



**T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE DEPO ATAMA VE ÜRETİM  
TALEPLERİNİ TOPLAMA OPTİMİZASYONU**

**Seval ENE**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BURSA-2010**



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE DEPO ATAMA VE ÜRETİM  
TALEPLERİNİ TOPLAMA OPTİMİZASYONU

Seval ENE

Doç.Dr. Nursel ÖZTÜRK  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2010

T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE DEPO ATAMA VE ÜRETİM  
TALEPLERİNİ TOPLAMA OPTİMİZASYONU

Seval ENE

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 20/07/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Nursel ÖZTÜRK    Prof.Dr. Erdal EMEL    Y.Doç.Dr. Ersen YILMAZ  
Danışman

## ÖZET

Bu çalışmada otomotiv endüstrisinde depo içi talep toplama sistemlerinin tasarımı konu alınmıştır. Çalışma, iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, depo içi taşımaları en küçükleyecek şekilde, depoya adresleme problemine sınıf tabanlı yaklaşım getirilmiş ve atamalar GAMS optimizasyon programında kodlanan tamsayılı programlama modeliyle çözülmüştür. İkinci aşamada ise, depoya adreslemesi yapılan malzemelerin, üretim hattından gelen talepler doğrultusunda kümelenmesi ve talep toplayıcının rotalanması problemine öncelikle tamsayılı programlama yöntemiyle optimal çözüm elde edilmiştir. Ancak çözümün istenen hızda olmaması nedeniyle sezgisel algoritmalarından Genetik Algoritma, C# programlama dilinde kodlanarak küme ve talep toplama rotası elde edilmiştir. Ulaşılan sonuçlar, önerilen çözüm yaklaşımlarının benzer depo tiplerine uyarlanarak uygulanabilir ve geliştirilebilir olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Talep toplama sistemleri, sınıf tabanlı depolama, rotalama, genetik algoritmalar

**ABSTRACT**

The aim of this study is to design an order picking system and storage assignment using a developed mathematical model and computer based codes in the automotive industry. This study is performed in two stages. At the preliminary stage, storage location assignment problem is solved with a class based storage policy with the aim of minimizing warehouse handling. Locations are assigned using GAMS. At the second stage, optimum solution to the order batching and picker routing problem is obtained by using an integer programming model. Because of the solution time is not as desired, a Genetic Algorithm is developed for batching and picker routing. Genetic Algorithm is coded in C# programming language. Achieved results show that the proposed solution approach could be adapted and enhanced to similar warehouse types.

**Key Words:** Order picking systems, class based storage, routing, genetic algorithms

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                                                               |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| ÖZET.....                                                                                                                     | i        |
| ABSTRACT.....                                                                                                                 | ii       |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                                                             | iii      |
| KISALTMALAR DİZİNİ.....                                                                                                       | v        |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                                                                                       | vi       |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                                                                          | vii      |
| SİMGELER DİZİNİ.....                                                                                                          | viii     |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                                                                                                         | <b>1</b> |
| <b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>                                                                                            | <b>3</b> |
| 2.1. Depoda Talep Toplama Sistemlerinin Tasarım ve Kontrolü .....                                                             | 3        |
| 2.1.1. Depolar ve depolama sistemleri.....                                                                                    | 3        |
| 2.1.1.1. Depo akışları .....                                                                                                  | 4        |
| 2.1.1.2. Depolama sistemleri.....                                                                                             | 4        |
| 2.1.1.3. Depo yerleşim planı tasarımı .....                                                                                   | 5        |
| 2.1.2. Talep toplama.....                                                                                                     | 6        |
| 2.1.2.1. Toplayıcı parçalara sistemi .....                                                                                    | 8        |
| 2.1.2.2. Parçalar toplayıcıya sistemi .....                                                                                   | 9        |
| 2.1.2.3. Koyma sistemleri .....                                                                                               | 9        |
| 2.1.2.4. Toplayıcı parçalara sisteminde uygulamada karşılaşılan çeşitli varyasyonlar .....                                    | 9        |
| 2.2. Bir talep Toplama Sisteminin Tasarım ve Kontrol Aşamasında Dikkate Alınması Gereken Taktik ve Operasyonel Kararlar ..... | 10       |
| 2.2.1. Tesis tasarımı .....                                                                                                   | 10       |
| 2.2.2. Depoya ürünlerin atanması .....                                                                                        | 11       |
| 2.2.2.1. Rassal depolama.....                                                                                                 | 13       |
| 2.2.2.2. En yakın boş lokasyona depolama .....                                                                                | 13       |
| 2.2.2.3. Tahsis edilmiş depolama .....                                                                                        | 13       |
| 2.2.2.4. Tam devir depolama.....                                                                                              | 13       |
| 2.2.2.5. Sınıf tabanlı depolama.....                                                                                          | 14       |
| 2.2.2.6. Ailesel grupta .....                                                                                                 | 15       |
| 2.2.3. Bölgeleme .....                                                                                                        | 15       |
| 2.2.4. Kümeleme .....                                                                                                         | 15       |

|                                                                                     |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.2.5. Rotalama .....                                                               | 16         |
| 2.2.5.1. S-şekilli sezgisel yöntemi.....                                            | 16         |
| 2.2.5.2. Dönüş yöntemi .....                                                        | 17         |
| 2.2.5.3. Orta nokta yöntemi.....                                                    | 18         |
| 2.2.5.4. En büyük boşluk yöntemi .....                                              | 18         |
| 2.3. Depo Atama ve Talep Toplama Sistemleri Alanında Yapılmış Çeşitli Çalışmalar .. | 19         |
| 2.4. Genetik Algoritmalar .....                                                     | 24         |
| 2.4.1. Genetik algoritmaların çalışma prensipleri .....                             | 24         |
| 2.4.1.1. Seçim operatörleri .....                                                   | 25         |
| 2.4.1.2. Çaprazlama operatörleri .....                                              | 26         |
| 2.4.1.3. Mutasyon operatörleri .....                                                | 27         |
| 2.4.2. Genetik algoritma parametrelerinin belirlenmesi .....                        | 27         |
| 2.4.3. Genetik algoritmaların uygulama alanları .....                               | 28         |
| <b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>                                                   | <b>30</b>  |
| 3.1 Problem Tanımı.....                                                             | 30         |
| 3.2 Mevcut Durum .....                                                              | 31         |
| 3.3. Çözüme Yönelik Varsayımlar.....                                                | 34         |
| 3.4. Depo Adresleme Çözüm Yaklaşımı.....                                            | 34         |
| 3.4.1. Malzeme sınıflarının belirlenmesi .....                                      | 34         |
| 3.4.2. Kapıya ve talep masasına uzaklık hesabı .....                                | 35         |
| 3.4.3. Geliştirilen matematiksel model .....                                        | 36         |
| 3.4.4. Farklı durum senaryolarının geliştirilmesi.....                              | 38         |
| 3.5. Talep Kümeleme ve Toplayıcı Rotalama Çözüm Yaklaşımı.....                      | 38         |
| 3.5.1. Geliştirilen kümeleme ve rotalama matematiksel modeli.....                   | 38         |
| 3.5.2. Genetik algoritma tasarımı.....                                              | 42         |
| <b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>                                      | <b>46</b>  |
| 4.1. Tasarlanan Depo İç Lojistik Hareketleri Optimizasyon Sistemi.....              | 46         |
| 4.2. Depo Adresleme Çözüm Yaklaşımı.....                                            | 46         |
| 4.3. Talep Kümeleme ve Toplayıcı Rotalama Çözüm Yaklaşımı.....                      | 51         |
| <b>5. SONUÇ.....</b>                                                                | <b>56</b>  |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                              | <b>58</b>  |
| <b>EKLER.....</b>                                                                   | <b>62</b>  |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                                                | <b>623</b> |
| <b>TEŞEKKÜR .....</b>                                                               | <b>64</b>  |

**KISALTMALAR DİZİNİ**

COI – Cube per Order Index: Depolama alanının parça popülaritesine oranı

GA – Genetik Algoritma

NP – Non-Deterministic Polynomial-Time: Kararlı olmayan polinom zamanda  
çözölebilen

TSP – Traveling Salesman Problem: Gezgin satıcı problemi



## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 2.1: Tesis Tasarımı ve Operasyonel Problemler.....              | 12 |
| Çizelge 3.1: Kümeleme ve Rotalama Modeli Performans Değerleri.....      | 41 |
| Çizelge 4.1 Atama Modelinde Kullanılan Veri Adetleri.....               | 48 |
| Çizelge 4.2: Senaryo Sonuçları.....                                     | 48 |
| Çizelge 4.3: Farklı Ağırlık Değerlerinin Karşılaştırılması.....         | 49 |
| Çizelge 4.4: Örnek Veri Seti.....                                       | 52 |
| Çizelge 4.5: Deneysel Tasarımda Kullanılan Faktörler ve Seviyeleri..... | 52 |
| Çizelge 4.6: Genetik Algoritma Parametre Değerleri.....                 | 54 |
| Çizelge 4.7: Örnek Veri Seti için Kümeleme ve Rotalama Sonuçları.....   | 54 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1: Depo Yerleşim Planı Örneği.....                             | 6  |
| Şekil 2.2: Talep Toplayıcının Harcadığı Zamanın Dağılımı.....          | 7  |
| Şekil 2.3: Talep Toplama Sistemlerinin Sınıflandırılması.....          | 8  |
| Şekil 2.4: Talep Toplama Sistemlerinin Karmaşıklığı.....               | 11 |
| Şekil 2.5: Sınıf Tabanlı Depolamanın Yaygın Kullanılan İki Örneği..... | 14 |
| Şekil 2.6: S Şekilli Rotalama Yöntemi.....                             | 17 |
| Şekil 2.7: Dönüş Yöntemi.....                                          | 17 |
| Şekil 2.8: Orta Nokta Yöntemi.....                                     | 18 |
| Şekil 2.9: En Büyük Boşluk Yöntemi.....                                | 19 |
| Şekil 2.10: Çaprazlama Yöntemleri ve Uygulamaları.....                 | 27 |
| Şekil 3.1: Montaj Depo Yerleşim Planı.....                             | 30 |
| Şekil 3.2: Depo Raf Planı.....                                         | 32 |
| Şekil 3.3: Kümeleme ve Rotalama Modeli Sonuç Ekranı.....               | 42 |
| Şekil 4.1: Depo iç Lojistik Hareketleri Optimizasyon Sistemi.....      | 46 |
| Şekil 4.2: Depo Atama Sonuçları Ekran Görüntüsü.....                   | 50 |
| Şekil 4.3: Örnek Bir Raf Sütunu İçin Atama Sonuçları.....              | 51 |
| Şekil 4.4: Deney Özeti.....                                            | 53 |
| Şekil 4.5: Faktör Seviyelerine Göre Optimum Eta Değerleri.....         | 53 |
| Şekil 4.6: Seviyelerin Optimum Değerleri.....                          | 53 |
| Şekil 4.7: Genetik Algoritma Sonuç Ekranı.....                         | 55 |

## SİMGELER DİZİNİ

|               |   |                                                 |
|---------------|---|-------------------------------------------------|
| $P(c)$        | - | Çaprazlama olasılığı                            |
| $P(m)$        | - | Mutasyon olasılığı                              |
| $\alpha$      | - | Raf sıraları ve kapı arası yatay mesafe         |
| $\beta$       | - | Raf gözleri arası yatay mesafe                  |
| $\gamma$      | - | Bir raf sırasında bir kattaki lokasyon adedi    |
| $\delta$      | - | Bir depo bloğundaki raf sırası adedi            |
| $\psi$        | - | Raf sıraları arası yatay mesafe                 |
| $\omega$      | - | Raf sırasının genişliği                         |
| $\varepsilon$ | - | Raf gözleri arası düşey mesafe                  |
| $\varphi$     | - | Bir raf sırasındaki toplam depo lokasyonu adedi |
| $\eta$        | - | Her raf sırasındaki depo kat adedi              |
| $N$           | - | Popülasyon Boyutu                               |
| $L$           | - | Kromozom Uzunluğu                               |

## 1. GİRİŞ

Günümüz rekabet ortamında başarılı Tedarik Zinciri Yönetimi, firmaların rekabet gücünü arttırmaktadır. Tedarik Zinciri'nin en önemli unsurlarından birisi ise depolardır. Depolar arz talep dengesini sağlamada tampon görevi görmektedir. Ürünler geçici olarak depolarda stoklanabilmekte ve müşteri ya da üretim talepleri, depodaki ilgili lokasyonlardan parçalar toplanarak karşılanabilmektedir (Roodbergen ve De Koster 2001). Depolarda gerçekleştirilen başlıca operasyonlar; malzemeleri boşaltma, stoklama, talep toplama, biriktirme, sınıflandırma ve sevkiyattır (Tsai ve ark. 2008). Özel sektörde lojistiğe harcanan paraların (Fortune 1994), yaklaşık % 20'si depo operasyonlarına gitmektedir (Kearney ELA/AT 2004). Bu operasyonların içinde talep toplama, emek yoğun olduğu ve tekrar gerektirdiği için en maliyetli süreçtir (Hwang ve ark. 1988, Rana 1991). Çalışmalar göstermiştir ki toplam depo maliyetlerinin % 60'ını talep toplama işlemleri oluşturmaktadır ve bugün hala talep toplama işlemleri manuel olarak yapılmaktadır. Talep toplayıcıların % 50'den fazla zamanı ise toplama lokasyonları ve başlangıç noktası arasında seyahatle geçmektedir (Tompkins ve ark. 1996). Bu süreleri düşürmenin bir yolu tamamıyla yeni bir depo tasarlamaktır. Fakat genellikle operasyonel süreçleri değiştirmek gibi daha az radikal metotlarla da bu süreleri düşürmek mümkündür (Roodbergen ve De Koster 2001).

Talep toplama sürecinin verimliliği, depolama sistemleri, yerleşim, kontrol mekanizmaları gibi faktörlere bağlıdır. Genel olarak talep toplama sürecinin verimliliğini arttırmak; talep toplama süresini azaltmak ya da depoda gidilen mesafeleri minimize etmek için dört yaklaşım mevcuttur. İlk yaklaşım seyahat süresini minimize etmek için talep toplama rotasını planlamaktır. İkinci yaklaşım, depoyu bölgelere ayırmaktır. Böylece talep toplayıcılar sadece kendilerine atanan bölgede bulunan talepleri toplayacaklardır. Üçüncü yaklaşım, depo lokasyon atama yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda depo lokasyonları, rafların en iyi kullanımına göre seçilmektedir. Burada depoya atama kuralı ve rotalama metodu arasındaki ilişki önemlidir. Son yaklaşım ise talep kümeleme yaklaşımıdır. Talep kümeleme yaklaşımında, bazı talepler

gruplanmakta ve aynı kümeye atanan taleplerin tek seferde toplanması yoluyla gidilen mesafe azaltılmaktadır (Roodbergen ve De Koster 2001).

Bu çalışma, depo iç lojistik hareketleri optimizasyonuna yönelik olarak yapılmıştır. Öncelikle talep toplama sistemleri hakkında genel bilgiler verilmiş, daha sonra talep toplama sistemlerinin tasarımı ve kontrolü aşamasında dikkat edilmesi gereken taktik ve operasyonel kararlara değinilmiştir.

Uygulama çalışması iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, depo içi taşımaları en küçükleyecek şekilde, depoya giriş yapan malzemelerin araçlardan indirildikten sonra depoda atamanın gerçekleştirilmesi için tamsayılı programlama yöntemiyle çözüm geliştirilmiştir. İkinci aşamada ise, depoya ataması yapılan malzemelerin, üretim hattında talep oluştuğunda, talebin oluştuğu yere gidiş sürelerinin minimize edilmesi amacıyla talep kümeleme ve rotalama problemine öncelikle tamsayılı programlama yöntemiyle çözüm getirilmiştir. Ancak çözüm süresinin uzun olması ve kullanım zorluğu nedeniyle hızlı ve optimuma yakın sonuçlar veren sezgisel algoritmalara başvurulmuştur. Sezgisel algoritmalarından Genetik Algoritma yöntemiyle talep toplama rotası elde edilmiştir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Çalışmanın bu bölümünde öncelikle, depolar ve talep toplama sistemleri hakkında genel bilgiler verildikten sonra bu konuda yapılmış olan çalışmalara ve önerilen çözüm yöntemlerine yer verilmiştir. Daha sonra, yapılan uygulamada kullanılan Genetik Algoritma yöntemi açıklanmıştır.

### 2.1. Depoda Talep Toplama Sistemlerinin Tasarım ve Kontrolü

#### 2.1.1. Depolar ve depolama sistemleri

Depolar lojistik sistemlerinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Genellikle hammaddelerin, süreç içi parçaların ya da bitmiş ürünlerin, başlangıç ve tüketim noktalarında ya da bu noktalar arasında stoklanmasında kullanılmakta ve tampon görevi görmektedir. Depo terimi, eğer esas fonksiyon stoklama ve tampon görevi görmek ise kullanılmaktadır. Ek olarak, dağıtım da bir esas fonksiyon ise dağıtım merkezi terimi kullanılmaktadır (De Koster ve ark. 2007). Yapılan çalışmada, envanterden talep toplama konusu incelendiği için çalışma boyunca depo terimi kullanılmıştır. De Koster ve ark. (2007) tarafından bildirildiğine göre, Lambert ve arkadaşları, depoların, şirketlerin amaçlarına yaptığı katkıları aşağıdaki gibi özetlemektedir (De Koster ve ark. 2007):

- Nakliye tasarrufları sağlamak
- Üretim tasarrufları sağlamak
- Vadeli alımlarda ve satın alma indirimlerinde kalite avantajı sağlamak
- Müşteri servis politikalarını desteklemek
- Değişen pazar şartlarını ve belirsizlikleri karşılayabilmek
- Üreticiler ve müşteriler arasında oluşan zaman ve alan farklılıklarının üstesinden gelmek

- İstenen seviyede müşteri hizmetiyle en düşük toplam maliyetle lojistik faaliyetlerini tamamlamak
- Müşteri ve tedarikçilerin tam zamanında üretim politikalarını desteklemek
- Müşterilere, her talepte tek bir çeşit yerine ürün karması sağlamak
- Bertaraf edilecek ya da geri dönüştürülecek malzemelerin geçici stoklanmasını sağlamak (Tersine lojistik)
- Aktarmalar için tampon lokasyon görevi görmek (Çapraz sevkiyat)

#### **2.1.1.1. Depo akışları**

Depolarda gerçekleştirilen başlıca aktiviteler kabul, transfer etme ve yerleştirme, talep toplama/seçme, biriktirme/sınıflandırma, çapraz sevkiyat ve sevkiyattır.

Kabul işlemi, ürünlerin kamyonlardan boşaltılması, envanter kayıtlarının güncellenmesi, kalite ya da miktar tutarsızlıklarının kontrol edilmesini kapsamaktadır. Transfer etme ve yerleştirme, gelen ürünlerin depo lokasyonlarına transferini içermektedir. Talep toplama/seçme, pek çok depodaki en önemli aktivitedir. Belirli bir müşteri isteği için, doğru parçaların doğru miktarda toplanmasını gerektirmektedir. Eğer talepler kümeler halinde toplanıyorsa, toplanmış taleplerin müşteri isteklerine göre biriktirilmesi/sınıflandırılması gerekmektedir. Böyle bir durumda, toplama sürecinin ardından taleplerin, müşteri isteklerine göre gruplanması gerekmektedir. Toplamanın ardından, taleplerin doğru yerde paketlenip istif edilmesi gerekmektedir. Çapraz sevkiyat ise gelen parçaların direkt olarak sevkiyat noktalarına transfer edilmesi durumunda gerçekleştirilmektedir. Kısa beklemler ya da servisler gerektirse de talep toplamaya ihtiyaç duyulmamaktadır (De Koster ve ark. 2007).

