemleri önermişlerdir. Geliştirdikleri yöntemlerin etkinliğini literatürde bulunan diğer yöntemlerle karşılaştırmışlardır. Wang vd. (2012), depolarda sipariş toplama araçlarının etkinliğini arttırmak için matematiksel model önermiş ve önerdikleri modeli Parçacık Sürüsü ve Karınca Kolonisi Optimizasyon algoritmaları kullanarak çözmüştür. Deneysel sonuçlar her iki yöntemin de genel arama yeteneğinin iyi olduğunu ve sürü tabanlı yöntemlerin operasyon etkinliğini arttırdığını göstermiştir. Seyedrezaeil vd. (2012), sipariş toplama planlama problemi için ürünlerin akış ve depolanma süreçleri için bir dinamik matematiksel model önermişlerdir. Geliştirilen model küçük çaplı problemler için LINGO programı kullanılarak, büyük çaplı problemler için geliştirilen Genetik Algoritma esaslı yöntem ile çözülmüştür.

3.3.2. Toplayıcı Rotalama Problemi

Toplayıcı rotalama problemi; depo içerisindeki toplam dolaşım mesafesini en az yapmak için sipariş gruplama ile oluşturulan toplama listesindeki parçaların toplama sırasının belirlenmesi olarak tanımlanabilir. Sipariş toplama problemi Kümelendirilmiş Gezgin satıcı (Chisman 1975) ya da Kapasite Kısıtlı Araç rotalama (Laporte,1992) problemlerinin özel bir halidir. Klasik depo sistemleri (tek bloklu yerleşim düzeni) için

toplayıcının rotalanması problemi klasik gezgin satıcı probleminden farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle, depo sistemlerindeki sipariş toplama problemi Steiner Gezgin Satıcı problemi olarak sınıflandırılmaktadır (De Koster vd., 2007). Steiner Gezgin Satıcı probleminin çözülmesi için literatürde ilk defa Ratliff ve Rosenthal (1983) tarafından bir algoritma geliştirilmiştir. Ratliff ve Rosenthal (1983) tarafından geliştirilen algoritma Cornuejols vd., (1985) tarafından klasik depo düzenlemesi için, yine aynı algoritma Roodbergen ve De Koster (2001a) tarafından farklı depo düzenlemeleri için uyarlanmıştır. Son çalışmada sipariş toplama turlarının toplam mesafesini en az yapmak için dinamik programlama yöntemi geliştirilmiştir. Farklı depo sistemlerinin performansı sipariş toplamaya etki eden parametreler değiştirilerek incelenmiştir.

3.3.2.1. Matematiksel Modeller

Rim ve Park (2008), sipariş hazırlanma oranını maksimize etmek için siparişlerin bütün parçaların stokta olması halinde toplama işleminin ve sevkiyatın yapıldığı, parçanın olmaması halinde siparişin bir sonraki güne yüksek öncelikte devredildiği bir sistemde doğrusal programlama esaslı bir yöntem önermişlerdir. Elde edilen sonuçlar önerilen doğrusal modelin basit kurallardan daha iyi sonuçlar verdiği ve daha önemlisi parça sayısı artması durumunda gelişim oranının da arttığını belirlemişlerdir. Tunc vd., (2008), sipariş toplayıcı rotasını belirlemek için Ratliff vd. (1983) tarafından önerilen matematiksel modelin kullanımı için bir yazılım geliştirmiş ve geliştirdikleri Java tabanlı yazılım ile sipariş toplama zamanında iyileştirmeler sağlamıştır. Van Nieuwenhuysse ve De Koster (2009), değişken ve sabit zaman pencereli sipariş toplama sisteminde beklenen sistem çıktı zamanını belirlemek için analitik bir yöntem önermişlerdir. Simülasyon deneylerinden elde edilen sonuçların belli bir işgücü dağılımı için optimum grup büyüklüğünü belirlemek için kullanılabileceği gibi, toplama ve sınıflandırma süreçleri için optimum işgücü dağılımını belirlemek için de kullanılabileceği belirtilmektedir. Parikh ve Meller (2010), sipariş toplayıcının çıktısını tahmin etmek için olasılık modelleri ve sipariş istatistikleri üzerine kurulu bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Yu ve De Koster (2010), online sipariş gelişlerinin olduğu dinamik bir depo sisteminde denge durumunu analiz etmek için matematiksel bir model önermişlerdir. Pan vd. (2011), senkronize edilmiş toplayıcının

parçaya gittiği sipariş toplama sisteminde sipariş gruplama ve toplama alanı bölgelemeyi analiz etmek için olasılık ve kuyruk ağı teorisini kullanmıştır. De Koster vd. (2012), manüel topla ve sınıflandır tipi sipariş toplama sistemi için karma tamsayılı matematiksel model önermişlerdir.

3.3.2.2. Sezgisel Modeller

Sipariş toplayıcının rotalaması ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, özellikle geleneksel depo sistemleri (tek bloklu paralel geçitli) için yaygın olarak S-şekilli, geri dönüş, en büyük boşluk, orta nokta, birleşik ve optimum rotalama yöntemleri kullanılmaktadır. Sipariş toplama bölümünde detaylı olarak açıklanan bu yöntemlerin birbiri ile karşılaştırılması amacıyla Hall (1993), Petersen (1997) ve Theys vd., (2010) tarafından çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Hall (1993), en büyük boşluk sezgiselini orta nokta sezgiseli ile karşılaştırmış ve en az orta nokta kadar iyi performans gösterdiğini belirtmiştir. Petersen (1997), S-şekilli, geri dönüş, en büyük boşluk, orta nokta, birleşik ve rastgele sezgisellerini karşılaştırmıştır. Theys vd., (2010) S-şekilli, en büyük boşluk, bütünleşik ve geçitten geçite rotalama sezgisellerinin yanı sıra Lin–Kernighan–Helsgaun (LKH) rotalama sezgiselini toplatıcı rotasını belirlemek için kullanmıştır.

Makris ve Giakoumakis (2003) yine klasik depo sistemlerinde toplayıcı rotalama için k-opt yöntemini kullanılarak bir rota geliştirme yöntemi sunmuştur. Bu çalışmada önerilen yöntem literatürde yaygın olarak kullanılan S-şekilli rotalama yöntemi ile karşılaştırmış ve deney örneklerin çoğunda önerdikleri yöntemin daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir. Theys vd., (2010) klasik depo sistemleri için yaptıkları çalışmada LKH (Lin-Kernighan-Helsgaun) sezgiselini S-şekilli, En büyük boşluk, Birleşik ve koridordan koridora gibi yapısal sezgiseller ile karşılaştırmıştır. Klasik Gezgin satıcı problemi için geliştirilen LKH sezgiselinin Stenier Gezgin satıcı problemi için geliştirilen yapısal sezgisellerden daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir. Ho ve Tseng (2006) çekirdek sipariş seçim kuralları ve sipariş atama kurallarını analiz ettikleri çalışmada toplayıcı rotalama için En büyük boşluk sezgiseli ve En büyük boşluk sezgiseli ile Benzetimli Tavlama sezgiseli birleşimi olan yeni bir rotalama sezgiselini karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda yeni önerilen sezgiselin daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir.

Hsu ve diğeri (2005), klasik depo sistemlerinde gruplama için Genetik Algoritma ve toplayıcı rotalama için S-Shape rotalama sezgiselini kullandıkları bir yöntem geliştirmiştir. Önerilen yöntem ile elde edilen sonuçlar Gibson ve Sharp (1992)'nin geliştirdiği GSBM yöntemi ile karşılaştırılmış ve önerilen yöntemin daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Yine Tsai vd., (2008) tarafından hem sipariş gruplama hem de toplayıcı rotalama problemleri için iç içe Genetik Algoritma yöntemi geliştirilmiştir. Rotalama için önerilen GA Permutasyon sıralama kod yapısına sahip olup, iç içe yapısından dolayı performansı düşük bir algoritma olmuştur. Kulak vd., (2012) sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama problemini kümeleme esaslı tabu arama algoritması ile çözmüştür. Bu çalışmada toplayıcı rotaları tasarruf (savings) ve en yakın komşu sezgiselleri ile belirlenmiştir.

3.3.3. Çapraz Geçitli Depo Sistemleri İçin Modeller

Yukarıda belirtilen rotalama yöntemleri klasik depo (tek bloklu) sistemleri için geliştirilmiştir. Günümüzde çapraz geçitli (çok bloklu) depo sistemleri yaygın olarak kullanılmaya başladığı için bu depo sistemlerine yönelik sipariş rotalama algoritmaları da geliştirilmeye başlanmıştır. Roodbergen ve de Koster (2001b) tarafından S-şekilli ve en büyük boşluk sezgiselleri ilk defa çapraz geçitli depo sistemleri için uyarlanmıştır. Yine çapraz geçitli depo sistemlerinde toplayıcı rotalama problemini çözmek için Roodbergen ve De Koster (2001a) tarafından uyarlanan birleşik sezgiseli ve Vaughan ve Petersen (1999) tarafından önerilen geçitten geçide sezgiseli dinamik programlama algoritması ile birlikte kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemler en az mesafeli turların birleşimi ile oluşturulan turları içermektedir.

Sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama problemlerinin çözümü için geliştirilen çalışmalar incelendiğinde, mevcut çalışmaların büyük çoğunluğunun klasik depo yerleşimine (tek bloklu) yönelik olduğu görülmektedir. Ayrıca yapılan çalışmalarda depo dışındaki dağıtım rotaları dikkate alınmamıştır. Bu çalışma ile literatürde ilk defa sipariş toplama problemi depo dışı dağıtım rotası dikkate alınarak hem klasik hem de çapraz geçitli depo sistemleri için çözülmektedir. Problem tek katlı ve çok katlı raflardan oluşan klasik veya çapraz geçitli depo sistemlerine uygulanabilmektedir. Depo içi sipariş toplama ve depo dışı araç rotalama problemlerini entegre, etkin ve hızlı

özmek için parametrik sezgisellerle (Genetik Algoritma ve Tabu Arama) rota benzerlik esaslı gruplama yönteminin birlikte kullanıldığı yöntemler sunulmuştur.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

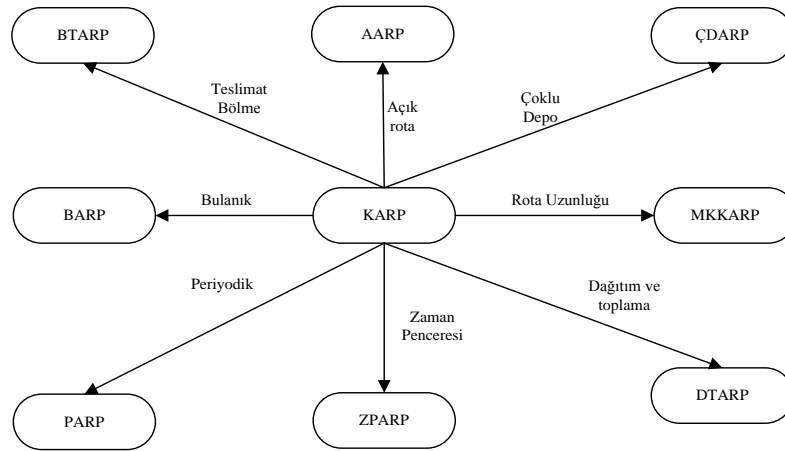
İlk defa Dantzig ve Ramser (1959) tarafından tanımlanan Araç Rotalama Problemi (ARP), merkezi bir depoda yerleşmiş bulunan ve aynı veya farklı kapasiteye sahip olan araç filosunun, her biri farklı bir yerleşime ve bilinen talebe sahip olan bir müşteriler kümesine toplam seyahat mesafesini veya süresini en küçükleyecek şekilde hizmet sunarak depoya geri dönmesi için gerekli rotaların belirlenmesi problemi ifade etmektedir (Çetin ve Gencer, 2010: 579). Tedarik zinciri yönteminde ürün veya hizmetin fiziksel olarak iletilmesi süreci ile alakalı olan bu problem için Clarke ve Wright (1964), Dantzig ve Ramser (1959) tarafından önerilen yöntemi geliştirerek bu çalışma kapsamında da kullanılan tasarruf metodunu önermiştir. Bu tarihten itibaren araç rotalama problemine yeni kısıtlar eklenmek suretiyle birçok farklı türü ortaya konmuş ve bu problem türleri için de birçok model ve algoritma geliştirilmiştir.

Çözümü için kesin çözüm yöntemi ve birçok genel sezgisel yöntem kullanılan ARP popüler bir bütünlük optimizasyon problemidir. Bir dizi kısıta bağlı olarak, bir depodan coğrafi bakımdan ayrı noktalarda bulunan müşterilere yapılacak gönderiler için en düşük maliyetli rotaların belirlenmesi problemi şeklinde tanımlanan ve gezgin satıcı probleminin genelleştirilmiş hali olan bu problem NP-Zor sınıfında yer alan bir problem türüdür. ARP genellikle araç kapasitesi veya rota mesafesi kısıtlamaları ile tanımlanır. Sadece kapasite ile ilgili kısıtların tanımlanması durumunda problem kapasite kısıtlı araç rotalama problemi olarak adlandırılır. Birçok kesin çözüm yöntemi kapasite kısıtı dikkate alınarak geliştirilmiştir, fakat bazıları mesafe kısıtlı problemlere gerekli değişiklikler yapılarak uygulanır. Buna karşın geliştirilen sezgisel yöntemler çoğunlukla her iki kısıtı da hesaba katmaktadır (Barhant ve Laporte, 2006: 368).

ARP'nin temel bileşenleri yol ağı, depolar, araçlar ve sürücülerdir. ARP'nin farklı türlerini elde etmek için her bir bileşene farklı kısıt ve durumlar ilave edilebileceği gibi her birinin belirli amaçları başarması da sağlanabilir. ARP'nin başlıca türleri: kapasiteli (KARP), mesafe ve kapasite kısıtlı (MKARP), zaman pencere (ZPARP), geri toplamalı (GTARP), dağıtım ve toplamalı (DTARP) araç rotalama ve bu

varyantların birleşiminden oluşan diğer kombinasyonlardır. Son zamanlarda literatürde yoğun olarak çalışılan ARP türleri ise; açık (AARP), çoklu depo (ÇDARP), bölünmüş teslimatlı (BTARP), periyodik (PARP), heterojen filolu (HFARP) ve bulanık araç rotalama problemi (BARP) olduğu gözlemlenmiştir (Daneshzand, 2011: 127-128)

Dağıtım probleminin çözümüne yönelik yapılan tüm çalışmalar sadece araç rotalama problemi olarak değerlendirilmiştir. Her bir aracın sınırlı kapasitesini dikkate alan araç rotalama (Braysy ve Gendreau, 2005; Mazzeo vd., 2004; Ralphs T.K., 2003), müşteri siparişlerinin belirli bir zaman dilimi içinde karşılanmasına yönelik araç rotalama (Alveranga vd., 2007; Azi vd., 2007; Calvetea vd., 2007), dağıtımla birlikte eş zamanlı olarak toplama işlemlerinin dikkate alındığı araç rotalama (Ganesh vd., 2007; Mosheiova, 1998; Katoh ve Yano, 2006), talep, seyahat zamanı, müşteri sayısı gibi araç rotalamayı etkileyen parametrelerin dikkate alındığı stokastik araç rotalama (Swihart ve Papastavrou, 1999; Shangyao vd., 2006; Swihart ve Papastavrou, 1999) ve müşteri siparişinin farklı araçlarla karşılandığı araç rotalama (Dror vd.,1994; Frizzelle ve Giffin,1995; Ho ve Haugland, 2004) gibi birçok yöntem literatürde mevcuttur. Araç rotalama türlerinin birbiri ile ilişkisi Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Araç rotalama problemi türleri ve birbiri ile ilişkisi

Kaynak: (Toth ve Vigo, 2002b: 6)

4.1. KAPASİTELİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ (KARP)

Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi, yönlendirilmemiş çizgiler kümesi $\{G=(V, E)\}$ üzerinde tanımlanır. Burada $V=\{0,1,\dots, n\}$ şeklinde tanımlanan köşe noktaları ve $E=\{(i, j): i, j \in V, i < j\}$ şeklinde tanımlanan ve köşe noktalarının birbirine

bağlantısını sağlayan köprüler kümesidir (Toth ve Vigo, 2002b: 6). I 'den n 'ye kadar olan düğümlerin her biri negatif olmayan talep (d_i) ve servis süresine (s_i) sahip müşterileri ifade eder. Düğüm 0 homojen Q kapasiteli K adet taşıma aracına sahip depoyu ifade etmektedir. Filo büyüklüğü bir karar değişkeni olarak kullanılır. Her bir köprü negatif olmayan seyahat maliyeti veya seyahat süresine (c_{ij}) sahiptir. KARP'de K adet aracın rotasının toplam maliyetini şu kısıtlar altında minimize edilir: *i*) rota üzerindeki her bir şehir sadece bir araç tarafından ziyaret edilir, *ii*) her bir rotanın depodan başlayıp depoda sona erer, *iii*) kapasite, zaman penceresi, toplam süre kısıtı, bir rotadaki toplam şehir sayısı sınırlıdır (Laporte, 1992: 345-346). Bu kısıt ve kabuller altında problemin matematiksel modeli aşağıda gösterilmektedir (El Hassani vd., 2008: 59-60).

$V = \{v_0, v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$ v_0 : Depo,

q_i : i düğümünün talep miktarı, d_{ij} : i ve j düğümleri arasındaki mesafe

$K = \{k_1, k_2, \dots, k_m\}$ araç filosu

Q : Araçların kapasitesi (araç kapasiteleri homojen) $k_i \in K$

Karar değişkenleri:

$x_{i,j}^k \begin{cases} 1, \text{ eğer } k \text{ aracı } i \text{ düğümünden sonra } j \text{ düğümünü ziyaret ederse} \\ 0, \text{ aksi takdirde} \end{cases}$

$y_i^k \begin{cases} 1, \text{ eğer } i \text{ düğümüne } k \text{ aracı hizmet verirse} \\ 0, \text{ aksi takdirde} \end{cases}$

$$\text{Min} \sum_{k \in K} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} d_{ij} x_{i,j}^k \quad (4.1)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N} x_{i,j}^k = 1 \quad \forall i \in V \quad (4.2)$$

$$\sum_{j \in V} x_{i,j}^k + \sum_{j \in V} x_{j,i}^k = 1 \quad \forall i \in V, k \in K \quad (4.3)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^N x_{0,j}^k = K \quad (4.4)$$

$$\sum_{j \in V} x_{0,j}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (4.5)$$

$$\sum_{j \in V} x_{j,n+1}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (4.6)$$

$$x_{i,j}^k = 1 \Rightarrow y_i - q_j = y_j, \quad \forall i, j \in V, \forall k \in K \quad (4.7)$$

$$y_0 = Q, 0 \leq y_i \quad \forall i \in V \quad (4.8)$$

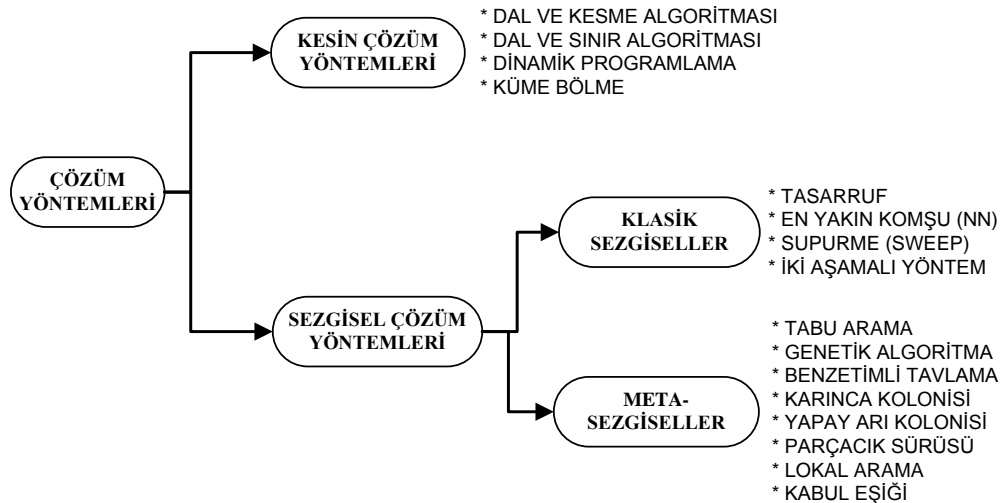
$$\sum_{i=1}^N q_i \sum_{j=0, j \neq i}^N x_{i,j}^k \leq Q \quad k \in \{1, \dots, m\} \quad (4.9)$$

$$x_{i,j}^k \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V, \forall k \in K \quad (4.10)$$

Araç rotalama probleminde, toplama araçlarının dolaşacağı toplam mesafenin minimizasyonu için Denklem (4.1)'de gösterilen amaç fonksiyonu kullanılır. Kısıt (4.2) herbir $i-j$ bağlantısına bir aracın hizmet vermesi, kısıt (4.3) ise geri dönüşlerin engellenmesi ile ilgili kısıttır. Kısıt (4.4) depodan çıkan araç sayısı ile toplam araç sayısının eşit olacağını göstermektedir. Kısıt (4.5) ve (4.6) aracın depodan ve j düğümünden bir defa çıkacağını ifade eder. Kısıt (4.7) aracın $i-j$ düğümüne atanması halinde i düğümünden j düğümüne geldiğinde kalacak kapasiteyi göstermektedir. Kısıt (4.8)'e göre aracın başlangıç kapasitesi Q olacak, kısıt (4.9)'a göre ise bir araca atanan müşterilerin toplam talebi aracın kapasitesini aşamayacaktır. Kısıt (4.10) ise $x_{i,j}^k$ değişkeninin tam sayı kısıtıdır.

4.2. KARP İÇİN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

KARP'nin çözümü için araştırmacılar tarafından pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bu çözüm yöntemleri optimal çözüme ulaşıp ulaşılmaması durumuna göre kesin çözüm yöntemleri ve sezgisel çözüm yöntemleri olarak gösterildiği gibi ikiye ayrılır. Şekil 4.2'de araç rotalama probleminin çözümü için kullanılan yöntemler gösterilmektedir (Düzakın ve Demircioğlu, 2009: 73.).



Şekil 4.2 KARP çözüm yöntemleri

Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi ile ilgili çeşitli zamanlarda literatür taraması yapılmıştır. Toth ve Vigo (2002c) dal ve sınır, Naddef ve Rinaldi (2002) dal ve kesme ve Bramel ve Simchi-Levi (2002) küme kapsama yöntemleri ile ilgili olarak

literatür taraması yapmıştır. Laporte ve Nobert (1987), Cordeau vd. (2007) ve Baldacci vd. (2007, 2010) analitik yöntemlerle ilgili olarak yapılan diğer çalışmalardır. Laporte ve Semet (2002) ve Laporte (2007, 2009), 'da klasik sezgisel yöntemler, Gendrau vd. (2002, 2008), Cordeau vd. (2004, 2005) meta sezgisel yöntemlerle ilgili literatür araştırması yapmıştır. Kesin çözüm yöntemleri, sezgisel ve meta sezgiseller ile ilgili olarak yapılan bu literatür araştırmalarının listesi araştırma başlığı ve yayın yılına göre Çizelge 4.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 KARP İle İlgili Literatür Araştırmaları

YAZARLAR	YAYIN YILI	ARAŞTIRMANIN KONUSU
Laporte ve Nobert	1987	Kesin çözüm yöntemleri
Toth ve Vigo	2002	Dal ve sınır algoritmaları
Naddef ve Rinaldi	2002	Dal ve kesme algoritmaları
Bramel ve Simchi-Levi	2002	Küme kapsama esaslı algoritmalar
Laporte ve Semet	2002	Klasik sezgiseller
Gendrau vd.	2002	Meta sezgiseller
Cordeau vd.	2004	Tabu Arama Sezgiselleri
Cordeau vd.	2005	Meta-sezgiseller
Cordeau vd.	2007	Kesin ve sezgisel yöntemler
Laporte	2007	Kesin ve sezgisel yöntemler
Baldacci vd.	2007	En yeni kesin çözüm yaklaşımları
Gendrau vd.	2008	Meta sezgisellerle ilgili açıklamalı kaynakça
Laporte	2009	Kesin ve sezgisel yöntemler
Baldacci vd.	2010	En yeni kesin çözüm yaklaşımları

Kaynak: (Subramanian, 2012: 11)

4.2.1. Kesin Çözüm Yöntemleri

Daha önce de belirtildiği gibi KARP NP-Zor sınıfında bir optimizasyon problemidir. En etkili kesin çözüm yöntemleri kullanılarak bile en fazla 135 müşterinin bulunduğu bir probleme çözüm geliştirilebilmektedir (Baldacci vd., 2008: 352). Gerçek hayatta karşılaşılan araç rotalama problemlerine bakıldığında, kesin çözüm yöntemlerinin birçoğu bütün araç rotalama problemlerinin çekirdeğini oluşturan kapasite kısıtlı araç rotalama probleminin çözümü için kullanılmaktadır. ARP'nin Dantzig ve Ramser (1959) tarafından tanımlanmasından bu yana farklı alanlardaki uygulamalar için birçok kesin çözüm yöntemi önerilmiştir. Uygulama sahasının genişliği ve NP-Zor yapısı nedeniyle hem araştırmacılar hem de uygulamacılar açısından oldukça dikkat çeken bir problem olmuştur. Bu problemin çözümü için kullanılan kesin çözüm yöntemleri, *dinamik programlama* (Christofides vd, 1981 ; Christofides, 1985), *dal ve sınır algoritması* (Christofides vd., 1981a; Fisher, 1994;

Miller,1995), *dal ve kesme algoritması* (Araque vd., 1994, Ralphs, 2003; Baldacci vd. 2004; Lysgaard vd., 2004; Ralphs vd., 2003; Fukasawa vd., 2006; Baldacci, 2008) ve *küme bölme algoritmasıdır* (Agerwal vd., 1989; Hadjiconstantinou ve Christofides, 1995; Bianco vd., 1994; Bramel ve Simchi-Levi, 2002). 1981 yılından bu yana yayınlanan çalışmalardan KARP'nin çözümü için kesin çözüm yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar Çizelge 4.2'de listelenmiştir.

Çizelge 4.2 Kesin çözüm yöntemleri kullanılan çalışmalar

YAZAR(LAR)	YAYIN YILI	KULLANILAN YÖNTEM			
		DİNAMİK PROG.	DAL VE SINIR	DAL VE KESME	KÜME BÖLME
Christofides vd.,	1981	√			
Christofides	1985	√			
Cornuejols ve Harche	1993			√	√
Fischetti vd.	1994		√		
Fisher	1994				
Mingozzi vd.	1994				√
Augerat	1995			√	
Hadjiconstantinou vd.	1995				√
Miller	1995		√		
Achuthan vd.	1998			√	
Toth ve Vigo	1998		√		
Toth ve Vigo	2002a		√		
Toth ve Vigo	2002b		√		
Toth ve Vigo	2002c		√		
Ralphs vd.	2003			√	
Ralphs	2003			√	
Achuthan vd.	2003			√	
Lysgaard	2004			√	
Baldacci vd.	2004			√	
Reinelt ve Wenger	2006			√	
Botincan ve Nogo	2006			√	
Fukasawa vd.	2006			√	
Baldacci ve Mingozzi	2006		√		
Baldacci ve Maniezzo	2006			√	
Letchford vd.	2007			√	
Kek vd.	2008		√		
Lysgaard	2010			√	
Gounaris vd.	2011			√	
Jepsen vd.	2013			√	

4.2.2. Sezgisel Yöntemler

Araç rotalama probleminin kesin çözümlerinin matematiksel olarak belirlenmesi oldukça karmaşık bir iştir. Yüksek zorluk derecesi ve gerçek hayatta sıklıkla karşılaşılan bir problem olması nedeniyle kısıtlı bir zaman diliminde yüksek kalitede çözümlerin ortaya konabilmesi için sezgisel yöntemler ARP'nin çözümünde yoğun olarak kullanılmaktadır. Geçmişten günümüze ARP'nin çözümü için birçok sezgisel yöntem

geliştirtmiştir. Geliştirilen bu sezgiseller, yoğunlukla 1960-1990 yılları arasında geliştirilen klasik sezgiseller ile son yıllarda büyük gelişim gösteren meta sezgisel yöntemler olarak sınıflandırılabilir (Laporte ve Semet, 2002: 109). Son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde, çalışmaların büyük bölümünde KARP'nin çözümü için daha çok sezgisel ve meta sezgisellerin tercih edildiği görülmektedir. Tasarruf (saving), süpürme (sweep), iki aşamalı yöntem ve geliştirilmiş petal sezgisel klasik sezgisel yöntemler arasında yer alırken; Tabu Arama, Genetik, Benzetimli Tavlama, Karınca Kolonisi, Yapay Arı Kolonisi, Parçacık Sürüsü, Lokal Arama ve Kabul Eşiği Algoritmaları meta-sezgisel yöntemler arasında sayılabilir.

4.2.2.1. Klasik sezgiseller

Laporte (1992) ARP'nin çözümünde kullanılan klasik sezgiselleri, çözüm kurucu yöntemler (constructive methods), rota geliştirici yöntemler (improvement methods) ve iki aşamalı yöntemler (two phase methods) olmak üzere 3 sınıfa ayırmıştır (Tarantilis vd., 2005: 457). Bu yöntemler, başlangıç çözüm oluşturmak için kullanılan **çözüm kurucu sezgiseller**, çözüm kurucu sezgiseller yardımıyla bulunan çözümün kalitesini arttırmak için kullanılan **rota geliştirme sezgiselleri ve** önce grupla sonra rotala veya önce rotala sonra grupla türü **iki aşamalı sezgisellerden** oluşmaktadır.

✓ *Tasarruf Algoritması*

Bu çözüm yöntemi Clarke ve Wright (1964) tarafından klasik gezgin satıcı problemleri için geliştirilen yaygın bir yöntemdir. İki noktanın kendi aralarındaki uzaklıkları ve referans alınan bir noktaya olan ayrı ayrı uzaklıkları kullanılarak elde edilen kazanç değerlerine göre rota tespiti yapılmaktadır. Tasarruf algoritması, en fazla tasarrufun sağlanacağı rotanın tespiti için kullanılan, karşılaştırmalı bir yöntemdir. Alınan bir başlangıç noktasından itibaren (bu çalışmada depo giriş noktası), bitişin tekrar başlangıç noktası olduğu en kazançlı çevrimin hesaplanması için kullanılır.

✓ *Süpürme (Sweep) Algoritması*

KARP'nin çözümünde kullanılan bu yöntemin geçmişi Wren (1971) ve Wren ve Holiday (1972)'ye kadar uzansa da daha çok ismini veren Gillet ve Miller (1974) ile anılır. Bu yöntem orta ve büyük boyutta KARP problemlerini çözmek için geliştirilmiştir. Her bir nokta polar koordinatlar $i = 1, \dots, n$ için (θ_i, p_i) ve depo ise

$Q_0 = 0$ ve $p_0 = 0$ olarak ifade edilir. Koordinatlar θ_i temel alınarak artan sıra ile dizilir (Laporte, 1992: 355).

Adım 1. Kullanılmamış araç (k) seçilir.

Adım 2. En düşük açığa sahip nokta ile başlanarak, noktalar araç kapasitesi doluncaya kadar k . araca eklenir. Rota üzerindeki tüm noktalar bitinceye kadar bu işlem devam eder.

Adım 3. Her bir araç rotası TSP yöntemlerinden biri ile optimize edilir.

✓ **En Yakın Komşu Algoritması**

En yakın komşu (EYK) algoritması Menger (1932) tarafından TSP'nin çözümü için geliştirilmiş bir yöntemdir. EYK algoritması TSP'lerin çözümü için ağgözlü bir yapıda tasarlanmıştır. Bir araç için bir rota, herhangi bir rotaya eklenmemiş müşteriler kümesinde bulunan müşteriler arasından mevcut rotaya en yakın olanı belirlenerek eklenir. Özellikle araç rotalama problemlerinde çözüm kurucu olarak görev yapan basit bir sezgisel olan bu yöntemin adımlarını şu şekilde sıralanabilir:

Adım1. Başlangıç noktasından en kısa mesafeli dağıtım noktasını belirle.

Adım2. İlk dağıtım noktasından diğer dağıtım noktalarına olan mesafeyi belirle;

Adım3. Mevcut mesafeler arasında en kısa olanı seç ve ikinci dağıtım noktasını belirle.

Adım4. Tüm dağıtım noktaları tamamlanana kadar Adım 2 ve 3 ü tekrar et.

Adım5. Dağıtım noktalarının belirlenme sırasına göre dağıtım noktalarını birleştir ve rotayı göster.

✓ **İki Aşamalı Sezgisel Yöntemler (Two Phase Heuristics)**

İki aşamalı sezgisel yöntemler ARP probleminin iki alt probleme ayrılması üzerine kuruludur. ARP gruplama ve rotalama olmak üzere iki alt probleme ayrılır. Christofides vd. (1979) tarafından önerilen “iki aşamalı ekleme sezgiseli” iki aşamalı sezgisellere örnek olarak verilebilir. Bu yöntemin ilk adımında, bir sıralı ekleme algoritması uygun rotalar kümesi elde etmek için kullanılmıştır. İkinci aşama ise bir paralel ekleme yaklaşımından oluşmaktadır. İlk aşamada belirlenen her bir rota için temsili bir müşteri seçilir ve tekli müşteri rota kümesinde yer alan rotalar bu müşterilerin rotası ile birleştirilir. Kalan rotalanmamış müşteriler daha sonra en iyi ve ikinci en iyi ekleme maliyeti arasındaki fark dikkate alınarak hesaplanan pişmanlık değerine göre siparişlere eklenir ve kısmi rotalar 3-opt sezgiseli ile geliştirilir. Önce

gruplama sonra rotalamanın yapıldığı çalışmaların (Fisher ve Jaikumar, 1981; Bramel ve Simchi-Levi, 1995; Foster ve Ryan, 1976; Ryan vd.,1993) yanı sıra önce rotalama sonra gruplamanın yapıldığı çalışmalar da (Beasley, 1983; Haimovich ve Rinnooy Kan, 1985; Bertsimas ve Simchi-Levi, 1996) literatürde mevcuttur. İkinci grupta yer alan yöntemler birinci grupta yer alan yöntemlere göre daha zayıf çözümler sunmaktadır (Cordeu vd., 2002: s.377-378).

Bu sezgisel yöntemlerin yanı sıra bulunan çözümde iyileştirme yapılıp yapılamayacağını araştırılması için λ -opt sezgiseli (Lin 1965), Or-opt (Or, 1976) veya 4-opt (Renaud vd., 1996) gibi rota geliştirici sezgiseller de yapılan çalışmalarda kullanılmaktadır.

4.2.2.2. Meta sezgiseller

Sezgisel algoritmalar, herhangi bir amacı gerçekleştirmek veya hedefe varmak için doğal fenomenlerden esinlenen algoritmalarlardır. Bu algoritmaların, çözüm uzayında optimum çözüme yakınsaması ispat edilememektedir. Yani sezgisel algoritmalar yakınsama özelliğine sahip olmaktadır, ama kesin çözümü garanti edememektedir ve bu kesin çözümün yakınlarında bir çözüm garanti edebilmektedir. Anlaşılabilirlik yönünden sezgisel algoritmaların karar verici açısından çok daha basit olması, optimizasyon problemlerinin kesin çözümü bulma işleminin tanımlanamadığı bir yapıya sahip olması ve öğrenme amaçlı ve kesin çözümü bulma işleminin bir parçası olarak kullanabilmelerinden dolayı sezgisel algoritmalar ihtiyaç duyulmaktadır (Karaboğa, 2011: 15).

Son otuz yılda meta sezgisel yöntemler büyük ilgi görmüştür (Boussaïd vd., 2013: 82). Bu yöntemlerden Benzetimli Tavlama (Kirkpatrick vd., 1983), Tabu Arama (Glover, 1986), Yapay Bağışıklık Sistemi (Farmer vd., 1986), Genetik Algoritmalar (Holland, 1975), Karınca Kolonisi (Dorigo vd., 1991), Yapay Arı Kolonisi (Karaboğa, 2005) ve Parçacık Sürüsü Optimizasyon Algoritması (Kennedy ve Eberhart, 1995) bütünlük optimizasyon problemlerinin çözümünde en çok kullanılan meta sezgisel yöntemlerdir. Takip eden bölümde KARP'nin çözümünde kullanılan metasezgisel yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar incelenmiştir.

✓ *Karınca Koloni (Ant Colony) Algoritması*

Dorigo vd. (1991) tarafından geliştirilen karınca kolonisi optimizasyon algoritması, gerçek karınca kolonilerinin davranışlarının matematiksel modelleri üzerine dayanan bir algoritmadır. Dorigo vd. (1991) kendi sistemlerini *karınca sistemi*, ortaya çıkan algoritmayı ise *Karınca Koloni Algoritması (KKA)* olarak tanımlamışlardır. Karınca kolonilerinin davranışlarının tam olarak modellenmesi yerine yapay karınca kolonilerinin bir optimizasyon aracı olarak değerlendirilmesinden dolayı, önerilen algoritmalar gerçek karınca davranışlarından biraz farklı yapıdadır (Akdağlı vd., 2002: 176). Bu algoritmada, karıncalar yuva ile yiyecek arasındaki en kısa yolu keşfetmek için kendilerine haberleşme imkânı sağlayan feromon maddesinden yararlanırlar. Belirlenen yollardan birinden ilk geçen karınca yola feromon adında bir koku bırakmaktadır. Eğer yol kısa ise bu koku daha yoğun olmaktadır ve diğer karıncalar da aynı şekilde yolda devam etmektedirler. Feromon maddesinin yoğun olduğu yolun karınca tarafından seçilme olasılığı daha yüksektir. Bunun yanı sıra feromon miktarının daha az olduğu yolun seçilme ihtimali az olmakla birlikte söz konusudur (Karaboğa, 2011: 110). Bu gelişigüzel seçimin nedeni ise bütün karıncaların aynı yolda gitmesini engelleyerek yeni ve daha kısa yolları keşfetmektir.

Gezgin Satıcı (Dorigo vd., 1992; Gambardella ve Dorigo, 1995; Gambardella ve Dorigo, 1996, Stützle ve Dorigo, 1997), Karesel Atama (Maniezzo ve Colorni 1994; Gambardella vd., 1997; Stützle ve Hoss, 1998a, 1998b; Stützle ve Dorigo, 1999; Maniezzo ve Colorni, 1999, Maniezzo, 1998), ve Çizelgeleme (Colorni vd., 1994; Den Besten vd., 1999) gibi bütünleşik optimizasyon problemlerine başarılı bir şekilde uygulanan Karınca Koloni Algoritması KARP'nin çözümü için de kullanılmaktadır. Son yıllarda KARP'nin çözümü için önerilen Karınca Kolonisi Algoritmaları esaslı yöntemlere baktığımızda, farkı müşteri ve dağıtım aracı sayısı ile kapasite miktarının tanımlandığı problemlerin rota oluşturma ve geliştirme sezgiselleri ile kullanılan karınca kolonisi algoritmaları ile çözüldüğü görülmektedir (Bell ve McMullen, 2004; Reimann vd., 2004; Mazzeo ve Loiseau, 2004). Doerner vd. (2004), Reimann vd. (2004) tarafından geliştirilen D-Ant algoritmasının paralel bir uygulamasını yapmıştır. Aramayı hızlandırmak için karıncaların bütün problem değil alt problemleri çözmesine izin verilmiştir. Bin vd., (2009), KARP'nin çözümü için artan feromon miktarını güncellemede kullanılan karınca-ağırlık stratejisinin karınca kolonisi algoritmasına

eklenmesiyle gelişmiş bir karınca kolonisi algoritması önermişlerdir. Fuellerer vd. (2009), iki boyutlu yükleme ve araç rotalama problemlerinin birlikte çözümü için karınca kolonisi algoritmasını kullanmıştır. Benslimane ve Benadada (2013), çok sayıda ve farklı kapasiteye sahip araçların çok depolu bir sistemde rotalanması için karınca kolonisi algoritmasını kullanmışlardır. Tan vd. (2012), KARP için buharlaşma oranlarının yapay karıncalar tarafından bulunan çözümlere bağlı olarak açıklanması için standart karınca algoritmasının feromon buharlaşma prosedürünü kullanmıştır. Karınca kolonisi algoritmasının ikili yer değiştirme (swap) ve 3-opt sezgiselleri ile birlikte kullanıldığında iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Xiao ve Jiang-qing (2012), karınca kolonisi algoritmasının hesaplama süresi ve yerel optimumda kalma durumlarının aşılması için en yakın komşu algoritmasının eklendiği melez bir karınca kolonisi algoritması önermişlerdir.

✓ **Genetik Algoritmalar**

Genetik algoritmalar diğer klasik arama tekniklerinden farklı olarak, popülasyon olarak adlandırılan başlangıç rastsal çözümler kümesi ile çözüme başlarlar. Tek bir nokta yerine, genetik algoritmalar bir popülasyon olarak noktalar kümesini muhafaza eder. Mevcut problem için bir çözümü temsil eden topluluktaki her bir birey *kromozom* olarak adlandırılır. Kromozomlar bir dizi kısımlardan oluşur ve her bir kısım *gen* olarak ifade edilmektedir. Kromozomlar başarılı *iterasyonlar* vasıtası ile evrim geçirirler ve yeni nesilleri oluştururlar. Her bir nesil ya da iterasyon için, topluluktaki her bir kromozom *uygunluk fonksiyonu (fitness function)* ile değerlendirilir. *Çocuk (offspring)* olarak adlandırılan yeni kromozomlar hem *çaprazlama (crossover)* operatörü kullanılarak mevcut nesildeki iki kromozomun eşleştirilmesi, hem de *mutasyon (mutation)* kullanılarak bir kromozomun modifikasyonu ile ortaya çıkarılırlar (Gen ve Cheng, 1997: 7).

Genetik algoritma çeşitli araç rotalama problemlerinin çözümünde sık başvurulan bir yöntemdir. Baker ve Ayechev (2003), tek bir depodan müşterilerin siparişlerinin karşılandığı temel araç rotalama probleminin çözümü için komşu arama algoritmasının da kullanıldığı melez bir genetik algoritma kullanmışlardır. Jazskiewicz ve Kominek (2003), kaliteli çözümler üretmek için çözüm özelliklerinin belirlenmesinde küresel konvekslik testlerinin kullanıldığı bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Alba ve Dorronsoro (2006), literatürde bulunan en iyi sonuçların geliştirilmesi için hücresele

genetik algoritma esaslı bir yöntem önermektedir. Mester ve Bräysy (2007), kapasite kısıtlı araç rotalama problemi için yönlendirilmiş yerel arama (guided local search) ve genetik algortmadan oluşan iki aşamalı iteratif bir yöntem geliştirmiştir. Wang ve Lu (2009), başlangıç çözümün süpürme (*sweep*) ve en yakın ekleme yöntemlerinin kombinasyonunda oluşan yöntem ile birleştirilmiş bir genetik algoritma uygulamıştır. Jaszkievicz vd. (2012), melez parçacık sürü optimizasyon algoritmasını (PSO) genetik algoritma ile birlikte bulanık talepli KARP'nin çözümü için kullanmıştır. Nazif ve Lee (2012), tam yönsüz ikili grafik kullanılarak oluşturulan optimize edilmiş bir çaprazlama operatörünün kullanıldığı genetik algoritma esaslı bir yöntem geliştirmiştir.

✓ *Yerel Arama*

NP-zor sınıftaki problemlerin çözümünde başvurulan meta-sezgisel yöntemlerden bir tanesi de yerel aramadır. Yerel arama, aday çözümler arasında bölgesel değişiklikleri kullanarak bir çözümden diğer bir çözüme giderek belirli bir süre içerisinde optimum çözümü bulmaya çalışır. Yapay zekâ uygulamaları, yöneylem araştırması, mühendislik ve bioenformatik alanlarında yaygın olarak kullanılan bölgesel arama sezgiseli araç rotalama problemlerinde yaygın olarak kullanılan diğer bir yöntemdir.

Baker ve Carreto (2003), araç rotalama problemi için açgözlü rastgele uyarlamalı arama prosedürü geliştirmiştir. Kytöjoki vd. (2007), kapasite kısıtlı araç rotalama probleminin çözümü için rota geliştirme sezgiselleri ile birlikte kullanılan değişken komşuluk arama sezgiseli önermiştir. Tutuncu vd. (2009), toplama işlemi sırasında geri iadelerin de (backhauls) olduğu bir dağıtım ağında araç rotalama problem için açgözlü rastgele uyarlamalı arama prosedürünü kullanmıştır. Chen vd. (2010), yerel minimum takılmamak için çapraz değişim operatörü ile birlikte kullanılan iteratif değişken komşuluk azaltma algoritması geliştirmiştir. Uslu ve Dengiz (2011), tepki yüzeyi bilgisini kullanarak algoritmanın etkinliğini artırmak için arama süreci boyunca sadece kabul parametresi (*acceptance parameter*) olarak adlandırılan bir parametrenin kullanıldığı yerel arama algoritması önermiştir. Kuo ve Wang (2012), başlangıç çözümünün stokastik bir model ile oluşturulduğu, komşulukların belirlenmesinin ardından benzetimli tavlamanın uygulandığı bir yöntem geliştirmiştir. Ke ve Feng (2013), özellikle afet sonrası insanı yardım çalışmalarında kullanım alanı bulan

kümülatif kapasiteli araç rotalama problemi için tek bir çözüm ile başlayan, iki bağımsız parça ile yerel arama operatörleri ile çözümün geliştirildiği bir yöntem önermiştir.

✓ ***Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)***

PSO, Kennedy ve Eberhart (1995) tarafından kuş sürülerinin davranışlarından esinlenilerek geliştirilmiş popülasyon tabanlı stokastik optimizasyon tekniğidir (Çevik ve Koçer, 2013: 41). Bu algoritma rastgele olarak üretilmiş belirli sayıda çözümle (*parçacıkla*) çözüme başlar ve her bir *iterasyonda* parçacıklar güncellenerek ve mevcut en iyi çözümler takip edilerek problem uzayında arama yapılmak suretiyle uygun çözüm araştırılır. Bu algoritmada kullanılan parçacıklar kuş sürülerinin uçuşlarını yönlendiren *hız bilgisine* benzer bir bilgiyi kullanırlar. Her tekrarlama (iterasyonda), parçacık konumları, iki en iyi parçacığa göre güncellenir. İlki; o ana kadar kullanılan aynı numaralı parçacıklar arasındaki en iyi uygunluk değerine sahip olan parçacıktır. Bu parçacık yerel en iyi (p_{best}) olarak adlandırılır ve hafızada saklanmalıdır. Diğeri ise, popülasyonda o ana kadar tüm parçacıklar arasında elde edilen en iyi uygunluk değerini sağlayan parçacıktır. Bu parçacık global en iyidir ve “ g_{best} ” ile gösterilir (Çavuşoğlu vd., 2010: 85). Bu değerler hafızada saklanır.

Araç rotalama problemlerinin çözümünde çok sık olarak kullanılsa da literatürde bu yöntem kullanılarak yapılan çalışmalar mevcuttur. KARP ile ilgili olarak Marinakis ve Marinaki (2010), parçacık sürü optimizasyon algoritması, çok parçalı komşuluk arama - açgözlü rastgele adaptif arama prosedürü, genişleyen komşuluk arama stratejisi ve yol yeniden bağlama (path-relink) stratejisinin birleşiminden oluşan hibrid bir algoritma önerilmiştir. Qi (2011), iteratif yerel arama metodu ile birleştirilmiş bir parçacık sürüsü optimizasyon algoritması KARP'nin çözümü için kullanmıştır.

✓ ***Benzetilmiş Tavlama (Simulated Annealing) Algoritması***

KARP'nin çözümünde kullanılan bir diğer meta sezgisel de benzetilmiş tavlama'dır. İsmi metalürji biliminde alan ve metallerin tavlama işleminden esinlenerek ortaya konan yöntem, genellikle ayrık optimizasyon problemleri için kullanılır. Algoritmanın temel prensibi, iyi çözümü feda ederek yerine kötü çözümü kabul etme olasılığı olan p değerinin dinamik bir şekilde ilerleyen iterasyonlarda azalmasıdır. Bu şekilde bir düzenleme yapıldığında, problem çözümünün ilk kısımlarında çözüm bölgeleri arasında çok fazla sıçrayış olurken iterasyon sayımız artıp elde ettiğimiz çözümler oldukça iyi bir düzeye geldiğinde sifıra yaklaşır ve böylece

arama bölgemiz daralır. Tavlama Benzetimi algoritmasının temel prensibi, kötü çözümü seçme olasılığının sistemli bir şekilde sıcaklıkla azaltılmasıdır. Sıcaklık iterasyona bağlı (genellikle düzgün veya logaritmik azalan) bir ifadedir.

Osman (1993), hesap süresinin azaltılması için özel bir veri yapısının bütünleştirildiği tabu arama algoritması ile hibrid benzetimli tavlama algoritması geliştirmiştir. Zeng vd. (2005), benzetimli tavlama ile birlikte kullanılan atama esaslı bir yerel arama algoritması geliştirmişlerdir. Tavakkoli-Moghaddam vd., (2007), bir müşteri talebinin birden fazla araca bölünebileceği KARP için karma tamsayılı lineer bir model geliştirmiş ve benzetimli tavlama ile probleme çözüm aranmıştır. Leung vd., (2010), iki boyutlu yükleme kısıtıyla beraber KARP için benzetimli tavlama esaslı bir yöntem önermişlerdir.

✓ *Tabu Arama Algoritması*

Glover (1989) tarafından geliştirilen ve özellikle gezgin satıcı problemi gibi bütünleşik problemlerin çözümünde kullanılan yöntem meta sezgisel bir yerel arama algoritmasıdır. Algoritmada, arama prosedürü boyunca potansiyel bir çözümden komşu çözümler arasında bulunan ve daha yüksek uygunluğa sahip çözümlere belirli durdurma kriterleri sağlanıncaya kadar hareket sağlanır. Yerel arama prosedürleri çözüm prosesi sırasında genellikle düşük puanlı veya çözümde ilerleme sağlanamayan alanlara takılırlar. Arama süreci ilerledikçe, bu alanlara takılmamak ve diğer yerel arama prosedürleri tarafından keşfedilmemiş alanları keşfetmek için tabu arama algoritması her çözümün bulunduğu alanı araştırmaya tabi tutar.

Çözüm kalitesi ve süresi bakımından iyi sonuç verdiği için araç rotalama probleminin bütün türleri için en çok kullanılan yöntem tabu arama algoritmasıdır. Taillard (1993), araç rotalama problemini, tek bir problem olarak çözmek yerine alt problemlere ayırarak birbirinden bağımsız problemler halinde Tabu arama algoritması ile çözmüştür. Gendreau vd. (1994), kapasite ve mesafe kısıtlı araç rotalama probleminin çözümü için uygunsuz çözümlere izin verilen, çözümde arka arkaya gelen köşe noktaların kaldırılıp başka bir rotaya eklenmesiyle elde edilen komşu çözümlerin dikkate alındığı tabu arama esaslı *TABUROUTE* isimli bir sezgisel önermişlerdir. Rochat ve Taillard (1995), araç rotalama ve zaman pencereli araç rotalama problemlerinin çözümüne yönelik olarak olasılıklı çeşitlendirme ve yoğunlaştırma yöntemlerini tabu arama algoritması ile birlikte kullanmışlardır. Barbarosoğlu ve Özgür

(1999), Türkiye’de faaliyet gösteren elektronik ev eşyası dağıtıcı tanımlanmış bir firmanın çeşitli fabrikalardan geniş bir dağıtım ağına yaptığı sevkiyatlarda karşılaştığı araç rotalama probleminin çözümü için Tabu Arama esaslı sezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir. Tarantilis ve Kiranoudis (2002), evrimsel algoritmalarından olan adaptif hafıza esaslı (adaptive memory-based) *BoneRoute* adında bir yöntemi kapasiteli araç rotalama problemi için önermişlerdir. Brandão (2004), dağıtım araçlarının en son müşteriye dağıtım yaptıktan sonra depoya dönmediği veya dönecekse gittiği rotayı tersten takip ederek depoya geldiği açık araç rotalama problemi için tabu arama algoritması esaslı yeni bir çözüm yöntemi önermiştir. Tarantilis (2005), kapasiteli araç rotalama probleminin çözümü için Elit Parça Arama (*Elite Parts Search - SEPAS*) isimli bir adaptif hafıza programlama yöntemi ile bulunan çözümlerin tabu arama algoritması ile geliştirildiği bir yöntem ortaya koymuştur.

