



**T.C.**  
**EGE ÜNİVERSİTESİ**  
**Sosyal Bilimler Enstitüsü**

**ÇOK DERİNLİKLİ OTOMATİK DEPOLAMA VE ÇEKME SİSTEMLERİNDE**  
**DEPO LOKASYON ATAMA OPTİMİZASYONU**

**Doktora Tezi**

**Yunus Kaymaz**

**İşletme Anabilim Dalı**

**İZMİR**

**2020**

**T.C.**  
**EGE ÜNİVERSİTESİ**  
**Sosyal Bilimler Enstitüsü**

**ÇOK DERİNLİKLİ OTOMATİK DEPOLAMA VE ÇEKME SİSTEMLERİNDE  
DEPO LOKASYON ATAMA OPTİMİZASYONU**

**Doktora Tezi**

**Yunus Kaymaz**

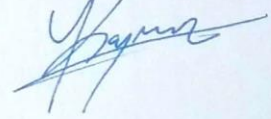
**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ural Gökay Çiçekli**

**İşletme Anabilim Dalı**  
**İşletme Doktora Programı**

### ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğüne sunduğum “**ÇOK DERİNLİKLİ OTOMATİK DEPOLAMA VE ÇEKME SİSTEMLERİNDE DEPO LOKASYON ATAMA OPTİMİZASYONU**” adlı doktora tezinin tarafımdan bilimsel ahlak ve normlara uygun bir şekilde hazırlandığını, tezimde yararlandığım kaynakları bibliyografyada ve dipnotlarda gösterdiğimi onurumla doğrularım.

Yunus Kaymaz



## ÖNSÖZ

Bu çalışmanın amacı, gerçek hayatta ve akademik literatürde sıkça karşılaşılan otomatik depolama ve çekme sistemleri kapsamında depo lokasyon atama problemini optimizasyon bakımından incelemek, lokasyon atama problemine dair çözüm yöntemlerini araştırmak ve bir 3. Parti Lojistik firmasının verileri ile, gerçek hayatta karşılaşılan bir probleme çözüm metodu geliştirerek uygulama sonuçlarını tartışmaktır.

Lojistik faaliyetler içerisinde depolama faaliyetleri maliyetler bakımından önemli bir kalem olarak görülmektedir. Özellikle müşteri memnuniyetinin üst düzeyde tutulması adına sipariş toplama ve sipariş atama faaliyetlerin etkin bir şekilde yürütülmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada, 3. Parti Lojistik firmasından elde edilen veriler ile müşterilerden gelen ürünlerin depo içerisinde en uygun yerlere atanması amaçlanmıştır. Depo içerisinde ürünlerin uygun lokasyonlara atanması, ürünlerin toplanması işlemi için de etkili olması sebebi ile karar vericiler açısından önemli bir nokta oluşturmaktadır. Depo lokasyon atama problemleri, problemin doğası itibari ile *NP-Zor* sınıfında yer almaktadır. Bu anlamda çalışmada problemin çözümüne yönelik olarak metasezgisel yöntemlere odaklanılarak, genetik algoritma yöntemi ile problemin yapısına uygun bir şekilde modellenmiş ve çözüm yöntemi olarak uygulanmıştır. Tez kapsamında, 3. Parti Lojistik firması bünyesindeki çok derinlikli bir otomatik depolama ve çekme sisteminin yapısı referans alınmıştır. Manuel depolama faaliyetlerinin toplam depolama maliyetlerindeki yüksek oranı sebebi ile günümüzde otomatik depolama ve çekme sistemleri hız ve verimlilik açısından lojistik hizmet sağlayıcıları için bir alternatif olmuştur. Çok derinlikli ve çok koridorlu otomatik depolama sistemlerinde birden fazla ürün sistem içerisinde hareket etmektedir. Bu durumla ilgili olarak, özellikle son yıllarda tedarik zinciri ve lojistik alanlarında ayrı bir ilgi alanı oluşturan veri madenciliği kapsamında oluşturulan birliktelik kurallarına da çözüm yöntemi içerisinde yer verilmiştir. Bu anlamda, çok derinlikli bir otomatik depolama ve çekme sistemi içerisine giren ürünlerin en uygun lokasyonlara atanması ve alan verimliliğinin sağlanması çalışmanın ana hedefidir.

**İzmir 11/05/2020**

**Yunus Kaymaz**

## **ÇOK DERİNLİKLİ OTOMATİK DEPOLAMA VE ÇEKME SİSTEMLERİNDE DEPO LOKASYON ATAMA OPTİMİZASYONU**

### **ÖZET**

Özellikle son on yılda tedarik zinciri ve lojistik kapsamında gözlemlenebilen paradigmatik değişimlerle birlikte, ürün çeşitliliğinin daha da artması, müşteri beklentilerini de etkilemiş, hızlı, güvenli ve uygun maliyetli lojistik hizmetlerine olan ihtiyacı arttırmıştır. Bu durum ile bağlantılı olarak tedarik zinciri içindeki depo noktalarının ise lojistik faaliyetler içerisindeki önemi her zamankinden daha fazladır.

Gelen ürünlerin depo içerisinde belirli bir lokasyona atanması ise depolama faaliyetleri açısından en önemli faaliyetler arasında yer almaktadır. Gelen ürünlerin uygun lokasyonlara atanması bir yandan depo içerisinde alan verimliliğini sağlarken, diğer yandan da müşteri ihtiyaçlarına göre gönderilecek ürünlerin toplanmasını kolaylaştırmaktadır. Depolama merkezlerinde ürün atama işlemleri, nihai veya ara kullanıcıya ulaştırılmak üzere yarı mamul veya bitmiş ürünlerin depo içinde mesafe, ürüne ulaşım süresi, depo alan kullanımı gibi kriterleri göz önüne alarak en uygun lokasyonlara yerleşimini ifade etmektedir. Otomatik depolama ve çekme sistemleri içerisinde ise depo lokasyon atama operasyonları, sistemlerin özelliklerine göre oldukça karmaşık bir yapıya evrilmektedir.

Depo lokasyon atama problemi bu anlamda ürün tipi, depo karakteristikleri gibi özellikler sebebiyle karmaşıklığı arttıkça çözülmesi zor ve zaman alıcı bir yapıya dönüşmektedir. Bu tez kapsamında gerçek verilere dayalı ve gerçek bir sistem için önerilen uygulama kapsamında büyük ölçekli ve çok kriterli bir otomatik depolama ve çekme sistemi içerisinde depo lokasyon atama problemi için çözüm önerisi geliştirilmiştir. Bu amaç kapsamında, ürün frekans değerleri, ürün birliktelik değerleri, depo lokasyon ve ürün boyutları, depolama ve çekme makinesinin seyahat mesafesi gibi kriterler göz önüne alınmıştır. Bu kriterlerin tamamını bir arada ele alan çalışmaların olmaması, tezin özgünlüğünü oluşturmaktadır.

## **OPTIMIZATION OF STORAGE LOCATION ASSIGNMENT IN DEEP-LANE AUTOMATED STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEMS**

### **ABSTRACT**

With regard to the paradigmatic changes observed in the supply chain and logistics within the last decade, the increase in product diversity has also affected customer expectations and has increased the need for fast, safe and cost-effective logistics services. In connection with this situation, the importance of warehouses in the supply chain in logistics activities is more than ever.

Assigning incoming products to a specific location within the warehouse is among the most important activities in terms of storage activities. Assignment of incoming products to appropriate locations provides space efficiency in the warehouse while facilitating the collection of products to be sent according to customer needs. Product assignment in warehouses means the placement of semi-finished or finished products within the warehouse to the most suitable locations, taking into account the criteria such as distance, product access time and warehouse area efficiency to be delivered to the final or intermediate user. In automatic storage and retrieval systems, storage location assignment operations evolve into a highly complex structure according to the characteristics of the systems.

In this sense, the problem of assigning a warehouse location to a location becomes difficult and time-consuming to solve as the complexity increases due to features such as product type and warehouse characteristics. Within the scope of this thesis, a solution proposal has been developed for the problem of storage location assignment in a large-scale and multi-criteria automatic storage and retrieval system within the scope of the application recommended for a real system based on real data. For this purpose, criteria such as product frequency values, product association values, location heights and product heights, travel distance of storage and retrieval machines are taken into consideration. The absence of studies addressing all of these criteria together constitute the originality of the thesis.

## İÇİNDEKİLER

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI .....	i
DOKTORA JÜRİ TUTANAĞI .....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
KISALTMALAR .....	xv
GİRİŞ .....	xvi

## BİRİNCİ BÖLÜM

### LOJİSTİK VE TEDARİK ZİNCİRİNİN DÖNÜŞÜMÜ: PARADİGMAL BİR DEĞİŞİM

1.1. Tedarik Zinciri ve Değer Zinciri İlişkisi .....	26
1.2. Sistem Teorisi Kapsamında Lojistik ve Tedarik Zinciri İlişkisi .....	27
1.3. Temel tanımlar .....	29
1.3.1. İşletme Lojistiği .....	29
1.3.2. Lojistik ve Tedarik Zinciri .....	31
1.3.3. Temel Lojistik Operasyonlar.....	36

## İKİNCİ BÖLÜM

### OTOMATİK DEPOLAMA VE ÇEKME SİSTEMLERİ

2.1. Depolardaki Operasyonların ve Lojistik Süreçlerin Analizi .....	42
2.1.1. Depolarda Temel Kavramları.....	42
2.1.2. Depo Fonksiyonları.....	43

2.1.3.	Depo Süreçleri.....	50
2.2.	Depolarda Performans Kavramı .....	53
2.2.1.	Performans ve Optimizasyon Kavramları.....	53
2.2.2.	Depolarda Temel Performans Göstergeleri.....	56
2.3.	Otomatik Depolama ve Çekme Sistemleri Tanımı.....	61
2.4.	Otomatik Depolama ve Çekme Sistemi Çeşitleri.....	64
2.4.1.	Birim Yük Otomatik Depolama ve Çekme Sistemi.....	65
2.4.2.	Küçük Yük Otomatik Depolama ve Çekme Sistemi.....	66
2.4.3.	Operatör Kabinli Otomatik Depolama ve Çekme Sistemi.....	66
2.4.4.	Çok Derinlikli Otomatik Depolama ve Çekme Sistemi.....	67
2.4.5.	Otomatik Parça Çekme Sistemi .....	68
2.4.6.	Dikey Kaldırma Depolama Modüllü Sistemler.....	68
2.5.	Otomatik Depolama ve Çekme Sistemlerinin Sağladığı Faydalar ve Sistemin Dezavantajları.....	69
2.6.	Otomatik Depolama ve Çekme Sistemlerinde Yük Elleçleme, Aktarma ve Depolama Sistemleri .....	71

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### DEPO LOKASYON ATAMA PROBLEMİNİN TEORİK ALTYAPISI

3.1.	Atama Probleminin Tanımı .....	73
3.1.1.	Depo Operasyonları ile İlgili Karar Problemlerinin Çeşitleri .....	75
3.1.2.	Otomatik Depolama ve Çekme Sistemleri ile ilgili Depo Lokasyon Atama Kararları .....	80
3.1.3.	Otomatik Depolama ve Çekme Sistemlerinde Lokasyon Atama Politikaları.....	82
3.2.	Depo Lokasyon Atama Problemleri İçin Çözüm Yöntemleri .....	86
3.2.1.	Kesin Çözüm Yöntemleri.....	87



3.2.1.1.	Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama.....	87
3.2.1.2.	İkili Tamsayı Programlama .....	88
3.2.1.3.	Doğrusal Olmayan Programlama.....	88
3.2.1.4.	Dal ve Sınır Algoritması.....	88
3.2.2.	Sezgisel Yöntemler .....	89
3.2.3.	Metasezgisel Yöntemler.....	89
3.2.3.1.	Benzetimli Tavlama.....	90
3.2.3.2.	Genetik Algoritmalar .....	91
3.2.3.3.	Parçacık Sürü Optimizasyonu.....	92
3.2.3.4.	Karınca Kolonisi Optimizasyonu.....	92
3.2.3.5.	Yapay Sinir Ağları .....	93
3.2.3.6.	Tabu Arama .....	94
3.2.4.	Benzetim (Simülasyon) Yöntemi.....	95
3.2.5.	Veri Madenciliğine Dayalı Yöntemler.....	96
3.3.	Otomatik Depolama ve Çekme Sistemleri ile İlgili Literatür .....	98
3.3.1.	Otomatik Depolama ve Çekme Sistemleri Kapsamında Genel Yaklaşımlar İle İlgili Literatür.....	98
3.3.2.	Otomatik Depolama ve Çekme Sistemleri Kapsamında Sipariş/Lokasyon Atama/Yeniden Konumlandırma İle İlgili Literatür ..	111

## **DÖRDÜNCÜ BÖLÜM**

### **PROBLEM KAPSAMINDA GELİŞTİRİLEN ALGORİTMANIN KAPSAMI**

4.1.	Genetik Algoritmalar.....	122
4.2.	Genetik Algoritma Terminolojisi .....	124
4.3.	Genetik Algoritmada Kodlama Türleri .....	125
4.3.1.	İkili kodlama .....	126
4.3.2.	Gerçek Sayılı Kodlama (Değer Kodlama) .....	126
4.3.3.	Sıralı (permütasyon) kodlama .....	127

4.3.4.	Veri yapı kodlaması .....	127
4.3.5.	Ağaç Kodlama.....	128
4.4.	Genetik Algoritmanın İşleyişi .....	128
4.4.1.	Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması.....	130
4.4.2.	Eşleştirme Havuzu .....	131
4.4.2.1.	Rulet tekeri seçimi .....	131
4.4.2.2.	Turnuva seçimi .....	132
4.4.2.3.	Elitizm.....	132
4.4.2.4.	Ölçeklendirme.....	133
4.4.3.	Çaprazlama.....	133
4.4.4.	Mutasyon Operatörü.....	136
4.4.5.	Uygunluk Derecesinin Belirlenmesi .....	138
4.4.6.	Döngünün Sonlandırılması .....	138
4.4.7.	Genetik Algoritma İçin Harem Yönteminin Kullanılması.....	139

## **BEŞİNCİ BÖLÜM**

### **DEPO LOKASYON ATAMA OPERASYONUNUN GELİŞTİRİLEN MODEL İLE OPTİMİZASYONU**

5.1.	İşletme Yapısı.....	142
5.2.	İşletme Bulunan Otomatik Depolama ve Çekme Sisteminin İşleyişi .....	143
5.3.	Depo Lokasyon Atama Sırasında Yaşanan Problemler.....	143
5.4.	Çalışmanın Kapsamı ve Kısıtları.....	143
5.5.	Depo Lokasyon Atama Probleminin Yapısı.....	150
5.6.	Depo Lokasyon Atama Problemi Çözümüne Yönelik Matematiksel Modelin Açıklanması.....	153
5.7.	Depo Lokasyon Atama Optimizasyonu için Genetik Algoritma Yöntemi ....	174
5.7.1.	Kromozomların Tasarımı .....	174

5.7.2.	Başlangıç Popülasyonunun Belirlenmesi.....	175
5.7.3.	Harem Yapısının Oluşturulması.....	175
5.7.4.	Bireylerin Çaprazlanması.....	175
5.7.5.	Mutasyon Yönteminin Belirlenmesi .....	176
5.7.6.	Çevrimin Sonlandırılması .....	178
5.8.	Gerçek Veriler İle Modelin Çalıştırılması.....	178
5.8.1.	Modelin Çalıştırılması.....	178
5.8.2.	Bulguların Değerlendirilmesi.....	182
5.8.2.1.	250 Döngüde Ortaya Çıkan Sonuçlar .....	182
5.8.2.2.	500 Döngüde Ortaya Çıkan Sonuçlar .....	183
5.8.2.3.	750 Döngüde Ortaya Çıkan Sonuçlar .....	184
5.8.2.4.	1000 Döngüde Ortaya Çıkan Sonuçlar .....	184
5.8.2.5.	1250 Döngüde Ortaya Çıkan Sonuçlar .....	185
5.8.2.6.	1500 Döngüde Ortaya Çıkan Sonuçlar .....	186
5.8.2.7.	1750 Döngüde Ortaya Çıkan Sonuçlar .....	186
5.8.2.8.	2000 Döngüde Ortaya Çıkan Sonuçlar .....	187
5.8.2.9.	1000 Döngü ve 500 Denemede Ortaya Çıkan Sonuçlar .....	189
<b>SONUÇ</b> .....		<b>190</b>
<b>KAYNAKÇA</b> .....		<b>193</b>
İnternet Kaynakları .....		211
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....		<b>219</b>

## TABLULAR LİSTESİ

<b>Tablo 1:</b> Tedarik zinciri makro süreçleri.....	36
<b>Tablo 2:</b> Depo sistemleri ile ilgili temel veriler .....	58
<b>Tablo 3:</b> Depo sistemleri ile ilgili anahtar performans göstergeleri.....	59
<b>Tablo 4:</b> OD/ÇS kapsamındaki genel literatür çalışmaları.....	111
<b>Tablo 5:</b> OD/ÇS Kapsamında Sipariş/Lokasyon ve Atama/Yeniden Konumlandırma İle İlgili Literatür .....	121
<b>Tablo 6:</b> Örnek ürün kodu ve frekans değeri tablosu.....	159
<b>Tablo 7:</b> OD/ÇS'nin X veY koordinatlarındaki hız değerleri.....	161
<b>Tablo 8:</b> D/Ç makinelerinin lokasyon bazında ulaşım süreleri.....	165
<b>Tablo 9:</b> Depo lokasyonlarının ulaşım değerleri.....	165
<b>Tablo 10:</b> Örnek bir birliktelik değer tablosu.....	167
<b>Tablo 11:</b> Örnek ürün birliktelik endeksi tablosu.....	168
<b>Tablo 12:</b> Ürün birliktelik endekslerine göre ürünlerin atanacağı koridorlarda alacağı puan tablosu.....	169
<b>Tablo 13:</b> 5 ürün ve 5 depo lokasyonu için örnek gösterim.....	169
<b>Tablo 14:</b> Tek derinlikteki ve tek yükseklikteki bir yapı için kromozom örneği.....	174
<b>Tablo 15:</b> Çaprazlamada ilk bireyin oluşumu .....	176
<b>Tablo 16:</b> Mutasyona uğrayacak genlerin seçimi ve mutasyonun uygulanışı, mutasyon:5 .....	176
<b>Tablo 17:</b> Uygunluk fonksiyonuna göre ortaya çıkan örnek bir kromozom yapısı .....	177
<b>Tablo 18:</b> Test aşaması için uygulanan döngü ve test sayıları .....	178
<b>Tablo 19:</b> Uygulamaya ait parametrik veriler .....	188

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: Tedarik zinciri yönetiminin (TZY) gelişimi.....	25
Şekil 1.2: Değer zinciri modeli.....	26
Şekil 1.3: Temel bir sistem ve unsurları .....	27
Şekil 1.4: Lojistik ve sistem yaklaşımı ilişkisi .....	29
Şekil 1.5: İşletme lojistiği genel yapısı.....	30
Şekil 1.6: Ekonomi ve işletme çerçevesi kapsamındaki temel ürün akış faaliyetleri.....	31
Şekil 1.7: Lojistik kavramı .....	33
Şekil 1.8: Tedarik zinciri yönetimi, lojistik yönetimi ve dağıtım ilişkisi .....	34
Şekil 1.9: Örnek bir tedarik zinciri yapısı.....	36
Şekil 1.10: Lojistik Yönetimi Bileşenleri .....	38
Şekil 1.11: Temel lojistik operasyonlar .....	39
Şekil 1.12: Lojistik yönetimi süreci.....	41
Şekil 2.1: Depoların tedarik zinciri ağı içerisindeki rolleri .....	44
Şekil 2.2: Konsolidasyon işlemi .....	47
Şekil 2.3: Dökme yük ayrıştırma işlemi .....	47
Şekil 2.4: Çapraz sevkiyat işlemi .....	48
Şekil 2.5: Ürün karması .....	48
Şekil 2.6: Montaj işlemi.....	49
Şekil 2.7: Lojistik sistem içerisindeki maliyet ilişkisi .....	50
Şekil 2.8: Depolama süreçleri.....	52
Şekil 2.9: Tipik bir OD/ÇS yapısı .....	63
Şekil 2.10: OD/ÇS'ler için genel bir sınıflandırma yapısı.....	64
Şekil 2.11: Birim yük OD/ÇS tipi .....	65
Şekil 2.12: Küçük yük OD/ÇS tipi .....	66
Şekil 2.13: Operatör kabinli bir OD/ÇS .....	67
Şekil 2.14: Çok Derinlikli bir OD/ÇS.....	68
Şekil 2.15: Dikey depolama sistemleri .....	69
Şekil 3.1: Depo tasarımı ve operasyonu ile ilgili problemler .....	77

<b>Şekil 3.2:</b> Otomatik depolama ve çekme sisteminin tasarımı için karar yapıları .....	78
<b>Şekil 3.3:</b> D/Ç makinelerinin iki seyahat tipi.....	80
<b>Şekil 3.4:</b> Üç sınıf için tipik alan konumlandırma.....	84
<b>Şekil 3.5:</b> Dikdörtgen bir depo için potansiyel bölgeler .....	85
<b>Şekil 3.6:</b> Depo Lokasyon Atama Problemleri için Çözüm Yöntemleri .....	87
<b>Şekil 3.7:</b> Standart tabu arama algoritması akış şeması.....	95
<b>Şekil 4.1:</b> Bir bireydeki kromozom, gen ve mutasyon gösterimi .....	125
<b>Şekil 4.2:</b> İkili kodlama gösterimi .....	126
<b>Şekil 4.3:</b> Gerçek sayılı kodlama gösterimi .....	127
<b>Şekil 4.4:</b> Permütasyon Kodlanan Bir Kromozom .....	127
<b>Şekil 4.5:</b> Ağaç Kodlama gösterimi.....	128
<b>Şekil 4.6:</b> Genetik algoritmaların işleyiş adımları .....	130
<b>Şekil 4.7:</b> Rulet tekeri seçimi örneği.....	132
<b>Şekil 4.8:</b> Kesikli çaprazlama örneği .....	134
<b>Şekil 4.9:</b> Basit çaprazlama örneği .....	134
<b>Şekil 4.10:</b> Aritmetik çaprazlama örneği .....	135
<b>Şekil 4.11:</b> Lineer çaprazlama örneği .....	135
<b>Şekil 4.12:</b> Düz çaprazlama örneği.....	135
<b>Şekil 4.13:</b> Genişletilmiş doğru çaprazlama örneği.....	136
<b>Şekil 4.14:</b> Wright'ın sezgisel çaprazlaması örneği .....	136
<b>Şekil 4.15:</b> Ekleme mutasyonu .....	137
<b>Şekil 4.16:</b> Ters çevirme mutasyonu .....	137
<b>Şekil 4.17:</b> Yer değiştirme mutasyonu.....	137
<b>Şekil 4.18:</b> Nokta mutasyonu.....	138
<b>Şekil 5.1:</b> Depo tasarım ve operasyon çerçevesi .....	142
<b>Şekil 5.2:</b> OD/ÇS'nin 1. katı.....	145
<b>Şekil 5.3:</b> OD/ÇS'nin 2. katı.....	146
<b>Şekil 5.4:</b> OD/ÇS'nin 3. katı.....	147
<b>Şekil 5.5:</b> OD/ÇS'nin 4. katı.....	148
<b>Şekil 5.6:</b> OD/ÇS'nin 5. Katı.....	149
<b>Şekil 5.7:</b> Besleme konveyörleri.....	150

<b>Şekil 5.8:</b> Geçiş konveyörleri .....	151
<b>Şekil 5.9:</b> D/Ç makinesi hattı.....	151
<b>Şekil 5.10:</b> Düşüş konveyörleri .....	152
<b>Şekil 5.11:</b> Mevcut OD/ÇS yapısının örnek gösterimi .....	152
<b>Şekil 5.12:</b> D/Ç makinesi için 1. Durum.....	162
<b>Şekil 5.13:</b> D/Ç makinesi için 2. Durum.....	163
<b>Şekil 5.14:</b> D/Ç makinesi için 3. Durum.....	163
<b>Şekil 5.15:</b> Problemlerin karmaşıklık sınıflandırmaları .....	171
<b>Şekil 5.16:</b> Problemin çözümüne yönelik oluşturulan çerçeve.....	173
<b>Şekil 5.17:</b> Sonuç değerinin uygun popülasyon için gösterimi (250 döngü).....	179
<b>Şekil 5.18:</b> Sonuç değerinin uygun mutasyon değeri için gösterimi (250 döngü - 500 popülasyon).....	179
<b>Şekil 5.19:</b> Sonuç değerinin uygun mutasyon değeri için gösterimi (250 döngü - 500 popülasyon).....	180
<b>Şekil 5.20:</b> Sonuç değerinin uygun mutasyon sayısı için gösterimi (250 döngü - 500 popülasyon - 0,4 mutasyon oranı).....	181
<b>Şekil 5.21:</b> Sonuç değerinin uygun harem büyüklüğü için gösterimi (250 döngü - 500 popülasyon - 0,4 mutasyon oranı).....	182
<b>Şekil 5.22:</b> 250 döngüde 50 deneme için en iyi değerlerin gösterimi .....	183
<b>Şekil 5.23:</b> 500 döngüde 50 deneme için en iyi değerlerin gösterimi .....	183
<b>Şekil 5.24:</b> 750 döngüde 50 deneme için en iyi değerlerin gösterimi .....	184
<b>Şekil 5.25:</b> 1000 döngüde 50 deneme için en iyi değerlerin gösterimi .....	185
<b>Şekil 5.26:</b> 1250 döngüde 50 deneme için en iyi değerlerin gösterimi .....	185
<b>Şekil 5.27:</b> 1500 döngüde 50 deneme için en iyi değerlerin gösterimi .....	186
<b>Şekil 5.28:</b> 1750 döngüde 50 deneme için en iyi değerlerin gösterimi .....	187
<b>Şekil 5.29:</b> 2000 döngüde 50 deneme için en iyi değerlerin gösterimi .....	187
<b>Şekil 5.30:</b> Ortalama sonuç değerlerinin döngü sayıları için gösterimi (500 popülasyon - 0,4 mutasyon oranı - 30 harem büyüklüğü - 9 mutasyon sayısı).....	188
<b>Şekil 5.31:</b> Başlangıç ve sonuç değerlerinin 500 deneme için gösterimi (1000 döngü) .....	189

## KISALTMALAR

**APICS-** American Production and Inventory Control Society

**CSCMP-** The Council of Supply Chain Management

**ÇTZ-** Çok terimli zaman (*Polinomia Time*)

**ÇTZO-** Çok terimli zamanda belirli olmayan (*Non-deterministic Polinomial*)

**D/Ç-** Depolama/Çekme Birimi (*Storage/Retrieval Unit*)

**GA-** Genetik Algoritma (*Genetic Algorithm*)

**G/Ç-** Girdi/Çıktı İstasyonu (*Pick-up/Deposit Stations*)

**ISM-** The Institute for Supply Management

**İĞİÇ-** İlk giren ilk çıkar (*FIFO First in First Out*)

**TZÜ-** Tam Zamanında Üretim (*Just in Time*)

**KKO-** Karınca Kolonisi Optimizasyonu (*Ant Colony Optimization*)

**OD/ÇS-** Otomatik Depolama ve Çekme Sistemleri (*Automated Storage and Retrieval Systems*)

**PSO-** Parçacık Sürü Optimizasyonu (*Particle Swarm Optimization*)

**RFT-** Radyo Frekansı ile Tanımlama (*Radio Frequency Identification*)

**SGİÇ-** Son giren ilk çıkar (*LIFO-Last in First Out*)

**SLAP-** Depo Lokasyon Atama Problemi (*Storage Location Assignment Problem*)

**TZY-** Tedarik Zinciri Yönetimi (*Supply Chain Management*)

**YSA-** Yapay Sinir Ağları (*Artificial Neural Network*)

**3PL-** 3. Parti Lojistik (*3. Party Logistics*)

**4PL-** 4. Parti Lojistik (*4. Party Logistics*)



## GİRİŞ

Rekabetçi çevre yapısı günümüzde işletmeleri müşteriye odaklı hale getirmiş bu nedenle talep edilen ürünlerin doğru yerde doğru zamanda ve doğru miktarda müşterilere ulaştırılması ile bu rekabetçi yapılarını koruyabilecekleri ortaya çıkmıştır. Fiziksel ürünlerin dağıtımı bu anlamda büyük önem arz etmekle beraber, işletmeler aynı zamanda ürünlerin saklanması, korunması ve satışa hazır hale gelene kadar katma değer oluşturulan alanlara ihtiyaç duymuşlardır. Bu alanların genel adı olan depolar ise tedarik zinciri sisteminde ve lojistik sisteminde müşteri hizmetinin en düşük toplam maliyetle sağlandığı faaliyet alanı olarak karşımıza çıkmaktadır (Lambert vd. 1998). Depolama faaliyetleri ise makro ölçekte işletmelerin stratejik kararları içerisinde yer alırken, mikro ölçekte operasyonel kararların verildiği faaliyet alanlarıdır. Depolama faaliyetlerinin müşteri ihtiyaçlarını en üst seviyede karşılaması, işletme karlılığını yükseltmesi ve bu süreçlerin iyileştirilmesi ve etkin yönetilmesi için işletmelerin çeşitli kararlar alması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Depo tasarımı ve depo operasyon kararları ise müşteri ihtiyaçlarının üst düzeye çıkartılması için odaklanılan önemli noktalar arasında yer almaktadır.

Günümüzde artan ticaret hacmi ve buna bağlı olarak küresel taşımacılıkta gerçekleşen operasyonların artması, makro anlamda küresel tedarik zincirlerini ve lojistik operasyonlarını etkilerken aynı zamanda mikro anlamda lojistik operasyonlarını da etkilemektedir. Bu anlamda depo operasyonları, kısa ürün yaşam döngüleri, karmaşık küresel tedarik zinciri yapıları gibi değişkenlerden etkilenmektedir. Hızlı bir şekilde değişen müşteri talep yapıları, ürün yaşam eğrilerini değiştirmekte bu durum ise tüm tedarik zincirini etkilemektedir.

Ürünlerin depolanması ve müşteri taleplerine göre katma değer katılarak son müşteriye ulaştırılması için hazırlanması hem depo yönetimi açısından hem de depo yöneticileri açısından takip edilmesi karmaşık ve yönetilmesi zor süreçler olarak karşımıza çıkmaktadır. Tedarik zinciri sistemlerindeki lojistik hizmet sağlayıcılar, bir yandan rekabetçi yapılarını korumak için maliyetleri göz ardı etmemeye; bir yandan da sıklıkla

değişen müşteri talep yapılarına uyum sağlamaya çalışmaktadırlar. Bu nedenle geleneksel depo sistemlerinden otomatik depo sistemlerine bir geçiş görülmekte, böylelikle hem depo performansında artış hem de tüm tedarik zinciri performansında bir iyileşme gerçekleştirilmeye çalışılmaktadır. Depo yöneticilerinin bir yandan maliyetleri düşük tutmaya çalışmaları bir yandan da hızlı değişen ürün çeşitliliği içerisinde ürünlerin yerleşimi, ürünlerin depolardan aktarma alanlarına gönderilmesi, ürün sınıflandırılmalarının gerçekleştirilmesi gibi pek çok kararı almaları gerekmektedir. Dinamik yapıdaki bu sistemlerde ürünlerin uygun yerlere yerleştirilmesi, ürün çıkışlarının optimize edilmesi, ürünlerin sınıflandırılarak atamasının yapılması gibi konular tüm depo performansını etkileyecek operasyonlar olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu anlamda tezin amacı, çok derinlikli bir otomatik depolama ve çekme sistemi kapsamında ürünlerin en uygun depo lokasyonlarına atanması operasyonunun optimize edilmesidir. Gerçek verilere dayalı ve gerçek bir sistem için önerilen algoritma ile büyük ölçekli bir otomatik depolama ve çekme sistemi içerisinde depo lokasyon atama problemi için çözüm önerisi geliştirilmiştir. Bu kapsamda ürün frekans değerleri, ürün birliktelik değerleri, depo lokasyon ve ürün yükseklikleri, depolama ve çekme makinesinin seyahat mesafesi gibi kriterler göz önüne alınmıştır. Depo lokasyon atama faaliyetinin operasyonel açıklamasının yapılmasından sonra bu problemin matematiksel ifadesi değerlendirilmiş ve konu ile ilgili literatür taraması kapsamında bu problem için kullanılan çözüm yöntemleri araştırılmıştır. Çalışmada ele alınan otomatik depolama sistemi çok derinlikli bir yapıya ve farklı depo raf yüksekliklerine sahiptir. Ayrıca ataması gerçekleştirilecek ürünlerin rafta kalma süreleri ve yükseklikleri de farklılıklar göstermektedir. Bu anlamda çalışmada ele alınan diğer kriterlerle beraber bu kriterlerin de kullanılması çalışmayı literatürdeki problemlerden ve uygulamalardan farklı kılmaktadır. Çalışmanın literatüre olan bir diğer katkısı da depo yönetim sistemi içerisinde ortaya çıkan büyük verinin de veri madenciliği kapsamında değerlendirilerek, ürün bazlı birliktelik kuralları ile ürün ve koridor eşleşmelerinin sağlanmasıdır. Bu sayede ürün çekme operasyonlarının hızlandırılması ile müşteri memnuniyetinin artırılması planlanmıştır.

Çalışmada genetik algoritma, metasezgisel bir optimizasyon yöntemi olarak kullanılmıştır. Genetik algoritmalar, farklı problem yapılarına göre tasarlanan ve olası çözümleri belirten kromozomların, çaprazlamalar ve mutasyonlar ile farklı genlerin ortaya çıkartılarak en uygun çözümün (kromozomun) bulunması aşamalarını içermektedir. Tez kapsamında genetik algoritma yönteminin, literatürde farklı canlı sistemlerinde gözlemlenen harem yapısı ile birleştirilerek performansının artırılması planlanmıştır. Literatürde depo lokasyon atama probleminin çözümü için kullanılan az sayıda çalışma olmasına karşı, bu iki yöntemi içeren bir problem yapısı bulunmamaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışmanın bu yönüyle de ilgili alana katkı sağlaması beklenmektedir.

Çalışmanın sonuçları değerlendirildiğinde ise önerilen algoritma, çözüm süresi bakımından işletmenin süre kısıtları göz önüne alındığında makul sürelerde olmasına karşı çeşitli iyileştirmeler yapılarak geliştirilmeye açıktır. Ayrıca, ortaya çıkan en iyi sonuç değerleri, model için kullanılan metrik açısından değerlendirildiğinde ürünlerin en uygun lokasyonlara yerleşiminin sağlandığı belirtilebilir.

Çalışmanın birinci bölümünde lojistik ve tedarik zinciri kavramları ve bu kavramlarla ilişkili terimler açıklanmıştır. Bu bölümde, lojistik ve tedarik zincirinin dönüşümü, tedarik zinciri kavramının değer zinciri ve sistem teorisi ile ilişkisi anlatılmaktadır. İkinci bölümde ise depolardaki operasyonlar ve süreçler, depolarda performans kavramı, otomatik depolama ve çekme sistemleri ve çeşitleri anlatılmıştır. Üçüncü bölümde depo lokasyon atama probleminin teorik altyapısı, detaylı bir literatür taraması kapsamında incelenmiştir. Bu bölümde problemin çözümünde kullanılan yöntemler de anlatılmıştır. Dördüncü bölümde problem kapsamında geliştirilen algoritmanın kapsamı detaylandırılmıştır. Son bölümde gerçek verilere dayalı bir depo lokasyon atama probleminin çözümü geliştirilen algoritma ile detaylandırılmıştır. Bu bölümde farklı denemeler sonucunda ortaya çıkan çözümlerin performansları karşılaştırılmıştır.

## BİRİNCİ BÖLÜM

### 1. LOJİSTİK VE TEDARİK ZİNCİRİNİN DÖNÜŞÜMÜ: PARADİGMAL BİR DEĞİŞİM

İşletmelerin iş yapış biçimlerindeki değişimler çok kısa zaman dilimleri içerisinde gerçekleşmemiştir. Ürün odaklı yapılardan müşteri odaklı yapılara geçişler ve bu geçiş evrelerinde iş yapış biçimlerinin değişmesi, çeşitli düşünce yapılarının değişimi ile mümkün olmuştur. Bu değişim gereklilikleri arasında ise müşterinin tüm süreç içerisindeki öneminin artması, kısalan ürün yaşam eğrileri, teknolojik gelişmeler, küresel bir hale gelen işletmeler, pazarlar ve artan rekabet sayılabilir. Lojistik ve tedarik zinciri kavramlarının tanımları sonraki bölümlerde yapılacaktır. Fakat bu tanımlardan önce makro anlamda devletler, mikro anlamda ise işletmeler için yadsınamaz hale gelen lojistik ve tedarik zinciri yapılarında meydana gelen değişimler ve temel sebepleri üzerinde durmakta fayda vardır.

Bowersox vd. (2000: 3-13), tedarik zincirinde devrimsel bir yapı oluşturacak on büyük eğilim olarak şunları ortaya koymuştur:

- Müşteri hizmetlerinden müşteri ilişkileri yönetimine geçiş: Geleneksel müşteri hizmetleri yapısı mevcut işletme faaliyetlerini ve amaçlarını yerine getirme üzerine kurulu iken, gerçek bir ilişkisel tedarik zinciri yapısı, müşteri başarısı üzerine kurulmaktadır. Bir müşteri için yerinde ve zamanında teslim performansı yeterli iken diğer bir müşteri içinse, bu süreçte farklı bir performans kriterine odaklanabilmektedir. Bu durum, süreçlerin ve zincirlerin müşteriden müşteriye farklılık gösterebildiğini ortaya koymaktadır.
- Çekişmeli bir yapıdan katılımcı bir yapıya geçiş: Bilgi paylaşımının kısıtlı olmasının, zincir içerisinde yeterli bilginin paylaşılmasının veya bilgi asimetrisinden kaynaklanan dezavantajların işletmeler için kısa dönemli getiriden başka bir duruma yol açmadığı görülmektedir. Bununla beraber sistem

entegrasyonu içerisinde ve bilgi alışverişinin üst düzeyde gerçekleştiği yapılarda aynı amaçların sağlanmasının daha kolay hale geldiği belirtilmiştir.

- Ön planlamadan son planlamaya: Bilgi alışverişi ile ilgili, üzerinde durulan bir diğer nokta ise, yapılan tahminlerin zincir içindeki diğer katılımcılar tarafından bilinen günlük planlamalardan ziyade son kullanıcıya hizmet edecek şekilde planlanması ve uygulanmasıdır.
- Tecrübeden geçiş stratejisine: İşletmeler, tecrübeleri ile değişen koşullara adapte olmaya çalışmaktadırlar. Bununla beraber işletmeler karşılaştıkları yeni durumlar ve değişimler karşısında geçmiş tecrübeleri ile gelişen yapıları ne şekilde değerlendireceklerini bilememektedirler. İşletmelerin bu gibi durumlarda yeni süreçler ve iş yapış biçimleri geliştirmek zorunda kaldıkları belirtilmektedir.
- Kesin değerden görece değere: Pazar payı kavramı, işletmeler için geleneksel anlamda bir başarı kriteri olarak ele alındığından, ortaya çıkan pazar baskısı karşısında işletmeler, maliyetlerde oynamalar yaparak satışlarını artırma yolunu seçmektedirler. Dolayısı ile maliyetlerdeki bu oynamaların, aslında işletmelerin marjinal kârlarında erimeye yol açtığı belirtilmiştir.
- Fonksiyonel yapıdan süreç entegrasyonuna: İşletme içi etkinliğin artırılmasındaki en önemli durumun departmanlı yapılardan, süreç merkezli, kendi kendine yönetilen iş takımlarına geçiş olduğu belirtilmiştir. İşletmeler içinde satın alım, üretim, pazarlama ve lojistik fonksiyonları her ne kadar kendi içlerinde entegrasyonu sağlayabilseler de, bu yapılar birbirleri ile olan entegrasyonu daha çok sağlamalıdır. Bununla beraber, tedarik zinciri içindeki yapılarda özellikle hizmet sağlayıcıları ile entegrasyon oluşturulmalı, ortak beklentiler ve amaçlar netleştirilmelidir.
- Dikey yapıdan sanal entegrasyona: Fordist bir düşünce yapısı ile sistemin tümüne sahip olarak israfı azaltmak ve dikey bir tedarik zinciri yapısı oluşturmak geleneksel anlamda düşünülen, fakat günümüzde uygulanması bir o kadar zor bir düşünce yapısıdır. Bu dikey yapı için gerekli olacak yatırım miktarının yüksekliği ve sistemi kontrol etmenin zorluğu, bu sistemin uygulanabilirliğini ortadan kaldırmaktadır. Sanal olarak sağlanacak entegre bir

yapının finansal anlamda sistem içindeki katılımcıları yükten kurtaracağı belirtilmiştir. Ayrıca, 3. parti lojistik (3PL) işletmelerinin kullanımı fiziksel dağıtım ve diğer lojistik faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi kapsamında dış kaynak ile sağlanırken, bilgiye dayalı karar mekanizmalarının da sisteme dış kaynak kapsamında entegrasyonunun sağlanması, işletmeleri sanal bir yapıya taşımaktadır.

- Bilgi istifinden bilgi paylaşımına: İşletmelerin hem kendi bünyelerinde hem de zincir içinde biriken verinin en uygun şekilde kullanımını ve paylaşımını sağlaması, bu sayede biriken bilgi yığınlarından elde edilen bilginin tüm zincir için kullanılması ve işletmeler için bir kaldıraç görevi görmesi sağlanmalıdır.
- Eğitimden bilgi tabanlı öğrenmeye: Çalışanların eğitimi hem maliyetler hem de zaman açısından yöneticiler için bir kısıt oluşturmaktadır. Bununla beraber, bireysel yetkinliklerin geliştirilmesi ile bu yetkinliklerin tüm sistem içindeki yapıya aktarılması beklenmektedir. Bir sürücünün sürüş tekniklerini tüm yönleri ile bilmesi beklenmekle beraber aynı zamanda tüm yapı içinde amaçlar, dinamikler ve ölçümler hakkında da bilgi sahibi olması tasarlanmakta ve süreç içindeki faaliyetlerde meydana gelebilecek aksaklıklara karşı çözümleyici bir yapı oluşturması beklenmektedir.
- Yönetimsel muhasebeden değer tabanlı yönetime: Geleneksel maliyetlendirme sistemlerinin, faaliyet tabanlı maliyetlendirme sistemi gibi esnek olmadığına altı çizilmiş, faaliyet tabanlı maliyetlendirme sisteminin hem işletmelerin iç ve dış faaliyetlerinin maliyetlendirilmesi noktasında hem de yöneticilerin stratejik kararlarının desteklenmesi noktasında etkili olduğu belirtilmiştir.

Yukarıda belirtilen düşüncelerin de geçen on sene içerisinde değiştiği gözlemlenebilmektedir. Çoklu yapıların ve çok fonksiyonlu sistemlerin birbiri ile entegrasyonunun sağlanması tedarik zinciri yapılarının performansının artmasında önemli bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır. Yukarıda da belirtildiği gibi uzun süreli tedarikçi-müşteri yapılarının oluşturulması, yönetimsel yapıların sınırlarının sadece departmanlar içinde değil fonksiyonlar dışında, departmanlar üstü bir yapıya bürünmesi

ile işletme ve ürün odaklı yapıların yerini ağ yapılarının etkinliğine ve müşteri odaklı yapılara bırakmıştır.

Genel anlamda teknolojinin ve bilgi iletişim teknolojilerinin gelişmesi ve bu gelişmeye paralel olarak tedarik zinciri yapıları içerisinde kullanılması, sadece tüketicilerin veya müşterilerin geleneksel düşünce sistemlerinde değişikliklere yol açmakla kalmamış aynı zamanda işletmelerin de geleneksel yapılarında değişikliklere yol açmıştır. Teknolojinin ve ilgili araçların kullanımı; tedarik zinciri içerisinde görünürlüğü, partnerler arasındaki entegrasyonu ve bilgi alışını hızlandırmıştır. Geleneksel anlamda gerçekleşen ve ikili bir sistem teşkil eden yapıların yerini karmaşık ağlar almış, ürün yönetimi odaklı bir yapıdan uzaklaşan sistemler ise müşterinin, bilgi paylaşımının ve entegrasyonun odakta olduğu bütüncül bir yapıya bürünmüştür.

Lojistik kavramının arkasındaki itici güçler olarak maliyetler, ortaya konan hizmetler, hız, bilgi teknolojileri entegrasyonu, küreselleşme gibi faktörler sıralanmış, bunların arasında en etkili dengenin ise maliyetlere karşı müşteri hizmetleri dengesi olduğu belirtilmiştir (Rushton vd., 2006: 63). Bu dengeleme yapısı içerisinde işletmeler

- Müşteri hizmet beklentilerinin değişmesi,
- Tedarik zinciri içerisindeki zaman kavramının zincire olan baskının artması,
- Pazarların ve endüstrilerin küreselleşmesi,
- Organizasyonel yapıların değişmesi,
- Teknolojinin gelişmesi buna bağlı olarak lojistik ve tedarik zinciri içinde kullanılması

gibi etkenlerle karşı karşıya kalmıştır. Lojistik ve tedarik zinciri kapsamında gerçekleşen bu paradigmal değişimler sadece bu noktalarla sınırlı kalmayıp ayrıca tedarik zinciri yapıları içerisinde de değişimlere sebep olmuş ve *çevik tedarik zinciri*, *yalın tedarik zinciri*, *yeşil tedarik zinciri* gibi kavramların da tartışılmasına yol açmıştır.

Tedarik zinciri ve lojistik kapsamındaki paradigmal değişimlerin temel sebepleri Rushton vd. (2006)'nin belirttiği noktalar üzerinden değerlendirilebilir. Yazarlar, dış çevre, imalat ve tedarik, dağıtım, perakende ve müşteri ekseninde bu değişimlerin sebeplerini açıklamaya çalışmışlardır.

Dış çevre yapısının değişmesi, ülkeler arasındaki sınırların ticari anlamda ortadan kalkmaya başlaması, serbestleşme ve ticari anlaşmalar, işletmeler için yeni pazarlar ve müşteriler anlamına gelirken, tüketiciler ve son kullanıcılar için ise daha fazla yeni ürün ve hizmet seçeneği anlamına gelmektedir. İşletmeler ve tedarik zinciri-lojistik kapsamında bakıldığında ise bu durum müşteriye ulaşma noktasında yeni ve karmaşık ağ yapıları ile hızlı, güvenilir ve tam zamanında bir bilgi, ürün ve nakit akışı gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Pazar yapılarının ve dış çevrenin değişimi ile beraber üretim teknolojileri, hammadde tedariki ve üretim alanlarında yaşanan değişiklikler, tedarik zinciri ve lojistik kavramlarının gelişmesinde etkili olmuştur. Yeni üretim teknolojilerinin geliştirilmesi, ürün prototiplerinde maliyetleri azaltmak için kullanılan 3 boyutlu yazıcılar, küresel standartlarda üretim, küresel tedarik anlayışının ortaya konması, odaklanmış fabrikalar gibi konular, üretim yapılarının dolayısı ile tüm zincirin etkilenmesine sebep olmuştur. Bu kapsamda bir örnek olarak çevik tedarik zinciri paradigması, beklenmedik biçimde değişen müşteri taleplerine hızlı bir şekilde cevap vermek için ortaya konulmuş bir felsefe olarak karşımıza çıkmaktadır.

Dış kaynak kullanımı, 3PL ve 4. parti lojistik (4PL) kavramları, dağıtım ve tüm zincirin entegrasyonu noktasında önemli birer kaynak olmuştur. 3PL işletmelerinin sağladığı ve işletmelerin kendi bünyelerinde gerçekleştirmek yerine dış kaynak olarak almak istedikleri hizmetleri ve operasyonları bir adım ilerisine taşıyan 4PL işletmeleri, hizmet alacak işletmelerin tedarik zinciri yapısını bütüncül bir şekilde ele alarak bilgi sistemi, finansal yapı ve dağıtım altyapısı oluşturmaya odaklanmıştır.

Bu kapsamda bir dönüşümün yaşandığı bir diğer nokta da envanter yapıları ve stok konuları olmuştur. Tam zamanında üretim (TZÜ) felsefesi ve tedarikçi yönetimli envanter politikaları işletmelerin stoklarını kontrol altında tutma politikaları geliştirmelerine ve aynı zamanda zincir içindeki dağıtım merkezleri ve depolar ile etkin bir akış sağlanmasına olanak sağlamıştır.

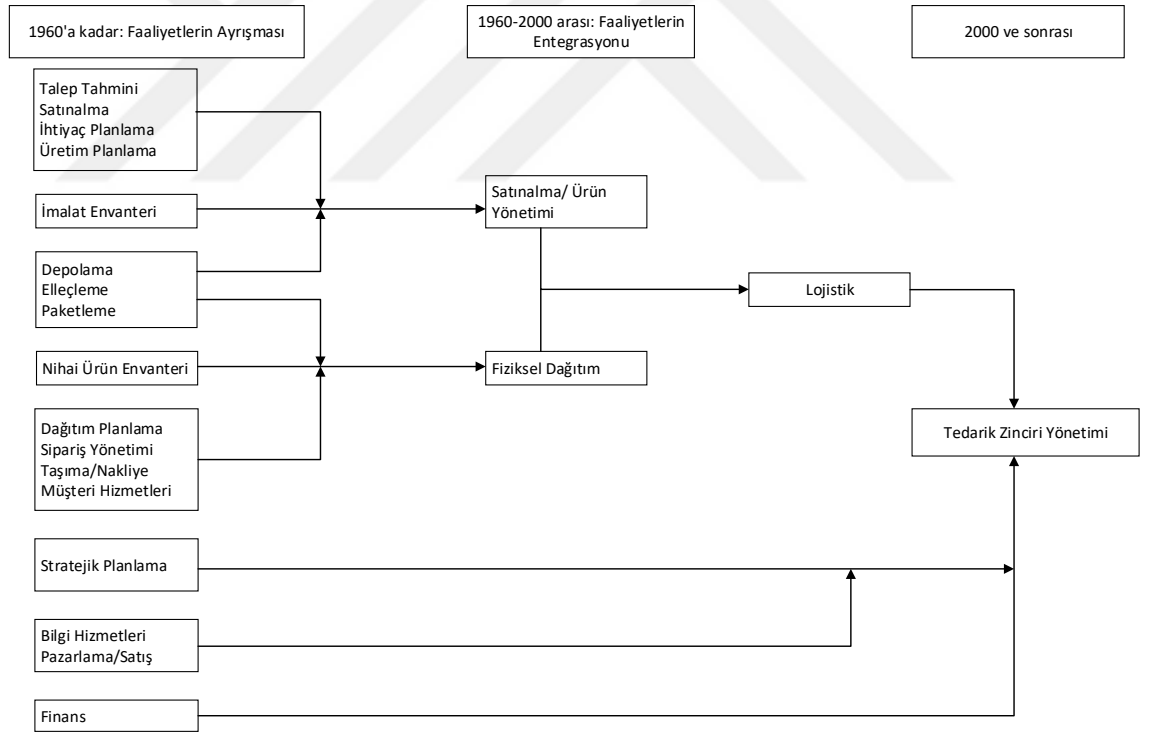
Tedarik zinciri ve lojistik kapsamındaki bu paradigmal değişimin ana etkeninin tüketici olduğu rahatlıkla söylenebilir. Bu durum aslında zincir içindeki tüketici kavramının



sadece bireysel tüketiciler değil aynı zamanda birbirinin tedarikçisi olan tüketicileri de kapsamasından kaynaklanmaktadır. Tedarik zinciri ve lojistik ağı içindeki tüketiciler ve hizmet alıcıların benzersiz ve zincir içindeki diğer yapılardan bağımsız taleplerine, zincir içindeki diğer katılımcıların verdikleri tepki farklı olmaktadır. Yapıların bu anlamda talep zinciri yönetimi yaklaşımına evrildiğinden söz edilmektedir (Rushton vd, 2006: 79). Lojistik ve tedarik zinciri kavramı kapsamındaki değişim evrelerinin kısa bir incelemesi ise aşağıda yapılmıştır.

Heskett vd. (1973:5) lojistik kavramının köklerinin ilk insana kadar uzandığını belirtmiş, bu alanın gelişiminin ise 1950'leri bulduğunu belirtmiştir. Ballou (2006: 379) ise aynı çerçevede lojistik kavramının 1950'lerden önce askeri amaçlı alım, bakım ile tesislerin, ekipmanların ve personelin taşınmasını amaçladığını belirtmiştir. Rushton vd. (2006: 7) 1950 ve 1960'lı yılların başlarından dağıtım sistemlerindeki durumun plansız bir yapıda olduğunu belirtmiş, ürünlerin plansız bir şekilde alıcı ile buluştuğunu ve dağıtım kanalları arasında ise herhangi bir gerçek bağlantının olmadığını belirtmiştir. Ballou (2006: 377) ve Rushton vd. (2006: 7) lojistik ve tedarik zinciri kavramlarından önce fiziksel dağıtım kavramının tartışıldığını belirterek fiziksel dağıtım ve lojistik kavramları ile ilgili pratiklerin ve çalışmalarının 1960'lar ve 1970'li yılların başında ortaya çıktığını belirtmiştir. Bu yıllarda taşıma, depolama, elleçleme ve paketleme gibi faaliyetlerin birbiri ile ilişkide olduğu ve beraber yönetilmesinin daha etkili olacağı tartışılırken aynı zamanda sistem yaklaşımı kapsamında çeşitli fonksiyonların ele alınması gerektiği anlayışı da göze çarpmaktadır. 1980'li yıllarda ise dağıtım faaliyetlerinin gerçek maliyetlerinin görülmesi ve bu maliyetlerin azaltılması için geliştirilen politikalar ortaya çıkmakla beraber yukarıda bahsedilen stok politikalarındaki değişimler, dış kaynak kullanımı, 3PL işletmelerinin ve teknolojik gelişmelerin yapı içinde kullanılması, karar vericiler için maliyetlerin düşürülmesi kapsamında değerlendirilmiştir (Rushton vd., 2006: 8). 1990'lı yıllarda ise lojistik kavramının ardından bağlantılı olarak tedarik zinciri kavramlarının oluşturulduğu ve tanımlandığı görülmektedir. Bilginin etkin bir lojistik yapı içindeki önemi ortaya konmuş ve sadece işletmenin kendi fonksiyonlarını değil, zincirdeki diğer katılımcıların da fonksiyonlarını tedarik zinciri içerisinde kullandığı belirtilmiştir. Faaliyetler

ayrımının 1960'lar gibi olduğu görülmekle beraber bu faaliyetlerin entegrasyonunun ise 2000'li yıllara kadar sürdüğü, bu tarihlerden sonra ise tedarik zinciri kavramının ve süreçlerinin oluştuğu belirtilmiştir (bkz. Şekil 1.1). 2000'li ve 2010'lu yıllarda daha net bir şekilde gerçekleşen pazar ve tüketici yapılarındaki değişimler, işletmeler için lojistik ve tedarik zinciri faaliyetlerini göz ardı edilemez bir noktaya taşımıştır. 2010'dan sonra günümüze kadar olan gelişmeler kapsamında, lojistik ve tedarik zinciri sistemleri artık işletmeler için göz ardı edilemeyecek kadar önemli fonksiyonlar haline gelmiştir. Ayrıca, zincir içerisinde gerçekleşen akışların büyük miktarda veri ortaya çıkardığı, bu verilerin ise kullanılabilir bilgiler haline getirilerek sistem performansının artırılması yoluna gidildiği göze çarpmaktadır. Teknolojik uygulamaların sadece üretim alanında sınırlı kalmadığı ve diğer lojistik fonksiyonlarında da gerçekleştiği günümüzde, paradigma değişimi halen devam etmektedir.



**Şekil 1.1:** Tedarik zinciri yönetiminin (TZY) gelişimi

**Kaynak:** Ballou, 2006:379

Lojistik ve tedarik zinciri kapsamındaki temel tanımlara değinmeden önce, bu kavramların çeşitli diğer kavramlarla olan ilişkisinin de incelenmesi gereklidir. Bu

incelemenin sebebi ise tez boyunca üzerinde durulan lojistik ve tedarik zinciri kavramlarının çevrelerinden soyut bir şekilde ele alınamamasıdır.

### 1.1. Tedarik Zinciri ve Değer Zinciri İlişkisi

Tedarik zinciri kavramını değer zinciri kavramı ile birlikte açıklayan Christopher (2011: 10), tedarik zincirinin değer zincirine dönüştüğünü de belirterek işletmelerin bu sayede rekabet avantajlarını sağladıklarını ve koruduklarını belirtmiştir. Porter (1991: 103) tarafından geliştirilen değer zinciri modelinde (bkz. Şekil 1.2) yer alan ana faaliyetler ve destek faaliyetleri bütüncül olarak işletme içinde ele alındığında ortaya gerçek bir rekabet avantajı çıkardığı belirtilmektedir.



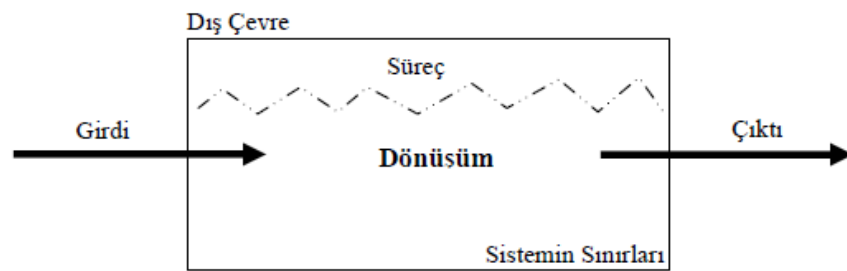
Şekil 1.2: Değer zinciri modeli

**Kaynak:** Porter, 1991: 103

Yukarıda açıklaması yapılan tedarik zinciri, tedarik zinciri yönetimi kavramları kapsamında lojistik ve lojistik yönetimi kavramlarından da bahsetmek gereklidir. Lojistik, The Council of Supply Chain Management (CSCMP) (2017) tarafından bir süreç olarak ifade edilerek, bu sürecin planlama, uygulama ve kontrol prosedürlerinin ürünlerin, servislerin ve ilgili bilginin müşteri ihtiyaçları dâhilinde ilk noktadan tüketim noktasına etkili ve etkin bir şekilde taşınmasını ve depolanmasını içerdiği belirtilmiştir. Lojistik yönetimi ise, tedarik zincirinin bir parçası olup, ürün, hizmet ve bilginin ilk noktadan müşterilerin ihtiyacını karşılamak üzere tüketim noktasına kadar olan ileri ve geri akış süreçlerinin etkin ve etkili bir şekilde planlanması, uygulanması ve kontrolüdür (CSCMP Glossary, 2017).

## 1.2. Sistem Teorisi Kapsamında Lojistik ve Tedarik Zinciri İlişkisi

Ackoff (1964, 1972 ve 1974), Von Bertalanffy (1968), Churchman (1979), Checkland (1981) ve Senge (2004) gibi bilim insanları çalışmalarında, gerçek verilere dayalı problemlerin sadece bilimsel ve mekanik düşünme modeli ile çözülemeyeceğini belirtmişlerdir (Tecim, 2004: 78). Aslen bir biyolog olan Von Bertalanffy (1950:143) sistemi, birbiri ile ilişkili olan karmaşık bir yapı olarak tanımlamış, ayrıca genel *Sistem Teorisi* adını verdiği yapıda sistemi bir bütün olarak tanımlamakla beraber bu bütün yapının birbirinden ayrılmaz parçalarla birleştiğini belirtmiştir. Bu ifadelerden yola çıkarak karmaşık yapıların ayrı ayrı incelenmesi yerine, bütünü anlamak için yöntemlerin geliştirilmesini gerektiğinin altını çizmiştir. Sistem yaklaşımı gerçek dünyanın incelenmesinde kullanılan bir yöntem, yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır. Böyle bir yaklaşımın amacı, yönetim olayının ve birimlerinin birbiri ile olan ilişkilerini ve bu ilişkilerin niteliğini incelemek, belirli bir birimdeki gelişmelerin diğer birimler üzerindeki etkilerini araştırmak; kısaca, yönetim olaylarını başka olaylarla ve dış çevre şartları ile ilişkili olarak incelemektir (Tecim, 2004: 80). Sistem yaklaşımı, parçalara yoğunlaşmak yerine toplam sistem performansına odaklanmaya çalışmaktadır (Weinburg, 1975). Semprevivo (1976), sistemi, belirli faaliyetleri, fonksiyonları ve operasyonları gerçekleştiren birbiri ile ilişkili elementler serisi olarak tanımlamıştır. Temel bir sistemin unsurları Şekil 1.3' de gösterilmiştir.

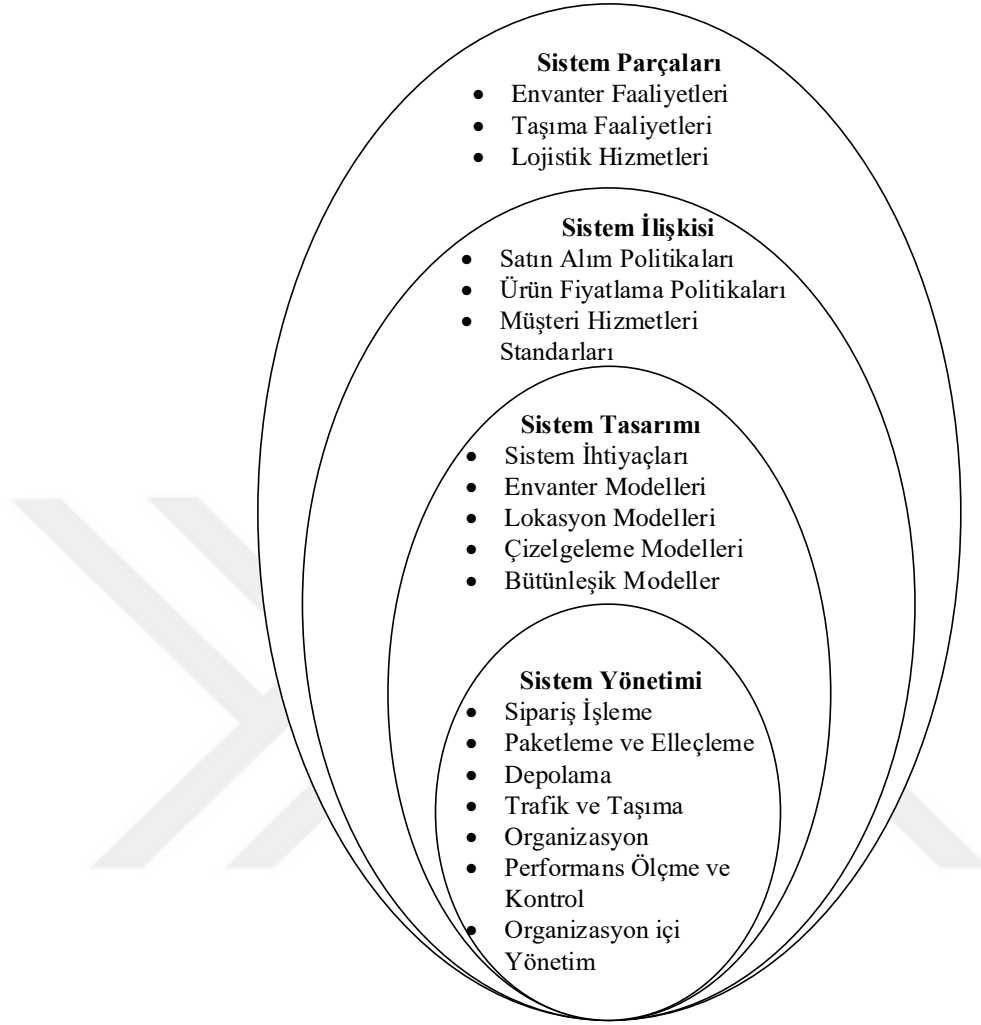


Şekil 1.3: Temel bir sistem ve unsurları

**Kaynak:** Tecim, 2004: 83

Lambert vd. (1998:9), sistem yaklaşımının basit ama güçlü bir paradigma olduğunu belirterek ve bu yaklaşımın bütün fonksiyonların ya da faaliyetlerin ilişkide olduğu faaliyetler ve elementlerden nasıl etkilendiğini ve birbirlerini nasıl etkilediğini belirten

bir yaklaşım olduğunun altını çizmiştir. Bu kavram ve tanımlardan yola çıkarak lojistik yönetiminin ve tedarik zinciri yönetiminin de sistem yaklaşımı kapsamında incelenmesi, bütün sistemin anlaşılması bakımından önemli hale gelmektedir. Bu bahsi geçen sistemler içindeki birimlerin performanslarının tek tek iyi sonuçlar ortaya çıkartmasının, bütün sistemin bütünleşik bir şekilde çalıştığı ve tüm sistemin iyi performans sonuçları ortaya çıkartacağı anlamına gelmemektedir. Pegden vd. (1990: 16) sistemi belirli bir amaca ulaşmak için bir araya gelen ve iş birliğinde bulunan bir element grubu veya topluluğu olarak tanımlamıştır. Sistem yaklaşımı kapsamında lojistik kavramı ile ilgili olarak ise Heskett (1973: 22), sistem içerisindeki parçaların birbirinden etkilendiğini, birbiriyle ilişkide olduğunu ve bu parçaları bireysel olarak incelemenin sağlıklı sonuçlara yol açmayacağını belirtmiştir. Ayrıca yazar, lojistik kavramına olan sistem yaklaşımı bakış açısını Şekil 1.4 üzerinden açıklamıştır. Bütün bunlara göre lojistik sisteminin çeşitli lojistik faaliyetlerinin gerçekleştirildiği bir parçalar bütünü olduğu sonucuna ulaşılabilir.