#### **2.1.1.2. Depolama sistemleri**

Bir depo, genellikle, yollarında ürünlerin stoklandığı pek çok koridordan oluşmaktadır. Kullanılan stoklama donanımları ve yöntemlerinde geniş bir çeşitlilik mevcuttur. Depolama sistemi ise, parça toplama veya stoklama ortamında kullanılan

donanım ve işletme talimatlarının bileşimini ifade etmektedir. Otomasyon seviyesine göre üç tip depolama sistemi tanımlanmaktadır (Berg ve Zijm 1999):

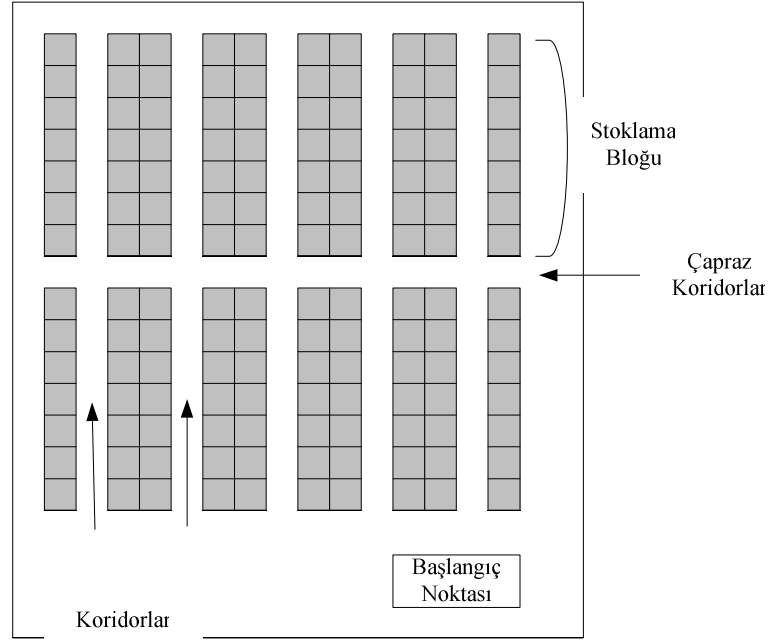
- Manüel depolama sistemleri: Bu sistemde, talep toplayıcılar toplama lokasyonları boyunca araçlarını kullanarak talepleri toplamaktadır.
- Otomasyonlu depolama sistemleri: Bu tip sistemlerde, küçük ya da orta büyüklükteki parçaların toplanması veya stoklanması işleminde bilgisayar kontrollü araçlar kullanılmaktadır. Bu araçlar talepleri, talep toplayıcıya getirmektedir.
- Otomatik depolama sistemleri: Otomasyonlu depolama sistemlerinde talep toplayıcı yerine robot kullanılması durumunda, otomatik depolama sistemleri oluşmaktadır.

#### **2.1.1.3. Depo yerleşim planı tasarımı**

Depolar genellikle, kullanılmayan alanın olmadığı, pek çok toplama koridorunun bulunduğu dikdörtgensel bir yapıya sahiptirler. Blok terimi, çok sayıdaki toplama koridorlarının oluşturduğu yapıya verilen isimdir. Bloklar arasında ve deponun ön ve arka kısımlarında çapraz koridorlar bulunmaktadır. Çapraz koridorlarda, stoklama lokasyonları bulunmamaktadır (Roodbergen ve De Koster 2001). Şekil 2.1’de gösterilen dikdörtgen depo iki bloğa bölünmüştür ve pek çok paralel toplama koridoru bulunmaktadır. Çapraz koridorlarda toplama lokasyonu bulunmamaktadır.

Depo yerleşim planlarını tasarlarken, depo içi hareket sürelerini minimize etmek hedefiyle, kaç adet stoklama bloğunun bulunacağına, koridorların sayısına ve uzunluğuna, çapraz koridorların bulunup bulunmayacağına, bulunacak ise konumlarına ve sayısına, başlangıç noktasının yerine karar verilmesi gerekmektedir.





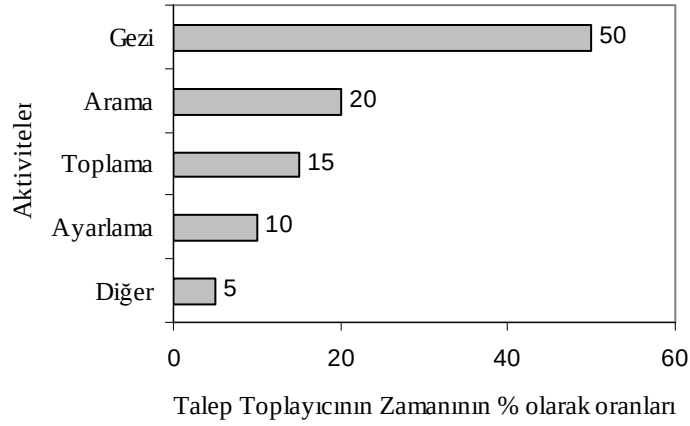
Şekil 2.1: Depo Yerleşim Planı Örneği

KAYNAK: 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: 481-501.

### 2.1.2. Talep toplama

Talep toplama, belirli bir müşteri isteğine karşı depodan ya da stok alanından ürünlerin toplanması işlemidir (De Koster ve ark. 2007).

De Koster ve ark. (2007) tarafından bildirildiğine göre, Goetschalckx ve Ashayeri talep toplama sistemlerinde yaygın hedefi; işgücü, makine, sermaye kısıtları altında servis seviyesini maksimize etmek olarak belirtmektedir (De Koster ve ark. 2007). Bunun için taleplerin mümkün olduğunca kısa sürede toplanması kritik bir noktadır. Şekil 2.2’de talep toplayıcının harcadığı zamanın bileşenleri gösterilmiştir. Talep toplayıcının talep toplama süresi içinde yolda geçen süre büyük bir alan işgal etmektedir ve fakat değer katan bir faaliyet değildir. Bu sebeple gidilen yolun bir fonksiyonu olan yolda geçen süre için mesafe minimize edilmelidir. Önemli hedeflerden biri de toplam maliyeti minimize etmektir.



Şekil 2.2: Talep Toplayıcının Harcadığı Zamanın Dağılımı

KAYNAK: Tompkins, J.A., J.A. White, Y.A. Bozer, E.H. Frazelle, J.M.A. Tanchoco. 2003. Facilities Planning. John Wiley & Sons. N.J.

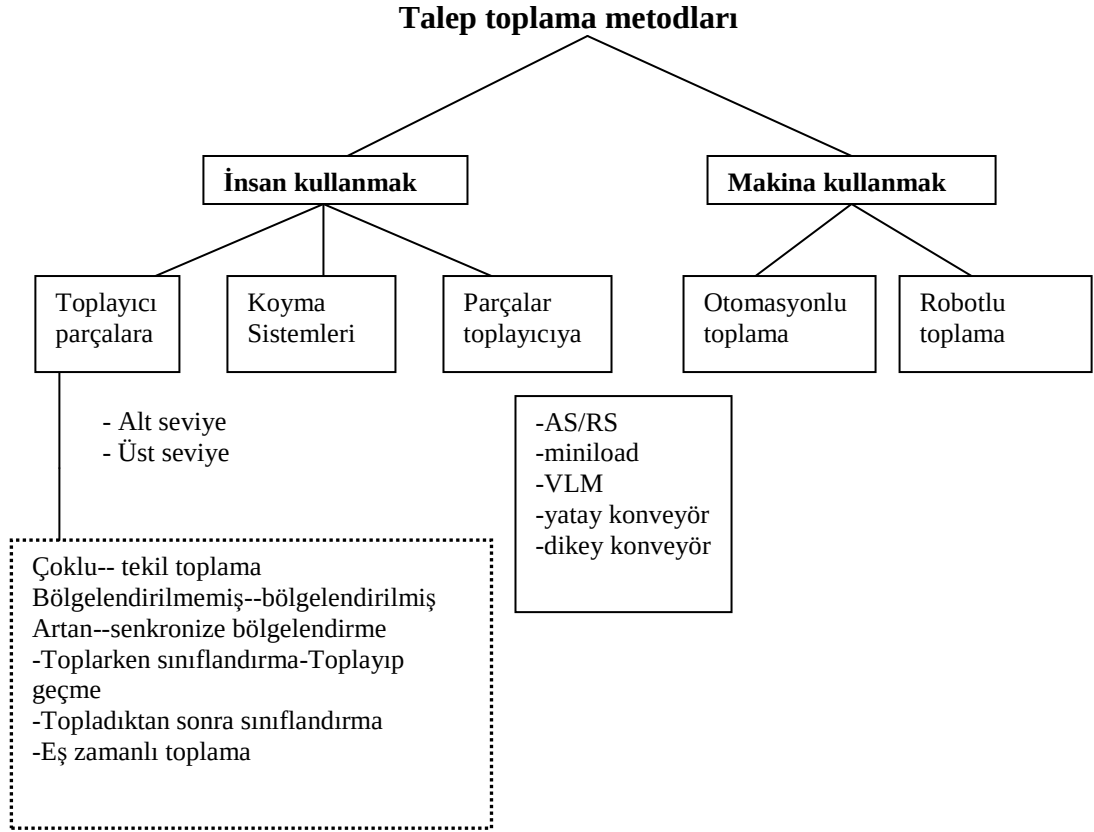
Talep toplama sistemlerinde dikkate alınan diğer hedefler aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Bir talebin gerektirdiği süreyi minimize etmek
- Tüm taleplerin gerektirdiği süreyi minimize etmek
- Alan kullanımını maksimize etmek
- Ekipman kullanımını maksimize etmek
- İşgücü kullanımını maksimize etmek
- Tüm parçaların erişilebilirliğini maksimize etmek

Üç ana tip talep toplama sistemi bulunmaktadır:

- Toplayıcı parçalara sistemi
- Parçalar toplayıcıya sistemi
- Koyma sistemleri

Talep toplama sistemlerinin daha detaylı bir sınıflandırması Şekil 2.3'deki gibi gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Talep Toplama Sistemlerinin Sınıflandırılması

KAYNAK: De Koster, R. 2004. How to Assess a Warehouse Operation in a Single Tour. Report. RSM Erasmus University. The Netherlands.

#### 2.1.2.1. Toplayıcı parçalara sistemi

Bu sistemde talep toplayıcılar koridorlar boyunca parçalara doğru yürümekte ya da araçlarını sürmektedir. Yaygın olarak bu sistem kullanılmaktadır. İki tipi vardır:

- Alt seviyede toplama
- Üst seviyede toplama

Alt seviyede toplamada, talep toplayıcı, istenen parçaları depo raflarından toplamaktadır. Üst seviyede toplamada ise toplayıcılar, asansörlü bir zeminin üzerinde ya da talep toplayıcı aracın üzerinde toplama noktalarına ulaşmaktadır. Araç, uygun toplama noktasının önünde otomatik olarak durmakta ve talep toplayıcının toplama işlemini gerçekleştirmesi için beklemektedir.

#### **2.1.2.2. Parçalar toplayıcıya sistemi**

Bu sistemde otomatik depolama ve toplama sistemleri bulunmaktadır. Sistemde kullanılan cihazlar daha çok ilgili koridorlarda sınırlıdır ve bir ya da daha fazla sayıda birim yükü toplama noktasına bırakmaktadır. Bu noktada talep toplayıcı, kalan miktar da tekrar depolandıktan sonra gerekli sayıda parçayı almaktadır.

#### **2.1.2.3. Koyma sistemleri**

Bu sistemde parçalar öncelikle toplayıcı parçalara ya da parçalar toplayıcıya sistemlerinden biriyle toplanmaktadır. Toplanan birimler talep toplayıcı tarafından müşteri kartonlarına yerleştirilmektedir. Bu sistem daha çok, çok sayıda müşteri talebinin kısa zamanda toplanması gerektiği durumlarda tercih edilmektedir.

#### **2.1.2.4. Toplayıcı parçalara sisteminde uygulamada karşılaşılan çeşitli varyasyonlar**

- Küme Toplama-Ayrık Toplama: Küme toplamada, çok sayıdaki müşteri talebi, talep toplayıcı tarafından eş zamanlı olarak toplanmaktadır. Bu sistemde talep toplayıcı, toplamanın hemen ardından sınıflandırma yapabilir ya da toplama işlemi tamamıyla bittikten sonra sınıflandırma işlemini yapabilir. Tekil toplamada ise talep geldikçe toplama işlemi yapılmaktadır.
- Bölgeleme: Bu sistemde toplayıcılar belirli bölgelere atanmaktadır. Bir bölgede toplanan taleplerin, tamamlanma için diğer bölgelere geçirilmesi ya da paralel olarak toplanması durumuna göre aşamalı ve senkronize bölgeleme olmak üzere iki tipi bulunmaktadır.
- Eş Zamanlı Toplama: Gidecekleri yer ortak olan taleplerin tüm depo alanlarında eş zamanlı olarak toplanmasıdır (De Koster ve ark. 2007).

## **2.2. Bir Talep Toplama Sisteminin Tasarım ve Kontrol Aşamasında Dikkate Alınması Gereken Taktik ve Operasyonel Kararlar**

Talep toplama sistemlerinin tasarımı, pek çok içsel ve dışsal faktöre bağlı olarak, karmaşık bir konudur. De Koster ve arkadaşlarının (2007) belirttiğine göre, Goetschalckx ve Ashayeri talep toplama sistemlerini etkileyen dışsal faktörleri, pazarlama kanalları, müşteri talep modelleri, tedarikçi ikmal modeli ve envanter seviyesi, bir ürün için toplam talep ve ekonominin durumu olarak sıralamaktadır. İçsel faktörleri ise, sistem karakteristikleri, organizasyon ve talep toplama sisteminin operasyonel kuralları olarak belirtmektedir. Şekil 2.4'te, talep toplama sistemlerinin karmaşıklığı, orijine olan uzaklıkla ölçülen bir gösterimle verilmiştir. Orijinden uzaklaştıkça, sistem karmaşıklığı artmaktadır. Bir talep toplama sisteminin tasarım ve kontrol aşamasında dikkate alınması gereken taktik ve operasyonel kararlar aşağıdaki gibi sıralanmaktadır (De Koster ve Ark. 2007):

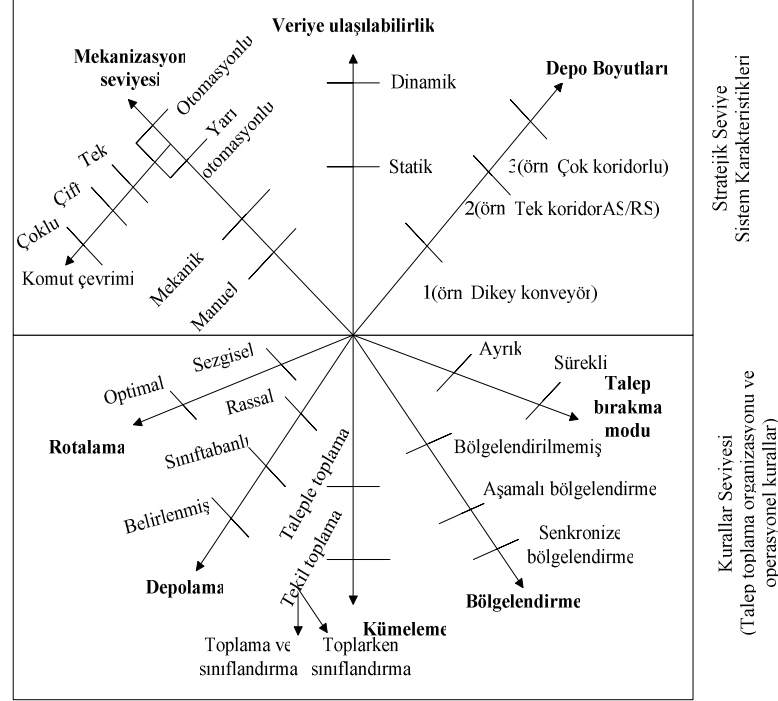
- Tesis tasarımı ve depo sisteminin boyutlandırılması
- Depoya ürünlerin atanması
- Koridorların çalışma bölgesi olarak gruplandırılması
- Taleplerin küme olarak atanması
- Talep toplayıcının rotalanması
- Toplanmış ürünlerin talebe göre sınıflandırılıp gruplandırılması

Yukarıda sıralanan kararların her biri ayrı bir problem tipi ve çalışma alanı olarak literatürde yerini almaktadır. Bu kararların daha detaylı bir tanımı Çizelge 2.1' deki gibi gösterilmiştir.

### **2.2.1. Tesis tasarımı**

Talep toplama sistemlerinde tesis tasarımı başlığı altında; depoda bulunacak blokların sayısına, koridorların uzunluğuna ve sayısına, ara geçit olup olmayacağına, olacak ise sayısına karar verilmesi, başlangıç noktasının, boşaltma kapısının yerine

karar verilmesi, otomasyon seviyesine karar verilmesi gibi konular ele alınmaktadır (Gu ve ark. 2007).



Şekil 2.4: Talep Toplama Sistemlerinin Karmaşıklığı

KAYNAK: Goetschalckx, M., Ashayeri, J. 1989. Classification and Design of Order Picking Systems. Logistics World. June:99-106

### 2.2.2. Depoya ürünlerin atanması

Talep toplama sistemlerinde, müşteri taleplerini karşılamak için ürünlerin toplanmadan önce depo lokasyonlarına yerleştirilmeleri gerekmektedir. Depoya ürünlerin atanmasında pek çok değişik yöntem mevcuttur. Sık kullanılan depoya atama yöntemleri; rassal depolama, en yakın boş lokasyona depolama, tahsis edilmiş depolama, tam devir depolama, sınıf tabanlı depolama ve ailesel gruplamadır.