Wassan (2006), arama süreci boyunca dengeli bir yoğunlaşma ve çeşitlendirme sağlamak için yeni bir kaçış mekanizması kullanan tepkisel tabu arama algoritmasını araç rotalama probleminin çözümü için kullanmıştır. Gendreau vd. (2006), yük taşımacılığında yoğun olarak karşılaşılan üç boyutlu yükleme ve kapasiteli araç rotalama problemlerin çözümü için tabu arama esaslı bir çözüm yöntemi önermişlerdir. Archetti vd., (2006), müşteri siparişinin bölünebildiği araç rotalama problemi için tabu arama algoritmasının kullanıldığı bir yöntem kullanmıştır. Derigs ve Kaiser (2007), genel tabu arama algoritmasının bir türü olan özellik esaslı tepe tırmanma (the attribute based hill climber - ABHC) algoritmasını araç rotalama problemine uygulamıştır. Zachariadis vd. (2009), iki boyutlu yükleme kısıtının da ele alındığı kapasiteli araç rotalama problemi için tabu arama ve yönlendirilmiş yerel arama yöntemleri mantıksal çerçevede birleştirildiği bir çözüm yöntemi önermişlerdir.

Bortfeldt (2012), üç boyutlu yükleme kısıtlarının eklendiği kapasiteli araç rotalama probleminde, yükleme problemini ağaç arama algoritması, rotalama problemini ise tabu arama algoritması ile çözmüştür. Jin vd., (2012), birçok farklı komşuluk yapısı kullanan paralel tabu arama algoritması önermiştir. Du ve He (2012), büyük çaplı araç rotalama probleminin çözümüne yönelik olarak en yakın komşu ve tabu arama algoritmalarının birleşiminden oluşan iki aşamalı hibrid bir yöntem geliştirmiştir.

✓ ***Kabul Eşiği (Threshold Accepting) Algoritması***

Rastgele bir başlangıç çözüm ile arama prosedürüne başlayan kabul eşiği algoritması, mevcut en iyi çözümün komşularını araştırdıktan sonra amaç fonksiyonunda iyileşme sağlayan çözümü yeni çözüm olarak kabul eder. Algoritma lokal minimuma takılmamak için yukarı yönlü hareketlere izin verir ve eğer yeni bir çözüm amaç fonksiyonunda yükselme sağlıyorsa kabul eder. Araç rotalama problemlerinde farklı algoritmalara başlangıç çözüm bulmak için kullanılan yöntem, tek başına fazla kullanılmamaktadır. Tarantilis ve Kiranoudis (2002), araç rotalama problemi için liste tabanlı kabul eşiği algoritması geliştirilmiştir. Tarantilis vd. (2004), açık araç rotalama problem için arama prosesinde uygun olmayan bir çözüme rastlandığında kabul değerinin geriye dönüş politikasını kullanan tavlama esaslı bir yöntem geliştirmişlerdir. Kabul Eşiği Algoritması bu çalışma kapsamında Tabu Arama esaslı yöntemin (TAKE) başlangıç çözümü için kullanılan yöntemlerden bir tanesidir.

✓ ***Yapay Arı Kolonisi Algoritması (Artificial Bee Colony - ABC)***

ABC algoritması (Karaboğa, 2005) arıların yiyecek arama gösterdikleri davranışlarını modellendiği bir optimizasyon algoritmasıdır. Algoritma görevli ve görevsiz arılar ile yiyecek kaynakları ve geri besleme mekanizmasından oluşur. *Görevli işçi arılar*, nektarın, önceden keşfedilmiş olan belli kaynaklardan kovana getirilmesinden sorumludurlar ve gittikleri kaynağın kalitesi ve yeriyle ilgili bilgileri kovandaki diğer arılarla paylaşırlar. *Görevsiz işçi arılar* ise nektarı toplanabilecek yeni yiyecek kaynaklarını aramaktadırlar. Kaşif arıların sayısının kovandaki diğer arılara oranı %5-10 arasındadır. Ortaklaşa bilginin oluşumundaki en önemli etmen arılar arasındaki bilgi paylaşımıdır. Yiyecek kaynağının yeri ve kalitesi hakkındaki bilgi paylaşımı kovandaki dans alanında olmaktadır. Dans eden arıya diğer arılar antenleri aracılığıyla dokunarak kaynağın tadı ve kokusu hakkında da bilgi alırlar (Karaboğa, 2011, 201-202). Bu algoritma kullanılarak kapasite kısıtlı araç rotalama problemi için yapılan tek çalışma Szeto vd. (2011) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada standart ABC ve geliştirilmiş ABC olmak üzere iki yöntem önerilmiş ve geliştirilmiş ABC yönteminin daha iyi sonuçlar ürettiği belirlenmiştir.

✓ ***Meta sezgiseller İle İlgili Literatür Tablosu***

KARP'nin çözümünde meta sezgisel yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar yayın yıllarına göre Çizelge 4.3'te listelenmiştir.

Çizelge 4.3 KARP'nin çözümünde metasezgisel kullanılan çalışmalar³⁰

Sıra No	Yazar	Yıl	KK	GA	YA	PSO	BT	TA	KE	YAK
1	Osman	1993					√			
2	Taillard	1993						√		
3	Gendreau vd.	1994						√		
4	Rochat ve Taillard	1995						√		
5	Barbarosoğlu ve Özgür	1999						√		
6	Tarantilis ve Kiranoudis	2002						√		
7	Tarantilis ve Kiranoudis	2002							√	
8	Baker ve Ayechev	2003		√						
9	Jaszkiewicz ve Kominek	2003		√						
10	Baker ve Carreto	2003			√					
11	Reimann vd.	2004	√							
12	Doerner vd.	2004	√							
13	Brandão	2004						√		
14	Tarantilis vd.	2004							√	
15	Zeng vd.	2005					√			
16	Tarantilis	2005						√		
17	Alba ve Dorronsoro	2006		√						
18	Wassan	2006						√		
19	Gendreau vd.	2006						√		
20	Archetti vd.	2006						√		
21	Mester ve Bräysy	2007		√						
22	Kytöjoki vd.	2007			√					
23	Tavakkoli-Moghaddam vd.	2007					√			
24	Derigs ve Kaiser	2007						√		
25	Bin vd.,	2009	√							
26	Fuellerer vd.	2009	√							
27	Wang ve Lu	2009		√						
28	Tutuncu vd.	2009			√					
29	Zachariadis vd.	2009						√		
30	Chen vd.	2010			√					
31	Marinakakis ve Marinaki	2010				√				
32	Leung vd.	2010					√			
33	Uslu ve Dengiz	2011			√					
34	Qi	2011				√				
35	Szeto vd.	2011								√
36	Tan vd.	2012	√							
37	Xiao ve Jiang-qing	2012	√							
38	Jaszkiewicz vd.	2012		√						
39	Nazif ve Lee	2012		√						
40	Kuo ve Wang	2012			√					
41	Bortfeldt	2012						√		
42	Jin vd.	2012						√		
43	Du ve He	2012						√		
44	Ke ve Feng	2013			√					

³⁰ KK=Karınca Kolonisi, GA=Genetik Algoritma, YA=Yerel Arama, PSO=Parçacık Sürü Optimizasyon, BT=Benzetilmiş Tavlama, TA=Tabu Arama, KE=Kabul Eşiği, YAK=Yapay Arı Kolonisi

BEŞİNCİ BÖLÜM

DEPO OPERASYONLARI VE SİPARİŞ DAĞITIM FAALİYETLERİNİN SEZGİSEL YÖNTEMLERLE EŞ ZAMANLI OPTİMİZASYONU

Dördüncü bölümde tanımlanan Sipariş Toplama ve beşinci bölümde tanımlanan Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemlerinin çözümüne yönelik olarak geliştirilen yöntemlerin detayları bu bölümde sunulmaktadır. İlk olarak her iki problemin çözümünde kullanılacak olan parametrik sezgiseller, ardından bu yöntemlerin probleme uygulanışı açıklanmıştır. Çalışma kapsamında grupların oluşturulması için Tabu Arama ve Genetik Algoritma, rotaların belirlenmesi için Tasarruf ve EYK algoritmaları ve son olarak geliştirilen rotaların geliştirilmesi için 2-opt ve Or-opt rota geliştirici sezgiselleri kullanılmıştır. 2-opt ve Or-opt sezgiselleri tasarruf ve en yakın komşu sezgiselleri ile entegre biçimde uygulanmıştır.

Önerilen Tabu Arama esaslı yöntem için başlangıç çözümü 3 farklı şekilde belirlenmiştir. Bunlar sırasıyla serbest, rota benzerlik ve kabul eşiği yöntemleridir. Genetik Algoritma esaslı çözüm yönteminde başlangıç popülasyonu 2 farklı şekilde tespit edilmiştir. İlkinde rastgele başlangıç popülasyonu kullanılırken, ikincisinde popülasyonun %25'lik kısmı rota benzerlik yöntemi ile oluşturulmuş çözümlerden oluşmaktadır. Geliştirilen yöntemlere verilen isimler ve kullanılan kısaltmalar şu şekildedir;

- * **TAS** : TA - Rastgele Başlangıç Çözüm
- * **TARB** : TA - Rota Benzerlik Yöntemi
- * **TAKE** : TA - Kabul Eşiği Algoritması
- * **GAS** : GA - Rastgele Başlangıç Popülasyonu
- * **GARB** : GA - Rota Benzerlik + Rastgele Başlangıç Popülasyonu

5.1. TABU ARAMA ALGORİTMASI VE TEMEL KAVRAMLAR

Glover (1986) tarafından geliştirilen ve o tarihten bu yana birçok bütünleşik optimizasyon problemine başarılı bir şekilde uygulanan TA, genellikle optimale yakın

sonuçlar üreten ve tekrarlamalı meta sezgisel bir yöntemdir. Göstermiş olduğu bu başarı nedeniyle popüler bir yöntem olmuş ve son yıllarda birçok bilimsel çalışmada kullanılmıştır.

TA, yerel optimumun ötesindeki çözüm alanlarını araştırmak için bölgesel arama prosedürünü yönlendiren bir meta sezgiseldir (Glover ve Laguna, 1997: 2). TA algoritması, rastsal olarak veya ilgili problemin yapısına uygun bir sezgisel yöntem ile oluşturulan *başlangıç çözümü* ile başlar. Mevcut çözümden daha iyi çözümlere ulaşabilmek için *komşuluk yapısı* kullanılır ve bu mekanizma ile mevcut çözümün komşuları oluşturulur. Tabu Arama algoritması, *hareket mekanizması* ile olası komşu çözümlerin yerel optimumu aşması amacıyla kullandığı temel prensip, *değerlendirme fonksiyonu* tarafından her iterasyonda en yüksek değerlendirme değerine sahip çözümün bir sonraki iterasyonda başlangıç çözümü oluşturmak amacıyla seçilmesidir (Karaboğa, 2011: 47).

Arama uzayı, arama süreci boyunca incelenecek olan uygun ve uygun olmayan çözümlerin tamamının meydana getirdiği alandır. Daha önce ziyaret edilen çözümlere geri dönüşü önlemek için algoritmanın temel bileşenlerinden olan *tabu listesi* adlı bir hafıza kullanır. Tabu listesi belirli sayıda iterasyon (*tabu tenure*) süresince tekrar göz önüne alınmaması gereken çözümlere ilişkin özelliklerin saklandığı listedir. Tabu aramada *hafıza yapıları* yenilik (recency), frekans (frequency), kalite (quality) ve etki (influence) olmak üzere başlıca dört ölçüte göre çalışır (Glover ve Laguna, 1997: 4).

Yenilik ve sıklık esaslı hafıza yapıları birbirini tamamlar niteliktedir ve ilerleyen bölümlerde açıklanacaktır. Bir hareket *aspirasyon (tabu yıkma) kriterini* sağlaması halinde tabu listesinden çıkarılır. Literatürde en çok kullanılan aspirasyon kriteri, “o ana kadar bulunan en iyi çözümden daha iyi bir çözüm elde edildi ise o hareketin tabu olsa dahi tabu listesinden çıkarılması”dır. Hangi şartlarda aramanın bitirileceği *durdurma kriteri* ile belirlenir. Literatürde yapılan çalışmalara baktığımızda durdurma kriteri olarak genellikle zaman ve iterasyon sayısının kullanıldığı görülmektedir.

5.1.1. Algoritmanın Tarihçesi

Tabu kelimesi TDK'nın güncel sözlüğünde “*Kutsal sayılan bazı insanlara, hayvanlara, nesnelere dokunulmasını, kullanılmasını yasaklayan, aksi yapıldığında*

zararı dokunacağı düşünülen dinî inanç”³¹ şeklinde tanımlanmaktadır. Etnologlar tarafından Polinezya dillerinden alınıp kullanılmaya başlanan bu kelime, kutsal veya dokunulmaz olarak tanımlanmış oldukça güçlü sosyal yasakları ifade etmek için kullanılmaktadır. TA algoritması bu tanımda bahsedilen yasaklama kavramı üzerine inşa edilmiş bir algoritmadır. Bu yöntemde kullanılan genel yaklaşım, daha önce ziyaret edilen çözüm uzayı noktalarının herhangi bir döngüye sebep olmaması için sonraki iterasyonlarda *tabu* olarak değerlendirilerek yasaklanmasıdır.

Gerçek yaşam problemlerinde optimal çözümün elde edilebilmesi için oldukça fazla sayıda çözümün değerlendirilmesi gerekir. Bu tarz problemlerin çözümünde kullanılabilecek analitik yöntemler bulunsa bile, bu yöntemler probleme kabul edilebilir bir sürede çözüm üretememektedir. Karmaşık, zor ve büyük boyutlu problemlerin çözümünde yöneylem araştırması tekniklerinin bu yetersizliği sezgisel yöntemlerin gelişmesinde büyük oranda etkili olmuştur (Gendreau vd., 2002: 129). Bu noktada araştırmacılar, zor problemlerin hızlı ve etkili çözümünü sağlayacak yeni yöntemlerin arayışına girmiştir. Birçok problem türünde kaliteli çözümler sağlayan TA Algoritması geliştirilen bu yöntemlerden bir tanesidir.

Temel kavramları Glover (1986) tarafından tanımlanan ve Glover (1989) ile resmiyet kazanan TA, esas olarak başka bir sezgisel yöntemin üzerine kurulan meta sezgisel bir yöntem olarak düşünülebilir. Pratik uygulamalarda gösterdiği başarı tabu aramanın çok tercih edilen bir yöntem olmasını sağlayan en önemli etken olmuştur. Başarılı performansı nedeniyle birçok alanda yapılan uygulamalarda kullanılmıştır. Çizelgeleme, tasarım, yerleşim ve tahsis problemleri, mantık ve yapay zeka, telekomünikasyon, üretim, envanter, yatırım, rotalama, teknoloji, çizge optimizasyonu ve genel bütünleşik optimizasyon problemleri bu algoritmanın yaygın olarak kullanıldığı alanlardır. Rotalama problemleri ile ilgili olarak, Araç Rotalama, Kapasiteli Rotalama, Zaman Pencere Rotalama, Çok Modlu Rotalama, Karma Filo Rotalama ve Gezgin Satıcı problemi gibi konularda yapılan çalışmalar literatürde bulunmaktadır. Bu yöntemin uygulama alanlarından Çizelge 5.1'de gösterilmektedir.

³¹ <http://www.tdk.gov.tr> (Erişim: 15.10.2013)

Çizelge 5.1 Tabu Arama Uygulamaları

<p>Çizelgeleme Hüresel Üretim Heterojen İşlemci Çizelgeleme İş gücü Planlama Makine Çizelgeleme Akış Tipi Çizelgeleme Atölye Tipi Çizelgeleme Sıralama ve Gruplama</p> <p>Dizayn Bilgisayar Destekli Dizayn Hataya Dayanıklı Ağlar Taşıma Ağı Dizaynı Mimari Alan Planlama Diyagram Uygunluğu Sabit Tarife Ağ Tasarımı Düzensiz Kesme Problemleri Yerleşim Planlama</p> <p>Yerleşim ve Tahsis Problemleri Çok Ürünlü Yerleşim ve Tahsis Kuatratik Atama Kuatratik yarı-atama Çok Kademeli Genelleştirilmiş Atama</p> <p>Mantık ve Yapay Zeka Maksimum memnuniyet Olasılıklı Mantık Kümeleme Örüntü tanıma / sınıflama Veri bütünlüğü Sinir Ağlarının Eğitimi Sinir Ağlarının Dizaynı</p> <p>Teknoloji Sismik evirme Elektrik Gücü Dağıtımı Mühendislik Yapısal Dizayn Uzay İstasyonu Yapımı Hücre Devresi Yerleşimi Açık Deniz Petrol Arama</p>	<p>Telekomünikasyon Arama Yönlendirme Bant aralığı sıkıştırma Aktarma Merkezi Konumlama Yol Atama Servis İçin Ağ Dizaynı Müşteri İndirim Planlama Hataya Dayanıklı Mimarı Senkronize Optik Ağlar</p> <p>Üretim, Envanter ve Yatırım Esnek Üretim Tam Zamanında Üretim Kapasiteli Malzeme İhtiyaç Planlama Parça Seçimi Çok Ürünlü Envanter Planlama Miktar İndirimi Kazanma Sabit Karma Yatırım</p> <p>Rotalama Araç Rotalama Kapasiteli Rotalama Zaman Pencereci Rotalama Çok Modlu Rotalama Karma Filo Rotalama Gezgin Satıcı Gezgin Satın Alıcı Konvoy Rotalama</p> <p>Çizge Optimizasyonu Çizge Bölümleme Çizge Boyama Grup Ayırma Maksimum Grup Problemleri Maksimum Planlayıcı Çizgeleri P-Medyan Problemleri</p> <p>Genel Bütünleşik Optimizasyon 0-1 Programlama Sabit Tarife Optimizasyonu Doğrusal Olmayan Programlama Hepsi-veya-Hiç Ağları İki Aşamalı Programlama Genel Karma Tamsayı Programlama</p>
--	---

Kaynak: (Glover, 1995: 3)

5.1.2. Tabu Arama Algoritması

TA algoritması birçok karar probleminin dilsel veya sembolik ifadeleri matematiksel ifadeye dönüştürmeden direkt olarak uygulanabilir. Bununla birlikte, tabu

aramanın belirli özelliklerini tanımlamak için bu tür problemlerin matematiksel olarak ifade edilmesi faydalıdır. Bu tür problemler $x \in X$ kısıtlar kümesine bağlı olarak optimize edilmesi gereken bir $f(x)$ fonksiyonu ile ifade edilir. Algoritmanın çalışma prensibini açıklamak için bir optimizasyon problemi gösterimden faydalanabiliriz (Glover, 1989: 190):

$$\text{Min } c(x)$$

$$\text{s. t. } x \in X \text{ ve } x \in R_n$$

Burada amaç fonksiyonu $f(x)$ lineer veya lineer olmayan bir şekilde olabilirken, $x \in X$ karar değişkeni x vektörü üzerinde bulunan ve uyulması gereken kısıtları ifade eder. Bu kısıtlamalar doğrusal ya da doğrusal olmayan eşitsizlikler içerebilir ve x 'in bir kısım veya bütün bileşenlerinin ayrıık değerler alması için kısıtlayabilirler. Tabu arama yerel ve komşuluk arama yöntemlerinde olduğu gibi başlar, iteratif olarak bir noktadan diğer bir noktaya belirli bir sonlandırma koşulu sağlanıncaya kadar devam eder. Her bir $x \in X$, $S(x) \subset X$ şeklinde bir komşu çözümler kümesine sahiptir ve her bir $x' \in S(x)$ çözümüne x' ten *hareket* adı verilen bir işlem ile ulaşılır (Glover, 1997: 25). $S(x)$ komşu çözümler kümesi ve T tabu listesi olmak üzere TA algoritmasının genel işleyişi aşağıda gösterilmektedir (Glover, 1989: 192).

Adım 1: Bir başlangıç $x \in X$ çözümü al. İterasyon sayacını $k=0$ olarak ayarla ve T (tabu listesi) boş olarak çözüme başla.

Adım 2: Eğer $s(x) - T$ boş küme ise 4. Adıma git. Aksi takdirde $k = k + 1$ olarak ayarla. $s_k(x) = \text{OPTIMUM}(S(x))$; $s_k(x) \in s(x) - T$ koşulunu sağlayan çözümü en iyi çözüm olarak al.

Adım 3: Eğer $c(x) < c(x^*)$ ise $s_k(x) = x^* = x$ olarak değiştir.

Adım 4: Sonlandırma koşulu sağlanıyorsa dur. Aksi halde tabu listesini güncelle ve Adım 2'ye git.

5.1.3. Tabu Arama Hafızası

TA yöntemi bir başlangıç çözüm ile çözüm sürecine başlar ve komşu çözümler üzerinden bu süreci ilerletir. Komşu çözümlerin oluşturulması mevcut çözümlerin yanı sıra başka çözümlerin de ortaya konmasına gerekli bir durumdur. TA yönteminde, bir çözümün bütün komşu çözümlerinin araştırılması zor ve uzun bir süreç olduğu için aday

liste stratejisi kullanılır. Aday çözümlerin listesi, mevcut hareketlerin sınırlandırılmasıyla oluşturulan bir listedir ve olası bütün çözümlerin bir alt kümesi olarak değerlendirilebilir. TA, aramayı sistematik bir şekilde yönlendirmek için uyarlanabilir hafıza ve duyarlı arama özelliklerini arama ve çeşitlendirme stratejisi olarak kullanan bir yöntemdir. TA'nın uyarlanabilir hafıza özelliği, çözüm uzayında ekonomik ve etkili bir arama yapma yeteneğine sahip olan prosedürlerin uygulanmasını sağlar. Yöntem, çekirdeğini kısa dönem hafıza oluşturmak üzere uzun, orta ve kısa dönem hafızanın iç içe geçmiş hiyerarşisi olarak görülebilir (Glover, 1990: 367). TA algoritmasında hafıza yapılarının kullanımı bazı durumlarda geriye dönüşlerden ziyade tekrarları önlemek için de kullanılır. Bu sayede, çözümde geriye dönüş veya tekrara neden olabilecek noktalar yasaklanarak arama daha önce araştırılmamış alanlara doğru kaydırılır. Tabu sınırlama, özelliklerin mevcut periyotlardan belirli bir süre önce meydana gelmesi halinde (*yakınlık tabanlı*) ve daha uzun süre boyunca belirli bir frekansla oluşması halinde (*sıklık tabanlı*) olarak faaliyete geçer (Karaboğa, 2011: 50). Bu kısımda yenilik (*recency*) ve frekans (*frequency*) tabanlı hafıza yapıları incelenecektir.

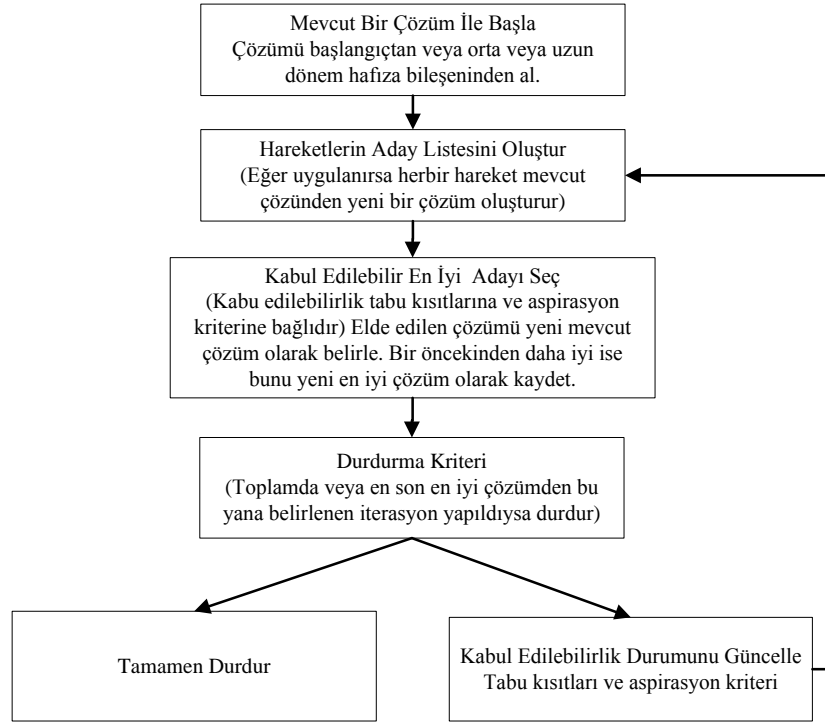
5.1.3.1. Yenilik Tabanlı (Recency-Based) Hafıza

Yenilik tabanlı hafıza TA uygulamalarında en çok kullanılan kısa dönem hafıza yapısıdır. Adından da anlaşılacağı gibi bu hafıza türü çözüm özelliklerinde yakın zamanda meydana gelen değişiklikleri saklar. Bu hafıza yararlanabilmesi için, en son ziyaret edilen çözümleri meydana seçilen niteliklerdeki değişimlerin tabu aktif (tabu-active) olarak etiketlenmesi ve bu tabu-aktif elemanları ya da bu özelliklerin belirli kombinasyonlarını içeren çözümlerin tabu haline alması gerekir. Bu durum, yakın geçmişte ziyaret edilen ve komşu çözümler içerisinde bulunan çözümlerin yeniden göz önüne alınmasını engeller. Bu tür tabu-aktif özelliklerini içeren diğer çözümlerin de benzer şekilde ziyaret edilmesi önlenir (Glover ve Marti, 2006: 55). Çizelge 5.2'de yenilik tabanlı hafıza örnekleri verilmiştir. Tabu aramada kısa dönem hafıza bileşenleri ise Şekil 5.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.2 Yenilik tabanlı hafıza örnekleri

İçerik	Özellikler	En Son Zamanı Kaydetmek İçin
0-1 Tam Sayılı Programlama	Değişken indeksi (i)	Şimdiki değerine bağlı olarak i değişkeninin 0 'dan 1 'e veya 1 'den 0 'a değişimi
İş Sıralama	İş İndeksi (j) İş İndeksi (j) ve Pozisyon (p) İş İndeksi Çiftleri	j işinin değişen pozisyonu j işinin p pozisyonunu alması i ve j işlerinin pozisyon değişimi
Çizgeler	Ark indeksi (i)	i arkının mevcut çözüme eklenmesi i arkının mevcut çözümden çıkarılması

Kaynak: (Glover ve Laguna, 2007: 23-4)



Şekil 5.1 Kısa Dönem Hafıza Bileşenleri

Kaynak: (Glover, 1990: 78)

5.1.3.2. Sıklık (*frequency-based*) Tabanlı Hafıza

Yenilik tabanlı hafıza yapısı, yakın geçmişte ziyaret edilen çözümlere dönüşü engellemek için kullanılan, ancak tek başına aramanın çeşitlendirilmesi ve aramanın daha iyi çözümlerin bulunduğu farklı bölgelere taşınması konusunda yetersiz kalan kısa dönem bir hafıza yapısıdır. Bu noktada, yenilik tabanlı hafızanın sağladığı bilgileri tamamlar nitelikte yeni bilgiler sağlayarak hareket seçimi için oluşturulan temelini genişletilmesine destek olan sıklık (*frequency*) tabanlı hafıza yapısı devreye girer. Kısa dönem hafıza ile birlikte uzun dönem hafıza bileşenlerini de bünyesinde bulunduran TA

yönteminin aramanın çeşitlendirilmesi (*diversification*) yolu ile daha güçlü bir arama yapabilmesi sağlanır. Sıklık ölçütü olarak oranların kullanıldığı sıklık tabanlı hafıza, hareket değerlendirmelerinde ceza ve teşvik oluşturmak için yenilik tabanlı hafıza ile birleştirilebilir. Sıklık bilgilerinin kullanım amacı, bir hareketin geçmişte hangi sıklıkta yapıldığına bakılarak mevcut tercihin yönlendirilmesidir. Sıklık izlemek için tipik olarak iki oran kullanılır. Bu oranların payını ifade etmek için elemanların ne kadar sıklıkta çözümün bir parçası olduğunu izleyen konum sıklığı (*residence measure*) ile elemanların ne kadar sıklıkta değişikliğe uğradığını izleyen değişim sıklığıdır (*transition measure*). Bu oranların paydasında ise genellikle şu 3 sayısal değerden birisi bulunur (Glover vd., 2007: 25-5):

- (1) Paydaki bütün olayların yinelenme sayısı,
- (2) Payların toplamı (ya da ortalaması)
- (3) Maksimum pay değeri

Çizelge 5.3'te sıklık tabanlı hafıza yapısı için örnekler verilmiştir.

Çizelge 5.3 Sıklık tabanlı hafıza yapısı için örnekler

İçerik	Konum Ölçütü	Değişim Ölçütü
0-1 Tam Sayılı Programlama	(<i>i</i>) değişkenine 1 değerinin atanma sayısı	<i>i</i> değişkeninin değerinin değişme sayısı
İş Sıralama	(<i>j</i>) işinin (<i>p</i>) pozisyonunu alma sayısı (<i>j</i>) işi (<i>p</i>) pozisyonunu aldığı anda zamanki uygunluk değerlerinin ortalaması	<i>i</i> işinin <i>j</i> işi ile yer değiştirme sayısı <i>j</i> işinin iş sırasında daha önceki bir konuma taşınma sayısı
Çizgeler	(<i>i</i>) arkının çözümde yer alma sayısı (<i>i</i>) arkının çözümde yer aldığındaki uygunlukların ortalaması	<i>j</i> arkının çözüme eklenip <i>i</i> arkının çözümden çıkarılma sayısı

Kaynak: (Glover vd., 2007: 25-4)

5.1.4. Tabu Süresi (*tabu tenure*)

Genel olarak, sıklık tabanlı hafıza aktif tabu durumların ve mevcut statülerinin kaydedildiği bir veya daha fazla tabu listesi ile yönetilir. Tabu görev süresi özelliklerin farklı tür ve kombinasyonları için farklı olabilir ve arama sürecinin farklı aşama veya zaman aralıklarında değişebilir. Görev süresindeki bu değişim kısa ve uzun dönem stratejiler arasında denge sağlanmasına yardımcı olur. Ayrıca aramanın güçlü ve dinamik olmasını sağlar. Uygun tabu listesi seçimi içeriğe bağlıdır. Bütün problem

türleri için tek tip bir tabu listesi olmamasına rağmen, bazı kurallar formüle edilebilir (Glover ve Laguna, 1997: 46).

Tabu süresi *sabit* veya *dinamik* olarak tanımlanabilir. Tabu süresi t ile ifade edilir ve sabit tabu süresi için $t = 10$ veya $t = \sqrt{n}$ (n : problem boyutu, örneğin sipariş sayısı) şeklinde *sabit* bir sayı tanımlanabilir. Tabu süresinin dinamik olduğu durum için kullanılacak *rastgele dinamik* ve *sistemantik dinamik* olmak üzere iki tane alternatif vardır. Her iki durum için de bir t_{min}, t_{max} değeri tanımlanır. Rastgele dinamik tabu görev süresi için t değeri uniform dağılıma uygun olarak bu aralıktan iki farklı şekilde seçilebilir. İlk durumda, seçilen t değeri αt_{max} iterasyon boyunca sabit olarak devam eder ve yine aynı seçim süreci kullanılarak yeni bir t değeri belirlenir. İkinci durumda ise, belirli bir iterasyonda tabu haline gelen her özellik için yeni bir t değeri belirlenir. Tabu görev süresinin en son ne zaman modifiye edildiği hatırlaması gerektiği için birinci durum ikinci duruma göre daha fazla kayıt tutmayı gerektirir (Glover ve Laguna, 1997: 48). Dinamik tabu süresinin bir diğer belirlenme şekli *sistemattiktir*. Sistemantik dinamik tabu süresi belirlemede uniform dağılımı kullanmak yerine, t_{min}, t_{max} aralığında yer alan değerler belirli bir sistem dâhilinde (azalan veya artan sıra gibi) sıralandıktan sonra sıradaki değer mevcut iterasyonda tabu süresi olarak belirlenir.

Tabu süresi algoritmanın performansını doğrudan etkilediği için oldukça önemli bir parametredir. Hafıza kullanımında dikkat edilmesi gereken başlıca husus uygulanacak tabu süresidir. Yapılan deneyler etkili bir tabu süresinin problem örneğinin büyüklüğüne bağlı olduğu göstermiştir. Bütün problem türleri için tabu süresini verimli bir şekilde belirleyebilecek bir kural bulunmamaktadır. Bunun sebebi uygun tabu süresinin kullanılan tabu aktivasyon kuralına sıkı bir şekilde bağlı olmasıdır. Belirli problem türlerinde yapılacak az sayıda deney ile uygun tabu süresi ve aktivasyon kuralı belirlenebilir. Tabu süresinin (liste uzunluğu) gereğinden kısa olması aramanın yerel optimum noktalar etrafında gerçekleşmesini neden olurken, uzun olması ise çözüm kalitesinin düşmesine neden olur (Glover ve Laguna, 1997: 47).

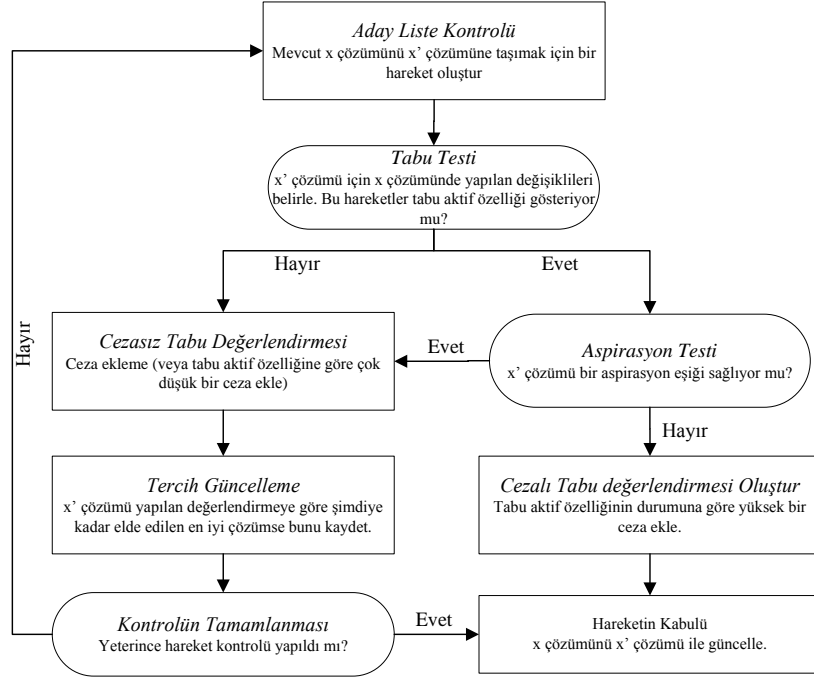
5.1.5. Aspirasyon Kriteri

TA içerisinde kullanılan diğer bir mekanizma aspirasyon kriteridir. Yine TA algoritmasının iyi bir performans gösterebilmesi için aspirasyon kriterinin uygun bir

şekilde kullanımı oldukça önemlidir. Aspirasyon kriterinin görevi iyi bir çözüm sağlayacak olan hareketin tabu durumunu ortadan kaldırmaktır. Tabu aramanın ilk uygulamalarından bu yana basit bir aspirasyon kriteri olarak "bir hareket şimdiye kadar elde edilen en iyi çözümden daha iyi bir çözüm sağlıyorsa tabu listesinden çıkar" şeklinde uygulanmıştır. Bu kriter arama sırasında kısıtlayıcı etki gösterebilmesine karşın, kolay uygulanabilmesi nedeniyle halen yaygın bir şekil kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, bütün hareketlerin tabu listesi olması durumunda tabu listesinin en uzun süre duran hareketin tabu durumu kaldırılabilir.

5.1.6. Aday Çözümün Seçimi

TA algoritması, tabu listesinde olmayan ve mevcut hareketler içerisinde uygunluk değeri bakımından en iyi sonucu sağlayan hareketin seçilmesi kuralı üzerine inşa edilmiş meta sezgisel bir yöntemdir. Aday çözümler, oluşturulan komşu çözümler kümesi içerisinde belirli stratejiler kullanılarak seçilirler. Bu stratejilerin etkinliğini değerlendirmek için sadece bir iterasyonun hesap süresi dikkate alınmamalıdır. Bunun yerine belirli bir süre zarfında algoritmanın bulabildiği en çözüm değerlendirme kriteri olarak dikkate alınmalıdır. Örnek vermek gerekirse, ayrıntılı bir komşuluk değerlendirmesi yapan aday liste stratejisi birim zamanda daha çok iterasyon ile sonuçlanabilir, fakat orijinal yöntemin çözüm kalitesine erişebilmek için çok daha fazla iterasyon gerekebilir. Eğer bulunan en iyi çözümde istenen bir zaman zarfında gelişme sağlanamazsa liste stratejisinin yetersiz olarak değerlendirilebilir. TA yönteminde aday liste seçimi için Aspirasyon Artı (*Aspiration Plus*), Elit Aday Listesi (*Elite Candidate List*), Ardışık Filtre Stratejisi (*Successive Filter Strategy*), Sıralı Fan Aday Listesi (*Sequential Fan Candidate List*), Sınırlı Değişim Aday Listesi (*Bounded Change Candidate List*) gibi bazı aday liste stratejileri bulunmaktadır (Glover ve Laguna, 1997: 61). Şekil 5.2'de aday çözüm listesi, tabu durumu ve aspirasyon kriteri arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 5.2 Aday çözüm listesi, tabu durumu ve aspirasyon kriteri arasındaki ilişki

Kaynak: (Glover ve Laguna, 2007: 68.)

5.2. GELİŞTİRİLEN TABU ARAMA ALGORİTMASI ESASLI YÖNTEM

5.2.1. Çözümün Kodlanması

Tabu Arama Algoritmasının uygulanmasındaki en zor kısım üzerinde segmentler bulunan çözüm yapısının tanımlanmasıdır. Depo içi sipariş toplama ve depo dışı sipariş dağıtım faaliyetlerinin planlanmasında grup ve araç numarası esaslı iki çözüm yapısı kullanılmıştır. Depo içi sipariş toplama probleminin çözümünde kullanılan çözüm yapısında her bir segment bir siparişe ve bu kısımlara yazılan rakamlar sipariş grubunu karşılık gelirken, depo dışı araç rotalama probleminin çözümünde her bir segment bir müşteriye ve segmente ilişkin değer o müşterinin atandığı araç numarasına karşılık gelmektedir. Her iki durum için kullanılan çözüm yapısı Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de gösterilmektedir.

Sipariş No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Grup No	2	3	1	4	3	1	4	2	1	4	3	2

Şekil 5.3 Sipariş toplama problemi için çözüm gösterimi

Müşteri No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Araç No	1	3	2	4	4	3	1	2	3	1	4	2

Şekil 5.4 KARP için çözüm gösterimi

Şekil 5.3'te 12 adet siparişin çözüm gösteriminde 4 gruba ayrılması örneklenmiştir. {3, 6, 9}, {1, 8, 12}, {2, 5, 11} ve {4, 7, 10} numaralı siparişler sırasıyla 1, 2, 3 ve 4 numaralı gruplara atanmıştır. Depo dışı KARP'nin çözümü için verilen örnekte ise {1, 7, 10}, {3, 8, 12}, {2, 6, 9} ve {4, 5, 11} numaralı müşteriler sırasıyla 1, 2, 3 ve 4 numaralı araçlara atanmıştır. Çalışma kapsamında Tabu Arama algoritmasının başlangıç çözümü serbest ve Kabul Eşiği algoritması kullanılarak 2 farklı şekilde oluşturulmuştur. Oluşturulan bu S_0 başlangıç çözümünden komşu çözümler kümesindeki $[N(S)]$ en iyi çözüme doğru hareket edilerek en iyi çözüme ulaşmaya çalışılmaktadır.

Tabu Araştırma algoritmasının temel işlem basamakları aşağıda verilmektedir;

Adım 1: İterasyon sayacını 0 olarak ayarla ($k = 0$). Rastgele, Rota Benzerlik veya Kabul Eşiği Algoritması ile bir başlangıç çözümü ($S_{başlangıç}$) oluştur. Bu çözümü mevcut ve en iyi çözüm olarak al. ($S_{başlangıç} = S_{mevcut} = S_{en_ıyı}$),

Adım 2: Mevcut çözümün komşuluğunda rastgele deneme çözümleri (S) oluştur ve S kümesinin elemanlarını dolaşım mesafesinin artan sırasına göre sırala (*minimizasyon problemi*). S^j 'yi sıralanan deneme çözümleri setinde j . eleman olarak belirle ($1 \leq j \leq n$). Burada S^j seyahat mesafesi anlamında en iyi çözümü ifade etmektedir.

Adım 3: $j = 1$ olarak ayarla. Eğer $S^j > S_{en_ıyı}$ ise Adım 4'e git.

Adım 4: S^j 'nin tabu durumunu kontrol et. Eğer tabu listesinde değilse tabu listesine ekle, $S_{mevcut} = S^j$ olarak ayarla ve Adım 7'ye git. Eğer tabu listesinde ise Adım 5'e git.

Adım 5: S^j 'nin aspirasyon kriterini kontrol et. Eğer karşılanıyorsa tabu kısıtlamasını kaldır, $S_{mevcut} = S^j$ olarak ayarla ve Adım 7'ye git. Eğer ölçüt sağlanmıyorsa $j = j + 1$ olarak ayarla ve Adım 6'ya git.

Adım 6: Eğer $j > n$ ise Adım 7'ye git. Aksi takdirde Adım4'e dön.

Adım 7: Durdurma kriterini kontrol et. Eğer herhangi birisi sağlanıyorsa dur. Aksi takdirde iterasyon sayacını $k = k + 1$ olarak düzenle ve Adım 2'ye geri dön.

5.2.2. Başlangıç Çözümün Oluşturulması

Tabu Arama algoritmasının başlangıç çözümünün oluşturulmasında 3 farklı yol izlenmiştir. Rastgele oluşturulan çözümler arasından en iyisi ile çözüme başlayan TAS, Rota Benzerlik Yöntemi ile elde edilen başlangıç çözümü ile çözüme başlayan TARB ve Kabul Eşiği Yöntemi kullanılarak elde edilen çözüm ile çözüme başlayan TAKE yöntemleri bu başlangıç çözümlerine göre isimlendirilmiştir. Kabu eşiği ve rota benzerlik yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

5.2.2.1. Kabul Eşiği (KE) Algoritması

Başlangıç çözüm için Kabul Eşiği algoritmasının kullanıldığı TAKE yönteminde, daha etkin sonuçlar bulmak amacı ile Tabu arama öncesi daha gelişmiş çözümler üreten KE algoritması kullanılmıştır. Aşağıda algoritması verilen KE algoritması kullanılarak üretilen belirli sayıdaki iyi sonuç Tabu arama için başlangıç çözümlerini oluşturacaktır.

1. Bir başlangıç sırası (\mathcal{S}) oluştur,
2. Bir başlangıç kabul eşiği (T_1) ve eşik azalması adım büyüklüğü (r) seç,
3. Herbir (T_1) kabul eşiği değerinde gerçekleştirilmesi gereken önceden belirlenmiş sayıda komşu aramayı oluştur,
4. Komşu arama adımları sayısı kadar aşağıdaki adımları gerçekleştir;
 - 4.1. Komşu arama uzayındaki çözümlerden bir adet komşu (s') seç ve amaç fonksiyonu [$F_i(s')$] hesapla,
 - 4.2. Eğer $F_i(s') > F_i(s)$ ise $s = s'$ olarak kabul et.
5. Kabul eşiğini $T = T - r$ eşitliğini kullanarak azalt, Eğer $T > 0$ ise 4. adıma git.
6. Bulunan en iyi çözüme geri dön.

5.2.2.2. Rota Benzerlik Yöntemi

Tabu arama algoritmasında oluşturulan başlangıç çözümü yöntemin sonuca ulaşma performansını etkileyen önemli bir etmendir. Bu sebeple uygun bir “başlangıç çözümü oluşturma yöntemi” seçilmelidir. İyi uygunluk değerine sahip çözümlerin başlangıç çözümde yer alması rastsallıktan dolayı zordur. Bu nedenle başlangıç

çözümün oluşturulmasında Rota Benzerlik Yöntemi de (Şahin, 2009; Kulak vd., 2012; Şahin ve Kulak, 2013) kullanılmıştır. Rota Benzerlik Yöntemi, rota benzerlik durumuna göre bazı pozisyonları küme merkezi olarak seçer ve kalan siparişleri bu kümelere pişmanlık değerlerine (*regret value*) göre atar. Önerilen kümeleme metodunun adımları şu şekildedir;

Adım 1: Her bir sipariş (O_i) için En Yakın Komşu Algoritmasını kullanarak alt siparişlerin rotasını (R_i) belirle.

Adım 2: Her bir sipariş (O_i) için rota mesafesini (D_i) hesapla.

Adım 3: Her bir sipariş (O_i) için yoğunluk indeksi (DI_i)'yi belirle.

$NS_i = i$ siparişi içindeki alt siparişlerin sayısı

$$DI_i = \left[\frac{D_i}{NS_i} \right] \quad (5.1)$$

Adım 4: Azalan değere göre yoğunluk indeksi değerlerini (DI_i) sırala.

Adım 5: İlk olarak her bir siparişi çekirdek sipariş (S_i) olarak belirle ve diğer siparişleri her bir çekirdeğe atadıktan sonra aşağıdaki eşitliğe göre rota benzerlik faktörünü hesapla.

$$S_{ij} = \left[\frac{D_i}{D_{yeni}} \right] \quad (5.2)$$

S_{ij} : S_i çekirdek siparişine j siparişi eklendiğinde oluşan yeni benzerlik faktörü.

D_i : Çekirdek sipariş (S_i) içerisindeki alt siparişlerin rota mesafesi,

D_{yeni} : j siparişi i çekirdek siparişine atandıktan sonra oluşan yeni rota mesafesi,

Adım 6: S_{ij} değerlerini azalan sıraya göre sırala ve daha iyi benzerlik değerleri için yeni O_i-O_j çiftleri oluştur.

Adım 7: O_i-O_j çiftleri için yoğunluk indeksini tekrar hesapla. Küçük yoğunluk indeksine sahip siparişler daha yüksek seçim şansı bulacak şekilde seçim olasılığı değerlerini (p_i) belirle.

Adım 8: O_i-O_j çiftlerini grup sayısı kadar rastgele seç.

Adım 9: Bütün siparişleri, araç kapasitesi ve pişmanlık değerlerine göre en yakın küme merkezlerine ata.

5.2.3. Uygunluk Fonksiyonu

Her iki problem için önerilen TA algoritmasının uygunluk fonksiyonu oluşturulan sipariş ve müşteri gruplarına ait dolaşım mesafelerinin toplamı şeklinde ifade edilmiştir. En iyi çözüm, bütün iterasyonlar içerisinde en kısa dolaşım mesafesini sağlayan çözümdür. Son iterasyonda elde edilen uygunluk değeri problemlerin en iyi çözümüdür. Bu durumda, çözüm yöntemlerinin uygunluk fonksiyonu Denklem 5.3'de gösterilmiştir.

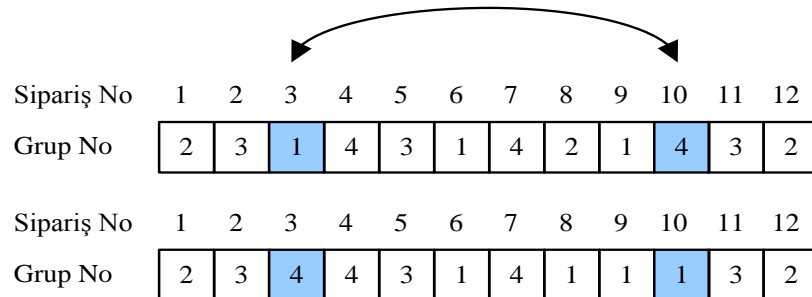
$$F_i = \sum_{j=1}^k D_j \quad (5.3)$$

F_i : i çözümünün uygunluk değeri

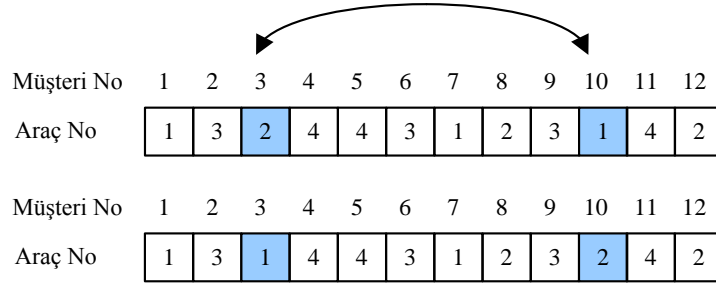
D_j : Oluşturulan sipariş grupları için topla dolaşım mesafesi ($j=1,2,3,\dots,k$)

5.2.4. Komşuluk yapısı ve hareketleri

Komşuluk, mevcut çözümdeki iki toplama noktasının yerinin değiştirilmesi ile elde edilen yeni çözümlerin kümesini ifade eder. Literatüre bakıldığında, komşu çözümler oluşturmak için yer değiştirme (replacement), ekleme (insertion), takas (swap) ve ters çevirme (inversion) yöntemlerinin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Bu hareketler, uygun bir çözüme ait komşu çözümlerin de her zaman uygun olacağını garanti eder. Bu çalışma kapsamında, komşu çözümler oluşturmak için ikili yer değiştirme (swap) yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin kullanımı sırasıyla Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da gösterilmektedir.