**Şekil 1.4:** Lojistik ve sistem yaklaşımı ilişkisi

**Kaynak:** Heskett, 1973: 23

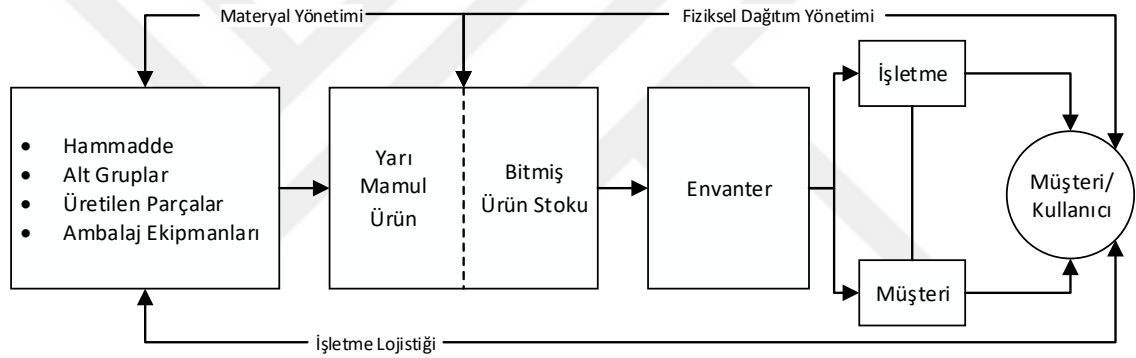
### 1.3. Temel tanımlar

Bu bölümde lojistik ve tedarik zinciri kapsamında işletme lojistiği ile başlayarak, lojistik ve tedarik zinciri tanımları yapılmış ardından teze temel oluşturacak temel lojistik operasyonlar üzerinde durulmuştur.

#### 1.3.1. İşletme Lojistiği

Lojistik kavramının pek çok tanımı yapılmış olmakla beraber bugünkü anlamı ile lojistik ve lojistik yönetimi kavramlarının işletme ve akademik çevrelerde kullanımının çeşitli evrelerden geçerek günümüze ulaştığı görülmektedir. Lojistik; ürünlerin ilk noktadan son noktaya kadar olan bilgi akışı dâhil taşınması ve depolanması olarak

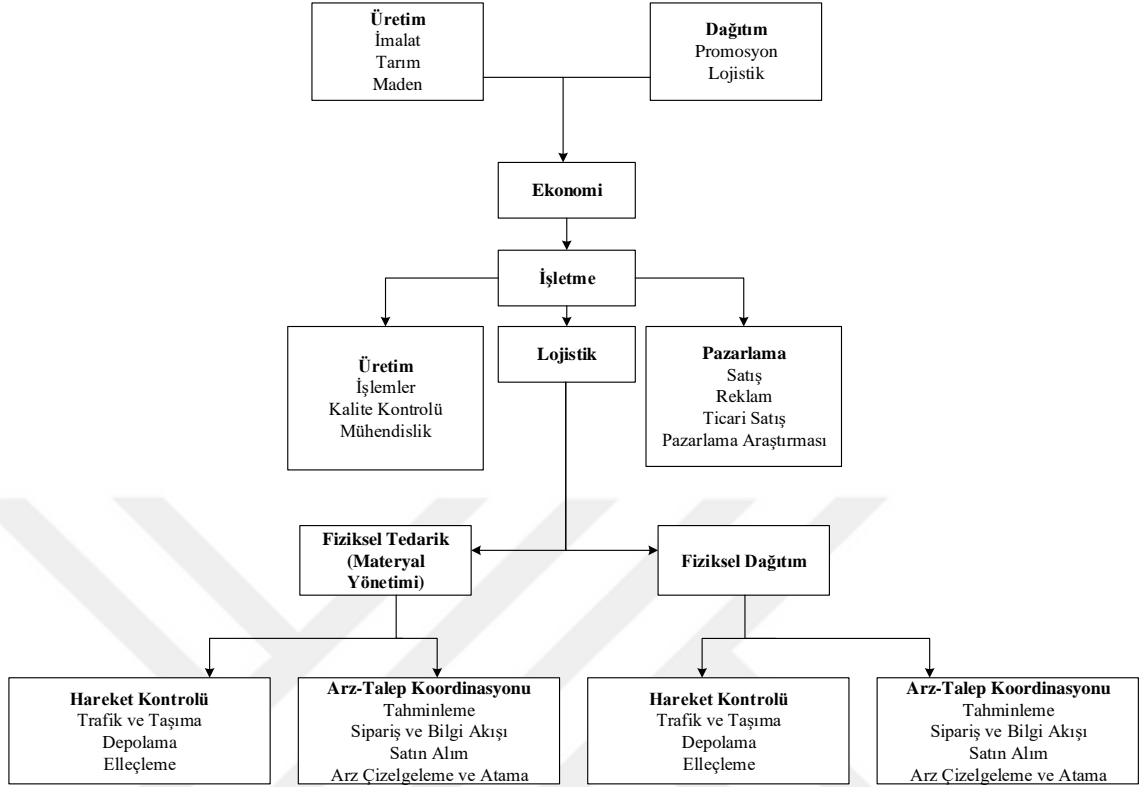
karşımıza çıkmaktadır. İşletme bilimi kapsamında lojistik kavramı “İşletme Lojistiği” olarak da ele alınmıştır. İşletme lojistiği, “Hammaddelerin, yarı mamul ürünlerin ve bitmiş ürünlerin ilk noktadan tüketim veya kullanım noktasına kadar olan fiziksel hareketlerinin bütüncül bir dağıtım süreci yönetimi kapsamında ele alınmasıdır.” (La Londe vd., 1976:5-6). İşletme lojistiği genel yapısında (bkz. Şekil 1.5) materyal yönetimi, öncelikli olarak son ürün için gerekli olan hammaddelerin yönetilmesi sürecini ele alırken, işletme içerisinde gerçekleştirilen tüm lojistik faaliyetlerini de kapsamaktadır. Fiziksel dağıtım yönetimi, bitmiş ürünlerin envanterini, müşteri ve kullanıcı arasındaki fiziksel dağıtımını yönetmektedir. Bunlarla beraber, işletme lojistiği entegre ve bütüncül bir yaklaşım ile süreci ile yönetmeye çalışmaktadır.



**Şekil 1.5:** İşletme lojistiği genel yapısı

**Kaynak:** La Londe vd. 1976:5

Heskett vd. (1973: 26), işletme lojistiği kavramının genel yapısını ortaya koymuş (bkz. Şekil 1.6), üretim faktörlerinin ve dolayısı ile dağıtım kanallarının ekonomi ile ilişkisini belirterek, bu çevrelerin işletmelerle olan ilişkisi ve işletmeler kapsamında lojistik kavramının materyal yönetimi ve fiziksel dağıtım ile olan ilişkisini açıklamaya çalışmıştır. İşletme lojistiği başlığı, materyal yönetimi ve fiziksel dağıtım başlıklarını içermekle beraber, ürünlerin taşınması, depolama, elleçleme, tahminleme, bilgi akışının sağlanması, stok yönetimi, satın alma gibi faaliyetleri de içermektedir.



**Şekil 1.6:** Ekonomi ve işletme çerçevesi kapsamındaki temel ürün akış faaliyetleri

**Kaynak:** Heskett, 1973: 27

Ballou (1991:1), işletme lojistiği kavramını yine bütüncül bir yaklaşımla ele almış ve bu kavramın son kullanıcıya doğru gerçekleşen ürün akışının kesintisiz bir şekilde yürütülmesi için; taşıma ve depolama operasyonlarının etkili bir şekilde yönetilmesi gerektiğinin altını çizmiştir.

Yukarıdaki tanımlar ve oluşturulan kavramsal çerçeveler dâhilinde görüldüğü üzere, işletme lojistiği kavramı günümüzdeki tedarik zinciri yönetimi ve lojistik yönetimi kavramlarının temelini oluşturmakla beraber, fiziksel dağıtım, materyal yönetimi içerisinde yer alan faaliyetleri de içermektedir.

### 1.3.2. Lojistik ve Tedarik Zinciri

Türk Dil Kurumu'na yayımlanan Güncel Türkçe Sözlük'te lojistik kelimesi kişilerin ihtiyaçlarını karşılamak üzere her türlü ürünün, hizmetin ve bilgi akışının çıkış noktasından varış noktasına kadar taşınmasının etkili ve verimli bir biçimde



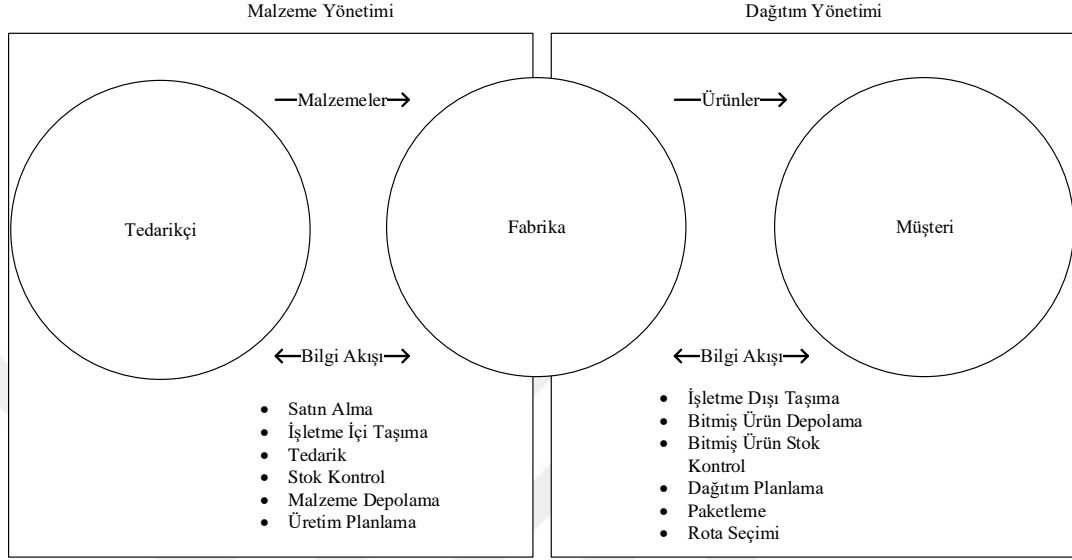
planlanması ve uygulanması olarak tanımlanmıştır. İngilizce “*logistics*” kelimesinin, Yunanca “*logisticos*” ve Fransızca “*lojistique*” kelimelerinden ortaya çıktığı düşünülmekle beraber, köken itibari ile *logistikos* kelimesi hesaplamada yetenekli anlamını taşıyan “*mantık*” kavramından ortaya çıkmıştır (Russel, 2000: 13).

Russel, lojistik kavramının 18. yy Avrupası’nda askeri terminolojiye girdiğini belirtmiş, 1905 yılında ise orduların tedariki ve hareketini konu alan bir askeri alan olarak yazılı tanım kazandığını söylemiştir. Özellikle II. Dünya Savaşı döneminde lojistiğin ve lojistik yönetiminin önemi ortaya çıkmış, lojistik; savaş alanındaki ve gerisindeki personelin mühimmat, sağlık, beslenme faaliyetlerinin eksiksiz bir şekilde yerine getirilmesi ve ayrıca savaş alanındaki personelin yer değiştirmesi, devamlılığının sağlanması, dağıtım gibi faaliyetleri de kapsamıştır.

Lojistik faaliyetinin temeli, organize ticaret faaliyetlerinden bile öncesine uzanmaktadır. Lojistik kavramı, 1900’lü yıllarda tarım ürünlerinin dağıtım ile dikkatleri çekmiş ve bu kavram 2. Dünya Savaşı’nda Müttefiklerin galibiyetinde oynadığı rolünün önemi bakımından askeri anlamda yoğun olarak kullanılan bir alan olmuştur (Lambert vd. 1998: 5).

Lojistik kavramı, ürünlerin ilk noktasından son müşteriye kadar gerçekleşen faaliyetlerin etkileşimini sağlamaktadır. Lojistiğin kapsamı, başlangıçta taşıma, nakliye ve depolama gibi sınırlı alanlarda iken sonrasında bünyesine tersine lojistik, iade, elleçleme, paketleme, stok yönetimi, dağıtım gibi faaliyetleri de bünyesine katarak genişlemiştir. Müşteri ihtiyaçlarının tatmini, ürünlerin müşteri ihtiyaçlarına uygun şekilde doğru zamanda, doğru yerde, doğru miktarda, hasarsız olarak iletilmesi ve işletmeler için gerekli olan hammadde ihtiyaçlarının sağlanması ancak etkin bir lojistik ağı ve bu ağın yönetimi ile mümkün olabilecektir. Malzeme yönetimi ve dağıtım yönetimi arasındaki ilişkinin çeşitli destekleyici faaliyetler ile genişlediğini görmekteyiz (bkz. Şekil 1.7). Tedarikçi ve fabrika arasında malzeme ve bilgi akışıyla beraber, satın alma, içe doğru taşıma, tedarik, stok kontrol, malzeme depolama ve üretim planlama faaliyetlerini görmekteyiz. Fabrika ve müşteri arasında ise ürün ve bilgi akışı ile

beraber, dışa doğru taşıma, bitmiş ürün depolama, bitmiş ürün stok kontrolü, dağıtım planlama, paketleme ve rota seçimi faaliyetleri görülmektedir.

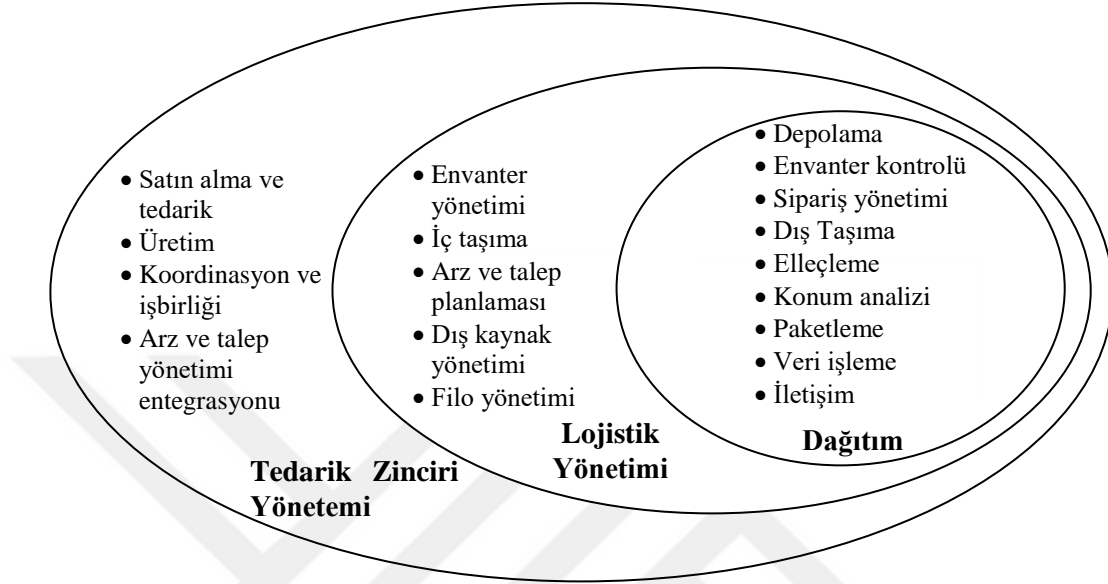


**Şekil 1.7:** Lojistik kavramı

**Kaynak:** Jessop ve Morrison, 1994: 16

Lojistik yönetiminin lojistik faaliyetlerini optimize etme ve koordine etme gibi bütünleştirici bir fonksiyonunun bulunduğu da belirtilmiş, ayrıca pazarlama, satış, üretim, finans ve bilgi teknolojileri ile de lojistik fonksiyonunun birleştirici özelliği olduğunun altı çizilmiştir. Ballou (2006: 378), fiziksel dağıtımın ve lojistiğin kavramlarının oluşmaya başladığı 60'lı ve 70'li yıllarda, hem bilim insanları arasında hem de uygulamacılar arasında tanım ile ilgili bir kavram karmaşasının olduğunu belirtmiştir. Bu yıllarda işletme lojistiği, kanal yönetimi, dağıtım, bütünlük lojistik, endüstriyel lojistik, lojistik yönetimi, materyal yönetimi, fiziksel dağıtım, tedarik zinciri yönetimi gibi isimlerle lojistik eş anlamlı olarak kullanılmaktaydı (Ballou, 200: 378, Lambert vd. 1998: 2). Lasserre (2004: 73-74), tedarik zincirinin talebi ortaya çıkaran müşteriye odaklandığını belirterek, lojistik yönetiminin malzeme, ürün ve bilgi akışının planlanması ve kontrolünün sağlanmasını amaçladığını belirtmiştir. Genel olarak bakıldığında lojistik yönetimi, müşteri ihtiyaçlarını karşılamak ana amacıyla beraber ürünlerin zamanında tesliminin sağlanması, taşıma ile ilgili maliyetlerin düşürülmesi ve

işletme esnekliğinin artırılmasına odaklanmaktadır. Fiziksel dağıtım, lojistik yönetimi ve tedarik zinciri yönetimi içerikleri Şekil 1.8’ de gösterilmiştir.



**Şekil 1.8:** Tedarik zinciri yönetimi, lojistik yönetimi ve dağıtım ilişkisi

**Kaynak:** Peltz, 2007: 3

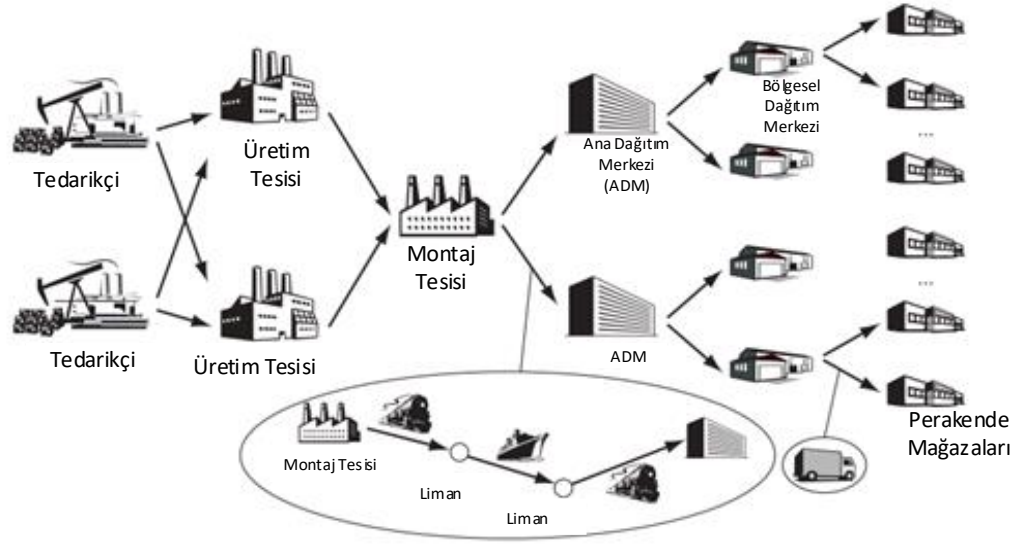
İşletmeler için günümüzde rekabetin artırılması ve rekabet avantajının sağlanmasında en önemli etkenlerden olan tedarik zinciri ve lojistik kavramları, işletmelerin rekabetçi yapılarını korumaları ve işletme amaçlarına ulaşmaları açısından önem arz etmektedir. Lambert vd. (1998:2) tedarik zinciri yönetimini ilk tedarikçiden son müşteriye kadar işletme süreçlerinin entegrasyonunu sağlamak için bütünleşik bir müşteri değeri yaratan hizmet, ürün ve bilgi sağlama süreci olarak tanımlamışlardır. CSCMP (2017)'ye göre tedarik zinciri, satın alma, temin, dönüşüm ve bütün lojistik faaliyetlerinin planlama ve yönetimini kapsamaktadır. Bu tanıma ek olarak CSCMP, tedarik zinciri kavramının bütün işletme genelinde arz ve talep yönetimini birleştirdiğini, ayrıca lojistik operasyonları ile beraber üretim operasyonları ve pazarlama, satış, ürün tasarımı, finans ve bilgi teknolojileri arasındaki koordinasyonu sağladığını belirtmişlerdir.

Ghianni vd. (2004:3), tedarik zinciri kavramını karmaşık lojistik sistemler olarak tanımlayarak, bu sürecin hammaddelerin son ürünlere dönüştürüldüğü ve işletmelere ya da müşterilere dağıtımının sağlandığı sistemler olarak belirtmişlerdir. Tedarik zinciri

yönetimini ise fabrikalardan ve depolardan son müşteriye bilgi, materyal ve hizmet akışının tamamını yöneten bir sistem yaklaşımı olarak tanımlamışlardır. The Institute for Supply Management (ISM) (2017) ise, tedarik zinciri yönetimini, son müşterinin gerçek ihtiyaçlarını karşılamak için katma değerli ve kusursuz süreçlerin tasarımı ve yönetimi olarak tanımlamış, tedarik zinciri entegrasyonu için insan ve teknolojik unsurların uyumunun elzem olduğunu belirtmiştir. Tedarik zinciri sadece üreticileri ve tedarikçileri kapsamamakta, aynı zamanda taşıyıcıları, depoları, perakendecileri ve müşterileri de kapsamaktadır (Chopra ve Meindl, 2007:3). Tedarik zinciri yönetimi tedarikçilerden son müşterilere kadar gerçekleşen bütün materyal akışını yönetmektedir (Jones ve Riley, 1985: 19). Stevens (1989:3) tedarik zinciri yönetiminin amacının müşteri ihtiyaçlarını, tedarikçiden gelen akış ile senkronize etmek olduğunu belirtmiş, etkin bir tedarik zinciri oluşturmanın bütün işletmeler için zaruri olduğunu eklemiştir.

Christopher (2011:3), tedarik zinciri yönetimini, en az maliyetle müşterilere en yüksek müşteri değerini sağlamak için aşağı ve yukarı akış ilişkilerinin yönetimi olarak tanımlamış ve zincirdeki bütün ortaklar için kazançlı bir durumun oluşmasının nedeninin “*ilişkilerin yönetimi*” olduğunu altını çizmiştir. Şekil 1.9’ da tedarik zinciri yapısının genel bir modeli gösterilmiştir.

American Production and Inventory Control Society (APICS) (2017), tedarik zinciri kavramını bir süreç dizisi olarak tanımlamış ve bu süreç dizisini müşterilere ürün ve hizmet sağlamak için değer zincirini ortaya çıkaran işletme içi ve dışı fonksiyonlar olarak tanımlamıştır. Bununla beraber, değer zincirinin ise işletme içinde ürün ve hizmetlere değer katan fonksiyonlar olduğunu belirtmiştir.



**Şekil 1.9:** Örnek bir tedarik zinciri yapısı

**Kaynak:** Ghianni vd., 2004:4

Tedarik zinciri makro süreçleri, müşteri ilişkileri yönetimi, iç tedarik zinciri yönetimi ve tedarikçi ilişkileri yönetimi olmak üçe ayrılmaktadır. Bu makro süreçler, bilgi, ürün ve para akışını sağlayarak müşteri isteklerinin yönetilmesini sağlamaktadır (Chopra ve Meindl, 2007: 15). Tablo 1’de tedarik zinciri makro süreçleri görülmektedir.

<b>Tedarikçi</b>	<b>Firma</b>	<b>Müşteri</b>
<b>Tedarikçi İlişkileri Yönetimi</b>	<b>İç Tedarik Zinciri Yönetimi</b>	<b>Müşteri İlişkileri Yönetimi</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaynak</li> <li>• Pazarlık</li> <li>• Satın Alım</li> <li>• İşbirliği Tasarımı</li> <li>• Tedarik Tasarımı</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stratejik Planlama</li> <li>• Talep Planlama</li> <li>• Tedarik Planlama</li> <li>• İcra</li> <li>• Şirket Dışı Servis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pazar</li> <li>• Fiyat</li> <li>• Satış</li> <li>• Çağrı Merkezi</li> <li>• Sipariş Yönetimi</li> </ul>

**Tablo 1:** Tedarik zinciri makro süreçleri

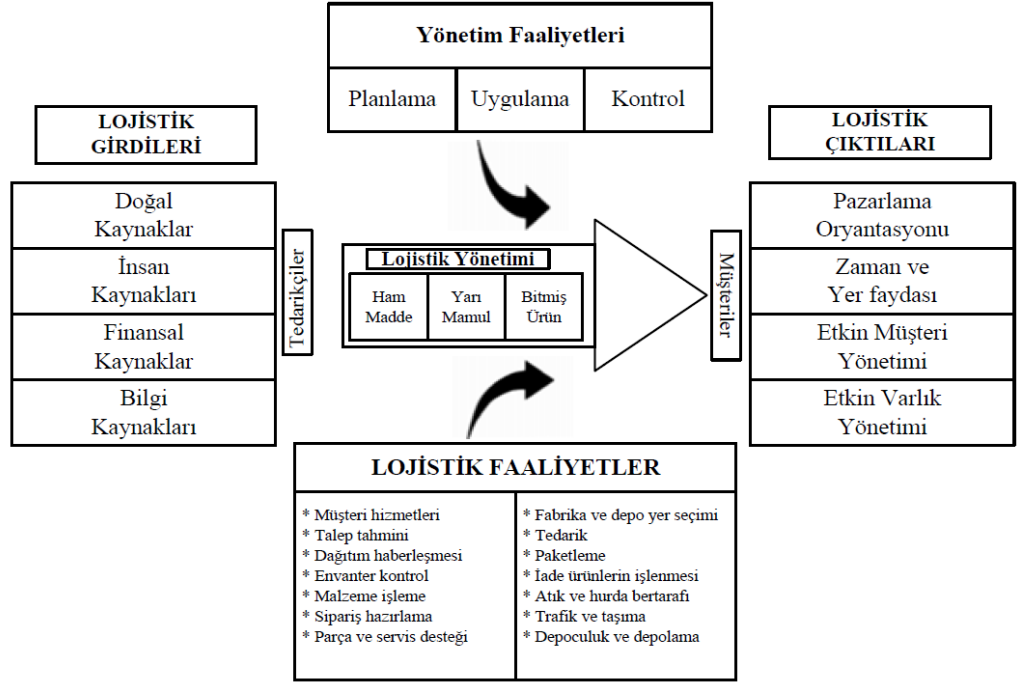
### 1.3.3. Temel Lojistik Operasyonlar

Lojistik faaliyeti ile ilgili yapılan tanımlar işletmeleri bir süreç ve sistem yönetmeye yönlendirirken lojistiğin, tedarikçiler ve ürünlerin müşterilere sunulduğu pazar arasındaki bütünleşmeyi sağladığını görmekteyiz.

Lambert vd. (1998: 15) ana lojistik aktivitelerini aşağıdaki şekilde sıralayarak hepsinin lojistik sũreçler içinde birer parça olduğunu belirtmiştir:

- Mũřteri hizmetleri
- Talep tahmini ve planlama
- Stok y¶netimi
- Haberleşme
- Elleçleme
- Sipariş işleme
- Paketleme
- Parça ve hizmet desteği
- Depo konumu seçimi
- Satın alım
- Geri d¶nen ũr¼nlerin lojistiği
- Tersine lojistik
- Trafik ve taşıma
- Depolama

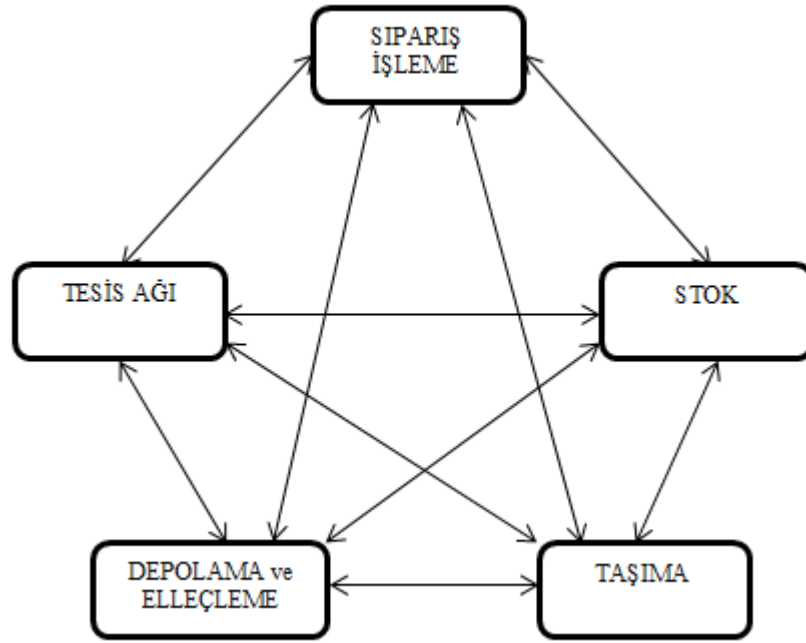
Lojistik y¶netim bileşenlerini doğal kaynakların, insan kaynaklarının, finansal kaynakların ve bilgi kaynaklarının girdi olarak kullanıldığı, y¶netim sũrelerinin planlama, uygulama ve kontrol¼n¼n gerçekleştirildiği ve mũřteri hizmetleri, talep tahmini, envanter y¶netimi, depolama ve saklama faaliyetlerinin de mũřteriler için katma değerli çıktılar içeren bir sũreçler ve bileşenler toplamı olarak g¶rmekteyiz, bu yapı şekil 1.10'da g¶sterilmiştir.



**Şekil 1.10:** Lojistik Yönetimi Bileşenleri

**Kaynak:** Lambert vd. 1998:5, akt. Şahin, 2014:12

Bowersox (2002: 37) lojistik operasyonlardaki beş alanı sipariş işleme, stok, taşıma, depolama ve elleçleme, paketleme ve tesis ağı olarak belirtmiştir (bkz. Şekil 1.11).



**Şekil 1.11:** Temel lojistik operasyonlar

**Kaynak:** Bowersox, 2002: 39

Frazelle (2002: 12) lojistik faaliyetleri olarak aşağıdaki noktaları tanımlamıştır:

- **Müşteriye yanıt:** Müşteri hizmet politikası ile ilgili olan bu faaliyet, müşteri hizmet düzeyini tanımlamak ve geliştirmek, müşteri tatminini gözlemlemek, sipariş girişi, sipariş işleme ve fatura ile ilgili konuları ele almaktadır.
- **Stok yönetimi:** Müşteri ihtiyaçlarını karşılamak için mümkün olan en düşük stok seviyesini sağlamak, tahminleme faaliyetlerini gerçekleştirmek, stok yenileme hızlarını belirlemek ve takip etmek, stok dağıtımını gerçekleştirmek bu başlık altında göz önünde bulundurulmaktadır.
- **Tedarik:** Üretim, satın alma ile stok planlaması operasyonlarında belirlenen hedefi sağlamak için gerekli olan stok seviyesini sağlama operasyonudur. Tedarikçi hizmet politikası oluşturmak, tedarikçi entegrasyonunu sağlamak, satın alma ve ödeme gibi operasyonların gerçekleştirildiği noktadır.
- **Taşıma:** Oluşturulan müşteri hizmet politikasına göre gerçekleştirilecek müşteri tatmininin sağlanması için tedarik kaynakları ile müşteri arasındaki fiziksel



bağlantıyı temsil etmektedir. Bu noktadaki diğer operasyonlar ise ağ tasarımı ve optimizasyonu, sevkiyat planlama, filo ve konteyner yönetimi, kurye yönetimi, yük yönetimi gibi operasyonlardır.

- **Depolama:** Bu operasyonun amacı depolardaki emek maliyetinin, kullanım alanının ve ekipmanların maliyetlerinin düşürülmesidir. Bu sağlanırken önceki operasyonlarda belirlenen müşteri hizmet politikalarına uyulması beklenmekte ve teslimat operasyonları için hız ve zaman kısıtlarının sağlanması istenmektedir. Depolama içindeki operasyonlar ise, teslim alma, depolama, sipariş çıkarma ve sevkiyattır.

Lojistik temel aktivitelerini Waters (2003: 13), aşağıdaki gibi belirtmiştir:

- Satın alım ve temin
- İç taşıma ve trafik
- Mal kabul
- Depolama
- Stok kontrolü
- Sipariş çekme
- Materyal elleçleme
- Dış taşıma
- Fiziksel dağıtım yönetimi
- Geri dönüşüm, ürün dönüşü ve atık bertarafı
- Lokasyon belirleme
- İletişimin sağlanması

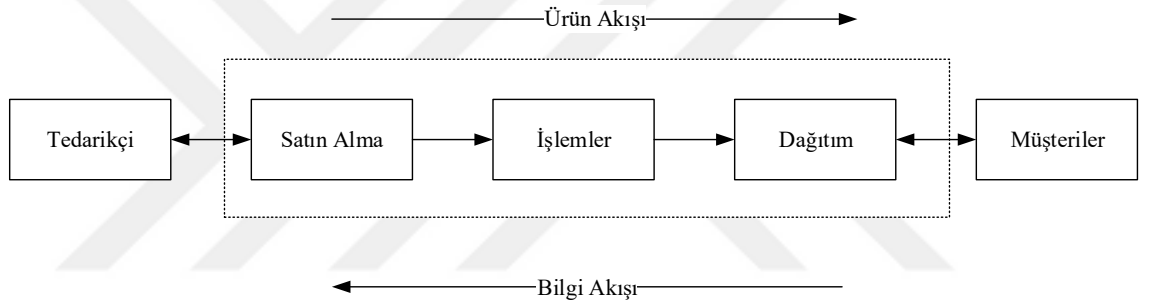
Rushton vd. (2006: 99) ise sipariş tamamlama, yeni ürün tanıtımı, yeni ürün geliştirme, ürün geri dönüşleri, satış sonrası lojistik, bilgi yönetimi faaliyetlerini anahtar lojistik süreçler olarak tanımlamıştır.

Editörlüğünü Taylor (2008)'in yaptığı Lojistik El Kitabı isimli kaynakta ise lojistik aktiviteler bölümünün başlıkları aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Müşteri hizmetleri
- Satın alım ve kaynak alma

- Talep tahminleme
- Tesis lokasyonu ve yerleşimi
- Stok kontrol
- Materyal elleçleme sistemleri
- Depolama
- Dağıtım sistem tasarımı
- Taşıma sistemi

Yukarıdaki listeleme ve tanımlarla beraber, lojistik yönetim sürecinin sadece tedarik veya müşterilerden oluşmadığı aksine, satın alma, operasyon ve dağıtım kısımlarının ürün ve bilgi akışı eşliğinde süreci devam ettirdiği görülmektedir.



**Şekil 1.12:** Lojistik yönetimi süreci

**Kaynak:** Christopher, 2011: 11

Lojistik yönetiminin bileşenleri incelendiği zaman (bkz. Şekil 1.12) lojistik yönetiminin tedarikçiler ve müşteriler arasındaki ortak noktadan daha fazlası olduğunu görmekteyiz.

Bir sonraki bölümde depoların temel yapıları incelenerek, otomatik depolama ve çekme sistemleri üzerinde durulmuştur.

## İKİNCİ BÖLÜM

### 2. OTOMATİK DEPOLAMA VE ÇEKME SİSTEMLERİ

Tedarik zinciri içerisinde depoların sadece ürünlerin korunması amacı ile değil çeşitli katma değerli operasyonları da içermesi sebebi ile önemi büyüktür. Depoların sistem içerisindeki önemine bakıldığında manuel ve otomatik depoların birçok performans kriteri bakımından karşılaştırılması söz konusudur. Günümüz teknolojisinin de etkisi ile otomatik sistemlerin depolar içerisinde kullanımının arttığı gözlemlenmektedir. Bu tez kapsamında otomatik depolama ve çekme sistemine sahip bir depo yapısı incelenmiştir.

#### 2.1. Depolardaki Operasyonların ve Lojistik Süreçlerin Analizi

##### 2.1.1. Depolarda Temel Kavramları

Tedarik zinciri ve lojistik sistemleri içerisinde anahtar fonksiyonlardan birisi olan depolama operasyonları, tarihsel anlamda tarım ürünlerinin saklanması için uygun tesislerin inşasına kadar geriye gitmektedir. Günümüzde materyallerin saklanması, sadece istif, koruma ve saklama kavramları ile sınırlı değildir. Materyallerin uygun koşullarda depolanması, gerekli durumlarda elleçlenmesi ve bu süreçte katma değer katılarak tekrar sisteme aktarılması söz konusudur.

*“Depolama kelimesi fiziksel süreçlerle beraber materyallerin elleçlenmesi ve saklanması işlemlerini içermektedir. Aynı zamanda ürünlerin depolanması ve geri çağırılması işlemlerini içeren bir metodoloji olarak da karşımıza çıkmaktadır. Endüstriyel sistemlerde ve ekonomide depolama ve elleçleme işlemlerinin depolama süreçlerinde anahtar rol oynadığı belirtilmiştir. Depolama metodolojisi, fiziksel saklama koşulları ile beraber, saklanan materyallerin geri çağırılması ve saklanan ürünlerle ilgili bilgilerin işlenmesini içermektedir. Doğru bir değerlendirme, tanımlama ve sınıflandırma ile beraber, bu süreçte saklanacak ve geri çağırılacak ürünlerin doğru bir ölçümlemesinin yapılması da gerekmektedir. Elleçleme kısmı ise depolama metodolojisi içinde saklanan ürünlerin bütün hareketini kapsamaktadır. Dar kapsamda*

*depo içindeki hareketi anlatırken, geniş kapsamda dağıtım bağlantılarını içermektedir.”*  
(Chorafas, 1974:3).

Tedarik zinciri ve lojistik operasyonları içerisinde pek çok süreç ve departman ile ilişkili olması sebebi ile depoların stratejik bir önemi bulunmaktadır. Depolar, hammadde, yarı mamul ve mamul maddelerin teslim, ayırım, kayıt alma ve muhafaza işlemlerinin yapılarak iç ve dış müşterilere dağıtımını sağlayan tesislerdir (Acar, 2010: 23). Bu süreç içindeki stok kavramı ise üretim için gerekli malzemeler veya üretimi bitmiş ve bekleyen ürünler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bowersox (2002), stokların ekonomik gelişim için her zaman önemli bir faktör olduğunu belirtmiş, bununla beraber etkin bir lojistik sistemin stok tutmak için tasarlanmaması gerektiğinin altını çizmiştir. Depolar, üreticilerden, toptancılara, perakendecilere ve nihai kullanıcıya akışı gerçekleşen stokların, lojistik kanallar içerisinde korunmasını ve ihtiyacı halinde ilgili partilere ulaştırılmasını sağlamaktadırlar.

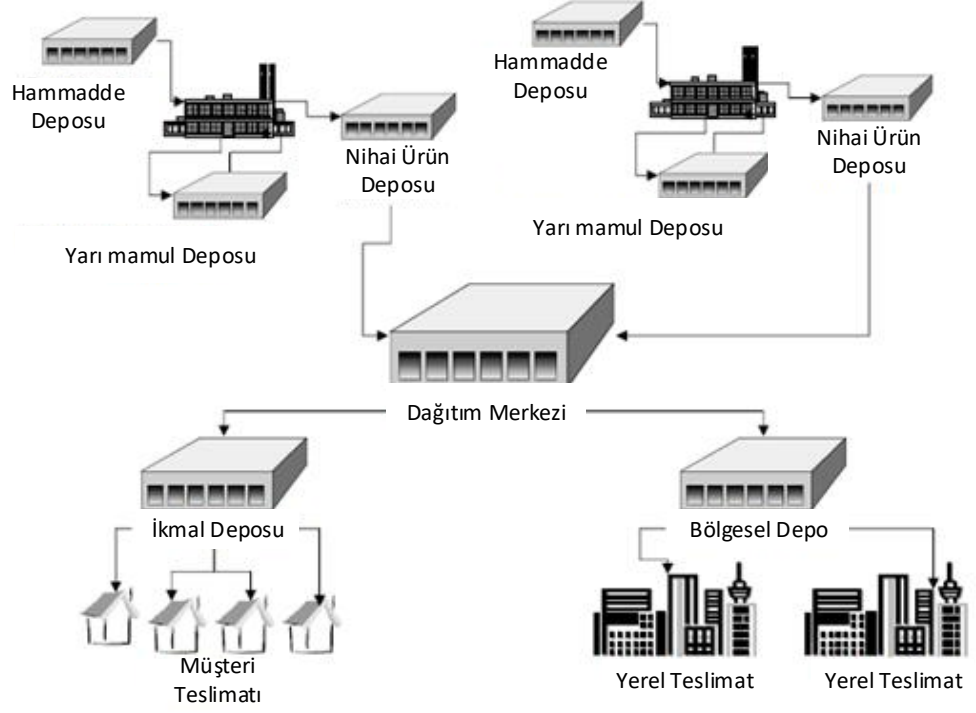
Çancı ve Erdal (2009: 91) depoları birer ara nokta olarak tanımlayarak; bu ara noktaların, ürünlerin hammadde halinden nihai ürün olana kadar geçen süreç içindeki faaliyetlerin gerçekleştirilmesinde stratejik rol oynadığını belirtmişlerdir. Sule (1994:385), hammaddelerin, yarı mamullerin ve bitmiş ürünlerin stoklanması ihtiyacının ambarlama ve depolama faaliyetleri ile cevaplanabileceğini belirtmiştir. Ambarlama (*storage*) kavramının her zaman olmamakla beraber genellikle hammadde ve imalat safhasındaki ürünler ile ilişkilendirildiğini buna karşı depolama (*warehousing*) ile bitmiş ürünlerin saklanması kastedildiğini belirtmiştir.

### **2.1.2. Depo Fonksiyonları**

Depoların dağıtım ağı içerisinde oynadığı rolleri Frazelle, (2002:226) aşağıdaki gibi açıklamıştır (bkz. Şekil 2.1):

- Hammadde ve parça depoları
- Yarı mamul depoları
- Bitmiş ürün depoları

- Dağıtım depoları ve dağıtım merkezleri
- İkmal depoları ve ikmal merkezleri
- Yerel depolar



**Şekil 2.1:** Depoların tedarik zinciri ağı içerisindeki rolleri

**Kaynak:** Frazelle, 2002:228

Ackerman (1997: 32) depolama işleminin her ürün için zaman ve mekan faydası sağladığını belirterek depolama fonksiyonlarını aşağıdaki gibi sıralamıştır:

- **İstifleme:** Depolama alanlarında üretim fazlası ürünlerinin biriktirildiği bir kullanım şeklidir. Bu tip biriktirme alanları taleplerin belli olduğu durumlarda ve sezonluk üretimlerde ortaya çıkmaktadır. İki durumda da depolar, talep ve arz arasındaki dengeyi sağlamak için birer biriktirme alanı olarak kullanılmaktadır.
- **Ürün karması:** Farklı üretim hatlarına ve ürün tiplerine sahip işletmeler, ortaya çıkan farklı ürünlerin bir noktada depolanmasını ve bu noktalardan dağıtımının ekonomik faydalarından yararlanabilmektedir.

- Konsolidasyon: Ürünlerin son varış yerlerine gönderilmeden önce toplanması için depoların kullanılmasıdır. Konsolidasyon işlemiyle aynı yöne gidecek ürünlerin farklı merkezlerden gelen ürünlerle birleştirilerek taşıma sırasında ve sonrasında oluşacak maliyetlerin düşürülmesi amaçlanmaktadır.
- Ayırıştırma: Yazar, ayırma işlemi konsolidasyon işleminin tersi olarak belirtmiş, yüksek hacimli sevkiyatlar ile gerçekleştirilen tasarruflar olduğunu altını çizmiştir.
- Müşteri memnuniyeti: Envanter oluşturmanın temel motivasyonunda, müşteri tatmininin sağlanması esas alınmakla beraber güncel paradigmada sıfır stok ile müşteri tatmininin sağlanması ve ürünlerin ulaştırılması söz konusudur.

Toplam lojistik maliyetlerinde düşüş sağlanması için depoların etkin ve güncel metotlar ile yönetilmesi beklenmektedir. Bunun sonucunda ise hem müşteri tatmini hem de işletmeye olan ekonomik katkı artacaktır. Depoların fonksiyonları analiz edildiğinde ise bu yapıların sistem içerisinde sadece materyal istifinden ziyade, sisteme en uygun şekilde entegrasyonunun sağlanıp toplam taşıma maliyetlerinde düşüş ortaya çıkarması beklenmektedir. Bu anlamda depoların konsolidasyon, ayırıştırma (*break-bulk*), çapraz sevkiyat, stok bekleme alanı gibi fonksiyonlarından bahsedilmiştir.

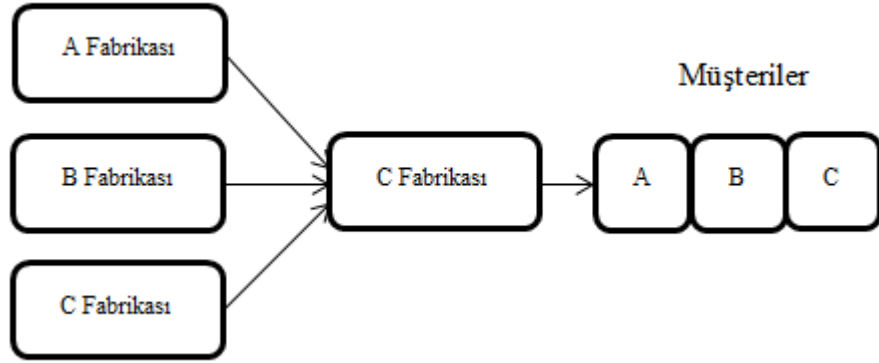
Rushton vd. (2006: 227) depoların rolleri ile ilgili olarak aşağıdaki noktaların üzerinde durmuştur;

- Stok bekletme noktası: Kritik materyallerin üretim sürecinde yaşanabilecek aksaklıklar gibi durumlarda bir güvence noktası oluşturması için tutulduğu noktalardır.
- Konsolidasyon merkezi: Müşterilerin çoğu zaman tek bir ürün grubu yerine çok çeşitli ürün grupları sipariş edebildikleri belirtilmiştir. Bundan dolayı da bu tip depolama noktalarının çeşitli ürün gruplarını bir araya getirme rolünü üstlendiği görülmektedir.
- Çapraz sevkiyat merkezi: Ürünlerin bekletilmeden veya çok kısa süreli bekletilerek doğrudan doğruya sevkiyatı gerçekleştirecek araçlara yüklendiği noktalardır.

- Ayrıştırma merkezi: Temelde çapraz sevkiyat merkezi mantığı geçerlidir fakat bununla beraber ana amaç gelen ürünlerin bölge veya müşteri bazında ayrıştırılmasının ve sevkiyatının sağlanmasıdır.
- Montaj tesisi: Stokları minimize etmek için zincir içerisinde imalatın ertelenmesinde ve ürünlerin depoda son montajının yapılmasında kullanılmaktadır.
- Aktarma tesisi: Ürünlerin aktarma merkezi olarak adlandırılan noktalarda ve küçük depolar olarak belirlenen tesislerde ürünlerin yerel taşıma araçları ile kullanıcılara ulaştırılması için kullanılmaktadır.
- İade ürün merkezi: Tüketicilerin internet üzerinden yaptıkları satın almalar sonucunda geri dönen ürünlerin elleçlenmesi veya kullanım ömrünü doldurmuş ürünlerin geri dönüştürülmesi gibi işlemlerinin başlangıcını oluşturan merkezlerdir.

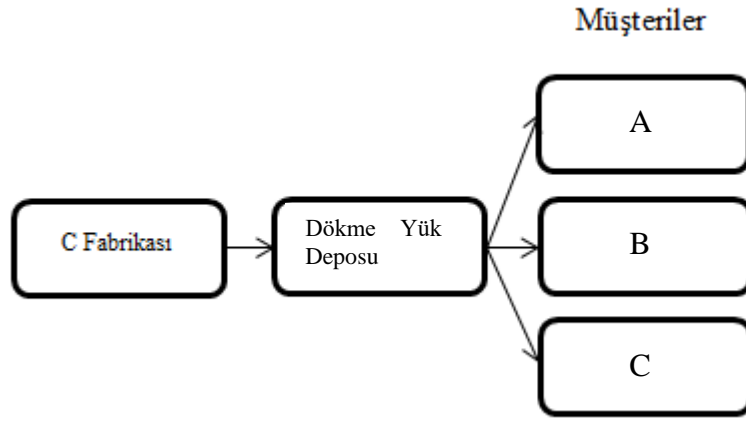
Bowersox (2002: 383-385) depoların ekonomik katkılarına göre depo fonksiyonlarını, konsolidasyon ve yığın ayrıştırma, ürün sınıflama ve tasnifi, erteleme, istifleme, ve tersine lojistik fonksiyonlarına ayırmıştır:

- Konsolidasyon ve dökme yük ayrıştırma: Konsolidasyon fonksiyonu, depoların birden fazla kaynaktan aldığı materyalleri birleştirerek belirli varış yerine göndermesidir. Düşük navlun ücretleri, zamanında ve kontrollü taşıma gibi avantajları bakımından depoların konsolidasyon için kullanılması planlanmıştır. Bunun tam tersi olarak yığın ayrıştırma işlemi ise depoya bir kaynaktan gelen ürünlerin ayrıştırılarak birden fazla kullanıcıya gönderilmesidir.



**Şekil 2.2:** Konsolidasyon işlemi

**Kaynak:** Bowersox vd., 2002:383



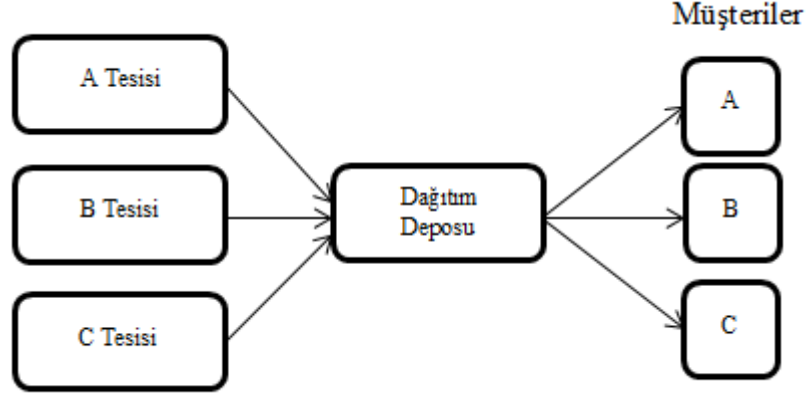
**Şekil 2.3:** Dökme yük ayrıştırma işlemi

**Kaynak:** Bowersox vd., 2002:383

- Ürün sınıflama ve tasnif: Depo fonksiyonlarından birisi de ürünlerin varış noktasına gönderilmeden önce miktar bakımından yeniden şekillendirilerek teslimat noktasına gönderilmesidir. Bu kapsamda çapraz sevkiyat, karıştırma ve montaj operasyonlarını içermektedir. Çapraz sevkiyat, depoya gelen ürünlerin müşteri talebine göre hazır hale getirilerek doğrudan doğruya sevkiyat araçlarına gönderilmesi işlemidir. Pek çok noktadan gelen ürünlerin sınıflama işleminden sonra hızlı bir şekilde belirli müşterilere gönderilme işlemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Birleştirme veya karıştırma (mixing) ise sevkiyat başlangıcı ve

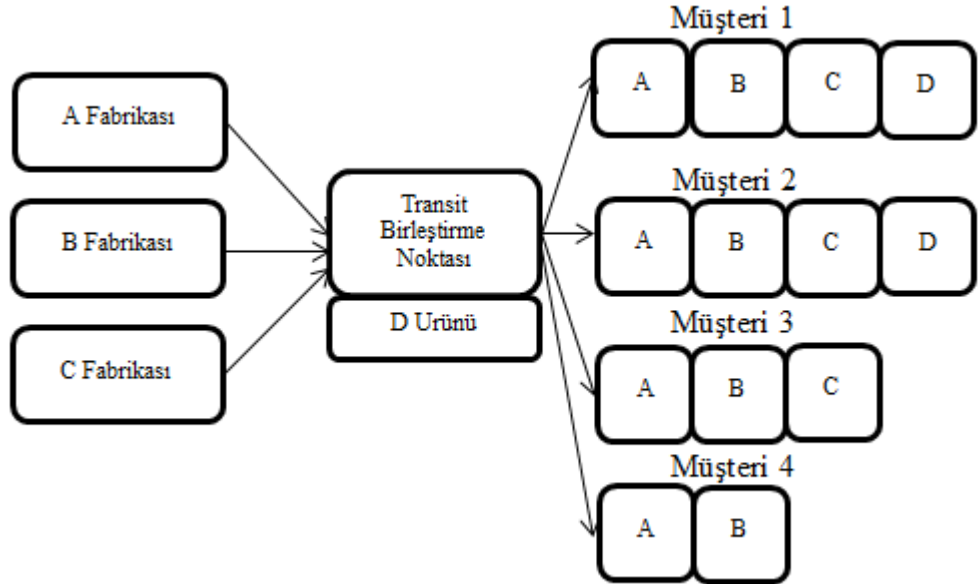


sevkiyat noktası arasında bir noktada gerçekleşmekte ve sevkiyatı yapılacak ürünlerin müşteri taleplerine göre sınıflandırılması ve istenilen karışımların gerçekleştirilerek sürecin tamamlanmasıdır.



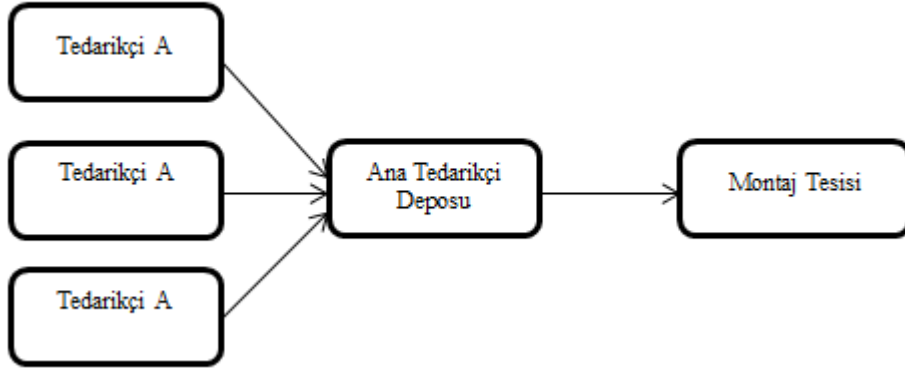
Şekil 2.4: Çapraz sevkiyat işlemi

Kaynak: Bowersox vd., 2002:385



Şekil 2.5: Ürün karması

Kaynak: Bowersox vd., 2002:385

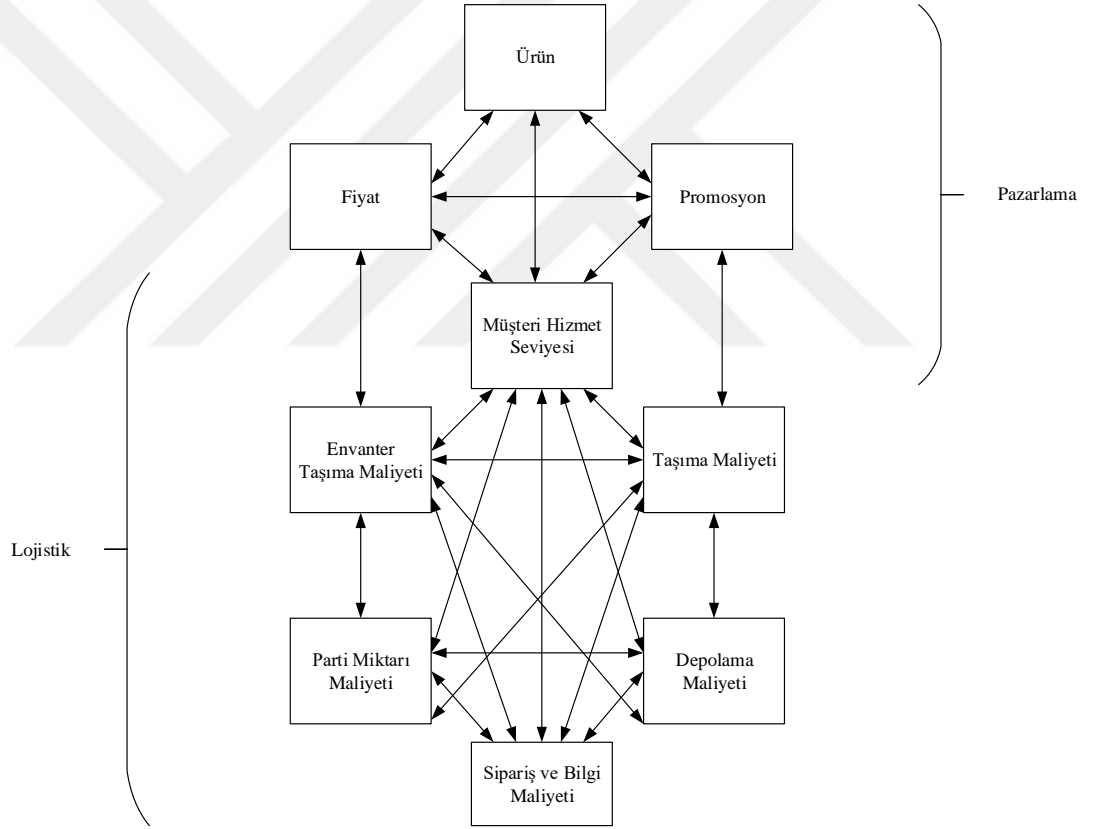


**Şekil 2.6:** Montaj işlemi

**Kaynak:** Bowersox vd., 2002:385

- Erteleme: Bu fonksiyonun iki ekonomik yararının olduğu belirtilmiştir. Depolarda gerçekleştirilebilecek erteleme fonksiyonu ile müşteri talebine göre değişiklik gösterebilecek paketleme işlemi yapılmadığından paketleme operasyonu ile ilgili risk alınması gerekmemektedir. Etiketleme ve son paketleme işlemleri müşteri talebi alındığında gerçekleştirilebilecektir. Ertelemenin ikinci faydası ise birden çok müşterinin etiketleme ve paketleme ihtiyaçlarını desteklemekten ötürü doğacak toplam stok maliyetlerinin azaltılmasıdır.
- Stoklama: Depolamanın bir diğer fonksiyonu olan stoklama, ürünlerin sezonsal değişiklik gösterdiği veya talebi önceden belli olan ürünler için bir istif ve stok alanı oluşturma özelliğidir. Bu aynı zamanda ekonomik anlamda işletmeler için avantaj sağlamakta ve bu dönemlerde ortaya çıkan ürünlerin satışına yönelik bir tampon görevi sağlamaktadır.
- Tersine lojistik: Tedarik zinciri içerisinde bazı durumlarda ürünlerin tersine hareketinin sağlanması gerekmektedir. Ürünlerin geri çağırılması, kullanım süreleri dolan ürünlerin geri dönüştürülmesi, tehlikeli maddelerin bertarafı ve müşterilerden geri dönen ürünlerin elden geçirilip tekrar gönderilmesi gibi işlemlerinin gerçekleştirildiği bir fonksiyonu sağlamaktadır.

Depolama operasyonlarının lojistik süreçler içinde önemli bir maliyet kalemi olduğu belirtilmiştir. Depolama operasyonlarının parti büyüklükleri maliyeti, bilgi işlem maliyeti, müşteriye sağlanan hizmet maliyeti, taşıma maliyeti ve envanter tutma maliyetleri ile doğrudan ilişkisi bulunmaktadır. Stock ve Lambert (2001:390), lojistik sistem içinde yer alan envanter taşıma maliyeti, taşıma maliyeti, parti miktarı maliyeti, depolama maliyeti, sipariş işleme ve bilgi maliyeti gibi maliyetlerin azaltılmasında ve müşteri tatmininin artırılmasında depolama faaliyetlerinin büyük önem taşıdığına altını çizmiştir. Depolama maliyetlerinin diğer maliyetler ile ilişkisi belirtilmiştir Şekil 2.7’de belirtilmiştir.



**Şekil 2.7:** Lojistik sistem içerisindeki maliyet ilişkisi

**Kaynak:** Stock ve Lambert, 2001: 390

### 2.1.3. Depo Süreçleri

Chorafas (1974:4), ana depolama süreçleri olarak şunları belirtmiştir:

- Aktarma: Ürünlerin karşılanması itibaren gerçekleşen işlemlerin sonrasında depolama alanına aktarımı yapılmaktadır. Bu süreçte ekipmanların aktarımı için kullanılacak araçların etkin bir şekilde kullanılması depo operasyonlarının performansının artırılmasında rol oynayabilmektedir.
- Karşılama: Materyallerin karşılama alanında tanımlarının yapılması, birden çok parçaya ayrılması, hasar durumlarının tespiti gibi işlemler yürütülmekte, sonrasında ise materyallerin depoya geçişleri sağlanmaktadır.
- Depolama: Ürünlerin tanımlandıkları noktalardan kullanım için çıkartılmalarına kadar geçen bir sürede muhafaza edilmeleri depolama sürecinin temelini oluşturmaktadır.
- Elleçleme: Depolama alanı ile doğrudan ilişkili olan ve depolama sistemindeki bir kısmın diğer kısımlarla olan bağlantısını sağlayan operasyonları içermektedir. Ticaret Bakanlığı (2018) tarafından yapılan elleçleme tanımı ise *“Ürünlerin asli niteliklerinin değiştirilemeden istiflenmesi, yerinin değiştirilmesi, büyük kaplardan küçük kaplara aktarılması, kapların yenilenmesi veya tamiri, havalandırılması, kalburlanması, karıştırılması ve benzeri işlemleri ifade etmektedir.”* şeklindedir.
- Paketleme: Elleçlenen ürünlerin gönderim aşamasına geçmeden ve araçlara yüklenmeden önce koruyucu bir ambalaj ile sarılması ve koruyucu malzemelere konulması gibi işlemleri de içeren paketleme süreci, depolarda aynı zamanda katma değer katılarak ürünün gönderime hazır hale getirilmesi aşamasını içerebilmektedir. Dış kaynak olarak 3PL firmalarını kullanan işletmeler için ürünlerin paketlenerek satışa sunulacak yerlere gönderilmesi hizmet alan işletmelerde iç işlem olarak yapılmamakta ve zamandan tasarruf edilebilmektedir.
- Gönderim: Gönderim işlemi iki kısma ayrılmıştır:
  - Materyallerin depodan işletme çevresine gönderimi,
  - Gönderim işi ile ilgili bütün bilgi dokümanlarının hazırlanması.

Richards (2011:9-10) depo operasyonlarını aşağıdaki gibi listelemiş, bu işlemlerin yerinde ve doğru yapılması halinde işletmelerin sadece operasyonlardaki etkinliklerini ve doğruluğunu arttırmada değil aynı zamanda yeni teknolojilerin avantajlarını da



## 2.2. Depolarda Performans Kavramı

### 2.2.1. Performans ve Optimizasyon Kavramları

Yukarıda anlatılan sistemler dâhilindeki süreçlerin ve faaliyetlerin birbiri ile uyum içerisinde çalışmasının veya çalışmamasının çeşitli sonuçları bulunmaktadır. Birçok tanımının bulunmasına rağmen performans kavramı kısaca verimlilik ölçümü olarak tanımlanabilir. Başarım olarak Türkçeleştirilmiş performans kelimesi, anlam itibari ile yapılması gereken iş veya görev kapsamında gösterilen başarı derecesi olarak tanımlanmıştır (Büyük Larousse, 1992: 549). Neely vd. (1995:1229) performans ölçümünü, bir faaliyetin etkinlik ve etkililiğinin miktarının belirlenmesi süreci olarak tanımlamıştır. Lebas (1995: 29), performans kavramını işletme veya duruma göre ortaya çıkan kısıtlar dâhilinde belirlenen amaçların gerçekleştirilmesi için, var olan bileşenlerin iyi bir şekilde dağıtılması ve yönetilmesi olarak tanımlamıştır. Karakaş ve Ak (2003: 338) performans kavramını, bir bireyin, grubun veya örgütün, amaçlanan hedef kapsamında ne seviyede olduklarını ve neye ulaşabildiklerini nicelik ve nitelik bakımından belirten bir gösterge olarak tanımlamıştır.

Performans ölçümü organizasyonların etkinliğini ve etkililiğini artıracak araç ve prosedürlerdir ve doğru yapılandırılmış bir performans ölçümü ile organizasyonlar çeşitli faydalar sağlayabileceklerdir (Franco-Santos vd., 2007; Kaplan ve Norton, 1992, akt. Micheli ve Mari, 2014:148).

Özgülbaş (2005:126) performans ölçümünün amacının bilgi sağlamak olduğunu belirterek, ölçümler dâhilindeki değerlerin aynı dönemdeki değerler ile veya uzun dönemdeki değerler ile karşılaştırılabileceğini ve kıyaslanabileceğini belirtmiştir. Bu da işletmeler ve organizasyonlar açısından kendi bünyelerine yönelik bir durum değerlendirmesi imkânı sunmaktadır.

Performans ölçümü, bir işletmenin kullandığı kaynakları, ürettiği ürünleri ve hizmetleri, elde ettiği sonuçları takip etmesi için düzenli ve sistematik biçimde veri toplaması, bunları analiz etmesi ve raporlaması süreci olarak tanımlanır (Sayıştay Bakanlığı, 2003:9).

Yüreğir ve Nakıboğlu (2007:545) performans ölçümünü ürünlerin, hizmetlerin veya işlemlerin yerine getirilmesinde, görevlerin nasıl gerçekleştiğinin bir program dâhilinde tarafsız olarak ölçülmesi olarak tanımlamıştır.

Performansın ölçümü kapsamında yapılan sınıflandırmalar genel olarak aşağıdaki boyutları kapsamaktadır (Akal, 2000:15):

- Etkinlik
- Verimlilik
- Verim ve girdilerden yararlanma
- Kalite
- Yenilik
- Çalışma yaşamının kalitesi
- Karlılık ve bütçeye uygunluk

Lojistik etkinliğin tam olarak gerçekleştirilmesi için lojistik sistemin optimum düzeyde çalışması beklenmektedir, özellikle depolama alanlarında yüksek verimliliğin sağlanması amaçlanmalıdır (Lambert vd. 1998:298). Bu anlamda etkinlik, etkililik ve verimlilik kavramları özellikle depo performansının değerlendirilmesinde göz önüne alınan noktalardan birkaçıdır.

Etkililik kavramı, gerçekleştirilen belirli faaliyetlerin amaçlara ne kadar ulaştığını gösteren bir performans boyutu olarak karşımıza çıkmaktadır (Horngren vd.,2000:229).

Yükçü ve Atağan (2009:2) etkililik kavramının örgütlerin ulaşmaya çalıştığı sonuçları ve derecesini ifade ettiğini belirtmişler, örnek olarak ise araştırma ve geliştirme bölümünde geliştirilen ürünlerin sayısının çıktı, bunlardan pazara hazır olanların sayısının da sonuç olduğunu belirtmişlerdir.

İşletme açısından etkinlik ise işçilik, hammadde, malzeme ve diğer girdilerin işletme içinden saptanan amaçlar doğrultusunda ne denli etkin ya da yeterli kullanıldığını gösteren bir değerlendirme boyutudur (Yükçü ve Atağan, 2009:3). Verimlilik ise sistemlerin çıktıları ile ilgilenmekte ve hedeflere ne ölçüde ulaşabildiğimizin bir göstergesi olarak tanımlanmıştır.