Çizelge 2.1: Tesis Tasarımı ve Operasyonel Problemler

| Tasarım ve Operasyonel Problemler |                               |                       | Kararlar                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Depo<br>Tasarımı                  | Genel Yapı                    |                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Malzeme akışı</li> </ul>                                                                                                                                                                                            |
|                                   | Ölçülendirme ve Boyutlandırma |                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Departman tanımlama</li> <li>İlişkili departmanların yerleşimi</li> <li>Deponun boyutu</li> </ul>                                                                                                                   |
|                                   | Departman yerleşimi           |                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Departmanların boyutu ve ölçüsü</li> <li>Palet bloğu modeli</li> </ul>                                                                                                                                              |
|                                   | Ekipman seçimi                |                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Koridor yönelimi</li> <li>Koridorların sayısı</li> <li>uzunluğu genişliği</li> <li>Kapıların yeri</li> <li>Otomasyon seviyesi</li> <li>Depolama ekipman seçimi</li> <li>Malzeme elleçleme ekipman seçimi</li> </ul> |
|                                   | Operasyon stratejisi          |                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Otomasyon stratejisi seçimi</li> <li>Talep toplama metodu seçimi</li> </ul>                                                                                                                                         |
| Depo<br>Operasyonları             | Kabul ve sevkiyat             |                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kamyon-dok ataması</li> </ul>                                                                                                                                                                                       |
|                                   | Stoklama                      | SKU-departman ataması | <ul style="list-style-type: none"> <li>Talep-kamyon ataması</li> <li>Kamyon çizelgeleme</li> <li>Farklı depo departmanlarına parçaların atanması</li> </ul>                                                                                                |
|                                   |                               | Bölgelendirme         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Alan tahsisatı</li> <li>SKU' ların bölgelere atanması</li> <li>Toplayıcıların bölgelere atanması</li> </ul>                                                                                                         |
|                                   |                               | Depoya atama          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Depoya atama</li> <li>Depo sınıflarının belirlenmesi(Sınıf tabanlı depolama için)</li> </ul>                                                                                                                        |
|                                   | Talep toplama                 | Kümeleme              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Küme boyutu</li> <li>Küme-talep ataması</li> </ul>                                                                                                                                                                  |
|                                   |                               | Rotalama ve sıralama  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Talep toplama turlarının rotalanması ve sıralanması</li> <li>Yerleşim noktası seçimi(AS/RS için)</li> </ul>                                                                                                         |
|                                   |                               | Sınıflandırma         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Talep-rota ataması</li> </ul>                                                                                                                                                                                       |

KAYNAK: Gu, J.,Goetschalckx, M., McGinnis, L.F. 2007. Research on Warehouse: A Comprehensive Review. European Journal of Operational Research, 177:1-21

#### **2.2.2.1. Rassal depolama**

De Koster ve arkadaşlarının (2007) belirttiğine göre, Petersen rassal depolama sistemini, ürünlerin mevcut boş yerlere eşit olasılıklarla rassal olarak atanması şeklinde tanımlamaktadır. Ancak bilgisayarla kontrol edilen bir ortamda uygulanabilmektedir (De Koster ve ark. 2007). Bu sistem, depolarda yaygın olarak kullanılmaktadır çünkü uygulaması kolaydır ve diğer yöntemlere göre daha az alan gerektirmektedir. Ayrıca depolarda yüksek kullanım oranıyla sonuçlanmaktadır (Petersen ve Aase 2004).

#### **2.2.2.2. En yakın boş lokasyona depolama**

Talep toplayıcının, depo lokasyonunu kendisinin seçtiği sistem, en yakın boş lokasyona depolama sistemidir. Toplayıcı tarafında rast gelinen ilk boş lokasyon kullanılacak, dolayısıyla başlangıç noktası etrafındaki raflar dolu olup arka lokasyonlar daha boş olacaktır. Hausman ve arkadaşlarına (1967) göre, bu sistem ve rassal depolama, sadece dolu paletlerin kullanılması durumunda benzer performans göstereceklerdir (De Koster ve ark. 2007).

#### **2.2.2.3. Tahsis edilmiş depolama**

Tahsis edilmiş depolama, ürünlerin, belirli yerlere yerleştirildiği depolama yöntemidir. Bu yöntemin dezavantajı, lokasyonların, stokta bulunmayan parçalar için de rezerve edilmesidir. Ayrıca maksimum envanter seviyesinin depolanabilmesi için stok gereksinimi fazladır ve depoya atama yöntemleri arasında en düşük alan kullanım oranına sahip yöntemdir. Bu yöntemde, talep toplayıcıların ürün lokasyonlarına aşina olması en önemli avantajdır (De Koster ve ark. 2007).

#### **2.2.2.4. Tam devir depolama**

Tam devir depolama yönteminde, ürünler devir hızlarına göre stok alanına dağıtılmaktadır. Hızlı devir eden parçalar, erişimi kolay yerlere, daha çok başlangıç noktası etrafına, yavaş hareket eden parçalar ise deponun arka lokasyonlarına

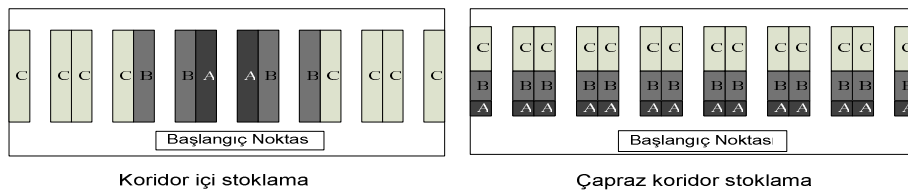


yerleştirilmektedir. Yöntemin en önemli dezavantajı, talep oranlarının devamlı olarak farklılık göstermesi ve ürün çeşidinin sıkça değişmesidir. Bu durumda her değişim, depoda, stokların yüksek oranda yeniden düzenlenmesi ve ürünlerin yeniden sıralanması sonucunu getirmektedir. Dolayısıyla esneklik ve verimlilik kayıpları yaşanabilmektedir (De Koster ve ark. 2007).

Muppani ve Adil'in (2008) belirttiğine göre Heskett (1963), bu tip depolamanın bir örneği olan COI (Cupe per order index) kurallı depolama sistemi üzerine çalışmıştır. COI, bir parça için gerekli depo alanının, ilgili parçanın popüleritesine oranı olarak tanımlanmaktadır (Muppani ve Adil 2008). Bu yaklaşımda, düşük COI oranına sahip olan ürünler başlangıç ya da boşaltma noktasına yakın yerlere yerleştirilmektedir.

#### 2.2.2.5. Sınıf tabanlı depolama

Sınıf tabanlı depolama, önceki bölümlerde bahsedilen yöntemlerin birleşiminden oluşmaktadır. Sistemin temelinde Pareto yasası yatmaktadır. Bu yöntemde öncelikle, depolanan ürünlerin %15'inin, taleplerin %85'ini oluşturduğu yaklaşımla ürünler sınıflandırılmaktadır. Ardından her sınıf, depoda belirli bölgelere atanmaktadır. Bölgeler içindeki atamalar rassal olarak yapılmaktadır. Sınıflar ise COI kuralı, toplama hacmi gibi talep sıklığını ölçme yöntemlerinden biriyle belirlenebilmektedir. Hızlı dönen parçalar A sınıfına, sonraki hızlı dönen parçalar B sınıfına yerleştirilmektedir. Genellikle oluşturulan sınıflar 3 ile sınırlandırılmaktadır. Oluşturulan sınıfları yerleştirmede yaygın kullanılan iki örnek Şekil 2.5'deki gibi gösterilmiştir (De Koster ve ark. 2007).



Şekil 2.5: Sınıf Tabanlı Depolamanın Yaygın Kullanılan İki Örneği

KAYNAK: 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: 481-501.

Sınıf tabanlı depolama yöntemi, rassal depolamadan daha az talep toplayıcı gezi sayısı gerektirmektedir fakat daha fazla depolama alanına ihtiyaç duyulmaktadır (Petersen ve Aase 2004).

#### **2.2.2.6. Ailesel gruplama**

Ailesel gruplama, benzer ürünlerin aynı stok alanında depolandığı bir depoya atama yöntemidir. Bu yöntemde, ürünler arasındaki ilişkiler dikkate alınmıştır. Bu sistemin uygulanabilmesi için ürünler arasındaki istatistiksel korelasyonun bilinmesi ya da en azından tahmin edilebilir olması gerekmektedir. Bu yöntem de daha önce bahsedilen depoya atama yöntemleriyle birleştirilerek uygulanabilmektedir (De Koster ve ark. 2007).

#### **2.2.3. Bölgeleendirme**

Talep toplama sistemlerinde alınması gereken operasyonel kararlardan bir tanesi de bölgeleendirmedir. Bölgeleendirme, talep toplama alanının bölgelere ayrılması ve her toplayıcının kendisine atanan bölgeden sorumlu olması şeklinde tanımlanmaktadır. Depoyu bölgeleendirmek için önemli sebeplerden birisi talep toplama aktivitelerini organize edebilmektir. En temel avantajları talep toplayıcıların daha küçük bir alanda çalışması, bölgesindeki ürünlerin yerlerine aşına olabilmesi ve daha kısa talep toplama süresidir. Dezavantajı ise talepler bölündüğü için gönderilmeden önce tekrar birleştirilmesi gerektiğidir. Bu alanda yapılmış çalışmalar sınırlı sayıdadır (Gu ve ark. 2007).

#### **2.2.4. Kümeleme**

Talep toplama sistemlerinde, talep toplayıcının gezi süresini kısaltacak yöntemlerden birisi de kümelemedir. Benzer toplama lokasyonuna sahip taleplerin birlikte kümelenmesi ve aynı toplama turunda toplanması durumunda talep toplayıcının gezi süresi önemli ölçüde azalmaktadır (Ho ve ark. 2008). Küme, aynı turda eş zamanlı olarak toplanan talepler grubudur (Hsu ve ark. 2005). Kümelemenin uygulanabilmesi

için taleplerin boyutlarının küçük olması gerekmektedir. Eğer talepler büyük ise her bir talep ancak bireysel olarak toplanabilmektedir. De Koster ve arkadaşlarının (2007) belirttiğine göre Choe ve Sharp, kümeleme için temelde iki faktör belirlemişlerdir:

- Toplama lokasyonları arasındaki yakınlık
- Zaman aralığı

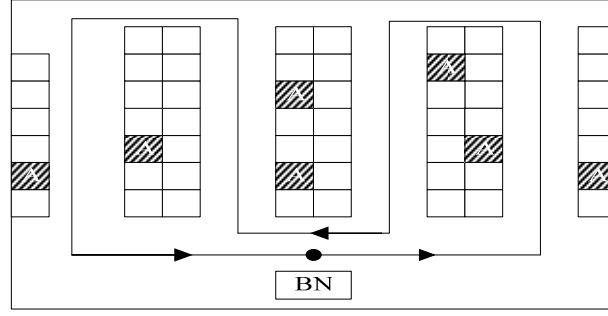
Yakınlığa göre kümelemede, her bir talebin bulunduğu lokasyonla diğer taleplerin yakınlığı temel alınarak kümeye atama yapılmaktadır. Burada en önemli problem, talepler arasındaki yakınlığın nasıl ölçüleceğidir. Sabit ya da değişen zaman aralığına göre kümelemede ise, aynı zaman aralığına gelen talepler aynı kümeye atanmaktadır (De Koster ve ark. 2007).

#### **2.2.5. Rotalama**

Talep toplama sistemlerinde rotalama problemi, bilinen gezgin satıcı probleminin bir türüdür (Caron ve ark. 1998). Rotalama, talep toplama listesindeki toplanacak parçaların sıralanması işlemidir. Talep toplama listesi ise tek bir turda toplanacak parçaların ve bu parçaların bulunduğu lokasyonların yer aldığı bir listedir (Hwang ve ark. 2004). Literatürde karşılaşılan rotalama yöntemleri S-şekilli sezgisel yöntemi, dönüş yöntemi, orta nokta yöntemi ve en büyük boşluk yöntemidir.

##### **2.2.5.1. S-şekilli sezgisel yöntemi**

S şekil sezgisel yöntemde, talep toplayıcı her toplama koridoruna girmekte ve boydan boya geçerek diğer çıkıştan çıkmaktadır. Toplama lokasyonu olmayan koridorlara hiç girilmemektedir. En son ziyaret edilen koridordan da başlangıç noktasına geri dönülmektedir (Hwang ve Kim 2005). S şekilli rotalama yönteminin örnek bir gösterimi Şekil 2.6’da verilmiştir.

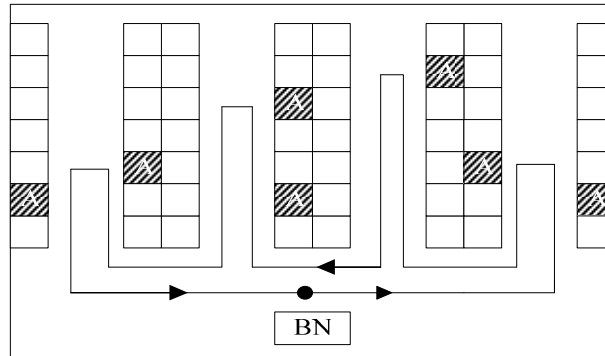


Şekil 2.6: S Şekilli Rotalama Yöntemi

KAYNAK: Hwang, H., Oh, Y.H., Lee, Y.K. 2004. An Evaluation of Routing Policies for Order Picking Operations in Low-Level Picker to Part Ssystem, International Journal of Production Research 42:18, 3873-3889

#### 2.2.5.2. Dönüş yöntemi

Dönüş yönteminde, talep toplayıcı toplama lokasyonu bulunan her koridora girmektedir. Girdiği koridorda en uzaktaki talep lokasyonuna kadar gitmekte ve ilgili koridordaki tüm toplama lokasyonlarından talepleri aldıktan sonra aynı koridordan geri dönmektedir. Sadece toplama noktası olan koridorlar ziyaret edilmektedir (Hwang ve Kim 2005). Dönüş yönteminin örnek bir gösterimi Şekil 2.7’de verilmiştir.

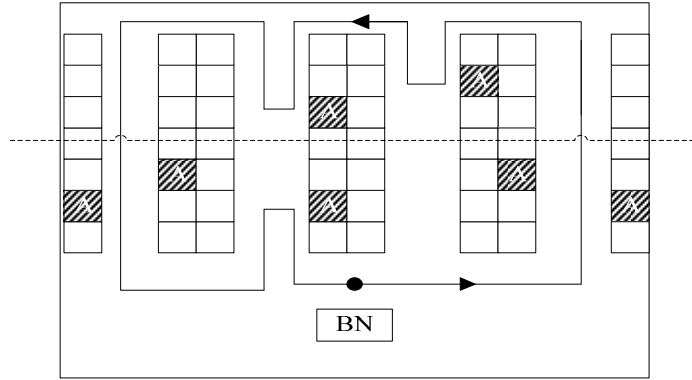


Şekil 2.7: Dönüş Yöntemi

KAYNAK: Hwang, H., Oh, Y.H., Lee, Y.K. 2004. An Evaluation of Routing Policies for Order Picking Operations in Low-Level Picker to Part Ssystem, International Journal of Production Research 42:18, 3873-3889

### 2.2.5.3. Orta nokta yöntemi

Orta nokta yönteminde, depo, yatay bir çizgiyle birbirine eşit iki alana ayrılmaktadır. Talep toplayıcı, toplama koridorundaki en uzak orta noktaya kadar gitmekte talepleri aldıktan sonra aynı koridordan geri dönmektedir. Toplama noktalarının durumuna göre, aynı koridora diğer alandan da girilebilmektedir. En sol ve en sağdaki toplama koridorları boydan boya geçilmektedir. Toplanacak taleplerin koridorun giriş ve çıkışlarına yakın olması durumunda bu yöntemi kullanmak verimli olacaktır (Hwang ve Kim 2005). De Koster ve arkadaşlarının (2007) belirttiğine göre, Hall' a göre koridor başına düşen toplama noktası sayısının küçük olması durumunda, bu yöntem, S şekilli sezgisel yöntemden daha iyi bir performans gösterecektir (De Koster ve ark. 2007). Orta nokta yönteminin örnek bir gösterimi Şekil 2.8'de verilmiştir.



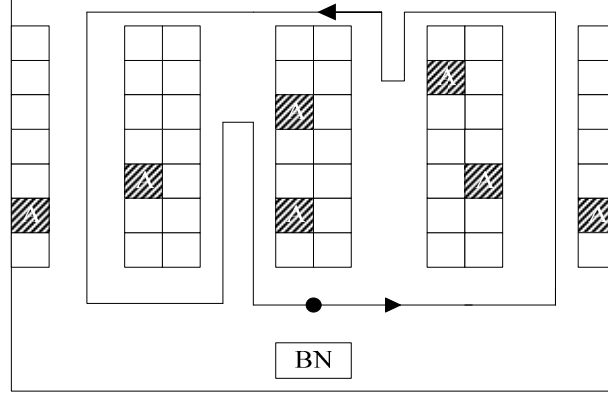
Şekil 2.8: Orta Nokta Yöntemi

KAYNAK: Hwang, H., Oh, Y.H., Lee, Y.K. 2004. An Evaluation of Routing Policies for Order Picking Operations in Low-Level Picker to Part Ssystem, Internatinoal Journal of Production Research 42:18, 3873-3889

### 2.2.5.4. En büyük boşluk yöntemi

En büyük boşluk yöntemi, orta nokta yöntemine benzemektedir fakat bu yöntemde talep toplayıcı girdiği koridorda orta noktaya kadar değil en büyük boşluğa kadar gitmektedir. Burada boşluk, iki bitişik toplama noktası arasındaki aralığı göstermektedir. De Koster ve arkadaşlarının (2007) belirttiğine göre, Hall' a göre bu yöntem her zaman orta nokta yönteminden daha iyi bir performans göstermektedir.

Fakat başka bir bakış açısıyla da orta nokta yöntemi uygulaması kolay bir yöntemdir (De Koster ve ark. 2007). En büyük boşluk yönteminin örnek bir gösterimi Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9: En büyük boşluk yöntemi

KAYNAK: Hwang, H., Oh, Y.H., Lee, Y.K. 2004. An Evaluation of Routing Policies for Order Picking Operations in Low-Level Picker to Part Ssystem, International Journal of Production Research 42:18, 3873-3889

### 2.3. Depo Atama ve Talep Toplama Sistemleri Alanında Yapılmış Çeşitli Çalışmalar

Talep toplama sistemleri alanında yapılmış olan çalışmaları, tez çalışması kapsamında, depolar ve depo operasyonları, depoya atama, kümeleme, rotalama ana başlıklarında incelemek mümkündür.

Berg ve Zijm (1999) depolama sistemleri ve depo yönetim problemlerini tartışmışlar, depolama sistemlerinin, tasarım, planlama ve kontrol aşamalarında karar problemlerinin hiyerarşisini sunmuşlardır.

Gu, Goetschalckx ve McGinnis (2007) depo operasyonları planlama problemleri üzerine geniş bir literatür araştırması yapmışlar, depo operasyonlarını, kabul, stoklama, talep toplama ve sevkiyat şeklinde kategoriler halinde özetleyerek mevcut çözüm algoritmalarını sunmuşlar ve gelecek araştırmalar için fırsatları açıklamışlardır.

De Koster, Le-Duc ve Roodbergen (2007) çalışmalarında manuel talep toplama sistemlerinin tasarım ve kontrol aşamasındaki tipik karar problemlerinin literatür taramasını sunmuşlardır. Tesis tasarımı, depoya atama yöntemleri, rotalama yöntemleri, talep kümeleme ve bölgelendirme üzerine odaklanmışlardır. Talep toplama sistemleri ile ilgili yapılmış pek çok çalışmaya rağmen genel tasarım prosedürlerinin ve global optimizasyon modellerinin hala eksik kaldığı sonucunu belirtmişlerdir.

Petersen ve Aase (2004) manuel talep toplama sistemlerindeki toplama, depolama, rotalama kurallarını karşılaştırmak için bir simulasyon modeli kullanmışlardır. Talep boyutunun, dağılımının ve depo yapısının etkilerini pek çok duyarlılık analizi ile incelemişler ve taleplerin küçük boyutlu olması durumunda kümelemenin daha çok kazanç getirdiğini, ortalama talep büyüklüğünde ise sınıf tabanlı depolamanın kümelemeyle aynı seviyede kazanç getirdiğini göstermişlerdir.