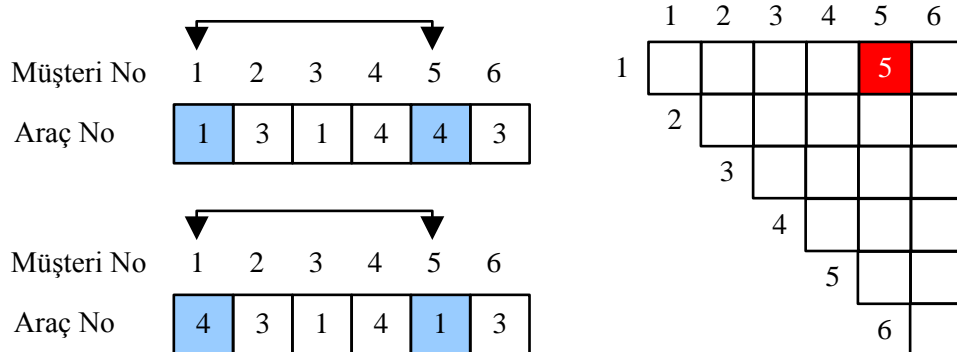
Şekil 5.5 Sipariş toplama problemi için ikili yer değiştirme operatörü



Şekil 5.6 KARP için ikili yer değiştirme operatörü

5.2.5. Tabu Arama Hafızası

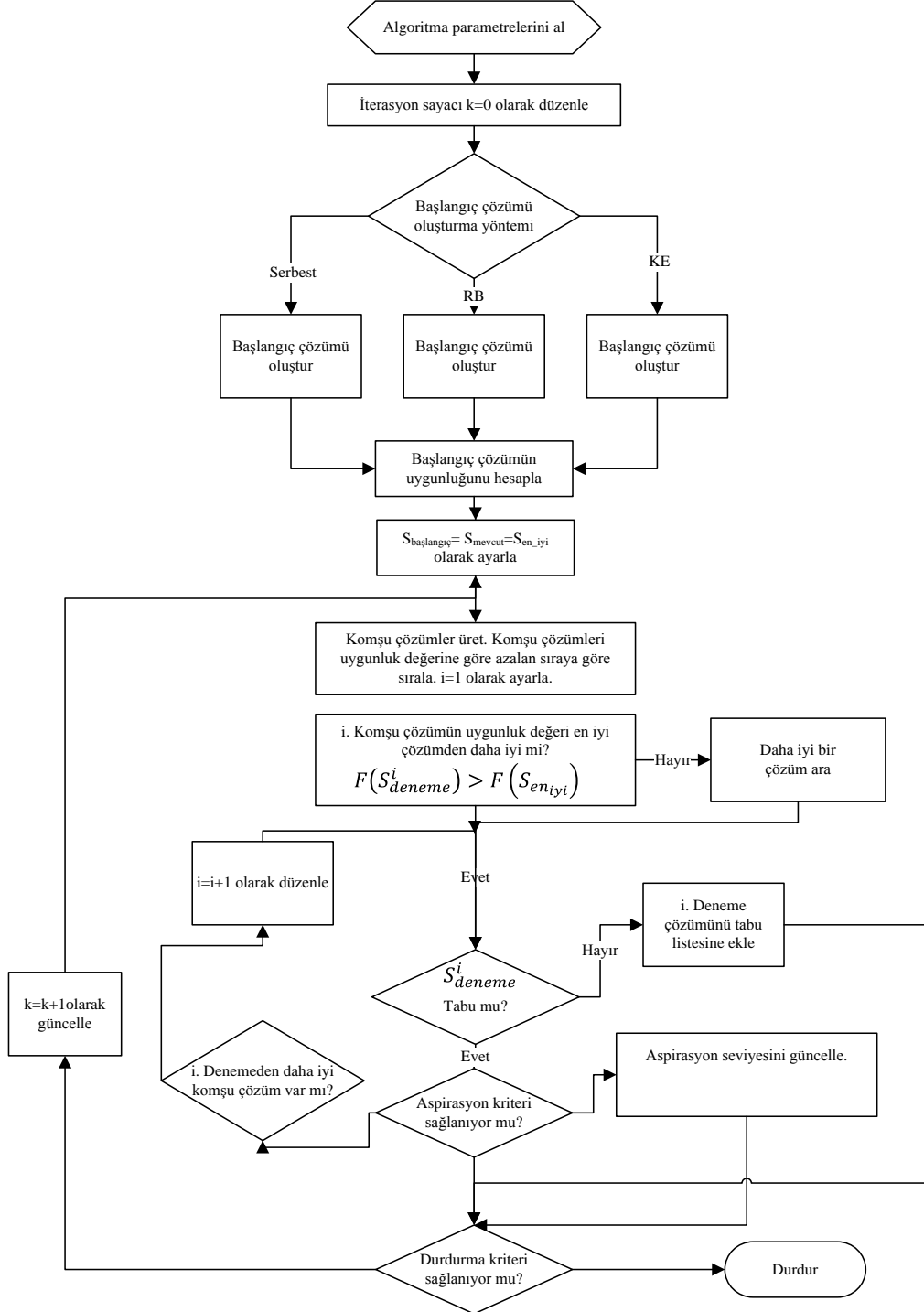
Önerilen yöntemde kullanılan tabu arama hafızasının yapısı arama sürecini devamında kritik bir rol oynar. Kısa dönem hafıza ile arama sürecinin yerel optimuma takılmasını önlerken, uzun dönem hafıza ile çözümün çeşitlendirilmesi sağlanmaktadır. Burada kullanılan tabu kısıtları aramanın geçmiş adımlarının depolandığı yenilik ve sıklık hafızası üzerine kuruludur. Yenilik esaslı hafıza çözümlerin özelliklerinin yakın zamandaki değişimlerini kaydeder ve tekrarlamaları önler. Ziyaret edilen çözümün seçilen özelliğine ait tabu özelliği görev süresi boyunca aktif durumda kalır. Tabunun görev süresi dinamik ve statik olarak belirlenebilir. Çalışma kapsamında her iki hafıza yapısı da kullanılmış ve en iyi parametre seti yapılan ANOVA testleri ile tespit edilmiştir. Örnek bir tabu hafızası Şekil 5.7'de gösterilmiştir. 1 ve 5 numaralı müşterilerin grupları değiştirilmiş ve bu değişiklik tabu listesine 5 iterasyon boyunca tekrar edilmemesi için işlenmiştir.



Şekil 5.7 Kullanılan tabu hafızası

5.2.6. Durdurma Kriteri

Bu kriter arama prosesinin hangi durumlarda sona ereceğini ifade eder. Bu çalışmada maksimum iterasyon sayısı durdurma kriteri olarak kullanılmıştır. Geliştirilen TA esaslı çözüm yöntemlerine ait akış şeması Şekil 5.8’de gösterilmektedir.



Şekil 5.8 Geliştirilen TA algoritmalarının akışı

5.3. GENETİK ALGORİTMA

5.3.1. Genetik Algoritmanın Tarihi

Michigan Üniversitesinde psikoloji ve bilgisayar bilimi uzmanı olan John Holland, evrim kuramında yer alan genetik süreci bilgisayar ortamında kodlayarak, tek bir mekanik yapının öğrenme yeteneğini geliştirmek yerine, böyle yapılarda oluşan bir topluluğun çoğalma, çiftleşme, mutasyon, vb. genetik süreçlerden geçerek başarılı (öğrenebilen) yeni bireyler oluşturabildiğini ortaya koymuştur. Holland (1975), optimumu arama, doğal seçim ve genetik evrimden yola çıkarak bireyin çevreye uyum sağlamasını örnek almış ve optimum bulma ve makine öğrenme problemlerini bilgisayar yazılımı olarak modellemiştir (Varlı, 2007: 37).

1985 yılında John Holland'ın doktora öğrencisi David E. Goldberg “*gaz boru hatlarının optimizasyonu*” konulu doktora tezini sunmuştur. Çok sayıda kollara ayrılmış gaz borularında, gaz akışını düzenlemek ve kontrol etme konusunun ele alındığı bu çalışma Goldberg'e 1985 Ulusal Bilim Kurulu (National Science Foundation) Genç Araştırmacı ödülünü kazandırmıştır. Holland'ın öğrencilerinin bu alanda daha önce de tez çalışması yapmasına karşın, ilk defa bu çalışma ile genetik algoritmanın optimizasyon problemlerindeki kapasitesi tam olarak ortaya konmuştur. Goldberg tarafından 1989 yılında Genetik Algoritma ile ilgili referans kitap olma özelliği taşıyan “*Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*” adlı eser yayınlanmış ve bu tarihten itibaren yöntem pratik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Reeves, 2003: 55).

5.3.2. Genetik Algoritmaların Giriş

Doğal genetik ve bilgisayar bilimlerinin ilgili terminolojinin kullanılması nedeniyle genetik algoritma ile ilgili terimler doğal ve yapayın karışımıdır. Biyolojik bir organizmada, organizmanın ne şekilde yapılanacağı ile ilgili talimatların kodlandığı yapı *kromozom*lardır. Organizmanın tamamını ifade edebilmek için bir veya daha fazla kromozoma ihtiyaç duyulabilir. Kromozom setinin tamamı *genotip*, nihai organizma *fenotip* olarak adlandırılır. Kromozomlar, *gen* adı verilen bir dizi bağımsız bölümün birleşiminden meydana gelir. Her bir gen organizmanın belirli bir özelliğinin kodlar ve

genin kromozom üzerindeki lokasyon veya mevkisi genin hangi özelliği ifade ettiğine karşılık gelir. Bunun yanı sıra, belirli bir yerde belirli bir karakteristik özelliğin ifade edilmesinde kullanılan farklı değerlerin herhangi biri kodlanabilir. Genetik algoritma ile ilgili terimler Çizelge 5.4'te gösterilmiştir. (Gen ve Cheng, 1997: 7).

Çizelge 5.4 Genetik Algoritma ile ilgili terimler

Terim	Açıklaması
Kromozom (dizi, birey)	Çözüm (kodlama)
Genler (parçalar)	Çözümün parçası
Mevki (Locus)	Genin pozisyonu
Alel	Genin değeri
Fenotip	Çözümlemiş çözüm
Genotip	Kodlanmış çözüm

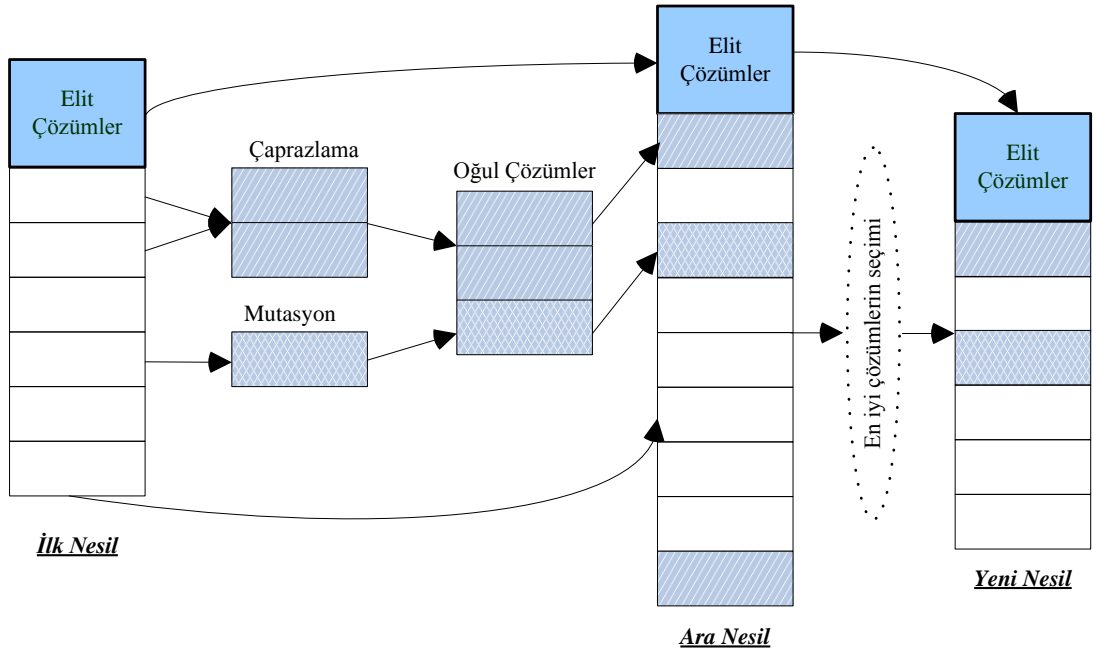
Kaynak: (Gen ve Cheng, 1997: 7)

Genetik algoritmaların bu alanda çalışan kişileri tamamı tarafından kabul edilen bir tanımı olmamasına rağmen, kromozomlardan oluşan popülasyonu, uygunluğa göre seçim, oğul birey elde etmek için çaprazlama ve rastgele mutasyon parametrelerini kullanması bakımından diğer yöntemlerden ayrılmaktadır. Başlangıç popülasyonu her jenerasyonda (generation), tabi seçim (natural selection) ve tekrar üreme (reproduction) işlemleri vasıtasıyla art arda iterasyonlarla geliştirilir. En son iterasyonda bulunan en uygun çözüm (en kaliteli birey) problemin optimal çözümü olmakla birlikte bu çözüm her zaman optimum olmayabilir ancak optimuma yakın bir optimal çözümdür (Karaboğa, 2011: 75).

Genetik algoritmalar, doğal seçim ve en uygunun araştırma prensiplerine bağlı olarak biyolojik organizmaların evrim gibi genetik süreçlerini esas alan meta sezgisel bir arama algoritmasıdır. Doğal yaşamda, bir nüfus içerisinde yer alan her bir birey bir eşi cezbederek çiftleşmek ve mevcut kaynaklar için birbiriyle yarışır. Mevcut koşullara en iyi uyum sağlayan bireyler hayatta kalırken, genetik özellikler oğul bireylere (offspring) aktarılır. İyi özelliklere sahip bireylerin birbiri ile eşleşmesi sayesinde süper donanımlı oğul bireyler ortaya çıkar.

Genetik algortmada popülasyon içerisinde bulunan çözümlerin ifade edilebilmesi için problem türüne göre farklı *gösterimler* kullanılabilir. Çaprazlama işlemini ve sıralamayı kolaylaştırılması nedeniyle çözümün bu şekilde ifade edilmesi genetik algoritmanın güçlü özelliklerinden biridir. Kromozomum kalitesini

değerlendirmek için kullanılan *uygunluk fonksiyonu*, kromozomların optimallığı sağlama derecelerini belirlemekte kullanılan amaç fonksiyonunun ifade edilmesinde kullanılır. GA'nın en önemli bileşenlerinde bir tanesi *çaprazlama* operatörüdür. Çaprazlanacak olan bireyler eşleştirme havuzundan *seçimi* için rulet tekeri, turnuva seçimi ve sıralama seçimi gibi operatörler kullanılır. Holland tarafından oluşturulmuş orijinal versiyonda çözüm parametreleri ikilik sistemde kodlanmış ve ikili sayıları tersine çevirme mutasyonu ile n-nokta çaprazlama operatörü uygulanmıştır. GA'nın performansına etki eden diğer önemli operatör ise elitizmdir. *Elitizmin* temel mantığı her bir iterasyonda en iyi özelliklere sahip belirli bir oranda birey doğrudan yeni kuşağa aktarılmasıdır. Kullanılan elitizm mekanizması bazı yönleri ile genetik stratejiye ve genetik programlamaya benzerlik göstermektedir. Yine her iterasyonda belirli bir oranda gene *mutasyon* uygulanarak oğul bireyler meydana getirilir. Yeni popülasyon, genel popülasyon, oğul bireyler ve mutantların birleşiminden oluşur. Genetik algoritmanın genel işleyişi içerisinde yeni neslin oluşumu Şekil 5.9'da gösterilmektedir.

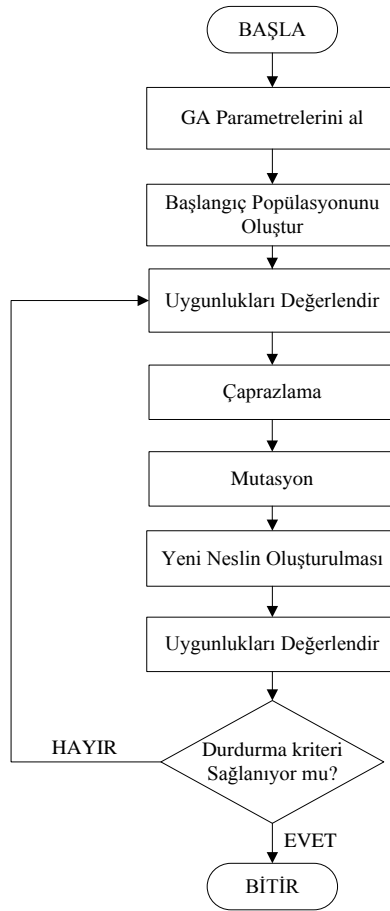


Şekil 5.9 Genetik algoritmanın genel işleyişi

5.3.3. Genetik Algoritmanın Çalışma Prensibi

Genetik algortmada çözüme ulaşabilmek için ilk önce çözüm uzayında rastgele noktalar alınır. Daha sonra, önceden belirlenen kurallar ışığında noktalar arasında eşleştirmeler yapılır ve bazı bireyler yok olurken yerlerine yenileri gelir. Yeni gelenlerin

eskilere nazaran daha sağlıklı yani hedefe daha yakın olması beklenir. Bu sayede hedefe yön veya yol boyunca değil birçok yönden ve daha hızlı bir şekilde yaklaşılr. Bu toplumdaki bireylerin tamamı kodlanmış bir genetik sayı dizisi ile temsil edilir (Şen, 2004: 65). Belirli bir problem için geliştirilen genetik algoritma, çözüm gösterimi, problemin potansiyel çözümleri için başlangıç popülasyonu oluşturma yöntemi, çözümlerin "uygunluğunu" değerlendirmek için uygunluk fonksiyonu, çocukların oluşumunda değişlik yapılmasını sağlayan genetik operatörler ve genetik algoritmanın çeşitli parametreler için kullandığı değerler olmak üzere beş temel bileşenden oluşur. Şekil 5.12'de GA'nın temel akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 5.10 GA'nın temel akış şeması

Belirli sayıdaki kromozomun rastgele oluşturulması ile çözüme başlayan algoritma sonlandırma kriteri sağlanıncaya kadar aşığıdaki adımları tekrar eder.

Adım 1: Başlangıç: n tane kromozomdan oluşan popülasyonu oluştur.

Adım 2: Uygunluk: Her bir kromozom için uygunluk ($f(x)$) değerinin belirle.

Adım 3: Yeni popülasyon: Yeni popülasyon oluşuncaya kadar aşağıdaki adımların tekrar et.

Seçim: İki ebeveyn kromozomun belirli bir yöntem kullanılarak seç.

Çaprazlama: Yeni bir fert oluşturmak için ebeveynlerin bir çaprazlama olasılığına göre çaprazla.

Mutasyon: Yeni ferdin mutasyon olasılığına göre kromozom içindeki konumu değiştir.

Ekleme: Oluşan yeni bireyleri popülasyona ekle.

Adım 4: Değiştirme: Algoritmanın yeniden çalıştırılmasında oluşan yeni popülasyonun kullan.

Adım 5: Test: Eğer sonuç tatmin ediyorsa algoritmayı sonlandır ve son popülasyonun çözüm olarak sun.

Adım 6: Döngü: Aksi halde 2. adıma geri dön.

5.3.4. Genetik Algoritmanın Adımları

5.3.4.1. Çözüm gösterimi

GA pratik ve sağlam bir optimizasyon yöntemidir. GA ile belirli bir problem çözülmeye çalışılırken düşünülmesi gereken en önemli konulardan biri çözümün gösterimi için hangi kromozom (çözüm) gösterim yönteminin kullanılacağıdır. Geliştirilen yöntemin hızlı ve etkin çözümler sağlayabilmesi için problemle uyumlu bir kromozom gösterimi tercih edilmelisi önemlidir. GA'nın ilk uygulamalarında ikili dizi (*binary strings*) yapısı kullanılmış olmasına karşın, günümüz uygulamalarında problemin türüne göre farklı gösterimler kullanılmaktadır. Karakter dizileri (*character strings*), permutasyon (*permutation*) kodlama, değer kodlama ve ağaç (*tree*) kodlama çözüm gösterimleri ikili kodlamanın yanı sıra yaygın olarak kullanılan diğer gösterim yöntemleridir.

İkili kodlama kromozom gösterimi için en fazla kullanılan yöntemdir. Bu kromozom gösteriminde her bir kromozom 0 ve 1 rakamları ile temsil edilir. Kromozom üzerindeki her bit çözümün bazı karakteristik özelliklerini gösterir. Diğer taraftan her bir ikili dizi bir değere karşılık gelir. Bu gösterimin kullanıldığı durumlarda

kullanılabilecek çaprazlama yöntemleri; tek nokta çaprazlama, n nokta çaprazlama, uniform çaprazlama ve aritmetik çaprazlamadır. Kullanılabilecek mutasyon yöntemi ise ters çevirmedir. Ters çevirme mutasyonunda 0 olan bit değeri 1, 1 olan bit değeri 0 yapılarak mutant çözümler oluşturulur (Kumar, 2013: 3-4). İkili kodlama yöntemi ile oluşturulmuş örnek bir kromozom Şekil 5.11'de sunulmuştur.

Kromozom 1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0
Kromozom 2	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1

Şekil 5.11 İkili kodlama gösterimi

Permutasyon kodlama genellikle gezgin satıcı ve çizelgeleme (sıralama) problemleri gibi belirli bir sıranın oluşturulması hedeflenen problem türlerinde kullanılabilecek türde bir kromozom gösterimidir. Bir iş veya şehrin kromozom üzerinde bulunduğu lokasyon onun sırasına karşılık gelir. Şekil 5.12'de permutasyon kodlamaya bir örnek verilmiştir.

Kromozom 1	1	3	4	2	6	5	8	10	9	11	7	12
Kromozom 2	10	4	5	9	2	12	11	8	1	7	3	6

Şekil 5.12 Permutasyon kodlama

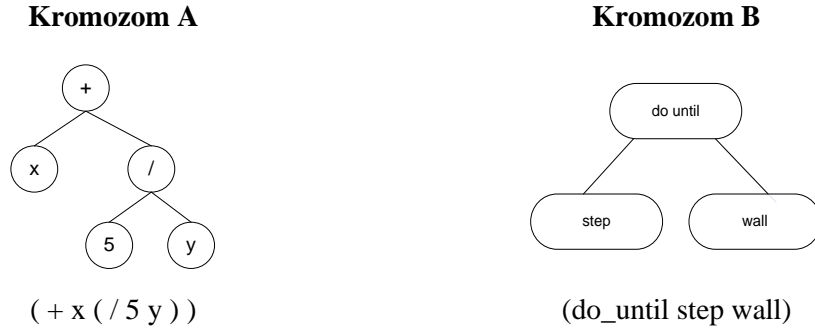
Değer kodlamada her kromozom bazı değerlerin dizesi olarak temsil edilir. Gen içerisinde kullanılan değer tamsayı, gerçek sayı veya karakter ile ifade edilebilir. Bu tamamen üzerinde çalışılan problemle alakalıdır. Değer olarak tam sayı kullanılması halinde ikili kodlamada kullanılan çaprazlama operatörleri de burada da kullanılabilir. Şekil 5.13'te değer kodlama ile oluşturulmuş örnek kromozomlar gösterilmiştir (Kumar, 2013, 5).

Kromozom 1	5,20	2,11	7,56	4,89	4,73	11,5	2,52	3,70	1,16	3,52	1,50	5,48
Kromozom 2	A	B	D	F	G	J	H	H	L	L	M	N

Şekil 5.13 Değer kodlama

Ağaç kodlama, genetik programlama gibi evrimleşen ifadeler ve programlar için en uygun kodlama tekniğidir. Ağaç kodlamada kromozomlar aynı programlama

dillerindeki komut ve fonksiyonlar gibi bazı nesnelerin ağacıdır. Örnek bir ağaç kodlama yapısı Şekil 5.14’te gösterilmiştir.



Şekil 5.14 Ağaç kodlama

Kaynak: (Gupta, 2006: 36)

5.3.4.2. Popülasyon Büyüklüğünün Belirlenmesi

GA uygulamalarında düşünülmesi gereken ilk soru popülasyon büyüklüğü ikinci ise seçim mekanizmasıdır. Genetik algoritmada kullanılan popülasyonun büyüklüğü optimum çözüm arama yeteneğini doğrudan etkileyen önemli bir parametredir. Yapılan araştırmalar büyük popülasyon hacimlerinin optimum çözüm bulma yeteneğini arttırdığını göstermiştir. Fakat arama uzayının küçük olduğu durumlarda yüksek popülasyon hacmi çok da mantıklı bir fikir değildir. Ele alınan problemin özelliği ve kullanılan kromozom gösterimi popülasyon büyüklüğüne önemli oranda etki eder. Bu nedenle, geliştirilen yöntemin performansını en üst seviyeye taşımak için uygun olan popülasyon büyüklüğü yapılacak istatistik testler ile belirlenmelidir.

5.3.4.3. Başlangıç Popülasyonu ve Eşleştirme Havuzu

Genetik Algoritma başlangıç popülasyonu (nüfus) adı verilen ve kromozomlarla temsil edilen bir çözüm kümesi ile çözüm sürecine başlar. Popülasyon içerisindeki her bir kromozomun problemin olası bir çözümüne karşılık gelir. Başlangıç popülasyonunun oluşturulmasının ardından nüfus içerisindeki her bir birey değerlendirilir ve uygunluk fonksiyonuna (fitness function) bağlı olarak bir uygunluk değeri belirlenir. Uygunluğu yüksek bireylerin ve mevcut çözümlerde yapılan mutasyonların daha iyi çözümler sağlayacağı umuduyla mevcut çözümler bu işlemlere

tabi tutulur. Yeni çözümler üretmek için popülasyon içerisinde alınan çözümler uygunluklarına (fitness) göre seçilirler. Uygunluk değeri yüksek olan kromozom yeniden üretim için daha yüksek seçim şansına sahiptir. Yeni popülasyonların üretimi sonlandırma koşulları sağlanıncaya kadar devam eder.

Nesilden nesile nüfus içerisinde bulunan çözümler değişiklik gösterirken popülasyon büyüklüğü sabit kalır. GA kullanılarak yapılan uygulamalarda popülasyon ile ilgili kararlardan ilki popülasyon büyüklüğü, ikinci ise popülasyon içerisinde ebeveyn seçiminin nasıl yapılacağıdır. Başlangıç popülasyonu araştırma faaliyetlerinde rastgele olarak oluşturulurken, şayet bazı çözümler biliniyorsa başlangıç çözümü bu çözümler kullanılarak da oluşturulabilir (Karaboğa, 2011: 77). Yapılan araştırmalar nüfus büyüklüğünün algoritma performansını etkileyen en önemli faktörlerden biri olduğunu göstermiştir. Başlangıç çözümünün büyüklüğü belirlenirken çözüm verimi ile etkililiği arasındaki denge korunmaya çalışılır. Küçük bir popülasyon erken yakınsamaya neden olacağı için çözüm uzayının yeterince araştırılmasını sağlayamazken, büyük bir popülasyon optimal çözümün kabul edilebilir bir sürede bulunabilmesine engel olacaktır. Dolayısıyla iyi bir çözüme ulaşabilmek için iyi ve yeterli sayıda bir nüfusa sahip olmak gerekir (Raja ve Bhaskaran, 2013: 86).

5.3.4.4. Ölçeklendirme

Doğrusal ölçeklendirme yönteminde her bir kromozomun uygunluk değeri doğrusal bir denklem kullanılarak dönüştürülür. Bu dönüşüm neticesinde elde edilen yeni uygunluk değerleri ham uygunluk değerleri ile lineer olarak ilişkilidir. k . kromozomun uygunluk değeri f_k , k . kromozomun ölçeklendirilen uygunluk değeri f'_k , a ve b birer sabit olmak üzere ölçeklendirme için Denklem 5.4 kullanılır. a ve b parametreleri ortalama uygunluk değerine sahip kromozomun bir kopya, en iyi uygunluk değerine sahip kromozomun iki kopya almasını sağlayacak şekilde belirlenir (Gen ve Cheng, 1997: 26). Denklemin kullanımı neticesinde negatif değerler elde edilebilme ihtimali göz önüne alınması gereken bir durumdur.

$$f'_k = a x f_k + b \quad (5.4)$$

Dinamik ölçeklendirmede Denklem 5.4'te verilen sabit b değeri nesilden nesile farklılık gösterecek şekilde düzenlenir ve Denklem 5.5 ile ölçeklendirme işlemi

uygulanır. b_t için kullanılabilir bir örnek mevcut popülasyon içerisindeki en düşük uygunluk değeridir. En düşük uygunluk değeri f_{min} olmak üzere; $b_t = -f_{min}$ olarak belirlemek suretiyle ölçeklendirme işlemi dinamik hale getirilebilir (Gen ve Cheng, 1997: 26).

$$f'_k = a \times f_k + b_t \quad (5.5)$$

Sigma Azaltma (Truncation) ölçeklendirmede kullanılan bir diğer yöntemdir. Forrest (1985) doğrusal ölçeklendirmedeki negatif uygunluk sorununu ortadan kaldırmak için toplum varyansının hesaba katılmasını önermiştir. Bu ölçeklendirme yönteminde, popülasyon içerisindeki kromozomlara ait uygunluk değerlerinin varyansı σ , kromozomun yeni uygunluk değeri (F_{yeni}), ortalama uygunluk değeri (F_{ort}) olmak üzere, ortalama uygunluk değerinin $c * \sigma$ kadar altında olan uygunlukların alınması, negatif uygunlukların ise sifıra eşitlenmesi önerilmektedir. Uygunluk değerleri yeniden derecelendirilen genel nüfusta, hangi bireylerin eşleştirme havuzuna alınacağı noktasında nüfus ortalamasının ne kadar altına inileceği c katsayısı ile belirlenir. Bu formülasyon sayesinde, belirlenen sınırın altında kalan çözümlerin yeni uygunluk değerleri sıfırın altında olacağı için bu çözümler, çözüm kümesi dışında bırakılmaktadır. Sadece eşleştirme havuzuna alınan bireylere çaprazlama uygulanır. Sonuç olarak yeni uygunluk değerlerinin hesaplanması için Denklem 5.6'da verilen eşitlik kullanılmaktadır.

$$F_{yeni} = F_{ort} + c * \sigma - F_{eski} \quad (5.6)$$

5.3.4.5. Seçim

Genetik algoritmanın en temel işlemi olan seçim, Darwin tarafından öne sürülen en uygun olanın yaşamını sürdürmesi esasına dayanır. Seçim her bireye yeniden üremesi için fırsat veren ve genetik algoritmanın itici gücünü oluşturan bir işlemdir (Gen ve Cheng, 1997: 20). Genetik Algoritma içerisinde iki yerde seçim yapılır. Bunlardan ilki eşleştirilecek ebeveynlerin mevcut popülasyondan seçimi, ikincisi ise bir sonraki nesil oluştururken ebeveyn ve oğul bireyler içerisinde hayatta kalacakların seçimidir. Seçim işlemi tüm bireylere uygulanan bir işlemdir.

Popülasyonun çeşitliliği ve seçim baskısı evrimsel süreç içerisinde önem arz eden iki konudur. Güçlü seçim baskısı GA ile arama sürecinde erken yakınsamaya

neden olurken, zayıf bir seçim baskısı etkisiz bir arama sürecinin ortaya çıkmasına neden olur. Artan seçim baskısı popülasyondaki en yüksek uygunluğa sahip bireylerin seçilmesi için zorlar ve bu da genetik çeşitliliğin kaybolmasına yol açar. Düşük seçim baskısı veya yüksek popülasyon kullanımı ise daha çok kromozomun çözüme dâhil olmasını sağlayacağı için araştırma alanının genişlemesini sağlar. Seçim mekanizması bu ikisi arasındaki dengeyi sağlamaya çalışır (Michalewicz, 1999, 58-59).

Genetik algoritmada eşleştirme süreci için seçilmiş ebeveynlerden bir veya daha fazla oğul birey elde edilir. Her bir jenerasyon için eşleştirme havuzu oluşturmadan süreç başlamaz. Gelecek neslin oluşturulması için kullanılacak ebeveynlerin eşleştirme havuzuna alınmaları GA'nın performansı için oldukça önemli bir konudur (Kulak, vd., 2007, 3956-3957). Mevcut popülasyon içerisinde en yüksek uygunluğa sahip olan bireylerden birer kopya alınarak bir sonraki nüfusta üremeleri için eşleştirme havuzuna atılır. Uygunluk değeri düşük bireylerin eşleştirme havuzuna alınması güçtür. Eşleştirme havuzunun oluşturulmasından sonra, havuzda eşleştirilecek birey kalmayınca kadar rastgele seçim yapılarak bireyler çiftleştirilir. Ebeveyn seçimi için literatürde yaygın olarak sıralama (*ranking*), *rulet tekeri (roulette wheel)* ve *turnuva (tournament) seçimi* gibi seçim yöntemleri kullanılmaktadır.

5.3.4.5.1. Sıralama (Ranking) Seçimi

Sıralama seçiminde, popülasyon içerisindeki bireyler uygunluk değerlerine göre sıralanır ve iyi çözüm sağlayan bireyler kötü çözüm sağlayan bireylerin aldığı sıra değerinin katı olacak şekilde daha önceden belirlenmiş değerler bu bireylere atanır. Sıralama seçimi popülasyon içerisindeki yüksek uygunluklu bireylerin dominant etkisini azaltan bir seçim yöntemidir. Fakat diğer taraftan birbirine yakın uygunluklar arasındaki farkı saptırarak durgun popülasyonlarda seçim baskısını artırır (Affenzeller vd., 2009: 7).

5.3.4.5.2. Rulet Tekeri (Roulette Wheel) Seçimi

Rulet tekeri seçimi genetik algoritma uygulamalarında ebeveyn seçimi için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Literatürde uygunluk oranı seçimi (fitness

proportional selection) olarak da adlandırılan bu yöntemde bireyler, gerçek uygunluk değerlerinin uygunluk değerlerinin toplamına bölünmesi ile elde edilen orana göre rulet tekerine benzer bir ölçek üzerine yerleştirilerek seçime tabi tutulurlar.

5.3.4.5.3. Turnuva Seçimi

Bundan önceki iki seçim yönteminde bireylerin seçim olasılıkları ve sıralamaları popülasyonunun tamamın dikkate alınarak belirleniyordu. Yüksek popülasyon ile yapılan uygulamalarda bu bilginin elde edilmesi ve uygulanması oldukça zordur. Bu noktada, uygulanması ve uyarlanması kolay bir seçim yöntemi olan turnuva seçimi kullanılabilir. Popülasyon içerisinde rastgele seçilen k tane birey arasında düzenlenen turnuva neticesinde yüksek uygunluğa sahip olan birey çaprazlama için seçilir ve buna göre eşleştirme havuzu oluşturulur. Turnuva için rastgele seçilen birey sayısı (k) arttıkça seçim baskısı artacağından zayıf bireylerin eşleştirme havuzuna seçim şansları azalır (Eiben ve Smith, 2003: 63-64).

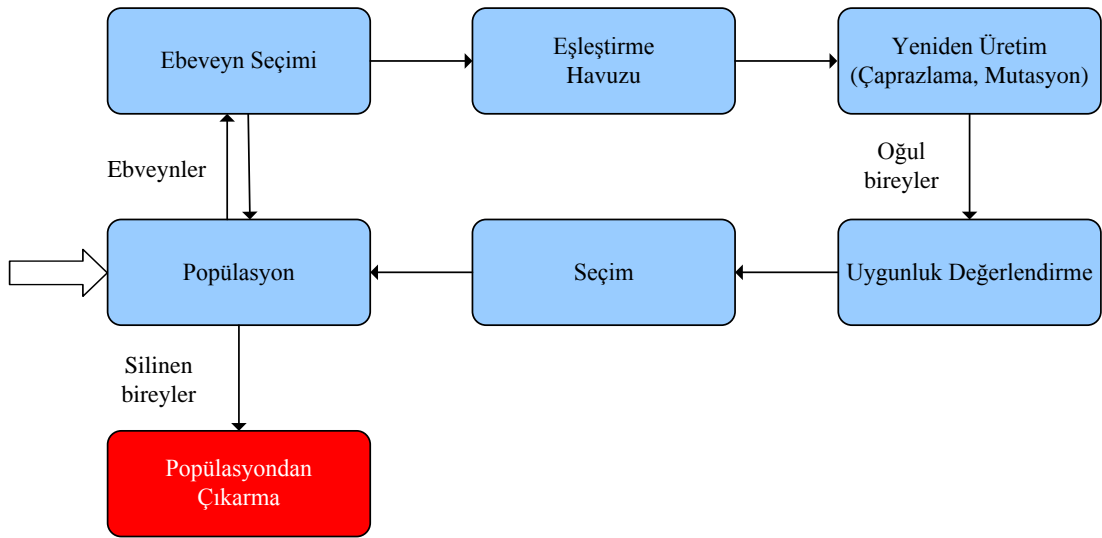
5.3.4.5.4. Kısaltma (Truncation) Seçimi

Deterministik bir seçim yöntemi olan Kısaltma Seçimi basit ve tartışmasız en yararlı seçim stratejisidir. Bu seçim yönteminde bir T eşik değeri belirlenir ve tüm popülasyon içerisinde $\%T$ 'lik bir birey seçilir ve bu $\%T$ 'lik bireyden $100/T$ kadar kopya oluşturulur (Gen ve Cheng, 1997: 24). Örneğin 400 bireyden oluşan bir popülasyonun $\%20$ 'lik kısmı seçilecek olursa, seçilen 80 adayın her birinden ($100/80=5$) kopya üretilecektir. Uygulaması kolay bir seçim stratejisi olmasına karşın, düşük uygunluk değerine sahip bireyler daha iyi çözüm verecek bir hale dönüşmeden öldürüldüğü için erken yakınsamaya neden olabilmektedir.

5.3.4.6. Yeniden üretim

Yeniden üretim genellikle popülasyona uygulanan ilk operatördür. Çaprazlama operasyonunda ebeveyn olmak ve oğul bireylerin üretimi için popülasyon içerisindeki kromozomlar uygunluk değerlerine göre seçilerek eşleştirme havuzuna alınırlar.

Eşleştirme havuzuna alınan ebeveynlere yapılan ilk işlem çaprazlamadır. Çaprazlama sonucu oluşan bireyler ebeveynlerinin bazı özelliklerini taşımalarına karşın onlardan açık bir şekilde farklılık gösterirler. Ebeveynler farklı şekillerde eşleştirmeye tabi tutularak tamamen yeni bireyler oluşturulur. Yeni oluşturulan bireylere uygulanan diğer bir çeşitlendirme işlemi ise mutasyondur. Mutasyon, yeni bireyler oluşturmak için çözüm gösterimde yapılan değişikliklere verilen genel isimdir. Bu değişiklikler, genellikle ebeveynlerden genlerin kopyalanması sırasında meydana gelir. Yeniden üretimin genetik algoritma uygulama süreci içerisindeki yeri Şekil 5.15'te gösterilmektedir.



Şekil 5.15 Yeniden üretimin genetik algoritma uygulama süreci içerisindeki yeri

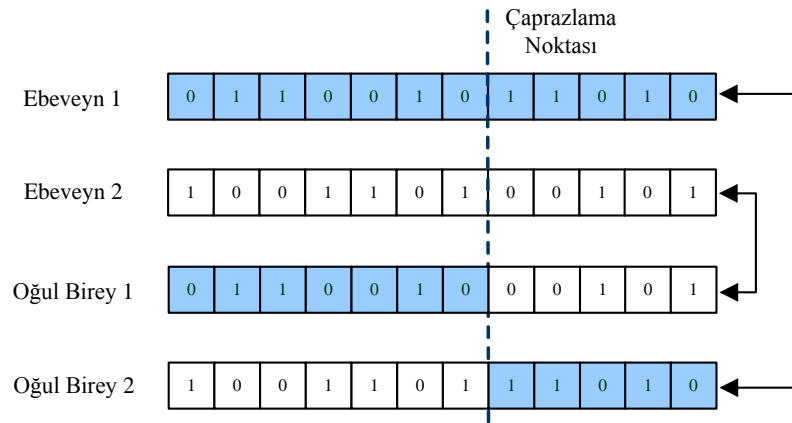
5.3.4.7. Genetik Operatörler

Genetik algoritmada, ebeveynlerden bazı genleri alarak yeni bireyler oluşturma işlemi için kullanılan çaprazlama ve nüfus içerisinde yer alan bireylerin çeşitliliğinde artış sağlamak için genlerin değerlerinin değişiminde kullanılan mutasyon olmak üzere iki adet operatör vardır. Bu iki operatörden mutasyon operatörü gen üzerinde, çaprazlama operatörü ise kromozomlar üzerinde çalışır. Çeşitliliğin sağlanması ve çözümde iyileştirmelerin sağlanabilmesi için bu operatörlerin kullanımı bir zorunluluktur. Bu bölümde çaprazlama ve mutasyon için kullanılan bazı yöntemler açıklanmıştır.

5.3.4.7.1. Çaprazlama operatörü

Genetik algorithmada eşleştirme havuzundan seçilen kromozomların birbiri ile çiftleştirilmesi sonucunda oğul bireylerin (yeni çözümlerin) oluştuğu süreç çaprazlama sürecidir. Arama prosesinde uygulanan çaprazlamanın amacı, farklı noktalarda bulunan çözümlere ait kromozomların belirli bölümlerinin karşılıklı olarak yer değiştirilmesi suretiyle aramayı daha önce ziyaret edilmeyen benzer bölgelere kaydırmaktır. Bu sayede, optimum çözüme daha yakın olabilecek, aramayı optimum noktaya doğru taşıyabilecek iki farklı çözüm ortaya konur. Popülasyon içerisinde çaprazlama uygulanacak kromozom sayısı olasılıklı olarak çaprazlama oranı (p_c) ile belirlenir. Bu oran genellikle [0.5,1.0] aralığında belirlenir (Eiben ve Smith, 2003: 47). *Tek nokta, çok nokta, uniform, parçalı haritalanmış çaprazlama (PMX) ve sıra esaslı (OX) çaprazlama* gibi yöntemler literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden tek nokta, çok nokta, uniform ve PMX çaprazlama yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

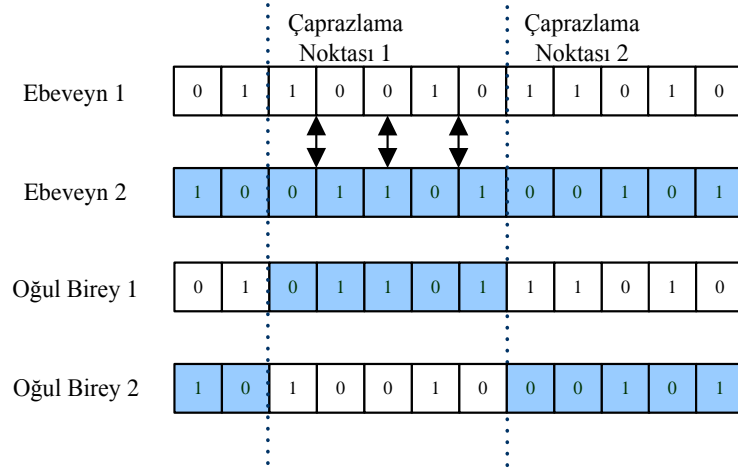
Tek nokta çaprazlama Holland (1992) tarafından geliştirilen bir çaprazlama yöntemidir. Belirlenen bir çaprazlama noktasından bölünen kromozomların ilk bölümleri sabit kalırken, ikinci bölümlerinin ebeveynler arasında değişimiyle iki adet oğul birey elde edilir. Bu çaprazlama yöntemin uygulandığı Şekil 5.16'da gösterilmektedir.



Şekil 5.16 Tek nokta çaprazlama

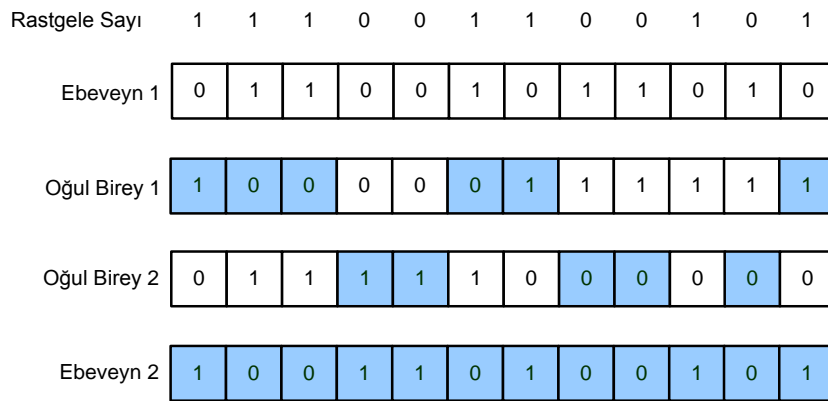
Çok noktalı çaprazlama yönteminde n adet çaprazlama noktası belirlenir. Bu yöntemde iki veya daha fazla çaprazlama noktası belirlenir. Tek ve çift sayılı sıralarda yer alan noktalar arasındaki genler farklı karşılıklı değiştirilerek oğul bireyler meydana

getirilir. $n=2$ için çok noktalı çaprazlamanın uygulanması Şekil 5.17'de gösterilmektedir.



Şekil 5.17 Çok nokta çaprazlama

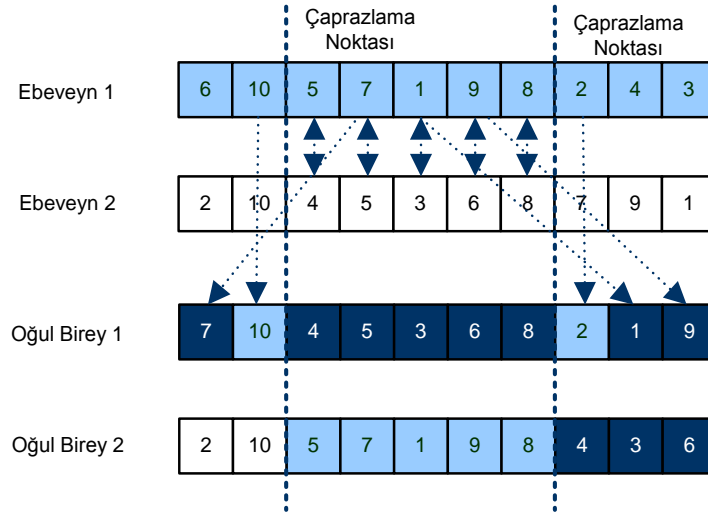
Tek ve çok noktalı çaprazlamada ebeveynler bitişik bir diziyi ayrıldıktan sonra oğul bireylerin oluşumu için tekrar birleştirilmektedir. **Uniform çaprazlamada** ise bütün genler bağımsız gibi hareket eder ve bir özelliğin hangi ebeveynden aktarılacağı $[0, 1]$ arasında uniform dağılıma uygun gen miktarı kadar sayı üretildikten sonra belirlenir. Eğer üretilen rastgele sayı belirlenen bir p (genellikle $p=0.5$) değerinden daha düşük ise özellik birinci ebeveyn, daha yüksek ise ikinci ebeveyn, aktarılır. İkinci oğul birey için bunun tersi bir işlem yapılır. Uniform çaprazlama Şekil 5.18'de gösterilmektedir (Eiben ve Smith, 2003: 48).



Şekil 5.18 Uniform çaprazlama

Kısmi ilişkilendirilmiş çaprazlama (PMX) Goldberg ve Lingle (1985) tarafından geliştirilmiştir. PMX çaprazlama iki nokta çaprazlama yönteminin bir uzantısı olarak değerlendirilebilir. Bu yöntemde, temel iki nokta çaprazlama yöntemi ile

elde edilen oğul bireylerdeki uygunsuzluklar özel bir tamir fonksiyonu yardımıyla giderilmektedir. Bu nedenle PMX iki nokta çaprazlama artı tamir fonksiyonu olarak düşünülebilir (Gen ve Cheng, 1997: 120). PMX çaprazlama yöntemi Şekil 5.19’te gösterilmiştir.



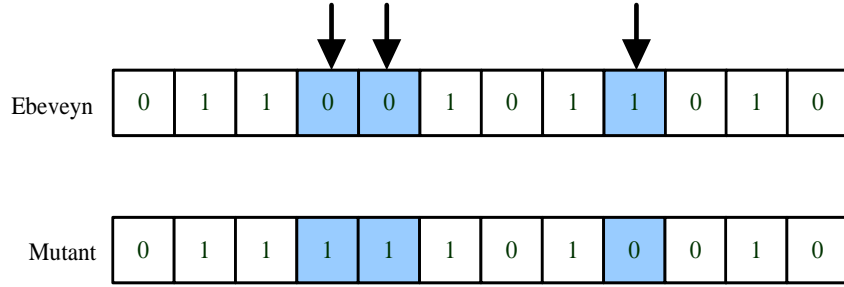
Şekil 5.19 PMX çaprazlama yöntemi

5.3.4.7.2. Mutasyon operatörü

Canlıların DNA veya RNA dizimlerinde ani olarak meydana gelen ve kalıcı etki gösteren değişimlere mutasyon denir. Gen mutasyonuna uğrayan bireyler ise mutant olarak adlandırılır. GA’da çaprazlamanın yanı sıra çeşitliliği sağlamak ve arama uzayını genişletmek için kullanılan diğer operatör mutasyon operatörüdür. Popülasyon içerisinde toplam kaç gene mutasyon uygulanacağı mutasyon oranı (p_m) ile belirlenir. Mutasyon işlemi sayesinde en iyi çözümün aranması sırasında GA’lar bir adım sonraki çözüm arama alanının uzağında çok daha iyi veya kötü bir çözümü dener (Şen, 2004: 90). Mutasyon, çeşitliliğin sağlanması için seçim aşamasında da uygulanabileceği gibi çaprazlama operatöründen sonra da kullanılabilir. Yapılan çalışmalarda genellikle ikinci seçenek tercih edilmektedir. Çözüm gösterimine bağlı olarak farklı mutasyon yöntemleri kullanılabilir. Çözüm gösterimine bağlı olarak farklı mutasyon yöntemleri kullanılabilir. Çözüm gösterimine bağlı olarak farklı mutasyon yöntemleri kullanılabilir. Çözüm gösterimine bağlı olarak farklı mutasyon yöntemleri kullanılabilir. Çözüm gösterimine bağlı olarak farklı mutasyon yöntemleri kullanılabilir.

Bit değiştirme, ikili kodlama gösterimin kullanıldığı çalışmalarda kullanılan bir mutasyon yöntemidir. Bu yöntemde, rastgele seçilen n sayıda genin değeri 0 ise 1, 1 ise

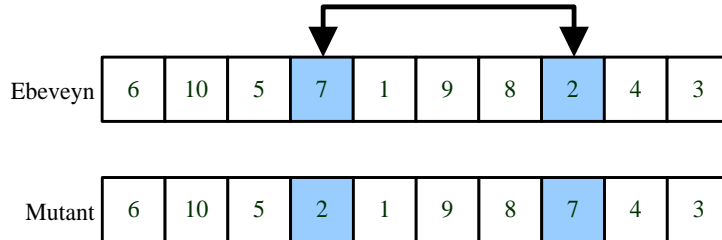
0 yapılarak mutasyonu sağlanır. Değişime uğrayacak genler rastgele belirlenir. p_m mutasyon oranı N toplam gen sayısı olmak üzere toplam $N \times p_m$ kadar gene mutasyon işlemi uygulanmalıdır. Bit değiştirme yönteminin işleyişi Şekil 5.20’de gösterilmektedir.



Şekil 5.20 Bit değiştirme yöntemi

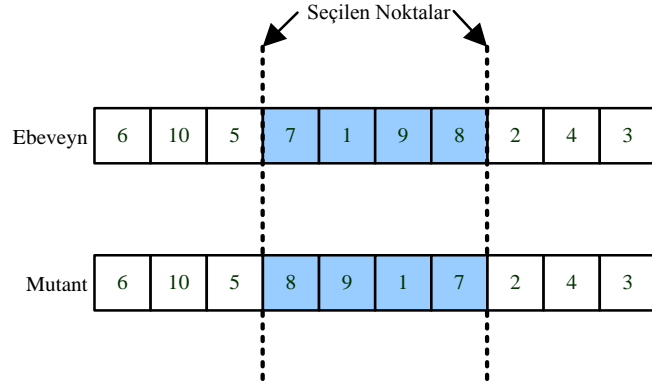
Uniform mutasyon, kullanıcı tarafından belirlenen alt ve üst sınırlar arasında seçilen bir tekdüze rastgele değer ile seçilen genin değerinin değiştiren bir mutasyon türüdür. Bu mutasyon yöntemi sadece tam sayı içeren genlere uygulanabilir.

İkili yer değiştirme (swap) yönteminde kromozom üzerinde rastgele olarak seçilen iki genin içerdiği değerler karşılıklı olarak yer değiştirilir. İki nokta değiş tokuş mutasyon yöntemi Şekil 5.21’de gösterilmiştir.



Şekil 5.21 İkili yer değiştirme mutasyon yöntemi

Ters çevirme yönteminde, kromozom üzerinde rastgele seçilen iki nokta arasında kalan genlerde yer alana değerler sırasını tersten yazılarak mutant birey elde edilir (Eiben ve Smith, 2003: 46-47). Bu yöntem Şekil 5.22’de gösterilmiştir.



Şekil 5.22 Ters çevirme mutasyon yöntemi

5.3.4.7.3. Elitizm

Uygunluk esaslı seçim yöntemleri uygunluk değeri yüksek olan bireylerin seçiminin garanti etmez. Uygunluk değeri yüksek bireylerin popülasyon içerisinde diğerlerine göre az olması seçim olasılıklarını da azaltır (Coley, 2005: 25). Bu noktada, popülasyon içerisinde en yüksek uygunluğa sahip bireylerin genetik operatörler uygulanmadan bir sonraki nesle aktarılması için elitizm mekanizması kullanılır. Elitizm stratejisinin kullanımı nüfusun en düşük uygunluk değerinin bir nüfustan diğerine azalmasını engeller ve nüfusun daha hızlı bir şekilde yakınsamasını beraberinde getirir.