Lambert vd. (1998:298) verimliliğin pek çok tanımının olduğunu fakat bu kavramın gerçek girdi ve gerçek çıktı, kullanım ve depo performansı kavramlarını da içerdiğini belirtmiştir. Yazarlar, bu anlamda verimliliği gerçek çıktının gerçek girdiye göre oranı

olarak belirtmiş örnek olarak ise çalışılan saat başına elleçlenen paletleri vermiştir. Kullanım ise, kullanılan kapasitenin mevcut kapasiteye oranı olarak verilmiş, örnek olarak ise depoda doldurulan palet oranı yüzdesini vermiştir. Depo performansının ise mevcut çıktının standart çıktıya oranı olduğu belirtilmiş, örnek olarak ise bir saatte çağırılan kasalara karşı bir saatte çağırılması gereken kasaların standart oranını göstermişlerdir.

Verimlilik, girdileri ve çıktıları göz önüne alırken, etkinlik ise çıktılar, sonuçlar ve bunların etkileriyle ilgilenmektedir yani verimlilik, üretim kaynaklarının ne kadar iyi kullanıldığını ölçerken etkinlik, amaçların ne ölçüde gerçekleştiğini belirlemektedir. Buna benzer bir görüş olarak, verimlilik ölçütlerinin bir örgütün üretim faaliyetlerinin etkinliğinin nesnel ölçütleri olduğu belirtilmiştir (Çoban, 2007: 21).

Depolarda performans artışı için karar vericilerin çeşitli metotlar ve uygulamalar ile yukarıda üzerinde durulan noktalarda optimizasyon işlemleri gerçekleştirmeleri gerekmektedir.

Depolarda verimlilik artışı için çeşitli yollar ortaya atılmıştır. Bu programlar ve kapsama alanları aşağıdaki gibidir (Lambert vd.,1998:300):

- Metot temelli programlar: İstenilen sonuçlar için çeşitli alternatifleri değerlendirir. Bu kapsamda depo içerisindeki yerleşim, ürünlerin toplanması gibi konularda optimizasyon uygulamaları değerlendirilmektedir.
- Ekipman temelli programlar: Bu kararlar genellikle teknoloji bağlantılı olmakla beraber verimlilik artışı için depolarda değerlendirilebilmektedir. Radyo Frekansı ile Tanımlama (RFID), barkod, sesli komut istemi, konveyör, otomatik depolama ve çekme sistemleri (OD/ÇS) gibi teknolojiler ekipman temelli programlar içinde sayılabilir.
- Sistem temelli programlar: Bu programlar sistemin doğrudan etkilediği alanlar olarak karşımıza çıkmaktadır, yani yönlendirici ve lokasyon sistemleri, ürünlerin depoda yerleştirilmesi gibi alanları kapsamaktadır.
- Eğitim temelli programlar: Bu programlar daha çok çalışanların teşviki, yönetim geliştirme programları, çalışanların eğitimi gibi noktaları kapsamaktadır.



Optimizasyon bir hareketin, bir sürecin veya bir şeyi yapma metodolojisinin tamamen mükemmel, işlevsel ya da mümkün olduğunca etkili olma durumudur (Merriam-Webster, 2018). Optimizasyon kısıtlı kaynakların etkili kullanımının gerçekleştirilerek sistemin mümkün olan en düşük maliyet ve girdilerle en yüksek verimi ortaya koymasını sağlamak olarak karşımıza çıkmaktadır.

Optimizasyon sistem tasarımının bütün yönlerini kapsamakla beraber ana amaç olarak mümkün olan en düşük maliyet ile istenen işlevselliği ortaya çıkarmaktır. Pek çok metot içeren bu alan için optimizasyon teorisi denilmektedir (Hompele ve Schmidt, 2007:64).

Depolarda ve dağıtım sistemlerinde optimal operasyonların her müşteri siparişinin tam zamanında ve tamamen gönderime hazır olduğu ve ilgili bütün süreçlerin mümkün olan en kısa zamanda ve en az kaynak ile gerçekleştirilmesi anlamına geldiği belirtilmiş, operasyonel optimizasyon ile ilgili genel amaçlar aşağıdaki gibi listelenmiştir (Hompele ve Schmidt, 2007: 63-64):

- İş yükünün personel ve ekipman kapsamında sürekliliğinin sağlanması,
- Atıl zamanların ortadan kaldırılması,
- Boş konveyör seyahatlerinin düşürülmesi,
- Sipariş tedarik sürelerinin minimizasyonu,
- Verilen siparişlerin zaman aralıklarının gözlemlenmesi.

Performans ile ilgili kavramların optimizasyonun temelini oluşturması, süreç ve sistemlerle ilgili geri dönüşlerin sağlanması ve gerekli noktalarda müdahaleler, sistemlerin devamı için gerekli hale gelmektedir. Bu anlamda, bir sonraki bölümde depolar kapsamında temel performans göstergeleri üzerinde durulacaktır.

### **2.2.2. Depolarda Temel Performans Göstergeleri**

Çeşitli sektörlerde olduğu gibi depolar da performans ile ilgili çeşitli değerlendirmelerin yapıldığı ve bu değerlendirmelere göre çeşitli kararların verildiği faaliyet alanlarıdır.

Frazelle (2002: 41-42) depo performansının dört gösterge kategorisinde incelenmesi gerektiğini belirtmiştir. Bu kategoriler ve kısa açıklamaları aşağıdaki gibidir:

- Depo finansal performansı: Depolarda faaliyet tabanlı bir maliyetlendirme programı oluşturarak her depolama faaliyetinin tanımlanması ve finansal performansın değerlendirilmesidir.
- Depo verimliliği performansı: Depolardaki işgücü, alan, elleçleme sistemi ve depo yönetim sistemi gibi anahtar varlıkların verimliliğinin ve kullanım oranlarının kontrol edilmesidir.

İşgücü verimliliği, depodan sevk edilen birim, sipariş veya ağırlık oranının deponun operasyonunda veya yönetilmesinde geçen süreye oranı ile ölçülmektedir. İşgücü kullanımı ise çalışanların çalışma kapasitelerinin yüzdesi ile ölçülmektedir.

Depo yoğunluğu envanter depolama kapasite miktarının depodaki ayak kare alan ölçüsüne oranı olarak ölçülmektedir. Gösterim olarak ise parça, küp, birim olarak belirtilmektedir.

- Depo kalitesi performansı: Dört ana kalite göstergesi belirlenmiştir,
  - Adresleme doğruluğu: Doğru adreslenen ürünlerin yüzdesi
  - Stok doğruluğu: Stok tutarsızlığı dışındaki depo lokasyonlarının yüzdesi
  - Toplama doğruluğu: Hatasız olarak toplanan sipariş sıralarının yüzdesi
  - Sevkiyat doğruluğu: Hatasız olarak sevk edilen sipariş sıralarının yüzdesi
- Depo çevrim zamanı performansı: İki alanda kontrol önerilmiştir. Bunlar:
  - Rampadan stoklamaya kadar geçen zaman: Bir siparişin depoya geldiği zamandan alım veya gönderim zamanına kadar geçen süreyi kapsamaktadır.
  - Depo sipariş çevrim süresi: Depo zeminine bırakılan bir siparişin toplanması, paketlenmesi ve sevkiyata hazır hale getirilmesi arasında geçen süreyi kapsamaktadır.

Hompel ve Schmidt (2007: 56) depo sistemlerindeki ve dağıtım sistemlerindeki planlama ve tasarım aşamalarının karmaşıklığından bahsetmiş, bu karmaşıklık nedeni ile sistemle ilgili bütün parametrelerin tanımlanamayacağını belirtmiştir. Bununla beraber temel veriler ve anahtar değerler olarak depo performansı incelemesinin gerçekleştirilebileceğini belirtmiştir. Temel veriler ve anahtar göstergeler ile ilgili açıklamalara Tablo 2’de ve Tablo 3’ de yer verilmiştir.

Ürün Ana Verisi	Envanter Verisi	Hareket Verisi	Diğer Sistem Verisi
-Ürün kodu -Tanımlama -Ürün ağırlığı -Ürün uzunluğu -Ürün genişliği -Ürün yüksekliği -Miktar birimi -Birim yük -Yükleme faktörü(paketlenen miktar/birim yük) -Toplama birimi(paketleme miktarı/toplama birimi) -Engelleme göstergesi -ABC sınıflaması -Parti (Batch) numarası -Blok göstergesi -Ağırlık/toplama ünitesi -Ağırlık/ birim yük -Müşteri -Son kullanma tarihi -Kalan işleyiş zamanı -Ayrıştırılma özelliği	-Ürün sayısı -Toplam stok -Ortalama stok -Minimum stok/ürün -Birim yük/ürün -Satılabilir stok -Eksik miktar	-Karşılana ürün/gün -Çıkartılan ürün/gün -Eksik miktar/gün -Toplama/gün -Sevkiyat miktarı/gün -Yeniden depolananlar/gün -Siparişler/gün -Pozisyonlar/siparişler -Pozisyonlar/gün -Hareket/pozisyonlar -Gelen siparişler/saat -Sipariş temin süresi -Materyal temin süresi -Sipariş sayısı/sipariş tipi -Çift çevrim/gün -Tamamlanan birimler/gün	-Sipariş tipi -Birim yük ana verisi -Paketleme ana verisi -Depolama kapasitesi -Alan kısıtları -Yer kısıtları -Kullanım alanı/hacim -Birim yük miktarı/ürün -Personel sayısı/ departman -Personelin raporlu gün sayısı -İşlem maliyetleri -Yatırım maliyetleri -Ciro değeri/yıl -Verimlilik

**Tablo 2:** Depo sistemleri ile ilgili temel veriler

**Kaynak:** Hompel ve Schmidt, 2007: 57

Anahtar Performans Göstergesi	Tanım	Amaç/Problem	Etkili Değişkenler
Teslimata olan hazırlık	Zamanında teslim edilen sipariş sayısı (adet)/Toplam sipariş sayısı (adet)	Dağıtım hizmeti, müşteri memnuniyeti	Sipariş işleme, tedarik süresi, kapasite
Depo doluluk derecesi	Dolu yerlerin sayısı(adet)/Depolama kapasitesi(adet)	Depolama kapasitesinin kullanımı	Envanter yönetimi
Aktarma düzeyi (miktar)	Toplama sayısı (adet)/ Depolama kapasitesi(adet)	Depo dinamikleri	Sevkiyat yüklerinin ölçüsü
Aktarma düzeyi (değer)	Toplam ciro (\$)/Stok değeri (\$)	Envanter maliyeti	Sipariş sistemi
Maliyet/ Depolama lokasyonu	Toplam maliyet (\$)/Depolama kapasitesi(adet)	Depo teknoloji seçimi	Depo teknolojisi
Envanter gün sayısı (miktar)	Mevcut stok(adet)/Depo devir hızı(adet)	Envanter maliyeti, depo dinamikleri, servis düzeyi	Sipariş sistemi
Envanter gün sayısı (değer)	Stoklar(\$)/Depo cirosu(\$)	Envanter maliyeti, servis derecesi	Sipariş sistemi
Toplama yolu/ürün	Ortalama toplama yolu(m)/Toplanan ürün(adet)	Toplama tekniği seçimi	Süreç kontrol, toplama tekniği, bilgi yönetimi
Toplama yoğunluğu	Toplanan ürün(adet)/Toplama alanı(m <sup>2</sup> )	Ortalama dolaşım zamanı, toplama performansı	Tedarik yönetimi, raf sistemi teknolojisi

**Tablo 3:** Depo sistemleri ile ilgili anahtar performans göstergeleri

**Kaynak:** Hompel ve Schmidt, 2007: 59

Rushton vd. (2006:318), depoların müşteri ile ürünün buluşmasından önceki son halka olmasından ötürü, depoların sıkı bir hizmet ve maliyet standardı içerisinde idare edilmesi gerektiğini belirtmiş, ayrıca depoların çok çeşitli performans metrikleri ile etkili operasyonlar gerçekleştirmesi gerektiğinin altını çizerek ölçütleri sıralamıştır:

- Hizmet düzeyi:
  - Zamanında sevk edilen siparişlerin yüzdesi
  - Tamamlanan siparişlerin yüzdesi
  - Sipariş karşılama doğruluğu
  - Depodaki stok erişilebilirliği

- Sipariş temin süresi
- Geri dönüşler ve müşteri şikâyetleri
- Operasyonel etkinlik:
  - Saatte kişi başı toplanan kutu sayısı
  - Saatte kişi başı toplanan sipariş hattı sayısı
  - Ekipman çalışma zamanı (ekipmanın uygun olduğu saat yüzdesi)
- Maliyet etkinliği:
  - Kutu başına çıktı maliyeti
  - Depolanan palet başına maliyet
  - Bütçeye olan uygunluk (çalışan maliyetleri, kira, ekipman bakımı vs.)
- Kaynak kullanımı:
  - Palet depolama kapasitesi kullanım yüzdesi
  - Ekipmanların günlük kullanım süreleri
  - Çalışılan standart saat
- Envanter bütünlüğü:
  - Doğru olarak stoklanmış envanter lokasyonlarının yüzdesi
  - Doğru envanterli stok tutma birimlerinin yüzdesi
  - Envanter çevrimi
- Çevrim süreleri:
  - Ürünlerin gelişi ve depolama lokasyonlarına kaldırılma arasındaki geçen zamanın ortalaması
  - Müşteri siparişi ve ürün gönderilme işlemlerinin arasındaki sürenin ortalaması
- Güvenlik:
  - Kazasız gün sayısı
  - Güvenlik eğitimlerinin gün sayısı
  - Güvenlik kontrollerine uyma
- Personel:
  - Çalışanların yetenek eğitimlerinin gün sayısı
  - Çoklu beceri sahibi çalışanların yüzdesi
  - Devamsız ve raporlu kişi oranı

- Çevre:
  - Elektrik ve gaz kullanımı
  - Su geri dönüşümü
  - Geri dönen ürünlerin veya paketlerin geri dönüşüm yüzdesi

Yukarıdaki metrikler dışında operasyonel parametreler olarak ise çıktı miktarı, yükleme birimleri karakteristikleri, stok tutma birim sayısı, ürün karakteristikleri, sipariş sıraları, katma değerli gereksinimler gibi metrikler de belirtilmiştir (Rushton vd.,2006:321).

### **2.3. Otomatik Depolama ve Çekme Sistemleri Tanımı**

Tedarik zinciri ve lojistik faaliyetlerinde depolama işlevinin gelişmesi ve katma değerli faaliyetlerin artması zincir içerisindeki pek çok bileşeni etkilemiştir. Ürün çeşitlerinin artması, müşteri ihtiyaçlarına hızlı cevap verebilme ve müşteri tatmininin sağlanması için işletmeler, ürünlerin doğrudan müşteri ile karşılaşmadığı noktalarda da ürünlere katma değer katacak operasyonlar gerçekleştirmektedirler. Bu noktalardan en önemlilerinden birisi olan depolar ve depolama operasyonları ise hem ürünlerin uygun koşullarda saklanması ve müşteriye hazır hale getirilmesi amacıyla hareket ederken hem de depo operasyonları kapsamında en verimli operasyonları gerçekleştirmek durumundadır. Depolar, tedarik zinciri sistemleri içindeki önemini daha da fazlaştırmaktadır. Bu durumun en temel sebeplerinden birisi de ürün miktarı ve çeşitlerinin artması ve gerekli değer katma işlemlerinin uygulanması gerekliliğidir. Depolarda gerçekleşen elleçleme işlemlerinin otomatik ve manuel sistemler ile yapıldığı düşünülürse, manuel işlemlerin toplam depolama maliyetlerinin % 55 inden fazlasını oluşturduğu belirtilmiştir (Coyle et al. 1996 ve Tompkins et al. 2003, akt. Bottani vd. 2015: 646).

Endüstriyel sistemlerin gelişmesi ile beraber depolama sistemlerinin yapısı da değişen çevreye ayak uydurmak zorunda kalmış ve çeşitli depolama tipleri ve karar alma mekanizmaları geliştirilmiştir.

Otomatik depolama sistemleri ise depolar içerisinde üç boyutlu olarak işlem yapabilen, malzemelerin hassas, hızlı ve güvenilir bir şekilde depolanmasına, saklanmasına ve ihtiyaç halinde müşteriye gönderilmesine olanak sağlayan bir sistem olarak karşımıza

çıkılmaktadır. Sistem ilk olarak 1965 yılında Avrupa’da kullanılmış, hem alan hem de işgücü faktörlerini daha etkin kullanmak adına geliştirilmiştir (Yabanova, 2007:6).

Günümüz endüstrilerinde işletmelerin hem sürdürülebilirliklerini sağlamak hem de hayatta kalmaları için rekabetçi güçlerini korumaları gerekmektedir, bu noktada otomatik depolama sistemleri yer ve zaman avantajı sağlayarak tedarik zinciri içinde önemli bir yer teşkil etmektedirler (Soyaslan vd., 2012:1950).

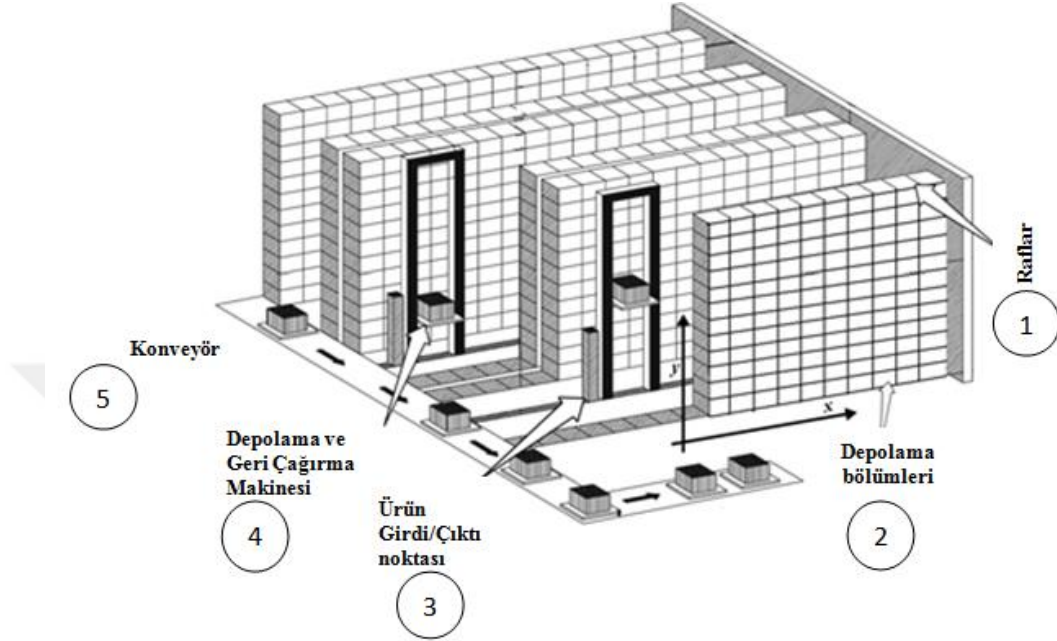
Depolama teknolojilerinin, otomasyon teknolojilerinin ve lojistik teknolojilerinin birbirleri ile entegrasyonu sonucunda otomatik depolama sistemleri ortaya çıkmış ve bu sistemler lojistik endüstrisi içinde yoğunlukla kullanılmaya başlanmıştır. OD/ÇS’nin en büyük avantajları olarak ise yüksek verimlilik, alanın verimli bir şekilde kullanılması ve ürünlerin zarar görmeden taşınması ve depolanması sayılabilmektedir (Li vd., 2006: 3345).

Depo performansını arttırmak ve dolayısı ile tedarik zinciri performansını iyileştirmek için depo içerisinde elleçleme ve alıcıların ürüne ulaşım sürelerinin azaltılması büyük önem taşımaktadır.

OD/ÇS’ler dikey, yatay ve derinlik olmak üzere (X, Y ve Z düzlemleri) üç yönde doğrusal hareket ederek ürünleri tutma, kaldırma, yönlendirme ve bırakma işlemleri yapabilen bir stoklama sistemidir. Depo yapısında ise koridorların sağında ve solunda çeşitli yüksekliklerde raflar olmak üzere gönderilen ürünler depo sisteminin yapısına göre raflardaki bölümlere yerleştirilir.

OD/ÇS’lerde depo yapısına ve koridor sayısına göre değişiklik gösteren birden çok “Depolama/Çekme Birimi (Storage/Retrieval Unit)” bulunabilmektedir. Çoğu depoda her koridorda bir D/Ç makinesi faaliyet göstermekte ve depo sistemine giren stokların raflarda bulunan bölümlere (lokasyonlara) yerleştirilmesini sağlamaktadırlar. Gelen ürünler “Girdi/Çıktı İstasyonu” (Pick-up/Deposit Stations) olarak adlandırılan noktalardan D/Ç makineleri ile alınarak sistemde belirlenmiş bölmelere ürünleri taşımakta ve bırakmaktadırlar. Bu sayede sisteme giren ürünlerin depolanması ve

sistemden çıkacak ürünlerin tekrar geri çekilerek depodan çıkması sağlanmaktadır. Şekil 2.9'da örnek bir otomatik depolama sistemi görülmektedir.



Şekil 2.9: Tipik bir OD/ÇS yapısı

**Kaynak:** Xing vd., 2010

Bu sistemde temel ekipmanların tanımı ise kısaca aşağıdaki gibidir (Xing, 2010):

- 1- Raflar: Depolama modüllerinin ana yapısını oluşturmakla beraber metal bir yapıdadır ve sisteme giren birimleri desteklemektedir.
- 2- Depolama Bölümleri: Ürünlerin yerleştirildiği gözleri oluşturmaktadır. Tek, çift veya çok derinlikli tipleri mevcuttur.
- 3- Ürün Girişi/Çıkışı (G/Ç) istasyonu: Ürünlerin OD/ÇS'den diğer bölümlere transferinin sağlandığı noktadır, çoğunlukla koridorların sonunda bulunmaktadır.
- 4- Depolama/Çekme (D/Ç) Makinesi: Depolama işleminin tamamlanması için kullanılan ekipmandır. Ürünlerin depolama bölümlerine bırakılması ve talep halinde geri çekilmesi işleminin sağlanmasını gerçekleştirir.



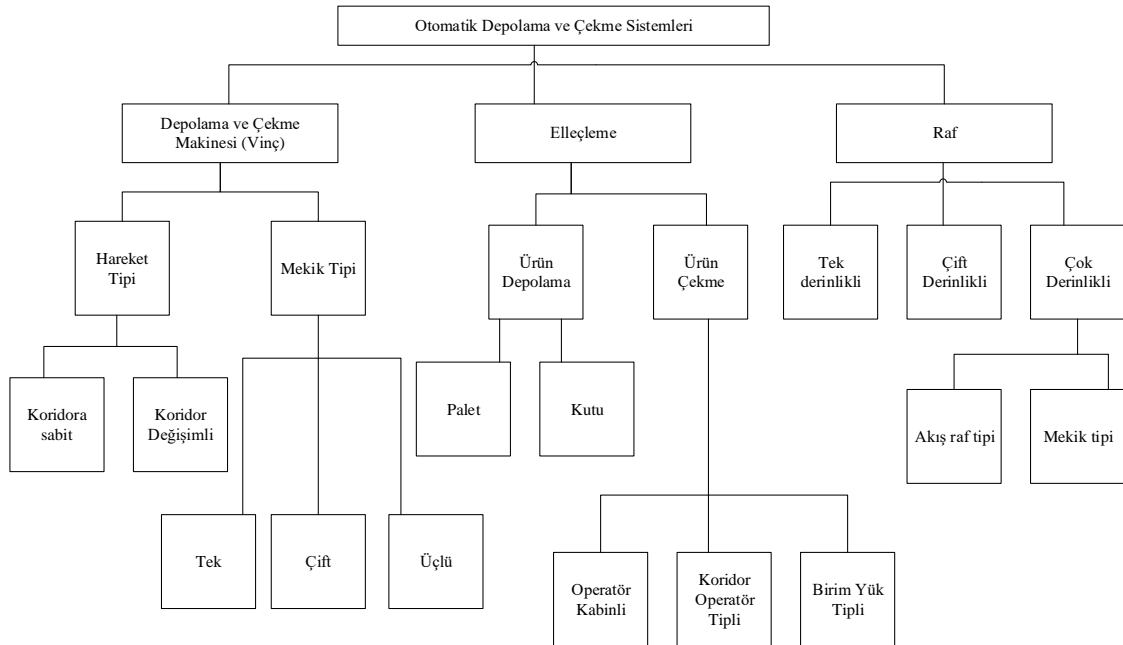
- 5- Konveyör: Ürünlerin tasnifinden sonra sisteme yerleştirilme aşamasına kadar ve ürün çıkışından itibaren araçlara yüklenmesine kadar olan hareketinin sağlandığı ekipmandır.

#### 2.4. Otomatik Depolama ve Çekme Sistemi Çeşitleri

OD/ÇS çeşitleri depolanan ürün tipi, çeşidi ve miktarına bağlı olarak çeşitli şekillerde düzenlenebilmektedir. Kullanılan OD/ÇS çeşitleri aşağıdaki gibidir:

- Birim Yük OD/ÇS
- Küçük Yük OD/ÇS
- Operatör Kabinli OD/ÇS
- Çok Derinlikli OD/ÇS
- Otomatik Parça Çekme Sistemi OD/ÇS
- Dikey Kaldırma Sistemli OD/ÇS

Şekil 2.10'da görülebileceği gibi OD/ÇS yapıları çok çeşitli olmakla beraber, gelişen teknoloji ile birlikte sistem içerisindeki çeşitli alanlarda farklılıklar meydana gelebilmektedir.



Şekil 2.10: OD/ÇS'ler için genel bir sınıflandırma yapısı

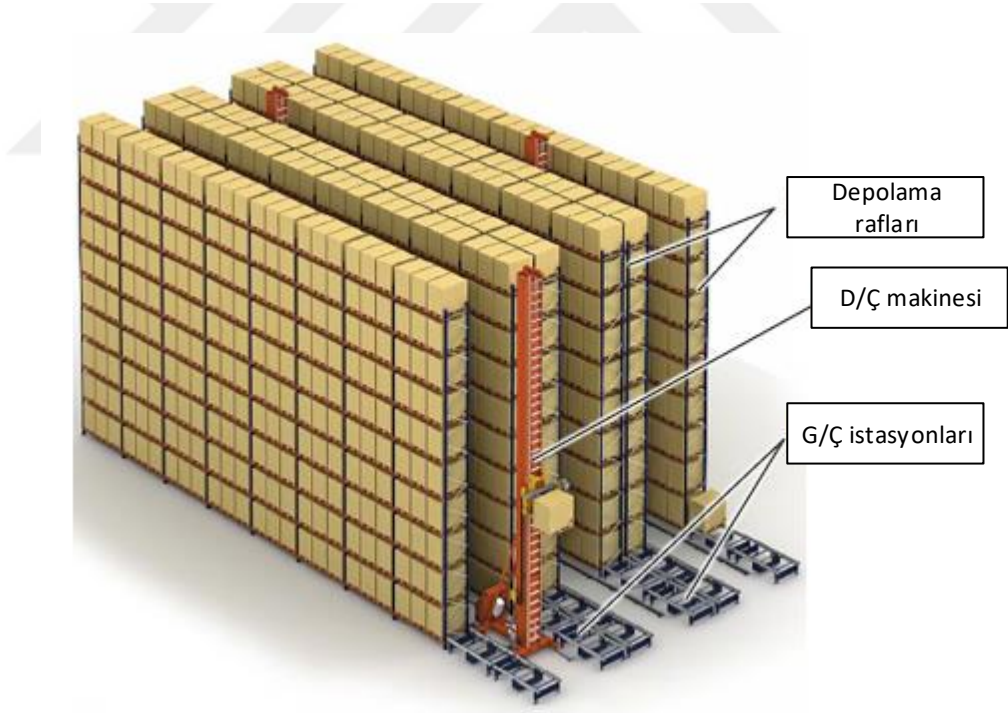
Kaynak: Vasili vd. 2012:165

#### 2.4.1. Birim Yük Otomatik Depolama ve ekme Sistemi

Genel bir OD/S tipi olan bu tip, paletler veya diğer standart taşıma kaplarını elleçlemek için kullanılan bir sistemdir. Bilgisayarlı bir kontrol bulunmakla beraber, taşıyıcı vinçler birim yüklerin taşınması için kullanılır (Vasili vd. 2012:164).

Bu tip içinde taşınan yük miktarı farklı olabilmekle beraber, genellikle 450-500 kg. zeri yükler için uygun olduğu belirtilmiştir (ztrk, 2011: 27, Yılmaz, 2011:8). Şekil 2.11’de örnek bir birim yük OD/S görülmektedir.

Genellikle metal bir yapı üzerine kurulan sistem içerisinde raflar ve raf aralarında ürünlerin giriş ve çıkışını sağlayan vinç bulunmaktadır. Vinç ekipmanının depolama veya alım lokasyonuna ulaşmasından sonra vinçlerde bulunan mekikler sistem içerisinden birim yükü bıraktıktan/aldıktan sonra giriş/çıkış noktasına ürünü bırakmaktadır.



**Şekil 2.11:** Birim yük OD/S tipi  
**Kaynak:** Rajkovi vd.,2019: 276

#### 2.4.2. Küçük Yük Otomatik Depolama ve Çekme Sistemi

Bu depolama sistemi, birim yük depolama sistemlerinden yapı olarak daha küçük olmakla beraber, sistemde depolanan birimler, birim yük depolama sistemlerindeki parçalardan daha küçüktür (Vasili vd., 2012:164). Bu sistemdeki ürünler plastik ve karton kutu gibi istifleme ekipmanları kullanılarak depolanabilmektedir. Bu sistemler 3 m. ile 6 m. arası bir yüksekliğe sahip olmakla birlikte, 90 kg.- 350 kg. arası yükler depolayabilmekte (bkz. Şekil 2.12) ve bu sistemlerde de D/Ç makineleri ürünlerin raflara yerleştirilmesini ve çağırılmasını sağlamaktadır (Öztürk, 2011:27).



Şekil 2.12: Küçük yük OD/ÇS tipi

Kaynak: URL-1

#### 2.4.3. Operatör Kabinli Otomatik Depolama ve Çekme Sistemi

Bu sistemde ürünlerin alınıp bırakılması vinç üzerindeki bir operatörün yönlendirmesi ile yapılmaktadır. Bu sistemde birim yük depolama sistemindeki gibi fazla bir ürün sayısı bulunmamakla beraber, farklı ürünlerin aynı rafa bir operatör aracılığı ile yerleştirilmesinin sağlanması depo içindeki verimi arttırmaktadır (Soyaslan vd.,2015: 10). Aşağıdaki görselde operatör kabinli bir OD/ÇS görülmektedir.



**Şekil 2.13:** Operatör kabinli bir OD/ÇS  
**Kaynak:** Soyaslan vd. 2015: 11

#### **2.4.4. Çok Derinlikli Otomatik Depolama ve Çekme Sistemi**

Çok derinlikli sistemler, ürün çeşidinin görece az fakat ürün miktarlarının yüksek olduğu durumlarda kullanılan sistemler olmakla beraber, sistemde raflar vinci her iki yanında bulunmakta ve ürünlerin yerleşeceği ikiden fazla derinlik bulunmaktadır (Vasili, 2012:164, Soyaslan, 2015: 10).





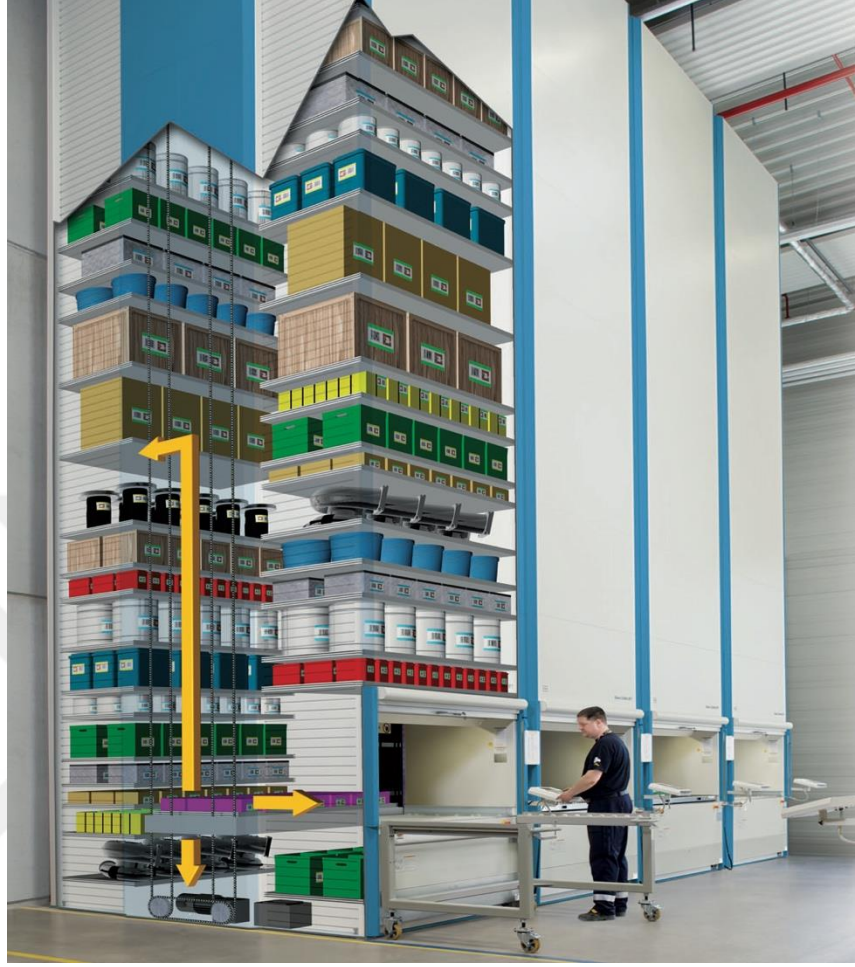
**Şekil 2.14:** Çok Derinlikli bir OD/ÇS  
**Kaynak:** Soyaslan, 2015: 11

#### **2.4.5. Otomatik Parça Çekme Sistemi**

Bu sistem yoğunluklu olarak geri çağırma işlemleri için kullanılmaktadır. Parçalar diğer sistemlerdeki gibi raflarda veya gözlerde değil, şeritler halinde depolanmaktadır. Sistem ilk giren ilk çıkar prensibine göre çalışmaktadır ve çekilen bir parça şeritten itilerek düşüş istasyonuna gönderilmek üzere konveyöre aktarılmakta, şeritten itilen parçanın yerine de sıranın arka tarafından yeni bir stok eklenmektedir.

#### **2.4.6. Dikey Kaldırma Depolama Modüllü Sistemler**

Yukarıda bahsedilen OD/ÇS yapıları yatay koridor tipi etrafında oluşturulmuştur, buna karşı dikey kaldırma sistemleri olarak da adlandırılan bu sistemler, 10 m. veya daha fazla yüksekliğe sahip yapılar içinde yüksek miktarda ürün depolayabilirken depo alanı içinde alan verimliliği de sağlamaktadır. Aşağıdaki şekilde dikey sistemli bir depolama sistemi görülmektedir.



**Şekil 2.15:** Dikey depolama sistemleri  
**Kaynak:** URL-2

### **2.5. Otomatik Depolama ve Çekme Sistemlerinin Sağladığı Faydalar ve Sistemin Dezavantajları**

OD/ÇS'lerin sağladığı faydalar literatürde çokça belirtilmiştir. Lambert vd. (1998:318-320) bu sistemlerin sağladığı faydalar konusunda aşağıdaki noktaların üzerinde durmuşlar aynı şekilde bu sistem ile ilgili dezavantajlı noktaları belirtmişlerdir;

- İşçilik maliyetlerinde azalma,
- Çıktı oranında artış,
- Hizmet kalitesinde yükselme,
- Elleçleme süresinde azalma,

- Ürün yerleştirme doğruluğunda artış,
- Hizmet sağlamada artış,
- Hizmet hızında artış.

Yukarıda belirtilen avantajlar karşı bu sistemin dezavantajları da aşağıdaki gibidir;

- İlk yatırım maliyetinin yüksekliği,
- Bakım ile ilgili bekleme zamanlarının tam tahmin edilememesi,
- Yazılım ile ilgili problemler,
- Kapasite problemleri,
- Değişen çevreye ayak uydurma konusunda esnekliğin düşük olması,
- Bakım maliyetleri,
- Kullanıcı ara yüzünün karmaşıklığı ve eğitim ihtiyacı,
- Kullanılan teknolojinin eskimesi.

Öztürk (2011: 30-31) ise bu sistem ile ilgili avantajlarını aşağıdaki gibi belirtmiştir;

- İmalathanelerde, fabrikalarda ve üretim merkezlerinde kullanılan her türlü parçaların ve aletlerin uygun koşullar içinde depolanmasını sağlamaktadır,
- Depolama alanını dikey ve derinlemesine olarak da kullanabilmesi ile bu sistemler yer tasarrufu sağlamaktadır,
- Anti-statik yapıları nedeniyle elektronik ekipmanların zarar görmeden depolanabilmesini sağlamaktadır,
- İşletmeler içinde kullanılan diğer destekleyici yazılımlar ile entegrasyonunun sağlanarak kullanıcıların anlık bilgi edinmelerine imkân vermektedir,
- Depo ile ilgili raporların kullanılan yazılım ile oluşturulabilmesi imkânı vardır,
- Birden fazla otomatik depolama sistemi ile entegre bir şekilde çalışabilmesi sayesinde çok kullanıcılı bir şekilde internet üzerinden birbirinden uzak terminallerin haberleşmesine imkan vermektedir.

Belirtilen dezavantajlar ise aşağıdaki gibidir;

- Sistemin ilk kurulum maliyeti yüksektir,
- Sisteme tam entegre yazılımların oluşturulması güçtür,
- Sistem içinde çalışacak personel eğitimi zaman alıcı ve maliyeti yüksektir,

- Yüksek sermaye ihtiyacı istemesi nedeniyle bu sistemi kuramayan işletmeler rekabet avantajlarını kaybedebilmektedir,
- Teknolojik gelişmeler sistemin yenilenmesini gerektirmektedir, bu da maliyetli ve zaman alıcıdır.

## **2.6. Otomatik Depolama ve Çekme Sistemlerinde Yük Elleçleme, Aktarma ve Depolama Sistemleri**

Groover (2001:341), otomatik depolama ve çekme sistemlerinin bileşenlerinin aşağıdaki gibi sıralamış ve açıklamıştır. Bileşenler ve açıklamaları aşağıdaki gibidir:

- 1- Depo yapısı
- 2- Depolama/Çekme makinesi
- 3- Depolama modülleri (ör.: Birim yükler için kullanılan paletler)
- 4- Yükleme ve boşaltma istasyonları
- 5- OD/ÇS kullanımı için bir kontrol sistemi (ör.: Depo yönetim sistemi)

Depo yapısı OD/ÇS'nin taşınması gereken yükleri destekleyebilecek, işlenmiş çelikten oluşturulmuş bir raf yapısı ile oluşturulmaktadır. Raf yapısı, yapıya etki edebilecek ağırlıklardan ve diğer kuvvetlerden etkilenmemesi için gerekli ölçüde kuvvetli ve sertlikte olmalıdır. Yapıdaki her bir depolama bölümü, depolama modüllerinin taşınması gereken materyalleri taşıyacak şekilde dizayn edilmelidir. Bunlarla beraber, raf yapısı OD/ÇS'nin bağlı bulunduğu kısımları desteklemelidir. Depo yapısının diğer bir görevi ve özelliği ise koridorda bulunması gereken D/Ç makinelerinin ve bunlara bağlı olarak OD/ÇS ekipmanlarının bağlı olduğu koridorları desteklemektir.

D/Ç makinesi, depolama işlemlerinin tamamlanmasını sağlamaktadır. Bu operasyon, yükleme istasyonundan alınan yükün depo içine taşınması, depo modüllerinden alınan yükün ise bırakma istasyonuna bırakılması demektir. Bu işlemlerin gerçekleştirilmesi için D/Ç makinesinin hem yatay ekseninde hem de dikey ekseninde hareket ederek (Chebyshev veya Tchebychev kuralı) işlemi tamamlaması gerekmektedir. Bu işlemin gerçekleşmesi D/Ç makinesinin sert dikey bir direk üzerine monte edilmiş bir asansör sistemi ile sağlanmaktadır. Direğin tabanındaki hareket mekanizması, D/Ç makinesinin koridor boyunca gerçekleştirilmesi gereken yatay hareketin tamamlanmasına imkân



vermektedir. Ayrıca, deponun tepesinde bulunan paralel bir başka ray ise, direk ve makinenin depo yapısına göre konumlanabilmesini sağlamaktadır. Makinede bulunan mekik mekanizması ise, taşıyıcıdaki yüklerin depolama hücrelerine ve hücrelerden de taşıyıcıya aktarımını sağlamaktadır. Operatörlü sistemlerde ise bu işlemi bir personel yapabilmektedir. Sistemde bulunan direğin yatay hareketi, taşıyıcının dikey hareketi ve taşıyıcı ile bir depo hücresi arasındaki mekik hareketi D/Ç makineleri için istenilen hareketleri sağlamaktadır. Bu hareketler OD/ÇS için üç farklı tahrik sistemini oluşturmaktadır. D/Ç makinelerinin hızlarından bahsetmek gerekirse, genel olarak yatay düzlemdeki hızı dakikada 200 m. ve dikeydeki hızı ise dakikada 50 m. olarak tespit edilmiştir. Belirtilen bu hızlar, yükleme/bırakma istasyonundan ürünün bırakılacağı depolama hücresine gidene kadar geçen süreyi belirlemektedir.

Depo modülleri,(lokasyonlar) depolanacak materyallerin birim yük konteynerler halinde bulunma durumudur. Bu modüller, palet, sepet, kutu, çelik tel sepetler ve küçük yük OD/ÇS'lerde kullanılan özel çekmeceler olabilmektedir. Standart boyutlardaki bu modüller D/Ç vincindeki mekik tarafından taşıma işlemi yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Depo içindeki hücreler de bu modülleri muhafaza edecek şekilde tasarlanmaktadır.

Yükleme/Bırakma istasyonları yüklerin OD/ÇS'lerden veya OD/ÇS'lere taşındığı alanlardır. Depo yapısına göre yerleri değişebilecek bu noktalar genellikle depoların sol alt kısımlarında bulunmaktadır. Gelen ve giden yüklerin nereye gideceğine bağlı olarak bu istasyonlar depo yapısı içinde zıt taraflarda bulunabilmektedir. Yükleme/Boşaltma istasyonlarının hem D/Ç makineleri ile hem de harici taşıma sistemleri ile entegre bir şekilde çalışması beklenmektedir. Manuel yükleme/bırakma, forklift, konveyör, otomatik yönlendirmeli araç sistemleri de G/Ç istasyonlarında yükleri taşımak için kullanılan ekipmanlar arasında yer almaktadır.

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### 3. DEPO LOKASYON ATAMA PROBLEMİNİN TEORİK ALTYAPISI

Depolama ve depo operasyonları ile ilgili bilimsel araştırmalar gözden geçirildiğinde, özellikle son yıllarda matematiksel programlama tekniklerini temel alan optimizasyon yaklaşımlarının sıklıkla kullanıldığı göze çarpmaktadır. Bir önceki bölümde üzerinde durulan depo operasyon performansları ile ilgili olarak oldukça yüksek tasarruflar elde edildiği belirtilmektedir.

Depo atama problemleri kesin, sezgisel, metasezgisel, simülasyon yöntemi ve veri madenciliğine dayalı yöntemler olarak sınıflandırılmaktadır. Kesin çözüm yöntemleri, çözüme ulaşabilmek için tüm çözüm uzayını aramakla beraber, bu durum büyük çaplı problemlerde makul zamanda bir çözüme ulaşılama durumu da ortaya çıkarabilmektedir. Problemin karmaşıklığına ve büyüklüğüne bağlı olarak polinom zamanda kesin yöntemlerle çözüme ulaşmanın zor olması sebebi ile depo lokasyon atama problemlerinin *NP-Zor* problem sınıfında yer aldığı belirtilmiştir.

Bu bölümde depo lokasyon atama problemi ile ilgili teorik altyapı incelenmiş ve konu ile ilgili literatür ortaya konmuştur.

#### 3.1. Atama Probleminin Tanımı

Literatürde depo lokasyon atama problemi olarak geçen problem, genel atama problemi yapısı içinde değerlendirilmektedir. “*Atama problemi*” nin ilk olarak Votaw ve Orden’in 1952 yılında ortaya koydukları personel atama problemi ile ilgili bir çalışmada yer aldığı belirtilmiş olsa da, klasik atama probleminin çözümü ve çeşitleri ile ilgili noktaların Khun’un 1955 yılında yayınlanan “*Atama Problemi için Macar Yöntemi*” çalışmasına dayandığının altı çizilmiştir (Pentico, 2007:774).

Atama probleminin genel yapısı  $n$  tane görevi  $n$  tane birime (işçi, makine, departman, lokasyon vs.) atamak koşulu ile atama maliyetinin en aza indirilmesi amacını

sağlamaktır. İşlerin makinelere veya işçilere atanması ya da işçilerin makinelere atanması kapsamında problem iki birim arasındaki birebir eşleşmeyi sağlamaktadır.

Klasik atama probleminin matematiksel modeli ise aşağıdaki gibidir (Pentico, 2007:775):

**Notasyonlar:**

*i*: birim

*j*: görev

*n*: görev/birim

$c_{ij}$ : *i* birimini *j* görevine atamanın maliyeti

**Değişken;**

$$X_{ij} \begin{cases} 1, & i \text{ birimi } j \text{ görevine atanmışsa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (1)$$

**Amaç Fonksiyonu**

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

**Kısıtlar:**

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, \dots, n, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad j = 1, \dots, n, \quad (4)$$

Pentico (2007:775-790) bir birime en fazla bir görev tanımlı modelleri içeren atama problemlerini aşağıdaki başlıklar altında toplanabileceğini belirtmiştir:

- Klasik atama problemi
- Birim özelliklerini dikkate alan atama problemi
- K-kardinalite atama problemi
- Darboğaz atama problemi

- Dengelenmiş atama problemi
- En az sapma atama problemi
- Sözlüksel (lexicographic) darboğaz problemi
- Yarı-atama problemi
- $\sum_k$  atama problemi
- Kategorize edilmiş atama problemi
- Çok kriterli atama problemi
- Kesirli (fractional) atama problemi
- Ek kısıtlı atama problemi
- Karesel (quadratic) atama problemi
- Gürbüz (robust) atama problemi
- Genelleştirilmiş atama problemi
- Çok kaynaklı genelleştirilmiş atama problemi

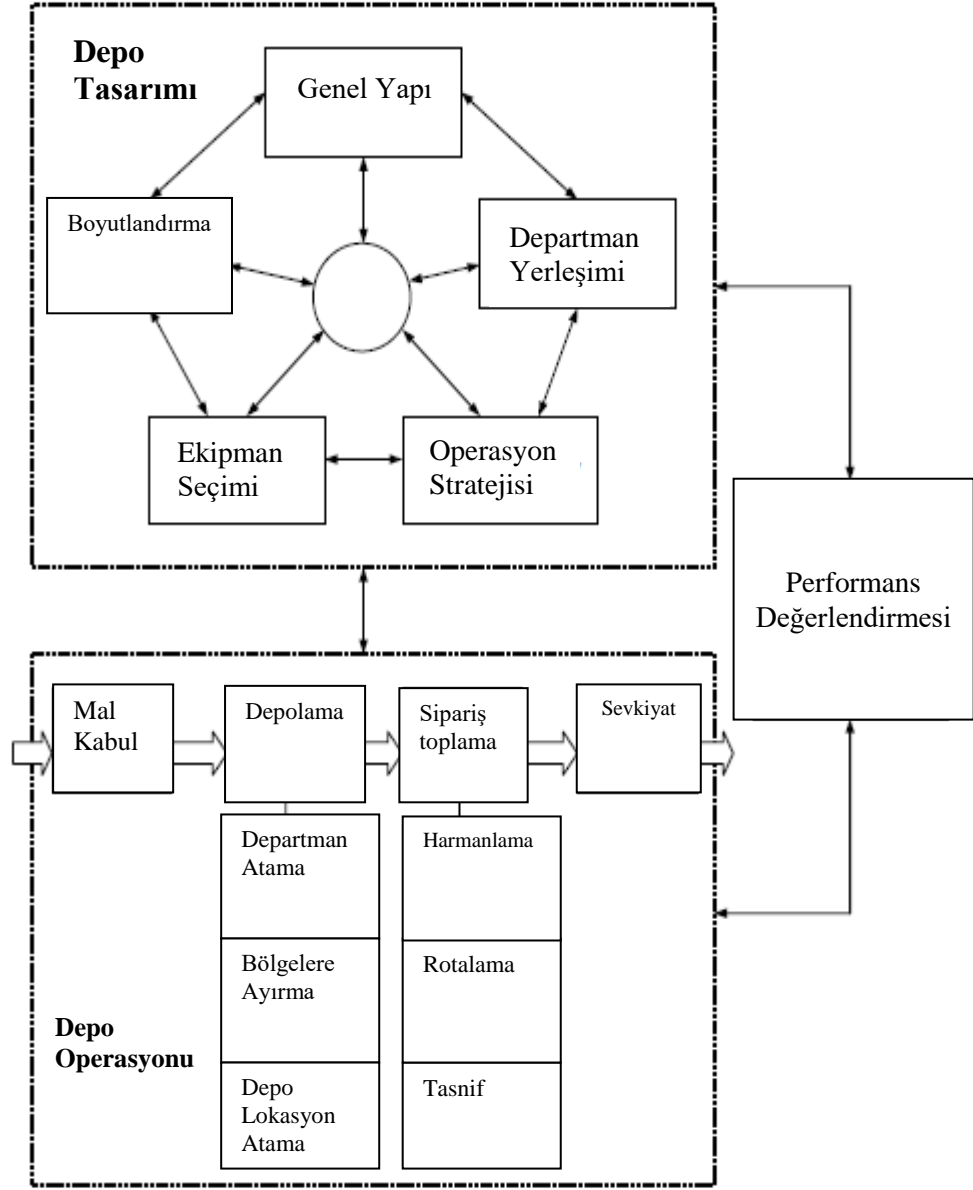
Ayrıca Pentico, atama problemlerinin araç rotalama, sabit lokasyon problemleri, esnek üretim sistemlerinde gruplama ve yükleme, proje çizelgelemesi, depo alanı atama gibi pek çok alanda örneklerinin bulunduğu da altını çizmiştir.

### 3.1.1. Depo Operasyonları ile İlgili Karar Problemlerinin Çeşitleri

Gu vd. (2007) depo tasarımı ve operasyonları ile ilgili çeşitli problemler üzerinde durmuştur. Şekil 3.1' de belirtildiği gibi depo operasyonları ile ilgili problemler 4 ana başlık altında toplanmıştır. Dört ana problem ve alt başlığı ile ilgili karar aşamaları da aşağıdaki gibidir;

- Mal kabul ve Sevkiyat:
  - Araç-yükleme kapasitesi atama
  - Sipariş-araç atama
  - Araç boşaltma çizelgeleme
- Depolama
  - Birim-departman atama
    - Ürünleri farklı departman birimlerine atama
    - Alan atama
  - Bölgelere Ayırma:

- Birimleri bölgelere atama
- Toplayıcıları bölgelere atama
- Depo lokasyon atama
  - Depo lokasyon atama
  - Depo sınıflandırması
- Sipariş toplama
  - Harmanlama
    - Harman büyüklüğü
    - Sipariş- harman atam
  - Rotalama
    - Sipariş toplama turlarının rotalanması ve sıralanması
    - Bekleme noktası seçimi (OD/ÇS için)
  - Tasnif
    - Sipariş- rota atama

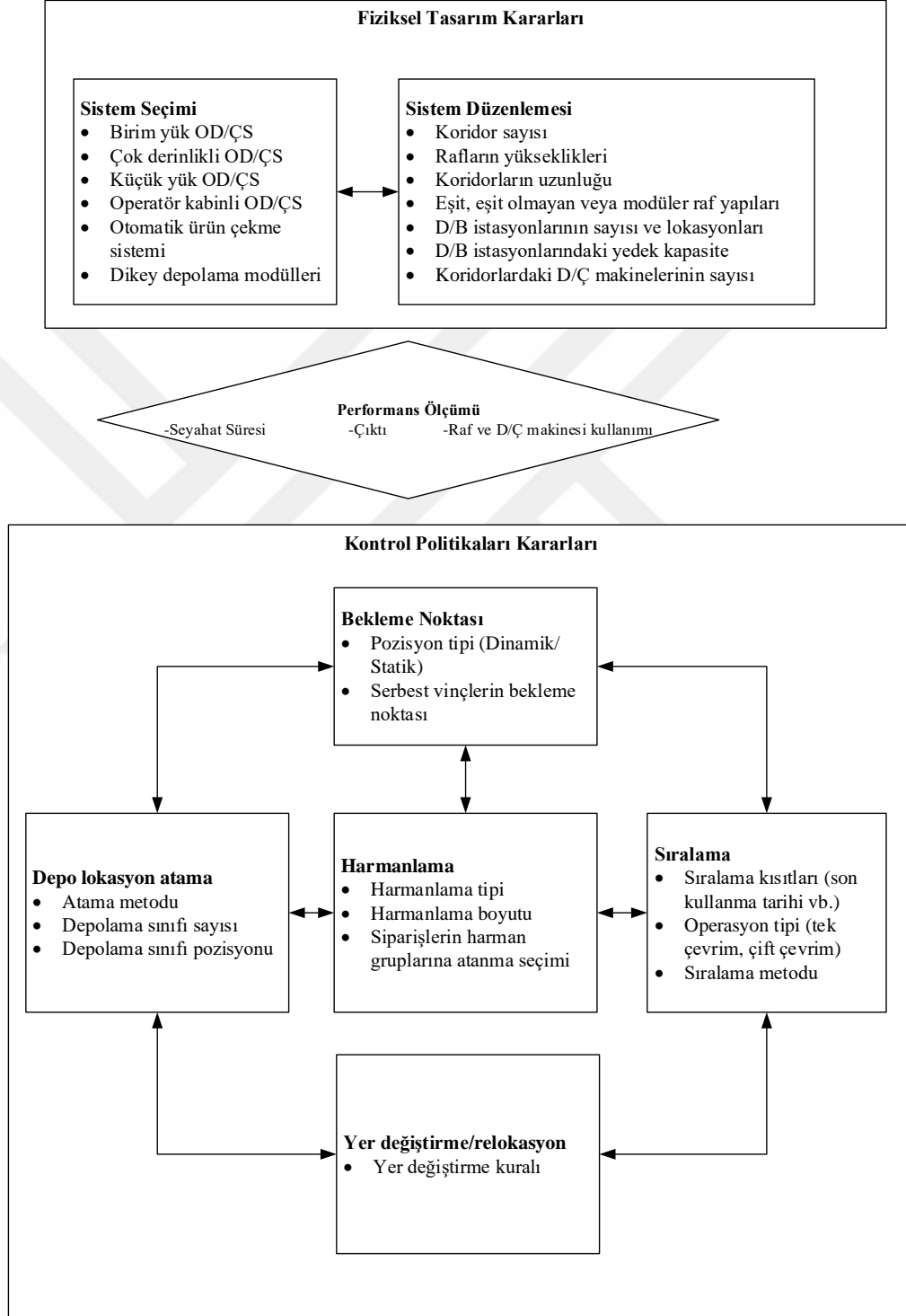


**Şekil 3.1:** Depo tasarımı ve operasyonu ile ilgili problemler

**Kaynak:** Gu vd., 2007:2

Benzer şekilde Vasili vd. (2012:168), OD/ÇS tasarımı ile ilgili fiziksel tasarım ve kontrol kısımlarını incelemişler ve depo atama kararını kontrol başlığı altında incelemişlerdir (bkz. Şekil 3.2). Hwang ve Lee (1990:1779), OD/ÇS'lerin tasarım kararları içerisinde D/Ç makinelerinin sayısı, bu makinelerin dikey ve yatay düzlemdeki hızları, depo lokasyon sayıları gibi faktörler bulunduğunu söylemiştir. Aynı yazarlar ayrıca, OD/ÇS çizelgeleme işlemlerinin ise aynı paletle çoklu ürün atama, paletlerin

depo lokasyonlarına atanması ve depolama ve çekme işlemlerinin sıralanması olmak üzere üç başlıkta toplandığını belirtmişlerdir.



**Şekil 3.2:** Otomatik depolama ve çekme sisteminin tasarımı için karar yapıları  
**Kaynak:** Vasili vd.,2012:168

OD/ÇS konfigürasyonları ve performans kriteri kapsamında ele alınan bir diğer nokta da *seyahat sürelerinin* tahminlenmesi ve hesaplanmasıdır. OD/ÇS’lerde seyahat süresi, D/Ç makinesinin seyahat süresi ve ürünü bırakma/çekme süresini kapsayan bir hizmet süresini içermektedir (Vasili vd.,2012:169). Fakat aynı yazarlar ürün bırakma/çekme sürelerinin formülizasyonunun basitleştirilmesi adına bırakma/çekme sürelerinin çoğu çalışmada göz ardı edildiğini belirtmiştir.

D/Ç makinesinin bekleme noktasından yola çıkarak ürünü alması ve tekrar bekleme noktasına dönme süresi seyahat süresini oluşturmakla beraber, D/Ç makinelerinin yatay ve dikey düzlemde hareket mekanizmaları bulunmaktadır. Chebyshev kuralı olarak adlandırılan bu durum, D/Ç makinelerinin hem yatay düzlemde hem de dikey düzlemde aynı anda hareket etmelerinden kaynaklanmaktadır. Vasili vd. (2012: 170)  $D_x$  ve  $D_y$  notasyonlarının dikey ve yatay düzlemleri,  $v^x$  ve  $v^y$  notasyonlarının da yatay ve dikey düzlemdeki hızlarını temsil ettiğini, bunlara bağlı olarak da seyahat süresinin  $\max\{D_x/v^x, D_y/v^y\}$  olduğunu belirtmişlerdir.

Hwang ve Lee (1990: 1780) OD/ÇS’lerde seyahat zamanlarının temellerini tanımladığı çalışmasında makineler için iki tip ivme durumundan bahsetmiştir. Aşağıdaki notasyonlar yazarlar tarafından belirtilmiştir ve iki durum için açıklamalar yapılmıştır.

$a$  = D/Ç makinesinin hızlanma/yavaşlama oranı,

$v(t)$  = t zamanında D/Ç makinesinin ivmesi,

$v_{max}$  = D/Ç makinesinin maksimum ivmesi,

$d(t)$  = t zamanında hareket edilen mesafe,

$t_p$  = en yüksek ivmeye ulaşmak için gerekli zaman (= en yüksek ivmedeyken durmak için gerekli zaman),

$T$  = bir noktaya ulaşma zamanı

*Tip 1:* En yüksek ivme değerinin  $v_{max}$ ’dan küçük olduğu durum.

*Tip 2:* En yüksek ivme değerinin  $v_{max}$ ’a eşit olduğu durum.

Bu tanımlamalara göre yazarlar *Tip 1* için seyahat süresi ve zaman arasındaki ilişkiyi aşağıdaki gibi açıklamışlardır:

$$v(t) = \begin{cases} at & t \in [0, t_p] \\ -at(t - T) & t \in [t_p, T] \end{cases} \quad (5)$$



$$d(T) = \int_0^T v(t)dt = \frac{a}{4}t^2 \quad (6)$$

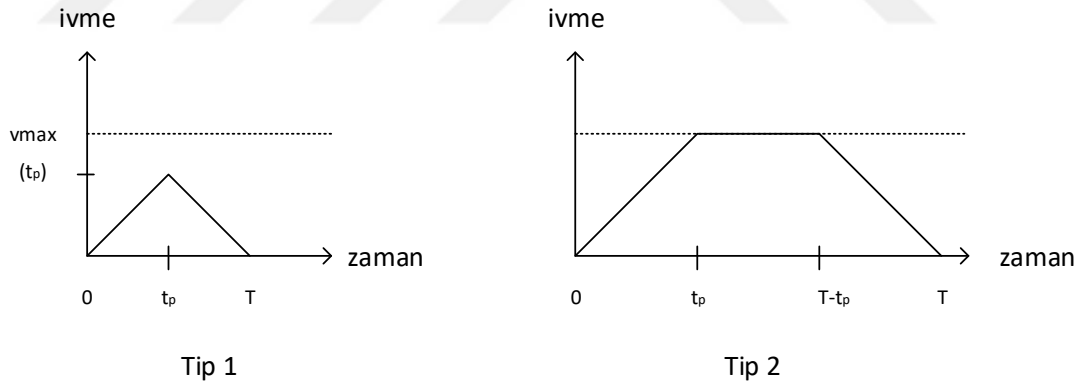
Aynı şekilde *Tip 2* için seyahat süresi ve zaman arasındaki ilişkiyi ise aşağıdaki şekilde yapmışlardır:

$$v(t) = \begin{cases} at & t \in [0, t_p] \\ v_{max} & t \in [t_p, T - t_p] \\ -a(t - T) & t \in [T - t_p, T] \end{cases} \quad (7)$$

$$d(T) = \int_0^T v(t)dt = v_{max}T - v_{max}^2/a \quad (8)$$

$d$  değeri, D/Ç makinesinin  $v_{max}$  değerine ulaşması için gerekli minimum mesafe değeridir.  $t \in [0, t_p]$  için  $v(t) = at$  ve  $t \in [t_p, T]$  için  $-at(t - T)$  olduğundan dolayı aşağıdaki eşitlik elde edilmektedir:

$$d = \int_0^T v(t)dt = v_{max}^2/a \quad (9)$$



**Şekil 3.3:** D/Ç makinelerinin iki seyahat tipi

**Kaynak:** Hwang ve Lee, 1990: 1780

### 3.1.2. Otomatik Depolama ve Çekme Sistemleri ile ilgili Depo Lokasyon Atama Kararları

Hausman vd. (1976)'nin otomatik depolama sistemlerinde optimal depo atama problemini inceledikleri çalışma, depo lokasyon atama problemi ile ilgili ilk formülasyonlarının yapıldığı çalışma olarak belirtilmiştir (Kofler, 2015:18). Hausman vd. (1976) OD/ÇS kapsamındaki depolama sürecini üç ana problem başlığı altında

incelemişlerdir. Bu üç ana başlık ürünlerin bir palet içine atanmasını içeren palet atama problemini, paletlerin depolama lokasyonlarına atanmasını içeren depo atama problemini, ürün depolama ve çekme işlemlerinin sıralamasını içeren çizelgeleme problemini ele almaktadır.

Depo lokasyon atama problemlerinde ana amaç, iki veya daha fazla birimin birbiri ile olan eşleşmesini sağlamaktır (Kofler, 2015: 17). Depo lokasyon atama problemleri (DLAP), lokasyon atama problemleri içinde sayılmaktadır (Pentico, 2007:784-785).

Li vd. (2016) otomatik depolama sistemleri ile ilgili operasyon ve kontrol problemlerini ürün kabul, depolama, sipariş toplama ve sevkiyat olarak gruplamıştır. Yazarlar, ürün kabul ve sevkiyat operasyonlarının gelen ve giden ürünler için bir arayüz oluşturduğunu, gelen ürünlerin ise depo içinde uygun yerlere gönderildiğini belirtmiştir. Aynı şekilde sipariş toplama operasyonunun da müşteriden gelen siparişe göre depodaki ilgili yerden alındığını ve sevkiyat aşamasına gönderildiğini söylemişlerdir.

Vasili vd. (2012) ise, depo lokasyon atama ile ilgili kontrol politikaları ve ilgili kararları depo atama metodu, depo sınıfı sayısı ve depo sınıflarının pozisyonlandırılması kapsamında üç ana başlık altında incelemiştir.

Depolama operasyonlarında sisteme giren/çıkan ürünler ile ilgili bilgilerin bulunurluğu sistemin etkin bir şekilde işlemesi için önemli hale gelmektedir. Bu anlamda, Gu vd. (2007:4) depo atama problemlerini bilgi kapsamına göre hiyerarşik olarak sıralamışlardır;

- 1- Birim bilgisine dayalı depo lokasyon atama problemi: Bu grupta her bir farklı birimle ilgili giriş ve çıkış zamanları hakkında bilgi vardır ve önceden bilinmektedir.
- 2- Ürün bilgisine dayalı depo lokasyon atama problemi: Ürün ile ilgili ürün sınıfı, boyut veya kullanım oranı gibi bilgiler bilinmektedir.
- 3- Bilgi olmayan durumda depo lokasyon atama problemi: Gelen ürünlerle ilgili sınıflama, kullanım oranı, boyut gibi herhangi bir bilgi bulunmamaktadır ve bu sınıfa giren durumlar için farklı atama yöntemleri kullanılmaktadır.

### 3.1.3. Otomatik Depolama ve Çekme Sistemlerinde Lokasyon Atama Politikaları

Depo içindeki belirli lokasyonlara ürünlerin atanması amacı ile ortaya çıkan depo lokasyon atama problemi (storage location assignment problem-SLAP) literatürde dikkat çeken konuların başında gelmektedir.

Goetschalckx ve Ratliff (1990:1120) ise optimal bir depo politikasının sistem içindeki kısıtları sağlayarak bir yükün ortalama depolama ve geri çekme sürelerini minimize etmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Hsieh ve Tsai (2001:684) ise iyi kurgulanmış ve üretim operasyonlarının ihtiyaçlarına göre tasarlanmış bir depolama politikasının sadece OD/ÇS'nin değil üretim sisteminin de performansını arttıracaklarının altını çizmişlerdir.

Roodbergen ve Vis (2009:346) depo atama politikalarının hangi ürünün hangi lokasyona atanacağını belirlediğini ve gelen ürünlerin depo lokasyonlarına atanması için bir çerçeve oluşturduğunu belirtmiştir.

Ürünlerin depo konumlarına atanmaları ile ilgili çeşitli politikalar ortaya atılmıştır. Literatürdeki bu politikalar aşağıdaki gibidir (bkz. Hausmann vd. 1976, Graves vd. 1977, Schwarz vd. 1978, Goetschalckx ve Ratliff 1990, Van den Berg ve Zjijm 1999, Roodbergen ve Vis 2009):

- Rastgele depo atama politikası (Randomized Storage Assignment)
- En yakın açık konuma depo atama politikası (Closest Open Location Storage Assignment)
- Sınıf tabanlı depo atama politikası (Class-based Storage Assignment)
- Tam devir tabanlı depo atama politikası (Full Turnover Based Storage Assignment)
- Tahsisli depo atama politikası (Dedicated Storage Assignment)

Rastgele depo atama politikasında ürünler depo alanı içinde herhangi bir yere atanabilmektedir. Bu politikada bir ürünün bütün açık lokasyonlara atanma olasılığı eşittir.