Hsu, Chen ve Chen (2005) genetik algoritmaya dayalı bir kümeleme yaklaşımı geliştirmişlerdir. Algoritma toplam gezilen mesafeyi direkt olarak minimize etmektedir. Geliştirilen algoritma her tür depo yerleşimine ve küme yapısına uyumludur.

Le-Duc ve De Koster (2005) sınıf tabanlı depolamanın kullanıldığı bir depolama sisteminde ortalama talep toplama gezi mesafesini tahmin eden bir model geliştirmişler ve bu ortalama talep toplama gezi mesafesini amaç fonksiyonu olarak kullanarak depo bölgelendirme optimizasyon problemi için matematiksel model geliştirmişlerdir. Büyük depolarda problemin optimal çözümünü bulmak zorlaşacağı için bir sezgisel yöntem kullanarak optimal bölge büyüklüğüne karar vermişlerdir.

Chen ve He (2008) otomasyonlu depolama sistemleri için depoya atama stratejilerini tartışmışlar ve depoya atama optimizasyonu için matematiksel model geliştirmişlerdir. Büyük boyutlu problemlerin üstesinden gelebilmek için Pareto optimal çözümüne dayalı parçacık sürü optimizasyon yöntemiyle depoya atama problemini çözmüşlerdir.

Muppani ve Adil (2008 a) sınıf tabanlı bir depolama yönteminin mevcut olduğu bir sistemi incelemişlerdir. Sınıfları oluşturmak ve depoya atamaları çözmek için oluşturulan tamsayılı programlama modeli için tavlama benzetimi algoritması geliştirmişlerdir. Geliştirilen modelde hem talep toplama maliyetleri hem de literatürdeki çalışmalardan farklı olarak depo alan maliyetleri birlikte ele alınmıştır.

Muppani ve Adil (2008 b) alan azaltımı, elleçleme maliyetleri, stoklama alan maliyetlerini göz önüne alarak, sınıf tabanlı depolama düzeni için doğrusal olmayan tamsayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen doğrusal olmayan modeli çözmek için dal sınır algoritmasını kullanmışlardır. Sınıf tabanlı depolamada klasik yaklaşım Pareto yasasına göre ürünlerin sınıflara bölünmesidir. Petersen ve arkadaşları (2004) Pareto yasasına dayanarak ürünleri farklı sayıdaki sınıflara bölmüşler ve talep toplama süresindeki gelişmeyi incelemişlerdir. Rosenblatt ve Eynan (1989) ve Eynan ve Rosenblatt (1994) ürünleri optimal  $n$  adet sınıfa bölecek prosedür geliştirmişlerdir (Muppani ve Adil 2008).

Caron, Marchet ve Perego (1998) çalışmalarında alt seviye parçalar toplayıcıya talep toplama sisteminde farklı rotalama stratejilerini tahmini seyahat süresi bazında karşılaştırmış ve değerlendirmiştir. COI tabanlı stoklama sistemlerinde S-şekilli ve dönüş rotalama yöntemleri için COI tabanlı ABC eğrisi, bir turdaki toplama sayısı, koridorların sayısı, uzunluğu, genişliği gibi parametreler dikkate alınarak elde edilen tahmini seyahat süresi ile ilişkili analitik modeller türetilmiş ve bu modellerin doğruluğunu destekleyen simulasyon sonuçları sunulmuştur.

De Koster, Van der Poort ve Wolters (1999) Tohum ve Zaman tasarrufu algoritmalarının performansını, S-şekilli ve En büyük boşluk rotalama stratejilerini kullanarak değerlendirmişlerdir. Ulaştıkları sonuçlar, Tohum algoritmalarının S-şekilli rotalama stratejisi ve yüksek kapasiteli talep toplama aracıyla kullanıldığı zaman; Zaman tasarrufu algoritmalarının ise En büyük boşluk rotalama stratejisi ve düşük kapasiteli talep toplama aracıyla kullanıldığı zaman en iyi performansı sağladıklarını göstermiştir.



Roodbergen ve De Koster (2001) iki ya da daha fazla çapraz koridorlu, rassal stoklamanın kullanıldığı depolarda talep toplama rotaları için sezgisel yöntemler sunmuşlardır. Literatürdeki sezgisel yöntemlere ek olarak birleştirilmiş sezgisel yöntemi geliştirmişlerdir. Tüm sezgisel yöntemlerin sonuçlarını dal sınır algoritmasından elde ettikleri optimal çözümle karşılaştırmışlar ve birleştirilmiş sezgiselin en iyi performansı gösterdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca seyahat süresiyle ilgili çapraz koridor sayısının, toplama koridoru sayısına, koridor uzunluğuna ve parça sayısına bağlı olduğunu açıklamışlardır.

Hwan, Oh ve Lee (2004) S-şekilli, dönüş ve orta nokta rotalama yöntemleri için koridor sayısının tek ya da çift olmasına dayanan toplam seyahat mesafesi tahmini için analitik modeller geliştirmişler ve modelleri simulasyon sonuçları ile test etmişlerdir. Ardından COI tabanlı ABC eğrisi, bir turdaki toplama sayısı, depo uzunluğunun genişliğine oranı parametreleri için rotalama kurallarının performansı test edilmiştir.

Hwang ve Kim (2005) S-şekilli, dönüş ve orta nokta rotalama yöntemlerinin her biri için kümeleme analizine dayanan verimli bir talep kümeleme algoritması geliştirmişlerdir.

Won ve Olafsson (2005) kümeleme ve talep toplama problemi için kümeleme ve sıralama problemini birlikte ele alan bir sıralama geliştirmişler ve yalnızca depo verimliliğini değil müşteri talebine cevap yeteneğini de hedeflemişlerdir. Bu zor problemi makul sürede çözebilmek için iki sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. İlki önce kümeleme, sonrasında her kümedeki talepleri sıralama işlemini yapmaktadır. İkincisinde ise kümeleme ve sıralama problemini birlikte ele almanın getireceği avantaj kullanılarak başka bir sezgisel yöntem önerilmiştir.

Ho ve Tseng (2006) bir tohum talep seçim kuralı ve eklenecek taleplerin seçim kurallarına göre oluşturulan farklı kümeleme yöntemlerini incelemişlerdir. Tohum talep seçim kuralı, kümeye ilk olarak atanacak talebi, eklenecek taleplerin seçim kuralı, kümeye atanacak diğer taleplerin seçim kuralını ifade etmektedir. Çalışmalarında, toplama koridoru ve lokasyon tabanlı dokuz adet tohum talep seçim kuralı ve on adet

eklenecek taleplerin, seçim kuralının iki farklı rotalama yöntemi ve iki farklı koridor-toplama-sıklık dağılımında performansı değerlendirmişlerdir.

Bozer ve Kile (2007) talep kümeleme problemlerini teorik olarak ele almışlardır. Sadece belirli özel problem tiplerinin çözülebilir olduğunu, diğerlerinin ise NP-zor problem tipinde olduklarını belirtmişlerdir. Geliştirdikleri karışık tam sayılı programlama modeli ile gerçeğe yakın çözümler elde etmişler ve sezgisel algoritmalar kullanılarak daha iyi sonuçlar elde etmenin yolunun açık olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Ho, Su ve Shi (2008) iki koridorlu talep toplama deposunda tohum talep seçim ve eklenecek taleplerin seçim kurallarına odaklanmışlardır. Önceki çalışmalardan farklı olarak sadece toplama koridoru ve lokasyon değil, alan ve mesafeyi de dikkate alarak yeni kurallar geliştirmişlerdir. Toplamda onbir adet tohum talep seçim kuralı ve ondört adet eklenecek taleplerin seçim kuralının iki farklı rotalama yöntemi ve iki farklı koridor-toplama-sıklık dağılımında performansını değerlendirmiş, yeni geliştirilen kuralların daha iyi sonuçlar verdiğini ve kuralların, birbirlerinin performansını da etkilediğini göstermişlerdir.

Tsai, Liou ve Huang (2008) optimal küme toplama planlarını, çoklu Genetik Algoritma (GA) metodunu kullanarak çözmüşlerdir. Toplayıcı parçalara sisteminin uygulandığı ve tahsis edilmiş depolamanın kullanıldığı varsayılmıştır. Çoklu GA metodu, GA\_Küme ve GA\_Gezgin Satıcı (TSP) algoritmalarından oluşmaktadır. GA\_Küme toplam seyahat maliyetini ve erken gelme, geç kalma cezalarını minimize ederek optimal küme toplama planını bulmakta, GA\_TSP ise seyahat mesafesini minimize edecek seyahat rotasını bulmaya çalışmaktadır.

Bu tez çalışmasında da depo atama problemine sınıf tabanlı depoya atama yaklaşımı geliştirilmiş ve üretim taleplerini toplama problemine de kümeleme ve rotalamayı birlikte optimize edecek Genetik Algoritma tasarlanmıştır. Modeller otomotiv ana sanayi firmasından alınan verilerle test edilmiştir.

## 2.4. Genetik Algoritmalar

Genetik algoritmalar, doğal seleksiyon ve genetik temellerine dayanan arama algoritmalarıdır (Goldberg 1989). Doğal seleksiyon, doğanın, iyi karakteristik özelliklere sahip kromozomların zayıf karakteristik özelliklere sahip kromozomlardan daha fazla üretilmesini sağlaması sürecidir (Tsoukalas ve Uhrig 1997). Genetik Algoritmalar, Michigan Üniversitesinde John Holland, çalışma arkadaşları ve öğrencileri tarafından geliştirilmiştir. Çalışmalarındaki iki önemli amaçları; doğal sistemin uyum sürecini açıklayıp özetlemek ve doğal sistemin esaslarını dikkate alan yapay sistem yazılımı tasarlamaktır. Bu yaklaşım onları doğal ve yapay sistem biliminde önemli keşiflere götürmüştür (Goldberg 1989).

### 2.4.1. Genetik algoritmaların çalışma prensipleri

Genetik algoritmaları gerçek dünya optimizasyon problemlerine uygularken, ilk etapta olası çözümlerin kromozom gösterimlerinin kodlanması ve optimize edilecek uygunluk fonksiyonunun tanımlanması gerekmektedir (Hsu ve ark. 2005). Genetik algoritmalarda problemin karar değişkenleri sonlu uzunluktaki dizilerle kodlanmaktadır. Her biri bir aday çözüm olan bu diziler kromozom olarak adlandırılmaktadır. İyi çözümlerin değerlendirilmesi ve doğal seleksiyonun uygulanabilmesi için uygun fonksiyonu tanımlanarak iyi çözümlerin kötü çözümlerden ayırt edilmesi sağlanmaktadır. Geleneksel arama algoritmalarından farklı olarak genetik algoritmalarda aday çözümlerden oluşan popülasyonlar kullanılmaktadır. Algoritma aday çözümlerden oluşan bir başlangıç nesliyle başlamakta ve seçim, çaprazlama, mutasyon gibi genetik işlemleri kullanarak çözümleri değerlendirmektedir (Sastry ve ark. 2005). Kullanılan genetik işlemler:

**Seçim:** Seçim işleminde iyi uygunluk değerine sahip kromozomların daha çok kopyası alınmaktadır (Sastry ve ark. 2005). Amaç, uygunluk değeri yüksek bireylerin popülasyonda kalması ve sayılarının artması, uygunluk değeri düşük olanların azaltılarak yok olmasıdır. Burada uygunluk değeri yüksek olanın seçilme şansı yüksektir.

**Çaprazlama:** Çaprazlama, rassal olarak seçilen kromozom çiftlerinin parçalarının daha iyi çözümler üretmek üzere birleştirilmesi işlemidir.

**Mutasyon:** Mutasyon işleminde aday çözümler çaprazlamadan farklı olarak lokal bir değişime uğramaktadır.

Bu işlemler bir durdurma koşulu ile karşılaşılıncaya kadar devam etmektedir. Sastry ve arkadaşlarının belirttiğine göre Goldberg (1983, 1999, 2002) bu işlemlerin birlikte kullanıldıkları zaman daha etkin çalıştığını göstermiştir (Sastry ve ark. 2005).

#### 2.4.1.1. Seçim operatörleri

Eşleşme havuzuna aktarılabacak kromozomların belirlendiği seçim işleminde yaygın olarak kullanılan seçim operatörleri, rulet tekerleği seçim yöntemi, sıralı seçim yöntemi, turnuva seçim yöntemi ve elitist seçim yöntemidir.

- **Rulet tekerleği seçim yöntemi:** Rulet tekerleği seçim yöntemi, en basit orantılı seçim yöntemidir. Bu yöntemde göre popülasyondaki her birey, rulet tekerleğinin bir dilimi olarak farz edilmekte ve her dilim ilgili kromozomun seçim olasılığı kadar genişliğe sahip olmaktadır. Seçim olasılığı, ilgili kromozomun uygunluk fonksiyonunun popülasyonun toplam uygunluk fonksiyonuna oranı olarak hesaplanmaktadır. Böylece popülasyonda iyi kromozomlara ağırlık verilmektedir.
- **Sıralı seçim yöntemi:** Sıralı seçim yönteminde popülasyondaki her kromozom uygunluk fonksiyonu değerine göre büyükten küçüğe sıralanmakta ve belli bir eşik değeri aşan kromozomlar eşleşme havuzunda bekletilmektedir.
- **Turnuva seçim yöntemi:** Turnuva seçim yöntemine göre, popülasyondan rassal olarak belli miktar kromozom seçilmekte ve grubun içinde en yüksek uygunluk değerine sahip kromozom yarışı kazanarak eşleşme havuzuna

kopyalanmaktadır. Eşleşme havuzunda istenen miktara ulaşana kadar turnuva tekrar etmektedir.

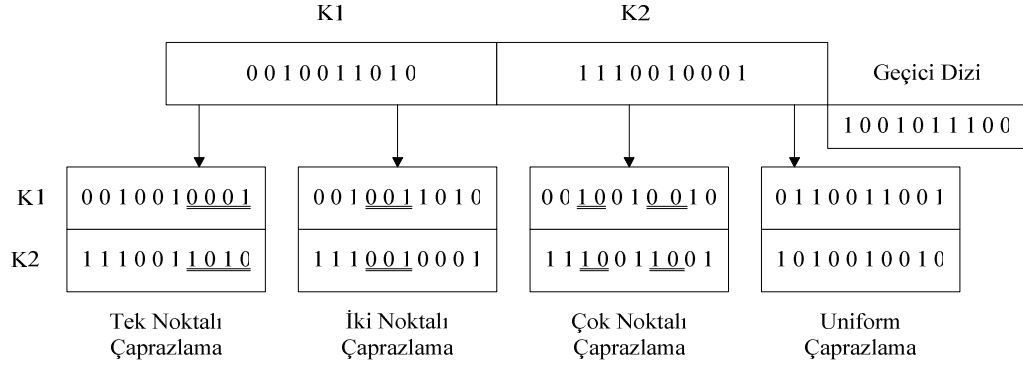
- **Elitist seçim yöntemi:** Yukarıda sayılan tekniklerden biri kullanılarak elde edilen yeni yığından en iyi uygunluk değerine sahip kromozom yeni nesile aktarılmaktadır. Böylece en iyi uygunluk değerinin nesillerce korunması sağlanmakta ve genetik işlemler sonucu bozulması önlenmektedir (Shopova ve Vaklieva-Bancheva 2006).

#### 2.4.1.2. Çaprazlama operatörleri

Seçim işleminden sonra eşleşme havuzundan seçilen kromozomlardan daha iyi çözümler oluşturmak amacıyla yapılan çaprazlama işlemi için literatürde pek çok yöntem bulunmaktadır. Fakat bu yöntemlerin çoğu probleme özgü yöntemlerdir. Problemden bağımsız olan çaprazlama operatörleri arasında  $N$  noktalı, uniform çaprazlama ve ters çevirme işlemi sayılabilir (Shopova ve Vaklieva-Bancheva 2006, Bolat ve ark. 2004).  $N$  noktalı ve uniform çaprazlama operatörlerinin ikili gösterimler için uygulamaları Şekil 2.10'daki gibi görülmektedir. Altı çizili bitler çaprazlamaya uğrayan bitleri göstermektedir.

- **$N$  noktalı çaprazlama:**  $N$  noktalı çaprazlama ve onun özel durumları olan tek noktalı ve iki noktalı çaprazlama en basit çaprazlama operatörleridir. Bu yöntemde göre ebeveyn kromozomda rassal olarak  $N$  çaprazlama noktası seçilmektedir. Bu noktalar değişecek kromozom bölümlerini göstermektedir. Ardından söylenen sıraya göre bölümler yer değiştirmekte ve çocuk kromozomlar elde edilmektedir (Shopova ve Vaklieva-Bancheva 2006).
- **Uniform çaprazlama:** Uniform çaprazlamada ilk etapta ebeveyn kromozomlarla aynı uzunlukta geçici bir dizi oluşturulmaktadır. Geçici dizinin 1 elemanları 1. çocuk kromozomda seçilen 1. ebeveyn kromozom elemanlarının, 2. çocuk kromozomda ise seçilen 2. ebeveyn kromozom elemanlarının kullanılacağını göstermektedir. Geçici dizinin 0 elemanları ise 1. çocuk

kromozomda seçilen 2. ebeveyn kromozom elemanlarının, 2. çocuk kromozomda ise seçilen 1. ebeveyn kromozom elemanlarının kullanılacağını göstermektedir.



Şekil 2.10: Çaprazlama Yöntemleri ve Uygulamaları

KAYNAK: Bolat, B., Erol, K.O., İmrak, C: E. 2004. Genetic Algorithms In Engineering Applications And The Function Of Operators. Journal of Engineering and Natural Sciences 4, 264-271

- **Ters çevirme işlemi:** Ters çevirmede, kromozomdan rastgele iki pozisyon seçilmekte ve iki ucu arasında ters çevrilmektedir.

#### 2.4.1.3 Mutasyon operatörleri

Mutasyon operatörü olarak dizi içinde bir veya birkaç bitin (ikili gösterimlerde 0'ın 1'e dönüştürülmesi ya da tersi) rassal olarak değiştirilmesi yaygın olarak kullanılmaktadır. Probleme özgü mutasyon operatörleri de geliştirilebilmekte ve sıkça literatürde kullanılmaktadır (Sasthy ve ark. 2005).

#### 2.4.2. Genetik algoritma parametrelerinin belirlenmesi

Genetik algoritmanın performansı üzerinde önemli etkiye sahip olan parametreler, popülasyon büyüklüğü, çaprazlama oranı, mutasyon oranı olarak sayılabilmektedir.

- **Popülasyon büyüklüğü:** Popülasyon büyüklüğü büyük bir değer alındığında algoritmanın çalışma süresi artmakta ve yakınsama yavaş olmaktadır fakat iyi

bir çözüm yakalama ihtimali daha yüksektir. Küçük bir değer alındığında arama uzayı örnekleme yetersiz kalabilmekte araştırma belirli bir alt optimuma takılabilmektedir (Öztürk 2003). Literatürde popülasyon büyüklüğünü belirlemeye yönelik değişik yaklaşımlar mevcuttur.

- **Çaprazlama oranı:** Çaprazlama oranı  $P(c)$  düşük olursa arama yavaş olmakta ve her iterasyonda az sayıda yeni yapı popülasyona girmektedir. Büyük seçildiğinde popülasyon değişikliği hızlanmaktadır. Çok büyük seçilmesi ise daha iyi yapıları üretmeden iyi yapıların çok hızlı bozulmasına sebep olabilmekte ve algoritmanın performansını düşürmektedir. Çaprazlama oranının belirlenmesinde de literatürde çeşitli yaklaşımlar mevcuttur.
- **Mutasyon oranı:** Algoritmanın yerel bir optimuma takılmasını önlemek amacıyla yapılan mutasyon işleminde oran genellikle düşük kullanılmaktadır. Yüksek mutasyon oranı  $P(m)$  kullanılması rassal popülasyonların türetilmesine sebep olmaktadır (Öztürk 2003).