5.4. GELİŞTİRİLEN GENETİK ALGORİTMA ESASLI YÖNTEM

Genetik algoritma, problemlerin çözümü için evrimsel sürecin bilgisayar ortamında taklit eden, klasik arama yöntemlerinden farklı olarak, *popülasyon* (nüfus) adı verilen başlangıç rastsal çözümler kümesi ile çözüme başlayan bir arama sezgiselidir. Problem için olası pek çok çözümü temsil eden bu çözümler kümesi genetik algoritma terminolojisinde popülasyon olarak adlandırılır. Mevcut problem için bir çözümü temsil eden topluluktaki her bir birey *kromozom* olarak adlandırılır. Kromozomlar bir dizi kısımlardan oluşur ve her bir kısım *gen* olarak ifade edilmektedir. Kromozomlar başarılı iterasyonlar vasıtası ile evrim geçirirler ve yeni nesilleri oluştururlar. Her bir nesil ya da iterasyon için, topluluktaki her bir kromozom *uygunluk fonksiyonu* (fitness function) ile değerlendirilir. *Çocuk* (offspring) olarak adlandırılan yeni kromozomlar hem *çaprazlama* (crossover) operatörü kullanılarak mevcut nesildeki

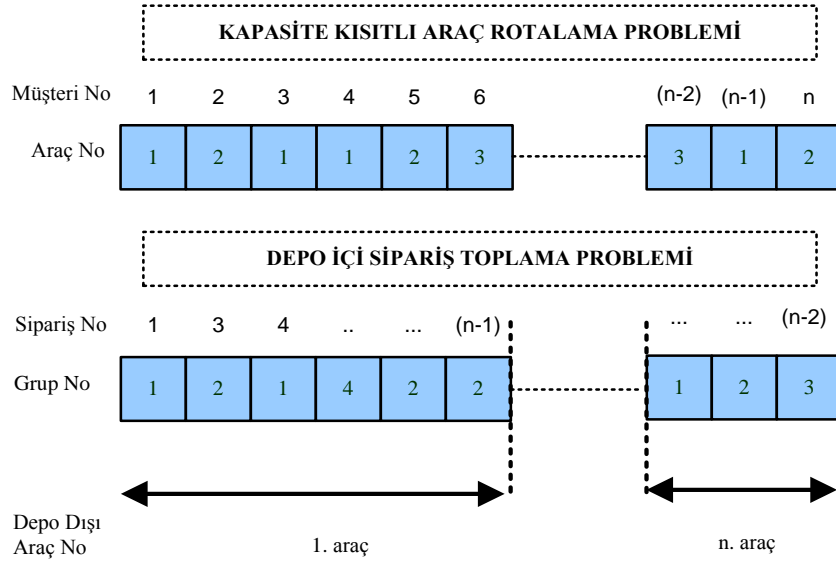
iki kromozomun eşleştirilmesi, hem de *mutasyon* (mutation) kullanılarak bir kromozomun modifikasyonu ile ortaya çıkarılırlar. *Aile* (parent) kromozomlarının ve oluşturulan çocukların bir kısmı uygunluk değerlerine göre seçilir. Geri kalanlar topluluk hacminin sabit tutulması için elenir. Bu uygulama sonucunda *yeni bir nesil* oluşturulur. Belli bir iterasyon sonucunda ilgili probleme en iyi çözüm üreten kromozomun ortaya çıkması sağlanır (Gen ve Cheng, 1997: 1-2). Genetik algoritmayı diğer arama tekniklerinden farklı kılan özellikleri şöyledir (Goldberg, 1989; Gen ve Cheng, 1997: 4);

- ✓ Genetik algoritma, parametrelerin kendileri ile doğrudan ilgilenmez, parametre setlerinin kodları ile ilgilenir,
- ✓ Genetik algoritmanın arama alanı, yığının veya nüfusun tamamıdır; tek nokta veya noktalarda arama yapmaz,
- ✓ Genetik algoritmalarda amaç fonksiyonu kullanılır, sapma değerleri veya diğer hata faktörleri kullanılmaz,
- ✓ Genetik algoritmaların uygulanmasında kullanılan operatörler stokastik yöntemlere dayanır, deterministik yöntemler kullanılmaz.

Çalışmanın bu kısmında, depo operasyonları ve depo dışı sipariş dağıtım faaliyetlerinin planlanması için geliştirilen genetik algoritma esaslı yöntem tanıtılmaktadır.

5.4.1. Çözümün Kodlanması

Çözümün kodlanması GA'nın en önemli kısmıdır. GA uygulamasına geçilmeden önce probleme uygun kodlama yapısının belirlenmesi gerekir. Geliştirilen modelin doğru ve hızlı sonuçlar vermesi kullanılan kodlama yapısı ile doğrudan bağlantılıdır. Daha önce açıklanan problemlerin çözümü için grup ve araç numarası esaslı kromozom yapıları kullanılmıştır. Depo içerisinde sipariş toplama problemi için siparişlerin toplandığı grupların numarası ile ifade edilen bir kromozom yapısı tercih edilirken, depo dışı sipariş dağıtım probleminin çözümü için araç numarası esaslı bir kromozom yapısı tercih edilmiştir. Depo dışı araç rotaları belirlendikten sonra, bu rotalara uygun olarak depo içi çözüm gösterimi oluşturulmaktadır. Çalışmada önerilen grup ve araç esaslı kromozom gösterimi şekil 5.23'te gösterilmiştir.



Şekil 5.23 Grup ve araç numarası dayalı kromozom yapısı

Kapasite kısıtlı araç rotalama probleminin çözümüne yönelik olarak geliştirilen kromozom yapısında, l 'den n 'ye kadar olan siparişler k adet araca paylaştırılmaktadır. Yukarıdaki şekilde $\{1, 3, 4, \dots, (n-1)\}$, $\{2, 5, \dots, n\}$, $\{6, \dots, (n-2)\}$ nolu müşteriler sırasıyla 1, 2 ve 3 nolu dağıtım araçlarına atanmıştır. Belirlenen bu rotaya bağlı olarak depo içi sipariş toplama probleminin çözümünde kullanılacak kromozom gösterimi de yine Şekil 5.23'te gösterilmektedir. Bu noktada her bir aracın dağıtacağı siparişler kromozom üzerinde ayrı bir bölmede gösterilmektedir. Örneğin, $\{1, 3, 4, \dots, (n-1)\}$ nolu müşteriler 1 numaralı dağıtım aracına atanmış ve kromozom üzerinde birbirinden ayrılmayacak şekilde yerleştirilmiştir.

5.4.2. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması

Daha önce de belirtildiği üzere genetik algoritma kullanılarak yapılan çalışmalarda, çok sayıda kromozomdan meydana gelen ve rastsal olarak oluşturulan bir başlangıç topluluğu ile çözüme başlar. Oluşturulan başlangıç çözümü genetik algoritmanın çözüme ulaşma performansını etkileyen önemli bir diğer etmendir. Bu sebeple uygun bir “başlangıç popülasyonu oluşturma yöntemi” seçilmelidir. İyi uygunluk değerine sahip çözümlerin başlangıç çözümde yer alması rastsallıktan dolayı zordur. Bu nedenle başlangıç popülasyonunun %25'lik kısmı Rota Benzerlik Metodu (Şahin, 2009; Kulak vd., 2012; Şahin ve Kulak, 2013) ile %75'lik kısmı ise rastgele oluşturulmuştur. Yöntemin detayları daha önce Bölüm 5.2.2.2'de açıklanmıştır.

5.4.3. Uygunluk Fonksiyonu

Depo dışı dağıtım faaliyetleri maliyet olarak daha fazla ağırlığa sahip olduğu için ilk adımda, depo dışı dağıtım faaliyetleri için kapasite kısıtlı araç rotalama problemi çözülür. GA esaslı uygulamada Şekil 5.25'te gösterilen grup ve araç numarası gösterimine dayalı kromozom yapısı kullanılır. Bu çözüm sonucunda sipariş grupları ve her bir gruba ait rotalar belirlenir. Siparişler kromozom üzerinde atandıkları gruba göre gruplandırmaya tabi tutulurken, tasarruf ve en yakın komşu sezgiselleri ile dağıtım ve toplama araçlarının rotası belirlenmektedir. Elde edilen çözümün uygunluğu TA yönteminde olduğu (Denklem 5.3) gibi toplam dolaşım mesafesine göre belirlenmektedir. İlk adım sonrasında oluşan sipariş gruplarının depo içi araç kapasiteleri dikkate alınarak her bir depo dışı dağıtım rotası toplama araçları ile birden fazla tur yapılarak toplanacaktır.

5.4.3.1. Tasarruf (Savings) Sezgiseli

Clarke ve Wright (1964) tarafından geliştirilen Tasarruf Sezgiseli ARP'nin çözümünde en çok kullanılan çözüm yöntemlerinden biridir. Farklı uygulama alanına kolayca adapte edilebilen bir yöntem olan tasarruf sezgiseli, dağıtım aracının her seferinde tek bir müşteriye hizmet etmesi yerine bir turda birden fazla müşteriye teslimat yapması teslimi fikri üzerine inşa edilmiş bir sezgisel yöntemdir. Tasarruf değeri her bir müşteri çifti için seyahat zamanındaki azalmayı ifade eder ve dağıtım aracının turlarını bir tek turda birleştirmek suretiyle elde edilen tasarruf miktarına göre değerlendirme yapılır. Tasarruf değeri, tura çıkacak olan belli bir kapasitedeki taşıma aracı için sipariş öncelik indeksini oluşturulmasında kullanılır. $(0, \dots, i, 0)$ ve $(0, \dots, j, 0)$ şeklindeki iki rota $(0, \dots, i, j, \dots, 0)$ olarak uygun bir çözümde birleştirildiğinde dolaşım mesafesinden $s_{ij} = c_{i0} + c_{0j} - c_{ij}$ kadarlık bir kazanç elde edilir. Tasarruf algoritmasının paralel ve sıralı olmak üzere iki versiyonu vardır. Algoritma aşağıdaki gibi çalışır (Laporte ve Semet, 2002: 110).

Adım 1 (tasarruf hesabı): $j=1, \dots, n$ ve $i \neq j$ için $s_{ij} = c_{i0} + c_{0j} - c_{ij}$ formülünü kullanarak tasarruf değerlerini hesapla. $i=1, \dots, n$ için n tane araç rotası $(0, i, 0)$ oluştur. Tasarruf değerlerini azalan şekilde sırala.

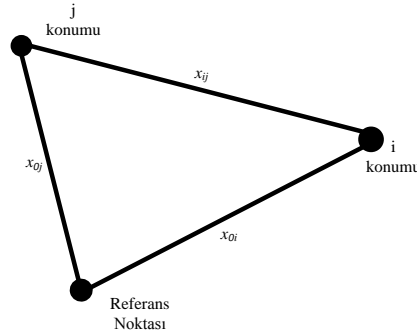
Paralel Versiyon

Adım 2 (en uygun birleşim): Tasarruf listesinin en üstünden başlayarak aşağıdaki işlemleri yap. s_{ij} tasarrufu göz önüne alındığında, biri $(0, j)$ başlayan ve diğeri $(i, 0)$ ile biten uygun bir şekilde birleştirilebilecek iki rotanın olup olmadığını kontrol et. Bu rotada $(0, j)$ ve $(i, 0)$ bağlantılarını silerek iki rotayı birleştir.

Sıralı Versiyon

Adım 2 (rota uzatma): Sırayla her rotayı $(0, i, \dots, j, 0)$ düşünün. $(k, 0)$ veya $(0, l)$ yay veya köprüsünü içeren bir başka rota ile birleştirilebilecek ve mevcut rotaya uygun bir şekilde eklenebilecek ilk s_{ki} veya s_{jl} belirle. Birleştirme işlemini mevcut rotaya eklenebilecek uygun bir rota kalmayıncaya kadar devam ettir.

Tasarruf algoritmasının sıralı versiyonunda her zaman büyük tasarrufu sağlayacak bağlantı yapılırken, paralel versiyonunda ise rotayı genişletebilecek uygun bir çözüm kalmayıncaya kadar işleme devam edilir. Uygulamada paralel versiyon daha iyi sonuçlar sunmaktadır. Genellikle final çözüme bu çalışmada da kullanılan tur geliştirici sezgiseller uygulanır (Cordeau vd., 2002: 515). Bu çalışma kapsamında da paralel versiyon kullanılmış olup, konum esaslı gösterimi Şekil 5.24'te verilmiştir.



Şekil 5.24 Tasarruf sezgiseli konum esaslı gösterimi

5.4.3.2. En Yakın Komşu Sezgiseli

En Yakın Komşu, araç rotalarının belirlenmesi sırasında konumsal verilerin kullanıldığı sezgisel bir yöntemdir. Bu yöntem, belirli bir konuma en yakın konumun rotaya eklenmesi suretiyle aracın genel rotasının belirlendiği yaygın kullanıma sahip bir yöntemdir. En yakın Komşu yöntemi, tasarruf sezgiseli gibi hızlı ve etkili sonuçlar üretmesi sebebiyle uygunluk fonksiyonu hesabının bir parçası olarak çalışma

kapsamında kullanılmıştır. Genel işleyişi beş adımdan oluşan bu yöntemin uygulama prosedürü aşağıda sunulmaktadır.

Adım 1: Başlangıç konumundan en kısa mesafeli parça konumunu belirle.

Adım 2: İlk parça konumundan diğer parça konumlarına olan mesafeyi belirle.

Adım 3: Mevcut mesafeler arasında en kısa olanı seç ve ikinci parça konumunu belirle.

Adım 4: Gruptaki Tüm parça konumları tamamlanana kadar Adım 2 ve 3 ü tekrar et.

Adım 5: Parça konumlarının belirlenme sırasına göre parça konumlarını birleştir ve rotayı göster.

5.4.3.3. 2-opt Sezgiseli

Yukarıda bahsedilen yapısal sezgiseller ile elde edilen rotaların geliştirilmesi için 2-opt (Croes, 1958) ve Or-opt (Or, 1976) rota geliştirici algoritmaları çalışma kapsamında kullanılmıştır. 2-opt algoritmasının işleyişi şu şekildedir (Eryavuz ve Gencer, 2001: 148):

Adım 1: Rastsal olarak turdaki parça çiftlerini belirle.

Adım 2: Tur bozulmayacak şekilde, parça çiftlerinin yerini değiştir.

Adım 3: Yeni oluşan tur önceki tura göre bir gelişme sağlamış ise parça çiftleri yeni yerlerinde kalır, gelişme sağlanmamış ise eski yerine iade edilir.

5.4.3.4. Or-opt Sezgiseli

Çalışma kapsamında kullanılan rota geliştirici sezgisellerinin ikincisi Or-opt algoritmasıdır. Or-opt algoritmasında $h=3$ 'ten 1'e kadar aşağıdaki işlemler yürütülür (Eryavuz ve Gencer, 2001: 149):

Adım 1: Turda arka arkaya gelen h sayıda düğüm alınır.

Adım 2: Düğümler mevcut yerlerinden kaldırılıp, deneme yoluyla turun kalan kısmında en uygun yerlere yerleştirilir.

Adım 3: Yeni yerleşim sonucu turda bir gelişme sağlanır ise kaydırma işlemi kabul edilir. Aksi durumda düğümler orijinal yerlerine iade edilir. h - sayısı

düşürülmeden önce mümkün bütün h sayıda arka arkaya gelen düğüm kümesi için aynı işlem yürütülür.

5.4.4. Kromozomların Eşleştirme Havuzuna Alınması

GA uygulamalarında seçilen kromozomlardan bir veya daha fazla çocuğun üretilmesi amacıyla eşleştirme havuzu oluşturulur. Eşleştirme havuzuna seçilecek bireylerin tespiti algoritmanın performansı için oldukça önemli bir süreçtir. Çalışma kapsamında eşleştirme havuzuna seçilecek bireylerin belirlenmesi için Bölüm 6.3.4.4'te açıklanan sigma azaltma (σ -truncation) yöntemi kromozom uygunluklarının derecelendirilmesi için kullanılmıştır. Denklem 5.6 kullanılarak kromozom uygunluklarının tekrar derecelendirilmesi ile ilgili örnek Çizelge 5.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.5 Sigma azaltma yöntemiyle kromozomların derecelendirilmesi

Kromozom No	Uygunluk (F_{eski})	F_{yeni}	Kromozom No	Uygunluk (F_{eski})	F_{yeni}
1	169	8,83	6	178	0,08
2	137	40,77	7	143	34,96
3	171	6,61	8	164	13,86
4	172	5,65	9	171	7,49
5	177	1,18	10	158	19,80
F_{ort}	164	C	2	σ	6,96

5.4.5. Çaprazlanacak Bireylerin Seçilmesi (Aile Seçimi)

Eşleştirme havuzunun oluşturulmasından sonra yapılması gereken işlem çaprazlanacak bireylerin seçilmesidir. Bireylerin seçiminde Bölüm 6.3.4.5'te açıklanan yöntemlerden rulet tekeri, sıralama ve turnuva yöntemleri çalışma kapsamında kullanılmıştır.

5.4.5.1. Rulet Tekerı Seçimi

Bu yöntemde, kromozomların uyumluluk değerlerinin, uygunluk değerlerinin toplamına oranlanması ile elde edilen değerler bir rulet tekeri üzerinde gruplanır. Rulet üzerinden rastgele bir birey seçilir. Bir kromozomun yüksek uygunluk değerine sahip olması teker üzerinde daha büyük alana sahip olduğu ve seçim şansının daha yüksek

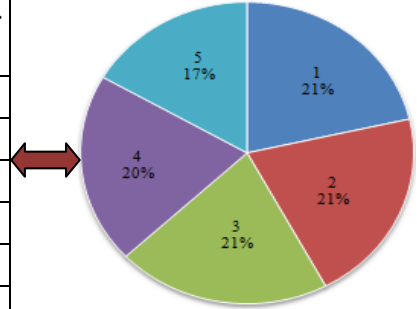
olduğu anlamına gelir. i . bireyin uygunluk değeri f_i , popülasyondaki birey sayısı N ve seçim olasılığı p_i olmak üzere, kromozomun seçim olasılığı Denklem 5.8 ile hesaplanır.

$$p_i = f_i / \sum_{j=1}^N f_j \quad (5.8)$$

Kromozomların seçim olasılıkları belirlendikten sonra bu olasılıklara bağlı olarak rulet tekeri hazırlanır. Teker, her defasında bir kromozom seçecek şekilde N defa çevrilerek seçim işlemi gerçekleştirilir. Bu yöntemin kullanımı ile ilgili bir örnek aşağıda sunulmuştur. Kromozomların seçim olasılıkları, kümülatif seçim olasılıkları ve rulet tekerinin oluşumu Çizelge 5.6'da gösterilmektedir. Sıfır 1 arasında rastgele olarak üretilen 4 sayı ile bu teker üzerinden seçim yapılacaktır.

Çizelge 5.6 Rulet tekeri seçiminde olasılıkların hesaplanması

Kromozom No	Uygunluk (Fi)	Kromozom Seçim Olasılığı	Kümülatif Olasılık
1	177	0,21	0,21
2	172	0,21	0,42
3	171	0,21	0,63
4	169	0,20	0,83
5	137	0,17	1,00
F_{toplam}	827	1,00	



Üretilen rastgele sayılar rulet tekerinin çevrilmesine karşılık gelmektedir. Rastgele sayılar olarak 0.20, 0.45, 0.54 ve 0.01 belirlenmiştir. Bu göre 1, 2, 3 ve 1 nolu kromozomlar çiftleştirilmek üzere seçilmiştir. Önyargılı bir seçim yapmanın önüne geçen rulet tekeri seçimi sapmanın minimum olmasını garanti etmez.

5.4.5.2. Sıralama seçimi

Rulet tekeri basit ancak kromozom uygunlukları arasındaki farkın büyük olması durumunda düşük uygunluğa sahip kromozomlara çok az seçim şansı veren bir yöntemdir. Sıralama seçiminde, kromozomların uygunluk değerleri en kötünden en iyiye doğru sıralanır. En kötü uygunluğa sahip olan birey 1 numaralı sırayı alır. Sıra değeri 1 artırılarak devam ettirilir. En iyi uygunluk değerine sahip kromozom burada en yüksek sıra değerini alacaktır. i kromozomun sıra numarası, N_{best} en iyi kromozomun

uygunluk değeri ve p_i kromozomun seçim olasılığı olmak üzere, kromozomun seçim olasılığı Denklem 5.9 kullanılarak hesaplanır.

$$p_i = \frac{N_{best} - i + 1}{\sum_{i=1}^{N_{best}} i} \quad (5.9)$$

Sıralama seçimi yönteminin uygulanışı Çizelge 5.7'de yer alan verileri kullanarak aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 5.7 Sıralama seçiminde olasılıkların hesabı

Kromozom No	Uygunluk (Fi)	Kromozom Sıra No	Olasılık	Birikimli Olasılık
5	137	1	0,33	0,33
4	169	2	0,27	0,60
3	171	3	0,20	0,80
2	172	4	0,13	0,93
1	177	5	0,07	1,00
TOPLAM	827	15	1,00	$N_{best} = 177$

Rulet tekeri örneğinde kullanılan rastgele sayıları kullanacak olursak; 0.20, 0.45, 0.54 ve 0.01 sayıları için sırasıyla 5, 4, 4, 5 numaralı kromozomlar seçilecektir.

5.4.5.3. Turnuva seçimi

Seçim için kullanılan son yöntem turnuva seçimidir. Bu yöntemde popülasyon içerisinden belirli sayıda kromozom alınarak birbiri ile yarışırılır. Uygunluk değeri yüksek birey kalırken düşük birey atılır. Seçilmek istenen kromozom sayısına ulaşıncaya kadar bu işleme devam edilir.

5.4.6. Çaprazlama

Depo operasyonları ve sipariş dağıtım faaliyetlerinin planlanması için önerilen GA esaslı çözüm yönteminde çaprazlama yöntemi olarak uniform ve enjeksiyon çaprazlama yöntemleri kullanılmıştır.

Uniform çaprazlamada her bir gene karşılık olarak 0 veya 1 sayısından oluşan rastgele sayılar üretilir. İki ebeveyn olduğu düşünülecek olursa; gene karşılık gelen sayısının 1 olması o gen ile ilgili özellik bir numaralı ebeveynden, aksi takdirde iki

numaralı ebeveynden alınır. Çalışma kapsamında ele alınan problemin her ikisinin çözümünde de kullanılan bu yöntemin araç rotalama problemi için bir örneği Şekil 5.25'te gösterilmektedir.

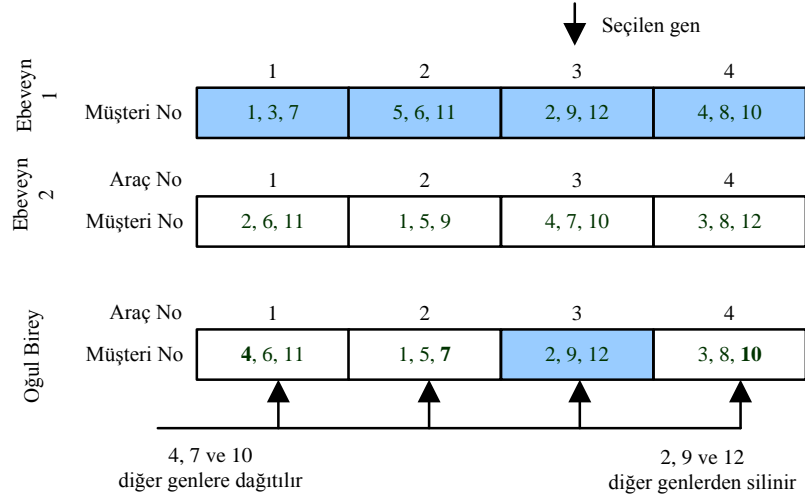
		Rastgele Sayı											
		1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1
Ebeveyn 1	Müşteri No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Araç No	1	3	1	4	2	2	1	4	3	4	2	3
Ebeveyn 2	Müşteri No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Araç No	2	1	4	3	2	1	3	4	2	3	1	4
Oğul birey 1	Müşteri No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Araç No	1	1	4	4	2	2	3	4	3	3	1	3
Oğul birey 2	Müşteri No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Araç No	2	3	1	3	2	1	1	4	2	4	2	4

Şekil 5.25 KARP çözümünde kullanılan uniform çaprazlama

Enjeksiyon çaprazlama çalışma kapsamında kullanılan diğer çaprazlama yöntemidir. Bu yöntemde ilk olarak çaprazlama için seçilen ebeveynlerin kromozom yapısı değişime tabi tutulur. Araç no - müşteri no ve grup no - sipariş no esaslı kromozom gösteriminden müşteri no - araç no ve grup no - sipariş no esaslı çözüm gösterimine geçiş yapılır (Şekil 5.26). Daha sonra Şekil 5.27'de gösterildiği şekilde çaprazlama işlemi uygulanabilir.

Ebeveyn 1	Müşteri No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Araç No	1	3	1	4	2	2	1	4	3	4	2	3
	Araç No	1			2			3			4		
	Müşteri No	1, 3, 7			5, 6, 11			2, 9, 12			4, 8, 10		
Ebeveyn 2	Müşteri No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Araç No	2	1	4	3	2	1	3	4	2	3	1	4
	Araç No	1			2			3			4		
	Müşteri No	2, 6, 11			1, 5, 9			4, 7, 10			3, 8, 12		

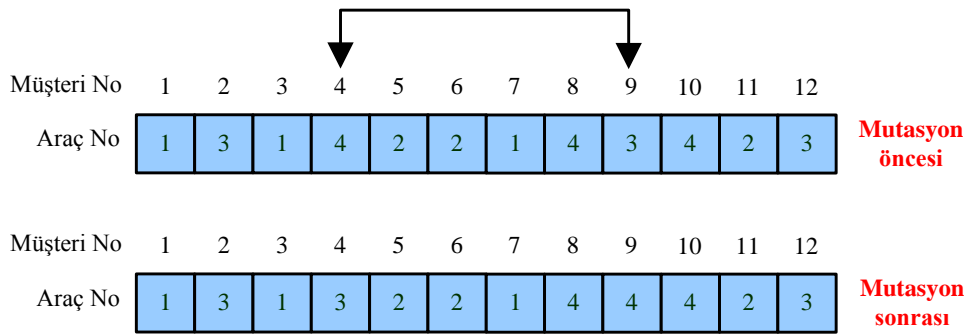
Şekil 5.26 Kromozom yapısının değiştirilmesi



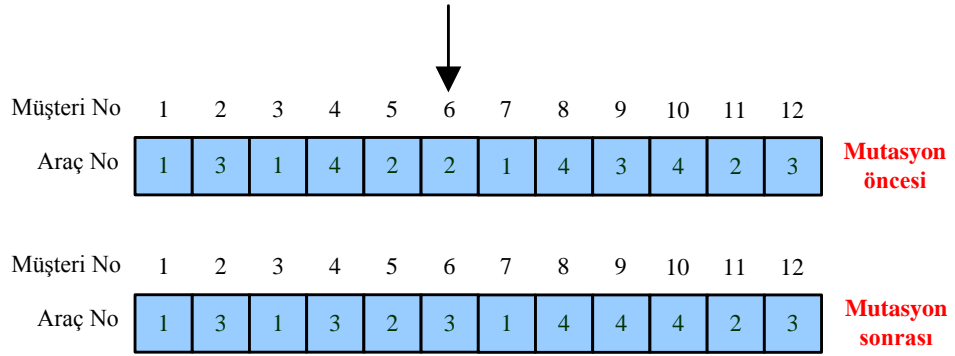
Şekil 5.27 Enjeksiyon çaprazlama

5.4.7. Mutasyon

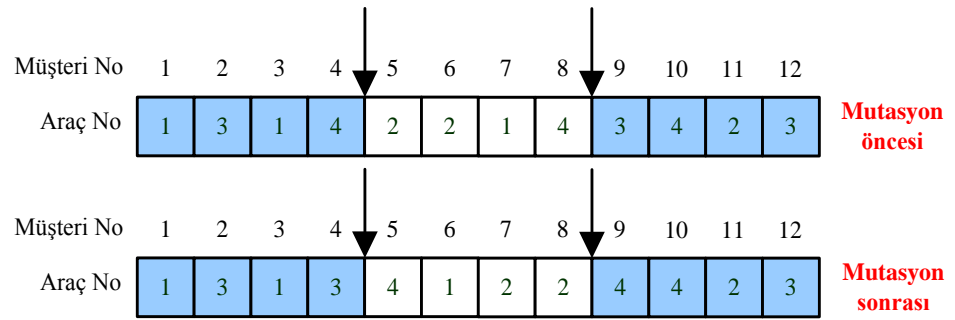
Seçim aşamasında veya çaprazlamadan sonra uygulanabilen mutasyon operatörü genetik algoritmanın çaprazlama ile ulaşmadığı alanları araştırmasını sağlar. Mutasyon genellikle küçük oranlarda uygulanan bir operatör olup, mutasyonun uygulanacağı gen sayısı mutasyon oranı (p_m) ile belirlenir. Mutasyon oranı iterasyondan iterasyonda değişmeyen (sabit) bir yapıda kullanılabilmesi gibi ilerleyen iterasyonda popülasyon içerisindeki bireylerin çözüm kalitesi artacağı için belirli oranda azalarak da uygulanabilir. Çalışma kapsamında *ikili değiştirme* (swap), *yerine koyma* (replacement) ve *tersine çevirme* mutasyon yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemlerin kapasite kısıtlı araç rotalama problemine uygulanması sırasıyla Şekil 5.28, Şekil 5.29 ve Şekil 5.30’te gösterilmektedir.



Şekil 5.28 İkili yer değiştirme yöntemi



Şekil 5.29 Yerine koyma yöntemi



Şekil 5.30 Tersine çevirme yöntemi

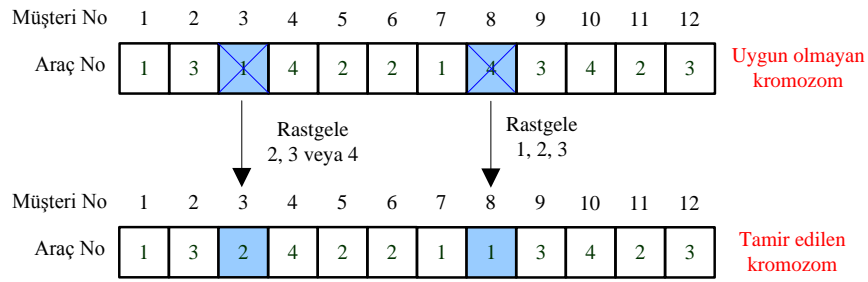
5.4.8. Elitizm

Mevcut popülasyon içerisinde yüksek uygunluk değerine sahip bireylerin kaybolmasını önleyerek algoritmanın daha hızlı çözüm vermesini sağlamak için Elitizm stratejisi çalışma kapsamında kullanılmıştır. Belirli bir oranda elit çözüm herhangi bir operatör uygulanmadan doğrudan gelecek nesle aktarılmıştır. Yeni popülasyonun geri kalan bireyleri mevcut popülasyon, çocuk bireyler ve mutanlardan oluşan ara nesilden popülasyon sayısı tamamlanacak şekilde seçim yapılarak belirlenmiştir. En iyi uygunluğa sahip bireylerin seçilerek gelecek nesle aktarımı algoritma sonlanıncaya kadar devam eder.

5.4.9. Tamir Fonksiyonu

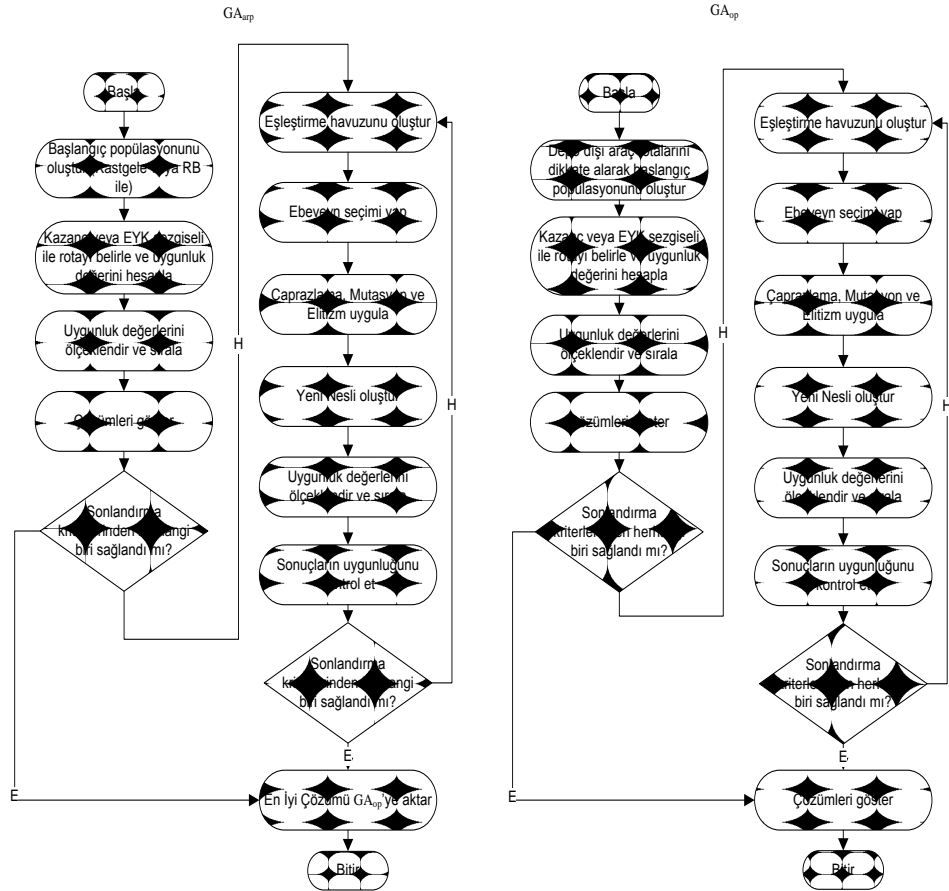
Bazı durumlarda, çaprazlama ve mutasyon operatörünün uygulanmasından sonra araç kapasitesi gibi kısıtları sağlayamayan çözümler ortaya çıkabilmektedir. Her kromozomun oluşumundan sonra uygun bir çözüm sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir.

Uygun olmayan çözümlerin popülasyon dışında bırakılması için ceza değeri eklenen bir uygunluk fonksiyonu kullanılabileceği gibi bir tamir stratejisi de devreye girebilir. Çalışma kapsamında ortaya çıkan uygunsuzlukların giderilmesi için bir tamir stratejisi kullanılmıştır. Şekil 5.31’de kullanılan tamir stratejisi ile ilgili bir örnek verilmiştir. Bu örnekte, 3 ve 8 nolu müşterilerin 1 ve 4 nolu araçlara atanması uygunsuzluğa neden olmuştur. Bu müşterilerin geri kalan araçlardan birine atanması ile uygunsuzluk ortadan kaldırılmıştır.



Şekil 5.31 Tamir işlemi

Geliştirilen GA esaslı yöntemlere ilişkin akış Şekil 5.32’de gösterilmektedir.



Şekil 5.32 Geliştirilen GA esaslı yöntemlerin akışı

ALTINCI BÖLÜM

GELİŞTİRİLEN YAZILIM VE UYGULAMA

6.1. PROGRAM VE ÖZELLİKLERİ

Önceki bölümlerde detayları anlatılan yöntemlerin geliştirilmesinin ardından kullanılacak olan yazılımın kodlamasına geçilmiştir. Akademik çalışmalarda sağladığı maliyet avantajı ve çalışma verimi sebebiyle çalışma kapsamında Sun Microsystems ® tarafından geliştirilen Java programlama dili ve teknolojilerini tercih edilmiştir. İlk olarak programda olması gereken özellikler çözümlene çalışmalarını ile belirlenmiştir. Buna göre programın aşağıdaki kısımlardan oluşması kararlaştırılmıştır:

- ✓ **Parametre bölümü:** Kullanılacak yöntem, rotalama yöntemi ve yöntemle ilişkin parametre değerleri ile sipariş listesi (test verisi) girişinin yapıldığı kısımdır. Deney sayısı ve sonlandırma süresi de yine bu kısımda tanımlanmaktadır.
- ✓ **Sonuçlar:** Çözüm yöntemi, sipariş listesi ve parametre değeri girişlerinin yapılmasının ardından başlatılan planlama çalışmasının neticesinde elde edilen sonuçların listesi sonuçlar bölümünde gösterilmektedir.
- ✓ **Çözüm detayı:** Sonuçlar bölümünde yer alan listeden istenen deney seçilerek çözüm detayları görülebilmektedir. Çözümlerin detayları program içerisinde “Çözüm Detayı” bölümünde yer almaktadır.
- ✓ **Çözüm Grafiği:** Çözüme ait grafiğin görülebileceği kısımdır.
- ✓ **Test Verisi:** Parametre bölümünde girişi yapılan sipariş listesinin detayları “Test “Verisi” bölümünden görülebilmektedir. Programa sipariş listeleri txt uzantılı dosyalar olarak yüklenmekte ve “Test Verisi” bölümünden sipariş listesinin programa doğru bir şekilde yüklenip yüklenmediği de kontrol edilmektedir.

Sipariş listesi içerisinde depo bilgileri, araç bilgileri, ürünler, müşteri koordinatları ve sipariş bilgileri yer almaktadır. Örnek bir sipariş listesi EK-1'de sunulmuştur. Paket program olarak hazırlanan "Depo Operasyonları ve Sipariş Dağıtım

Optimizasyon (DOSDO)" programının başlangıç sayfası Şekil 6.1'de gösterilmektedir. Programın ana sayfasında test verisini sisteme yüklemek ve yüklenen verinin detaylarını görmek için yükle ve göster seçenekleri yer almaktadır. Aynı parametre seti ile yapılacak olan deney sayısı yine bu kısımda tanımlanacaktır. Programda bir müşteri için gerekli olan hizmet süresi ve bir aracın hizmet verebileceği maksimum süre gibi bilgiler bu kısımda yer almaktadır. İstenmesi halinde bir aracın hizmet verebileceği maksimum müşteri sayısı sınırlandırılabilir.

Şekil 6.1 Programın Menü Görünümü

Test verisinin programa tanıtımının ardından, kullanılacak olan sezgisel yöntem ve yönteme ilişkin parametre değerleri yine ana sayfada bulunan ilgili kısımlarda tanımlanır. GA ve TA için parametre değeri giriş ekranları sırasıyla Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'te gösterilmiştir.

Şekil 6.2 GA için parametre giriş ekranı

Tarih	Sıra
2014-02-05	1

Deney Sayısı: 5

Plan Tipi: tabu

Parametre Tipi: out

Tabu Rota Tipi: [empty] [savings, greedy]

Tabu Popülasyon Büyüklüğü: 0 [20]

Tabu Liste Tipi: [empty] [staticList, dynamicList]

Tabu Arama Çevrimi: 0 [100, 150]

Komşu Arama Çevrimi: 0 [50, 100]

Komşuluk Yapısı: [empty] [replacement, insertion, swap, inversion]

Kabul Eşiği - T: 0 [20]

Azalma Büyüklüğü - R: 0 [20]

Yerel Arama Tipi: [empty] [none, twoOpt, orOpt]

Şekil 6.3 TA için parametre değeri girişi ekranı

Plan tipi kısmında genetik ve tabu seçenekleri yer almaktadır. Test verisinin girilmesinin ardından kullanılacak olan yöntem bu kısımdan seçilmektedir. Önerilen beş yöntemden biri seçildikten sonra alt kısımda yer alan parametre değerleri tanımlanmaktadır. Çözüm yönteminin seçimi Şekil 6.4'te gösterilmektedir.

Plan Tipi: genetic

Parametre Tipi: genetic

Parametreleri Kaydet

Şekil 6.4 Çözüm yönteminin seçimi

Rotalama tipi seçeneğinde tasarruf (savings) ve en yakın komşu (seçeneklerde kısaca greedy olarak gösterilmiştir) yöntemleri seçilebilmektedir. Rotalama yönteminin seçimi Şekil 6.5'te gösterilmiştir.

Rota Tipi: savings

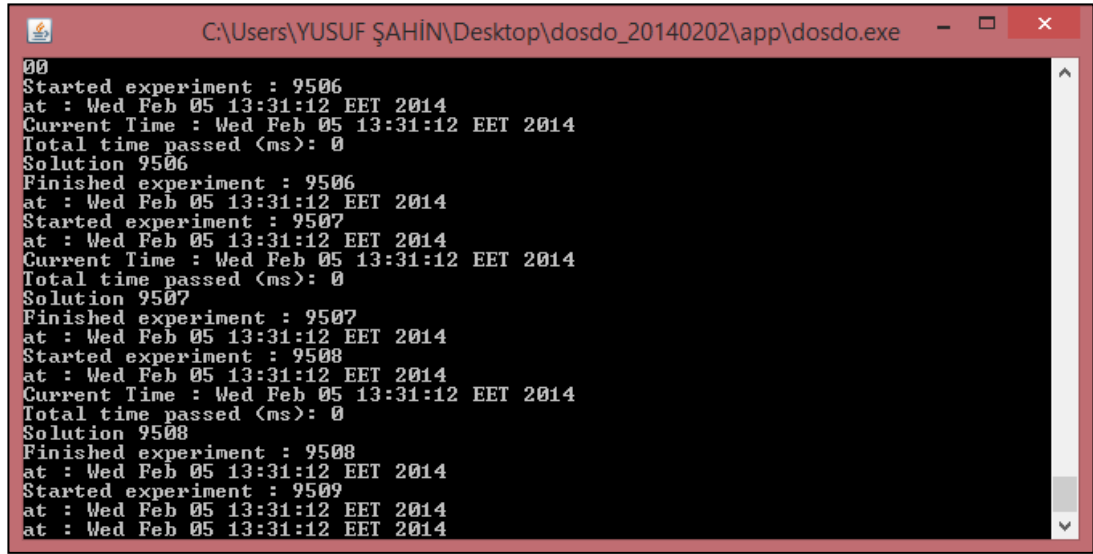
Popülasyon Büyüklüğü: [empty] [300, 400]

Şekil 6.5 Rotalama yönteminin seçimi

Popülasyon büyüklüğü, elitizm oranı, çaprazlama oranı, mutasyon oranı, mutasyon azalma oranı, sonlanma oranı, sabit c değeri ve bir deney için belirlenen en uzun süreye ilişkin değerler de yine ana sayfada yer alan ilgili kısımlara girilmektedir. Veri girişinin daha hızlı yapılabilmesi için bazı parametre değerlerinin program açılışında varsayılan değerler (default) olarak ekrana gelmesinin faydalı olacağı

düşünülmüştür. Varsayılan olarak ekrana gelen değerler Şekil 6.2' ve Şekil 6.3'te görülmektedir.

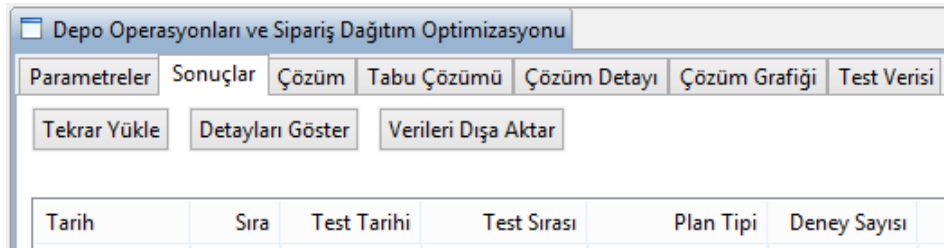
Sipariş listesi ve parametre değerlerinin programa tanıtılmasının ardından Şekil 6.2'de gösterilen "planlamayı başlat" butonu ile deneyler başlatılmaktadır. Programın yapmış olduğu mevcut hesaplamalar arka planda çalışan komut penceresinde görülebilecektir. Deney sırasında arka planda çalışan komut penceresi Şekil 6.6'da gösterilmektedir.



```
00
Started experiment : 9506
at : Wed Feb 05 13:31:12 EET 2014
Current Time : Wed Feb 05 13:31:12 EET 2014
Total time passed (ms): 0
Solution 9506
Finished experiment : 9506
at : Wed Feb 05 13:31:12 EET 2014
Started experiment : 9507
at : Wed Feb 05 13:31:12 EET 2014
Current Time : Wed Feb 05 13:31:12 EET 2014
Total time passed (ms): 0
Solution 9507
Finished experiment : 9507
at : Wed Feb 05 13:31:12 EET 2014
Started experiment : 9508
at : Wed Feb 05 13:31:12 EET 2014
Current Time : Wed Feb 05 13:31:12 EET 2014
Total time passed (ms): 0
Solution 9508
Finished experiment : 9508
at : Wed Feb 05 13:31:12 EET 2014
Started experiment : 9509
at : Wed Feb 05 13:31:12 EET 2014
at : Wed Feb 05 13:31:12 EET 2014
```

Şekil 6.6 Programın arka planı

Programın deneyleri tamamlamasının ardından elde edilen sonuçlar "Sonuçlar" sekmesinde görülmektedir. Bu kısımda tarih, sıra, testin tarihi, testin sırası, plan tipi ve deney sayısı ile ilgili bilgiler yer almaktadır. Sonuç ekranı Şekil 6.7'de gösterilmektedir.

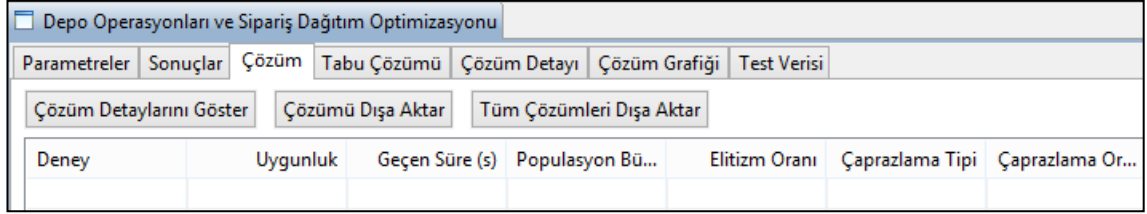


Tarih	Sıra	Test Tarihi	Test Sırası	Plan Tipi	Deney Sayısı
-------	------	-------------	-------------	-----------	--------------

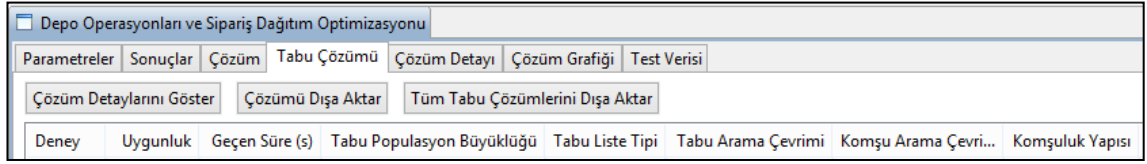
Şekil 6.7 Deneylerin listesi

Detayını görüntülenmek istenen deneye çift tıklama yapıldığında elde edilen çözümün detayları "Çözüm" sekmesinde görülmektedir. Çözüm kısmında deney, uygunluk, deney süresi, kullanılan popülasyon büyüklüğü gibi parametre bilgilerine ulaşılabilmektedir. Eğer bir çözümün içeriğini, yani elde edilen rota ve sipariş grubu

bilgilerini öğrenmek istersek, çözümün seçili olduğu durumda çözüm detayı sekmesine bakmamız gerekir. Kullanılan parametrelerin farklı olması sebebiyle Genetik Algoritma ve Tabu Arama Algoritması için iki ayrı çözüm sayfası tasarlanmıştır. GA ve TA çözüm sayfaları sırasıyla Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da gösterilmektedir.

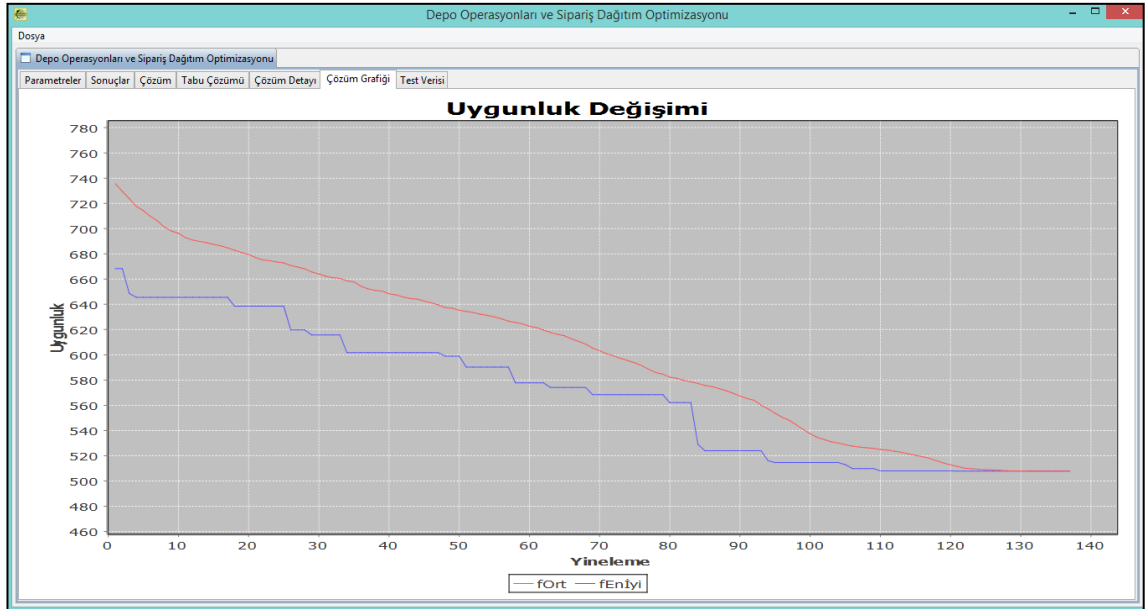


Şekil 6.8 GA çözüm sayfası



Şekil 6.9 TA çözüm sayfası

Elde edilen çözümün grafiği "Çözüm Grafiği" sekmesinde yer almaktadır. Çözüm grafiği sayfası Şekil 6.10'da gösterilmektedir.



Şekil 6.10 Çözüm grafiği sekmesi

Deneyde kullanılan verinin program tarafından nasıl algılandığını "Test Verisi" sekmesinden görülebilmektedir. Test verisi sekmesi, iç araç, dış araç, depo, ürünler,

müşteri koordinatları ve sipariş detayları olmak üzere 6 kısımdan oluşmaktadır. Test verilerin detaylarının görüldüğü bu bölüm Şekil 6.11'de gösterilmiştir.

Depo Operasyonları ve Sipariş Dağıtım Optimizasyonu										
Parametreler		Sonuçlar	Çözüm	Tabu Çözümü	Çözüm Detayı	Çözüm Grafiji	Test Verisi			
İç Araç			Dış Araç			Depo				
Kapasite	Kapasite Aşımı (%)	Kapasite	Kapasite Aşımı (%)	Depo Tipi	Geçit S.	Raf S.	Yükseklik	Genişlik/Uzunluk	Konum	
50.0	10.0	200.0	10.0	classic	5	10	1	4.0	(0.0, 0.0)	
Ürünler			Müşteriler			Siparişler				
Kod	Konum	Ebat	Kod	Konum	No	Müşteri	Ürünler			
P001	1	2.0	C001	(45.0, 68.0)	1	C001	P001 2			
P002	2	3.0	C002	(45.0, 70.0)	2	C003	P002 3 P003 2			
P003	3	2.0	C003	(-42.0, 66.0)	3	C002	P004 2 P001 2			
P004	4	4.0	C004	(-42.0, 68.0)	4	C004	P012 3 P002 1			
P005	5	3.0	C005	(42.0, -65.0)						
P006	6	2.0	C006	(40.0, 69.0)						
P007	7	1.0	C007	(40.0, -66.0)						
P008	8	2.0	C008	(38.0, 68.0)						
P009	9	3.0	C009	(38.0, -70.0)						
P010	10	2.0	C010	(35.0, 66.0)						

Şekil 6.11 Test verisi detayı

6.2. EN İYİ PARAMETRE SETİNİN BELİRLENMESİ

6.2.1. Genetik Algoritma İçin En Uygun Parametre Setinin Belirlenmesi

Bu kısımda, depo içi sipariş toplama ve depo dışı sipariş dağıtım problemlerinin çözümünde kullanılacak olan GA esaslı yöntem için en iyi parametre setinin belirlenmesine yönelik olarak yapılan deneysel çalışmalar ve sonuçları sunulmaktadır. Popülasyon büyüklüğü, çaprazlama yöntemi, çaprazlama oranı, mutasyon yöntemi, mutasyon oranı, aile seçim stratejisi ve sapma değeri gibi parametreler geliştirilen yöntemin performansını önemli oranda etkiler. Farklı problem türlerinde kullanılabilen en uygun parametre setinin belirlenmesi için bir dizi çalışma yapılmasına karşın, parametrelerin belirlenmesinde uygulanacak en kullanışlı yöntem varyans analizidir. Bir dizi tekrarlı deney neticesinde elde edilen uygunluk değerlerinin ortalamaları arasında anlamlı bir farkın olup olmadığı yapılacak Varyans Analizi (ANOVA) testleri ile belirlenebilir. ANOVA testleri için yapılacak deneylerde kullanılacak parametre değerleri Çizelge 6.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 6.1 Parametre değerleri

	PAR_NO	Parametre	SEVİYELER	
			Seviye 1	Seviye 2
DEPO İÇİ SİPARİŞ TOPLAMA (G _{Aop})	1	Rotalama Yöntemi	Tasarruf	En Yakın Komşu
	2	Popülasyon Büyüklüğü	Sipariş Sayısının 5 katı	Sipariş Sayısının 10 katı
	3	Elitizm Oranı	5%	10%
	4	Çaprazlama Yöntemi	Uniform	Enjeksiyon
	5	Çaprazlama Oranı	0,6	0,9
	6	Aile Seçim Yöntemi	Rulet	Turnuva
	7	Mutasyon Yöntemi	İkili Yer Değiştirme (swap)	Değiştirme (replacement)
	8	Mutasyon Oranı	5%	10%
	9	Mutasyon Azalma Oranı	0	50%
	10	Sapma katsayısı (C)	1	2
	11	Rota İyileştirme	2-Opt	Or-Opt
DEPO DIŞI SİPARİŞ DAĞITIM (G _{Arp})	12	Rotalama Yöntemi	Tasarruf	En Yakın Komşu
	13	Popülasyon Büyüklüğü	Müşteri sayısının 5 katı	Müşteri sayısının 10 katı
	14	Elitizm Oranı	5%	10%
	15	Çaprazlama Yöntemi	Uniform	Enjeksiyon
	16	Çaprazlama Oranı	0,6	0,9
	17	Aile Seçim Yöntemi	Rulet	Turnuva
	18	Mutasyon Yöntemi	İkili Yer Değiştirme (swap)	Değiştirme (replacement)
	19	Mutasyon Oranı	5%	10%
	20	Mutasyon Azalma Oranı	0	50%
	21	Sapma katsayısı (C)	1	2
	22	Rota İyileştirme	2- Opt	Or Opt

İstatistiksel deney tasarımında tam faktöriyel, kesirli faktöriyel ve Taguchi yöntemi gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır. İki veya daha fazla parametrenin ve bu parametrelere ait iki veya daha fazla seviyenin bulunduğu durumlarda, seviyelerin birbiri ile çarpımı ile oluşan kombinasyonların tamamının dikkate alınması halinde tam faktöriyel deney yapılmış olacaktır. Deneye tabi tutulacak kombinasyon sayısının kesirli olarak azaltılması halinde ise kesirli faktöriyel deney tasarımı elde edilir (Gökçe ve Taşgetiren, 2009: 75-76). Genichi Taguchi tarafından geliştirilen Taguchi yöntemi ise değişkenliği oluşturan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin düzeylerinin en uygun kombinasyonunu seçerek, değişkenliği en aza indirmeye çalışan bir deneysel tasarım yöntemidir (Canyılmaz ve Kutay, 2003: 52). Tablo 7.1'de gösterilen parametre değerleri ile tam faktöriyel ve 5 tekrarlı deney yapılmak istenirse $2^{22} \times 5 = 4.194.304 \times 5 = 20.971.520$ adet deney yapılması gerekmektedir. Her iki problemin çözülmesi için yapılacak her bir deneyin ortalama 5

sn sürmesi durumunda bu kadar deney $20.971.520 \times 5 = 104.857.600$ $sn \cong 1214$ gün sürecektir. Bu nedenle tam faktöriyel deney yapmak yerine TAGUCHI deney tasarım yöntemi kullanılmıştır. Deneysel çalışmada toplam 22 parametre ve 2 seviye bulunduğu için L32 ortogonal dizisi kullanılmış ve toplam 32 deney ile ANOVA testleri için gerekli olan deneyler gerçekleştirilmiştir. TAGUCHI L32 ortogonal dizisinde (EK-2) 31 parametre için oluşturulmuş bir tablodur. Bu tablo 22 parametre için kullanılacak düzeye indirgenmiştir. İndirgenen dizi ve parametre karşılıkları sırasıyla Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3'te gösterilmektedir.

