

T.C.
YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
Doktora Tezi

ESNEK ÜRETİM SİSTEMLERİNDE ETKİN YÜKLEME VE DAĞITIM İÇİN
GELENEKSEL OLMAYAN BİR DEPO TASARIM MODELİ ÖNERİSİ

Yeliz KOCAMAN

Prof. Dr. Şevkinaz Gümüšođlu

Yrd. Doç. Dr. Ömer Öztürkoğlu

İzmir, 2016

T.C.
YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
Doktora Tezi

ESNEK ÜRETİM SİSTEMLERİNDE ETKİN YÜKLEME VE DAĞITIM İÇİN
GELENEKSEL OLMAYAN BİR DEPO TASARIM MODELİ ÖNERİSİ

Yeliz KOCAMAN

Prof. Dr. Şevkinaz Gümüšođlu

Yrd. Doç. Dr. Ömer Öztürkoğlu

İzmir, 2016

Bu tezi okuduğumu ve görüşüme göre doktora derecesi için bir tez olarak kapsam ve nitelik açısından tam olarak yeterli olduğunu onaylarım.

Özge Naz Gönümlü

(Danışman)

Özge Naz Gönümlü

Bu tezi okuduğumu ve görüşüme göre doktora derecesi için bir tez olarak kapsam ve nitelik açısından tam olarak yeterli olduğunu onaylarım.

Mehmet Nulusi Demir
Mehmet Nulusi Demir

Bu tezi okuduğumu ve görüşüme göre doktora derecesi için bir tez olarak kapsam ve nitelik açısından tam olarak yeterli olduğunu onaylarım.

Adalet ÖNER
Adalet ÖNER

Bu tezi okuduğumu ve görüşüme göre doktora derecesi için bir tez olarak kapsam ve nitelik açısından tam olarak yeterli olduğunu onaylarım.

Ali Özdemir
Ali Özdemir

Bu tezi okuduğumu ve görüşüme göre doktora derecesi için bir tez olarak kapsam ve nitelik açısından tam olarak yeterli olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Gürhan
Doç. Dr. Gürhan Özdepoğlu

Çağrı Bulut

Doç. Dr. Çağrı BULUT

Enstitü Müdürü

YEMİN METNİ

Doktora Tezi olarak sunduğum "Esnek Üretim Sistemlerinde Etkin Yükleme ve Dağıtım için Geleneksel Olmayan Bir Depo Tasarım Modeli Önerisi" adlı çalışmanın, tarafımdan bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin bibliyografyada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

29/06/2016

Yeliz Kocaman



ÖZET

Doktora Tezi

Esnek Üretim Sistemlerinde Etkin Yükleme Ve Dağıtım İçin Geleneksel Olmayan Bir Depo
Tasarım Modeli Önerisi

Yeliz KOCAMAN

Yaşar Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
İşletme Doktora Programı

Artan rekabet sebebi ile depolama konusu tedarik zincirinde gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Depolama sadece ürünlerin saklandığı alanlar olmaktan çıkmış, müşteriye ürünlerini tam istediği zamanda teslim edebilme için üretimi destekleme noktaları, hatta ürüne değer katan pek çok işlemin yapıldığı noktalar haline gelmiştir. Depoların etkin bir şekilde yönetimi kurum performansı açısından önem kazanmaya başlamıştır. Zaman kavramının çok önemli olduğu günümüzde depolarda üretimi besleme ya da müşteri siparişini hazırlama aşamasında geçen zamanın yönetimi oldukça önemlidir. Aktarma ya da sevkiyat işlemlerinin zamanında yapılması ürünlerin lokasyonlarından hızlı bir şekilde toplanmasını gerektirir. Ürün toplama süresi ürüne ulaşmak için kat edilen mesafeye bağlıdır ve bu mesafe depo koridor yerleşimine bağlı olarak değişmektedir. Bu tez çalışmasında depo alanındaki ürün giriş/çıkış noktalarından ürüne ulaşmak için kat edilen ortalama mesafeyi minimize edecek koridor tasarımının bulunması hedeflenmiştir. Öncelikle herhangi bir kapıdan herhangi bir ürün lokasyonuna ulaşmak için kat edilmesi gereken ortalama mesafe denklemleri sürekli uzayda matematiksel olarak modellenmiştir. Mesafeler, ürünü yerinden almak ya da ürünü depolama alanına yerleştirmek için kat edilen tek yönlü mesafe olarak ele alınmıştır. Sevkiyat ve mal kabul işlemlerinin daha hızlı bir şekilde yapılabilmesi için depolarda birden fazla giriş/çıkış kapısı olması işletmeler için avantaj yarattığı düşünülmektedir. Bu nedenle bu tezde çok sayıda giriş/çıkış kapısı olması halinde nasıl bir koridor yerleşimi önerilebileceği üzerine çalışılmıştır. Model üç farklı akış politikası altında parçacık sürü en iyileme algoritması kullanılarak çözülmüştür. Depolama politikası olarak ürünlerin depo alanına yerleştirilirken ilk boş lokasyona konulduğu rastgele depolama politikası ile çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Depo, Koridor Tasarımı, Parçacık Sürü Eniyileme

ABSTRACT

Dissertation

Nontraditional Warehouse Design Proposal for Efficient Shipment and Distribution in Flexible Production Systems

Yeliz KOCAMAN

Yaşar University
Institute of Social Sciences
Degree of Doctor of Philosophy

Warehousing is becoming more important in the supply chain management because of increasing competitiveness in market. A warehouse is not just a place to store items, it is a critical point to deliver products to customers on time and to provide value added operations. Managing warehouse is getting important as customer requirements gets more complex and the response time becomes critical. The concept of time is important and management of the time elapsed for feeding production or preparing delivery in warehouses is crucial for organizations. In order to make deliveries and transshipments on time, the products must be picked from their locations quickly. Order picking time mainly depends on the distance between pickup/deposit (P&D) point and the product location in storage area. This distance changes according to the warehouse layout. In this dissertation, we aimed to find the arrangement of aisles which is actually main part of the warehouse layout, that minimizes the expected single command travel distance between P&D points and a product in a storage location. Single command distance is defined as one-way distance traveled to reach a product location from a P&D point or distance traveled to turn back to P&D point from a product location. First, mathematical cost expressions for expected single command travel distance in continuous warehouse space is developed. It is known that multiple P&D points create advantage for quick shipment and receiving of products. Therefore in this study it is aimed to develop a new aisle design for a warehouse that has multiple P&D points. The functions of travel distance are nonlinear so Particle swarm optimization method is used to solve the problem under three different material flow policy. We implement randomised storage policy where the products are put away randomly in storage area and have same picking probabilities is used as storage policy.

Keywords: Warehouse, Aisle Design, Particle Swarm Optimization

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması süresince ve doktora eğitimim boyunca, bilgi ve tecrübeleriyle bana daima yol gösteren, bana inanan, güvenen, danışmanım Sayın Prof. Dr. Şevkinaz Gümüšođlu'na, akademik bilgilerini benimle paylaşan, tez çalışmamın her ayrıntısında yardımlarını esirgemeyen, rehberlik eden ikinci danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Ömer Öztürkođlu'na sonsuz teşekkürü borç bilirim ayrıca jüri üyelerim Sayın Prof. Dr. M. Hulusi Demir'e, Sayın Prof. Dr. Ali Özdemir'e, Sayın Doç. Dr. Güzin Özdađođlu'na ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Adalet Öner'e destekleri ve ilgilerinden dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam esnasında desteklerini esirgemeyen, her konuda anlayış gösteren annem Filiz Kocaman ve babam Sıddık Kocaman'a, bana moral veren, zorlandığım anlarda yüzümü güldüren yeğenlerim Onur Kocaman ve Eylül Kocaman'a, kardeşlerim Funda Kocaman, Halil Kocaman ve Ayşegül Kocaman'a, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca yeterince zaman ayıramadığım arkadaşlarıma, özellikle lisans, yüksek lisans ve doktora hayatım boyunca omuz omuza çalıştığım, çalışmam esnasında ve özel hayatımda hep yanımda olan dostum İkbal Ece Dizbay'a, birlikte çalışabilmemiz için bize gerekli ortamı sağlayan Caner Dizbay'a, zor anlarımda yardımlarını esirgemeyen Burcu Karaöz'e anlayışları ve desteklerinden dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak çalışmam esnasındaki desteği, ilgisi, anlayışı ve sabrı için sevgili Gökhan Demirkıran'a sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

GİRİŞ	1
1. BÖLÜM.....	4
1.1 DEPOLAMA	4
1.2 DEPO OPERASYONLARI	6
1.2.1 Mal Kabul.....	7
1.2.2 Yerleştirme Süreci.....	9
1.2.3 Ürün Çıkışı	12
1.2.3.1 Sipariş Toplama	13
1.2.3.2 Sevkiyat.....	16
1.2.4 Birleştirme /Ayrıştırma	16
1.3 SEVKİYAT TÜRLERİ	17
1.3.1 Çapraz Sevkiyat.....	17
1.3.2 Doğrudan Sevkiyat.....	18
1.4 DEPO TÜRLERİ.....	18
1.4.1 Sahipliğine Göre Depolar	18
1.4.1.1 Özel Depolar	18
1.4.1.2 Genel Depolar	19
1.4.1.3 Kontrat/Anlaşmalı Depolar	20
1.4.2 Stokladığı Ürünlere Göre Depo Türleri	20
1.4.2.1 Genel Ticari Eşya Deposu	20
1.4.2.2 Özel Ürün Deposu.....	20
1.4.2.3 Toplu Depolama Ambarları	20
1.4.2.4 Soğuk Depolama/ Isı Kontrollü Ambarlar	21

1.4.2.5	Ev Eşyası ve Mobilya Depoları	21
1.4.2.6	Antrepo	21
1.4.3	Tedarik Zinciri İçerisindeki Konumuna Göre Depolar	22
1.4.3.1	Üretim / Hammadde Depoları.....	22
1.4.3.2	Fabrika/Nihai Ürün Depoları	22
1.4.3.3	Merkezi Depolar	22
1.4.3.4	Dağıtım Depoları	23
1.4.3.5	Aktarma Deposu	23
1.4.3.6	Perakende Depoları.....	23
1.5	BİRİM YÜK DEPOLARDA YERLEŞİM.....	23
1.5.1	Depo Giriş/Çıkış Noktası	24
1.5.2	Koridorlar	26
1.5.2.1	Geçiş Koridoru.....	26
1.5.2.2	Açılı Koridorlar.....	27
1.5.3	Depolama Alanı.....	28
2.	BÖLÜM.....	29
2.1	GELENEKSEL KORİDOR TASARIMLARI İLE İLGİLİ LİTERATÜR.....	29
2.2	GELENEKSEL OLMAYAN KORİDOR TASARIMLARI İLE İLGİLİ LİTERATÜR.....	32
3.	BÖLÜM.....	41
3.1	Çok Sayıda Giriş/Çıkış Kapılı, Bir Orta Koridorlu Birim Yük Depolarda Tek Siparişli Problemlerde Koridor Tasarımı	41
3.1.1	Varsayımlar	44
3.1.2	Depo Modeli.....	45
3.2	Mesafe Denklemlerinin Belirlenmesi	58
3.2.1	Durum A1 için Maliyet Fonksiyonu Belirleme.....	64
3.2.2	Durum A2 için Maliyet Fonksiyonu Belirleme.....	69
3.2.3	Durum A3 için Maliyet Fonksiyonu Belirleme.....	73

3.2.4	Durum A4 için Maliyet Fonksiyonu Belirleme.....	78
3.2.5	Durum A5 için Maliyet Fonksiyonu Belirleme.....	85
3.2.6	Durum A6 için Maliyet Fonksiyonu Belirleme.....	89
3.2.7	Çözüm Yöntemi	94
3.2.7.1	Parçacık Sürü En İyileme Algoritması	95
3.2.7.2	Parçacık Sürü Eniyileme Algoritmasının Uygulanması	99
3.2.7.3	Parçacık Sürü Eniyileme Algoritmasının Performansı	100
4.	BÖLÜM.....	102
4.1	Kapılardaki Malzeme Akışının Eşit Olmadığı Birim Yük Depolarda Tek Siparişli Problemlerde Koridor Tasarımı.....	102
5.	BÖLÜM.....	105
5.1	SAYISAL SONUÇLAR.....	105
5.1.1	Depo Kapılarında Eşit Malzeme Akış Politikası Altında Elde Edilen Sayısal Sonuçlar	105
5.1.2	Merkez Yoğun Malzeme Akış Politikası Altında Elde Edilen Sayısal Sonuçlar	114
5.1.3	Merkez Seyrek Malzeme Akış Politikası Altında Elde Edilen Sayısal Sonuçlar	118
5.2	SONUÇLAR.....	123
6.	KAYNAKLAR	126
7.	EKLER.....	131
8.	Özgeçmiş.....	140

Şekiller Listesi

Şekil 1.1 Geleneksel Depolarda Koridor Tasarımları	6
Şekil 1.2 Geleneksel Olmayan Depolarda Koridor Tasarımları	6
Şekil 1.3 Temel Depo Operasyonları	7
Şekil 1.4 Depolama Operasyonları Maliyet Dağılımı	15
Şekil 1.5 Sipariş Toplama Operasyon Maliyet Dağılımı	15
Şekil 1.6 Çapraz Sevkiyat Deposu	18
Şekil 1.7 Karşılıklı Duvarlarında Bir Adet G/Ç Noktası Bulunan Geleneksel Depo Tasarımı	24
Şekil 1.8 Tek Giriş/Çıkışlı Geleneksel Depo Tasarımı	25
Şekil 1.9 Balık Kılıçığı Depo Koridor Tasarımı	28
Şekil 2.1 Geleneksel Depo Tasarımları	29
Şekil 2.2 Geleneksel Olmayan Koridor Tasarımların Uygulanması	39
Şekil 2.3 Geleneksel Olmayan Koridor Tasarımlarının Liman Uygulaması	40
Şekil 3.1 Malzeme Akış Politikaları	42
Şekil 3.2 Herhangi bir Noktaya Ulaşma Rotaları	43
Şekil 3.3 Deponun Parametreleri ve Değişkenleri	45
Şekil 3.4 Orta Geçiş Koridorunun Alabileceği Olası Açılar	47
Şekil 3.5 Sipariş Toplama Koridorlarının Alabileceği Olası Açılar	48
Şekil 3.6 $T > m$ Durumunda Orta Koridorun Sağ Bölgesi için Olası Açılar	50
Şekil 3.7 $m < T < O$ Durumunda Orta Koridorun Sağ Bölgesi için Olası Açılar	51
Şekil 3.8 $m < O < T$ Durumunda Orta Koridorun Sağ Bölgesi için Olası Açılar	52
Şekil 3.9 $F < m < O$ Durumunda Orta Koridorun Sol Bölgesi için Olası Açılar	54
Şekil 3.10 $F < O < m$ Durumunda Orta Koridorun Sol Bölgesi için Olası Açılar	55
Şekil 3.11 $O < F < m$ Durumunda Orta Koridorun Sol Bölgesi için Olası Açılar	56
Şekil 3.12 Durum A'nın Alt Durumları	57

Şekil 3.13 Durum A1de G/Ç nin Orta Koridorun Solunda Yer Aldığında Ürün Lokasyonlarına Ulaşma Rotası	64
Şekil 3.14 Durum A1 de G/Ç nin Orta Koridorun Solunda Yer Aldığında Depo Alanının Bölgelere Ayrılması	65
Şekil 3.15 Durum A1de G/Ç nin Orta Koridorun Sağında Yer Aldığında Ürün Lokasyonlarına Ulaşma Rotası	67
Şekil 3.16 Durum A1 de G/Ç nin Orta Koridorun Sağında Yer Aldığında Depo Alanının Bölgelere Ayrılması	67
Şekil 3.17 Durum A2 de Deponun Bölgelere Ayrılması	71
Şekil 3.18 Durum A3 de Giriş/Çıkış Kapısının Orta Koridorun Solunda Yer Aldığında Deponun Bölgelere Ayrılması.....	74
Şekil 3.19 Durum A3 de Giriş/Çıkış Kapısının Orta Koridorun Sağında Yer Aldığında Deponun Bölgelere Ayrılması.....	76
Şekil 3.20 Durum A4 de Giriş/Çıkış Kapısının Orta Koridorun Solunda Yer Aldığında Deponun Bölgelere Ayrılması.....	80
Şekil 3.21 Durum A4 de Giriş/Çıkış Kapısının Orta Koridorun Sağında Yer Aldığında Deponun Bölgelere Ayrılması.....	82
Şekil 3.22 Durum A5 de Giriş/Çıkış Kapısının Orta Koridorun Solunda Yer Aldığında Deponun Bölgelere Ayrılması.....	86
Şekil 3.23 Durum A5 de Giriş/Çıkış Kapısının Orta Koridorun Sağında Yer Aldığında Deponun Bölgelere Ayrılması.....	87
Şekil 3.24 Durum A6 da Giriş/Çıkış Kapısının Orta Koridorun Solunda Yer Aldığında Deponun Bölgelere Ayrılması.....	90
Şekil 3.25 Durum A6 da Giriş/Çıkış Kapısının Orta Koridorun Sağında Yer Aldığında Deponun Bölgelere Ayrılması.....	92
Şekil 3.26 PSE Algoritmasında Parçacığın Hızının ve Bir Sonraki Konumunun Belirlenmesi	96
Şekil 3.27 Parçacık Sürü Eniyileme Algoritmasının İşleyişi	98

Şekil 4.1 Merkez Yoğun Malzeme Akışı	102
Şekil 4.2 Merkez Seyrek Malzeme Akışı.....	104
Şekil 5.1 Eşit Malzeme Akışı Politikası Altında Tek Koridorlu Çok Kapılı Depolar İçin Elde Eilen En İyi Koridor Yerleşimi	106
Şekil 5.2 Eşit Malzeme Akış Politikası Altında Sağ Bölge Koridor Açılırları.....	107
Şekil 5.3 Geleneksel Tasarım ve Geliştirilmiş Tasarımın Ortalama Seyahat Uzaklığı Açısından Karşılaştırılması	108
Şekil 5.4 Geliştirilmiş Tasarımın Geleneksel Tasarıma Göre İyileşme Oranı	108
Şekil 5.5 Chevron Tasarımı.....	109
Şekil 5.6 Geliştirilmiş Tasarım ile Chevron Tasarımın Ortalama Ulaşım Maliyeti Açısından Karşılaştırılması	110
Şekil 5.7 Geliştirilmiş Tasarımın Chevron Tasarıma Göre İyileşme Oranı	110
Şekil 5.8 Chevron Tasarımın Geleneksel Tasarıma Göre İyileşme Oranı	111
Şekil 5.9 Kapı Lokasyonları.....	112
Şekil 5.10 Her bir Kapının Farklı Tasarımlar Altında Ortalama Seyahat Uzaklığı	113
Şekil 5.11 Merkez Yoğun Malzeme Akışı Politikasında Koridor Tasarımı	116
Şekil 5.12 Merkez Yoğun Malzeme Akış Politikası Altında Sağ Bölge Koridor Açılırları.....	117
Şekil 5.13 Geliştirilmiş Tasarımın Geleneksel Tasarıma Göre İyileşme Oranı	118
Şekil 5.14 Merkez Seyrek Malzeme Akışı Politikasında Koridor Tasarımı	119
Şekil 5.15 Merkez Seyrek Malzeme Akış Politikası Altında Sağ Bölge Koridor Açılırları	120
Şekil 5.16 Geliştirilmiş Tasarımın Geleneksel Tasarıma Göre İyileşme Oranı	120
Şekil 5.17 Farklı Malzeme Akış Politikaları Altında Sağ Koridor Açılırları	121
Şekil 5.18 Farklı Malzeme Akış Politikaları Altında Geliştirilmiş Tasarımın Geleneksel Tasarıma Göre İyileşme Oranı	122

Tablolar Listesi

Tablo 2.1 Literatür Tablosu.....	38
Tablo 3.1 Model Parametreleri.....	46
Tablo 3.2 Model Değişkenleri.....	46
Tablo 3.3 PSE Algoritmasının Performans Değerlendirmesi	101
Tablo 4.1 Merkez Yoğun Malzeme Akışı Durumunda Akış Yüzdeleri	103
Tablo 4.2 Merkez Seyrek Malzeme Akışı Durumunda Akış Yüzdeleri	104
Tablo 5.1 PSE Algoritması ile Elde Edilen En İyi Koridor Açılımları ve En İyi Koridor Konum Değerleri.....	107
Tablo 5.2 Farklı Tasarımlar için Her Bir Kapıdan Herhangi Bir Noktaya Ulaşma Mesafesi	114
Tablo 7.1 Eşit Malzeme Akış Politikası Altında Ortalama Seyahat Uzaklıkları	139
Tablo 7.2 Merkez Yoğun Malzeme Akışı Politikasında Ortalama Seyahat Uzaklıkları	139
Tablo 7.3 Merkez Seyrek Malzeme Akışı Politikası Altında Ortalama Seyahat Uzaklıkları	139

Ekler Listesi

Ek 1 Durum A1 için Maliyet Fonksiyonları.....	131
Ek 2: Durum A2 için Maliyet Fonksiyonları	132
Ek 3: Durum A3 için Maliyet Fonksiyonları	133
Ek 4: Durum A4 için Maliyet Fonksiyonları	134
Ek 5: Durum A5 için Maliyet Fonksiyonları	136
Ek 6: Durum A6 için Maliyet Fonksiyonları	137
Ek 7: Ortalama Ulaşım Maliyetleri	139

GİRİŞ

Son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmeler, iletişim ve ulaştırma alanındaki gelişmeler insanların beklentilerinin büyük ölçüde değişmesine neden olmuştur. Küreselleşme olgusunun ortaya çıkması insanlarda dünyanın diğer ucundaki bir ürüne dahi sahip olma isteği uyandırmış ve tüm yenilikleri yakından takip etme imkânı sunmuştur. Küreselleşme aynı zamanda işletmelerin, rekabet yapısını da etkilemiştir. İşletmeler, insanların hızla değişen ihtiyaç ve beklentilerine zamanında cevap verebilmek için üretim sistemlerinde değişiklik yapmaya zorlanmıştır. Bu değişime uyum sağlamak ancak esnek bir yapı ile sağlanabilmektedir. Esneklik, işletmelerin üretim sistemlerini tüketici beklentilerindeki ani değişimlere hızla yanıt verebilecek şekilde yani ürün çeşitlerinde ve hacimlerindeki değişikliklere hızla adapte olabilecek şekilde tasarlamasıdır (Gümüşoğlu ve Tepekule, 2016). Bu nedenle Henry Ford'un öncülük ettiği üretim bandı kullanılarak kitle üretimi yapmak artık geçerliliğini yitirmiştir ve esnek üretim sistemlerine ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır. Henry Ford'un ileri sürdüğü seri imalat sistemi minimum maliyet ile maksimum üretim hacmine ulaşmayı amaçlamaktadır ancak bunu tek tip ürün için sağlayabilmektedir. Esnek üretim kavramı, ilk kez General Motors'un ürün tipini 5'e çıkartarak farklı müşteri segmentine göre üretim yapmasıyla ortaya çıkmıştır. Esnek üretim sistemleri, birbirlerine otomatik malzeme taşıma sistemleri ile bağlanmış NC, CNC gibi bilgisayar kontrollü makinelerden ve bu makinelerin kontrolünü sağlayan bilgisayar sistemlerinden oluşan birbirinden farklı parçaları üreten imalat sistemleridir (Kuhn, 1995). Teknoloji alanında yaşanan gelişmeler son yıllarda son sanayi devrimi olan Endüstri 4.0'ı gündeme getirmiştir. Endüstri 4.0 üretimin yüksek teknoloji ile donatılarak etkin kaynak kullanımını ve müşteri için değer yaratmayı amaçlamaktadır. Üretim ile ilgili tüm süreçlere ait makine sistemlerinin internet ağı içerisinde entegre olması için dijital teknolojilerden, endüstriyel ürünlerden ve lojistikten faydalanmak temel strateji olarak belirlenmiştir. (Elmacı ve Tutkavul, 2015).

Üretim alanında yaşanan tüm bu gelişmelerin yanı sıra bir yandan tedarik zinciri alanında da çalışmalar yapılmıştır. İyi yönetilen bir tedarik zinciri doğru ürünlerin doğru miktarda, doğru zamanda ve doğru yerde olmasını sağlamayı gerektirmiştir. Bu anlamda depolar artık sadece ürünlerin stoklandığı yer olmaktan çıkmış, ürüne değer katan işlemlerin yapıldığı, üretimin ve dağıtımın daha hızlı

yapılabilmesini sağlayan tedarik zinciri içinde 3nemli bir ara nokta haline gelmiştir. Bu nedenle depolara olan ihtiyaç giderek artmiştir. Malzeme elleçleme ve lojistik Amerika yol haritasının 2014 verilerine g3re Amerikada 350.000 adet depo bulunmaktadır. T3rkiye'de 3zellikle son yıllarda lojistik 3slerin ve merkezlerin artması depoların hem sayısal olarak hem de b3y3kl3k olarak artmasına neden olmuştur (G3len, 2010). Depoların b3y3mesi, içindeki 3r3nlere ulaşmak için kat edilmesi gereken mesafelerin artmasına neden olmuştur. Depo kapıları ile 3r3n lokasyonları arasındaki mesafeler depo koridorlarının yerleşim d3zenine bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle, depo koridor yerleşimi 3nem kazanmaktadır. İyi bir iş yeri d3zeni tesislerin etkin kullanılacağı anlamına gelir ve dolayısı ile maliyetlerin d3ř3r3lmesine sebep olmaktadır (Demir, G3m3şoğlu, 2013, 215) dolayısı ile bu tez çalışmasının amacı, depo kapıları ile 3r3n lokasyonları arasındaki ortalama mesafeyi minimize edecek koridor yerleşimi geliştirmek olarak belirlenmiştir. Geliştirilecek koridor tasarımının end3stride uygulanabilir olması, 3zellikle b3y3k depolarda ve aktarma merkezlerinde avantaj yaratacağını d3ř3nmememiz çalışmanın kapsamını birim y3k elleçleyen b3y3k depolar olarak belirlememize neden olmuştur. Birim y3k (unit-load), tek bir 3r3nm3ř gibi depolanabilen, yerinden alınabilen, iki konum arasında tek bir k3tle olarak hareket edebilen, ayarlanmış, d3zenlenmiş, tek bir 3r3n parçası, birkaç 3r3n parçası ya da b3y3k bir 3r3n olarak tanımlanmaktadır (Tompkins vd., 2003, 174). Palet, konteyner ya da r3mork birim y3k olarak ele alınabilir. 33nc3 parti lojistik sağlayıcı firmalarda ve aktarma merkezlerinde birim y3k depolama oldukça yaygın g3r3len bir depolama şeklidir. Dolayısı ile çalışmada birim y3k depolar ele alınacaktır.

Çağımız rekabet koşullarında işletmelerin m3şteri beklentilerini zamanında karşılayabilmeleri oldukça 3nemlidir. Sevkiyatların zamanında yapılabilmesi için 3r3nlerin depo alanına zamanında girmesi ve depo y3netim sistemine kayıtlarının zamanında yapılması gerekmektedir. 3r3n girişlerinin hızlı bir şekilde yapılabilmesi için tırların, kamyonların ve konteynerlerin boşaltma işlemini gerçekleştirmek 3zere uygun rampa bulmaları gerekmektedir. Bu durumda depoda birden çok rampa ya da giriş/çıkış noktası olması mal kabul ve sevkiyat s3relerinin kısılmasına neden olur. Bu kapıların deponun aynı duvarında yer alması kapıların hem mal kabul hem de sevkiyat işlemleri için kullanılabilmesini sağlar bu da işletme için esnekliğe neden

olur. Tüm bu nedenlerden dolayı çalışmada aynı duvarında birden çok kapısı olan birim yük depolar ele alınmıştır.

Mevcut çalışmada, geçiş kolaylığı sağlayacak bir tane orta koridor bulunan bir depoda, ürün toplama için kat edilen mesafeyi minimize edecek koridor açıları ve orta koridor konumu saptanmaya çalışılmıştır. Problem, depo kapılarında üç farklı malzeme akış politikası uygulanması halinde ele alınmıştır. Birincisi deponun tüm kapılarındaki malzeme geçiş yoğunluğunun aynı olduğu "eşit" malzeme akış politikasıdır. İkincisi merkez kapıda yoğun yan kapılarda az malzeme akışı olan "Merkez Yoğun" akış politikası, üçüncüsü ise merkez kapıda az yan kapılara gittikçe malzeme akışının yoğunlaştığı "Merkez Seyrek" akış politikasıdır. Her politika altında önce depoda bir adet kapı olduğu durum için çözüm elde edilmiş, ardından 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 ve 19 kapı olduğu durumlar için çözüm elde edilmiş ve çözümlerin ifade ettiği görsel tasarımlar belirlenmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde depo ve depolama ile ilgili kavramlar belirtilmiş, deponun öneminden bahsedilmiştir. Ardından depo operasyonları, depo türleri, sevkiyat türleri, depo yerleşimi hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümde geleneksel ve geleneksel olmayan depolarda koridor tasarımları ile ilgili yapılan literatür çalışmalarına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde bu tez çalışması kapsamında geliştirilen model, modeldeki seyahat mesafe denklemlerinin oluşturulması, çalışmanın varsayımları hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde depo kapılarındaki malzeme akışının eşit olmadığı farklı iki akış politikasından bahsedilmiştir. Son bölümde ise çalışmanın bulgularına ve sonuçlarına yer verilmiştir.

1. BÖLÜM

1.1 DEPOLAMA

Depo, ürünlerin ham madde aşamasından üretim ortamına, oradan da tüketim merkezlerine dağıtımına kadar olan bütün bir faaliyetler dizisinin gerçekleştirilmesinde stratejik rol oynayan ara noktalardır (Bowersox vd., 2010). Tedarikçiler, üreticiler, dağıtıcılar ve perakendeciler için depoların önemi büyüktür. Uluslararası ticarete ithalat, ihracat ve gümrük süreçlerinde eşyaların muhafaza edildiği, stoklandığı, korunduğu ve taşımaya hazır hâle getirildiği açık veya kapalı alanlara gereksinim duyulmaktadır. Malların bir nedenle elde edilmesinden gereksinim duyulacağı zamana kadar saklanmasına **depolama** denilmektedir (Bowersox vd., 2010).

Günümüzde depolar, malı saklamak ve korumanın yanı sıra ürüne değer katan bir takım işlemlerin de yapıldığı noktalar haline gelmiştir. Örneğin;

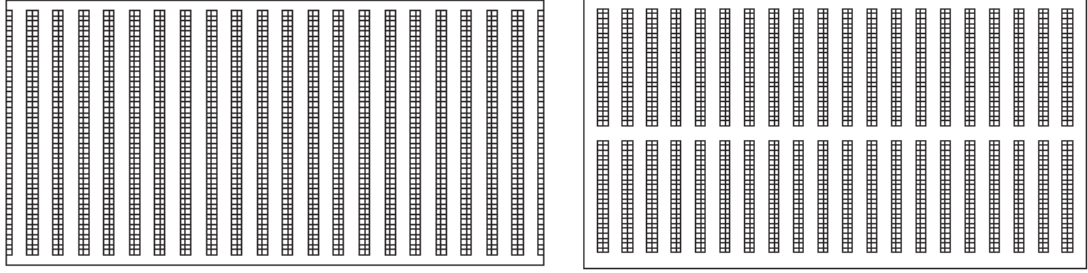
- Gönderen veya üreticiden malları teslim almak, boşaltmak,
- Kalite kontrol yapmak,
- Bilgisayar ortamında stok hareketlerinin kaydını tutmak,
- Gönderen, alıcı, müşteri, üretici gibi ilgili taraflar ile haberleşme sağlamak,
- Malı özelliklerine, müşteri tiplerine ve sözleşme esaslarına göre sınıflandırmak,
- Müşteri siparişlerine göre malların konsolidasyonunu yapmak,
- Sevkiyat öncesinde malları ambalajlamak, barkodlamak ve etiketlemek,
- Malları yükleme ve sevkiyat için hazır hâle getirmek gibi işlemler de yapılmaktadır.

Tüm bu işlevlerinin yanısıra depolar, tedarik zinciri içindeki süreçler arasındaki farklılıklardan kaynaklanan problemleri ortadan kaldırmayı sağlayan önemli noktalardır. Örneğin, üretim hızının müşteri talebinden fazla olduğu durumlarda ortaya çıkan arz fazlalığını muhafaza etme olanağı sağlayarak, sorunların çözümünde önemli rol oynar. Tam tersi durumda müşteri talebinin üretim hızından fazla olduğu zamanlarda, siparişlerin depolardan karşılamasını sağlayarak müşteri beklentilerini zamanında karşılama olanağı yaratmış olur (Görçün, 2013).

Depo alanları büyük yatırım maliyetleri ve işletim giderine sebep olmasına rağmen, firmalara pek çok avantaj sağlamaktadır. İşletmelere daha büyük hacimlerde satın alma olanağı sağlayarak, daha yüksek iskonto oranları ve daha düşük satın alma maliyeti ile satın almaya neden olur, ayrıca dalgalı talep yapısına sahip ürünler için müşteri beklentilerine tam zamanında cevap verebilme olanağı sağlar. Depolar kurulduğu yerlere göre kimi zaman ulaştırma maliyetlerinin düşürülmesine de olanak sağlar. Müşteri hizmetleri politikasını desteklemeye katkıda bulunur; mevsimsel ürünlerin çok tüketildikleri zamanda stok dışı kalınmasına engel olur; atıkların ya da yenilenebilir ürünlerin geçici olarak depolanmasını ve çapraz sevkiyat olanağı sağlar (De Koster vd., 2007, s.482).

Üçüncü parti lojistik sağlayıcı firmalar depo hizmeti verirken, çalışanlarına özellikle depo operasyonlarından biri için ücret ödemiş oluyorlar. Bu işlem, diğer depo operasyonlarına göre en çok zaman alan dolayısı ile en çok maliyete sebep olan sipariş toplama işlemidir (Tompkins vd., 2003, s.449). Bu işlem için harcanan zamanı azaltmak, saatte elleçlenen ürün sayısını artırmak, verimli ve etkin depo yönetimi için çok önemli hale gelmiştir. Sipariş toplama aşamasındaki zamanı azaltmak, neticede işgücü maliyetlerini düşürecek ve müşterilere yanıt verme süresini azaltacaktır ki, bu da daha iyi müşteri hizmetleri sunma anlamına gelmektedir.

Depolarda temel olarak mal kabul, ürün yerleştirme, depolama, sipariş toplama ve ürün sevkiyatı işlemleri yapılmaktadır. Bu operasyonların etkinliği deponun tasarımından etkilenmektedir. Özellikle operasyonlardan sipariş toplama depolama etkinliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Gu vd. (2010, s.542) depo tasarımı problemlerini, koridor tasarımı, koridor sayısı, kapı lokasyonları, depolama politikaları, departmanların ebatı olmak üzere beş kategoriye ayırmıştır. Çalışmaların pek çoğu Şekil 1.1'de gösterilen geleneksel depo tasarımları üzerine yapılmıştır. Geleneksel depolar, sipariş toplama koridorlarının birbirine paralel olduğu ve kimi zaman bu koridorların kendilerine dik bir geçiş koridoru ile kesildiği depolardır.

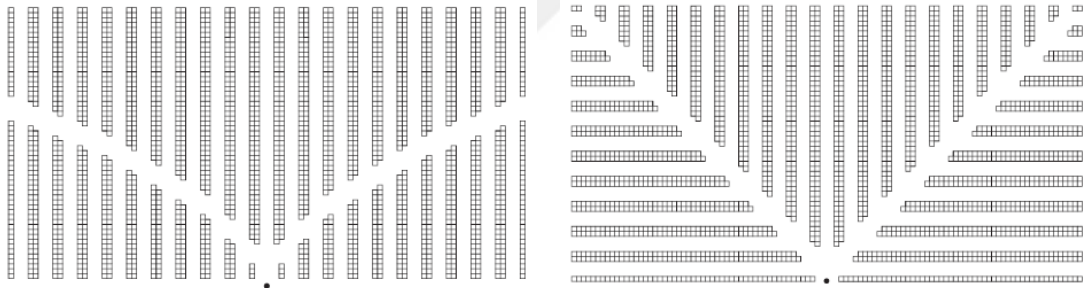


(a) Tek Bloklü Geleneksel Depo Tasarımı

(b) İki Bloklü Geleneksel Depo Tasarımı

Şekil 1.1 Geleneksel Depolarda Koridor Tasarımları

Geleneksel depo tasarımına alternatif tasarımlar da geliştirilmiştir. Bu alternatif tasarımlarda artık sipariş toplama koridorları ve geçiş koridorları herhangi bir açı alabilmektedir. Koridorlar geleneksel tasarımın aksine, farklı açılar aldığında ortalama tur uzunluğu açısından daha kısa sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu düşünce ile geliştirilen Şekil 1.2 de görülen "Balık Kılıcı" ve "Uçan V" adlı tasarımların geleneksel tasarıma göre ortalama tur uzunluğu açısından daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir (Gue ve Meller, 2009).



(a) Uçan V Koridor Tasarımı

(b) Balık Kılıcı Koridor Tasarımı

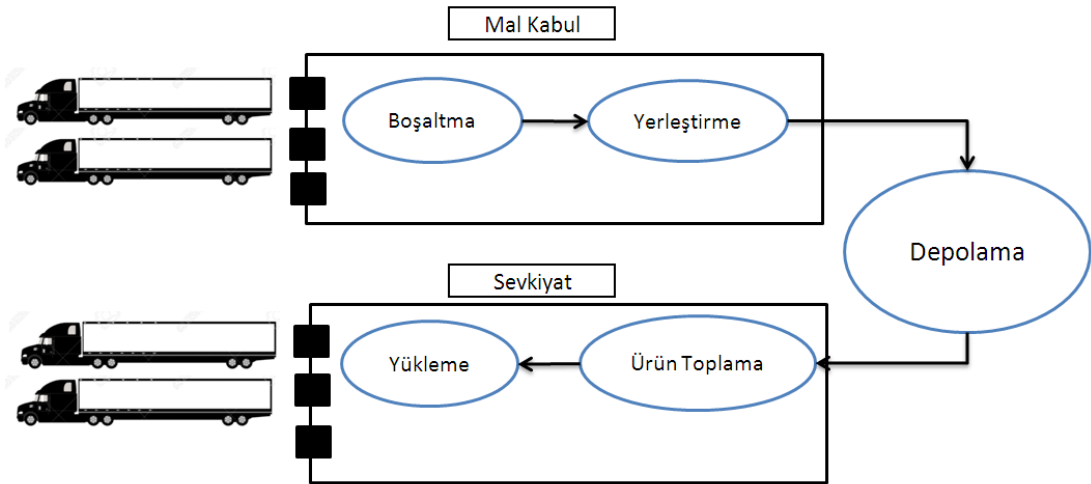
Şekil 1.2 Geleneksel Olmayan Depolarda Koridor Tasarımları

1.2 DEPO OPERASYONLARI

Depo operasyonları, aynı zamanda depo iş süreçleri olarak da adlandırılmaktadır. Temel depo iş süreçleri mal kabul, ürün yerleştirme, sipariş toplama ve sevkiyat olarak sıralanmaktadır. Biraz daha detaylı olarak ele alındığında iş süreçlerine ek olarak ayrıştırma, birleştirme, sıralama, paketleme, etiketleme, kalite kontrol, paletleme şeklinde operasyonların da olduğunu söyleyebiliriz (Görçün, 2013). Mal kabul bir kamyon ya da konteynerin yükleme/boşaltma alanına gelmesi ve gelen aracın getirdiği ürünlerin araçtan boşaltılması ile başlar. Ürünler

giriş/çıkış noktasında boşaltılır ve çalışanlar tarafından depo içindeki yerlerine yerleştirilmek üzere alınır. Sipariş toplama işlemi müşteriden sipariş gelmesi ile başlar. Emek yoğun çalışılan bir depoda çalışanlar, sipariş listesindeki ürünleri depo alanı içinde dolaşarak bulurlar ve ürünleri yerlerinden alırlar. Otomasyonun yoğun olduğu depolarda ise ürün yerleştirme ve ürün toplama işlemleri bilgisayar kontrollü makineler ile yapılmaktadır. Ürünler sipariş listelerine göre toplandıktan sonra sevkiyat için hazırlanır, bu aşamada paketleme ve etiketleme gibi işlemler yapılmaktadır. Ürünler giriş/çıkış noktasına getirilir ve en son sevk işlemi yapılır.

Bir deponun etkinlik ya da verimliliği iş süreçlerinin nasıl yönetildiğine bağlıdır. Mal kabul aşamasında eksiksiz ve hasarsız ürün teslim alma, teslim alınan ürünlerin depo alanı içerisinde doğru bölgelerde muhafaza etme, sipariş edilen ürünlere depo alanı içinde en kısa sürede ulaşma ve onları sevkiyat için en kısa sürede hazırlama ayrıca depolama alanının faydalı kullanım oranı depo performansının en önemli kriterleridir.



Şekil 1.3 Temel Depo Operasyonları

1.2.1 Mal Kabul

Mal kabul aşaması, ürünlerin depo alanına gelmeden önce gelecek yüklerin bildirilmesi ile başlar. Gelen bilgiler içinde ürünün kaynak noktası, kaynak noktasından ne zaman depo sahasına geleceği, ürünün taşındığı araç bilgileri, ürünün miktar bilgisi yer almaktadır. Bu aşamaya ihbar aşaması da denilmektedir. İhbar aşaması ürün gelişinden ne kadar erken olursa, planlama yapmak için o kadar zaman

kazanılmış olur ve olası aksilikler engellenmiş olur. Planlama, gelen yüklerin boşaltma sürecinde elleçlenecekleri ekipman ve gerekli personelin tahsisi, elleçleme süresi, boşaltma işleminin yapılacağı terminal, ürünlerin konulacakları lokasyonların belirlenmesi için yapılmaktadır. Bu tür planlar, kamyonların ya da konteynerlerin bekleme zamanlarını ortadan kaldırmak ya da azaltmak açısından hem alıcı hem de satıcı firma için önemlidir.

Mal kabul süreci, depo sahasına gelen aracın getirdiği ürünlerin araçtan boşaltılması ile devam eder. Boşaltılan yükler gerekiyorsa paletlerinden çıkartılır, sayılır ve kontrol edilir; gelen mal irsaliye ile karşılaştırılır; bir aksaklık yok ise teslim evrakı imzalanarak ürünler depoya alınır. Ayrıca bu aşamada, gerekiyorsa ürün kontrolleri de yapılır. Ürün kontrolü boşaltma personeli tarafından fiziksel bir kontrol şeklinde yapılabileceği gibi ürün içinden numune alınıp gerekiyorsa laboratuvar testlerinden geçirilmesi şeklinde de yapılır. Ürünlerin hasarlı veya eksik olması durumunda hasar tespit raporu yazılır. Bu ürünler ayrı bir alana alınır. Personel tarafından onaylanmış ürünler için barkodlar üretilir ve mallar üzerine yapıştırılır. Geliş yeri, irsaliye numarası ve geliş nedeni, el terminali klavyesinden girilerek mallar üzerindeki barkodlar okutulur ve malların depo girişi tamamlanır. Tüm bu boşaltma, inceleme, sayım işlemlerinin yapıldığı yer bu tez çalışmasında ürün giriş/çıkış noktası (G/Ç) olarak adlandırılmaktadır.

Ürünlerin depoya kabulünden önce, ürün bilgilerinin toplanması ve kayıt altına alınması önemlidir. Yerleştirme ya da sipariş toplama aşamasında bu bilgilere ihtiyaç duyulabilmektedir. Örneğin, sipariş toplama aşamasında ürünlerin raf yerlerinden alınmasında kullanılacak aracın ürünü bulunduğu yerden doğru bir şekilde alabilmesi için ürün boyutları ve ağırlığı hakkında bilgi sahibi olunması gerekmektedir. Ürüne özel bir taşıma şekli söz konusu ise bu gibi bilgilerin de önceden depo bilgi sisteminde kayıt altına alınmış olmalıdır. Ürün ölçüleri ayrıca, kapasite planlaması, raf ölçülerinin belirlenmesi ya da optimizasyon çalışmaları için de gerekmektedir. Bunların yanı sıra, raf ömrü olan ürünlerin depoya kabulü aşamasında son kullanma tarihlerinin de kayıt altına alınması, ürün bozulmasını engelleyici bir faktör olabilir.

Depo sahasına gelen ürünlerin müşterinin istediği formda olmaları, ayırıştırma veya birleştirme gibi işlemlere gereksinim duymamaları, etiketleme gibi işlemlerin önceden tamamlanmış olması, depo operasyon hızını artırmakta ve depo içinde

konveyör gibi taşıma sistemlerinin kullanılması operasyon hızını iyice artırmaktadır. Aksi durumda depo operasyon hızı hayli yavaşlamakta ve hızlandırılması için RFID gibi teknolojilerden faydalanılmaktadır (Görçün, 2013).

Depo operasyonları üç şekilde gerçekleşebilmektedir, bunlar: çapraz sevkiyat, doğrudan akış ve yerleştirmedir (Görçün, 2013). Depo sahasına gelen ürünlerin müşterilerin istediği formda olması, onların hiç depolanmadan doğrudan sevkiyata alınmasına olanak sağlar. Hiç depolanmadan yapılan ürün sevkiyatına çapraz sevkiyat adı verilir. Eğer ürünler önce mal kabul işlemi ile boşaltılıp müşterilerin istediği formlara getirilmek için birleştirme, ayrıştırma gibi bir takım işlemlerden geçip ve hiç depolanmadan sevkiyata geçiyorsa, bu operasyon türüne doğrudan sevkiyat adı verilir (Tompkins vd., 2003, s.410). Çapraz sevkiyat ve doğrudan sevkiyat konularına "Sevkiyat Türleri" Bölümünde yer verilmiştir. Ürünler sevk edilmeden önce depolama alanında muhafaza edilip sipariş geldiği zaman sevkiyat için hazırlanıp sevk ediliyorsa, bu sevkiyat türüne de yerleştirmeli sevkiyat adı verilmektedir.

1.2.2 Yerleştirme Süreci

Mal kabulünden sonraki ikinci süreç, ürünlerin depo içerisinde, niteliklerine göre yerleştirilmesidir (Bowersox vd., 2002). Yerleştirme, depoda malları gereken yerlere koyma eylemi olarak adlandırılmaktadır. Yerleştirme işleminden önce ürünün nereye yerleştirileceğinin belirlenmiş olması gerekmektedir. Ürünün yerleştirileceği lokasyon, ürün özelliğine göre, deponun teknik veya operasyonel işleyişine göre, bir takım yasal şartlara göre ya da güvenlik kurallarına göre belirlenmektedir. Deponun raf ve zemin yüklerinin ağırlıkları, raf kapasiteleri gibi teknik özellikleri, konum belirlemede etkili olabileceği gibi aynı zamanda, ürün yerleştirme amacı ile kat edilen mesafelerin en küçüklemesi, elleçleme sayısının en büyüklenmesi, depolama kapasitesinin en büyüklenmesi gibi konular da konum belirlemede hayli önemlidir (Görçün, 2013, s.197).

Ürün depolama lokasyonları, birim yük için olanlar ve birim yüklerin daha küçük boyutlara getirilerek oluşturulan parça yük için olanlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Birim yük depolamada büyük ürünler raflara ya da üst üste istiflenerek bloklar halinde yerleştirilmektedir. Raf derinlikleri, tek derinlikli ya da çok derinlikli olabilmektedir. Birim yük depolama özellikle üçüncü parti aktarma depoları ya da

ithalat depolarında oldukça yaygındır bu nedenle çalışmamızda, sektörde oldukça yaygın olarak kullanılan birim yük depolama üzerinde durmaktayız.

Ürünlerin depo alanına yerleştirilmesinde dikkate alınması gereken en önemli faktörlerden biri stok devir hızıdır. Ürünlerin stok devir hızları onların depo alanı içinde konulacağı yerlerin belirlenmesinde önemli ölçüde etkilidir. Stok devir hızı, ürünlerin belirli bir periyotta depo alanı içerisinde kaç kez hareket ettiğini ifade eden bir göstergedir. Stok devir hızı yüksek olan ürünler erişilmesi kolay ya da zemine yakın rafların yanı sıra giriş/çıkış kapılarına en yakın raflara konulmaktadır. Buradaki amaç, sık tüketilen ürünlerin depo alanı içinde kat ettiği mesafeleri minimize etmektir. Bu uygulama, ürünlere erişimi hızlandırmakta dolayısı ile operasyon hızını artırmaktadır. Ürün yerleştirmede diğer bir önemli faktör de ürünün ağırlığı ve hacmidir. Ağır ürünler, ürünü kaldırmak için harcanan enerjiyi en aza indirmek için depolama alanlarının alçak yerlerine atanmalıdır. Ürün yerleştirme işleminin iyi bir şekilde gerçekleştirilmesi, daha sonra sipariş toplama aşamasını kolaylaştırmaktadır (Görçün, 2013, s.197).

Yerleştirme işlemi ürünlerin tanımlanmış raflara yerleştirilmesi ile son bulmaktadır. Operasyonların istenen yönde gerçekleşmesi için en önemli şey doğru lokasyon tanımıdır. "Doğru lokasyon, yerleştirilecek ya da toplanacak ürünün operasyonun başladığı noktaya optimum uzaklıkta olması" dır. Ürünün olabilecek en iyi yerde olması, zamanın daha iyi kullanılmasına, işgücü ve ekipman kullanımının optimize edilmesine olanak sağlar. Bu nedenle her bir operasyon için daha az işgücü ve teçhizat kullanılmasının yanı sıra operasyon hızının artması maliyetleri azaltacaktır. Dolayısı ile doğru lokasyon toplam maliyeti azaltır (Görçün, 2013, s.198).

Ürünleri yerlerine yerleştirmede kullanılan bir takım depolama politikaları vardır. Bunlar; rastgele (randomized), adanmış (dedicated), sınıf bazlı (class-based), ve stok devir hızı bazlı (full turnover-based) şeklindedir. Rastgele yerleştirmede ürünler depo alanına alındıktan sonra ilk boş lokasyona yerleştirilir. Dolayısı ile her ürün lokasyonu eşit seçilme ve ürün yerleştirilme olasılığına sahiptir. Hangi lokasyonların yerleştirme için uygun olduğunu takip etmek için işletmelerin elektronik yönetim sistemlerine ihtiyacı vardır ve böyle bir politika ancak uygun teknoloji sayesinde gerçekleştirilebilir. Bu teknolojinin beraberinde maliyet getirmesi sebebi, onu işletmelerde çok tercih edilen bir ürün yerleştirme politikası olmaktan

çıkarmaktadır ancak kolaylığı, ürün lokasyonlarının yüksek faydalı kullanım oranına sahip olması ve daha az alan gereksinimi olması sebebi ile rastgele ürün yerleştirme politikası endüstride en çok tercih edilen depolama politikasıdır (Petersen, 1999, Petersen ve Aase, 2004, s.12). Son yıllarda yapılan depo koridor tasarımı çalışmalarında seyahat mesafelerini kısaltmak için depolara geçiş koridorları eklenmektedir ve eklenen her bir koridor depolama alanında kayba neden olmaktadır. Bu tez çalışmasında da depoda bir orta geçiş koridoru olmasından dolayı alan kaybı söz konusudur. Daha fazla kapasite kaybı yaşamamak adına depolama politikalarından rastgele depolama politikası altında çalışılmıştır.

Eğer ürün lokasyonları belirli ürünler için rezerve edilmiş ise bu politikaya adanmış depolama politikası adı verilmektedir. Bu depolama politikasında ürün toplama işini yapan çalışanlar toplayacakları ürünlerin yerlerini önceden bilirler ya da zamanla öğrenirler. Bu durum ürün arama için geçirilen zamanın elimine edilmesini sağlamakta ve dolayısı ile sipariş toplama süresini kısaltmaktadır. Ancak adanmış depolama politikasında, ürün lokasyonlarının düşük faydalı kullanım oranına sahip olması gibi bir dezavantajı vardır. Bartholdi ve Hackman (2008) bu tip depolama politikasında ürün lokasyonlarının faydalı kullanım oranının ancak % 50 olduğunu belirtmiştir. Bu politikada stok dışı ürünlere de bir alanın tahsis edilmesi, zaman zaman dezavantaj yaratmaktadır ve alan faydalı kullanım oranı açısından en kötü depolama politikasıdır. De Koster vd. (2007) bu politikanın hızlı toplama alanına (fast pick area) uygulanırken, aynı zamanda rezerv alanında (reserve area) rastgele depolama politikasının uygulanması durumunda fayda getireceğini belirtmiştir.

Sınıf bazlı depolama politikası, rastgele depolama politikası ve adanmış depolama politikasının karışımı şeklindedir. Bu politikada ürünler Pareto yöntemine göre sınıflandırılır ve her bir sınıfa ait ürün grupları, kendine tahsis edilmiş lokasyonlarda depolanır. Pareto yöntemine göre, depo içerisinde hızlı hareket (%80) eden ürünler, toplam ürünlerin sadece % 20' ine tekabül etmektedir. Politika gereği, yüksek stok devir hızına sahip ürün sınıfı giriş/çıkış noktasına yakın yerlerde konumlandırılır. Her bir ürün sınıfı içerisinde ürünler rastgele olarak yerleştirilir. Bu politikanın avantajı hızlı hareket eden, yani hızlı tüketilen ürünlerin, giriş/çıkış noktasına yakın bölgelerde depolanması ve her bir sınıf içindeki rastgele yerleşimden dolayı alan faydalı kullanım oranının yüksek olmasıdır.

Stok devir hızı bazlı depolama politikasında, en yüksek stok devir hızına sahip ürünler giriş/çıkış noktasına en yakın olacak şekilde kolay ulaşılabilecek noktalara depolanmaktadır. Düşük stok devir hızına sahip ürünler, yani depo içindeki hareketi nispeten daha az olan ürünler, deponun daha ücra noktalarına yerleştirilir. En iyi bilinen tam stok devir hızı bazlı depolama politikası uygulaması cube-per-order index (COI) dir. Sipariş başına hacim indeksi olarak adlandırılan indeks, bir ürünün belirli bir periyotta gereksinim duyduğu alanın, ürünün talebini karşılamak için yaptığı hareket sayısına oranı olarak tanımlanmıştır. Politika, COI indeksi küçük olan ürünler giriş/çıkış kapısına daha yakın olacak şekilde yerleştirilmesini gerektirir (De Koster vd., 2007).