#### 2.4.3. Genetik algoritmaların uygulama alanları

Karmaşık problemleri hızlı ve optimale yakın olarak çözebilen genetik algoritmalar, çeşitli problem tiplerine uygulanabilmektedir. Genetik algoritmaların çözüm için kullanıldığı üretim ve operasyon yönetim problemlerini altı ana kategoride incelemek mümkündür:

- Üretim Kontrol
- Tesis yerleşim tasarımı
- Hat dengeleme
- Üretim planlama
- Tedarik zinciri yönetimi ve tasarımı
- Diğer konular

Üretim kontrol ana kategorisi, yükleme, makine, proje ve personel çizelgeleme gibi alt kategorilere ayrılmaktadır. Tesis yerleşim tasarımı, hücre oluşturma ve hücrenel üretim sistemi yerleşimi, iş atölyesi yerleşimi ve esnek üretim sistemi yerleşimi alt kategorilerine ayrılmaktadır. Hat dengeleme problemlerini tek ve ya çok modelli olarak ayırmak mümkündür. Üretim planlamada ise parti büyüklüğü ve üretim sistemleri planlama gibi alt kategoriler bulunmaktadır (Aytug ve ark. 2003). Tedarik zinciri yönetimi ve tasarımı ana kategorisini ise, araç rotalama, atama problemleri, gezgin satıcı problemi gibi alt kategorilere ayırmak yerinde olacaktır.

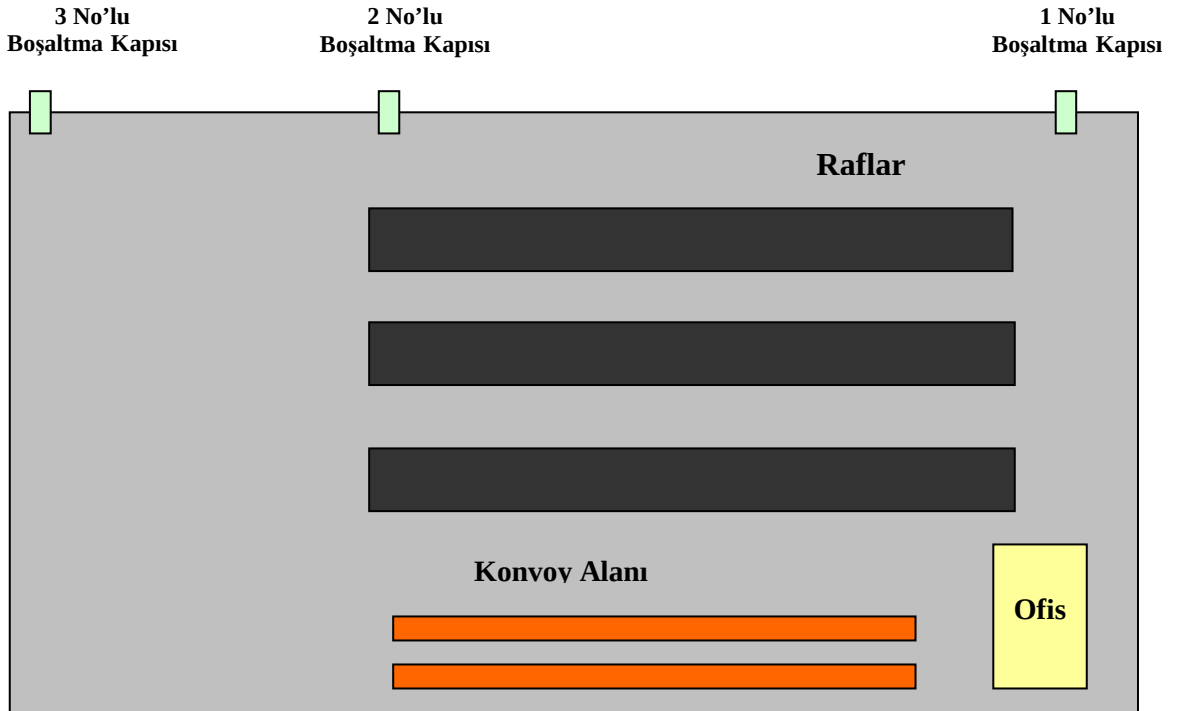


### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmanın bu bölümünde ele alınan problem tanımlanmış ve mevcut durum hakkında bilgiler verildikten sonra probleme yönelik geliştirilen çözüm yaklaşımları açıklanmıştır.

#### 3.1 Problem Tanımı

Bu çalışmada bir otomotiv ana sanayi firmasında sürekli dışarıdan parça gelişi ve depodan parça talebinin gerçekleştiği bir montaj parça deposundaki iç lojistik hareketlerin optimizasyonu ele alınmıştır. Şekil 3.1’de de görüldüğü gibi üç boşaltma kapısına sahip montaj depoda, ilk olarak malzemelerin araçlardan indikten sonra depoda adreslemenin gerçekleştirilmesi, ikinci aşamada ise depoya adreslemesi yapılan malzemelerin talep oluştuğunda talebin olduğu yere (konvoy alanına) gidiş sürelerinin minimize edilmesi hedeflenmektedir.



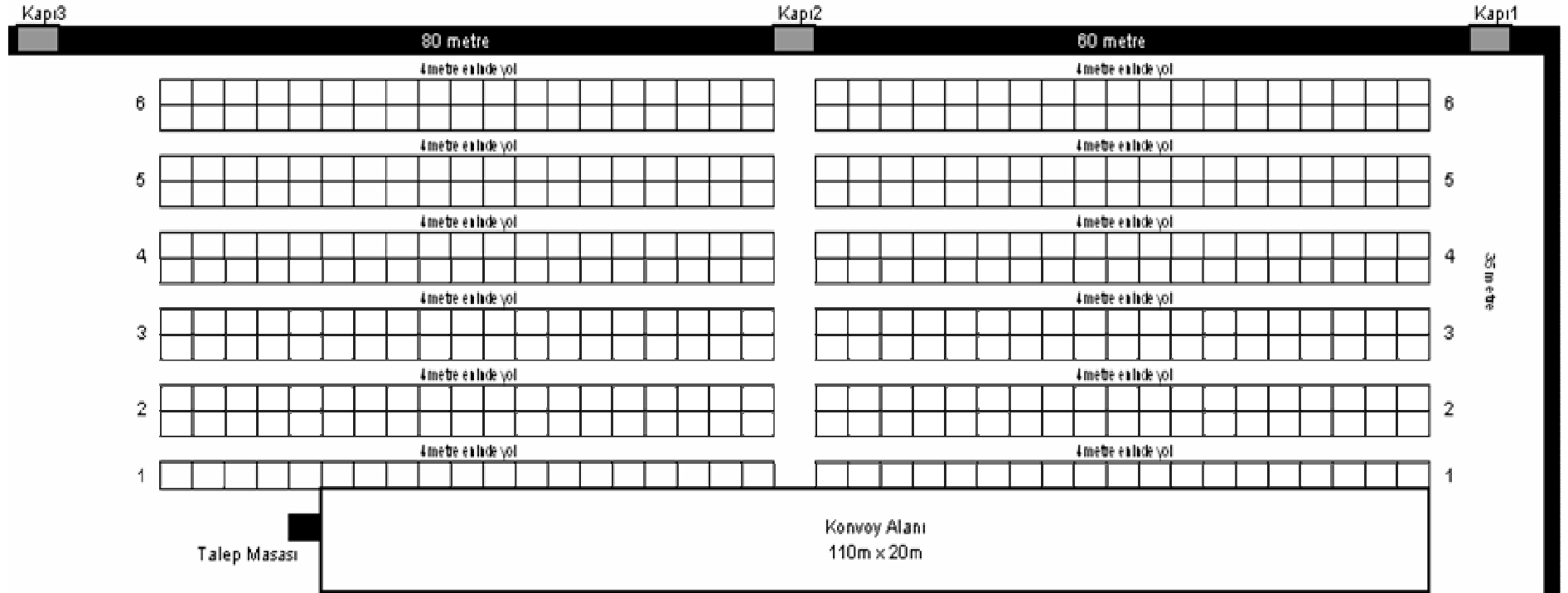
Şekil 3.1: Montaj Depo Yerleşim Planı

### 3.2 Mevcut Durum

İncelenen fabrikada e\_irsaliye sistemi uygulanmaktadır. Araçlar ilgili firmadan çıktıkları anda e\_irsaliye sistemi ile fabrikaya gerekli bilgiler gönderilmektedir. Araçlar kapıdan girdikleri anda ise gelen malzeme bilgilerinden tüm birimlerin haberi olmaktadır. Mevcut üç boşaltma noktasında manuel olarak ya da e\_irsaliye yöntemiyle irsaliye kontrolü yapıldıktan sonra malzemeleri boşaltma işlemi gerçekleştirilmektedir. Uygulanan mevcut sistemde; gelen araçlar içerisinde çoğunluğa sahip olan milk-run araçları ofis ve depo bölgesine daha yakın olması sebebiyle 1 No'lu kapıdan boşaltılmaktadır. Milk-run haricinde kalan araçlar için ise 2 No'lu kapı kullanılmaktadır. 3 No'lu kapı ise difüzyon alanına yakınlığı sebebiyle difüzyon alanına malzeme getiren araçların boşaltılması için kullanılmaktadır. Difüzyon alanı imalatçıların kendi stok alanlarını ifade etmektedir. İndirilen ürünlerin barkod okumaları gerçekleştirilmektedir. Barkod etiketi üzerinde ürünün kodu, adedi eğer ömürlü bir ürün ise son kullanma tarihi gibi bilgiler bulunmaktadır.

Barkod okumasının ardından malzemeler, en küçük numaraya sahip koridor, kat ve gözden başlanarak yerleştirilmektedir. Eğer gelen malzemeler çok hızlı dönen malzemeler ise depo alanındaki koridorlara hiç adreslenmeden koridora yığılmaktadır. Lastik, jant gibi yer tutan parçalar ise araçlardan dışarıda boşaltılarak sundurmalarda muhafaza edilmektedir.

Çalışmada ele alınan depo, bir otomotiv ana sanayi firmasının montaj deposunda plastik kasaları depolamak için kullanılan depodur. Mevcut depo yerleşim planına göre, bir adet talep masası raf bloklarının sol alt köşesinde bulunmaktadır. Depoda, 11 adet raf sırasından oluşan iki adet raf bloğu bulunmaktadır. Her bir raf sırasında 19 adet raf gözü mevcuttur. Raf gözleri arasındaki boyuna uzaklık 2,8 m'dir. Bir raf sırasının toplam uzunluğu 50 m'dir. Raf sıraları arasındaki 4 m eninde yollar çift taraflı parça toplamaya izin verecek şekilde tasarlanmıştır. Depoda toplamda 2280 adet lokasyon bulunmaktadır ve 1098 tip parça, 3 tip plastik kasa ile yönetilmektedir. Depo raf yerleşim planı Şekil 3.2'de de görülmektedir. Raf sıralarının çoğunda depolama için 5 adet kat mevcut iken bazı raf sıralarında 7 adet kat mevcuttur.



Şekil 3.2: Depo Raf Planı

Hat yanından gelen talepler otomatik ya da manuel olmaktadır. Büyük plastik kasalar için ve hızlı dönen küçük kasetler için gelen talepler otomatik olarak gerçekleşmektedir. Küçük plastik kasalar için ise manuel olarak talep geçilmektedir. Gelen talepler talep havuzunda birikmektedir. Kullanılan hat yanı malzeme otomasyon sistemi ile talep havuzundaki talepler, taleplerin kullanılacağı adrese göre, konvoy planına dönüştürülmektedir. Konvoy planında her bir talebin depoda bulunduğu lokasyon bilgisi, talebin ilgili istasyona ulaştırılması gereken zaman gibi bilgiler bulunmaktadır. Konvoy planına dönüşen talepler, her bir vardiyada çalışan 4 adet talep toplayıcı ile ilgili depo adreslerinden alınarak konvoy alanına getirilmektedir. Talepleri toplama, toplayıcı parçalara talep toplama sistemi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Konvoy alanında her hattın konumu belirlenmiştir. Konvoy alanında hatta beslemeyi yapacak olan araçlar bulunmaktadır. Bu araçların 6 adet dört tekerlekli kasayı çekmesi istenmektedir. Ancak gelen talebin durumuna göre bu araç yalnızca tek kasa çekmek durumunda da kalabilmektedir. Spesifik ürünler için ise en fazla 4 adet kasanın çekilmesi istenmektedir. Hatta beslemeyi yapan araçlar belirli rotalar dahilinde malzemeleri kullanılacak adreslere bırakmaktadır.

Mevcut durumda firmada adresleme, en yakın boş depo alanına rassal olarak yerleştirme yöntemiyle yapılmaktadır. Parçaların, geliş sıklıkları, talep edilme sıklıkları gibi bilgiler dikkate alınmamaktadır. Sadece belirli hızlı dönen parçalar için adresleme yapmadan koridora yığma yapılmaktadır. Bu durum ise depoda oldukça karışık ve düzensiz bir yapı oluşturmakta, depoda var olduğu bilinen parçaların bulunamaması gibi sonuçlar doğurmaktadır.

Hat yanından gelen talepler için oluşturulan toplama planında, sadece taleplerin geliş zamanı bilgisi ve gönderilecek üretim hattı dikkate alınmakta, ilgili parçaların bulundukları adresler ve buna bağlı mesafe artış ya da azalışları dikkate alınmamaktadır. Oluşturulan toplama listesinde ise rotalama için herhangi bir işlem yapılmamakta talep toplayıcıların inisiyatifinde bir sıralamayla parçalar ilgili lokasyondan toplanmaktadır. Kısacası firmada depo içi hareketlerin minimizasyonuna yönelik herhangi bir optimizasyon çalışması bulunmamaktadır.

### 3.3. Çözüm Yönelik Varsayımlar

Problem tanımlandıktan ve mevcut durum analiz edildikten sonra çözüm geliştirme aşamasında bazı varsayımlar yapılmıştır:

- Bölüm 3.2 'de de belirtildiği gibi depoda bazı raf sıraları yedi katlıdır. Ancak geliştirilen çözüm yaklaşımında tüm rafların 5 katlı olduğu kabul edilmiştir.
- Depoya giriş yapan parçaların çoğunun 1 No'lu boşaltma kapısından giriş yaptığından yukarıda bahsedilmişti. Ele alınan parçalar da 1 No'lu giriş kapısından giriş yaptıkları için depoda bulunan 3 boşaltma kapısından sadece 1 No'lu kapı dikkate alınmıştır.
- İncelenen depo 2 bloklu bir yapıya sahiptir fakat çalışmada blokların simetrik olması sebebiyle tek blok için çözümler üretilmiştir.

Ayrıca problem iki aşamalı olarak ele alınmış, adresleme ve talep kümeleme-toplama olarak iki ana başlıkta incelenip yöntem geliştirilmiştir.

### 3.4. Depo Adresleme Çözüm Yaklaşımı

Adresleme problemine aşağıda sıralanan adımlar izlenerek çözüm geliştirilmiştir:

- Malzeme sınıflarının belirlenmesi
- Kapıya ve talep masasına uzaklık hesabı için formül geliştirilmesi
- Matematiksel model geliştirilmesi
- Farklı durum senaryolarının tanımlanıp modele uygulanması

#### 3.4.1. Malzeme sınıflarının belirlenmesi

Petersen ve Aase'in de (2004) belirttiği sınıf tabanlı depolama yönteminin, rassal depolamadan daha az talep toplayıcı gezi sayısı gerektirdiği fakat daha fazla depolama alanına ihtiyaç duyulduğu bilgisinden yola çıkılarak depolanan malzemeleri sınıflara bölmenin uygun olacağına karar verilmiştir. Malzemeleri sınıflara ayırmada Pareto

yasası kullanılmıştır. Malzemelerin depoya geliş ve talep ediliş sıklıkları incelenmiş ve sınıfları belirlerken üretim hattı yanından geçilen sipariş oranları dikkate alınmıştır. Sipariş oranı, denklem 3.1’de de görüldüğü gibi ortalama günlük tüketimin kasa içi miktara oranı olarak tanımlanmıştır. Geçilen siparişlerin %80’ini oluşturan malzeme tipleri A sınıfı malzeme olarak; %15’ini oluşturan malzeme tipleri B sınıfı olarak; %5’ini oluşturan malzeme tipleri ise C sınıfı olarak belirlenmiştir.

$$\text{Sipariş Oranı} = \frac{\text{Ortalama günlük tüketim}}{\text{Kasa içi miktar}} \quad (3.1)$$

Belirlenen malzeme sınıfları çözüm yaklaşımının ileriki adımlarında kapıya ve talep masasına olan gidiş sürelerinin ağırlıklandırılmasında kullanılarak yapılacak atamalarda önemli rol oynamaktadır.

#### 3.4.2. Kapıya ve talep masasına uzaklık hesabı

Yapılan çalışmanın amacı, depo içi hareketlerin minimizasyonudur. Dolayısıyla lokasyonlar arası uzaklık, lokasyonların kapıya ve talep masasına uzaklıkları geliştirilecek modelde önemli bir rol oynamaktadır. Uzaklık formülleri belirlenirken hem yatay hem de düşey uzaklıklar dikkate alınmıştır. Formüllerde kullanılan indisler:

- $i: 1,2,\dots,I$  Raf sütunları için
- $j: 1,2$  Raf yönü için
- $k: 1,2,\dots,K$  Lokasyon numaraları için
- $l: 1,2,\dots,L$  Raf katları için

Formüllerde kullanılan değişkenler:

- $\alpha$ : Raf sıraları ve kapı arası yatay mesafe
- $\beta$ : Raf gözleri arası yatay mesafe
- $\gamma$ : Bir raf sırasında bir kattaki lokasyon adedi
- $\delta$ : Bir depo bloğundaki raf sırası adedi

- $\psi$ : Raf sıraları arası yatay mesafe  
 $\omega$ : Raf sırasının genişliği  
 $\varepsilon$ : Raf gözleri arası düşey mesafe

Lokasyonların kapıya uzaklıklarını hesaplamak için geliştirilen mesafe formülleri denklem 3.2 ve 3.3 'de görülmektedir.

$$j = 1 \Rightarrow \alpha + \min\{(k * \beta), (2\gamma - k * \beta)\} + [(\delta - i) + 1] * (\psi + \omega) + l * \varepsilon \quad (3.2)$$

$$j = 2 \Rightarrow \alpha + \min\{(k * \beta), (2\gamma - k * \beta)\} + (\delta - i) * (\psi + \omega) + l * \varepsilon \quad (3.3)$$

Lokasyonların talep masasına uzaklıklarını hesaplamak için geliştirilen mesafe formülleri denklem 3.4 ve 3.5 'de görülmektedir.

$$j = 1 \Rightarrow |k - \gamma| * \beta + (i - 1) * (\psi + \omega) + l * \varepsilon \quad (3.4)$$

$$j = 2 \Rightarrow |k - \gamma| * \beta + (i * \omega) + (i - 1) * \psi + l * \varepsilon \quad (3.5)$$

### 3.4.3. Geliştirilen matematiksel model

Depoda adresleme yani, gelen parçaların raf lokasyonlarına atanması için geliştirilen model aşağıda verilmiştir. Modelde kasalar halinde gelen parçaların ilgili raf lokasyonuna atanıp atanmamasına karar verilecektir. Bu durum tanımlanan ikili tamsayı değişken ile sağlanmıştır.