Çizelge 6.2 İndirgenmiş TAGUCHI L32 Ortogonal Dizisi

SIRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2
6	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
7	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
8	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1
9	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2
10	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1
11	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2
12	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
13	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1
14	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2
15	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1
16	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2
17	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
18	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2
19	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1
20	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
21	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2
22	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1
23	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2
24	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1
25	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
26	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1
27	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2
28	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1
29	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1
30	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2
31	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1
32	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2

Çizelge 6.3 Deneyler için kullanılacak parametreler

GA _{op}												GA _{arp}											
DEN. NO	ROTA	POP_BUY	ELIT_ORN	ÇAP_YON	ÇAP_ORN	AİLE_SEÇ	MUT_YON	MUT_ORN	M_AZ_ORN	SAPMA (C)	R İYİLEŞ	DEN. NO	ROTA	POP_BUY	ELIT_ORN	ÇAP_YON	ÇAP_ORN	AİLE_SEÇ	MUT_YON	MUT_ORN	M_AZ_ORN	SAPMA (C)	R İYİLEŞ
1	Tasarruf	150	5%	UNI	0,6	RUL	SWAP	5%	0	1	2-opt	1	Tasarruf	150	5%	UNI	0,6	RUL	SWAP	5%	0	1	2-opt
2	Tasarruf	150	5%	UNI	0,6	RUL	SWAP	5%	0	1	2-opt	2	Tasarruf	150	5%	UNI	0,6	TUR	REP	10%	50%	2	Or-opt
3	Tasarruf	150	5%	UNI	0,6	RUL	SWAP	10%	50%	2	Or-opt	3	Tasarruf	150	5%	UNI	0,6	RUL	SWAP	5%	0	1	2-opt
4	Tasarruf	150	5%	UNI	0,6	RUL	SWAP	10%	50%	2	Or-opt	4	Tasarruf	150	5%	UNI	0,6	TUR	REP	10%	50%	2	Or-opt
5	Tasarruf	150	5%	ENJ	0,9	TUR	REP	5%	0	1	2-opt	5	Tasarruf	150	5%	ENJ	0,9	RUL	SWAP	5%	50%	2	Or-opt
6	Tasarruf	150	5%	ENJ	0,9	TUR	REP	5%	0	1	2-opt	6	Tasarruf	150	5%	ENJ	0,9	TUR	REP	10%	0	1	2-opt
7	Tasarruf	150	5%	ENJ	0,9	TUR	REP	10%	50%	2	Or-opt	7	Tasarruf	150	5%	ENJ	0,9	RUL	SWAP	5%	50%	2	Or-opt
8	Tasarruf	150	5%	ENJ	0,9	TUR	REP	10%	50%	2	Or-opt	8	Tasarruf	150	5%	ENJ	0,9	TUR	REP	10%	0	1	2-opt
9	Tasarruf	300	10%	UNI	0,6	TUR	REP	5%	0	2	Or-opt	9	Tasarruf	300	10%	UNI	0,6	RUL	REP	10%	0	1	Or-opt
10	Tasarruf	300	10%	UNI	0,6	TUR	REP	5%	0	2	Or-opt	10	Tasarruf	300	10%	UNI	0,6	TUR	SWAP	5%	50%	2	2-opt
11	Tasarruf	300	10%	UNI	0,6	TUR	REP	10%	50%	1	2-opt	11	Tasarruf	300	10%	UNI	0,6	RUL	REP	10%	0	1	Or-opt
12	Tasarruf	300	10%	UNI	0,6	TUR	REP	10%	50%	1	2-opt	12	Tasarruf	300	10%	UNI	0,6	TUR	SWAP	5%	50%	2	2-opt
13	Tasarruf	300	10%	ENJ	0,9	RUL	SWAP	5%	0	2	Or-opt	13	Tasarruf	300	10%	ENJ	0,9	RUL	REP	10%	50%	2	2-opt
14	Tasarruf	300	10%	ENJ	0,9	RUL	SWAP	5%	0	2	Or-opt	14	Tasarruf	300	10%	ENJ	0,9	TUR	SWAP	5%	0	1	Or-opt
15	Tasarruf	300	10%	ENJ	0,9	RUL	SWAP	10%	50%	1	2-opt	15	Tasarruf	300	10%	ENJ	0,9	RUL	REP	10%	50%	2	2-opt
16	Tasarruf	300	10%	ENJ	0,9	RUL	SWAP	10%	50%	1	2-opt	16	Tasarruf	300	10%	ENJ	0,9	TUR	SWAP	5%	0	1	Or-opt
17	EYK	150	10%	UNI	0,9	RUL	REP	5%	50%	1	Or-opt	17	EYK	150	10%	UNI	0,9	TUR	SWAP	10%	0	2	2-opt
18	EYK	150	10%	UNI	0,9	RUL	REP	5%	50%	1	Or-opt	18	EYK	150	10%	UNI	0,9	RUL	REP	5%	50%	1	Or-opt
19	EYK	150	10%	UNI	0,9	RUL	REP	10%	0	2	2-opt	19	EYK	150	10%	UNI	0,9	TUR	SWAP	10%	0	2	2-opt
20	EYK	150	10%	UNI	0,9	RUL	REP	10%	0	2	2-opt	20	EYK	150	10%	UNI	0,9	RUL	REP	5%	50%	1	Or-opt
21	EYK	150	10%	ENJ	0,6	TUR	SWAP	5%	50%	1	Or-opt	21	EYK	150	10%	ENJ	0,6	TUR	SWAP	10%	50%	1	Or-opt
22	EYK	150	10%	ENJ	0,6	TUR	SWAP	5%	50%	1	Or-opt	22	EYK	150	10%	ENJ	0,6	RUL	REP	5%	0	2	2-opt
23	EYK	150	10%	ENJ	0,6	TUR	SWAP	10%	0	2	2-opt	23	EYK	150	10%	ENJ	0,6	TUR	SWAP	10%	50%	1	Or-opt
24	EYK	150	10%	ENJ	0,6	TUR	SWAP	10%	0	2	2-opt	24	EYK	150	10%	ENJ	0,6	RUL	REP	5%	0	2	2-opt
25	EYK	300	5%	UNI	0,9	TUR	SWAP	5%	50%	2	2-opt	25	EYK	300	5%	UNI	0,9	TUR	REP	5%	0	2	Or-opt
26	EYK	300	5%	UNI	0,9	TUR	SWAP	5%	50%	2	2-opt	26	EYK	300	5%	UNI	0,9	RUL	SWAP	10%	50%	1	2-opt
27	EYK	300	5%	UNI	0,9	TUR	SWAP	10%	0	1	Or-opt	27	EYK	300	5%	UNI	0,9	TUR	REP	5%	0	2	Or-opt
28	EYK	300	5%	UNI	0,9	TUR	SWAP	10%	0	1	Or-opt	28	EYK	300	5%	UNI	0,9	RUL	SWAP	10%	50%	1	2-opt
29	EYK	300	5%	ENJ	0,6	RUL	REP	5%	50%	2	2-opt	29	EYK	300	5%	ENJ	0,6	TUR	REP	5%	50%	1	2-opt
30	EYK	300	5%	ENJ	0,6	RUL	REP	5%	50%	2	2-opt	30	EYK	300	5%	ENJ	0,6	RUL	SWAP	10%	0	2	Or-opt
31	EYK	300	5%	ENJ	0,6	RUL	REP	10%	0	1	Or-opt	31	EYK	300	5%	ENJ	0,6	TUR	REP	5%	50%	1	2-opt
32	EYK	300	5%	ENJ	0,6	RUL	REP	10%	0	1	Or-opt	32	EYK	300	5%	ENJ	0,6	RUL	SWAP	10%	0	2	Or-opt

Rastgele oluşturulmuş ve 29 müşteriden oluşan bir sipariş listesi ile deneyler, 8 GB RAM belleği olan ve 2.4 Ghz işlemcili standart bir bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. ANOVA testinin uygulanarak en iyi parametre setinin belirlenebilmesi için farklı parametre değerleri kullanılarak toplam 32 adet deney yapılmıştır. Deneylerden elde edilen uygunluk değerleri Çizelge 6.4'te gösterilmektedir.

Çizelge 6.4 Deneylerde elde edilen uygunluk değerleri

P_Seti	F_{dis}	F_{ic}	P_Seti	F_{dis}	F_{ic}	P_Seti	F_{dis}	F_{ic}	P_Seti	F_{dis}	F_{ic}
1	401,36	374	9	410,74	386	17	377,38	368	25	374,14	372
1	418,26	416	9	413,66	396	17	385,79	392	25	377,69	374
1	423,60	418	9	414,57	408	17	387,24	396	25	378,47	378
1	427,86	420	9	417,30	418	17	389,77	414	25	378,70	382
1	430,37	444	9	424,95	428	17	389,92	418	25	382,80	392
2	431,00	398	10	403,97	372	18	376,31	352	26	374,14	374
2	438,66	402	10	415,50	382	18	376,31	376	26	375,84	380
2	440,14	414	10	418,86	392	18	386,63	384	26	382,86	384
2	443,06	438	10	431,1	394	18	400,44	384	26	395,33	400
2	443,72	440	10	433,56	412	18	403,94	404	26	400,79	400
3	407,51	378	11	399,88	410	19	396,65	368	27	493,74	360
3	416,08	396	11	402,98	416	19	406,83	380	27	496,37	384
3	416,67	400	11	413,19	422	19	410,05	388	27	497,80	394
3	424,15	400	11	417,40	430	19	414,52	402	27	502,37	394
3	434,45	418	11	420,63	440	19	416,25	418	27	503,68	404
4	424,83	374	12	406,93	400	20	385,77	370	28	509,01	392
4	428,45	380	12	408,20	414	20	391,89	388	28	516,09	396
4	431,53	384	12	424,17	418	20	393,39	390	28	516,38	398
4	433,31	408	12	430,64	442	20	408,34	392	28	519,60	404
4	423,83	416	12	432,31	442	20	425,49	396	28	530,48	406
5	390,60	416	13	399,88	398	21	386,14	378	29	498,61	392
5	403,56	416	13	399,88	398	21	396,89	396	29	502,54	396
5	403,78	438	13	401,03	400	21	399,17	398	29	509,64	398
5	413,07	448	13	406,93	410	21	414,60	412	29	515,12	404
5	421,33	448	13	408,20	412	21	416,83	434	29	526,71	414
6	407,51	376	14	414,57	386	22	377,2	360	30	463,95	384
6	416,71	386	14	417,49	410	22	381,12	378	30	483,66	398
6	418,69	394	14	422,25	422	22	396,88	382	30	502,37	402
6	421,76	436	14	422,44	430	22	397,44	396	30	502,90	416
6	423,83	442	14	429,44	436	22	401,04	420	30	517,6	418
7	399,88	386	15	408,84	418	23	375,61	376	31	493,74	376
7	403,59	398	15	410,84	434	23	379,60	380	31	497,17	378
7	408,99	416	15	411,00	436	23	380,34	384	31	497,31	388
7	411,48	420	15	414,40	442	23	383,88	392	31	483,66	388
7	426,17	446	15	422,44	442	23	396,15	398	31	509,64	414
8	398,17	390	16	399,88	406	24	377,35	380	32	495,63	376
8	410,84	398	16	401,97	420	24	379,56	382	32	495,97	380
8	410,84	416	16	402,04	428	24	379,80	384	32	504,54	390
8	418,70	418	16	407,77	436	24	383,88	388	32	516,57	394
8	422,19	422	16	416,08	468	24	382,80	392	32	522,24	408

Bir bağımsız değişkenin birden fazla bağımlı değişkeni etkilemesi ve varsayımların sağlanması durumunda grup ortalamaları arasında bir fark olup olmadığı Tek Yönlü Çok Değişkenli Varyans Analizi (TMANOVA) testi ile belirlenir. TMANOVA analiz yönteminin; verilerin normal dağıldığı, grup varyansının eşit olduğu ve bağımsız değişkendirdeki gruplar boyunca bağımlı değişkenler arasındaki korelasyonun aynı olduğu gibi varsayımları vardır. Eğer bu varsayımlardan biri veya birkaçı sağlanmıyorsa analiz için parametrik olmayan yöntemler tercih edilmelidir. Çizelge 6.5'te kovaryans eşitliği için test sonuçları gösterilmektedir. p_{sig} (anlamlılık) değeri 0,05'ten büyük olması halinde gruplar boyunca değişkenler arasında korelasyonun eşit olduğu söylenebilir. Burada $p_{sig} < 0,05$ olduğu için bu varsayım reddedilir.

Çizelge 6.5 Kovaryans eşitliği için test sonuçları

Box's M	247,432
F	2,143
df1	93
df2	11391,193
Sig.	,000

Grup varyanslarının eşitliğine, homojenlik testini (Levene's Test of Equality of Error Variances(a)) gösteren tabloya bakılarak karar verilir. Bu tabloda yer alan p_{sig} değeri 0,05'ten büyük ise varyanslar homojen dağılmış demektir. Çizelge 6.6'da görüleceği üzere $F_{iç}$ uygunluk değerlerinin varyansının homojen dağıldığı, ancak $F_{dış}$ uygunluk değerlerinin verilerinin varyansının ise homojen dağılmadığı görülmektedir. Bu nedenle uygun parametre setinin tespiti için TMANOVA yöntemi kullanılamamış ve veriler ayrı ayrı değerlendirmeye tabi tutulmuştur.

Çizelge 6.6 Varyansların homojenliği testi

	F	df1	df2	Sig.
F_dis	2,399	31	128	,000
F_ic	1,451	31	128	,079

Çizelge 6.6'da yer alan değerler ile yapılan testlerde verilerin kovaryans eşitliği ve varyans homojenliği varsayımlarını sağlamadığı görülmüştür. Bu yüzden dış rota ve iç rota için elde edilen uygunluk değerleri ayrı ayrı parametrik Tek Yönlü ANOVA'nın parametrik olmayan karşılığı olan Kruskal-Wallis testine tabi tutulmuştur. Minitab ®

16.0 paket programı ile elde edilen nihai test sonuçları Çizelge 6.7’de gösterilmiştir. p değerinin 0.05’in altında olması grup medyanlar arasında fark olduğu anlamına gelmektedir.

Çizelge 6.7 Kruskal -Wallis testi sonuçları

ARAÇ ROTALAMA					SİPARİŞ TOPLAMA				
Par No	N	Median	Ave Rank	Z	Par No	N	Median	Ave Rank	Z
1	5	423,6	96,8	0,8	1	5	418	107,9	1,34
2	5	440,1	126,8	2,27	2	5	414	115,3	1,71
3	5	416,7	94,6	0,69	3	5	400	77,5	-0,15
4	5	428,4	116,1	1,75	4	5	384	57,8	-1,11
5	5	403,8	63,4	-0,84	5	5	438	139,5	2,89
6	5	418,7	91,4	0,53	6	5	394	83,6	0,15
7	5	409	71,4	-0,45	7	5	416	105,2	1,21
8	5	410,8	76,8	-0,18	8	5	416	101,2	1,02
9	5	414,6	87,3	0,33	9	5	408	94,9	0,71
10	5	418,9	97,4	0,83	10	5	392	52,7	-1,36
11	5	413,2	73,2	-0,36	11	5	422	128,7	2,36
12	5	424,2	95,6	0,74	12	5	418	125,5	2,21
13	5	401	52	-1,4	13	5	400	90,5	0,49
14	5	422,3	100,2	0,97	14	5	422	112,9	1,59
15	5	411	80,1	-0,02	15	5	436	143,4	3,08
16	5	402	59,3	-1,04	16	5	428	134,2	2,63
17	5	387,2	23,4	-2,8	17	5	396	73,1	-0,36
18	5	386,6	28	-2,57	18	5	384	36,7	-2,15
19	5	410,1	66,6	-0,68	19	5	388	58,6	-1,07
20	5	393,4	53,2	-1,34	20	5	390	46	-1,69
21	5	399,2	55,4	-1,23	21	5	398	83,1	0,13
22	5	396,9	29,4	-2,51	22	5	382	50,8	-1,46
23	5	380,3	17,7	-3,08	23	5	384	42,4	-1,87
24	5	379,8	15,2	-3,2	24	5	384	39,2	-2,03
25	5	378,5	10,6	-3,43	25	5	378	25	-2,72
26	5	382,9	21,1	-2,91	26	5	384	49,1	-1,54
27	5	497,8	140,8	2,96	27	5	394	51,9	-1,4
28	5	516,4	154,6	3,63	28	5	398	79,3	-0,06
29	5	509,6	149,7	3,39	29	5	398	81,8	0,06
30	5	502,4	141,8	3,01	30	5	402	89,5	0,44
31	5	497,2	139,3	2,88	31	5	388	47,8	-1,6
32	5	504,5	146,8	3,25	32	5	390	50,9	-1,45
Overall	160	80,5			Overall	160	80,5		
H	=137,4	DF=31	P=0,00		H	=81,37	DF=31	P=0,00	
H	=137,41	DF=31	P=0,00		H	=81,37	DF=31	P=0,00	

25 numaralı parametre seti Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi ve Sipariş Toplama Problemi için elde edilen deney sonuçları içerisinde en düşük medyan değerini sağladığı için bu parametre seti Genetik Algoritma esaslı yöntemin parametre seti olarak belirlenmiştir. Parametrelere ait değerler sırasıyla Çizelge 6.8 ve Çizelge 6.9’da gösterilmektedir.

Çizelge 6.8 GA_{vrp} için en uygun parametre seti

PARAMETRE	PARAMETRE DEĞERİ	PARAMETRE	PARAMETRE DEĞERİ
Rotalama Yöntemi	En Yakın Komşu	Mutasyon Yöntemi	Değiştirme (Replacement)
Popülasyon Büyüklüğü	Sipariş Sayısı x 10	Mutasyon Oranı	%5
Elitizm Oranı	%5	Mutasyon Azalma Oranı	0
Çaprazlama Yöntemi	Uniform	Sapma (c)	2
Çaprazlama Oranı	%90	Rota İyileştirme	Or-opt
Aile Seçim Yöntemi	Turnuva		

Çizelge 6.9 GA_{op} için en uygun parametre seti

PARAMETRE	PARAMETRE DEĞERİ	PARAMETRE	PARAMETRE DEĞERİ
Rotalama Yöntemi	En Yakın Komşu	Mutasyon Yöntemi	İkili Yer Değiştirme (Swap)
Popülasyon Büyüklüğü	Sipariş Sayısı x 10	Mutasyon Oranı	%5
Elitizm Oranı	%5	Mutasyon Azalma Oranı	%50
Çaprazlama Yöntemi	Uniform	Sapma (c)	2
Çaprazlama Oranı	%90	Rota İyileştirme	2-opt
Aile Seçim Yöntemi	Turnuva		

6.2.2. Tabu Arama İçin En Uygun Parametre Setinin Belirlenmesi

Bu kısımda depo içi sipariş toplama ve depo dışı sipariş dağıtım problemlerinin çözümünde kullanılacak olan Tabu Arama (TA) esaslı yöntem için en iyi parametre setinin belirlenmesine yönelik olarak yapılan deneysel çalışmalar ve sonuçları sunulmaktadır. Rotalama tipi, tabu liste tipi, rastgele olarak oluşturulacak başlangıç çözümlerinin sayısı, tabu arama çevrim sayısı, komşu arama çevrim sayısı, komşuluk yapısı ve rota iyileştirme yönteminin türü TA esaslı yöntemin sağlayacağı çözümlerin performansını etkileyecek parametrelerdir. Tabu arama esaslı yöntemde üç farklı başlangıç çözümü oluşturma yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar serbest, kabul eşiği ve rota benzerlik yöntemleri ile belirlenen başlangıç çözümleridir. Parametre belirlemek için yapılan deneylerde başlangıç çözümü rastgele oluşturulmuştur. Bu kısımda da en uygun parametre setinin belirlenmesi için ANOVA testleri yapılmıştır. ANOVA testleri için yapılacak deneylerde kullanılacak parametre değerleri Çizelge 6.10'da gösterilmektedir.

Çizelge 6.10 Tabu Arama için parametre değerleri

PAR_NO	Parametre	SEVİYELER		
		Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
1	Rotalama Yöntemi	Tasarruf	EYK	-
2	Popülasyon Büyüklüğü	n	2n	-
3	Tabu Liste Tipi ve süresi	Statik	Dinamik	-
4	Komşu Arama Çevrimi	n/2	n	-
5	Tabu Arama Tekrar Sayısı	5n	10n	-
6	Yerel Arama Tipi	Yok	2-opt	Or-opt
7	Yerel Arama İterasyon Say.	10		
8	Komşuluk Arama Yöntemi	İkili Yer Değiştirme (Swap)		

İstatistiksel deney tasarımında tam faktöriyel, kesirli faktöriyel ve Taguchi yöntemi gibi farklı yöntemler kullanıldığı daha önce belirtilmişti. Burada toplam 2 farklı problem için 7 parametre seti iki ve 3 seviye olacak şekilde çeşitli değerler belirlenmiştir. Tam faktöriyel deney yapılması halinde $2^{10} \times 3 \times 3 = 9.126$ adet deney yapılması gerekmektedir. Her iki problemin çözülmesi için yapılacak her bir deneyin ortalama 5 sn sürmesi ve 5 tekrar yapılması durumunda bu kadar deney $9.126 \times 5 \times 5 = 230.400$ sn $\cong 3$ gün sürecektir. Bu nedenle bu yöntemde en uygun parametre setinin belirlenmesi için tam faktöriyel deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler arasından ortalama uygunluk değerine göre en iyi sonuç veren 10 tanesi belirlenmiş ve ANOVA testlerine geçilmiştir. ANOVA için kullanılan sonuçlar Çizelge 6.11’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.11 ANOVA için kullanılacak sonuçlar

Par_Seti	F _{dis}	F _{ic}	Par_Seti	F _{dis}	F _{ic}	Par_Seti	F _{dis}	F _{ic}
6394	758,72	148	4985	761,15	148	6085	759,23	148
6394	753,81	146	4985	759,05	150	6085	761,65	150
6394	758,33	148	4985	762,34	154	6085	766,67	150
6394	752,59	146	4985	759,94	148	6085	759,50	150
6394	757,49	150	4985	763,89	150	6085	759,24	152
631	755,72	150	2071	763,54	152	6290	764,03	150
631	760,25	148	2071	759,02	150	6290	757,79	150
631	758,27	152	2071	763,18	148	6290	758,43	150
631	758,62	148	2071	764,91	148	6290	757,70	150
631	760,25	146	2071	765,89	150	6290	757,34	152
Par_Seti	F _{dis}	F _{ic}	Par_Seti	F _{dis}	F _{ic}			
6144	769,36	152	5545	770,26	156			
6144	766,71	148	5545	762,35	150			
6144	760,25	148	5545	759,02	154			
6144	762,20	150	5545	765,61	154			
6144	766,19	148	5545	763,09	150			
5675	766,01	150	1149	764,25	152			
5675	763,12	146	1149	771,83	150			
5675	760,24	148	1149	761,27	154			
5675	759,94	150	1149	775,15	150			
5675	758,42	150	1149	773,81	156			

Yapılan TMANOVA testi neticesinde bu verilerin de kovaryans eşitliği ve varyans homojenliği varsayımlarını sağlamadığı görülmüştür. Dolayısıyla yine Kruskal – Wallis testi yapılarak en uygun parametre seti belirlenmiştir. Kruskal-Wallis testi sonucu Çizelge 6.12’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.12 Tabu Arama parametre seti için Kruskal - Wallis testi sonuçları

TA _{op}					TA _{vrp}				
Par_No	N	Median	Ave Rank	Z	Par_No	N	Median	Ave Rank	Z
631	5	148	17,7	-1,26	631	5	758,6	14	-1,86
1149	5	151,8	38,2	2,05	1149	5	771,8	42,4	2,73
2071	5	150	24	-0,24	2071	5	763,5	32,8	1,18
4985	5	150	24,6	-0,15	4985	5	761,1	25,6	0,02
5545	5	154	41,5	2,59	5545	5	763,1	32,8	1,18
5675	5	150	19,1	-1,03	5675	5	760,2	25,6	0,02
6085	5	150	30,1	0,74	6085	5	759,5	25,2	-0,05
6144	5	148,1	20,7	-0,78	6144	5	766,2	37,6	1,96
6290	5	149,9	26,8	0,21	6290	5	757,8	13	-2,02
6394	5	148	12,3	-2,13	6394	5	757,5	6	-3,15
Overall	50		25,5		Overall	50		25,5	
H	=17,47	DF=9	P=0,05		H	=28,41	DF=9	P=0,001	
H	=17,47	DF=9	P=0,05		H	=28,41	DF=9	P=0,001	

Yapılan testlerin sonucunda TA_{op} uygunluk değerleri arasında anlamlı bir fark olmadığı, TA_{vrp} uygunluk değerleri arasında ise fark olduğu belirlenmiştir. Z değeri ile yapılan karşılaştırma sonucunda 6394 nolu parametre seti en uygun parametre seti olarak belirlenmiştir. Bu parametre setinin detayları sırasıyla Çizelge 6.13 ve Çizelge 6.14’te gösterilmektedir.

Çizelge 6.13 TA_{vrp} için en uygun parametre değerleri

PARAMETRE NO	Parametre	Değer
1	Rotalama Yöntemi	EYK
2	Popülasyon Büyüklüğü	2n
3	Tabu Liste Tipi Ve Süresi	Statik, \sqrt{n}
4	Komşu Arama Çevrimi	n
5	Tabu Arama Tekrar Sayısı	10n
6	Yerel Arama Tipi	2-opt
7	Yer. Arama İterasyon Sayısı	10

Çizelge 6.14 TA_{op} için en uygun parametre değerleri

PARAMETRE NO	Parametre	Değer
1	Rotalama Yöntemi	EYK
2	Popülasyon Büyüklüğü	2n
3	Tabu Liste Tipi ve Süresi	Dinamik $(0.9\sqrt{n} - 1.1\sqrt{n})$
4	Komşu Arama Çevrimi	n
5	Tabu Arama Tekrar Sayısı	5n
6	Yerel Arama Tipi	Or-opt
7	Yer. Arama İterasyon Sayısı	10

6.3. GELİŞTİRİLEN YÖNTEMLERİN ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

6.3.1. Klasik KARP Test Problemlerinin Geliştirilen Yöntemler İle Çözümü

Çalışma kapsamında önerilen GA ve TA esaslı yöntemler literatürde ilk defa sipariş toplama ve kapasite kısıtlı araç rotalama problemlerinin eş zamanlı çözümünü sağlamaktadır. Daha önce bu yönde yapılan bir çalışma bulunmadığı için önerilen yöntemlerin etkinliği klasik KARP veri setleri kullanılarak test edilmiştir. Karşılaştırma için Augerat vd. (1995) tarafından kullanılan test problemlerinden 24 tanesi programda kullanılan sipariş listesi formatına dönüştürülerek test edilmiştir. Kullanılan bu test problemlerindeki araç kısıtları ve oluşturulabilecek minimum grup sayısı ile talep-kapasite oranı Çizelge 6.15’te gösterilmektedir.

Çizelge 6.15 Kullanılan Klasik Test Problemleri

Veri	Talep	Kapasite	Grup Sayısı	TKO*	Veri	Talep	Kapasite	Grup Sayısı	TKO*
A-n32-k5	410	100	5	0,82	B-n34-k5	457	100	5	0,91
A-n33-k5	446	100	5	0,89	B-n35-k5	437	100	5	0,87
A-n33-k6	541	100	6	0,90	B-n38-k6	512	100	6	0,85
A-n34-k5	460	100	5	0,92	B-n39-k5	440	100	5	0,88
A-n36-k5	442	100	5	0,88	B-n41-k6	567	100	6	0,95
A-n37-k5	407	100	5	0,81	B-n43-k6	521	100	6	0,87
A-n37-k6	570	100	6	0,95	B-n44-k7	641	100	7	0,92
A-n38-k5	467	100	5	0,93	B-n45-k5	486	100	5	0,97
A-n39-k5	475	100	5	0,95	B-n45-k6	592	100	6	0,99
A-n39-k6	526	100	6	0,88	B-n50-k7	609	100	7	0,87
A-n44-k6	570	100	6	0,95	B-n50-k8	735	100	8	0,92
B-n31-k5	412	100	5	0,82	B-n52-k7	606	100	7	0,87

TKO = Talep/Kapasite Oranı, Talep= Toplam Talep, Kapasite=Toplama Aracı Kapasitesi,

Çizelge 6.16’da karşılaştırılan yöntemlerin listesi, Çizelge 6.17’de ise klasik test problemlerinin geliştirilen yöntemlerle çözümünden elde edilen uygunluk değerleri ve en iyi çözüme uzaklıkları gösterilmektedir. Karşılaştırma için bu yöntemlerin seçilmesinin sebebi, araç rotalarının GA ve TA ile bütünleşik olarak çalışan “Tasarruf” ve “En Yakın Komşu” sezgiselleri ile belirlenmesidir.

Çizelge 6.16 Karşılaştırma İçin Kullanılan Yöntemler

KISALTMA	YIL	YAZARLAR	ALGORİTMA
CW	1964	Clarke and Wright	Clarke and Wright Tasarruf Algoritması
AÖ	2005	Altınel ve Özcan	Geliştirilmiş Tasarruf Algoritması
H	2010	Hinton	Yeni Yöntemler
NJK	2011	Na vd.,	Geliştirilmiş süpürme algoritması

Çizelge 6.17 Klasik test problemlerinin geliştirilen yöntemler ile çözümü

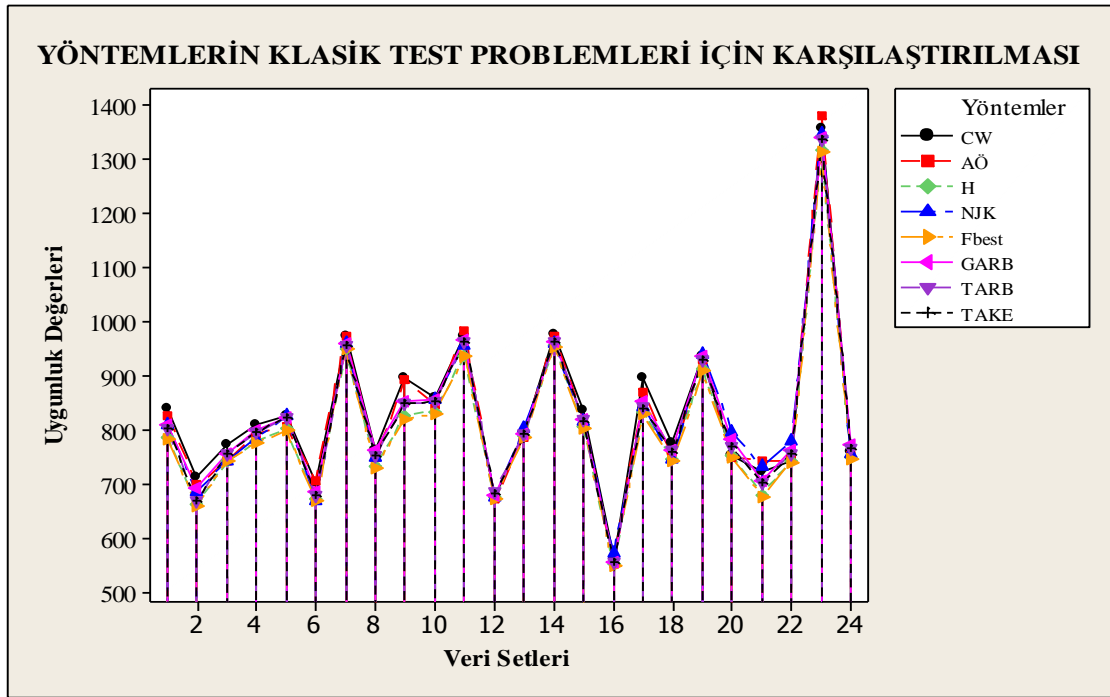
Veri Seti	CW	AÖ	H	NJK	F _{best}	GARB	Fark (%)	TARB	Fark (%)	TAKE	Fark (%)
A-n32-k5	842	827	787	810	784	809	3,19	804	2,55	804	2,55
A-n33-k5	713	700	662	686	661	692	4,69	670	1,36	670	1,36
A-n33-k6	775	743	742	743	742	757	2,02	756	1,89	756	1,89
A-n34-k5	810	793	780	785	778	800	2,83	797	2,44	797	2,44
A-n36-k5	826	806	802	826	799	824	3,13	824	3,13	824	3,13
A-n37-k5	705	708	672	670	669	686	2,54	680	1,64	680	1,64
A-n37-k6	975	974	951	962	949	959	1,05	956	0,74	956	0,74
A-n38-k5	765	751	733	749	730	762	4,38	754	3,29	754	3,29
A-n39-k5	898	894	828	-	822	855	4,01	849	3,28	849	3,28
A-n39-k6	861	848	835	856	831	857	3,13	853	2,65	853	2,65
A-n44-k6	974	985	938	957	937	967	3,20	963	2,77	964	2,88
B-n31-k5	677	673	676	677	672	680	1,19	686	2,08	682	1,49
B-n34-k5	794	788	789	802	788	794	0,76	793	0,63	793	0,63
B-n35-k5	978	975	956	962	955	965	1,05	965	1,05	965	1,05
B-n38-k6	837	820	807	817	805	820	1,86	819	1,74	817	1,49
B-n39-k5	564	552	553	575	549	558	1,64	558	1,64	558	1,64
B-n41-k6	896	869	834	843	829	854	3,02	843	1,69	842	1,57
B-n43-k6	777	752	746	746	742	762	2,70	762	2,70	760	2,43
B-n44-k7	936	932	914	942	909	936	2,97	932	2,53	930	2,31
B-n45-k5	754	751	753	797	751	782	4,13	769	2,40	769	2,40
B-n45-k6	723	742	681	732	678	706	4,13	704	3,83	702	3,54
B-n50-k7	745	746	744	779	741	762	2,83	757	2,16	757	2,16
B-n50-k8	1356	1381	1317	1349	1313	1340	2,06	1338	1,90	1338	1,90
B-n52-k7	761	754	749	758	747	774	3,61	768	2,81	768	2,81

Kaynak: (Pichibula ve Kawtummachai, 2012:313)

Not: Na vd., (2011) A-n39-k5 seti için deney yapmamıştır.

Tabloda gösterilen veri setleri ile bilinen en iyi çözüme GARB yöntemi ile % 0.76 ile % 4.69; TARB yöntemi ile %0,63 ile 3,83 arasında; TAKE yöntemi ile % 0,63 ile 3,29 arasında değişen oranlarda yakın çözümler elde edilmiş ve birçok veri setinde karşılaştırılan diğer yöntemlerden daha iyi sonuçlar ortaya konmuştur.

Her iki yöntem için yapılan ANOVA testleri sonucunda araç rotalarını belirlemek için EYK rotalama sezgiselinin daha iyi sonuç verdiği tespit edilmişti. Yapılan deneylerde 24 veri setinden 20 tanesi için Tasarruf (CW) yönteminden daha iyi rotaların belirlendiği görülmektedir. GARB, TARB ve TAKE yöntemleri kullanılarak yapılan deneylerde birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Birçok deneyde TARB ve TAKE yöntemleri aynı sonucu vermiş, 2 deney seti için ise GARB yöntemi daha iyi çözümler sağlamıştır. Genel olarak elde edilen sonuçlar incelendiğinde, dış rotalama ile ilgili olarak farklı bir yaklaşım (kromozom gösterimi) kullanılmasının daha faydalı olacağı görülmekle birlikte, iki farklı probleme eş zamanlı çözüm aranması nedeniyle mevcut durumda performans açısından geliştirilen yöntemler yeterli bulunmuştur. Elde edilen uygunluk değerlerine ilişkin grafik Şekil 6.12'de gösterilmektedir.



Şekil 6.12 Elde edilen uygunluk değerlerinin grafik gösterimi

6.3.2. Karşılaştırma İçin Kullanılan Test Problemleri ve Depo Yerleşimleri

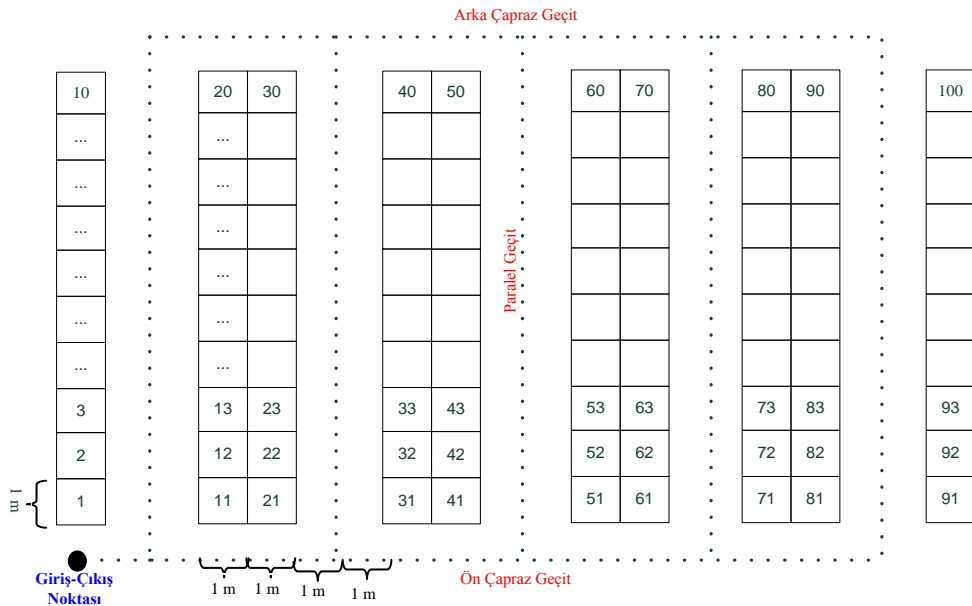
Çalışma kapsamında önerilen yöntemlerin etkinliğini göstermek için klasik test problemleri ile yapılan karşılaştırmaların ardından yöntemlerin performanslarını değerlendirmek için 8 adet sipariş listesi rastgele olarak oluşturulmuş ve bu veri setleri ile deneyler yapılarak yöntemler kendi arasında karşılaştırılmıştır. Rastgele olarak üretilen sipariş listelerine ait bilgiler Çizelge 6.18'de gösterilmektedir. Sipariş listeleri

isimlendirilirken listede yer alan sipariş sayısı ve dış dağıtım için kullanılacak araç (rota) sayısı ifadeleri ile isimler türetilmiştir. Örneğin Y-n30-k3 sipariş listesinde 30 adet müşteri yer almaktadır. Bu siparişlerin dış dağıtım için 3 adet rota, depo içi toplama için ise 6 adet rota belirlenecektir. Rastgele üretilen bu sipariş listelerinin detayları ekte sunulmuştur (EK 3 - EK 10).

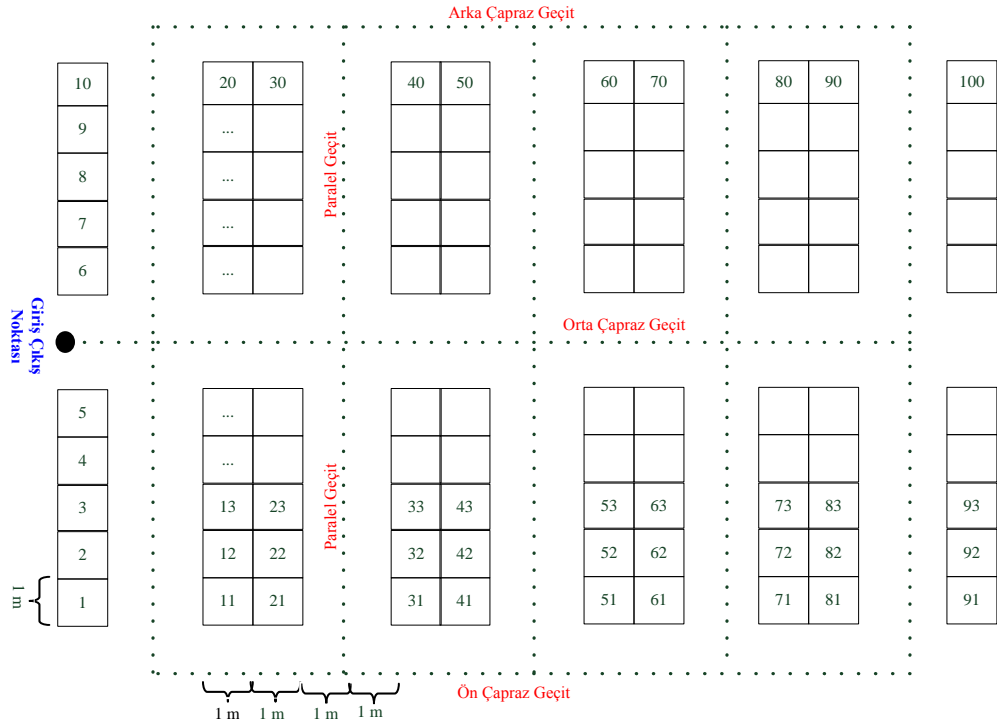
Çizelge 6.18 Rastgele üretilen sipariş listelerine ait bilgiler

	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)
Deneş Seti	$C_{dış}$ (kg)	$C_{iç}$ (kg)	Parça	Toplam Ağırlık (kg)	Araç (Rota) Sayısı _{dış} (D/A)	Araç (Rota) Sayısı _{iç} (D/B)
Y-n30-k3	150	75	46	419	3	6
Y-n30-k5	150	100	64	720	5	8
Y-n45-k5	160	80	70	761	5	10
Y-n45-k7	100	60	48	642	7	11
Y-n60-k5	200	100	110	875	5	9
Y-n60-k7	200	120	127	1355	7	12
Y-n75-k5	200	100	113	895	5	9
Y-n75-k7	200	100	138	1364	7	14

Deneşel çalışmalarda, bu sipariş listelerin test edilmesi için iki farklı depo yerleşimi kullanılmıştır. Klasik ve çapraz geçitli depo yerleşimi olarak ifade edilen bu yerleşimler sırasıyla Şekil 6.13 ve Şekil 6.14'te gösterilmektedir.

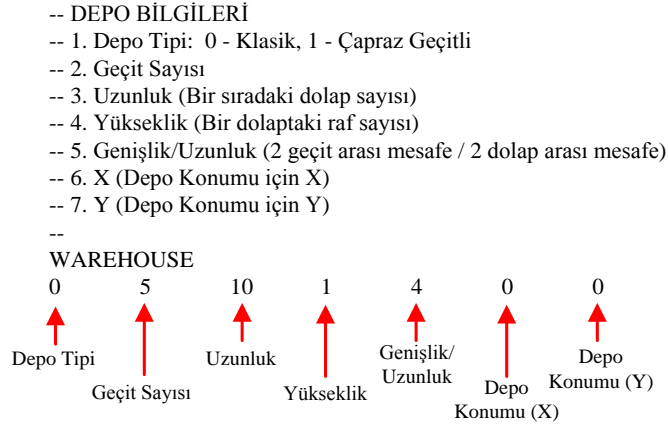


Şekil 6.13 Klasik depo yerleşimi



Şekil 6.14 Çapraz geçitli depo yerleşimi

Şekil 6.13'te gösterilen klasik depo yerleşiminde, birbirine paralel geçitler ve bu geçitler arası geçişi sağlayan ön ve arka çapraz geçitler bulunmaktadır. Bu depo yerleşiminde giriş çıkış- noktası deponun sol alt köşesinde yer almaktadır. Çalışma kapsamında kullanılan diğer depo yerleşimi olan çapraz geçitli depo yerleşiminde ise klasik yerleşimde bulunan ön ve arka çapraz geçitlerin yanı sıra alternatif geçişlere olanak sağlayan bir adet orta çapraz geçit yer almaktadır. Ayrıca, bu deponun giriş çıkış noktası diğer yerleşime göre farklı bir yerde bulunmaktadır. Depoda bulunan raf ve geçitlere ilişkin ölçüler ile depo türü gibi bilgiler sipariş listeleri vasıtasıyla programa tanıtılmaktadır. Depo ölçüleri yukarıdaki şekillerde her iki depo gösterimi içinde aynı alınmış olmasına rağmen, istenildiği takdirde hazırlanan programa sipariş listeleri aracılığıyla farklı yerleşim özellikleri tanımlanabilmektedir. EK-1'de verilen örnek sipariş listesi içerisinde depoya ait özelliklerin tanımlandığı kısım Şekil 6.15'te görülmektedir. Depo tipi, geçit sayısı, uzunluk, yükseklik, genişlik/uzunluk (iki geçit arası mesafe), deponun X ve Y koordinatlarına ilişkin bilgiler sipariş listeleri aracılığıyla programa tanıtılmaktadır.



Şekil 6.15 Depo özelliklerinin programa tanıtılması

İç ve dış bölgede kullanılan araçlara ilişkin bilgiler, ürünlerin depo içerisindeki konumları ve ağırlıkları, müşteri koordinatları ve müşteri siparişlerinin içeriği de yine EK-1’de örneği gösterilen sipariş listesi aracılığıyla programa tanıtılmaktadır. Çalışma kapsamında ele alınan problemlerin çözümü için yapılan varsayımlar şu şekildedir:

1. Sistem içerisinde tek bir merkezi depo vardır ve müşterilerin talebi bilinmektedir (deterministiktir).
2. Bir müşteriye ait sipariş birden fazla dağıtım aracına bölünemez.
3. Araçların belirli bir kapasiteleri vardır ve homojendir.
4. Bir siparişe ait parçaların depo içerisinde birden fazla gruba bölünemez.
5. Giriş noktası klasik depo yerleşimi için sol alt köşede, çapraz geçitli depo yerleşimi için sol tarafta orta bölümde yer almaktadır.
6. Sipariş toplayıcı geçit içerisindeki bir noktaya geldiğinde hem sağ hem de sol taraftan önemli siparişleri toplayabilmektedir.
7. Sipariş toplayıcılar geçit içerisinde her iki yönde de hareket edebilmektedirler.
8. Araçlar toplama ve dağıtım işlemi tamamlandıktan sonra başlangıç noktasına dönmektedir.

Her bir problem için önerilen beş yöntem (GAS, GARB, TAS, TARB, TAKE) kullanılarak deneyler 10 defa tekrarlanmıştır. Klasik ve çapraz geçitli depo yerleşimi için elde edilen uygunluk değerleri ve çözüm süreleri minimum ve maksimum ([min, max]) değerler şeklinde sırasıyla Çizelge 6.19 ve Çizelge 6.20’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.19 Klasik depo yerleşim için elde edilen sonuçlar

KLASİK DEPO YERLEŞİMİ İÇİN ELDE EDİLEN SONUÇLAR												
Deneysel Seti	GAS				GARB							
	F _{vrp}	T _{vrp}	F _{op}	T _{op}	F _{vrp}	T _{vrp}	F _{op}	T _{op}				
Y-n30-k3	[520.80, 530.80]	[4.92, 24.24]	[498 - 506]	[2.69, 6.28]	[520.80 , 523.84]	[2.11, 5.48]	[498, 500]	[2.00, 2.88]				
Y-n30-k5	[754.83, 771.07]	[8.74, 29.88]	[746, 776]	[2.82, 3.37]	[732.98, 769.23]	[6.27, 9.31]	[756, 780]	[2.61, 3.79]				
Y-n45-k5	[976.24, 993.09]	[29.34, 43.89]	[960-992]	[20.11, 13.79]	[971.38, 991.57]	[14.13, 46.88]	[936, 970]	[10.49, 15.74]				
Y-n45-k7	[852.96, 903.23]	[18.26, 27.19]	[1056, 1104]	[0.45, 0.61]	[845.71, 914.63]	[11.81, 32.40]	[1036, 1048]	[0.41, 0.65]				
Y-n60-k5	[987.53, 1043.78]	[17.37, 20.85]	[1008, 1048]	[7.79, 10.07]	[982.68, 1021.64]	[15.65, 25.11]	[970, 1018]	[5.77, 14.90]				
Y-n60-k7	[1367.96, 1395.48]	[96.12, 147.97]	[1194, 1246]	[1.28, 1.66]	[1316.52, 1371.57]	[73.85, 143.18]	[1182, 1218]	[1.31, 1.83]				
Y-n75-k5	[936.94, 1004.87]	[53.8, 91.46]	[912, 930]	[12.61, 15.22]	[919.22, 897.23]	[23.33, 77.29]	[906, 944]	[9.07, 16.22]				
Y-n75-k7	[874.29, 943.95]	[532.35, 600.88]	[1408, 1482]	[29.62, 47.009]	[874.29, 943.95]	[492.02, 600.43]	[1398, 1498]	[18.77, 21.13]				
Deneysel Seti	TAS				TARB				TAKE			
	F _{vrp}	T _{vrp}	F _{op}	T _{op}	F _{vrp}	T _{vrp}	F _{op}	T _{op}	F _{vrp}	T _{vrp}	F _{op}	T _{op}
Y-n30-k3	[520.80, 533.51]	[0.48, 0.55]	[492, 504]	[0.26, 0.61]	[520.80, 530.80]	[0.34, 0.44]	[468, 500]	[0.28, 0.41]	[520.80, 533.51]	[0.25, 0.31]	[486, 502]	[0.03, 0.07]
Y-n30-k5	[732.98, 765.82]	[1.01, 1.08]	[754, 770]	[0.70, 1.20]	[720.27, 732.98]	[0.93, 1.16]	[740, 752]	[0.36, 0.38]	[720.24, 748.06]	[0.52, 0.64]	[724, 774]	[0.06, 0.07]
Y-n45-k5	[956.89, 987.95]	[3.27, 4.22]	[930, 952]	[1.40, 1.56]	[952.06, 986.66]	[2.97, 3.51]	[918, 936]	[1.83, 2.11]	[947.47, 971.59]	[1.04, 1.83]	[906, 952]	[0.14, 0.21]
Y-n45-k7	[836.41, 890.04]	[4.76, 5.79]	[1034, 1048]	[1.17, 1.51]	[834.26, 907.28]	[4.22, 6.44]	[1022, 1056]	[0.48, 0.53]	[833.86, 890.4]	[2.04, 5.66]	[1010, 1074]	[0.06, 0.06]
Y-n60-k5	[975.12, 1024.15]	[5.21, 6.92]	[966, 1006]	[1.79, 2.55]	[968.52, 1014.35]	[4.91, 7.09]	[966, 1000]	[1.71, 2.09]	[967.40, 1021.64]	[3.31, 6.89]	[964, 994]	[0.21, 0.32]
Y-n60-k7	[1258.18, 1284.37]	[14.30, 25.01]	[1158, 1170]	[1.91, 2.10]	[1237.97, 1281.56]	[13.45, 17.34]	[1150, 1186]	[1.63, 1.76]	[1212.04, 1260.96]	[7.02, 15.08]	[1134, 1192]	[0.16, 0.22]
Y-n75-k5	[892.54, 1008.82]	[10.95, 15.20]	[898, 914]	[2.08, 2.19]	[890.52, 912.90]	[10.38, 14.56]	[924, 954]	[1.77, 2.39]	[879.02, 943.35]	[5.26, 12.79]	[884, 926]	[0.27, 0.44]
Y-n75-k7	[825.89, 843.01]	[27.08, 43.67]	[1364, 1406]	[3.27, 3.63]	[816.87, 845.87]	[25.27, 46.58]	[1342, 1410]	[3.27, 3.79]	[813.61, 839.32]	[14.27, 42.40]	[1338-1430]	[0.42, 0.90]

* Yapılan 10 tekrar neticesinde elde edilen minimum ve maksimum değerler tabloda verilmektedir.