Depolama politikaları açısından literatürde yapılan çalışmalar incelenmiştir. Gue ve Meller (2009) çalışmalarında, birim yük depolarda iki tür geleneksel olmayan depo tasarımı çalışmalarını rastgele depolama politikası altında yapmışlardır. Pohl ve arkadaşları (2009b) çalışmalarında Gue ve Meller'in (2009) çalışmalarında geliştirdikleri tasarımlardan Balık Kılçığı tasarımını ele alıp iki siparişli seyahat problemleri ile çalışmışlardır. Çalışmada depolama politikası olarak depo alanı açısından daha fazla faydalı kullanım oranı sağladığı gerekçesi ile rastgele depolama politikası ile çalışmışlardır. Pohl vd. (2011, s.712) çalışmalarında birim yük depolarda stok devir hızına dayalı depolama politikasının geleneksel olmayan depolarda etkisini incelemişlerdir. Ortalama uzaklık açısından geleneksel olmayan depolarda rastgele depolama politikasının, stok devir hızına dayalı depolama politikasına göre daha doğru bir politika olduğu saptanmıştır. Petersen (2002) çalışmasında geleneksel depo tasarımını rastgele depolama politikası ve hacim bazlı depolama politikası altında incelemiştir. Dekker vd. (2004) çalışmalarında sınıf bazlı depolama politikasını farklı rotalama politikaları ile denemişlerdir.

1.2.3 Ürün Çıkışı

Ürün çıkış süreçleri, depo sahasında belirli bir süre bekleyen ürünlerin, müşterilerin talepleri ve siparişleri doğrultusunda hazırlanarak, müşterilere sevk edildiği operasyon süreçleridir. Süreç, müşteri siparişinin alınması ile başlar ve siparişlerin yüklendiği aracın depo alanından ayrılması ile sona erer.

1.2.3.1 Sipariş Toplama

Gereksinim duyulan bir ürünün depolama alanından toplanması süreci, sipariş toplama olarak adlandırılmaktadır. Müşteri siparişlerine göre ürün raflardan toplanarak, depo içerisinde toplama noktası olarak adlandırılan yerlere getirilir. Gereksinim duyulduğu takdirde ürünler paketlenir, etiketlenir ve paetlenerek sevk sürecine hazırlanır. Sipariş toplama operasyonlarının detaylı bir şekilde planlanması ve organize edilmesi operasyonların performansı açısından önem arz etmektedir. Sipariş toplama aşaması, müşteri siparişlerinin depoya ulaşması ile başlar. Gelen sipariş listesinde ürün ve miktar bilgisi yer almaktadır. Gelen siparişler ilgili çalışanlar tarafından sisteme girilir. Sipariş listesindeki ürünlerin depoda olup olmadığı kontrol edilir. Ürünlerin yeterli miktarda bulunmaması halinde üreticiye ya da tedarikçiye bilgi verilir. Müşteri siparişleri hazır ise ilgili operatörler için iş emri hazırlanır. İş emrinde sipariş ile ilgili miktar, depodaki lokasyonu, operasyon süresi, görevli olan personel ve ekipman bilgileri gibi bilgiler yer almaktadır. İş emirleri manuel hazırlanabilir ya da el terminallerine gönderilebilir. İlgili çalışanlar iş emirlerini aldıktan sonra raflara giderek ürünleri bulunduğu konumlardan alırlar. Sipariş toplama depo operasyonları içerisinde en yüksek dikkati ve özeni gerektiren işlemdir (Tompkins vd., 2003, s.447).

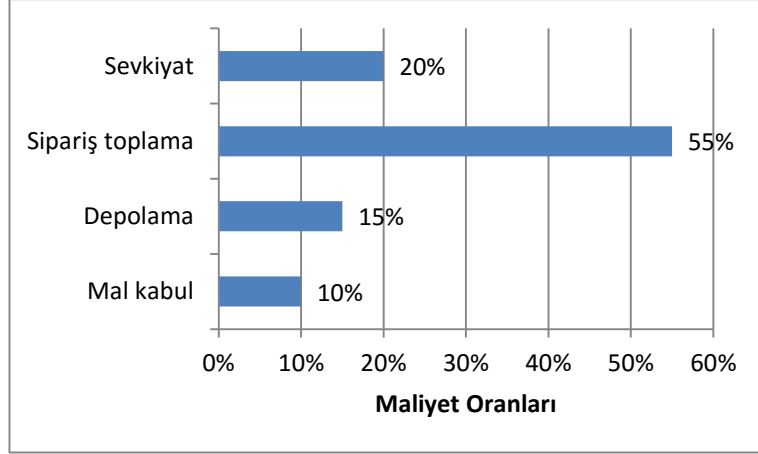
Sipariş toplama işlemi bir turda bir ürün toplanıp, sevkiyat noktasına dönülmesi şeklinde olabileceği gibi bir turda birden fazla ürünün alınıp sevkiyat noktasına dönülmesi şeklinde de olabilir. Sipariş listesinde bir ürünün olduğu durumlar yani bir turda sadece bir ürünün hazırlanması işlemi söz konusu ise problem tek siparişli işlemler (single command operations) problemi olarak adlandırılmaktadır. Tek siparişli işlemlerin olduğu toplama problemleri literatürde oldukça çok çalışılmış bir problem türüdür (Gue vd., 2012; Gue ve Meller, 2009; Öztürkoğlu vd., 2012; Öztürkoğlu vd., 2014; Pohl vd., 2011; Galvez ve Ting, 2012; Goetschalckx ve Ratliff, 1990; Cardona vd., 2012). Bu tür problemlerde sipariş toplayıcı yerleştirme amacı ile ürün lokasyonuna gidiyorsa dönüş kısmında eli boş olacaktır ya da sipariş toplama aşamasında ise ürün lokasyonuna giderken yine eli boş olacaktır. Bazı depolarda boşa harcanan bu sürenin elimine edilmesi için operatöre bir turda hem yerleştirme hem sipariş toplama işlemi yaptırılmaktadır. Bu şekilde operatör ne ürün lokasyonuna giderken ne de lokasyondan dönerken eli boş şekilde yol kat etmemesi sağlanır. Bu şekilde tasarlanan problemler iki siparişli

problem (dual command problem) olarak adlandırılır. İki siparişli problemler de literatürde çalışılmış problemlerdir (Pohl vd., 2009a; Pohl vd., 2009b; Pohl vd., 2011; Galvez, Ting, 2012).

Sipariş listesinde birden fazla ürün yer alıyorsa bu problem çok siparişli (multi command / order picking) problem olarak adlandırılmaktadır. Bu tip problemlerde sipariş toplayıcı sipariş listesinde yer alan miktardaki yeri belirlenmiş ürünleri toplayabilmek için birden fazla koridoru geçmek zorundadır. Bu durum ürün toplama aşamasında çok fazla yol kat edilmesine ve dolayısı ile ürün toplama için çok fazla zaman harcanmasına sebep olmaktadır. Tek siparişli, iki siparişli ve çok siparişli problemler ile ilgili literatürde yapılmış çalışmalar Gu vd. (2010) çalışmasında detaylı olarak listelenmiştir.

Sipariş toplama, basit bir süreç gibi görünse de depo yönetimini büyük ölçüde etkilemektedir. Ürünlerin talep yapısı, deponun yapılandırılması, depo içerisinde ürünlerin yerleşimi, ürünleri yerleşim yerlerinden geri almak ve müşteri siparişlerine göre birleştirmek için kullanılan toplama yöntemi ve ürünlerin toplanma sırasını tanımlayan ve toplayıcılar tarafından kullanılan rotalama yöntemi depo işleyişini doğrudan ve dolaylı olarak etkileyen faktörler olarak sıralanmaktadır (Petersen, 1999).

De Koster vd. (2007) çalışmasında ve Tompkins vd. (2003, s.449) çalışmalarında depo işlemleri içinde en çok maliyete sebep olan işlemin ürünleri yerlerinden almak için depo içerisinde dolaşma dolayısı ile sipariş toplama işlemi olduğunu ifade etmişlerdir. Şekil 1.4'de görüldüğü üzere depo operasyonları içinde %55 lik pay ile en çok maliyete sebep olan işlem, sipariş toplama işlemidir. Ardından maliyetlerin ikinci büyük kısmını %20 lik pay ile sevkiyat işlemi oluşturmaktadır. Geriye kalan maliyetleri %15 lik pay ile depolama ve % 10 luk pay ile mal kabul işlemleri oluşturmaktadır. Sipariş toplama süreci gezinme, arama, toplama gibi alt işlemlerden oluşmaktadır. Bu alt işlemler incelendiğinde Şekil 1.5'de görüldüğü üzere gezinme işleminin % 50 lik bir pay ile diğer alt işlemlere göre çok daha fazla sürede yapılmakta, dolayısı ile çok daha fazla maliyete sebep olmaktadır.

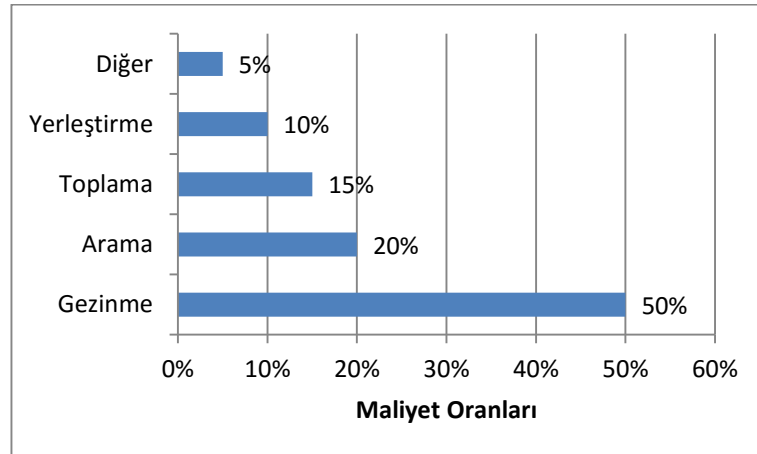


Şekil 1.4 Depolama Operasyonları Maliyet Dağılımı

Kaynak: Tompkins vd., 2003, s.447

Sipariş toplama işlemi sadece maliyet açısından değil aynı zamanda şiddetli rekabetin yaşandığı sektörlerde müşteriye hızlı yanıt verebilme, ürünlerin çevrim sürelerinin kısaltılması açısından da önemlidir. Tam zamanında üretim politikası benimsemiş firmalar için sipariş toplama süresi ürün hatlarının zamanında beslenmesi açısından hayli önem kazanmaktadır. Tüm bu sebepler sipariş toplama işleminin ne kadar önemli bir süreç olduğunu göstermektedir.

Sipariş toplama işlemi olarak literatürde en yaygın kullanılan yöntem tek siparişli işlemlerdir (Gu vd., 2010). Dolayısı ile bu tez çalışmasında tek siparişli işlemler ele alınmaktadır.



Şekil 1.5 Sipariş Toplama Operasyon Maliyet Dağılımı

Kaynak: Tompkins vd., 2003, s.449

1.2.3.2 Sevkiyat

Sevkiyat, ürün çıkış sürecinin alt operasyonlarından sonuncusudur. Bu süreç de gerekli olduğu hallerde ürün ayırma, birleştirme, konsolidasyon, etiketleme, paketleme, paletleme gibi sevk öncesi işlemler de yapılabilir. Bir müşteriden sipariş geldiğinde ve sipariş depo yönetim sistemine girer girmez ürün depo sahası içindeki yerinden alınır ve sevkiyat için hazırlanmak üzere yine giriş/çıkış noktasına getirilir. Ürünlerin müşteri isteklerine uygun şekilde hazırlandığı takdirde kamyonlara doğrudan konteynerlere yüklenmek üzere sevkiyat rampalarına getirilir, ancak ürünler sevk sürecine yüklemeye hazır olarak gelmedi ise öncelikle toplama noktalarında müşteri siparişlerine uygun olacak şekilde, gidecek müşterilere göre ayrıştırılıp ve eğer ürünler homojen değilse, her bir müşteri için birleştirme işlemleri yapılmaktadır. Bu işlemlerden sonra paketleme, etiketleme ve paletleme işlemleri gerçekleştirilmektedir. (Görçün, 2013, s.215).

Bazı depolarda hem mal kabul işlemlerinde hem de sevkiyat işlemlerinde aynı rampalar kullanılmaktadır. Ancak bazı depolarda ise rampalar iki işlem için ayrı ayrı tahsis edilmektedir. Bu nedenle giriş/çıkış noktaları muayene, paletleme, streç filmle kaplama gibi işlemlerin yapıldığı önemli bir noktadır. Çalışmamızda ürünün depo içinde kat ettiği yol giriş/çıkış noktasında başlamakta ve yine giriş/çıkış noktasında bitmektedir.

1.2.4 Birleştirme /Ayrıştırma

Müşteri siparişlerinin partiler şeklinde toplanması söz konusu ise, kümeleme yapılması ve toplanan siparişlerin bireysel siparişlere ayrıştırılması gerekli bir faaliyettir (De Koster vd., 2007). Ürünün partiler halinde toplanması, ürün toplayıcının farklı müşterilerden gelen farklı sipariş listelerinde yer alan aynı ürünü tek seferde toplamasıdır. Bir ürün farklı sipariş listelerinde yer alıyor ise o ürüne ait toplam talep tek seferde toplanır. Daha sonra ürünler bireysel müşteri sipariş listelerine göre ayrıştırılır. Ayrıştırma işlemi sevkiyat rampalarından önce tahsis edilmiş alanlarda yapılabilir (Tompkins vd., 2003, s.451). Ayrıştırma işleminden sonra ürünler paketleme işlemine alınır ve ardından sevkiyatı yapılır.

1.3 SEVKİYAT TÜRLERİ

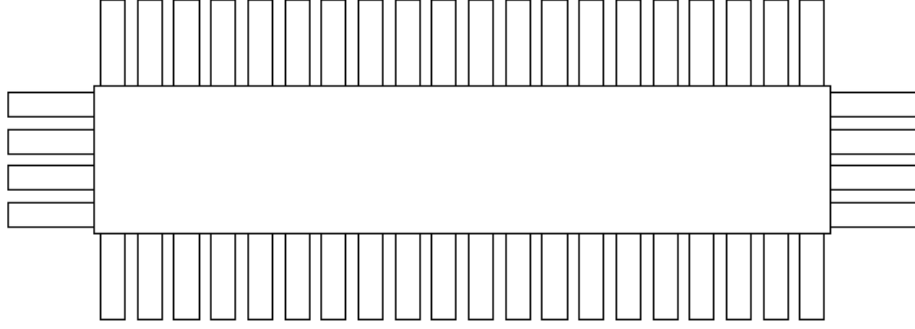
1.3.1 Çapraz Sevkiyat

Depo sahasına gelen ürün veya hammaddelerin depo sahasına alınmadan, depolanmadan araçtan araca aktararak kabul ve sevk işlemlerinin eş zamanlı gerçekleştirildiği depo operasyonlarıdır. Depolama işlemi gerçekleşmediği için malzeme elleçleme maliyetleri daha az olur; ayrıca ürün daha az elleçlendiği için ürün hasar oranları da bu sevkiyat türünde daha azdır. Ürünleri yerleştirme etiketleme gibi işlemler gerçekleşmediğinden bunlara ilişkin maliyetler söz konusu olmamaktadır. Dağıtım hızını artırmak için tercih edilen bir sevkiyat türüdür.

Çapraz sevkiyat türü operasyonlarda, ayrıştırma ve birleştirme gibi işlemler araç üzerinde yapılabilmektedir; bu durum büyük ölçüde zamandan tasarruf sağlanmasına neden olmaktadır. Ürün ayrıştırma işlemi araçlarda gerçekleştiği durumda, depoda sadece aktarma işlemi yapılmaktadır. Ancak, aktarma işleminin aksamadan gerçekleşmesi için iyi bir plan yapılmalıdır. Ürün girişi ve çıkışı yapılacak her iki araç da tam zamanında aktarma merkezinde bulunmalıdır.

Çapraz sevkiyatta ayrıştırma ve birleştirme işlemlerinin araçlar içinde yapılmadığı durumlar da söz konusu olabilmektedir. Böyle durumlarda sevkiyat, ürünlerin depo alanına yerleştirilmeden, sadece gidecekleri bireysel müşteri siparişlerine göre ayrıştırılıp sonra araçlara aktarma işleminin yapılması şeklinde gerçekleşebilir. Bu durumda ürünler depo alanı içinde 24 saatten az olacak şekilde muhafaza edilmiş olur (Görçün, 2013, s.181; Tanyaş ve Düzgün, 2014, s.59; Tompkins vd., 2003, s.410).

Çapraz sevkiyatın tercih edilmesinin en büyük sebebi ulaştırma maliyetlerini düşürmesidir. Birden fazla sevkiyatın konsolide edilerek kamyonların ya da konteynerlerin tam dolu şekilde hareket etmesi, ulaştırma maliyetlerini düşürücü bir etmendir. Aynı zamanda daha az depolama işlemi yapılması sebebi ile daha az depolama maliyeti ve daha az iş gücü maliyetini getirmektedir (Bartholdi ve Hackman, 2014, s.215). Şekil 1.6 sadece ürünlerin girişinin ve çıkışının yapıldığı tipik bir çapraz sevkiyat deposunun kuşbakışı görünüşüdür. Her bir kapı yükleme ve boşaltma işlemlerinin yapıldığı noktalardır.



Şekil 1.6 Çapraz Sevkiyat Deposu

Çapraz sevkiyat, "açılmış paletler ile çapraz sevkiyat" ve "akış sistemi olarak çapraz sevkiyat" olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir. Açılmış paletler ile çapraz sevkiyat, depoya gelen birim yüklerin tek tür ürün halinde değil karma yapıda olması halinde sevkiyat aşamasında müşteri siparişlerine göre toplanıp dağıtılması şeklinde olmaktadır. Toplanan ürünler karma palet haline getirildikten sonra aktarmalı olarak sevkiyatı yapılır. Bu çapraz sevkiyat türü sipariş toplama işlemini içerdiğinden dolayı iki aşamalı çapraz sevkiyat olarak da adlandırılmaktadır. Akış sistemi olarak çapraz sevkiyatta ise tedarikçiler ürünleri müşteri siparişlerine göre önceden hazırlar. Birim ürünler açılmadan gerekiyorsa başka ürünler ile sadece birleştirilerek sevk edilir (Tanyaş ve Düzgün, 2014, s.60).

1.3.2 Doğrudan Sevkiyat

Depo sahasına gelen ürünler geldikleri yerde son kullanıcı isteklerine göre hazırlanır. Depoya gelen ürünler 24 saatten az bir süre için depo alanında muhafaza edilir. Çapraz sevkiyattan farkı ürünlerin depo sahasında az da olsa beklemesidir. Bu sevkiyat türünde ürünler raflara yerleştirilmemektedir. Yerlerde istiflenmektedir dolayısı ile alan gereksinimi yüksektir (Görçün, 2013, s.187).

1.4 DEPO TÜRLERİ

1.4.1 Sahipliğine Göre Depolar

1.4.1.1 Özel Depolar

Şirketlerin envanter yönetimi konusunda daha fazla kontrol sahibi olmak için depolama işlemlerini kendi bünyelerinde yapmak istemeleri sonucu sahip oldukları ve işlettiği depolardır. Şirketlerin özel depoya sahip olması, müşteri isteklerine hızlı cevap verebilme konusunda, ürün ve hammadde takibi konusunda avantaj

yaratmaktadır. Deponun yönetimi firmanın kendisinde olması sebebi ile güçlü bir kontrol imkanı sağlar. Ayrıca işletmenin kendi bünyesinde olmasıyla depo birimi kurumun diğer fonksiyonları ile daha kolay entegre olur. Kendine has depolama şartları gerektiren ürünler için özel depolama koşulları istenen şekilde hazırlanabilir. Özel depo sahibi işletmeler, depolarından verimli bir şekilde faydalanması durumunda uzun dönemde maliyetlerini düşürmekte ayrıca amortisman gibi vergi uygulamalarından faydalanma olanağı bulmaktadır (Acar, 2010). Tüm bu avantajları ile beraber özel depoların yatırım ve işletme sermayesi gibi nedenlerden dolayı maliyet dezavantajı söz konusudur. Ayrıca depo içinde kullanılacak ekipman ve otomasyon da yine büyük bir maliyet anlamına gelmektedir. Depolama faaliyetlerini sürdürecektir personel de işgücü maliyetine sebep olmaktadır.

1.4.1.2 Genel Depolar

Genel depolar, temel işleri depolama olan, kendi dışındaki firmaların depolama işlemlerini yerine getiren bağımsız kuruluşlara ait olan depolardır. Genel depolar işletmelerin kendi depoları olması durumunda dahi kötü planlama ya da talep yapısının dalgalanmalar gösterdiği sektörlerde, depo alanı gereksinimi olduğunda ya da ulaştırma maliyetleri açısından tasarruf sağlama amacı ile firmaların uzun ya da kısa dönemli olarak kiraladığı depolardır. Bazı işletmeler ise depolama konusunda dış kaynak kullanma politikası izleyerek, kendi bünyesinde hiç depolama işlemi yapmadan doğrudan bu hizmeti dışarıdan alabilir ve genel depo kullanımına yönelebilmektedir.

Müşteriye cevap verme hızının önemli bir performans kriteri olduğu son yıllarda genel depolar sanki dezavantaj sağlıyor gibi görünmesine karşın yetersiz depo yerine sahip işletmeler ya da sadece sezonluk depolama ihtiyacı duyan firmalar için çok büyük avantaj yaratmaktadır. Sektöre yeni giriş yapmış bir firma içinde kuracağı depo yerini belirleme aşamasında genel depolardan faydalanması, yine bir avantaj olarak söylenebilmektedir. Genel depo kullanımı ile özel depolarda olan kapasite sınırı ortadan kalkmaktadır. İşletmeler ihtiyaç duyduğu kadar depo alanına, depolama hizmeti veren firmalar sayesinde ulaşabilmektedir. Özel depolarda ise ihtiyaç duyulan ilave depolama alanı yeni bir yatırım anlamına gelmektedir. Pazarı geniş bir bölgeye dağılmış olan firmalar için bir den çok bölgede farklı depolar ile çalışmak onlar için esneklik, zamandan kazanma gibi avantajlara sebep olacaktır. Genel depo kullanmak, işletmeleri çok büyük bir sabit yatırım maliyetinden

kurtarmaktadır. Firmalar, sadece aldıkları hizmet karşılığında bir maliyete katlanmak durumundadırlar (Acar, 2010). Genel depolarda işletmelere yük bölme, paketleme, montaj, kalite kontrol, malzeme elleçleme, ekipman yönetimi, dokümantasyon ve depolama hizmetleri sunulmaktadır. En büyük avantajı sermaye yatırımı gerektirmemesidir.

Genel depolar, kendi içinde ürün cinsine göre genel ticari eşya deposu, özel ürün deposu, toplu depolama ambarları, soğuk depolama/ ısı kontrollü ambarlar, ev eşyası ve mobilya depoları ve antrepo olarak sınıflara ayrılmaktadır. Bu depo türlerini stokladığı ürünlere göre depo türleri başlığı altında ayrıca inceleyebiliriz.

1.4.1.3 Kontrat/Anlaşmalı Depolar

Kontrat depolar, genel depoların müşteri isteklerine göre uyarlanmış halidir. Kendi bünyesinde bir depo tesisi kurmak ve işletmenin maliyetine katlanmak istemeyen firmaların tercih ettiği depo türüdür. Kontrat depolarda müşterilere depolama hizmeti yanı sıra, ulaştırma yönetimi, envanter kontrolü, sipariş işleme ve geri dönen ürünlerin yeniden işlenmesi gibi pek çok hizmet sunulmaktadır. Kontrat depo işletmelerinin asıl işi depo yönetimi olması sebebi ile alanında uzmanlaşma söz konusudur (Acar, 2010). Kontrat depo etkinlikleri, birkaç müşteri karşısında yönetimi, işgücünü, ekipmanı ve bilgi kaynaklarını paylaşarak uzmanlık, esneklik ve ölçek ekonomisi yararlarını sağlamaktadır.

1.4.2 Stokladığı Ürünlere Göre Depo Türleri

1.4.2.1 Genel Ticari Eşya Deposu

Pek çok çeşit ürünün özel bir işlem gerektirmeden depolandığı en yaygın kullanılan depolardır (Acar, 2010).

1.4.2.2 Özel Ürün Deposu

Bu tür depolar sadece belli bir sektöre özel ürünlerin depolandığı depolardır. Tahıl, yün, pamuk, tütün, kereste depoları buna örnek verilebilir. Her ürün için özel bir yapılanma tercih edilmekte ve ürüne özel hizmet sunulmaktadır (Acar, 2010).

1.4.2.3 Toplu Depolama Ambarları

Sıvı kimyasal, petrol ve ilaç gibi malzemeler için yalıtılmış özel depolardır. Bakliyat gibi sayılamayan ürünler için de tank ya da silo adı verilen toplu depolama ambarları kullanılmaktadır. Bu tür depolarda ürüne özel depolama ve aktarma

teçhizatı kullanılır, dolayısı ile kurulum maliyetleri yüksektir; bu nedenle işletmeler bu depoları kendi bünyelerinde kurup işletmek yerine genel depolardan bu hizmeti almayı çoğunlukla tercih ederler (Acar, 2010).

1.4.2.4 Soğuk Depolama/ Isı Kontrollü Ambarlar

Isıya duyarlı ürünler ya da kolay bozulabilen ürünlerin depolandığı yerlerdir. Her türlü soğutma olanağı mevcut olan, dış hava şartlarından etkilenmeyecek şekilde izole edilmiş, genelde bozulabilir gıda maddelerinin saklandığı depolardır. Bu tip depoları kullanmanın temel amacı, maliyet tasarrufu sağlamak ya da kar etmek yerine ürün kalitesini muhafaza etmektir. Soğuk depo, izolasyon ve soğuk donanımı bulunmayan depolarda korunamayan ısı ve bağıl nem koşullarını da koruyarak belli ürünlerin, özellikle bozulabilir nitelikteki gıda maddelerinin depolanması için tasarlanmış tesislerdir. Bu depolarda, et, sebze, meyve gibi kolay bozulabilen ürünler, dondurulmuş gıdalar ve çeşitli kimyasal ürünler muhafaza edilir (Acar, 2010).

1.4.2.5 Ev Eşyası ve Mobilya Depoları

Ticari eşyadan ziyade kişisel ürünlerin muhafazası için kullanılan depolardır. Genellikle ev eşyası taşıyan firmalar tarafından kullanılırlar. Bu depolarda hem geçici hem uzun süreli depolama hizmeti sunulur. Ev eşyası taşıma işi yapan firmalar, depolama hizmetinin yanı sıra ekspertiz, paketleme, yükleme, depolama, gümrükleme ve yerleştirme hizmetleri de sunmaktadırlar (Acar, 2010).

1.4.2.6 Antrepo

Gümrük antreposu, 4/11/1999 tarihli ve 23866 sayılı Resmi Gazete de yayımlanan 4458 Sayılı Gümrük Kanununda yapılan tanıma göre "gümrük gözetimi altında bulunan eşyanın konulması amacıyla kurulan ve kuruluşunda aranılacak koşulları ve nitelikleri yönetmelikle belirlenen yer" dir. Depo içerisindeki malzemeler, Maliye Bakanlığı'nın bir temsilcisinin gözetimi altında yerleştirilmektedir. İthal edilmiş tütün ve alkollü içecekler gibi ürünler bu depolarda depolanmaktadır. Bu ürünler, pazara dağıtılincaya kadar devletin kontrolü altında tutulmaktadır. Bu sırada ithalatçı, Milli Gelirler Tahsil İdaresi'ne gümrük vergilerini ödemektedir. Antreponun üstünlüğü, ürün satılincaya kadar ithalat vergilerinin ve vergi taksitlerinin ödenmek zorunda olmamasıdır. Böylelikle ithalatçı, bu harçlara ödenecek parayı elinde tutmaktadır. Antrepolara genel ve özel olmak üzere ikiye

ayrılmaktadır. Genel antrepolar ürünlerin depolanması için herkes tarafından kullanılırken özel antrepolar ise yalnız işletici firmanın ürünlerini depolayabildiği antrepo türüdür (Keskin, 2011, s.367).

1.4.3 Tedarik Zinciri İçerisindeki Konumuna Göre Depolar

1.4.3.1 Üretim / Hammadde Depoları

Üretim sürecinde kullanılacak olan hammadde, yarı malzeme, yardımcı malzemelerin stoklandığı depolardır. Bu tür depolar, tedarik zinciri boyunca tedarik noktası ile üretim tesisi arasında yer almaktadır. Üretim depolarında üretim süreci için hazırlık faaliyetleri yapılabilir. Bu sayede olası zaman kayıpları engellenmiş ve birim zamanda üretilen ürün miktarı daha fazla olabilmektedir. Bu faaliyetler içinde hammadde paket ve kolilerinin açılması, gerekiyorsa kalite kontrollerinin yapılması, üretim için gerekli olan yardımcı malzeme ve ekipmanların hazırlanması, basit birleştirme, montaj işlemleri, üretim sürecinde kullanılacak hammaddelerin gruplandırılması ve etiketlenmesi yer almaktadır.

1.4.3.2 Fabrika/Nihai Ürün Depoları

Fabrika depoları, üretim tesisi ile müşteri arasında yer alan depolardır. Üretim sürecinde ürüne katma değer yaratmayan bazı işlemler üretim aşamasından sonra bu depolarda gerçekleştirilebilir. Bu işlemler ambalajlama, paketlenme, etiketleme, paletleme ve benzeri işlemlerdir. Depoların bu şekilde tasarlanmasının sebebi hem üretim sürecini yavaşlatacak tüm işlemlerin bu sürecin dışında bırakılmasını sağlamak hem de depoların daha etkin ve verimli şekilde kullanılmasını sağlamaktır (Görçün, 2013). Nadiren de olsa nihai ürünler fabrika depolarında depolanmadan doğrudan merkezi depoya ya da dağıtım merkezine ya da nihai tüketiciye iletilmek üzere sevkiyata hazırlanabilmektedir (Acar, 2010).

1.4.3.3 Merkezi Depolar

Merkezi depolar genellikle üretim tesisine yakın yerlerde kurulan, birkaç sevkiyat noktasına hizmet veren, büyük bir coğrafi bölgeye hizmet eden tesislerdir. Hammadde, yarı mamul ve ürünlerin depolandığı büyük depolardır. Nakliyede konsolidasyon yapılarak ulaştırma masraflarından tasarruf edilir. Genellikle dağıtım merkezleri ve perakende depolarına sevkiyat yapılır ancak yakın bölgelerdeki müşterilerden gelen siparişler için doğrudan müşteriye sevkiyat yapıldığı da görülmektedir (Görçün, 2013).

1.4.3.4 Dağıtım Depoları

Dağıtım depolarına ürünler merkezi depodan, üretim tesisinden ya da tedarikçilerden gelmektedir. Bu tür depolarda, ortak müşteriler için birleştirilmiş sevkiyat gerçekleştirilmek üzere, bir veya daha fazla firmanın çeşitli üretim noktalarından gelen ürünler bir araya getirilmektedir. Dağıtım merkezi, üretim yerleşimlerinin ve müşterinin ortasında bir yerde konumlandırılmaktadır. Büyük ölçekli sevkiyatlar için ürünler hazırlanır. Siparişlere göre ürünler müşterilere ulaştırılmak üzere sevk edilir Bir dağıtım merkezinde birden çok üretim tesisi ve tedarikçiden ürün gelmesi nedeni ile farklı özellikteki ürün sayısı oldukça fazladır (Görçün, 2013).

1.4.3.5 Aktarma Deposu

Kısa süreli depolama faaliyetlerinin yapıldığı hatta zaman zaman hiç depolama işlemi yapılmadan ürünlerin bir araçtan başka bir araca aktarılmasının gerçekleştiği depolardır (Görçün, 2013).

1.4.3.6 Perakende Depoları

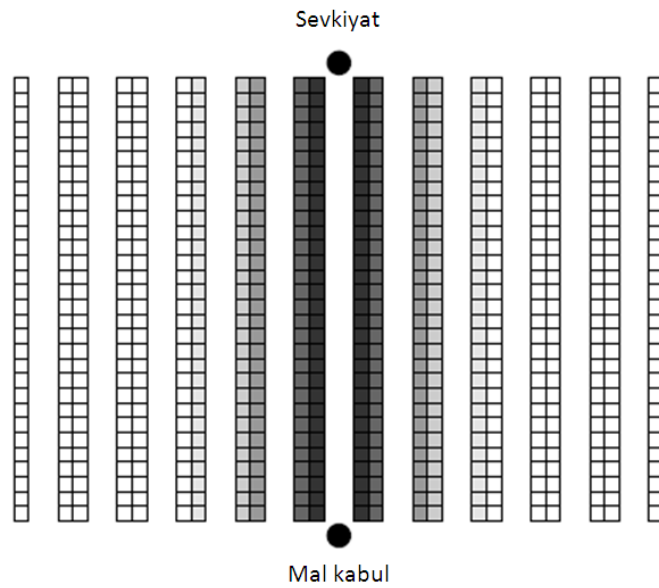
Perakende olarak dağıtımı yapılan ürünlerin stoklandığı depolardır. Dayanıklı gıda depoları, çabuk bozulabilen gıda depoları ve yiyecek maddesi içermeyen ticari depolar şeklinde sınıflandırılabilirler (Görçün, 2013).

1.5 BİRİM YÜK DEPOLARDA YERLEŞİM

Birim yük, tek bir ürün olarak depolanabilen, yerinden alınabilen, iki nokta arasında tek bir kütle olarak hareket edebilen ayarlanmış düzenlenmiş, tek bir ürün, birkaç ürün veya büyük bir ürün olarak tanımlanmıştır (Tompkins vd., 2003, s.174). Bu birim yük bir palet, bir konteyner ya da römork olabilir. Ama en tipik birim yük palet yüküdür (Meller ve Gue, 2009). Ürünlerin parçalara ayrıştırılmadan ya da birleştirilerek daha büyük hale getirilmeden, birim yük olarak depolama işleminin yapıldığı depolara birim yük depoları denilmektedir. Genellikle diğer firmalara dışarıdan depolama hizmeti veren üçüncü parti aktarma depoları, birim yük depolardır. Üçüncü parti aktarma depoları elleçledikleri ürün miktarına ve kiraladıkları alana göre fiyatlama yaparlar (Bartholdi ve Hackman, 2014, s.51).

1.5.1 Depo Giriş/Çıkış Noktası

Depo giriş/çıkış (G/Ç) noktası mal kabul işlemlerinin ve sevkiyat işlemlerinin yapıldığı, ürünlerin giriş çıkışının yapıldığı noktalar. Bir ya da daha fazla olabilir. G/Ç noktasının bir tane olması depoda bir adet ambalaj makinesi olmasından yada sevkiyat öncesi ürünlerin geçmek zorunda olduğu özel bir işlemin var olmasından kaynaklanabilir. Birden fazla olduğu takdirde depo giriş çıkış noktalarının deponun karşılıklı iki kenarının tam ortalarında konumlandırılmaları çok tercih edilen bir yerleşimdir. Bu şekildeki yerleşim akış boyunca (flow through) yerleşim olarak adlandırılmaktadır. Bu yerleşim türünde bir kapıdan ürün girişi, diğer kapıdan ürün çıkışı yapılmaktadır. Şekil 1.7 de görüldüğü üzere kapılar depoda bu şekilde konumlandırıldığında depo içinde kıymetli depolama alanları iki kapı arasında olmaktadır. En koyu ile gösterilen bölgeler en kıymetli alanları, açık renk ile gösterilen depolama alanları daha az kıymetli alanları göstermektedir.

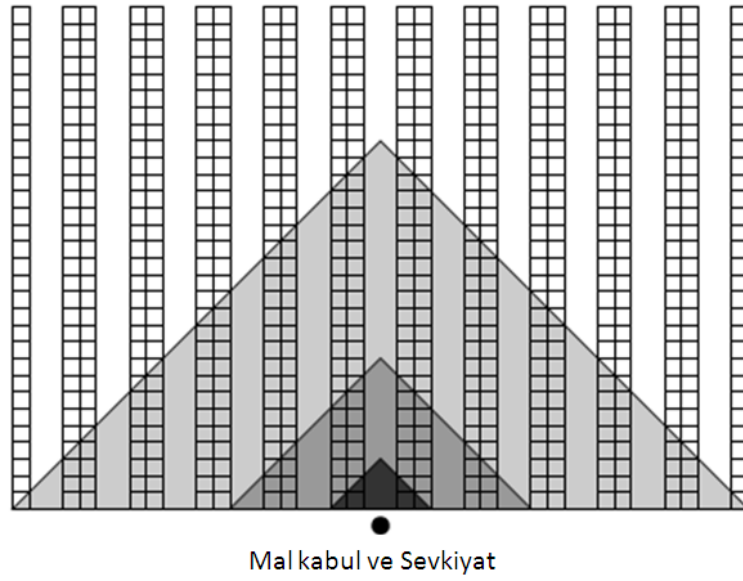


Şekil 1.7 Karşılıklı Duvarlarında Bir Adet G/Ç Noktası Bulunan Geleneksel Depo Tasarımı

Kaynak: Bartholdi ve Hackman, 2014, s.65

Eğer şekil 1.8 de görüldüğü üzere depo giriş çıkış işlemleri deponun uzun kenarının tam ortasında yer alan bir kapıdan yapılıyorsa bu depoda U-tipi akış gözlemlenmektedir. Deponun kıymetli alanları giriş/çıkış noktasına yakın alanlar olarak değişmektedir. Bir önceki yerleşime göre kıymetli olan bölgeler kıymetli olmaktan çıkmış ve deponun uzak üst köşeleri daha da az kıymetli hale gelmiştir.

Hangi yerleşimin daha etkin olduğu ürüne, ürünlerin stok devir hızlarına göre değişmektedir (Bartholdi ve Hackman, 2014, s.66).



Şekil 1.8 Tek Giriş/Çıkışlı Geleneksel Depo Tasarımı

Kaynak: Bartholdi ve Hackman, 2014, s.66

Depo giriş/çıkış noktasının depo içindeki yeri ortalama tur uzunluğunu etkilemektedir. G/Ç noktasının yeri ortalama tur uzunluğunu sipariş listesi büyüklüğüne ve depo şekline bağlı olarak etkilemektedir. Deponun tam ortasında yer alan G/Ç noktası, köşesinde yer alan G/Ç noktasına göre yaklaşık % 1 kadar daha kısa tur uzunluğuna neden olmaktadır. Sipariş listesi büyüklüğü 5 ile 15 arasında olduğu durumlarda G/Ç noktasının konumunun etkisi olduğu görülmüştür ancak sipariş listesinin büyüklüğünün 15 den fazla olduğu durumlarda ise depo G/Ç noktasının konumu etkisini yitirmektedir (Petersen, 1997, s.1108).

Yapılan çalışmalar depolama politikasının rastgele olduğu depolarda depo giriş çıkış noktasının optimal yerinin deponun ön geçiş koridorunun tam ortasında olduğunu göstermektedir (Roodbergen ve Vis, 2006, s.810).

Yapılan bazı çalışmalar depolarda bir adet giriş/çıkış kapısının çok avantajlı olmadığını (Galvez ve Ting, 2012) ortaya koymuştur. Son yıllarda pek çok firma sipariş toplama operasyonları için radyo frekans tanımlama (RFID) teknolojisi, ışık (pick to light) sistemleri, malzeme aktarma teçhizatları kullanmaktadır. Bu şekilde sipariş toplayıcılar yerlerinden aldıkları ürünleri depo çıkış noktasına

götürmek zorunda kalmayıp ürünleri malzeme aktarımı için tasarlanmış konveyörlere bırakmaktadırlar. Yeni sipariş almak içinde G/Ç noktasına gerek kalmamaktadır. Işık sistemleri sipariş toplayıcıyı yeni liste için gerekli olan ürünleri toplaması için yönlendirmektedir. Bu gibi daha teknolojik depolarda tek giriş çıkış kapısı yerine çok sayıda depo giriş çıkış sayısı tercih edilmektedir. (Petersen, 2002).

Gue vd. (2012) çalışmasında çok giriş/çıkış noktasına sahip bir depoda giriş çıkış noktaları deponun alt duvarının ortalarında konumlandıkça Uçan V (Flying V) olarak adlandırılan geleneksel olmayan koridor tasarımının performansının daha da artmakta olduğu belirtilmiştir.

1.5.2 Koridorlar

1.5.2.1 Geçiş Koridoru

Depo giriş/çıkış noktası ile depolama alanı arasında kat edilen yolu kısaltmak ve malzeme akışını hızlandırmak için geçiş kolaylığı sağlayan ancak ürün depolama işlemi yapılmayan ana koridorlara geçiş koridoru denilmektedir. Ana geçiş koridoru sipariş listesinde tek ürünün olduğu durumlarda ortalama kat edilen mesafeyi artırmaktadır ancak sipariş listesinde iki den fazla ürün olduğu durumlarda sipariş toplama koridorları arasında gezinen toplayıcıya, koridorlar arasında gereksiz mesafeleri kat etmesine engel olacak şekilde geçiş kolaylığı sağladığı için ortalama tur uzunluğu açısından avantaj yaratmaktadır (Roodbergen ve De Koster, 2001a, s.41).

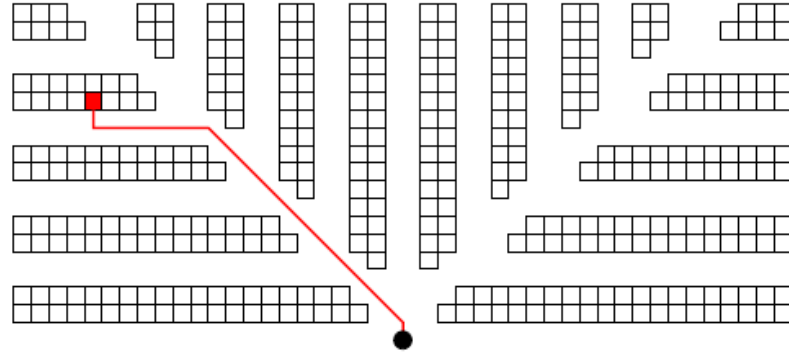
Roodbergen ve De Koster (2001a) çalışmalarında sipariş listesinin büyük olduğu durumlarda ortasından ana koridor geçen bir geleneksel tasarıma sahip depo ile ana koridoru olmayan tek bloklu bir tasarıma sahip geleneksel depoyu ortalama tur uzunlukları açısından değerlendirmişlerdir. Sipariş toplama sürecinde ortalama tur uzunluğu ana geçiş koridorunun bulunup bulunmamasının yanı sıra deponun türü, büyüklüğü, koridor sayısı, giriş/çıkış noktasının yeri, sipariş toplama ekipmanı, sipariş listesi büyüklüğü, depolama politikası ve ana koridorun yeri gibi faktörlere göre de değişmektedir. Sonuç olarak çoklu siparişlerde geçiş koridoru avantaj yaratmaktadır ancak; sipariş listesi büyüklüğü depo alanı büyüklüğüne göre çok fazla ise sipariş toplayıcı neredeyse tüm sipariş koridorları arasından geçmek zorundadır. Bu durumda geçiş koridoru hiç bir fayda sağlamadığı gibi, extra yol kat edilmesine neden olmaktadır ve dezavantaj yaratmaya başlamaktadır.

Pohl, Meller ve Gue (2009a) tek giriş/çıkış noktası olan ve sipariş listesinde iki ürün olduğu varsayımı ile ele aldıkları çalışmalarında, ortasında geçiş koridoru olan ve olmayan üç farklı geleneksel depo tasarımı incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda, ana koridora sahip olan tasarımın ana koridoru olmayan tasarıma göre ortalama tur uzunluğu açısından daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir ayrıca ana koridorun optimal yerinin depo alanının tam ortasında değil orta noktanın çok az bir mesafe üstünde olduğunun saptanmıştır.

Geçiş koridoru alan kapladığı için aynı sayıdaki palet lokasyonu için daha fazla alan gereksinimine ve kat edilmesi gereken ek mesafeye neden olmaktadır. Eğer mal kabul ve sevkiyat noktaları deponun karşılıklı taraflarında ise, her bir ürün ana koridoru bir kez mutlaka geçmek zorunda ve eğer mal kabul ve sevkiyat noktaları deponun aynı tarafında yer alıyorsa ana koridorun arka tarafında kalan yükler ana koridoru bir kez yerleşirken, bir kez toplanırken olmak üzere iki kez geçmek zorundadır.

1.5.2.2 Açılı Koridorlar

Depolarda genellikle yükleme rampalarına paralel olarak yerleştirilmiş ortogonal koridorlar yer almaktadır. Ancak bazı çalışmalarda (Gue ve Meller, 2009) geçiş koridorlarının geleneksel koridor tasarımının aksine açılı bir şekilde yer alması durumunda ortalama kat edilen mesafe açısından daha kısa tur uzunluğu sağladığı görülmüştür. Şekil 1.9 da görülen Balık Kılıcı isimli koridor tasarımı buna örnektir. Geçiş koridorlarının açılı olması sebebi ile kayıp alanların kompanse edilmesi için depo alanının biraz daha büyük olması gerekmektedir. Pohl, Meller ve Gue (2009b) depo içine eklenen her bir geçiş koridorunun depolama alanından çaldığını, dolayısı ile kayıp alanın aynı miktarda ürün depolama olanağı vermesi için kompanse edilmesi gerektiğini bu nedenle deponun olması gerekenden birazcık daha büyük olması gerektiğini belirtmişlerdir.



Şekil 1.9 Balık Kılçığı Depo Koridor Tasarımı

Kaynak: Bartholdi ve Hackman, 2014, s.68

1.5.3 Depolama Alanı

Üçüncü parti lojistik sağlayıcılar genellikle belirli bir periyotta elleçledikleri palet başına ücretlendirme yaparlar, bu nedenle alan planlamasını ürün kapasitesini maksimum düzeyde tutabilecekleri şekilde yapmalıdırlar. Bu durumda, alanı dikey anlamda iyi değerlendirmek ya da derin raflar kullanarak alan kayıplarını minimum düzeyde kılacak şekilde alan tasarımı yapılmalıdır.

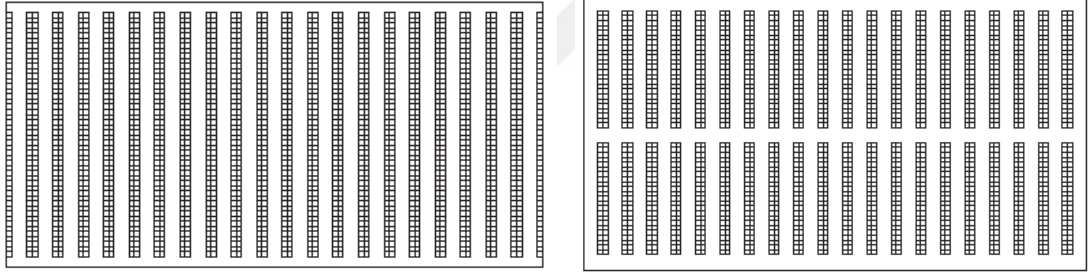
Paletler içinde bulunan ürünlerin yapısına göre yere üst üste istiflenerek muhafaza edilebilir böylece birim alanda muhafaza edilen ürün miktarı yüksek olur ancak her ürün üst üste istiflenmeye uygun değildir. Bu nedenle paletlerin üst üste istiflenerek dikey alandan faydalanmak yerine raf sistemleri kullanarak dikey alandan faydalanmak da alternatif bir tercih olabilmektedir (Bartholdi ve Hackman, 2014, s.51).

Depolama alanı, rezerv alanı ve hızlı/ön toplama alanı olarak temel olarak iki bölümden oluşur. Rezerv alanında ürünler paletler halinde ya da birim yük olarak muhafaza edilirken, ön toplama alanında ürünler daha küçük birimler halinde muhafaza edilir. Pek çok depoda depo alanının büyük bir kısmı rezerv alan olarak tasarlanırken bazılarında sadece paletler üçüncü parti lojistik sağlayıcılara iletilir ve gerektiği zamanda talep edilir, böylece alanını rezerv alana tahsis etmemiş olur ve o alanı başka bir işlem için kullanabilir. Ön toplama alanı ve rezerv alan depoda birbirinden ayrı olarak tasarlanmış iki farklı bölge olabileceği gibi iç içe de olabilir. En yaygın kullanılan ön toplama alanı genellikle palet raflarının en alt rafıdır. Çok kullanılan ürünler en alt raflardan alınır. Alınan ürün yerine üst raftan besleme yapılır (Bartholdi ve Hackman, 2014, s.77).

2. BÖLÜM

2.1 GELENEKSEL KORİDOR TASARIMLARI İLE İLGİLİ LİTERATÜR

Geleneksel bir depoda raflar, ürün toplama koridorları birbirine paralel ve 90^0 olacak şekilde tasarlanır. Alt ve üst kısmındaki ana koridorlar sayesinde toplama koridorları arasında geçiş sağlanır. Şekil 2.1b'de görüldüğü üzere, bazı geleneksel tasarımlarda alt ve üst ana koridorlar dışında toplama koridorları arasında geçiş kolaylığı sağlaması amacıyla orta geçiş koridoru yer almaktadır. Orta geçiş koridoru sayısı birden fazla olabilir. Bu geçiş koridorları sipariş toplama koridorlarına dik olabileceği gibi, depo içinde kat edilen toplam mesafeyi minimize edecek şekilde açı da alabilir. Geleneksel tasarımın aksine, farklı açılar alabilen koridorların bulunduğu geleneksel olmayan depolar olarak adlandırılmaktadır. Geleneksel depolarda ana koridorlar, sipariş büyüklüğünün ikiden fazla olduğu çok siparişli problemlerde fayda sağlarken, sipariş büyüklüğünün bir olduğu tek siparişli problemlerde aksine dezavantaj sağlamaktadır (Roodbergen ve De Koster, 2001a).



(a) Tek Bloklü Geleneksel Depo Tasarımı

(b) İki Bloklü Geleneksel Depo Tasarımı

Şekil 2.1 Geleneksel Depo Tasarımları

Roodbergen ve De Koster (2001a) çalışmalarında depo yerleşim şeklinin depolardaki ortalama sipariş toplama zamanına etkisini incelemişlerdir. Çalışma geleneksel depo alanına uygulanmış, tam ortasında geçiş koridoru olan ve olmayan iki depo alanı karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak ortasında geçiş koridoru olarak da adlandırılan ana koridor olan depolarda olmayan depolara göre ortalama sipariş toplama zamanının daha kısa olduğu belirlenmiştir, ancak sipariş sayısı deponun tüm koridorlarından geçmeyi gerektirecek kadar çok ise, geçiş koridorunun faydası yok olmakta hatta dezavantaj halinde dönüşmektedir. Geçiş koridorunun çok büyük depolarda fayda sağladığı belirtilmiştir.

Roodbergen ve De Koster (2001b) iki geçiş koridoru olan depo alanları üzerine çalışmışlardır. Problemi iki farklı sezgisel yöntem ve kesin çözüm yöntemi ile çözmüşlerdir. En Büyük Aralık (Largest Gap) sezgisel yönteminin sipariş toplama sayısı küçük olan problemlerde iyi sonuç vermesine rağmen Birleşik (combined) sezgisel yöntemi En Büyük Aralık sezgisel yöntemine göre daha iyi sonuç vermiştir. Sezgisel yöntem sonuçları aynı zamanda kesin çözüm yöntemi olan dal ve sınır yöntemi ile çözülmüş sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Kesin çözüm yöntemi daha iyi sonuç vermesine rağmen, problem çözüm süresi uzunluğu nedeni ile sezgisel yöntemler tercih edilmiştir. Sonuç olarak, ortalama tur süresi geçiş koridoru sayısı ikiden üçe çıkartıldığı zaman kısalmaktadır, ancak ortalama tur süresi geçiş koridoru sayısı arttıkça ortalama yöntemi ve problem varsayımlarına bağlı olarak değişebilmektedir.

Pohl, Meller ve Gue (2009a) çalışmalarında tek giriş/çıkış noktası olan depo alanlarında, iki siparişli işlemleri ele almışlardır ve üç farklı depo tasarımı incelemişlerdir. İlk tasarım tek bloklu geleneksel tasarım; ikinci tasarım, ortasından bir ana koridor geçen iki bloklu ve giriş/çıkış noktası sipariş toplama koridoru üzerinde olan tasarım; üçüncü tasarım ise ortasından bir ana koridor geçen, iki bloklu ve giriş/çıkış noktası ana koridor üzerinde olan tasarımdır. Çalışmanın sonucunda iki siparişli işlemler söz konusu olduğunda ana koridora sahip olan tasarımın ana koridoru olmayan tasarıma göre daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir. Ana koridoru olan tasarımlardan ise ikinci tasarımın birinci tasarıma göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. İçlerinde en iyi sonucu veren tasarımın en az kullanılan tasarım olduğu saptanmıştır. Çalışmanın diğer bir önemli sonucu da ana koridorun optimal yerinin depo alanının tam ortasında değil orta noktanın çok az bir mesafe üstünde olduğunun saptanmasıdır.

Literatüre bakıldığında Petersen (1997) çalışmasında tur uzunluğu hesaplamak için Orta Nokta (midpoint), En Büyük Aralık ve Komposit (composite) sezgiselleri gibi farklı rota politikaları kullanmıştır. Ancak çalışma sadece tek bloklu geleneksel tasarım için yapılmıştır. De Koster vd.'nin (1998) çalışmasına bakıldığında, tur uzunluğu hesaplamalarında S-Biçimli (S-Shape) sezgiselini tur politikası olarak seçerek geliştirdiği algoritma ile kıyaslamıştır. Çalışma tek bloklu geleneksel tasarımı kapsamaktadır. Diğer çalışmalardan farklı olarak deponun tam merkezine yerleştirilmiş giriş/çıkış noktasının yanı sıra tam merkezde olmayan ve

giriş/çıkış işlemlerinin ayrı ayrı noktalardan yapılmasını sağlayan iki kapı olduğu durum ele alınmıştır. Roodbergen (2006) çalışmasında, tek bloklular tasarımlarda En Büyük Aralık sezgiselini kullanarak ortalama tur uzunluğu hesaplamak için model geliştirmiştir. Çalışmanın sonucunda sipariş listesi büyüklüğünün bir den fazla olduğu durumlarda, deponun merkezine yerleştirilmiş kapıya sahip tasarımın, kenara yerleştirilmiş kapıya sahip tasarımdan ortalama tur uzunluğu açısından daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Çok siparişli operasyonlarda depo kapısının optimal yerinin deponun uzun kenarının tam merkezinde olduğu söylenebilmektedir. Literatürde görüldüğü üzere, tek bloklular tasarımlarda ortalama tur uzunluğu hesaplamak için geliştirilmiş pek çok model bulunmaktadır. Ancak iki bloklular ya da çok bloklular geleneksel tasarım için geliştirilmiş bir model sadece Roodbergen vd. (2008) çalışmasında yer almaktadır.