En yakın açık konum politikasında ise sisteme gönderilen yük karşılaşılan en yakın açık konuma atanarak ürün yerleştirilmektedir. En yakın açık konum politikasının sonucu olarak sistem içinde giriş/çıkış istasyonlarına yakın bölgelerin dolu, diğer bölgelerin ise daha az dolu olduğu görülebilmektedir.

Sınıf tabanlı depolama politikasında ise atamalar ürünlerin taleplerine ve hareket frekanslarına göre yapılmaktadır. Belirlenen bir sınıf içinde her sınıf depolama alanı içerisinde bir bölgeyi rezerve etmiştir ve gelen ürün sınıf içerisinde rastgele bir noktaya atanmaktadır.

Sınıf tabanlı bir uygulamada tasarım aşamasında aşağıdaki kararlar dikkate alınmaktadır (Balkan, 2012:21):

- Deponun bölgelere ayrılması (sınıf sayısının belirlenmesi kararı)
- Bölgelerin boyutlandırılması (her bölgeye atanacak ürün sayısı kararı)
- Bölgenin konumlandırılması (bölgelerin deponun hangi konumunda olması gerektiği kararı)

Deponun bölgelere ayrılması (zone divisioning) ile ilgili çeşitli çalışmalar aşağıdaki gibidir;

- Hausman vd. (1976) ABC sınıflı L şekilli konfigürasyonda zaman-kare raflara tekli komut planlaması uygulandığında en iyi sonucu verdiğini sayısal olarak hesaplamışlardır.
- Graves vd. (1977), zaman-kare ikili komut planlamasında L şeklindeki konfigürasyonun optimale yakın sonuç verdiğini simülasyon yoluyla göstermişlerdir.
- Guenov ve Raeside (1992) aynı zamanda ikili komut planlaması ve üç farklı bölge şekillerinin karşılaştırılması konusunda çalışmışlardır.
- Eynan ve Rosenblatt (1994) tekli komut planlaması kullanıldığında  $n$  sınıflı dikdörtgen raf yerleşimini tartışmışlar, bu yerleşim  $n-2$  sınıfı için L şeklindeki bölgeyi,  $n-1$  sınıfı için geçici bölgeyi ve  $n$  sınıfı için bir dikdörtgen bölgeyi

birleştirmektedir. Şekil 3.4'te ABC sınıflaması dâhilindeki tipik şekiller görülmektedir:



**Şekil 3.4:** Üç sınıf için tipik alan konumlandırma

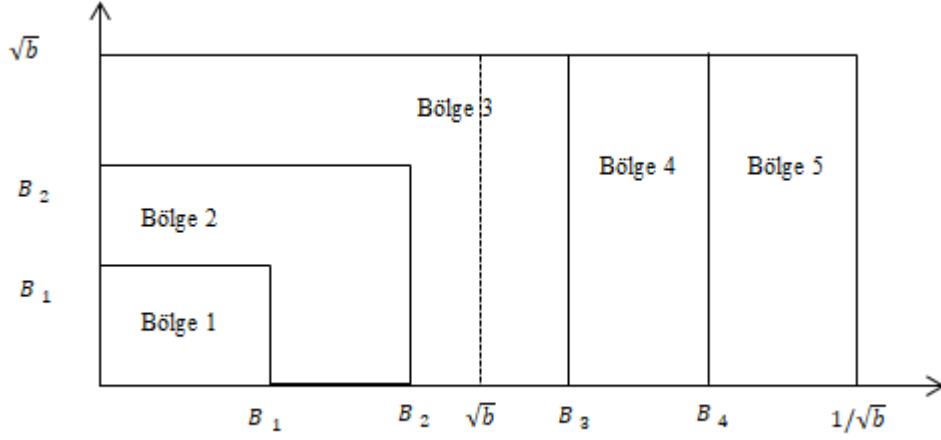
Ayrıca Eynan ve Rosenblatt (1994: 39) her bir koridorun kendi vinç makinesinin olduğunu varsayarak depo bölgelendirmesini dikdörtgen bir depo alanı için aşağıdaki notasyonları belirtmişler ve Şekil 3.5'te belirtilen şekildeki gibi üç farklı depo bölgesi ortaya koymuşlardır. Bunlardan ilki Bölge 1-2 ve 3'ü kapsayan kare bölgeler, ikincisi Bölge 4 ve 5'i kapsayan dikdörtgen bölgeler, üçüncüsü ise kare ve dikdörtgen bölgelerin arasındaki geçici bölgedir.

$t_h$  = en uzak sıraya (row) tek yönlü gidiş süresi

$t_v$  = en uzak sütuna (column) tek yönlü gidiş süresi

$b$  = şekil faktörü

$$b = \min \left( \frac{t_v}{t_h}, \frac{t_h}{t_v} \right) \text{ ve } 0 < b \leq 1$$



**Şekil 3.5:** Dikdörtgen bir depo için potansiyel bölgeler

**Kaynak:** Eynan ve Rosenblatt, 1994: 39

Tam devir tabanlı politikada ise depo lokasyonları taleplere veya çevrim frekanslarına göre belirlenmektedir. Sıkça talep edilen ürünlerin erişimi en kolay yere yerleştirilmesi yani giriş/çıkış istasyonlarına en yakın yere atanması sağlanır. Daha az hareket gören ürünler ise giriş/çıkış noktasına daha uzak konumlandırılmaktadır. Bu politikanın uygulanma aşamasında ise çevrim frekanslarının bilinmesi gerekmektedir. Heskett (1963) sipariş başına endeks (cube-per-order index/COI) kuralı ile bir ürüne olan talebi ortaya çıkarmaktadır. COI kuralı temelde ürün stoklama hacminin sipariş sayısına oranını ortaya çıkarmakta ve bu sayede COI'si en düşük olan ürünlerin yükleme/boşaltma noktasına en yakın yere atanması sağlanmaktadır. Tam devir tabanlı atama ve sınıf tabanlı depolama politikaları depolama ve geri çekme operasyonlarının ortalama seyahat süresini azaltarak yüksek talepli ürünlerin en kolay ulaşılabilir noktalarla atanmasını göz önüne almaktadır.

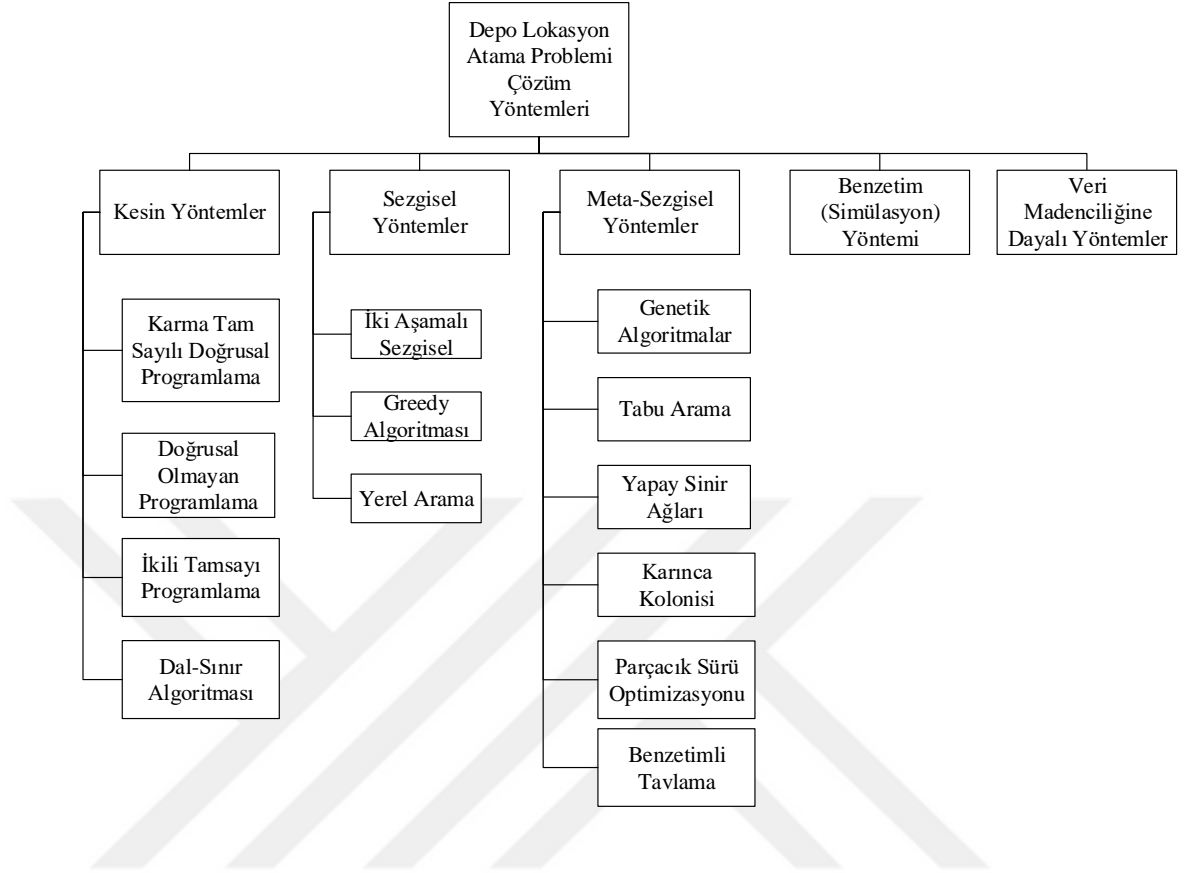
Tahsisli depo atama politikası ise her ürün tipini önceden belirlenmiş bir noktaya atamaktadır. Lee ve Schaefer (1996)'e göre bu lokasyonların belirlenmesi stok numaraları, faaliyet ve envanter düzeylerine göre olmaktadır. Yüksek alan ihtiyacı ve buna bağlı olarak düşük alan kullanımı bu politikanın temel dezavantajını oluşturmaktadır.

DLAP çözümünde göz önüne alınan genel kriterler ve kısıtlar literatürde belirtilmiştir. Belirtilen kriterlere ve kısıtlara bağlı olarak da depo içindeki etkinlik ve ilgili ekipmanların çalışma hızı etkilenmektedir. Gu vd. (2007:7) performans kriterleri ve kısıtlar ile ilgili olarak aşağıdaki noktaların altını çizmiştir:

- Depolama kapasitesi ve verimliliği
- Toplayıcı çevrim süresine bağlı olarak toplayıcı kapasitesi ve verimliliği
- Tepki süresi
- Ürünler ve depo lokasyonları arasındaki uygunluk ile ürünler arasındaki uygunluk
- Birim çekme politikası (FIFO- ilk giren ilk çıkar, LIFO- son giren ilk çıkar)

### **3.2. Depo Lokasyon Atama Problemleri İçin Çözüm Yöntemleri**

Depo lokasyon atama problemleri literatürde sıkça çalışılmakla beraber, çözüm yöntemleri ve yaklaşımları seneler içerisinde farklılıklar ve değişimler göstermektedir. Depo lokasyon atama problemleri için kullanılan başlıca yöntemler Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



**Şekil 3.6:** Depo Lokasyon Atama Problemleri için Çözüm Yöntemleri

### 3.2.1. Kesin Çözüm Yöntemleri

Kesin çözüm yöntemleri en iyi çözümü bulana kadar bütün çözümlerinin denenmesini içermektedir. Depo lokasyon atama probleminin çözümü için de kullanılan bir yöntem olan kesin çözüm yöntemlerinde, karma tamsayılı doğrusal programlama, ikili programlama, gürbüz optimizasyonu, doğrusal olmayan programlama, pareto sınırları, dal ve sınır, dal ve kesme algoritmaları matematiksel modellemeleri kullanılmaktadır (Reyes, 2019:208).

#### 3.2.1.1. Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama

Doğrusal programlama, gerçek problemler için de sıkça kullanılmakla beraber, belirli kısıtlar altında doğrusal bir amaç fonksiyonu oluşturmayı hedefler. Uygulama problemlerinin anlamlı olabilmesi, karar değişkenlerinin tam sayılı olması durumunda ortaya çıkmaktadır. Karma tam sayılı programlama problemlerinde ise bazı değişkenlerin tam sayılı olmasının yanında başka değişkenlerin de kesirli değerler



alabilmesi durumunda problem, karma tam sayılı programlama modeline dönüşmektedir. Bu tip doğrusal programlamada  $n$  tane karar değişkeninden  $k$  tanesi için tam sayı olma koşulu aranırken,  $n-k$  tanesi için pozitif olma koşulu aranmaktadır (Çevik, 2006:159).

### **3.2.1.2. İkili Tamsayılı Programlama**

Bu tür problemlerdeki tüm değişkenlerin 0 veya 1'e eşit olması istenmesi durumunda bu tür programlama tipi ikili (binary) tamsayılı programlama tipine dönüşmektedir. Chiang vd.(2011) depo lokasyon atama problemini birliktelik endeksi ile beraber ikili tamsayı programlama olarak çözmeye çalışmıştır.

### **3.2.1.3. Doğrusal Olmayan Programlama**

Gerçek hayattaki problemler için geliştirilen karar modellerinin bazı kısıtlarında ve amaç fonksiyonunda doğrusal ilişkiler gözlemlemek zor olabilmektedir. Bu anlamda en az bir kısıtın veya amaç fonksiyonunun doğrusal olmadığı durumlarda “doğrusal olmayan programlama” yöntemi kullanılmaktadır. Amaç fonksiyonunun maksimize veya minimize edildiği bir çözüm yöntemi olarak kullanılmakla beraber, bu programlama tipi, amaç fonksiyonunun ve kısıtlardan bir kaçının doğrusal olmadığı bir çözüm yapısına sahiptir (Bilişik, 2011:790).

### **3.2.1.4. Dal ve Sınır Algoritması**

Bu algoritma sistematik olarak uygun çözümleri sayarak en uygun çözüme ulaşmayı amaçlamaktadır. Bu algoritmada çözüm alanı alt sınırlara bölünmekte ve bölünen her bir alt problem için ayrı ayrı optimizasyon uygulanmaktadır. Çözüm alanı dal ve sınır yapısı kullanılarak incelendikten sonra sınırlama aşamasında problem gevşetilmektedir. Bu sayede, çözüm setinde olmayan çözümler kabul edilerek, optimal çözümü sağlayacak gevşetilmiş doğrusal programlama modeli ortaya çıkacaktır. Bu gevşemenin çözülmesi ile ideal çözüm değeri üzerinde daha düşük bir sınıra ulaşılmaktadır (Çiçekli, 2012: 31-32).

### 3.2.2. Sezgisel Yöntemler

Mümkün olan en kısa zamanda en iyi çözüme ulaşmayı amaçlayan sezgisel yöntemler, kısmen de olsa çözüm uzayını sınırlı bir şekilde keşfetmektedir. Üç ana başlık altında incelenebilen sezgiseller aşağıdaki gibidir:

- Yapıcı Sezgiseller: bu metotlar, problem verilerini aşama aşama çözüm üretmek için kullanılmaktadır.
- Yerel Arama: bu metot, çözümün aşama aşama geliştirildiği yinelemeli araştırma prosedürlerinden oluşmaktadır ve ilk pratik çözümden başlayarak bir dizi yerel değişimin uygulandığı bir metottur.
- İki Aşamalı Algoritmalar: “Önce gruplandır sonra yönlendir” ve “önce yönlendir sonra gruplandır” şeklinde iki gruba ayrılmakla beraber, ilk gruptaki yapıda öncelikle talep noktaları gruplandırılmakta, sonrasında asıl rotalar ortaya çıkarılmakta, ikinci grupta ise öncelikle tek ve büyük bir rota oluşturulduktan sonra ikinci aşamada daha pratik rotalar ortaya çıkarılmaktadır (Çiçekli, 2012:33)

### 3.2.3. Metasezgisel Yöntemler

Literatürde Glover (1986) tarafından kullanılan metasezgisel terimi, iki Yunanca kelimenin birleşiminden türetilmiştir. “*Heuriskein*” yani “*bulmak*” kelimesi ile “*meta*” yani “*bir üst seviyedeki, en üst seviyedeki*” ön ekinin birleşimi ile günümüzdeki kullanımı oluşmuştur (Blum, 2005:355).

Tarantilis vd. (2005:457) metasezgisel yaklaşımları sezgisel prosedürlere göre daha yüksek seviyeli olarak tanımlayarak, bu yöntemlerin sezgisel yöntemleri yönlendirerek çözülmesi zor olan kombinatoriyal problemleri daha kolay çözmek için kullanıldığını belirtmişlerdir.

Kombinatoriyal optimizasyon problemlerinde çözüme ulaşmak, çözüm uzayındaki yerel minimum noktaların fazlalığı ve arama sırasında bu noktalardan kurtulmanın zor olması sebebi ile zorlaşmaktadır (Çiçekli, 2015:36).

Osman ve Laporte (1996:514), metasezgisel yöntemlerin, arama uzayının araştırılması ve keşfedilmesi, en elverişli noktalarda aramanın yapılması ve optimuma en yakın sonuçları üretmesi amacı taşıdığını belirtmişlerdir. Metasezgisel yöntemler temelde iteratif problem çözme prosedürleri olmakla beraber, arama uzayında etkili bir arama yapmak için çeşitli alt kademe sezgisellerini kullanmaktadır (Öztürk, 2011:47).

Tarantilis vd. (2005:458) bu kapsamda, metasezgisel algoritmaların ürettiği çözümlerin, klasik sezgisel algoritma çözümlerinden daha kaliteli olması gerektiğinin altını çizmiştir.

Ayrıştırma ve yoğunlaştırma, metasezgisel algoritmaların aday çözümler için kullandığı tekniklerdir; ayrıştırma tekniği tüm çözüm alanının taranıp algoritmanın düşük kalitede bir yerel optimale takılmamasını, yoğunlaştırma ise daha iyi yerel optimum çözümlere ulaşmak için mevcut çözümlerin kullanılmasını amaçlamaktadır (Çiçekli, 2012:37). Kombinatoriyal optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan ve aynı zamanda depo lokasyon atama problemi için de geçerli metasezgisel yöntemler aşağıdaki gibidir:

- Benzetimli Tavlama
- Genetik Algoritmalar
- Parçacık Sürü Optimizasyonu
- Karınca Kolonisi Optimizasyonu
- Yapay Arı Kolonisi
- Yapay Sinir Ağları
- Yapay Bağışıklık Sistemi
- Tabu Arama

### **3.2.3.1. Benzetimli Tavlama**

Benzetimli tavlama yöntemi Kirkpatrick vd. (1983) tarafından öne sürülmüştür. Tavlama mantığı, metalürji biliminden türetilmiş ve kristallerdeki ağ kurulum bozukluklarını ortadan kaldırmak için önce ısıtılıp sonrasında kademe kademe soğutma prosedüründen oluşmaktadır (Bottani vd, 2015:654). Bu sayede metal malzemelerin kimyasal özelliklerinin bileşiminde değişiklikler yapılmadan kristal ya da kafes yapısında düzenlemeler yapılabilmektedir (Öztürk, 2011:50).

Benzetimli tavlama algoritmasının temel adımları aşağıda verilmektedir (Breedam, 2001:295-296):

*Adım 1.* Rasgele olarak bir başlangıç çözümü üret ve en iyi çözüm S olarak ata. Ayrıca t iterasyon indeksini 0 olarak ata.

*Adım 2.* Bir başlangıç sıcaklık değeri TB belirle ve mevcut sıcaklık değeri  $T_0 = TB$  olarak ata.

*Adım 3.* En iyi çözümden hareketle rasgele komşu bir çözüm  $S_1 \in N(S)$  oluştur.

*Adım 4.* Üretilen  $S_1$  çözümüyle S çözümünün amaç fonksiyonu değerleri arasındaki farkı hesapla ( $\delta = C(S_1) - C(S)$ )

*Adım 5.* Eğer  $S_1$ , S'den daha iyi ( $\delta < 0$ ) ise S çözümüne  $S_1$  çözümünü ata.  $S_1$ , S'den daha kötü fakat mevcut  $T_t$  sıcaklığında ( $e^{-\delta/T_t} > \theta$  sağlanıyorsa ( $\theta$ , 0 ile 1 arasında rasgele üretilmiş bir sayıdır) S çözümü ile  $S_1$  çözümünü yer değiştir. Yoksa S'i mevcut çözüm olarak sakla.

*Adım 6.* T sıcaklığını aşağıdaki formüllere göre değiştir.

$$T_t = R \cdot T_{t-1} \quad (0 < R < 1)$$

$$T_t = t / (1 + \beta t) \quad (\beta \text{ uygun küçük bir değerdir})$$

*Adım 7.* Durdurma kriteri sağlanıyorsa araştırmayı durdur, aksi halde iterasyon indeksi t'yi bir artırarak üçüncü adıma git.

### 3.2.3.2. Genetik Algoritmalar

Bir optimizasyon tekniği olan genetik algoritmalar, doğal evrim süreçlerini ve prensiplerini bilgisayar ortamında taklit etmektedirler. İlk olarak Holland (1975) tarafından önerilen bu yöntemin başlangıcında diğer basit sezgisellerden elde edilen çözümlerle başlanır (Keskintürk vd., 2015:95). Bu yöntemdeki ana prensip “güçlü olanın hayatta kalması” prensibidir. Bu yöntem ile optimuma yakın çözümler tüm olası çözümler denemeksizin bulunmaya çalışılır.

Genetik algoritma işleyişinde öncelikle başlangıç popülasyonu denilen ve basit sezgisellerle elde edilen çözümlerle sürece başlanır. Burada çözümün tamamı bir *kromozom*, çözümün parametreleri ise *gen* olarak ele alınır (Keskintürk vd.,2015:95). Başarılı iterasyonlar ile kromozomlar evrim geçirerek ve yeni nesilleri oluşturmaktadırlar. Her bir iterasyon veya nesil için topluluktaki her bir kromozom uygunluk fonksiyonu ile değerlendirilmektedir. Çaprazlama operatörü ile mevcut

nesildeki iki kromozomun eşleştirilmesi ve *mutasyon* kullanılarak bir kromozomun modifikasyonu ile de *nesil* olarak adlandırılan yeni kromozomlar meydana gelmektedir. Uygunluk değerlerine göre de *ebeveyn* kromozomlarının ve oluşturulan nesillerin bir kısmı seçilmekte ve geri kalan topluluk hacminin sabit tutulması için elenmektedir. Bu süreç sonucunda ise yeni bir nesil oluşturulmaktadır. Problem için en uygun çözümü üreten kromozom belli bir iterasyon sonucunda ortaya çıkmaktadır. (Şahin ve Eroğlu, 2014:343).

Genetik algoritmalar, çözümleri tahmin eder, bunları test eder ve daha iyi çözümlerin olacağı beklenen en iyi çözümlerden yeni bir nesil oluştururlar (Çiçekli, 2012: 39). İlk iterasyonda çözüm hızlı bir şekilde iyileşirken, çözüm ilerledikçe ve optimuma yaklaştıkça iyileşme yavaşlamaktadır.

İlk olarak doğrusal olmayan optimizasyon problemlerinde uygulanan genetik algoritmalar sonrasında karesel atama, çizelgeleme, gezgin satıcı, tesis yerleşimi, montaj hatta dengeleme ve şebeke tasarımı gibi kombinatoriyal optimizasyon problemlerine de başarıyla uygulanmıştır (Öztürk, 2011:57).

### **3.2.3.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu**

Parçacık sürü optimizasyonu (PSO)'nun 1995 yılında Kennedy ve Eberhart tarafından kuş sürülerinin davranışlarından esinlenerek geliştirilmiş bir popülasyon tabanlı stokastik optimizasyon tekniği olduğu ve çok parametrelili ve çok değişkenli optimizasyon problemleri için kullanıldığını belirtmiştir (Çevik ve Koçer, 2013:41). Parçacık olarak adlandırılan olası muhtemel çözümler, PSO algoritmasında parçacıklar aralarındaki bilgi paylaşımı sayesinde o anki en iyi parçacığı izleyerek çözüm uzayında dolaşırlar. Başlangıç popülasyonundaki rastgele çözümler ile başlanan sistemde, döngüler sonucunda nesillerin güncellenmesi ile optimum sonuca ulaşılır.

### **3.2.3.4. Karınca Kolonisi Optimizasyonu**

Karıncaların hareketlerinden yola çıkılarak oluşturulan ve çözümü zor kombinatoriyal problemler için geliştirilen bu algoritma 1990'lı yılların başında Dorigo ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş ve oluşturulan sisteme karınca sistemi, ortaya çıkan algoritmaya da Karınca Kolonisi Algoritması (*ACO-Ant Colony Optimization*) adını vermiştir

(Dorigo ve Blum, 2005). Algoritmada, karıncaların aralarında haberleşmek için kullandıkları, yiyecek ve yuva arasındaki en kısa yolu keşfetmeyi sağlayan feromon hormonundan faydalanılmaktadır. Karıncalar bu maddeyi izlenilen yola koku bırakmak için kullanmakta ve sık kullanılan kısa yollardaki koku diğer yollardaki koku yoğunluğundan fazla olmaktadır. Bu sayede, takip eden karıncalar kokunun yoğun olduğu yolu tercih etmektedirler. Koku yoğunluğunun olduğu yolun seçilme ihtimali daha yüksekken, kokunun az olduğu yolların karıncalar tarafından daha az seçilme ihtimali vardır (Şahin ve Eroğlu, 2014:342).

Karıncı kolonisi algoritmasının adımları aşağıdaki gibidir (Dikmen vd. 2014: 11):

- $m$  karınca rastgele seçilen şehirlerden serbest bırakılır.
- Karınca daha önce tanımlanan parametreye göre gezgin veya takipçi olarak belirlenir.
- Her bir karınca feromon miktarı ve şehirlerarası mesafeye göre gideceği şehri seçer.
- Her bir kenardaki feromon miktarları güncellenir.
- Her bir şehir ziyaret edilene kadar 2. ve 3. aşama tekrar edilir.
- Bütün karıncalar turu tamamladığı zaman en çok feromon içeren kenarlar bu turdaki en iyi sonucu oluşturur.
- Karıncaların hafızaları silinir.
- Durma kriteri sağlanana kadar önceki adımlar tekrarlanır.

### 3.2.3.5. Yapay Sinir Ağları

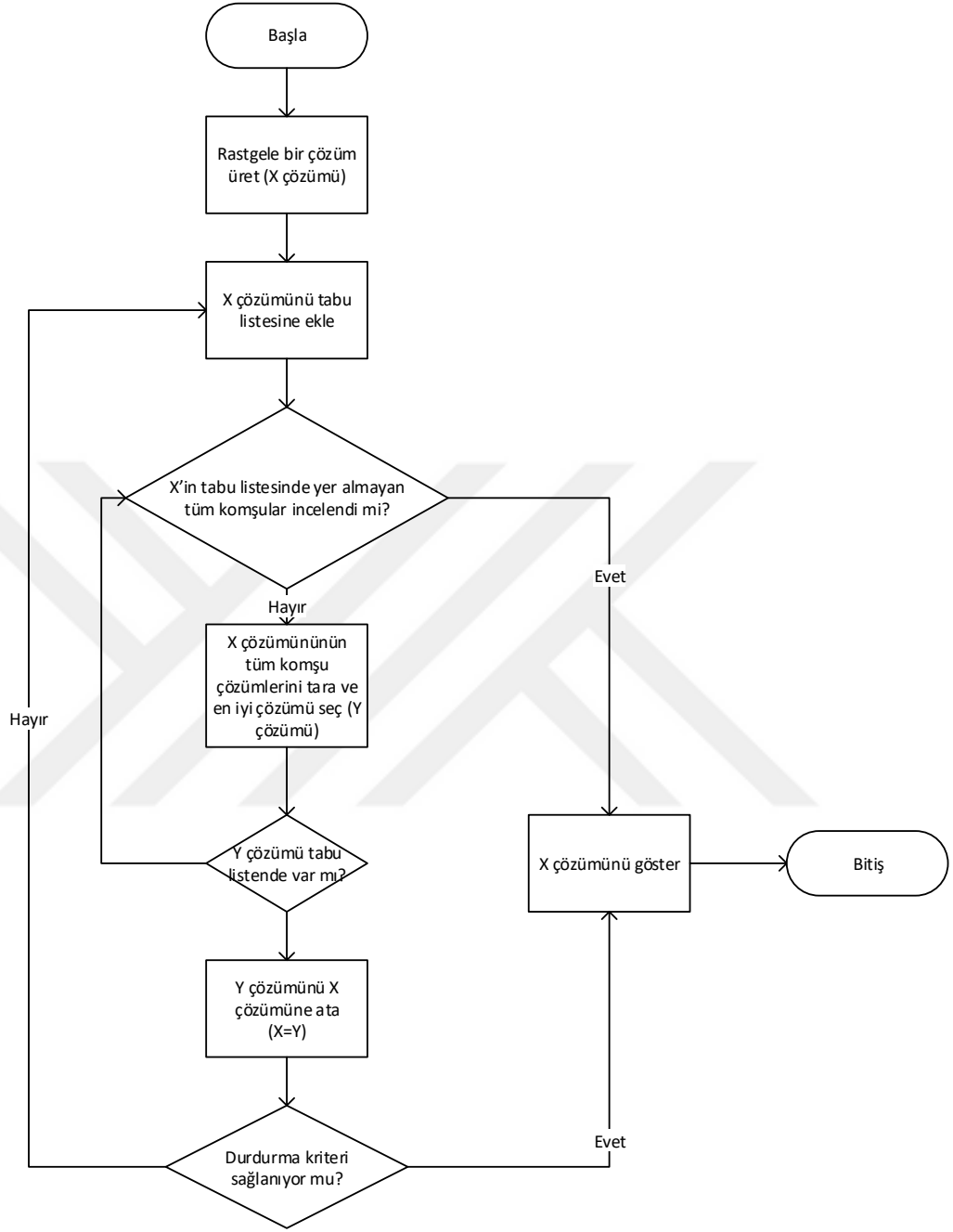
McCulloch ve Pitts (1943) tarafından geliştirilen bu modelde karmaşık problemlerin çözümü için insan beyninin tipik çalışma şeklini kullanmayı amaçlamışlardır. Aşağıda YSA adımlarını içeren sıralama bulunmaktadır:

- Ağırlıklı vektörler ile çeşitli farklı turlar tanımlanır.
- Girdi vektörü değerlendirilerek çıktı değeri hesaplanır. Kazanan çıktı ( $j^*$ ) en yüksek çıktı veren birimdir.
- $j$  birimin ağırlık vektörü  $w_i = (w_{ij})$ ,  $i=1, \dots, n$  ve  $f_j$  biriminin fonksiyonu olan  $w_j = w_j + f(j, j^*)(1 - w_j)$  şeklinde değiştirilir.
- Ağırlık vektörü, herhangi bir ağırlık vektörü her bir noktaya çok yakın olana kadar değiştirilir.

### 3.2.3.6. Tabu Arama

Tabu arama algoritması Glover (1986) tarafından önerilerek kombinatorial optimizasyon problemlerini çözmek üzere geliştirilmiş ve tesis yerleşimi, çizelgeleme, ulaştırma, parti büyüklüğü gibi birçok kombinatorial optimizasyon problemlerine başarıyla uygulanmıştır (Öztürk,2011:59).

Çiçekli (2012:42), tabu aramanın, objektif değerde bir bozulmaya sebep olduğunu fakat araştırmayı her bir yinelemede mevcut çözümden muhtemel en iyi komşu çözüme götürerek, yerel optimumda takılı kalmaktan kaçınacak şekilde yönlendirdiğini belirtmiştir. Ayrıca, aynı yazar, araştırma döngüsünün önlenmesi amacıyla, bir dizi yineleme için yakın zamanda gezilmiş çözüm niteliklerinin tabu listesinde ezberlendiğini söylemiştir (tabu süresi). Bu özellikleri taşıyan komşu çözümler de, izin alamadığı sürece geçici olarak tabu ya da yasak olarak ele alınmaktadır. Şekil 3.8’de tabu arama algoritması akış şeması verilmiştir.



**Şekil 3.7:** Standart tabu arama algoritması akış şeması

**Kaynak:** Şen, 1999, akt. Öztürk, 2011: 60

### 3.2.4. Benzetim (Simülasyon) Yöntemi

Benzetim tanımı şu şekilde yapmaktadır: Gerçek bir sistemin tasarım süreci ve sistemi anlamak için çeşitli test ve deneylerin gerçekleştirilmesi ile sistemin davranışının



anlaşılması ve değerlendirilmesidir. Benzetim yönteminin deneysel ve uygulamalı bir yöntem olduğu belirtilerek, ana amacının sistemin davranışının tanımlanması, tanımlanan davranış için çeşitli teoriler ve hipotezler ortaya koyma ve sistemin gelecekteki davranışını tahmin etmek olduğunun altı çizilmiştir (Pegden vd.,1990:3). Depo lokasyon atama problemlerinin incelenmesinde benzetim yöntemi de kullanılmaktadır. Ekren vd. (2010) simülasyon tabanlı otonom araç yönlendirmeli bir sistemde çalışan otomatik depolama ve çekme sistemlerinin performansını etkileyen faktörleri incelemiştir.

### **3.2.5. Veri Madenciliğine Dayalı Yöntemler**

İşletmeler gerçekleştirdikleri operasyonlar süresince gerçekleşen ve günden güne artan işlem hacimleri nedeniyle çeşitli verilerin saklanması ihtiyacı hissetmişler, ortaya çıkan bu veri yığınlarından ise çeşitli işe yarar, katma değerli bilgiler oluşturmaya çalışmışlardır. Han vd. (2006:8) veri madenciliğini bilgi teknolojilerinin içinde bulunduğu doğal evrimin bir sonucu olduğunun altını çizerek, veri madenciliğini büyük veri tabanlarından çeşitli ilginç kuralların ve örüntülerin ortaya çıkarılması olarak tanımlamıştır.

Ürün takip sistemlerinin ve teknolojilerinin de gelişmesi ile özellikle tedarik zinciri süreçleri içerisinde depo yönetim sistemlerine bağlı olarak RFID, barkod, beacon gibi teknolojilerin kullanımı sağlanarak operasyonel verimliliğin artışı sağlanmaya çalışılmıştır. Pang ve Chan (2017:4037) bu anlamda bu süreçler içindeki verilerin toplanmasının ve saklanmasının geçmiş zamanlara göre zaman ve maliyet bakımından daha verimli olarak kullanıldığını, işlem geçmişine dayalı olarak müşteri sipariş yapılarının bilinmesinin sadece satış hacimlerinin değil depo yönetimi açısından da daha iyi karar verme olanağı sağladığını belirtmişlerdir. Savaş vd. (2012:9) veri madenciliği modellerini, gördükleri işlemlere göre aşağıdaki gibi listelemişlerdir:

- Sınıflama (Classification) ve Regresyon (Regression)
- Kümeleme (Clustering),
- Birliktelik Kuralları (Association Rules),

Veri madenciliğinde kullanılan en yaygın tekniklerden birisi olan birliktelik kuralı, geçmiş verileri analiz ederken, bu veriler içindeki birliktelik davranışlarını tespit etmeye çalışmaktadır (Agrawal vd., 1993, Özçakır ve Çamurcu, 2007). Agrawal ve Srikant (1994) geliştirdikleri apriori algoritması ile büyük veri setleri içindeki birliktelik kurallarını tespit etmeye çalışmışlardır.

Birliktelik kuralının tanımlanması ise Ordonez (2006:17-18) tarafından şu şekilde yapılmıştır;  $D = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$  kümesi  $n$  sayıdaki işlemi temsil etmekte ve  $I = \{i_1, i_2, \dots, i_m\}$  kümesi de ürünleri temsil ettiğinden  $T_n = \subseteq I$  olmaktadır.  $X, Y \subset I$  ve  $X \cap Y = \emptyset$  olmak üzere  $X \Rightarrow Y$  ise bir birliktelik kuralının gösterimidir.  $X$  öncül olarak adlandırılırken,  $Y$  ise ardıl olarak adlandırılmıştır.  $X$  ve  $Y$  ayrıca ürün setlerini temsil etmektedir.  $X$  ürün setinin  $D$  içinde görülme olasılığı  $P(X)$  olmakla beraber,  $P(Y|X)$  ise  $Y$ 'yi içeren setlerin ne kadarının  $X$ 'i de içerdiğini gösteren koşullu olasılık değeridir.  $X = \subseteq I$  ürün seti için, *destek* ( $X$ ) ise  $T_i \in D$  işlemlerinin fraksiyonu olmakla beraber,  $X \subseteq T_i$  olmaktadır. Bu durumda da  $P(X) = \text{destek}(X)$  oluşmaktadır.  $X \rightarrow Y$  kuralının destek değeri  $\text{destek}(X \rightarrow Y) = P(X \cup Y)$  olarak tanımlanmıştır. Bir  $X \rightarrow Y$  birliktelik kuralında *güven*( $X \rightarrow Y$ ) ise o kuralın güvenilirliğini belirtmekte ve  $P(Y|X) = P(X \cup Y) / P(X) = \text{destek}(X \cup Y) / \text{destek}(X)$  olarak tanımlanmaktadır. Kaldıraç olarak adlandırılan diğer bir metrik ise kuralın ilginç olup olmadığının ölçüsünü ortaya koymaktadır. Kaldıraç metriğinin tanımlanması ise  $\text{kaldıraç}(X \rightarrow Y) = P(Y|X) / P(Y) = \text{güven}(X \rightarrow Y) / \text{destek}(Y)$  şeklindedir. Kaldıraç değerinin 1'den büyük olması beklenmektedir.

Depo yönetimi kapsamındaki veri madenciliği çalışmaları ile ilgili olarak Yener vd. (2016) yaptıkları çalışmada bir ecza deposundaki günlük sipariş oluşturma problemini genetik algoritma ve birliktelik kuralları ile çözmeye çalışmışlardır.

Li vd.(2016), çalışmalarında gerçek bir deponun dinamik depo atama problemi kapsamında sipariş çekme sırasındaki seyahat mesafesini ürünlerin birbirleri ile olan ilişkisine göre atama ve ABC sınıflandırmasına göre atama olmak üzere iki atama yöntemi üzerinden minimize etmeye çalışmışlardır.

Pang ve Chan (2017) yaptıkları çalışmada ürün bırakma ve ürün alma işlemlerindeki toplam seyahat süresini optimize ederek depo operasyonlarındaki gerçekleştirilen çabaları minimize etmeye çalışmışlardır. Yazarlar çalışmalarında öne sürdükleri algoritmanın kesikli ürün alma operasyonlarına odaklandığını ve bunu yaparken bırakılacak ürünlerin birbirleri ile olan ilişkisinin tespiti için veri madenciliği tekniği uygulandığını belirtmişlerdir.

### **3.3. Otomatik Depolama ve Çekme Sistemleri ile İlgili Literatür**

#### **3.3.1. Otomatik Depolama ve Çekme Sistemleri Kapsamında Genel Yaklaşımlar İle İlgili Literatür**

OD/ÇS ile ilgili yapılan çalışmalar tez kapsamında iki ana başlık altında toplanmıştır. Bu bölümde OD/ÇS kapsamında geçmiş literatür çalışmaları değerlendirilmiş ve tablolatırılmıştır (Bkz. Tablo 4).

Bozer ve White (1984) OD/ÇS'ler ile ilgili seyahat zamanları üzerine yaptıkları çalışmada rastgele depolama kuralına sahip bir depo yapısını tek ve çift çevrim seyahat yapısı ile incelemişlerdir. Ayrıca, farklı ürün yükleme/bırakma noktaları ve vinç bekleme alanları ile de alternatif istasyonlar için hesaplamalar yapmışlardır.

Guenov (1990) çalışmasında dar koridor ve yüksek tavanlı OD/ÇS'de toplayıcıların seyahat zamanlarını düşürmeye çalışarak hem toplama işleminin maliyetini düşürmeyi hem de çoklu toplama operasyonlarının etkinliğini yükseltmeye çalışmıştır. Çalışmasında Volkswagen-Audi işletmelerinin dağıtım deposunu ele almış ve problemi "Gezgin Satıcı Problemi" ve yardımcı bir sezgisel model ile destekleyerek çözmeye çalışmıştır. Çalışma sonucunda araştırmacı, seyahat zamanında ortalama % 12'lik bir tasarruf elde etmiştir.

Hwang ve Lee (1990) seyahat zamanları ile ilgili yaptıkları çalışmada D/Ç makinelerinin hızlanma/yavaşlama oranları ve maksimum hız gibi karakteristiklerini de ele alarak ortaya koydukları modelin çevrim sürelerinde azalma sağladığını bu durumun da modelin tatminkâr bir şekilde çalıştığını gösterdiğini belirtmişlerdir.

Eben-Chaime (1992), OD/ÇS'lerde işlem sıralamaları ile ilgili yaptığı çalışmada gelen ürünlerin blok stratejisine göre sıralandığı bir yapının dezavantajlarını ortadan kaldıran en yakın komşu sezgiseli ile gelen ürünlerin dağıtımını yapılmıştır. Çalışma sonucunda çevrim zamanlarında %12-17 arasında bir azalma olduğu görülmüştür.

Günel, Grajo ve Blank (1993) OD/ÇS ile ilgili detaylı bir tanım yaparak SIMAN/CINEMA simülasyon yazılımı ile bir otomatik depolama sistemi modeli oluşturmuşlardır.

Sarker ve Babu (1995) ise çıktı oranlarının artırılması, ürün çekme sıralamasının değiştirilmesi, sipariş yığınlarının oluşturulması, çeşitli bekleme noktası stratejilerinin uygulanması ve D/Ç makinesi kapasitesinin artırılması gibi çeşitli açılardan çalışmalarında seyahat zaman modelleri için kritik bir inceleme ortaya koymuşlardır.

Lee ve Schaefer (1996) ise çalışmalarında çift çevrim olarak çalışan D/Ç makinelerinin çoklu depolama hücrelerinin olduğu bir depoda D/Ç makinelerinin toplam seyahat zamanını azaltmayı amaçlamışlardır. Çalışmanın katkıları olarak da 50 ürünlük ve 30 açık bulunan depo gözüne sahip bir örnekleme ortaya koydukları algoritma ile çift çevrim zamanında %7'ye varan bir azalma tespit etmişlerdir.

Lee, Souza ve Ong (1996) ray yönlendirmeli araçlar ile entegre OD/ÇS'ler için yaptığı çalışmada simülasyon yöntemi kullanarak ray yönlendirmeli araçların sayı olarak artışının sistem içindeki tıkanmaları ne şekilde etkilediğini simülatif olarak incelemiştir. Çalışmada D/Ç konveyörünün 1'den 2 'ye çıkartılması ray yönlendirmeli araç tıkanma oranında yüksek bir azalma meydana getirdiğini belirtmiştir.

Lee (1997) bir OD/ÇS'nin performans analizini yaptığı çalışmada otomatik depolama sistemlerinin depolardaki ürün elleçleme ve stok kontrolünde çok büyük etkisinin olduğundan bahsetmişler, birim yük OD/ÇS'lerdeki performans tahminlemelerinde ise statik tekniklerin veya bilgisayar simülasyonlarının kullanıldığının altını çizmişlerdir. Statik analizlerin ise düşük tahminleme oranları ortaya çıkardığını, bilgisayar simülasyonlarının ise zaman alıcı ve maliyetli olduğunu söyleyerek, kendi çalışmalarının stokastik analiz kullanarak tek kuyruklu bir model içerdiğinin altını çizmişlerdir.

Lee ve Schaefer (1997) tahsisli bir depo için sıralama metotları geliştirmişlerdir. Çalışmada tahsisli birim yük OD/ÇS, küçük yük OD/ÇS gibi sistemler için denemeler yapılmış, ayrıca rastgele atama politikasına sahip birim yük OD/ÇS’de incelenmiştir. Yazarlar ortaya koydukları sıralama metotlarının D/Ç makinelerinin seyahat zamanlarında önemli düşümler ortaya çıkardığını belirtmişlerdir.

Mansuri (1997) ise çalışmasında OD/ÇS için tahsisli depo atama yapısı olan bir örnekte çevrim zamanı hesabı yaparak stok politikaları alternatiflerini değerlendirmişlerdir.

Wang ve Yih (1997) OD/ÇS’lerde kontrol sistemlerini tanımlamışlardır. Bu kontrol sistemlerinin, sistem değişikliklerinde çoklu performans gereksinimleri ile ilgilendiğini belirtmiş, kullandıkları yöntemin ise yapay sinir ağlarını kullanarak çeşitli simülatif sonuçlardan öğrendiği durumlara göre depo lokasyon atama, çekme lokasyonu seçimi, sıra seçimi ve iş sıralama gibi durumlarda kararlar almasına çalışmışlardır. Çalışmadaki deneysel sonuçlara göre, eğitilen sistemin yeni verilerin %84’ünü tanımladığı ve önerilen yönetimin uygulanabilirliğini ortaya koyduğu belirtilmiştir.

Jawahar, Aravindan ve Ponnambalam (1998) esnek üretim sistemlerinde kullanılan otomatik makine ekipmanları, otomatik elleçleme ekipmanları ve OD/ÇS’lerin önemli parçaları olduğunu ve çalışmalarında bu unsurların toplam esnek üretim sistemi üretkenliğini ve etkinliğini etkilediğini belirtmişlerdir. Bu kapsamda yazarlar kullandıkları sezgisel algoritma ve genetik algoritma ile en az vinç hareketi ile OD/ÇS performansını artırmayı amaçlamışlardır.

Van den Berg ve Zijm (1999) çalışmalarında depolama yönetimi modellerini sınıflandırma ve örnekler üzerinden tartışmışlardır. Birkaç farklı depolama sistemi tanımlanmış ve bir topoloji ortaya konmuştur. Ayrıca yazarlar, depolama sistemi kurulumu aşamasında karşılaşılan sorunları içeren çeşitli problemleri sıralamışlar, bu karar problemlerinin sınıflandırmalarını da gerekçelendirme, tasarım, planlama ve kontrol olarak belirtmişlerdir. Bu noktalarla beraber, bahsedilen aşamalarda dağıtım sistemi tasarımı, depo tasarımı, alan kısıtları altında stok yönetim, stok atama kararları ve depolama işlemlerinin çizelgelenmesi ve atanması gibi karar verme işlemini destekleyici modelleri örneklerle açıklamışlardır.

Rouwenhorst vd. (2000), depo tasarımı ve kontrol problemleri ile ilgili olarak bir sınıflandırma ve kaynak çerçeve ortaya koymaya çalışmışlardır. Bu sınıflandırmayı da stratejik, taktik ve operasyonel düzeyde ortaya koymuşlardır.

Ashayeri vd. (2002) örnek bir OD/ÇS’de raf düzeni ile ilgili yaptıkları çalışmada ortaya koydukları geometri tabanlı analitik model ile D/Ç makinelerinin beklenen çevrim zamanlarını hesaplamaya çalışmışlardır. Çalışmanın ana katkısı ise yazarların ortaya koydukları modelin çeşitli alternatif raf düzenlerinin değerlendirilme imkânı sağlaması ve klasik L-şekilli sınıflandırma düzenine karşı çeşitli alternatifler ortaya koymasındır.

Van den Berg (2002) ise OD/ÇS’lerde önemli bir konu olan vinç bekleme noktaları (dwell point) ile ilgili çalışma ortaya koymuştur. Çalışmanın amacı ise bir sonraki işlem için beklenen seyahat zamanının minimizasyonunun gerçekleştirilmesidir. Rastgele ve sınıf tabanlı depolama politikaları için analitik bir model ortaya koymuştur.

Chetty ve Reddy (2003) gerçekleştirdikleri çalışmada bir OD/ÇS’de depolama ve geri çekme sıralamasını genetik algoritma kullanarak oluşturmaya çalışmışlardır. Önerilen yöntem rastgele, ilk gelen ilk hizmeti alır kuralı ve en yakın komşu sezgiselleri ile karşılaştırmalı olarak örneklendirilmiştir. Çalışmada ortaya çıkan sonuçlara göre genetik algoritma kullanılarak elde edilen sonuç mevcut sezgisellerden daha iyi sonuçlar vermiştir. Örnek olarak en yakın komşu kuralı ile kıyaslandığında genetik algoritma kullanımı ile D/Ç makinelerinin seyahat zamanlarında %5-10 arasında bir azalma saptanmıştır.

Potrč vd. (2004) OD/ÇS’lerde ürünlerin daha az zarar gördüğünü, envanter üzerindeki kontrolün daha yüksek olduğunu, depolama bölgesinin kullanım alanının arttırıldığını, ürünlerin istifinin ve geri çekilmesinin daha hızlı yapıldığını belirterek, ortaya koydukları modelde farklı yüksekliklerdeki rafların ve farklı hızlardaki geri çekme makineleriyle belirledikleri “*Strategy X*” uygulaması ile ortalama seyahat süresi ve çıktı kapasitesi arasında ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışmada tekli, çiftli, dördü ve altı emir döngülerinde varsayılan seyahat süreleri incelenmiştir.

Amato vd. (2005) otomatik depolama sistemleri yönetimi için ortaya koydukları iki kontrol algoritması ile vinç operasyonlarının optimizasyonunu ve seferlerin

optimizasyonunu amaçlamışlardır. Ortaya çıkartılan kontrol algoritmaları için de araştırmacılar üç farklı maliyet endeksi ortaya koymuşlar, ayrıca algoritmaların doğrulanması noktasında simülasyonlar ortaya koyarak algoritmaların etkinliğini incelemişlerdir.

Hu vd. (2005), ise çalışmalarında yeni bir çeşit OD/ÇS yapısı öne sürerek bu yapının konteyner gibi ağır yüklerin depolanabileceği bir yapıda olduğunu iddia etmişlerdir. Yazarlar bu yapıdaki seyahat zamanları modelini D/Ç makinesi ürünü bıraktıktan sonra yerinde kalması kuralı ile test etmişlerdir. Modeli simülasyon yöntemi ile destekleyen yazarlar bu yeni yapının kullanılabilir sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Sari, Saygın ve Ghouali (2005) akış raf tipi OD/ÇS'lerde seyahat zamanları ile ilgili model önerdikleri çalışmalarında, simülasyon yöntemi ile sürekli raf sistemi yöntemine dayalı olarak hazırlanmış kesikli raf sistemi modeli önermişlerdir. Her ne kadar ikisi arasında istatistiki olarak anlamlı bir farklılık görülme de hesaplama kolaylığı bakımından önerilmektedir. Önerdikleri kapalı yapı seyahat zamanı ifadesi mevcut OD/ÇS performans standartları oluşturmak için kullanılabileceği, sürekli raf tipi OD/ÇS'ler için alternatif tasarım oluşturarak çıktı performans değerlendirmesine imkân sağlayabileceği ve geliştirilmiş depolama performansı için farklı depolama tekniklerini karşılaştırabilme olanağı sağlayacağı üzerinde durulmuştur.

Lee vd. (2005), hava kargo terminallerinde kullanılan otomatik depolama sistemleri ilgili çalışmalarında sınıf tabanlı bir rezervasyon depolama politikası için bir analitik model geliştirmişlerdir. Çalışma iki sınıf tabanlı rezervasyon politikası ile D/Ç makinesinin beklenen seyahat zamanını minimize etmeyi amaçlamaktadır.

De Koster, Le-Duc ve Roodbergen (2006), depolarda sipariş toplama ile ilgili yaptıkları literatür araştırmasında sipariş toplama işlemlerinin depolardaki maliyetlerin büyük bir çoğunluğunu oluşturduğunu ve toplama işlemlerindeki performans düşüşlerinin müşteri hizmet seviyesini olumsuz etkilediğini belirterek, manuel sipariş toplama operasyonlarındaki tipik karar problemlerini ortaya çıkartmaya çalışmışlardır. Odak noktaları ise iç depo yapısı, depo atama yöntemleri, çizelgeleme, yığın oluşturma kuralları ve sınıflandırma üzerinedir.

Lerher vd. (2006) ise çok koridorlu OD/ÇS örneği için analitik bir seyahat zamanı modeli ortaya koymuşlardır. Bu kapsamda 5 koridorlu bir yapı için simülasyon modeli oluşturularak performans karşılaştırmaları yapmışlardır. Ortaya çıkan sonuçlara göre önerilen analitik modelin tatminkâr sonuçlar ortaya çıkardığını ve çok koridorlu sistem tasarımları kararlarında fayda sağlayacağını savunmuşlardır.

AS/RS sistemleri içinde dikkati çeken en büyük problemlerden birisi olan beklenen seyahat sürelerinin kısaltılması problemini ise Li vd. (2006) genetik algoritmaya dayalı oluşturdukları modele göre operasyon süresinin kısaltılması ve ekipmanların en kısa rotayı en kısa sürede ortaya çıkartması için bilgisayar ortamında simülasyon oluşturmuşlardır. Ortaya çıkan test verilerinde ise akıllı kontrol stratejilerinin, D/Ç sisteminin ortalama işlem zamanını geliştirdiği ortaya çıkmıştır.

Manzini, Gamberi ve Regattieri (2006), çalışmalarında çoklu parametrik bir dinamik model ortaya koyarak sınıf tabanlı bir depo atama politikası örneği kapsamında çeşitli senaryolar için sonuçlar elde etmişlerdir. Ayrıca yazarlar önerdikleri model için sınıf tabanlı atama politikasının ürün toplama çevrim zamanında önemli azalmalar ve sistemin toplam çıktısında artışlar ortaya çıkardığını belirtmişlerdir.

Gu, Goetschalckx ve McGinnis (2007) depolama operasyonları ile ilgili yaptıkları literatür araştırmasında temel depolama fonksiyonlarını içeren bir problem sınıflandırması yaparak, bu problemler için önerilen karar destek modelleri ve çözüm modelleri üzerinde durmuşlardır.

Asokan vd. (2008) esnek üretim sistemleri içerisinde kullanılan OD/ÇS'ler için geliştirdikleri optimizasyon teknikleri kapsamında adaptif genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonunu kullanarak en uygun çizelgeleme ve depo atama işlemini gerçekleştirmeye çalışmışlardır. Çalışmanın sonuçlarına bakıldığında ise parçacık sürü optimizasyonun seyahat birimi 4288 olarak belirtilmişken, adaptif genetik algoritmanın seyahat birimi ise 4600 olarak hesaplanmıştır. Yazarlar parçacık sürü optimizasyonun, adaptif genetik algoritmaya göre daha iyi sonuçlar elde ettiğini belirtmişlerdir.

Gnanavelbabu vd. (2009) yukarıdaki çalışma gibi esnek üretim sistemindeki iş, otomatik yönlendirmeli araçlar ve OD/ÇS'lerin çok amaçlı çizelgeleme problemi



üzerinde durmuşlardır. Çalışmada yöntem olarak yapay bağışıklık sistemi kullanılarak 16 makine ve 43 parça üzerinden makine bekleme zamanlarının minimizasyonu ve D/Ç makinesinin seyahat zamanlarının azaltılması amacı gerçekleştirilmiştir.

Roodbergen ve Vis (2009) OD/ÇS'ler ile ilgili yaptıkları literatür çalışmasında bu sistemlerin genel bir tanımını yaparak 30 senelik bir geçmiş literatür incelemesi ortaya koymuşlardır. OD/ÇS'lerin mevcut durumları ile ilgili genel bir değerlendirme ile beraber, yazarlar bu sistemler içindeki sistem konfigürasyonları, seyahat zaman hesaplamaları, stok atama politikaları, yerleşim lokasyonu belirlenmesi ve talep çizelgelemesi gibi konular tartışılmıştır.

Shuhua ve Yanzhu (2009) önerdikleri algoritmada birden fazla lokasyonda bulunan ürünlerin toplanması sırasındaki gerçekleşen seyahat zamanının minimizasyonunu amaçlamışlardır. Yazarlar bu kapsamda gezgin satıcı problemini otomatik depolama sistemleri ile ilişkilendirerek geri dönüşümlü algoritma ile problemi çözmeye çalışmışlardır. 6x6'lık bir depolama alanında kullandıkları algoritma ile en kısa mesafeyi 42 olarak bulmuşlardır.

Gagliardi, Renaud ve Ruiz (2014) çalışmalarında öncelikle simülasyon modeli kullanılmış literatür ile ilgili kronolojik bir sıralama yaptıktan sonra çok koridorlu bir OD/ÇS için ortaya koydukları modelde operasyonel kararları ve fiziksel tasarım kararlarını ayıran bir yapı kurmuşlar ve bu sayede pek çok farklı amaca hizmet eden senaryoları gerçekleştirmeye çalışmışlardır.

Ekren vd. (2010) simülasyon tabanlı otonom ataç yönlendirmeli bir sistemde çalışan otomatik depolama ve çekme sistemlerinin performansını etkileyen faktörleri incelemişlerdir. Çalışmada çeşitli senaryolar dâhilinde vakalar incelenerek taşıyıcı ve araç kombinasyonlarından en iyi kombinasyonları seçmeye çalışmışlardır.

Lerher vd. (2010) çift derinlikli bir OD/ÇS için geliştirdikleri bir analitik seyahat zamanı modeli ile sistemin çevrim zamanı hesaplamalarını yapmışlardır. Ortaya koydukları model, D/Ç makinelerinin gerçek işlem sınıflandırmalarını da içermektedir. Ayrıca önerdikleri model tek ve çift çevrim seyahat zamanlarını hesaplayarak çift derinlikli OD/ÇS performans değerlendirmesini yapmışlardır.

Xing vd. (2010) AS/RS sistemlerinde bulunan vinçlerin toplam seyahat zamanının ve mesafesinin minimizasyonunun en kısa seyahat yolunun seçilmesi ile gerçekleşeceğini belirterek belirttikleri problem çözümü için karınca kolonisi optimizasyonunu kullanmışlardır. Sonuçları değerlendirmek için iki simülasyon modeli oluşturan yazarlar, ürün çıkışları için karınca sistemi (*as*) ve maksimum-minimum karınca sistemi (*mmas*) algoritmalarını kullanmışlardır. Sonuçlara göre *mmas* algoritmasının karınca sistemi algoritmasından zaman bakımından daha iyi sonuçlar ortaya çıkardığını belirtmişlerdir.

Ekren (2011), ise otomatik depolama sistemlerinde kullanılan otonom araçların performans değerlendirmesini yaptığı çalışmada belirlediği yedi performans kriterini incelemiştir. Bu kriterler arasında ise ortalama çevrim süresi, otonom araçların ortalama kullanım süreleri, asansörlerin ortalama kullanım süreleri, otonom araçların kuyrukta ortalama bekleme süreleri, asansörlerin kuyrukta ortalama bekleme süreleri gibi kriterleri sıralamıştır. Ayrıca sistemin toplam maliyeti de analiz içinde değerlendirilmiştir.

Meneghetti ve Monti (2011), sürdürülebilir üretim sistemlerinin depo yönetimi operasyonlarında daha fazla enerji verimliliği ortaya çıkarması gerektiğini belirterek bu durumun OD/ÇS'lerde vinçlerin hareketi için minimum enerji sarfiyatı ile mümkün olduğunun altını çizmişlerdir. Bu kapsamda yazarlar enerji tabanlı bir sezgisel ile çift çevrime sahip sistem için ürün gönderim sıralamalarını dikkate alan bir yapı oluşturmuşlardır.

Carlo ve Giraldo (2012) ise dinamik olarak organize edilebilen birim yük depolarda üç senaryo kapsamında "Çalışırken Yeniden Düzenleme" stratejisini uygulamışlardır. Problemin karmaşıklığı nedeni ile birden fazla sezgisel ortaya koyan yazarlar çözüm zamanı ve sonuç kalitesi bakımından ortaya çıkan sonuçların tatminkâr olduğunu belirtmişlerdir.

Gagliardi, Renaud ve Ruiz (2012) yaptıkları literatür araştırmasında hem dinamik hem de statik yöntemlere dikkat çekerek her iki durum için kullanılan modelleri değerlendirmişlerdir.

Vasili, Tang ve Vasili (2012) seyahat zaman modelleri ve kontrol politikaları ile ilgili detaylı çalışmalarında hem 40 yıllık geçmiş bir literatür ortaya koymuşlar hem de bekleme noktası, depo atama, sipariş sıralaması gibi çeşitli kontrol politikaları ile ilgili modeller üzerine bu konuda çalışacak araştırmacılar için detaylı bir yol haritası ortaya çıkarmışlardır.

Bottani vd. (2012), ürün toplama operasyonlarının optimizasyonunda genetik algoritma ile toplayıcıların seyahat zamanlarının minimize etmeye çalışmışlardır. Kullandıkları yöntem ile yazarlar seyahat süresini %20 azaltarak müşterilere dönüş oranını arttırmışlar ve aynı zamanda ürün çekme operasyonları ile ilgili maliyetlerin azalmasını sağlamışlardır. Yazarlar bu çalışmayı OD/ÇS kapsamında değil manuel bir depolama sistemi kapsamında değerlendirmişlerdir.

Soyaslan vd. (2012) OD/ÇS'lerin temel bileşenlerini inceledikleri çalışmalarında ayrıca depolama ve çekme algoritmaları ve robotların operasyon periyotlarını da tartışmışlardır.

Atmaca ve Öztürk (2013a) bir OD/ÇS'de ürün toplama politikası ile ilgili problemin çözümü için geliştirdikleri matematiksel modeli benzetimli tavlama yöntemi ile karşılaştırmışlardır. Yazarlar ortaya koydukları modelde, depolama lokasyonu ve ürün bırakma/toplama maliyetlerini aynı anda minimize etmeye çalışmışlardır. Bu karşılaştırmaya göre 103 materyalin bulunduğu bir örnekleme minimum maliyete matematiksel model ile ulaşmışlardır.

Atmaca ve Öztürk (2013b) OD/ÇS'lerde sipariş toplama ile ilgili yaptıkları çalışmada literatürde kullanılan çözüm yöntemlerini ve bu yöntemlerin literatüre olan katkılarını araştırmışlardır.

Atz, Lantschner ve Günthner (2013), otomatik depolama ve çekme sistemlerinin çıktı hesaplamalarının depolama planlamalarında önemli birer parça olduğunu belirtmişler, bu hesaplamaların depo şekline, depo stratejilerine ve sistemin boyutlandırılmalarına bağlı olduğunun altını çizmişlerdir. Monte Carlo simülasyonu ile yapılan hesaplamalarda bu bileşenlerin kolaylıkla tanımlanabildiğini ve özelleştirilebildiğini de söylemişlerdir.

Lerher vd. (2013) ise otomatik depolama alanlarının ve sistemlerinin büyük yatırımlar istediğini ve bu nedenle çok dikkatli bir şekilde tasarlanması gerektiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar, otomatik bir depo sisteminin tasarım ve optimizasyonunu ortaya koyarak, oluşturdukları modelde çoklu amaçların (seyahat süresinin, maliyetin minimizasyonu) sonuçlarının depo kurulmadan önce ve depoyu dizayn edecek kişi için faydalı bir model ortaya koyduğunu belirtmiştir.

Guezzen vd. (2013) hareketli raf sistemine sahip bir OD/ÇS ile ilgili yaptıkları çalışmada seyahat zamanı modellemesinin hesaplamalarını simülasyon yöntemi ile karşılaştırmışlardır.

Brezovnik vd. (2015) çok amaçlı karınca kolonisi optimizasyonu kullanarak OD/ÇS için bir planlama modeli oluşturmuşlardır. Çalışmada ürünlerin dağıtım sorgu faktörü, ürün yüksekliği, depo alanı kullanımı ve sevk yolu temel alınarak oluşturulmuştur. Çalışmada alan kullanımını ve yatırım maliyetini minimize etmek için çok ürünlü, koridorsuz ve tek vinçli bir sistem kullanılmıştır. Yazarlar, ortaya çıkan sonuçlara göre ürünlerin beklenen şekilde yerleştiğini ve karınca kolonisi optimizasyonunun otomatik depolama sistemlerinde başarılı bir şekilde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Lerher vd. (2014) küçük yük OD/ÇS'lerdeki enerji tasarrufu ile ilgili yaptıkları çalışmada ekipmanların hızlı bir şekilde çalışması ve verimlilik artışının sağlanması amaçları yanında enerji verimliliği amacına da dikkat edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Çalışmadaki model küçük yük OD/ÇS'lerdeki enerji sarfiyat azalmasını amaçlamakla beraber aynı zamanda karbon emisyonlarında da azalma meydana getirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada çeşitli faktörler üzerinde durulmuştur. Bunlar, seçilen küçük yük OD/ÇS tipi, seçilen D/Ç makinelerinin sürat profilleri, D/Ç makinesinin toplam motor gücüdür. Çalışmada çok yüksek hızda çalışan makinelerin çok enerji harcadıklarını fakat çıktı miktarlarının her zaman hızla artmadığını belirtmişlerdir.

Bottani vd. (2015), depo yönetimi için kullanılabilecek akıllı algoritmaları inceleyerek, genetik algoritma, benzetimli tavlama, yapay sinir ağları, karınca kolonisi optimizasyonu ve parçacık sürü optimizasyonu gibi modellerin avantaj ve

dezavantajlarını ortaya koymuşlar ve AS/RS sistemleri içindeki sipariş alım operasyonlarının optimizasyonu ve vinçlerin seyahat zamanları ve sürelerini azaltma yoluna giderek maliyet ve zaman avantajı ortaya çıkarmaya çalışmışlardır.

Boysen ve Stephan (2016) çalışmalarında bir OD/ÇS'deki D/Ç makinesinin ya da vincinin çizelgeleme problemini çözmeye çalışmışlardır. Yazarlar öncelikli olarak çalışmada söz konusu olan OD/ÇS tipleri üzerinden bir sınıflandırma yapmışlardır, ardından çeşitli OD/ÇS çeşitlerinde görülen çizelgeleme ve sonuçlarını tartışmışlardır.

Khojasteh ve Son (2016) çok koridorlu otomatik depolama sisteminde ürün toplama problemini ele almış ve bu problemi seyahat zamanı modeli oluşturarak çözmeye çalışmıştır. Problemin amacı D/Ç makinelerinin toplam seyahat zamanının minimize etmek ve müşteri siparişlerini en kısa zamanda tamamlamaktır. Yazarlar öncelikli olarak problemi lineer olmayan bir model olarak formüle etmişler ve sezgisel bir model önermişlerdir. Yazarlar, önerdikleri model kapsamında müşteri siparişlerine cevap verme oranının yükselmiş olduğunu ve modelin optimale yakın bir sonuç elde etmeyi başardığını belirtmişlerdir.

Lerher (2016) ise çift derinlikli mekik tabanlı bir depolama sisteminde seyahat zamanı modelini incelemiştir. Çalışmada önerilen model tek ve çift çevrim olarak çalışan vinçlerin beklenen çevrim zamanlarının hesaplanmasına ve böylelikle çift derinlikli mekik tabanlı depolama ve çekme sisteminin performansını değerlendirmesine olanak vermektedir.