Çizelge 6.20 Çapraz geçitli depo yerleşimim için elde edilen sonuçlar

ÇAPRAZ GEÇİTLİ DEPO YERLEŞİMİ İÇİN ELDE EDİLEN SONUÇLAR												
Deney Seti	GAS				GARB							
	F_{vrp}	T_{vrp}	F_{op}	T_{op}	F_{vrp}	T_{vrp}	F_{op}	T_{op}				
Y-n30-k3	[520.80, 541.76]	[3.74, 8.16]	[436, 484]	[0.66, 1.87]	[520.80, 549.81]	[2.79, 4.12]	[436, 492]	[0.67, 1.59]				
Y-n30-k5	[738.41, 757.66]	[8.41, 25.45]	[688, 716]	[1.13, 1.78]	[737.08, 773.90]	[5.45, 8.25]	[684, 714]	[1.01, 1.30]				
Y-n45-k5	[958.30, 973.25]	[26.76, 29.96]	[858, 912]	[3.17, 4.67]	[948.60, 977.57]	[22.10, 27.89]	[842, 886]	[3.46, 5.33]				
Y-n45-k7	[840.45, 947.17]	[13.81, 38.15]	[950, 972]	[1.14, 1.50]	[838.01, 930.55]	[32.31, 64.42]	[934, 964]	[1.20, 1.40]				
Y-n60-k5	[976.57, 1030.68]	[25.85, 32.29]	[928, 946]	[4.70, 7.00]	[975.32, 1005.47]	[19.49, 45.12]	[892, 954]	[4.22, 6.76]				
Y-n60-k7	[1290.07, 1391.25]	[218.53, 286.40]	[1112, 1146]	[3.93, 4.45]	[1286.09, 1326.91]	[102.81, 291.24]	[1112, 1138]	[2.98, 4.58]				
Y-n75-k5	[922.18, 978.27]	[60.08, 78.13]	[820, 888]	[9.41, 10.97]	[898.61, 945.15]	[48.21, 64.78]	[802, 874]	[6.18, 10.52]				
Y-n75-k7	[881.53, 941.25]	[476.89, 600.34]	[1214, 1288]	[9.68, 13.20]	[866.27, 938.91]	[240.57, 600.87]	[1214, 1272]	[9.46, 19.07]				
Deney Seti	TAS				TARB				TAKE			
	F_{vrp}	T_{vrp}	F_{op}	T_{op}	F_{vrp}	T_{vrp}	F_{op}	T_{op}	F_{vrp}	T_{vrp}	F_{op}	T_{op}
Y-n30-k3	[520.80, 545.39]	[0.90, 1.03]	[420, 468]	[0.81, 1.84]	[520.80, 539.34]	[0.86, 1.28]	[420, 462]	[0.60, 1.09]	[520.80, 533.51]	[0.24, 0.36]	[420, 456]	[0.28, 0.31]
Y-n30-k5	[720.24, 746.38]	[1.53, 1.73]	[678, 702]	[0.86, 0.93]	[720.24, 746.05]	[1.45, 1.58]	[676, 708]	[0.77, 0.87]	[720.24, 733.45]	[0.53, 0.67]	[676, 704]	[0.53, 0.60]
Y-n45-k5	[944.81, 974.02]	[3.54, 4.29]	[840, 856]	[1.81, 2.04]	[942.45, 963.13]	[3.18, 4.21]	[834, 864]	[1.84, 2.16]	[938.92, 966.94]	[1.15, 1-3.48]	[830, 862]	[0.94, 1.51]
Y-n45-k7	[831.73, 861.27]	[4.95, 6.58]	[938, 964]	[0.69, 0.78]	[829.54, 905.61]	[4.81, 6.01]	[934, 958]	[0.72, 0.82]	[828.20, 845.16]	[2.58, 3.20]	[924, 954]	[0.49, 0.53]
Y-n60-k5	[970.83, 1006.81]	[6.82, 8.72]	[924, 942]	[2.26, 3.45]	[967.63, 1042.54]	[5.84, 10.54]	[914, 946]	[1.98, 2.79]	[966.56, 1012.92]	[3.14, 4.82]	[892, 936]	[1.30, 1.62]
Y-n60-k7	[1242.52, 1270.39]	[15.31, 24.98]	[1108, 1124]	[2.04, 2.40]	[1234.34, 1280.63]	[13.37, 21.04]	[1110, 1120]	[1.86, 2.16]	[1209.97, 1276.51]	[7.82, 11.76]	[1094, 1132]	[0.19, 0.23]
Y-n75-k5	[879.75, 978.20]	[10.88, 16.45]	[834, 850]	[1.79, 1.90]	[871.52, 965.15]	[9.01, 11.92]	[828, 958]	[2.15, 2.62]	[852.35, 977.37]	[5.05, 14.12]	[820, 848]	[1.68, 1.87]
Y-n75-k7	[820.50, 843.25]	[25.40, 33.02]	[1194, 1252]	[3.32, 3.90]	[815.34, 845.33]	[24.53, 39.76]	[1156, 1240]	[3.03, 3.75]	[807.60, 832.77]	[16.63, 43.72]	[1188, 1242]	[2.47, 3.26]

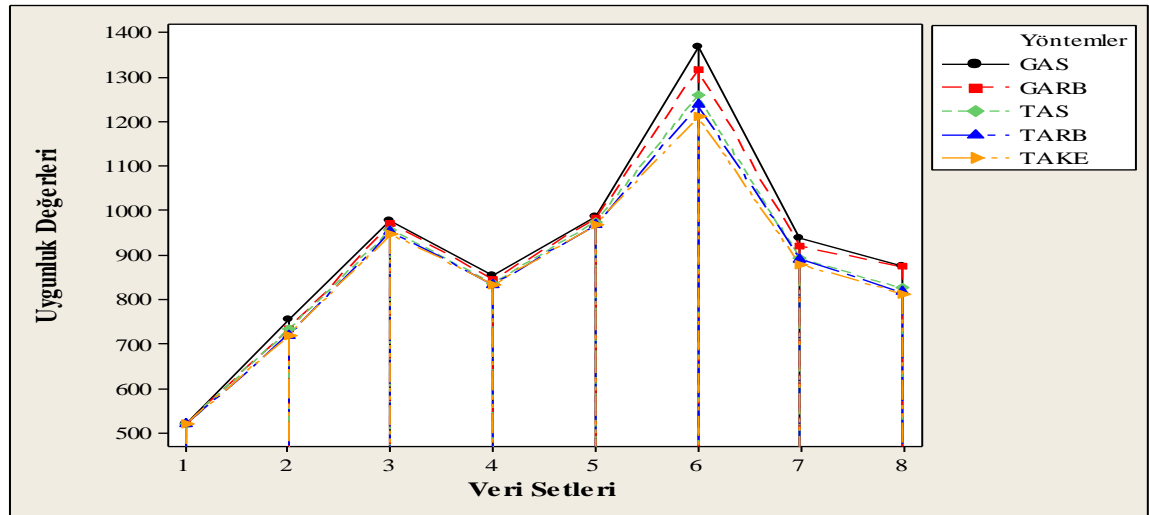
* Yapılan 10 tekrar neticesinde elde edilen minimum ve maksimum değerler tabloda verilmektedir.

6.3.3. DeneY Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çizelge 6.19’da yer alan klasik depo yerleşimi için yapılan deneylerin sonuçları karşılaştırıldığında, Y-n30-k3 sipariş listesi dışında kalan listeler için TAKE yönteminin GAS yöntemine göre %2,08-%12,86, GARB yöntemine göre ise %1,42-%8,62 arasında değişen oranlarda daha iyi çözümler sağladığı görülmektedir. TAS ve TARB yöntemleri için bu oranlar sırasıyla %0,31-3,81 ve %0,05-2,14 arasında değişmektedir. Şekil 6.16’da en iyi uygunluk değerlerinin grafik üzerinde gösterimi yer almaktadır. Müşteri sayısı arttıkça aradaki fark daha net olarak görülebilmektedir. Sipariş listelerine göre en iyi sonuçların alındığı çözümlerin detayları sırasıyla EK-11 ve EK-12’de sunulmuştur.

Çizelge 6.21 Klasik depo yerleşimi için dış rota uzunlukları

Veri Seti	GAS		GARB		TAS		TARB		TAKE	
	F _{vrp}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)	F _{vrp}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)	F _{vrp}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)	F _{vrp}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)	F _{vrp}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)
Y-n30-k3	520,80	0,00	520,80	0,00	520,80	0,00	520,80	0,00	520,80	0,00
Y-n30-k5	754,83	4,80	732,98	1,77	732,98	1,77	720,27	0,00	720,24	0,00
Y-n45-k5	976,24	3,04	971,38	2,52	956,89	0,99	952,06	0,48	947,47	0,00
Y-n45-k7	852,96	2,29	845,71	1,42	836,41	0,31	834,26	0,05	833,86	0,00
Y-n60-k5	987,53	2,08	982,68	1,58	975,12	0,80	968,52	0,12	967,40	0,00
Y-n60-k7	1367,96	12,86	1316,52	8,62	1258,18	3,81	1237,97	2,14	1212,04	0,00
Y-n75-k5	936,94	6,59	919,22	4,57	892,54	1,54	890,52	1,31	879,02	0,00
Y-n75-k7	874,29	7,46	874,29	7,46	825,89	1,51	816,87	0,40	813,61	0,00

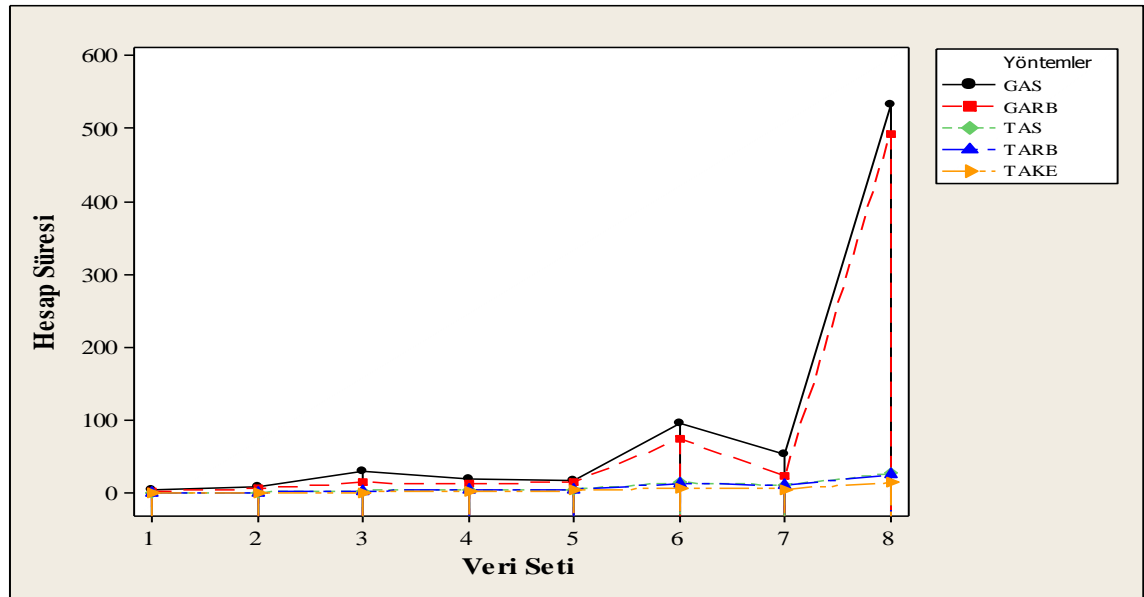


Şekil 6.16 Klasik depo yerleşimi için dış rota uzunluklarının karşılaştırılması

Çözüm kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılan bir diğer parametre ise çözüm süresidir. Çizelge 6.19'da yer alan çözümlerin en iyi çözüm süreleri alınmış ve Çizelge 6.22'de geliştirilen yöntemler için karşılaştırmaya tabi tutulmuştur. En iyi çözüm süreleri incelendiğinde TAKE yönteminin diğer yöntemlere karşı üstünlüğü açık bir şekilde görülmektedir. TAKE yöntemi çözüm süresi bakımından GAS yöntemine göre % 80,94-97,32; GARB yöntemine göre %77,45-97,10; TAS yöntemine göre %36,47-68,20; TARB yöntemine göre ise %26,47-64,98 arasında değişen oranlarda zaman tasarrufu sağlamıştır. Çözüm süreleri saniye olarak verilmiştir. Şekil 6.17'de çözüm sürelerine ilişkin grafik gösterilmektedir.

Çizelge 6.22 Klasik depo dış rota için hesap süreleri

Veri Seti	GAS		GARB		TAS		TARB		TAKE	
	T _{vrp}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)	T _{vrp}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)	T _{vrp}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)	T _{vrp}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)	T _{vrp}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)
Y-n30-k3	4,92	94,92	2,11	88,15	0,48	47,92	0,34	26,47	0,25	0,00
Y-n30-k5	8,74	94,05	6,27	91,71	1,01	48,51	0,93	44,09	0,52	0,00
Y-n45-k5	29,34	96,46	14,13	92,64	3,27	68,20	2,97	64,98	1,04	0,00
Y-n45-k7	18,26	88,83	11,81	82,73	4,76	57,14	4,22	51,66	2,04	0,00
Y-n60-k5	17,37	80,94	15,65	78,85	5,21	36,47	4,91	32,59	3,31	0,00
Y-n60-k7	96,12	92,70	73,85	90,49	14,30	50,91	13,45	47,81	7,02	0,00
Y-n75-k5	53,80	90,22	23,33	77,45	10,95	51,96	10,38	49,33	5,26	0,00
Y-n75-k7	532,35	97,32	492,02	97,10	27,08	47,30	25,27	43,53	14,27	0,00

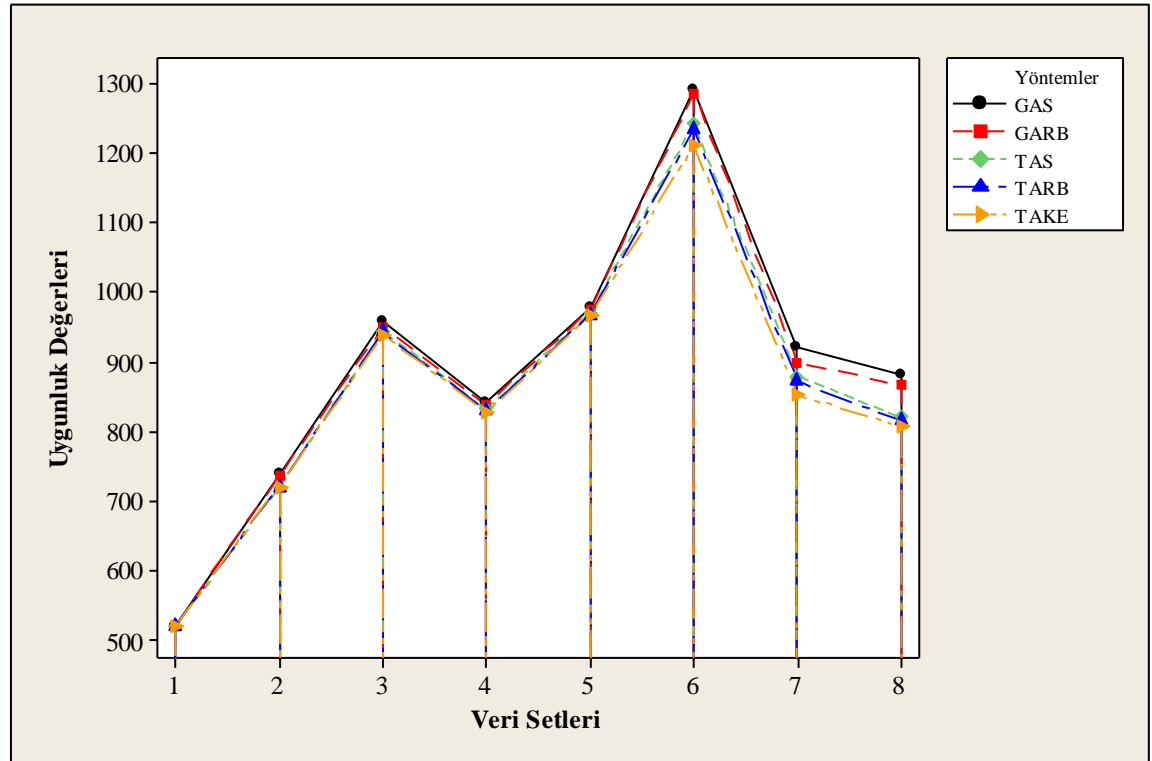


Şekil 6.17 Klasik depo için dış rota çözüm sürelerinin karşılaştırılması

Çapraz geçitli depo yerleşiminin kullanıldığı deneylerde elde edilen uygunluk değerleri ve hesap süreleri Çizelge 6.20’de özetlenmiştir. Müşteri sayısındaki artış ile birlikte Tabu Arama esaslı çözüm yöntemlerinin üstünlüğü açıkça görülebilmektedir. Depo özelliklerinin değişiminden sadece depo içi rota hesabı etkilenmektedir. Çizelge 6.23’te çapraz geçitli deponun bulunduğu sistem için dış rota mesafeleri, Şekil 6.18’de ise bu çözümlere ilişkin grafik gösterilmektedir.

Çizelge 6.23 Çapraz geçitli depo yerleşimi için dış rota uzunlukları

Veri Seti	GAS		GARB		TAS		TARB		TAKE	
	F_{arp}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)	F_{arp}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)	F_{arp}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)	F_{arp}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)	F_{arp}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)
Y-n30-k3	520,80	0,00	520,80	0,00	520,80	0,00	520,80	0,00	520,80	0,00
Y-n30-k5	738,41	2,46	737,08	2,28	720,24	0,00	720,24	0,00	720,24	0,00
Y-n45-k5	958,30	2,02	948,60	1,02	944,81	0,62	942,45	0,37	938,92	0,00
Y-n45-k7	840,45	1,46	838,01	1,17	831,73	0,42	829,54	0,16	828,20	0,00
Y-n60-k5	976,57	1,03	975,32	0,90	970,83	0,44	967,63	0,11	966,56	0,00
Y-n60-k7	1290,07	6,21	1286,09	5,92	1242,52	2,62	1234,34	1,97	1209,97	0,00
Y-n75-k5	922,18	7,57	898,61	5,15	879,75	3,11	871,52	2,20	852,35	0,00
Y-n75-k7	881,53	8,39	866,27	6,77	820,50	1,57	815,34	0,95	807,60	0,00

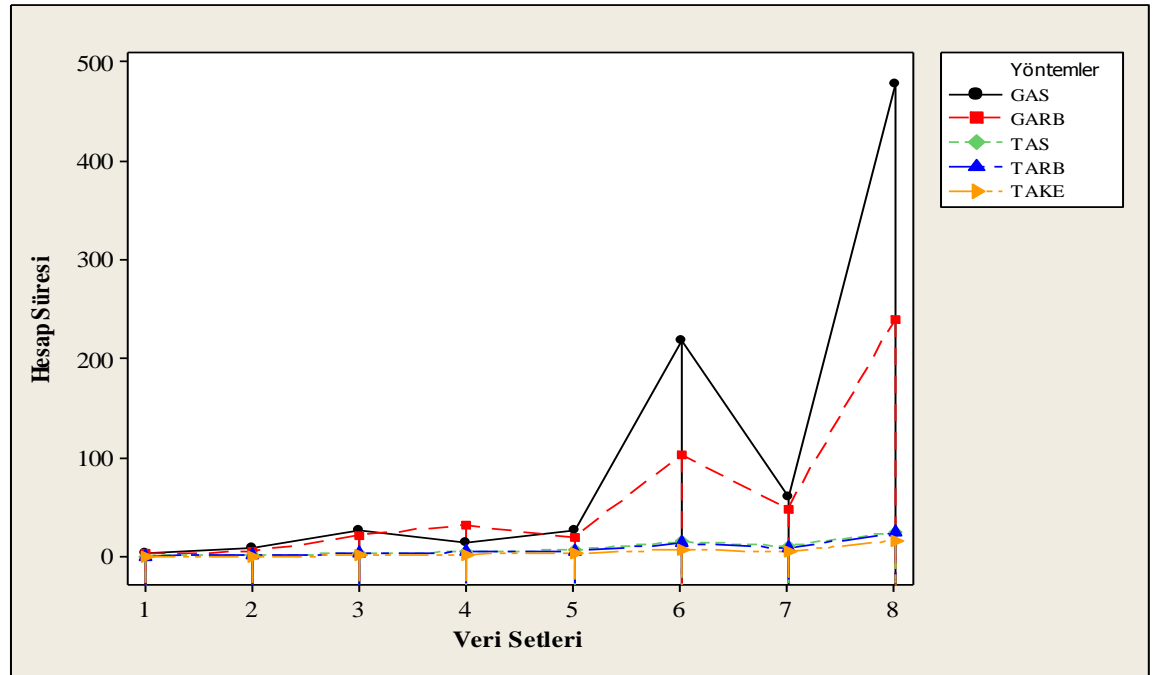


Şekil 6.18 Çapraz depo yerleşimi için dış rota uzunluklarının karşılaştırılması

Çapraz geçitli depo yerleşiminin kullanıldığı deneylerde dış rota hesap süresi bakımından klasik depo yerleşiminin kullanıldığı ve sonuçları Çizelge 6.22’de gösterilen deneylerle benzer sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç itibari ile dış bölgede yapılan rotalama değişmemekte, depo yerleşimindeki değişiklik nedeniyle sadece iç rota mesafesinde azalma meydana gelmektedir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.24’te, çözümlere ait grafik Şekil 6.19’da gösterilmektedir.

Çizelge 6.24 Çapraz geçitli depo dış rota için hesap süreleri

Veri Seti	GAS		GARB		TAS		TARB		TAKE	
	T_{vrp}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)	T_{vrp}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)	T_{vrp}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)	T_{vrp}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)	T_{vrp}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)
Y-n30-k3	3,74	93,58	2,79	91,40	0,90	73,33	0,86	72,09	0,24	0,00
Y-n30-k5	8,41	93,70	5,45	90,28	1,53	65,36	1,45	63,45	0,53	0,00
Y-n45-k5	26,76	95,70	22,10	94,80	3,54	67,51	3,18	63,84	1,15	0,00
Y-n45-k7	13,81	81,32	32,31	92,01	4,95	47,88	4,81	46,36	2,58	0,00
Y-n60-k5	25,85	83,89	19,49	87,85	6,82	53,96	5,84	46,23	3,14	0,00
Y-n60-k7	218,53	92,39	102,81	96,42	15,31	48,92	13,37	41,51	7,82	0,00
Y-n75-k5	60,08	91,59	48,21	89,52	10,88	53,58	9,01	43,95	5,05	0,00
Y-n75-k7	476,89	96,51	240,57	93,09	25,40	34,53	24,53	32,21	16,63	0,00

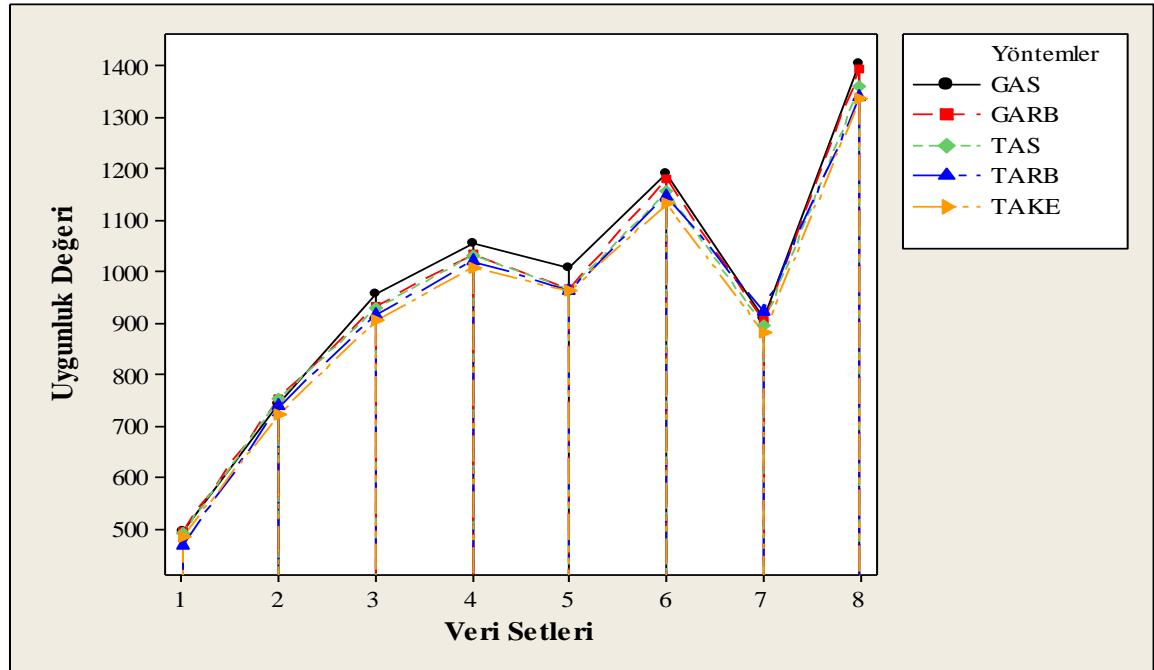


Şekil 6.19 Çapraz depo yerleşimi için dış rota hesap sürelerinin karşılaştırılması

Klasik depo yerleşimi için yapılan deneylerin, Y-n30-k3 hariç tamamında TAKE en iyi sonuçları sağlamıştır. Çizelge 6.25'te yer alan değerler ve Şekil 6.20 incelendiğinde, TAKE yönteminin diğer yöntemlere göre %0,21 ile %6,41 arasında değişen oranlarda daha iyi çözüm sağladığı görülmektedir. Ancak iç rotanın hesabı belirlenen dış rotaya göre yapıldığı için bu sonuç depo içi hesaplamalarda TAKE yönteminin diğer yöntemlere göre daha üstün olduğu anlamına gelmemektedir. Bu noktada yöntemlerin birbirine göre üstünlükleri sadece dış rota hesaplamadaki performanslarına bakarak değerlendirilebilmektedir.

Çizelge 6.25 lasik depo için iç rota hesabı

Veri Seti	GAS		GARB		TAS		TARB		TAKE	
	F _{op}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)	F _{op}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)	F _{op}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)	F _{op}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)	F _{op}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)
Y-n30-k3	498,00	6,41	498,00	6,41	492,00	5,13	468,00	0,00	486,00	3,85
Y-n30-k5	746,00	3,04	756,00	4,42	754,00	4,14	740,00	2,21	724,00	0,00
Y-n45-k5	960,00	5,96	936,00	3,31	930,00	2,65	918,00	1,32	906,00	0,00
Y-n45-k7	1056,00	4,55	1036,00	2,57	1034,00	2,38	1022,00	1,19	1010,00	0,00
Y-n60-k5	1008,00	4,56	970,00	0,62	966,00	0,21	966,00	0,21	964,00	0,00
Y-n60-k7	1194,00	5,29	1182,00	4,23	1158,00	2,12	1150,00	1,41	1134,00	0,00
Y-n75-k5	912,00	3,17	906,00	2,49	898,00	1,58	924,00	4,52	884,00	0,00
Y-n75-k7	1408,00	5,23	1398,00	4,48	1364,00	1,94	1342,00	0,30	1338,00	0,00

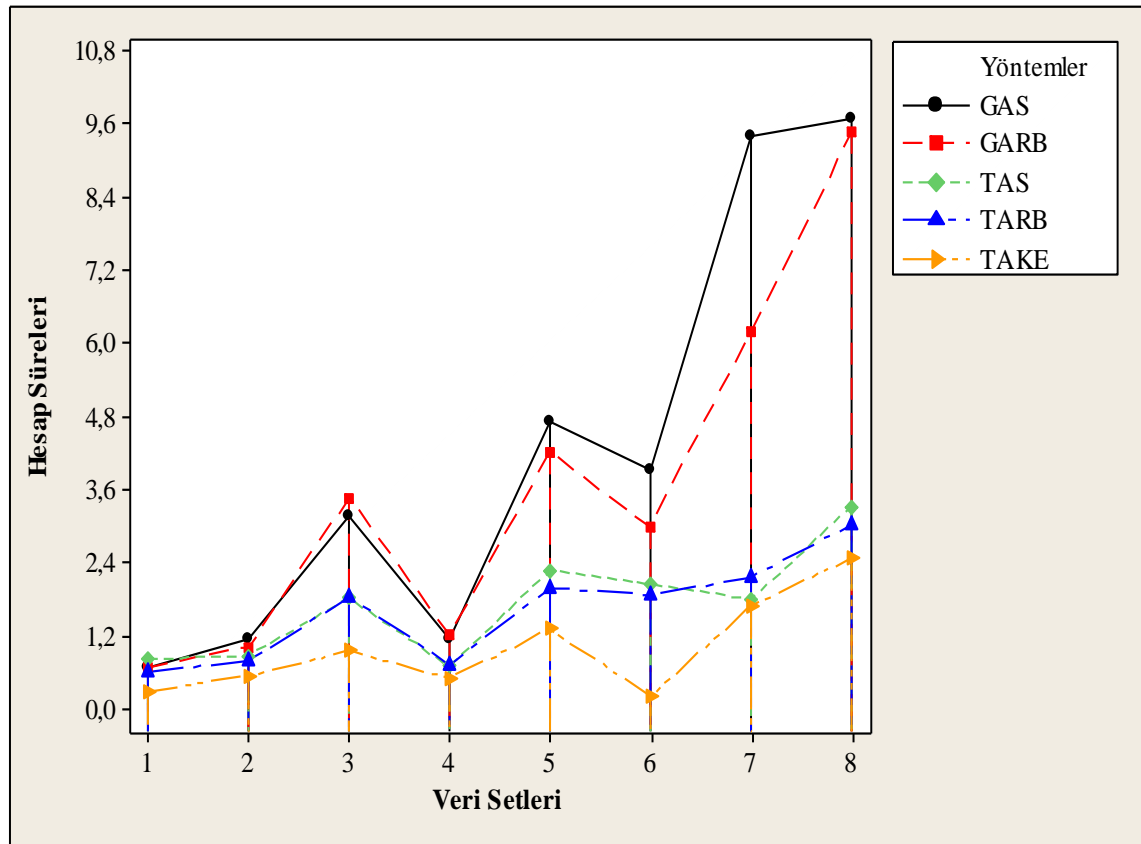


Şekil 6.20 Klasik depo yerleşimi için iç rota uzunluklarının karşılaştırılması

TAKE yöntemi klasik depo yerleşiminde iç rota hesap süresi bakımından da diğer yöntemlere göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Çizelge 6.26 incelendiğinde, TAKE yönteminin hesap süresi bakımından % 6,15 – 95,17 arasında değişen oranlarda tasarruf sağladığı görülmektedir. Klasik depo yerleşimi için iç rota hesap sürelerine ilişkin grafik Şekil 6.21’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.26 Klasik depo iç rota hesap süreleri

Veri Seti	GAS		GARB		TAS		TARB		TAKE	
	T _{op}	En İyi Çözüm Uzaklık (%)	T _{op}	En İyi Çözüm Uzaklık (%)	T _{op}	En İyi Çözüm Uzaklık (%)	T _{op}	En İyi Çözüm Uzaklık (%)	T _{op}	En İyi Çözüm Uzaklık (%)
Y-n30-k3	0,66	57,58	0,67	58,21	0,81	65,43	0,60	53,33	0,28	0,00
Y-n30-k5	1,13	53,10	1,01	47,52	0,86	38,37	0,77	31,17	0,53	0,00
Y-n45-k5	3,17	70,35	3,46	72,83	1,81	48,07	1,84	48,91	0,94	0,00
Y-n45-k7	1,14	57,02	1,20	59,17	0,69	28,99	0,72	31,94	0,49	0,00
Y-n60-k5	4,70	72,34	4,22	69,19	2,26	42,48	1,98	34,34	1,30	0,00
Y-n60-k7	3,93	95,17	2,98	93,62	2,04	90,69	1,86	89,78	0,19	0,00
Y-n75-k5	9,41	82,15	6,18	72,82	1,79	6,15	2,15	21,86	1,68	0,00
Y-n75-k7	9,68	74,48	9,46	73,89	3,32	25,60	3,03	18,48	2,47	0,00

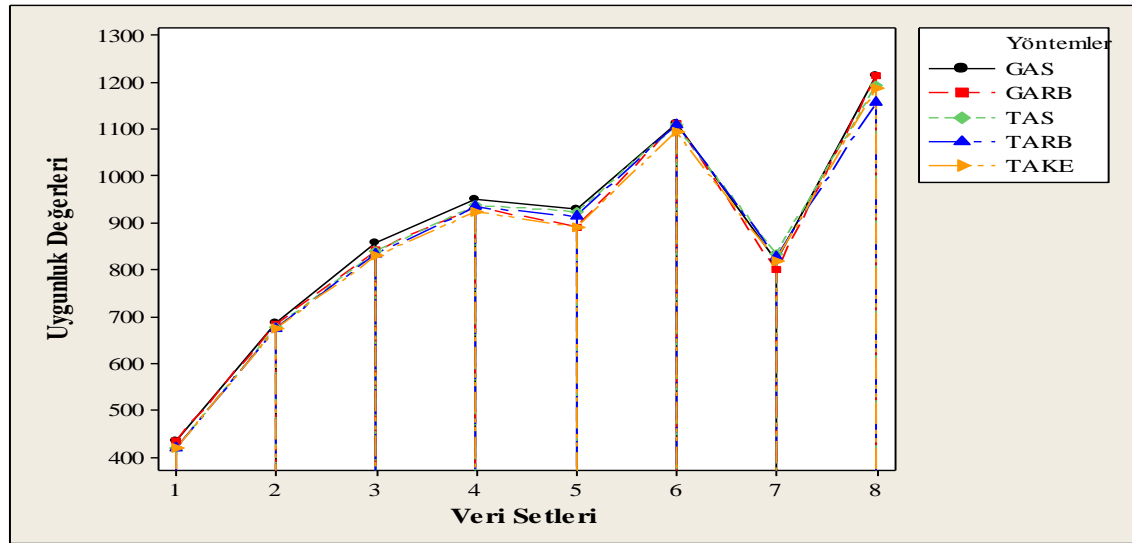


Şekil 6.21 Klasik depo yerleşimi için iç rota hesap sürelerinin karşılaştırılması

Çapraz geçitli depo yerleşiminin kullanıldığı deneylerde elde edilen sonuçlar Çizelge 6.20’de gösterilmişti. Bu tabloda yer alan değerlerden iç rota hesabı için bulunan en iyi uygunluk değerleri Çizelge 6.27’de özetlenmiştir. TAKE yöntemi Y-n75-k5 ve Y-n75-k7 sipariş listesi hariç tüm listeler için en iyi çözümü sağlamıştır. Ancak daha önce de belirtildiği gibi iç rota hesabı belirlenen dış rotaya göre yapıldığı için dış rota için en iyi çözümü sağlayan yöntemin iç rota için en iyi çözümü sağlaması beklenmemelidir. Bu noktada, dış rota uzunluk birimi olarak km, iç rota ise metre cinsinden ifade edildiği için yöntemlerin etkinliğini değerlendirirken dış rota uzunluğuna bakılması daha sağlıklıdır. İç rota uzunluğu ve hesaplama süreleri bilgi amaçlı sunulmuştur. İç rota hesabı için elde edilen değerlerin grafiği Şekil 6.22’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.27 Çapraz depo için iç rota hesabı

Veri Seti	GAS		GARB		TAS		TARB		TAKE	
	F _{op}	En İyi Çözüm Uzaklık (%)	F _{op}	En İyi Çözüm Uzaklık (%)	F _{op}	En İyi Çözüm Uzaklık (%)	F _{op}	En İyi Çözüm Uzaklık (%)	F _{op}	En İyi Çözüm Uzaklık (%)
Y-n30-k3	436,00	3,81	436,00	3,81	420,00	0,00	420,00	0,00	420,00	0,00
Y-n30-k5	688,00	1,78	684,00	1,18	678,00	0,30	676,00	0,00	676,00	0,00
Y-n45-k5	858,00	3,37	842,00	1,45	840,00	1,20	834,00	0,48	830,00	0,00
Y-n45-k7	950,00	2,81	934,00	1,08	938,00	1,52	934,00	1,08	924,00	0,00
Y-n60-k5	928,00	4,04	892,00	0,00	924,00	3,59	914,00	2,47	892,00	0,00
Y-n60-k7	1112,00	1,65	1112,00	1,65	1108,00	1,28	1110,00	1,46	1094,00	0,00
Y-n75-k5	820,00	2,24	802,00	-2,20	834,00	1,71	828,00	0,98	820,00	2,24
Y-n75-k7	1214,00	5,02	1214,00	5,02	1194,00	3,29	1156,00	0,00	1188,00	2,77

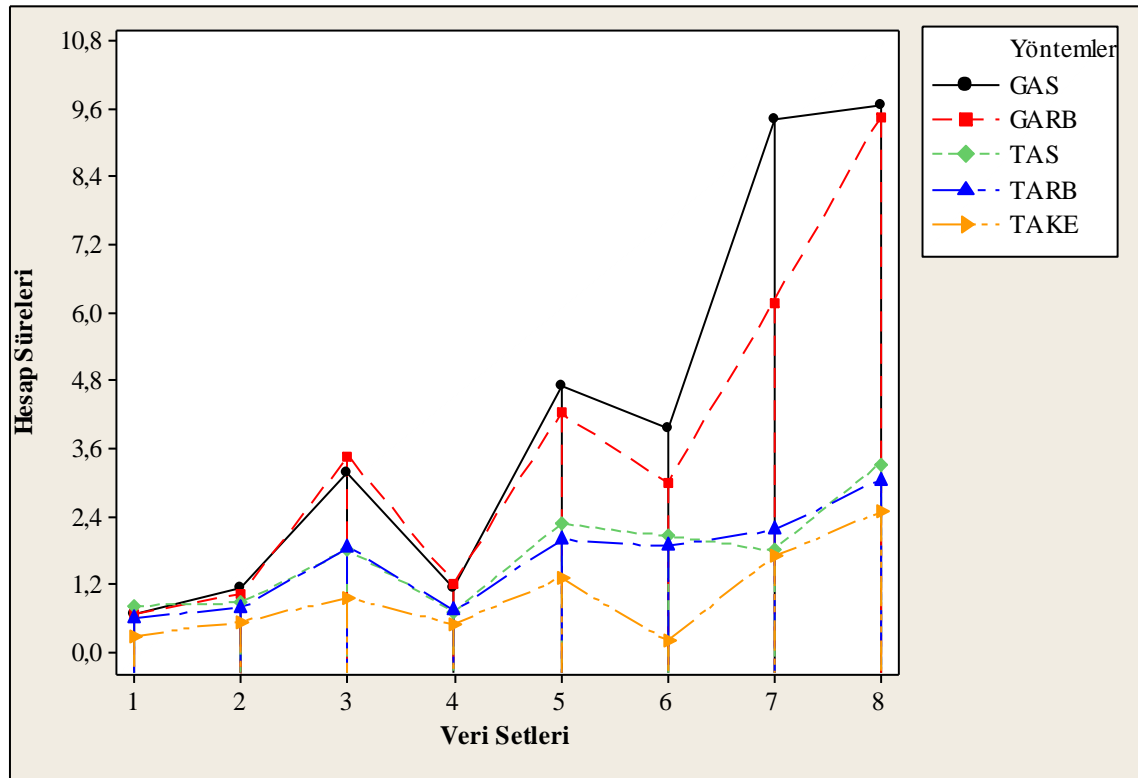


Şekil 6.22 Çapraz geçitli depo için iç rota mesafelerinin karşılaştırılması

Çapraz geçitli depo yerleşiminin kullanıldığı deneylerin en iyi hesap süreleri Çizelge 6.28’de, bu değerlere ilişkin grafik Şekil 6.23’te gösterilmektedir. TAKE yöntemi hesap süresi bakımından diğer yöntemlere göre %18,48-95,17 arasında değişen oranlarda tasarruf sağlamıştır.

Çizelge 6.28 Çapraz depo iç rota hesap süreleri

Veri Seti	GAS		GARB		TAS		TARB		TAKE	
	T _{op}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)	T _{op}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)	T _{op}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)	T _{op}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)	T _{op}	En İyi Çözüme Uzaklık (%)
Y-n30-k3	0,66	57,58	0,67	58,21	0,81	65,43	0,60	53,33	0,28	0,00
Y-n30-k5	1,13	53,10	1,01	47,52	0,86	38,37	0,77	31,17	0,53	0,00
Y-n45-k5	3,17	70,35	3,46	72,83	1,81	48,07	1,84	48,91	0,94	0,00
Y-n45-k7	1,14	57,02	1,20	59,17	0,69	28,99	0,72	31,94	0,49	0,00
Y-n60-k5	4,70	72,34	4,22	69,19	2,26	42,48	1,98	34,34	1,30	0,00
Y-n60-k7	3,93	95,17	2,98	93,62	2,04	90,69	1,86	89,78	0,19	0,00
Y-n75-k5	9,41	82,15	6,18	72,82	1,79	6,15	2,15	21,86	1,68	0,00
Y-n75-k7	9,68	74,48	9,46	73,89	3,32	25,60	3,03	18,48	2,47	0,00

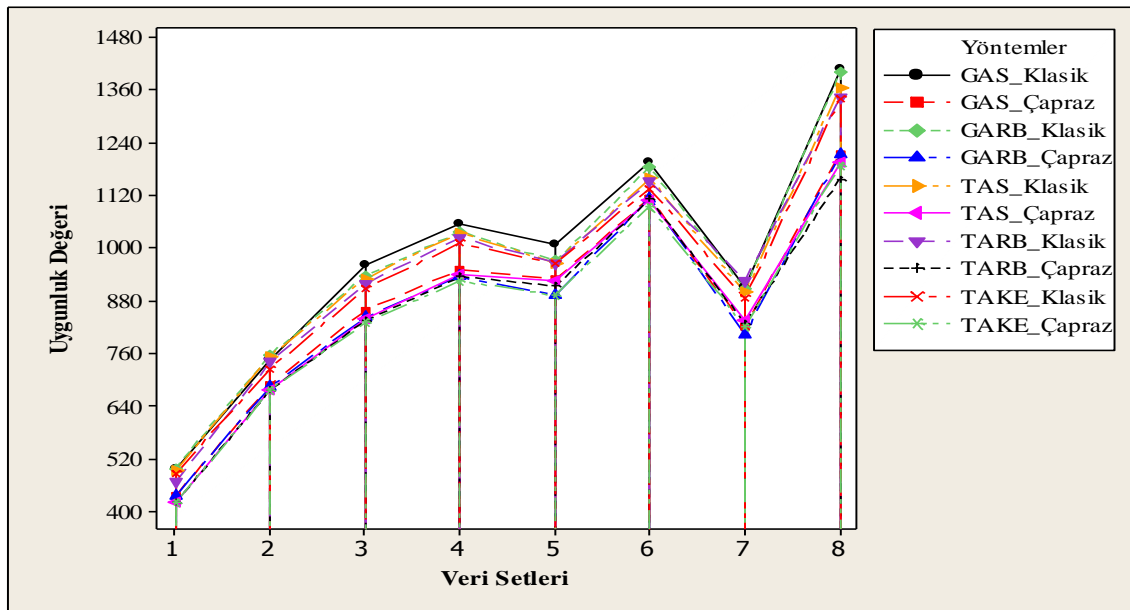


Şekil 6.23 Çapraz geçitli depo için iç rota hesap sürelerinin karşılaştırılması

Depo yerleşiminde yapılan değişikliğin sipariş toplama performansına etkisini görmek için aynı yöntem ile farklı yerleşimler için bulunan iç rota mesafeleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 7.29'da görüldüğü üzere, çapraz geçitli depo yerleşimi sipariş toplama faaliyetinin performansını % 3,48 – 14,63 arasında değişen oranlarda arttırmaktadır. Paralel geçitlerin ortasına eklenen bu çapraz geçit, paralel geçitler arasında alternatif geçişler yapılabilmesine olanak sağladığı için performansı doğrudan etkileyen bir etmendir. Çapraz geçit eklemenin sipariş toplama faaliyetine etkisi daha önceden bilinmekle birlikte, balık kılçığı (fishbone) gibi yeni yerleşim şekillerinin etkinliği ile ilgili araştırmalar günümüzde yapılan güncel çalışmalardır. Çizelge 6.29'da yer alan değerlere ilişkin grafik Şekil 6.24'te gösterilmektedir.

Çizelge 6.29 Klasik ve çapraz geçitli depoların karşılaştırılması

Veri Seti	GAS_Klasik	GAS_Çapraz	FARK (%)	GARB_Klasik	GARB_Çapraz	FARK (%)	TAS_Klasik	TAS_Çapraz	FARK (%)	TARB_Klasik	TARB_Çapraz	FARK (%)	TAKE_Klasik	TAKE_Çapraz	FARK (%)
1	498	436	12,45	498	436	12,45	492	420	14,63	468	420	10,26	486	420	13,58
2	746	688	7,77	756	684	9,52	754	678	10,08	740	676	8,65	724	676	6,63
3	960	858	10,63	936	842	10,04	930	840	9,68	918	834	9,15	906	830	8,39
4	1056	950	10,04	1036	934	9,85	1034	938	9,28	1022	934	8,61	1010	924	8,51
5	1008	928	7,94	970	892	8,04	966	924	4,35	966	914	5,38	964	892	7,47
6	1194	1112	6,87	1182	1112	5,92	1158	1108	4,32	1150	1110	3,48	1134	1094	3,53
7	912	820	10,09	906	802	11,48	898	834	7,13	924	828	10,39	884	820	7,24
8	1408	1214	13,78	1398	1214	13,16	1364	1194	12,46	1342	1156	13,86	1338	1188	11,21



Şekil 6.24 Depo yerleşimlerinin karşılaştırılması

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Müşteri siparişlerinin karşılanması veya üretim için gerekli olan ürün ve hammaddelerin sağlanması, hareketi ve depolanması, taşıma açısından depolama noktalarına transferi, toplaması, sınıflandırması, sevkiyata hazır hale getirilmesi ve taşıma araçlarına yüklenmesi depolarda gerçekleştirilen önemli faaliyetlerdir. Bunların yanı sıra, taşıma birleştirme, ürün karması, çapraz sevkiyat ve müşteri hizmetleri gibi faaliyetler depolarda gerçekleştirilen katma değerli faaliyetler arasında sayılabilir. Tedarik zincirinin önemli parçası olan depoların etkin yönetimi için depolarda gerçekleştirilen ve birbiri ile ilişkili faaliyetlerin bütünsellik içinde incelenmesi gerekmektedir.

Depo ile ilgili kararlar depo tasarımına ve depo operasyonlarına yönelik kararlar olmak üzere ikiye ayrılır. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda bu kararlar ile ilgili problem türlerinin birbirinden ayrı olarak ele alındığı görülmektedir. Bu çalışmada, literatürde ilk defa depo ile ilgili operasyonel kararlar içerisinde yer alan ve birbiri ile ilişkili olan dağıtım aracının rotalanması ve depo içi sipariş toplama problemlerine hem klasik hem de çapraz geçitli depo yerleşimi için eş zamanlı olarak çözüm aranmıştır. Bu iki problemin çözümü için Tabu Arama ve Genetik Algoritma esaslı yöntemler araç rotalama problemlerinde sıklıkla kullanılan, basit ve hızlı çözümler sağlayan Tasarruf ve En Yakın Komşu sezgiselleri ile bütünleşik olarak kullanılmıştır. Ayrıca Tasarruf ve En Yakın komşu sezgiselleri ile belirlenen rota çözümlerinin kalitesini arttırılabilmek için 2-opt ve Or-opt sezgiselleri kullanılan rotalama sezgisellerine entegre edilmiştir.

Yöntemlere ait yazılımın Java programlama dilinde hazırlanmasının ardından, parametrik sezgisel yöntemler olan Genetik Algoritma ve Tabu Arama Algoritması için en uygun parametre seti istatistiksel analizler ile belirlenmiştir. Önerilen GA esaslı yöntemde 2 problemin çözümü için 22 parametre bulunması ve makul bir sürede tam faktöriyel deney yapmanın zorluğu nedeniyle TAGUCHI deney tasarım yöntemi uygulanmıştır. TAGUCHI L32 ortogonal dizisi kullanılarak belirlenen 32 deney yapılmış ve elde edilen sonuç verileri istatistiksel yöntemlerle analiz edilerek en uygun parametre seti belirlenmiştir (Tablo 7.6 ve Tablo 7.7).

Tabu Arama esaslı çözüm yönteminde GA esaslı yöntemine göre daha az parametre bulunmaktadır. Tam faktöriyel deneylerin makul bir süre zarfında yapılabilecek olması sebebiyle Tabu Arama Algoritmasının en uygun parametre seti tam

faktöriyel deneyler sonucunda elde edilen değerler kullanılarak yapılan istatistiksel testler ile belirlenmiştir (Tablo 7.11 ve Tablo 7.12).

En uygun parametre setlerinin belirlenmesinin ardından geliştirilen yöntemlerin etkinliğini araştırmak için 24 adet klasik araç rotalama test problemi kullanılarak test edilmiş ve elde edilen sonuçlar bilinen en iyi sonuçların yanı sıra Clarke ve Wright (1964), Altınel ve Öncan (2005), Hinton (2010) ve Na vd., (2011)'in sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Önerilen GA ve TA esaslı yöntemler bilinen en iyi çözüme % 0,63 ile % 4,69 arasında değişen oranlarda yakın çözümler sağlamıştır. Yukarıda belirtilen 4 yöntem ile yapılan karşılaştırmalarda ise önerilen yöntemlerin 24 test probleminin 14 tanesi için ilk iki yöntemden daha iyi sonuçlar sağladığı, diğerleri için ise bu yöntemlere yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Araç rotalarının belirlenmesinde Tasarruf ve EYK sezgiselleri kullanılması sebebiyle böyle bir karşılaştırma yapılmıştır.

Yöntemlerin etkinliğinin klasik test problemleri ile değerlendirilmesinin ardından, rastgele olarak oluşturulan 8 adet sipariş listesi kullanılarak çözümlenmeler yapılmış ve önerilen 5 yöntem birbiri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan Tabu Arama esaslı yöntemlerin (TAS, TARB, TAKE) GA esaslı yöntemlere (GAS, GARB) göre daha iyi çözümler ve çözüm süreleri sağladığı belirlenmiştir. Bu yöntemler arasından, başlangıç çözümünün oluşturulmasında Kabul Eşiği algoritmasının kullanıldığı TAKE yöntemi diğer tabu arama esaslı yöntemlerle yakın sonuçlar vermesine karşın, bu sonuçları daha kısa sürede bulabildiği için daha etkin bir yöntem olduğu değerlendirilmektedir.