#### İndisler

- $p: 1, 2, \dots, P$  Kasalar için  
 $i: 1, 2, \dots, I$  Raf sütunları için  
 $j: 1, 2$  Raf yönü için  
 $k: 1, 2, \dots, K$  Raf gözü numaraları için  
 $l: 1, 2, \dots, L$  Raf katları için

## Karar Değişkenleri

$$x_{p,i,j,k,l} = \begin{cases} 1 & \text{Kasa } p, i. \text{ sütun, } j. \text{ rafyönü, } k. \text{ rafgözü, } l. \text{ rafkatına atanırsa} \\ 0 & \text{Aksi durumda} \end{cases}$$

## Parametreler

|                 |                                                                                 |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| $w_p^1$         | Kapıdan depodaki lokasyona gidiş süresi için ağırlık                            |
| $w_p^2$         | Depodaki lokasyondan talep masasına gidiş süresi için ağırlık                   |
| $t_{i,j,k,l}^k$ | Kapıdan ilgili lokasyona gidiş süresi                                           |
| $t_{i,j,k,l}^t$ | Depodaki lokasyondan talep masasına gidiş süresi                                |
| $D_{i,j,k}$     | $i$ . raf sütunu, $j$ . raf yönü, $k$ . raf gözünden kapıya olan mesafe         |
| $D_{i,j,k}^2$   | $i$ . raf sütunu, $j$ . raf yönü, $k$ . raf gözünden talep masasına olan mesafe |
| $D_l^3$         | Zeminden düşey uzaklık                                                          |
| $V_y$           | Talep toplayıcı aracın yataydaki hızı                                           |
| $V_d$           | Talep toplayıcı aracın düşeydeki hızı                                           |

$$0 \leq w_p^1 \leq 1, \quad 0 \leq w_p^2 \leq 1$$

## Model

$$\min z = \sum_p \sum_l \sum_k \sum_j \sum_i w_p^1 x_{p,i,j,k,l} t_{i,j,k,l}^k + \sum_p \sum_l \sum_k \sum_j \sum_i w_p^2 x_{p,i,j,k,l} t_{i,j,k,l}^t \quad (3.6)$$

$$\sum_p x_{p,i,j,k,l} \leq 1 \quad \forall (i, j, k, l) \quad (3.7)$$

$$\sum_l \sum_k \sum_j \sum_i x_{p,i,j,k,l} = 1 \quad \forall p \quad (3.8)$$

$$x_{p,i,j,k,l} \in \{0,1\} \quad (3.9)$$

Modelde Amaç fonksiyonu (3.6)'da boşaltma kapısından, raf lokasyonlarına, raf lokasyonlarından talep masasına gidiş süreleri malzeme sınıfına göre ağırlıklandırılarak, kasanın depo içinde en az hareket etmesini sağlayacak atama modeli oluşturulması hedeflenmektedir. Kısıt (3.7), her raf lokasyonuna atanan parça sayısının 1'den büyük olamayacağını göstermektedir. Kısıt (3.8) her kasanın bir raf lokasyonuna yerleşmesi



gerektiğini belirtmektedir (Muppani ve Adil 2008 b). Kısıt (3.9) ise  $x$  değişkeninin 0 ya da 1 değerini alabileceğini göstermektedir.

#### 3.4.4. Farklı durum senaryolarının geliştirilmesi

Oluşturulan model GAMS optimizasyon programında kodlanmıştır. Belirlenen 3 durum senaryosuna uygulanmıştır.

1. Durum: Depodaki tüm lokasyonlar atanmaya müsaittir ve montaj malzemeleri tek kasalar halinde gelmektedir.
2. Durum: Depodaki bazı lokasyonlar doludur ve montaj malzemeleri tek kasalar halinde gelmektedir.
3. Durum: Depodaki bazı lokasyonlar doludur ve montaj malzemeleri her gün farklı adetlerde gelmektedir.

### 3.5. Talep Kümeleme ve Toplayıcı Rotalama Çözüm Yaklaşımı

Ele alınan montaj depoda, üretim hattından parçalara gelen talepler kasa bazında olmakta her seferinde tek kasa istenmektedir. Geliştirilen çözüm yaklaşımında ilk etapta, kümeleme ve rotalamanın birlikte optimize edildiği bir matematiksel model geliştirilmiş ve GAMS optimizasyon programında kodlanarak optimum sonuç elde edilmiştir.

#### 3.5.1. Geliştirilen kümeleme ve rotalama matematiksel modeli

Kümeleme ve rotalamayı birlikte optimize eden matematiksel modelde kullanılmak üzere geliştirilen mesafe formüllerinde yatay ve düşey mesafeler dikkate alınmıştır. Formüllerde kullanılan indisler:

$p = 1, 2, \dots, P$  Lokasyon Numaraları

$l = 1, 2, \dots, L$  Lokasyon Numaraları

Formüllerde kullanılan değişkenler:

- $\varphi$ : Bir raf sırasındaki toplam depo lokasyonu adedi  
 $\eta$ : Her raf sırasındaki depo kat adedi  
 $\gamma$ : Bir raf sırasında bir kattaki lokasyon adedi  
 $\beta$ : Raf gözleri arası yatay mesafe  
 $\psi$ : Raf sıraları arası yatay mesafe  
 $\varepsilon$ : Raf gözleri arası düşey mesafe

Lokasyonlar arası mesafe formülleri denklem 3.10, 3.11, 3.12’de görülmektedir.

$$D_{p,l}^y = \min([\text{mod}(|p-l|, \varphi) / \eta] \times \beta, ((\gamma - [\text{mod}(|p-l|, \varphi) / \eta]) \times \beta)) + \text{floor}(|p-l| / \varphi) \times \psi \quad (3.10)$$

$$D_{p,l}^d = (\text{mod}(p, \eta) + \text{mod}(l, \eta)) \times \varepsilon \quad (3.11)$$

$$D_{p,l} = D_{p,l}^y + D_{p,l}^d \quad (3.12)$$

### İndisler

- $p: 1, 2, \dots, L$  Lokasyonlar için  
 $l: 1, 2, \dots, L$  Lokasyonlar için  
 $b: 1, 2, \dots, B$  Kümeler için

### Karar Değişkenleri

$$x_{b,p} = \begin{cases} 1 & \text{Talebi bulunan } p \text{ lokasyonu } b \text{ kümesine atanırsa} \\ 0 & \text{Aksi durumda} \end{cases}$$

$$y_{p,l}^b = \begin{cases} 1 & b \text{ Kümesi içinde } p \text{ lokasyonu } l' \text{ den hemen sonra ziyaret edilirse} \\ 0 & \text{Aksi durumda} \end{cases}$$

$u_p$   $p$  lokasyonuna gelene kadar ziyaret edilen lokasyon sayısı

### Parametreler

- $C$  Talep toplama aracının kapasitesi (adet)  
 $t_{p,l}$   $l$  lokasyonundan  $p$ ’ye gidiş süresi (sn)  
 $D_{p,l}^d$   $p$  ve  $l$  lokasyonları arası düşey mesafe (m)

|             |                                                |
|-------------|------------------------------------------------|
| $D_{p,l}^y$ | $p$ ve $l$ lokasyonları arası yatay mesafe (m) |
| $v_h$       | Talep toplayıcı aracın yatay hızı (m/sn)       |
| $v_v$       | Talep toplayıcı aracın düşey hızı (m/sn)       |
| $n$         | Gelen talep adedi                              |

Geliştirilen modelde, kümeleme ve rotalama birlikte dikkate alınmaktadır. İlk etapta gelen talepler, lokasyon numarasına göre talep toplayıcı aracın kapasitesini aşmayacak şekilde kümelerle atanmakta, ardından oluşturulan kümelerde bulunan taleplerin toplanabilmesi için talep toplayıcının rotası oluşturulmaktadır. Bu durum, tanımlanan ikili karar değişkenleriyle sağlanmaktadır. Talep toplayıcıların her birinin rotası talep küme ve rota planının alındığı talep masasında başlamakta, parçaları talebin geldiği üretim hattına götürecek araçların bulunduğu konvoy alanında son bulmaktadır.

### Model

$$\min z = \sum_{b=1}^B \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L y_{p,l}^b t_{p,l} \quad (3.12)$$

$$\sum_{p=1}^L x_{b,p} \leq C \quad \forall b \quad (3.13)$$

$$\sum_{b=1}^B x_{b,p} = 1 \quad \forall p \quad (3.14)$$

$$x_{b,0} = 1 \quad \forall b \quad (3.15)$$

$$x_{b,n+1} = 1 \quad \forall b \quad (3.16)$$

$$\sum_{l=1}^L y_{p,l}^b = x_{b,p} \quad \forall b, p \quad p \neq l \quad (3.17)$$

$$\sum_{l=1}^L y_{l,p}^b = x_{b,p} \quad \forall b, p \quad p \neq l \quad (3.18)$$

$$u_p - u_l + n \sum_{p=1}^L \sum_{l=1}^L y_{pl}^b + (n-2) \sum_{p=1}^L \sum_{l=1}^L y_{p,l}^b \leq n-1 \quad (3.19)$$

$$x_{b,p}, y_{l,p}^b = \{0,1\} \quad (3.20)$$

Bu formülasyonda, Amaç Fonksiyonu (3.12)'de depoda her kümedeki lokasyonlar arası gidiş süresinin minimize edilmesi hedeflenmektedir. Kısıt (3.13), her kümeye atanan taleplerin talep toplayıcı aracın kapasitesini aşmamasını sağlamaktadır. Kısıt (3.14), her talebin toplamda bir kümeye atanması gerektiğini belirtmektedir (Won ve Olafsson 2005). Kısıt (3.15)'e göre her kümenin talep noktasından başlaması gerektiği için her kümede, başlangıç lokasyonu bulunmalıdır. Kısıt (3.16)'e göre ise her kümenin bitiş noktasında son bulması gerektiği için her kümede, bitiş lokasyonu bulunmalıdır. Kısıt (3.17)'de,  $b$  kümesinde,  $p$  lokasyonundan  $l$  lokasyonuna gitmek üzere yapılan atamaların, bir kümedeki toplam talep sayısına eşit olması sağlanmaktadır. Kısıt (3.18)'da,  $b$  kümesinde,  $l$  lokasyonundan  $p$  lokasyonuna gitmek üzere yapılan atamaların, bir kümedeki toplam talep sayısına eşit olması sağlanmaktadır. Kısıt (3.19), alt tur engelleme kısıtıdır (Kara ve Bektaş 2006). Kısıt (3.20),  $x$  ve  $y$  karar değişkenlerinin 0 ya da 1 değerini alabileceğini göstermektedir.

GAMS Optimizasyon programında kodlanan kümeleme ve rotalama modeli değişik sayıdaki veri adetleriyle denenmiş ve veri adedi arttıkça çözüm süresinde büyük artışların gerçekleştiği görülmüştür. Çizelge 3.1'de verilen modelin performansı ile ilgili değerler ve Şekil 3.3'de verilen 21 adet talep girdisi ile çalıştırılan modelin sonuç ekranı incelendiği zaman, depoda çok sık gelen ve hızlı cevap beklenen taleplerin kümeleme ve rotalama kararında oluşturulan matematiksel modelin aynı hızla cevap veremeyeceği ve pratik uygulamalarda sonuçları okumanın zorluk yaratacağı görülmüştür. Bunun üzerine daha hızlı fakat optimuma yakın sonuç veren sezgisel algoritmalara başvurulmuştur.

Çizelge 3.1 Kümeleme ve Rotalama Modeli Performans Değerleri

| Veri Adedi | Çözüm süresi |
|------------|--------------|
| 9 Talep    | 3 sn         |
| 15 Talep   | 27 sn        |
| 21 Talep   | 178 sn       |

The screenshot shows the GAMS software interface with the following components:

- Window Title:** gamside: C:\WINDOWS\gamsdir\project.gpr - [C:\WINDOWS\gamsdir\KümelemeModeli0501.lst]
- Menu Bar:** File, Edit, Search, Windows, Utilities, Help
- Toolbar:** Includes icons for file operations and a dropdown menu showing 'R102'.
- File List:**
  - KümelemeModeli0501.gms
  - npote.txt
  - sevalDepo.EnsonGünlükÇokAdetli.gms
  - w1pgünlükote.txt
  - w2pgünlükote.txt
  - sevalDepo.EnsonGünlük.gms
  - 15.01.2010.gms
  - 15.01.2010.lst
  - bayg29m3.lst
  - KümelemeModeli0501.lst
  - sevalDepo.EnsonGünlükÇokAdetli.lst
- Main Output Area:**

```

----- 125 VARIABLE y.L b kümesi içinde p lokasyonunun l'den hemen sonra ziyaret edilmesi durumu
          1          2          3          4          5          6
96 .272
272.188
188.96
67 .23      1.000
23 .41      1.000
41 .67      1.000
78 .175
66 .200
175.12
200.122
12 .78
122.66
345.80
80 .97
97 .345
54 .250
46 .54
250.46
+          7
315.215      1.000
150.315      1.000
215.150      1.000
----- 125 VARIABLE z.L = 716.737 Amaç fonksiyonu

```
- Status Bar:** 7: 16 Read Only Insert
- Taskbar:** Shows the Windows taskbar with the 'Başlat' button and several open applications including 'GAMS setup', 'gamside', and 'gamsdir'. The system clock shows 19:16 on 7/16.

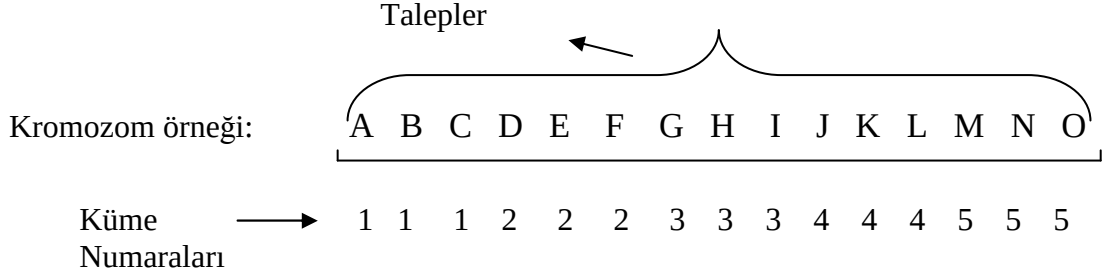
Şekil 3.3: Kümeleme ve Rotalama Modeli Sonuç Ekranı

### 3.5.2. Genetik algoritma tasarımı

Literatürde bulunan sezgisel yöntemler incelendiği zaman popülasyonlarla çözüm uzayında ilerlemesi ve kullandığı operatörlerle çözüme hızlıca ulaşabilmesi nedeniyle Genetik algoritmalar tercih edilmiştir (McCall 2005). Kümeleme ve rotalamayı birlikte optimize etmesi için tasarlanan genetik algoritma adımları:

**Adım 1:** Problemin çözümüne uygun bir genetik gösterim tanımla.

Çözümün genetik gösterimi, taleplerin bulundukları lokasyonlardan oluşan bir dizi şeklinde tanımlanmıştır. Örneğin (A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K,L,M,N,O) kromozomu; A,B ve C lokasyonlarının küme 1'e, D,E ve F lokasyonlarının küme 2'ye, G,H ve I lokasyonlarının küme 3'e, J,K ve L lokasyonlarının küme 4'e, M,N ve O lokasyonlarının küme 5'e atandığı anlamına gelmektedir.



**Adım 2:** Başlangıç popülasyonu oluştur. İterasyon adedini 0'a ayarla.  $t=0$

Başlangıç popülasyonu birinci adımda belirtilen genetik gösterime uygun biçimde rassal olarak belirlenen popülasyon büyüklüğünde üretilmektedir.

$$P(0) = x_1^0, x_2^0, x_3^0, \dots, x_N^0$$

$N = \text{Popülasyon Büyüklüğü}$

**Adım 3:** Popülasyondaki her bir kromozom için uygunluk fonksiyonu hesapla.

**Uygunluk Fonksiyonu:** Uygunluk fonksiyonu talep havuzunda, hat no'su aynı olan ve belirlenen zaman diliminde gelen talepler arasında aynı kümeye atanan taleplerin toplanması için gereken toplam süre olarak tanımlanmıştır. Tüm talepleri toplamak için kat edilmesi gereken toplam mesafenin dolayısıyla sürenin minimize edilmesi sonucu depo operasyon maliyetlerinin minimize edilmesi hedeflenmektedir. Uygunluk fonksiyonu, kromozomdaki taleplerin bulunduğu lokasyonları belirten genler ile hesaplanmaktadır. Belirtilen kromozomdaki tüm taleplerin toplanma süresi,  $t_{p,l}$  uygunluk fonksiyonu değerini oluşturmaktadır. Mesafeleri hesaplamak için geliştirilen denklem 3.10, 3.11, 3.12'nin tez çalışmasında incelenen depo için uygulandığı:

$p = 1, 2, \dots, 1140$  Lokasyon Numaraları

$l = 1, 2, \dots, 1140$  Lokasyon Numaraları

$$D_{p,l}^y = \min([\text{mod}(p-l, 190)/5] \times 2.8, ((38 - [\text{mod}(p-l, 190)/5]) \times 2.8)) + \text{floor}(p-l/190) \times 4$$

$$D_{p,l}^d = (\text{mod}(p, 5) + \text{mod}(l, 5)) \times 1.25$$

$$D_{p,l} = D_{p,l}^y + D_{p,l}^d$$

Seyahat süresini hesaplamak için geliştirilen formülasyonlar:

$$t_{p,l} = \frac{D_{p,l}^y}{v_h} + \frac{D_{p,l}^d}{v_v}$$

**Adım 4:** Üreme işlemi için popülasyondaki her bir kromozomun olasılığını hesapla.

Üreyecek kromozomların seçiminde, rulet tekerleği seçim yöntemi kullanılmıştır. Öncelikle her bir kromozomun uygunluk fonksiyonu değeri toplam uygunluk fonksiyonu değerine bölünerek olasılık hesaplanmakta, ardından olasılık değeri popülasyon boyutu ile çarpılarak ilgili kromozomun yeni popülasyona aktarılacak adedi belirlenmektedir. Seçim olasılığının hesaplanmasında kullanılan formül:

$O(x_i^t)$ :  $i$ . kromozomun  $t$ . adımdaki olasılık değeri.