OD/ÇS ile ilgili genel literatür çalışmalarının özet bir tablosu Tablo 4'te belirtilmiştir.

Yıl	Yazar	Amaç/Problem	Çözüm/Araştırma Yöntemi
1984	Bozer ve White	Rastgele depolama politikasına sahip bir depoda tek ve çift seyahat sürelerinin incelenmesi	Sezgisel
1990	Guenov	Vinç seyahat sürelerinin azaltılması	Sezgisel
1990	Hwang ve Lee	Vinç hareketlerinin hızlanma/yavaşlama oranlarını dikkate alarak çevrim sürelerinin hesaplanması	Sezgisel
1992	Eben-Chaime	Ürünlerin blok stratejisi ile	Sezgisel

		depolanması ile en yakın komşu sezgiseline göre atanma durumunun karşılaştırılması	
1993	Günel, Grajo ve Blank	SIMAN/CINEMA simülasyon yazılımı ile bir OD/ÇS modeli oluşturulmuştur	Simülasyon
1995	Sarker ve Babu	Seyahat zaman modellerinin incelenmesi ile çıktı oranı, ürün çekme sıralaması ve bekleme stratejilerinin kararları tartışılmıştır	Literatür
1996	Lee ve Schaefer	Vinç seyahat sürelerinin azaltılması	Sezgisel
1996	Lee, Souza ve Ong	Ray yönlendirmeli araçlar ve OD/ÇS'lerin entegre olduğu bir sistemde araç sayısı ve performans ilişkisi	Simülasyon
1997	Lee	OD/ÇS sistemi içinde performans tahminlemesi için statik analiz ve dinamik matematiksel model karşılaştırması	Matematiksel Modelleme
1997	Lee ve Schaefer	Tahsisli bir depo için sıralama metodu geliştirme	Matematiksel Model
1997	Mansuri	Çevrim süresi hesabı ile stok politikaları alternatiflerinin değerlendirilmesi	Matematiksel Model
1997	Wang ve Yih	Yapay sinir ağları tahminlenebilir sistem verisi tanımlama	Matematiksel Model
1998	Jawahar, Aravindan ve Ponnambalam	Minimum vinç hareketi ile sistem performansını artırma	Algoritma
1999	Van den Berg ve Zijm	Çeşitli depolama yönetimi modellerinin sınıflandırması	Literatür
2000	Rouwenhorst vd.	Depo tasarımı ve kontrol problemleri ilgili sınıflandırma	Literatür
2002	Ashayeri vd.	Ortaya koydukları geometri tabanlı model ile vinç çevrim sürelerinin hesaplanması	Matematiksel Model
2002	Van den Berg	Bekleme noktalarının seyahat zamanı minimizasyonuna olan etkisinin belirlenmesi	Matematiksel Model
2003	Chetty ve Reddy	OD/ÇS'de depolama ve geri çekme sıralamasının genetik algoritma ile belirlenmesi	Algoritma
2004	Potrč vd.	Geliştirilen "Strategy X" modeli seyahat süresi ve çıktı kapasitesinin incelenmesi	Matematiksel Model
2005	Amato vd.	Vinç operasyonlarının optimizasyonunun yapılması	Algoritma
2005	Hu vd.	Yeni tip bir model OD/ÇS ile yüksek ağırlıklı konteyner	Matematiksel Model

		atamasının yapılması	
2005	Sari, Saygın ve Ghouali	Raf tipleri ve seyahat zamanları arasındaki ilişkinin incelenmesi	Simülasyon
2005	Lee vd.	Sınıf tabanlı depolama sistemlerinin hava kargo terminalleri kapsamında incelenmesi	Matematiksel Model
2006	Lerher vd.	Çok koridorlu bir sistemde analitik model ile seyahat zamanı incelemesinin yapılması	Matematiksel Model
2006	Li vd.	Beklenen seyahat sürelerinin kısaltılması	Algoritma
2006	Manzini, Gamberi ve Regattieri	Sınıf tabanlı bir atama politikasına sahip bir yapı için toplam çevrim süresi hesabının yapılması	Matematiksel Model
2007	De Koster, Le-Duc, Roodbergen	Sipariş toplama operasyonlarındaki karar problemlerinin incelenmesi	Literatür
2007	Gu, Goetschalckx ve McGinnis	Temel depolama fonksiyonlarını içeren problem sınıflandırmasının ortaya çıkarılması	Literatür
2008	Asokan vd.	Geliştirdikleri algoritma ile optimal çizelgeleme ve depo atama işleminin gerçekleştirilmesi	Algoritma
2009	Gnanavelbabu vd.	Otomatik yönlendirmeli araçlar ve OD/ÇS'ler için çok amaçlı bir çizelgeleme probleminin incelenmesi	Algoritma
2009	Roodbergen ve Vis	OD/ÇS'ler ile ilgili 30 senelik bir literatür incelemesi	Literatür
2009	Shuhua ve Yanzhu	Birden fazla lokasyonda bulunan ürünlerin toplanmasında seyahat zamanının minimizasyonu	Algoritma
2010	Ekren vd.	OD/ÇS'ler içindeki otonom araçların sistem içindeki performanslarının incelenmesi	Simülasyon
2011	Meneghetti ve Monti	OD/ÇS'lerde enerji verimliliği ile ilgili model geliştirilmesi	Sezgisel
2012	Carlo ve Giraldo	Birim yük depolarda çalışırken yeniden düzenleme stratejisinin incelenmesi	Sezgisel
2012	Gagliardi, Renaud ve Ruiz	OD/ÇS sistemlerinde kullanılan modellerin incelenmesi	Literatür
2012	Vasili, Tang ve Vasili	Seyahat süresi ve kontrol modelleri ile ilgili geçmiş literatürün incelenmesi	Literatür
2012	Bottani vd.	Ürün toplama operasyonlarında seyahat zamanının minimize edilmesi	Algoritma

2012	Soyaslan vd.	OD/ÇS bileşenlerinin ve otomasyon sistemlerinin incelenmesi	Algoritma
2013	Atmaca ve Öztürk	Ürün toplama probleminin matematiksel model ile çözülmesi	Matematiksel Model
2013	Atmaca ve Öztürk	Sipariş toplama ile ilgili literatür araştırmasının yapılması	Literatür
2013	Atz, Lantschner ve Günthner	Monte Carlo simülasyonu ile otomatik depolama sistemlerinde çıktı hesaplamalarının yapılması	Simülasyon
2013	Lerher vd.	Seyahat süresi ve sistem maliyet hesaplarının matematiksel model ile kurgulanması	Matematiksel Model
2013	Guezzen vd.	Hareketli raf sistemlerinde seyahat sürelerinin hesaplanması	Simülasyon
2014	Gagliardi, Renaud ve Ruiz	Çok koridorlu sistemlerde operasyonel ve fiziksel tasarım kararlarının incelenmesi	Matematiksel Model
2014	Lerher vd.	Küçük yük OD/ÇS'lerde enerji sarfiyatının azaltılması	Matematiksel Model
2015	Brezovnik vd.	Karınca kolonisi algoritması kullanılarak alan kullanımı ve yatırım maliyetlerinin azaltılmasının sağlanması	Algoritma
2015	Bottani vd.	Depo yönetimi için kullanılabilir akıllı algoritmaların incelenmesi	Literatür
2016	Boysen ve Stephan	Vinç çizelgeleme probleminin incelenmesi	Matematiksel Model
2016	Khojasteh ve Son	Çok koridorlu bir sistemde ürün toplama probleminin ele alınması	Matematiksel Model
2016	Lerher	Çift derinlikli bir yapıda seyahat süresi hesaplamasının yapılması	Matematiksel Model

**Tablo 4:** OD/ÇS kapsamındaki genel literatür çalışmaları

### 3.3.2. Otomatik Depolama ve Çekme Sistemleri Kapsamında Sipariş/Lokasyon Atama/Yeniden Konumlandırma İle İlgili Literatür

Bir önceki bölümde bahsedilen genel literatür çalışmalarından sonra bu bölümde atama operasyonu kapsamındaki çalışmalar değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmaların özet tablosu Tablo 5'te görülebilir.



Hausman, Schwarz ve Graves (1976) bu alandaki ilk çalışmalardan birini ortaya koymuşlardır. Çalışma OD/ÇS'lerin bilimsel anlamda çizelgelemesi ve tasarımı ile ilgilenmektedir. Yazarlar çizelgelemenin üç ana elemanı olduğunu bunların ise aynı palete çoklu ürünün atanması, palet yüklerinin depolama noktalarına atanması ve depolama ve çekme sıralamalarının kuralları olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma optimal depo ataması problemini çözmeye çalışmakla beraber, sistemin performans değerlendirmesi üç depo atama kuralı üzerinden yapılmaktadır. *Rastgele atama, tam devir tabanlı atama ve sınıf tabanlı atama*dır. Çalışma sonucunda tam devir tabanlı atamada vinç seyahat zamanı ve mesafesinde yüksek oranda düşüş görülmüştür.

Graves, Hausman ve Schwarz (1977) bir önceki çalışmalarına benzer bir şekilde D/Ç makinesinin çevrim süresini hesaba katan bir model öne sürdükleri çalışmada, sistemin performansını birkaç depo atama çevrim politikası ile karşılaştırarak ortaya koymuşlardır. Ortaya koydukları model kapsamında gerçek depo problemi ile ilgili vinç seyahat zamanı ve mesafesinde düşüşlerin sağlandığı bu durumun da mevcut sistemler için çıktı kapasitesinin artması olarak yorumlanabileceğinin altını çizmişlerdir.

Seidmann (1988) yaptığı çalışmada otomatik depolama sistemlerinin operasyonel kontrolü için yeni bir bilgi sistemi yöntemi önermiştir. Yazarın önerdiği bu yöntem problem çözümü için yapay zeka temellidir. Bilgi düzeyindeki artışa bağlı olarak birkaç operasyonel amaç fonksiyonu belirlenmiş ve bu fonksiyonların gerçek zamanlı istatistiksel hesaplamalar ile atama yapılacak noktalar belirlenmeye çalışılmıştır. Bu sayede OD/ÇS kendisini olasılıksal sapmalara karşı adapte edebilmektedir. Yazar, ortaya çıkan sonuçların, genel endüstriyel kontrol metotlarından daha iyi olduğunu belirtmiştir.

Hackman ve Rosenblatt (1990) elleçleme maliyetlerinin düşürülmesi için otomatik depolama ve çekme sistemlerinin kullanıldığını belirterek önerdikleri sezgisel model ile hangi ürünün OD/ÇS'ye atanacağını ve hangi miktarda depolanacağını belirlemeye çalışmışlardır.

Jaikumar ve Solomon (1990) stoklanacak palet birimlerinin optimal relokasyon operasyonlarını oluşturmaya çalışmışlardır. Sistem yoğunluğunun çok olmadığı

zamanlarda paletlerin ürün alma/bırakma istasyonlarına yakın yerlere konumlandırılması ile sistemin yoğun olduğu zamanlarda ortaya çıkacak sıkışıklıkların önüne geçildiği belirtilmiştir.

Kim ve Seidmann (1990) rastgele sipariş durumu olan ve tam devir tabanlı ürün ataması bulunan bir sistemde beklenen çevrim süresi hesaplamasını yapmışlardır. Bu kapsamda beklenen çıktı oranlarını incelemiştirler. Çalışmanın sonucu olarak ise yazarlar 80/30'luk bir atama politikasında (ürünlerin %30'luk bir kısmı depolama/çekme faaliyetinin %80'ini oluşturmaktadır) çevrim sürelerinde tek çevrim süresinde % 46.28, çift çevrim süresinde ise % 41.98'lik bir tasarruftan bahsetmektedirler.

Rao ve Wang (1991) OD/ÇS' de atama problemi ile olarak farklı kontrol kuralları olan bir sistemde performans değerlendirmesi yapmışlardır. Çalışmalarını iki bölüm olarak organize eden yazarlar, ilk bölümde farklı vinç kontrol, depo lokasyon atama ve sipariş sıralama kurallarının etkinliğini değerlendirmişler, ikinci kısımda ise bu kuralların OD/ÇS performansına olan etkisinin üzerinde durmuşlardır. Çalışma sonunda da en kısa işlem süresi kuralının alan tabanlı lokasyon atama kuralından daha iyi sonuçlar ürettiği ortaya çıkmıştır.

Muralidharan, Linn ve Pandit (1995), otomatik depolama sistemlerinde karma sezgiseli ile lokasyon atama problemini çözmeye çalışmışlardır. Bu kapsamda önerdikleri sezgisel, rastgele ve sınıf tabanlı atama kurallarını birleştirmektedir. Yazarlar çalışmalarının sonucunda depolama ile ilgili bekleme sürelerinde ve hizmet süresinde azalma sağlandığını belirtmişlerdir.

Sadiq, Landers ve Don Taylor (1996) ise dinamik bir çevrede ve ileri teknoloji sektöründe işleyen bir otomatik depolama sisteminin devam eden bir yeniden depolama sistemi mantığı gerektirdiğini belirtmiştir. Çalışma kapsamında ortaya çıkardıkları kavramsal çerçeve ve “dinamik stok lokasyon atama algoritması” sezgiseli ile ürün çekme sistemini dinamik olarak yeniden yapılandırılmasını sağlamışlardır.

Van den Berg (1996) otomatik depolama sisteminde depo atama problemini ele aldığı çalışmada sınıf tabanlı depo atama problemini alan kısıtı ile tartışmıştır. Tek çevrim

zamanlı bir sistemde etkin bir dinamik programlama algoritması ile ortalama tek çevrim süresini minimize edecek bir sınıf atama kuralı oluşturmaya çalışmıştır.

Ashayeri vd. (1998) etkili tüketici tepkisi ve sipariş boyutlarının belli sektörler dâhilinde daha küçük hale gelmesinin küçük yük depolama sistemi tercihlerinde en önemli faktörler olduğunu belirterek, geçen süre içinde bu yapıların teknolojik olarak ilerlediğini söylemişlerdir. Yazarlar modifiye edilmiş bir seyahat süresi modeli ortaya koymuşlar ve çeşitli çalışma vardiyalarında çalışabilecek bir karışık tamsayı lineer programlama modeli geliştirmişlerdir.

Van den Berg ve Gademann (2000) OD/ÇS ile ilgili çeşitli kontrol noktaları üzerinde durmuşlardır. Bunlar, depo lokasyon atama politikaları, sipariş seçim kuralları, açık lokasyon seçim kuralları ve aciliyet kuralları olarak belirtilmiştir. Çalışmada rastgele atama, sınıf tabanlı atama, sınıf tabanlı atama ve tahsisli atama ve yazarların önerdikleri sürekli depolama politikası ile ilgili politikalar üzerinden çeşitli değerlendirmeler yapılmıştır.

Moon ve Kim (2001) depo atama kuralı ile ilgili yaptıkları çalışmada üretilen ürünlerin miktarındaki değişimlere göre ürünlerin yerlerinin değişiminin gerçekleştirildiği bir örneği simülasyon yöntemi ile değerlendirmişlerdir.

Kim ve Park (2003) geçici bir depolama sisteminde ürünlerin depolama alanlarına atanma problemini araştırmışlardır. Çalışılan vakada ise ürünlerin depolama alanına dinamik olarak geldiği varsayılmış ve ürünlerin depo içinde de yeniden konumlandırmalarının yapılması planlanmıştır. Yazarlar lokasyon atama problemini minimum maliyet, çoklu ürün akış problemi olarak formüle etmişlerdir.

Li, Chen ve Liu (2008) ise otomatik depolama sistemlerin sınıf tabanlı bir yapıda depo atama problemini çözmeye çalışmışlardır. Bu kapsamda yazarlar geliştirdikleri modelde çok amaçlı bir matematiksel model ortaya koymuşlar, pareto optimizasyonlu bir genetik algoritma ile niş tekniği kullanmışlardır. Bu kapsamda yazarlar performans sonuçlarını rastgele atama politikası ve optimize edilmiş politika olarak karşılaştırmışlardır. Optimize edilmiş politika ile seyahat zamanı saniye olarak 578 verilirken, rastgele politikada 1935 olarak belirtilmiştir.

Muppani ve Adil (2008) sınıf tabanlı bir sistemde yaptıkları çalışmada literatürdeki çoğu sınıf tabanlı çalışmanın sipariş toplama maliyetlerini hesaba kattığını fakat depo alan maliyetini göz ardı ettiklerini belirtmişlerdir. Yazarlar çalışmada benzetimli tavlama algoritmasını kullanarak ve tamsayı programlama modelini kullanarak depo alan maliyeti ve sipariş toplama maliyetlerini minimize etmeye çalışırken sistem içindeki bütün ürün kombinasyonlarını dikkate alarak problemi çözmeye çalışmışlardır. Çalışmada bir gıda ve içecek türünden 45 ürün bulunan bir dağıtım deposu ele alınmıştır. Yazarlar benzetimli tavlama ve dinamik program algoritmasını karşılaştırmışlardır, sonuçlara göre benzetimli tavlama algoritması ile ulaşılan atama maliyeti 17,949.52 \$, dinamik programlama algoritması ile ulaşılan maliyet 18,544.79 \$'dır.

Ho ve Harma (2009) lokasyon atama problemini çok ürünlü bir sistemde ürün toplama işlemleri için bölümlenmiş depolama kavramı ile tartışmışlardır. Çalışma sonucunda yazarlar küçük miktardaki bir ürünün toplanma ihtimalinin düşük olması durumunda bu ürünlerin birleştirilmesi veya kümelendirilmesini önerirlerken, küçük miktardaki bir ürünün toplanma ihtimalinin yüksek olması durumunda ise bölümlendirme önermektedirler.

Carlo ve Giraldo (2010), tahsisli lokasyon atama probleminin tesis lojistiği içinde çokça araştırıldığını fakat çalışmalarında ortaya koydukları “*çalışırken yeniden düzenleme*” politikasının, depolama ve çekme işlemi devam ederken ürünlerin tekrar düzenlenebilmesine olanak sağladığını belirtmişlerdir.

Chen, Langevin ve Riopel (2010) paylaşımlı bir otomatik depolama sisteminde lokasyon atama ve çevrim süresi problemini aynı anda ele almıştır. Tek komut işlemleri için geliştirdikleri sezgisel kapsamında problemin çözümü için iki aşamalı bir yapı kurmuşlardır. Orta ve büyük boyutlu problemler için bir tabu arama algoritması oluşturmuşlardır. Yazarlar, çalışmanın sonucunda ise tabu arama algoritmasının yüksek kalitede sonuçlar ve büyük boyutlu problemler için etkili çözümler ortaya çıkardığını belirtmişlerdir.

Egas ve Masel (2010) kümeleme analizi ile depo lokasyon atama problemini farklı bir yaklaşımla ele almaya çalışmışlardır. Oluşturdukları metodolojiye göre yazarlar, iki stok birimi arasındaki ilişki gücü ile ilgili metriğin stok tutma biriminin aynı sipariş içinde gözükme sayısı ile ilgili olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları testlerde, ürün almak için ziyaret edilen koridor sayısında kümeleme ataması ile talep tabanlı atama stratejisi arasında %20-30 oranında bir düşüş belirlenmiştir.

Hou, Wu ve Yang (2010) yaptıkları çalışmada manuel bir depodaki depo atama ve relokasyon işlemleri ile ilgili bir sezgisel sunmuşlardır. Çalışmada ilk olarak depo yönetim sisteminden alınan depo lokasyonları ve stok verileri ile iki aşamalı bir depo relokasyon metodu oluşturulmuş bu metot ile boş depo lokasyonlarının sayısı arttırılmaya çalışılmıştır.

Kofler vd. (2010) depoların tedarik zinciri sistemlerinin önemli bir parçası olduğunu bu sayede materyal akışı, depo konsolidasyonu ve katma değerli işlemler ortaya çıkarmak için bir tampon görevi gördüğünü belirtmişlerdir. Çalışmada yazarlar ürün lokasyonlarını otomatik olarak yeniden düzenleyen bir optimizasyon yöntemi ortaya koymuşlardır. Çalışmanın sonucunda ise orijinal depo atama sonuçlarıyla optimize edilmiş sonuçlar karşılaştırıldığında optimize edilmiş sonuçta seyahat mesafesi 17.06 km. olarak belirtilirken, orijinal atama sisteminde 18.91 km. olarak belirtilmiştir.

Zhou ve Mao (2010) çalışmalarında OD/ÇS'lerde depo lokasyonu optimizasyonunun öneminden bahsetmişler sonrasında ise mevcut depo lokasyon atama stratejisindeki eksiklikleri ortaya koyarak depo lokasyon optimizasyonu tasarımı önermişlerdir. Önerilen matematiksel modelin optimize edilerek çözülmesinden sonra FLEXIM yazılımında simüle edilmiştir. Çalışmanın sonucuna göre geliştirme öncesi ve geliştirme sonrası çıktı sonuçlarına göre çıktı bazında bakıldığında geliştirme öncesinde 403 birim, geliştirme sonrası durumda 629 birim olarak belirtilmiştir.

Chen, Langevin ve Riopel (2011) bir depolama sisteminde relokasyon probleminin çözümü için tabu arama algoritmasını kullanmışlardır. Yazarlar bir depoda bazı ürünlerin talebine göre değişen durumlarda D/Ç makinelerinin çalışma sürelerinin yüksek oranda arttığını belirtmişlerdir. Bu kapsamda sistem içerisinde relokasyon

gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Çalışmanın amacı elleçleme makinelerinin elleçleme uygunluklarına göre relokasyon zamanlarını minimize etmektir. İki aşamalı bir sezgisel yöntem kullanan yazarlar, tabu arama algoritmasının küçük ve orta boyuttaki problemler için iyi performans ortaya koyduğunu belirtmişlerdir.

Chiang vd. (2011), manuel bir sistemde veri madenciliği tabanlı bir depo atama yöntemi ortaya koymuşlardır. Veri madenciliği tabanlı atama sistemine göre yeni bir ilişkilendirme endeksi ile bırakılacak ürünler ve atanacak depo lokasyonları arasında uygunluk geliştirerek ve bunları değerlendirerek bir ilişkilendirme kuralı madenciliği yapmışlardır.

Kofler vd. (2011) depo lokasyon atama problemi ile ilgili stratejileri tartıştıkları çalışmada depo atama çalışmaları ile ilgili literatürün 1960'lı yıllardan itibaren çalışıldığını fakat yoğunluklu olarak çalışmaların yeniden depolama mantığını taşıdığı bu yöntemin de bir deponun en baştan yeniden doldurulması anlamına geldiğini belirtmişlerdir. Buna rağmen çeşitli ürün karmalarında gerçekleşen sezonsal dalgalanmalarda deponun etkili bir şekilde çalışması için yeniden düzenlenmesi ihtiyacının ortaya çıktığı belirtilmiştir. Bu anlamda çalışmada yazarlar, örnek bir depo üzerinde küçük miktarda tasfiye görev uygulanması ile ortaya çıkacak depo atama durumunu tartışmışlardır.

Sanei vd. (2011), manuel bir depolama sisteminde operasyonel kısıtlar dâhilinde depo lokasyon atama problemini sezgisel bir algoritma ile çözmeye çalışmışlardır. Yazarlar etkili bir depo lokasyon atama politikasının depo alanını optimal olarak kullanma faydasının ötesinde ürün toplama/bırakma ve depolama gibi faaliyetlerin seyahat sürelerinde düşüşler sağladığını belirtmişlerdir. Yazarlar depo atama problemini operasyonel kısıtlar ile elle alırken bu kısıtları ürünlerin merkezileşememe durumu olarak belirtmişlerdir.

Meneghetti ve Monti (2014) enerji verimliğini dikkate alan üretim sistemlerinin depo operasyonları yönetiminde geleneksel zaman tabanlı perspektiften enerji tabanlı perspektife geçiş yaptığını belirtmişlerdir. Belirtilen bu durum, OD/S'lerde vinçlerin en az hareketi gerçekleştirerek minimum enerji sarfiyatı ortaya çıkarmasını

amaçlamaktadır. Çalışmada tahsisli, sınıf tabanlı ve rastgele depo atama politikaları karşılaştırılmış ve bunlara karşı enerji verimliliğini maksimize edebilen yeni bir enerji tabanlı politika önerilmiştir.

Kofler vd. (2014) dinamik siparişli bir depo yapısında ilişki tabanlı bir yerleştirme yöntemi önermişlerdir. Yazarlar klasik depo lokasyon atama problemini çok periyotlu formüle edilmiş bir depo lokasyon atama problemi olarak incelemişler ve iki durum arasında bir karşılaştırma yapmışlardır.

Quintanilla vd. (2015), gerçek bir problemden yola çıkarak oluşturdukları çalışmada depo kısıtlarını göz önüne alarak depo alan kullanılabilirliğinin artırılması için ürünlerin en uygun yere atanmasını amaçlayan bir model ortaya koymuşlardır. Önerilen modelde, yerel arama algoritması ve çeşitli meta-sezgisel yaklaşımlar dikkate alınmıştır.

Ramtin ve Pazour (2015) yaptıkları çalışmada dağıtım merkezlerinde kullanılan yarı-otomatik bir depolama sisteminde ürün toplama yeri ataması yapmışlardır. Bu anlamda beklenen seyahat sürelerini minimize edecek etkili bir algoritma ortaya koyan yazarlar çeşitli talep eğrileri, depo şekli ve farklı operasyon politikalarını içeren bir yapıda pratik atama politikaları ile optimal atama politikaları arasında karşılaştırma yapmışlardır.

Li, Moghaddam ve Nof (2016) çalışmalarında yeni bir dinamik depo atama problemini incelemişler ayrıca problemi optimize etmek için ABC sınıflandırması ve ürünlerin ortak ilişkisine dayalı bir bütünleşik yöntem ortaya koymuşlardır. Yazarlar, ilişki tabanlı sezgisel yöntemin, veri madenciliğine dayalı bir teknik olduğunun altını çizmişlerdir. Ayrıca bu tekniğin, ürünlerin ikili ilişkilerini hesaplamak için de kullanıldığını belirtmişlerdir. Çalışma sonucunda ise bir dağıtım merkezinde ortalama ürün toplama zamanında %7,14 ile %104,48 arasında bir gelişme gösterildiği söylenmiştir.

Pang ve Chan (2017) ise manuel bir sistemde rastgele atama politikasına sahip bir depoda veri madenciliği tabanlı bir algoritma kullanarak depo lokasyon atama problemini incelemişlerdir. Yazarlar, toplanacak ürünlerin müşteri talebine göre değişen farklı ürünler için veri madenciliği tabanlı bir ürün toplama modeli oluşturmuşlardır. Ortaya koydukları algoritma ile hem ürün bırakma hem de ürün toplama operasyonlarındaki toplam seyahat mesafesini minimize etmeyi amaçlamışlardır.

Yukarıda detaylandırılmış çalışmaların özetleri aşağıdaki tabloda listelenmiştir.

Yıl	Yazar	Amaç/Problem	Çözüm Yöntemi
1976	Hausman, Schwarz ve Graves	OD/ÇS'lerde optimal depo atama probleminin çözülmesi	Analitik Model
1977	Graves, Hausman ve Schwarz	Vinç çevrim sürelerinin hesaplanması ile sistem performansının ortaya çıkarılması	Analitik Model
1988	Seidmann	Gerçek zamanlı istatistik bilgilerin kullanılarak atama yerlerinin belirlenmesi	Analitik Model
1990	Hackman, Rosenblatt ve Olin	Ürün atama lokasyonlarına hangi ürünün ne kadar atanacağını belirlemek	Sezgisel-Çok Aşamalı Prosedür
1990	Jaikumar ve Solomon	Stok birimlerinin optimal relokasyon operasyonlarının belirlenmesi	Sezgisel-Optimum Sıralama Algoritması
1990	Kim ve Seidmann	Rastgele ve tam devir tabanlı sistemde çevrim süresi hesabının yapılması	Kesin Yöntem-Analitik Model
1991	Rao ve Wang	Çeşitli operasyon etkinliklerinin ve sistem performansının değerlendirilmesi	Analitik Model
1995	Muralidharan, Linn ve Pandit	Lokasyon atama problemini rastgele ve sınıf tabanlı atama kuralları ile birleştirerek hizmet süresinin azaltılması	Sezgisel- En Yakın Komşu ve Ekleme
1996	Sadiq, Landers ve Don Taylor	Ürün çekme sisteminin dinamik olarak yeniden yapılandırılması	Sezgisel- Kümeleme Tekniği
1996	Van den Berg	Sınıf tabanlı depo atama probleminin alan kısıtı ile çözülmesi	Kesin Yöntem- Dinamik Programlama
1998	Ashayeri vd.	Seyahat süresi modeli ile çalışma vardiyalarının sayısının incelenmesi	Kesin Yöntem- Karmaşık Tamsayılı Doğrusal Programlama-
2000	Van den Berg ve Gademann	Rastgele atama, sınıf tabanlı atama, sınıf tabanlı atama ve tahsisli atama ve yazarların önerdikleri sürekli depolama politikası ile ilgili politikalar üzerinden çeşitli değerlendirmelerin yapılması	Simülasyon
2001	Moon ve Kim	Üretilen ürün miktarına göre değişen bir yapıda depo	Simülasyon



		atama probleminin çözülmesi	
2003	Kim ve Park	Ürünlerin depo içinde yeniden konumlandırmasının yapılması	Kesin Yöntem- Analitik Model
2008	Li, Chen ve Liu	Sınıf tabanlı bir sistemde depo atama probleminin çözümü	Metasezgisel- Genetik Algoritma
2008	Muppani ve Adil	Depo alan maliyeti ve sipariş toplama maliyetinin minimizasyonu	Sezgisel-Dal ve Sınır
2009	Ho ve Harna	Depo içinde kümelendirme ve bölümlendirme stratejilerinin karşılaştırılması	Kesin Yöntem- Analitik Model
2010	Carlo ve Giraldo	Ürünlerin süreç devam ederken yeniden düzenlenmesi	Sezgisel- En Yakın Komşu, Ekleme
2010	Chen, Langevin ve Riopel	Lokasyon atama ve çevrim süresi ile ilgili problemin aynı anda çözülmesi	Metasezgisel- Tabu Arama
2010	Egas ve Masel	Kümeleme analizi ile seyahat sürelerinin azaltılması	Sezgisel- Kümeleme Tekniği
2010	Hou, Wu ve Yang	Depo içindeki boş lokasyonların sayısının artırılması	Sezgisel- Çok Aşamalı Prosedür
2010	Kofler vd.	Ürün lokasyonlarının yeniden düzenlenmesi	Metasezgisel- Benzetimli Tavlama
2010	Zhou ve Mao	Depo lokasyon optimizasyonu tasarımı önerisinin geliştirilmesi	Simülasyon
2011	Chen, Langevin ve Riopel	Elleçleme makinelerinin elleçleme uygunluklarına göre relokasyon sürelerinin minimize edilmesi	Metasezgisel- Tabu Arama
2011	Chiang, Lin ve Chen	Veri madenciliğine dayalı atama kuralının geliştirilmesi	Kesin Yöntem- İkili Tamsayı Programlama
2011	Kofler vd.	Depo durumunun sezonsal etkilere göre değerlendirilerek	Sezgisel- Greedy ve Arama
2011	Sanei vd.	Depo atama probleminin operasyonel kısıtlar dâhilinde çözülmesi	Sezgisel- Dal ve Sınır
2014	Meneghetti ve Monti	Vinç atama probleminin enerji verimliliği çerçevesinde çözülmesi	Analitik Model- Prosedür ve Kural Tabanlı Yaklaşım
2014	Kofler vd.	Klasik depo atama ve çok periyotlu depo atama probleminin karşılaştırılması	Analitik Model
2015	Quintanilla vd.	Depo alan	Sezgisel- Greedy ve

		kullanılabilirliğinin artırılması	Arama
2015	Ramtin ve Pazour	Yarı otomatik bir depolama sistemindeki ürün atama probleminin çözülmesi	Kesin Yöntem-Analitik Model
2016	Li, Moghaddam ve Nof	ABC sınıflandırması ile veri madenciliği kapsamında ürün toplama sürelerinin kısaltılması	Metasezgisel-Genetik Algoritma
2017	Pang ve Chan	Veri madenciliği ile depo lokasyon atama probleminin incelenmesi	Veri Madenciliği Tabanlı Algoritma

**Tablo 5:** OD/ÇS Kapsamında Sipariş/Lokasyon ve Atama/Yeniden Konumlandırma İle İlgili Literatür

Bu bölümdeki OD/ÇS'ler kapsamında genel çalışmalar ve lokasyon atama ile ilgili literatür incelemeleri ele alındığında, bu çalışmanın ilgili literatüre katkıları birkaç nokta üzerinden değerlendirilebilir. Öncelikle, literatürdeki pek çok uygulama içeren çalışma, gerçek yapıları kapsamamakla beraber, uygulamalar için kullanılan veriler çoğunlukla teorik olarak oluşturulmuş veriler olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca, depo lokasyon atama probleminin kullanımı ile ilgili olarak tez kapsamındaki OD/ÇS yapısı gibi bir yapının incelenmemiş olması çalışmanın literatüre olan katkısını arttırmaktadır. Çalışmanın özgünlüğünü arttıran diğer bir nokta ise, depo yönetim sistemi kapsamında ortaya çıkan verinin de model içinde kullanılmasıdır. Veri madenciliği başlığı altında çeşitli yöntemler, manuel sistemler kapsamında kullanılmış olsa da, otomatik sistemler için kullanılan bir veri madenciliği yönteminin olmaması çalışmanın özgünlüğünü vurgulamaktadır. Ayrıca, çalışma kapsamında ortaya konan modelin içerdiği parametrelerin, karar değişkenlerinin ve amaç fonksiyonunun literatüre yenilik kazandırdığı düşünülmektedir. Buna ek olarak literatürde yöntem olarak pek çok metasezgisel yapı kullanılmıştır. Bu tez çalışmasını diğer çalışmalardan ayıran diğer bir faktör de genetik algoritma ile kullanılan harem yöntemidir. Bu problem kapsamında bu iki yapıyı bir arada kullanan bir yöntemle rastlanmamış olması, literatüre olan katkıyı desteklemektedir.

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### 4. PROBLEM KAPSAMINDA GELİŞTİRİLEN ALGORİTMANIN KAPSAMI

Günümüzde işletmeler operasyonel anlamda hızlı kararlar vermek ve bu kararların en uygun şekilde uygulanmasını sağlayamaya çalışmaktadırlar. Bu anlamda işletmelerin gün içerisinde karşılaştığı orta ve büyük ölçekli optimizasyon problemlerinin hızlı bir şekilde çözülmesi ve uygulanması gerekmektedir. Reeves (1995:5) büyük kombinatorial problemlerin optimal çözümlerinin uygulanabilir olmadığını belirterek bu durumun nedenini ise yüksek işlem zamanları olarak belirtmiştir. Kesin algoritmaların kullanılmadığı problemlerde ise sezgisel ve metasezgisel yöntemlerin kullanımı tercih edilmeye başlanmıştır.

#### 4.1. Genetik Algoritmalar

Genetik algoritma mantığının temelleri 1859 yılında Charles Darwin tarafından öne sürülen *Doğal Seçilim Teorisi*'ne atfedilmektedir. Kavramdaki temel mantık ise hayatta kalmaya yatkın özelliklere sahip bireylerin bu özelliklerinin ve hayatta kalma şanslarının sonraki kuşaklara aktarılma oranının daha yüksek olmasıdır. Aynı şekilde hayatta kalmaya daha az elverişli özelliklere sahip bireyler ise popülasyon içinde zamanla ortadan kalkmaktadır. Genlerdeki kromozomlar içinde saklı olan genetik kalıtımdaki özellikler, organizmalar yeniden ürediğinde kuşaktan kuşağa geçen genler ile aktarılmaktadır. Bu süreçte gerçekleşebilen mutasyonlar ise, kromozomlarda değişikliklere sebep olabilmektedir. Elverişli özelliklere sahip bireylerin sayısı doğal seçim nedeni ile arttığı için popülasyon ortalama olarak zamanla gelişme göstermektedir. Genetik algoritmalar John Holland tarafından geliştirilmeye başlanmıştır. Holland, optimum bulma ve makine öğrenme problemlerini, bireylerin doğal seçim ve genetik evrime dayanarak çevreye olan uyumlarını örnek alarak bilgisayar ortamında modellemiştir (Varlı, 2007). Genetik algoritmaların optimizasyon alanındaki kapasitesi ise Holland'ın doktora öğrencisi olan Goldberg'in "*gaz boru hatlarının optimizasyonu*" konulu tezi ile ortaya çıkmıştır. Yöntemin pratik olarak

uygulanması ise alanında referans kitap olma özelliğini taşıyan Goldberg tarafından 1989 yılında yayınlanan “*Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*” adlı eserden sonra olmuştur (Reeves, 2003, akt. Şahin, 2012: 99)

Bu anlamda genetik algoritmalar, metasezgisel bir yöntem olarak karşımıza çıkan ve doğadan esinlendiği şekilde en iyinin hayatta kalmasına dayanarak daha iyi çözümler arayan bir yöntemdir (Pakkan ve Ermiş, 2010: 78). Çizelgeleme problemleri, gezgin satıcı problemleri, araç rotalama problemleri gibi alanlarda optimal çözümlere kabul edilebilir bilgisayar zamanında ulaşılması zor olduğundan genetik algoritmaların optimale yakın sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür (Michalewicz, 1996).

Mori ve Tseng (1997:135) genetik algoritmaların, karmaşık arama uzayında en iyi çözümü bulmayı amaçlayan rastgele arama teknikleri olduğunu belirtmişlerdir. Genetik algoritmalar, optimal sonuca yakın değerler etmekle beraber optimal sonucu garanti etmemektedir. Bu anlamda da genetik algoritmalar alt optimizasyonlara değil, amaç fonksiyonu için optimum değer bulmaya çalışmaktadırlar (Çiçekli,2012). Genetik algoritmaların kullanıldığı problemlerde amaç fonksiyonunun belirlenmesi, kodlamanın seçimi önemli hale gelmektedir. Bu nedenle genetik algoritmalarda değişkenlerin kodları, değişkenlerin kendisinden daha önemli bir durumdadır (Wang, 2003:2). Michalewicz, (1996: 17-18) genetik algoritmaların kullanımı ile ilişkin olarak temel öğeleri aşağıdaki gibi listelemiştir:

- Problemin çözümü için genetik gösterimin ortaya konulması,
- Potansiyel çözümü ifade eden başlangıç popülasyonunun oluşturulması,
- Uygunluk fonksiyonunun tanımlanması,
- Yeni bireylerin ortaya çıkartılması için genetik operatörlerin kullanılması,
- Popülasyon büyüklüğü, operatör kullanım oranları gibi parametre değerlerinin belirlenmesi.

Görener (2012:47) genetik algoritmaları diğer yöntemlerden ayıran özelliğın en iyiyi aramaya bir çözüm kümesi ile başladıktan sonra, potansiyel çözümleri oluşturma ve geliştirme için biyolojik evrimi esas alan süreçlerin kullanılması olduğunu belirtmiştir.

Genetik algoritmaların diğer yöntemlerden aşağıdaki özellikleri kapsamında ayrılmaktadırlar (Gen ve Chen, 2002, akt. Çiçekli, 2012: 47):

- Genetik algoritmalar, çözüme odaklanmak yerine çözümün kodlanmasına odaklanmakta bu nedenle de iyi tasarlanmış bir kodlama gerekmektedir.
- Tavlama benzetimi ve tabu arama gibi tek bir çözümden başlayarak çeşitli geçişler ile başka bir çözüme hareket eden metasezgisel yöntemlerden farklı olarak genetik algoritmalar bir çözüm grubu içinden arama yapmaktadır.
- Birçok gerçek vaka süresiz arama evreni içermektedir, buna karşı genetik algoritmalar kromozomların uygunluklarını ölçen nesnel fonksiyon değeri gerektirmekte ve bu noktada devamlılık ve türevlenebilirlik gerektiren algoritmalarından farklılaşmaktadırlar.
- Genetik algoritmanın dayanıklılığını ortaya çıkaran diğer bir nokta ise doğal kararlarda rastgelelik göstermesidir.
- Genetik algoritmalar bulgusal algoritmalardır bunun sebebi de genetik algoritmaların ne zaman en uygun çözümü bulduğunu bilmemesidir.

#### 4.2. Genetik Algoritma Terminolojisi

**Gen**, bilgi taşıyan en küçük birimdir. Genlerin birleşiminden ise kromozomlar oluşmaktadır. “*Allel*” ise genin alabileceği değere verilen isimdir. Problem içerisindeki her bir parametre genler tarafından kodlanmaktadır.

**Kromozom**, birden fazla genin oluşturduğu dizidir. Kromozomların içinde yer alan genlerin konumu ise “*lokus*” olarak adlandırılmaktadır. Kromozomların her biri problemin çözümlerine ait kodlanmış yapıyı içermektedir. Kromozomlarda yer alan parametreler optimizasyon probleminde belirtilen parametreleri temsil etmektedir.

**Popülasyon**, gen havuzu olarak da tabir edilen popülasyon, bir problem için olası çözüm büyüklüğünü yani kromozomlardan oluşan topluluğu ifade etmektedir.

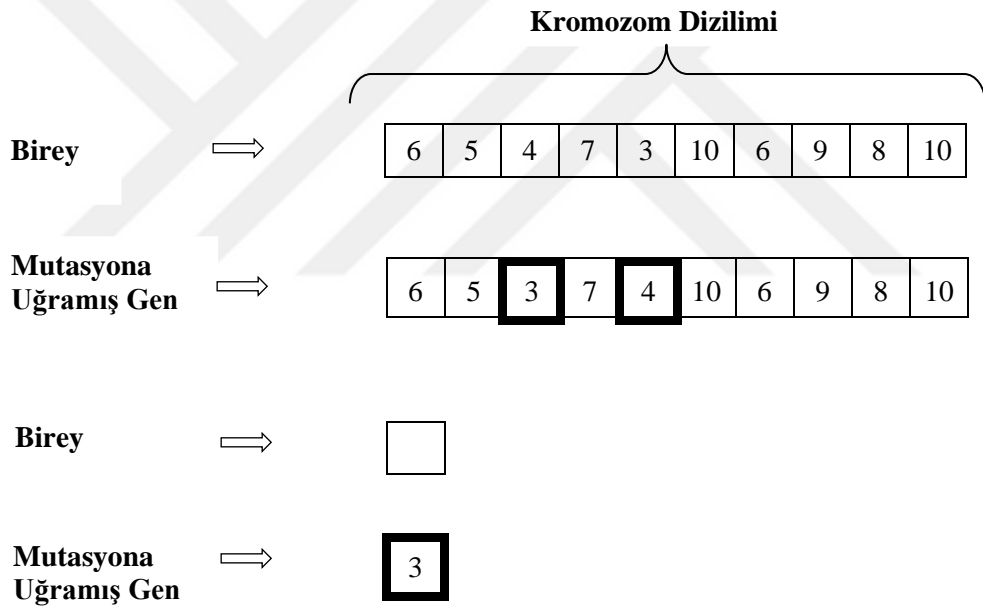
**Seçim**, bir sonraki nesile aktarılacak kromozomların belirlenmesidir. Kromozomların uygunluk fonksiyonu ile seçime karar verilmektedir. Taşkın ve Emel (2009) uygunluk

fonksiyonunu, kromozomun ortama uyum gücünü gösteren denklem olarak belirtmişlerdir.

**Üreme**, iki kromozomun eşleştirilerek, içindeki gen dizilimlerine göre yeni kromozomların ortaya çıkartılmasıdır.

**Mutasyon**, kromozomların içerisinde bulunan her bir gen mutasyona uğrayabilir. Bu durumda gen dizilimlerinde de değişiklikler ortaya çıkmaktadır. Mutasyon olasılığına bağlı olarak mutasyon operatörü uygulanmaktadır.

Şekil 4.1’ de kromozom, gen ve mutasyon gösterimi verilmiştir.



**Şekil 4.1:** Bir bireydeki kromozom, gen ve mutasyon gösterimi

### 4.3. Genetik Algoritmada Kodlama Türleri

Genetik algoritma başlangıcındaki en önemli karar problemin ne şekilde gösteriminin yapılacağı yani kromozomlarda ne şekilde kodlanacağıdır (Gen ve Cheng, 2002:2). Doğru kodlama şemasının seçimi problemin çözümünün temsili için önemlidir. Görener (2012:51) optimizasyon probleminin kodlanmasının, probleme özgü bilgilerin genetik algoritma yönteminde kullanılabilir yapıya çevrilmesine olanak sağladığını belirtmiştir. Genetik algoritmanın performansını etkileyen öğelerden birisi de problemin

kodlanmasıdır (Jang vd., 1997:176). Çeşitli problem yapıları için farklı kodlama yöntemleri bulunmaktadır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- İkili kodlama
- Gerçek sayılı kodlama
- Sıralı (permütasyon) kodlama
- Veri yapısı kodlaması
- Ağaç kodlama

#### 4.3.1. İkili kodlama

En yaygın olarak kullanılan kodlama biçimidir. Her kromozom sıfır ve bir rakamları ile temsil edilmektedir. Bu kromozomlar çözüm alternatiflerini temsil etmektedir. Şahin (2012:130-104) kromozom üzerindeki her bitin, çözümün bazı karakteristik özelliklerini taşıdığını ve her ikili dizinin bir değere karşılık geldiğini belirtmiştir. Kumar (2013:3-4), ikili kodlamada kullanılacak mutasyonun ters çevirme mutasyonu olduğunu ifade ederek, 1 olan değer 0, 0 olan değer de 1 olarak mutasyona uğradığını belirtmiştir. İkili kodlamaya örnek bir gösterim Şekil 4.2’ de belirtilmiştir.

<b>Kromozom 1</b>	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1
<b>Kromozom 2</b>	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0

Şekil 4.2: İkili kodlama gösterimi

#### 4.3.2. Gerçek Sayılı Kodlama (Değer Kodlama)

Fonksiyon optimizasyon problemleri için uygun görülen gerçek sayılı kodlama türüdür. Gen içerisinde kullanılan değer, tamsayı, gerçek sayı veya karakter olarak gösterilir. Raghuwanshi ve Kakde (2005:150) sürekli arama uzayını ikili kodlama ile yönetmenin çeşitli zorluklarından bahsetmiş, gerçek sayılı kodlama yönteminin ise problemlerin doğal şekillerine çok yakın formülasyonlar ortaya koyduğunu ve rekombinasyon ve mutasyon operatörlerinin gerçek parametreler kullanacak şekilde tasarlanabildiğini belirtmişlerdir. Şekil 4.3’ de gerçek sayılı kodlamaya sahip kromozom örnekleri verilmiştir.

<b>Kromozom 1</b>	6	5	4	7	3	10	6	9	8	10	6
-------------------	---	---	---	---	---	----	---	---	---	----	---

<b>Kromozom 2</b>	6,12	7,13	3,12	15,2	3,50	1,25	5,78	5,45	2,36	7,45	3,25
-------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

<b>Kromozom 3</b>	B	G	H	J	K	F	T	Y	D	L	M
-------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

**Şekil 4.3:** Gerçek sayılı kodlama gösterimi

#### 4.3.3. Sıralı (permütasyon) kodlama

Kombinatoriyal optimizasyon problemlerinin temeli sınırlı en iyi permütasyon ya da kombinasyon bileşenlerini aramak olduğu için, permütasyon kodlama bu tür problemler için kullanan bir yöntemdir (Çiçekli, 2012:50). Keskinürk (2006), problemdeki parametrelerin sıralaması kromozomların uygunluk değerlerinin hesaplanmasında önemliyse bir sıralama probleminin çözümünün söz konusu olduğunu belirtmiştir. Bu yapılar genel olarak gezgin satıcı problemi, çizelgeleme problemleri uymaktadır. Kodlamadaki genler ve dizilişler, yapılacak işlerin veya gidilecek şehirlerin sıralamasını ifade etmektedir (Şahin, 2012:104). Şekil 4.4'teki kromozom yapısında, 11 noktalı bir problem yapısının olduğu ve başlangıçtan başlayarak sırası ile bu noktalara ziyaretin olması gerektiği anlaşılmaktadır.

<b>Kromozom</b>	4	7	3	8	9	10	1	2	6	5	11
-----------------	---	---	---	---	---	----	---	---	---	---	----

**Şekil 4.4:** Permütasyon Kodlanan Bir Kromozom

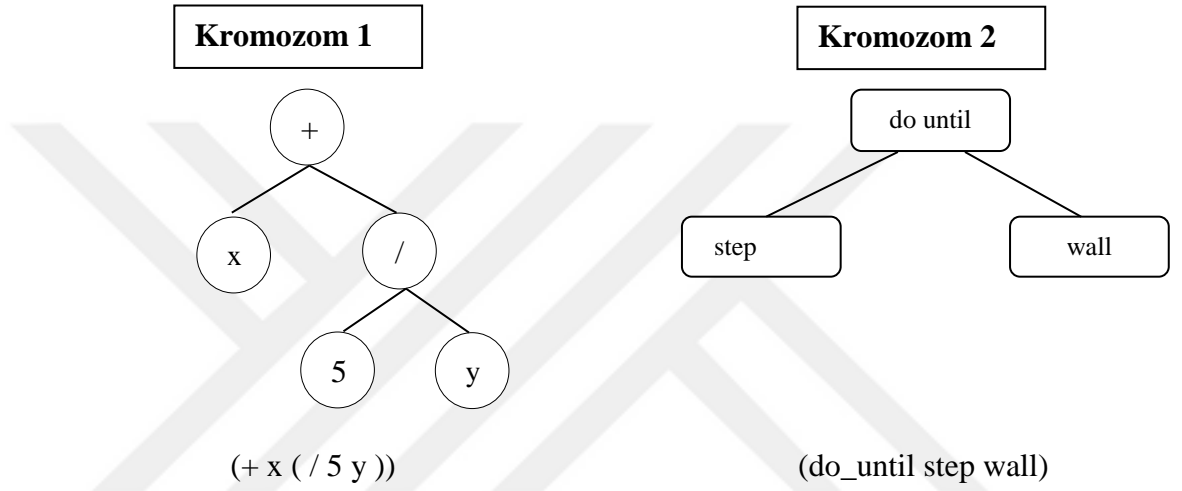
#### 4.3.4. Veri yapı kodlaması

Bilgisayar veri yapısına göre kodlama yöntemleri tek boyutlu ve çok boyutlu kodlama olmak üzere ikiye ayrılmaktadır ancak genellikle uygulamalarda tek boyutlu kodlama yaygın olsa da çeşitli karmaşık problemlerde ise çok boyutlu kodlama yapısı gerekmektedir (Çiçekli, 2012: 50).



#### 4.3.5. Ağaç Kodlama

Her kromozomun ağaçtaki bir nesneyi ifade ettiği bir kodlama türüdür. Ağaç kodlamada kromozomlar aynı programlama dillerindeki komut ve fonksiyonlar gibi bazı nesnelere ağacıdır (Şahin, 2012:104-105). Şekil 4.5’ de ağaç tipi kodlama örneklendirilmiştir.



Şekil 4.5: Ağaç Kodlama gösterimi

**Kaynak:** Kumar, 2013:5.

#### 4.4. Genetik Algoritmanın İşleyişi

Genetik algoritma, rastgele oluşturulmuş bir başlangıç popülasyonu ile başlamaktadır. Bu başlangıç popülasyonu problem için çözüm seti oluşturmaktadır. Uygunluk fonksiyonu ile çözümlerin sürdürülebilirliği değerlendirilmekte ve en uygun çözüm ortaya çıkarılmaktadır.

Sonraki aşamada ise, ebeveyn çözümlerinin popülasyondan rastgele bir şekilde seçilmesine imkan veren seçim süreci gelmektedir. Gen ve Chen (2000; 9)’e göre, arama evreninin genişliğinden dolayı genetik aramanın başlangıcında düşük bir arama baskısı ortaya çıkmakta, bu duruma karşı arama uzayını daraltmak için ise daha yüksek bir seçim baskısı önermektedirler. Üreme süreçleri, çaprazlama operatörleri kullanılarak yeni kuşak çözümleri ortaya çıkarmakta, sonrasında ise yeni ortaya çıkan kuşaklara mutasyon uygulanabilmektedir (Çiçekli, 2012; 50-51). Mutasyon ve çaprazlama

operatörlerinin mevcut probleme göre tasarlanması önemlidir. Çaprazlama, yerel optimumun ötesindeki alanın rastgele olarak aranması için kullanılmaktadır, mutasyon ise çözümlerin geliştirilmesi için yerel aramanın gerçekleştirilmesidir (Gen ve Chen, 2000: 8-9). Üçüncü aşamada ise ortaya çıkan nesillerin yer değiştirmesi meydana gelmektedir. Fonksiyonların değeri ile çözümlerin değerlendirilmesi ilişkilendirilebilmekte, popülasyon içindeki uygunluk seviyelerinin iyileşmesi beklendiğinden, doğadaki yapıya benzer şekilde daha iyi özelliklere sahip yeni nesillerin hayatta kalma ve üreme olasılıkları daha yüksek olabilmektedir. Genetik algoritmanın genel işleyiş prosedürü ise aşağıdaki gibidir (Xiao, 2008:798):

**Adım 1:**  $t=0$

**Adım 2:**  $P(t)$  popülasyonunu oluştur.

**Adım 3:** bir durdurma kriteri gerçekleşene kadar aşağıdaki adımları tekrar et

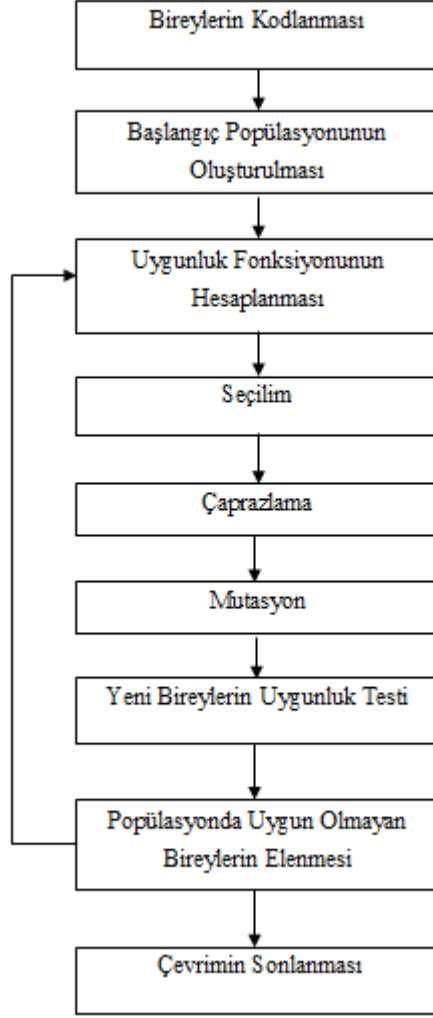
**Adım 4:**  $P(t)$ 'deki tüm bireyleri değerlendir.

**Adım 5:**  $P(t)$ 'den yeni bireyler oluştur.

**Adım 6:** Yeni bireyi  $P(t)$ 'ye taşı

**Adım 7:**  $t = t+1$

Genetik algoritmanın işleyiş aşamaları ise Şekil 4.6' da belirtilmiştir.



**Şekil 4.6:** Genetik algoritmaların işleyiş adımları

**Kaynak:** Çiçekli,2012: 52

#### 4.4.1. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması

Genetik algoritma süreci rastgele oluşturulmuş başlangıç popülasyonu ile başlamaktadır. Genetik algoritma uygulamalarındaki popülasyon büyüklüğü arama yeteneğini doğrudan etkileyen bir parametre olarak karşımıza çıkmakla beraber, büyük popülasyon hacimlerinin optimum çözüm bulmayı arttırdığı belirtilmektedir (Şahin, 2012:105). Problemin yapısı ve oluşturulan modele göre başlangıç popülasyonunun büyüklüğü değişebilmektedir. Reeves ve Rove (2002: 25), Bolat vd. (2004:267), popülasyonun küçük olması durumunda optimuma yakın çözümlerin daha zor

bulunacağını, aynı şekilde büyük popülasyonda ise işlem süresinin uzayabileceğini not etmişlerdir.

#### 4.4.2. Eşleştirme Havuzu

Çözüm evrenindeki genetik arama seçim ile daha iyi noktalara doğru yönelmektedir. Michalewicz (1996)'e göre, genetik aramada iki önemli faktör bulunmaktadır. Bunların ilki popülasyonun çeşitliliği ikincisi ise seçimin ne şekilde yapılacağıdır. Seçimdeki basıncın yüksekliği popülasyon çeşitliliğini azaltırken, popülasyondaki artış ise seçim basıncını düşürmektedir. Bu durum iki parametre arasında güçlü bir ters orantı oluşturmakta ve bu sebeple genetik algoritmalarındaki ebeveyn seçimine karar verilirken dengenin gözetilmesi gerekmektedir. Seçme yöntemleri çeşitli olmakla beraber, Çiçekli (2012: 53) en yaygın olarak kullanılan seçme yöntemlerini aşağıdaki gibi sıralamış ve açıklamıştır:

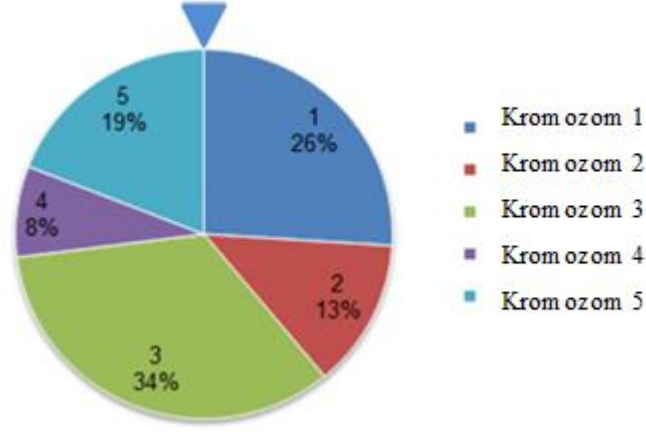
- Rulet tekeri seçimi
- Turnuva seçimi
- Elitizm
- Ölçeklendirme

Bu yöntemler dışında sıralama seçimi, kısaltma seçimi gibi seçim yöntemleri de bulunmaktadır.

##### 4.4.2.1. Rulet tekeri seçimi

Bu seçme yönteminde her kromozom için rulet tekerinde bir dilim atanmakta, bu dilimin büyüklüğü ile kromozomun uygunluğu orantılı olmaktadır. Kromozomların toplam uygunluk değeri içerisindeki payına göre, rulet tekerleği olarak tabir edilen bir seçim işlemi gerçekleştirilirken ruletin dönmesi, bir kromozomun üretilecek rastsal bir sayıya denk düşmesini ifade etmektedir (Görener, 2012: 55). Şekil 4.7'de bir rulet tekeri seçiminin örneği görülmektedir. Uygunluk değeri en yüksek kromozom teker içerisinde en büyük paya sahip olmaktadır. Her bireyin seçimi için ortaya çıkan değer aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmaktadır. Eşitlikteki  $f_i$  değeri her bireyin uygunluk değerini,  $n$  ise popülasyondaki birey sayısını temsil etmektedir (Abed ve Alicia, 2013: 28).

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_i^n f_i} \quad (10)$$



**Şekil 4.7:** Rulet tekeri seçimi örneği  
**Kaynak:** Abed ve Alicia, 2013: 28

#### 4.4.2.2. Turnuva seçimi

Bu yöntemde rastgele seçilen bir kromozom dizisinden, yeniden üreme en iyi kromozom ayrılmaktadır. Turnuva olarak adlandırılan kromozomların yarış durumu, uygunluğu en yüksek bireylerin seçimi sonrasında bir eşleştirme havuzu ortaya çıkarır. Eiben ve Smith (2003: 84-86), rulet tekeri gibi seçim yönteminde, bireylerin seçim olasılıklarının ve sıralamalarının popülasyonunun tamamını dikkate alan bilgiye dayanarak belirlendiğini fakat bu bilginin yüksek popülasyonlu yapılarda elde edilmesinin ve uygulanmasının zor olduğunu belirtmişlerdir. Yazarlar, bu noktada uygulanması daha kolay olan turnuva seçim yöntemini önermişlerdir. Bu yöntemde,  $k$  tane birey popülasyon içerisinde rastgele seçilmekte ve kendi aralarında turnuvaya tabi tutulmaktadır. Çaprazlama için uygunluk değeri en yüksek olan birey seçilmekte ve eşleştirme havuzu oluşturulmaktadır.

#### 4.4.2.3. Elitizm

Elitizm, genetik algoritmanın performansını etkileyen bir diğer operatördür. Her iterasyonda ortaya çıkan en iyi özellikli bireylerin belirli bir oran dâhilinde bir sonraki nesile aktarılması bu operatörün ana mantığını oluşturmaktadır. Bu seçim yöntemi, her

nesilde ortaya çıkan uygun kromozom sayısını koruma için genetik algoritmayı zorlamaktadır. İyi kromozomlar, çaprazlama esnasında veya üreme için seçilmeme durumunda elitizm olmadığı için kaybedilme tehlikesi ile karşı karşıya kalabilmektedir. Bu durumu engellemek için elitizm stratejisi ile genetik algoritmanın problem için bulduğu en iyi kromozomların (çözümlerin) gelecek nesil topluluklarına aktarılması amaçlanmaktadır (Özdemir, 2017:221).

#### **4.4.2.4. Ölçeklendirme**

Yerel uygun seçeneğe hızlı bir şekilde ulaşmayı engellemek için ölçeklendirme yöntemi önerilmektedir. Bu yöntemde, pozitif gerçek değerler olan ölçülü uygunluk değerine göre kromozomların uygunluk değerleri haritalandırılır, sonrasında seçim süreci, ölçülen uygunluk değerlerine göre gerçekleştirilecektir (Çiçekli, 2012: 54). Ölçeklendirme yöntemi olarak literatürde çeşitli yöntemler bulunmakla birlikte bu yöntemin problemin yapısına bağlı olarak değişebilmektedir. Gen ve Cheng (2000) lineer ölçeklendirmenin en yaygın kullanılan örneklerinden biri olduğunu bu ölçeklendirme yönteminde ise en iyi kromozomların belirli sayıda üreme ortaya çıkarttığını ve bu sayede fazla üremeyi engelleyecek şekilde kromozomların uygunluk değerini belirleyen bir yapıya sahip olduğunu belirtmişlerdir.

#### **4.4.3. Çaprazlama**

Çaprazlamalar, ebeveynler yoluyla üremeyi teşvik eden genetik operatörlerdir. Kulak vd. (2005:123) çaprazlama operatörlerinin uygunluk değerleri daha yüksek nesillerin elde edilmesi için iki ebeveynin özelliklerinin bir araya getirilmesi için kullanıldığını belirtmişlerdir. Buradaki temel mantık, daha iyi özelliklere sahip bireyler elde etmek için uygunluk değeri yüksek bireylerin birleştirilmesidir. Ortaya çıkan yeni kuşaktaki iyi özellikler çaprazlama yolu ile ebeveynlerden alınmakta ve sonraki nesillere aktarımı gerçekleştirmektedir. Çeşitli çaprazlama tipleri aşağıdaki gibidir (Herrera, 1998: 24-25):

- Düz (sabit) çaprazlama (Flat crossover)
- Basit çaprazlama (Simple crossover)
- Aritmetik çaprazlama (Arithmetical crossover)
- Lineer çaprazlama (Linear crossover)

- Kesikli aprazlama (Discrete crossover)
- Genişletilmiş doğru aprazlama (Extended line crossover)
- Wright'ın sezgisel aprazlaması (Wright's heuristic crossover)

**Kesikli aprazlama** (Mühlenbein vd.,1993:27): Ortaya çıkan nesil, iki ebeveyn setinden rastgele seçilen genler ile oluşturulmaktadır. Şekil 4.8'de kesikli çaprazlamaya ait bir örnek görülmektedir.

<b>Ebeveyn 1</b>	45	75	36	4	4	8	12	21	21	5
<b>Ebeveyn 2</b>	36	12	45	45	5	7	11	34	46	3
<b>Baskınlık Geni</b>	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1
<b>Yeni Nesil</b>	45	75	36	4	5	7	11	34	46	3

**Şekil 4.8:** Kesikli aprazlama rneği

**Basit aprazlama** (Wright,1991; Michalewicz,1992, akt. Herrera,1998:24): Rastgele seçilen  $i \in \{1,2, \dots, n - 1\}$  pozisyonu belirlenerek iki yeni nesil oluşturulmaktadır. Şekil 4.9'da basit çaprazlamaya ait bir örnek görülmektedir.

↓

<b>Ebeveyn 1</b>	45	75	36	4	4	8	12	21	21	5
<b>Ebeveyn 2</b>	36	12	45	45	5	7	11	34	46	3
<b>Yeni Nesil 1</b>	45	75	36	4	5	7	11	34	46	3
<b>Yeni Nesil 2</b>	36	12	45	45	4	8	12	21	21	5

**Şekil 4.9:** Basit aprazlama rneği

**Aritmetik aprazlama** (Michalewicz,1992, akt. Herrera,1998:24): Bu aprazlama tipinde iki nesil oluşmaktadır. Yeni nesiller oluşturulurken  $\lambda$  değeri kullanılmaktadır.  $\lambda$  değeri, sabit (uniform aritmetik çaprazlama) veya ortaya çıkartılan nesillere bağlı olarak belirlenebilmektedir. Bu tip içinde oluşturulan bir nesil aşağıdaki gibidir,  $\lambda = 0,1$  olarak alınmıştır. Şekil 4.10'da aritmetik çaprazlamaya ait bir örnek görülmektedir.

<b>Ebeveyn 1</b>	45	75	36	4	4	8	12	21	21	5
<b>Ebeveyn 2</b>	36	12	45	45	5	7	11	34	46	3
<b>Yeni Nesil 1</b>	$0,1(45)+(1-0,1)36= 36,9$	15,3	44,1	40,9	...	...	...	...	...	...
<b>Yeni Nesil 2</b>	$0,1(36)+(1-0,1)45=44,1$	71,1	36,9	8,1	...	...	...	...	...	...

**Şekil 4.10:** Aritmetik çaprazlama örneği

**Lineer çaprazlama** (Wright,1991, akt. Herrera,1998:25): Bu çaprazlama tipinde üç nesil oluşmaktadır. Nesillerin oluşturulma işlemi aşağıdaki gibi gerçekleşmektedir. Bu tip çaprazlamada üç nesil içinde en iyi iki neslin seçilerek ebeveynler yerine popülasyona eklenmesini içeren bir nesil seçimi de yapılmaktadır. Şekil 4.11’de lineer çaprazlamaya ait bir örnek görülmektedir.