Klasik depo yerleşimi kullanılarak yapılan deneylerde uygunluk değeri bakımından TAKE yöntemi diğer yöntemlere göre %0,12 - % 12,86 arasında değişen oranlarda daha iyi çözümler sağlamıştır. Hesap süresi ile ilgili olarak yapılan karşılaştırmalarda ise TAKE yönteminin % 26,47 - % 94,05 arasında zaman tasarrufu sağladığı görülmüştür. Çapraz geçitli depo yerleşiminin kullanıldığı deneylerde ise uygunluk değeri açısından TAKE yönteminin %0,11 - %8,39 arasında değişen oranlarda daha iyi çözümler, çözüm süresinden % 32,21 - % 96,51 arasında değişen oranlarda tasarruf sağlayarak elde ettiği görülmektedir. Diğer taraftan, depo yerleşiminde yapılan değişikliğin toplama performansına olan etkisini tespit etmek için klasik ve çapraz geçitli depo yerleşimi kullanılarak elde edilen çözümler karşılaştırılmış ve ön ve arka çapraz geçitlere ek olarak bir adet çapraz geçitin depo sistemine eklenmesinin sipariş

toplama performansını % 3,48 - % 14,63 arasında iyileştirdiği belirlenmiştir. Paralel geçitler arasında alternatif geçiş noktaları oluşturan bu geçitleri toplama performansını olumlu yönde etkilenmektedir. Bunun yanı sıra, kullanılan sipariş listeleri içerisinde depo ile ilgili tanımlamalar yaparken raflar için birden fazla kat seçeneği depo sistemine eklenebilmektedir. Çok katlı raf sistemleri de yine toplama verimi arttıran bir unsurdur. Önerilen yöntemler bu şekildeki depo sistemlerinde toplama problemini çözebilecek şekilde tasarlanmış ancak birden fazla probleme çözüm aranması sebebiyle yapılan deneylerde bu seçenek kullanılmamıştır.

Gelecekte yapılacak olan çalışmalarda dış rotanın belirlenmesi için farklı yaklaşımlar kullanılarak daha etkin sonuçların elde edilebileceği düşünülmektedir. Müşteri ve sipariş gruplarının belirlenmesinde TA ve GA, oluşturulan gruplara ait rotaların belirlenmesinde Tasarruf ve EYK sezgisellerinin kullanılması nedeniyle, doğrudan araç rotalama probleminin çözümü için geliştirilmiş yöntemlere nazaran büyük çaplı problemlerde etkinliği daha az olan çözümler ortaya konulabilmiştir. KARP'nin çözüm gösterimi için müşteri - araç no esaslı kromozom yapısından ziyade, araç rotalama problemleri için daha sık kullanılan permütasyonlu kodlama kullanılması ve buna bağlı olarak da yöntemlere ait operatörlerin değiştirilmesi ile bu açığın kapatılabileceği tahmin edilmektedir. Bu kodlama yapısının çok yaygın olarak kullanılması ve bu tarz çalışmalar ile karşılaştırıldığında yeni yöntemlerin ortaya konması istenmesi sebebiyle bu kodlama yapısı çalışma kapsamında kullanılmamıştır.

Son olarak, zaman penceresinin araç rotalama problemlerinde kullanımı gerçek yaşam problemlerine daha yakın problemler üzerinde çalışabilmeyi mümkün kılmaktadır. Zaman penceresinin olduğu çalışmalarda, servis süresi kısıtı siparişin zamanında karşılanma durumunun belirlenmesinde kullanılan bir ölçüttür. Bu çalışma kapsamında servis süresi ile ilgili bir kısıt programa eklenmiş ancak bu kısıt yapılan deneylerde kullanılmamıştır. Bu kısıtın çözümde kullanılması halinde bir aracın hizmet verebileceği müşteri sayısı sınırlandırılabilir. Bu durum zaman pencereli araç rotalama için bir ön hazırlık mahiyetinde değerlendirilebilir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, sipariş toplama ve araç rotalama problemlerinin zaman pencereli olarak ele alınması hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

- Acar, Z., (2010). *Depolama ve Depo Yönetimi*. İstanbul: Nobel Yayın Dağıtım.
- Achuthan, N. R., Caccetta, L., & Hill, S. P., (1998). Capacitated vehicle routing problem: Some new cutting planes. *Asia-Pacific J. Oper. Res.*, 15, 109-123.
- Achuthan, N. R., Caccetta, L., & Hill, S. P., (2003). An improved branch-and-cut algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *Transportation Science*, 37, 2: 153-169.
- Affenzeller, M., Winkler, S., Wagner, S., & Beham, A., (2009). *Genetic Algorithms and Genetic Programming: Modern Concepts and Practical Applications*. A.B.D.:Chapman&Hall/CRC.
- Agarwal, Y., Mathur, K., & Salkin, H.M., (1989). A set-partitioning-based algorithm for the vehicle routing problem. *Networks*, 19, 731-750.
- Akdağlı, A., Güney, K., & Karaboğa, D., (2002). Karınca Koloni Optimizasyon Algoritması Kullanarak Faz Kontrolü ile Doğrusal Anten Dizi Diyagramında Sıfırların Üretilmesi. *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO'2002), Türkiye*, 175-180.
- Alabas Uslu, Ç., & Dengiz, B., (2011). A self-adaptive local search algorithm for the classical vehicle routing problem. *Expert System Application*, 38, 7: 8990-8998.
- Alba, E., & Dorronsoro, B., (2005). The Exploration/Exploitation Tradeoff in Dynamic Cellular Genetic Algorithms. *IEEE, Transactions on Evolutionary Computation*, 9, 26-142.
- Altinel, İ.K., & Öncan, T., (2005). A New Enhancement of the Clarke and Wright Savings Heuristic for the Capacitated Vehicle Routing Problem. *Journal of the Operational Research Society*, 56 (8), 954-961.
- Alvarenga, G.B., Mateus, & de Tomi, G., (2007). A genetic and set partitioning two-phase approach for the vehicle routing problem with time windows. *Computers & Operations Research*, 34 (6), 1561-1584.
- Araque, J.R., Kudva, G., Morin, T.L., & Pekny, J.F., (1994). A branch-and-cut algorithm for the vehicle routing problem. *Ann. Oper. Res.* 50, 37-59.
- Archetti, C., Savelsbergh, M., & Speranza, M., (2006). Worst-case analysis for split delivery vehicle routing problems. *Transportation Science*, 40 (2), 226-234.
- Augerat P., Belenguer J., Benavent E., Corbern A., Naddef D., & Rinaldi G., (1995) *Computational results with a branch and cut code for the capacitated vehicle routing problem* (Res. Raep. No. 949-M). Grenoble, France: Joseph Fourier Universitesi.

- Azi, N., Gendreau, M., & Potvin, J.Y., (2007). An exact algorithm for a single-vehicle routing problem with time windows and multiple routes. *European Journal of Operational Research*, 178 (3), 755-766.
- Baker B.M., & Ayeche M.A., (2003). A genetic algorithm for the vehicle routing problem. *Computers & Operations Research* 30, 787-800.
- Baker, B.M., & Carreto, C.A.C., (2003). A visual interactive approach to vehicle routing problem. *Computers & Operational Research*, 30: 321-337.
- Baki, B. (2004). *Lojistik Yönetimi ve Lojistik Sektör Analizi*. Trabzon: LEGA Kitabevi.
- Baldacci, R., & Maniezzo, V., (2006). Exact methods based on node-routing formulations for undirected Arc-Routing Problems. *Networks*, 47, 52-60.
- Baldacci, R., & Mingozzi, A., (2006). Lower Bounds and an Exact Method for the Capacitated Vehicle Routing Problem. *Proceedings of the International Conference on Service Systems and Service Management*, France, 1536-1540.
- Baldacci, R., Christofides, N., & Mingozzi, A., (2008). An exact algorithm for the vehicle routing problem based on the set partitioning formulation with additional cuts. *Mathematical Programming*, 115 (2), 351-385.
- Baldacci, R., Hadjiconstantinou, E., & Mingozzi, A., (2004). An exact algorithm for the capacitated vehicle routing problem based on a two-commodity network flow formulation. *Operations Research*, 52 (5), 723-738.
- Baldacci, R., Toth, P., & Vigo, D., (2007). Recent advances in vehicle routing exact algorithms. *4OR*, 5 (4), 269-298.
- Baldacci, R., Toth, P., & Vigo, D., (2010). Exact algorithms for routing problems under vehicle capacity constraints. *Annals of Operations Research* 175 (1), 213-245.
- Ballou, R. H., (1999). *Business Logistics Management* (4th ed.). New Jersey: Prentice-Hall International.
- Barbarosoglu, G., & Ozgur, D., (1999). A tabu search algorithm for the vehicle routing problem. *Computers and Operations Research*, 26 (3), 255-270.
- Beasley, J., (1983). Route First - Cluster Second Methods for Vehicle Routing. *Omega*, 11 (4), 403-408.
- Bell, J.E., & McMullen, P.R., (2004). Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem.", *Advanced Engineering Informatics*, 18, 41-48.
- Benslimane, M.T., & Benadada, Y., (2013). Ant colony algorithm for the multi-depot vehicle routing problem in large quantities by a heterogeneous fleet of vehicles. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 51 (1), 31-40.

- Bertsimas, D. & D. Simchi-Levi (1996). The New Generation of Vehicle Routing Research: Robust Algorithms Addressing Uncertainty. *Operations Research*, 44, 286-304.
- Bertsimas, D., & Simchi-levi, D., (1993). A New Generation of Vehicle Routing Research: Robust Algorithms, Addressing Uncertainty. *Operations Research*, 44 (2), 286-304
- Bianco L., Mingozzi A., & Ricciardelli S., (1994). A set partitioning approach to the multiple depot vehicle scheduling problem. *Optimization Methods & Software* 3, 163-194.
- Bin, Y., Zhong-Zhena, Y., & Baozhen, Y., (2009). An improved ant colony optimization for vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 196, 171-176.
- Bloomberg, D.J., Lemay, S., & Hanna, J.B., (2002). *Logistics*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Bortfeldt, A., (2012). A hybrid algorithm for the capacitated vehicle routing problem with three-dimensional loading constraints. *Computers & Operations Research*, 39, 2248-2257.
- Botincan, M., & Nogo, G., (2006). Anomalies in Distributed Branch-and-Cut Solving of the Capacitated Vehicle Routing Problem, *28th Int. Conf. Information Tecnology Interfaces ITI 2006, Hirvatistan*, 677-682.
- Bottani, E., Cecconi, M., Vignali, G., & Montanari, R., (2012). Optimisation of storage allocation in order picking operations through a genetic algorithm. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 15 (2), 127-146.
- Boussaïd, I., Lepagnot, J., & Siarry, P., (2013). A survey on optimization metaheuristics. *Information Sciences*, 237, 82-117.
- Bowersox, D.J., Closs, D.J., & Cooper, M.B., (2010). *Supply Chain Logistics Management* (3rd ed.). New York: McGraw-Hill.
- Bozer, Y.A. & Kile, J.W. (2008). Order batching in walk-and-pick order picking systems. *International Journal of Production Research*, 46 (7), 1887-1909.
- Bozer, Y.A., Schorn, E.C., & Sharp, G.P. (1990). Geometric approaches to solve the chebyshev traveling salesman problem. *IIE Transactions*, 22 (3), 238-254.
- Bramel, J. & D. Simchi-Levi (1995). A LocationBased Heuristic for General Routing Problems. *Operations Research*, 43, 649-660.
- Bramel, J., & Simchi-Levi, D., (2002). Set-Covering-Based Algorithms for the Capacitated VRP. In P. Toth & D. Vigo (Edt.), *The Vehicle Routing Problem* (pp..85-108). Philadelphia: SIAM.

- Brandão, J., (2004). A tabu search heuristic algorithm for open vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 157: 552-564.
- Braysy, O., & Gendreau, M., (2005). Vehicle routing problem with time windows, part I: Route construction and local search algorithms. *Transportation Science*, 39 (1), 104-118.
- Bukchin, Y., Khmel'nitsky, E., & Yakuel, P., (2012). Optimizing a dynamic order-picking process. *European Journal of Operational Research*, 219 (2), 335-346.
- Calvetea, H.I., Galéb, C., Oliverosc, M.J., & Sánchez-Valverdeb, B., (2007). A goal programming approach to vehicle routing problems with soft time windows. *European Journal of Operational Research*, 177 (3), 1720-1733.
- Çancı, M., & Erdal, M., (2009). *Lojistik Yönetimi - Freight Forwarder El Kitabı* (3. Baskı), İstanbul: UTİKAD Yayınları.
- Canyılmaz, E., & Kutay, F., (2003). Taguch Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 18 (3), 51-64.
- Carpento G, & Toth P., (1980). Some new branching and bounding criteria for the asymmetric traveling salesman problem. *Management Science*, 26, 736-43.
- Çavuşoğlu, M.A., Karakuzu, C., & Şahin, S., (2010). Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması ile Yapay Sinir Ağı Eğitiminin FPGA Üzerinde Donanımsal Gerçeklenmesi. *Politeknik Dergisi*, 13 (2), 83-92.
- Çekerol, G. S., (2013). *Lojistik Yönetimi*. T.C. Anadolu Üniversitesi Yayını No: 2823, Eskişehir.
- Çetin, S., & Gencer, C., (2010). Kesin zaman Pencereli - Eş Zamanlı Dağıtım Toplamalı Araç Rotalama Problemi: Matematiksel Model. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25 (3): 579-585.
- Çevik, K.K., & Koçer, H.E., (2013). Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Yapay Sinir Ağları Eğitime Dayalı Bir Esnek Hesaplama Uygulaması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17 (2), 39-45.
- Chen, P., Huang, H.K., & Dong, X.Y, (2010). Iterated variable neighborhood descent algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *Expert Systems with Applications*, 37 (2), 1620-1627.
- Chew, E.P., & Tang, L.C. (1999) Travel time analysis for general item location assignment in a rectangular warehouse. *European Journal of Operational Research*, 112 (3) 582-597.
- Chisman, J. A., (1975). The clustered traveling salesman problem. *Computers and Operations Research*, 2 (2), 115–119.

Choe, K., & Sharp, G., (1991). Small Parts Order Picking: Design and operation. School of Industrial and Systems Engineering Georgia Institute of Technology. <http://www2.isye.gatech.edu/~mgoetsch/cali/Logistics%20Tutorial/order/article.htm> (Erişim: 03.10.2013)

Christofides, N. (1985). Vehicle scheduling and routing. Paper presented in 12th International Symposium on Mathematical Programming, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts.

Christofides, N., Mingozzi, A., & Toth, P. (1981b). State space relaxation procedures for the computation of bounds to routing problems. *Networks*, 11, 145-164.

Christofides, N., Mingozzi, A., & Toth, P. (1979). The vehicle routing problem. N. Christofides, A. Mingozzi, P. Toth & C. Sandi (Edt.), *Combinatorial Optimization*, içinde (s. 315-338), Chichester: Wiley.

Christofides, N., Mingozzi, A., & Toth, P., (1981a). Exact algorithms for the vehicle routing problem, based on spanning tree and shortest path relaxations. *Mathematical Programming*, 20, 255-282.

Clarke, G. & Wright, J.W., (1964). Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, 12, 568-581.

Coley, D.A., (2005). An Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers (4th ed.). Singapore: World Scientific publishing Co. Pte. Ltd.

Colliander, C., & Tjellander, A., (2013). *Decision Support System for Warehousing Strategies*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, University of Boras, Sweden.

Colomi, A., Dorigo, M., Maniezzo, V., & Trubian, M., (1994). Ant System for Job-Shop Scheduling. *Belgian Journal of Operations Research, Statistics and Computer Science (JORBEL)*, 34, 39-53.

Cordeau, J.-F., & Laporte, G. (2005). Tabu Search Heuristics for the Vehicle Routing Problem. C. Rego & B. Alidaee (Edt.), *Metaheuristic Optimization via Memory and Evolution: Tabu Search and Scatter Search* içinde (s. 145-163). Boston: Kluwer Publishing.

Cordeau, J.F., Gendreau, M., Hertz, A., Laporte, G., & Sormany, J.S., (2004). *New heuristics for the vehicle routing problem* (Tech. Rep. No. G-2004-33). GERAD , Montreal, Canada.

Cordeau, J.F., Gendreau, M., Laporte, G., Potvin, J.Y., & Semet, F., (2002). A Guide to Vehicle Routing Heuristics. *The Journal of the Operational Research Society*, 53 (5), 512- 522.

Cordeau, J.F., Laporte, G., Savelsbergh, M. W. P., & Vigo, D. (2007). Vehicle Routing. C. Barnhart & G.Laporte (Edt.), *Handbooks in Operations Research & Management Science: Transportation* içinde (s. 367-428). Amsterdam: Elsevier.

- Cornuéjols, G., Fonlupt, J., & Naddef, D., (1985). The traveling salesman problem on a graph and some related integer polyhedra. *Mathematical Programming*, 33, 1-27.
- Cornuejols, G., & Harche, F., (1993). Polyhedral study of the capacitated vehicle routing problem”, *Mathematical Programming: Series A and B*, 60 (1), 21-52.
- Coyle, J. J., Bardi, E. J., & Langley, C. J., (1996). *The Management of Business Logistics*. St Paul: West Publishing.
- Croes, G.A., (1958). A method for solving large scale symmetric traveling salesman problems to optimality. *Operations Research*, 6:791–812.
- Dallari, F., Marchet, G., & Melacini, M., (2009). Design of order picking system. *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 42 :1–12.
- Daneshzand, F. (2011). The Vehicle-Routing Problem. R. Z. Farahani, S. Rezapour & Laleh Kardar (Edt.), *Logistics Operations and Management Concepts and Models* içinde (s. 127-145). London: Elsevier Insights.
- Dantzig, G.B., Ramser, J.M. (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, 6, 81–91.
- De Koster, M.B.M., Le-Duc T., & Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182 (2), 481-501.
- De Koster, M.B.M., Le-Duc, T., & Zaerpour, N.. (2012). Determining the number of zones in a pick-and-sort order picking system. *International Journal of Production Research*, 50(3), 757–771.
- De Koster, M.B.M., van der Poort, & M. Wolters (1999). Efficient Orderbatching Methods in Warehouses. *International Journal of Production Research*, 37 (7), 1479-1504.
- Demircioğlu, M., (2009). *Araç Rotalama Probleminin Sezgisel Bir Yaklaşım İle Çözümlemesi Üzerine Bir Uygulama*. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, ADANA.
- Den Besten, M. Stützle, T., & Dorigo, M., (1999). *Scheduling single machines by ants* (Tech. Rep. No. IRIDIA/99-16). Bruxelles, Belgium: Universit’e Libre de Bruxelles.
- Derigs U, & Kaiser R (2007). Applying the attribute based hill climber heuristic to the vehicle routing problem. *Eur J Oper Res*, 177 (2), 719-732.
- Doerner, K. F., Hartl, R. F., Kiechle, G., Lucka, M., & Reimann, M., (2004). Parallel ant systems for the capacitated Vehicle Routing Problem. *Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization*, 3004, 72-83.
- Dorigo, M., (1992). Optimization, Learning and Natural Algorithms. Unpublished Ph.D. thesis, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, Italy.

- Dorigo, M., Maniezzo, V., & Colorni, A., (1991). Positive Feedback as a Search Strategy (Tech. Rep. No. 91-016). Milano, Italy, Politecnico di Milano.
- Dror, M., Laporte, G., Trudeau, P., (1994). Vehicle routing with split deliveries. *Discrete Applied Mathematics*, 50 (3), 2239-254.
- Drury J., (1988). *Towards more efficient order picking*. IMM Monograph No. 1, The Institute of Materials Management, Cranfield, İngiltere.
- Du, L., He, R., (2012). Combining Nearest Neighbor Search with Tabu Search for Large-Scale Vehicle Routing Problem. *Physics Procedia*, 25, 1536–1546.
- Düzakin, E., Demircioğlu, M., (2009). Araç Rotalama Problemleri ve Çözüm Yöntemleri. *Çukurova Üniversitesi İİBF Dergisi*, 13 (1), 68-87.
- Eberhart, R. C., & Kennedy, F., (1995). A new optimizer using particle swarm theory. *Proc. Sixth Intl. Symposium on Micro Machine and Human Science*, 39 -43.
- Eiben, A.E., Smith, J.E., (2003). *Introduction to Evolutionary Computing*. Berlin, Springer-Verlang Heidelberg.
- El Hassani, A.J., Bouhaf, L., Koukam, A., (2008). A Hybrid Ant Colony System Approach for the Capacitated Vehicle Routing Problem and the Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows. Tonci Caric & Hrvoje Gold (Edt), *Vehicle Routing Problem* içinde (s. 59-70). Viyana, I-Tech Education and Publishing KG.
- Elsayed, E.A. (1981). Algorithms for optimal material handling in automatic Warehousing systems. *International Journal of Production Research*, 19 (5), 525-535.
- Elsayed, E.A., and Stern, R.G. (1983). Computerized algorithms for order processing in automated warehousing systems. *International Journal of Production Research*, 21 (4), 579- 586.
- Eryavuz, M., Gencer, C., 2001. Araç Rotalama Problemine Ait Bir Uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6 (1), 139-155.
- Farmer, J.D., Packard, N.H., & Perelson, A.S., (1986). The Immune System, Adaptation, and Machine Learning. *Physica*, 22D, 187-204.
- Fischetti, M., Toth, P., & Vigo, D., 1994. A Branch and Bound Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing Problem on Directed Graphs. *Operations Research*, 42, 846-859.
- Fisher, M. L., (1994). Optimal Solution of Vehicle Routing Problems Using Minimum K-trees. *Operations Research*, 42, 626-642.
- Fisher, M.L., & Jaikumar, R. (1981). A generalized assignment heuristic for vehicle routing. *Networks*, 11, 109-124.

- Foster, B., & Ryan, D. (1976). An integer programming approach to the vehicle scheduling problem. *Operational Research Quarterly*, 27, 367-384.
- Frazelle, E.H. (2001). *World Class Warehousing and Material Handling*. McGraw-Hill Companies, A.B.D.
- Frizzell, P.W., & Giffin, J.W., (1995). The Split Delivery Vehicle Scheduling Problem with Time Windows and Grid Network Distance. *Computers and Operations Research*, 22, 655-667.
- Fuellerer, G., Doerner, K.F., & Hartl, R.F., (2009). Ant colony optimization for the two-dimensional loading vehicle routing problem. *Computers and Operations Research*, 36 (3), 655-673.
- Fukasawa, R., Longo, H., Lysgaard, J., Poggi de Aragao, M., Reis, M., Uchoa, E., & Werneck, R. F., (2006). Robust branch-and-cut-and-price for the capacitated vehicle routing problem. *Mathematical Programming*, 106, 491-511.
- Gademann, A.J.R.M., Van den Berg, J.P., & Van der Hoff, H.H. (2001). An order batching algorithm for wave picking in a parallel-aisle warehouse. *IIE Transactions*, 33 (5), 385-398.
- Gambardella L.M, & Dorigo M., (1995). Ant-Q: A Reinforcement Learning Approach to the Traveling Salesman Problem. In A. Prieditis & S. Russell (Eds.), *Twelfth International Conference on Machine Learning*, Morgan Kaufmann, 252-260.
- Gambardella L.M, & Dorigo M., (1996). *Solving Symmetric and Asymmetric TSPs by Ant Colonies*. Paper presented in ICEC96, IEEE Conference on Evolutionary Computation, Nagoya, Japan.
- Gambardella, M., Taillard, E. D., & Dorigo, M., (1997). Ant Colonies for the QAP (Tech. rept. IDSIA-4-97). IDSIA, Lugano, Switzerland.
- Ganesh, K., & Narendran, T.T., (2007). CLOVES: A cluster-and-search heuristic to solve the vehicle routing problem with delivery and pick-up. *European Journal of Operational Research*, 178 (3), 699-717.
- Gen, M., & Cheng, R., (1997), "Genetic Algorithms and Engineering Design", Amerika Birleşik Devletleri, John Wiley & Sons, Inc.
- Genderau, M., Guertin, F., Potvin, J.Y., & Seguin, R., (2006). Neighbourhood Search heuristics for a dynamic vehicle dispatching problem with pick-ups and deliveries. *Transport Research Part C*, 14, 157-174.
- Gendreau, M., Hertz, A., & Laporte, G., (1994). A Tabu Search Heuristics for the Vehicle Routing Problem. *Management Science*, 1276-1290.
- Gendreau, M., Laporte, G., & Semet, J.Y., (2002). Metaheuristics for the Capacitated VRP. In P. Toth & D. Vigo (Edt.), *The Vehicle Routing Problem* (pp.129-154). Philadelphia: SIAM.

- Gendreau, M., Potvin, J.-Y., Bräysy, O., Hasle, G., & Løkketangen, A., (2008). Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem and Its Extensions: A Categorized Bibliography. B. Golden, S. Raghavan, & E. Wasil (Edt.), *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges* içinde (s. 143-169). Springer.
- Gibson, D.R., & Sharp, G.P., (1992). Order batching procedures. *European Journal of Operational Research*, 58 (1), 57-67.
- Gillett, B., & Miller, L., (1974). A heuristic algorithm for the vehicle dispatch problem. *Operations Research*, 22, 340-349.
- Glover F., & Mcmillan, C., (1986). The General Employee Scheduling Problem: An Integration of Management Science and Artificial Intelligence. *Computers and Operations Research*, 13 (5), 563-593.
- Glover, F., & Laguna, M., (1989). Tabu Search-Part I. *ORSA Journal on Computing*, 1 (3), 190-206.
- Glover, F., & Laguna, M., (1997). *Tabu Search (First Edition)*. Kluwer Academic Publishers, A.B.D.
- Glover, F., (1990). Artificial Intelligence, Heuristic Frameworks and Tabu Search. *Managerial and Decisions Economics*, 11, 365-375.
- Glover, F., (1995). Tabu Search Fundamentals and Uses. Erişim Tarihi: 15.10.2013. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.95.3702&rep=rep1&type=pdf>.
- Glover, F., Laguna, M., Marti, R., (2007). Principles of Tabu Search. In T.F. Gonzalez (Eds.), *Handbook of Approximation Algorithms and Metaheuristics* (pp.23-1:23-12), Chapman&Hall/CRC Computer and Science Series.
- Glover, F., Marti, R., (2006). Tabu Search. In E. Alba & R. Marti (Edt.), *Metaheuristic Procedures and Training Neural Networks* içinde (s. 53-70), A.B.D.: Springer.
- Goetschalckx, M., & Ratliff, H.D., (1988a) Sequencing picking operations in a man-on-board order picking system. *Material Flow*, 4 (4), 255-263.
- Goetschalckx, M., & Ratliff, H.D., (1988b) Order picking in an aisle. *IIE Transactions*, 20 (1), 53-62.
- Goetschalckx, M., & Ratliff, H.D., (1988c) An efficient algorithm to cluster order picking items in a wide aisle. *Engineering Costs and Production Economics*, 13 (4), 263-271.
- Gökçe, B., & Taşgetiren, S., (2009). Kalite İçin Deney Tasarımı (Teknik Not), *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*. 61, 71-83.
- Goldberg, D., (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Reading, Boston: MA: Addison-Wesley Professional.

- Goldberg, D.E., Lingle, R., (1985). Alleles, Loci, and the Traveling Salesman Problem. Grefenstette J., Lawrence Erlbaum Associates (Edt.), *Proceedings of the First International Conference on Genetic Algorithms and Their Application* içinde (s. 154-159). Hillsdale, NJ.
- Gounaris, C.E., Rajendran, K., Kevrekidis, I.G., & Floudas, C.A., (2011). Generation of Networks with Prescribed Degree-Dependent Clustering. *Optimization Letters*, 5 (3), 435-451.
- Gu, J., Goetschalckx, M., & McGinnis, L.F., (2007). Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 177, 1–21.
- Güleç, İ.F., & Karagöz, B., (2008). E-Lojistik Ve Türkiye’de E-Lojistik Uygulamaları. *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. 15 (1),73-91
- Gupta, R.K., (2006). Genetic Algorithms - An Overview. *Impulse*, 1, 30-39.
- Gürdal, S., (2006). *Türkiye Lojistik Sektörü Altyapı Analizi*. İstanbul: İTO Yayınları, Yayın No: 2006-14.
- Hadjiconstantinou, E., & Christofides, N., (1995). An exact algorithm for general, orthogonal, two-dimensional knapsack problems. *European Journal of Operational Research*, 83 (1), 39-56.
- Haimovich, M., & Rinnooy Kan A. H. G., (1985). Bounds and Heuristics for Capacitated Routing Problems. *Mathematics of Operations Research*. 10 (4), 527-542.
- Hall, R.W. (1993). Distance approximations for routing manual pickers in a warehouse. *IIE Transactions*. 25 (4), 76-87.
- Henn, S., & Wascher, G., (2012). Tabu search heuristics for the order batching problem in manual order picking systems. *European Journal of Operational Research*, 222 (3), 484-494.
- Henn, S., (2012). Variable Neighborhood Search for the Order Batching and Sequencing Problem with Multiple Pickers. *Working paper series / Faculty of Economics and Management, Magdeburg*, Online-Resource, 25 sayfa.
- Henn, S., Koch, S., Doerner, K., Strauss, C., & Wäscher, G., (2010). Metaheuristics for the Order Batching Problem in Manual Order Picking Systems. *BuR-Business Research*, 3 (1), 82-105.
- Heragu S.S., (1997). *Facilities Design*. Boston: Prentice Hall.
- Heragu, S.S., Mazacioglu, B., & Fuerst, K.D., (1994). Meta-heuristic algorithms for the order picking problem. *International Journal of Industrial Engineering*, 1 (1), 67-76.
- Hinton, T.G., (2010). *The Vehicle Routing Problem including a range of Novel Techniques for its Solution*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Bristol Üniversitesi, İngiltere.

- Ho, S.C., & Haugland, D., (2004). A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with time windows and split deliveries. *Computers & Operations Research*, 31, 1947- 1964.
- Ho, Y. C., Su, T.S., & Shi, Z.B., (2008). Order-batching methods for an order-picking warehouse with two cross aisles. *Computers & Industrial Engineering*, 55 (2), 321-347.
- Ho, Y. C., Tseng, Y. Y., (2006). A study on order-batching methods of order-picking in a distribution centre with two cross-aisles. *International Journal of Production Research*, 44 (17), 3391-3417.
- Ho, Y.C., & Tseng, Y.Y., (2006). A study on order-batching methods of order-picking in a distribution centre with two cross-aisles. *International Journal of Production Research*, 44 (17), 3391–3417.
- Holland, J., (1992). Genetic algorithms. *Scientific American*, 66-72.
- Holland, J.H., (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press, Ann Arbor, MI.
- Hong, S., Johnson, A., & Peters, B.A., (2012). Batch picking in narrow-aisle order picking systems with consideration for picker blocking. *European Journal of Operational Research*, 221 (3), 557-570.
- Hsieh L., & Tsai L., (2006). The optimum design of a warehouse system on order picking efficiency. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28 (5-6), 626–637.
- Hsieh, L. F., & Huang, Y. C. (2011). New batch construction heuristics to optimise the performance of order picking systems. *International Journal of Production Economics* 131 (2), 618-630.
- Hsu, C.M., Chen, K.Y., & Chen, M.C., (2005). Batching orders in warehouses by minimizing travel distance with genetic algorithms. *Computers in Industry*, 56 (2), 169-178.
- Hwang, H. & Lee, M. K., (1988). Order batching algorithms for a man on-board automated storage and retrieval system. *Engineering Cost and Production Economics*, 13, 285–294.
- Jaskiewicz, A., & Kominek, P., (2003). Genetic local search with distance preserving recombination operator for a vehicle routing problem. *Meta-heuristics in combinatorial optimization*, 151 (2), 352-364.
- Jaskiewicz, A., Ishibuchi, H., & Zhang, Q., (2012). Multiobjective Memetic Algorithms. F. Neri, C. Cotta, P. Moscato (Edt.), *Handbook of Memetic Algorithms*, içinde (s. 201-217). Berlin: Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

- Jepsen, M., Spoorendonk, S., & Ropke, S., 2013. A Branch-and-Cut Algorithm for the Symmetric Two-Echelon Capacitated Vehicle Routing Problem. *INFORMS*, 47 (1), 23-27.
- Jessop, D., & Morrison, A., (1994). *Storage and Supply of Materials* (Sixth Edition), İngiltere: Pearson Education Limited.
- Jin, J., Crainic, T.G., & Løkketangen, A., (2012). A parallel multi-neighborhood cooperative tabu search for capacitated vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research*, 222, 441–451.
- Karaboğa, D., (2005). An Idea Based on Honey Bee Swarm For Numerical Optimization (Teknik Rapor No. TR-06). Kayseri, Türkiye: Erciyes University, Engineering Faculty.
- Karaboğa, D., (2011). *Yapay Zekâ Optimizasyon Algoritmaları*. İstanbul: Nobel Yayın Dağıtım.
- Katoh, N., & Yano, T., (2006). An approximation algorithm for the pickup and delivery vehicle routing problem on trees. *Discrete Applied Mathematics*, 154 (16), 2335–2349.
- Kayabaşı, A., (2010). *Rekabet Gücü perspektifinde lojistik Faaliyetlerde Performans Geliştirme*. İstanbul: İTO Yayınları, Yayın No. 2010-40.
- Ke, L., & Feng, Z., (2013). A two-phase metaheuristic for the cumulative capacitated vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 40, 633–638.
- Kek, A.G.H., Cheu, R.L., & Meng, Q., (2008). Distance-constrained capacitated vehicle routing problems with flexible assignment of start and end depots. *Mathematical and Computer Modelling*, 47 (1-2), 140-152.
- Kennedy, J., & Eberhart, C., (1995). Particle Swarm Optimization. *Proc. of IEEE International Conference on Neural Network*, 1942-1948
- Keskin, H., (2011). *Kavramlar, Prensipler, Uygulamalar - Lojistik El Kitabı - Küresel Tedarik Zinciri Pratikleri*. Ankara: Gazi Kitabevi.
- Kirkpatrick, S., Gelatt C.D. Jr., & Vecchi, M.P., (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*, 220 (4598), 671–680.
- Kobu, B., (2003). *Üretim Yönetimi*. İstanbul: Avcıol Basım Yayın.
- Küçük, O., (2012). *Lojistik İlkeleri ve Yönetimi*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Kulak, O., Şahin, Y., & Taner, M.E., (2012). Joint order batching and picker routing in single and multiple-cross-aisle warehouses using cluster-based tabu search algorithms. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 24 (1), 52-80.

- Kulak, O., Yılmaz, I.O., & Günther, H.O., (2007). PCB assembly scheduling for collect-and-place machines using genetic algorithms. *International Journal of Production Research*, 45 (17), 3949 – 3969.
- Kumar, A., (2013). Encoding Schemes In Genetic Algorithm. *International Journal of Advanced Research in IT and Engineering*, 2 (3), 1-7.
- Kuo, Y., & Wang, C.C., (2012). A variable neighborhood search for the multidepot vehicle routing problem with loading cost. *Expert Systems with Applications*, 39, 6949-6954.
- Kytöjoki, J., Nuortio, T., Bräysy, O., & Gendreau, M., (2007). An efficient variable neighbourhood search heuristic for very large scale vehicle routing problems. *Operations Research and Computers*, 34, 2743–2757.
- Lai, K., & Cheng, T.C.E., (2009). *Just in Time Logistics*. İngiltere: Gower Publishing.
- Lambert, D.M., Stock, J.R. & Ellram, L.M. (1998). *Fundamentals of logistics management*. Londra: McGraw-Hill.
- Laporte G., (1992). The Vehicle Routing Problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, 59, 345 – 358.
- Laporte, G., & Nobert, Y., (1987). Exact algorithms for the vehicle routing problem. *Annals of Discrete Mathematics*, 31, 147-184.
- Laporte, G., (2007). What you should know about the vehicle routing problem. *Naval Research Logistics*, 54 (8), 811-819.
- Laporte, G., (2009). Fifty years of vehicle routing. *Transportation Science*, 43 (4), 408-416.
- Laporte, G., & Semet, F. (2002). Classical heuristics for the capacitated VRP. Toth, P., Vigo, D. (Edt.), *The Vehicle Routing Problem* içinde (s. 109-128). Philadelphia: SIAM.
- Le-Duc, T. & De Koster, R., (2005). Travel distance estimation and storage zone optimization in a 2-block class-based storage strategy warehouse. *International Journal of Production Research*, 43 (17), 3561-3581.
- Le-Duc, T., De Koster, R. MBM., (2007). Travel time estimation and order batching in a 2-block warehouse. *European Journal of Operational Research*, 176 (1), 374-388.
- Letchford, A.N., Lysgaard, J., & Eglese, R.W., (2007). A Branch-and-Cut Algorithm for the Capacitated Open Vehicle Routing Problem. *Journal of the Operational Research Society*, 58 (12), 1642-1651.
- Leung, S.C. H., Zheng, J., Zhang, D., & Zhou, X., (2010). Simulated annealing for the vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 22 (1), 61-82.

- Lin C.H., & Lu I.Y. (1999) The procedure of determining the order picking strategies in distribution center. *International Journal of Production Economics*, 60-61, 301-307.
- Lin S., (1965). Computer solutions of the traveling salesman problem. *Bell Syst Tech J*, 44: 2245–2269.
- Lysgaard, J., (2010). The Pyramidal Capacitated Vehicle Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, 205 (1), 59-64.
- Lysgaard, J., Letchford, A. N., & Eglese, R. W., (2004). A new branch-and-cut algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *Mathematical Programming*, 100, 423-445.
- Makris, P. A., & Giakoumakis, I. G., (2003). k-interchange heuristic as an optimization procedure for material handling applications. *Applied Mathematical Modelling*, 27(5), 345-358.
- Maniezzo, V., & Colorni, A., (1999). The Ant System Applied to the Quadratic Assignment Problem. *IEEE Trans. Knowledge and Data Engineering*, 11 (5), 769 - 778.
- Maniezzo, V., (1998). *Exact and Approximate Nondeterministic Tree-Search Procedures for the Quadratic Assignment Problem* (Tech. Rep. No. CSR 98-1). Bologna, Italy: Università di Bologna, C. L. in Scienze dell'Informazione.
- Marinakis, Y., & Marinaki, M., (2010). A Hybrid Genetic - Particle Swarm Optimization Algorithm for the Vehicle Routing Problem. *Expert Systems with Application*, 37, 1446-1455.
- Masters, J.M., & Pohlen, T. L.,(1994). Evolution of Logistics Profession. James F. Robenson & William C. Capacino (Edt.), *The Logistics Handbook* içinde (s.14). Kanada: The Free Press.
- Mazzeo, S., & Loiseau, I., (2004). An Ant Colony Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 18, 181-186.
- Melacini, M., Perotti, S., & Tumino, A., (2011). Development of a framework for pick-and-pass order picking system design. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 53 (9-12), 841-854.
- Menger, K. (1932). Das Botenproblem. *Ergebnisse eines mathematischen Kolloquiums*, 11-12.
- Mester, D., & Braysy, O., (2007). Active-guided evolution strategies for large-scale capacitated vehicle routing problems. *Computers & operations Research*, 34 (10), 2964-2975.
- Michalewicz, Z, (1999). *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs* (Third, Revised and Extended Edition), Germany: Springer,-Verlang Heidelberg.

- Miller, D. L., (1995). A matching based algorithm for capacitated vehicle routing problems. *ORSA Journal on Computing*, 7 (1), 1-9.
- Mingozi, A., Christofides, N., Hadjiconstantinou, E., (1994). *An exact algorithm for the vehicle routing problem based on the set partitioning formulation* (Teknik Rapor) Bologna, İtalya: Bologna Üniversitesi.
- Mosheiova, G., (1998). Vehicle routing with pick-up and delivery: tour-partitioning heuristics. *Computers & Industrial Engineering*, 34 (3), 669-684.
- Na, B., Jun, Y., & Kim, B.I., (2011). Some extensions to the sweep algorithm. *Int J Adv Manuf Tech*, 56, 1057–67.
- Naddef, D., Rinaldi, G., (2002). Branch-and-cut algorithms for the Capacitated VRP . Toth, P., Vigo, D. (Edt.), *The Vehicle Routing Problem* içinde (s. 53-84). Philadelphia: SIAM.
- Nazif, H., & Lee. L.S., (2012). Optimised crossover genetic algorithm for capacitated vehicle routing problem. *Applied Mathematical Modelling*, 36, 2110-2117.
- Or, I., (1976). *Travelling Salesman-Type Combinatorial Problems and Their Relation to Logistics of Regional Blood Banking*. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Northwestern Üniversitesi, Evanston, III.
- Orhan, O., (2003). *Dünyada ve Türkiye’de Lojistik Sektörünün Gelişimi*. İstanbul: İTO Yayınları.
- Osman, I.H., (1993). Metastrategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem. *Annals of Operations Research*, 41, 421–451.
- Pan, J. C. H., & Shih, P.H., (2008). Evaluation of the throughput of a multiple-picker order picking system with congestion consideration. *Computers & Industrial Engineering*, 55 (2), 379-389.
- Pan, J. C. H., & Wu M. H., (2012). Throughput analysis for order picking system with multiple pickers and aisle congestion considerations. *Computers & Operations Research*, 39 (7), 1661-1672.
- Pan, L., Huang, J.Z., & Chu, S.C.K., (2011). Order Batching and Picking in a Synchronized Zone Order Picking System. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 156-160.
- Parikh, P. J., & Meller, R. D., (2010). A travel-time model for a person-onboard order picking system. *European Journal of Operational Research*, 200 (2), 385-394.
- Petersen, C. G., & Aase, G. (2004). A Comparison of picking, storage, and routing policies in manuel order picking. *International Journal of Production Economics*, 92 11-19.

- Petersen, C.G. (1997). An evaluation of order picking routing policies. *International Journal of Operations & Production Management*, 17 (1), 1096–1111.
- Pichpibula, T., & Kawtummachai R., 2012. An improved Clarke and Wright savings algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *ScienceAsia*, 38, 307-318.
- Qi, C., (2011). Application of Improved Discrete Particle Swarm Optimization in Logistics Distribution Routing Problem. *Procedia Engineering*, 15, 3673-3677.
- Raja, P.V., & Bhaskaran, V.M., (2013). Improving the Performance of Genetic Algorithm by Reducing the Population Size. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3 (8), 86-91.
- Ralphs, T. K. (2003). Parallel branch and cut for capacitated vehicle routing. *Parallel Computing*, 29, 607–629.
- Ralphs, T. K., Kopman, L., Pulleyblank, W. R., & Trotter, L.E., (2003). On the capacitated vehicle routing problem. *Math. Programming*, 94, 343-359.
- Ratliff, H.D., & Rosenthal, A.S. (1983). Orderpicking in a rectangular warehouse: a solvable case of the traveling salesman problem. *Operations Research*, 31 (3), 507-521.
- Reeves, C., (2003). Genetic Algorithm. Fred Glover & Gary A. Kochenberger (Edt), *Handbook of Metaheuristics* içinde (s. 55-82). New York: Kluwer Academic Publishers.
- Reimann, M., Doerner, K., & Hartl, R.F. (2004). D-Ants: Savings based ants divide and conquer the vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, Computers & Operations Research 31, 563 – 591.
- Reinelt, G., & Wenger, K.M., (2006). Maximally Violated Mod-p Cuts for the Capacitated Vehicle-Routing Problem. *INFORMS Journal on Computing*, 18 (4), 466-479.
- Renaud, J., Boctor, F.F., & Laporte, G., (1996). An Improved Petal Heuristic for the Vehicle Routeing Problem. *Journal of Operation Reseach Society*, 47, 329-336.
- Richards, G., (2011). *Warehouse Management* (First Edition). London: Kogan Page.
- Rim, S. C., & Park, I. S., (2008). Order picking plan to maximize the order fill rate. *Computers & Industrial Engineering*, 55 (3), 557-566.
- Robeson, J.F., & Copacino, W.C., (1994). *The Logistics Handbook*. New York: Maxwell Macmillian.
- Rochat Y., & Taillard E., (1995). Probabilistic Diversification and Intensification in Local Search for Vehicle Routing. *Journal of Heuristics*, 1, 147-167.
- Roodbergen, K. J., & Vis, I.F.A., (2006). A model for warehouse layout. *IIE Transactions*, 38 (10), 799-811.

- Roodbergen, K.J. & De Koster, R., (2001b). Routing methods for warehouses with multiple cross aisles. *International Journal of Production Research*, 39 (9), 1865-1883.
- Roodbergen, K.J., & De Koster, R. (2001a). Routing order pickers in a warehouse with a middle aisle. *European Journal of Operational Research*, 133 (1), 32-43.
- Rousenwein, M.B., (1996). A comparison of heuristics for the problem of batching orders for warehouse selection. *International Journal of Production Research*, 34 (3), 657-664.
- Ruben, R.A., & Jacobs, F.R., (1999). Batch construction heuristics and storage assignment strategies for walk/ride and pick systems. *Management Science*, 45 (4), 575-596.
- Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P., (2006). *The Hand Book of Logistics and Distribution Management* (Third Edition). Londra: Kogan Page Limited.
- Russell, S.H., (2000). Growing World of Logistics. *Air Force Journal of Logistics*, 24 (4), 12-17.
- Ryan, D.M., Hjorring, C., & Glover, F., (1993). Extensions of the Petal Method for Vehicle Routing. *Journal of the Operational Research Society*, 44, 289-296.
- Şahin, Y., & Kulak, O. (2013). Depo Operasyonlarının Planlanması İçin Genetik Algoritma Esaslı Modeller. *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 5 (3), 141-153.
- Şahin, Y., (2009). *Depo Operasyonlarının Planlanması İçin Genetik Algoritma Esaslı Bir Model*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Şen, Z., (2004). *Genetik Algoritmalar ve En İyi Yöntemleri*. İstanbul: Su Vakfı Yayınları.
- Seyedrezaei, M., Najafi, S.E., Aghajani, A., & Valami, H.B., (2012). Designing a Genetic Algorithm to Optimize Fulfilled Orders in Order Picking Planning Problem with Probabilistic Demand. *International Journal of Research in Industrial Engineering*, 1 (2), 40-57.
- Shangyao, Y., Chi, C.J., & Tang, C.H. (2006). Inter-city Bus Routing and Timetable Setting under Stochastic Demands. *Transportation Research*, 40A, 572-586.
- Stock, J.R., & Lambert, D.M., (2001), *Strategic Loistic Management* (Fourth Edition), New York: McGraw-Hill Higher Education.
- Stützle, T., & Hoos H., (1998b). Improvements on the Ant System: Introducing the MAX –MIN Ant System. R.F. Albrecht, G.D. Smith & N.C. Steele (Edt.), *Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms* içinde (s. 245-249). New York: Springer Verlag, Wien.

Stützle, T., & Hoos, H., (1998a). MAX –MIN Ant System and Local Search for Combinatorial Optimization Problems. S. Voß, S. Martello, I.H. Osman, & C. Roucairol (Edt.), *Meta-Heuristics: Advances and Trends in Local Search Paradigms for Optimization* içinde (s. 313-329). Boston: Kluwer Academics.

Stützle, T., Dorigo, M., (1997). ACO Algorithms for the Traveling Salesman Problem. *IEEE Transactions On Evolutionary Computation*, 1 (1), 53-66.

Stützle, T., Dorigo, M., (1999). ACO Algorithms for the Quadratic Assignment Problem. D. Corne, M. Dorigo, & F. Glover (Edt.), *New Ideas in Optimization* içinde (s. 33-50). New York: McGraw-Hill

Subramanian, A., (2012). *Heuristic, Exact and Hybrid Approaches for Vehicle Routing Problems*. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Üniversidade Federal Fluminense, Brazilya.

Swihart, M. R., & Papastavrou, J. D., (1999). A stochastic and dynamic model for the single-vehicle pick-up and delivery problem. *European Journal of Operational Research*, 114, 447–464.

Swihart, M. R., & Papastavrou, J.D., (1999). A stochastic and dynamic model for the single-vehicle pick-up and delivery problem. *European Journal of Operational Research*, 114, 447–464.

Szeto, W., Wu, Y., & Ho, S.C., (2011). An artificial bee colony algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 215, 126–135.

T.C. Başbakanlık Yatırım Destek ve Tanıtım Ajansı, (2010). *Taşımacılık ve Lojistik Sektörü Raporu*. Erişim Tarihi: 12.02.2014. Url: <http://www.invest.gov.tr/tr-TR/infocenter/publications/Documents/LOJISTIK.SEKTORU.PDF>.

Taillard, É. D., (1993). Parallel Iterative Search Methods for Vehicle Routing Problems. *Networks*, 23, 661-676.

Tan, W.F., Lee, L.S., Majid, Z.A., & Seow, H.V., (2012). Ant colony optimization for capacitated vehicle routing problem. *J. Comput. Sci.*, 8, 846-852.

Tang, L.C., & Chew, E.K. (1997) Order picking systems: batching and storage assignment strategies. *Computers & Industrial Engineering*, 33 (3-4), 817-820.

Tanyaş, M., (2011). Lojistik Yönetimi. M.Tanyaş & K.Hazır (Edt.), *Lojistik Temel Kavramlar (Lojistiğe Giriş)* içinde (s. 1-22), Mersin: Çağ Üniversitesi Yayınları.

Tarantilis C.D., Ioannou, G., Kiranoudis, C.T., & Prasadacos, G.P., (2004). Solving the open vehicle routing problem via single parameter meta-heuristic algorithm. *Journal of the Operational Research Society*, 1–9.

Tarantilis, C.D., & Kiranoudis, C.T., (2002). Using a spatial decision support system for solving the vehicle routing problem. *Information & Management*, 39, 359–375.

- Tarantilis, C.D., (2005). Solving the Vehicle Routing Problem with Adaptive Memory Programming Methodology. *Computers & Operations Research*, 32 (9), 2309–2327.
- Tarantilis, C.D., Ioannou, G., & Prastacos, G., (2005). Advanced vehicle routing algorithms for complex operations management problems. *Journal of Food Engineering*, 70 (3), 455-471.
- Tavakkoli-Moghaddam, R., Safaei, N., Kah, M. M. O., & Rabbani, M., (2007). A new capacitated vehicle routing problem with split service for minimizing fleet cost by simulated annealing. *Journal of the Franklin Institute*, 344 (5), 406-425.
- Theys, C., Bräysy, O., Dullaert, W., & Raa, B., (2010). Using a TSP heuristic for routing order pickers in warehouses. *European Journal of Operational Research*, 200 (3), 755-763.
- Tompkins, J., White, J., Bozer, Y., & Tanchoco, J., (2003). *Facilities Planning* (3th edition ed.), New Jersey: John Wiley & Sons.
- Toth, P., Vigo, D. (1998). Exact algorithms for vehicle routing. Crainic, T., & Laporte, G. (Eds.), *Fleet Management and Logistics* içinde (s. 1-31). Boston: Kluwer Academic.
- Toth, P., Vigo, D. (2002b). An overview of vehicle routing problems. Toth, P., & Vigo, D. (Edt.), *The Vehicle Routing Problem* içinde (s. 1-26). Philadelphia: SIAM.
- Toth, P., Vigo, D. (2002c). Branch-and-bound algorithms for the capacitated VRP. Toth, P., & Vigo, D. (Edt.), *The Vehicle Routing Problem* içinde (s. 29-51). Philadelphia: SIAM.
- Tsai, C.-Y., Liou, J.J.H., & Huang, T.-M. (2008) Using a multiple-GA method to solve the batch picking problem: considering travel distance and order due time. *International Journal of Production Research*, 46 (22), 6533-6555
- Tunc, S., Kutlu, B., Zincidi, A., & Atmaca, E., (2008). Depo Sisteminde Siparis Toplama Sürecinin İyileştirilmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 23 (2), 357-364.
- Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği. (2012). *Türkiye Ulaştırma ve Lojistik Meclisi Sektör Raporu*. Ankara: TOBB Yayın Sıra No: 2012/165.
- Tutuncu, G.Y., Carreto, A.C., & Baker, M.B., (2009). A Visual Interactive Approach to the Classical and Mixed Vehicle Routing Problems with Backhauls. *Omega-International Journal Of Management Science* , 37 (1), 138-154.
- Van Nieuwenhuys, I., & De Koster, R., (2009). Evaluating order throughput time in 2-block warehouses with time window batching. *International Journal of Production Economics*, 121 (2), 654-664.