Roodbergen vd. (2008) çalışmasında, çok bloklular geleneksel tasarım için ortalama tur uzunluğunu veren matematiksel model geliştirmiştir. Modelde sipariş toplama işlemi S-Biçimli sezgiseline göre yapılmaktadır. Roodbergen vd. çalışmalarında geliştirdikleri matematiksel model ile elde ettikleri tur uzunluklarını simülasyon çalışması ile elde ettikleri tur uzunlukları ile karşılaştırılmış ve sipariş listesi büyüklüğü 3,6,9,12,15,18,21,24 için ortalama sapma yüzdelerini sırası ile 2,9; 3,7; 2,6; 2,0; 1,5; 1,4; 1,5; 1,6 şeklinde elde etmiştir.

Tam ortasında bir geçiş koridoru olan ve depo giriş/çıkış kapısının tam merkezde olduğu pek çok geleneksel tasarım çalışmaları yapılmıştır (Caron vd., 1998). Depo giriş/çıkış noktasının merkezde olmadığı çalışmalar da mevcuttur (Petersen, 1997; Roodbergen ve Vıs, 2006; Chew ve Tang, 1999; Goetschalckx ve Ratliff, 1990; Hausman vd., 1976; Tunç vd., 2008). Depo giriş ve çıkış işlemlerinin yapıldığı kapıların birbirinden ayrı olacak şekilde tasarlandığı birinin deponun sol alt köşesinde diğerinin ise sağ alt köşesinde olacak şekilde konumlandırıldığı tasarım çalışmaları da mevcuttur (Hsieh ve Tsai, 2006).

Literatürde yapılan çalışmalarda ele alınan geleneksel tasarımlar çoğunlukla tek bloklular yani koridorlar arasında geçiş koridoru olmayacak şekilde ele alınmıştır, ancak bazı çalışmalarda çok bloklular geleneksel tasarımlar çalışılmıştır. Örneğin; Petersen (2002) çalışmasında geleneksel bir depoda koridor sayısı ve koridor uzunluklarının ortalama tur uzunluğuna etkisini araştırmıştır. Guenov ve Raeside (1992) sipariş listesi büyüklüğü 2 den fazla olan sipariş toplama işlemlerinin

yapıldığı geleneksel depolarda optimal koridor genişliğini araştırmıştır. Vaughan ve Petersen (1999) geleneksel bir depoda depolama alanına geçiş koridorları ekleyerek ortalama tur uzunluğuna etkisini incelemiştir.

2.2 GELENEKSEL OLMAYAN KORİDOR TASARIMLARI İLE İLGİLİ LİTERATÜR

Depolarda ürünlerin yerleştirildiği ve toplandığı raflar genellikle koridorları doğrusal ve birbirine paralel olacak şekilde tasarlanır. Literatürde bu tasarım geleneksel koridor tasarımı olarak adlandırılır. Gue ve Meller (2009) çalışmalarında ilk kez geleneksel depo koridoru tasarımına alternatif olan iki yeni koridor tasarımı geliştirmişlerdir. Bunlardan birincisi “Uçan V” (Flying-V) diğeri ise “Balık kılçığı” (Fishbone) tasarımıdır. Uçan V tasarımında dikey sipariş toplama koridorları arasında lineer olmayan iki ana koridor yer almaktadır. Balık kılçığı tasarımında ise sipariş toplama koridorları dikey ve yatay olarak tasarlanmış, sipariş toplama koridorları iki doğrusal ana koridor ile bölünmüştür. Uçan V tasarımı depo alanındaki dolaşma süresini eş değer bir geleneksel tasarıma sahip depoya göre % 10 daha az olmasını sağlamaktadır. Balık kılçığı tasarımı ise depo alanındaki dolaşma süresini yine eş değer bir geleneksel depoya göre % 20 oranında azaltmaktadır. Çalışmada her iki tasarımın farklı avantajları olduğu belirtilmiştir. Örneğin, Uçan V tasarımda forklift trafiği, geleneksel ve balık kılçığı tasarımın aksine iki ana koridor üzerine dağıtılmıştır ki bu durum forklift trafiğini hayli azaltmaktadır. Uçan V tasarımda çalışanlar daha az şaşırırlar, çünkü geleneksel tasarıma benzemektedir. Çalışanların sıklıkla değiştiği ve deneyimin az olduğu bir endüstride, bu tasarım avantaj sağlamaktadır. Çalışmada tasarımların tek giriş/çıkış noktası olduğu ve taleplerin rastgele dağıldığı varsayımları ele alınmıştır.

Gue, Ivanovic ve Meller (2012) yaptığı çalışmada, tek giriş/çıkış noktası yerine çok sayıda giriş/çıkış noktası olan bir depoda koridorlar arasında kat edilen mesafeyi azaltmak için ana koridor konfigürasyonu üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada, 2009 yılında geliştirilen Uçan V tasarımı ele alınmış ve geliştirilerek Uyarlanmış Uçan V (Modified Flying V) tasarımı ile Ters Çevrilmiş Uçan V (Inverted Flying V) tasarımları elde edilmiştir. Geliştirilen tasarımlar giriş/çıkış noktası ile toplama noktası arasında kat edilen ortalama mesafe açısından ortasında koridor olmayan geleneksel tasarıma sahip depo ile karşılaştırılmıştır. Uyarlanmış Uçan V tasarımının geleneksel tasarıma göre % 3-6 daha iyi sonuç verdiği

saptanmıştır. Ters çevrilmiş Uçan V tasarımı ise geleneksel tasarıma göre %1 den daha az iyi sonuç vermiş. Çalışmanın bir diğer bulgusu ise eğer depo çok sayıda giriş/çıkış noktasına sahip bir depo ise giriş/çıkış noktaları deponun alt duvarının ortalarında konumlandıkça Uçan V koridor tasarımının performansı daha da artmıştır.

Öztürkoğlu, Gue ve Meller (2012) çalışmalarında, Gue vd. (2009) nin çalışmasını ele alınarak üç noktada geliştirilmiştir. Birincisinde çalışmada, sipariş toplama koridorları birbirine paralel dikey ya da yatay olacak diye sınırlandırılmamıştır. İkincisinde ana koridor sayısı iki ile sınırlandırılmamıştır ve çalışma bir, iki ve üç ana koridorlu olarak ele alınmıştır. Tasarımlar sırası ile "Chevron, Yaprak (Leaf) ve Kelebek (Butterfly)" tasarımlar olarak adlandırılmışlardır. Üçüncü olarak da beklenen mesafelerin hesaplanmasında kesikli palet lokasyonlarının kullanıldığı model geliştirilmiştir. Kesikli model, eklenen koridorlar yüzünden kaybedilen alanların hesaplanmasında kolaylık sağlamıştır. Çalışmanın varsayımları, tek giriş/çıkış noktası olması, talep yapısının tekdüze olması ve sipariş toplamanın tek işlemlidir. Çalışmanın sayısal sonuçları, 27 den az koridorlu tasarımlarda Chevron modelinin en iyi sonucu verdiğini göstermiştir. Büyük depolarda ise Yaprak tasarımı daha düşük ulaştırma maliyeti sağlarken daha çok extra alan gereksinimi duymaktadır. Kelebek tasarım 65 den daha az koridoru olan depolarda Yaprak tasarıma göre daha iyi sonuç vermemiştir ve alan gereksinimi açısından pek fayda sağlayan bir tasarım olmadığı belirlenmiştir. Tüm bu sebeplerden dolayı ve daha gerçekçi bir tasarım olması sebebi ile çalışmada en iyi tasarımın Chevron tasarım olduğu sonucuna varılmıştır.

Öztürkoğlu, Gue ve Meller (2014) çalışmalarında depo içinde beklenen tur uzunluğunu veren palet lokasyonları ve uygun koridorların yerini belirleyen ağ tabanlı depo modeli geliştirmişlerdir. Beklenen tur uzunlukları, birden fazla giriş/çıkış noktası olan, her bir giriş/çıkış noktasının rastgele seçildiği ve rastgele depolama politikası izlenen depolarda tekli sipariş işlemleri için hesaplanmıştır. Model, giriş/çıkış noktaları farklı yerlerde olan yani deponun dört farklı duvarında olabilen 12 depo tasarımı için parçacık sürü optimizasyon sezgiseli ile çözülerek en uygun koridor yerlerini belirlemektedir. Model ana koridor sayısı bir ve iki olacak şekilde çalışmaktadır. Çalışmanın sonucunda çok sayıda giriş/çıkış noktası olan bir deponun alternatiflerine göre daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir. Örneğin, iki kapılı

ve iki ana koridorlu bir deponun eşdeğer bir geleneksel depoya göre % 9-12 daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. iki giriş kapısı deponun ardışık duvarlarında olan, iki ana koridorlu bir deponun eşdeğer bir geleneksel depoya göre beklenen tur uzunluğu açısından %5-6 daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir.

Pohl, Meller ve Gue (2009b) çalışmalarında, Gue ve Meller'in (2009) çalışmasında ortalama tur uzunluğu açısından tekli sipariş toplama işlemlerinde geleneksel koridor tasarımına göre daha iyi sonuç veren Balık Kılıcı tasarımı ele alarak bu sefer iki işlemlerli sipariş toplama problemleri üzerinde çalışmışlardır. Sonuç olarak Balık Kılıcı tasarımının ana koridoru olan geleneksel tasarıma göre % 10 daha iyi sonuç verdiği, ana koridoru olmayan bir geleneksel tasarıma göre % 15,5 kadar daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir ayrıca, Balık Kılıcı tasarımda koridorların açısı değiştirildikçe geleneksel tasarıma göre daha da üstünlük sağlamıştır. Çalışmada aynı zamanda depo alanının şekilleri incelenmiştir. Uzunluğu genişliğinden fazla olan depo alanlarında ortasında ana koridoru olan geleneksel tasarım daha kısa tur uzunluğu sağlarken, genişliği uzunluğundan fazla olan depo alanlarında Balık Kılıcı tasarım daha kısa tur uzunluğu sağlamıştır.

Pohl, Meller ve Gue (2011) çalışmalarında geleneksel olmayan koridor tasarımına sahip depo alanlarında daha aktif ürünleri en iyi yere yerleştirmenin etkinliği üzerinde durmuşlardır. Depo içindeki devir hızları farklı olan ürünlerin Uçan V ve Balık Kılıcı tasarımlardaki toplanma performansları incelenmiş ve eşdeğer geleneksel tasarıma sahip bir depo için elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Tek siparişli turlarda hem rastgele depolama politikaları hem de neredeyse farklı büyüklükteki depoların hepsinde devire dayalı depolama politikaları varsayımı altında Uçan V tasarım geleneksel tasarıma göre daha iyi sonuç vermiştir ancak ürün kapasitesi 1000 den küçük olan ve talep yapısının tekdüze olmadığı belirli bir patern gösterdiği depolarda geleneksel koridor tasarımı Uçan V ye göre tur uzunluğu açısından daha iyi sonuç vermektedir. Uçan V tasarımı iki siparişli turların hepsinde ve devire dayalı depolama politikası uygulayan depolarda iyi performans göstermemektedir, bu koşullar altında geleneksel tasarım daha iyi performans gösterebilmektedir. Uçan V tasarımının üstünlüğü ancak rastgele depolama politikaları altında tek siparişli turlarda gözlemlenmiştir. Balık Kılıcı tasarımı, hem tek siparişli hem çift siparişli turlarda çeşitli depo büyüklüklerinde geleneksel tasarıma göre daha iyi performans göstermektedir. Örneğin, büyük depolarda tek

siparişli işlemler söz konusu olduğunda %10-20 arasında daha iyi performans göstermiştir, çift siparişli işlemler söz konusu olduğunda %6-16 arasında daha iyi performans gösterdiği ifade edilmiştir.

Bortolini vd. (2015) çalışmalarında tekli sipariş işlemlerinin yapıldığı geleneksel bir depo ya iki, dört ya da altı adet geçiş koridoru ekleyerek geleneksel olmayan depo tasarımları elde etmişler ve bu tasarımların ortalama tur uzunluğu performansını incelemişlerdir. Çalışma talep yapısının tek düze olduğu varsayımı ile ele alınmış ve matematiksel model geliştirilmiştir. Modelde sipariş toplama koridorları aynı geleneksel tasarımda olduğu gibi birbirine paralel olacak şekilde kabul edilmiş ve bir adet giriş çıkış noktası olduğu durum ele alınmıştır. Bartolini vd. çalışmanın sonucunda farklı depo büyüklüklerinde geliştirdikleri yeni modelin % 7 ile % 17 arasında daha iyi sonuç verdiğini ifade etmişlerdir. Örneğin; 10.000 m² ye kadar depolama alanına sahip depolarda iki geçiş koridorunun olması %7 ile %11,5 arası iyileşme sağlamıştır, 10.000 m² ile 65.000 m² arasında depolama alanına sahip depolarda 4 geçiş koridoru % 11,5 ile % 15 gibi daha tercih edilebilir sonuç sağlamıştır, 65.000 m² den büyük depolarda altı geçiş koridoru olması %15 ile %17 arasında performans iyileştirmesi sağlamıştır.

Galvez ve Ting (2012), Gue ve Meller'in (2009) çalışmalarında önerdikleri Balık Kılçığı koridor tasarımını ele almışlardır. Balık Kılçığı koridor tasarımı tek giriş/çıkış noktası olan depolarda tekli sipariş işlemlerinde geleneksel koridor tasarımına sahip depoya göre üstünlük sağlamıştır. Ancak Galvez ve Ting, tek giriş/çıkış noktasının depolarda yeterince etkin olmadığını belirtmiş ve bu nedenle Balık Kılçığı koridor tasarımını çok giriş çıkışı olan depolarda incelemiştir, ancak bunu yaparken Balık Kılçığı koridor tasarımını modifiye etmiştir. Gue ve Mellerin geliştirdiği Balık Kılçığı tasarımda giriş/çıkış noktası deponun alt geçiş koridorunun ortasında, orta geçiş koridorunun başlangıç noktasında yer almaktaydı, ancak Galvez ve Ting giriş/çıkış noktalarını deponun üst geçiş koridorunda deponun iki köşesine yerleştirmiştir. Bu şekilde giriş/çıkış noktaları deponun üst köşelerinde yer aldığı zaman ortalama tur uzunluğu açısından tasarım iyi performans gösterememiştir. Bu nedenle, tasarımın sipariş toplama koridorları 90⁰ döndürülerek performansı incelenmiş ve daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Tek giriş/çıkış noktası olan depolarda hem tekli sipariş işlemleri söz konusu olduğunda hem de ikili sipariş işlemleri söz konusu olduğunda geleneksel olmayan tasarımlar geleneksel tasarımlara göre daha

iyi sonuç veriyordu, bu çalışma ile birden çok giriş/çıkış noktası olan depolarda da geleneksel olmayan tasarımın geleneksel tasarıma göre daha iyi sonuç verdiği ortaya konmak istenmiştir. Giriş/çıkış noktasının birden fazla olduğu durumlarda, noktalardan bir tanesi alt geçiş koridorunun tam ortasında, diğerleri üst geçiş koridorunda olduğunda tasarım daha da iyi sonuç vermektedir.

Çelik ve Süral (2014) çalışmalarında, Balık Kılıçığı depo tasarımında rastgele ve devir hızına dayalı depolama politikaları altında sipariş toplama konusunu ele almışlardır. Çalışma sonucunda tek sipariş söz konusu olduğunda Balık Kılıçığı tasarımın geleneksel tasarıma göre %20 daha iyi sonuç verdiği ancak sipariş sayısı arttıkça Balık Kılıçığı tasarımın geleneksel tasarıma göre %30 daha kötü sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Bu kıyaslama, talebin tekdüze olduğu durumlardaki sipariş sayısına göre yapılmıştır. Tasarımlara talep tipi açısından bakıldığında ise tam tersine Balık Kılıçığı tasarımının talep yapısının belli bir patern gösterdiği durumda geleneksel tasarıma göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Henn vd. (2013) çalışmalarında, manuel sipariş toplama sisteminde U şeklindeki koridor tasarımını incelemişlerdir. U şeklindeki koridor tasarımı literatürde çok fazla değinilmeyen talep düzeyi düşük olan ürünler için kullanılmıştır. Tasarım tek bloklu ve iki bloklu geleneksel tasarım ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada, sipariş toplama sayısı küçük olduğunda iki bloklu geleneksel tasarımın daha iyi sonuç verdiği ancak sipariş sayısı büyüdükçe tek bloklu geleneksel tasarımın daha iyi sonuç verdiği görülmüştür, orta büyüklükte sipariş sayısı söz konusu olduğunda ise U tasarımın en iyi sonucu verdiği görülmüştür. Tek blok ve iki bloklu geleneksel tasarıma göre U şeklindeki tasarımda sipariş toplayıcının rota uzunluğunun en kısa olduğu saptanmıştır. Ayrıca U tasarımın tek bloklu geleneksel tasarıma göre daha az yer gerektirdiği belirlenmiştir.

Öztürkoğlu (2015) çalışmasında, Öztürkoğlu vd. (2014) çalışmasında iki koridorlu, deponun alt ve üst kenarlarının merkezinde birer tane olmak üzere iki giriş/çıkış noktası olan depo için elde ettikleri Leverage tasarımı çok giriş/çıkış kapısı olduğu durumda değerlendirmiştir. Problem tek siparişli işlemler için ele alınmıştır. PSE algoritması ile çözülmüştür. Depoya eklenen 5. kapıdan itibaren elde edilen yeni tasarım iki kapılı Leverage tasarıma göre daha iyi sonuç vermeye başlamıştır.

Cardona, Rivera ve Martinez (2012) daha önce geliştirilmiş Balık Kılçığı Koridor tasarımının performansını ortalama tur uzunluğu açısından analitik olarak modellemiş ve geleneksel tasarım sonuçları ile karşılaştırmıştır. Çalışma uzun kenarının merkezinde bir tane giriş/çıkış noktası olan, tekli sipariş işlemlerinin yapıldığı, iki ana koridorlu birim depo göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Depolama politikası olarak rastgele depolama politikası uygulanmıştır. Sonuç olarak Balık Kılçığı tasarımının geleneksel koridor tasarımında göre ortalama kat edilen mesafe açısından üstün performans gösterdiği belirtilmiştir.

Literatür çalışmaları kapı sayısına, uygulanan yerleştirme politikasına, sipariş listesindeki ürün sayısına, deponun koridor yapısına göre sınıflandırılmıştır. Sınıflandırılan çalışmalar Tablo 2.1 de görülmektedir.

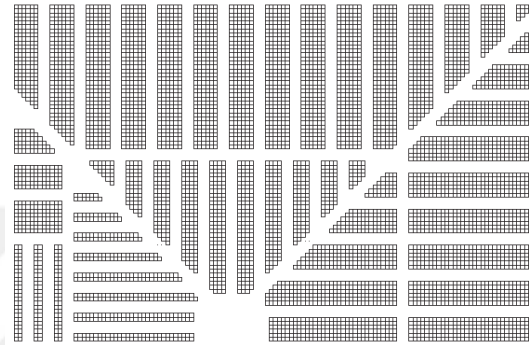
Tablo 2.1 Literatür Tablosu

Yazarlar	Kapı Sayısı	Yerleştirme Politikası	Sipariş Listesi	Koridor Yapısı
Gue, Ivanovic, Meller, 2012	Çoklu	Rastgele	Tek ürün	Uyarlanmış UçanV, Ters çevrilmiş UçanV
Gue, Meller, 2009	Tek	Rastgele	Tek ürün	Balık Kılıcı, UçanV
Öztürkoğlu, Gue, Meller, 2012	Tek	Rastgele	Tek ürün	Chevron, Leaf, Butterfly
Roodbergen, DeKoster, 2001a	Tek	Rastgele	Çoklu ürün	Geleneksel
Öztürkoğlu, Gue, Meller, 2014	Çoklu	Rastgele	Tek ürün	1 ve 2 koridorlu geleneksel olmayan
Pohl, Meller, Gue, 2009a	Tek	Rastgele	İkili ürün	Geleneksel
Pohl, Meller, Gue, 2009b	Tek	Rastgele	İkili ürün	Geleneksel, Balık Kılıcı
Pohl, Meller, Gue, 2011	Tek	Stok devir hızına göre	Tek ve ikili ürün	Balık Kılıcı, UçanV
Bortolini vd.,2015	Tek	Rastgele	single	2,4,6 koridorlu geleneksel
Galvez,Ting, 2012	Çoklu	Rastgele ve stok devir hızına göre	Tek ve ikili ürün	Döndürülmüş Balık Kılıcı
Roodbergen, DeKoster, 2001b	Tek	Rastgele	Çoklu ürün	Geleneksel
Öztürkoğlu, 2015	Çoklu	Rastgele	Tek ürün	Leverage, geliştirilmiş Leverage
Çelik, Süral, 2014	Tek	Rastgele ve stok devir hızına göre	Çoklu ürün	Balık Kılıcı, UçanV
Tunç vd., 2008	Tek	Rastgele	Çoklu ürün	Geleneksel
Cardona, Rivera, Martinez, 2012	Tek	Rastgele	Tek ürün	Balık Kılıcı
Petersen, 1997	Tek	Rastgele	Çoklu ürün	Geleneksel
DeKoster, VanDePoort, 1998	Tek	Rastgele	Çoklu ürün	Geleneksel
Roodbergen, Sharp,Vis, 2008	Tek	Rastgele	Çoklu ürün	Geleneksel
Caron, Marchet, Perego,1998	Tek	COI ye göre	Çoklu ürün	Geleneksel
Petersen, 2002	Tek	Rastgele ve stok devir hızına göre	Çoklu ürün	Geleneksel

Geleneksel olmayan koridor tasarımları endüstride uygulanmaya başlamıştır. Jeneratör üreten Generac Güç Sistemleri firmasının Lojistik Müdürü Balık Kılıçığı ve Uçan V koridor tasarımlarını öğrenmiş ve Whitewater, WI' da yer alan tek giriş/çıkış noktası olan bir birim yük deposunda 2007 yılında uygulamıştır. Malzeme akışında iyileşme ve kat edilen mesafelerde azalma şeklinde olumlu sonuçlar ile karşılaşmıştır. Geleneksel olmayan koridor tasarımlarının diğer bir uygulaması da Florida da faaliyet gösteren bir dağıtıcı firmada görülmüştür (Meller ve Gue, 2009).



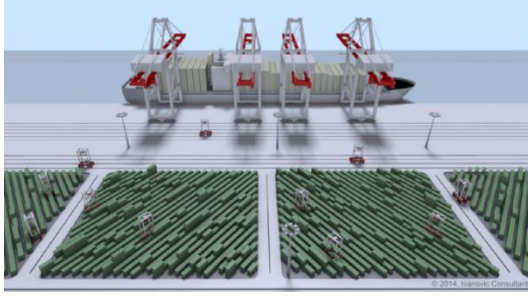
Generac Güç Sistemleri Deposu



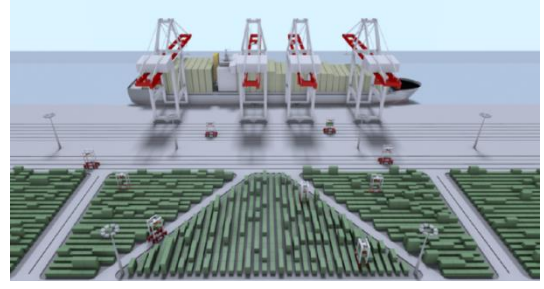
Florida da Dağıtım Firmasının Deposu

Şekil 2.2 Geleneksel Olmayan Koridor Tasarımların Uygulanması

Geleneksel olmayan koridor tasarımları sadece depolarda değil malzeme akışının olduğu farklı iş alanlarında da kullanılabilir. Ivanovic bu konuda geleneksel olmayan tasarımlardan Şekil 2.3 de görüldüğü üzere Chevron ve Balık Kılıçığı tasarımlarının limanda uygulanması konusunda çalışmaktadır. Yeni tasarımların yaklaşık % 20 kadar fayda sağladığı, bu şekilde daha kısa sürede konteyner taşınabileceği ve saatte elleçlenen konteyner sayısının daha fazla olacağı belirtilmiştir. Bu olumlu sonuçlara ek olarak, konteyner taşımada kullanılan vinçlerin bakım maliyetlerinin azalması, vinç lastiklerinin daha uzun ömürlü olması beklenmektedir. Çalışmanın çevresel açıdan olumlu gelişmelere de sebep olması beklenmektedir. Taşıma mesafelerinin kısalması sonucu daha az yakıt tüketimi, daha az enerji tüketimi, daha az hava kirliliği ve daha az ekipman gürültüsü beklenmektedir.



Limanda konteynerlerin Chevron Tasarım ile istiflenmesi



Limanda konteynerlerin Balık Kılıcı tasarım ile istiflenmesi

Şekil 2.3 Geleneksel Olmayan Koridor Tasarımlarının Liman Uygulaması

Kaynak: Ivanovic, G. Better Container Yards for SC Terminals. 05.05.2016, <https://containerterminals.wordpress.com/container-yard-designs/straddle-carrier-terminals/>



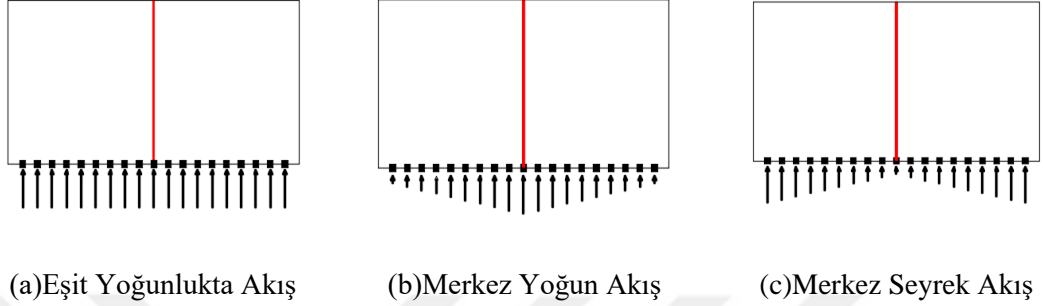
3. BÖLÜM

3.1 Çok Sayıda Giriş/Çıkış Kapılı, Bir Orta Koridorlu Birim Yük Depolarda Tek Siparişli Problemlerde Koridor Tasarımı

Bu tez çalışmasında Öztürkoğlu, Gue, ve Meller (2012)'in çalışmasından esinlenilmiştir. 2012 yılında yapılan çalışmada, depoya kuş bakışı bakıldığında, deponun alt duvarının tam ortasında bir adet giriş/çıkış kapısı olan bir depo üzerinde çalışılmıştır. Orta koridorunun 90^0 lik açıyla depoyu tam ortadan ikiye böldüğü, sipariş toplama koridor açılarının geleneksel koridorların aksine sınırlandırılmadığı, herhangi bir açı alabildiği bir depoda, koridor açıları optimize edilmeye çalışılmıştır. Bir adet kapısı ve bir adet orta koridoru olan bir depoda, depo kapısından herhangi bir ürün lokasyonuna ulaşmak için kat edilmesi gereken mesafeyi minimum kılan koridor tasarımı geliştirilmiştir ve bu tasarım Chevron tasarım olarak adlandırılmıştır. Mevcut çalışmada ise endüstride sıklıkla görülen birden çok giriş/çıkış kapısı olan depolarda, herhangi bir kapıdan herhangi bir ürün lokasyonuna ulaşmak için kat edilmesi gereken mesafeyi minimum kılan koridor tasarımı geliştirilmesi amaçlanmıştır. 2012 çalışmasına göre varsayımlar genişletilmiş, depo alt duvarına hem mal kabul hem sevkiyat işlemlerinin hızlı bir şekilde yapılabilmesi için, aralarında a birimlik mesafe olacak şekilde kapılar yerleştirilmiştir. Orta geçiş koridorunun başlangıç noktası da bir değişken olarak ele alınmıştır ayrıca, sipariş toplama koridorları gibi orta koridor da 0^0 ile 180^0 arasında bir değer alabilmektedir. Depodaki her bir kapı sayısı için problem teker teker ele alınmış ve her bir durum için koridor tasarımları geliştirmek amaçlanmıştır.

Çalışma üç farklı malzeme akış politikası altında ele alınmıştır. Birincisi depodaki tüm kapılardan geçen malzeme yoğunluğunun eşit oldu "Eşit" malzeme akış politikasıdır, ikincisi "Merkez Yoğun" akış politikasıdır. Bazı ürünlerin sevkiyat aşamasında önce özel bir işlem gerektirmesi ve bu işlemi gerçekleştirecek ekipman sayısının az olması durumunda ekipman tüm kapılara eşit uzaklıkta olması için merkez kapıya yerleştirilebilir. Bu duruma örnek olarak ambalaj makinesi verilebilir. Ekipmanın merkez kapıda olması merkez kapının diğer kapılara göre daha çok kullanılmasına sebep olabilir. Bu nedenle sektörde bu gibi durumların sıklıkla yaşanıyor olmasından dolayı eşit malzeme akış politikası yanı sıra merkez yoğun malzeme akış politikası altında da çalışılmıştır. Üçüncü malzeme akış politikası "Merkez Seyrek" akış politikasıdır. Depo kapılarından merkezde olanların sevkiyat,

yanlarda olanların mal kabul için ayrıldığı durumlarda ya da kapıların firmalara özel olarak tahsis edilmesi gibi durumlarda yan kapılarda merkez kapılara göre daha yoğun malzeme akışı olması gerçek iş yaşamında karşılaşılan bir durumdur. Bu nedenle üçüncü bir malzeme akış politikası ile de çalışılmıştır. Malzeme akışları Şekil 3.1 de görülmektedir.



Şekil 3.1 Malzeme Akış Politikaları

Depoda alt ve üst duvarda olmak üzere iki ana koridor bir de sipariş toplama koridorları arasında geçişi kolaylaştıran bir orta koridor olmak üzere toplam üç büyük koridor bulunmaktadır. Sipariş toplama koridorlarını kesen bir adet orta koridor olmasından dolayı depo "tek koridorlu depo" olarak adlandırılmaktadır.

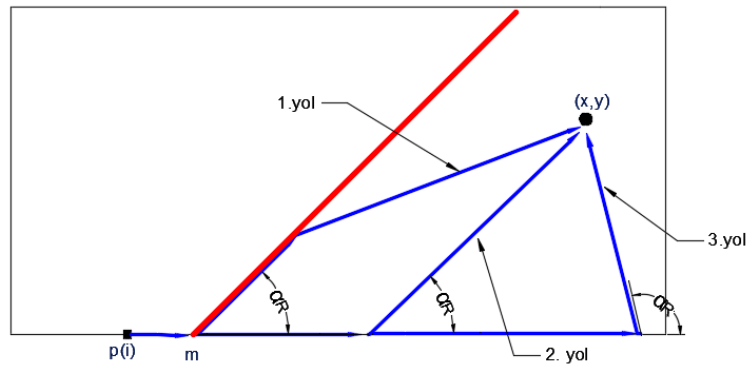
Çalışmada, depo alanı içinde koridorlar arasında yapılan seyahat türü olarak tek duraklı seyahat ele alınmıştır. Tek duraklı seyahat, giriş/çıkış kapısından depolama alanına sadece bir ürünü lokasyonundan almak için gidilip tekrar başlangıç noktasına geri dönüldüğü ya da kapıdan depolama alanına bir ürünü lokasyonuna yerleştirmek için gidildiği ve başlangıç noktasına geri dönüldüğü tek yönlü seyahat türüdür. Sipariş listesinde tek ürünün olduğu durumlarda bu seyahat türü uygulanmaktadır. Bu nedenle çalışmada tek siparişli problem olarak ifade edilmiştir. Palet yük gibi büyük yüklerin depolanması genellikle bu seyahat türü ile yapılır. Mal kabul aşamasından sonra ürünler lokasyonlara yerleştirilirken ilk boş lokasyon tercih edilir, her bir ürünün talebinin tekdüze olduğu ve dolayısı ile depo içindeki her bir lokasyona uğrama olasılığının eşit olduğu rastgele depolama politikası altında çalışma ele alınmıştır.

Ürün lokasyonlarının sürekli olduğu depo alanında bir ürüne ulaşmak için kat edilen mesafeyi minimize eden model geliştirilmiştir. Depo alanındaki herhangi bir (x,y) noktasına ulaşmak için kat edilmesi gereken mesafenin $f(x,y)$ denklemi ile

gösterildiği durumda depo alanındaki herhangi bir noktaya ulaşmak için kat edilmesi gereken ortalama mesafe, Denklem 1 ile ifade edilmiştir. Problemin sürekli uzayda modellenmesinden dolayı, ortalama mesafe depo içindeki tüm noktalara ulaşmak için kat edilen toplam mesafenin depo alanına bölünmesi ile elde edilmektedir. Toplam mesafe, herhangi bir (x,y) noktasına ulaşma mesafesinin depo alanına göre integralinin alınması ile hesaplanmaktadır.

$$Min E[C] = \frac{\iint_{x,y} f(x,y) dydx}{Alan} \quad (1)$$

Şekil 3.2 de görüldüğü üzere depo alanındaki herhangi bir noktaya ulaşmak için kat edilen yol, koridor açılarına göre farklılık göstermektedir. Ürün lokasyonuna ulaşmak için kimi zaman alt ana koridor kimi zaman orta geçiş koridoru kullanılabilir. Çalışmanın varsayımlarına göre sipariş toplama koridorları ve orta geçiş koridoru sonsuz değer alabilmektedir hatta, orta koridorun başlangıç noktası da belirsizdir. Bu durumda çalışma değişkenlerinin alabileceği her farklı duruma göre bir noktaya ulaşmak için kat edilen yol tek bir denklem ile ifade edilememektedir bu nedenle çalışma alt durumlara ayrılmıştır. Alt durumlara geçmeden önce çalışmanın varsayımları ve depo modelinden bahsetmek faydalı olacaktır.



Şekil 3.2 Herhangi bir Noktaya Ulaşma Rotaları

3.1.1 Varsayımlar

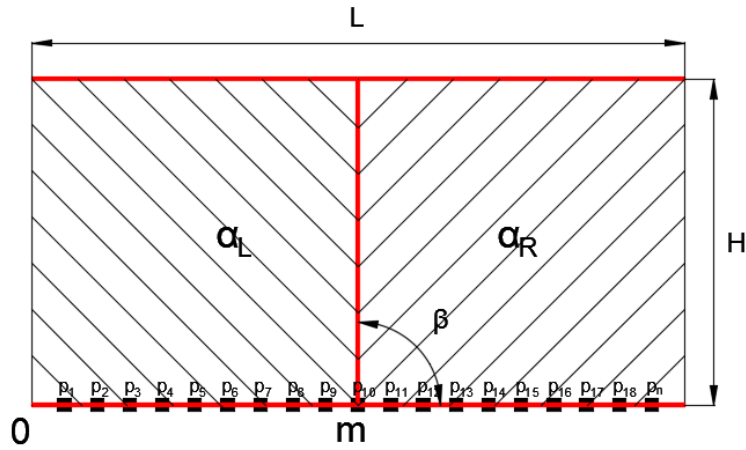
Çalışmada mesafe denklemleri oluşturma aşamasında bir takım varsayımlar kabul edilmiştir. Depoda sadece birim yüklerin elleçlendiği kabul edilmiş, ürün giriş/çıkış (G/Ç) kapılarında, ürün birleştirme ya da ayırıştırma gibi işlemler göz ardı edilmiştir. Genellikle büyük depolarda birim yük depolama oldukça yaygın görülen bir depolama şeklidir. Depo da bir tane orta geçiş koridoru olduğu varsayılmıştır. Depo alanına geçiş kolaylığı sağlaması amacıyla eklenen her yeni koridor depolama alanında kayba neden olmaktadır. Ortalama seyahat uzunluğu ve alan kaybı açısından daha önce yapılan karşılaştırmalı çalışmalar (Öztürkoğlu, Gue ve Meller, 2012) sonucu tek orta koridorlu bir deponun iki ya da üç orta koridorlu bir depoya göre daha makul olduğunu göstermiştir. Bu nedenle tek orta koridorlu bir depo üzerinde çalışılmıştır. Orta koridorun açısı ve sipariş toplama koridor açıları 0^0 ile 180^0 arasında değer alabilmektedir. Bir depoda sevkiyat işlemlerinin hızlı bir şekilde yapılabilmesi için mal kabul işlemlerinin de hızlı bir şekilde ve tam zamanında yapılması gerekmektedir. Bu işlemlerin zamanında yapılabilmesi için ürün boşaltmak ve yüklemek üzere kamyonların ya da tırların boş rampa bulması gerekir. Bu durumda bir depoda birden çok rampa ya da giriş/çıkış noktası olması sevkiyat işlemlerinin daha hızlı yapılabilmesine olanak sağlar bu nedenle bu tez çalışmasında depoda birden fazla G/Ç olduğu durum için mesafe fonksiyonları geliştirilmiştir. Mesafeler, depo alanına ürün yerleştirmek için ya da depo alanındaki lokasyonundan ürünü almak için kat edilen tek yönlü mesafe olarak ele alınmıştır. Yani çalışan, ya elindeki ürünü yerleştirmek için lokasyona gider ve eli boş olarak geri döner ya da sipariş listesinde yer alan ürünü yerinden almak için ilgili loasyona eli boş gider ve ürün ile birlikte başlangıç noktasına geri döner. Bir seyahatte bir ürün elleçlendiği için bu seyahat türüne tek siparişli seyahat adı verilmiştir. Bir seyahatte iki ürün elleçlenmesi ya da çok ürün elleçlenmesi durumunda endüstride karşılaşılan bir durumdur, ancak yönetilmesinin zor olmasından dolayı ve tek siparişli işlemlerin büyük depolarda çok yaygın olarak görülmesi sebebi ile bu çalışmada seyahat türü olarak tek siparişli seyahat ele alınmıştır. Ürünler genellikle palet ile ifade edilmiştir. Paletlerin sürekli uzayda ifade edilmesi, ileride yapılacak olan çalışmalarda, geliştirilen mesafe fonksiyonlarının farklı senaryolar altında rahatlıkla ele alınabilmesini sağlayacaktır, bu nedenle depo alanı sürekli uzayda modellenmiştir.

Depoda orta koridor dışında sadece kapıların bulunduğu duvar ve tam karşısındaki duvar da geçiş koridoru vardır, yandaki duvarlarda geçiş koridoru yoktur.

3.1.2 Depo Modeli

Bu bölümde herhangi bir kapıdan depo alanı içindeki herhangi bir ürün lokasyonuna ulaşmak için kat edilmesi gereken ortalama mesafe denklemleri oluşturulmuştur. Depo alanında bir kapıdan bir ürün lokasyonuna ulaşmanın maliyeti, iki nokta arasındaki mesafeye bağlıdır. Dolayısıyla ile mesafe denklemleri maliyet denklemleri olarak da adlandırılmaktadır.

Depo alanına kuş bakışı bakıldığı durumda Şekil 3.3' de görüldüğü gibi deponun sol alt köşesi referans noktası olarak kabul edilmiştir. Deponun uzun kenar uzunluğu L , kısa kenar uzunluğu H ile ifade edilmiştir. Giriş/çıkış noktaları $p(i)$ ile ifade edilmiştir. Giriş/çıkış noktaları depo kapıları olarak da adlandırılmaktadır. Şekil 3.3' de alt koridorda yer alan kareler depo giriş/çıkış noktalarını simgelemektedir. Kapılar arasındaki mesafenin a birim olduğu kabul edilmiştir. Birden fazla giriş/çıkış noktası olan bir depo için en solda yer alabilecek kapının minimum koordinatı $(a,0)$ olabileceken, en sağdaki kapının maksimum koordinatı $(L-a,0)$ dır. Deponun sağ ve sol yarısındaki koridorların açıları bilinmemektedir. Şekilde görülen koridorların açıları semboliktir.



Şekil 3.3 Deponun Parametreleri ve Değişkenleri

Deponun alt ve üst kenarlarında giriş/çıkış kapılarının bulunduğu duvara paralel, açısı 0° olan iki ana geçiş koridoru mevcuttur. Bu koridorlar dışında depoyu ikiye ayıran orta geçiş koridoru mevcuttur. Orta geçiş koridorunun açısını β ile ifade edilmektedir. β açısı 0° ile 180° arasında herhangi bir değer alabilmektedir. Ürünlerin

depolandığı koridorlar ise sipariş toplama koridorları olarak adlandırılmaktadır. Orta koridorun sağında kalan sipariş toplama koridorlarının açısı α_R ile solunda kalan sipariş toplama koridorlarının açısı α_L ile ifade edilmektedir. Orta koridorun solunda kalan sipariş toplama koridorları birbirine paralel olacak şekilde 0^0 ile 180^0 arasında herhangi bir açı almaktadır sağında kalan sipariş toplama koridorları da birbiri ile paralel olacak şekilde 0^0 ile 180^0 arasında herhangi bir açı alacak şekilde modellenmiştir. Orta geçiş koridorunun başlangıç noktası m ile ifade edilmekte, $(a,0)$ noktası ile $(L-a,0)$ noktası arasında değer almaktadır. Çalışmada ele alınan deponun parametreleri Tablo 3.1 de değişkenleri ise Tablo 3.2 de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Model Parametreleri

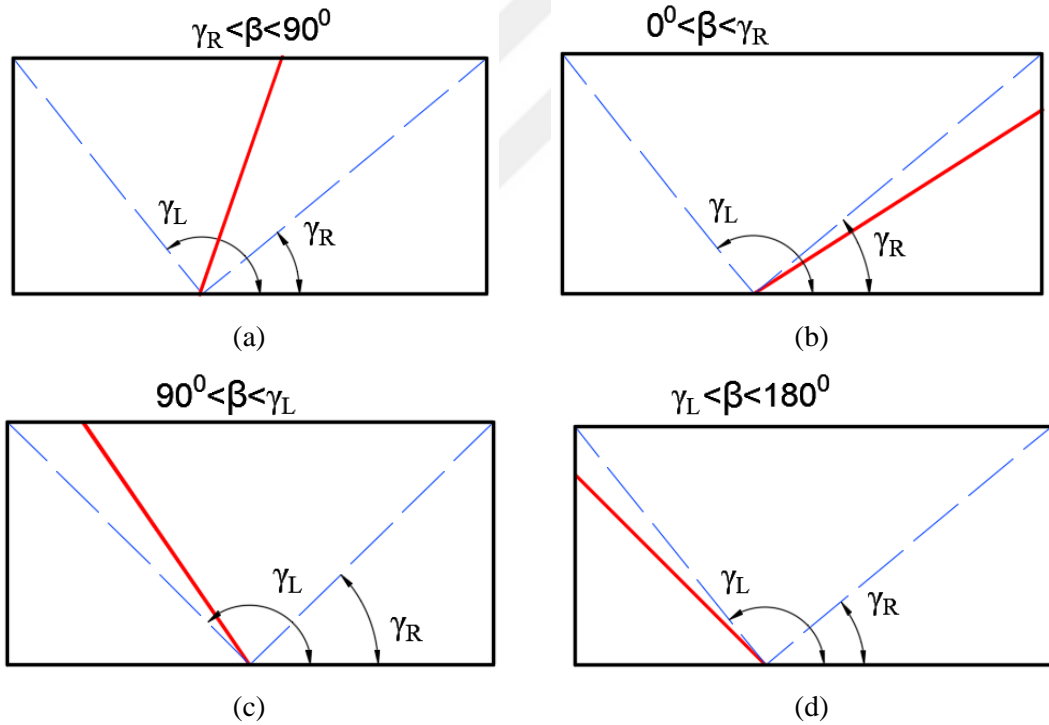
Parametreler	
L	Deponun yatay kenar uzunluğu
H	Deponun dikey kenar uzunluğu
a	Depo kapıları arasındaki uzaklık
$p(i)$	Depo giriş çıkış noktaları $a < p(i) < (L - a)$
(x,y)	Depo alanındaki herhangi bir ürün lokasyonunun koordinatları ($0 < x < L$ ve $0 < y < H$)

Tablo 3.2 Model Değişkenleri

Değişkenler	
α_R	Deponun sağ bölgesindeki sipariş toplama koridorlarının açısı
α_L	Deponun sol bölgesindeki sipariş toplama koridorlarının açısı
β	Deponun ortasında yer alan geçiş koridorunun açısı
m	Deponun ortasında yer alan geçiş koridorunun başlangıç noktası ($a < m < L - a$)

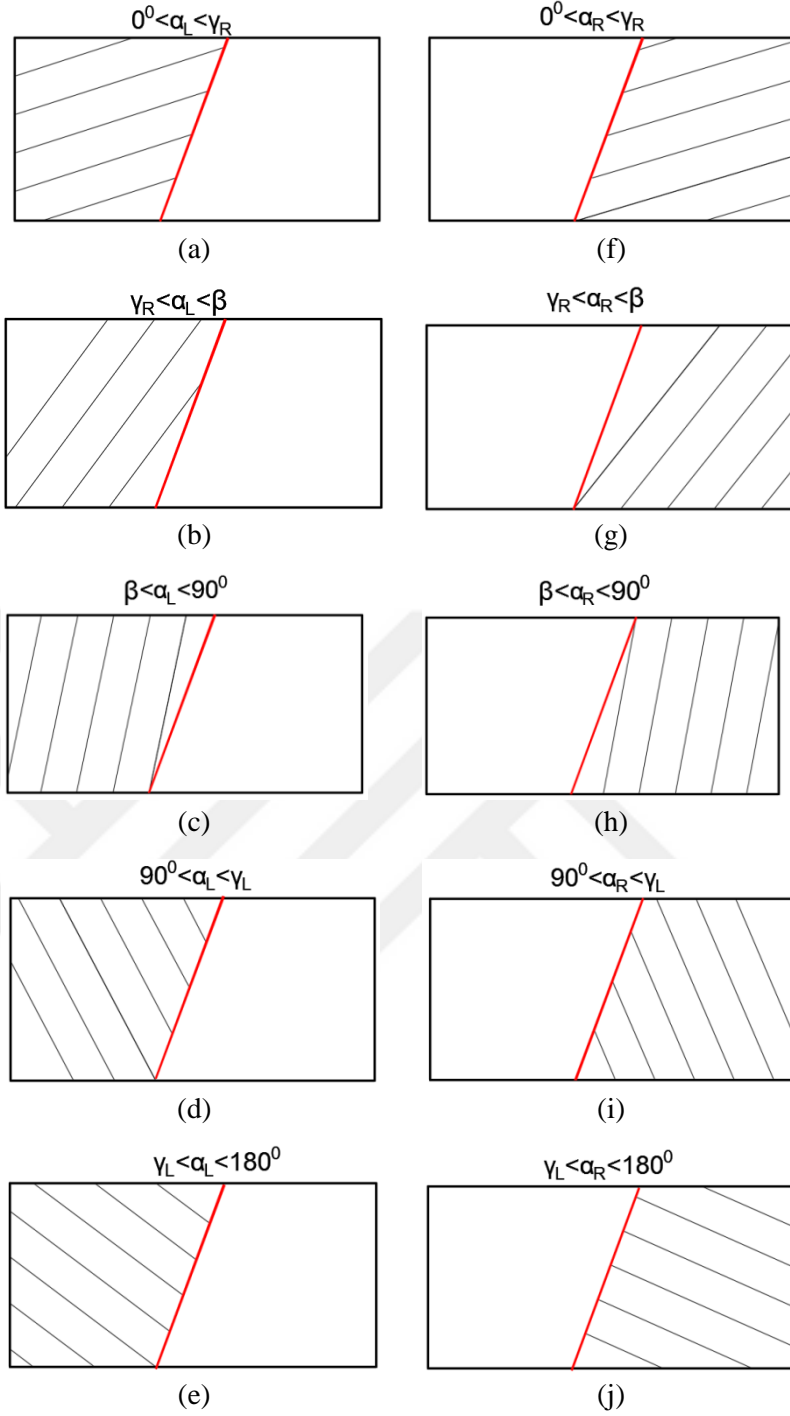
Çalışmada tüm koridor açılarının 0^0 ile 180^0 arasında sonsuz değer alabiliyor olması ve orta koridorun deponun alt duvarının herhangi bir noktasında yer alabiliyor olması, herhangi bir noktaya ulaşmanın mesafe denklemini bir denklem ile ifade edilememesine neden olmaktadır. Ancak koridor açılarının alabileceği her değer için farklı mesafe denklemleri yazmak oldukça zordur bu nedenle çalışmanın değişkenleri alabilecekleri değerlere göre alt senaryolara ayrılarak ele alınmıştır. Öncelikle orta geçiş koridoru için alt senaryolar geliştirilmiştir.

Orta geçiş koridorunun alabileceği olası konumlar Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Orta koridor açısı sırasıyla Şekil 3.4a, 3.4b, 3.4c, 3.4d'de, 90° ile γ_R arasında, 0° ile γ_R arasında, 90° ile γ_L arasında, γ_L ile 180° arasında olacak şekilde sınırlandırılmıştır. γ_L , orta koridorun başlangıç noktası ile deponun sol üst köşe noktası arasındaki doğrunun açısıdır. γ_R , orta koridorun başlangıç noktası ile deponun sağ üst köşe noktası arasındaki doğrunun açısıdır. Şekil 3.4c' de gösterilen durumun Şekil 3.4a' da gösterilen durumun simetriği olması sebebi ile ve Şekil 3.4d'de gösterilen durumun Şekil 3.4b'de gösterilen durumun simetriği olması sebebi ile bu iki alternatif incelenmeyecektir. Şekil 3.4b'deki tasarım deponun yan duvarlarının açık olmasını gerektirmektedir. Mevcut çalışmada deponun yan duvarlarında geçiş yoktur dolayısı ile bu tez çalışması kapsamında bu tasarım çalışılmayacaktır ancak gelecek çalışmalarda ele alınabilir. Bu tez çalışması kapsamında geçiş koridoru için yalnızca Şekil 3.4a' da gösterilen senaryo incelenmiştir ve bu senaryo "A durumu" olarak adlandırılmıştır.



Şekil 3.4 Orta Geçiş Koridorunun Alabileceği Olası Açılar

"A durumu"nda sipariş toplama koridorlarının alabileceği olası açılar ise Şekil 3.5'de gösterilmiştir. Şekilde sol tarafta yer alan beş depoda orta koridorun solundaki koridorlarının olası açıları, şeklin sağında yer alan beş depoda ise orta koridorun sağındaki koridorların olası açıları gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Sipariş Toplama Koridorlarının Alabileceği Olası Açılar

Öneri 1: Şekil 3.5'de gösterilen (i) ve (j) durumları, (f), (g) ve (h) durumlarına göre her zaman daha fazla ortalama seyahat mesafesi üretmektedir.