<b>Ebeveyn 1</b>	45	75	36	4	4	8	12	21	21	5
<b>Ebeveyn 2</b>	36	12	45	45	5	7	11	34	46	3
<b>Yeni Nesil 1</b>	$\frac{1}{2}45+\frac{1}{2}36$	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>Yeni Nesil 2</b>	$\frac{3}{2}45-\frac{1}{2}36$	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>Yeni Nesil 3</b>	$\frac{1}{2}45+\frac{3}{2}36$	...	...	...	...	...	...	...	...	...

**Şekil 4.11:** Lineer çaprazlama örneği

**Düz çaprazlama** (Radcliffe, 1991) : Çaprazlama işlemine giren iki ebeveyn den rastgele seçilen değerler ile tek nesil oluşturulmaktadır. Bu rastgele seçim baskınlık geni ile sağlanabilmektedir. Bu çaprazlama tipinin kesikli çaprazlama ile benzer özellikler taşıdığı belirtilmiş, ikisi arasındaki farkın ise bu tipte seçilen rastgele gerçek sayının, her iki ebeveynin genlerinin minimum ve maksimum değerlerine sahip bir kümenin alt kümesi olması gerektiği belirtilmiştir (Umbarkar ve Seth,2015: 1084). Şekil 4.12’de düz çaprazlamaya ait bir örnek görülmektedir.

<b>Ebeveyn 1</b>	45	75	36	4	4	8	12	21	21	5
<b>Ebeveyn 2</b>	36	12	45	45	5	7	11	34	46	3
<b>Yeni Nesil</b>	38	70	40	20	4	8	12	23	36	4

**Şekil 4.12:** Düz çaprazlama örneği



**Genişletilmiş doğru çaprazlama** (Mühlenbein vd.,1993:28):  $[-0,25, 1,25]$  aralıkları arasından seçilen  $\alpha$  değeri ile nesiller oluşturulmaktadır. Şekil 4.13’de genişletilmiş doğru çaprazlamaya ait bir örnek görülmektedir.

<b>Ebeveyn 1</b>	45	75	36	4	4	8	12	21	21	5
<b>Ebeveyn 2</b>	36	12	45	45	5	7	11	34	46	3
<b>Yeni Nesil</b>	$45 + \alpha(36-45)$	...	...	...	...	...	...	...	...	...

**Şekil 4.13:** Genişletilmiş doğru çaprazlama örneği

**Wright’ın sezgisel çaprazlaması** (Wright,1990:25): Bu çaprazlama tipinde en iyi uygunluk değerine sahip bir ebeveyn seçilerek yeni nesil  $r = [0,1]$  değeri ile birlikte oluşturulmaktadır. Şekil 4.14’de Wright’ın sezgisel çaprazlamasına ait bir örnek görülmektedir.

<b>Ebeveyn 1</b>	45	75	36	4	4	8	12	21	21	5
<b>Ebeveyn 2</b>	36	12	45	45	5	7	11	34	46	3
<b>Yeni Nesil</b>	$1.(45-36)+45$	$0.(75-12)+12$	...	...	...	...	...	...	...	...

**Şekil 4.14:** Wright’ın sezgisel çaprazlaması örneği

#### 4.4.4. Mutasyon Operatörü

Mutasyon operatörü genetik algoritmalarda arama uzayının genişletilmesi ve genlerdeki çeşitliliğin sağlanması için kullanılan bir operatördür. Mutasyon sürecinin uygulanmasındaki en önemli amaç farklı çözümlere ulaşabilmek ve yerel uygunluktan kaçınmaktır. Popülasyonun içinde kaç gene mutasyon uygulanacağı mutasyon oranı ile belirlenirken, mutasyon, seçim aşamasında uygulanabileceği gibi çaprazlamadan sonra da kullanılabilir (Şahin, 2012:113). Yaygın olarak kullanılan mutasyon operatörleri aşağıdaki gibidir (Gen ve Chen, 2000):

- Ekleme mutasyonu
- Ters çevirme mutasyonu
- Yer değiştirme mutasyonu

- Nokta mutasyonu

Ekleme mutasyonu, rastgele bir noktaya, rastgele seçilen bir genin eklenmesi ile oluşmaktadır. Şekil 4.15’de ekleme mutasyonu için bir örnek gösterilmiştir.

↓

Kromozom	1	46	12	4	<b>5</b>	6	12	8	29	29
Kromozom	1	46	12	4	<u>9</u>	6	12	8	29	29

**Şekil 4.15:** Ekleme mutasyonu

Ters çevirme mutasyonu ise, seçilen iki nokta arasındaki alt genleri tersine çevirmek için bir kromozom içinde rastgele iki nokta seçmektir. Şekil 4.16’da ters çevirme mutasyonu için bir örnek gösterilmiştir.

↓                      ↓

Kromozom	1	<b>46</b>	12	4	5	6	12	8	29	29
Kromozom	1	<u>5</u>	<u>4</u>	<u>12</u>	<u>46</u>	6	12	8	29	29

**Şekil 4.16:** Ters çevirme mutasyonu

Yer değiştirme mutasyonu ise seçilen rastgele iki noktadaki genlerin birbirini ile değişimi ile oluşturulmaktadır. Şekil 4.17’de yer değiştirme mutasyonu için bir örnek gösterilmiştir.

↓                      ↓

Kromozom	1	<b>46</b>	12	4	5	6	12	8	29	29
Kromozom	1	<u>5</u>	12	4	<u>46</u>	6	12	8	29	29

**Şekil 4.17:** Yer değiştirme mutasyonu

Nokta mutasyonunda ise, seçilen rastgele bir noktadaki gen belli bir gen ile değiştirilmektedir. Şekil 4.18’de yer nokta mutasyonu için bir örnek gösterilmiştir.

↓

Kromozom	1	46	12	4	5	6	12	8	29	29
Kromozom	1	8	12	4	5	6	12	8	29	29

**Şekil 4.18:** Nokta mutasyonu

#### 4.4.5. Uygunluk Derecesinin Belirlenmesi

Genetik algoritma tekniğinde çözümler kromozom olarak ifade edilmekte ve kromozomlardaki genlere ait bilgilerin amaç fonksiyonundaki uygunluğunun belirlenmesi gerekmektedir (Görener, 2012: 56). Jang vd.,(1997:176) uygunluk derecesinin belirleme işleminin, başlangıç popülasyonu belirlenip yeni jenerasyonlar oluşturulduktan sonra her bir çözüm alternatifi için elde edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Çiçekli (2012: 59) bu işlemin uygunluk fonksiyonu olarak adlandırılmasının nedeninin uygulanabilir çözümlerin her birinin uygunluk değerine göre sıralanması olduğunu belirtmiş, bu anlamda en uygun çözümün ne zaman bulunacağını belirlemesi bakımından önemli bir fonksiyon olduğunu söylemiştir. Hangi bireylerin sonraki nesillere taşınacağı uygunluk fonksiyonunda elde edilen değerlere göre belirlenmekle beraber, ele alınan optimizasyon probleminin yapısına uygun olarak, maliyet, zaman ve mesafe minimizasyonu ya da üretim, kar, alan maksimizasyonu kararları da uygunluğu belirleyebilmektedir.

#### 4.4.6. Döngünün Sonlandırılması

Genetik algoritmada döngüyü sonlandıracak kriter durdurma kriteridir. Durdurma kriteri işlem döngüsünü sonlandırmaktadır. Sonlandırma kriterlerinden biri gerçekleşene kadar genetik algoritma ebeveyn seçmeye devam eder ve mutasyonları oluşturmayı sürdürür. Zaman süresi, iterasyon sayısı, minimum iyileşme, hedef değere yakınlık tabanlı durdurma kriterleri de bulunmakla beraber (Esbensen, 1995:178; Taşkın ve Emel, 2009: 63, akt. Görener, 2012: 63) Gen ve Chen (2000), en yaygın kullanılan durdurma kriterinin maksimum üreme sayısı olduğunu belirtmişlerdir. Sonlandırma kriteri

sağlandığında ise algoritma sonlandırılmaktadır. Buna karşı, belirli bir üreme sayısının ardından en iyi sonuçta herhangi bir iyileşmeye rastlanmazsa döngü sonlandırılabilir (Çiçekli, 2012: 60).

#### 4.4.7. Genetik Algoritma İçin Harem Yönteminin Kullanılması

Harem yapısını doğal yaşamda pek çok canlı türünde görmek mümkündür. Doğal yaşamdan esinlenilerek oluşturulmuş bu yapıyı temel alarak optimizasyon problemleri için uygulamalar yapılmıştır. Harem yapıları ile ilgili çalışmalar kapsamında Le Boeuf ve Mesnik (1990:144) çalışmalarında harem yapılarını deniz filleri arasında araştırmışlar, erkek deniz fillerinin üreme zamanlarında dişi gruplarına erişim kazanmak ve sosyal statü oluşturmak için kavga ettikleri gözlemlemişlerdir. Yüksek rütbedeki erkek deniz fillerinin düşük rütbeli deniz fillerini dişilere yaklaştırmadıkları not edilmiş, bulunulan bölgeye bağlı olarak bir haremde 100 dişi barındırdığı eklenmiştir.

Benzer bir şekilde, Ortega ve Arita (1999:1173), Jamaika'da yaşayan meyve yiyen yarasaların harem grubu şeklinde yaşadıklarını, bu grubun içinde 4-18 dişi ve 1-2 erkek bulunduğunu belirtmişlerdir. Yazarlar çalışmalarında üç tip erkek belirlemişlerdir. Rakiplerine göre daha ağır ve büyük yarasalar dominant, bir alt gruptakiler (sub-ordinate) ast ve gruptan ayrı erkekler de uydu olarak adlandırılmıştır.

Zhi-Gang vd. (2004:706) ise harem yapısını Pere David geyikleri kapsamında Pekin Milu Parkı'nda incelemiş ve geyiklerin üç tip yapı oluşturduklarını belirtmişlerdir. Bu yapılar arasında *harem master*, *challenger* ve *bachelor* olarak adlandırdıkları üç tip erkek yapısı belirlemişlerdir. *Harem master* olarak adlandırılan erkek geyik grupta dominant ve hareme sahip erkek geyik olmakta, *Challenger* olarak adlandırılan erkek geyiklerin ise haremi bulunmamaktadır. *Bachelor* olarak adlandırılan erkek geyikler ise gruptan uzakta bulunmaktadırlar.

Çiçekli (2012), harem yapısını, bir araç rotalama problemini, ortaya koyduğu genetik algoritma modeli ile beraber kullanarak, araç ve teslimat kriterlerine uygun olarak en az taşıt ve en düşük maliyet amacı ile çözümlenmiştir.

Benzer şekilde Fard ve Hajiaghaei-Keshteli (2016)'nin öne sürdüğü Kırmızı Geyik Algoritması (Red Deer Algorithm) da kırmızı geyiklerin üreme zamanlarında ortaya

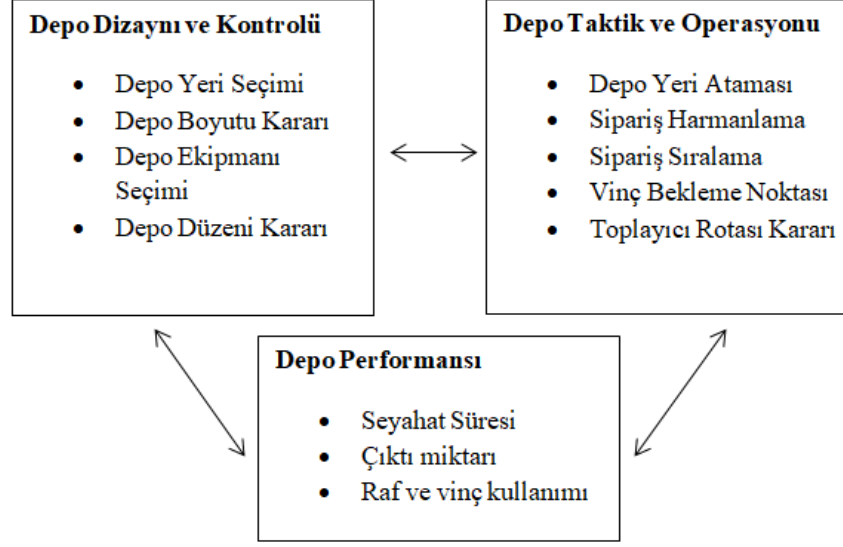
koydukları davranışları temel almaktadır. Bu yapıda da harem yapısı gözlemlenmiş ve kırmızı geyiklerin harem bölgelerini genişletmek ve haremdeki dişi geyiklerin sayısı arttırmak için dövüştükleri belirtilmiştir.

Bu çalışmada, ebeveynlerin seçimi için doğal yaşamda örneklerine rastlanan harem yapısından esinlenerek geliştirilen yöntem kullanılmıştır. Kromozom havuzu, döngüler sonrasında ortaya çıkan en iyi kromozomlardan oluşan haremi temsil etmektedir. Harem ise en iyi kromozomun arkasından gelen popülasyondaki en iyi kromozomu seçmekte ve bu sayede her döngüde belirlenmiş üye sayısına bağlı olarak en iyi kromozomu alıp üye profilini genişletmektedir.

## BEŞİNCİ BÖLÜM

### 5. DEPO LOKASYON ATAMA OPERASYONUNUN GELİŞTİRİLEN MODEL İLE OPTİMİZASYONU

Depo optimizasyonu ile ilgili problemlerin genel anlamda sistem tasarımı ve kontrolü ile ilgili olduğu belirtilmektedir. Dizayn ile ilgili problemlerin stratejik, kontrol ile ilgili problemlerin ise daha çok taktik ve operasyonel düzeylerde gerçekleştiği görülmektedir. Depo kurulma kararı, lojistik ağlar içinde deponun en uygun olarak nereye kurulacağı, depo alanının büyüklüğü, deponun geleneksel mi yoksa otomatik mi olacağı, depolama rafları ile ilgili kararlar (uzunluk, genişlik ve derinlik) genellikle tasarım yani stratejik ve planlama düzeyinde karşımıza çıkmaktadır. Depo kontrolü düzeyindeki problemleri ise genellikle karar verilen tasarım kapsamında ortaya çıkacak en yüksek çıktıyı sağlamak için gerçekleştirilen taktiksel ve operasyonel faaliyet düzeyi olarak belirtilebilir. Bu kararlar kapsamında ürünlerin atanması, ürün alım rotalarının belirlenmesi, siparişlerin çizelgelenmesi, otomatik depolar için vinç bekleme noktalarının belirlenmesi gibi kararlar bulunmaktadır. Bu anlamda, tezin kapsamını operasyonel düzey olarak belirlemek ve daha özel olarak ise depo lokasyon atama problemi olarak belirtmek doğru olacaktır. Depo lokasyon atama probleminin amacı ise ürünlerin depo lokasyonları içinde en uygun yere atanmasını sağlamak ve bu sayede ürün taleplerinin en hızlı sürede ve en kısa zamanda karşılanmasını gerçekleştirmektir. Depo optimizasyonu ile ilgili genel çerçeve aşağıdaki gibi belirtilmiştir:



**Şekil 5.1:** Depo tasarım ve operasyon çerçevesi

Bu tezde depo taktikleri ve operasyonları kapsamında otomatik sistemlerdeki stok atama problemi çalışılmıştır. Problem kapsamında metasezgisel algoritmaların çok derinlikli yapılarıdaki verimi incelenmiş ve buna göre bir algoritma ortaya çıkarılmıştır.

### 5.1. İşletme Yapısı

Tez kapsamında bir 3PL firmasının otomatik depolama sistemine ait gerçek veriler kullanılmıştır.

1990 yılında faaliyetlerine başlayan işletme, uluslararası taşımacılıkta yük organizasyonu ile başlanılan noktadan, yüksek teknolojiye sahip 3PL firması olarak entegre lojistik hizmetleri sunan bütünleşik bir yapıya ulaşmış olup, kara, hava, deniz, demir yolları, Ro-Ro, intermodal taşımacılık, ulusal dağıtım, fuar hizmetleri, depo yönetim uygulamaları, gümrükleme gibi lojistiğin tüm süreçlerine yönelik geniş bir hizmet sunmaktadır.

İşletme aynı zamanda, teknolojik altyapısı ve insan kaynağı ile 2012 yılında sektörünün ilk ve tek Ar-Ge Merkezi'ni hayata geçirmiştir. Lojistik faaliyetler içerisinde büyük paya sahip depo yönetiminin iyi yönetilmesi, satış noktalarının planlanan zamanlarda beslenmesi, stok ve sipariş hazırlama doğruluk oranlarının yüksek tutulabilmesi, ürün maliyetinin düşürülmesine etki etmektedir.

İşletme bu kapsamda bünyesinde bulunan OD/ÇS sistemi ile çok çeşitli ürün gamına sahip farklı sektörlerdeki (perakende, tekstil, hızlı tüketim vb.) küresel müşterilerine hizmet vermektedir. Ayrıca, Ankara’da bulunan OD/ÇS’li depoda ise temizlik ürünleri üreticisi bir firmanın da depo operasyonlarını yürütmektedir.

Çalışma için elde edilen veriler, tesisteki 6 derinlikli toplamda 9600 net palet kapasitesine sahip 5 katlı bir OD/ÇS yapısıdır. 4 adet çok derinlikli taşıyıcı vinç ile depolama operasyonları devam ettirilmektedir.

### **5.2. İşletme Bulunan Otomatik Depolama ve Çekme Sisteminin İşleyişi**

OD/ÇS’ye aktarılacak ürünler öncelikle sipariş listeleri içinde müşteriler tarafından hazırlanmaktadır. Müşteride araçlara yüklenen ürünlere ait paletler, işletmenin depo tesisi içindeki rampalardan tesise aktarılmaktadır. Bu aktarım sonrasında ürünler paletlerle birlikte OD/ÇS’ye aktarılmaktadır. Ürünler depolanacak lokasyonlara gönderilmeden önce boyutlarının kontrolü sistem içerisinde yapılmaktadır. Bu sırada palet üzerine yerleştirilen ürünlerin paletten taşması veya boyut ile ilgili başka bir sorun yaşanması halinde ürünler sistemden çıkartılarak kontrole alınmakta ve sonrasında tekrar sisteme gönderilmektedir. Sisteme giren ürünlerin listesi EKLER bölümünde sıralanmıştır.

### **5.3. Depo Lokasyon Atama Sırasında Yaşanan Problemler**

Ürün çeşitliliğine ve depo lokasyonlarının fazlalığına bağlı olarak, birlikte talep edilen ürünlerin raf süreleri ve talep zamanları da göz önüne alındığında gelen ürünlerin hangi depo içinde hangi lokasyona gönderileceği kararının verilmesi zorlaşmaktadır. Ürünlerin lokasyonlara yerleştirilmesi için mevcut kullanılan yöntem benzer ve farklı çeşitteki ürünlerin arka arkaya koyulmasına izin vermekle beraber, bu durum derinlikte bulunan bütün lokasyonların doldurulamama durumunu ortaya çıkarmaktadır. Depo lokasyonlarının verimli kullanılamaması lokasyonların atıl durumda kalmasına sebep olmaktadır.

### **5.4. Çalışmanın Kapsamı ve Kısıtları**

İşletmenin İstanbul ve Ankara’da bulunan OD/ÇS’ye sahip depolarda ürün çeşitliliğinin yüksek olması ve yapılacak yeni yatırım kararlarından dolayı Ankara’da bulunan depo



çalışma kapsamına alınmıştır. Bu sebeple depo yerleşiminin bir benzeri (bkz. Şekil 5.2-5.6) 1. Kat - 5. Kat şeklinde gösterilmiştir. Şekillerdeki yeşil bölgeler D/Ç makinesinin hareketinin gerçekleştiği koridorlar olmak üzere toplam 4 koridor, 6 derinliğe sahip 8 adet raf, 5 kat ile 9600 göz bulunmaktadır. Toplam ürün çeşidi ise 437'dir. Uygulama kapsamında gerekli olan veriler aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Ürün çeşitleri
- Koridor sayısı
- Raf sayısı
- Lokasyon (depo gözü) sayısı
- D/Ç makinesi sayısı
- Raf boyutları
- Ürün talepleri
- Ürünlerin ortalama raf süreleri
- Ürünlerin boyutları

1.KAT									
1	1	201	401	601	801	1001	1201	1401	1
2	2	202	402	602	802	1002	1202	1402	2
3	3	203	403	603	803	1003	1203	1403	3
4	4	204	404	604	804	1004	1204	1404	4
5	5	205	405	605	805	1005	1205	1405	5
6	6	206	406	606	806	1006	1206	1406	6
7	7	207	407	607	807	1007	1207	1407	7
8	8	208	408	608	808	1008	1208	1408	8
9	9	209	409	609	809	1009	1209	1409	9
10	10	210	410	610	810	1010	1210	1410	10
11	11	211	411	611	811	1011	1211	1411	11
12	12	212	412	612	812	1012	1212	1412	12
13	13	213	413	613	813	1013	1213	1413	13
14	14	214	414	614	814	1014	1214	1414	14
15	15	215	415	615	815	1015	1215	1415	15
16	16	216	416	616	816	1016	1216	1416	16
17	17	217	417	617	817	1017	1217	1417	17
18	18	218	418	618	818	1018	1218	1418	18
19	19	219	419	619	819	1019	1219	1419	19
20	20	220	420	620	820	1020	1220	1420	20
21	21	221	421	621	821	1021	1221	1421	21
22	22	222	422	622	822	1022	1222	1422	22
23	23	223	423	623	823	1023	1223	1423	23
24	24	224	424	624	824	1024	1224	1424	24
25	25	225	425	625	825	1025	1225	1425	25
26	26	226	426	626	826	1026	1226	1426	26
27	27	227	427	627	827	1027	1227	1427	27
28	28	228	428	628	828	1028	1228	1428	28
29	29	229	429	629	829	1029	1229	1429	29
30	30	230	430	630	830	1030	1230	1430	30
31	31	231	431	631	831	1031	1231	1431	31
32	32	232	432	632	832	1032	1232	1432	32
33	33	233	433	633	833	1033	1233	1433	33
34	34	234	434	634	834	1034	1234	1434	34
35	35	235	435	635	835	1035	1235	1435	35
36	36	236	436	636	836	1036	1236	1436	36
37	37	237	437	637	837	1037	1237	1437	37
38	38	238	438	638	838	1038	1238	1438	38
39	39	239	439	639	839	1039	1239	1439	39
40	40	240	440	640	840	1040	1240	1440	40

Şekil 5.2: OD/ÇS'nin 1. katı

2.KAT									
1	41	241	441	641	841	1041	1241	1441	1
2	42	242	442	642	842	1042	1242	1442	2
3	43	243	443	643	843	1043	1243	1443	3
4	44	244	444	644	844	1044	1244	1444	4
5	45	245	445	645	845	1045	1245	1445	5
6	46	246	446	646	846	1046	1246	1446	6
7	47	247	447	647	847	1047	1247	1447	7
8	48	248	448	648	848	1048	1248	1448	8
9	49	249	449	649	849	1049	1249	1449	9
10	50	250	450	650	850	1050	1250	1450	10
11	51	251	451	651	851	1051	1251	1451	11
12	52	252	452	652	852	1052	1252	1452	12
13	53	253	453	653	853	1053	1253	1453	13
14	54	254	454	654	854	1054	1254	1454	14
15	55	255	455	655	855	1055	1255	1455	15
16	56	256	456	656	856	1056	1256	1456	16
17	57	257	457	657	857	1057	1257	1457	17
18	58	258	458	658	858	1058	1258	1458	18
19	59	259	459	659	859	1059	1259	1459	19
20	60	260	460	660	860	1060	1260	1460	20
21	61	261	461	661	861	1061	1261	1461	21
22	62	262	462	662	862	1062	1262	1462	22
23	63	263	463	663	863	1063	1263	1463	23
24	64	264	464	664	864	1064	1264	1464	24
25	65	265	465	665	865	1065	1265	1465	25
26	66	266	466	666	866	1066	1266	1466	26
27	67	267	467	667	867	1067	1267	1467	27
28	68	268	468	668	868	1068	1268	1468	28
29	69	269	469	669	869	1069	1269	1469	29
30	70	270	470	670	870	1070	1270	1470	30
31	71	271	471	671	871	1071	1271	1471	31
32	72	272	472	672	872	1072	1272	1472	32
33	73	273	473	673	873	1073	1273	1473	33
34	74	274	474	674	874	1074	1274	1474	34
35	75	275	475	675	875	1075	1275	1475	35
36	76	276	476	676	876	1076	1276	1476	36
37	77	277	477	677	877	1077	1277	1477	37
38	78	278	478	678	878	1078	1278	1478	38
39	79	279	479	679	879	1079	1279	1479	39
40	80	280	480	680	880	1080	1280	1480	40

Şekil 5.3: OD/ÇS'nin 2. katı

3.KAT									
1	81	281	481	681	881	1081	1281	1481	1
2	82	282	482	682	882	1082	1282	1482	2
3	83	283	483	683	883	1083	1283	1483	3
4	84	284	484	684	884	1084	1284	1484	4
5	85	285	485	685	885	1085	1285	1485	5
6	86	286	486	686	886	1086	1286	1486	6
7	87	287	487	687	887	1087	1287	1487	7
8	88	288	488	688	888	1088	1288	1488	8
9	89	289	489	689	889	1089	1289	1489	9
10	90	290	490	690	890	1090	1290	1490	10
11	91	291	491	691	891	1091	1291	1491	11
12	92	292	492	692	892	1092	1292	1492	12
13	93	293	493	693	893	1093	1293	1493	13
14	94	294	494	694	894	1094	1294	1494	14
15	95	295	495	695	895	1095	1295	1495	15
16	96	296	496	696	896	1096	1296	1496	16
17	97	297	497	697	897	1097	1297	1497	17
18	98	298	498	698	898	1098	1298	1498	18
19	99	299	499	699	899	1099	1299	1499	19
20	100	300	500	700	900	1100	1300	1500	20
21	101	301	501	701	901	1101	1301	1501	21
22	102	302	502	702	902	1102	1302	1502	22
23	103	303	503	703	903	1103	1303	1503	23
24	104	304	504	704	904	1104	1304	1504	24
25	105	305	505	705	905	1105	1305	1505	25
26	106	306	506	706	906	1106	1306	1506	26
27	107	307	507	707	907	1107	1307	1507	27
28	108	308	508	708	908	1108	1308	1508	28
29	109	309	509	709	909	1109	1309	1509	29
30	110	310	510	710	910	1110	1310	1510	30
31	111	311	511	711	911	1111	1311	1511	31
32	112	312	512	712	912	1112	1312	1512	32
33	113	313	513	713	913	1113	1313	1513	33
34	114	314	514	714	914	1114	1314	1514	34
35	115	315	515	715	915	1115	1315	1515	35
36	116	316	516	716	916	1116	1316	1516	36
37	117	317	517	717	917	1117	1317	1517	37
38	118	318	518	718	918	1118	1318	1518	38
39	119	319	519	719	919	1119	1319	1519	39
40	120	320	520	720	920	1120	1320	1520	40

Şekil 5.4: OD/ÇS'nin 3. katı

4.KAT									
1	121	321	521	721	921	1121	1321	1521	1
2	122	322	522	722	922	1122	1322	1522	2
3	123	323	523	723	923	1123	1323	1523	3
4	124	324	524	724	924	1124	1324	1524	4
5	125	325	525	725	925	1125	1325	1525	5
6	126	326	526	726	926	1126	1326	1526	6
7	127	327	527	727	927	1127	1327	1527	7
8	128	328	528	728	928	1128	1328	1528	8
9	129	329	529	729	929	1129	1329	1529	9
10	130	330	530	730	930	1130	1330	1530	10
11	131	331	531	731	931	1131	1331	1531	11
12	132	332	532	732	932	1132	1332	1532	12
13	133	333	533	733	933	1133	1333	1533	13
14	134	334	534	734	934	1134	1334	1534	14
15	135	335	535	735	935	1135	1335	1535	15
16	136	336	536	736	936	1136	1336	1536	16
17	137	337	537	737	937	1137	1337	1537	17
18	138	338	538	738	938	1138	1338	1538	18
19	139	339	539	739	939	1139	1339	1539	19
20	140	340	540	740	940	1140	1340	1540	20
21	141	341	541	741	941	1141	1341	1541	21
22	142	342	542	742	942	1142	1342	1542	22
23	143	343	543	743	943	1143	1343	1543	23
24	144	344	544	744	944	1144	1344	1544	24
25	145	345	545	745	945	1145	1345	1545	25
26	146	346	546	746	946	1146	1346	1546	26
27	147	347	547	747	947	1147	1347	1547	27
28	148	348	548	748	948	1148	1348	1548	28
29	149	349	549	749	949	1149	1349	1549	29
30	150	350	550	750	950	1150	1350	1550	30
31	151	351	551	751	951	1151	1351	1551	31
32	152	352	552	752	952	1152	1352	1552	32
33	153	353	553	753	953	1153	1353	1553	33
34	154	354	554	754	954	1154	1354	1554	34
35	155	355	555	755	955	1155	1355	1555	35
36	156	356	556	756	956	1156	1356	1556	36
37	157	357	557	757	957	1157	1357	1557	37
38	158	358	558	758	958	1158	1358	1558	38
39	159	359	559	759	959	1159	1359	1559	39
40	160	360	560	760	960	1160	1360	1560	40

Şekil 5.5: OD/ÇS'nin 4. katı

5.KAT									
1	161	361	561	761	961	1161	1361	1561	1
2	162	362	562	762	962	1162	1362	1562	2
3	163	363	563	763	963	1163	1363	1563	3
4	164	364	564	764	964	1164	1364	1564	4
5	165	365	565	765	965	1165	1365	1565	5
6	166	366	566	766	966	1166	1366	1566	6
7	167	367	567	767	967	1167	1367	1567	7
8	168	368	568	768	968	1168	1368	1568	8
9	169	369	569	769	969	1169	1369	1569	9
10	170	370	570	770	970	1170	1370	1570	10
11	171	371	571	771	971	1171	1371	1571	11
12	172	372	572	772	972	1172	1372	1572	12
13	173	373	573	773	973	1173	1373	1573	13
14	174	374	574	774	974	1174	1374	1574	14
15	175	375	575	775	975	1175	1375	1575	15
16	176	376	576	776	976	1176	1376	1576	16
17	177	377	577	777	977	1177	1377	1577	17
18	178	378	578	778	978	1178	1378	1578	18
19	179	379	579	779	979	1179	1379	1579	19
20	180	380	580	780	980	1180	1380	1580	20
21	181	381	581	781	981	1181	1381	1581	21
22	182	382	582	782	982	1182	1382	1582	22
23	183	383	583	783	983	1183	1383	1583	23
24	184	384	584	784	984	1184	1384	1584	24
25	185	385	585	785	985	1185	1385	1585	25
26	186	386	586	786	986	1186	1386	1586	26
27	187	387	587	787	987	1187	1387	1587	27
28	188	388	588	788	988	1188	1388	1588	28
29	189	389	589	789	989	1189	1389	1589	29
30	190	390	590	790	990	1190	1390	1590	30
31	191	391	591	791	991	1191	1391	1591	31
32	192	392	592	792	992	1192	1392	1592	32
33	193	393	593	793	993	1193	1393	1593	33
34	194	394	594	794	994	1194	1394	1594	34
35	195	395	595	795	995	1195	1395	1595	35
36	196	396	596	796	996	1196	1396	1596	36
37	197	397	597	797	997	1197	1397	1597	37
38	198	398	598	798	998	1198	1398	1598	38
39	199	399	599	799	999	1199	1399	1599	39
40	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	40

Şekil 5.6: OD/ÇS'nin 5. Katı

### 5.5. Depo Lokasyon Atama Probleminin Yapısı

Sisteme girişi yapılacak olan ürünler ile ilgili bilgi, araç tesise girmeden önce yaklaşık olarak 1 saat öncesinden bilinebilmektedir. Bir aracın içine en fazla 33 palet ürün yüklenebilmektedir. Müşteriden gelen aracın yükleme alanında boşaltım işlemleri yapıldıktan sonra, ürünler besleme konveyörlerine (bkz. Şekil 5.7) aktarılmaktadır. Konveyörlere aktarılan paletler, boyut ve ağırlık kontrolünün de yapıldığı konveyör üzerinde bulunan ilk okuma alanından geçmektedir. AS/RS besleme noktasında tarayıcı ile okunan ürünler, geçiş konveyörlerinden (bkz. Şekil 5.8) geçtikten ve ilk okuma işlemi sonrasında ilgili vinç hatlı (bkz. Şekil 5.9) koridora yönlendirilecektir. Ürünlerde boyut, ağırlık, hasar tespiti yapılmış ise düşüş konveyörlerine (bkz. Şekil 5.10) gönderilen ürünler tekrar kontrol edilmektedir. Koridora ataması yapılan paletler ise sistem içinde ön tanımlı olarak bulunan atama işlemini gerçekleştirmektedir. Şekil 5.11’de depo yapısının bir benzeri görselleştirilmiştir. Raf boyutları ise aşağıdaki gibidir:

- 127 cm
- 152 cm
- 162 cm
- 182 cm
- 192 cm



Şekil 5.7: Besleme konveyörleri

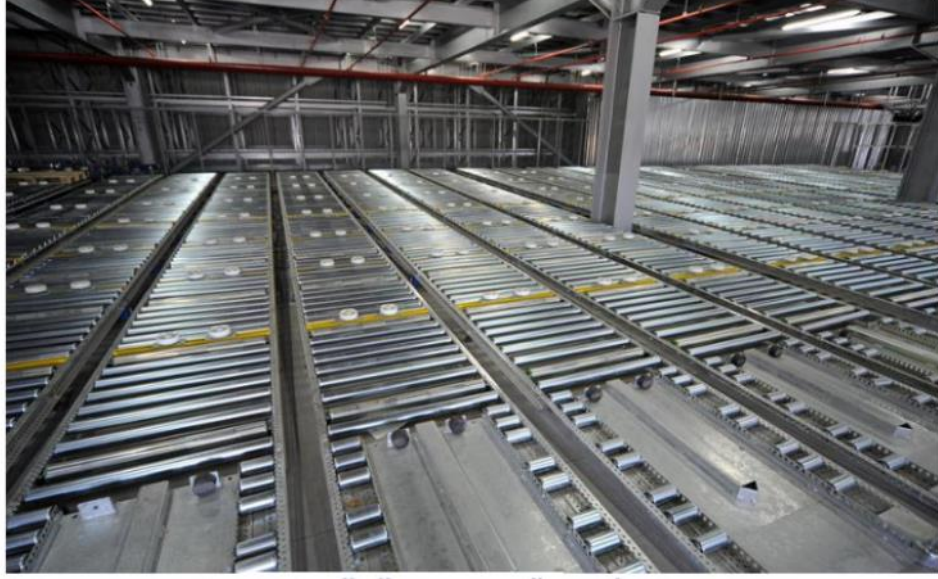


**Şekil 5.8:** Geçiş konveyörleri

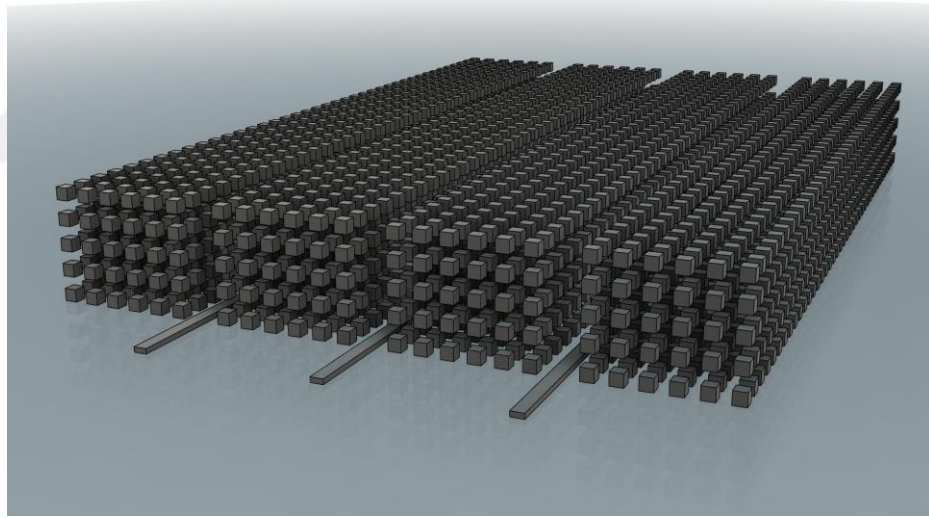


**Şekil 5.9:** D/Ç makinesi hattı





**Şekil 5.10:** Düşüş konveyörleri



**Şekil 5.11:** Mevcut OD/ÇS yapısının örnek gösterimi

Bu çalışma, OD/ÇS'ye giren ürünlerin sistem içerisinde en uygun lokasyona atanmasını amaçlamaktadır. Buna bağlı olarak, ürünler arasındaki birliktelik kuralları dikkate alınarak ürünlerin atanacağı koridorun kararı da verilmektedir. Ortaya çıkan birliktelik kuralı ile birlikteliği yüksek olan ürünlerin farklı koridorlara atamasının yapılması planlanmış bu sayede farklı vinçler ile birliktelik değeri yüksek olan ürünlerin aynı anda sistemden çekilmesine olanak sağlanmıştır. Modelin detayları sonraki bölümde anlatılmıştır. Geliştirilen matematiksel model; araç içerisindeki ürün bilgisine ulaşıldığı

an çalışarak ürünlerin henüz OD/ÇS'ye gönderilmeden yerleştirilmesi gereken lokasyonları tespit etmektedir.

### **5.6. Depo Lokasyon Atama Problemi Çözümüne Yönelik Matematiksel Modelin Açıklanması**

Depolar, tedarik zinciri sistemleri içindeki önemini her zamankinden daha da çok fazlaştırmaktadır. Bu durumun en temel sebeplerinden birisi de ürün miktar ve çeşitlerinin artması ve gerekli değer katma işlemlerinin uygulanması gerekliliğidir. Coyle et al. (1996) ve Tompkins et al. (2003), depolarda gerçekleşen elleçleme işlemlerinin otomatik ve manuel sistemler ile yapıldığını, manuel işlemlerin toplam depolama maliyetlerinin % 55'inden fazlasını karşıladığını belirtmiştir (akt. Bottani vd. 2015: 646).

Günümüz endüstrilerinde işletmelerin hem sürdürülebilirliklerini sağlamak hem de hayatta kalmaları için rekabetçi güçlerini korumaları gerekmektedir, bu noktada otomatik depolama ve geri çekme sistemleri yer ve zaman avantajı sağlayarak tedarik zinciri içinde önemli bir yer teşkil etmektedirler. Bu anlamda depo performansını arttırmak ve dolayısı ile tedarik zinciri performansını iyileştirmek için depo içinde elleçleme faaliyetlerinin verimli bir şekilde sürdürülmesi gerekmektedir.

Bu kapsamda, bu tez çalışmasında gerçek bir OD/ÇS verisi ile gerçek hayatta karşılaşılan bir depo lokasyon atama probleminin modellenmesi ve çözülmesi amaçlanmıştır. Model oluşturulurken, ürünlerin birliktelik değerleri, depo rafı boyutları, ürünlere ait palet yükseklikleri, depo koridor sayısı, depo lokasyon sayısı gibi kriterler dikkate alınmıştır. Bu bölümde amaç fonksiyonuna ait varsayımlar, notasyonlar, parametreler ve kısıtlar gösterilmiştir.

#### **Varsayımlar**

- Ürünlerin yerleştirildiği palet boyutları sabittir,
- D/Ç makinesi hızları sistemde kullanılan yapının katalog değerlerini yansıtmaktadır,
- Sistemden çıkartılan ürünün tekrar sisteme girişi yapılmayacaktır,

- Sistemde mevcut durumda ürün bulunmaktadır,
- Tek çevrim D/Ç makinesi hareketi mevcuttur,
- Depo göz derinlikleri sabittir,
- OD/ÇS'ye ürün beslemeden önce araç-ürün bilgisi sistemde mevcuttur,
- Depo lokasyon genişlikleri 1,55 m. kabul edilmiştir.

### Notasyonlar

$d$ : Derinlik endeksi ( $d=1, \dots, D$ )

$i, j$ : Ürün endeksi ( $i=1, \dots, N$ )( $j=1, \dots, N$ )

$k$ : Depo lokasyon endeksi ( $k=1, \dots, K$ )

$s$ : Atama sıralaması ( $s=1, \dots, S$ )

$z$ : Koridor ( $z=1, \dots, Z$ )

### Parametreler

$be_{izs}$  :  $i$  ürününün  $z$  koridoruyla  $s$  atamasındaki birlikteliği

$b_{ik}$  :  $i$  ürününün  $k$  lokasyonu için boyut endeksi

$değer_{ij}$  :  $i$  ürününün  $j$  ürünü ile birliktelik durumundaki koridor değeri

$dd_{ikds}$  :  $i$  ürününün  $k$  lokasyonundaki,  $d$  derinliğindeki ve  $s$  atamasındaki durum değeri

$f_i$  :  $i$  ürünün çıkış frekansı

$F_{zk}$  :  $z$  koridorunda yer alan ilk depo lokasyon endeksi

$is_{izs}$  :  $i$  ürünü  $z$  koridoruna  $s$  sıralamasında atandığında, o sıralamadan önce ilişkili olduğu ürünlerden kaç tanesinin  $z$  koridoruna atandığı

$ilişki_{ij}$  :  $i$  ürünü ile  $j$  ürünü arasındaki birliktelik ilişkisi varsa 1 yoksa 0

$LD_i$  :  $i$  ürününe ilişkin lokasyon değeri

$L_{zk}$ :  $z$  koridorunda yer alan son depo lokasyon endeksi

$M$ : Büyük sayı

$rs_i$ :  $i$  ürünü için raf süresi

$rks_{ks}$ :  $k$  lokasyonunun  $s$  ataması sırasındaki minimum rafta kalma süresi

$uygunluk_{kd}$ : Başlangıç durumunda  $k$  lokasyonunun  $d$  derinliği dolu ise 1 değilse 0

$srs_i$ :  $i$  ürünü için raf süresinin standart sapması

$Tb_i$ :  $i$  ürününe ilişkin birliktelik değeri

$ud_k$ :  $k$  lokasyonunun ulaşım değeri

$urunb_i$ :  $i$  ürününün boyut değeri

$\Phi(z)$ : Kümülatif standart normal dağılım fonksiyonu

### **Karar Değişkenleri**

$LD_i$  :  $i$  ürününe ilişkin lokasyon değeri

$Tb_i$ :  $i$  ürününe ilişkin birliktelik değeri

$urunb_i$ :  $i$  ürününün boyut değeri

$X_{ikds} = \begin{cases} 1, & i \text{ ürünü } k \text{ lokasyonunun } d \text{ derinliğine } s \text{ sırasında atanmış ise} \\ 0, & \text{atama olmadıysa} \end{cases}$

$Y_{ks} = 0 - 1$  değerleri alabilen yardımcı karar değişkeni

$Z_{izs} = 0 - 1$  değerleri alabilen yardımcı karar değişkeni

$W1_{izs} = \begin{cases} 1, & is_{izs} = 1 \\ 0, & \text{Aksi halde} \end{cases}$

$W2_{izs} = \begin{cases} 1, & is_{izs} = 2 \\ 0, & \text{Aksi halde} \end{cases}$

...

$$W(N-1)_{izs} = \begin{cases} 1, & is_{izs} = N-1 \\ 0, & \text{Aksi halde} \end{cases}$$

### Matematiksel Model

$$\mathbf{Maks Z} = \sum_i f_i \frac{1}{\ln(rs_i)} LD_i T b_i urun b_i \quad (11)$$

#### Kısıtları altında,

$$uygunluk_{kd} + \sum_i \sum_s X_{ikds} \leq 1 \quad \forall_{k,d} \quad (12)$$

$$\sum_i X_{ikds} \leq uygunluk_{k(d-1)} + \sum_i X_{ik(d-1)s} \quad \forall_{k,d>1,s=1} \quad (13)$$

$$\sum_i X_{ikds} \leq uygunluk_{k(d-1)} + \sum_i \sum_{s=1}^{s-1} X_{ik(d-1)s} \quad \forall_{k,d>1,s>1} \quad (14)$$

$$X_{ikds} \cdot rs_i \leq rks_{ks} \quad \forall_{i,k,d,s} \quad (15)$$

$$dd_{ikds} = \Phi\left(\frac{rks_{ks} - rs_i}{srs_i}\right) \quad \forall_{i,k,d,s} \quad (16)$$

$$\sum_i \sum_d X_{ikd(s-1)} \leq 1 - Y_{ks} \quad \forall_{k,s>1} \quad (17)$$

$$rks_{ks} - \sum_i \sum_d X_{ikd(s-1)} \cdot rs_i = rks_{k(s-1)} \cdot Y_{ks} \quad \forall_{k,s>1} \quad (18)$$

$$\sum_k \sum_d \sum_s X_{ikds} dd_{ikds} ud_k = LD_i \quad \forall_i \quad (19)$$

$$\sum_j [(\sum_{k=F_{zk}}^{L_{zk}} \sum_d \sum_{s=1}^{s-1} X_{jkds}) \cdot ilişki_{ij}] \leq M(1 - Z_{izs}) \quad \forall_{i \neq j, z, s > 1} \quad (20)$$

$$\sum_j [(\sum_{k=F_{zk}}^{L_{zk}} \sum_d \sum_{s=1}^{s-1} X_{jkds}) \cdot ilişki_{ij}] = is_{izs} \quad \forall_{i \neq j, z, s > 1} \quad (21)$$

$$be_{izs} - [W1_{izs} [\sum_j \sum_{k=F_{zk}}^{L_{zk}} \sum_d \sum_{s=1}^{s-1} X_{jkds} \cdot ilişki_{ij} \cdot değer_{ij}] +$$

$$W2_{izs} [\sum_{j \neq i} \sum_{m \neq j} \sum_{k=F_{zk}}^{L_{zk}} \sum_d \sum_{s=1}^{s-1} \sum_{b \neq s}^{s-1} X_{jkds} \cdot X_{mkdb} \cdot ilişki_{ij} \cdot ilişki_{im} değer_{ij} değer_{im}] + \dots +$$

$$W(N -$$

$$1)_{izs} [\sum_{j \neq i} \sum_{m \neq j} \dots \sum_{l \neq m} \sum_{k=F_{zk}}^{L_{zk}} \sum_d \sum_{s=1}^{s-1} \sum_{b \neq s}^{s-1} \dots \sum_{c \neq b}^{s-1} X_{jkds} \cdot X_{mkdb} \dots X_{lkdc} \cdot ilişki_{ij} \cdot ilişki_{im} \dots ilişki_{il} \cdot değer_{ij} değer_{im} \dots değer_{il}]$$

$$= be_{iz1} \cdot Z_{izs} \quad \forall_{i \neq j, z, s > 1} \quad (22)$$

$$\sum_k \sum_d \sum_s \sum_z X_{ikds} be_{izs} = T b_i \quad \forall_i \quad (23)$$

$$\sum_k \sum_d \sum_s X_{ikds} b_{ik} = urunb_i \quad \forall_i \quad (24)$$

$$\sum_i \sum_s X_{ikds} \leq 1 \quad \forall_{k,d} \quad (25)$$

$$\sum_i \sum_k \sum_d X_{ikds} = 1 \quad \forall_s \quad (26)$$

$$\sum_k \sum_s \sum_d X_{ikds} = 1 \quad \forall_i \quad (27)$$

$$X_{ikds} \in (0,1) \quad \forall_{i,k,d,s} \quad (28)$$

$$Y_{ks} \in (0,1) \quad \forall_{k,s} \quad (29)$$

$$Z_{izs} \in (0,1) \quad \forall_{i,z,s} \quad (30)$$

$$\text{Diğer tüm değişkenler} \geq 0 \quad (31)$$

Matematiksel modelde amaç fonksiyonu (11) ürünlerin lokasyon ve derinliklere ürün frekans değeri, ürün raf kalma süresi değeri, lokasyon değeri ve ürün birliktelik değerlerinin çarpımının toplamını maksimize edecek şekilde atanmasıdır.

Kısıt (12), her lokasyon ve derinlik için en fazla bir ürün ataması yapılabileceğini, lokasyon başlangıç durumunda dolu ise oraya atama yapılamayacağını belirtmektedir.

Kısıt (13) ve (14), her lokasyon için  $(d-1)$  derinliği boş iken  $d$  derinliğine atama yapılamamasını sağlamaktadır. (13) ilk atamada, bir  $k$  lokasyonunun  $d$  derinliğine ancak o lokasyonun  $(d-1)$  derinliği dolu ise atama yapılabileceğini ifade etmektedir. (14) ilk sıradaki atamadan sonraki tüm  $s$  atama sıralamalarında,  $k$  lokasyonunun  $d$  derinliğine herhangi bir ürün ataması yapılabilmesi için,  $s$ 'den önceki atama sıralarında o lokasyonun  $(d-1)$  derinliğine atama yapılmış olması ya da  $(d-1)$  derinliğinin başlangıç durumunda dolu olması gerektiğini ifade etmektedir.

Kısıt (15)  $i$  ürününün  $k$  lokasyonuna  $s$  sıralamasında atanabilmesi için,  $k$  lokasyonunun  $s$  sıralamasındaki raf süresi  $i$  ürününün raf süresinden büyük olması gerektiğini ifade etmektedir.

Kısıt (16)  $i$  ürününün  $k$  lokasyonu ve  $d$  derinliğinin  $s$  atamasındaki durum değerini göstermektedir. Bu kısıt için detaylı açıklama s.160'da açıklanmıştır. Bu kısıt için referans alınan  $Z$  değeri hesaplaması denklem (33) ile gösterilmiştir.

Kısıt (17) ve (18),  $s-1$  atamasında  $k$  lokasyonuna  $i$  ürünü atanırsa,  $k$  lokasyonunun  $s$  atamasındaki raf süresinin  $i$  ürününün raf süresine eşit olacağını;  $s-1$  atamasında  $k$  lokasyonuna atama yapılmamış ise rafta kalma süresinin değişmeyeceğini belirtmektedir.

Kısıt (19),  $i$  ürünü için lokasyon değerini ifade etmektedir.  $i$  ürününün lokasyon değeri,  $i$  ürününün atandığı  $k$  lokasyonu  $d$  derinliği ve  $s$  sıralaması için durum değeri ile,  $o$   $k$  lokasyonunun ulaşım değerinin çarpımına eşittir. Bu kısıt için detaylı açıklama s. 160 - s. 165'de açıklanan  $LD$  notasyonu içinde yapılmıştır.

Kısıt (20) ve (21) ve (22)  $i$  ürününün  $s$  atama sıralamasında  $z$  koridoruna atanması durumunda,  $i$  ürününün birliktelik değerinin,  $i$  ile ilişkisi olan ürün ya da ürünlerin  $s$  sıralamasından önce  $i$  ürününün olduğu koridora atanmış olması halinde, o ürünler ile olan koridor değerlerinin çarpımına eşit olacağını, aksi halde başlangıç durumundaki birliktelik değerine eşit olacağını ifade etmektedir. Bu kısıtlar için detaylar  $Tb_i$  notasyonunun açıklandığı s. 165 - s. 169'da belirtilmiştir.

Kısıt (23)  $i$  ürününün birliktelik değerinin, atandığı  $z$  koridoru ve  $s$  sıralamasındaki birlikteliğine eşit olacağını belirtmektedir.

Kısıt (24)  $i$  ürününün boyut değerini, atandığı  $k$  lokasyonunun boyut endeksine eşitlemektedir. Bu kısıt için detaylı açıklama  $urunb_i$  notasyonunun anlatıldığı s. 169'da yapılmıştır.

Kısıt (25) bir  $k$  lokasyonu ve  $d$  derinliğine en fazla bir kez bir ürün ataması yapılabileceğini ifade etmektedir.

Kısıt (26) bir  $s$  atama sırasında sadece bir  $i$  ürününün bir  $k$  lokasyon ve  $d$  derinliğine atanabileceğini ifade etmektedir.

Kısıt (27) tüm ürünlerin bir  $k$  lokasyonu ve  $d$  derinliğine bir  $s$  atama sırasında atanmasını garanti etmektedir.

Uygunluk fonksiyonundaki ilk notasyon olan  $f_i$ , her bir ürünün sistemden çıkış sıklığını belirtmektedir. Çıkış sıklığı ile ilgili veriler bir yıllık zaman periyodunu kapsamaktadır ve bu veriler aylık olarak güncellenmektedir. Literatürdeki çalışmalara bakıldığında zaman ürünlere ait frekans değerlerinin kullanımı görebilmektedir (bkz. Li vd., 2008, Egas ve Masel 2010, Brezovnik 2015, Li vd., 2016). Bir ürünün sistemden çıkış sıklığını belirten frekans değeri, işletmede ürün verilerinin bulunduğu SQL sorgulamalarında gerçekleşen bir ürün için oluşan işlemlerin, en fazla işlem gören ürünün işlem sayısına olan oranını belirtmektedir. En fazla işlem gören ürün 1 değerini alırken, en az işlem göre ürün 0'a yakın bir değeri alacaktır. Tablo 6'da ürünlere ait frekans değerlerine ait bir örnek görülmektedir.

Ürün çıkış sıklıkları yüzde olarak ifade edilmiştir. 1944814 nolu ürün için frekans değeri  $f_{1944814} = \frac{\text{Ürün için işlem sayısı}}{\text{En fazla işlem gören ürünün işlem sayısı}} = 0,97$  bulunmuştur.

Ürün kodu	Frekans Değeri
1944814	0.97
1944815	0.84
1944813	0.47
1946407	0.14
2000599	0.14

**Tablo 6:** Örnek ürün kodu ve frekans değeri tablosu

Fonksiyondaki ikinci notasyon olan  $\frac{1}{\ln(rs_i)}$  ise ürünlerin rafta geçirdiği süreyi içermektedir. Her bir ürün için ortalama rafta bekleme süresi ile elde edilen değeri içermektedir. Ürün raf sürelerinin  $LN$  değerinin alınma sebebi ise, yapılan testlerde ürün raf sürelerinin sayı aralıklarından dolayı etkilerinin formülasyonda yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu etkiyi düşürmek için bu sayıların doğal logaritması alınmıştır. Ariño ve Frances (2000) ekonomik değişkenlerin zaman serilerinin incelenmesinde,



verilerin doğal algoritmalarının kullanılmasının genel bir yöntem olduğunu belirterek, bu yöntemin ortaya çıkan uç değerlerin etkisinin düşürülmesi için kullanıldığının altını çizmişlerdir (Bkz. Emerson,2014;3, Lane,2017:577).

$LD_i$  notasyonu  $dd_{ikds} \cdot ud_k$  değerlerini kapsamaktadır.  $dd_{ikds}$ , depo içerisinde bulunan her lokasyon için, lokasyon değerini içermektedir. Birim lokasyon değeri, her bir ürünün ortalama raf süresinin standart sapmasından alacağı değer ve depo içerisindeki lokasyonuna göre belirlenecek bölge değerinin çarpımı ile bulunacaktır. Lokasyon değerinin hesaplanmasında iki ana veri bulunmaktadır. Bu verilerden ilki her koridorda bulunan D/Ç makinelerinin depo lokasyonlarına ulaşım mesafesi ve dolayısı ile gözlere erişim süresidir. Bu kapsamda depo lokasyonları için bir ulaşım değeri hesaplanmıştır (Tablo 10). Kullanılan bir diğer veri ise depo lokasyonunun durumuna bağlı olarak hesaplanan “*durum değeri*”dir. Durum değerinin ortaya çıkarılmasında ise öncelikle 6 derinlikli lokasyonun boş veya dolu olması kontrol edilmektedir. 6 derinlikli lokasyonda herhangi bir ürün olması durumunda, bu derinliklerde yer alan ürünlerin “*ortalama rafta kalma süreleri*”nin ne zaman dolacağı kontrol edilmektedir. Örnek olarak altı derinliğe sahip bir depo yapısında bir ürün için ortalama rafta kalma süresinin 20 gün olduğunu ve standart sapmasının ise 3 gün olduğunu varsayalım. Bu durumda, yeni bir ürünün, herhangi bir lokasyonda bulunan bu ürünün bulunduğu lokasyona yerleştirilirken arkada kalan ürünün “*tahmini raftan çekilme süresi*” ne çok yakın veya çok uzak olmaması gerekmektedir. Aynı derinlikte ve arka lokasyonda yer alan ürünün durum değeri ( $Z$ ) ise aşağıdaki şekilde ortaya çıkmaktadır:

$$Z = (x - \mu) / \sigma \quad (33)$$

$x$ : raftan çekmek için kalan tahmini gün sayısı

$\mu$ : ortalama rafta kalma süresi

$\sigma$ : ortalama rafta kalma süresinin standart sapması

Bu kapsamda *Lokasyon değeri* = *durum değeri* \* *ulaşım değeri* şeklinde ifade edilmiştir. Eğer altı derinlikli bir depo rafı içerisinde birden fazla ürün var ise

yukarıdaki hesaplamalarda kullanılacak olan değer için, lokasyon içerisinde yer alan ve tahmini raftan çekilme süresi en az kalan ürün göz önüne alınacaktır.

$u_{dk}$  notasyonu ise, sisteme giren ürünün G/Ç noktasına olan uzaklığına göre alacağı değeri ifade etmektedir. Bu değerler Tablo 7’de belirtilmiştir. Tablo 8 ve 9’da gösterildiği gibi, depoda farklı boyutlarda 5 kat ve yatay düzlemde ise 40 sıra bulunmaktadır. Tez kapsamında mevcut depoda kullanılan OD/ÇS hız değerleri kullanılmıştır. Fakat kullanılan bu değerler içinde mekik konumlama süresi hesaba katılmamıştır. Kullanılan OD/ÇS hız değerleri Tablo 7’de görülmektedir.

	X Koordinatı	Y Koordinatı
Dakika/ Hız	185	35
Saniye/ Hız	3,08	0,58
Hızlanma	0,45	0,6
Hızlanma Süresi(sn.)	6,85	0,97
Hızlanma Mesafesi (m.)	10,56	0,28

**Tablo 7:** OD/ÇS’nin X ve Y koordinatlarındaki hız değerleri

Tablo 9’da yer alan lokasyon değerlerini bulmak için öncelikle, X ve Y koordinatı için mesafe değerleri ile X ve Y koordinatı için süre hesaplamaları yapılmıştır. Tablo 8 ise X ve Y koordinatları için ortaya çıkan genel süre hesaplamaları görülmektedir. Genel süre hesaplamaları için Balkan (2012: 44-47)’in kullandığı yapı benimsenmiştir. Balkan (2012) OD/ÇS’lerde üç tip durum olabileceğini belirterek bunları aşağıdaki gibi açıklamıştır.

**1. Durum:** D/Ç makinesinin seyahat edeceği nokta, makinenin maksimum hıza ulaştığı bir noktadır. Bu duruma göre yatay ve dikey eksende  $X_{lim}$  belirlenmektedir, bu değer, D/Ç makinesinin maksimum hıza ulaştığı andan sabit hızla devam etmeden yavaşlamaya başladığı mesafedir.

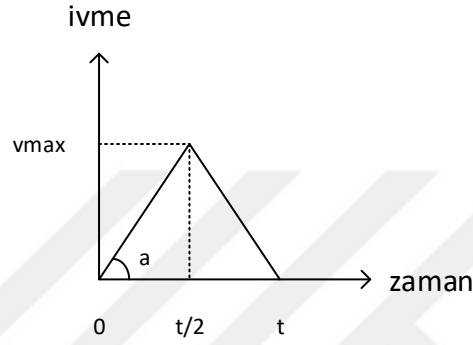
$v$ : hız

$a$ : ivme

$t$ : zaman

$x$ : mesafe

değerlerini ifade etmek üzere Şekil 5.12'deki durumda oluşan üçgenin altında kalan kısım  $X_{lim}$  değerini vermektedir.

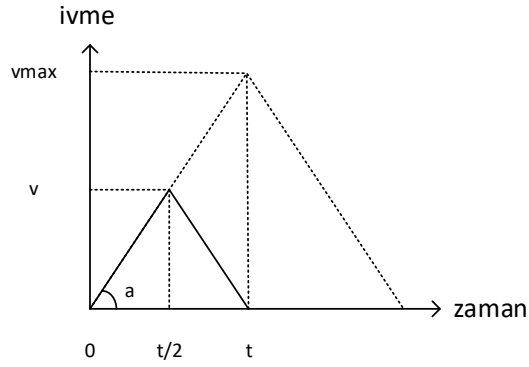


**Şekil 5.12:** D/Ç makinesi için 1. Durum

Bu alanın hesaplanması için ise  $X_{lim} = \frac{v_{max}^2}{a}$  eşitliğinden faydalanılarak  $X_{lim}$  değeri dikey ve yatay hız ve ivme değerlerine göre hesaplanır.

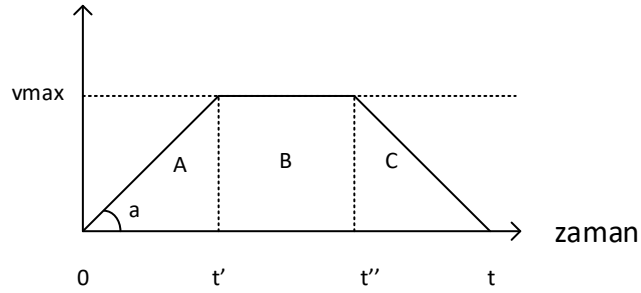
**2. Durum:** Bu durumda D/Ç makinesinin seyahat edeceği nokta makinenin maksimum hızına ulaşmadan durmasını gerektirecek bir noktadadır. Bu durumda D/Ç makinesi  $X_{lim}$  değerine ulaşmadan yavaşlamaktadır. Şekil 5.13'de 0, t/2 arasında oluşan dik üçgenin alanı ise D/Ç makinesinin aldığı mesafeyi oluşturmaktadır. Bu değere ise

$$t = \sqrt{\frac{4x}{a}} \text{ eşitliğinden ulaşılmaktadır.}$$



**Şekil 5.13:** D/Ç makinesi için 2. Durum

**3. Durum:** Bu durumda ise D/Ç makinesinin seyahat edeceği nokta makinenin maksimum hıza ulaştığı ve bu hızda bir süre seyahat ettiği ve yavaşladığı noktadır. Şekil 5.14'de makinenin 3. Durumu gösterilmiştir. Bu görseldeki *B* alanında makine sabit hızda devam etmiştir. *A* ve *C* alanları ise  $X_{lim}$  değerini ortaya çıkarmaktadır. Makinenin toplam yol aldığı mesafeden  $X_{lim}$  değerini (*A* ve *C* alanları) çıkartıldığında ise makinenin sabit hareket ettiği mesafe bulunmaktadır.



**Şekil 5.14:** D/Ç makinesi için 3. Durum

Hem yatay hem de dikey eksendeki  $t$  değerleri için ise aşağıdaki formülasyonlar kullanılmıştır (Balkan, 2012: 47):

$$t_x \begin{cases} t_{yatay} = \sqrt{\frac{4x}{a_{yatay}}}, & 0 \leq x \leq X_{yataylim} \\ t_{yatay} = \frac{x - X_{yataylim}}{V_{yataymax}} + \frac{2V_{yataymax}}{a_{yataymax}}, & X_{yataylim} \leq x \leq X_{yataymax} \end{cases} \quad (34)$$


$$t_y \begin{cases} t_{dikey} = \sqrt{\frac{4x}{a_{dikey}}}, & 0 \leq x \leq X_{dikeylim} \\ t_{dikey} = \frac{x - X_{dikeylim}}{V_{dikeymax}} + \frac{2V_{dikeymax}}{a_{yataymax}}, & X_{dikeylim} \leq x \leq X_{dikeymax} \end{cases} \quad (35)$$

D/Ç makinesi hem yatay hem de dikey düzlemde aynı anda hareket ettiği için nihai seyahat noktasına ulaştığında yatay eksendeki hareketini tamamlamış ama dikey eksendeki hareketini tamamlayamamış veya tam tersi bir durum olabilir. Bu nedenle de makinenin seyahat noktasına ulaştığı en büyük  $t$  değeri  $t = \max(t_x, t_y)$  alınır. Tablo 8’de D/Ç makinesinin yukarıda formülasyonları verilen eşitlikler ile ortaya çıkan lokasyon bazlı ulaşım süreleri ve bu sürelerle bağlı olarak Tablo 9’da yer alan 0-1 değerleri arasına indirgenmiş lokasyon değerleri görülmektedir. Tablo 8 ve Tablo 9’da renklere göre ısı haritası oluşturulmuştur. Bu ısı haritasına göre yakın ve değeri yüksek lokasyonlar yeşil ve türevi renklerde, uzak ve değeri düşük lokasyonlar ise kırmızı ve türevi renklerde. Tablo 9’da 5. Kat 17. Sıradaki lokasyon için örnek süre hesaplaması süreçleri aşağıdaki gibidir:

$$t_x = \frac{26,35 - (10,56.2)}{3,08} + \frac{2.3,08}{0,45} = 15,397 \text{ sn.}$$

Yatay ve dikey düzlemler için genel süre hesaplamasından sonra lokasyonlar için oluşturulan ulaşım değeri hesaplaması ise:

*Ulaşım değeri* =  $1 - \left(\frac{15,397 - 3,711}{26,95}\right)$  değeri ile 5. Kat 17 nolu sıra için ulaşım değeri bu durumda 0,57 olmaktadır. Detaylı gösterim Tablo 8 ve Tablo 9’da görselleştirilmiştir.