- Varlı, A. (2007). *Çok Amaçlı Ve Çok Konumlu Aktarmalı Taşıma Problemlerinin Genetik Algoritma İle Optimizasyonu*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Vaughan, T.S., & Petersen, C.G., (1999). The Effect of Warehouse Cross Aisles on Order Picking Efficiency. *International Journal of Production Research*, 37 (4), 881-897.
- Wang, C.H. & Lu, J.Z., (2009). A hybrid genetic algorithm that optimizes capacitated vehicle routing problems. *J Expert Syst. Appl.*,36 (2), 2921-2936.
- Wang, Y. Q., Fu, C., & Ma, M.Y., (2012). Routing Optimization of High-level Order picking Truck Based on Swarm Intelligent Algorithm. *Advances in Engineering Design and Optimization*, 101-102, 414-417.
- Wassan, N.A., (2006). A reactive tabu search for the vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society*, 57, 111- 116.
- Waters, D., (2003). *Logistics - An Introduction to Supply Chain Management* (First Edition), Basingstoke:Palgrave Macmillan.
- Won J., & Olafsson S., (2005). Joint order batching and order picking in warehouse operations. *International Journal Of Production Research*, 43 (7), 1427-1442.
- Wren, A., & Holliday, A., (1972). Computer scheduling of vehicles form one or more depots to a number of delivery points. *J Oper Res Soc*, 23, 333-44.
- Wren, A.,(1971). *Computers in transport planning and operation*. Shepperton: Ian Ellan.
- Xiao, Z., & Jiang-qing, W., (2012). Hybrid Ant Algorithm and Applications for Vehicle Routing Problem. *Physics Procedia*, 25, 1892-1899.
- Yang, M. F., Tu, H., & Wu, M., (2012). The Impact of Object-Oriented Order Picking System on Performance in a Supply Chain. *Frontiers in Computer Education*, 133, 837-844.
- Yoon C.S., Sharp G.P., (1996). A structured procedure for analysis and design of order pick systems. *IIE Trans*, 28, 379-389.
- Yu, M. & De Koster, R., (2009). The Impact of Order Batching and Picking Area Zoning on Order Picking System Performance. *European Journal of Operational Research*, 198 (2), 480-490.
- Yu, M. F., & De Koster, R., (2008). Performance approximation and design of pick-and-pass order picking systems. *IIE Transactions*, 40 (11), 1054-1069.

Yu, M., & De Koster, M.B.M., (2010). Enhancing performance in order picking processes by Dynamic Storage Systems. *International Journal of Production Research*, 48 (16), 4785-4806.

Yücenur, G.N., & Çetin Demirel, N., (2011). Çok Depolu Araç Rotalama Problemlerinin Çözümü İçin Genetik Algoritma ve Karınca Kolonisi Optimizasyonundan Oluşan Melez Algoritma Tasarımı. *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 29, 340-350.

Zachariadis, E.E., Tarantilis, C.D., & Kiranoudis, C.T., (2009). A guided tabu search for the vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints. *European Journal of Operational Research*, 195 (3), 729-743.

Zeng, L., Ong, H.L., & Ng, K.M., (2005). An assignment-based local search method for solving vehicle routing problems. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 22, 85-104.

Zhang, H., & Liu, B., (2009). A New Genetic Algorithm for Order-Picking of Irregular Warehouse. *International Conference on Environmental Science and Information Application Technology*, 1, 121-124.

İNTERNET KAYNAKLARI

<http://cgltd.e.tradeee.com>

<http://forklifts.hyundai.eu/en/products/forklifts>

<http://material-handling-blog.wh1.com/best-pallet-rack-drive-in-through>

<http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch5en/conc5en/crossdocking.html>

<http://shunlisteel.en.made-in-china.com>

<http://webnak.com.tr/blog/lojistik-sektoru>

<http://www.atoxgrupo.com/website/en/metal-shelving/automated-warehouses>

<http://www.bizimtoptan.com.tr>

<http://www.britannica.com/bps/dictionary?query=logistics>

<http://www.businessvibes.com/blog/report-global-logistics-industry-outlook#.dpuf>

<http://www.dcliquidators.com>

http://www.deporafsistemleri.org/geri_itmeli_olan_dinamik_depo_raf_urunu.html

<http://www.ise.ncsu.edu/kay/mhetax/StorEq>

<http://www.mhi.org/as-rs>

<http://www.tdk.gov.tr>

<http://www.telsankereste.com/hakkimizda/euro-palet-2>

<http://www.ucge-drs.com>

EKLER

EK-1. ÖRNEK SİPARİŞ LİSTESİ

-- DEPO BİLGİLERİ

- 1. Depo Tipi: 0 - Klasik, 1 - Çapraz Geçitli
- 2. Geçit Sayısı
- 3. Uzunluk (Bir sıradaki dolap sayısı)
- 4. Yükseklik (Bir dolaptaki raf sayısı)
- 5. Genişlik/Uzunluk (2 geçit arası mesafe / 2 dolap arası mesafe)
- 6. X (Depo Konumu için X)
- 7. Y (Depo Konumu için Y)

--

WAREHOUSE

0	5	10	1	4	0	0
---	---	----	---	---	---	---

-- ARAÇ BİLGİLERİ

- 1. Araç Tipi: 0 - İç araç, 1 - Dış araç
- 2. Kapasite
- 3. Kapasite aşım oranı (%)

--

VEHICLES

0	50	10
1	200	10

-- ÜRÜN BİLGİLERİ

- 1. Ürün Kodu
- 2. Konumu: Raf numarası
- 3. Ebat: Büyüklük

--

PRODUCTS

P001	1	2
P002	2	3
P003	3	2
P004	4	4
P005	5	3

-- MÜŞTERİ BİLGİLERİ

- 1. Müşteri Kodu
- 2. X (Müşteri Konumu için X)
- 3. Y (Müşteri Konumu için Y)

--

CUSTOMERS

C001	45	68
C002	45	70
C003	-42	66
C004	-42	68
C005	42	-65

-- SİPARİŞ BİLGİLERİ

- 1. Sipariş No
- 2. Müşteri Kodu
- 3. Ürün
- 4. Sipariş adedi
- 5. İkinci Ürün
- 6. İkinci Ürün için Sipariş adedi
- .. Benzer şekilde
- .. yeni ürün eklenebilir

--

ORDERS

1	C001	P001	2		
2	C003	P002	3	P003	2
3	C002	P004	2	P001	2
4	C004	P012	3	P002	1

EK-2. L32 Ortogonal Dizisi

SIRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
4	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
6	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1
7	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
8	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
9	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
10	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1
11	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
12	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2
13	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
14	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2
15	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
16	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1
17	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
18	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
19	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
20	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
21	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2
22	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1
23	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2
24	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1
25	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
26	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2
27	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
28	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	1	2
29	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1
30	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1
31	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	2	1	2	2	1	1	2	1	2	2
32	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2

EK-3. Y-n30-k3 SİPARİŞ LİSTESİ

WAREHOUSE

0	20	10	1	4	42	68
---	----	----	---	---	----	----

VEHICLES

0	75	0
1	150	0

PRODUCTS

P001	1	6	P051	51	6	P101	101	16	P151	151	20
P002	2	7	P052	52	17	P102	102	5	P152	152	3
P003	3	9	P053	53	4	P103	103	9	P153	153	6
P004	4	11	P054	54	3	P104	104	19	P154	154	7
P005	5	12	P055	55	14	P105	105	11	P155	155	18
P006	6	14	P056	56	10	P106	106	2	P156	156	19
P007	7	17	P057	57	19	P107	107	19	P157	157	18
P008	8	2	P058	58	10	P108	108	4	P158	158	9
P009	9	18	P059	59	5	P109	109	17	P159	159	17
P010	10	19	P060	60	14	P110	110	16	P160	160	15
P011	11	14	P061	61	10	P111	111	14	P161	161	5
P012	12	6	P062	62	14	P112	112	1	P162	162	17
P013	13	12	P063	63	4	P113	113	5	P163	163	14
P014	14	17	P064	64	10	P114	114	7	P164	164	11
P015	15	8	P065	65	5	P115	115	1	P165	165	12
P016	16	3	P066	66	2	P116	116	17	P166	166	16
P017	17	2	P067	67	8	P117	117	1	P167	167	17
P018	18	6	P068	68	6	P118	118	11	P168	168	5
P019	19	15	P069	69	8	P119	119	19	P169	169	15
P020	20	8	P070	70	15	P120	120	11	P170	170	12
P021	21	2	P071	71	11	P121	121	7	P171	171	17
P022	22	11	P072	72	2	P122	122	9	P172	172	8
P023	23	4	P073	73	12	P123	123	11	P173	173	19
P024	24	3	P074	74	17	P124	124	5	P174	174	6
P025	25	5	P075	75	5	P125	125	18	P175	175	4
P026	26	15	P076	76	4	P126	126	8	P176	176	9
P027	27	13	P077	77	9	P127	127	18	P177	177	6
P028	28	5	P078	78	2	P128	128	8	P178	178	9
P029	29	14	P079	79	8	P129	129	5	P179	179	15
P030	30	3	P080	80	14	P130	130	4	P180	180	4
P031	31	18	P081	81	11	P131	131	13	P181	181	2
P032	32	14	P082	82	9	P132	132	4	P182	182	6
P033	33	12	P083	83	6	P133	133	4	P183	183	16
P034	34	2	P084	84	15	P134	134	19	P184	184	19
P035	35	12	P085	85	2	P135	135	15	P185	185	10
P036	36	18	P086	86	16	P136	136	8	P186	186	10
P037	37	20	P087	87	6	P137	137	14	P187	187	5
P038	38	5	P088	88	18	P138	138	17	P188	188	9
P039	39	10	P089	89	17	P139	139	8	P189	189	2
P040	40	15	P090	90	10	P140	140	16	P190	190	6
P041	41	11	P091	91	3	P141	141	15	P191	191	2
P042	42	11	P092	92	1	P142	142	15	P192	192	9
P043	43	12	P093	93	1	P143	143	6	P193	193	7
P044	44	5	P094	94	10	P144	144	1	P194	194	6
P045	45	11	P095	95	20	P145	145	19	P195	195	4
P046	46	12	P096	96	7	P146	146	5	P196	196	13
P047	47	11	P097	97	5	P147	147	16	P197	197	6
P048	48	7	P098	98	8	P148	148	11	P198	198	5
P049	49	7	P099	99	14	P149	149	17	P199	199	16
P050	50	17	P100	100	8	P150	150	15	P200	200	5

CUSTOMERS

C001	54	52	C009	52	72	C017	77	97	C025	82	17
C002	72	43	C010	32	88	C018	28	64	C026	48	13
C003	73	3	C011	39	7	C019	77	39	C027	53	82
C004	59	77	C012	17	8	C020	32	33	C028	39	27
C005	58	97	C013	38	7	C021	32	8	C029	7	24
C006	23	43	C014	58	74	C022	42	92	C030	67	98
C007	68	98	C015	82	67	C023	8	3			
C008	47	62	C016	42	7	C024	7	14			

EK-3'ÜN DEVAMI

ORDERS

1	C001	P025	1			16	C016	P107	1		
2	C002	P040	1	P069	1	17	C017	P033	1	P046	1
3	C003	P096	2			18	C018	P027	1		
4	C004	P068	1	P096	1	19	C019	P006	1		
5	C005	P128	1			20	C020	P015	1		
6	C006	P066	1	P086	1	21	C021	P039	1		
7	C007	P170	1	P193	1	22	C022	P043	1	P049	1
8	C008	P064	1			23	C023	P099	1		
9	C009	P094	1	P098	1	24	C024	P039	1	P054	1
10	C010	P095	1			25	C025	P080	1		
11	C011	P075	1			26	C026	P066	1		
12	C012	P103	1			27	C027	P039	2	P152	1
13	C013	P135	1	P136	1	28	C028	P044	3		
14	C014	P082	1			29	C029	P068	1	P078	1
15	C015	P155	1			30	C030	P073	1	P098	1

EK-4. Y-n30-k5 SİPARİŞ LİSTESİ

WAREHOUSE (Çapraz geçitli depo için en baştaki 0 yerine 1 değeri yazılmıştır)

0 20 10 1 4 45 60

VEHICLES

0 100 0
1 150 0

PRODUCTS

EK-3 İLE AYNI DİR

CUSTOMERS

C001	78	65	C011	47	61	C021	60	20
C002	72	79	C012	26	15	C022	78	58
C003	37	88	C013	66	6	C023	36	48
C004	16	73	C014	96	7	C024	45	36
C005	75	96	C015	37	25	C025	73	57
C006	11	66	C016	68	92	C026	10	91
C007	9	49	C017	78	84	C027	98	51
C008	25	72	C018	82	28	C028	92	62
C009	59	46	C019	93	90	C029	43	42
C010	96	42	C020	74	42	C030	53	25

ORDERS

1	C001	P061	2	P076	1	16	C016	P163	1	P177	1
2	C002	P040	1	P097	1	17	C017	P170	1	P171	1
3	C003	P070	1	P164	1	18	C018	P141	1	P143	1
4	C004	P081	1	P094	1	19	C019	P096	1	P101	1
5	C005	P046	2			20	C020	P173	1	P193	1
6	C006	P019	1	P020	1	21	C021	P163	1		
7	C007	P029	2			22	C022	P171	1	P177	1
8	C008	P062	1	P099	1	23	C023	P017	1	P018	1
9	C009	P013	1	P023	1	24	C024	P014	1	P015	1
10	C010	P014	1			25	C025	P005	1	P018	1
11	C011	P091	1	P104	1	26	C026	P031	1	P041	1
12	C012	P171	1	P177	1	27	C027	P007	1	P035	1
13	C013	P079	1	P139	1	28	C028	P040	2	P044	3
14	C014	P145	1	P148	1	29	C029	P001	4	P093	1
15	C015	P156	1			30	C030	P002	1	P010	1

EK-5. Y-n45-k5 SİPARİŞ LİSTESİ

WAREHOUSE (Çapraz geçitli depo için en baştaki 0 yerine 1 değeri yazılmıştır)

0 20 10 1 4 59 97

VEHICLES

0 80 0
1 160 0

PRODUCTS

EK-3 İLE AYNIDIR

CUSTOMERS

C001	95	7		C013	75	77		C025	89	33
C002	45	87		C014	49	37		C026	47	77
C003	15	47		C015	85	31		C027	29	19
C004	39	75		C016	89	71		C028	13	65
C005	55	23		C017	89	43		C029	33	9
C006	29	71		C018	79	81		C030	63	9
C007	87	79		C019	45	5		C031	41	13
C008	75	63		C020	93	69		C032	67	75
C009	65	61		C021	49	69		C033	41	27
C010	73	35		C022	63	25		C034	49	77
C011	17	35		C023	93	33		C035	57	81
C012	39	99		C024	39	45		C036	45	5
C037	83	7		C040	93	89		C043	7	25
C038	81	61		C041	17	13		C044	35	35
C039	57	81		C042	89	27		C045	87	36

ORDERS

1	C001	P003	1	P015	1	16	C016	P169	1		
2	C002	P019	1	P020	1	17	C017	P081	2		
3	C003	P026	1			18	C018	P071	1	P072	1
4	C004	P045	1			19	C019	P170	1		
5	C005	P042	1	P043	1	20	C020	P146	1	P147	1
6	C006	P070	1			21	C021	P085	1	P086	1
7	C007	P071	1	P081	1	22	C022	P073	1		
8	C008	P116	1	P130	1	23	C023	P062	1	P077	1
9	C009	P077	1			24	C024	P086	1		
10	C010	P140	1	P143	1	25	C025	P116	1		
11	C011	P184	1	P195	1	26	C026	P170	1		
12	C012	P131	1			27	C027	P183	1		
13	C013	P177	1	P184	1	28	C028	P026	1	P030	1
14	C014	P094	1			29	C029	P155	1	P161	1
15	C015	P170	1	P188	1	30	C030	P039	1	P044	1
31	C031	P115	1	P123	1	39	C039	P120	1		
32	C032	P144	1	P149	1	40	C040	P070	1		
33	C033	P077	1	P093	1	41	C041	P031	1	P038	1
34	C034	P138	1			42	C042	P039	1	P042	1
35	C035	P185	1			43	C043	P105	1		
36	C036	P181	1	P186	1	44	C044	P118	1	P143	1
37	C037	P196	1			45	C045	P148	2		
38	C038	P169	1								

EK-6. Y-n45-k7 SİPARİŞ LİSTESİ

WAREHOUSE

0	20	10	1	4	51	20
---	----	----	---	---	----	----

VEHICLES

0	60	0
1	100	0

PRODUCTS

EK-3 İLE AYNI DİR

CUSTOMERS

C001	34	28	C016	90	40	C031	42	86
C002	2	5	C017	41	33	C032	0	13
C003	40	85	C018	10	50	C033	97	45
C004	88	38	C019	96	45	C034	1	50
C005	74	20	C020	48	90	C035	45	94
C006	82	21	C021	87	31	C036	36	33
C007	0	46	C022	79	26	C037	4	15
C008	84	31	C023	39	32	C038	42	88
C009	11	12	C024	0	91	C039	42	29
C010	42	37	C025	89	45	C040	92	0
C011	90	44	C026	91	46	C041	75	26
C012	85	22	C027	3	53	C042	78	0
C013	9	8	C028	44	0	C043	77	29
C014	4	51	C029	89	41	C044	5	47
C015	3	10	C030	40	32	C045	87	36

ORDERS

1	C001	P003	1	P015	1	24	C024	P086	1		
2	C002	P019	1	P020	1	25	C025	P116	1		
3	C003	P026	1			26	C026	P170	1		
4	C004	P045	1			27	C027	P183	1		
5	C005	P042	1	P043	1	28	C028	P026	1	P030	1
6	C006	P070	1			29	C029	P155	1	P161	1
7	C007	P071	1	P081	1	30	C030	P039	1	P044	1
8	C008	P116	1	P130	1	31	C031	P115	1	P123	1
9	C009	P077	1			32	C032	P144	1	P149	1
10	C010	P140	1	P143	1	33	C033	P077	1	P093	1
11	C011	P184	1	P195	1	34	C034	P138	1		
12	C012	P131	1			35	C035	P185	1		
13	C013	P177	1	P184	1	36	C036	P181	1	P186	1
14	C014	P094	1			37	C037	P196	1		
15	C015	P170	1	P188	1	38	C038	P169	1		
16	C016	P169	1			39	C039	P120	1		
17	C017	P081	2			40	C040	P070	1		
18	C018	P071	1	P072	1	41	C041	P031	1	P038	1
19	C019	P170	1			42	C042	P039	1	P042	1
20	C020	P146	1	P147	1	43	C043	P105	1		
21	C021	P085	1	P086	1	44	C044	P118	1	P143	1
22	C022	P073	1			45	C045	P148	2		
23	C023	P062	1	P077	1						

EK-7. Y-n60-k5 SİPARİŞ LİSTESİ

WAREHOUSE

0 20 10 1 4 25 91

VEHICLES

0 100 0
1 200 0

PRODUCTS

EK-3 İLE AYNI DIR

CUSTOMERS

C001	33	27	C016	15	95	C031	15	39	C046	15	77
C002	29	39	C017	89	75	C032	83	17	C047	41	69
C003	7	81	C018	33	93	C033	41	97	C048	45	17
C004	1	59	C019	57	83	C034	31	61	C049	13	25
C005	49	9	C020	11	95	C035	59	69	C050	63	57
C006	21	53	C021	3	57	C036	29	15	C051	95	5
C007	79	89	C022	45	11	C037	93	83	C052	55	91
C008	81	83	C023	43	61	C038	63	97	C053	3	31
C009	85	11	C024	35	43	C039	65	57	C054	47	7
C010	45	9	C025	19	83	C040	15	69	C055	61	69
C011	7	65	C026	83	69	C041	31	97	C056	85	35
C012	95	27	C027	85	77	C042	57	9	C057	89	81
C013	81	85	C028	19	39	C043	85	37	C058	45	47
C014	37	81	C029	83	87	C044	21	29	C059	65	93
C015	69	69	C030	1	13	C045	53	11	C060	61	59

ORDERS

1	C001	P001	1	P039	1	31	C031	P178	1		
2	C002	P006	1			32	C032	P015	1	P022	1
3	C003	P025	3			33	C033	P027	1		
4	C004	P030	1	P012	1	34	C034	P016	3		
5	C005	P012	1	P033	1	35	C035	P065	5		
6	C006	P025	1	P048	1	36	C036	P121	2		
7	C007	P160	1	P166	1	37	C037	P154	1		
8	C008	P016	1	P063	1	38	C038	P133	2		
	P068	1				39	C039	P087	2		
9	C009	P082	1	P090	2	40	C040	P178	2		
10	C010	P030	1			41	C041	P059	3		
11	C011	P108	1	P143	1	42	C042	P143	2		
12	C012	P022	1			43	C043	P128	2		
13	C013	P159	1			44	C044	P196	2		
14	C014	P165	1			45	C045	P163	1		
15	C015	P105	1			46	C046	P154	2		
16	C016	P049	1	P170	1	47	C047	P091	1		
17	C017	P059	1	P068	1	48	C048	P185	1		
18	C018	P094	2	P097	1	49	C049	P068	3		
19	C019	P061	1	P073	1	50	C050	P130	1	P185	1
20	C020	P056	1	P073	1	51	C051	P039	2		
21	C021	P122	1	P165	1	52	C052	P063	1	P104	1
22	C022	P100	1			53	C053	P136	1		
23	C023	P113	1			54	C054	P185	1	P196	1
24	C024	P192	1			55	C055	P123	1		
25	C025	P170	1	P195	1	56	C056	P111	2		
26	C026	P135	1	P166	1	57	C057	P170	1		
27	C027	P117	1			58	C058	P118	2		
28	C028	P153	1	P164	1	59	C059	P107	1		
29	C029	P075	1	P087	1	60	C060	P189	2		
30	C030	P068	1	P079	1						

EK-8. Y-n60-k7 SİPARİŞ LİSTESİ

WAREHOUSE

0	20	10	1	4	4	54
---	----	----	---	---	---	----

VEHICLES

0	120	0
1	200	0

PRODUCTS

EK-3 İLE AYNI DIR

CUSTOMERS

C001	21	1	C016	93	7	C031	38	62	C046	4	48
C002	28	93	C017	70	22	C032	42	53	C047	24	10
C003	55	94	C018	54	53	C033	5	49	C048	52	72
C004	56	84	C019	64	71	C034	1	85	C049	61	46
C005	68	99	C020	33	83	C035	94	4	C050	38	9
C006	30	53	C021	77	89	C036	50	70	C051	90	15
C007	85	49	C022	96	61	C037	35	69	C052	58	41
C008	85	2	C023	53	55	C038	14	41	C053	93	41
C009	0	30	C024	38	10	C039	94	73	C054	8	74
C010	12	71	C025	7	40	C040	23	96	C055	13	87
C011	26	55	C026	7	1	C041	96	88	C056	34	68
C012	72	75	C027	73	68	C042	74	94	C057	84	97
C013	71	21	C028	4	24	C043	68	52	C058	35	20
C014	33	49	C029	82	56	C044	73	22	C059	96	79
C015	51	2	C030	30	56	C045	92	96	C060	73	87

ORDERS

1	C001	P004	2			31	C031	P003	1	P004	1
2	C002	P058	1	P140	1	32	C032	P039	1	P069	1
3	C003	P027	2			33	C033	P190	3		
4	C004	P070	1	P140	1	34	C034	P023	4		
5	C005	P121	3			35	C035	P100	2		
6	C006	P090	2			36	C036	P192	1		
7	C007	P073	1	P083	1	37	C037	P196	2		
8	C008	P090	3			38	C038	P081	1	P086	1
9	C009	P046	1			39	C039	P094	1	P105	1
10	C010	P075	1	P086	1	40	C040	P090	3		
11	C011	P141	1	P183	1	41	C041	P090	3		
12	C012	P165	1			42	C042	P111	1		
13	C013	P046	2			43	C043	P120	2		
14	C014	P006	1	P019	1	44	C044	P118	3		
15	C015	P043	1	P084	1	45	C045	P001	1	P002	1
16	C016	P084	2			46	C046	P107	1	P131	1
17	C017	P105	2			47	C047	P039	2		
18	C018	P166	1			48	C048	P081	1	P101	1
19	C019	P067	1	P082	1	49	C049	P134	1		
20	C020	P064	1	P084	1	50	C050	P123	1		
21	C021	P081	1			51	C051	P027	2		
22	C022	P043	1	P141	1	52	C052	P086	1	P089	1
23	C023	P121	1	P151	1	53	C053	P150	2		
24	C024	P027	3	P091	1	54	C054	P090	2		
25	C025	P165	2			55	C055	P022	1	P029	1
26	C026	P185	2			56	C056	P071	2		
27	C027	P150	1			57	C057	P069	1	P077	1
28	C028	P075	2			58	C058	P156	1		
29	C029	P094	1	P099	1	59	C059	P185	2	P200	1
30	C030	P005	1	P027	1	60	C060	P153	3	P170	1

EK-9. Y-n75-k5 SİPARİŞ LİSTESİ

WAREHOUSE

0 20 10 1 4 46 12

VEHICLES

0 100 0
1 200 0

PRODUCTS

EK-3 İLE AYNIDIR

CUSTOMERS

C001	83	37	C016	18	49	C031	23	59	C046	54	6	C061	0	88
C002	53	5	C017	57	8	C032	77	48	C047	83	32	C062	63	43
C003	0	37	C018	0	49	C033	82	30	C048	15	10	C063	55	10
C004	84	78	C019	56	8	C034	18	82	C049	53	5	C064	23	86
C005	27	93	C020	62	45	C035	11	41	C050	14	42	C065	8	18
C006	61	12	C021	83	32	C036	7	9	C051	13	10	C066	0	74
C007	69	43	C022	53	10	C037	88	33	C052	57	32	C067	20	44
C008	54	9	C023	82	53	C038	23	88	C053	20	85	C068	56	7
C009	20	98	C024	21	85	C039	0	76	C054	65	46	C069	14	10
C010	18	50	C025	64	41	C040	85	34	C055	61	42	C070	88	40
C011	25	84	C026	51	4	C041	17	46	C056	87	52	C071	96	38
C012	31	69	C027	52	30	C042	52	10	C057	79	51	C072	59	31
C013	58	36	C028	80	70	C043	13	45	C058	25	91	C073	22	87
C014	0	11	C029	18	90	C044	19	85	C059	89	34	C074	59	36
C015	61	36	C030	59	39	C045	86	77	C060	26	100	C075	24	83

ORDERS

1	C001	P048	2			39	C039	P086	1	P090	1
2	C002	P003	1	P015	1	40	C040	P129	1		
3	C003	P007	1			41	C041	P191	1		
4	C004	P005	1	P023	1	42	C042	P137	1		
5	C005	P002	1	P005	1	43	C043	P118	1		
6	C006	P089	1			44	C044	P081	1	P094	1
7	C007	P113	1			45	C045	P151	1		
8	C008	P073	1			46	C046	P015	2		
9	C009	P130	1			47	C047	P017	1		
10	C010	P078	1			48	C048	P085	1	P089	1
11	C011	P181	1			49	C049	P073	1		
12	C012	P005	1	P006	1	50	C050	P118	2		
13	C013	P191	1			51	C051	P137	1		
14	C014	P154	1			52	C052	P086	1	P096	1
15	C015	P158	2			53	C053	P064	1	P070	1
16	C016	P152	2			54	C054	P015	1		
17	C017	P197	1			55	C055	P054	1		
18	C018	P085	1	P086	1	56	C056	P122	1		
19	C019	P189	1			57	C057	P141	1	P153	1
20	C020	P061	1	P063	1	58	C058	P016	1		
21	C021	P146	1			59	C059	P096	1	P135	1
22	C022	P188	1			60	C060	P174	1		
23	C023	P085	2			61	C061	P072	1		
24	C024	P030	1			62	C062	P049	1	P070	1
25	C025	P068	1	P077	1	63	C063	P073	1	P079	1
26	C026	P130	1			64	C064	P161	1		
27	C027	P084	1	P098	1	65	C065	P131	1		
28	C028	P028	1	P034	1	66	C066	P087	1		
29	C029	P114	3			67	C067	P060	1		
30	C030	P076	1			68	C068	P044	1	P047	1
31	C031	P144	1			69	C069	P054	4		
32	C032	P177	1			70	C070	P043	1	P045	1
33	C033	P098	2			71	C071	P113	1		
34	C034	P133	1			72	C072	P096	1	P097	1
35	C035	P005	1	P015	1	73	C073	P160	1		
36	C036	P124	1			74	C074	P154	3		
37	C037	P073	1	P078	1	75	C075	P078	2		
38	C038	P137	1								

EK-10. Y-n75-k7 SİPARİŞ LİSTESİ

WAREHOUSE

0 20 10 1 4 50 50

VEHICLES

0 100 0
1 200 0

PRODUCTS

EK-3 İLE AYNIDIR

CUSTOMERS

C001	21	48	C016	70	64	C031	40	20	C046	62	57	C061	52	26
C002	50	30	C017	64	4	C032	40	37	C047	62	24	C062	43	26
C003	51	42	C018	36	6	C033	22	22	C048	21	36	C063	31	76
C004	50	15	C019	30	20	C034	36	26	C049	33	44	C064	22	53
C005	48	21	C020	20	30	C035	21	45	C050	9	56	C065	26	29
C006	12	38	C021	15	5	C036	45	35	C051	62	48	C066	50	40
C007	15	56	C022	50	70	C037	55	20	C052	66	14	C067	55	50
C008	29	39	C023	57	72	C038	33	34	C053	44	13	C068	54	10
C009	54	38	C024	45	42	C039	50	50	C054	26	13	C069	60	15
C010	55	57	C025	38	33	C040	55	45	C055	11	28	C070	47	66
C011	67	41	C026	50	4	C041	26	59	C056	7	43	C071	30	60
C012	10	70	C027	66	8	C042	40	66	C057	17	64	C072	30	50
C013	6	25	C028	59	5	C043	55	65	C058	41	46	C073	12	17
C014	65	27	C029	35	60	C044	35	51	C059	55	34	C074	15	14
C015	40	60	C030	27	24	C045	62	35	C060	35	16	C075	16	19

ORDERS

1	C001	P018	3			39	C039	P126	2					
2	C002	P005	1		P006	1	C040	P047	3					
3	C003	P018	1		P025	1	C041	P160	1					
4	C004	P084	2				C042	P075	1		P087	1		
5	C005	P050	1		P053	1	C043	P073	1		P087	1		
6	C006	P043	1		P048	1	C044	P069	1		P077	1		
7	C007	P024	1		P033	1	C045	P121	3					
8	C008	P018	1		P185	1	C046	P188	3					
9	C009	P056	2		P122	1	C047	P176	1		P185	1		
10	C010	P087	1		P094	2	C048	P094	2					
11	C011	P039	3		P048	1	C049	P168	1					
12	C012	P100	2				C050	P166	1		P177	1		
13	C013	P102	1		P114	1	C051	P174	2					
14	C014	P125	1		P131	1	C052	P134	1					
15	C015	P128	1				C053	P040	1		P048	1		
16	C016	P134	1				C054	P082	1		P096	1		
17	C017	P018	1		P032	1	C055	P114	1					
18	C018	P196	1				C056	P100	1		P125	1		
19	C019	P049	1		P087	1	C057	P137	1					
20	C020	P071	2				C058	P122	1		P165	1		
21	C021	P080	2				C059	P043	2					
22	C022	P043	1				C060	P131	1					
23	C023	P143	1				C061	P075	3					
24	C024	P033	1		P040	1	C062	P083	1		P165	1		
25	C025	P055	1				C063	P120	1					
26	C026	P016	1		P026	1	C064	P123	2					
27	C027	P079	1		P082	1	C065	P003	1					
28	C028	P043	1		P050	1	C066	P003	4		P092	1		
29	C029	P131	1				C067	P185	3					
30	C030	P122	1		P131	1	C068	P064	1					
31	C031	P058	1		P070	1	C069	P136	1					
32	C032	P013	1		P086	1	C070	P120	1					
33	C033	P139	1		P145	1	C071	P091	1					
34	C034	P173	1				C072	P117	1					
35	C035	P186	1				C073	P182	1					
36	C036	P153	2				C074	P185	1					
37	C037	P163	1				C075	P186	2					
38	C038	P073	2											

EK-11. Klasik depo yerleşimi için elde edilen en iyi çözümlerin detayları

Sipariş Listesi Y-n30-k3	DIŞ ROTA	MESAFE (KM)	ARAÇ	İÇ ROTA	MESAFE (M)
ARAÇ 1	4-27-5-30-7-17-22-10	130,45	1	43-49-68-73-95-96-98	74
			2	33-39-46-128-170-193-152	120
ARAÇ 2	18-6-29-24-23-12-21-13-11316-26-1	185,35	1	75-68-78-107-103-135-136	86
			2	25-27-39- 54- 66- 99- 86	80
ARAÇ 3	9-14-15-2-19-25-3-28-20-8	204,99	1	44-82-94-96-98-155	90
			2	15-6-40-80-69-64	52
TOPLAM		520,79		TOPLAM	502

Sipariş Listesi Y-n30-k5	DIŞ ROTA (MÜŞTERİ NO)	MESAFE (KM)	ARAÇ	İÇ ROTA (PARÇA NO)	MESAFE (M)
ARAÇ 1	20-18-10-14-13-21-30	194,8	1	2-14-10-79-139-148-145	90
			2	141-143-173-163-193	94
ARAÇ 2	25-22-28-27-9	119,46	1	5-18-40-44-171-177	106
			2	13-7-23-35	36
ARAÇ 3	2-17-5-16-19-1	148,86	1	101-171-163-177-170-97-96-40	102
			2	61-76-46	50
ARAÇ 4	29-24-15-12-7-23	132,93	1	14-15-17-18	20
			2	1-29-93-171-177-156	92
ARAÇ 5	8-4-6-26-3-11	124,19	1	19-20-70-91-104-164	108
			2	31-41-62-81-94-99	62
TOPLAM		720,24		TOPLAM	760

EK-11. DEVAMI

Sipariş Listesi Y-n45-k5	DIŞ ROTA (MÜŞTERİ NO)	MESAFE (KM)	ARAÇ	İÇ ROTA (PARÇA NO)	MESAFE (M)
ARAÇ 1	8-38-17-23-42-15-10-9	172,56	1	42-62-77-81-39	74
			2	16-130-140-170-169-188-143	110
ARAÇ 2	32-13-18-7-16-20-40	113,20	1	144-146-147-149-169-177-184	106
			2	81-71-72-70	56
ARAÇ 3	2-14-5-22-30-37-1-25-45	236,35	1	3-15-19-20-39-44-43-42	46
			2	73-94-116-148-196	118
ARAÇ 4	12-11-43-41-27-29-31-19-36-33	254,25	1	131-181-183-184-195-186-170	100
			2	31-38-77-93-115-105-123-155-	124
ARAÇ 5	34-26-4-6-28-3-44-24-21-35-39	171,11	1	26-70-120-118-170-185-143	114
			2	26-30-45-85-86-138	96
TOPLAM		947,47		TOPLAM	944

Sipariş Listesi Y-n45-k7	DIŞ ROTA (MÜŞTERİ NO)	MESAFE (KM)	ARAÇ	İÇ ROTA (PARÇA NO)	MESAFE (M)
ARAÇ 1	23-18-44-14-27-34-7	128,26	1	22-42-73-10	58
			2	99-107-106-136	84
ARAÇ 2	39-30-17-36-1	46,92	1	39-125	74
			2	151-156-166	90
ARAÇ 3	9-13-15-32-37-2-28	133,98	1	58-140-150-183	102
			2	79-89-84	58
ARAÇ 4	25-26-19-33-11-29	107,47	1	31-40	32
			2	111-118-125-170	102
ARAÇ 5	3-31-38-20-35-24-10	214,23	1	131-140-157	82
			2	82-94-113-107	66
ARAÇ 6	41-43-8-21-45-4-16	92,51	1	86-118-188-162	108
			2	4-15-62	42
ARAÇ 7	5-22-6-12-40-42	110,49	1	127-167-196	106
			2	4-39-119	70
TOPLAM		833,86		TOPLAM	1074

EK-11. DEVAMI

Sipariş Listesi Y-n60-k5	DIŞ ROTA (MÜŞTERİ NO)	MESAFE (KM)	ARAÇ	İÇ ROTA (PARÇA NO)	MESAFE (M)
ARAÇ 1	16-20-3-6-2-1-36-22-10-54-5-58-23-47	214,00	1	12-33-25-30-48-56-73-91-113-118	94
			2	1-6-39-49-100-170-196-185-121	112
ARAÇ 2	41-33-52-19-59-55-35-14	121,78	1	27-59-65-73-61	54
			2	63-104-107-123-165	104
ARAÇ 3	25-46-40-11-4-21-31-28-44-49-53-30-34	207,21	1	122-136-170-178-165-195-196	110
			2	12-16-30-79-68-108-178-164-143-153-154	112
ARAÇ 4	60-50-39-43-56-12-32-9-51-42-45-48-24	259,26	1	22-39-90-87-82-111	68
			2	22-143-163-192-185-189-130-128-15	120
ARAÇ 5	18-38-7-13-8-29-57-37-27-26-15	165,15	1	133-135-160-159-170-166	94
			2	16-59-68-75-63-94-97-87-117-105-154	116
TOPLAM		967,40		TOPLAM	984

Sipariş Listesi Y-n60-k7	DIŞ ROTA (MÜŞTERİ NO)	MESAFE (KM)	ARAÇ	İÇ ROTA (PARÇA NO)	MESAFE (M)
ARAÇ 1	10-54-34-55-40-2-20-56	127,59	1	22-23-29-58-90-140	82
			2	71-64-75-90-86-84	58
ARAÇ 2	32-23-18-49-52-17-13-44	169,34	1	39-69-89-86-118-105	80
			2	121-134-151-166-46	100
ARAÇ 3	33-25-9-28-26-1-47-24-50-58	152,83	1	27-39-46-91-75	70
			2	4-123-156-190-185-165	122
ARAÇ 4	3-57-45-41-59-39-22-29-27	238,74	1	27-69-77-90-99-94-105	84
			2	1-2-43-141-150-200-185	108
ARAÇ 5	43-7-53-51-16-35-8-15	243,8	1	73-83-84-90-100-43	64
			2	27-120-150-84	86
ARAÇ 6	36-48-19-12-60-21-42-5-4-37	182,12	1	82-121-153-165-170-140-70-68	104
			2	81-111-101-192-196	92
ARAÇ 7	46-38-11-30-6-14-31	97,62	1	81-86-90-107-131-141-183	108
			2	3-4-5-6-19-27	34
TOPLAM		1212,04		TOPLAM	1192

EK-11. DEVAMI

Sipariş Listesi Y-n75-k5	DIŞ ROTA (MÜŞTERİ NO)	MESAFE (KM)	ARAÇ	İÇ ROTA (PARÇA NO)	MESAFE (M)
ARAÇ 1	72-74-15-25-7-32-57-23-70-1-40-37-59-33	134,52	1	85-96-129-135-141-153-154-158-177	112
			2	43-45-48-68-78-77-73-96-97-98-113	88
ARAÇ 2	42-22-8-19-17-68-46-2-49-26	28,70	1	44-47-73-130-137-189-188-197-15	128
			2	3-15	14
ARAÇ 3	48-69-51-36-14-65-35-50-43-41-16-10-31-28-4-45-56-71-21-47	272,43	1	5-15-17-28-34-23-54-78-146-154-144-152-	128
			2	85-89-118-113-131-122-124-137	88
ARAÇ 4	27-20-11-64-73-38-58-5-60-9-29-61-39-66-18-3	245,95	1	2-5-16-7-61-72-63-84-85-86-98	72
			2	87-90-130-137-160-174-161-181-114	118
ARAÇ 5	63-6-52-13-30-55-62-54-12-75-24-53-44-34-67	197,42	1	49-70-78-89-86-96-94-81-133-191	112
			2	5-15-6-30-60-70-79-76-64-73	54
TOPLAM		879,02		TOPLAM	914,00

Sipariş Listesi Y-n75-k7	DIŞ ROTA (MÜŞTERİ NO)	MESAFE (KM)	ARAÇ	İÇ ROTA (PARÇA NO)	MESAFE (M)
ARAÇ 1	3-66-2-14-11-51-40	73,02	1	3-18-25-92-131-125-174	112
			2	5-6-39-48-47	46
ARAÇ 2	24-59-8-6-56-50-7-57-12-63-42-43	154,86	1	18-100-125-168-177-166-185-33-24	130
			2	48-43-73-75-87-120-137	106
ARAÇ 3	38-65-30-33-75-74-21-18-60-31	132,33	1	73-139-145-185-196-186	114
			2	3-58-80-70-122-131	82
ARAÇ 4	45-47-69-52-27-17-28-68-26-53-61	125,53	1	32-26-40-48-121-176-185-18-16	134
			2	43-50-79-75-64-82-134-136	90
ARAÇ 5	58-32-25-62-5-4-37-59-9	83,21	1	13-43-83-84-86-165	102
			2	53-55-56-50-122-163-165	100
ARAÇ 6	39-67-10-46-16-23-22-70-15-29-44	95,42	1	43-94-87-188-185	104
			2	77-69-120-128-126-134-131-143	90
ARAÇ 7	36-34-19-54-73-13-55-20-48-35-1-64-41-71-72	149,21	1	71-94-102-114-117-160-123	94
			2	18-49-87-96-82-91-153-173-182-186	126
TOPLAM		813,58		TOPLAM	1430

EK-12. Çapraz geçitli depo yerleşimi için elde edilen en iyi çözümlerin detayları

Sipariş Listesi Y-n30-k3	DIŞ ROTA	MESAFE (KM)	ARAÇ	İÇ ROTA	MESAFE (M)
ARAÇ 1	18-6-29-24-23-12-21-13-11-16-26-1	185,35	1	66-86-107-103-13-136	70
			2	25-27-39-54-75-66-68-78-99	64
ARAÇ 2	9-14-15-2-19-25-3-28-20-8	204,99	1	6-15-40-80-69-64	48
			2	44-96-98-94-82-155	80
ARAÇ 3	4-27-5-30-7-17-22-10	130,45	1	43-49-68-73-96-95-98	70
			2	33-39-46-128-152-170-193	122
TOPLAM		520,79		TOPLAM	454

Sipariş Listesi Y-n30-k5	DIŞ ROTA (MÜŞTERİ NO)	MESAFE (KM)	ARAÇ	İÇ ROTA (PARÇA NO)	MESAFE (M)
ARAÇ 1	2-17-5-16-19-1	148,86	1	46-76-61	42
			2	97-96-101-171-163-177-170-40	96
ARAÇ 2	25-22-28-27-9	119,46	1	40-44-177-171	96
			2	5-13-7-18-35-23	30
ARAÇ 3	20-18-10-14-13-21-30	194,8	1	148-145-143-141-173-163-193	100
			2	14-2-10-79-139	70
ARAÇ 4	29-24-15-12-7-23	132,93	1	15-14-1-93-156-177-171	96
			2	17-18-29	24
ARAÇ 5	8-4-6-26-3-11	124,19	1	19-20-70-91-104-164	96
			2	31-41-62-81-94-99	62
TOPLAM		720,24		TOPLAM	712

EK-12. DEVAMI

Sipariş Listesi Y-n45-k5	DIŞ ROTA (MÜŞTERİ NO)	MESAFE (KM)	ARAÇ	İÇ ROTA (PARÇA NO)	MESAFE (M)
ARAÇ 1	14-33-31-19-36-29-27-41-43-11	238,06	1	77-94-93-115-105-123-155-170-161	108
			2	38-31-181-183-184-195-186	96
ARAÇ 2	12-2-13-18-7-16-20-40	146,68	1	19-20-70-169-177-184	94
			2	72-71-81-131-146-147	78
ARAÇ 3	35-39-9-22-5-30-37-1-42-23	230,75	1	73-62-77-120-185-196	100
			2	15-3-39-44-43-42	42
ARAÇ 4	26-4-6-28-3-44-24-21-34	167,99	1	26-45-118-138-143-170	100
			2	26-30-70-85-86	52
ARAÇ 5	32-8-38-17-45-25-15-10	155,42	1	81-148-170-169-188	102
			2	116-130-140-149-144-143	80
	TOPLAM	938,9		TOPLAM	852

Sipariş Listesi Y-n45-k7	DIŞ ROTA (MÜŞTERİ NO)	MESAFE (KM)	ARAÇ	İÇ ROTA (PARÇA NO)	MESAFE (M)
ARAÇ 1	41-43-22-8-21-45-4	90,4	1	86-118-162-196	94
			2	15-4-62	40
ARAÇ 2	25-26-19-33-11-29-16	110,93	1	31-11-125	66
			2	40-118-170-188	96
ARAÇ 3	39-30-17-36-1	46,92	1	156-151-166	82
			2	39-125	62
ARAÇ 4	3-31-38-20-35-24-10	215,35	1	94-82-113-107	60
			2	131-140-157	82
ARAÇ 5	9-13-15-32-37-2-28	137,25	1	58-140-150-183	96
			2	77-84-89	52
ARAÇ 6	5-6-12-40-42	104,91	1	119-127-167	84
			2	4-39	24
ARAÇ 7	23-18-44-14-27-34-7	128,26	1	10-22-42	42
			2	73-99-106-107-136	72
	TOPLAM	834,02		TOPLAM	952

EK-12. DEVAMI

Sipariş Listesi Y-n60-k5	DIŞ ROTA (MÜŞTERİ NO)	MESAFE (KM)	ARAÇ	İÇ ROTA (PARÇA NO)	MESAFE (M)
ARAÇ 1	40-11-4-21-6-24-58-60-55-35-19-52	175,22	1	25-30-48-108-123-122-143-165-178-189-192-12	134
			2	65-73-63-61-104-118	62
ARAÇ 2	31-28-44-49-53-30-36-22-10-54-5-45-42	255,02	1	68-79-178-196-185	92
			2	12-33-30-100-136-121-153-143-164-163	112
ARAÇ 3	41-18-33-14-25-46-3-20-16	101,99	1	27-49-94-97-154-165-170-195	114
			2	25-56-59-73	44
ARAÇ 4	34-2-1-48-32-9-51-12-56-43-39-50	255,02	1	16-39-90-87-82-111	70
			2	6-15-1-22-39-160-128-185	104
ARAÇ 5	47-23-15-26-27-17-57-37-29-13-8-7-59-38	179,26	1	135-159-160-170-166	82
			2	16-59-68-75-63-91-87-105-113-117-107-133-154	110
TOPLAM		966,51		TOPLAM	924,00

Sipariş Listesi Y-n60-k7	DIŞ ROTA (MÜŞTERİ NO)	MESAFE (KM)	ARAÇ	İÇ ROTA (PARÇA NO)	MESAFE (M)
ARAÇ 1	43-7-53-51-16-35-8-15	243,79	1	27-43-73-84-83	58
			2	90-100-120-150	74
ARAÇ 2	32-23-18-49-52-17-13-44	169,34	1	105-118-134-121-151-166	90
			2	39-46-69-89-86	58
ARAÇ 3	46-38-11-30-6-14-10	97,97	1	27-90-19-6-5	52
			2	75-86-81-131-141-183-107	100
ARAÇ 4	3-57-45-41-59-39-22-29-27	238,73	1	27-77-69-90-99-94	56
			2	2-1-43-94-105-141-150-200-185	118
ARAÇ 5	54-34-55-40-2-2-20-37-56	124,73	1	64-71-84-90	58
			2	23-22-29-58-140-196	104
ARAÇ 6	31-36-48-19-12-60-21-42-5-4	182,56	1	70-140-121-153-165-170-192	120
			2	67-82-81-111-101-4-3	64
ARAÇ 7	33-25-9-28-26-1-47-24-50-58	152,83	1	75-123-156-165-185-190	100
			2	27-39-46-91-4	58
TOPLAM		1209,95		TOPLAM	1110

EK-12. DEVAMI

Sipariş Listesi Y-n75-k5	DIŞ ROTA (MÜŞTERİ NO)	MESAFE (KM)	ARAÇ	İÇ ROTA (PARÇA NO)	MESAFE (M)
ARAÇ 1	48-69-51-36-14-65-3-35-50-43-41-67	144,66	1	5-15-7-54-60	40
			2	85-89-118-124-131-137-154-191	116
ARAÇ 2	6-33-21-47-40-37-59-70-1-71-56-23-57-54-20-25	159,23	1	45-43-61-63-73-77-68-78-89-98	60
			2	15-17-48-85-96-113-135-122-141-153-146-129	104
ARAÇ 3	12-34-44-53-24-73-38-58-29-61-39-66-18	212,95	1	5-6-16-30-90-87-86-94-81-72	64
			2	64-65-86-114-137-133-160-70	94
ARAÇ 4	27-13-74-15-30-55-62-7-32-28-4-45-5-60-9-64	261,57	1	130-158-144-154-152-151-161-174-177-181-	120
			2	5-2-23-34-28-49-70-78-76-84-98	74
ARAÇ 5	42-22-8-63-19-17-68-46-2-49-26-72-52	73,91	1	15-3-73-79	48
			2	44-47-86-96-97-137-130-189-188-197	100
TOPLAM		852,32		TOPLAM	820

Sipariş Listesi Y-n75-k7	DIŞ ROTA (MÜŞTERİ NO)	MESAFE (KM)	ARAÇ	İÇ ROTA (PARÇA NO)	MESAFE (M)
ARAÇ 1	24-32-38-8-48-35-1-64-41-71-15	91,64	1	18-91-123-128-160-185-186	110
			2	13-33-40-73-86-94	108
ARAÇ 2	49-20-75-73-74-21-54-18-53-4-37	146,80	1	80-168-163-196-186-185-182	104
			2	40-48-71-82-84-96	62
ARAÇ 3	65-30-33-15-13-6-56-50-7-57-12-63	172,78	1	24-33-43-48-120-114-102-131-122-137	92
			2	3-100-139-125-145-166-177	94
ARAÇ 4	14-47-69-52-27-17-28-68-26-5	123,04	1	16-18-26-32-593-43-50-64	62
			2	79-82-131-134-125-136-176-185	102
ARAÇ 5	39-40-9-59-45-11-51-10	61,75	1	39-56-48-122-121-174	87
			2	47-43-87-94-126	58
ARAÇ 6	3-58-44-72-29-42-70-22-43-23-16-46-67	117,88	1	43-77-69-120-188-185	98
			2	18-25-75-73-87-117-134-122-131-143-165	104
ARAÇ 7	66-36-2-61-62-31-60-19-34-25	93,70	1	3-92-83-131-153-165-173	94
			2	5-6-55-58-49-70-75-87	60
TOPLAM		807,59		TOPLAM	1235,00

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler :

Adı ve Soyadı : YUSUF ŞAHİN
Doğum Yeri ve Yılı : DENİZLİ / 1982
Medeni Hali : EVLİ

Kişisel Bilgiler :

Lisans : Yıldız Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği (2005)
Yüksek Lisans : Pamukkale Üniversite - F.B.E - Endüstri Müh. (2009)
Doktora : Süleyman Demirel Üniversitesi - S.B.E - İşletme (2014)

Yabancı Dil(ler) ve Düzeyi :

1. İngilizce : 76,25 (ÜDS - 2009)

İş Denevimi :

Endüstri Mühendisi İl AFAD Müdürlüğü/ ADYM, ISPARTA, (20.07.2010 - Devam Ediyor)
Arş. Gör. PAÜ, Endüstri Müh. Bölümü, DENİZLİ. (29.12.2006-14.07.2010)
Planlama Müdürü Ada Çorap (DENİZLİ), (12.07.2005 - 28.12.2006)

Bilimsel Yayın ve Çalışmalar:

Kulak, O., **Şahin, Y.**, & Taner, M.E., (2012). Management of Warehouse Operations Using Cluster-Based Tabu Search Algorithms. *Flexible Services and Manufacturing Journals*, 24, 52–80.

Şahin, Y., & Kulak, O., (2013). Depo Operasyonlarının Planlanması İçin Genetik Algoritma Esaslı Modeller. *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 5 (3), 141-153.

Eroğlu, A., Aydemir, E., **Şahin, Y.**, Karagül, N., & Karagül, K., (2013). Generalized Formulae for the Periodic Fixed and Geometric-Gradient Series Payment Models in a Skip Payment Loan with Rhythmic Skips. *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 5 (3), 87-93.

Şahin, Y., & Akyer, H., (2011). Ülke Kaynaklarının Verimli Kullanımı: 4x4 Arama ve Kurtarma Aracı Seçiminde AHS ve TOPSIS Yöntemlerinin Uygulaması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 3 (5), 72-87.