O : Deponun alt duvarının tam orta noktası $O = L/2$

L : Deponun uzun kenar uzunluğu

H : Deponun kısa kenar uzunluğu

m : Orta koridorun başlangıç noktası

$T(x,y)$: Orta koridorun sağ tarafında kalan her hangi bir nokta.

p : Depo giriş çıkış noktası $p = \{(x,0): 0 < x < L\} x \in N$

n : Giriş/çıkış noktası sayısı

i : Giriş/çıkış noktası indeksi

n_L ; T noktasının solunda kalan giriş/çıkış noktası sayısı

n_R ; T noktasının sağında kalan giriş/çıkış noktası sayısı

j : Orta koridorun sağında kalan bölgedeki bir noktaya ulaşma açısı indeksi

t : Depo içindeki ürün lokasyonu indeksi

s_R : $m < O$ olduğu durumda O noktasının sağında kalan tüm ürün lokasyonu sayısı

s_L : $m < O$ olduğu durumda O noktasının solunda ve ana koridor arasında kalan tüm ürün lokasyonu sayısı

s : Orta geçiş koridorunun sağında kalan ürün lokasyonu sayısı

c_{ij} : i . Giriş/çıkış noktasından orta koridorun sağındaki herhangi bir T noktasına α_{Rj} açısıyla ulaşma maliyeti

c_{jt} : i . Giriş/çıkış noktasından orta koridorun sağındaki t . noktaya α_{Rj} açısıyla ulaşma maliyeti

P_L : O noktasının solundaki bir noktaya ulaşma olasılığı (s_L/s)

P_R : O noktasının sağındaki bir noktaya ulaşma olasılığı (s_R/s)

$i=1,2,3 \dots n$

$t=1,2,3 \dots s$

$j=1,2,3,4,5$

$j=1$ ise $0 < \alpha_{Rj} < \gamma_R$

$j=2$ ise $\gamma_R < \alpha_{Rj} < B$

$j=3$ ise $B < \alpha_{Rj} < 90^0$

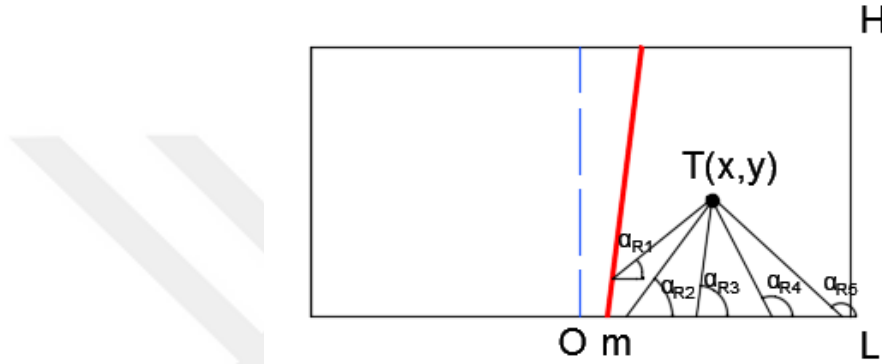
* $j=4$ ise $90^0 < \alpha_{Rj} < \gamma_L$

* $j=5$ ise $\gamma_L < \alpha_{Rj} < 180^0$

İspat 1: Orta koridorun başlangıç noktasının (m) deponun tam orta noktası olarak adlandırılan O noktasının sağında olduğunu düşünelim ($m > O$). Şekil 3.6a'da görüldüğü üzere orta koridorun sağ tarafında kalan alan içinde herhangi bir T noktası seçilsin. Kendisinin solunda kalan tüm giriş/çıkış noktalarından T noktasına Şekil 3.5 (i) ve (j) de yer alan α_{R4} ve α_{R5} açıları ile ulaşmak Şekil 3.5 (f), (g) ve (h) de alan α_{R1} , α_{R2} ve α_{R3} açıları ile ulaşmaya göre her zaman daha fazla mesafe kat edilmesine sebep olmaktadır ve bu durum Denklem 2 ile gösterilmiştir. Kendisinin sağında kalan tüm giriş/çıkış noktalarından T noktasına α_{R4} ve α_{R5} açıları ile ulaşmak α_{R1} , α_{R2} ve α_{R3} açıları ile ulaşmaya göre her zaman daha az mesafe kat edilmesine sebep

olması Denklem 3 ile gösterilmiştir ancak koridor başlangıç noktasının deponun tam orta noktasının sağında olması T noktasının solunda kalan giriş/çıkış noktası sayısının sağında kalan giriş/çıkış noktası sayısından fazla olduğu anlamına gelmektedir. Bu durumda depodaki tüm giriş/çıkış noktalarından deponun sağ bölgesindeki tüm noktalara α_{R4} ve α_{R5} açıları ile ulaşmak α_{R1} , α_{R2} ve α_{R3} açıları ile ulaşmaya göre daha uzun mesafe kat edilmesine sebep olacaktır bu durum Denklem 4 ile gösterilmiştir.

$$\underline{m > O}: m = \{(x, 0) : L/2 < x < L\} \ x \in N, \ T = \{(x, y) : m < x < L, \ 0 < y < H\} \ x \in N, \ y \in N$$



Şekil 3.6 $T > m$ Durumunda Orta Koridorun Sağ Bölgesi için Olası Açılar

$$\text{Eğer } p < T \text{ ise } \frac{1}{3.n_L} \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^{n_L} c_{ij} < \frac{1}{2.n_L} \sum_{j=4}^5 \sum_{i=1}^{n_L} c_{ij} \quad (2)$$

$$\text{Eğer } p > T \text{ ise } \frac{1}{3.n_R} \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^{n_R} c_{ij} > \frac{1}{2.n_R} \sum_{j=4}^5 \sum_{i=1}^{n_R} c_{ij} \quad (3)$$

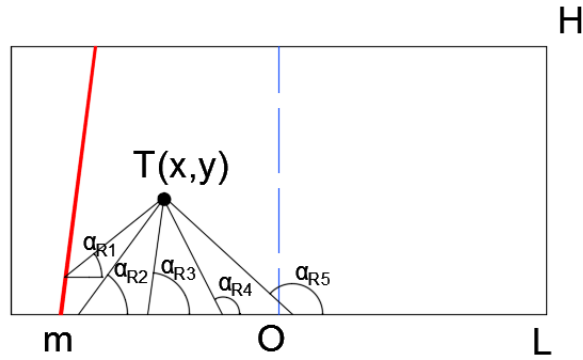
$m > O$ durumunda $n_R < n_L$ O halde:

$$\frac{1}{3.n.s} \sum_{t=1}^s \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^n c_{ijt} < \frac{1}{2.n.s} \sum_{t=1}^s \sum_{j=4}^5 \sum_{i=1}^n c_{ijt} \quad (4)$$

Şekil 3.7'de görülen orta koridor başlangıç noktasının deponun orta noktasının solunda kaldığı durumu inceleyelim. Orta koridor başlangıç noktası ve deponun tam orta noktası arasında bir T noktası olsun. T noktasına kendisinin solunda kalan tüm giriş/çıkış kapılarından α_{R4} ve α_{R5} açılarını kullanarak ulaşmanın maliyeti, α_{R1} , α_{R2} ve α_{R3} açılarını kullanarak ulaşmanın maliyetinden daha büyük olduğu Denklem 5 ile gösterilmiştir ancak aynı noktaya kendisinin sağında kalan tüm giriş/çıkış noktalarından α_{R4} ve α_{R5} açılarını kullanarak ulaşmanın maliyeti α_{R1} , α_{R2}

ve α_{R3} açılarını kullanarak ulaşma maliyetinden daha küçük olduğu Denklem 6 ile gösterilmiştir. $m < O$ olması sebebi ile T noktasının solunda kalan giriş/çıkış kapısı sayısı sağında kalan kapı sayısından küçüktür dolayısı ile depodaki tüm kapılardan deponun sol yarısında yer alan tüm palet lokasyonlarına α_{R4} ve α_{R5} açısı ile ulaşmanın maliyeti α_{R1} , α_{R2} ve α_{R3} açıları ile ulaşma maliyetinden küçüktür. Denklem 7 ile gösterilmiştir.

$m < O$ ve $T < O$ ise $m = \{(x, 0) : 0 < x < L/2\}$, $T = \{(x, y) : m < x < O, 0 < y < H\}$



Şekil 3.7 $m < T < O$ Durumunda Orta Koridorun Sağ Bölgesi için Olası Açılar

$$\text{Eğer } p < T \text{ ise } \frac{1}{3.n_L} \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^{n_L} c_{ij} < \frac{1}{2.n_L} \sum_{j=4}^5 \sum_{i=1}^{n_L} c_{ij} \quad (5)$$

$$\text{Eğer } p > T \text{ ise } \frac{1}{3.n_R} \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^{n_R} c_{ij} > \frac{1}{2.n_R} \sum_{j=4}^5 \sum_{i=1}^{n_R} c_{ij} \quad (6)$$

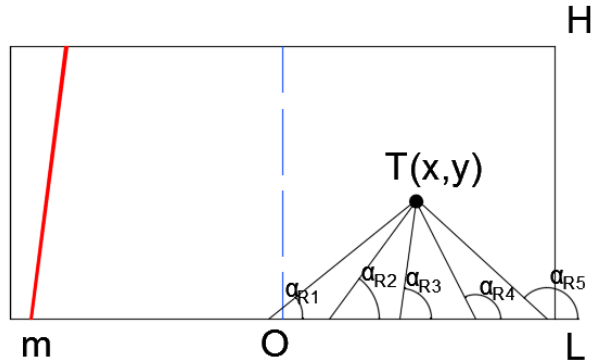
$T < O$ olduğunda $n_R > n_L$ O halde:

$$\frac{1}{3.n.s_L} \sum_{t=1}^{s_L} \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^n c_{ijt} > \frac{1}{2.n.s_L} \sum_{t=1}^{s_L} \sum_{j=4}^5 \sum_{i=1}^n c_{ijt} \quad (7)$$

Orta koridor başlangıç noktasının deponun orta noktasının solunda kaldığı durumda Şekil 3.8'de görüldüğü gibi deponun orta noktasının sağında kalan bir T noktası olsun. T noktasına kendisinin solunda kalan tüm giriş/çıkış kapılarından α_{R4} ve α_{R5} açıları ile ulaşmanın maliyeti, α_{R1} , α_{R2} ve α_{R3} açıları ile ulaşma maliyetinden daha büyük olduğu Denklem 8 ile gösterilmiştir. T noktasına kendisinin sağında kalan tüm kapılardan α_{R4} ve α_{R5} açıları ile ulaşmanın maliyeti α_{R1} , α_{R2} ve α_{R3} açıları ile ulaşma maliyetinden küçük olduğu Denklem 9 ile gösterilmiştir. T noktasının deponun tam orta noktasının sağında olması sebebi ile T noktasının solunda kalan kapı sayısı sağında kalan kapı sayısından fazladır. Bu durumda depodaki tüm

kapılardan deponun sağ yarısındaki tüm palet lokasyonlarına α_{R4} ve α_{R5} açısı ile ulaşmanın maliyeti α_{R1} , α_{R2} ve α_{R3} açıları ile ulaşma maliyetinden büyüktür (Denklem 10). Şekil 3.8'de de görüldüğü üzere deponun sol tarafında orta koridorun yer kaplaması sebebi ile deponun orta koridoru ile tam orta noktası arasında kalan palet lokasyonu sayısı, deponun tam orta noktasının sağında kalan palet lokasyonu sayısından daha azdır. Bu durumda deponun orta noktasının solunda kalan bir palet lokasyonunun ziyaret edilme olasılığı sağında kalan bir noktanın ziyaret edilme olasılığına göre daha azdır. Dolayısı ile depodaki tüm kapılardan koridorun sağında kalan tüm palet lokasyonlarına α_{R4} ve α_{R5} açısı ile ulaşmanın maliyeti α_{R1} , α_{R2} ve α_{R3} açıları ile ulaşma maliyetinden daha büyük olduğu 11. Denklem ile gösterilmiştir.

$m < O$ ve $T > O$ ise $m = \{(x,0): 0 < x < L/2\}$, $T = \{(x,y): O < x < L, 0 < y < H\}$



Şekil 3.8 $m < O < T$ Durumunda Orta Koridorun Sağ Bölgesi için Olası Açılar

$$\text{Eğer } p < T \text{ ise } \frac{1}{3 \cdot n_L} \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^{n_L} c_{ij} < \frac{1}{2 \cdot n_L} \sum_{j=4}^5 \sum_{i=1}^{n_L} c_{ij} \quad (8)$$

$$\text{Eğer } p > T \text{ ise } \frac{1}{3 \cdot n_R} \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^{n_R} c_{ij} > \frac{1}{2 \cdot n_R} \sum_{j=4}^5 \sum_{i=1}^{n_R} c_{ij} \quad (9)$$

$T > O$ olduğunda $n_R < n_L$ O halde:

$$\frac{1}{3 \cdot n \cdot s_R} \sum_{t=1}^{s_R} \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^n c_{ijt} < \frac{1}{2 \cdot n \cdot s_R} \sum_{t=1}^{s_R} \sum_{j=4}^5 \sum_{i=1}^n c_{ijt} \quad (10)$$

$s_L < s_R$ ise $P_L < P_R$ O halde:

$$P_L \frac{1}{3 \cdot n \cdot s} \sum_{t=1}^s \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^n c_{ijt} < P_R \frac{1}{2 \cdot n \cdot s} \sum_{t=1}^s \sum_{j=4}^5 \sum_{i=1}^n c_{ijt} \quad (11)$$

Sonuç olarak orta koridorların alabileceği farklı uç noktalar incelendiğinde her halükarda α_{R4} ve α_{R5} açıları ile yol kat etmenin maliyetinin α_{R1} , α_{R2} ve α_{R3} açıları ile yol kat etme maliyetine göre daha büyük olduğu bu nedenle A durumunun alt durumları oluşturulurken dikkate alınmaması gerektiği saptanmıştır.

Öneri 2: Şekil 3.5'de gösterilen (a), (b) ve (c) durumları, (d) ve (e) durumlarına göre her zaman daha fazla ortalama seyahat mesafesi üretmektedir.

r_R : $m > O$ olduğu durumda O noktasının sağında ve orta koridor arasındaki tüm ürün lokasyonu sayısı

r_L : $m > O$ olduğu durumda O noktasının solunda kalan tüm ürün lokasyonu sayısı

r : Orta koridorun solunda kalan ürün lokasyonu sayısı

c_{ik} : i . Giriş/çıkış noktasından orta koridorun solundaki herhangi bir F noktasına α_{Lk} açısıyla ulaşma maliyeti

c_{ikt} : i . Giriş/çıkış noktasından orta koridorun solundaki t . noktaya α_{Lk} açısıyla ulaşma maliyeti

$k=1,2,3,4,5$

$k=1$ ise $0^0 < \alpha_{Lk} < \gamma_R$

$k=2$ ise $\gamma_R < \alpha_{Lk} < B$

* $k=3$ ise $B < \alpha_{Lk} < 90^0$

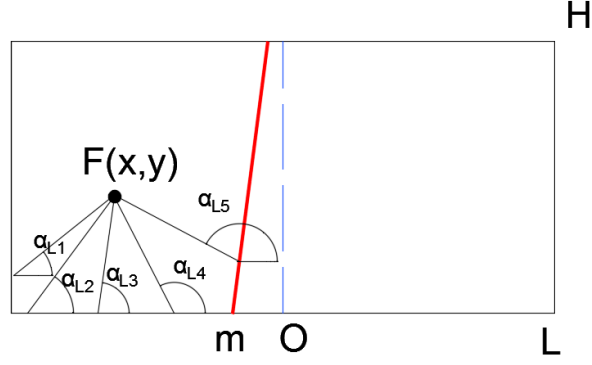
* $k=4$ ise $90^0 < \alpha_{Lk} < \gamma_L$

* $k=5$ ise $\gamma_L < \alpha_{Lk} < 180^0$ olsun

İspat2: Orta koridor başlangıç noktasının Şekil 3.9' daki gibi deponun tam orta noktası olan O noktasının solunda olduğu bir durumda herhangi bir F noktası olsun. F noktasına kendisinin solunda kalan tüm kapılardan Şekil 3.5a, 3.5b ve 3.5c' de gösterilen α_{L1} , α_{L2} ve α_{L3} açıları ile ulaşma maliyeti Şekil 3.5d ve 3.5e' de gösterilen, α_{L4} ve α_{L5} açıları ile ulaşma maliyetinden daha küçük olduğu Denklem 12 ile gösterilmiştir ancak F noktasının sağında kalan tüm kapılardan noktaya α_{L1} , α_{L2} ve α_{L3} açıları ile ulaşma maliyeti α_{L4} ve α_{L5} açıları ile ulaşma maliyetinden daha büyük olduğu Denklem 13 ile gösterilmiştir. $m < O$ durumunun incelenmesi sebebi ile F noktasının solunda kalan kapı sayısı sağında kalan kapı sayısına göre azdır dolayısı ile tüm kapılardan ana koridorun solunda kalan tüm palet lokasyonlarına α_{L1} , α_{L2} ve α_{L3} açıları ile ulaşmanın maliyeti, α_{L4} ve α_{L5} açıları ile ulaşmanın maliyetinden büyüktür. Denklem 14 ile belirtilmiştir.

$F(x,y)$: Ana koridorun sol tarafında kalan her hangi bir nokta.

$m < O$ ve $F < m$ ise $m = \{(x,0) : 0 < x < L/2\} x \in N$, $F = \{(x,y) : 0 < x < L/2, 0 < y < H\} x \in N, y \in N$



Şekil 3.9 $F < m < O$ Durumunda Orta Koridorun Sol Bölgesi için Olası Açılar

$$\text{Eğer } p < F \text{ ise } \frac{1}{3.n_L} \sum_{k=1}^3 \sum_{i=1}^{n_L} c_{ik} < \frac{1}{2.n_L} \sum_{k=4}^5 \sum_{i=1}^{n_L} c_{ik} \quad (12)$$

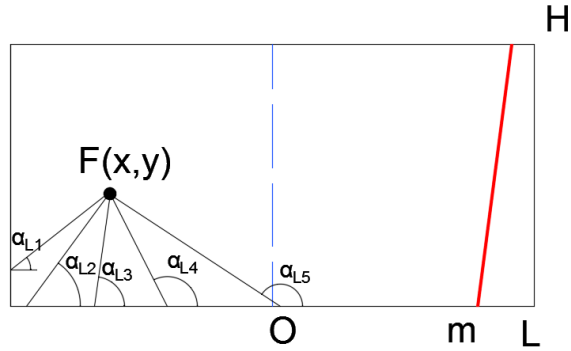
$$\text{Eğer } p > F \text{ ise } \frac{1}{3.n_R} \sum_{k=1}^3 \sum_{i=1}^{n_R} c_{ik} > \frac{1}{2.n_R} \sum_{k=4}^5 \sum_{i=1}^{n_R} c_{ik} \quad (13)$$

$m < O$ durumunda $n_R > n_L$ O halde:

$$\frac{1}{3.n.r} \sum_{t=1}^r \sum_{k=1}^3 \sum_{i=1}^n c_{ikt} > \frac{1}{2.n.r} \sum_{t=1}^r \sum_{k=4}^5 \sum_{i=1}^n c_{ikt} \quad (14)$$

Şekil 3.10'da görüldüğü üzere orta koridor başlangıç noktası deponun orta noktasının sağında olduğu durumu ele alalım, deponun tam orta noktasının solunda bir F noktası olsun. F noktasının solunda kalan tüm kapılardan F noktasına α_{L1} , α_{L2} ve α_{L3} açıları ile ulaşma maliyeti α_{L4} ve α_{L5} açıları ile ulaşma maliyetinden küçük olduğu Denklem 15 ile gösterilmiştir. F noktasına kendisinin sağında kalan tüm kapılardan α_{L1} , α_{L2} ve α_{L3} açıları ile ulaşma maliyetinin α_{L4} ve α_{L5} açıları ile ulaşma maliyetinden büyük olduğu Denklem 16 ile gösterilmiştir. $F < O$ olması sebebi ile F noktasının solunda kalan kapı sayısı sağında kalan kapı sayısından azdır bu nedenle depodaki tüm kapılardan deponun sol yarısındaki tüm palet lokasyonlarına α_{L1} , α_{L2} ve α_{L3} açıları ile ulaşma maliyeti α_{L4} ve α_{L5} açıları ile ulaşma maliyetinden büyüktür, Denklem 17 ile gösterilmiştir.

$m > O$ ve $F < O$ ise $m = \{(x, 0) : L/2 < x < L\}$, $F = \{(x, y) : m < x < O, 0 < y < H\}$



Şekil 3.10 $F < O < m$ Durumunda Orta Koridorun Sol Bölgesi için Olası Açılar

$$p < F \text{ ise } \frac{1}{3.n_L} \sum_{k=1}^3 \sum_{i=1}^{n_L} C_{ik} < \frac{1}{2.n_L} \sum_{k=4}^5 \sum_{i=1}^{n_L} C_{ik} \quad (15)$$

$$p > F \text{ ise } \frac{1}{3.n_R} \sum_{k=1}^3 \sum_{i=1}^{n_R} C_{ik} > \frac{1}{2.n_R} \sum_{k=4}^5 \sum_{i=1}^{n_R} C_{ik} \quad (16)$$

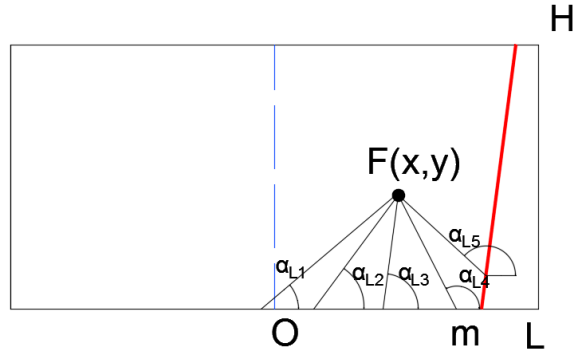
$F < O$ olduğunda $n_R > n_L$ O halde:

$$\frac{1}{3.n.r_L} \sum_{t=1}^{r_L} \sum_{k=1}^3 \sum_{i=1}^n C_{ikt} > \frac{1}{2.n.r_L} \sum_{t=1}^{r_L} \sum_{k=4}^5 \sum_{i=1}^n C_{ikt} \quad (17)$$

Şekil 3.11' de görüldüğü gibi F noktasının O noktası ile orta koridor arasında olduğunu düşünürsek, F noktasına kendisinin solunda kalan tüm kapılardan α_{L1} , α_{L2} ve α_{L3} açıları ile ulaşma maliyeti, α_{L4} ve α_{L5} açıları ile ulaşma maliyetinden daha küçük olması Denklem 18 ile gösterilmiştir. Aynı F noktasına kendisinin sağında kalan tüm kapılardan α_{L1} , α_{L2} ve α_{L3} açıları ile ulaşma maliyeti α_{L4} ve α_{L5} açıları ile ulaşma maliyetinden daha büyük olduğu Denklem 19 ile gösterilmiştir. F noktasının deponun orta noktasının sağında olması sebebi ile sağında kalan kapı sayısı solunda kalan kapı sayısından daha azdır. Bu nedenle tüm kapılardan O noktasının sağında ve orta koridor arasındaki tüm palet lokasyonlarına α_{L1} , α_{L2} ve α_{L3} açıları ile ulaşma maliyeti α_{L4} ve α_{L5} açıları ile ulaşma maliyetinden daha küçüktür. Ancak orta koridorun deponun sağ yarısında yer alması sebebi ile deponun orta noktasının solunda kalan palet lokasyon sayısı deponun sağ ile ana koridor arasında kalan palet lokasyon sayısından fazladır. Dolayısı ile soldaki bir palet lokasyonunun sağdaki bir palet lokasyonuna göre ziyaret edilme olasılığı daha büyüktür. Bu nedenle orta

koridorun solunda kalan tüm noktalara tüm kapılardan α_{L1} , α_{L2} ve α_{L3} açıları ile ulaşma maliyeti α_{L4} ve α_{L5} açıları ile ulaşma maliyetinden daha büyüktür.

$F(x,y)$: Deponun sağ yarısında, ana koridorun sol tarafında kalan her hangi bir nokta.
 $m > 0$ ve $0 < F < m$ ise $m = \{(x,0): 0 < x < L/2\}$, $F = \{(x,y): 0 < x < L, 0 < y < H\}$



Şekil 3.11 $O < F < m$ Durumunda Orta Koridorun Sol Bölgesi için Olası Açılar

$$\text{Eğer } p < F \text{ ise } \frac{1}{3 \cdot n_L} \sum_{k=1}^3 \sum_{i=1}^{n_L} c_{ik} < \frac{1}{2 \cdot n_L} \sum_{k=4}^5 \sum_{i=1}^{n_L} c_{ik} \quad (18)$$

$$\text{Eğer } p > F \text{ ise } \frac{1}{3 \cdot n_R} \sum_{k=1}^3 \sum_{i=1}^{n_R} c_{ik} > \frac{1}{2 \cdot n_R} \sum_{k=4}^5 \sum_{i=1}^{n_R} c_{ik} \quad (19)$$

$O < F < m$ olduğunda $n_R < n_L$ o halde:

$$\frac{1}{3 \cdot n \cdot r_R} \sum_{t=1}^{r_R} \sum_{k=1}^3 \sum_{i=1}^n c_{ikt} < \frac{1}{2 \cdot n \cdot r_R} \sum_{t=1}^{r_R} \sum_{k=4}^5 \sum_{i=1}^n c_{ikt} \quad (20)$$

$r_L > r_R$ ise $P_L > P_R$ O halde:

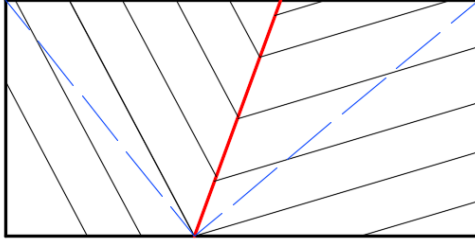
$$P_L \frac{1}{3 \cdot n \cdot r} \sum_{t=1}^r \sum_{k=1}^3 \sum_{i=1}^n c_{ikt} < P_R \frac{1}{2 \cdot n \cdot r} \sum_{t=1}^r \sum_{k=4}^5 \sum_{i=1}^n c_{ikt} \quad (21)$$

Sonuç olarak orta koridorun alabileceği farklı uç noktalar incelendiğinde her halükarda α_{L1} , α_{L2} ve α_{L3} açıları ile yol kat etmenin maliyetinin α_{L4} ve α_{L5} açıları ile yol kat etme maliyetine göre daha büyük olduğu, bu nedenle A durumun alt durumları oluşturulurken deponun sol bölgesindeki koridorların açıları olarak Şekil 3.5a, 3.5b ,3.5c deki α_{L1} , α_{L2} ve α_{L3} açılarının dikkate alınmasına gerek olmadığı saptanmıştır.

A durumunun olası alt durumları oluşturulurken deponun sol bölgesi için Şekil 3.5d ve 3.5e'de gösterilen koridor açıları, deponun sağ bölgesi için Şekil 3.5f,

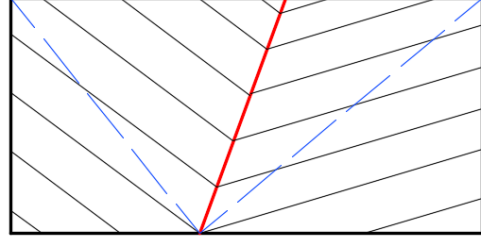
3.5g ve 3.5h'de gösterilen koridor açıları kullanılmıştır. Bu durumda A durumu için toplam 6 adet alt durum oluşturulmuştur. Bu alt durumlar 3.12' de gösterilmiştir.

DurumA1: $90^0 < \alpha_L < \gamma_L$ & $0^0 < \alpha_R < \gamma_R$



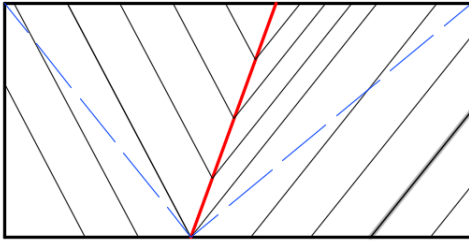
(a)

DurumA2: $\gamma_L < \alpha_L < 180^0$ & $0^0 < \alpha_R < \gamma_R$



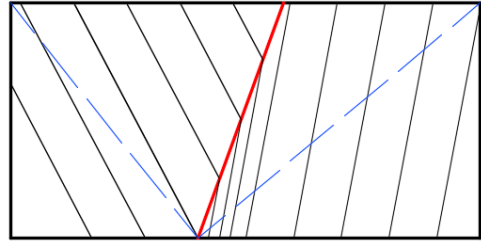
(b)

DurumA3: $90^0 < \alpha_L < \gamma_L$ & $\gamma_R < \alpha_R < B$



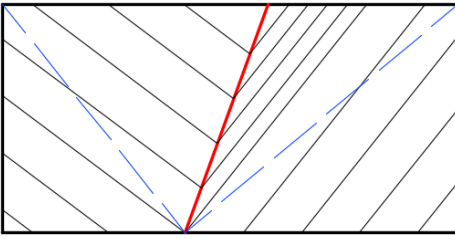
(c)

DurumA4: $90^0 < \alpha_L < \gamma_L$ & $B < \alpha_R < 90^0$



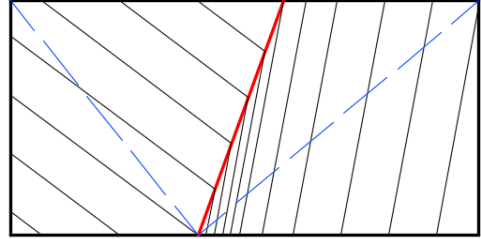
(d)

DurumA5: $\gamma_L < \alpha_L < 180^0$ & $\gamma_R < \alpha_R < B$



(e)

DurumA6: $\gamma_L < \alpha_L < 180^0$ & $B < \alpha_R < 90^0$



(f)

Şekil 3.12 Durum A'nın Alt Durumları

Şekil 3.12a'da görülen olası alt durumlardan birincisinde orta koridorun sağındaki sipariş toplama koridorlarının açısı (α_R), 0^0 ile geçiş koridorunun başlangıç noktası ile deponun sağ üst köşe noktası arasındaki doğrunun açısı (γ_R) arasında sınırlandırılmıştır. Orta geçiş koridorunun solundaki sipariş toplama koridorlarının açısı (α_L), ise 90^0 ile geçiş koridorunun başlangıç noktasından deponun sol üst köşe noktasına olan doğrunun açısı (γ_L) arasında sınırlandırılmıştır. Şekil 3.12b'de görülen olası alt durumlardan ikincisinde orta koridorun solunda kalan koridorların açısı γ_L ile 180^0 arasında, sağında kalan koridorlarının açısı 0^0 ile γ_R arasında sınırlandırılmıştır. Şekil 3.12c'de olası alt durumlardan üçüncüsü yer almaktadır. Orta

koridorun solundaki koridorlarının açısı 90^0 ile γ_L arasında, sağ bölge koridorlarının açısı γ_R ile β arasında sınırlandırılmıştır. Şekil 3.12d' de yer alan olası alt durumlardan dördüncüsünde orta koridorun solundaki koridorlarının açısı 90^0 ile γ_L arasında, sağdaki koridorlarının açısı β ile 90^0 arasında sınırlandırılmıştır. Şekil 3.12e' de yer alan olası alt durumlardan beşincisinde orta koridorun solundaki koridorlarının açısı γ_L ile 180^0 arasında, sağ bölge koridorlarının açısı γ_R ile β arasında sınırlandırılmıştır. Şekil 3.12f' de olası alt durumlardan altıncısında orta koridorun solundaki bölge koridorlarının açısı γ_L ile 180^0 arasında, sağ bölge koridorlarının açısı β ile 90^0 arasında sınırlandırılmıştır.

3.2 Mesafe Denklemlerinin Belirlenmesi

Açısal farklılıklar sebebi ile her bir alt durumda giriş/çıkış kapısından ürün lokasyonuna ulaşmak için kat edilen mesafe farklıdır. Her bir alt durum için bir ürüne ulaşmak için kat edilmesi gereken ortalama uzaklığı veren denklemler yani ortalama maliyet fonksiyonları oluşturulmakta ve her bir alt durum için ortalama maliyeti minimum kılan koridor açıları ve orta koridor konumu belirlenmektedir. Her bir alt durum ile elde edilen ortalama maliyetler karşılaştırılarak minimum maliyeti veren durumun koridor açıları ve orta koridor konumunun belirlenmesi hedeflenmiştir.

Bu aşamada öncelikle her alt durum için ayrı ayrı ulaşma maliyeti fonksiyonları oluşturulmaktadır. Depolama alanındaki her ürün lokasyonuna ulaşmak için kat edilen mesafe aynı değildir. Dolayısı ile maliyet fonksiyonları oluşturulurken önce depolama alanı, ulaşma fonksiyonları aynı olan ürün lokasyonları bir arada olacak şekilde bölgelere ayrılmıştır. Giriş/çıkış kapısından her bir bölgedeki herhangi bir noktaya ulaşmak için kat edilen mesafe denklemleri hazırlanmıştır. Daha sonra giriş/çıkış noktalarından her bir bölgedeki tüm ürün lokasyonlarına ulaşma maliyeti fonksiyonları belirlenmiştir. Her bir bölge için elde edilen ulaşma maliyetlerinin toplamı, giriş/çıkış noktasından depolama alanındaki tüm ürün lokasyonlarına ulaşmanın toplam maliyetini vermektedir. Bir kapıdan bir ürün lokasyonuna ulaşmanın ortalama maliyetini gösteren denklem toplam maliyet denklemini kapı sayısı ve ürün lokasyonu sayısına bölünmesi ile elde edilmektedir. Herhangi bir kapıdan herhangi bir ürüne ulaşmanın ortalama maliyeti giriş/çıkış kapısından, ürünü yerinden almak ya da ürünü depolama alanına yerleştirmek için kat edilen tek yönlü mesafedir.

Bu tez çalışmasında depoda birden çok giriş/çıkış kapısı bulunmaktadır. Kapıların konumları aralarında a birim uzaklık olacak şekilde önceden belirlenmiştir. Kapılardan bazıları orta koridorun solunda yer alırken bazıları sağında yer almaktadır ancak orta koridor başlangıç noktası çalışmanın değişkenlerinden biri olması sebebi ile hangi kapıların m 'nin sağında hangilerinin solunda olduğu bilinmemektedir. Bu nedenle kapılar ile ürün lokasyonları arasındaki uzaklıklar belirlenirken kapının m noktasının sağında ya da solunda olması durumlarının her ikisi için de uzaklık fonksiyonları belirlenmektedir. Eğer her hangi bir giriş/çıkış noktası m 'nin solunda ise kapıdan her bölge içindeki herhangi bir ürün lokasyonuna ulaşmak için kat edilmesi gereken mesafeleri bulmak için aşağıdaki uzaklık fonksiyonları kullanılmaktadır.

$$LA(x, y) = (x - p(i)) - \frac{y}{\tan(\alpha_R)} + \frac{y}{\sin(\alpha_R)} \quad (22)$$

$$LB(x, y) = (m - p(i)) + \frac{y}{\sin(\theta)} \left(\cos(\beta - \theta) - \sin(\beta - \theta) \cdot \cot(\beta - \alpha_R) + \frac{\sin(\beta - \theta)}{\sin(\beta - \alpha_R)} \right) \quad (23)$$

$$LC_{Geri}(x, y) = p(i) - x - \frac{y}{\tan(180 - \alpha_L)} + \frac{y}{\sin(180 - \alpha_L)} \quad (24)$$

$$LC_{İleri}(x, y) = x - p(i) + \frac{y}{\tan(180 - \alpha_L)} + \frac{y}{\sin(180 - \alpha_L)} \quad (25)$$

$$LD_{İleri}(x, y) = (m - p(i)) + \frac{y}{\sin(\theta)} \left(\cos(\theta - \beta) - \sin(\theta - \beta) \cot(\alpha_L - \beta) + \frac{\sin(\theta - \beta)}{\sin(\alpha_L - \beta)} \right) \quad (26)$$

$$LD_{Geri}(x, y) = (m - p(i)) + \frac{y}{\sin(180 - \theta_2)} \left(\cos(\theta_2 - \beta) - \sin(\theta_2 - \beta) \cot(\alpha_L - \beta) + \frac{\sin(\theta_2 - \beta)}{\sin(\alpha_L - \beta)} \right) \quad (27)$$

$$\begin{aligned}
UY1(x, y) &= m + \text{Cos}(\beta)(-m + x - y\text{Cot}(\alpha_R)) - p(i) + \\
&(-m + x - y\text{Cot}(\alpha_R))\text{Cot}(\alpha_R - \beta)\text{Sin}(\beta) + \\
&\text{Sec}(\alpha_R)(m - x + \text{Cos}(\beta)(\text{Cos}(\beta)(-m + x - y\text{Cot}(\alpha_R)) + \\
&(-m + x - y\text{Cot}(\alpha_R))\text{Cot}(\alpha_R - \beta)\text{Sin}(\beta)))
\end{aligned} \tag{28}$$

$$\begin{aligned}
UY2(x, y) &= x + \text{HCot}(\alpha_R) - y\text{Cot}(\alpha_R) - \text{HCot}(\beta) + \text{HCsc}(\beta) - p(i) + \\
&(\text{HCot}(\alpha_R) - y\text{Cot}(\alpha_R))\text{Sec}(\alpha_R)
\end{aligned} \tag{29}$$

Ancak eğer her hangi bir giriş/çıkış noktası m 'nin sağında ise kapıdan her bölge içindeki herhangi bir ürün lokasyonuna ulaşmak için kat edilmesi gereken mesafeleri bulmak için aşağıdaki uzaklık fonksiyonları kullanılmaktadır.

$$RA_{İleri}(x, y) = (x - p(i)) - \frac{y}{\text{Tan}(\alpha_R)} + \frac{y}{\text{Sin}(\alpha_R)} \tag{30}$$

$$RA_{Geri}(x, y) = (p(i) - x) + \frac{y}{\text{Tan}(\alpha_R)} + \frac{y}{\text{Sin}(\alpha_R)} \tag{31}$$

$$\begin{aligned}
RB(x, y) &= (p(i) - m) + \\
&\frac{y}{\text{Sin}(\theta)} \left(\text{Cos}(\beta - \theta) - \text{Sin}(\beta - \theta)\text{Cot}(\beta - \alpha_R) + \frac{\text{Sin}(\beta - \theta)}{\text{Sin}(\beta - \alpha_R)} \right)
\end{aligned} \tag{32}$$

$$RC(x, y) = p(i) - x - \frac{y}{\text{Tan}(180 - \alpha_L)} + \frac{y}{\text{Sin}(180 - \alpha_L)} \tag{33}$$

$$\begin{aligned}
RD_{İleri}(x, y) &= (p(i) - m) + \\
&\frac{y}{\text{Sin}(\theta)} \left(\text{Cos}(\theta - \beta) - \text{Sin}(\theta - \beta)\text{Cot}(\alpha_L - \beta) + \frac{\text{Sin}(\theta - \beta)}{\text{Sin}(\alpha_L - \beta)} \right)
\end{aligned} \tag{34}$$

$$\begin{aligned}
RD_{Geri}(x, y) &= (p(i) - m) + \\
&\frac{y}{\text{Sin}(180 - \theta_2)} \left(\text{Cos}(\theta_2 - \beta) - \text{Sin}(\theta_2 - \beta)\text{Cot}(\alpha_L - \beta) + \frac{\text{Sin}(\theta_2 - \beta)}{\text{Sin}(\alpha_L - \beta)} \right)
\end{aligned} \tag{35}$$

$$\theta = \text{ArcTan}\left(\frac{y}{x - m}\right) \tag{36}$$

$$\theta_2 = 180 - \text{ArcTan}\left(\frac{y}{m - x}\right) \tag{37}$$

$noPD$: Kapı sayısı

$p(i)$: i . kapı lokasyonu ($i=1, \dots, 19$)

H : Deponun kısa kenar uzunluğu

L : Deponun uzun kenar uzunluğu

m : Orta geçiş koridorunun x eksenindeki konumu

α_R : Orta geçiş koridorunun sağındaki sipariş toplama koridorlarının açısı

α_L : Orta geçiş koridorunun solundaki sipariş toplama koridorlarının açısı

θ : Orta geçiş koridorunun başlangıç noktasının sağında kalan herhangi bir (x,y) noktasının, orta koridor başlangıç noktası ile arasındaki doğrunun açısı.

θ_2 : Orta geçiş koridorunun başlangıç noktasının solunda kalan herhangi bir (x,y) noktasının orta koridor başlangıç noktası ile arasındaki doğrunun açısı.

Depolama alanındaki tüm noktalara ulaşmanın maliyeti depoyu oluşturan bölgelerdeki ürün lokasyonlarına ulaşma maliyetlerinin toplamları ile elde edilmekte olduğunu belirtmiştik. Bu bölgelerin sınırlarını ifade etmek için kullanılan doğru denklemleri ve noktalar aşağıda verilmiştir:

$x^{(\dots)}$ ve $y^{(\dots)}$ ile gösterilenler doğru denklemlerini, $R_x, F_x, T_y, K_y, q_L, q_R, q_{R2}$ şeklinde gösterilenler ise noktaları ifade etmektedir.

$$q_L = \frac{H}{\tan(180 - \alpha_L)} \quad (38)$$

$$q_R = L - \frac{H}{\tan(\alpha_R)} \quad (39)$$

$$q_{R2} = m + \frac{H}{\tan(\beta)} - \frac{H}{\tan(\alpha_R)} \quad (40)$$

$$y^{(1)} = (x - m)\tan(\alpha_R) \quad (41)$$

$$y^{(2)} = (x - m)\tan(\gamma_R) \quad (42)$$

$$y^{(3)} = (x - m)\tan(\beta) \quad (43)$$

$$y^{(4)} = (x - q_L)\tan(\alpha_L) \quad (44)$$

$$y^{(5)} = (x - p(i))\tan(\alpha_L) \quad (45)$$

$$y^{(6)} = (x - m)\tan(\alpha_L) \quad (46)$$

$$y^{(7)} = -p(i)\tan(\alpha_L) \quad (47)$$

$$y^{(8)} = (x - p(i))\text{Tan}(\alpha_R) \quad (48)$$

$$y^{(9)} = (x - m)\text{Tan}(\gamma_L) \quad (49)$$

$$y^{(10)} = (x - q_R)\text{Tan}(\alpha_R) \quad (50)$$

$$y^{(11)} = (x - q_{R2})\text{Tan}(\alpha_R) \quad (51)$$

$$y^{(12)} = \frac{2(m - x)\text{Cos}\left(\frac{\alpha_R}{2}\right)^2 \text{Sin}\left(\frac{\beta}{2}\right)}{-\text{Cos}\left(\frac{\beta}{2}\right) + \text{Sin}(\alpha_R)\text{Sin}\left(\frac{\beta}{2}\right)} \quad (52)$$

$$y^{(13)} = \frac{1}{2}(\text{HCot}(\alpha_R) - \text{HCot}(\beta) + \text{HCsc}(\alpha_R) + \text{HCsc}(\beta))\text{Sin}(\alpha_R) \quad (53)$$

$$x^{(1)} = \frac{y}{\text{Tan}(\alpha_R)} + m \quad (54)$$

$$x^{(2)} = \frac{y}{\text{Tan}(\gamma_R)} + m \quad (55)$$

$$x^{(3)} = \frac{y}{\text{Tan}(\beta)} + m \quad (56)$$

$$x^{(4)} = \frac{y}{\text{Tan}(\alpha_L)} + q_L \quad (57)$$

$$x^{(5)} = \frac{y}{\text{Tan}(\alpha_L)} + p(i) \quad (58)$$

$$x^{(6)} = \frac{y}{\text{Tan}(\alpha_L)} + m \quad (59)$$

$$x^{(8)} = \frac{y}{\text{Tan}(\alpha_R)} + p(i) \quad (60)$$

$$x^{(9)} = \frac{y}{\text{Tan}(\gamma_L)} + m \quad (61)$$

$$x^{(10)} = \frac{y}{\text{Tan}(\alpha_R)} + q_R \quad (62)$$

$$x^{(11)} = \frac{y}{\tan(\alpha_R)} + q_{R2} \quad (63)$$

$$R_x = \frac{1}{2}(2m + H(2\cot(\beta) - \sin(\alpha_R) + \tan\left(\frac{\alpha_R}{2}\right) + \cos(\alpha_R)\tan\left(\frac{\alpha_R}{2}\right))) \quad (64)$$

$$K_y = (p(i) - m)\tan(\beta) \quad (65)$$

$$T_y = \frac{(p(i) - m)\tan(\alpha_R)\tan(\beta)}{\tan(\alpha_R) - \tan(\beta)} \quad (66)$$

$$F_x = \frac{H}{\tan(\beta)} + m \quad (67)$$

$$\gamma_L = \text{ArcTan}\left(\frac{H}{L - m}\right) \quad (68)$$

$$\gamma_R = 180 - \text{ArcTan}\left(\frac{H}{m}\right) \quad (69)$$

q_L : Sol üst köşe noktasından α_L açısı ile çizilen doğrunun x eksenini kestiği nokta.

q_R : Sağ üst köşe noktasından α_R açısı ile çizilen doğrunun x eksenini kestiği nokta.

q_{R2} : Orta geçiş koridorunun depo üst duvarını kestiği noktadan α_R açısı ile çizilen doğrunun x eksenini kestiği nokta.

R_x : $y^{(11)}$ ile $y^{(12)}$ doğrularının kesiştiği noktanın x koordinatı

F_x : $y^{(3)}$ ile H doğrusunun kesiştiği noktanın x koordinatı

T_y : $y^{(3)}$ ile $y^{(8)}$ doğrusunun kesiştiği noktanın y koordinatı

K_y : $y^{(3)}$ ile $p(i)$ doğrusunun kesiştiği noktanın y koordinatı

γ_L : Orta geçiş koridorunun başlangıç noktası ile deponun sol üst köşe noktası arasında kalan doğrunun açısı.

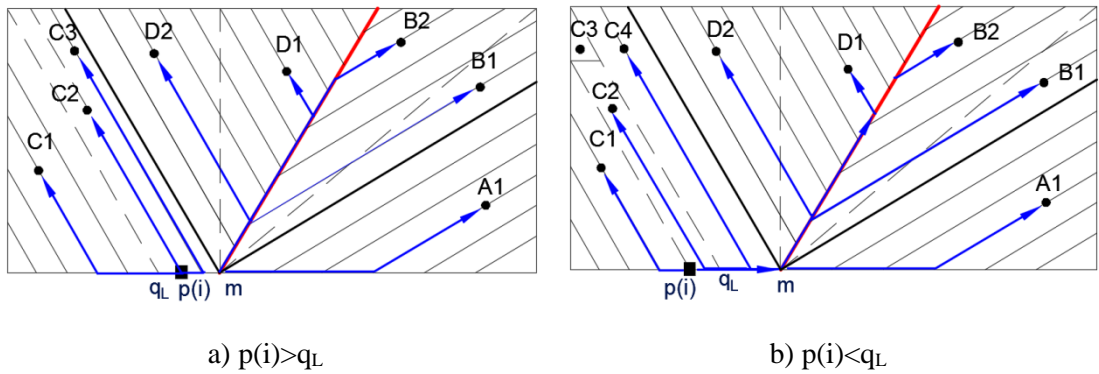
γ_R : Orta geçiş koridorunun başlangıç noktası ile deponun sağ üst köşe noktası arasında kalan doğrunun açısı.

Her bölge içinde herhangi bir ürün lokasyonuna orta koridorun solunda yer alan kapılardan ulaşmak için kat edilen mesafeleri gösteren denklemler $LA(x,y)$, $LB(x,y)$, $LC_{Geri}(x,y)$, $LC_{İleri}(x,y)$, $LD_{İleri}(x,y)$, $LD_{Geri}(x,y)$, $UY1(x,y)$, $UY2(x,y)$ ile ifade edilmiş, orta koridorun sağında kalan kapılardan ulaşmak için kat edilen mesafeleri gösteren denklemler $RA_{Geri}(x,y)$, $RA_{İleri}(x,y)$, $LB(x,y)$, $LC(x,y)$, $LD_{İleri}(x,y)$, $LD_{Geri}(x,y)$ ile gösterilmiştir. m' nin solunda kalan kapılardan her bölge içerisinde yer alan tüm ürün lokasyonlarına ulaşmak için kat edilen toplam uzaklıklar $LA1$, $LA2$, $LA3$, $LA4$, $LA5$, $LA6$, $LA7$, $LAlan1$, $LAlan2$, $LB1$, $LB2$, $LB3$, $LC1$, $LC2$, $LC3$, $LC4$, $LD1$, $LD2$,

$LD3$ ile, m nin sağında kalan kapılardan her bölge içerisinde yer alan tüm ürün lokasyonlarına ulaşmak için kat edilen toplam uzaklık $RA1, RA2, RA3, RA4, RA5, RA6, RA7, RB1, RB2, RC1, RC2, RD1, RD2, RD3$ ile ifade edilmiştir ancak bu ifadeler her durum için farklıdır dolayısı ile formülün hangi alt duruma ait olduğunu belirtmek için durum numarası alt indis olarak belirtilmiştir.

3.2.1 Durum A1 için Maliyet Fonksiyonu Belirleme

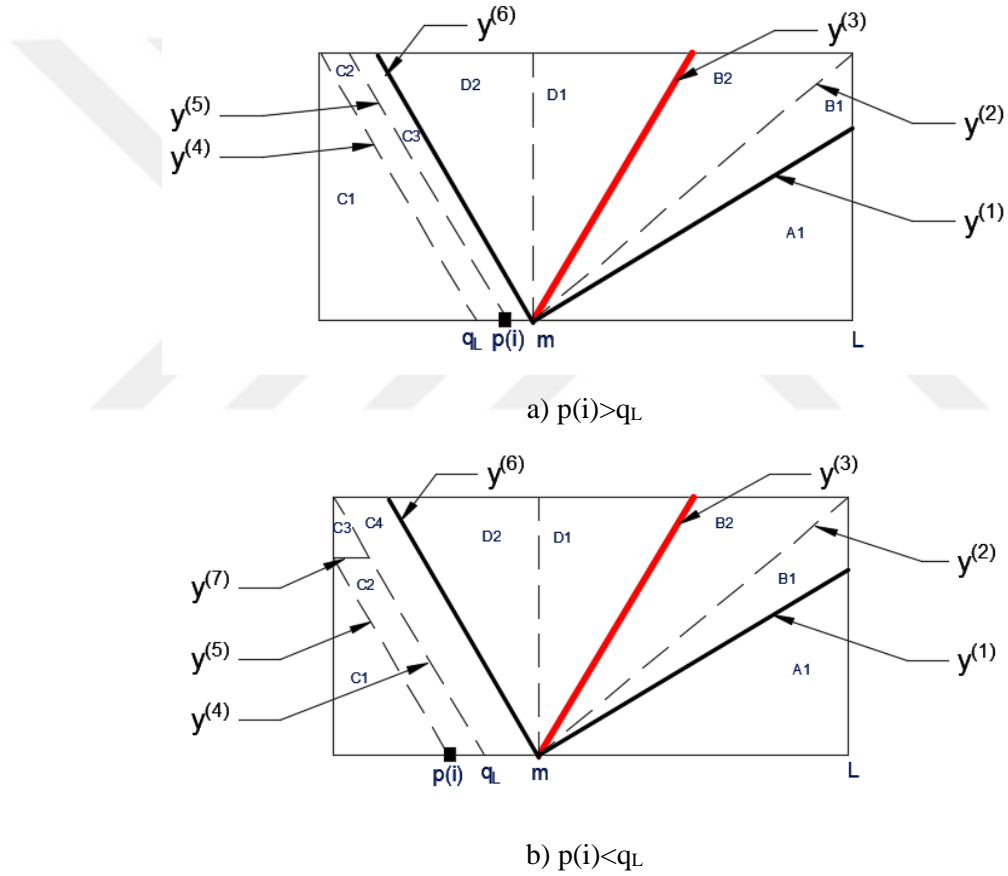
Durum A1, orta geçiş koridor açısının (β) γ_R ile 90^0 arasında olduğu, orta geçiş koridorun sağında kalan alandaki sipariş toplama koridorlarının açısının (α_R) 0^0 ile γ_R arasında olduğu, orta geçiş koridorunun sol tarafında kalan alandaki sipariş toplama koridorların açısının (α_L) ise 90^0 ile γ_L arasında olduğu durumdur. DurumA1 de Şekil 3.13' de görüldüğü üzere deponun farklı bölgelerinde yer alan her bir noktaya ulaşmanın rotası birbirinden farklıdır. Örneğin; Şekil 3.13a'da A1 bölgesindeki her hangi noktaya ulaşmanın yolu giriş/çıkış noktasından başlayıp önce alt ana koridor boyunca sağa doğru ilerleyip, sonra noktanın bulunduğu sipariş toplama koridorundan girip oradan ilerlemek şeklinde olurken, D2 bölgesinde bulunan herhangi bir noktaya ulaşmanın yolu önce alt ana koridordan orta koridorunun başlangıcına kadar sağ yönde ilerleyip, başlangıç noktasında orta geçiş koridoruna girip en son sipariş toplama koridorundan ilerlemek şeklindedir.



Şekil 3.13 Durum A1de G/Ç nin Orta Koridorun Solunda Yer Aldığında Ürün Lokasyonlarına Ulaşma Rotası

Deponun farklı bölgelerine ulaşmanın güzergahlarının birbirinden farklı olması sebebi ile aynı uzaklık formülü ile hesaplanan noktaları bir kümede bulunduracak şekilde depo A1 durumuna özel şekilde bölgelere ayrılmıştır ve

herhangi bir giriş/çıkış kapısından depo içindeki tüm noktalara ulaşmanın maliyeti bu küçük bölgelerdeki noktalara ulaşma maliyetlerinin toplamları ile elde edilmiştir. Ancak depo bölgelere ayrılırken giriş/çıkış noktasının konumu önem teşkil etmektedir. Kapının m noktasının sağında ya da solunda olmasına göre ürüne ulaşma rotası değişiklik göstermektedir ve depo bu rotalara göre bölgelere ayrılmaktadır. Kapının başlangıç noktası m 'nin solunda ise depo Şekil 3.14'deki gibi bölgelere ayrılmıştır. Ancak birde kapının q_L ye göre konumu uzaklık fonksiyonu yaratma aşamasında önemlidir. q_L , sol üst köşeden α_L açısı ile çizilen doğrunun x eksenini kestiği noktadır. Kapı, q_L noktasının sağ tarafında ise bölge Şekil 3.14a'daki gibi bölgelere ayrılmıştır, sol tarafında ise Şekil 3.14b'deki gibi bölgelere ayrılmıştır.



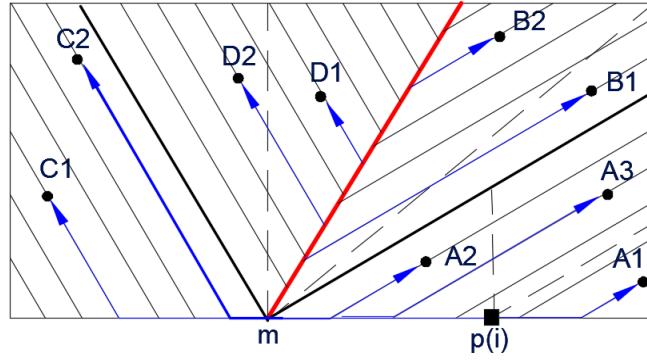
Şekil 3.14 Durum A1 de G/Ç nin Orta Koridorun Solunda Yer Aldığında Depo Alanının Bölgelere Ayrılması

Şekil 3.14'de yer alan iki depoda A, B ve D harfleri ile ifade edilen bölgelerde bulunan noktalara ulaşma maliyeti aynıdır ve bu bölgelerin sınır denklemleri de aynıdır. Ancak her iki depoda C harfleri ile ifade edilen bölgeler farklıdır çünkü q_L nin solunda kalan bir kapıdan $y^{(5)}$ doğrusunun solunda kalan noktalara sola giderek

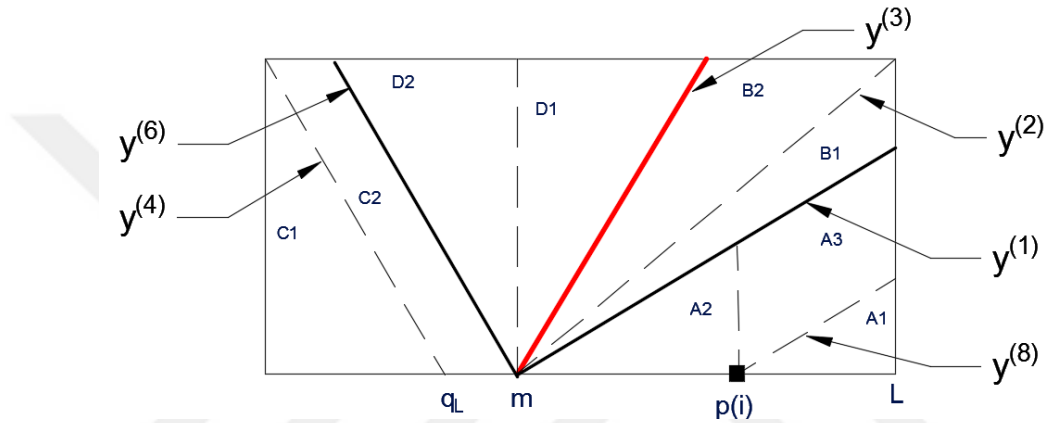
ulaşılmakta, sağında kalan noktalara sağa giderek ulaşılmaktadır. Sağa giderek ulaşılacak olan bölge integrali alınabilecek şekilde tekrar küçük parçalar haline getirilmiştir ve C2, C3 ve C4 bölgeleri oluşturulmuştur. q_L nin sağında kalan bir kapıdan $y^{(5)}$ doğrusunun solunda kalan noktalara sola giderek ulaşılmakta, sağında kalan noktalara sağa giderek ulaşılmaktadır. Solunda kalan alan integrali alınabilmesi için ikiye ayrılmıştır bu şekilde C1 ve C2 bölgeleri oluşmuştur. Giriş/çıkış kapısının m'nin solunda olduğu her iki tasarımda giriş/çıkış noktasından bahsi geçen depolardaki A1 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $LA(x,y)$, B1 ve B2 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $LB(x,y)$, D1 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $LD_{İleri}(x,y)$ ve D2 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $LD_{Geri}(x,y)$ fonksiyonları ile hesaplanmaktadır. Adı geçen bölgelerdeki tüm ürün lokasyonlarına ulaşmanın maliyeti sırasıyla LA_{D1} , LB_{D1} , LB_{2D1} , LD_{1D1} ve LD_{2D1} ile gösterilmiştir.