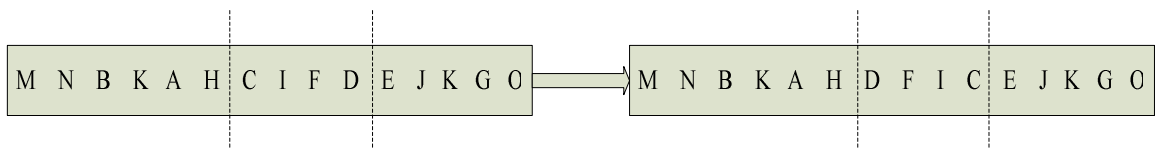
$f(x_i^t)$ :  $i$ . kromozomun  $t$ . adımdaki uygunluk fonksiyonu değeri.

$$O(x_i^t) = \frac{f(x_i^t)}{\sum f}$$

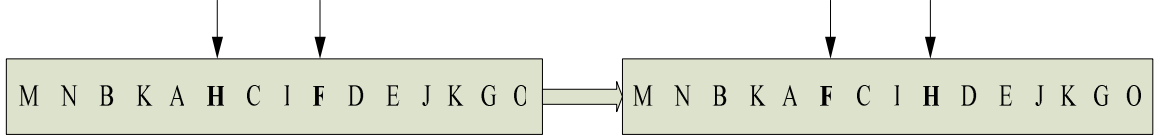
$O(x_i^t) \times N \rightarrow$  İlgili kromozomun üreyecek sayısını verir.  $N$  popülasyon boyutunu belirtmektedir.

**Adım 5:** Yeni oluşan popülasyonda çaprazlama ve mutasyon işlemleri uygula.

Çaprazlama operatörü olarak ters çevirme işlemi kullanılmıştır. Ters çevirme yaklaşımında rassal olarak belirlenmiş noktalar arasındaki genler ters çevrilmektedir. Çaprazlama oranına göre rassal olarak seçilmiş kromozomlara çaprazlama işlemi uygulanmaktadır.



Mutasyon işleminde, kromozomda rassal olarak belirlenen iki nokta yer değiştirmektedir. Mutasyon oranına göre  $P(m) \times N \times L$  adet rassal olarak seçilmiş gen mutasyona uğratılmaktadır. Burada  $P(m)$  mutasyon oranı,  $N$  popülasyon boyutu,  $L$  ise kromozom uzunluğunu göstermektedir.



Çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin seçiminde kromozomun yapısı dikkate alınmıştır.

**Adım 6:** Durdurma kriterine ulaşıldı ise dur. Aksi durumda  $t=t+1$  Adım 3'e dön.

Tasarlanan genetik algoritma Microsoft Visual Studio 2008 C # programlama dilinde kodlanmıştır. Genetik Algoritma Akış Diyagramı Ek-1'de verilmiştir.

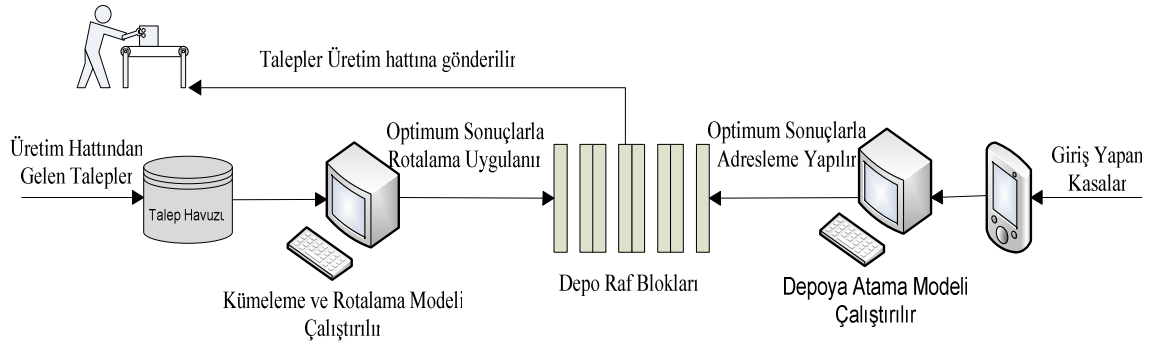


#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, materyal ve yöntem başlığı altında anlatılan depo adresleme ve talep kümeleme-rotalama çözüm yöntemlerinin uygulama adımları ve uygulamalardan elde edilen sonuçların yorumlanması ve değerlendirilmesi anlatılmıştır.

##### 4.1. Tasarlanan Depo İç Lojistik Hareketleri Optimizasyon Sistemi

Şekil 4.1’de de görülebilen tasarlanan depo içi optimizasyon sisteminde ilk etapta depoya giriş yapan kasalar adresleme modeliyle lokasyonlara atanacaktır. Elde edilen optimum sonuçlara göre gelen kasaların adreslemesi gerçekleştirilecektir. Depoya kasalar giriş yaptıkça tüm depo yeniden yerleştirilmeyecek, model, mevcut boş yerlere atama gerçekleştirecektir. Ardından üretim hattından gelen talepler doğrultusunda kümeleme ve rotalama modeli çalıştırılarak toplama planı elde edilecektir. Talep toplayıcılar ellerindeki toplama planına ve toplama planındaki bilgilere göre toplama işlemini gerçekleştirecektir.



Şekil 4.1: Depo iç Lojistik Hareketleri Optimizasyon Sistemi

##### 4.2. Depo Adresleme Çözüm Yaklaşımı

Depo adresleme modeli, bölüm 3.4.4’de de belirtildiği gibi 3 durum senaryosuna uygulanarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

1. Durum: Depodaki tüm lokasyonlar atanmaya müsaittir ve montaj malzemeleri tek kasa halinde gelmektedir.
2. Durum: Depodaki bazı lokasyonlar doludur ve montaj malzemeleri tek kasa halinde gelmektedir.
3. Durum: Depodaki bazı lokasyonlar doludur ve montaj malzemeleri her gün farklı adetlerde gelmektedir.

Bölüm 3.4.2’de lokasyonların kapıya uzaklıklarını hesaplamak için geliştirilen denklem 3.2 ve 3.3’de verilen mesafe formüllerinin incelenen depoya uygulanışı:

$$j = 1 \Rightarrow 4 + \min\{(k * 1,4), (|76 - k| * 1,4)\} + [(6 - i) + 1] * 6,5 + l * 1,25$$

$$j = 2 \Rightarrow 4 + \min\{(k * 1,4), (|76 - k| * 1,4)\} + (6 - i) * 6,5 + l * 1,25$$

Bölüm 3.4.2’de lokasyonların kapıya uzaklıklarını hesaplamak için geliştirilen denklem 3.4 ve 3.5’de verilen mesafe formüllerinin incelenen depoya uygulanışı:

$$j = 1 \Rightarrow |k - 38| * 1,4 + (i - 1) * 6,5 + l * 1,25$$

$$j = 2 \Rightarrow |k - 38| * 1,4 + (i * 2,5) + (i - 1) * 4 + l * 1,25$$

Bölüm 3.4.3’de verilen depo atama modelinin üç farklı senaryo bazında Çizelge 4.1’de görülebilen girdiler ile çalıştırılmasından elde edilen sonuçların yer aldığı Çizelge 4.2 incelendiğinde, 3. durumda çözüm süresinin en kısa olduğu fakat depo içi hareket süresinin en büyük olduğu göze çarpmaktadır. Bu durum, modelin günlük gelen ve çok adetli kasalar olarak gelen parça verileri ile çalıştırılmasından kaynaklanmaktadır. Bu senaryo gerçeğe en yakın olan senaryodur ve günlük uygulamaları yansıtmaktadır. Bu aşamadan sonra yapılan çalışmalara 3. senaryo ile devam edilmiştir.

Çizelge 4.1 Atama Modelinde Kullanılan Veri Adetleri

|                   | Girdi Adedi |
|-------------------|-------------|
| 1.,2. ve 3. Durum | 540         |
| 1. Alternatif     | 89          |
| 2. Alternatif     | 291         |
| 3. Alternatif     | 629         |

Çizelge 4.2: Senaryo Sonuçları

|          | Optimum Sonuç(sn) | İterasyon Adedi | Çözüm Süresi(sn) |
|----------|-------------------|-----------------|------------------|
| 1. Durum | 7546              | 9752            | 288              |
| 2. Durum | 8012              | 8414            | 169              |
| 3. Durum | 39260             | 8686            | 119              |

Günlük gelen parça verileri kullanılarak malzeme sınıfları için kapı-lokasyon ( $w_p^1$ ), lokasyon-talep masası ( $w_p^2$ ) gidiş süresi ağırlık değerlerinin uygun değerlerini bulmak amacıyla yapılan deneysel çalışmalar Çizelge 4.3’de verilmiştir. Buna göre, A sınıfı malzemelerde  $w_p^1$  0.1,  $w_p^2$  0.9; B sınıfı malzemelerde  $w_p^1$  0.3,  $w_p^2$  0.7; C sınıfı malzemelerde  $w_p^1$  0.4,  $w_p^2$  0.6 değerlerini aldığı zaman depo içi toplam hareket süresi minimum değer almaktadır.

Belirlenmiş ağırlık değerleri doğrultusunda gerçeğe en yakın durum olan 3. durumun alternatifleri ve bölüm 3.4.3’deki atama modelinden elde edilen sonuçları:

- Haftada 2 sefer gelen montaj parçaları için 2010 iterasyon sonucu elde edilen optimum sonuç: 2039 sn
- Haftada 1 sefer gelen montaj parçaları için 822 iterasyon sonucu elde edilen optimum sonuç: 9250 sn
- Günlük ve haftada 2 sefer gelen montaj parçaları için 9950 iterasyon sonucu elde edilen optimum sonuç: 42199 sn

Çizelge 4.3: Farklı Ağırlık Değerlerinin Karşılaştırılması

| Malzeme Sınıfı | $w_p^1$ | $w_p^2$ | Optimum Sonuç |
|----------------|---------|---------|---------------|
| A              | 0.1     | 0.9     | 39260 sn      |
| B              | 0.3     | 0.7     |               |
| C              | 0.4     | 0.6     |               |
| Malzeme Sınıfı | $w_p^1$ | $w_p^2$ | 41626 sn      |
| A              | 0.2     | 0.8     |               |
| B              | 0.4     | 0.6     |               |
| C              | 0.5     | 0.5     | 42973 sn      |
| Malzeme Sınıfı | $w_p^1$ | $w_p^2$ |               |
| A              | 0.9     | 0.1     |               |
| B              | 0.7     | 0.3     | 44387 sn      |
| C              | 0.6     | 0.4     |               |
| Malzeme Sınıfı | $w_p^1$ | $w_p^2$ |               |
| A              | 0.8     | 0.2     | 44387 sn      |
| B              | 0.6     | 0.4     |               |
| C              | 0.5     | 0.5     |               |

Belirlenen ağırlık değerleriyle çalıştırılan programdan elde edilen sonuçların bir anlık ekran görüntüsü Şekil 4.2’de görülmektedir.

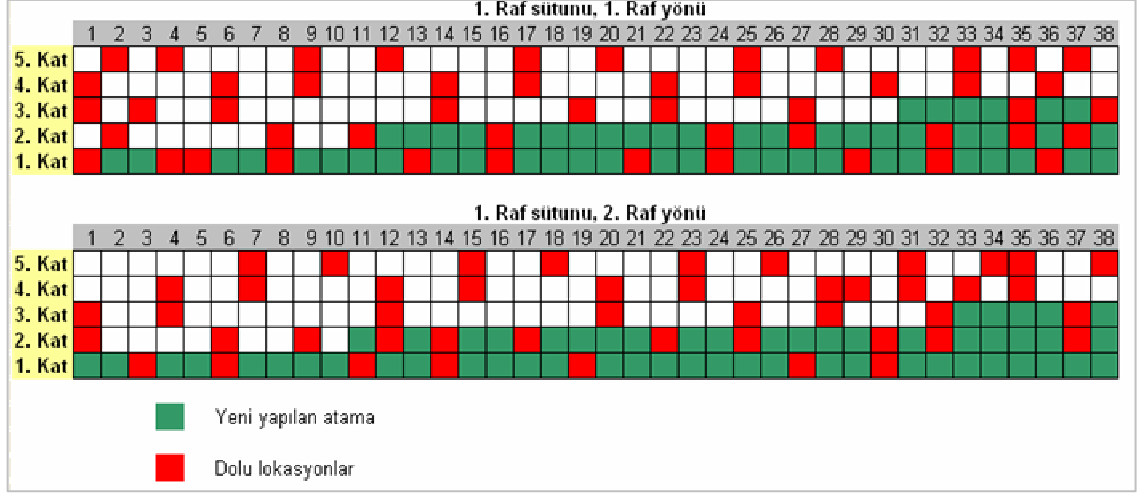
Verilen ekran görüntüsünde R102 numaralı parçanın adresleme sonuçları görülmektedir. Parça A sınıfındadır yani hızlı dönen parçalardandır ve belirlenen ağırlık değerleri sonucu talep masasına yakın adreslenmesi beklenmektedir. Geliştirilen modelin verdiği sonuçlar incelendiği zaman 10 kasa olarak gelen R102 parçasının talep masasına yakın lokasyonlara ve birbirine yakın lokasyonlara atandığı görülmektedir. Bu durum talep toplayıcının ilgili parçanın lokasyonuna aşına olmasını sağlayacaktır. Ancak burada adreslemeler sabit kabul edilmeyecektir, model her yeni gelen parti için çalıştırılacak boşalan lokasyonlara farklı parçalar yerleştirilebilecektir. Böylece sınıf tabanlı depolamanın fazla depolama alanı gerektirmesi dezavantajı ortadan kaldırılacak ve alan kullanım oranında artış sağlanabilecektir. Bu yaklaşımla sınıf tabanlı depolama

yönteminin daha az talep toplayıcı gezi sayısı gerektirmesi ve rassal depolamanın depolarda yüksek alan kullanım oranı getirmesi avantajları birlikte değerlendirilerek depo içi hareket tasarrufunda kazancı arttırmak hedeflenmiştir.

| Set | Value | INDEX 1 | INDEX 2 |
|-----|-------|---------|---------|
| 1   | 1.36  | R102    | 1       |
| 1   | 1.38  | R102    | 1       |
| 2   | 1.27  | R102    | 2       |
| 2   | 1.28  | R102    | 2       |
| 2   | 2.28  | R102    | 2       |
| 2   | 2.29  | R102    | 2       |
| 3   | 1.31  | R102    | 3       |
| 3   | 1.33  | R102    | 3       |
| 3   | 2.33  | R102    | 3       |
| 3   | 2.34  | R102    | 3       |
| 4   | 1.37  | R161    | 1       |
| 4   | 2.38  | R161    | 1       |

Şekil 4.2: Depo Atama Sonuçları Ekran Görüntüsü

Modelin verdiği sonuçlarla oluşan atamaların örnek bir raf sütunu için gösterimi Şekil 4.3’de verilmiştir. Ele alınan örnek raf sütunu, 1. raf sütunudur. Bu örnekte de atamaların talep masasına yakın lokasyonlarda yoğunlaştığı göze çarpmaktadır.



Şekil 4.3: Örnek Bir Raf Sütunu İçin Atama Sonuçları

#### 4.3. Talep Kümeleme ve Toplayıcı Rotalama Çözüm Yaklaşımı

Tasarlanan talep toplama sistemi Şekil 4.1’de de görüldüğü gibi bir çalışma prensibine sahiptir. İlk aşamada depo atama modeli ile çözölen problem ile optimum adres dağılımı yapılan kasaların talep geldiğinde önerilen adreslerden toplanmaları sağlanacaktır. Üretim hattından gelen talepler talep havuzunda biriktirilmektedir. Talep havuzunda, taleplerin geliş zamanı, istenen zamanı, depoda bulunduğu lokasyon, üretim hat numarası gibi bilgiler bulunmaktadır. Buradaki bilgiler kullanılarak Genetik Algoritma belirlenen zaman aralığında çalıştırılacak ve toplama planı elde edilecektir.

Genetik Algoritmanın çalışma aralığını ve kromozom uzunluğunu belirlemek için bir aylık üretim talep verileri incelenerek analiz edilmiş ve 5 dakikalık bir zaman penceresinin talepleri karşılamak, geç kalmalara neden olmamak için yeterli olduğu görölmüştür. Bu da belirlenen zaman aralığı için ortalama 15 adet talep dolayısıyla 15 genlik bir kromozom sonucunu doğurmaktadır.

Genetik algoritmanın performansını değerlendirmek için kullanılan veri seti örneği Çizelge 4.4’de de görüldüğü gibi 3. üretim hattından 17:00-17:12 zaman aralığında gelen talepleri içermektedir. Talepler istenen zamanlarından yaklaşık 1 saat önce gelmektedir. Örnek veri setinde, taleplerin istenen zamanları 18:00-18:05 arasında 5 dakikalık zaman aralığındadır. Sadece ve sadece tek bir parça kasası talep

edilebilmektedir.

Çizelge 4.4: Örnek Veri Seti

| Talep Numarası | Geliş Zamanı | İstenen Zaman | Talep Lokasyonu | Üretim Hat Numarası |
|----------------|--------------|---------------|-----------------|---------------------|
| 1              | 17:00        | 18:00         | 96              | 3                   |
| 2              | 17:01        | 18:01         | 272             | 3                   |
| 3              | 17:02        | 18:01         | 188             | 3                   |
| 4              | 17:02        | 18:03         | 67              | 3                   |
| 5              | 17:03        | 18:03         | 23              | 3                   |
| 6              | 17:04        | 18:02         | 41              | 3                   |
| 7              | 17:06        | 18:02         | 315             | 3                   |
| ....           | ....         | ....          | ....            | ....                |
| 14             | 17:11        | 18:05         | 150             | 3                   |
| 15             | 17:12        | 18:05         | 215             | 3                   |

Çaprazlama oranı, mutasyon oranı, elitizm oranı, popülasyon boyutu gibi algoritmanın performansını etkileyen parametrelerin uygun değerlerini belirlemek için STATISTICA İstatistik Programında Taguchi Deneysel Tasarım yöntemi kullanılmıştır. Senaryolarda 3 seviyeli 4 değişken olduğu için Taguchi metoduyla yapılacak deney tipi L9'dur. Çizelge 4.5'de deneysel tasarımda kullanılan faktörler ve seviyeleri görülebilmektedir.