Kat/Raf	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	32	33	34	35	36	37	38	39	40
5. Kat	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77	12,77	12,86	13,38	13,89	14,39	14,90	15,40	15,90	16,40	16,91	17,41	17,91	18,41	18,92	19,42	19,92	20,42	20,93	21,43	21,93	22,44	22,94	23,44	23,94	24,45	24,95	25,45	25,95	26,46	26,96
4. Kat	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,50	11,14	11,74	12,31	12,86	13,38	13,89	14,39	14,90	15,40	15,90	16,40	16,91	17,41	17,91	18,41	18,92	19,42	19,92	20,42	20,93	21,43	21,93	22,44	22,94	23,44	23,94	24,45	24,95	25,45	25,95	26,46	26,96
3. Kat	7,38	7,38	7,38	7,42	8,30	9,09	9,82	10,50	11,14	11,74	12,31	12,86	13,38	13,89	14,39	14,90	15,40	15,90	16,40	16,91	17,41	17,91	18,41	18,92	19,42	19,92	20,42	20,93	21,43	21,93	22,44	22,94	23,44	23,94	24,45	24,95	25,45	25,95	26,46	26,96
2. Kat	4,26	5,25	6,43	7,42	8,30	9,09	9,82	10,50	11,14	11,74	12,31	12,86	13,38	13,89	14,39	14,90	15,40	15,90	16,40	16,91	17,41	17,91	18,41	18,92	19,42	19,92	20,42	20,93	21,43	21,93	22,44	22,94	23,44	23,94	24,45	24,95	25,45	25,95	26,46	26,96
1. Kat	3,71	5,25	6,43	7,42	8,30	9,09	9,82	10,50	11,14	11,74	12,31	12,86	13,38	13,89	14,39	14,90	15,40	15,90	16,40	16,91	17,41	17,91	18,41	18,92	19,42	19,92	20,42	20,93	21,43	21,93	22,44	22,94	23,44	23,94	24,45	24,95	25,45	25,95	26,46	26,96

**Tablo 8:** D/Ç makinelerinin lokasyon bazında ulaşım süreleri

Kat/Raf	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	32	33	34	35	36	37	38	39	40
5. Kat	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,64	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45	0,44	0,42	0,40	0,38	0,36	0,34	0,32	0,31	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,16	0,14
4. Kat	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,75	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45	0,44	0,42	0,40	0,38	0,36	0,34	0,32	0,31	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,16	0,14
3. Kat	0,86	0,86	0,86	0,86	0,83	0,80	0,77	0,75	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45	0,44	0,42	0,40	0,38	0,36	0,34	0,32	0,31	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,16	0,14
2. Kat	0,98	0,94	0,90	0,86	0,83	0,80	0,77	0,75	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45	0,44	0,42	0,40	0,38	0,36	0,34	0,32	0,31	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,16	0,14
1. Kat	1,00	0,94	0,90	0,86	0,83	0,80	0,77	0,75	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45	0,44	0,42	0,40	0,38	0,36	0,34	0,32	0,31	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,16	0,14

**Tablo 9:** Depo lokasyonlarının ulaşım değerleri

Modeldeki  $Tb_i$  notasyonu, ürünlerin, birliktelik kurallarına göre ortaya çıkartılan birliktelik değerlerini tanımlamaktadır. Problemin ve işletmenin yapısına bağlı olarak, tez kapsamında birliktelik değerleri yüksek olan ürünlerin farklı koridorlara atanması amaçlanmıştır. İşletmede bünyesindeki karar vericiler ile yapılan birebir görüşmelerde, koridorlarda bulunan D/Ç makinelerinde yaşanan arızaların beklemeye yol açtığı, bu durumun da ürünlerin zamanında çekilememesine sebep olduğu belirtilmiştir. Bu anlamda öncelikle mevcut ürünlere veri madenciliği modellerinden *Birliktelik Kuralları* uygulanmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan ürün koridor birliktelik değeri endeksi için aşağıdaki algoritma adımları kullanılmıştır.

- Minimum destek sayısı ve minimum güven değerinin belirlenmesi
- Öğe kümeler içerisindeki her bir ögenin destek değerinin bulunması
- Minimum destek değerinden daha düşük desteğe sahip olan öğelerin devre dışı bırakılması
- Elde edilen tekli birliktelikler dikkate alınarak ikili birlikteliklerin oluşturulması
- Minimum destek değerinden düşük olan öğe kümelerinin çıkartılması
- Destek ve güven değerlerine bağlı olarak bu iki endeksin çarpımı ile birliktelik değerinin bulunması.

Birliktelik kuralları kapsamında kullanılan endeksler aşağıdaki gibi tanımlanmıştır bunlar:

- *Destek (Support)*: Bir ilişkinin tüm veri seti içinde hangi oranda tekrar ettiğini belirtmektedir.  $Dest(X)$  olarak gösterimi yapılmaktadır. Bir kural olarak belirlenen  $Dest(X \rightarrow Y)$  ise bir veri seti içindeki X ve Y ürünlerinin birlikte bulunma durumunu belirtmektedir.

$$Dest(X \rightarrow Y) = \frac{(X \text{ ve } Y \text{ nin bulunduğu satır sayısı})}{(\text{Toplam satır sayısı})} \text{ olarak hesaplanmaktadır.}$$

- *Güven (Confidence)*: X ürünün Y ürünü ile birlikte bulunma olasılığını belirtmektedir.  $Güv(X \rightarrow Y) = \frac{Dest(X \rightarrow Y)}{Dest(X)}$  olarak hesaplanmaktadır.
- *Kaldıraç (Lift)*: X ürünü ve Y ürününün birbirinden bağımsız olup olmadığını gösteren değerdir. Bu değer 1'den büyük olması beklenmektedir.

Kaldıraç  $(X \rightarrow Y) = \frac{|D| \text{Güv}(X \rightarrow Y)}{\text{Dest}(X)}$  olarak hesaplanmaktadır.  $|D|$  değeri ise veri setindeki bütün verileri temsil etmektedir.

- *Destek x Güven (Dest\*Güv)* endeksi, destek ve güven değerlerinin çarpımını içermektedir. Literatürde yalnızca destek ve güven değerlerinin yeterli olmaması sebebi ile bu iki değerın çarpımını kullanılan çalışmalar da yer almaktadır.

Tez kapsamında 1080 birliktelik kuralı oluşturulmasına rağmen,  $D*G$  değeri 0,020 ve üzerindeki 30 birliktelik kuralı çalışmada kullanılmıştır. Kaldıraç değeri ise kuralların kontrolünü sağlamak amaçlı olarak kullanılmış, 0,020 ve üzerindeki bütün değerlerin 1'den büyük olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda çalışmaya dâhil edilmiş 30 birliktelik kuralındaki X ve Y ürünlerinin birbiri ile bağımlı olduğu yorumu yapılabilir. Tablo 10'da kodları ile beraber gösterilen ürünlerin birliktelik kuralı ile oluşturulmuş *Destek, Güven, Kaldıraç* ve  $D*G$  değerleri görülmektedir.

X	Y	Dest	Güv	Kaldıraç	DestxGüv
1944814	1944815	0,039	0,689	5,879	0,02682
1944814	1944813	0,038	0,671	10,162	0,02548
1944813	1944814	0,038	0,575	10,162	0,02548
1944815	1944814	0,039	0,689	5,879	0,02682
2094958	2095135	0,055	0,708	8,600	0,03866

**Tablo 10:** Örnek bir birliktelik değer tablosu

Ürün birliktelik değerleri bulunduktan sonra aynı koridorda birbiri ile ilişkisi olan ürünlerin birliktelik endekslerinin bulunması gerçekleştirilmiştir. Buradaki mantık önceki bölümlerde belirtildiği gibi, yüksek birliktelik endeksine sahip ürünlerin farklı koridorlara atanmasını sağlayarak, olası D/Ç makinesi arızalarında, birlikte sık işlem gören ürünlerin aynı koridorda bulunmamasına imkan vererek, birlikte işlem gören ürün grubundan en az bir tanesinin çekme işleminin gerçekleştirilmesidir. Bu sayede olası müşteri beklemelerinin önüne geçilmesi planlanmıştır.



Ürün bazlı birliktelik endeksinin bulunması ise aşağıdaki formülasyon ile gerçekleştirilmiştir:

$$\text{Birliktelik Endeksi} = \left( \frac{1}{\text{DestxGüv}} \right) / 100 \quad (32)$$

Tablo 11’de görüleceği gibi, 1944814 kodlu ürünün dört tane birliktelik kuralı ve buna bağlı olarak birliktelik endeksi değerleri oluşmuştur. 1944814 kodlu ürünün, 1944815 1944813 kodlu ürünlerle X ürün grubu içindeki birlikteliği ve yine 1944813-1944815 ürünleri ile Y ürün grubu içindeki birlikteliğinden ortaya çıkan birliktelik endeksi değerleri ortaya çıkmıştır. 2094958 kodlu ürünün de 2095135 kodlu ürünle bir tane birliktelik kuralı ortaya çıkmış ve buna bağlı değeri gösterilmiştir.

X	Y	DxG	Birliktelik Endeksi
1944814	1944815	0,02682	0,372808
1944814	1944813	0,02548	0,392367
1944813	1944814	0,02548	0,392367
1944815	1944814	0,02682	0,372808
2094958	2095135	0,03866	0,258657

**Tablo 11:** Örnek ürün birliktelik endeksi tablosu

Tablo 12’de ürün birliktelik endekslerinin koridorlara göre hesaplanmış tablosu görülmektedir. Bu tabloya göre 2323210 ve 2087176 kodlu ürünlerin koridorlarda herhangi bir ürün ile birlikteliğinin olmaması nedeniyle bu ürünler mevcut dört koridordan birine atandıklarında 1 puan alacaklardır. 2094958 kodlu ürünün 2095135 kodlu bir ürün ile 3 koridorda birlikte bulunması nedeniyle 2094958 kodlu ürünün bu 3 koridordan alabileceği puan 0,258657 olacakken, 1. Koridorda birlikteliği bulunmadığı için bir puan alacaktır. 1944814 kodlu ürünün ise Koridor 1 (1944815) ve Koridor 3’te bir ürünle (1944813) birlikteliği, Koridor 2 (1944815-1644813) ve Koridor 4’te ise iki ürünle (1944815-1944813) birlikteliği bulunmaktadır. Bu nedenle herhangi bir koridorda yer alan birden fazla birliktelik durumunda birliktelik değerleri çarpılarak o koridorun puan tablosuna ulaşılacaktır. Bu kapsamda Koridor 2 ve Koridor 4 için

ortaya çıkan puan durumu  $0,392367 \cdot 0,372808$  olarak hesaplanacak ve 0,146278 değerleri bulunacaktır.

Ürün Kodu	Koridor 1	Koridor 2	Koridor 3	Koridor 4
2323210	1	1	1	1
2087176	1	1	1	1
2094958	1	0,258657	0,258657	0,258657
1944814	0,392367	0,146278	0,372808	0,146278

**Tablo 12:** Ürün birliktelik endekslerine göre ürünlerin atanacağı koridorlarda alacağı puan tablosu

$urunb_i$  notasyonu, depodaki raf boyutları ile ürün palet boyutları arasında eşleştirme yaparak mevcut depoda bulunan 5 raf boyutunu karşılayacaktır. Depo raf boyutları ise aşağıdaki gibidir:

- 127 cm
- 152 cm
- 162 cm
- 182 cm
- 192 cm

Depo lokasyonlarına yerleşecek ürünlerin ve rafların boyutları için yapılacak eşleştirmede kullanılacak puanlama aşağıdaki gibi olacaktır. Örnek olarak ürün boyutu 177 cm. ve depo boyutu 182 cm. olduğu bir durumda bu notasyonun alacağı değer  $1 - \frac{182-177}{177} = 0,9717$  olacaktır. Modeldeki bu notasyon 0-1 değerleri arasındadır.

5 ürün ve 5 depo lokasyonu için amaç fonksiyonunun hesaplanması aşağıda gösterilmiştir.

Ürün Kodu	2217472	2051238	2217468	2095131	2217474	Toplam Değer
Depo Lokasyonu	680	1340	78	156	256	0,0759

**Tablo 13:** 5 ürün ve 5 depo lokasyonu için örnek gösterim

(11) kullanılarak ulaşılan amaç fonksiyonu değerleri aşağıdaki gibidir:

1 nolu ürün için

$Maks Z = 0,2994$  (rn frekans değeri)  $\times$   $0,2269$  (rn raf süresi)  $\times$   $0,3646$  (Durum değeri)  $\times$   $0,57$  (Ulaşım Değeri)  $\times$   $0,7633$  (boyut değeri)  $\times$   $1$  (Birliktelik Endeksi Değeri)

$Maks Z = 0,0107$

2 nolu ürün için,

$Maks Z = 0,7523 \times 0,5631 \times 0,6213 \times 0,7463 \times 0,3785 \times 1$

$Maks Z = 0,012$

3 nolu ürün için,

$Maks Z = 0,4678 \times 0,2245 \times 0,6438 \times 0,3215 \times 0,1259 \times 0,4657$

$Maks Z = 0,0012$

4 nolu ürün için,

$Maks Z = 0,1246 \times 0,6325 \times 0,3215 \times 0,8576 \times 0,4512 \times 0,2586$

$Maks Z = 0,025$

5 nolu ürün için,

$Maks Z = 0,6245 \times 0,7546 \times 0,2365 \times 0,7435 \times 0,8612 \times 0,3923$

$Maks Z = 0,027$

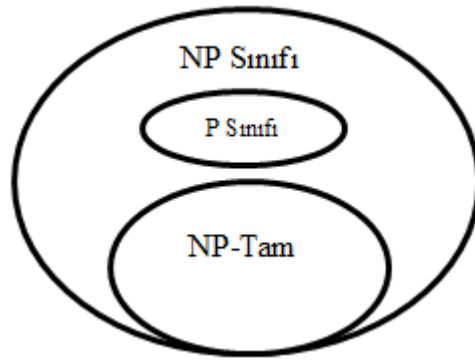
$Uygunluk Değeri: 0,0107 + 0,012 + 0,0012 + 0,025 + 0,027 = 0,0759$

Modelin üzümünde ortaya çıkan metrikler 0-1 değerleri arasında oluşmaktadır. Ortaya çıkması beklenen 1 değeri, en iyi değer olacak Şekilde planlanmıştır. Fakat modeldeki çarpımların alacağı düşük değerler nedeni ile değerler, 1'den uzaklaşmakta ve 0'a yaklaşabilmektedir. Bu nedenle çarpımlar 1'den 0'a doğru gitmektedir. Optimum değer

veya en iyi değer, 1'e yakın olan değerler olmakla beraber çözümler değerleri 1 değerini geçmemektedir.

Depo lokasyon atama problemleri, günümüzde *NP-Zor* sınıfında problemler olarak görülmektedir ve problemlerin çözümünde sezgisel ve metasezgisel çözümler kullanılmaktadır. Problemlerin karmaşıklığı ve zorluğu ile ilgili olarak iki önemli sınıf olduğunu ve bunların da *P* ve *NP* sınıfları olduğunu belirtilmiştir (bkz. Şekil 5.15). *P* sınıfındaki problemlerin polinom zamanda deterministik bir makine ile çözülebileceği, dolayısı ile *P* sınıfındaki problemlerin çözümü için bilinen polinom zaman algoritmasının bulunduğu belirtilmiştir (Talbi, 2009: 12). *NP-Zor* problemleri ile ilgili olarak da aynı yazar, günlük hayattaki çoğu optimizasyon probleminin *NP-Zor* olduğunu ve bunları çözebilecek etkin algoritmaların bulunmadığını belirtmiştir. Bu tarz problemlerin çözümü gereken sürelerinin üstel olarak arttığının altı çizilmiş ve *NP-Zor* sınıfı kapsamındaki popüler akademik problemlerin örneklerini aşağıdaki gibi listelemiştir (Talbi, 2009: 14):

- Sıralama ve çizelgeleme problemleri
- Atama ve lokasyon problemleri
- Gruplandırma problemleri
- Rotalama problemleri



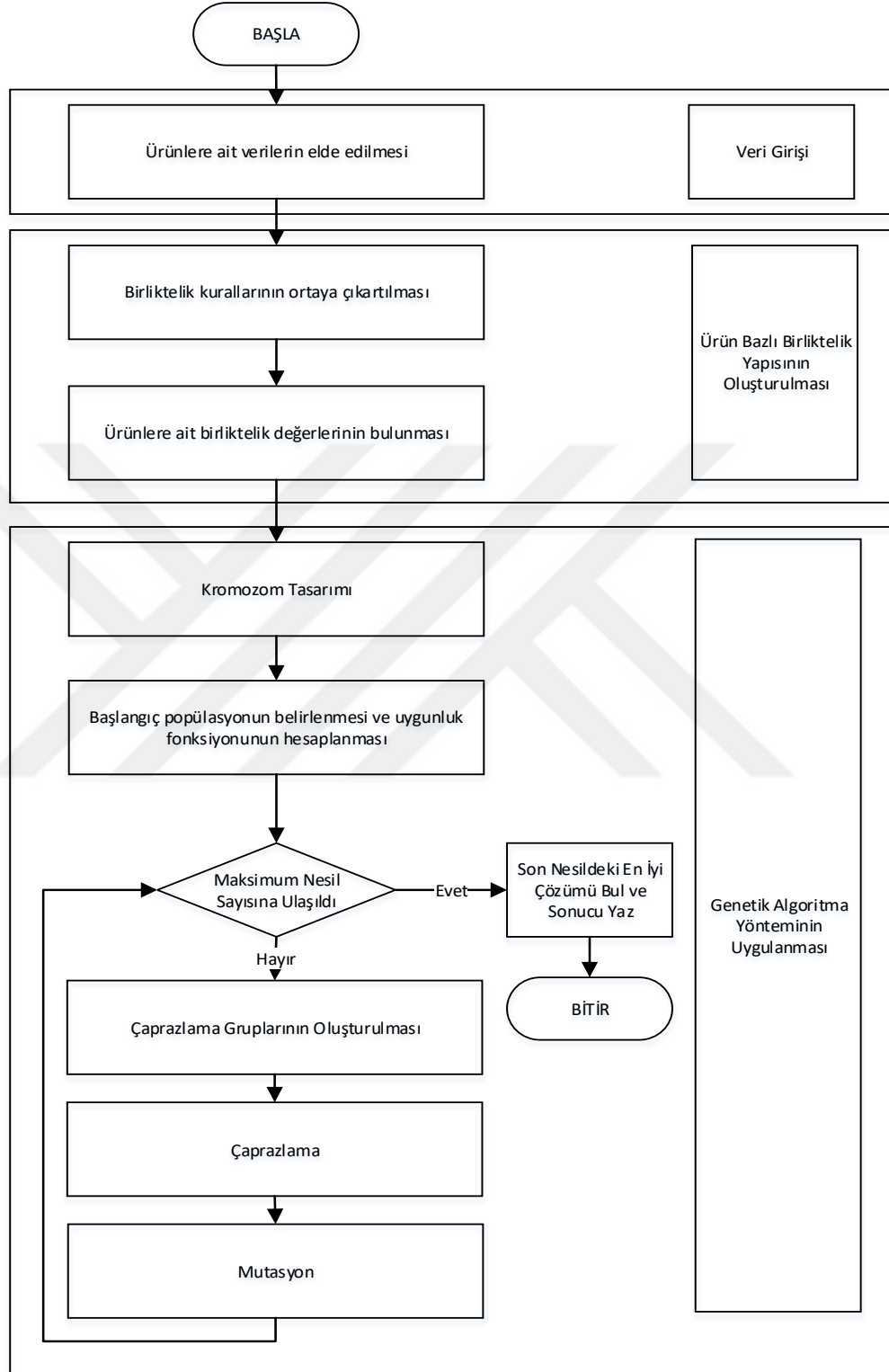
**Şekil 5.15:** Problemlerin karmaşıklık sınıflandırılması

**Kaynak:** Talbi (2009: 12)

Kofler (2015: 8) depolardaki bu karmaşık yapılı problem kapsamında “*tek sıralı bir depo*”ya atanması gereken 5000 ürünün olduğu, her lokasyonun tek ürün aldığı ve deponun tam kapasite çalıştığı varsayıldığında yaklaşık  $5000! \approx 4229 \times 10^{16,325}$  olası yerleştirme şeklinin bulunduğunu belirtmiştir. Dolayısı ile bütün olası çözümlerin kaba kuvvet yaklaşımı ile ortaya çıkarılamayacağını altı çizilmiştir.

Matematiksel model LINGO 18.0 programında kodlanmış ve 16 depo lokasyonu ve 4 üründen oluşan iki farklı set için sonuç bulunmuştur. İlk set (ürün21, ürün26, ürün27, ürün32) için ortaya çıkan sonuç 0,249, çözüm süresi ise 18 dakikadır. İkinci set (ürün1, ürün2, ürün3, ürün4) için ortaya çıkan sonuç 0,0352, çözüm süresi ise 142 dakikadır. Çalışma kapsamında önerilen genetik algoritma yöntemi ile benzer sonuçlara ilk set için 3 sn., ikinci set için 6 sn.’de ulaşıldığı tespit edilmiştir. Problemin ölçeği büyüdüğünde problemin çözümü ve işlem süreleri bakımından sezgisel ve metasezgisel yöntemler önerilmektedir.

Bu kapsamda büyük ölçekli ve karmaşık depo lokasyon atama problemi için çalışmada genetik algoritma kullanılmıştır. Problemin çözümü için ortaya çıkarılan çerçeve, Şekil 5.16’da gösterilmiştir.



**Şekil 5.16:** Problemin çözümüne yönelik oluşturulan çerçeve

## 5.7. Depo Lokasyon Atama Optimizasyonu için Genetik Algoritma Yöntemi

### 5.7.1. Kromozomların Tasarımı

Kofler (2015:8) atama kapsamında  $f: \mathcal{S} \rightarrow \mathbb{R}$  gösteriminde  $f$ 'nin uygunluk fonksiyonunu,  $\mathcal{S}$ 'nin ise kabul edilebilir çözümleri temsil ettiğini belirterek, amaç fonksiyonunun ortaya çıkan her sonucun, uygunluğu gösteren gerçek sayılar ( $\mathbb{R}$ ) ile ilişkilendirdiğini söylemiştir. Aynı yazar, depo atama problemleri kapsamında ise  $\mathcal{S}$  değerinin bütün olası depo atamalarını kapsadığını, bu durumda ise gerçek problemlerde çözüm sürelerinin çok zaman aldığına altını çizmiştir. İkuçar ve Güngör (2018:251), genetik algoritmanın çözüm uzayında rastgele oluşturulmuş bir başlangıç popülasyonu ile başladığını, bu yüzden de öncelikle problemin kromozom yapısının oluşturulması gerektiğini belirtmiştir. Bu anlamda, genler kromozomları oluşturduğu için, problemin özelliğine göre seçilen bir kodlama ile genler seçilmektedir.

Tez kapsamında gerçek kodlu (real coded) genetik algoritma kullanılmıştır. Aydoğdu (2006) gerçek kodlu genetik algoritmanın ikili kodlu genetik algoritmaya benzediğini, aralarındaki en önemli farkın ise ikili kodlu genetik algoritmada kullanılan 1 ve 0'lar yerine gerçek sayıların kullanılması olduğunu belirtmiştir. Gerçek kodlu genetik algoritmaların ikili kodlu genetik algoritmalara kıyasla global optimuma daha kısa sürede ulaştığı ve daha hızlı çalıştığı belirtilmiştir (Cunlaş ve Akkaya, 2002, akt. Aydoğdu, 2006: 53). Tablo 14'de depo lokasyonlarına ataması yapılmış 10 ürün görülmektedir. Buna göre, Ürün Ü1, depo haritalamasında 340 olarak kodlanmış lokasyonda depolanacaktır.

Ürün	Ü1	Ü2	Ü3	Ü4	Ü5	Ü6	Ü7	Ü8	Ü9	Ü10
<b>Kromozom (Depo Lokasyonu)</b>	340	124	10	75	86	44	35	4	78	12

**Tablo 14:** Tek derinlikteki ve tek yükseklikteki bir yapı için kromozom örneği

Her bir kromozomun performansı uygunluk değeri ile hesaplanmaktadır. Uygunluk değeri, bir sonraki neslin oluşması için ortaya çıkacak bireylerin seçimindeki kromozomların seçim olasılığını temsil etmektedir. Problemin çözümü kapsamında,

kısıtları karşılayan, her bir lokasyon değeri için maksimum uygunluk değerini ortaya çıkaran kromozom dizisinin en uygun çözüm olması amaçlanmıştır.

### **5.7.2. Başlangıç Popülasyonunun Belirlenmesi**

Genetik algoritma tabanlı çalışmalarda algoritmalar rastsal olarak oluşturulan bir başlangıç topluluğu ile çözüme başlamaktadır. Algoritma performansını etkileyen faktörlerden birisi de başlangıçta oluşturulan popülasyonun büyüklüğüdür. Çalışma için başlangıç popülasyonu 500 birey olarak seçilmiştir. Seçilen bu 500 birey sonraki nesilleri oluşturmak için aday ebeveynler olacaktır. Çaprazlama işlemi sonrasında ise yeni bireyler ortaya çıkartılacaktır.

### **5.7.3. Harem Yapısının Oluşturulması**

Bir önceki bölümde bahsedilen harem yapısı, algoritmanın performansını arttırmak amacıyla genetik algoritma ile birleştirilmiştir. Uygunluk değeri en iyi birey, lider olarak tanımlanmıştır. Lider seçiminin yapılmasından sonra ise harem oluşturulmaktadır. Lider bireyden sonra uygunluk değeri en iyi olan 30 birey hareme dâhil edilmektedir. Uygunluk değerine bağlı olarak her döngüde lider ve harem üyeleri değişebilmektedir.

### **5.7.4. Bireylerin Çaprazlanması**

Bu çalışmada bireylerin çaprazlama işlemi sırasında rastgele oluşturulan baskınlık genleri ile Ebeveyn1 ve Ebeveyn2 kromozomlarından yeni bir nesil oluşturulmuştur. Her çaprazlama sonucunda ise tek nesil oluşmaktadır. “1” değeri *Ebeveyn1*'in baskın olduğunu, “0” değeri ise *Ebeveyn2*'nin baskın olduğunu göstermektedir. Yeni nesil oluşturulurken, *Ebeveyn1*'den doğrudan alınan genler ile sonrasında *Ebeveyn2*'den alınan genlerle yeni neslin oluşması sağlanmıştır. Çalışma kapsamında kesikli çaprazlama yöntemi kullanılmıştır. Çaprazlama oranı; her bir iterasyona ilişkin popülasyonda, çaprazlanacak birey sayısının popülasyon büyüklüğüne oranını ifade etmektedir (Gen ve Cheng, 1997: 3). Tablo 15'de yeni neslin oluşturulması gösterilmiştir.



<b>Ebeveyn1</b>	678	964	1044	1560	480	1129	567	1214	678	1306
<b>Ebeveyn2</b>	441	964	1122	991	1550	365	567	570	34	1186
<b>Baskınlık Geni</b>	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1
<b>Yeni Nesil</b>	678	964	1122	1560	1550	1129	567	1214	34	1306

**Tablo 15:** Çaprazlamada ilk bireyin oluşumu

### 5.7.5. Mutasyon Yönteminin Belirlenmesi

Mutasyon operatörü genetik algoritmalarındaki mevcut popülasyonun gen çeşitliliğini artırmak ve başlangıç popülasyonunda bulunmayan gen dizilişlerini ortaya çıkarmak için kullanılmaktadır. Mutasyona uğrayacak olan kromozom içindeki tüm genlere yüzdesel bir değer verilmekte ve bu değerlere bağlı olarak da genler birbiri ile yer değiştirmektedir. Bu kapsamda bu çalışmada mutasyon yöntemi olarak yer değiştirme yöntemi kullanılmıştır. Tablo 16'daki örnekte mutasyona uğrayacak genlerin seçimi ve mutasyonun nasıl uygulanacağı gösterilmiştir.

<b>Kromozom</b>	678	964	<b>567</b>	1560	480	1129	<b>1044</b>	1214	678	1306
<b>Genlerin Mutasyona Uğrama Yüzdesi</b>	25	11	<b>3</b>	75	18	6	<b>5</b>	7	8	52
<b>Yeni Kromozom</b>	678	964	<b>1044</b>	1560	480	1129	<b>567</b>	1214	678	1306

**Tablo 16:** Mutasyona uğrayacak genlerin seçimi ve mutasyonun uygulanışı, mutasyon:5

Açıklamaları yapılan notasyonlar kapsamında uygunluk değerinin hesaplanması ile ortaya çıkan örnek bir kromozomun gösterimi aşağıdaki gibidir:

Ürün Kodu	Depo Lokasyonu
2217472	1278 (2. Kat 4. Koridor Raf 18)
2051238	1175 (5. Kat 3. Koridor Raf 15)
2217468	1260 (2. Kat 4. Koridor Raf 20)
2095131	287 (3. Kat 1. Koridor Raf 7)
2217474	1087 (3. Kat 3. Koridor Raf 7)
2256856	139 (4. Kat 1. Koridor Raf 19)
2103705	327 (4. Kat 1. Koridor Raf 7)
2259225	266 (2. Kat 1. Koridor Raf 26)
2095136	1124 (4. Kat 3. Koridor Raf 4)
2217661	556 (4. Kat 2. Koridor Raf 36)
2067552	1018 (1. Kat 3. Koridor Raf 18)
2217474	511 (3. Kat 2. Koridor Raf 31)
2000608	867 (2. Kat 3. Koridor Raf 27)
2241344	485 (3. Kat 2. Koridor Raf 5)
2323210	807 (1. Kat 3. Koridor Raf 7)
2087176	415 (1. Kat 3. Koridor Raf 15)
2094954	310(3. Kat 1. Koridor Raf 30)
2236369	1465 (5. Kat 4. Koridor Raf 25)
2051238	241 (2. Kat 1. Koridor Raf 1)
1944810	148 (4. Kat 1. Koridor Raf 28)
2239405	1593 (5. Kat 4. Koridor Raf 33)
2095135	1514 (3. Kat 4. Koridor Raf 34)
2125652	1524 (4. Kat 4. Koridor Raf 4)
2094954	761 (5. Kat 2. Koridor Raf 1)
2236158	641 (2. Kat 2. Koridor Raf 1)
2217885	325 (4. Kat 1. Koridor Raf 5)
2297311	1371 (5. Kat 4. Koridor Raf 11)
2067552	765 (5. Kat 2. Koridor Raf 2)
2239405	811 (1. Kat 3. Koridor Raf 11)
2096610	945 (4. Kat 3. Koridor Raf 25)
2344087	970 (5. Kat 3. Koridor Raf 10)
2215955	156 (4. Kat 1. Koridor Raf 36)
1878769	218(1. Kat 1. Koridor Raf 18)

**Tablo 17:** Uygunluk fonksiyonuna göre ortaya çıkan örnek bir kromozom yapısı

### 5.7.6. Çevrimin Sonlandırılması

Kurulan modeldeki çevrim sayısı zaman kısıtı sebebi ile önceden belirlenen bir sayıda sonlandırılmak üzere tasarlanmıştır. Kromozomların uzunluğuna bağlı olarak bu sayı parametrelere bağlı kalınarak test ile belirlenmiştir. Test ve parametre değerleri ile ilgili bilgiler sonraki bölümlerde belirtilmiştir.

## 5.8. Gerçek Veriler İle Modelin Çalıştırılması

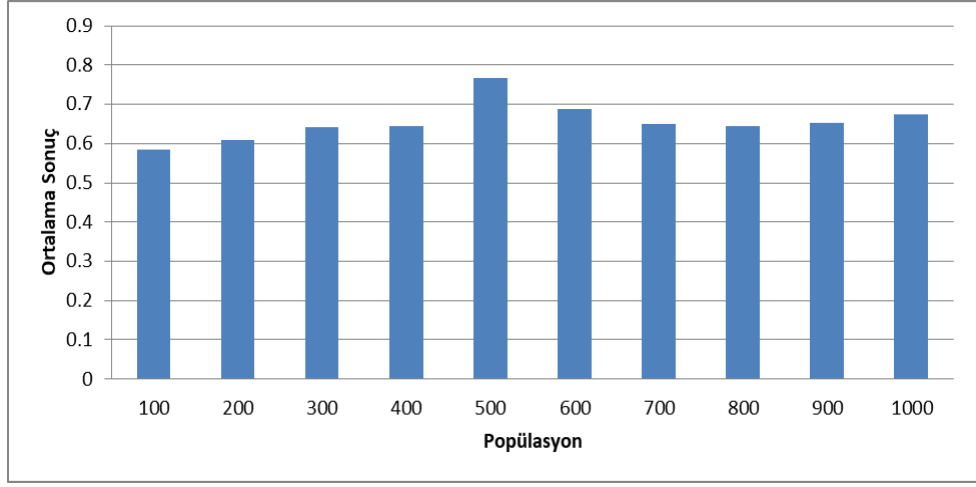
### 5.8.1. Modelin Çalıştırılması

Oluşturulan modelin kodlaması Microsoft Visual Basic for Applications 7.0 uygulaması ile gerçekleştirilmiştir. Modelin çalıştırılma sürecinde modelin döngü sayısına bağlı olarak Intel Core i7-8550U CPU 2.00 GHz 16 GB Ram 500 GB SSD - Windows 10 64 Bit özelliklerine sahip bilgisayar kullanılmıştır. Döngüleri farklı zamanlarda tamamlanabilmektedir. Modelin test aşaması için çalıştırılan döngü sayıları ve tekrar sayıları aşağıdaki tabloda görülmektedir. Tez için oluşturulan modelde her döngüde 50 tekrar olmak üzere 250, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750 ve 2000 döngü sayıları kullanılmıştır.

Döngü Sayısı	Tekrar Sayısı
2000	50
1750	50
1500	50
1250	50
1000	50
750	50
500	50
250	50

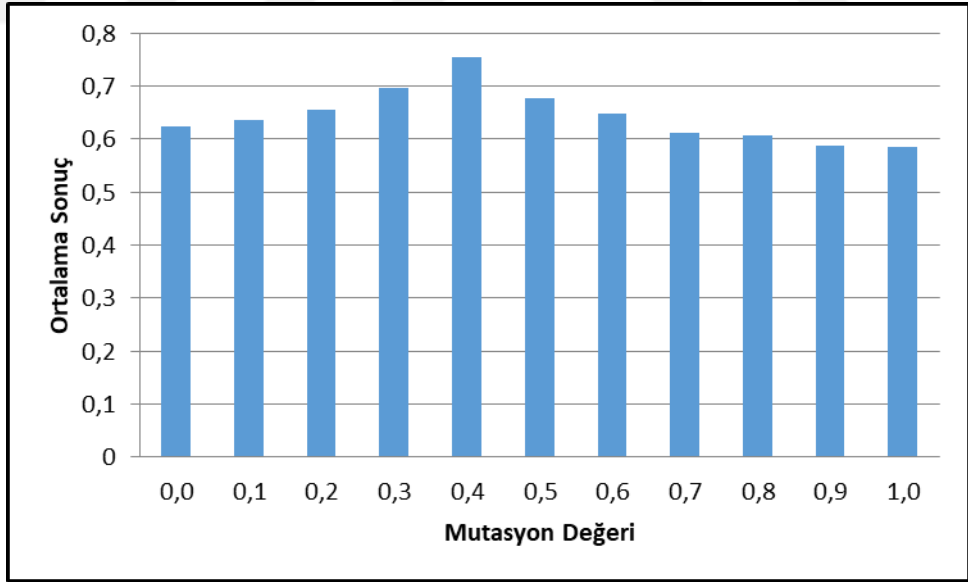
**Tablo 18:** Test aşaması için uygulanan döngü ve test sayıları

Tablo 19’da belirtilen parametrelerin belirlenebilmesi için öncelikli olarak en uygun popülasyon düzeyi belirlenmiştir. 500 popülasyon düzeyinde en yüksek ortalama sonuç olarak 0,766 değeri ortaya çıkmıştır. Şekil 5.17’de 250 döngü ve 0,05 mutasyon oranı için en uygun popülasyon değeri grafiklendirilmiştir.



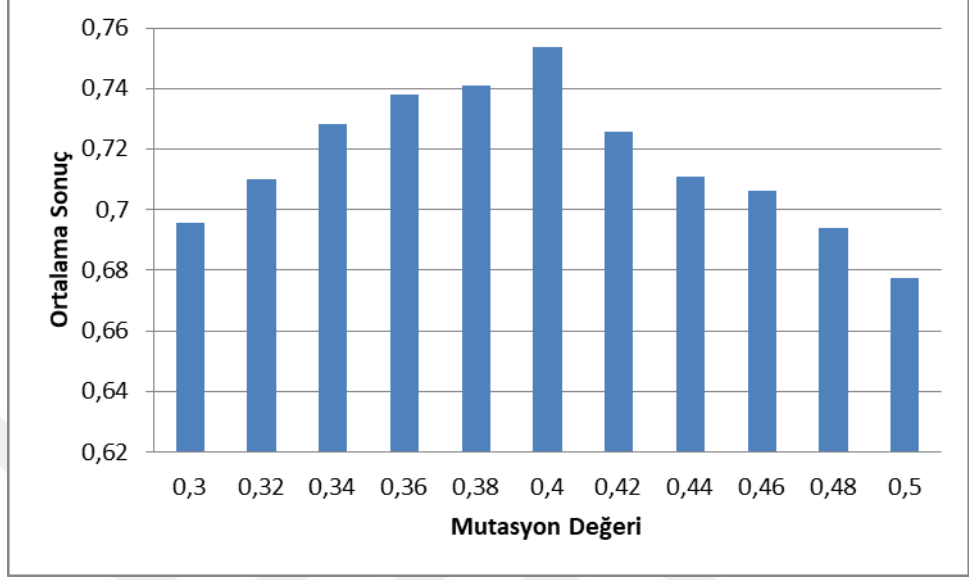
**Şekil 5.17:** Sonuç değerinin uygun popülasyon için gösterimi (250 döngü)

Mutasyon değerinin belirlenmesi için model 250 döngü ve 500 popülasyon ile çalıştırılmıştır. Şekil 5.18’de 0,00 ve 1,00 değerleri en uygun değer 0,4 oranında gerçekleşmiştir.



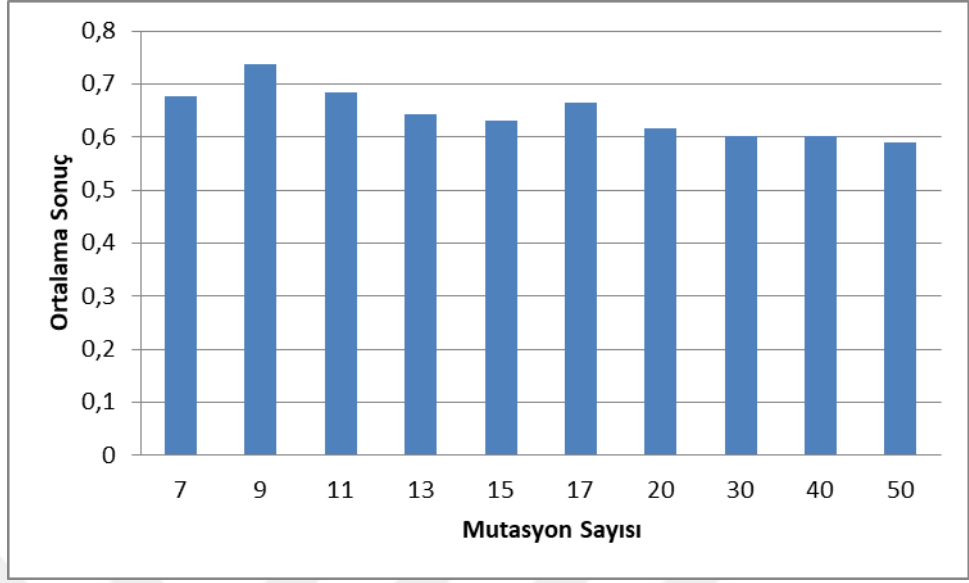
**Şekil 5.18:** Sonuç değerinin uygun mutasyon değeri için gösterimi (250 döngü - 500 popülasyon)

Şekil 5.19’da 0,3 ve 0,5 değerleri arasındaki mutasyon oranlarından en uygun değer bir önceki tabloda olduğu gibi 0,4 oranında gerçekleşmiştir.



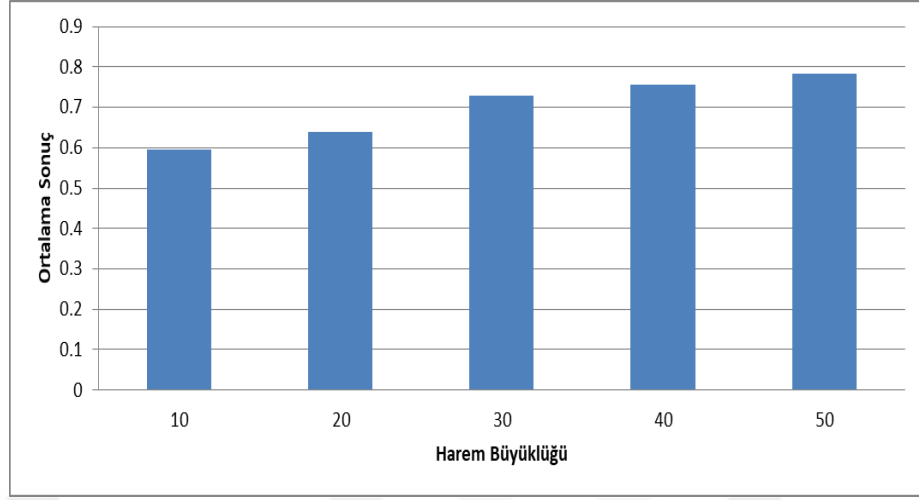
**Şekil 5.19:** Sonuç değerinin uygun mutasyon değeri için gösterimi (250 döngü - 500 popülasyon)

Mutasyon oranının belirlenmesinden sonra, mutasyon sayısı Şekil 5.20’de görüldüğü gibi en yüksek ortalama değere karşılık gelen sayı olan 9 olarak belirlenmiştir. Literatürde mutasyon oranı; popülasyondaki toplam birey sayısının yüzde kaçının mutasyona uğrayacağını ifade etmektedir. Çalışma kapsamında oluşturulan modelin farklılıkları göz önüne alındığında, literatürdeki hesaplamalara göre farklılıklar görülmektedir. Literatüdeki oranlarla karşılaştırılmak istenirse oluşturulan modelde her iterasyonda popülasyondaki toplam birey sayısının yaklaşık %1,6’sının mutasyona uğradığı söylenebilir.



**Şekil 5.20:** Sonuç değerinin uygun mutasyon sayısı için gösterimi (250 döngü - 500 popülasyon - 0,4 mutasyon oranı)

Şekil 5.21’de 250 döngü, 500 popülasyon, 0,4 mutasyon oranı ve 9 mutasyon değeri için ortaya çıkan en uygun harem büyüklüğü 30 olarak belirlenmiştir. Harem büyüklüğü olarak 30 değeri kullanılmasının bir diğer nedeni de zamanın optimize edilmek istenmesidir. Bu çalışmada bireylerin çaprazlama yönteminde kullanılan harem metodu nedeniyle her iterasyonda, lider birey, haremde yer alan bireyler ve yeni oluşturulan bireyler popülasyonu oluşturmaktadır. En uygun harem büyüklüğü 30 olarak belirlendiğinden her iterasyonda 61 birey yer almaktadır. Buna bağlı olarak, çaprazlama oranının %51 olduğunu belirtilebilir.



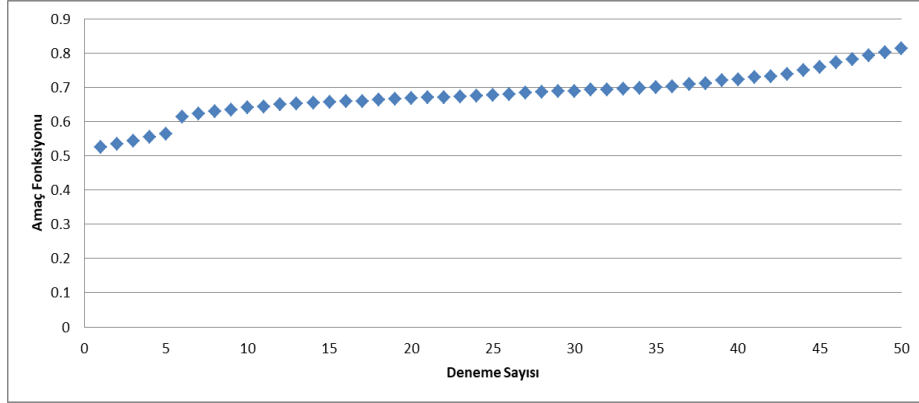
**Şekil 5.21:** Sonuç değerinin uygun harem büyüklüğü için gösterimi (250 döngü - 500 popülasyon - 0,4 mutasyon oranı)

### 5.8.2. Bulguların Değerlendirilmesi

Çözüm uzayında rastgele seçilen 500 kromozom ile başlangıç popülasyonu oluşturulmuştur. Çalışmada mutasyon oranı 0,40 olarak seçilmiştir. Uygulamanın etkinliğini test etmek amacıyla 250, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750 ve 2000 döngüden oluşan denemeler yapılmıştır. Daha önceki bölümde üzerinde durulduğu gibi çözüm değerleri 0-1 değerleri arasında ortaya çıkabilmektedir. En iyi çözüm değerinin 1 değerine yakın olması beklenmektedir.

#### 5.8.2.1. 250 Döngüde Ortaya Çıkan Sonuçlar

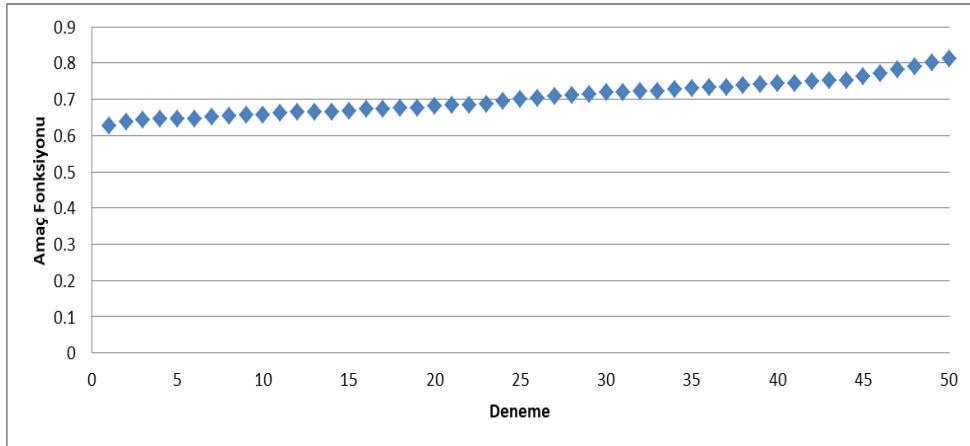
250 döngüye ait sonuçlar incelendiğinde, en iyi çözüm için değerinin 0,811 olduğu görülmektedir. Ortalama sonuç 0,678 ve ortalama çözüm süresi ise 38,2 dk. bulunmuştur. Bu döngüdeki denemeler için çözüm değerlerine bakıldığında en iyi çözüm değerinin 1'e yakın olduğu fakat diğer döngü denemelerine kıyasla daha düşük bir değer ortaya çıktığı söylenebilir. Şekil 5.22'de ise her bir denemeye ait sonuç değerleri görülmektedir.



**Şekil 5.22:** 250 döngüde 50 deneme için en iyi değerlerin gösterimi

### 5.8.2.2. 500 Döngüde Ortaya Çıkan Sonuçlar

500 döngüye ait sonuçlar incelendiğinde, en iyi çözüm için değerinin 0,812 olduğu görülmektedir. Ortalama sonuç 0,703 ve ortalama çözüm süresi ise 56,8 dk. bulunmuştur. Bu döngüdeki en iyi değer göz önüne alındığında bir önceki döngü ile aralarında devrimsel bir farklılığın olmadığı fakat ortalama sonuç değerinde yükselme görüldüğü söylenebilir. Şekil 5.23’de ise her bir denemeye ait sonuç değerleri görülmektedir.

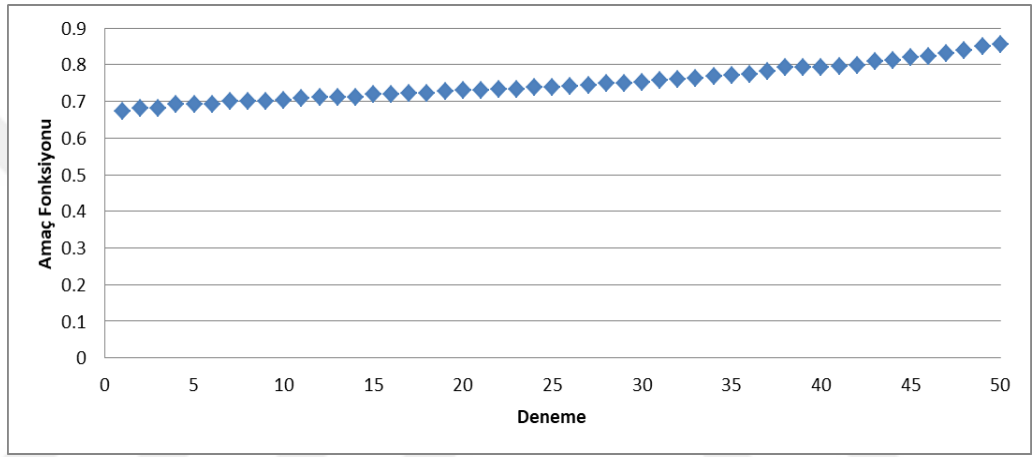


**Şekil 5.23:** 500 döngüde 50 deneme için en iyi değerlerin gösterimi



### 5.8.2.3. 750 Döngüde Ortaya Çıkan Sonuçlar

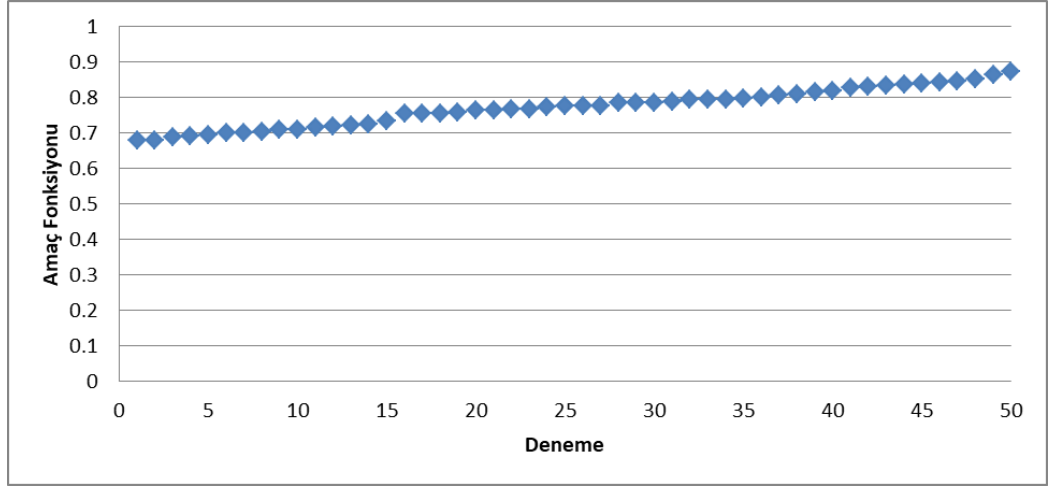
750 döngüye ait sonuçlar incelendiğinde, en iyi çözüm için değerinin 0,854 olduğu görülmektedir. Ortalama sonuç 0,749 ve ortalama çözüm süresi ise 76,4 dk. bulunmuştur. Bu döngüdeki en iyi çözüm değeri göz önüne alındığında bir önceki döngüye kıyasla 1'e daha yakın bir değer ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda ortalama çözüm süresinde ve ortalama sonuç değerlerinde de bir artış görülmektedir. Şekil 5.24'de ise her bir denemeye ait sonuç değerleri görülmektedir.



Şekil 5.24: 750 döngüde 50 deneme için en iyi değerlerin gösterimi

### 5.8.2.4. 1000 Döngüde Ortaya Çıkan Sonuçlar

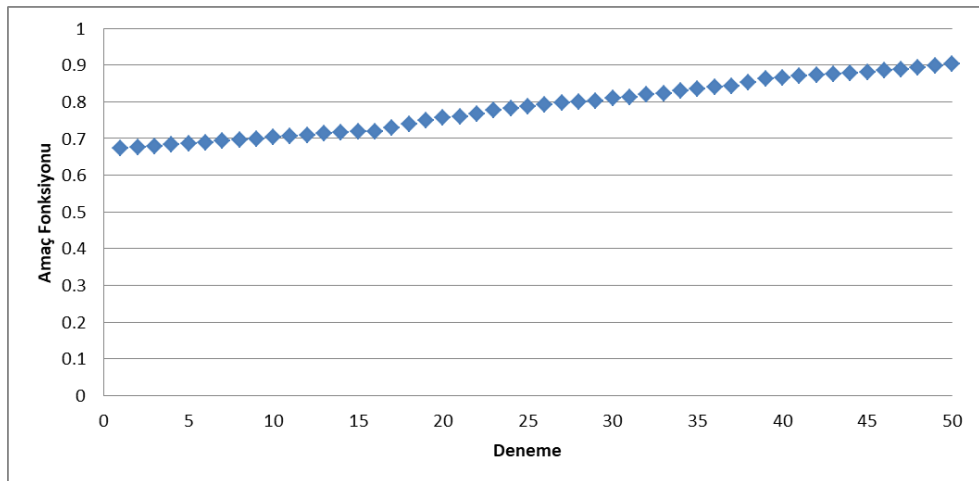
1000 döngüye ait sonuçlar incelendiğinde, en iyi çözüm için değerinin 0,872 olduğu görülmektedir. Ortalama sonuç 0,772 ve ortalama çözüm süresi ise 98,4 dk. bulunmuştur. Bu döngüdeki sonuçlar ele alındığında ise en iyi sonuç değerinde, ortalama sonuç değerlerinde ve ortalama çözüm sürelerinde önceki döngülere kıyasla yükselmeler meydana gelmiştir. Şekil 5.25'de ise her bir denemeye ait sonuç değerleri görülmektedir.



Şekil 5.25: 1000 döngüde 50 deneme için en iyi değerlerin gösterimi

#### 5.8.2.5. 1250 Döngüde Ortaya Çıkan Sonuçlar

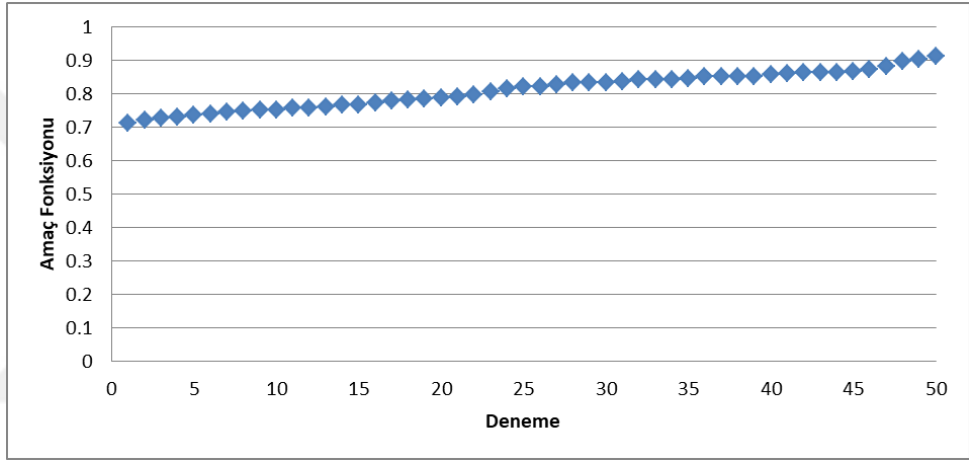
1250 döngüye ait sonuçlar incelendiğinde, en iyi çözüm için değerinin 0,891 olduğu görülmektedir. Ortalama sonuç 0,784 ve ortalama çözüm süresi ise 130,3 dk. bulunmuştur. Bu döngüdeki sonuçlara göre en iyi çözüm değerinin 1'e oldukça yaklaştığı söylenebilir. Buna karşı işletmenin zaman kısıtı dikkate alındığında ortalama çözüm süresinin makul zaman limitlerini aştığı dikkat çekmektedir. Şekil 5.26'da ise her bir denemeye ait sonuç değerleri görülmektedir.



Şekil 5.26: 1250 döngüde 50 deneme için en iyi değerlerin gösterimi

#### 5.8.2.6. 1500 Döngüde Ortaya Çıkan Sonuçlar

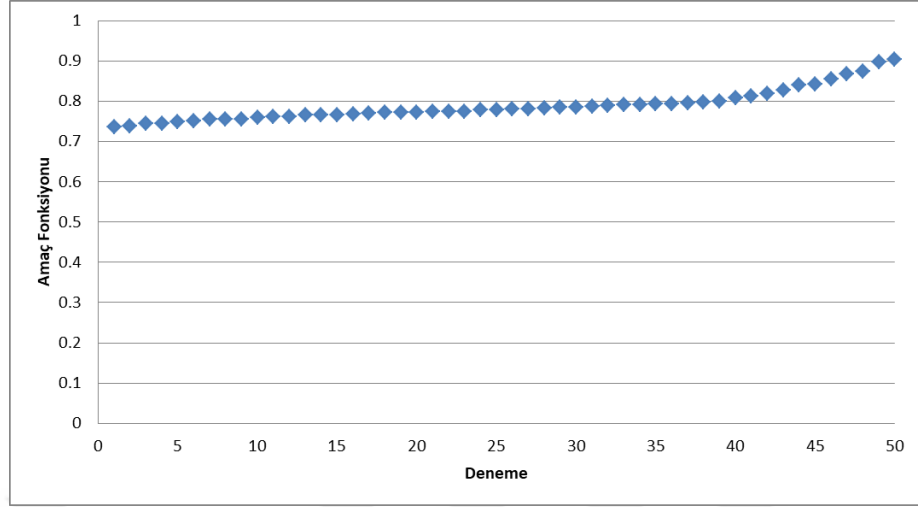
1500 döngüye ait sonuçlar incelendiğinde, en iyi çözüm için değerinin 0,902 olduğu görülmektedir. Ortalama sonuç 0,788 ve ortalama çözüm süresi ise 162,3 dk. bulunmuştur. Bu döngüdeki sonuçlara göre en iyi çözüm değerinin önceki döngü değerlerine kıyasla 1'e daha yakın söylenebilir. Fakat bir önceki döngüdeki çözüm süresine benzer şekilde makul süreler kapsamında bakıldığında bu döngünün süre limitlerini aştığı yorumu yapılabilir. Şekil 5.27'de ise her bir denemeye ait sonuç değerleri görülmektedir.



Şekil 5.27: 1500 döngüde 50 deneme için en iyi değerlerin gösterimi

#### 5.8.2.7. 1750 Döngüde Ortaya Çıkan Sonuçlar

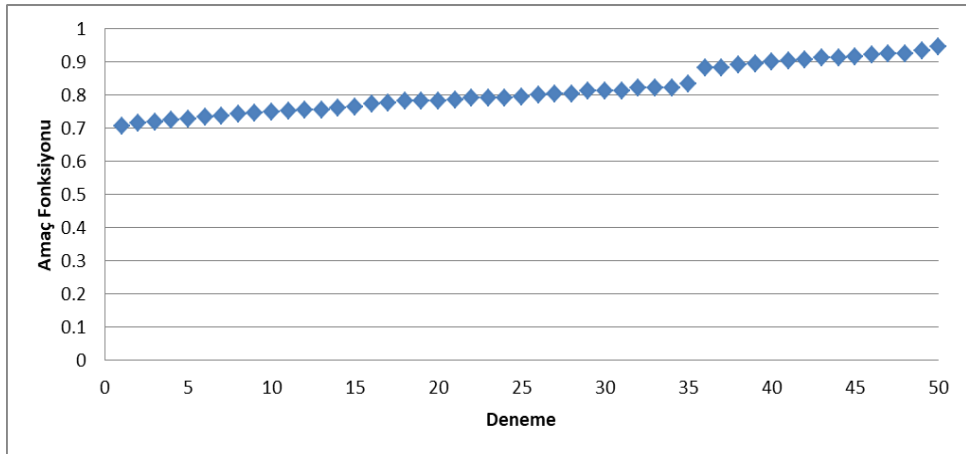
1750 döngüye ait sonuçlar incelendiğinde, en iyi çözüm için değerinin 0,904 olduğu görülmektedir. Ortalama sonuç 0,808 ve ortalama çözüm süresi 198,9 dk. bulunmuştur. Sonuçlar değerlendirildiğinde en iyi çözüm değerinin 1 değerine oldukça yaklaştığı görülmektedir. Şekil 5.28'de ise her bir denemeye ait sonuç değerleri görülmektedir.



**Şekil 5.28:** 1750 döngüde 50 deneme için en iyi değerlerin gösterimi

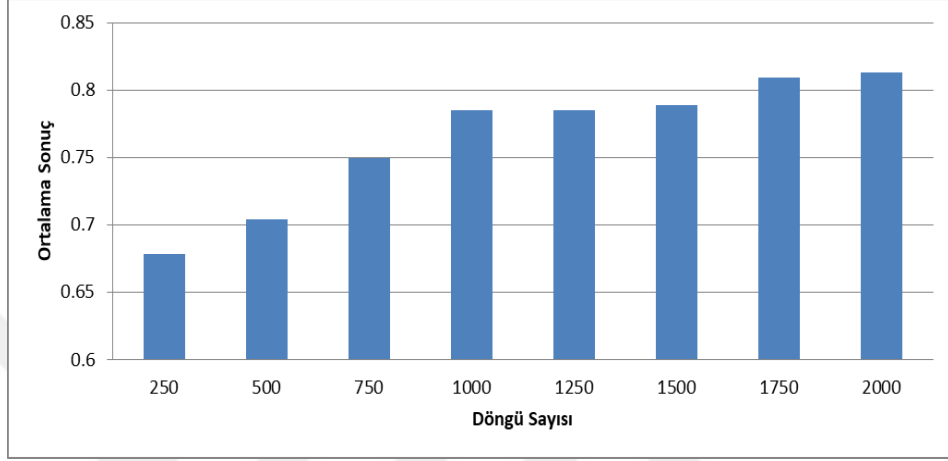
#### 5.8.2.8. 2000 Döngüde Ortaya Çıkan Sonuçlar

2000 döngüye ait sonuçlar incelendiğinde, en iyi çözüm için değer 0,943 olduğu görülmektedir. Ortalama sonuç 0,813 ve ortalama çözüm süresi ise 238,3 dk. bulunmuştur. Sonuçlar değerlendirildiğinde bu döngüdeki en iyi çözüm değerinin diğer döngülere göre en yüksek değeri elde ettiği görülmektedir. Şekil 5.29'da ise her bir denemeye ait sonuç değerleri görülmektedir.



**Şekil 5.29:** 2000 döngüde 50 deneme için en iyi değerlerin gösterimi

Yukarıdaki döngü denemelerinin sonuçları dikkate alındığında Şekil 5.30’da görülebileceği gibi en uygun döngü sayısı olarak 1000 döngü belirlenmiştir. 1000 döngüden sonraki döngülerde ortaya çıkan ortalama sonuç değerlerinde, devrimsel farklılıkların olmaması nedeniyle döngü sayısı 1000 olarak kabul edilmiştir.



**Şekil 5.30:** Ortalama sonuç değerlerinin döngü sayıları için gösterimi (500 popülasyon - 0,4 mutasyon oranı - 30 harem büyüklüğü - 9 mutasyon sayısı)

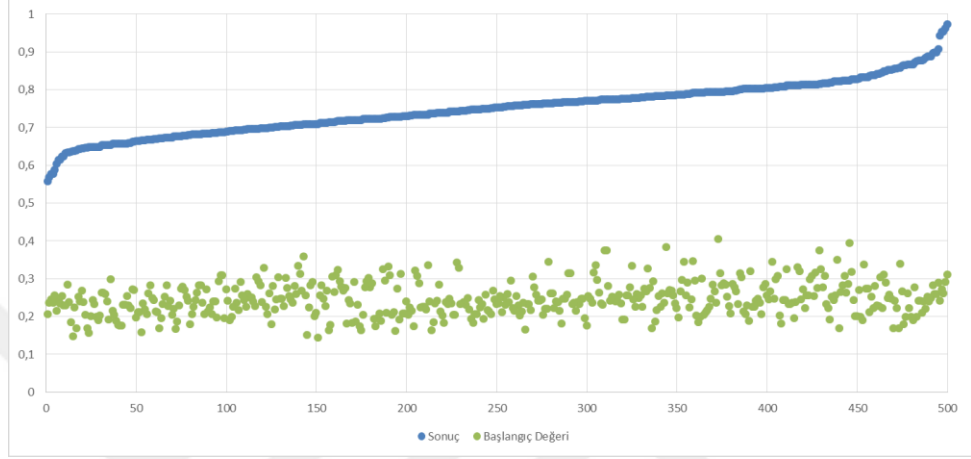
Denemelerde ortaya çıkan sonuçlar kapsamında 1000 döngü, 500 popülasyon düzeyi, 30 harem büyüklüğü, 0,40 mutasyon oranı ve 9 mutasyon sayısı için 500 deneme gerçekleştirilmiştir. Model için kullanılan parametrik veriler Tablo 19’da görülmektedir.

Parametrik Veriler	Değerler
Döngü Sayısı	1000
Başlangıç Popülasyonu Birey Sayısı	500
Harem Büyüklüğü	30
Mutasyon Oranı	0,40
Mutasyon Sayısı	9

**Tablo 19:** Uygulamaya ait parametrik veriler

### 5.8.2.9. 1000 Döngü ve 500 Denemede Ortaya Çıkan Sonuçlar

1000 döngü ve 500 denemeye ait sonuçlar incelendiğinde, en iyi çözüm için değer 0,972 olduğu görülmektedir. Ortalama sonuç 0,749 ve ortalama çözüm süresi ise 102,7 dk. bulunmuştur. Şekil 5.31’de ise her bir denemeye ait sonuç değerleri görülmektedir.



Şekil 5.31: Başlangıç ve sonuç değerlerinin 500 deneme için gösterimi (1000 döngü)

Bu sonuçlar dikkate alındığında, 1000 döngüde ortaya çıkan değer 1 değerine oldukça yaklaşmıştır. Daha önce de belirtildiği gibi, sonuç çözümlerinin bir değerine yaklaşması, ürünlerin en uygun şekilde lokasyonlara yerleşmesi anlamına gelmektedir. Bu döngüde ortaya çıkan değer ile atanacak ürünlerin depo lokasyonlarına en uygun şekilde atanabildiği tespit edilmiştir. Ortalama çözüm süreleri açısından bakıldığında ise makul sürelerde bir çözüm süresinin ortaya çıktığı ve işletme için uygulanabilecek bir süre aralığında olduğu yorumu yapılabilir.

## SONUÇ

Günümüzde işletmeler müşteri memnuniyetini ve rekabetçi yapılarını belli bir seviyede tutmak için çeşitli işletme faaliyetlerini etkin bir şekilde kullanmak durumunda kalmaktadırlar. İşletme maliyetleri içerisinde lojistik maliyetlerin büyük bir paya sahip olması nedeni ile işletmeler hem maliyetlerin düşürülmesi hem de müşteri memnuniyetinin üst seviyede tutulması amacıyla lojistik yapılarını optimize etme ihtiyacı hissetmişlerdir. Lojistik faaliyetler içerisinde kritik bir önem sahip olan depolama faaliyeti ise hem maliyet hem de tedarik zinciri içerisindeki ürün akışının devamlılığı açısından büyük önem taşımaktadır. Depolama faaliyetleri kapsamında sipariş atama, sipariş toplama gibi faaliyetlerin lojistik servis sağlayıcıları bakımından hem verimlilik hem de maliyet bakımından önemli bir karar mekanizması noktasıdır.