Şekil 3.14'deki C1 ve C2 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $LC_{Geri}(x,y)$, C3 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $LC_{İleri}(x,y)$ denklemi ile hesaplanmaktadır. Bu bölgelerdeki tüm ürün noktalarına ulaşmanın maliyeti sırasıyla LC_{1D1a} , LC_{2D1a} ve LC_{3D1a} ile gösterilmektedir. Şekil 3.14b' de C1 ile gösterilen bölgede kapıdan herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $LC_{Geri}(x,y)$ C2, C3 ve C4 bölgelerindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $LC_{İleri}(x,y)$ fonksiyonu ile gösterilmektedir. C1, C2, C3 ve C4 bölgelerindeki tüm noktalara ulaşma maliyeti sırasıyla LC_{1D1b} , LC_{2D1b} , LC_{3D1b} ve LC_{4D1b} ile belirtilmektedir.

Depo giriş/çıkış noktasının, ana koridorun sağ tarafında yer aldığı Şekil 3.15'e bakıldığında A1 noktasına ulaşmak için giriş/çıkış noktasından alt ana koridoru takip ederek noktanın bulunduğu sipariş toplama koridoru başlangıcına kadar sağa doğru ilerleyip, başlangıç noktasına gelindiğinde ise koridora girip koridor boyunca ilerlemek gerekir. Ancak yine deponun sağ yarısına ait merkezi sipariş toplama koridoru altında yer alan A2 noktasına ulaşmak için önce giriş/çıkış noktasından hedef noktanın bulunduğu koridorun başlangıcına kadar geriye doğru yol kat edip ardından koridora girip ilerlemek gerekmektedir. Dolayısı ile bu durumda da aynı uzaklık denklemi ile ulaşılacak noktalar bir kümede olacak şekilde depo alanı Şekil 3.16' daki gibi bölümlere ayrılmıştır.



Şekil 3.15 Durum A1de G/Ç nin Orta Koridorun Sağında Yer Aldığında Ürün Lokasyonlarına Ulaşma Rotası



Şekil 3.16 Durum A1 de G/Ç nin Orta Koridorun Sağında Yer Aldığında Depo Alanının Bölgelere Ayrılması

Şekil 3.16' da belirtilen giriş/çıkış noktasından A1 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RA_{Ileri}(x,y)$ denklemi ile hesaplanırken bu bölgedeki tüm noktalara ulaşmanın maliyeti RA_{DI} ile hesaplanmaktadır. A2 ve A3 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RA_{Geri}(x,y)$ denklemi ile A2 ve A3 bölgesindeki tüm noktalara ulaşma maliyeti RA_{2DI} ve RA_{3DI} ile gösterilmiştir. B1 ve B2 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RB(x,y)$ denklemi ile hesaplanırken bu bölgelerdeki tüm noktalara ulaşmanın maliyeti RB_{DI} , ve RB_{2DI} ile ifade edilmiştir. C1 ve C2 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RC(x,y)$ denklemi ile hesaplanmakta ve bu bölgelerdeki tüm noktalara ulaşmanın maliyeti RC_{DI} ve RC_{2DI} ile ifade edilmektedir. D1 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RD_{Ileri}(x,y)$ denklemi ile bu bölgedeki tüm noktalara ulaşmanın maliyeti RD_{DI} ve D2 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RD_{Geri}(x,y)$ denklemi ile bu bölgedeki tüm noktalara ulaşmanın maliyeti RD_{2DI} ile ifade edilmektedir.

Depo giriş/çıkış noktasından tüm ürün lokasyonlarına ulaşmanın toplam maliyeti kapıdan her bir küçük bölgedeki ürün lokasyonlarına ulaşma maliyetlerinin toplamı ile elde edilmektedir. Ortalama maliyet ise toplam maliyetin ürün lokasyonu sayısı ve kapı sayısına bölünmesi ile elde edilmektedir. Depo içindeki ürün lokasyonu sayısı problemin sürekli uzayda modellenmesinden dolayı depo alanı kadardır. Giriş/çıkış noktası orta koridorunun sol tarafında kaldığı durumda herhangi bir kapıdan deponun içindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın ortalama maliyeti 2 şekilde hesaplanmaktadır. Eğer kapı Şekil 3.14'deki gibi q_L noktasının sağında kalıyorsa ortalama maliyet denklem 71 ile ancak kapı Şekil 3.14b' deki gibi q_L noktasının solunda kalıyorsa ortalama maliyet denklem 73 ile hesaplanmaktadır. Eğer kapı Şekil 3.16 deki gibi m 'nin sağında yer alıyorsa ortalama maliyet Denklem 75 ile hesaplanmaktadır.

$$E[D_{Duruml}] = \left\{ \begin{array}{l} E[DL1_{Duruml}]; p(i) < m \text{ ve } p(i) > q_L \text{ ise} \\ E[DL2_{Duruml}]; p(i) < m \text{ ve } p(i) < q_L \text{ ise} \\ E[DR_{Duruml}]; p(i) > m \text{ ise} \end{array} \right\} \quad (70)$$

$$E[DL1_{Duruml}] = \frac{1}{HLnoPD} \left(LA1_{D1} + LB1_{D1} + LB2_{D1} + LC1_{D1a} + LC2_{D1a} + LC3_{D1a} + LD1_{D1} + LD2_{D1} \right) \quad (71)$$

$$E[DL1_{Duruml}] = \frac{1}{HLnoPD} \left(\int_{x=m}^L \int_{y=0}^{y^{(1)}} LA(x, y) dy dx + \int_{x=m}^L \int_{y=y^{(1)}}^{y^{(2)}} LB(x, y) dy dx + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(3)}}^{x^{(2)}} LB(x, y) dx dy + \int_{x=0}^{q_L} \int_{y=0}^{y^{(4)}} LC_{Geri}(x, y) dy dx + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(4)}}^{x^{(5)}} LC_{Geri}(x, y) dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(5)}}^{x^{(6)}} LC_{İleri}(x, y) dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=m}^{x^{(3)}} LD_{İleri}(x, y) dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(6)}}^m LD_{Geri}(x, y) dx dy \right) \quad (72)$$

$$E[DL2_{Duruml}] = \frac{1}{HLnoPD} \left(\begin{matrix} LA1_{D1} + LB1_{D1} + LB2_{D1} + LC1_{D1b} + \\ LC2_{D1b} + LC3_{D1b} + LC4_{D1b} + LD1_{D1} + LD2_{D1} \end{matrix} \right) \quad (73)$$

$$E[DL2_{Duruml}] = \frac{1}{HLnoPD} \left(\int_{x=m}^L \int_{y=0}^{y^{(1)}} LA(x, y) dy dx + \int_{x=m}^L \int_{y=y^{(1)}}^{y^{(2)}} LB(x, y) dy dx + \right. \\ \left. \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(3)}}^{y^{(2)}} LB(x, y) dx dy + \int_{x=0}^{p(i)} \int_{y=0}^{y^{(5)}} LC_{Geri}(x, y) dy dx + \int_{y=0}^{y^{(7)}} \int_{x=x^{(5)}}^{x^{(4)}} LC_{İleri}(x, y) dx dy + \right. \\ \left. \int_{y=y^{(7)}}^H \int_{x=0}^{x^{(4)}} LC_{İleri}(x, y) dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(4)}}^{x^{(6)}} LC_{İleri}(x, y) dx dy + \right. \\ \left. \int_{y=0}^H \int_{x=m}^{x^{(3)}} LD_{İleri}(x, y) dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(6)}}^m LD_{Geri}(x, y) dx dy \right) \quad (74)$$

$$E[DR_{Duruml}] = \frac{1}{HLnoPD} \left(\begin{matrix} RA1_{D1} + RA2_{D1} + RA3_{D1} + RB1_{D1} + RB2_{D1} + \\ RC1_{D1} + RC2_{D1} + RD1_{D1} + RD2_{D1} \end{matrix} \right) \quad (75)$$

$$E[DR_{Duruml}] = \frac{1}{HLnoPD} \left(\int_{x=p(i)}^L \int_{y=0}^{y^{(8)}} RA_{İleri}(x, y) dy dx + \int_{x=m}^{p(i)} \int_{y=0}^{y^{(1)}} RA_{Geri}(x, y) dy dx + \right. \\ \left. \int_{x=p(i)}^L \int_{y=y^{(8)}}^{y^{(1)}} RA_{Geri}(x, y) dy dx + \int_{x=m}^L \int_{y=y^{(1)}}^{y^{(2)}} RB(x, y) dy dx + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(3)}}^{x^{(2)}} RB(x, y) dx dy + \right. \\ \left. \int_{x=0}^{q_L} \int_{y=0}^{y^{(4)}} RC(x, y) dy dx + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(4)}}^{x^{(6)}} RC(x, y) dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=m}^{x^{(3)}} RD_{İleri}(x, y) dx dy + \right. \\ \left. \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(6)}}^m RD_{Geri}(x, y) dx dy \right) \quad (76)$$

3.2.2 Durum A2 için Maliyet Fonksiyonu Belirleme

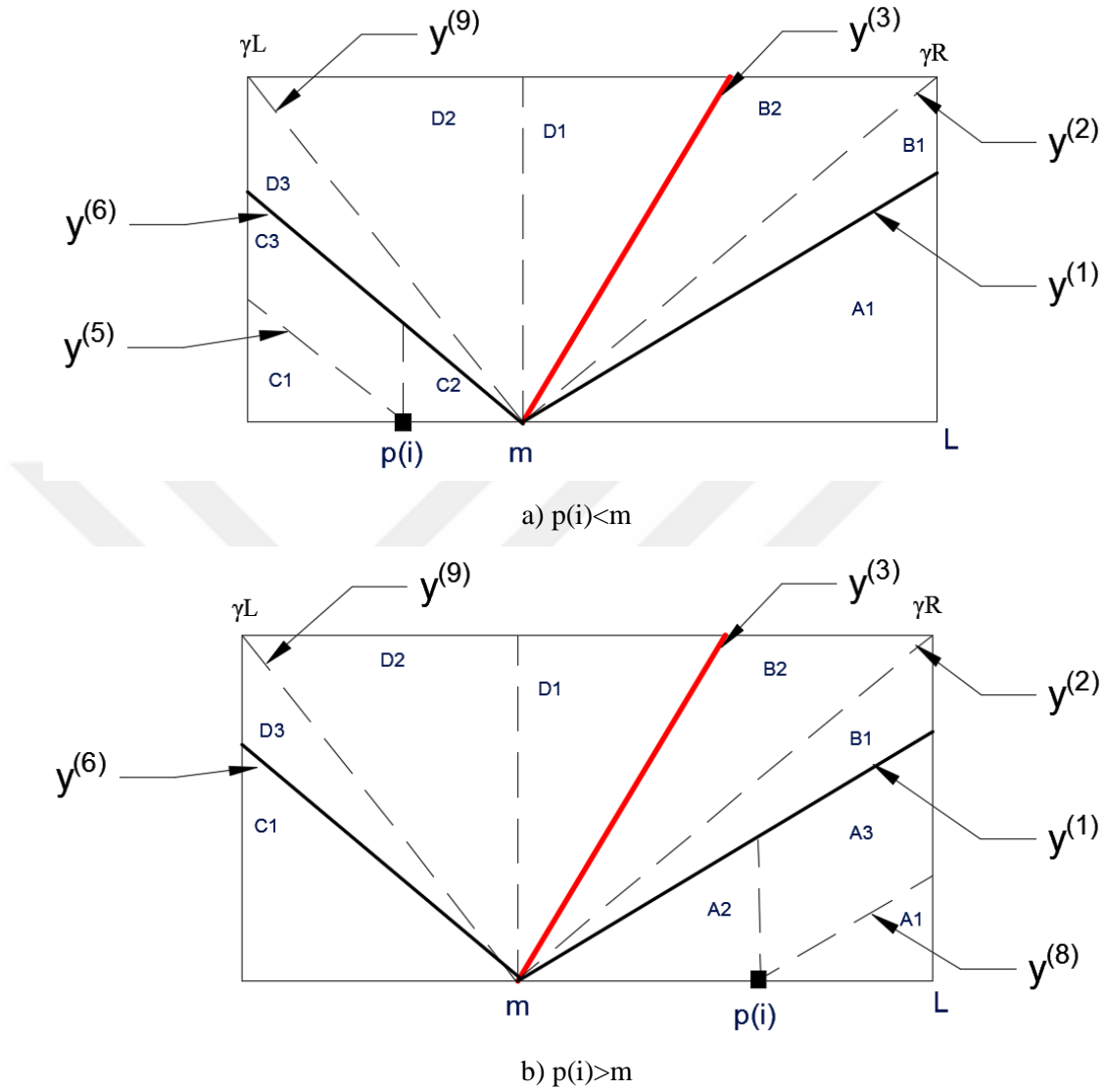
Durum A2 de orta koridorun sağında kalan sipariş toplama koridorları 0^0 ile γ_R arasında, orta koridorun solunda kalan sipariş toplama koridorları γ_L ile 180^0 arasında olacak şekilde sınırlandırılmıştır. Bu durumda orta koridorun solunda yer alan giriş/çıkış kapıları ile depo alanı içindeki ürün lokasyonları aralarındaki mesafeleri belirlerken depo Şekil 3.17a'daki gibi bölümlere ayrılmıştır. Orta

koridorun sağında yer alan giriş/çıkış kapılarından depo alanı içindeki ürün lokasyonlarına olan mesafeleri belirlerken depo Şekil 3.17b' eki gibi bölümlere ayrılmıştır.

Şekil 3.17a'da gösterilen depoda giriş/çıkış noktasından A1 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $LA(x,y)$ denklemi ile hesaplanırken bu bölgedeki tüm noktalara ulaşmanın maliyeti $LA1_{D2}$ ile ifade edilmektedir. B1 ve B2 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $LB(x,y)$ ile B1 bölgesindeki tüm noktalara ulaşmanın maliyeti $LB1_{D2}$ ile B2 bölgesinde yer alan tüm noktalara ulaşma maliyeti $LB2_{D2}$ ile gösterilmektedir. C1 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $LC_{Geri}(x,y)$ denklemi ile ve bu bölgedeki tüm noktalara ulaşmanın maliyeti $LC1_{D2}$ ile C2 ve C3 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $LC_{Ileri}(x,y)$ denklemi ile C2 bölgesindeki tüm noktalara ulaşmanın maliyeti $LC2_{D2}$, C3 bölgesindeki tüm noktalara ulaşmanın maliyeti $LC3_{D2}$ ile ifade edilmiştir. D1 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $LD_{Ileri}(x,y)$ denklemi ile D1 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $LD1_{D2}$ ile ifade edilmiştir. D2 ve D3 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $LD_{Geri}(x,y)$ fonksiyonu ile D2 bölgesindeki tüm noktalara ulaşmanın maliyeti $LD2_{D2}$ ile D3 bölgesindeki tüm noktalara ulaşmanın maliyeti $LD3_{D2}$ ile hesaplanmaktadır.

Şekil 3.17b'de gösterilen depoda giriş/çıkış noktasından A1 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RA_{Ileri}(x,y)$ ile hesaplanırken bu bölgedeki tüm noktalara ulaşmanın maliyeti $RA1_{D2}$ ile ifade edilmektedir. A2 ve A3 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RA_{Geri}(x,y)$ ile hesaplanırken A2 bölgesindeki tüm noktalara ulaşmanın maliyeti $RA2_{D2}$ ile, A3 bölgesindeki tüm noktalara ulaşmanın maliyeti $RA3_{D2}$ ile ifade edilmektedir. B1 ve B2 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RB(x,y)$ ile B1 bölgesindeki tüm noktalara ulaşmanın maliyeti $RB1_{D2}$ ile, B2 bölgesindeki tüm noktalara ulaşmanın maliyeti $RB2_{D2}$ ile ifade edilmektedir. C1 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RC(x,y)$ denklemi ile gösterilirken bu bölgedeki tüm noktalara ulaşmanın maliyeti RC_{D2} ile ifade edilmektedir. D1 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RD_{Ileri}(x,y)$ denklemi ile bu bölgedeki ki tüm noktalara ulaşma maliyeti $RD1_{D2}$, ile gösterilmiştir. D2 ve D3 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RD_{Geri}(x,y)$ fonksiyonu ile D2 bölgesindeki ki tüm noktalara

ulaşma maliyeti RD_{2D_2} , D3 bölgesindeki ki tüm noktalara ulaşma maliyeti RD_{3D_2} ile hesaplanmaktadır.



Şekil 3.17 Durum A2 de Deponun Bölgelere Ayrılması

Depo alanı Şekil 3.17'de görüldüğü üzere ulaşma fonksiyonları aynı olan ürün lokasyonları bir kümede olacak şekilde bölümlere ayrılmıştır. Giriş/çıkış noktasının orta koridorun solunda olduğu durumda herhangi bir kapıdan bir ürün lokasyonuna ulaşmanın ortalama maliyeti Denklem 78 ile hesaplanmaktadır. Giriş/çıkış noktasının orta koridorun sağında olduğu durumda herhangi bir kapıdan bir ürün lokasyonuna ulaşmanın ortalama maliyeti Denklem 80 ile hesaplanmaktadır.

$$E[D_{Durum2}] = \begin{cases} E[DL_{Durum2}]; & p(i) < m \text{ ise} \\ E[DR_{Durum2}]; & p(i) > m \text{ ise} \end{cases} \quad (77)$$

$$E[DL_{Durum2}] = \frac{1}{HLnoPD} \left(LA1_{D2} + LB1_{D2} + LB2_{D2} + LC1_{D2} + LC2_{D2} + LC3_{D2} + LD1_{D2} + LD2_{D2} + LD3_{D2} \right) \quad (78)$$

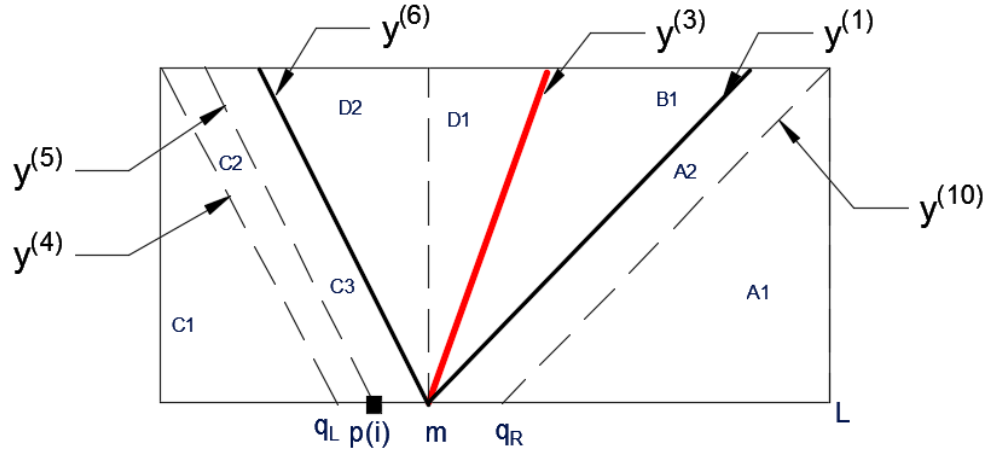
$$E[DL_{Durum2}] = \frac{1}{HLnoPD} \left(\int_{x=m}^L \int_{y=0}^{y^{(1)}} LA \, dydx + \int_{x=m}^L \int_{y=y^{(1)}}^{y^{(2)}} LB \, dydx + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(3)}}^{x^{(2)}} LB \, dx dy + \int_{x=0}^{p(i)} \int_{y=0}^{y^{(5)}} LC_{Geri} \, dydx + \int_{x=p(i)}^m \int_{y=0}^{y^{(6)}} LC_{İleri} \, dydx + \int_{x=0}^{p(i)} \int_{y=y^{(5)}}^{y^{(6)}} LC_{İleri} \, dydx + \int_{y=0}^H \int_{x=m}^{x^{(3)}} LD_{İleri} \, dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(9)}}^m LD_{Geri} \, dx dy + \int_{x=0}^m \int_{y=y^{(6)}}^{y^{(9)}} LD_{Geri} \, dydx \right) \quad (79)$$

$$E[DR_{Durum2}] = \frac{1}{HLnoPD} \left(RA1_{D2} + RA2_{D2} + RA3_{D2} + RB1_{D2} + RB2_{D2} + RC1_{D2} + RD1_{D2} + RD2_{D2} + RD3_{D2} \right) \quad (80)$$

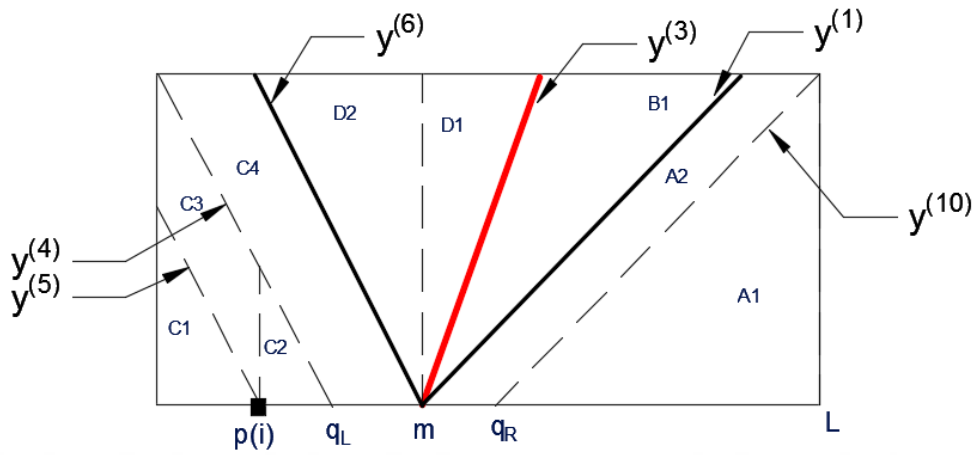
$$E[DR_{Durum2}] = \frac{1}{HLnoPD} \left(\int_{x=p(i)}^L \int_{y=0}^{y^{(8)}} RA_{İleri} \, dydx + \int_{x=m}^{p(i)} \int_{y=0}^{y^{(1)}} RA_{Geri} \, dydx + \int_{x=p(i)}^L \int_{y=y^{(8)}}^{y^{(1)}} RA_{Geri} \, dydx + \int_{x=m}^L \int_{y=y^{(1)}}^{y^{(2)}} RB \, dydx + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(3)}}^{x^{(2)}} RB \, dx dy + \int_{x=0}^m \int_{y=0}^{y^{(6)}} RC \, dydx + \int_{y=0}^H \int_{x=m}^{x^{(3)}} RD_{İleri} \, dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(9)}}^m RD_{Geri} \, dx dy + \int_{x=0}^m \int_{y=y^{(6)}}^{y^{(9)}} RD_{Geri} \, dydx \right) \quad (81)$$

3.2.3 Durum A3 için Maliyet Fonksiyonu Belirleme

Durum A3 de orta koridorun sağında kalan sipariş toplama koridorları γ_R ile β arasında, orta ana koridorun solunda kalan sipariş toplama koridorları 90^0 ile γ_L arasında olacak şekilde sınırlandırılmıştır. Bu durumda orta ana koridorun solunda yer alan giriş/çıkış kapılarından ile depo alanı içindeki ürün lokasyonları arasındaki mesafeleri belirlerken depo şekil 3.18 deki gibi bölümlere ayrılmıştır. Giriş/çıkış kapısının q_L ye göre konumu deponun bölgelere ayrılmasında farklılık yaratmaktadır. Giriş/çıkış noktası q_L nin sağında yer alıyor ise depo alanı şekil 3.18a' daki gibi bölgelere ayrılmıştır ancak solunda yer alıyor ise depo alanı şekil 3.18b' deki gibi bölgelere ayrılmıştır. şekil 3.18a' da ve şekil 3.18b' de yer alan depoların A, B ve D harfleri ile ifade edilen bölgelerinin sınırları birbiri ile aynıdır. Her iki şekilde giriş/çıkış kapısından A1 ve A2 bölgesinde yer alan herhangi bir noktaya ulaşma maliyeti $LA(x,y)$ ile ifade edilmekte ve bu bölgelerde yer alan tüm noktalara ulaşma maliyeti $LA1_{D3}$ ve $LA2_{D3}$ ile gösterilmektedir. B1 bölgesinde yer alan herhangi bir noktaya ulaşma maliyeti $LB(x,y)$ denklemi ile gösterilirken bu bölgedeki tüm noktalara ulaşma maliyeti LB_{D3} ile gösterilmektedir. D1 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $LD_{Ileri}(x,y)$ denklemi ile, bölgedeki tüm noktalara ulaşma maliyeti $LD1_{D3}$ ile belirtilmektedir. D2 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $LD_{Geri}(x,y)$ fonksiyonu ile ve bu bölgedeki tüm noktalara ulaşma maliyeti $LD2_{D3}$ ile hesaplanmaktadır. şekil 3.17a' daki C1 ve C2 bölgesinde yer alan herhangi bir noktaya ulaşma maliyeti $LC_{Geri}(x,y)$, bu bölgelerdeki tüm noktalara ulaşma maliyeti $LC1_{D3a}$ ve $LC2_{D3a}$ ile gösterilmiştir. C3 bölgesinde yer alan herhangi bir noktaya ulaşma maliyeti $LC_{Ileri}(x,y)$, denklemi ile hesaplanırken bölgedeki tüm noktalara ulaşma maliyeti $LC3_{D3a}$ ile hesaplanmaktadır. şekil 3.17b' de gösterilen tasarımda C1 bölgesinde yer alan herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $LC_{Geri}(x,y)$ denklemi ile ve bölgedeki tüm noktalara ulaşma maliyeti $LC1_{D3b}$ ile gösterilmiştir. C2, C3 ve C4 bölgelerinde yer alan herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $LC_{Ileri}(x,y)$ fonksiyonu ile hesaplanmakta ve bu bölgelerdeki tüm noktalara ulaşmanın maliyeti sırasıyla $LC2_{D3b}$, $LC3_{D3b}$ ve $LC4_{D3b}$ ile hesaplanmaktadır.



a) $p(i) > q_L$



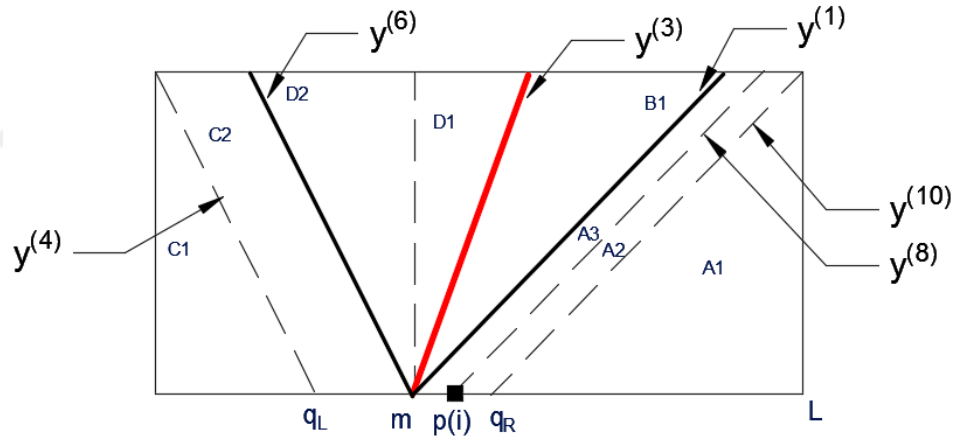
b) $p(i) < q_L$

Şekil 3.18 Durum A3 de Giriş/Çıkış Kapısının Orta Koridorun Solunda Yer Aldığında Deponun Bölgelere Ayrılması

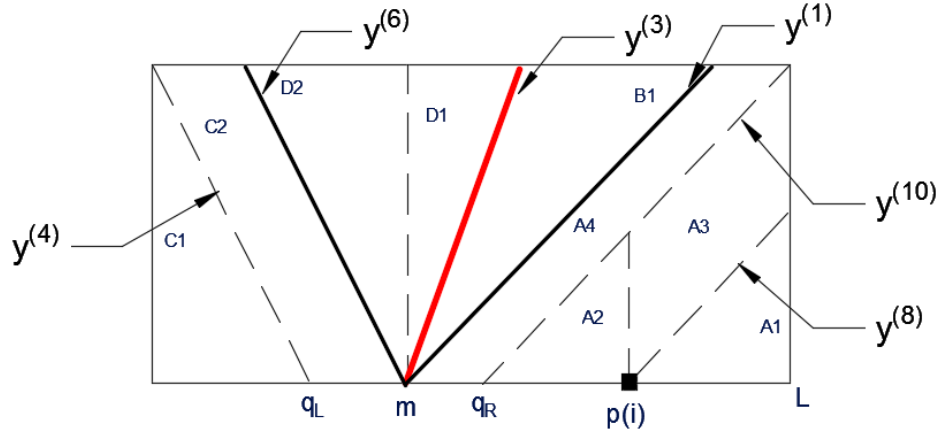
Şekil 3.18a'daki tasarım söz konusu olduğunda herhangi bir giriş/çıkış kapısından depo içindeki bir ürün lokasyonuna ortalama ulaşma maliyeti Denklem 83 ile gösterilmiş, Şekil 3.18b' deki gibi bir tasarım söz konusu olduğunda herhangi bir giriş/çıkış kapısından depo alanındaki bir ürün lokasyonuna ortalama ulaşma maliyeti Denklem 85 ile gösterilmiştir.

Orta koridorun sağında yer alan giriş/çıkış kapılarından, depo alanı içindeki ürün lokasyonlarına olan mesafeleri belirlerken depo Şekil 3.19' daki gibi bölümlere ayrılmıştır ancak giriş/çıkış kapısı q_R nin solunda yer alıyorsa depo Şekil 3.19a' daki gibi, sağında yer alıyorsa Şekil 3.19b' deki gibi bölümlere ayrılmıştır. Her iki şekilde B, C ve D harfleri ile ifade edilen bölgelerin sınırları aynıdır ancak A bölgesi, kapının q_R noktasının sağında yer almasından dolayı farklı biçimde gruplandırılmıştır. Her iki depoda B1 bölgesindeki

herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RB(x,y)$ denklemi ile C1 ve C2 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RC(x,y)$ denklemi ile, D1 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RD_{İleri}(x,y)$ denklemi ile D2 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RD_{Geri}(x,y)$ fonksiyonu hesaplanmaktadır. Bu bölgelerde yer alan tüm ürün lokasyonlarına ulaşmanın maliyeti sırasıyla $RB1_{D3}$, $RC1_{D3}$, $RC2_{D3}$, $RD1_{D3}$ $RD2_{D3}$ ile gösterilmektedir. Şekil 3.19a' da A1 ve A2 bölgesinde yer alan herhangi bir noktaya giriş/çıkış kapısından ulaşma maliyeti $RA_{İleri}(x,y)$ denklemi ile hesaplanmaktadır. Bu bölgelerdeki tüm ürün lokasyonlarına ulaşmanın maliyeti $RA1_{D3a}$ ve $RA2_{D3a}$ ile gösterilmiştir. A3 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RA_{Geri}(x,y)$ fonksiyonu ile ve bölgedeki tüm noktalara ulaşma maliyeti $RA3_{D3a}$ ile gösterilmiştir. Şekil 3.19b' deki tasarımda A1 bölgesinde yer alan herhangi bir noktaya giriş/çıkış kapısından ulaşmanın maliyeti $RA_{İleri}(x,y)$ denklemi ile gösterilirken bölgedeki tüm noktalara ulaşmanın maliyeti $RA1_{D3b}$ ile gösterilmektedir. A2, A3 ve A4 bölgelerinde yer alan herhangi bir noktaya kapıdan ulaşmanın maliyeti $RA_{Geri}(x,y)$ fonksiyonu ile ifade edilirken bu bölgelerdeki tüm noktalara ulaşma maliyeti sırasıyla $RA2_{D3b}$, $RA3_{D3b}$, ve $RA4_{D3b}$ ile gösterilmiştir.



a) $p(i) < q_R$



b) $p(i) > q_R$

Şekil 3.19 Durum A3 de Giriş/Çıkış Kapısının Orta Koridorun Sağında Yer Aldığında Deponun Bölgelere Ayrılması

Şekil 3.19a' daki tasarım söz konusu olduğunda giriş/çıkış kapısından depo içindeki bir ürün lokasyonuna ortalama ulaşma maliyeti Denklem 87 ile gösterilmiş, Şekil 3.19b' deki gibi bir tasarım söz konusu olduğunda giriş/çıkış kapısından depo alanındaki bir ürün lokasyonuna ortalama ulaşma maliyeti Denklem 89 ile gösterilmiştir.

$$E[D_{Durum3}] = \begin{cases} E[DL1_{Durum3}]; & p(i) < m \text{ ve } p(i) > q_L \text{ ise} \\ E[DL2_{Durum3}]; & p(i) < m \text{ ve } p(i) < q_L \text{ ise} \\ E[DR1_{Durum3}]; & p(i) > m \text{ ve } p(i) < q_R \text{ ise} \\ E[DR2_{Durum3}]; & p(i) > m \text{ ve } p(i) > q_R \text{ ise} \end{cases} \quad (82)$$

$$E[DL1_{Durum3}] = \frac{1}{HLnoPD} \left(LA1_{D3} + LA2_{D3} + LB1_{D3} + LC1_{D3a} + LC2_{D3a} + LC3_{D3a} + LD1_{D3} + LD2_{D3} \right) \quad (83)$$

$$E[DL1_{Durum3}] = \frac{1}{HLnoPd} \left(\int_{x=q_R}^L \int_{y=0}^{y^{(10)}} LA \, dydx + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(1)}}^{x^{(10)}} LA \, dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(3)}}^{x^{(1)}} LB \, dx dy + \int_{x=0}^{q_L} \int_{y=0}^{y^{(4)}} LC_{Geri} \, dydx + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(4)}}^{x^{(5)}} LC_{Geri} \, dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(5)}}^{x^{(6)}} LC_{İleri} \, dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=m}^{x^{(3)}} LD_{İleri} \, dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(6)}}^m LD_{Geri} \, dx dy \right) \quad (84)$$

$$E[DL2_{Durum3}] = \frac{1}{HLnoPD} \left(\begin{matrix} LA1_{D3} + LA2_{D3} + LB1_{D3} + LC1_{D3b} + LC2_{D3b} + \\ LC3_{D3b} + LC4_{D3b} + LD1_{D3} + LD2_{D3} \end{matrix} \right) \quad (85)$$

$$E[DL2_{Durum3}] = \frac{1}{HLnoPD} \left(\int_{x=qR}^L \int_{y=0}^{y^{(10)}} LA \, dydx + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(1)}}^x LA \, dx dy + \right. \\ \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(3)}}^{x^{(1)}} LB \, dx dy + \int_{x=0}^{p(i)} \int_{y=0}^{y^{(5)}} LC_{Geri} \, dydx + \int_{x=p(i)}^{qL} \int_{y=0}^{y^{(4)}} LC_{İleri} \, dydx + \\ \int_{x=0}^{p(i)} \int_{y=y^{(5)}}^{y^{(4)}} LC_{İleri} \, dydx + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(4)}}^{x^{(6)}} LC_{İleri} \, dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=m}^{x^{(3)}} LD_{İleri} \, dx dy + \\ \left. \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(6)}}^m LD_{Geri} \, dx dy \right) \quad (86)$$

$$E[DR1_{Durum3}] = \frac{1}{HLnoPD} \left(\begin{matrix} RA1_{D3a} + RA2_{D3a} + RA3_{D3a} + RB1_{D3} + \\ RC1_{D3} + RC2_{D3} + RD1_{D3} + RD2_{D3} \end{matrix} \right) \quad (87)$$

$$E[DR1_{Durum3}] = \frac{1}{HLnoPD} \left(\int_{x=qR}^L \int_{y=0}^{y^{(10)}} RA_{İleri} \, dydx + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(8)}}^x RA_{İleri} \, dx dy + \right. \\ \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(1)}}^{x^{(8)}} RA_{Geri} \, dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(3)}}^{x^{(1)}} RB \, dx dy + \int_{x=0}^{qL} \int_{y=0}^{y^{(4)}} RC \, dydx + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(4)}}^{x^{(6)}} RC \, dx dy + \\ \left. \int_{y=0}^H \int_{x=m}^{x^{(3)}} RD_{İleri} \, dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(6)}}^m RD_{Geri} \, dx dy \right) \quad (88)$$

$$E[DR2_{Durum3}] = \frac{1}{HLnoPD} \left(\begin{matrix} RA1_{D3a} + RA2_{D3a} + RA3_{D3a} + RA4_{D3a} + \\ RB1_{D3} + RC2_{D3} + RD1_{D3} + RD2_{D3} \end{matrix} \right) \quad (89)$$

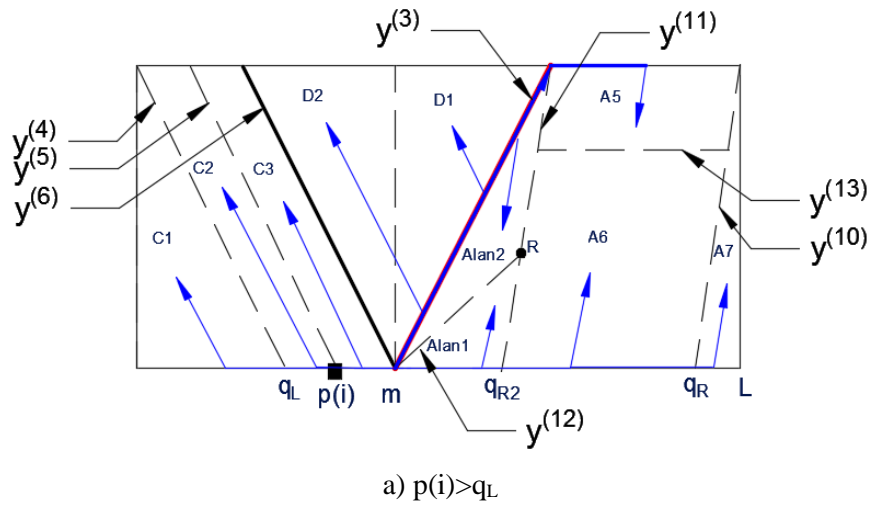
$$\begin{aligned}
E[DR2_{Durum3}] = & \frac{1}{HLnoPD} \left(\int_{x=p(i)}^L \int_{y=0}^{y^{(8)}} RA_{İleri} dydx + \int_{x=q_R}^{p(i)} \int_{y=0}^{y^{(10)}} RA_{Geri} dydx + \right. \\
& \int_{x=p(i)}^L \int_{y=y^{(8)}}^{y^{(10)}} RA_{Geri} dydx + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(1)}}^{x^{(10)}} RA_{Geri} dx dy + \int_{x=0}^{q_L} \int_{y=0}^{y^{(4)}} RC dydx + \\
& \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(4)}}^{x^{(6)}} RC dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=m}^{x^{(3)}} RD_{İleri} dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(6)}}^m RD_{Geri} dx dy \left. \right) \quad (90)
\end{aligned}$$

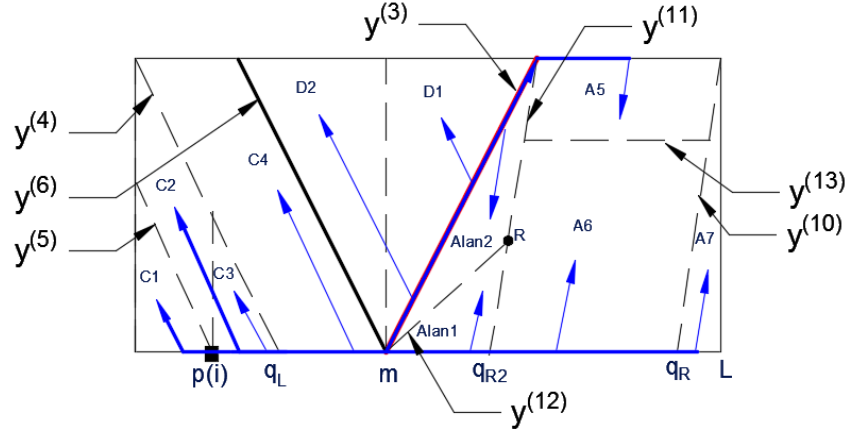
3.2.4 Durum A4 için Maliyet Fonksiyonu Belirleme

Durum A4 de orta koridorun sağında kalan sipariş toplama koridorlarının açısı orta geçiş koridorunun açısından (β) büyük, 90^0 den küçük olacak şekilde tasarlanmıştır, orta koridorun solunda kalan sipariş toplama koridorları 90^0 ile γ_L arasında olacak şekilde sınırlandırılmıştır. Bu durumda orta koridorun solunda yer alan giriş/çıkış kapıları ile depo alanı içindeki ürün lokasyonları aralarındaki mesafeleri belirlerken depo Şekil 3.20' deki gibi bölümlere ayrılmıştır. Orta geçiş koridorunun solunda yer alan herhangi bir giriş/çıkış noktası, q_L nin sağında yer alıyorsa depo Şekil 3.20a' daki gibi, solunda yer alıyorsa Şekil 3.20b' deki gibi bölgelere ayrılmıştır. Her iki depoda A, B ve D harfleri ile ifade edilen bölgelerin sınırları aynıdır. Dolayısı ile o bölgelerdeki ürün lokasyonlarına ulaşma maliyeti denklemleri de aynıdır. Her iki depoda da giriş/çıkış kapısından Alan1, A6 ve A7 deki herhangi bir noktaya ulaşma maliyeti $LA(x,y)$ fonksiyonu ile hesaplanmaktadır. Alan1, A6 ve A7 bölgelerindeki deki tüm noktalara ulaşma maliyeti sırasıyla $LAlan1_{D4}$, $LA6_{D4}$, $LA7_{D4}$ ile ifade edilmiştir. Bu alt durumun açısı kısıtlarından dolayı depoda Alan2 ve A5 ile ifade edilmiş bölgelerdeki ürün lokasyonlarına ulaşmak için sipariş toplayıcı alt ana koridoru kullanabileceği gibi daha kısa ulaşma mesafesi sağlaması nedeni ile orta koridoru ve akabinde üst duvarı da kullanabilmektedir. Hangi lokasyonlara alt yolu kullanarak hangilerine orta koridoru kullanarak daha kısa şekilde ulaşılacağı bilinmediği için bölge $y^{(12)}$ ve $y^{(13)}$ doğruları ile bölünmüştür. Bu doğruların üst kısmında kalan ürün lokasyonlarına orta koridor ve üst duvarı kullanarak ulaşmanın daha kısa uzaklığa sebep olduğu düşünölmektedir. Alan2 bölgesinde yer alan herhangi bir noktaya ulaşma maliyeti $UY1(x,y)$ denklemi ile ve bu bölgedeki tüm noktalara ulaşma maliyeti $LAlan2_{D4}$ ile gösterilmiştir. A5 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşma maliyeti $UY2(x,y)$ denklemi ile ve bu

bölgedeki tüm noktalara ulaşma maliyeti $LA5_{D4}$ ile gösterilmiştir. D1 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $LD_{İleri}(x,y)$, ve bu bölgedeki tüm noktalara ulaşma maliyeti $LD1_{D4}$ ile D2 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $LD_{Geri}(x,y)$ fonksiyonu ve bu bölgedeki tüm noktalara ulaşma maliyeti $LD2_{D4}$ ile hesaplanmaktadır. Şekil 3.20a daki C1 ve C2 bölgesinde yer alan herhangi bir noktaya ulaşma maliyeti $LC_{Geri}(x,y)$ denklemi ile hesaplanmaktadır. Bu bölgelerdeki tüm ürün lokasyonlarına ulaşmanın maliyeti sırasıyla $LC1_{D4a}$ ve $LC2_{D4a}$ ile gösterilmiştir. C3 bölgesinde yer alan herhangi bir noktaya ulaşma maliyeti $LC_{İleri}(x,y)$ denklemi ile ve bu bölgedeki tüm noktalara ulaşma maliyeti $LC3_{D4a}$ ile gösterilmiştir. Şekil 3.20b' de gösterilen tasarımda kapının q_L noktasının solunda yer almasından dolayı C bölgesi farklı biçimde gruplandırılmıştır. Şekil 3.20b' deki C1 bölgesinde yer alan herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $LC_{Geri}(x,y)$ denklemi ile gösterilmekte ve bu bölgedeki tüm noktalara ulaşma maliyeti $LC1_{D4B}$ ile gösterilmektedir. C2, C3 ve C4 bölgelerinde yer alan herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $LC_{İleri}(x,y)$ denklemi ile gösterilmekte ve bu bölgelerdeki tüm noktalara ulaşma maliyeti sırasıyla $LC2_{D4b}$, $LC3_{D4b}$ ve $LC4_{D4b}$ ile gösterilmiştir.

Şekil 3.20a' daki tasarımda yer alan herhangi bir giriş/çıkış noktasından depo içindeki herhangi bir ürün lokasyonuna ortalama ulaşma maliyeti Denklem 92 de ifade edilmiştir. Şekil 3.20b'deki tasarımda yer alan herhangi bir giriş/çıkış noktasından depo içindeki herhangi bir ürün lokasyonuna ortalama ulaşma maliyeti Denklem 94 de ifade edilmiştir.





b) $p(i) < q_L$

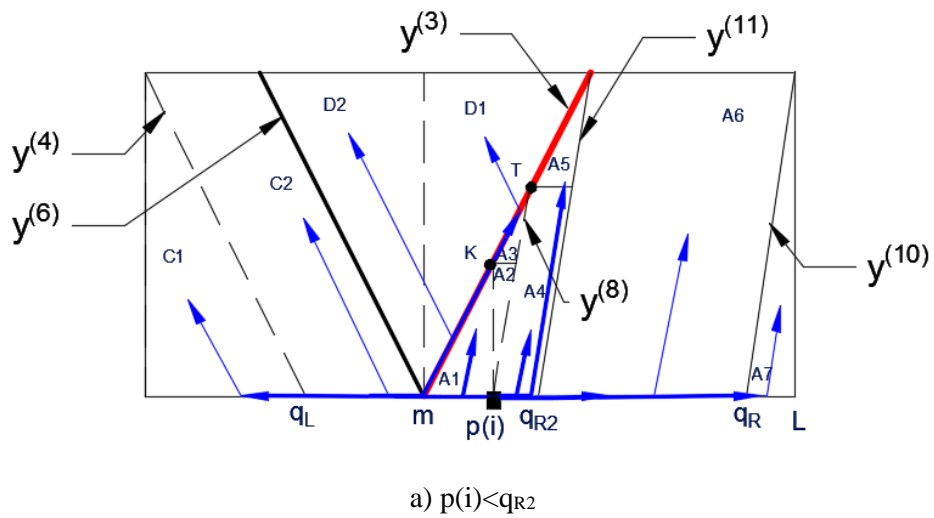
Şekil 3.20 Durum A4 de Giriş/Çıkış Kapısının Orta Koridorun Solunda Yer Aldığında Deponun Bölgelere Ayrılması

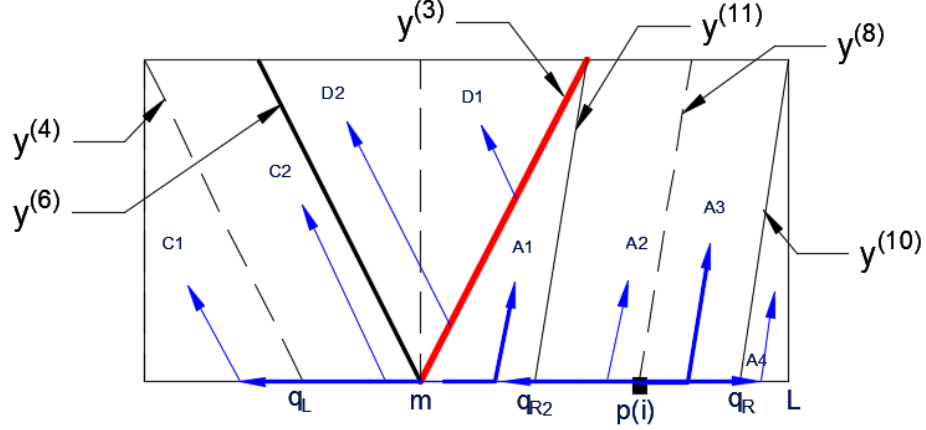
Orta koridorun sağında yer alan giriş/çıkış kapılarından, depo alanı içindeki ürün lokasyonlarına olan mesafeleri belirlerken depo Şekil 3.21 deki gibi bölümlere ayrılmıştır. Ancak giriş/çıkış kapısının konumu burada da önem arz etmektedir. Kapının, q_R ya ve orta koridorun üst duvarı kestiği noktadan α_R açısı ile çizilen doğrunun x eksenini kestiği nokta (q_{R2}) ya göre konumu önemlidir ve mesafe fonksiyonunun değişmesine sebep olmaktadır. Giriş/çıkış kapısı q_{R2} nin solunda yer alıyorsa Şekil 3.21a' daki tasarım ortaya çıkmaktadır, giriş/çıkış kapısı q_R ile q_{R2} arasında yer alıyor ise depo Şekil 3.21b' deki gibi görünmektedir, giriş/çıkış kapısı q_R nin sağında yer alıyorsa depo alanı Şekil 3.21c' deki gibi görünmektedir.

Her üç tasarımda C ve D harfleri ile ifade edilen bölgelerdeki herhangi bir noktaya ulaşma denklemi aynıdır. C1 ve C2 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RC(x,y)$ ile hesaplanmaktadır. Bu bölgelerdeki tüm noktalara ulaşmanın maliyeti $RC1_{D4}$, ve $RC2_{D4}$ ile gösterilmiştir. D1 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RD_{ileri}(x,y)$ denklemi ile ifade edilirken bölgedeki tüm noktalara ulaşma maliyeti $RD1_4$ ile gösterilmiştir., D2 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RD_{Geri}(x,y)$ fonksiyonu ile hesaplanmakta ve bölgedeki tüm noktalara ulaşma maliyeti $RD2_{D4}$ ile gösterilmiştir. Şekil 3.21a' daki giriş/çıkış kapısından A1, A2 ve A3 bölgelerinde yer alan herhangi bir noktaya ulaşma maliyeti $RA_{Geri}(x,y)$ denklemi ile hesaplanmaktadır. A1, A2 ve A3 bölgelerinde yer alan tüm noktalara ulaşma maliyeti sırasıyla $RA1_{D4a}$, $RA2_{D4a}$ ve $RA3_{D4a}$ ile gösterilmiştir. A4,

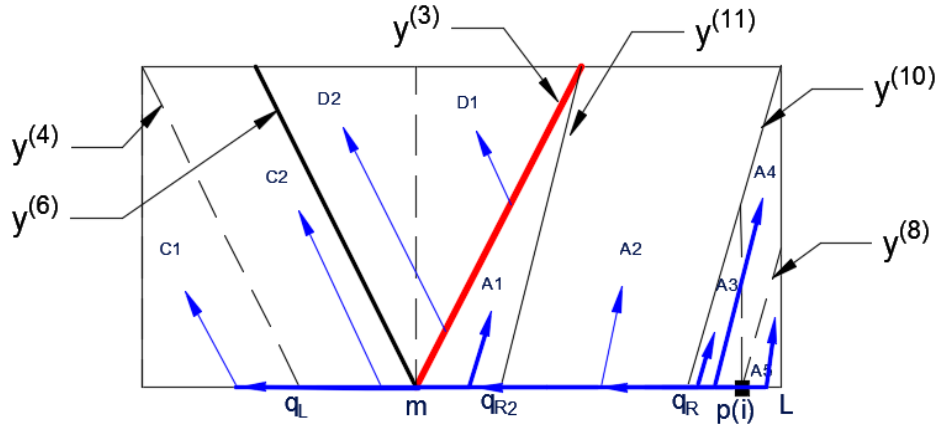
A5, A6 ve A7 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RA_{İleri}(x,y)$ fonksiyonu ile hesaplanmaktadır. A4, A5, A6 ve A7 bölgelerinde yer alan tüm noktalara ulaşma maliyeti sırasıyla $RA4_{D4a}$, $RA5_{D4a}$, $RA6_{D4a}$ ve $RA7_{D4a}$ ile gösterilmiştir Şekil 3.21b' deki giriş/çıkış kapısından A1 ve A2 bölgelerinde yer alan herhangi bir noktaya ulaşma maliyeti $RA_{Geri}(x,y)$ denklemi ile gösterilmekte, A1 ve A2 bölgelerindeki tüm noktalara ulaşma maliyeti sırasıyla $RA1_{D4b}$ ve $RA2_{D4b}$ ile gösterilmiştir. A3 ve A4 bölgelerindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RA_{İleri}(x,y)$ denklemi ile hesaplanmakta ve bu bölgelerdeki tüm noktalara ulaşma maliyeti sırası ile $RA3_{D4b}$ ve $RA4_{D4b}$ ile gösterilmiştir.