Çizelge 4.5: Deneysel Tasarımda Kullanılan Faktörler ve Seviyeleri

| Faktör            | Seviye 1 | Seviye 2 | Seviye 3 |
|-------------------|----------|----------|----------|
| Çaprazlama Oranı  | 0.6      | 0.7      | 0.8      |
| Mutasyon Oranı    | 0.008    | 0.009    | 0.01     |
| Elitizm Oranı     | 0.02     | 0.03     | 0.04     |
| Popülasyon Boyutu | 75       | 100      | 125      |

L9 deneyi için Statistica'dan alınan deney koşulları ve bu koşullarda Genetik Algoritmanın çalışmasından elde edilen toplama süresi ile ilgili sonuçlar Şekil 4.4'de görülmektedir. Belirlenen faktörler hangi seviyelerde iken en iyi sonucun alınabileceğini görebilmek için ise Eta Değerlerinin ortalamalarının incelenmesi gerekmektedir. Şekil 4.5'de görülebildiği gibi Eta'nın büyük olduğu seviyeler, o faktörün o seviyesinin toplama süresini azalttığı bilgisini vermektedir. Bu durumda Şekil 4.6'da da görülebildiği gibi seviyelerin optimum değerleri çaprazlama oranı için

seviye 2, mutasyon oranı için seviye 1, popülasyon boyutu ve elitizm oranı için seviye 3 olarak elde edilmiştir.

|    | 1                | 2              | 3                 | 4             | 5              |
|----|------------------|----------------|-------------------|---------------|----------------|
|    | Çaprazlama Oranı | Mutasyon Oranı | Popülasyon Boyutu | Elitizm Oranı | Toplama Süresi |
| 1  | 1                | 1              | 1                 | 1             | 884            |
| 2  | 1                | 2              | 2                 | 2             | 997            |
| 3  | 1                | 3              | 3                 | 3             | 803            |
| 4  | 2                | 1              | 2                 | 3             | 731            |
| 5  | 2                | 2              | 3                 | 1             | 790            |
| 6  | 2                | 3              | 1                 | 2             | 923            |
| 7  | 3                | 1              | 3                 | 2             | 869            |
| 8  | 3                | 2              | 1                 | 3             | 896            |
| 9  | 3                | 3              | 2                 | 1             | 903            |
| 10 |                  |                |                   |               |                |

Şekil 4.4: Deney Özeti

| Average Eta by Factor Levels (Spreadsheet1) |       |          |                   |          |           |
|---------------------------------------------|-------|----------|-------------------|----------|-----------|
| Mean = -58,719 Sigma = ,812479              |       |          |                   |          |           |
| Effect                                      | Level | Means    | Paramet. Estimate | St. Dev. | St. Error |
| Çaprazlama Oranı                            | 1     | -58,9991 | -0,279921         | 0,941752 | 0,425723  |
|                                             | 2     | -58,1783 | 0,540858          | 1,031542 | 0,445556  |
|                                             | 3     | -58,9801 | -0,260938         | 0,176224 | 0,184158  |
| Mutasyon Oranı                              | 1     | -58,3293 | 0,389903          | 0,913149 | 0,419208  |
|                                             | 2     | -58,9909 | -0,271702         | 1,011814 | 0,441275  |
|                                             | 3     | -58,8374 | -0,118201         | 0,650500 | 0,353820  |
| Popülasyon Boyutu                           | 1     | -59,0931 | -0,373914         | 0,191847 | 0,192148  |
|                                             | 2     | -58,7887 | -0,069503         | 1,376868 | 0,514761  |
|                                             | 3     | -58,2758 | 0,443416          | 0,442748 | 0,291902  |
| Elitizm Oranı                               | 1     | -58,6651 | 0,054052          | 0,623978 | 0,346532  |
|                                             | 2     | -59,3528 | -0,633612         | 0,598245 | 0,339311  |
|                                             | 3     | -58,1396 | 0,579560          | 0,884776 | 0,412644  |

Şekil 4.5: Faktör Seviyelerine Göre Ortalama Eta Değerleri

| Expected S/N Ratio under Optimum Conditions |       |             |                |
|---------------------------------------------|-------|-------------|----------------|
| Mean = -58,719 Sigma = ,812479              |       |             |                |
| Factor                                      | Level | Effect Size | Standard Error |
| {1}Çaprazlama Oranı                         | 2     | 0,5409      |                |
| {2}Mutasyon Oranı                           | 1     | 0,3899      |                |
| {3}Popülasyon Boyutu                        | 3     | 0,4434      |                |
| {4}Elitizm Oranı                            | 3     | 0,5796      |                |
| Expected S/N                                |       | -56,7654    |                |

Şekil 4.6: Seviyelerin Optimum Değerleri



Yapılan deneysel tasarım sonucunda Çizelge 4.6’da görülebildiği gibi incelenen problem için çaprazlama oranı 0.7, mutasyon oranı 0.008, popülasyon boyutu 125 ve elitizm oranı 0.04 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.6: Genetik Algoritma Parametre Değerleri

| Parametreler      | Genetik Algoritma Değeri |
|-------------------|--------------------------|
| Çaprazlama Oranı  | 0.7                      |
| Mutasyon Oranı    | 0.008                    |
| Elitizm Oranı     | 0.04                     |
| Popülasyon Boyutu | 125                      |

Belirlenen parametre değerlerinde örnek veri seti kullanılarak elde edilen sonuçlar ve sonuçların ekran görüntüsü sırasıyla Çizelge 4.7 ve Şekil 4.7’de görülmektedir.

Çizelge 4.7: Örnek Veri Seti İçin Kümeleme Ve Rotalama Sonuçları

| Kümeleme              |                     | Rotalama       |
|-----------------------|---------------------|----------------|
| Küme Numarası         | Küme İçindeki Parça | Toplama Rotası |
| 1                     | 3                   | 272-78-67      |
| 2                     | 3                   | 215-41-66      |
| 3                     | 3                   | 315-122-96     |
| 4                     | 3                   | 150-175-23     |
| 5                     | 3                   | 200-12-188     |
| Toplam Toplama Süresi |                     | 858 sn         |

Algoritmadan elde edilen sonuçlar incelendiği zaman, küme içerisindeki parça adedinin daima 3 olduğu gözlenmektedir. Bu durumun, küme kapasitesinin talep toplayıcıyı aracın kapasitesine göre belirlenmesinden kaynaklandığı unutulmamalıdır. Talep toplayıcının talep masasında başlayan rotası konvoy alanında son bulmaktadır. Örneğin 17:00-17:05 aralığında istenen parçalar için algoritmanın verdiği sonuca göre talep toplayıcı oluşan ilk kümede 272,78, 67 numaralı lokasyonlarda bulunan talepleri toplayacaktır. Yani talep toplayıcının talep masasında başladığı rotası, 2. raf sütununun arka yüzünde 17. raf gözü 2. kat adresine, 1. raf sütununun arka yüzünden, 23. raf gözü 3. kat adresinden, 1. raf sütununun arka yüzünde 25. raf gözü 2. kat adresine şeklinde devam edecek ve konvoy alanında son bulacaktır.

```

41 23 215 67 272 66 12 200 188 122 150 175 78 96 315 -->1017,802
200 12 23 175 188 215 67 66 122 150 315 96 78 272 41 -->1000,505
23 12 200 188 175 215 67 66 78 150 122 96 315 272 41 -->994,5638
23 12 200 188 175 215 67 66 78 150 122 96 315 272 41 -->994,5638
200 12 23 188 175 215 272 315 122 150 78 96 67 66 41 -->983,6638
78 67 66 272 122 315 215 23 200 41 96 150 175 12 188 -->928,251
23 12 200 188 175 215 67 66 272 150 78 96 315 122 41 -->911,9504
200 12 23 188 175 122 272 96 315 78 150 215 67 66 41 -->907,7104
200 12 23 188 175 215 78 96 315 272 150 122 66 67 41 -->896,1855
96 67 66 41 23 215 78 272 315 150 122 188 12 200 175 -->882,3051
272 78 67 215 41 66 315 122 96 150 175 23 200 12 188 -->858,6154
En uygun çözüm : 272 78 67 215 41 66 315 122 96 150 175 23 200 12 188 -->858,6154

1.Küme : 272 78 67
2.Küme : 215 41 66
3.Küme : 315 122 96
4.Küme : 150 175 23
5.Küme : 200 12 188

```

Şekil 4.7:Genetik Algoritma Sonuç Ekranı

Talep toplayıcı elindeki listede tüm kodlamaları görebileceği için ilgili adresleri kolayca bulacaktır.

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada, talep toplama sistemlerindeki üç önemli karar problemi; depo atama, kümeleme ve toplayıcı rotalama problemi incelenmiş ve bir otomotiv ana sanayi firmasının montaj parça deposuna uygulanmıştır. Tasarlanan sistemde problemlere iki aşamalı çözüm getirilmiştir. Öncelikle depo içi taşımaları minimize edecek şekilde depoya gelen montaj parçalarının atanması problemine sınıf tabanlı depolama yaklaşımı kullanılarak bir model geliştirilmiştir. Bunun için ilk aşamada depoda depolanan parçaların, üretim hattından sipariş edilme oranları dikkate alınarak sınıflandırılmaları yapılmıştır. Ardından belirlenen sınıfların, boşaltma kapısına ve talep masasına olan uzaklık değerlerine farklı ağırlık değerleri atanarak denemeler yapılmıştır. En uygun ağırlık değerlerine karar verildikten sonra, geliştirilen model otomotiv ana sanayi firmasına ait montaj deposu için tanımlanan farklı senaryolar bazında GAMS optimizasyon programında kodlanarak uygulanmış ve optimal depo atama çözümleri elde edilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında talep kümeleme ve toplayıcı rotalama problemlerine birlikte çözüm geliştirebilmek için çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla öncelikle bir tamsayılı programlama modeli geliştirilerek GAMS optimizasyon programında kodlanmıştır. Ancak uygulama aşamasında modelin, büyük boyutlu problemleri beklenen çözüm süresinde çözemediği görülmüş ve bunun üzerine sezgisel algoritmalar incelenerek problem yapısına en çok uyan yöntem belirlenmiştir. Problem yapısına uygunluğu ve çözüm uzayında popülasyonlarla hızla ilerlemesi nedeniyle Genetik Algoritmalar tercih edilmiştir. Tasarlanan Genetik Algoritmada yine kümeleme ve rotalamaya birlikte çözüm geliştiren bir yapı oluşturulmuştur. Algoritma C # programlama dilinde kodlanmış ve depo adresleme modelinden elde edilen sonuçlarla çalıştırılmıştır. Tasarlanan Genetik Algoritma montaj deposundaki günlük uygulamalarda istenen hızda çözüm üretebilmektedir. Çalışmanın iki aşamasında da 3 boyutlu depoda tahmini mesafeler değil gerçek mesafeler kullanılmıştır.

Ulaşılan sonuçlar, önerilen modelin benzer depo tiplerine uyarlanarak uygulanabilir ve geliştirilebilir olduğunu göstermektedir.

**KAYNAKLAR**

Aytug, H., M. Khouja, and F. E. Vergara. 2003. Use of Genetic Algorithms to Solve Production and Operations Management Problems: a Review. *International Journal of Production Research*, 41(17): 3955-4009

Bolat, B., K.O. Erol ve C.E. Irmak. 2004. Genetic Algorithms in Engineering Applications and the Function of Operators. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 4: 264-271.

Berg, J. P. ve W.H.M. Zijm. 1999. Models for Warehouse Management: Classification and Examples. *International Journal of Production Economics*, 59: 519-528.

Bozer, Y.A. ve J.W. Kile. 2007. Order batching in walk-and-pick order picking systems. *International Journal of Production Research*, 46(7):1887-1909.

Chen, Y. ve He, F. 2008. Research on Particle Swarm Optimization in Location Assignment Optimization. *Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation*

Caron, F., G. Marchet ve A. Perego. 1998. Routing Policies and COI Based Storage Policies in Picker-to Part Systems. *International Journal of Production Research*, 36(3): 713-732.

De Koster, M.B.M., E.S. Van der Poort ve M. Wolters. 1999. Efficient Order Batching Methods in Warehouses. *International Journal of Production Research*, 37(7):1479-1504.

De Koster, R. 2004. How to Assess a Warehouse Operation in a Single Tour. Report. RSM Erasmus University. The Netherlands.

De Koster, R., T. Le-Duc, ve K.J. Roodbergen. 2007. Design and Control of Warehouse Order Picking: A Literature Review. *European Journal of Operational Research*, 182: 481-501.

ELA/AT Kearney. 2004. Excellence in Logistics. ELA, Brussels.

Gu, J., M. Goetschalckx, ve L.F. McGinnis. 2007. Research on Warehouse: A Comprehensive Review. *European Journal of Operational Research*, 177:1-21.

Goetschalckx, M. ve J. Ashayeri, 1989. Classification and Design of Order Picking Systems. *Logistics World*. June:99-106.

Goldberg, D. E. 1989. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison Wesley Longman Inc. 412p.

Ho, Y.C. ve Y.Y. Tseng. 2006. A Study on Order-Batching Methods of Order-Picking in a Distribution Centre with Two Cross-Aisles. *International Journal of Production Research*, 44(17):3391-3417.

Ho, Y. C., T.S. Su, ve Z. B. Shi. 2008. Order Batching Methods for an Order- Picking Warehouse with Two Cross Aisles. *Computers & Industrial Engineering*, 55: 321-347.

Hsu, C. M., K.Y. Chen ve M.Y. Chen. 2005. Batching Orders in Warehouses by Minimizing Travel Distance with Genetic Algorithms. *Computers in Industry*, 56: 169-178.

Hwang, H., W. Baek ve M. Lee. 1988. Cluster Algorithms for Order Picking in an Automated Storage and Retrieval System. *International Journal of Production Research*, 26: 189-204.

Hwang, H., Y.H. Oh, ve Y.K. Lee. 2004. An Evaluation of Routing Policies for Order-Picking Operations in Low-level Picker-to Part System. *International Journal of*

Production Research, 42(18): 3873-3889.

Hwang, H. ve D.G. Kim. 2005. Order-Batching Heuristics Based on Cluster Analysis in a Low-Level Picker-to-Part Warehousing System. International Journal of Production Research, 43(17): 3657-3670.

Kara, İ. ve T. Bektaş. 2006. Integer Linear Programming Formulations of Multiple Salesman Problems and Its Variations. International Journal of Operational Research, 174: 1449-1458

Öztürk, N. 2003. Use of Genetic Algorithm to Design Optimal Neural Network Structure. Engineering Computations, 20(8):979-997.

Petersen, C. G. ve G. Aase. 2004. A Comparison of Picking, Storage and Routing Policies in Manual Order Picking. International Journal of Production Economics, 92: 11-19.

Rana, K. 1991. Order-Picking in Narrow-Aisle Warehouse. International J. Phys. Distrib. Logist. Manage, 20(2): 9-15.

Roodbergen, K. J. ve R. De Koster. 2001. Routing Methods for Warehouses with Multiple Cross Aisles. International Journal of Production Research, 39(9): 1865-1883.

Le-Duc, T. ve R. De Koster. 2005. Travel Distance Estimation and Storage Zone Optimisation in a 2-Block Class-Based Storage Strategy Warehouse. International Journal of Production Research, 43(17):3561-3581.

McCall, J. 2005. Genetic Algorithms for Modelling and Optimisation. Journal of Computational and Applied Mathematics, 184: 205-222

Muppani, V. R. ve G. K. Adil. 2008 (a). Efficient Formation of Storage Classes for Warehouse Storage Location Assignment: A Simulated Annealing Approach. The

International Journal of Management Science, 36: 609-618.

Muppani, V. R. ve G. K. Adil. 2008 (b). A Branch and Bound Algorithm for Class-Based Storage-Location Assignment. *European Journal of Operational Research*, 189: 492- 507.

Shopova, E.G. ve N. G. Vaklieva-Bancheva. 2006. BASIC- A Genetic Algorithm for Engineering Problems Solution. *Computers & Chemical Engineering*, 30:1293-1309.

Sastry, K., D. Goldberg ve G. Kendall 2005. *Search Methodologies*. Springer. p:97-125.

Tompkins, J. A., J. A. White, Y. A. Bozer, E. H. Frazelle, J. M. A. Tanchoco ve J. Trevino. 1996. *Facilities Planning*. New York: John Wiley & Sons, Inc. 675p.

Tompkins, J.A., J.A. White, Y.A. Bozer, E.H. Frazelle ve J.M.A. Tanchoco. 2003. *Facilities Planning*. John Wiley & Sons. N.J. 750p.

Tsai, C. Y., J.J.H. Liou, ve T.M. Huang. 2008. Using a Multiple-GA Method to Solve the Batch Picking Problem: Considering Travel Distance and Order Due Time. *International Journal of Production Research*, 46(22): 6533-6555.

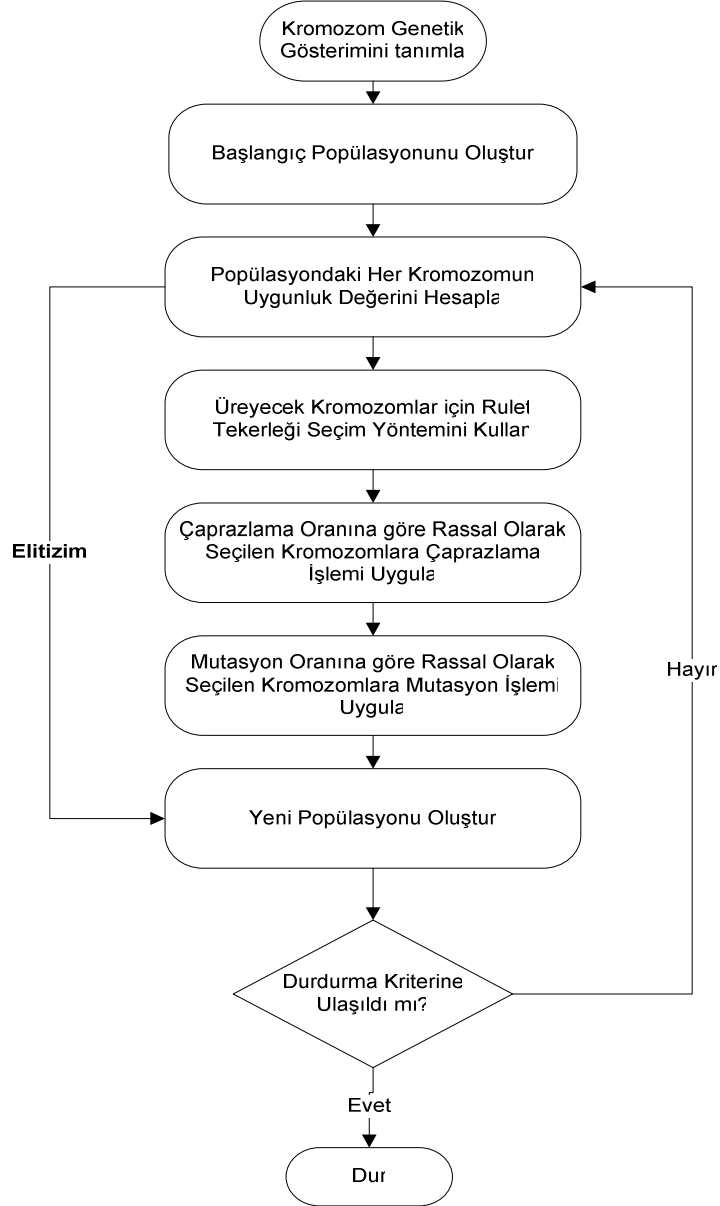
Tsoukalas, L. H. ve R. E. Uhrig. 1997. *Fuzzy and Neural Approaches in Engineering*. John Wiley & Sons, Inc. 587p.

Won, J. ve S. Olafsson. 2005. Joint Order Batching and Order Picking in Warehouse Operations. *International Journal of Production Research*, 43(7):1427 -1442.



## EKLER

### Ek-1: Genetik Algoritma Akış Diyagramı



**ÖZGEÇMİŞ**

Seval Ene 05.01.1985 tarihinde Lüleburgaz doğmuştur. İlköğrenimini Kocasinan İlköğretim Okulu'nda, orta ve lise öğrenimini ise Lüleburgaz Anadolu Lisesi'nde üçüncülük derecesi alarak tamamlamıştır. 2007 yılında Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuş ve aynı yıl Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitime başlamıştır. 2008 yılından itibaren Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

**TEŞEKKÜR**

Yüksek Lisans eğitimim süresince ve tezin hazırlanması sürecinde bana her konuda yardımcı olan ve benden desteğini esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. Nursel ÖZTÜRK'e; tez çalışmamı TOFAŞ'da birlikte yürüttüğüm Fatih DEMİRCİ'ye, yüksek lisans eğitimim süresince katkılarından dolayı TÜBİTAK'a sonsuz teşekkürler sunarım.

Ayrıca tüm öğrenim hayatım boyunca bana olan güvenleri ve sonsuz destekleri sebebiyle başta anne ve babam olmak üzere tüm aileme ve yakın dostlarıma en samimi duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.