Depo performansını etkileyen faktörlerden depo tasarımı ve operasyonları kapsamında depoya gelen ürünlerin yerleşiminin işletme ve müşteri ihtiyaçlarına göre yapılması, bu işlemden sonra gerçekleştirilen operasyonların da performansını etkilemektedir. Bu anlamda literatürde *depo lokasyon atama problemi* (DLAP) olarak adlandırılan ve atama problemleri içerisinde yer alan bu problem yapısı içerisinde depo ve ürün yapısına göre ürünlerin en uygun lokasyonlara yerleşimi gerçekleştirilmeye çalışılmıştır.

Depo lokasyon atama problemi, karmaşıklığı arttıkça çözüme ulaşılması zorlaşan bir optimizasyon problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sebeple de karmaşık yapıdaki optimizasyon problemlerinin çözümlerinde metasezgisel yöntemler kullanılmaktadır.

Tez kapsamında genetik algoritma yönteminin performansını arttırdığı daha önce farklı bilimsel çalışmalarda test edilmiş harem yöntemi genetik algoritma ile birleştirilerek kullanılmıştır. Literatürde depo lokasyon atama probleminin çözümü için kullanılan az sayıda çalışma olmasına karşı, bu iki yöntemi içeren bir problem yapısı bulunmamaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışmanın bu yönüyle de ilgili alana katkı sağlaması beklenmektedir. Çalışmada ele alınan otomatik depolama sistemi çok derinlikli bir yapıya ve farklı depo raf yüksekliklerine sahiptir. Ayrıca ataması

gerçekleştirilecek ürünlerin rafta kalma süreleri ve yükseklikleri de farklılıklar göstermektedir. Bu anlamda çalışmada ele alınan diğer kriterlerle beraber bu kriterlerin de kullanılması çalışmayı literatürdeki problemlerden ve uygulamalardan farklı kılmaktadır. Çalışmanın literatüre olan bir diğer katkısı da depo yönetim sistemi içerisinde ortaya çıkan büyük verinin de veri madenciliği kapsamında değerlendirilerek, ürün bazlı birliktelik kuralları ile ürün ve koridor eşleşmelerinin sağlanmasıdır. Model kapsamında özellikle son yıllarda oldukça önem verilen veri madenciliği kapsamında ürün birlikteliklerinin de kullanılmış olması probleme olan yaklaşım yöntemi farklı kılmaktadır. Bu sayede ürün çekme operasyonlarının hızlandırılması ile müşteri memnuniyetinin artırılması planlanmıştır.

Uygulama kapsamında kendi sektöründe öncü bir lojistik hizmet sağlayıcısının verileri kullanılmıştır. Bahsi geçen OD/ÇS yapısında farklı boyutlarda 5 katlı bir yapıda, 9600 palet kapasitesi, 4 koridor ve 400'den fazla ürün çeşidinin olduğu bir yapı ele alınmıştır.

Önerilen model 50 denemede 250, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750 ve 2000 döngülerde çalıştırılmıştır. Ayrıca model 500 denemede 1000 döngü için çalıştırılarak sonuçlar elde edilmiştir. En iyi sonucun 0,97218 olduğu tespit edilmiştir. Uygulamaların zaman bakımından kabul edilebilir sürelerde çözüme ulaşması ile beraber, çeşitli kod optimizasyonları, veri tabanı iyileştirmeleri ve farklı programlama yöntemleri ve donanım yapıları kullanarak ortaya çıkan süreleri azaltmak mümkün olabilecektir.

Çalışmada bahsedilen yapıda bir otomatik depolama ve çekme sistemine sahip işletmelerin ve özellikle lojistik hizmet sağlayıcılarının makul sürelerde önerilen modeli kullanarak rafta kalma süreleri, farklı ürün yükseklikleri ve birliktelik anaziline dayalı ürün-koridor eşleşmesi gibi kriterlerin ve ilgili kısıtların sağlanarak operasyonel anlamda kullanılabilir bir karar destek mekanizması oluşturmaları mümkündür. Özellikle ürün çekme ve sistem içindeki ürün yer değiştirme operasyonlarının en verimli şekilde yürütülmesi için ürün atama kararlarının uygulanabilir olması gerekmektedir.

Yönetimsel kararlar bakımından sonuçlar ele alındığında ise, çalışmanın özellikle tedarik zincirleri içinde önemli bir odak noktası olan müşteri memnuniyetinin



sağlanması noktasında katkıları olması beklenmektedir. Sisteme giren ürünlerin en uygun lokasyonlara yerleştirilme operasyonu, sonraki operasyon olan ürün çekme işlemini doğrudan etkilemektedir. Ayrıca, ürünlerin sistem içerisinde rafta kalma sürelerinin göz ardı edilmelerinden dolayı sık hareket görmeleri de verimsizliklere yol açmaktadır. Bu sebeple, önerilen modelin ürünlerin atanması esnasında en uygun lokasyonlara yerleşmesi amacı sonraki operasyonların verimliliklerini de etkileyebileceği söylenebilir. Modelin en iyi sonuçlarına ve ortalama sonuç değerlerine bakıldığında ise, ürünlerin yüksek oranda en uygun lokasyonlara yerleşiminden bahsetmek mümkündür.

Gelecek çalışmalarda, modelin farklı sezgisel ve metasezgisel yöntemler ile kıyaslanması ve bu kıyaslamalara göre çeşitli geliştirmeler yapılabilmesi mümkündür. Ayrıca, farklı depo yapıları ve farklı ürün yapıları ve farklı kısıtlar ve varsayımlar altında çeşitli bilimsel çalışmalar ile modelin performansına dair sonuçlar elde edilebilecektir. Bunun yanında makine öğrenimi gibi araçlar ile işletme verisi analiz edilerek farklı değişkenler, farklı kurallar elde edilebilir. Uygulama kapsamındaki yapının boyutlarının ve ürün çeşitlerinin artırılması neticesinde de uygun sürelerde ve etkin bir şekilde ürünlerin otomatik bir depo sistemi içinde en uygun yere atmasının gerçekleştirilebileceği ortaya konmakla beraber, çalışma kapsamında uygulanan parametrik verilerin farklı kombinasyonlarla ve farklı değerlerle çalıştırılması ile farklı sonuçlar elde edilebilecektir. Bu kapsamda bilimsel çalışmalar planlanabilir ve değiştirilen verilerle birlikte modelin performansına dair etkiler ortaya çıkartılabilecektir.

## KAYNAKÇA

1. Abed, M. H., & Alicia, Y. (2013). Hybridizing Genetic Algorithm and Record-to-Record Travel Algorithm for Solving Uncapacitated Examination Timetabling Problem. *Electronic Journal of Computer Science and Information Technology: eJCIST*, 4(1).
2. Acar E. (2010). *Depolama ve depo yönetimi*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
3. Ackerman, K. B. (1997). *Practical handbook of warehousing*. USA: Springer Science & Business Media.
4. Ackoff, R. L. (1974). *Redesigning the future*. New York: Wiley.
5. Ackoff, R. L. (1972). A Note on Systems Science, *Interfaces*, 2(4), 40-41.
6. Ackoff, R. L. & Rivett, P. (1964), *A Manager' guide to operations research*. 2nd ed. New York: Wiley.
7. Agrawal, R., Imielinski T., & Swami A. (1993). *Mining Association Rules between Sets of Items in Large Databases*. ACM SIGMOD Conference, 254–259. Washington DC, USA
8. Amato, F., Basile, F., Carbone, C. ve Chiacchio, P. (2005). An approach to control automated warehouse systems. *Control Engineering Practice*, 13(10), 1223-1241.
9. Akal Z., (2000). *İşletmelerde performans ölçüm ve denetimi*. Ankara: Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları No: 473.
10. Ariño, M. A., & Franses, P. H. (2000). Forecasting the levels of vector autoregressive log-transformed time series. *International Journal of Forecasting*, 16(1), 111-116.
11. Ashayeri, J., Heuts, R. M., Valkenburg, M. W. T., Veraart, H. C. ve Wilhelm, M. R. (2002). A geometrical approach to computing expected cycle times for zone based storage layouts in AS/RS. *International Journal of Production Research*, 40(17), 4467-4483.
12. Ashayeri, J., Strijbosch, L., Jacobs, E. & Van Asten, L. (1998). Redesigning storage assignment and order-picking policies of a mini-load AS/RS system: A case study. *Progress in Material Handling Research: 1998*, 61-85.

13. Asokan, P., Jerald, J., Arunachalam, S. & Page, T. (2008). Application of adaptive genetic algorithm and particle swarm optimisation in scheduling of jobs and AS/RS in FMS. *International Journal of Manufacturing Research*, 3(4), 393-405.
14. Atmaca, E., & Öztürk, A. (2013a). Defining order picking policy: A storage assignment model and a simulated annealing solution in AS/RS systems. *Applied Mathematical Modelling*, 37(7), 5069-5079.
15. Atmaca, E., & Öztürk, A. (2013b). Literatür Araştırması: Sipariş Toplama Politikaları ve Otomatik Depolama ve Boşaltma Sistemleri (AS/RS). *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2(2), 120-134.
16. Atz, T., Lantschner, D., & Günthner, W. A. (2013). *Simulative throughput calculation for storage planning*. The International Workshop on Applied Modelling and Simulation WAMS 2013.
17. Aydoğdu, Ö. (2006). *Fırçasız doğru akım motorlarının genetik tabanlı bulanık denetleyici ile sensörsüz kontrolü* (Yayımlanmamış Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya).
18. Ballou, R. H. (2006). The evolution and future of logistics and supply chain management. *Production*, 16(3), 375-386.
19. Bilişik, M. T. (2011). *Destek Vektör Makinesi, Çoklu Regresyon Ve Doğrusal Olmayan Programlama İle Perakendecilik Sektöründe Gelir Yönetimi İçin Dinamik Fiyatlandırma*. XI. Üretim Araştırmaları Sempozyumu. İstanbul
20. 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.
21. Bottani E., Montanari R., Rinaldi M., & Vignali G. (2015) Intelligent algorithms for warehouse management. In Kahraman C., Çevik Onar S. (Eds) *Intelligent Techniques in Engineering Management*. Intelligent Systems Reference Library, vol 87. Springer, Cham
22. Boysen, N., & Stephan, K. (2016). A survey on single crane scheduling in automated storage/retrieval systems. *European Journal of Operational Research*, 254(3), 691-704.

23. Bozer, Y. A., & White, J. A. (1984). Travel-time models for automated storage/retrieval systems. *IIE transactions*, 16(4), 329-338.
24. Brezovnik, S., Gotlih, J., Balič, J., Gotlih, K., & Brezočnik, M. (2015). Optimization of an automated storage and retrieval systems by swarm intelligence. *Procedia Engineering*, 100, 1309-1318.
25. Breedam, A. V. (2001). Comparing Descent Heuristics and Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem. *Computers & Operations Research* 28 (4), 289–315.
26. Bowersox, D.J., Closs, D.J. & Cooper M. B. (2002). Supply chain logistics management. The McGraw-Hill Companies.
27. Bowersox, D. J., Closs, D. J. & Stank, T. P. (2000). Ten mega-trends that will revolutionize supply chain logistics. *Journal of business logistics*, 21(2), 1.
28. Bolat, B., Erol, K.O. & İmrak, C.E. (2004): Genetic Algorithms in Engineering Applications and the Function of Operation. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 2004/4, 264-271
29. Blum, C. (2005). Ant colony optimization: Introduction and recent trends. *Physics of Life reviews*, 2(4), 353-373.
30. Büyük Larousse Sözlük ve Ansiklopedisi (1998), İstanbul
31. Carlo, H. J., & Giraldo, G. E. (2010). Optimizing the rearrangement process in a dedicated warehouse. *Progress in Material Handling Research*, 39-48.
32. Carlo, H. J., & Giraldo, G. E. (2012). Toward perpetually organized unit-load warehouses. *Computers & Industrial Engineering*, 63(4), 1003-1012.
33. Chen, L., Langevin, A., & Riopel, D. (2010). The storage location assignment and interleaving problem in an automated storage/retrieval system with shared storage. *International Journal of Production Research*, 48(4), 991-1011.
34. Chen, L., Langevin, A., & Riopel, D. (2011). A tabu search algorithm for the relocation problem in a warehousing system. *International Journal of Production Economics*, 129(1), 147-156.
35. Chetty, O. K., & Reddy, M. S. (2003). Genetic algorithms for studies on AS/RS integrated with machines. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 22(11-12), 932-940.

36. Checkland, P. (1981), *Systems thinking, systems practice*, Chichester: Wiley.
37. Chiang, D. M. H., Lin, C. P., & Chen, M. C. (2011). The adaptive approach for storage assignment by mining data of warehouse management system for distribution centres. *Enterprise Information Systems*, 5(2), 219-234.
38. Chopra S., & Meindl P., (2007). *Supply chain management: Strategy, planning, and operation*. Pearson.
39. Churchman, C. W. (1979), *The systems approach*, 2nd ed, New York: Dell.
40. Çevik, O. (2006). Tam sayılı doğrusal programlama ile işgücü planlaması ve bir uygulama. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(1), 157-171.
41. 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.
42. Coyle, J. J., Bardi, E. J., & Langley, C. J. (1996). *The management of business logistics*. MN: West: St. Paul.
43. Christopher, M. (2011). *Logistics & supply chain management*. UK: Pearson.
44. Çancı, M. & Erdal M., (2009). *Lojistik yönetimi*. İstanbul: UTİKAD, 3. Baskı,
45. Çiçekli U.G. (2012) *Çok Kriterli Dağıtım Rotası Probleminin Melez Bir Model İle Optimizasyonu* (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Ege Üniversitesi, İzmir.
46. Çoban, O. (2007). Türk Otomotiv Sanayiinde Endüstriyel Verimlilik Ve Etkinlik. *Erciyes Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* (29).
47. De Koster, R., 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.
48. Dikmen, H., Dikmen, H., Elbir, A., Ziya, E. K. Ş. İ., & Çelik, F. (2014). Gezgin satıcı probleminin karınca kolonisi ve genetik algoritmalarla eniyilemesi ve karşılaştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(1).
49. Dimitris N.. Chorafas. (1974). *Warehousing: Planning, Organising and Controlling the Storage and Distribution of Goods*. Macmillan.

50. Dorigo, M., & Blum, C. (2005). Ant colony optimization theory: A survey. *Theoretical computer science*, 344(2-3), 243-278.
51. Eben-Chaime, M. (1992). Operations sequencing in automated warehousing systems. *The International Journal of Production Research*, 30(10), 2401-2409.
52. Eiben, A.E., & Smith, J.E., (2003). *Introduction to Evolutionary Computing*. Berlin: Springer-Verlang Heidelberg.
53. Egas, C., & Masel, D. (2010). *Determining warehouse storage location assignments using clustering analysis*. 11th IMHRC Proceedings, Milwaukee, Wisconsin. USA.
54. Ekren, B. Y. (2011). Performance evaluation of AVS/RS under various design scenarios: a case study. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 55(9-12), 1253-1261.
55. Ekren, B. Y., Heragu, S. S., Krishnamurthy, A. & Malmborg, C. J. (2010). Simulation based experimental design to identify factors affecting performance of AVS/RS. *Computers & Industrial Engineering*, 58(1), 175-185.
56. Emerson, S. S. (2014). Use of Ratios and Logarithms in Statistical Regression Models.
57. Esbensen, H. (1995). Computing near-optimal solutions to the Steiner problem in a graph using a genetic algorithm. *Networks*, 26(4), 173-185.
58. Eynan, A., & Rosenblatt, M. J. (1994). Establishing zones in single-command class-based rectangular AS/RS. *IIE transactions*, 26(1), 38-46.
59. Fard, A.M.F. & Hajiaghahi-Keshteli, M. (2016). *Red deer algorithm (RDA); a new optimization algorithm inspired by red deer's mating*. International Conference on Industrial Engineering, IEEE., 33-34.
60. Frazelle E., (2002) *Supply chain strategy: The logistics of supply chain management*. USA: McGraw Hill.
61. Gagliardi, J. P., Renaud, J., & Ruiz, A. (2012). Models for automated storage and retrieval systems: a literature review. *International Journal of Production Research*, 50(24), 7110-7125.

62. Gagliardi, J. P., Renaud, J., & Ruiz, A. (2014). A simulation modeling framework for multiple-aisle automated storage and retrieval systems. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 25(1), 193-207.
63. Gen M. & Cheng R. (2000), *Genetic algorithms and engineering optimization*, John Wiley & Sons, Inc.
64. Ghianni, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2004). *Introduction to logistics systems management*. John Wiley & Sons.
65. Graves, S. C., Hausman, W. H., & Schwarz, L. B. (1977). Storage-retrieval interleaving in automatic warehousing systems. *Management science*, 23(9), 935-945.
66. Gu, J., Goetschalckx, M., & McGinnis, L. F. (2007). Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European journal of operational research*, 177(1), 1-21.
67. Guenov, M. D. (1990). *An investigation into efficient multiple command order picking in high bay narrow aisle warehouses* (Yayınlanmamış doktora tezi) Napier Polytechnic of Edinburgh.
68. Guenov, M., & Raeside, R. (1992). Zone shapes in class based storage and multicommand order picking when storage/retrieval machines are used. *European Journal of Operational Research*, 58(1), 37-47.
69. Gnanavelbabu, A., Jerald, J., Noorul Haq, A., & Asokan, P. (2009). *Multi objective scheduling of jobs, AGVs and AS/RS in FMS using artificial immune system*. National conference on Emerging trends in Engineering and Sciences (229-239).
70. Guezzen, A. H., Sari, Z., Castagna, P., & Cardin, O. (2013). Travel Time Modeling and Simulation of a Mobile Racks Automated Storage/Retrieval System. *International Journal of Engineering and Technology*, 5(3), 420.
71. Günal, A., Grajo, E. S. & Blanck, D. (1993). *Generalization of an AS/RS model in SIMAN/CIMENA*. 25th conference on Winter simulation (857-865).
72. Goetschalckx, M. & Ratliff, H. D. (1990). Shared storage policies based on the duration stay of unit loads. *Management Science*, 36(9), 1120-1132.

73. Groover, M. P. (2001). *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing* (2nd ed.). Prentice-Hall.
74. Glover, F. (1986). Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. *Computers & operations research*, 13(5), 533-549.
75. Görener A., (2012) *Depolama Sistemlerinde Sipariş Toplama İşlemlerinin Optimizasyonu* (Yayınlanmamış doktora tezi). İstanbul Üniversitesi, İstanbul
76. Hackman, S. T., Rosenblatt, M. J. (1990). Allocating items to an automated storage and retrieval system. *IIE transactions*, 22(1), 7-14.
77. Han, J. & Kamber, M., (2006), *Data Mining Concepts and Techniques*. Morgan Kauffmann Publishers Inc.. 1-35.
78. Herrera, F., Lozano, M., & Verdegay, J. L. (1998). Tackling real-coded genetic algorithms: Operators and tools for behavioural analysis. *Artificial intelligence review*, 12(4), 265-319.
79. Hausman, W. H., Schwarz, L. B. & Graves, S. C. (1976). Optimal storage assignment in automatic warehousing systems. *Management science*, 22(6), 629-638.
80. Heskett J.L. (1963) Cube-per-order index - a key to warehouse stock location. *Transportation and Distribution Management*. 27–31,.
81. Heskett, J. L., Glaskowsky, N. A. & Ivie, R. M. (1973). *Business logistics*, Ronald Press Company.
82. Ho, S. S. & Sarma, S. (2009). *The fragmented warehouse: Location assignment for multi-item picking*. 2nd International Logistics and Industrial Informatics, (pp. 1-6).
83. Hompel, M., & Schmidt, T. (2007). *Warehouse management: automation and organisation of warehouse and order picking systems*. Springer Science & Business Media.
84. Holland, J.H., (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press, Ann Arbor, MI.
85. Hou, J. L., Wu, Y. J. & Yang, Y. J. (2010). A model for storage arrangement and re-allocation for storage management operations. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 23(4), 369-390.



86. Hu, Y. H., Huang, S. Y., Chen, C., Hsu, W. J., Toh, A. C., Loh, C. K., & Song, T. (2005). Travel time analysis of a new automated storage and retrieval system. *Computers & Operations Research*, 32(6), 1515-1544.
87. Hsieh, S., & Tsai, K. C. (2001). A BOM oriented class-based storage assignment in an automated storage/retrieval system. *The international journal of advanced manufacturing technology*, 17(9), 683-691.
88. Hwang, H., & Lee, S. B. (1990). Travel-time models considering the operating characteristics of the storage and retrieval machine. *The International Journal of Production Research*, 28(10), 1779-1789.
89. İlkuçar, M., & Güngör, İ. (2019). The optimization of medicus assignment problem through genetic algorithm. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 10(24), 236-261.
90. Jang, J. S. R., Sun, C. T., & Mizutani, E. (1997). Neuro-fuzzy and soft computing-a computational approach to learning and machine intelligence [Book Review]. *IEEE Transactions on automatic control*, 42(10), 1482-1484.
91. Jawahar, N., Aravindan, P. & Ponnambalam, S. G. (1998). Optimal random storage allocation for an AS/RS in an FMS. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 14(2), 116-132.
92. Jaikumar, R. & Solomon, M. M. (1990). Dynamic operational policies in an automated warehouse. *IIE transactions*, 22(4), 370-376.
93. Jessop, D. & Morrison, A. (1994). *Storage and Supply of Materials: Inbound Logistics for Commerce, Industry and Public Undertakings*. Pitman Publ.
94. Jones T. C. & Riley D. W., (1985). Using Inventory for Competitive Advantage through Supply Chain Management, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 15(5), 16 – 26.
95. Karakaş, B., & Ak, R. (2003). Kamu Yönetiminde Performans Yönetimi Önemli midir?. *Kamu Yönetiminde Kalite*, 3, 337-351.
96. Keskindürk, T., (2006). *Permütasyon Kodlamalı Genetik Algoritmada Operatörlerin Etkinliklerinin Araştırılması*, VI. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 179 İstanbul, s. 225-231.

97. Keskindürk, T., Topuk, N., & Özyeşil, O. (2015). Araç Rotalama Problemleri ve Çözüm Yöntemleri. *İşletme Bilimi Dergisi*, 3(2), 77-107.
98. Kim, J., Seidmann, A. (1990). A framework for the exact evaluation of expected cycle times in automated storage systems with full-turnover item allocation and random service requests. *Computers & Industrial Engineering*, 18(4), 601-612.
99. Kim, K. H., & Park, K. T. (2003). Dynamic space allocation for temporary storage. *International Journal of Systems Science*, 34(1), 11-20.
100. Kirkpatrick, S. (1984). Optimization by simulated annealing: Quantitative studies. *Journal of statistical physics*, 34(5-6), 975-986.
101. Khojasteh, Y., & Son, J. D. (2016). A travel time model for order picking systems in automated warehouses. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 86(5-8), 2219-2229.
102. Kofler, M. (2015). *Optimising the storage location assignment problem under dynamic conditions*. (Yayınlanmamış doktora tezi). Johannes Kepler University, Linz.
103. Kofler, M., Beham, A., Wagner, S., Affenzeller, M., & Reitingner, C. (2010). *Reassigning storage locations in a warehouse to optimize the order picking process*. 22th European Modeling and Simulation Symposium EMSS (pp. 77-82).
104. Kofler, M., Beham, A., Wagner, S., Affenzeller, M., & Achleitner, W. (2011). *Re-warehousing vs. healing: Strategies for warehouse storage location assignment*. 3rd IEEE International Symposium on Logistics and Industrial Informatics (LINDI), pp. 77-82. IEEE.
105. Kofler, M., Beham, A., Wagner, S., & Affenzeller, M. (2014). Affinity based slotting in warehouses with dynamic order patterns. *Advanced Methods and Applications in Computational Intelligence (123-143)*. Springer, Heidelberg.
106. Kumar, A. (2013). Encoding schemes in genetic algorithm. *International Journal of Advanced Research in IT and Engineering*, 2(3), 1-7.
107. Kulak, O., Yılmaz, İ. O., & Günther, H. O. (2005). *Genetik Algoritma Esaslı PCB Montajı Optimizasyonu*. V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İstanbul, s. 121-126.

108. La Londe, B. J., Grabner, J. R., & Robeson, J. F. (1976). Integrated distribution systems: a management perspective. In Van Buijtenen, P., Christopher, M., & Wills, G. (Eds.) *Business Logistics*. Springer Science & Business Media.
109. Lambert, D. M., Stock, J. R., & Ellram, L. M. (1998). *Fundamentals of logistics management*. McGraw-Hill/Irwin.
110. Lasserre, F. (2004). Logistics and Internet: Transportation and Location Issues are crucial in the logistics chain, *Journal of Transport Geography*, 12, 73-84
111. Lane, D. M., Scott, D., Hebl, M., Guerra, R., Osherson, D., & Zimmer, H. (2017). *An Introduction to Statistics*. Rice University.
112. Lebas, M. J. 1995. Performance measurement and performance management. *International journal of production economics*, 41, 23-35.
113. Le Boeuf, B.J. & Mesnick, S. (1990): Sexual Behavior of Male Northern Elephant Seals: I. Lethal Injuries to Adult Females, *Behaviour*, 116 (1-2): 143-162.
114. Lee, H. F. (1997). Performance analysis for automated storage and retrieval systems. *IIE transactions*, 29(1), 15-28.
115. Lee, H. F., & Schaefer, S. K. (1996). Retrieval sequencing for unit-load automated storage and retrieval systems with multiple openings. *International Journal of Production Research*, 34(10), 2943-2962.
116. Lee, H. F., & Schaefer, S. K. (1997). Sequencing methods for automated storage and retrieval systems with dedicated storage. *Computers & Industrial Engineering*, 32(2), 351-362.
117. Lee, S. G., De Souza, R., & Ong, E. K. (1996). Simulation modelling of a narrow aisle automated storage and retrieval system (AS/RS) serviced by rail-guided vehicles. *Computers in Industry*, 30(3), 241-253.
118. Lee, C., Huang, H. C., Goldsman, P., Liu, B., & Xu, Z. (2005). Reservation storage policy for AS/RS at air cargo terminals. 37th Winter Simulation Conference (pp. 1627-1632).
119. Lerher, T., Sraml, M., Potrc, I., & Tollazzi, T. (2010). Travel time models for double-deep automated storage and retrieval systems. *International Journal of Production Research*, 48(11), 3151-3172.

120. Lerher, T., Sraml, M., Borovinsek, M., & Potrc, I. (2013). Multi-objective optimization of automated storage and retrieval systems. *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara*, 11(1), 187.
121. Lerher, T., Edl, M., & Rosi, B. (2014). Energy efficiency model for the mini-load automated storage and retrieval systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 70(1-4), 97-115.
122. Lerher, T., Sraml, M., Kramberger, J., Potrc, I., Borovinsek, M., & Zmazek, B. (2006). Analytical travel time models for multi aisle automated storage and retrieval systems. *The international journal of advanced manufacturing technology*, 30(3-4), 340-356.
123. Lerher, T. (2016). Travel time model for double-deep shuttle-based storage and retrieval systems. *International Journal of Production Research*, 54(9), 2519-2540.
124. Li, J., Moghaddam, M. & Nof, S. Y. (2016). Dynamic storage assignment with product affinity and ABC classification-a case study. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84(9-12), 2179-2194.
125. Li, M., Chen, X., & Liu, C. (2008). *Pareto and niche genetic algorithm for storage location assignment optimization problem*. 3. International Conference on Innovative Computing Information and Control. ICICIC'08. (pp. 465-465). IEEE.
126. Li, M., Chen, X. & Zhang, M (2006). *Optimal Scheduling Approach of Storage/Retrieval Equipments Based on Genetic Algorithm*. The 6. World Congress on Intelligent Control and Automation, WCICA 2006. (Vol. 1, pp. 3345-3348). IEEE.
127. Mansuri, M. (1997). Cycle-time computation, and dedicated storage assignment, for As/R systems. *Computers & industrial engineering*, 33(1-2), 307-310.
128. Manzini, R., Gamberi, M., & Regattieri, A. (2006). Design and control of an AS/RS. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28(7-8), 766-774.

129. Meneghetti, A., & Monti, L. (2014). Multiple-weight unit load storage assignment strategies for energy-efficient automated warehouses. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 17(4), 304-322.
130. Meneghetti, A., & Monti, L. (2011). Energy efficient dual command cycles in automated storage and retrieval systems. World Renewable Energy Congress- 8-13 May; Linköping; Sweden (No. 57, pp. 1668-1675). Linköping University Electronic Press.
131. McCulloch, W., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bull. Math. Biophys.* 5, 115–133
132. Micheli, P., & Mari, L. (2014). The theory and practice of performance measurement. *Management accounting research*, 25(2), 147-156.
133. Michalewicz, Z., (1996): *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*, Springer–Verlag, Berlin.
134. Muralidharan, B., Linn, R. J., & Pandit, R. (1995). Shuffling heuristics for the storage location assignment in an AS/RS. *The International Journal of Production Research*, 33(6), 1661-1672.
135. Muppani, V. R., & Adil, G. K. (2008). Efficient formation of storage classes for warehouse storage location assignment: a simulated annealing approach. *Omega*, 36(4), 609-618.
136. Moon, G., & Kim, G. P. (2001). Effects of relocation to AS/RS storage location policy with production quantity variation. *Computers & industrial engineering*, 40(1-2), 1-13.
137. Mori, M. & Tseng, C.C. (1997): “A Genetic Algorithm For Multi-Mode Resource Constrained Project Scheduling Problem”, *European Journal of Operational Research*, 100: 134-141
138. Mühlenbein, H., & Schlierkamp-Voosen, D. (1993). Predictive models for the breeder genetic algorithm i. continuous parameter optimization. *Evolutionary computation*, 1(1), 25-49.
139. Neely, A., Gregory, M. & Platts, K. (1995), “Performance measurement system design: a literature review and research agenda”, *International Journal of Operations and Production Management*, 15(4), pp. 80-116.

140. Osman I.H. & Laporte G. (1996). Metaheuristics: A bibliography, *Annals of Operational Research*, Vol. 63 513-628.
141. Ordonez, C. (2006). Comparing association rules and decision trees for disease prediction. The international workshop on Healthcare information and knowledge management (pp. 17-24). ACM.
142. Ortega, J. ve Arita, H.T. (1999): Structure and Social Dynamics of Harem Groups in *Artibeus jamaicensis* (Chiroptera: Phyllostomidae), *Journal of Mammalogy*, 80(4): 1173-1185.
143. Özçakir, F. C., & Çamurcu, A. Y. (2007). Birliktelik kuralı yöntemi için bir veri madenciliği yazılımı tasarımı ve uygulaması. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(12), 21-37.
144. Özgülbaş, N. (2005). Sağlık kurumlarında finansal performans ölçümü ve finansal performansı artırmak için kullanılacak stratejiler, *Verimlilik Dergisi*, 3.
145. Öztürk A. (2011), *Otomatik Depolama Ve Boşaltma Sisteminde Optimum Çekme Politikasının Belirlenmesi*. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi), Gazi Üniversitesi, Ankara.
146. Özdemir, M. Genetik Algoritma İle Doğrusal Regresyonda Tahmin Amaçlı Model Seçimi. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (28), 213-233.
147. Pang, K. W., & Chan, H. L. (2017). Data mining-based algorithm for storage location assignment in a randomised warehouse. *International Journal of Production Research*, 55(14), 4035-4052.
148. Pakkan, B. & Ermiş, M. (2010): İnsansız Hava Araçlarının Genetik Algoritma Yöntemiyle Çoklu Hedeflere Planlanması, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 4 (3): 77-84.
149. Pegden C. D., Shannon R.E., & Sadowski R.P., (1990). *Introduction to Simulation Using SIMAN*, McGraw-Hill
150. Peltz, E. (2007): *Logistics: Supply Based or Distribution Based?*, Army Logistics Management College.
151. Pentico D.W., (2007). Assignment problems: A golden anniversary survey. *European Journal of Operational Research*, 176(2), 774–793.

152. Potrč, I., Lerher, T., Kramberger, J., & Šraml, M. (2004). Simulation model of multi-shuttle automated storage and retrieval systems. *Journal of Materials Processing Technology*, 157, 236-244.
153. Porter, M. E. (1991). Towards a dynamic theory of strategy. *Strategic management journal*, 12(S2), 95-117.
154. Radcliffe, N. J. (1991). Equivalence class analysis of genetic algorithms. *Complex systems*, 5(2), 183-205.
155. Raghuwanshi M.M., & Kakde, O.G., (2005). *Survey on multiobjective evolutionary and real coded genetic algorithms*. 8th Asia Pacific symposium on intelligent and evolutionary systems (pp. 150-161).
156. Ramtin, F., & Pazour, J. A. (2015). Product allocation problem for an AS/RS with multiple in-the-aisle pick positions. *IIE Transactions*, 47(12), 1379-1396.
157. Rao, G. N. & Wang, H. P. (1991). Evaluation and dynamic allocation of AS/RS control rules: a simulation study. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 6(1), 62-82.
158. Rajković, M., Zrnić, N., Kosanić, N., Borovinšek, M., & Lerher, T. (2019). A multi-objective optimization model for minimizing investment expenses, cycle times and CO2 footprint of an automated storage and retrieval systems. *Transport*, 34(2), 275-286.
159. Reyes, J., Solano-Charris, E & Montoya-Torres, J. (2019). The storage location assignment problem: A literature review. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 10(2), 199-224.
160. Reeves, C. R. (1995). A genetic algorithm for flowshop sequencing. *Computers & Operations Research*, 22(1), 5-13.
161. Reeves, C., (2003). Genetic Algorithm. In Fred Glover & Gary A. Kochenberger (Eds), *Handbook of Metaheuristics* (s. 55-82). New York: Kluwer Academic Publishers.
162. Reeves, C., & Rowe, J. (2002): *Genetic Algorithms: Principles and Perspectives A Guide to GA Theory*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers,

163. Richards, G. (2011). *Warehouse management: a complete guide to improving efficiency and minimizing costs in the modern warehouse*. Kogan Page Publishers.
164. Roodbergen, K. J. & Vis, I. F. (2009). A survey of literature on automated storage and retrieval systems. *European journal of operational research*, 194(2), 343-362.
165. Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., van Houtum, G. J., Mantel, R. J. & Zijm, W. H. (2000). Warehouse design and control: Framework and literature review. *European Journal of Operational Research*, 122(3), 515-533.
166. Rushton, A., Croucher, P. & Baker, P. (2006). *The handbook of logistics and distribution management: Understanding the supply chain*. Kogan Page Publishers.
167. Russell, S. H. (2000). Growing world of logistics. *Air Force Journal of Logistics*, 24(4), 12.
168. Sadiq, M., Landers, T. L. & Don Taylor, G. (1996). An assignment algorithm for dynamic picking systems. *IIE transactions*, 28(8), 607-616.
169. Sanei, O., Nasiri, V., Marjani, M. R. & Moattar Husseini, S. M. (2011). *A heuristic algorithm for the warehouse space assignment problem considering operational constraints: with application in a case study*. International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Kuala Lumpur, Malaysia.
170. Sari, Z., Saygin, C. & Ghouali, N. (2005). Travel-time models for flow-rack automated storage and retrieval systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25(9-10), 979-987.
171. Sarker, B. R. & Babu, P. S. (1995). Travel time models in automated storage/retrieval systems: A critical review. *International Journal of Production Economics*, 40(2-3), 173-184.
172. Savaş, S., Topaloğlu, N., & Yılmaz, M. (2012). Veri madenciliği ve Türkiye'deki uygulama örnekleri. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(21), 1-23.



173. Seidmann, A. (1988). Intelligent control schemes for automated storage and retrieval systems. *The International Journal Of Production Research*, 26(5), 931-952.
174. Senge, P. M. (2004), *Beşinci Disiplin: Öğrenen Organizasyon Düşünüü ve Uygulaması*, Çev.: İldeniz A., Doğukan A., 11. baskı. Yapı Kredi Yayınları, İstanbul.
175. Semprevivo, P. C. (1976). *Systems Analysis: Definition. Process, And Design*. Chicago: Science Research Associates.
176. Soyaslan, M., Fenercioglu, A. & Kozkurt, C. (2012). *An approach of control system for automated storage and retrieval system (AS/RS)*. Proceedings of the World Academy of Science, Engineering and Technology, (69).
177. Soyaslan, M., Közkurt, C., & Fenercioğlu, A. (2015). Otomatik Depolama ve Boşaltma Sistemleri (ODBS): Depo Kurulumu ve Performans Çalışmaları Üzerine Araştırma. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 3(3), 8-26.
178. Shuhua, M., & Yanzhu, H. (2009). *Research on the order picking optimization problem of the automated warehouse*. Control and Decision Conference, 2009. CCDC'09. Chinese (pp. 990-993). IEEE.
179. Schwarz, L. B., Graves, S. C. & Hausman, W. H., Scheduling Policies for Automatic Warehousing Systems: Simulation Results, *AIIE Transactions 10 No. 3*, 260-270 (1978).
180. Stevens, G. C. (1989). Integrating the supply chain. *International Journal of Physical Distribution & Materials Management*, 19(8), 3-8.
181. Stock, J. & Lambert, D.M. (2001), *Strategic logistics management*, McGraw-Hill, New York, NY
182. Sule, D. R. (2008). *Manufacturing facilities: location, planning, and design*. CRC press.
183. Şahin, Y., & Eroğlu, A. (2014). Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi için metasezgisel yöntemler: Bilimsel yazın taraması. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(4), 337-355.

184. Şahin Y., (2012) *Depo Operasyonları Ve Sipariş Dağıtım Faaliyetlerinin Sezgisel Yöntemler Kullanarak Eş Zamanlı Optimizasyonu*, Yayınlanmamış Doktora Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
185. Taşkın, Ç., & Emel G.G. (2009), *Genetik Algoritmalar*, Bursa: Aktüel Yayınları.
186. Talbi, E. G. (2009). *Metaheuristics: from design to implementation (Vol. 74)*. John Wiley & Sons.
187. Tecim, V. (2004). Sistem Yaklaşımı ve Soft Sistem Düşüncesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(2).
188. Taylor, G. D. (2008). *Logistics engineering handbook*. CRC press.
189. Tompkins, J.A., White, J.A., Bozer, Y.A. & Tanchoco, J.M.A., 2003. *Facilities Planning*, 3rd ed., New Jersey: Wiley.
190. Quintanilla, S., Pérez, Á., Ballestín, F. & Lino, P. (2015). Heuristic algorithms for a storage location assignment problem in a chaotic warehouse. *Engineering Optimization*, 47(10), 1405-1422.
191. Umbarkar, A. J., & Sheth, P. D. (2015). Crossover operators in genetic algorithms: a review. *ICTACT journal on soft computing*, 6(1).1083-1088.
192. Van den Berg, J. P. (1996). Class-based storage allocation in a single-command warehouse with space requirement constraints. *International Journal of Industrial Engineering*, 3, 21-28.
193. Van den Berg, J. P. (2002). Analytic expressions for the optimal dwell point in an automated storage/retrieval system. *International Journal of Production Economics*, 76(1), 13-25.
194. Van Den Berg, J. P. & Gademann, A. J. R. M. (2000). Simulation study of an automated storage/retrieval system. *International Journal of Production Research*, 38(6), 1339-1356.
195. Van den Berg, J. P. & Zijm, W. H. (1999). Models for warehouse management: Classification and examples. *International journal of production economics*, 59(1-3), 519-528.

196. Vasili M.R., Tang S.H., & Vasili M. (2012) Automated Storage and Retrieval Systems: A Review on Travel Time Models and Control Policies. In Manzini R. (Eds.) *Warehousing in the Global Supply Chain*. London: Springer.
197. Varlı, A. (2007). *Çok Amaçlı Ve Çok Konumlu Aktarmalı Taşıma Problemlerinin Genetik Algoritma İle Optimizasyonu*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
198. Von Bertalanffy, L. (1950). An Outline of General System Theory. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 1(2), 134-165.
199. Von Bertalanffy, L. (1968). *General system theory*. New York.
200. Yener, F., Yazgan, H. R., Cömert, S. E., Kır, S., & Kaya, Y. (2016). Solution of Order Batching Problem with Association Rules and Genetic Algorithm: A Case Study in Pharmacy Warehouse. *Journal of Transportation and Logistics*, 1(2), 129-142.
201. Wang, J. Y. & Yih, Y. (1997). Using neural networks to select a control strategy for automated storage and retrieval systems (AS/RS). *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 10(6), 487-495.
202. Wang, Y.Z. (2003). Using Genetic Algorithm Methods to Solve Course Scheduling Problems, *Expert Systems with Applications*, 25: 39-50.
203. Waters, C. D. J. (2003). *Logistics: an introduction to supply chain management*. Palgrave Macmillan.
204. Weinberg, G. M. (1975). *An introduction to general systems thinking*. New York: Wiley.
205. Zhi-Gang, J., Chun-Wang, L., Yan, Z. & Widemo F. (2004): Harem defending or Challenging: Alternative Individual Mating Tactics in Père David's Deer Under Different Time Constraint, *Current Zoology*, 50 (5): 706-713.
206. Zhou, G., & Mao, L. (2010). Design and simulation of storage location optimization module in AS/RS based on FLEXSIM. *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, 2(2), 33.
207. Xiao, N. (2008). A Unified Conceptual Framework for Geographical Optimization Using Evolutionary Algorithms, *Annals of the Association of American Geographers*, 98(4). 795-817.

208. Xing, B., Gao, W. J., Nelwamondo, F. V., Battle, K., & Marwala, T. (2010). *Ant colony optimization for automated storage and retrieval system*. Congress on Evolutionary Computation (CEC), IEEE (pp. 1-7). IEEE.
209. Yabanova, İ. (2007). *Otomatik Stoklama ve Stok Yenileme Sistemlerinin İncelenmesi ve Mermer Sektörüne Yönelik Bir Uygulama*. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
210. Yükçü, S., & Atağan, G. (2009). Etkinlik, Etkililik ve Verimlilik Kavramlarının Yarattığı Karışıklık. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 23(4).
211. Yüreğir, Y., & Nakıboğlu, A. (2007). Performans Ölçümü Ve Ölçüm Sistemleri: Genel Bir Bakış. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 16(2), 545-562.  
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/cusosbil/issue/4377/60004>
212. 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.

### İnternet Kaynakları

1. Gümrük Kanunu (1999), T.C. Resmi Gazete, 23866, 4.11.1999  
<http://ggm.gtb.gov.tr/data/521efb68487c8e6f0c303249/G%C3%9CMR%C3%9CK%20KANUNU%2012.12.2014.pdf> adresinden elde edildi.
2. T.C. Sayıştay Bakanlığı, Sayıştay Raporu (2003), Sayıştay'ın Performans Ölçümüne İlişkin Ön Araştırma Raporu,  
[https://www.sayistay.gov.tr/tr/Upload/95906369/files/yayinlar/Sayistay\\_Performans\\_Olcumu\\_Arastirma\\_Raporu.pdf](https://www.sayistay.gov.tr/tr/Upload/95906369/files/yayinlar/Sayistay_Performans_Olcumu_Arastirma_Raporu.pdf) adresinden elde edildi.
3. URL-1 Küçük yük OD/ÇS  
<https://www.jungheinrich.com.tr/lojistik-sistemleri/depolama-sistemleri/automatic-miniload-warehouse/> adresinden elde edildi.
4. URL-2 Dikey Kaldırma Modüllü Sistem  
<http://spacesaver.ca/warehousing-vertical-lift-module/> adresinden elde edildi.
5. APICS (2018), Tedarik Zinciri Tanımı,

<http://www.apics.org/apics-for-individuals/publications-and-research/apics-dictionary> adresinden elde edildi.

6. Merriam-Webster (2018), Optimizasyon kelimesinin tanımı,  
<https://www.merriam-webster.com/dictionary/optimization> adresinden elde edildi.
7. ISM (2018), Tedarik Zinciri Yönetiminin tanımı,  
<https://www.instituteforsupplymanagement.org/index.cfm?SSO=1> adresinden elde edildi.
8. CSCMP (2019), Tedarik Zinciri Yönetiminin tanımı,  
[http://cscmp.org/CSCMP/Certify/Fundamentals/What\\_is\\_Supply\\_Chain\\_Management.aspx](http://cscmp.org/CSCMP/Certify/Fundamentals/What_is_Supply_Chain_Management.aspx) adresinden elde edildi.

## EKLER

Ürün Kodu	Ürün Açıklaması	Ürün Kodu	Ürün Açıklaması	Ürün Kodu	Ürün Açıklaması
1336623	Ürün 1	1994672	Ürün 29	1892600	Ürün 57
2215880	Ürün 2	2034642	Ürün 30	2041375	Ürün 58
2269225	Ürün 3	2077805	Ürün 31	1897918	Ürün 59
2266679	Ürün 4	2077808	Ürün 32	1819008	Ürün 60
2117834	Ürün 5	2093480	Ürün 33	1946402	Ürün 61
2071920	Ürün 6	2101654	Ürün 34	1963807	Ürün 62
2217244	Ürün 7	2122588	Ürün 35	1946407	Ürün 63
2039020	Ürün 8	2125652	Ürün 36	1414863	Ürün 64
2096617	Ürün 9	2132912	Ürün 37	2080071	Ürün 65
2101657	Ürün 10	2063362	Ürün 38	2096227	Ürün 66
2104376	Ürün 11	2122589	Ürün 39	1556229	Ürün 67
2071925	Ürün 12	2123652	Ürün 40	2270339	Ürün 68
2199486	Ürün 13	2101164	Ürün 41	2312510	Ürün 69
2172245	Ürün 14	2100744	Ürün 42	2256856	Ürün 70
2223581	Ürün 15	2137799	Ürün 43	2258223	Ürün 71
2013404	Ürün 16	1967891	Ürün 44	2296001	Ürün 72
1994673	Ürün 17	2038293	Ürün 45	2296003	Ürün 73
2063485	Ürün 18	1968244	Ürün 46	2296004	Ürün 74
2071550	Ürün 19	2038295	Ürün 47	2329342	Ürün 75
2083847	Ürün 20	2057502	Ürün 48	2239412	Ürün 76
2099707	Ürün 21	2038294	Ürün 49	1892600	Ürün 57
2100938	Ürün 22	2047995	Ürün 50	2041375	Ürün 58
2125757	Ürün 23	1968225	Ürün 51	1897918	Ürün 59
2137833	Ürün 24	1954920	Ürün 52	1819008	Ürün 60
2125653	Ürün 25	2013405	Ürün 53	1946402	Ürün 61
2067552	Ürün 26	1987312	Ürün 54	1963807	Ürün 62
2041374	Ürün 27	2018234	Ürün 55	1946407	Ürün 63
2072029	Ürün 28	1968240	Ürün 56	1414863	Ürün 64
2080071	Ürün 65	2329470	Ürün 95	2312497	Ürün 125
2096227	Ürün 66	2329480	Ürün 96	2324143	Ürün 126
1556229	Ürün 67	2259414	Ürün 97	2324146	Ürün 127
2270339	Ürün 68	2287206	Ürün 98	2309508	Ürün 128
2312510	Ürün 69	2287172	Ürün 99	2309576	Ürün 129

2256856	Ürün 70	2244423	Ürün 100	2206740	Ürün 130
2258223	Ürün 71	2239075	Ürün 101	2312171	Ürün 131
2296001	Ürün 72	2244428	Ürün 102	2352325	Ürün 132
2296003	Ürün 73	2243342	Ürün 103	2357605	Ürün 133
2296004	Ürün 74	2258230	Ürün 104	2326863	Ürün 134
2329342	Ürün 75	2199837	Ürün 105	2357606	Ürün 135
2239412	Ürün 76	2313456	Ürün 106	2326858	Ürün 136
2328683	Ürün 77	2095981	Ürün 107	2357526	Ürün 137
2328947	Ürün 78	2297266	Ürün 108	2357603	Ürün 138
2328814	Ürün 79	2360212	Ürün 109	2357610	Ürün 139
2329338	Ürün 80	2297319	Ürün 110	2357530	Ürün 140
2328688	Ürün 81	2312478	Ürün 111	2357601	Ürün 141
2328813	Ürün 82	2329343	Ürün 112	2324937	Ürün 142
2243816	Ürün 83	2312451	Ürün 113	2324934	Ürün 143
2244042	Ürün 84	2323201	Ürün 114	2357602	Ürün 144
2243813	Ürün 85	2321675	Ürün 115	2357607	Ürün 145
2239405	Ürün 86	2323210	Ürün 116	2357608	Ürün 146
2244043	Ürün 87	2292477	Ürün 117	2341059	Ürün 147
2257256	Ürün 88	2321678	Ürün 118	2341057	Ürün 148
2247951	Ürün 89	2312481	Ürün 119	2326856	Ürün 149
2239064	Ürün 90	2297333	Ürün 120	2313463	Ürün 150
2243352	Ürün 91	2309504	Ürün 121	2326862	Ürün 151
2219714	Ürün 92	2324939	Ürün 122	2375651	Ürün 152
2249556	Ürün 93	2324940	Ürün 123	2357529	Ürün 153
2257260	Ürün 94	2308510	Ürün 124	2247943	Ürün 154
2383841	Ürün 155	1568977	Ürün 185	2000601	Ürün 215
2300366	Ürün 156	1569160	Ürün 186	2000605	Ürün 216
2384485	Ürün 157	1680868	Ürün 187	2000607	Ürün 217
2384246	Ürün 158	1787347	Ürün 188	2000608	Ürün 218
2385075	Ürün 159	1787348	Ürün 189	2000609	Ürün 219
2357613	Ürün 160	1787349	Ürün 190	2000610	Ürün 220
2240926	Ürün 161	1830538	Ürün 191	2000611	Ürün 221
2357528	Ürün 162	1919729	Ürün 192	2000612	Ürün 222
2389204	Ürün 163	1919731	Ürün 193	2000613	Ürün 223
2357609	Ürün 164	1919733	Ürün 194	2000614	Ürün 224
2357525	Ürün 165	1944806	Ürün 195	2000615	Ürün 225

2342824	Ürün 166	1944807	Ürün 196	2000616	Ürün 226
2324930	Ürün 167	1944808	Ürün 197	2020557	Ürün 227
2357604	Ürün 168	1944810	Ürün 198	2020558	Ürün 228
2328946	Ürün 169	1944811	Ürün 199	2020559	Ürün 229
2328686	Ürün 170	1944812	Ürün 200	2020562	Ürün 230
2297237	Ürün 171	1944813	Ürün 201	2039056	Ürün 231
2326860	Ürün 172	1944814	Ürün 202	2039058	Ürün 232
2357615	Ürün 173	1944815	Ürün 203	2042327	Ürün 233
2378804	Ürün 174	1949559	Ürün 204	2046813	Ürün 234
2378830	Ürün 175	1958316	Ürün 205	2051238	Ürün 235
2357611	Ürün 176	1967888	Ürün 206	2051239	Ürün 236
2357527	Ürün 177	1968236	Ürün 207	2056660	Ürün 237
2394978	Ürün 178	1968245	Ürün 208	2057498	Ürün 238
2252940	Ürün 179	1990508	Ürün 209	2057640	Ürün 239
2324927	Ürün 180	1990510	Ürün 210	2057648	Ürün 240
2324936	Ürün 181	1990512	Ürün 211	2067826	Ürün 241
2403222	Ürün 182	2000598	Ürün 212	2067827	Ürün 242
2337818	Ürün 183	2000599	Ürün 213	2071363	Ürün 243
1099934	Ürün 184	2000600	Ürün 214	2071552	Ürün 244
2071926	Ürün 245	2096614	Ürün 275	2141905	Ürün 305
2072030	Ürün 246	2096616	Ürün 276	2161591	Ürün 306
2077807	Ürün 247	2100742	Ürün 277	2172290	Ürün 307
2081111	Ürün 248	2101154	Ürün 278	2175281	Ürün 308
2081495	Ürün 249	2101163	Ürün 279	2176118	Ürün 309
2081497	Ürün 250	2101660	Ürün 280	2176437	Ürün 310
2081498	Ürün 251	2104371	Ürün 281	2176438	Ürün 311
2083678	Ürün 252	2104374	Ürün 282	2186034	Ürün 312
2083842	Ürün 253	2113093	Ürün 283	2199151	Ürün 313
2087175	Ürün 254	2123528	Ürün 284	2202065	Ürün 314
2087176	Ürün 255	2123529	Ürün 285	2202066	Ürün 315
2090576	Ürün 256	2123651	Ürün 286	2202067	Ürün 316
2090577	Ürün 257	2124094	Ürün 287	2202068	Ürün 317
2090578	Ürün 258	2137661	Ürün 288	2202069	Ürün 318
2090581	Ürün 259	2137663	Ürün 289	2206649	Ürün 319
2094954	Ürün 260	2137664	Ürün 290	2206655	Ürün 320
2094955	Ürün 261	2137666	Ürün 291	2206656	Ürün 321



2094956	Ürün 262	2137787	Ürün 292	2206657	Ürün 322
2094957	Ürün 263	2137788	Ürün 293	2206658	Ürün 323
2094958	Ürün 264	2137790	Ürün 294	2206660	Ürün 324
2095131	Ürün 265	2141599	Ürün 295	2206661	Ürün 325
2095132	Ürün 266	2141625	Ürün 296	2206663	Ürün 326
2095133	Ürün 267	2141896	Ürün 297	2206739	Ürün 327
2095134	Ürün 268	2141897	Ürün 298	2206741	Ürün 328
2095135	Ürün 269	2141899	Ürün 299	2206742	Ürün 329
2095136	Ürün 270	2141900	Ürün 300	2206743	Ürün 330
2095138	Ürün 271	2141901	Ürün 301	2206744	Ürün 331
2095139	Ürün 272	2141902	Ürün 302	2206746	Ürün 332
2095140	Ürün 273	2141903	Ürün 303	2206750	Ürün 333
2096610	Ürün 274	2141904	Ürün 304	2206984	Ürün 334
2206985	Ürün 335	2236154	Ürün 365	2241347	Ürün 395
2206988	Ürün 336	2236155	Ürün 366	2241348	Ürün 396
2206989	Ürün 337	2236156	Ürün 367	2243711	Ürün 397
2206990	Ürün 338	2236158	Ürün 368	2245686	Ürün 398
2211003	Ürün 339	2236159	Ürün 369	2247942	Ürün 399
2211067	Ürün 340	2236160	Ürün 370	2247946	Ürün 400
2215955	Ürün 341	2236161	Ürün 371	2247950	Ürün 401
2216106	Ürün 342	2236163	Ürün 372	2248709	Ürün 402
2217468	Ürün 343	2236164	Ürün 373	2249080	Ürün 403
2217469	Ürün 344	2236362	Ürün 374	2249522	Ürün 404
2217472	Ürün 345	2236363	Ürün 375	2249553	Ürün 405
2217473	Ürün 346	2236364	Ürün 376	2249554	Ürün 406
2217474	Ürün 347	2236365	Ürün 377	2249638	Ürün 407
2217656	Ürün 348	2236366	Ürün 378	2259216	Ürün 408
2217657	Ürün 349	2236367	Ürün 379	2259224	Ürün 409
2217658	Ürün 350	2236368	Ürün 380	2259225	Ürün 410
2217659	Ürün 351	2236369	Ürün 381	2259226	Ürün 411
2217660	Ürün 352	2236371	Ürün 382	2259227	Ürün 412
2217661	Ürün 353	2236372	Ürün 383	2260500	Ürün 413
2217882	Ürün 354	2236373	Ürün 384	2262729	Ürün 414
2217883	Ürün 355	2240791	Ürün 385	2262730	Ürün 415
2217884	Ürün 356	2240925	Ürün 386	2297181	Ürün 416
2217885	Ürün 357	2241337	Ürün 387	2297311	Ürün 417

2218116	Ürün 358	2241339	Ürün 388	2297343	Ürün 418
2223357	Ürün 359	2241341	Ürün 389	2297356	Ürün 419
2223360	Ürün 360	2241342	Ürün 390	2299567	Ürün 420
2223703	Ürün 361	2241343	Ürün 391	2300889	Ürün 421
2223707	Ürün 362	2241344	Ürün 392	2300890	Ürün 422
2226246	Ürün 363	2241345	Ürün 393	2309525	Ürün 423
2236153	Ürün 364	2241346	Ürün 394	2324931	Ürün 424
2326861	Ürün 425				
2328459	Ürün 426				
2328461	Ürün 427				
2329339	Ürün 428				
2341056	Ürün 429				
2344087	Ürün 430				
2344088	Ürün 431				
2345717	Ürün 432				
2347406	Ürün 433				
2349188	Ürün 434				
2349189	Ürün 435				
2349274	Ürün 436				
2352326	Ürün 437				

## TEŞEKKÜR

Çalışma boyunca göstermiş olduğu anlayış, rehberlik ve destek için değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Ural Gökay ÇİÇEKLİ'ye en derin teşekkürlerimi sunarım. Tez izleme komitesinde bulunan kıymetli jüri üyeleri Prof. Dr. Haluk SOYUER'e, Prof. Dr. Soner ESMER'e, Doç. Dr. Murat KOCAMAZ'a, Dr. Öğr. Üyesi Özgür KABADURMUŞ'a çalışmanın gelişimi için yaptıkları tavsiyeler ve yorumlar nedeniyle ayrıca teşekkür ederim. Çalışmanın redaksiyonunu yapan babam Prof. Dr. Zeki KAYMAZ'a, yazılımın kodlanmasında büyük emekleri olan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ural Gökay ÇİÇEKLİ'ye, matematiksel modelin oluşturulması aşamasında verdiği destekler için değerli arkadaşım Arş. Gör. Dr. Fatma DEMİRCAN KESKİN'e, veri madenciliği ile ilgili kısımlar için verdiği katkılar için kıymetli arkadaşım Arş. Gör. Dr. İnanç KABASAKAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak, kendilerine ayırmam gereken zamanı çalışmaya ayırmam nedeniyle gösterdikleri anlayış için eşim Pelin AYDIN KAYMAZ'a, kızım Rengin Ece KAYMAZ'a, annem Nejla KAYMAZ'a, babam Zeki KAYMAZ'a, kardeşim Burak KAYMAZ'a ayrıca teşekkür ederim. Ailemin bu zamana kadar sağladığı maddi ve manevi destekler, çalışmanın bitmesinde büyük önem taşımaktadır.

**Yunus KAYMAZ**

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı:** Yunus KAYMAZ

**Doğum Tarihi:** 11.07.1986

**Doğum Yeri:** Malatya

**Medeni Durum:** Evli

**Mail:** [kaymazyunus@gmail.com](mailto:kaymazyunus@gmail.com)

**Tel:** +(90) 5557000196

### Öğrenim Durumu:

Derece	Alan	Üniversite	Yıl
Doktora	İşletme (Üretim Yönetimi)	Ege Üniversitesi- Türkiye	2020
Y. Lisans	Innovation and Logistics Management	University of Gavle- İsveç	2012
Lisans	Lojistik Yönetimi	İzmir Ekonomi Üniversitesi-Türkiye	2010

### Yabancı Dil:

- İngilizce: IELTS 7.0 / UDS 88.5
- İspanyolca: Başlangıç

### Sertifikalar:

- Integrated Business Processes with SAP ERP (TERP10) (University Duisburg-Essen)
- Dış Ticaret Uzmanlığı Sertifika Programı (İzmir Ekonomi Üniversitesi)
- İleri Excel Sertifika Programı

### Uzmanlık Alanları:

- Endüstri 4.0
- Tedarik Zinciri Yönetimi
- Lojistik Yönetimi
- İnovasyon

### Uluslararası Diğer Hakemli Dergilerde Yayınlanan Makaleler

- Keskin, F. D., Kabasakal, İ., **Kaymaz, Y.**, & Soyuer, H. An Assessment Model for Organizational Adoption of Industry 4.0 Based on Multi-criteria Decision Techniques. In The International Symposium for Production Research (2018, August) (pp. 85-100). Springer, Cham.
- Keskin, F. D., **Kaymaz, Y.**, Kabasakal, İ., & Soyuer, H. Tedarikçi Değerlendirme Ve Sipariş Miktarı Belirleme Problemi İçin Bulanık Bir Yaklaşım (2017), Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi, 117-136.
- **Kaymaz, Y.**, Şentürk, B. Lojistik Sektöründe Kadın Çalışanlara Yönelik Bir Analiz: İzmir Örneği (2017), Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi, 469-480.
- Çiçekli G.U., **Kaymaz Y.**, “A Genetic Algorithm For The Allocation Of Dangerous Goods Containers In A Storage Yard For Freight Villages And Dry Ports, 2016, Gazi Üniversitesi İİBF Dergisi, Cilt:1, Sayı: 18.
- Paksoy, H. M., Paksoy, S., Özçalıcı, M., **Kaymaz, Y.** Innovation Performance Of Eu Countries In Selected Dimensions And Position Of Turkey, International Journal of Managerial Studies and Research (IJMSR) Volume 2, Issue 3, April 2014, PP 37-49.

### Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan Bildiriler

- Çiçekli U. G., **Kaymaz Y.**, Bozkurt, S., THE CONCEPT OF DRY PORT AND THE SELECTION OF DRY PORT LOCATIONS: THE CASE OF IZMIR, International Logistics and Supply Chain Congress, December 1-2, 2016, Izmir, Turkey.
- **Kaymaz Y.**, Haluk S., A CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR THE INTERNET OF THINGS AND WAREHOUSE MANAGEMENT SYSTEM INTEGRATION, International Logistics and Supply Chain Congress, December 1-2, 2016, Izmir, Turkey.
- **Kaymaz Y.**, Haluk S., A CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR COMPANIES IN THE CONTEXT OF INTEGRATION OF INDUSTRY 4.0 AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT, Uluslararası Katılımlı 16. Üretim Araştırmaları Sempozyumu, 12-14 Ekim, 2016, İstanbul
- **Kaymaz Y.**, Çelik O., YENİ İKTİSADİ COĞRAFYA YAKLAŞIMI ÇERÇEVESİNDE KARA LİMANI KAVRAMININ İNCELENMESİ: GZFT ANALİZİ, 2nd International Congress on Economics and Business, May 30-June 3, 2016 Sarajevo/Bosnia and Herzegovina
- **Kaymaz, Y.**, Zalluhoğlu, A.E., Turhan, R., Karslı, C., TÜRKİYE’DEKİ KARAYOLU YÜK TAŞIMACILIĞINDA KARŞILAŞILAN SORUNLARIN NİTEL ANALİZİ, 2nd International Congress on Economics and Business, May 30-June 3, 2016 Sarajevo/Bosnia and Herzegovina
- Çiçekli G. U., **Kaymaz Y.**, Sözen K., PROVIDING CONTENT BASED ON LOCATION THROUGH BEACON TECHNOLOGY: HOSPİTALAR 2015 FAIR “GENERAL ELECTRIC HEALTHCARE” APPLICATION. 13th International Logistics and Supply Chain Congress 22-23 October 2015, İzmir.
- Akçacı T., **Kaymaz Y.**, Yöntem T., “THE ROLE OF INNOVATION AND DEVELOPMENT AGENCIES IN NEW DEVELOPMENT STRATEGIES”, International Congress on Knowledge, Economy and Management, 2011, Bosnia and Herzegovina.
- **Kaymaz Y.**, “LOGISTICS AND INNOVATION”, 3rd International Summit of Istanbul Economists, 2011, İstanbul.

## Ulusal Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

- Karslı, C., **Kaymaz, Y.**, Candemir, A., Günay, N., “Kültür Turizminde Yerel Değerler: Ödemiş İlçesi Ve Ödemiş Yıldız Kent Arşivi Ve Müzesi Örneği”, Pazarlama ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi, Sayı: 17, Ocak **2016**, ss. 87-111
- Soysal, A., Bakan, S., Özçalıcı, M., **Kaymaz, Y.**, & Söylemez, C. (2012). Kilis 7 Aralık Üniversitesi Öğrencilerinin Kilis Ekonomisine Katkısı: 2011-2012 Eğitim-Öğretim Yılı Örneği. Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi, (24), 261-276.

## Ulusal Bilimsel Toplantılarda Sunulan Bildiriler

- Çiçekli G.U., **Kaymaz Y.**, “Tehlikeli Madde Konteynerlerinin Depolama Alanı İçindeki Yerleşiminin Genetik Algoritma İle Belirlenmesi. II. Ulusal Liman Kongresi”, 5-6 Kasım 2015 - İZMİR
- Turhan R. A.E. Zalluhoğlu, **Kaymaz, Y.**, Aracıoğlu B., Lisansüstü Eğitimin İnovatif Davranış Üzerine Etkisi: Ege Üniversitesi Örneği, İnovasyon Ekosistemleri Aracılığı İle Değer Yaratmak: Disiplinler Arası Yaklaşımlar Kongresi, 26-27 Kasım 2015, Seferihisar-İzmir
- Karslı, C., **Kaymaz, Y.**, Candemir, A., Günay, N., (2014) “Kültür Turizminde Yerel Değerler: Ödemiş İlçesi Ve Ödemiş Yıldız Kent Arşivi Ve Müzesi Örneği”, Ulusal Pazarlama Kongresi, 18-22 Haziran 2014

## Kitap Bölümü

- “A TO Z INTERNATIONAL TRADE APPLICATIONS, A’ DAN Z’ YE DIŞ TİCARET UYGULAMALARI”, 2012, Ed. İbrahim Halil Ekşi, Bölüm 6: Dış Ticarete Yazışma Teknikleri, Nobel Yayınevi, ANKARA

## TÜBİTAK Projeleri

- TEYDEB 1501: Akıllı Algoritmalar İle Çok Derinlikli Otomatik Depolama ve Geri Alma Sistemlerinin Eniyilenmesi. Proje No: 3160725 (Devam Etmekte) (Yürütücü)

## Bilimsel Araştırma Projeleri

- Türkiye’de Teknoloji Yoğun Sektörlerde Faaliyet Gösteren Firmaların Endüstri 4.0 Yetkinliklerinin Ölçülmesi ve Endüstri 4.0 Yol Haritalarının Belirlenmesi (Araştırmacı)
- Türkiye’deki Lojistik İşletmelerinin Duygusal Emek ve Cinsiyet Şeması/ Devam etmekte (Araştırmacı)

## Erasmus + Kapsamındaki Projeler

- CEPI 4.0: A Customized Education Plan Based on Industry 4.0 Competency Gaps Project No: 2019-1-TR01-KA202-077366