Şekil 3.21c' deki giriş/çıkış noktasından A1, A2, A3 ve A4 bölgelerindeki herhangi bir noktaya ulaşma maliyeti $RA_{Geri}(x,y)$ denklemi ile ve bu bölgelerdeki tüm noktalara ulaşma maliyeti sırasıyla $RA1_{D4c}$, $RA2_{D4c}$, $RA3_{D4c}$, $RA4_{D4c}$ ile gösterilmiştir. A5 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşma maliyeti $RA_{İleri}(x,y)$ fonksiyonu ile gösterilirken bu bölgedeki tüm noktalara ulaşma maliyeti $RA5_{D4c}$ ile gösterilmiştir. Şekil 3.21a'daki tasarımda yer alan herhangi bir giriş/çıkış noktasından depo içindeki herhangi bir ürün lokasyonuna ortalama ulaşma maliyeti Denklem 96 ile, Şekil 3.21b'deki tasarımda yer alan herhangi bir giriş/çıkış noktasından depo içindeki herhangi bir ürün lokasyonuna ortalama ulaşma maliyeti Denklem 98 ile, Şekil 3.21c'deki tasarımda yer alan herhangi bir giriş/çıkış noktasından depo içindeki herhangi bir ürün lokasyonuna ortalama ulaşma maliyeti Denklem 100 ile ifade edilmiştir.





b) $q_{R2} < p(i) < q_R$



c) $p(i) > q_R$

Şekil 3.21 Durum A4 de Giriş/Çıkış Kapısının Orta Koridorun Sağında Yer Aldığında Deponun Bölgelere Ayrılması

$$E[D_{Durum4}] = \left\{ \begin{array}{l} E[DL1_{Durum4}]; p(i) < m \text{ ve } p(i) > q_L \text{ ise} \\ E[DL2_{Durum4}]; p(i) < m \text{ ve } p(i) < q_L \text{ ise} \\ E[DR1_{Durum4}]; p(i) > m \text{ ve } p(i) < q_{R2} \text{ ise} \\ E[DR2_{Durum4}]; p(i) > m \text{ ve } q_{R2} > p(i) > q_R \text{ ise} \\ E[DR3_{Durum4}]; p(i) > m \text{ ve } p(i) > q_R \text{ ise} \end{array} \right\} \quad (91)$$

$$E[DL1_{Durum4}] = \frac{1}{HLnoPD} \left(LAlan1_{D4} + LAlan2_{D4} + LA5_{D4} + LA6_{D4} + LA7_{D4} + LC1_{D4a} + LC2_{D4a} + LC3_{D4a} + LD1_{D4} + LD2_{D4} \right) \quad (92)$$

$$\begin{aligned}
E[DL1_{Durum4}] = & \frac{1}{HLnoPD} \left(\int_{x=m}^{R_x} \int_{y=0}^{y^{(12)}} LA dydx - \int_{x=q_{R2}}^{R_x} \int_{y=0}^{y^{(11)}} LA dydx + \int_{x=m}^{R_x} \int_{y=y^{(12)}}^{y^{(3)}} UY1 dydx + \right. \\
& \int_{x=R_x}^{F_x} \int_{y=y^{(11)}}^{y^{(3)}} UY1 dydx + \int_{y=y^{(13)}}^H \int_{x=x^{(11)}}^{x^{(10)}} UY2 dx dy + \int_{y=0}^{y^{(13)}} \int_{x=x^{(11)}}^{x^{(10)}} LA dx dy + \int_{x=q_R}^L \int_{y=0}^{y^{(10)}} LA dydx + \\
& \int_{x=0}^{q_L} \int_{y=0}^{y^{(4)}} LC_{Geri} dydx + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(4)}}^{x^{(5)}} LC_{Geri} dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(5)}}^{x^{(6)}} LC_{İleri} dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=m}^{x^{(3)}} LD_{İleri} dx dy + \\
& \left. \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(6)}}^m LD_{Geri} dx dy \right)
\end{aligned} \tag{93}$$

$$E[DL2_{Durum4}] = \frac{1}{HLnoPD} \left(\begin{aligned} & LAla_{D4} + LAla_{D4} + LA5_{D4} + LA6_{D4} + \\ & LA7_{D4} + LC1_{D4b} + LC2_{D4b} + LC3_{D4b} + \\ & LC4_{D4b} + LD1_{D4} + LD2_{D4} \end{aligned} \right) \tag{94}$$

$$\begin{aligned}
E[DL2_{Durum4}] = & \frac{1}{HLnoPD} \left(\int_{x=m}^{R_x} \int_{y=0}^{y^{(12)}} LA dydx - \int_{x=q_{R2}}^{R_x} \int_{y=0}^{y^{(11)}} LA dydx + \right. \\
& \int_{x=m}^{R_x} \int_{y=y^{(12)}}^{y^{(3)}} UY1 dydx + \int_{x=R_x}^{F_x} \int_{y=y^{(11)}}^{y^{(3)}} UY1 dydx + \int_{y=y^{(13)}}^H \int_{x=x^3}^{x^{(10)}} UY2 dx dy + \\
& \int_{y=0}^{y^{(13)}} \int_{x=x^3}^{x^{(10)}} LA dx dy + \int_{x=q_R}^L \int_{y=0}^{y^{(10)}} LA dydx + \int_{x=0}^{p(i)} \int_{y=0}^{y^{(5)}} LC_{Geri} dydx + \\
& \int_{x=0}^{p(i)} \int_{y=y^{(5)}}^{y^{(4)}} LC_{İleri} dydx + \int_{x=p(i)}^{q_L} \int_{y=0}^{y^{(4)}} LC_{İleri} dydx + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(4)}}^{x^{(6)}} LC_{İleri} dx dy + \\
& \left. \int_{y=0}^H \int_{x=m}^{x^{(3)}} LD_{İleri} dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(6)}}^m LD_{Geri} dx dy \right)
\end{aligned} \tag{95}$$

$$E[DR1_{Durum4}] = \frac{1}{HLnoPD} \left(\begin{aligned} & RA1_{D4a} + RA2_{D4a} + RA3_{D4a} + RA4_{D4a} + \\ & RA5_{D4a} + RA6_{D4a} + RA7_{D4a} + RC1_{D4} + \\ & RC2_{D4} + RD1_{D4} + RD2_{D4} \end{aligned} \right) \tag{96}$$

$$\begin{aligned}
E[DR1_{Durum4}] = & \frac{1}{HLnoPD} \left(\int_{x=m}^{p(i)} \int_{y=0}^{y^{(3)}} RA_{Geri} dydx + \int_{y=0}^{K_y} \int_{x=p(i)}^{x^{(8)}} RA_{Geri} dx dy + \right. \\
& \int_{y=K_y}^{T_y} \int_{x=x^{(3)}}^{x^{(8)}} RA_{Geri} dx dy + \int_{y=0}^{T_y} \int_{x=x^{(8)}}^{x^{(11)}} RA_{İleri} dx dy + \int_{y=T_y}^H \int_{x=x^{(3)}}^{x^{(11)}} RA_{İleri} dx dy + \\
& \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(11)}}^{x^{(10)}} RA_{İleri} dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(10)}}^L RA_{İleri} dx dy + \int_{x=0}^{q_L} \int_{y=0}^{y^{(4)}} RC dy dx + \\
& \left. \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(4)}}^{x^{(6)}} RC dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=m}^{x^{(3)}} RD_{İleri} dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(6)}}^m RD_{Geri} dx dy \right)
\end{aligned} \tag{97}$$

$$E[DR2_{Durum4}] = \frac{1}{HLnoPD} \left(RA1_{D4b} + RA2_{D4b} + RA3_{D4b} + RA4_{D4b} + \right. \\
\left. RC1_{D4} + RC2_{D4} + RD1_{D4} + RD2_{D4} \right) \tag{98}$$

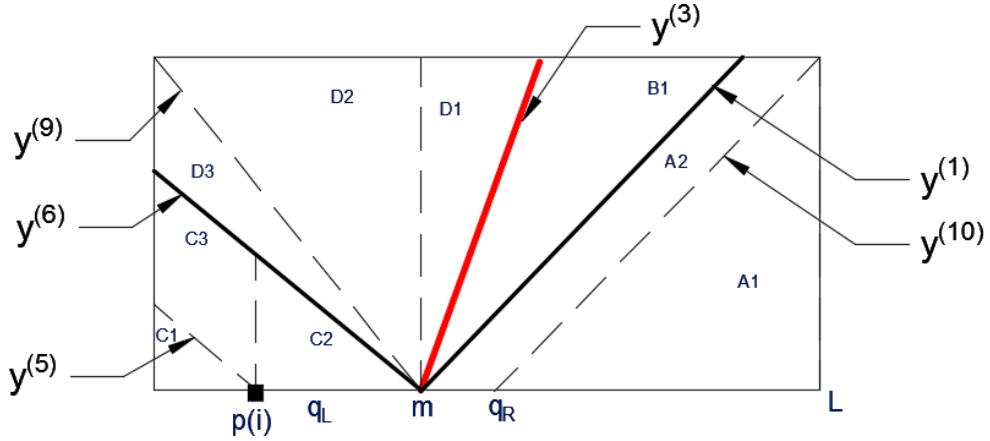
$$\begin{aligned}
E[DR2_{Durum4}] = & \frac{1}{HLnoPD} \left(\int_{y=0}^H \int_{x=x^{(3)}}^{x^{(11)}} RA_{Geri} dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(11)}}^{x^{(8)}} RA_{Geri} dx dy + \right. \\
& \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(8)}}^{x^{(10)}} RA_{İleri} dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(10)}}^L RA_{İleri} dx dy + \int_{x=0}^{q_L} \int_{y=0}^{y^{(4)}} RC dy dx + \\
& \left. \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(4)}}^{x^{(6)}} RC dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=m}^{x^{(3)}} RD_{İleri} dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(6)}}^m RD_{Geri} dx dy \right)
\end{aligned} \tag{99}$$

$$E[DR3_{Durum4}] = \frac{1}{HLnoPD} \left(RA1_{D4c} + RA2_{D4c} + RA3_{D4c} + RA4_{D4c} + \right. \\
\left. RA5_{D4c} + RC1 + RC2 + RD1 + RD2 \right) \tag{100}$$

$$\begin{aligned}
E[DR3_{Durum4}] = & \frac{1}{HLnoPD} \left(\int_{y=0}^H \int_{x=x^{(3)}}^{x^{(11)}} RA_{Geri} dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(11)}}^{x^{(10)}} RA_{Geri} dx dy + \right. \\
& \int_{x=q_R}^{p^{(i)}} \int_{y=0}^{y^{(10)}} RA_{Geri} dy dx + \int_{x=p^{(i)}}^L \int_{y=y^{(8)}}^{y^{(10)}} RA_{İleri} dy dx + \int_{x=0}^{q_L} \int_{y=0}^{y^{(4)}} RC dy dx + \\
& \left. \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(4)}}^{x^{(6)}} RC dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=m}^{x^{(3)}} RD_{İleri} dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(6)}}^m RD_{Geri} dx dy \right) \quad (101)
\end{aligned}$$

3.2.5 Durum A5 için Maliyet Fonksiyonu Belirleme

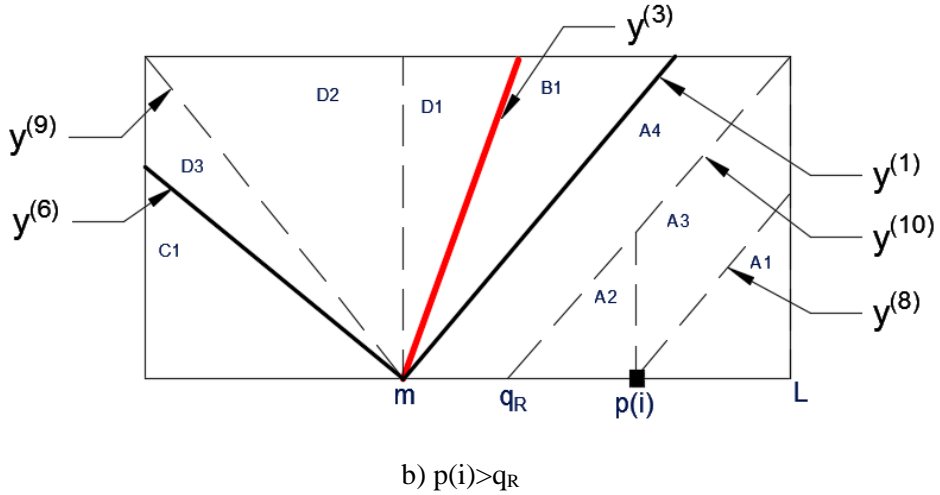
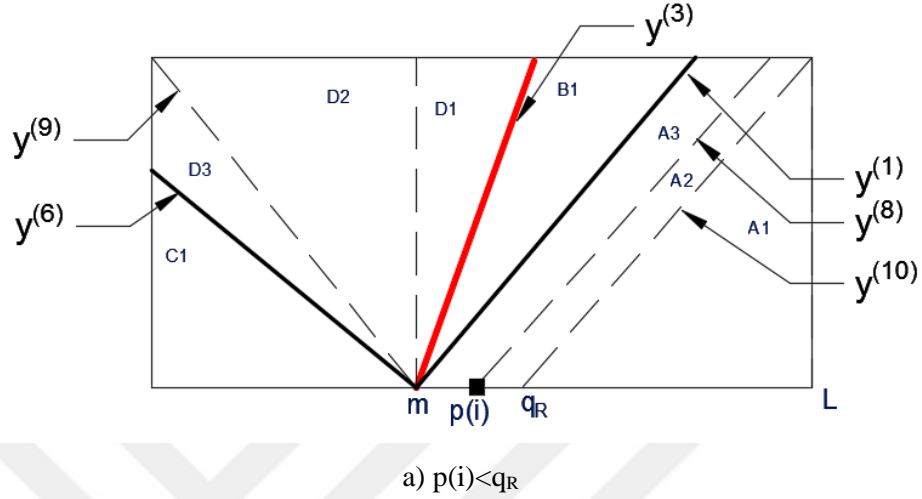
Durum A5 de orta koridorun sağında kalan sipariş toplama koridorları γ_R ile β arasında, solunda kalan sipariş toplama koridorları γ_L ile 180^0 arasında olacak şekilde sınırlandırılmıştır. Bu durumda orta koridorun solunda yer alan giriş/çıkış kapıları ile depo alanı içindeki ürün lokasyonları arasındaki mesafeleri belirlerken depo Şekil 3.22 deki gibi bölümlere ayrılmıştır. Şekil 3.22 de giriş/çıkış kapısından A1 ve A2 bölgesinde yer alan herhangi bir noktaya ulaşma maliyeti $LA(x,y)$, denklemleri ile hesaplanırken bu bölgelerde yer alan tüm noktalara ulaşma maliyeti sırasıyla $RA1_{D5}$ ve $RA2_{D5}$ ile gösterilmektedir. B1 bölgesinde yer alan herhangi bir noktaya ulaşma maliyeti $LB(x,y)$ ve bu bölgedeki tüm noktalara ulaşma maliyeti $LB1_{D5}$ ile gösterilmektedir. C1 bölgesinde yer alan herhangi bir noktaya ulaşma maliyeti $LC_{Geri}(x,y)$ ve bu bölgedeki tüm noktalara ulaşma maliyeti $LC1_{D5}$ ile gösterilmektedir. C2 ve C3 bölgesinde yer alan herhangi bir noktaya ulaşma maliyeti $LC_{İleri}(x,y)$, ve bu bölgelerdeki tüm noktalara ulaşma maliyeti $LC2_{D5}$ ve $LC3_{D5}$ ile gösterilmektedir. D1 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $LD_{İleri}(x,y)$, D2 ve D3 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $LD_{Geri}(x,y)$ fonksiyonu ile hesaplanmaktadır. Bu bölgelerdeki tüm noktalara ulaşma maliyeti $LD1_{D5}$, $LD2_{D5}$ ve $LD3_{D5}$ ile gösterilmektedir. Şekil 3.22 deki tasarım söz konusu olduğunda herhangi bir giriş/çıkış kapısından depo içindeki bir ürün lokasyonuna ortalama ulaşma maliyeti Denklem 103 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.22 Durum A5 de Giriş/Çıkış Kapısının Orta Koridorun Solunda Yer Aldığında Deponun Bölgelere Ayrılması

Orta koridorun sağında yer alan giriş/çıkış kapılarından, depo alanı içindeki ürün lokasyonlarına olan mesafeleri belirlerken depo Şekil 3.23 de ki gibi bölümlere ayrılmıştır. Ancak giriş/çıkış kapısı deponun sağ üst köşesinden q_R nin solunda yer alıyorsa depo Şekil 3.23a'daki gibi, sağında yer alıyorsa Şekil 3.23b'deki gibi bölümlere ayrılmıştır. Her iki depoda B, C ve D harfleri ile ifade edilmiş bölgelerdeki ürün lokasyonlarına ulaşma denklemleri aynıdır. Her iki depoda B1 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RB(x,y)$, C1 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RC(x,y)$, D1 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RD_{ileri}(x,y)$, D2 ve D3 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RD_{Geri}(x,y)$ fonksiyonu ile hesaplanmaktadır. Bu bölgelerdeki tüm noktalara ulaşmanın maliyeti sırasıyla $RB1_{D5}$, $RC1_{D5}$, $RD1_{D5}$, $RD2_{D5}$, $RD3_{D5}$ ile gösterilmektedir. A bölgesi, kapı ile q_R noktasının konumuna göre farklı biçimde gruplandırılmıştır. Şekil 3.23a' daki giriş çıkış kapısından A1 ve A2 bölgesinde yer alan herhangi bir noktaya ulaşma maliyeti $RA_{ileri}(x,y)$, A3 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RA_{Geri}(x,y)$ fonksiyonu ile hesaplanmaktadır. Bu bölgelerdeki tüm noktalara ulaşmanın maliyeti sırasıyla $RA1_{D5a}$, $RA2_{D5a}$, $RA3_{D5a}$ ile gösterilmektedir. Şekil 3.23b' deki A1 bölgesinde yer alan herhangi bir noktaya giriş/çıkış kapısından ulaşmanın ortalama maliyeti $RA_{ileri}(x,y)$, A2, A3 ve A4 bölgelerinde yer alan herhangi bir noktaya kapıdan ulaşmanın ortalama maliyeti $RA_{Geri}(x,y)$ fonksiyonu ile hesaplanmaktadır. Bu bölgelerdeki tüm noktalara ulaşmanın maliyeti sırasıyla $RA1_{D5b}$, $RA2_{D5b}$, $RA3_{D5b}$ ve $RA4_{D5b}$ ile gösterilmektedir. Şekil 3.23a' daki tasarım söz konusu olduğunda giriş/çıkış kapısından depo içindeki

bir ürün lokasyonuna ortalama ulaşma maliyeti Denklem 105 ile gösterilmiş, Şekil 3.23b' deki gibi bir tasarım söz konusu olduğunda giriş/çıkış kapısından depo alanındaki bir ürün lokasyonuna ortalama ulaşma maliyeti Denklem 107 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.23 Durum A5 de Giriş/Çıkış Kapısının Orta Koridorun Sağında Yer Aldığında Deponun Bölgelere Ayrılması

$$E[D_{Durum5}] = \begin{cases} E[DL1_{Durum5}]; & p(i) < m \text{ ve } p(i) > q_L \text{ ise} \\ E[DR1_{Durum5}]; & p(i) > m \text{ ve } p(i) < q_R \text{ ise} \\ E[DR2_{Durum5}]; & p(i) > m \text{ ve } p(i) > q_R \text{ ise} \end{cases} \quad (102)$$

$$E[DL1_{Durum5}] = \frac{1}{HLnoPD} \left(LA1_{D5} + LA2_{D5} + D5 + LB1_{D5} + LC1_{D5} + LC2_{D5} + LC3_{D5} + LD1_{D5} + LD2_{D5} + LD3_{D5} \right) \quad (103)$$

$$\begin{aligned}
E[DL1_{Durum5}] = & \frac{1}{HLnoPD} \left(\int_{x=q_R}^L \int_{y=0}^{y^{(10)}} LA \, dydx + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(1)}}^{x^{(10)}} LA \, dx dy + \right. \\
& \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(3)}}^{x^{(1)}} LB \, dx dy + \int_{x=0}^{p(i)} \int_{y=0}^{y^{(5)}} LC_{Geri} \, dydx + \int_{x=p(i)}^m \int_{y=0}^{y^{(6)}} LC_{İleri} \, dydx + \\
& \int_{x=0}^{p(i)} \int_{y=y^{(5)}}^{y^{(6)}} LC_{İleri} \, dydx + \int_{y=0}^H \int_{x=m}^{x^{(3)}} LD_{İleri} \, dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(9)}}^m LD_{Geri} \, dx dy + \\
& \left. \int_{x=0}^m \int_{y=y^{(6)}}^{y^{(9)}} LD_{Geri} \, dydx \right)
\end{aligned} \tag{104}$$

$$E[DR1_{Durum5}] = \frac{1}{HLnoPD} \left(RA1_{D5a} + RA2_{D5a} + RA3_{D5a} + RB1_{D5} + \right. \\
\left. RC1_{D5} + RD1_{D5} + RD2_{D5} + RD3_{D5} \right) \tag{105}$$

$$\begin{aligned}
E[DR1_{Durum5}] = & \frac{1}{HLnoPD} \left(\int_{x=q_R}^L \int_{y=0}^{y^{(10)}} RA_{İleri} \, dydx + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(8)}}^{x^{(10)}} RA_{İleri} \, dx dy + \right. \\
& \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(1)}}^{x^{(8)}} RA_{Geri} \, dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(3)}}^{x^{(1)}} RB \, dx dy + \int_{x=0}^m \int_{y=0}^{y^{(6)}} RC \, dydx + \\
& \int_{y=0}^H \int_{x=m}^{x^{(3)}} RD_{İleri} \, dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(9)}}^m RD_{Geri} \, dx dy + \int_{x=0}^m \int_{y=y^{(6)}}^{y^{(9)}} RD_{Geri} \, dydx \left. \right)
\end{aligned} \tag{106}$$

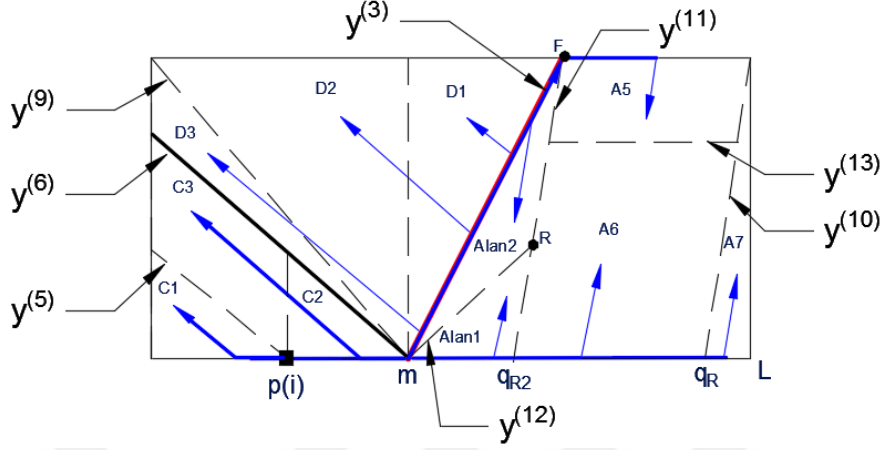
$$E[DR2_{Durum5}] = \frac{1}{HLnoPD} \left(RA1_{D5b} + RA2_{D5b} + RA3_{D5b} + RA4_{D5b} + \right. \\
\left. RB1_{D5} + RC1_{D5} + RD1_{D5} + RD2_{D5} + RD3_{D5} \right) \tag{107}$$

$$\begin{aligned}
E[DR2_{Durum5}] = & \frac{1}{HLnoPD} \left(\int_{x=p(i)}^L \int_{y=0}^{y^{(8)}} RA_{İleri} dydx + \int_{x=qR}^{p(i)} \int_{y=0}^{y^{(10)}} RA_{Geri} dydx + \right. \\
& \int_{x=p(i)}^L \int_{y=y^{(8)}}^{y^{(10)}} RA_{Geri} dydx + \int_{y=0}^L \int_{x=x^{(1)}}^{x^{(10)}} RA_{Geri} dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(3)}}^{x^{(1)}} RB dx dy + \\
& \int_{x=0}^m \int_{y=0}^{y^{(6)}} RC dydx + \int_{y=0}^H \int_{x=m}^{x^{(3)}} RD_{İleri} dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(9)}}^m RD_{Geri} dx dy + \\
& \left. \int_{x=0}^m \int_{y=y^{(6)}}^{y^{(9)}} RD_{Geri} dydx \right)
\end{aligned} \tag{108}$$

3.2.6 Durum A6 için Maliyet Fonksiyonu Belirleme

Durum A6 da orta koridorun sağında kalan sipariş toplama koridorlarının açısı orta geçiş koridorunun açısından büyük olacak şekilde tasarlanmıştır dolayısı ile β ile 90^0 arasında olacak şekilde, orta ana koridorun solunda kalan sipariş toplama koridorları γ_L ile 180^0 arasında olacak şekilde sınırlandırılmıştır. Bu durumda orta koridorun solunda yer alan giriş/çıkış kapılarından depo alanı içindeki ürün lokasyonlarına olan mesafeleri belirlerken depo Şekil 3.24 deki gibi bölümlere ayrılmıştır. m noktasının solunda yer alan herhangi bir p noktasından deponun A harfleri ile ifade edilmiş bölgelerine iki şekilde ulaşılmaktadır. Daha önceki alt durumlarda alt ana koridor kullanılarak ulaşılmakta idi ancak burada orta koridor ve üst ana koridor kullanılarak da ulaşmak söz konusudur bu nedenle Şekil 3.24'deki giriş/çıkış kapısından Alan1, A6 ve A7 deki herhangi bir noktaya ulaşma maliyeti $LA(x,y)$, Alan2 bölgesinde yer alan herhangi bir noktaya ulaşma maliyeti $UY1(x,y)$, A5 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşma maliyeti $UY2(x,y)$ fonksiyonu ile elde edilmektedir. C1 bölgesinde yer alan herhangi bir noktaya ulaşma maliyeti $LC_{Geri}(x,y)$, C2 ve C3 bölgesinde yer alan herhangi bir noktaya ulaşma maliyeti $LC_{İleri}(x,y)$, D1 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $LD_{İleri}(x,y)$ ile, D2 ve D3 bölgelerindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $LD_{Geri}(x,y)$ fonksiyonu ile hesaplanmaktadır. Şekil 3.24' deki bu bölgelerde yer alan tüm noktalara ulaşmanın maliyeti $LA_{alan1D6}$, LA_{6D6} , LA_{7D6} , $LA_{alan2D6}$, LA_{5D6} , LC_{1D6} , LC_{2D6} , LC_{3D6} , LD_{1D6} , LD_{2D6} ve LD_{3D6} ile ifade edilmiştir. Şekil 3.24' deki tasarımda

yer alan herhangi bir giriş/çıkış noktasından depo içindeki herhangi bir ürün lokasyonuna ortalama ulaşma maliyeti Denklem 110 ile ifade edilmiştir.



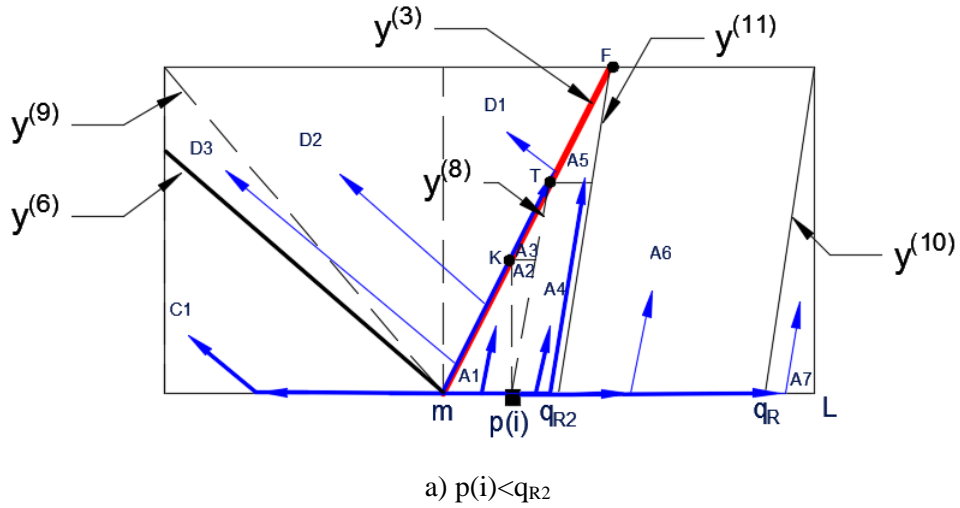
Şekil 3.24 Durum A6 da Giriş/Çıkış Kapısının Orta Koridorun Solunda Yer Aldığında Deponun Bölgelere Ayrılması

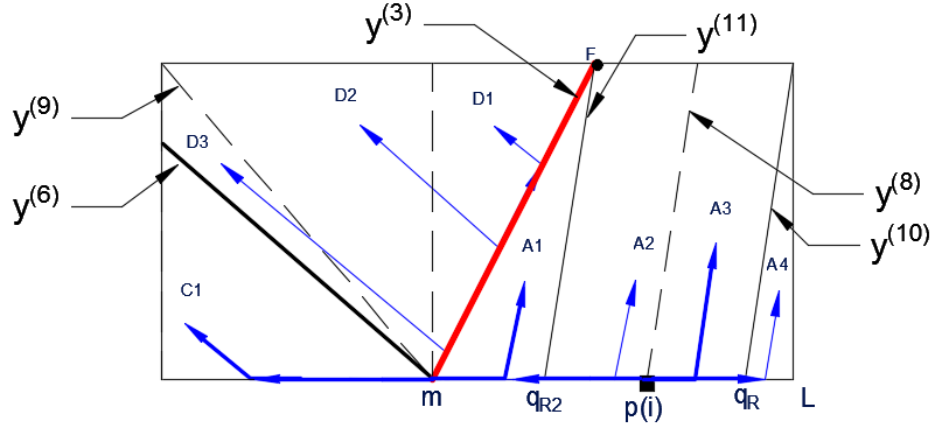
Orta koridorun sağında yer alan giriş/çıkış kapılarından, depo alanı içindeki ürün lokasyonlarına olan mesafeleri belirlerken depo Şekil 3.25' deki gibi bölümlere ayrılmıştır. Ancak giriş/çıkış kapısının konumu burada önem arz etmektedir. Kapının q_R ye ve q_{R2} ye göre konumu önemlidir ve mesafe fonksiyonunun değişmesine sebep olmaktadır. Giriş/çıkış kapısı q_{R2} nin solunda yer alıyorsa Şekil 3.25a' daki tasarım ortaya çıkmaktadır, giriş/çıkış kapısı q_R ile q_{R2} arasında yer alıyor ise depo Şekil 3.25b' deki gibi görünmektedir, giriş/çıkış kapısı q_R nin sağında yer alıyorsa depo alanı Şekil 3.25c' deki gibi görünmektedir.

Her üç tasarımda C ve D harfleri ile gösterilen bölgelerde yer alan herhangi bir noktaya ulaşmanın denklemi aynıdır. Üç depoda da C1 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RC(x,y)$, D1 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RD_{ileri}(x,y)$, D2 ve D3 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RD_{geri}(x,y)$ fonksiyonu ile hesaplanmaktadır. Bu bölgelerde yer alan tüm noktalara ulaşma maliyeti sırasıyla $RC1_{D6}$, $RD1_{D6}$, $RD2_{D6}$ ve $RD3_{D6}$ ile ifade edilmiştir.

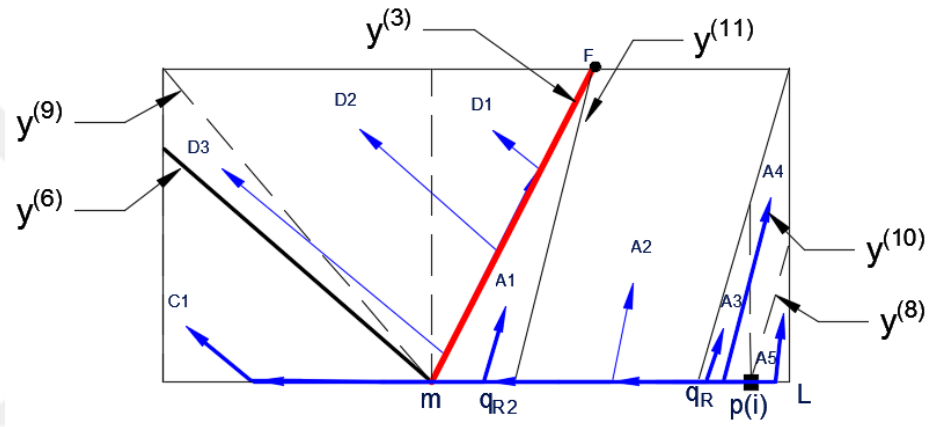
Şekil 3.25a' daki giriş/çıkış kapısından A1, A2 ve A3 bölgelerinde yer alan herhangi bir noktaya ulaşma maliyeti $RA_{geri}(x,y)$, A4, A5, A6 ve A7 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RA_{ileri}(x,y)$ fonksiyonu ile hesaplanmaktadır.

Bu bölgelerde yer alan tüm noktalara ulaşma maliyeti sırasıyla $RA1_{D6a}$, $RA2_{D6a}$, $RA3_{D6a}$, $RA4_{D6a}$, $RA5_{D6a}$, $RA6_{D6a}$, $RA7_{D6a}$ ile ifade edilmiştir. Şekil 3.25b de ki giriş/çıkış kapısından A1 ve A2 bölgelerinde yer alan herhangi bir noktaya ulaşma maliyeti $RA_{Geri}(x,y)$, A3 ve A4 bölgelerindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın maliyeti $RA_{İleri}(x,y)$ fonksiyonu ile hesaplanmaktadır. Bu bölgelerde yer alan tüm noktalara ulaşma maliyeti sırasıyla $RA1_{D6b}$, $RA2_{D6b}$, $RA3_{D6b}$, $RA4_{D6b}$ ile ifade edilmiştir Şekil 3.25c de ki giriş/çıkış noktasından A1, A2, A3 ve A4 bölgelerindeki herhangi bir noktaya ulaşma maliyeti $RA_{Geri}(x,y)$, A5 bölgesindeki herhangi bir noktaya ulaşma maliyeti $RA_{İleri}(x,y)$ fonksiyonu ile hesaplanmaktadır. Bu bölgelerde yer alan tüm noktalara ulaşma maliyeti sırasıyla $RA1_{D6c}$, $RA2_{D6c}$, $RA3_{D6c}$, $RA4_{D6c}$, ve $RA5_{D6c}$, ile ifade edilmiştir Şekil 3.25a'daki tasarımda yer alan herhangi bir giriş/çıkış noktasından depo içindeki herhangi bir ürün lokasyonuna ortalama ulaşma maliyeti Denklem 112 ile, Şekil 3.25b'deki tasarımda yer alan herhangi bir giriş/çıkış noktasından depo içindeki herhangi bir ürün lokasyonuna ortalama ulaşma maliyeti Denklem 114 ile, Şekil 3.25c'deki tasarımda yer alan herhangi bir giriş/çıkış noktasından depo içindeki herhangi bir ürün lokasyonuna ortalama ulaşma maliyeti Denklem 116 ile ifade edilmiştir.





b) $q_{R2} < p(i) < q_R$



c) $p(i) > q_R$

Şekil 3.25 Durum A6 da Giriş/Çıkış Kapısının Orta Koridorun Sağında Yer Aldığında Deponun Bölgelere Ayrılması

$$E[D_{Durum6}] = \left\{ \begin{array}{l} E[DL_{Durum6}]; p(i) < m \text{ ve } p(i) > q_L \text{ ise} \\ E[DR1_{Durum6}]; p(i) > m \text{ ve } p(i) < q_{R2} \text{ ise} \\ E[DR2_{Durum6}]; p(i) > m \text{ ve } q_{R2} > p(i) > q_R \text{ ise} \\ E[DR3_{Durum6}]; p(i) > m \text{ ve } p(i) > q_R \text{ ise} \end{array} \right\} \quad (109)$$

$$E[DL1_{Durum6}] = \frac{1}{HLnoPD} \left(\begin{array}{l} LAla1_{D6} + LAla2_{D6} + LA5_{D6} + LA6_{D6} + \\ LA7_{D6} + LC1_{D6} + LC2_{D6} + LC3_{D6} + \\ LD1_{D6} + LD2_{D6} + LD3_{D6} \end{array} \right) \quad (110)$$

$$\begin{aligned}
E[DL_{Durum6}] = & \frac{1}{HLnoPD} \left(\int_{x=m}^{R_x} \int_{y=0}^{y^{(12)}} LA \, dydx - \int_{x=q_{R2}}^{R_x} \int_{y=0}^{y^{(11)}} LA \, dydx + \int_{x=m}^{R_x} \int_{y=y^{(12)}}^{y^{(3)}} UY1 \, dydx + \right. \\
& \int_{x=R_x}^{F_x} \int_{y=y^{(11)}}^{y^{(3)}} UY1 \, dydx + \int_{y=y^{(13)}}^H \int_{x=x^{(11)}}^{x^{(10)}} UY2 \, dx dy + \int_{y=0}^{y^{(13)}} \int_{x=x^{(11)}}^{x^{(10)}} LA \, dx dy + \int_{x=q_R}^L \int_{y=0}^{y^{(10)}} LA \, dydx + \\
& \int_{x=0}^{p(i)} \int_{y=0}^{y^{(5)}} LC_{Geri} \, dydx + \int_{x=p(i)}^m \int_{y=0}^{y^{(6)}} LC_{İleri} \, dydx + \int_{x=0}^{p(i)} \int_{y=y^{(5)}}^{y^{(6)}} LC_{İleri} \, dydx + \\
& \left. \int_{y=0}^H \int_{x=m}^{x^{(3)}} LD_{İleri} \, dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(9)}}^m LD_{Geri} \, dx dy + \int_{x=0}^m \int_{y=y^{(6)}}^{y^{(9)}} LD_{Geri} \, dydx \right) \quad (111)
\end{aligned}$$

$$E[DR1_{Durum6}] = \frac{1}{HLnoPD} \left(\begin{array}{l} RA1_{D6a} + RA2_{D6a} + RA3_{D6a} + RA4_{D6a} + \\ RA5_{D6a} + RA6_{D6a} + RA7_{D6a} + RC1 + \\ RD1 + RD2 + RD3 \end{array} \right) \quad (112)$$

$$\begin{aligned}
E[DR1_{Durum6}] = & \frac{1}{HLnoPD} \left(\int_{x=m}^{p(i)} \int_{y=0}^{y^{(3)}} RA_{Geri} \, dydx + \int_{y=0}^{K_y} \int_{x=p(i)}^{x^{(8)}} RA_{Geri} \, dx dy + \right. \\
& \int_{y=K_y}^{T_y} \int_{x=x^{(3)}}^{x^{(8)}} RA_{Geri} \, dx dy + \int_{y=0}^{T_y} \int_{x=x^{(8)}}^{x^{(11)}} RA_{İleri} \, dx dy + \int_{y=T_y}^H \int_{x=x^{(3)}}^{x^{(11)}} RA_{İleri} \, dx dy + \\
& \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(11)}}^{x^{(10)}} RA_{İleri} \, dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(10)}}^L RA_{İleri} \, dx dy + \int_{x=0}^m \int_{y=0}^{y^{(6)}} RC \, dydx + \\
& \left. \int_{y=0}^H \int_{x=m}^{x^{(3)}} RD_{İleri} \, dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(9)}}^m RD_{Geri} \, dx dy + \int_{x=0}^m \int_{y=y^{(6)}}^{y^{(9)}} RD_{Geri} \, dydx \right) \quad (113)
\end{aligned}$$

$$E[DR2_{Durum6}] = \frac{1}{HLnoPD} \left(\begin{array}{l} RA1_{D6b} + RA2_{D6b} + RA3_{D6b} + RA4_{D6b} + \\ RC1 + RD1 + RD2 + RD3 \end{array} \right) \quad (114)$$

$$\begin{aligned}
E[DR2_{Durum6}] = & \frac{1}{HLnoPD} \left(\int_{y=0}^H \int_{x=x^{(3)}}^{x^{(11)}} RA_{Geri} dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(11)}}^{x^{(8)}} RA_{Geri} dx dy + \right. \\
& \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(8)}}^{x^{(10)}} RA_{İleri} dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(10)}}^L RA_{İleri} dx dy + \int_{x=0}^m \int_{y=0}^{y^{(6)}} RC dy dx + \\
& \left. \int_{y=0}^H \int_{x=m}^{x^{(3)}} RD_{İleri} dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(9)}}^m RD_{Geri} dx dy + \int_{x=0}^m \int_{y=y^{(6)}}^{y^{(9)}} RD_{Geri} dy dx \right) \quad (115)
\end{aligned}$$

$$E[DR3_{Durum6}] = \frac{1}{HLnoPD} \left(RA1_{D6c} + RA2_{D6c} + RA3_{D6c} + RA4_{D6c} + RA5_{D6c} + RC1_{D6} + RD1_{D6} + RD3_{D6} + RD3_{D6} \right) \quad (116)$$

$$\begin{aligned}
E[DR3_{Durum6}] = & \frac{1}{HLnoPD} \left(\int_{y=0}^H \int_{x=x^{(3)}}^{x^{(11)}} RA_{Geri} dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(11)}}^{x^{(10)}} RA_{Geri} dx dy + \right. \\
& \int_{x=q_R}^{p^{(i)}} \int_{y=0}^{y^{(10)}} RA_{Geri} dy dx + \int_{x=p^{(i)}}^L \int_{y=y^{(8)}}^{y^{(10)}} RA_{İleri} dy dx + \int_{x=0}^m \int_{y=0}^{y^{(6)}} RC dy dx + \\
& \left. \int_{y=0}^H \int_{x=m}^{x^{(3)}} RD_{İleri} dx dy + \int_{y=0}^H \int_{x=x^{(9)}}^m RD_{Geri} dx dy + \int_{x=0}^m \int_{y=y^{(6)}}^{y^{(9)}} RD_{Geri} dy dx \right) \quad (117)
\end{aligned}$$

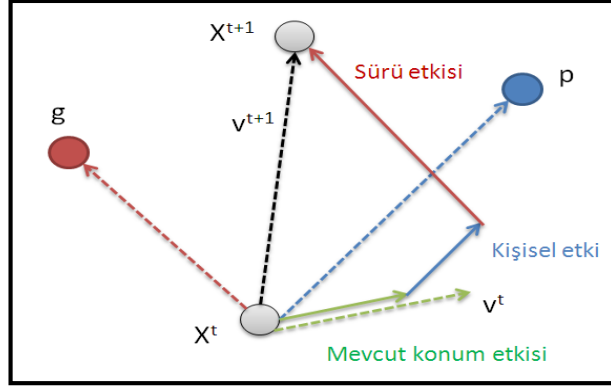
3.2.7 Çözüm Yöntemi

Depo koridorlarının alabileceği olası açılar açısından depo altı farklı senaryo altında ele alınmıştır. Altı adet durum için maliyet fonksiyonları Mathematica programında elde edilmiştir. Maliyet fonksiyonları lineer olmayan, karmaşık fonksiyonlardır, açık halleri Ek 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 da yer almaktadır. Karmaşık nonlineer problemlerin çözümünde ve sürekli arama uzayında modellenmiş problemlerin çözümünde iyi sonuç vermesi ve optimale yakınsamaları sebebi ile problemin çözüm yöntemi olarak metasezgisel çözüm yöntemlerinden Parçacık Sürü Eniyileme (PSE) algoritması kullanılmıştır.

3.2.7.1 Parçacık Sürü En İyileme Algoritması

Parçacık sürü eniyileme algoritması Kennedy ve Eberhart (1995) tarafından sürekli uzayda tanımlanmış lineer olmayan problemlerin çözümünde kullanılmak üzere tasarlanmış sürü zekası esasına dayalı bir optimizasyon yöntemidir. Genetik algoritma ya da farksal evrim algoritması gibi popülasyon tabanlıdır, balık ve kuş gibi sürü davranışlarından esinlenmektedir, sürü etkileşimi ve iletişimine dayanarak geliştirilmiştir. PSE bireyler arasındaki sosyal bilgi paylaşımını esas alır.

PSE algoritmasında çözüm kümesi sürü ile, her bir çözüm ise birey ya da parçacık ile ifade edilmektedir. Algoritmada parçacıklar belli bir hızla bir önceki en iyi konumuna ve sürüde şimdiye kadar gelinen en iyi konuma doğru hareket ederek çözüm uzayını tararlar. Her birey kendisine atanmış rassal bir hız değerine sahiptir ve çözüm uzayını kendine ait hız ile tarar. Parçacıkların çözüm uzayını tararken şimdiye kadar geldiği en iyi konumu hafızasında tutması ya da bireysel öğrenmesi yerel arama olarak adlandırılır, tüm komşularının şimdiye kadar geldiği en iyi konumu hafızasında tutması ya da sosyal bir gruptan öğrenmesi global arama olarak adlandırılır (Banks vd., 2008). Şekil 3.26 'da görüldüğü üzere her birey hızını kendi en iyi konumunu ve popülasyonun en iyi konumunu dikkate alarak oluşturur böylece her nesil bir öncekinden daha iyi konuma gelmiş olur bu da algoritmanın daha kısa zamanda en iyiye yaklaşmasını sağlar. Parçacıkların her birinin, içinde buldukları nesile gelene kadar ulaştıkları en iyi konumu o parçacığın kişisel en iyisi olarak belirlenir ve p_{best} olarak ifade edilir. Popülasyondaki parçacıklardan içinde bulunduğu nesilde en iyi uygunluk değerine sahip olanı, popülasyonun en iyisi yani global en iyi olarak belirlenir ve g_{best} olarak ifade edilir. (Shi, 2001). Her parçacık çözüm uzayındaki hareketi için gerekli olan hızının büyüklüğünü ve yönünü yerel ve global en iyiler kullanılarak belirler. Dolayısıyla algoritma kişisel ve küresel en iyi tarafından yönlendirilir ve bu yüzden hep daha iyiye yaklaşır.



Şekil 3.26 PSE Algoritmasında Parçacığın Hızının ve Bir Sonraki Konumunun Belirlenmesi

Algoritma başlangıç popülasyonun rassal bir şekilde oluşturulması ile başlar. Oluşturulan her bir çözümün uygunluk değeri hesaplanır. Uygunluk değeri hesaplandıktan sonra her bireyin konumu, hızı ve uygunluk değeri güncellenir. Eğer uygunluk değerinde bir iyileşme söz konusu ise birey kendi en iyisini günceller. Ayrıca popülasyondaki en iyi birey de güncellenir. Daha sonra birey arama uzayında daha iyi bir yere hareket edebilmek için mevcut hızını, yerel en iyisini ve global en iyisini kullanarak hızını günceller. Tüm bu adımlar durdurma kriteri sağlanıncaya kadar tekrarlanır. Durdurma kriteri yineleme sayısı olabileceği gibi, uygunluk değerinin belli bir seviyeye gelmesi olarak da belirlenebilir. Mevcut çalışmada durdurma kriteri olarak 10.000 yineleme belirlenmiştir.

Algoritmada parçacık 3 vektör ve 2 uygunluk değerine sahiptir. X vektörü parçacıkların mevcut konumunu gösteren vektördür, p vektörü parçacığın şimdiye kadar sahip olduğu en iyi konumu gösteren vektördür, v vektörü de parçacığın hareket yönünü gösteren vektördür. X vektörü ve p vektörünün bir de uygunluk değerleri vardır. P vektörünün başlangıç değeri olarak x vektörü atanır, p vektörünün uygunluk değeri için de x vektörünün uygunluk değeri atanır.

Parçacıklar: X_i^t : t. yinelemedeki i. parçacığın konumunu ifade etmektedir. D boyutu ile gösterilir. $X_i^t = \{x_{i1}^t, x_{i2}^t, \dots, x_{id}^t\}$ Boyutlar problemin değişkenleri olarak düşünülebilir.

Parçacıkların hızları: V_i^t : t. yinelemedeki i. parçacığın hızını ifade etmektedir.

$V_i^t = \{v_{i1}^t, v_{i2}^t, \dots, v_{id}^t\}$ Parçacığın her boyutu her yinelemede arama uzayında V_{id}^t hızı ile hareket eder.

Kişisel en iyi: P_i parçacığın bir önceki en iyi uygunluk değerini veren konumunu ifade eder. $P_i = \{p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{id}\}$ i. parçacığın d boyutunun en iyi değerini ifade eder.

Global en iyi: $G_i = \{g_{i1}, g_{i2}, \dots, g_{id}\}$, i. parçacığın d boyutunun şimdiye kadarki en iyi konumunu ifade eder.

Parçacık çözüm uzayını tararken hız vektörü güncellenmesi aşamasında mevcut konumundan, kişisel olarak geldiği en iyi konumdan ve komşularının geldiği en iyi konumdan etkilenmektedir. Hız vektörü Denklem 118 ile hesaplanır.

$$v_{id}^t = w^{t-1} v_{id}^{t-1} + c_1 r_1 (P_{id} - x_{id}^{t-1}) + c_2 r_2 (g_{id} - x_{id}^{t-1}) \quad (118)$$

Denklemde w ile ifade edilen atalet ağırlık değeri hız güncelleme aşamasında bireyin mevcut hızından ne kadar etkilendiğini göstermektedir yani önceki hızın mevcut hıza etkisini kontrol eden bir parametredir, Shi ve Eberhart (1998a,b) algoritmaya global ve yerel aramayı dengelemesi için eklemişleridir. Sabit bir sayı, bir fonksiyon ya da yineleme olabilir. Algoritmanın yineleme sayısı arttıkça doğrusal olarak azalan bir katsayıdır. Denklem 119 ile hesaplanır.

$$w = -\frac{1}{10000} \text{yineleme} + 1,3 \quad (119)$$

Hız güncelleme denkleminde yer alan c_1 ve c_2 ; öğrenme katsayılarıdır genellikle 2 ye yakın değerler alırlar. c_1 bireyin kendi geçmişinden ne kadar etkilendiğini, c_2 ise bireyin sürüden ne kadar etkilendiğini ifade eder. Bu katsayıların küçük olması parçacığın hedef bölgeye doğru çekilmeden önce bu bölgeden uzak yerlerde dolaşmasına imkan verir ancak hedefe ulaşma süresini uzatabilir. Mevcut çalışmada c_1 ve c_2 değerleri 2,05 olarak alınmıştır. r_1, r_2 , [0,1] aralığında uniform rassal sayılardır, kişisel ve global en iyiye doğru yapılan hareketi etkiler.

X vektörünün güncellenmesi, mevcut x vektörüne hız vektörünü eklenmesi şeklinde gerçekleşir, Denklem 120 ile gösterilmiştir.

$$x_{id}^t = v_{id}^t + x_{id}^{t-1} \quad (120)$$

Hız vektörü güncellendikten sonra yeni konum vektörünün uygunluk değeri hesaplanır. Yeni konum vektörünün uygunluk değeri p vektörünün uygunluk değerinden küçük ise x vektörü p vektörüne eşitlenerek p vektörü güncellenir ve p vektörünün uygunluk değeri yeni x vektörünün uygunluk değeri olarak değiştirilir.

Aksi halde p vektörünün değeri eski değerleri ile kalır. Algoritmanın işleyişi şekil 3.27 de ki südo kodu ile gösterilmiştir.

PSO{

Parametreleri belirle

Popülasyonu oluştur

Popülasyonu değerlendir

Do{

Kişisel en iyiyi bul

Global en iyiyi bul

Konumu güncelle

Değerlendir

} (sonlandırma koşulu)

Şekil 3.27 Parçacık Sürü Eniyileme Algoritmasının İşleyişi

PSE algoritmasında global en iyinin bulunması aşamasında komşuluk yapısı olarak ring topoloji ve star topoloji kullanılmaktadır. Ring topolojide komşuluk sayısı 3 olarak kabul edilirken, star topolojide komşuluk sayısı sürü büyüklüğü kadardır. Mevcut çalışmada komşuluk yapısı olarak star topoloji kullanılmıştır.

Parçacığın kişisel en iyi konumu Denklem 121 ile belirlenir.

$$P_i^t = \begin{cases} p_i^{t-1} & \text{eger } f(x_i^t) \geq f(p_i^{t-1}) \\ x_i^t & \text{eger } f(x_i^t) < f(p_i^{t-1}) \end{cases} \quad (121)$$

Sürü popülasyonundaki küresel en iyi konum da Denklem 122 ile belirlenir.

$$G^t = \begin{cases} p_i^k & \text{eger } \min f(p_i^k) < f(G^{t-1}) \\ G^{t-1} & \end{cases} \quad (122)$$

Algoritmanın basit yapısı, uygulama kolaylığı, lineer olmayan problemlerdeki çözüm hızı, nedeni ile avantaj yaratmaktadır (Taşgetiren vd., 2007). PSE, diğer evrimsel algoritmalar gibi pek çok en iyileme problemlerine uygulanabilmektedir. Algoritma, sistem tasarımı, çok amaçlı en iyileme, sınıflandırma, biyolojik sistem modelleme, çizelgeleme, işaret işleme, robot uygulamaları, karar verme, benzetim gibi uygulama alanlarında bulanık kontrolör tasarımı, atölye tipi çizelgeleme, robot güzergahı planlama, görüntü bölümlendirme, zaman frekans analizi, otomatik hedef belirleme gibi pek çok problemin çözümünde kullanılmaktadır (Shi, 2001). Ayrıca

algoritma, sistem tanımlama, sipariş miktarı belirleme (lot sizing) problemi (Tasgetiren ve Liang, 2003), sınır ağları eğitimi (Van den Bergh ve Engelbecht, 2000), akış tipi çizelgeleme problemleri (Tasgetiren vd., 2004a; 2004b), güç ve voltaj kontrolü (Yoshida vd., 2000), tek makine toplam pozitif gecikme problemi (Tasgetiren vd., 2004c), tedarikçi seçimi ve sıralama problemlerinin (Yeh, 2003) ve iş atama problemlerinin (Salman vd., 2002) eniyilemesinde etkin şekilde kullanılmaktadır.

3.2.7.2 Parçacık Sürü Eniyileme Algoritmasının Uygulanması

Problem formülasyonu kodlama (encoding) ile başlamaktadır. Öncelikle koridor tasarımı geliştirmede kullanılacak değişkenler kodlanmıştır. Orta geçiş koridorunun başlangıç noktası m ile açısı β ile temsil edilmiştir. Sipariş toplama koridorları açıları α_R ve α_L ile temsil edilmiştir. Açıların alabileceği değer aralığı şu şekildedir: $0^\circ < \alpha < 180^\circ$. İkinci aşama alternatif depo tasarımlarının ortalama ulaşım maliyet performansını değerlendirdiğimiz değerlendirme (evaluation) aşamasıdır. Amaç fonksiyonu depolama alanına bir ürün yerleştirme veya alandan bir ürünü almak için kat edilen ortalama mesafeyi (maliyet) minimize etmek şeklinde belirlenmiştir. Üçüncü aşama en kısa ortalama ulaşım maliyetini veren arama (search) yöntemidir. Yöntem olarak PSE algoritması kullanılmıştır. Sonuç olarak her bir alt durum için en kısa ulaşım maliyetini veren tasarım değişkenleri belirlenmiş ve bu alt durumlardan en kısa ulaşım maliyetini veren tasarım seçilmiştir.

$$E[D] = \min\{E[D_{Durum1}], E[D_{Durum2}], E[D_{Durum3}], E[D_{Durum4}], E[D_{Durum5}], E[D_{Durum6}]\}$$

(123)

Problem java dilinde kodlanmıştır. Her bir parçacık bir çözümü ifade etmektedir ve değişkenler parçacığın boyutunu belirlemektedir. Sürü büyüklüğü 50 olarak belirlenmiştir. Algoritma 10.000 defa koşturulmuştur. Parçacıkların yeni konumu bulunurken öğrenme katsayıları c_1 ve c_2 2,05 olarak ele alınmıştır.

Sezgisel yöntemler optimal sonucu garanti etmese de olurlu iyi sonuçlar vermektedir. 4. bölümde bahsedilen tasarımlara ait sonuçlar bulduğumuz en iyi çözümlerdir. Her bir kapı sayısı için elde edilen tasarımlar "geliştirilmiş tasarım" olarak adlandırılacaktır ve performanslarını değerlendirmek için eş değer geleneksel depo tasarımları ile karşılaştırılacaktır.

3.2.7.3 Parçacık Sürü Eniyileme Algoritmasının Performansı

PSE algoritmasının çözüm performansını değerlendirmek için her alt durum için problem, farklı rassal sayı yaratmak için kullanılan beş farklı seed sayı ile çözülmüştür her biri için elde edilen çözümler karşılaştırılmıştır. Örneğin; alt durum1 için beş farklı rassal sayı üretilmiştir ve bu beş rassal sayı ile kapı sayısının 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 ve 19 olduğu durumların her biri için çözüm elde edilmiştir. Elde edilen çözümlerin minimum, ortalama, standart sapma ve varyans katsayı değerleri hesaplanmıştır. Tablo 3.3 de görüldüğü üzere her bir kapı için ulaşılan sonuçların minimum değerleri ile ortalama değerleri birbirine çok yakındır, standart sapmaları en fazla %1 civarlarındadır. Standart sapma değerlerinin ortalama değerlere bölünmesi ile elde edilen varyans katsayı değerleri de oldukça küçüktür. Sonuç olarak PSE algoritması ile elde edilen sonuçların birbiri ile tutarlılık gösterdiği söylenebilir. Ayrıca bir kapılı bir depo için PSE Algoritması ile elde edilen sonuçlar daha önce bir kapılı depo için elde edilen optimal sonuçlar ile aynıdır. Bu da Algoritmanın iyi çalıştığının bir göstergesidir.

Tablo 3.3 PSE Algoritmasının Performans Değerlendirmesi

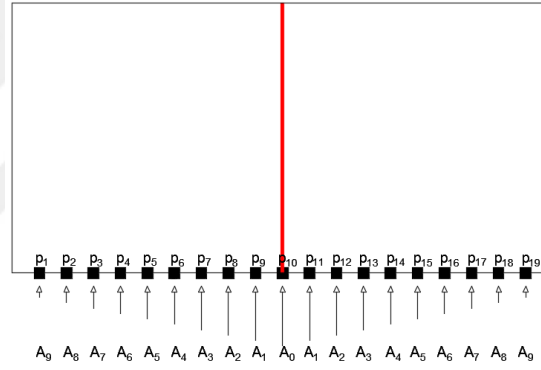
	DURUM1				DURUM2			
noPD	Min.	Ort.	StD.	Cv	Min.	Ort.	StD.	cv
1	40,24	40,24	0,00011	0,00000	40,24	40,24	0,00025	0,00001
3	42,01	42,01	0,00255	0,00006	42,06	42,06	0,00012	0,00000
5	43,54	43,54	0,00107	0,00002	43,71	43,71	0,00007	0,00000
7	45,03	45,04	0,01177	0,00026	45,44	45,44	0,00004	0,00000
9	46,54	46,54	0,00614	0,00013	47,27	47,27	0,00005	0,00000
11	48,17	48,17	0,00260	0,00005	49,21	49,21	0,00001	0,00000
13	49,89	49,89	0,00047	0,00001	51,25	51,25	0,00001	0,00000
15	51,66	51,66	0,00296	0,00006	53,37	53,37	0,00001	0,00000
17	53,54	53,54	0,00142	0,00003	55,55	55,55	0,00002	0,00000
19	55,51	55,51	0,00061	0,00001	57,80	57,80	0,00001	0,00000
	DURUM3				DURUM4			
noPD	Min.	Ort.	StD.	Cv	Min.	Ort.	StD.	cv
1	40,24	40,24	0,00045	0,00001	42,10	42,13	0,02397	0,00057
3	41,97	41,98	0,01038	0,00025	43,3	43,3	0,01713	0,00040
5	43,38	43,39	0,01341	0,00031	44,46	44,46	0,00582	0,00013
7	44,82	44,83	0,00838	0,00019	45,66	45,66	0,00267	0,00006
9	46,32	46,33	0,00606	0,00013	46,98	46,99	0,00618	0,00013
11	47,91	47,92	0,00504	0,00011	48,42	48,43	0,00529	0,00011
13	49,58	49,59	0,00496	0,00010	49,98	49,99	0,00584	0,00012
15	51,35	51,36	0,00400	0,00008	51,66	51,67	0,00828	0,00016
17	53,21	53,21	0,00218	0,00004	53,45	53,45	0,00168	0,00003
19	55,16	55,17	0,00273	0,00005	55,36	55,36	0,00229	0,00004
	DURUM5				DURUM6			
noPD	Min.	Ort.	StD.	Cv	Min.	Ort.	StD.	cv
1	40,24	40,24	0,00009	0,00000	42,49	42,50	0,01270	0,00030
3	42,01	42,01	0,00219	0,00005	43,90	43,90	0,00007	0,00000
5	43,54	43,54	0,00134	0,00003	44,95	44,95	0,00130	0,00003
7	45,06	45,06	0,00047	0,00001	46,18	46,18	0,00066	0,00001
9	46,58	46,58	0,00060	0,00001	47,56	47,56	0,00015	0,00000
11	48,23	48,23	0,00023	0,00000	48,98	48,98	0,00074	0,00002
13	49,96	49,96	0,00016	0,00000	50,55	50,55	0,00064	0,00001
15	51,73	51,74	0,00041	0,00001	52,23	52,23	0,00010	0,00000
17	53,63	53,63	0,00006	0,00000	53,99	53,99	0,00037	0,00001
19	55,58	55,58	0,00021	0,00000	55,88	55,88	0,00025	0,00000

4. BÖLÜM

4.1 Kapılardaki Malzeme Akışının Eşit Olmadığı Birim Yük Depolarda Tek Siparişli Problemlerde Koridor Tasarımı

Çalışmanın bu kısmında depo giriş/çıkış noktalarındaki malzeme akışının eşit olmadığı durum incelenmiştir. Günlük yaşamda ürün girişi ve çıkışı yapılan depo kapıları aynı oranda kullanılmayabilir. Kapılar sevkiyat yapılacak firmalara tahsis edilmiş olabilir ya da paketleme gibi bazı özel işlemlerin az sayıda sadece belirli kapılarda yapılması nedeni ile kapılardaki malzeme akış oranı aynı olmayabilir. Bu nedenle çalışmada ayrıca kapılardaki akış oranının farklı olduğu bir birim yük deposu ile de çalışılacaktır.

Öncelikle Şekil 4.1 de görülen, malzeme akışının deponun tam ortasında yer alan merkez kapıdan her iki yandaki kapılara gidildikçe azaldığı durum incelenmiştir.



Şekil 4.1 Merkez Yoğun Malzeme Akışı

Kapılar arasındaki malzeme akışı farkı doğrusal olması varsayımı ile akış oranları belirlenmiştir. Fark katsayısı g ile gösterilmiş, 1 olarak kabul edilmiştir. Tüm kapılardan geçen toplam malzeme oranı F ile ifade edilmiş, %100 olduğu varsayılmıştır, Denklem 124 ile hesaplanmaktadır. Merkez kapıdaki malzeme akış oranı A_0 ile belirtilmiş ve Denklem 125 ile hesaplanmaktadır. Merkez kapının sağında ve solundaki kapılar simetrik olduğu kabul edilmiş dolayısı ile numaralandırılmaları simetrik olarak yapılmıştır. Kapılardan geçen malzeme oranı A_i ile ifade edilmekte ve Denklem 126 ile hesaplanmaktadır.

$$F = A_0 + 2 \sum_{i=1}^n A_i \quad (124)$$

$$A_0 = \frac{F + gn(n+1)}{2n+1} \quad (125)$$

$$A_i = A_0 - ig \quad (126)$$

noPD: Depodaki toplam kapı sayısı

n: Merkez kapının sağında veya solunda kalan kapı sayısı

$$n = (noPD-1)/2$$

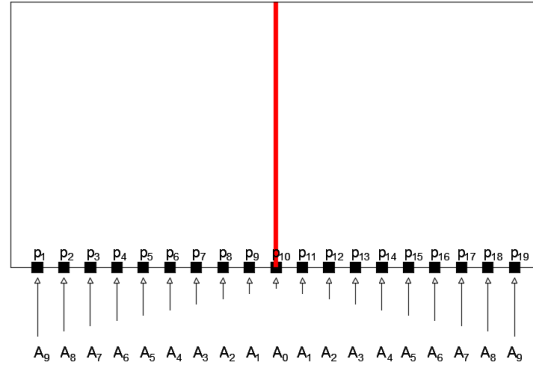
i=Kapı indeksi, *i*=0,1,2,3...9

Toplam malzeme akışının %100 olduğu ve kapılardaki malzeme akış oranının merkezden yanlara gittikçe azaldığı durumda kapılardaki malzeme akış oranları Denklem 126 ile hesaplanmış ve Tablo 4.1 de verilmiştir.

Tablo 4.1 Merkez Yoğun Malzeme Akışı Durumunda Akış Yüzdeleri

		Kapı Sayısı									
		1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
Akış Yüzdeleri (%)	A ₀	100	34	21	16	13	12	11	10	10	10
	A ₁	-	33	20	15	12	11	10	9	9	9
	A ₂	-	-	19	14	11	10	9	8	8	8
	A ₃	-	-	-	13	10	9	8	7	7	7
	A ₄	-	-	-	-	9	8	7	6	6	6
	A ₅	-	-	-	-	-	7	6	5	5	5
	A ₆	-	-	-	-	-	-	5	4	4	4
	A ₇	-	-	-	-	-	-	-	3	3	3
	A ₈	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2
	A ₉	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

Şekil 4.2 de görülen, malzeme akışının, deponun tam ortasında yer alan merkez kapıdan her iki yandaki kapılara gidildikçe arttığı durum incelenmiştir.



Şekil 4.2 Merkez Seyrek Malzeme Akışı

Tüm kapılardan geçen toplam malzeme F ile ifade edilmiştir, Denklem 127 ile hesaplanmaktadır. Merkez kapıdaki malzeme akış oranı A_0 ile belirtilmiş ve Denklem 128 ile hesaplanmaktadır. Kapılardan geçen malzeme oranı A_i ile ifade edilmekte ve Denklem 129 ile hesaplanmaktadır.

$$F = A_0 + 2 \sum_{i=1}^n A_i \quad (127)$$

$$A_0 = \frac{F - gn(n+1)}{2n+1} \quad (128)$$

$$A_i = A_0 + ig \quad (129)$$

Toplam malzeme akış oranının %100 olduğu ve kapılardaki malzeme akış oranının merkezden yanlara gittikçe arttığı durumda kapılardaki akış yüzdeleri Tablo 4.2 de verilmiştir.

Tablo 4.2 Merkez Seyrek Malzeme Akışı Durumunda Akış Yüzdeleri

		Kapı Sayısı									
		1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
Akış Yüzdesi (%)	A ₀	100	33	19	13	9	6	4	3	2	1
	A ₁	-	34	20	14	10	7	5	4	3	2
	A ₂	-	-	21	15	11	8	6	5	4	3
	A ₃	-	-	-	16	12	9	7	6	5	4
	A ₄	-	-	-	-	13	10	8	7	6	5
	A ₅	-	-	-	-	-	11	9	8	7	6
	A ₆	-	-	-	-	-	-	10	9	8	7
	A ₇	-	-	-	-	-	-	-	10	9	8
	A ₈	-	-	-	-	-	-	-	-	10	9
	A ₉	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10

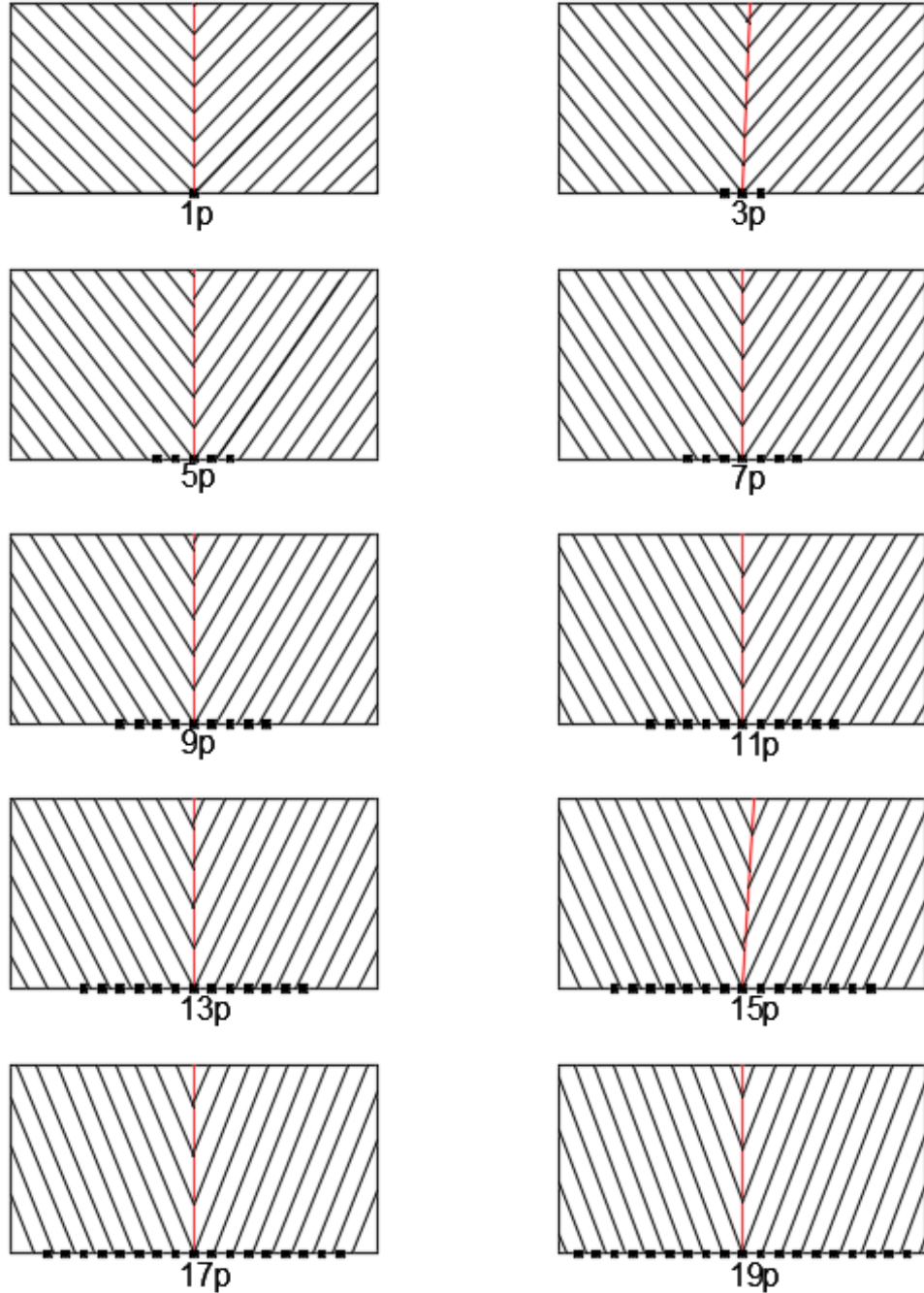
5. BÖLÜM

5.1 SAYISAL SONUÇLAR

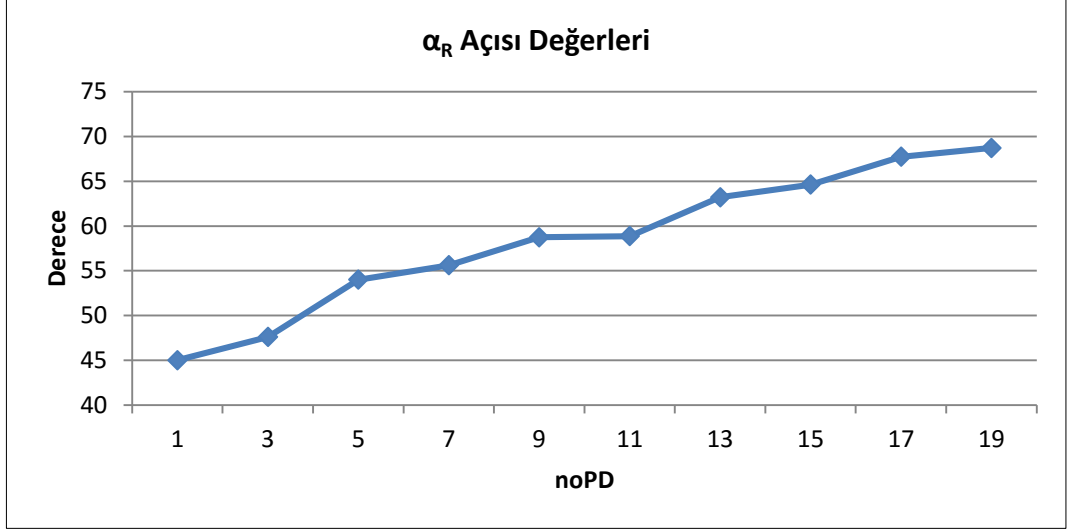
5.1.1 Depo Kapılarında Eşit Malzeme Akış Politikası Altında Elde Edilen Sayısal Sonuçlar

Bu çalışmada çok kapılı birim yük depolarda her bir kapı sayısı için sezgisel çözüm yöntemi ile depo koridorları için yeni bir yerleşim düzeni geliştirilmiştir. 50x100 lük bir depo büyüklüğü ele alınmış ve sonuçlar bu depo için elde edilmiştir. Depo kapıları arasındaki mesafe, genellikle literatürde olduğu gibi 5 birim olarak alınmıştır. 5 birim uzunluk 5 metre olarak kabul edilebilir. 5 metre mesafe, iki kamyon ya da konteynerin rampalara yanaşması ve yükleme ya da boşaltma işlemlerinin yapılabilmesi için uygun bir mesafedir. Depo kapıları arasında 5 birim mesafe olması durumunda uzun kenarı 100 birim olan bir depoya en fazla 19 kapı yerleştirilebilir. Çalışma, her bir depo sayısı için ayrı ayrı ele alınmış ve çözüm elde edilmiştir. Depoda 1 adet giriş/çıkış kapısı olduğunda, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19 adet kapı olduğunda her biri için elde edilen en iyi koridor açıları ve en iyi orta koridor konumunu ifade eden depo yerleşim düzeni Şekil 5.1 de yer almaktadır. Şekilde görüldüğü üzere tüm kapı sayıları için elde edilen yerleşimlerde orta koridorun açısı neredeyse 90^0 dir, başlangıç noktası hemen hemen alt ana koridorun orta noktasına tekabül etmektedir. Orta koridor depoyu ikiye bölmüştür ve orta koridorun sağında ve solunda kalan sipariş toplama koridorları neredeyse simetrik olacak şekilde yerleşmiştir. Sipariş toplama koridorlarının simetrik yerleşimi, rassal depolama politikası ve kapıların alt ana koridora simetrik yerleştirilmesinden dolayı beklenen bir yerleşimdir. Şekilde görüldüğü üzere kapı sayısı 1 iken elde edilen yerleşim Chevron tasarımı doğrulamıştır. 1 kapı söz konusu iken, Öztürkoğlu vd., 2012 çalışmasında elde edilen optimal sonuçlar ile aynı sonuçlar elde edilmiştir. Kapı sayısı arttıkça orta koridorun sağında kalan sipariş toplama koridorlarının açıları büyürken orta koridorun solunda kalan sipariş toplama koridorlarının açıları küçülmüştür ve elde edilen yerleşim geleneksel tasarıma yaklaşık bir tasarım halini almaya başlamıştır. Orta koridorun sağında ve solunda kalan koridorların neredeyse simetrik olması sebebi ile deponun sadece sağ yarısının incelenmesi sonucu Şekil 5.2 de görüldüğü üzere orta koridorun sağında kalan sipariş toplama koridor açılarının kapı sayısı arttıkça büyüdüğü gözlemlenmiştir. Kapı sayısı arttıkça deponun en sağına eklenen her yeni kapıdan uzak noktadaki ürün lokasyonlarına ulaşmak için

geriye doğru kat edilen mesafenin azalması için sipariş toplama koridorlarının açılarının büyümesi beklenen bir durumdur ve bu nedenle açılar beklendiği gibi dikleşmiştir. Tüm kapılardaki malzeme akış yoğunluğunun eşit olduğu durumda her bir kapı sayısı için elde edilen sayısal sonuçlar Tablo 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1 Eşit Malzeme Akışı Politikası Altında Tek Koridorlu Çok Kapılı Depolar İçin Elde Eilen En İyi Koridor Yerleşimi

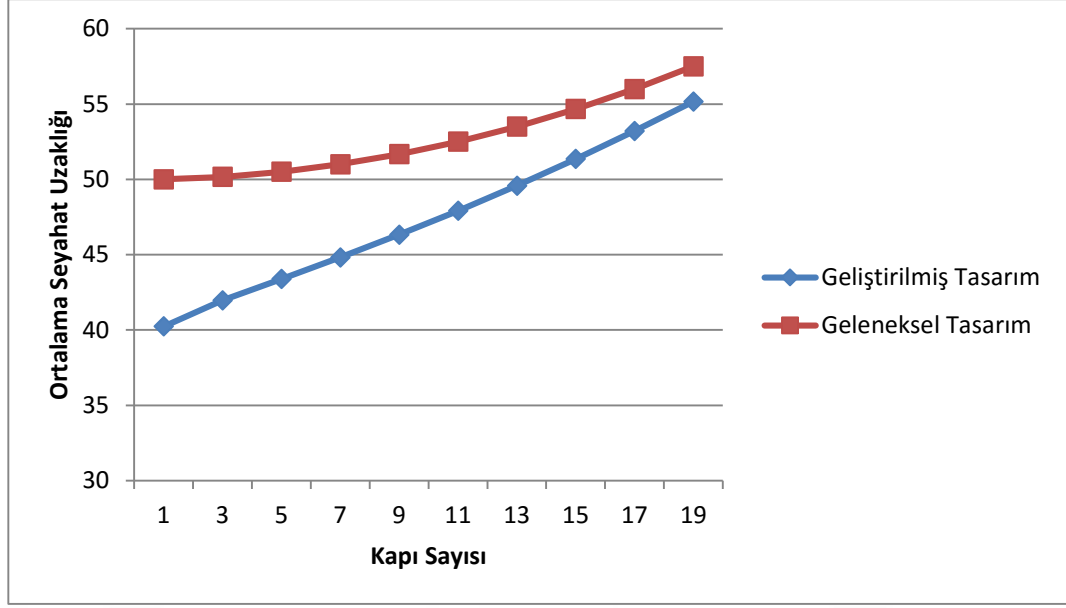


Şekil 5.2 Eşit Malzeme Akış Politikası Altında Sağ Bölge Koridor Açıları

Tablo 5.1 PSE Algoritması ile Elde Edilen En İyi Koridor Açıları ve En İyi Koridor Konum Değerleri

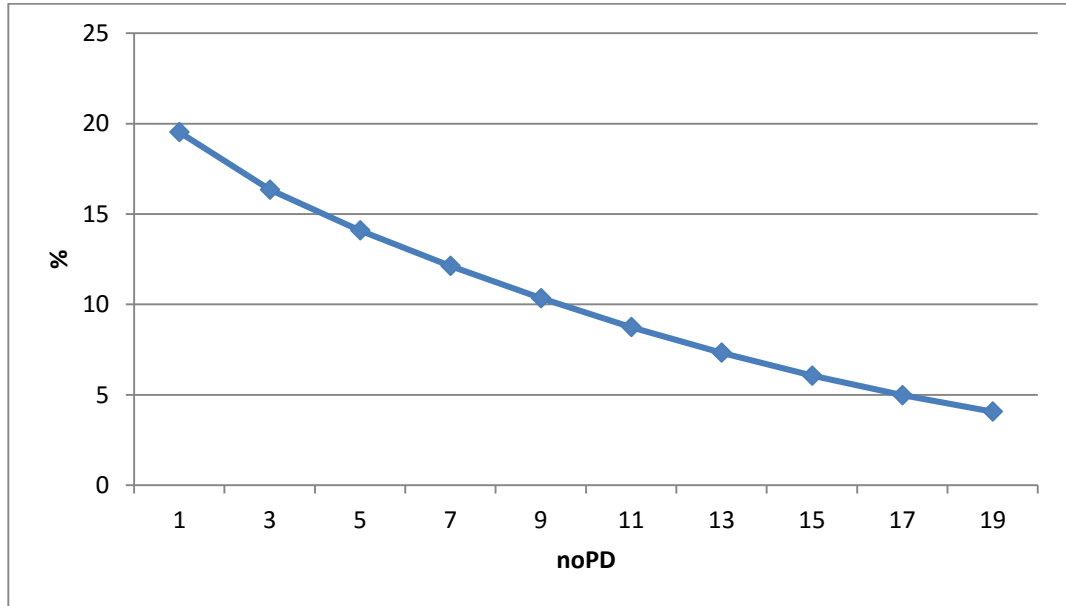
Kapı Sayısı	α_R	α_L	β	m	Ortalama Maliyet
1	45,0	135,0	90,0	50,0	40,2
3	47,6	129,6	87,6	50,0	42,0
5	54,0	128,4	90,0	50,0	43,4
7	55,6	124,0	90,0	50,0	44,8
9	58,7	123,1	90,0	50,0	46,3
11	58,9	120,0	90,0	50,0	47,9
13	63,2	118,2	90,0	50,0	49,6
15	64,6	115,2	86,3	50,0	51,4
17	67,8	112,9	90,0	49,9	53,2
19	68,7	110,9	90,0	49,7	55,2

Çalışma sonucunda elde edilen yerleşimin performansının değerlendirilebilmesi için kıstas olarak geleneksel koridor yerleşimi ele alınmıştır. Geliştirilen yerleşime ait sonuçlar, eş değer bir geleneksel depo yerleşimi ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma ortalama seyahat uzaklığı açısından yapılmıştır. Şekil 5.3'de görüldüğü üzere her kapı sayısı için geliştirilmiş tasarım geleneksel tasarıma göre daha düşük ortalama seyahat uzaklığı dolayısı ile daha düşük ulaşım maliyeti sağlamıştır.



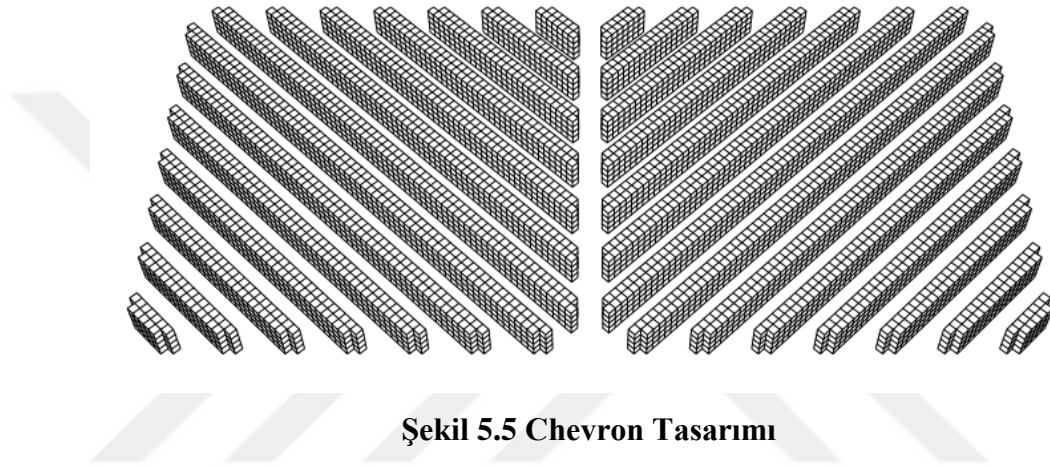
Şekil 5.3 Geleneksel Tasarım ve Geliştirilmiş Tasarımın Ortalama Seyahat Uzaklığı Açısından Karşılaştırılması

Şekil 5.4'e bakıldığında geliştirilmiş koridor yerleşim düzeninin eşdeğer geleneksel koridor yerleşimine göre her kapı sayısı için üstün performans gösterdiğini söyleyebiliriz. Kapı sayısı 1 iken geliştirilmiş yerleşim geleneksel yerleşime göre ortalama seyahat mesafesi açısından yaklaşık % 20 kadar daha iyi sonuç vermiştir. Bu oran kapı sayısı arttıkça azalmıştır ancak 19 kapı olduğu durumda bile yaklaşık % 4 daha iyi sonuç vermiştir.



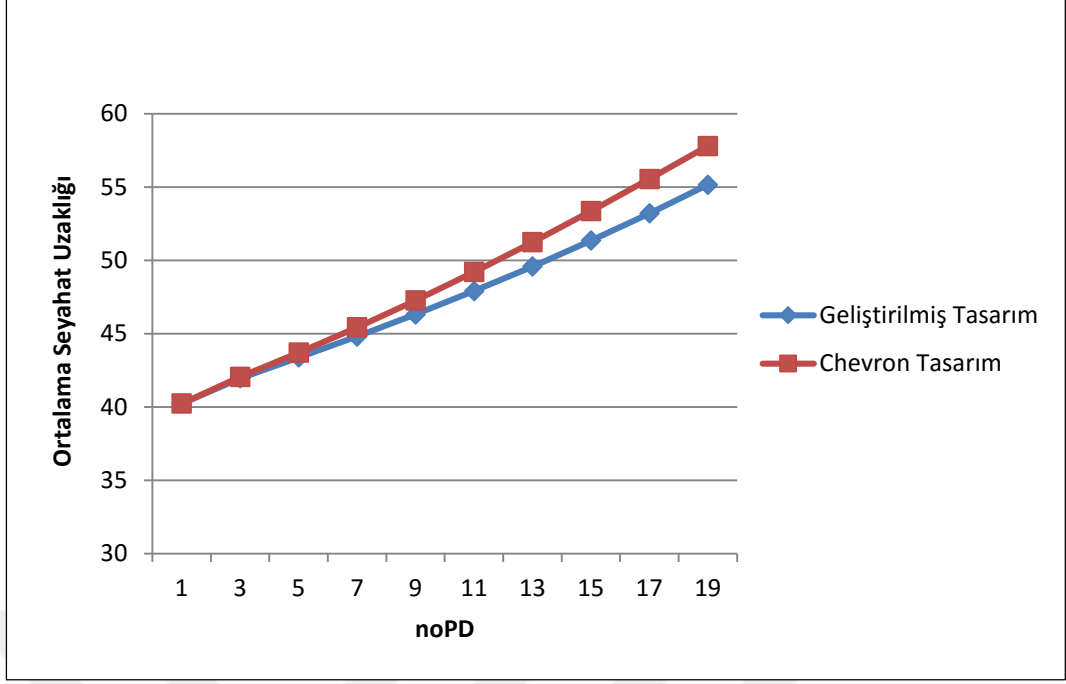
Şekil 5.4 Geliştirilmiş Tasarımın Geleneksel Tasarıma Göre İyileşme Oranı

Bu tez çalışmasının çıkış noktası Öztürkoğlu, Gue ve Meller (2012) in çalışması sonucu tek kapılı ve tek orta koridorlu bir depo için elde edilen optimal tasarım olan Chevron tasarımıdır. Chevron tasarımı koridor başlangıcının depo alt koridorunun tam orta noktasında, orta koridorun açısının 90^0 olduğu, koridorun sağında kalan sipariş toplama koridorlarının açısının 45^0 olduğu ve koridorun solunda kalan sipariş toplama koridorlarının açısının 135^0 olduğu tasarımdır, Şekil 5.5 de gösterilmiştir. Mevcut çalışmada elde edilen koridor yerleşiminin performansının değerlendirilmesinde 2. kıstas olarak Chevron tasarım ele alınmıştır.



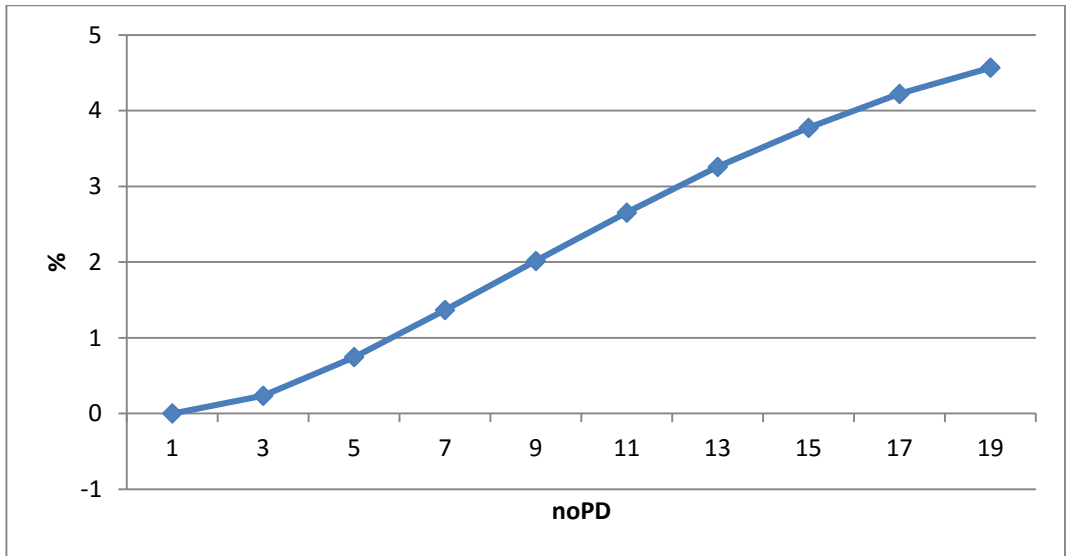
Şekil 5.5 Chevron Tasarımı

Bu çalışmada elde edilen geliştirilmiş tasarım sonuçları Chevron (Öztürkoğlu, Gue ve Meller, 2012) tasarım ile elde edilen sonuçlar ile de karşılaştırılmıştır ve Şekil 5.6 da görüldüğü üzere 7 kapıya kadar geliştirilmiş tasarım ile elde edilen ortalama seyahat uzaklıkları, Chevron tasarım ile elde edilen seyahat uzaklıkları ile neredeyse aynıdır ancak 7. kapıdan sonra geliştirilmiş tasarım ile elde edilen ortalama seyahat uzaklıkları Chevron tasarım ile elde edilen seyahat uzaklıklarından daha az olduğu belirlenmiştir.



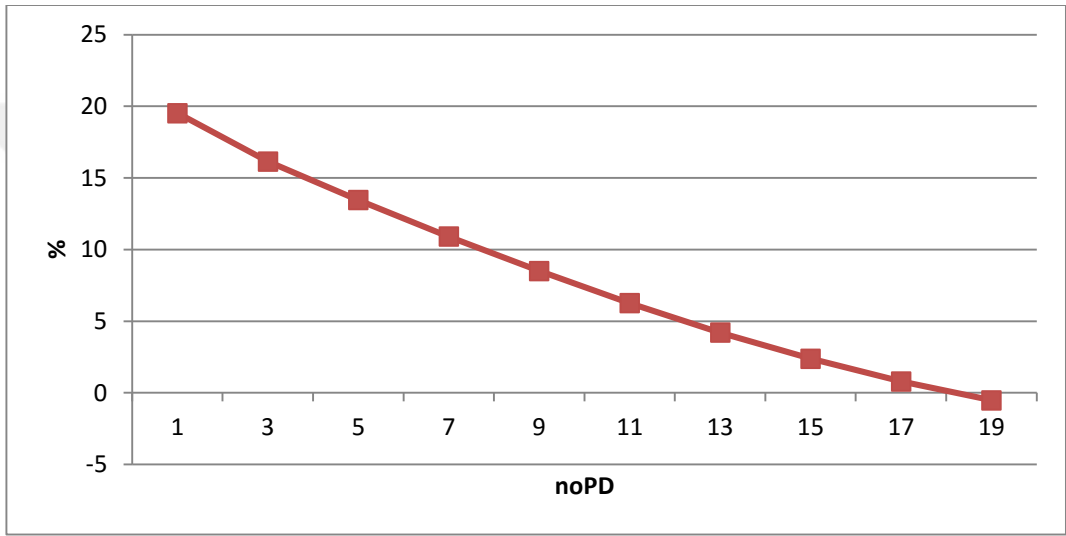
Şekil 5.6 Geliştirilmiş Tasarım ile Chevron Tasarımın Ortalama Ulaşım Maliyeti Açısından Karşılaştırılması

Şekil 5.7 de görüldüğü üzere geliştirilmiş tasarım Chevron tasarıma göre 7. kapıya kadar %1 den az avantaj sağlamıştır. Bu durumda hali hazırda Chevron tasarım uygulanan bir depoda sonradan malzeme akışını hızlandırması amacıyla kapı eklemenin 7 kapıya kadar dez avantaj yaratmayacağı söylenebilir. 7. kapıdan sonra Chevron avantajını yitirmeye başlamıştır. Geliştirilmiş tasarımın Chevron tasarıma göre 19. kapıda yaklaşık % 5 kadar daha iyi performans sağladığı belirlenmiştir.



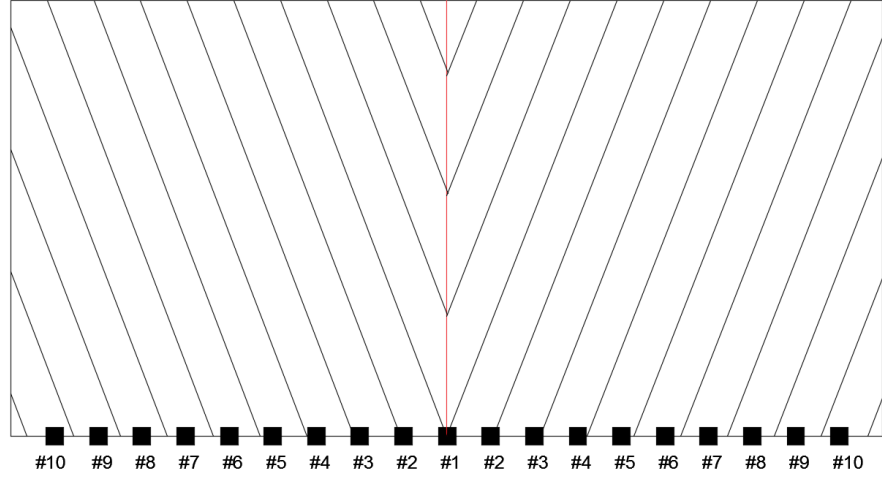
Şekil 5.7 Geliştirilmiş Tasarımın Chevron Tasarıma Göre İyileşme Oranı

Bu tez çalışmasında geliştirilen koridor yerleşiminin değerlendirilmesi yanısıra Chevron tasarımı değerlendirilmektedir. Chevron Tasarımın performansını değerlendirmek üzere eş değer bir Geleneksel depo ile ortalama seyahat mesafesi açısından karşılaştırma yapılmıştır. Şekil 5.8 de görüldüğü üzere kapı sayısı 1 iken Chevron Tasarım Geleneksel Tasarıma göre yaklaşık %20 daha iyi sonuç vermektedir çünkü Chevron tasarım depoda 1 adet giriş/çıkış kapısı olduğu durumlar için geliştirilmiş bir tasarımdır dolayısı ile kapı sayısı arttıkça Geleneksel tasarıma göre avantajını yitirmektedir. 19 kapı söz konusu olduğunda Geleneksel Tasarımın Chevron tasarıma göre daha iyi sonuç verdiği söylenebilmektedir.



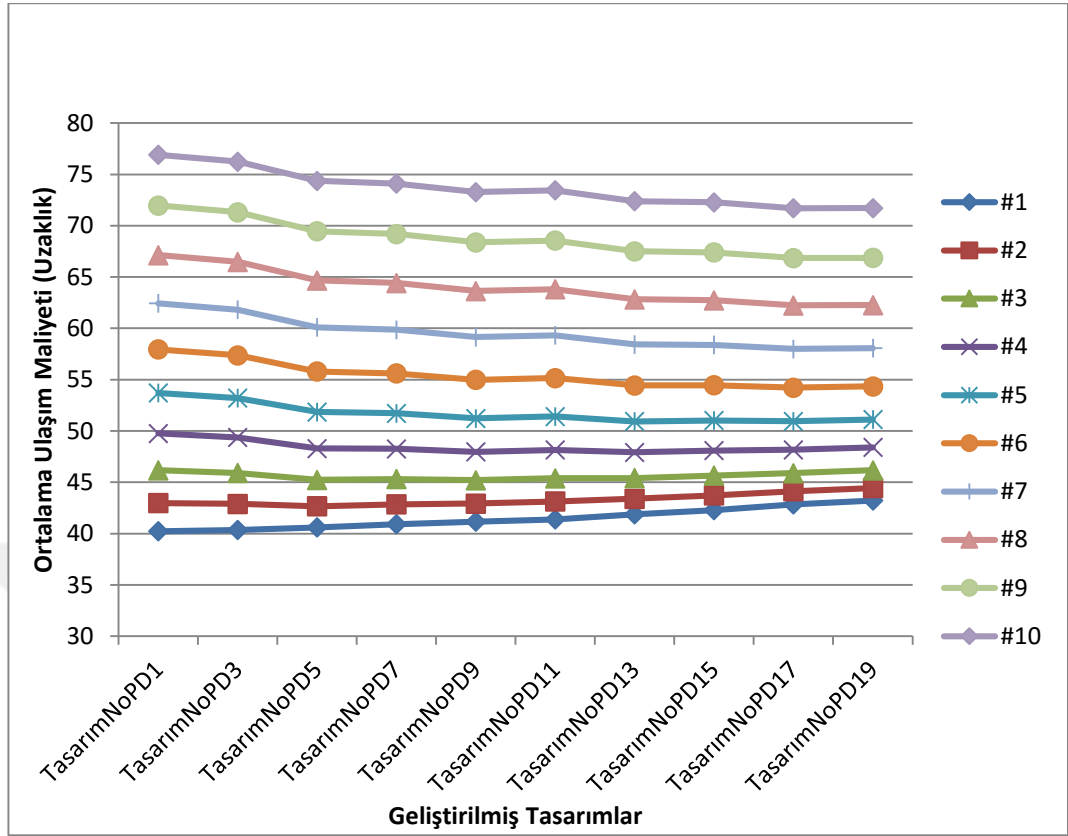
Şekil 5.8 Chevron Tasarımın Geleneksel Tasarıma Göre İyileşme Oranı

Çalışmada depoya eklenecek olan her bir yeni kapının maliyeti incelenmiştir. Bunun için öncelikle depo kapıları Şekil 5.9 daki gibi numaralandırılmıştır. Depodaki her bir kapı için, elde edilen 10 farklı tasarıma ait koridor açıları ve orta koridor konumları kullanarak ortalama seyahat mesafeleri hesaplanmıştır. Örneğin; Şekil 5.9 da #1 olarak gösterilen kapının, 1 den 19 a kadar kapı sayısı için geliştirilmiş tasarımların açıları ve orta koridor başlangıç değeri kullanılarak ortalama seyahat mesafesi hesaplanmıştır.



Şekil 5.9 Kapı Lokasyonları

Şekil 5.10 da grafiğin en altında baklava dilimi ile gösterilen çizgi, lokasyon 1 deki kapının, kapı sayısı 1 olduğunda elde edilen en iyi açılar ve konum değerleri kullanılarak hesaplanmış ortalama seyahat mesafesi ve kapı sayısı 3 olduğunda elde edilen en iyi değerler kullanılarak hesaplanmış ortalama seyahat mesafesi aynı şekilde kapı sayısı 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19 olduğunda elde edilen en iyi açı ve konum değerleri kullanılarak hesaplanmış ortalama seyahat mesafelerini göstermektedir. Yani her kapı sayısı için ayrı ayrı elde edilmiş en iyi koridor açıları ve en iyi koridor konumunun kullanılması ile sadece lokasyon 1 deki kapı için hesaplanmış seyahat mesafeleri ifade edilmiştir. Diğer çizgilerde sırasıyla lokasyon 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 için hesaplanmış seyahat mesafelerini göstermektedir.



Şekil 5.10 Her bir Kapının Farklı Tasarımlar Altında Ortalama Seyahat Uzaklığı

Grafik incelendiğinde merkezdeki kapıya yakın kapılardan depodaki bir noktaya ulaşmak için katedilmesi gereken mesafe eklenen kapı sayısı arttıkça artmaktadır ancak kapı lokasyonu # 3 den sonraki kapılar için eklenen kapı sayısı arttıkça kapıdan depo içindeki herhangi bir noktaya ulaşmak için katedilmesi gereken ortalama mesafe azalmaktadır. Bu durumda şekil oranı 2/1 olan bir depoda hali hazırda en az 3 kapı var ise daha fazla kapı açmak makul bir karardır. Her bir lokasyondaki kapıların farklı tasarımlar altındaki ortalama seyahat mesafeleri Tablo 5.2 de gösterilmiştir.

Tablo 5.2 Farklı Tasarımlar için Her Bir Kapıdan Herhangi Bir Noktaya Ulaşma Mesafesi

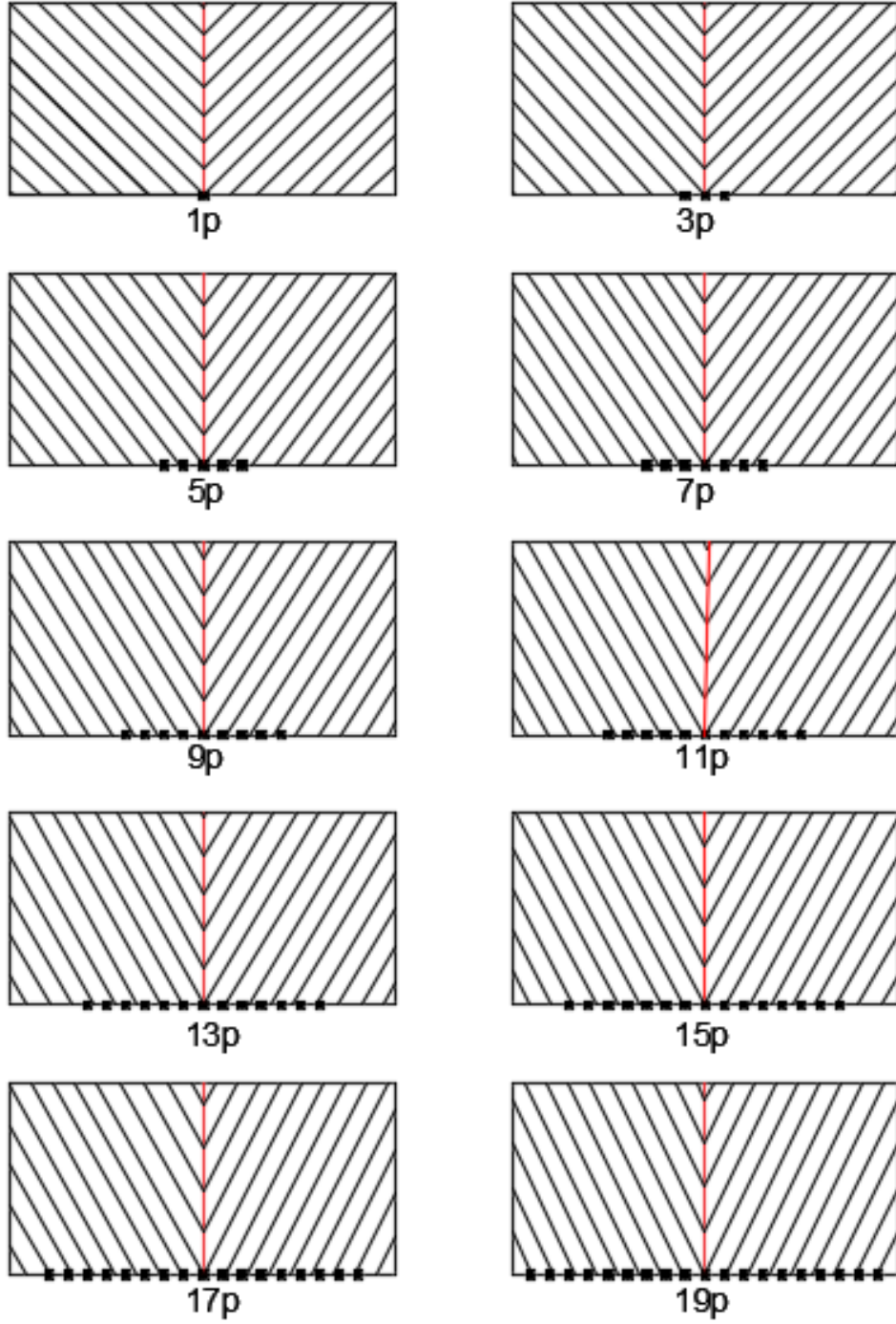
TASARIM	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10
TasarımNoPD1	40,2	43,0	46,2	49,8	53,7	57,9	62,4	67,1	72,0	76,9
TasarımNoPD3	40,4	42,9	45,9	49,4	53,2	57,4	61,8	66,5	71,3	76,2
TasarımNoPD5	40,6	42,7	45,2	48,3	51,8	55,8	60,1	64,7	69,5	74,4
TasarımNoPD7	40,9	42,8	45,3	48,3	51,7	55,6	59,9	64,4	69,2	74,1
TasarımNoPD9	41,2	42,9	45,2	48,0	51,2	55,0	59,1	63,6	68,4	73,3
TasarımNoPD11	41,4	43,1	45,4	48,2	51,4	55,2	59,3	63,8	68,5	73,5
TasarımNoPD13	41,9	43,4	45,4	47,9	50,9	54,4	58,4	62,8	67,5	72,4
TasarımNoPD15	42,3	43,7	45,7	48,1	51,0	54,5	58,4	62,7	67,4	72,3
TasarımNoPD17	42,9	44,1	45,9	48,2	50,9	54,2	58,0	62,2	66,8	71,7
TasarımNoPD19	43,2	44,4	46,2	48,4	51,1	54,3	58,1	62,3	66,9	71,7

5.1.2 Merkez Yoğun Malzeme Akış Politikası Altında Elde Edilen Sayısal Sonuçlar

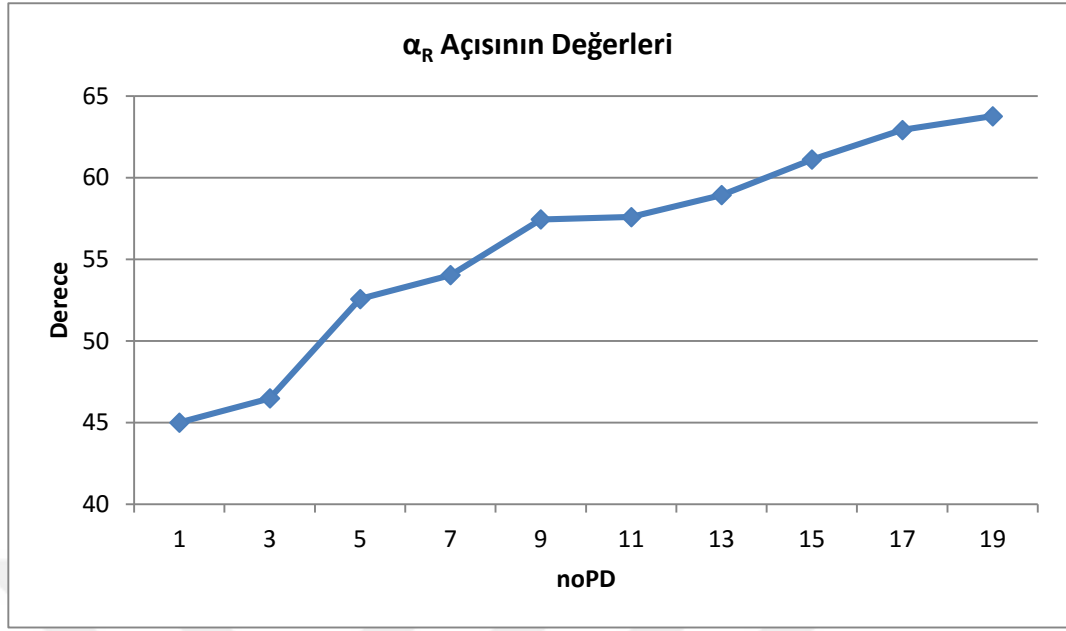
Çalışmanın buraya kadar olan kısmında kapılardaki malzeme akış oranlarının eşit olduğu kabul edilmiştir. Yani deponun tüm kapılarından yapılan malzeme girişi ya da sevkiyat işlemleri miktarının eşit olduğu anlamına gelmektedir. Ancak gerçek yaşamda malzeme akış yoğunluğu her kapıda eşit olmayabilir. Bazı sevkiyatların özel işlem gerektirdiği durumlarda işlemin gerçekleşmesini sağlayacak teçhizatın sınırlı sayıda olması, sadece belirli kapılarda o işlemin yapılabiliyor olması kapılar arasındaki malzeme akış oranının eşit olmamasına sebep olabilir ya da bazı kapıların bazı şirketlere tahsis edilmesi ya da kapıların mal kabul ve sevkiyat diye ayrıştırılması gibi nedenler kapılardaki malzeme akış yoğunluğunun eşit olmamasına neden olabilmektedir. Bu gibi nedenler ile deponun orta kapısında malzeme akışının diğer kapılara göre daha fazla olduğu yandaki kapılara gittikçe malzeme akışının azaldığı bir senaryo geliştirilmiştir. Örneğin ambalaj makinasının 1 adet olması ve tüm kapılara eşit uzaklıkta olmasını sağlamak için makinenin merkezdeki kapıya yerleştirilmesi ve dolayısı ile merkezdeki kapıda diğer kapılara göre malzeme akışının daha yoğun olması bu senaryoya örnek olabilmektedir. Bu senaryo altında farklı kapı sayısına sahip depolar için ortalama seyahat mesafesini minimum kılan koridor açıları ve orta koridor konumu belirlenmiştir. Farklı kapı sayıları için elde edilmiş koridor yerleşimleri Şekil 5.11 de gösterilmiştir. Şekil 5.11 de görüldüğü üzere önce depoda bir kapı olduğu durum, ardından 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 ve 19 kapı olduğu durumlar teker teker ele alınmış ve her durum için çözümler elde

edilmiştir. Her durumda orta koridor yaklaşık 90^0 lik bir açı ile neredeyse deponun tam ortasına yerleşmiştir ve depoyu iki bölgeye ayırmıştır. Orta koridorun sağında ve solunda kalan sipariş toplama koridorlarının neredeyse simetrik olduğu saptanmıştır. Kapı sayısı arttıkça orta koridorun sağında ve solunda yer alan koridorların açılarının dikleştiği gözlemlenmiştir. Deponun hemen hemen simetrik olması sebebi ile sadece sağ yarısındaki koridorlar incelenmesi üzerine, açılarının kapı sayısı arttıkça büyüdüğü belirlenmiştir. Açılarının aldığı değerler Şekil 5.12 de görülmektedir.



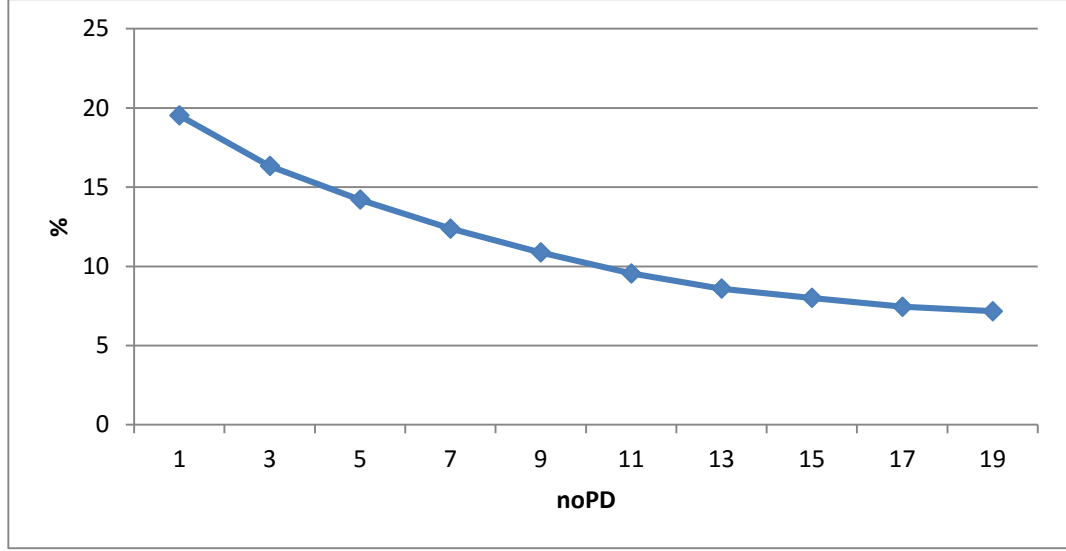


Şekil 5.11 Merkez Yoğun Malzeme Akışı Politikasında Koridor Tasarımı



Şekil 5.12 Merkez Yoğun Malzeme Akış Politikası Altında Sağ Bölge Koridor Açılırları

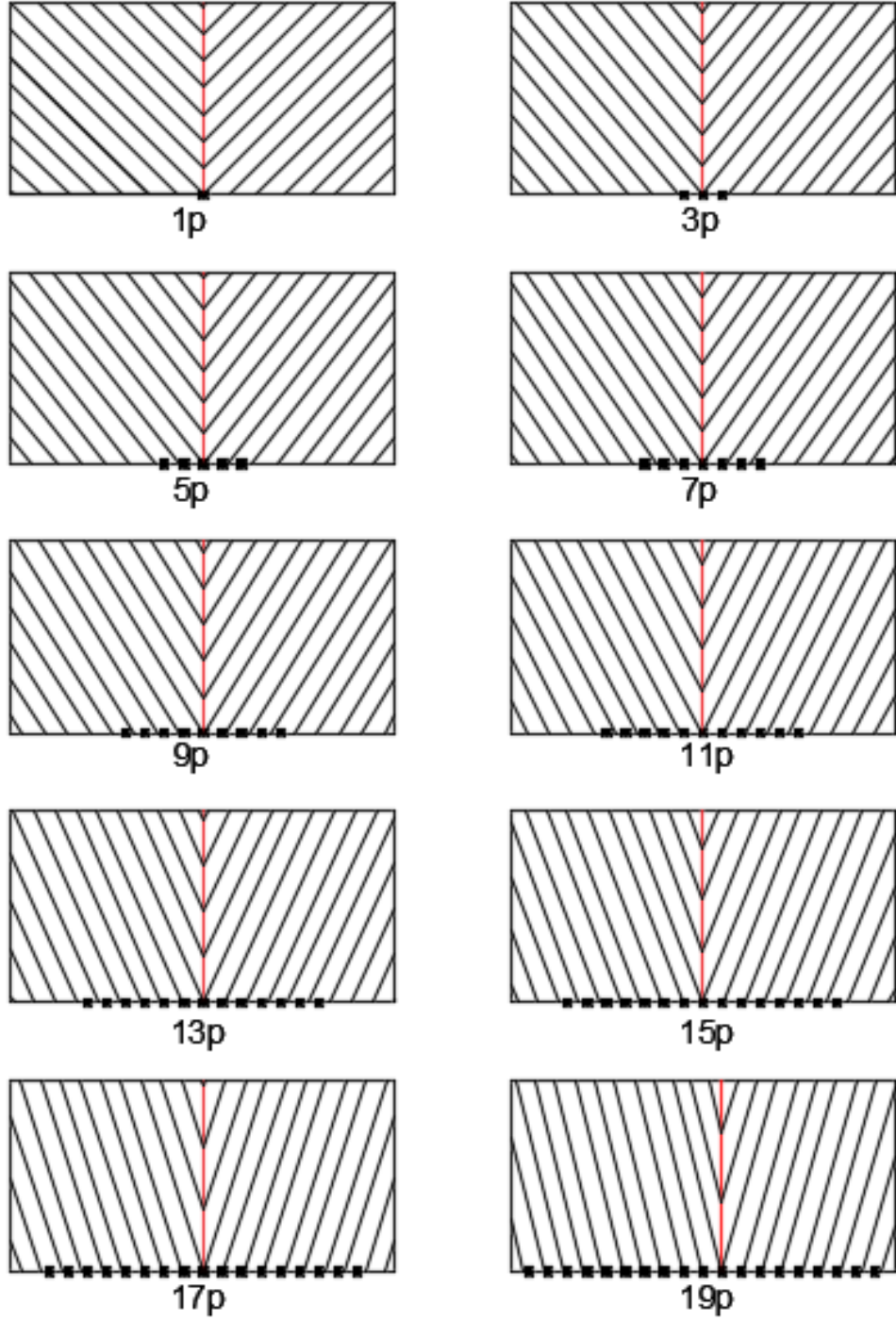
Merkez yoğun malzeme akışı senaryosu altında geliştirilmiş koridor yerleşimine sahip bir depo için ve eşdeğer bir geleneksel depo için ortalama ulaşım maliyetleri hesaplanmıştır. Her iki tasarım ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış geliştirilmiş tasarımın geleneksel tasarıma göre üstünlüğü belirlenmiştir. Karşılaştırmayı gösteren grafik Şekil 5.13 de verilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere merkez yoğun malzeme akışı olduğu durumda da geliştirilmiş tasarım geleneksel tasarıma göre ortalama seyahat mesafeleri açısından daha iyi sonuç vermiştir. Kapı sayısı 1 olduğu durumda geliştirilmiş yerleşim geleneksel yerleşime göre yaklaşık %20 daha fazla avantaj sağlarken kapı sayısı 19 olduğunda bu oran % 7 lere kadar düşmektedir. Eşit malzeme akış politikası altında ise 19 kapı olduğunda bu oran % 4 lere kadar düşmüştü. Bu durumda merkez yoğun malzeme akış politikasının eşit malzeme akış politikasına göre daha büyük avantaj sağladığı da ayrıca söylenebilmektedir.



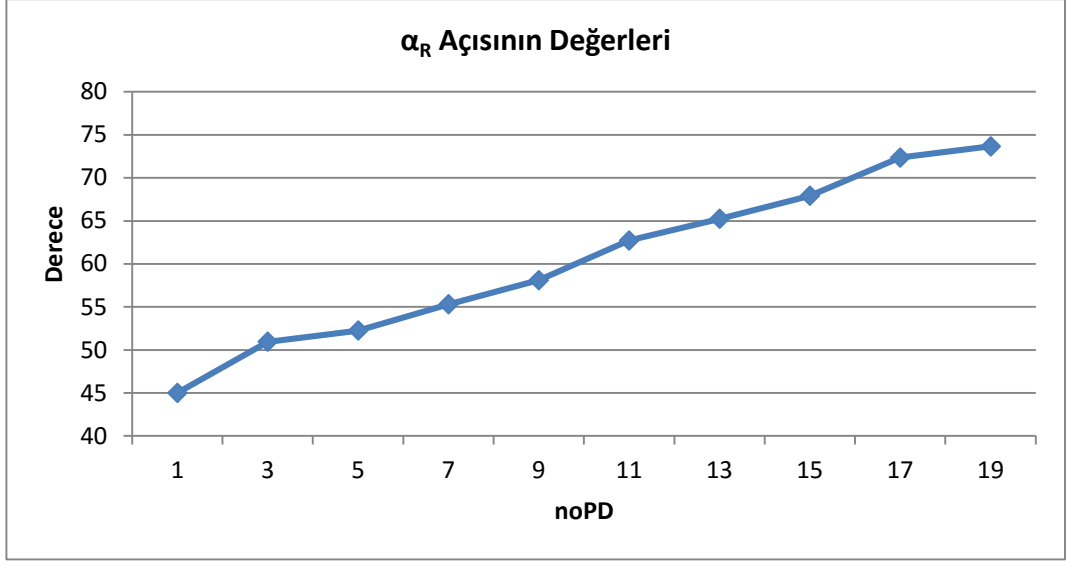
Şekil 5.13 Geliştirilmiş Tasarımın Geleneksel Tasarıma Göre İyileşme Oranı

5.1.3 Merkez Seyrek Malzeme Akış Politikası Altında Elde Edilen Sayısal Sonuçlar

Daha önceki bölümlerde sektörde faaliyet gösteren depolarda yer alan tüm kapılarda malzeme akış yoğunluğunun eşit olmadığı durumlardan bahsedilmiştir. Özellikle depo alanı içindeki malzeme akış trafiğini rahatlatmak için mal kabul ve sevkiyat kapılarının ayrıldığı durumlar söz konusu olabilmektedir. Bu nedenle örneğin orta kapıların sevkiyat işlemi için yan kapıların ise mal kabul işlemi için kullanılabileceği ya da tam tersi durumlarla karşılaşmak mümkündür. Böyle bir durumda yandaki kapılardaki malzeme akış yoğunluğunun merkez kapıya göre daha fazla olması muhtemel bir durumdur. Malzeme akışının deponun ortasındaki kapıdan yan kapılara gittikçe arttığı durumda farklı kapı sayıları için ortalama seyahat mesafelerini minimum kılan koridor açıları ve orta koridor konumları belirlenmiştir. Elde edilen sayısal değerlerin ifade ettiği görsel koridor yerleşimi Şekil 5.14 de görülmektedir. Şekil 5.14 de görüldüğü üzere her kapı sayısı için elde edilen sonuçta orta koridorun açısının yaklaşık 90^0 olduğu ve başlangıç noktasının alt koridorun hemen hemen tam orta noktasına tekabül ettiği görülmektedir. Diğer akış politikalarında olduğu gibi orta koridorun depoyu iki bölgeye ayırdığı ve bu iki bölgede yer alan sipariş toplama koridorlarının neredeyse simetrik olduğu saptanmıştır. Deponun sağ bölgesinde yer alan sipariş toplama koridorlarının açıları kapı sayısı arttıkça büyümektedir, Şekil 5.15 de görülmektedir.

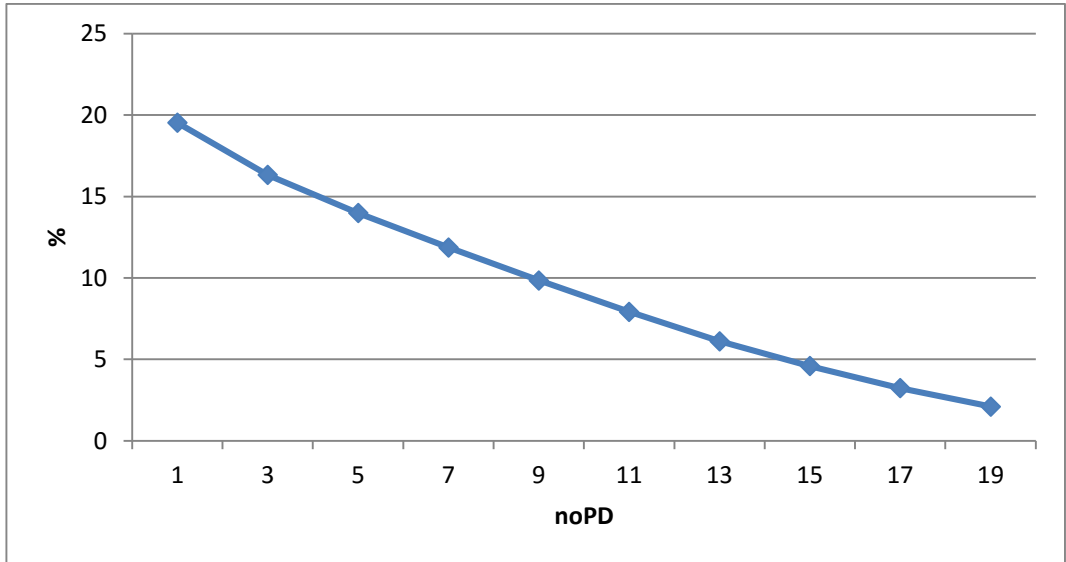


Şekil 5.14 Merkez Seyrek Malzeme Akışı Politikasında Koridor Tasarımı



Şekil 5.15 Merkez Seyrek Malzeme Akış Politikası Altında Sağ Bölge Koridor Açılışları

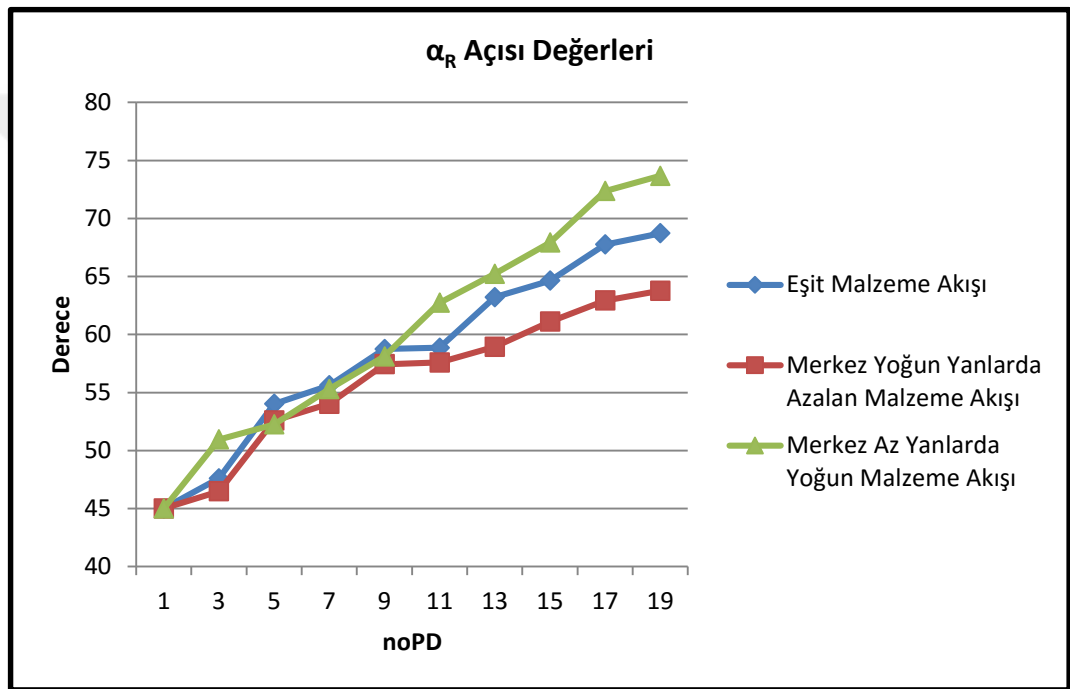
Şekil 5.16 da malzeme akışının deponun ortasındaki kapıdan yan kapılara gittikçe arttığı durumda geliştirilmiş koridor yerleşimi ile elde edilen sonuçların geleneksel depo yerleşimi ile elde edilen sonuçlara göre ne kadar avantaj sağladığı görülmektedir. Grafikte de görüldüğü üzere kapı sayısı 1 iken yeni yerleşim geleneksel yerleşime göre %20 civarlarında avantaj sağlarken bu oran kapı sayısı arttıkça azalmaktadır ve 19 kapı olduğu durumda % 2 civarına kadar düşmektedir.



Şekil 5.16 Geliştirilmiş Tasarımın Geleneksel Tasarıma Göre İyileşme Oranı

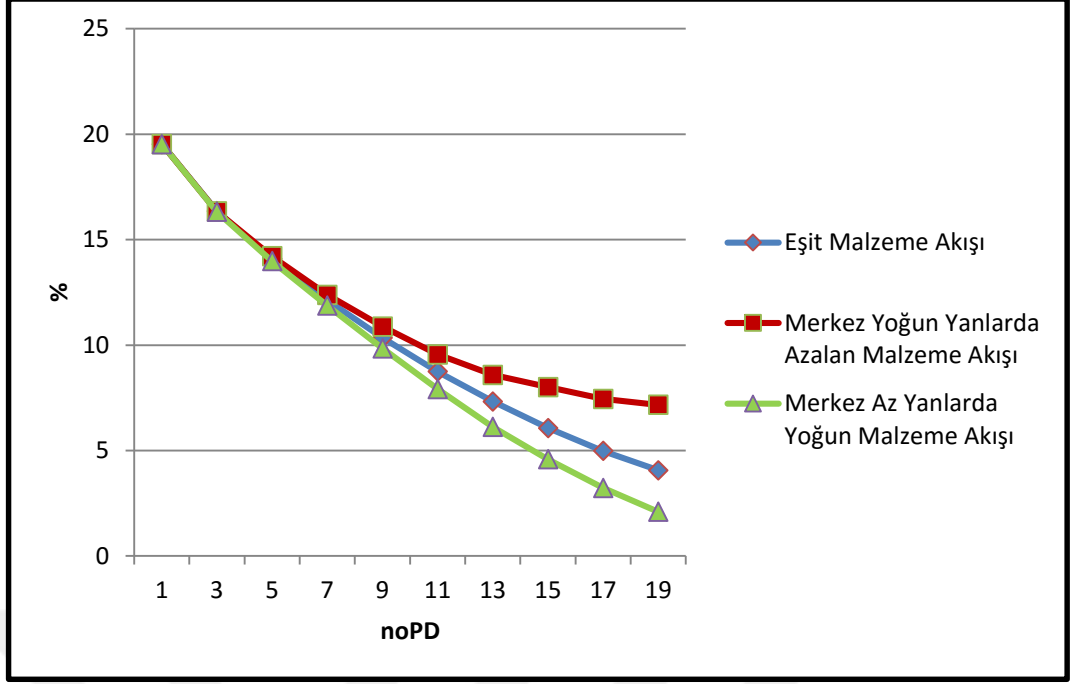
Her kapı sayısı için elde edilen sonuçlar yeni tasarımın geleneksel tasarıma göre daha iyi olduğunu göstermektedir ancak 3 farklı malzeme akış politikasından en az avantaj sağlayanın merkez seyrek malzeme akış politikası olduğu söylenebilmektedir.

3 malzeme akış politikası altında elde edilen sağ bölge açıları Şekil 5.17 de görüldüğü üzere kapı sayısı arttıkça büyümektedir ancak büyüme en çok merkez seyrek malzeme akışı olduğunda görülmektedir, açılarda büyüme en az merkez yoğun malzeme akışı olduğu durumda görülmektedir.



Şekil 5.17 Farklı Malzeme Akış Politikaları Altında Sağ Koridor Açıları

Geliştirilmiş koridor yerleşiminin geleneksel koridor yerleşimine göre sağladığı avantaj 3 farklı malzeme akış politikası altında incelenmiştir. Şekil 5.18 de görüldüğü üzere kapı sayısı 1 iken her üç akış politikası altında sağlanan avantaj % 20 civarlarındadır ancak kapı sayısı arttıkça her üç akış politikası altında sağlanan avantaj azalmaktadır. Azalma en çok merkez seyrek malzeme akış politikası altında görülmektedir. Azalma en az merkez yoğun malzeme akış politikası altında görülmüştür. Bu durumda geliştirilmiş koridor yerleşimi uygulanan bir depo için 2. akış politikasını yani merkez yoğun malzeme akış politikasının uygulanması önerilmektedir.



Şekil 5.18 Farklı Malzeme Akış Politikaları Altında Geliştirilmiş Tasarımın Geleneksel Tasarıma Göre İyileşme Oranı

5.2 SONUÇLAR

Sanayi devrimleri ile teknolojinin gelişmesi, işletmeleri değişen müşteri beklentilerini karşılayacak şekilde üretim sistemlerini değiştirmeye zorlamıştır. Değişen beklentileri hızlı bir şekilde karşılayabilmek işletmelerin esnek olması ile sağlanabilmektedir. Esneklik, işletmelerin üretim sistemlerini yeniliklere adapte edebilme hızına bağlıdır. 20. yy.da seri üretim yerine esnek üretim sistemleri uygulanmaya başlamış hatta artan rekabet işletmeleri esnek olan üretim sistemlerinde iyileştirmeler yapmaya zorlamıştır ancak rekabetin şiddeti ve teknoloji alanında yaşanan gelişmeler işletmeleri üretim alanında iyileştirmelerin yanı sıra tedarik zincirinin diğer halkalarında da iyileştirme çalışmaları yapmaya zorlamıştır. Tedarik zincirindeki öneminin artması nedeniyle depolar hayli önem kazanmıştır. Müşteri siparişlerini zamanında karşılayabilmek depoda sevkiyat işlemlerinin zamanında yapılmasına bağlıdır. Sevkiyat işleminin zamanında yapılabilmesi depo yerleşim düzeninden hayli etkilenmektedir. Bu nedenle bu tez çalışmasında birden çok giriş çıkış kapısı olan, sipariş toplama koridorları arasında geçiş kolaylığı sağlaması amacıyla bir adet orta koridoru bulunan bir depoda herhangi bir kapıdan depodaki herhangi bir ürün lokasyonuna ulaşmak için kat edilen ortalama mesafeyi minimize eden koridor yerleşimi belirlenmesi hedeflenmiştir. Bunun için öncelikle mesafe fonksiyonları oluşturulmuştur. Herhangi bir depo kapısından herhangi bir ürün lokasyonuna ulaşmak için kat edilmesi gereken mesafeler sürekli uzayda matematiksel olarak ifade edilmiştir. Mesafe fonksiyonlarının sürekli uzayda modellenmesi çalışmanın önemli farklarından biridir. Daha önce literatürde yapılan çalışmalarda mesafe fonksiyonları ayrık uzayda modellendiği görülmüştür. Ayrık uzayda modellenmiş bir problemin herhangi bir parametresinin değiştirilmesi halinde problemin en baştan modellenmesi ve çözülmesi gerekmektedir. Bu da modelin farklı depolarda, farklı depolama politikaları altında ya da farklı malzeme akış politikaları altında yeniden ele alınmasını zorlaştırmaktadır. Çözüm süreleri oldukça uzundur. Mevcut çalışmada mesafe fonksiyonlarının sürekli uzayda ifade edilmesi, problemin farklı büyüklükte, farklı şekil oranlarındaki depolara, farklı malzeme akış politikaları altında kolaylıkla uygulanmasını sağlamaktadır.

Mesafe fonksiyonları oluştururken bir takım varsayımlar kabul edilmiştir. Bunlar depolama alanındaki tüm ürün lokasyonlarının ziyaret edilme olasılığının eşit olduğu ve sipariş toplama işleminde sadece bir ürün yerinden alınmak amacıyla ya

da yerine yerleştirilmek amacıyla tek yönlü mesafe kat edildiği şeklinde-dir. Çalışmada 3 farklı malzeme akış politikası altında farklı kapı sayıları için koridor yerleşimi elde edilmiştir. Birincisi eşit malzeme akış politikası yani depodaki tüm kapılardan eşit yoğunlukta malzeme geçişi oldu politikadır, ikincisi merkez yoğun malzeme akış politikasıdır , üçüncüsü ile merkez seyrek malzeme akış politikasıdır. Her akış politikası altında depoda 1 giriş/çıkış kapısı olduğu durum, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19 adet giriş/çıkış kapısı olduğu durum teker teker ele alınmış ve çözümler elde edilmiştir. Her kapı için ortalama ulaşım mesafesini dolayısı ile ulaşım maliyetini minimize eden koridor tasarımı parçacık sürü eniyileme algoritması ile çözülerek elde edilmiştir.

ztrkoğlu vd. (2012) alışmasında geliştirilen Chevron tasarımının bir kapı için optimal tasarım olduğu mevcut çalışma ile doğrulanmıştır. Farklı malzeme akış politikaları altında, farklı kapı sayıları için problem çözüldüğünde, orta koridor açısının hemen hemen 90⁰ olduğu, orta koridor konumunun hemen hemen deponun alt koridorunun tam orta noktasına tekabül ettiği, orta koridorun sağında ve solundaki koridorların hemen hemen simetrik olduğu tasarımlar elde edilmiştir. Elde edilen koridor yerleşimlerinin ortalama seyahat mesafesi açısından iyi sonuç verip vermediği geleneksel tasarım kıstas alınarak değerlendirilmiştir. Her bir kapı sayısı için geliştirilmiş koridor tasarımı ile elde edilmiş ortalama seyahat uzaklıkları eşit değer büyüklükte bir geleneksel depoda elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Eşit malzeme akış politikası altında geliştirilmiş tasarımın geleneksel tasarıma göre % 20 ile % 4 arasında avantaj sağladığı saptanmıştır. Merkez yoğun malzeme akış politikası altında geliştirilmiş tasarımın geleneksel tasarıma göre % 20 ile % 7 arasında avantaj sağladığı saptanmıştır. Merkez seyrek malzeme akış politikası altında geliştirilmiş tasarımın geleneksel tasarıma göre % 20 ile % 2 arasında avantaj sağladığı saptanmıştır. Her durumda geliştirilmiş koridor yerleşimi geleneksel yerleşime göre avantaj yaratmakta olduğu belirlenmiştir. Ancak 3 akış politikasından merkez yoğun akış politikasının çok kapılı depolarda diğer ikisine göre daha avantajlı olduğu bilinmektedir. Hatta geleneksel tasarıma sahip deplarda da bu akışın avantaj yarattığı söylenebilir. Endüstride hali hazırda geleneksel koridor yerleşim düzenine sahip depolar için veya geliştirilen koridor yerleşiminini uygulanması haline merkez yoğun akış politikası tavsiye edilmektedir.

Ayrıca geliştirilmiş tasarımın Chevron tasarıma göre de eşit malzeme akış politikası altında kapı sayısı arttıkça %5 e kadar avantaj sağladığı belirlenmiştir. Chevron tasarımın dayanıklılığı incelendiğinde ise tasarımın tek kapı için geliştirilen en iyi tasarım olduğu doğrulanmıştır ve 7 kapıya kadar geleneksel tasarıma göre avantajını koruduğu belirlenmiştir. Bu durumda hali hazırda Chevron tasarım uygulanan bir depoya sonradan kapı eklenmesi 7 kapıya kadar dezavantaj yaratmayacağı söylenebilir.

3 farklı akış poltikası altında geliştirilen tasarımlar ile elde edilen maliyetlere bakıldığında depoya eklenen her yeni kapının ortalama ulaşım maliyetini artırdığı görülmektedir çünkü deponun en uzak iki köşe noktasına olan en kısa mesafe ancak kapının merkezde olduğu zaman sağlanmaktadır bu nedenle merkezden uzak olan her kapı aslında ulaştırma maliyetlerini artırmaktadır. Gue vd. (2012) çalışmasında depo duvarının tam merkezinde yer alan bir adet giriş/çıkış noktasından depo içindeki lokasyonlara ulaşma maliyetinin, depo duvarına yayılmış birden çok kapıdan lokasyonlara ulaşma maliyetinden daha düşük olduğunu belirtmiştir ayrıca depoda sadece bir adet ambalaj makinesi olması durumunda yine tek giriş çıkış noktası fayda sağlamaktadır. Buna rağmen endüstride pek çok depoda özellikle üçüncü parti lojistik sağlayıcı firmalarda veya büyük aktarma merkezlerinde birden çok kapı var olduğu görülmektedir çünkü depoda sadece bir tane kapının olması konteynerlerin, tırların mal kabul ve sevkiyat için tek kapıyı beklemelerini gerektirir. Bu durum depo önünde tıkanıklığa ve beraberinde çok geç teslim zamanlarına sebep olur. Oysa müşteri beklentilerini zamanında karşılamak son dönem rekabet piyasası için son derece önemlidir. Bu nedenle depolarda birden fazla giriş/çıkış noktası olması kaçınılmazdır.

6. KAYNAKLAR

Acar, A.Z.(2010). Depolama ve Depo Yönetimi (1.basım). Ankara: Nobel Yayınevi. 42-50.

Banks, A., Vincent, J., ve Anyakoha, C. (2008). A review of particle swarm optimization. Part II: hybridisation, combinatorial, multicriteria and constrained optimization, and indicative applications. *Natural Computing*, 7:109-124.

Bartholdi, J. J., ve Hackman, S. T. (2014). Warehouse & distribution science. Supply Chain & Logistics Institute School of Industrial and Systems Engineering Georgia Institute of Technology. Georgia, USA, 0,96.

Bortolini, M., Faccio, M., Gamberi, M., ve Manzini, R. (2015). Diagonal cross-aisles in unit load warehouses to increase handling performance. *International Journal of Production Economics*, 170, 838-849.

Bowersox, D. J., Closs, D. J., ve Cooper, M. B. (2002). Supply chain logistics management (Vol. 2). New York, NY: McGraw-Hill, 246-268.

Caron, F., Marchet, G., and Perego, A. (1998). Routing policies and cor-based storage policies in picker-to-part systems. *International Journal of Operational Research*, 36(3):713-732.

Cardona, L. F., Rivera, L., & Martínez, H. J. (2012). Analytical study of the fishbone warehouse layout. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 15(6), 365-388.

Chew, E. and Tang, L. (1999). Travel time analysis for general item location assignment in a rectangular warehouse. *European Journal of Operational Research*, 112:582-597.

Çelik, M., ve Süral, H. (2014). Order picking under random and turnover-based storage policies in fishbone aisle warehouses. *IIE Transactions*, 46(3), 283-300.

Dekker, R., De Koster, M. B. M., Roodbergen, K. J., & Van Kalleveen, H. (2004). Improving order-picking response time at Ankor's warehouse. *Interfaces*, 34(4), 303-313.

De Koster, R., ve Van der Poort, E. (1998). Routing orderpickers in a warehouse: a comparison between optimal and heuristic solutions. *IIE transactions*, 30(5), 469-480.

De Koster, R., Le-Duc, T., & Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182(2), 481-501.

Demir, M.H. ve Gümüšoğlu, Ş. (2013). Üretim Yönetimi.(8. basım).İstanbul. Beta Basım. 211-215.

Elmacı, O., ve Tutkavul, K. (2015). Mamul maliyetlerinin hesaplanmasında geleneksel ve çağdaş maliyetleme sistemlerinin yeterliliklerinin karşılaştırılmasına yönelik betimsel bir çalışma. *Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi*, 17(2).261-304.

Galvez, O.D, Ting, C.J.(2012). Analysis of unit-load warehouses with nontraditional aisles and multiple p&d points. In: *The 13th Asia-Pacific Conference on Industrial Engineering and Management Systems*, 2011-2021.

Görçün, Ö.F.(2013). *Depo ve Envanter Yönetimi*(1. basım). İstanbul.Beta Basım.18-28.

Goetschalckx, M., ve Ratliff, H. D. (1990). Shared storage policies based on the duration stay of unit loads. *Management Science*, 36(9), 1120-1132.

Gu, J., Goetschalckx, M., ve McGinnis, L. F. (2010). Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 203(3), 539-549.

Gue, K. R. ve Meller, R. D. (2009). Aisle configurations for unit-load warehouses. *IIE Transactions*, 41(3):171–182.

Gue, K., Ivanovic` , G., ve Meller, R. (2012). A unit-load warehouse with multiple pickup and deposit points and non-traditional aisles. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(4), 795–806.

Gue, K., Akcali, E., Erera, A., Ferrell, B., & Forger, G. (2014). *Material Handling &Logistics: US Roadmap*. Erişim tarihi:01.05/2016, <http://www.mhlroadmap.org/>

Guenov, M. and Raeside, R. (1992). Zone shapes in class based storage and multicommand order picking when storage/retrieval machines are used. *European Journal of Operational Research*, 58(1):37-47

Gülen, K. (2010). *Lojistik sektöründe durum analizi ve rekabetçi stratejiler*. İstanbul ticaret odası yayınları, 70.

Gümüšoğlu, Ş., ve Tepekule, E.,T. (2016). *Dünya Klasmanında Sürdürülebilir Üretim* (1. basım). İstanbul: Beta basım. 28.

Hausman, W., Schwarz, L., and Graves, S. (1976). Optimal storage assignment in automatic warehousing systems. *Management Science*, 22(6):629-638.

Hsieh, L. and Tsai, L. (2006). The optimum design of a warehouse system on Order picking efficiency. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28(5-6):626-637.

Henn, S., Koch, S., Gerking, H., & Wäscher, G. (2013). A U-shaped layout for manual order-picking systems. *Logistics Research*, 6(4), 245-261.

Ivanovic, G. Better Container Yards for SC Terminals. 05.05.2016, <https://containerterminals.wordpress.com/container-yard-designs/straddle-carrier-terminals/>

Kennedy, J., ve Eberhart, R. C. (1995). Particle swarm optimization. In Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks (Vol. 4, pp. 1942-1948).

Keskin, H. (2011). Lojistik el kitabı. Ankara: Gazi Kitabevi.

Kuhn, H. (1995). A heuristic algorithm for the loading problem in flexible manufacturing systems. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 7(3), 229-254.

Meller, R., ve Gue, K. (2009). The application of new aisle designs for unit-load warehouses. In NSF Engineering Research and Innovation Conference.

Öztürkoğlu, Ö., Gue, K. R., ve Meller, R. D. (2012). Optimal unit-load warehouse designs for single-command operations. *IIE Transactions*, 44(6), 459-475.

Öztürkoğlu, Ö., Gue, K. R., ve Meller, R. D. (2014). A constructive aisle design model for unit-load warehouses with multiple pickup and deposit points. *European Journal of Operational Research*, 236(1), 382-394.

Öztürkoğlu, Ö., (2015). Investigating the robustness of aisles in a non-traditional unit-load warehouse design: Leverage. In *Evolutionary Computation (CEC), 2015 IEEE Congress on (2230-2236)*. IEEE.

Petersen, C. (1997) An evaluation of order picking routing policies. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 17 No. 11, 1997, pp.1098-1111.

Petersen, C. G. (1999). The impact of routing and storage policies on warehouse efficiency. *International Journal of Operations & Production Management*, 19(10), 1053-1064.

Petersen, C. G. (2002). Considerations in order picking zone configuration. *International Journal of Operations & Production Management*, 22(7), 793-805.

Petersen, C. and Aase, G. (2004). A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking. *International Journal of Production Economics*, 92:11-19.

Pohl, L., Meller, R. ve Gue, K. (2009a) An analysis of dual-command operations in common warehouse designs. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(3), 367–379.

Pohl, L. M., Meller, R. D., ve Gue, K. R. (2009b). Optimizing fishbone aisles for dual-command operations in a warehouse. *Naval Research Logistics (NRL)*, 56(5), 389-403.

Pohl, L., Meller, R. ve Gue, K. (2011) Turnover-based storage in nontraditional unit-load warehouse designs. *IIE Transactions*, 43(10), 703–720.

Roodbergen, K. J., ve De Koster, R. (2001a). Routing order pickers in a warehouse with a middle aisle. *European Journal of Operational Research*,133(1), 32-43.

Roodbergen, K. J. ve De Koster, R. (2001b). Routing methods for warehouses with multiple cross aisles. *International Journal of Production Research*, 39(9), 1865-1883.

Roodbergen, K. J., ve Vis, I. F. (2006). A model for warehouse layout. *IIE transactions*, 38(10), 799-811.

Roodbergen, K.J., Sharp, G.P., Iris F.A. Vis. (2008) Designing the layout structure of manual order picking areas in warehouses. *IIE Transactions Vol. 40, Iss. 11*.

Salman, A., Ahmad, I., & Al-Madani, S. (2002). Particle swarm optimization for task assignment problem. *Microprocessors and Microsystems*, 26(8), 363-371.

Shi, Y. ve Eberhart, R. (1998a). A modified particle swarm optimizer. *Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation*, pages 69-73.

Shi, Y. ve Eberhart, R. (1998b). Parameter selection in particle swarm optimization. *Annual Conference on Evolutionary Programming, San Diego*.

Shi, Y. (2001). Particle swarm optimization: developments, applications and resources. In *evolutionary computation, 2001. Proceedings of the 2001 Congress on (Vol. 1, pp. 81-86)*. IEEE.

Tanyaş, M. ve Düzgün, M. (2014). Depo Yönetimi. Depo Sistemlerinin Otomasyonu ve Organizasyonu. Nobel Akademik Yayıncılık. 1. Baskı, 2-62.

Tasgetiren, M. F. Liang, Y. C., (2003). A binary particle swarm optimization algorithm for lot sizing problem. *Journal of Economic and Social Research*, 5, 2, 1-20.

Tasgetiren, M. F., Liang, Y. C., Sevкли, M., Gencyilmaz. G., (2004a). Particle swarm optimization algorithm for makespan and maximum lateness minimization in permutation flowshop sequencing problem. *Proceedings, 4th International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems IMS2004, Sakarya, Turkey, s:431-441*.

Tasgetiren, M. F., Sevкли, M., Liang, Y. C., Gencyilmaz. G., (2004b). Particle swarm optimization algorithm for permutation flowshop sequencing problem. *Proceedings, 4th International Workshop on Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence (ANTS2004), LNSC 3172, Brussels, s:382-390, Belgium*

Tasgetiren, M. F., Sevкли, M., Liang, Y. C., Gencyilmaz. G., (2004c). Particle swarm optimization algorithm for single machine total weighted tardiness problem.

Proceedings, 2004 Congress on Evolutionary Computation (CEC'04), s:1412-1419, Portland, Oregon.

Tasgetiren, F., Liang, Y., Sevkli, M., ve Gencyilmaz, G. (2007). A particle swarm optimization algorithm for makespan and total flowtime minimization in the permutation flowshop sequencing problem. *European Journal of Operational Research*, 177:1930-1947.

Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., & Tanchoco, J. M. A. (2003). *Facilities Planning*. John Wiley & Sons.3rd.ed.,401-457.

Tunç, S., Kutlu, B., Zincidi, A., & Atmaca, E. (2008). Depo sisteminde sipariş toplama sürecinin iyileştirilmesi. *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 23(2).

Van den Bergh, F., Engelbecht, A. P., (2000). Cooperative learning in neural networks using particle swarm optimizers, *South African Computer Journal*, vol.26, s:84-90.

Vaughan, T. and Petersen, C. (1999). The effect of warehouse cross aisle on order Picking efficiency. *International Journal of Production Research*, 37(4):881-897.

Yapıcıoğlu, H., Smith, A. E., ve Dozier, G. (2007). Solving the semi-desirable facility location problem using bi-objective particle swarm. *European Journal of Operational Research*, 177(2), 733-749.

Yeh, L.-W. (2003). Optimal procurement policies formulti-product multi-supplier with capacity constraint and price discount, Master thesis, Department of Industrial Engineering and Management, Yuan Ze University, Taiwan, R.O.C.

Yoshida, H., Kawata, K., Fukuyama, Y., Nakanishi, Y., (2000). A particle swarm optimization for reactive power and voltage control considering voltage security assessment. *IEEE Transactionson Power Systems*, vol.15, s:1232-1239.

7. EKLER

Ek 1 Durum A1 için Maliyet Fonksiyonları

$$E[DL1Durum1] = -(1/8) H (a+2 a i+L-2 m-a noPD) (-L+2 m+a (-1-2 i+noPD)+2 H Csc[\alpha L])+1/8 H (a+2 a i+L-a noPD+2 H Cot[\alpha L]) (a+2 a i+L-a noPD+2 H Cot[\alpha L]+2 H Csc[\alpha L])-1/12 H^2 Cot[\alpha L] (3 (a+2 a i+L-a noPD)+4 H Cot[\alpha L]+2 H Csc[\alpha L])+1/12 H^2 (-3 (a+2 a i+L-2 m-a noPD) Cot[B]+2 H Cos[B] (2-Cot[\alpha L-B] Cot[B]+Cot[B]^2+Cot[B] Csc[\alpha L-B]))-1/12 H (-L+m+H Cot[B]) (-3 (a+2 a i+L-2 m-a noPD)+2 Cos[(\alpha R+B)/2] (L-m+H Cot[B]) Sec[(\alpha R-B)/2]+4 H Sec[(\alpha R-B)/2] Sin[(\alpha R+B)/2])-1/12 (L-m)^2 (-2 L+2 m+(L-4 m+a (3+6 i-3 noPD)) Cos[\alpha R]) Sec[\alpha R] Tan[\alpha R]+1/4 a (L-m) (-H+(L-m) Tan[\alpha R])+1/2 a i (L-m) (-H+(L-m) Tan[\alpha R])+1/4 L (L-m) (-H+(L-m) Tan[\alpha R])-1/2 (L-m) m (-H+(L-m) Tan[\alpha R])-1/4 a (L-m) noPD (-H+(L-m) Tan[\alpha R])-1/12 (L-m) Sec[(\alpha R-B)/2] ((-L+m) (3 Cos[(\alpha R-B)/2]+Cos[1/2 (3 \alpha R+B)]) Sec[\alpha R]-2 H Sin[(\alpha R+B)/2]) (H+(-L+m) Tan[\alpha R])+1/12 H^2 Cot[\alpha L] (3 (a+2 a i+L-2 m-a noPD)-2 H Cos[B] (Cot[\alpha L]+2 Tan[(\alpha L-B)/2])+2 H Sin[B] (-2+Cot[\alpha L] Tan[(\alpha L-B)/2]))$$

$$E[DL2Durum1] = 1/12 H^2 (-3 (a+2 a i+L-2 m-a noPD) Cot[B]+2 H Cos[B] (2-Cot[\alpha L-B] Cot[B]+Cot[B]^2+Cot[B] Csc[\alpha L-B]))+1/4 H Sec[\alpha L/2] ((-a-2 a i-L+m+a noPD) Csc[\alpha L/2]+H Sec[\alpha L/2]) (H Cos[\alpha L]+m Sin[\alpha L])-1/12 H (-L+m+H Cot[B]) (-3 (a+2 a i+L-2 m-a noPD)+2 Cos[(\alpha R+B)/2] (L-m+H Cot[B]) Sec[(\alpha R-B)/2]+4 H Sec[(\alpha R-B)/2] Sin[(\alpha R+B)/2])-1/12 (L-m)^2 (-2 L+2 m+(L-4 m+a (3+6 i-3 noPD)) Cos[\alpha R]) Sec[\alpha R] Tan[\alpha R]+1/4 a (L-m) (-H+(L-m) Tan[\alpha R])+1/2 a i (L-m) (-H+(L-m) Tan[\alpha R])+1/4 L (L-m) (-H+(L-m) Tan[\alpha R])-1/2 (L-m) m (-H+(L-m) Tan[\alpha R])-1/4 a (L-m) noPD (-H+(L-m) Tan[\alpha R])-1/12 (L-m) Sec[(\alpha R-B)/2] ((-L+m) (3 Cos[(\alpha R-B)/2]+Cos[1/2 (3 \alpha R+B)]) Sec[\alpha R]-2 H Sin[(\alpha R+B)/2]) (H+(-L+m) Tan[\alpha R])-1/16 (a+2 a i+L-a noPD) (4 H (a+2 a i+L-a noPD) Cot[\alpha L]+4 H^2 Cot[\alpha L]^2+(a+2 a i+L-a noPD) (2 H Csc[\alpha L]+(a+2 a i+L-a noPD) (1+Sec[\alpha L]))) Tan[\alpha L]+1/24 (a+2 a i+L-a noPD)^3 Sec[\alpha L] Sin[\alpha L/2]^2 Tan[\alpha L]+1/24 (a+2 a i+L-a noPD+2 H Cot[\alpha L])^2 (H Csc[\alpha L]^2 (-1+Sec[\alpha L])-H Sec[\alpha L]+Csc[\alpha L] (H Cot[\alpha L]+(a+2 a i+L-a noPD) (1+Sec[\alpha L]))) Sin[\alpha L] Tan[\alpha L]+1/12 H^2 Cot[\alpha L] (3 (a+2 a i+L-2 m-a noPD)-2 H Cos[B] (Cot[\alpha L]+2 Tan[(\alpha L-B)/2])+2 H Sin[B] (-2+Cot[\alpha L] Tan[(\alpha L-B)/2]))$$

$$E[DRDurum1] = 1/2 a H i L-1/2 a H i m-(H L m)/2+(H m^2)/2-1/2 a H^2 i Cot[B]+1/2 H^2 m Cot[B]-1/4 a H (-L+m+H Cot[B])-1/4 H L (-L+m+H Cot[B])+1/4 a H noPD (-L+m+H Cot[B])-1/12 H^2 Cot[\alpha L] (3 (a+2 a i+L-a noPD)+4 H Cot[\alpha L]+2 H Csc[\alpha L])+1/12 H^2 (3 (a+2 a i+L-2 m-a noPD) Cot[B]+2 H Cos[B] (2-Cot[\alpha L-B] Cot[B]+Cot[B]^2+Cot[B] Csc[\alpha L-B]))-1/12 (a+2 a i-L-a noPD)^3 Cos[\alpha R/2]^3 Sec[\alpha R]^2 Sin[\alpha R/2]+1/4 H Csc[\alpha L/2] (H Csc[\alpha L/2]+(a+2 a i+L-m-a noPD) Sec[\alpha L/2]) (H Cos[\alpha L]+m Sin[\alpha L])-1/6 H (-L+m+H Cot[B]) Sec[(\alpha R-B)/2] (Cos[(\alpha R+B)/2] (L-m+H Cot[B])+2 H Sin[(\alpha R+B)/2])+1/48 (a+2 a i+L-2 m-a noPD)^3 (1+2 Cos[\alpha R]) Sec[\alpha R] Tan[\alpha R]-1/16 (a+2 a i-L-a noPD) (a+2 a i+L-2 m-a noPD) (2 (L-m)+(a+2 a i+L-2 m-a noPD) Cos[\alpha R]) Sec[\alpha R] Tan[\alpha R]+1/24 (L-m) Sec[\alpha R] Sec[(\alpha R-B)/2] (6 (L-m) Cos[(\alpha R-B)/2]+3 (a+2 a i+L-2 m-a noPD) Cos[1/2 (3 \alpha R-B)]+3 a Cos[(\alpha R+B)/2]+6 a i Cos[(\alpha R+B)/2]+3 L Cos[(\alpha R+B)/2]-6 m Cos[(\alpha R+B)/2]-3 a noPD Cos[(\alpha R+B)/2]+2 L Cos[1/2 (3 \alpha R+B)]-2 m Cos[1/2 (3 \alpha R+B)]-2 H Sin[(\alpha R-B)/2]+2 H Sin[1/2 (3 \alpha R+B)]) (H+(-L+m) Tan[\alpha R])-1/12 H^2 Cot[\alpha L] (3 (a+2 a i+L-2 m-a noPD)+2 H Cos[B] (Cot[\alpha L]+2 Tan[(\alpha L-B)/2])-2 H Sin[B] (-2+Cot[\alpha L] Tan[(\alpha L-B)/2]))$$

Ek 2: Durum A2 için Maliyet Fonksiyonları

$$\begin{aligned}
 E[DL_{Durum2}] = & -(1/2) a H i L - (a H m)/4 + (H L m)/4 + 1/4 a H m \text{ noPD} - 1/3 H m^2 \text{ Cos}[B] - 1/6 H^2 m \\
 & \text{Cos}[B] \text{ Cot}[aL-B] + 1/2 a H^2 i \text{ Cot}[B] - 1/2 H^2 m \text{ Cot}[B] + 1/4 a H (-L+m+H \text{ Cot}[B]) + 1/4 H L \\
 & (-L+m+H \text{ Cot}[B]) - 1/4 a H \text{ noPD} (-L+m+H \text{ Cot}[B]) + 1/6 H^2 m \text{ Cos}[B] \text{ Csc}[aL-B] + 1/12 H^2 \\
 & (-3 (a+2 a i+L-2 m-a \text{ noPD}) \text{ Cot}[B] + 2 H \text{ Cos}[B] (2-\text{Cot}[aL-B] \text{ Cot}[B] + \text{Cot}[B]^2 + \text{Cot}[B] \\
 & \text{Csc}[aL-B])) + 1/6 H^2 m \text{ Sin}[B] - 1/3 H m^2 \text{ Cot}[aL-B] \text{ Sin}[B] + 1/3 H m^2 \text{ Csc}[aL-B] \text{ Sin}[B] - 1/6 H \\
 & (-L+m+H \text{ Cot}[B]) \text{ Sec}[(aR-B)/2] (\text{Cos}[(aR+B)/2] (L-m+H \text{ Cot}[B]) + 2 H \text{ Sin}[(aR+B)/2]) - 1/12 \\
 & m (3 H (a+2 a i+L-2 m-a \text{ noPD}) + 2 H \text{ Sec}[(aL-B)/2] (m \text{ Cos}[(aL+B)/2] - 2 H \text{ Sin}[(aL+B)/2])) - \\
 & 1/12 (L-m)^2 (-2 L+2 m+(L-4 m+a (3+6 i-3 \text{ noPD})) \text{ Cos}[aR]) \text{ Sec}[aR] \text{ Tan}[aR] + 1/4 a (L-m) (- \\
 & H+(L-m) \text{ Tan}[aR]) + 1/2 a i (L-m) (-H+(L-m) \text{ Tan}[aR]) + 1/4 L (L-m) (-H+(L-m) \text{ Tan}[aR]) - 1/2 \\
 & (L-m) m (-H+(L-m) \text{ Tan}[aR]) - 1/4 a (L-m) \text{ noPD} (-H+(L-m) \text{ Tan}[aR]) - 1/12 (L-m) \text{ Sec}[(aR- \\
 & B)/2] ((-L+m) (3 \text{ Cos}[(aR-B)/2] + \text{Cos}[1/2 (3 aR+B)]) \text{ Sec}[aR] - 2 H \text{ Sin}[(aR+B)/2]) (H+(- \\
 & L+m) \text{ Tan}[aR]) - 1/4 a m^2 \text{ Tan}[aL] - 1/2 a i m^2 \text{ Tan}[aL] - 1/4 L m^2 \text{ Tan}[aL] + 1/2 m^3 \text{ Tan}[aL] + 1/4 \\
 & a m^2 \text{ noPD} \text{ Tan}[aL] - 1/3 m^3 \text{ Cos}[B] \text{ Tan}[aL] + 1/48 (a+2 a i+L-2 m-a \text{ noPD})^3 (-1+2 \text{ Cos}[aL]) \\
 & \text{Sec}[aL] \text{ Tan}[aL] - 1/16 (a+2 a i+L-a \text{ noPD}) (a+2 a i+L-2 m-a \text{ noPD}) (a+2 a i+L-2 m-a \\
 & \text{noPD} + 2 m \text{ Sec}[aL]) \text{ Tan}[aL] + 1/24 (a+2 a i+L-a \text{ noPD})^3 \text{ Sec}[aL] \text{ Sin}[aL/2]^2 \text{ Tan}[aL] - 1/3 m^3 \\
 & \text{Cot}[aL-B] \text{ Sin}[B] \text{ Tan}[aL] + 1/3 m^3 \text{ Csc}[aL-B] \text{ Sin}[B] \text{ Tan}[aL] + 1/6 m^3 \text{ Cos}[B] \text{ Cot}[aL-B] \\
 & \text{Tan}[aL]^2 - 1/6 m^3 \text{ Cos}[B] \text{ Csc}[aL-B] \text{ Tan}[aL]^2 - 1/6 m^3 \text{ Sin}[B] \text{ Tan}[aL]^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E[DR_{Durum2}] = & 1/2 a H i L + (a H m)/4 - (H L m)/4 - 1/4 a H m \text{ noPD} - 1/3 H m^2 \text{ Cos}[B] - 1/6 H^2 m \\
 & \text{Cos}[B] \text{ Cot}[aL-B] - 1/2 a H^2 i \text{ Cot}[B] + 1/2 H^2 m \text{ Cot}[B] - 1/4 a H (-L+m+H \text{ Cot}[B]) - 1/4 H L (- \\
 & L+m+H \text{ Cot}[B]) + 1/4 a H \text{ noPD} (-L+m+H \text{ Cot}[B]) + 1/6 H^2 m \text{ Cos}[B] \text{ Csc}[aL-B] + 1/12 H^2 (3 \\
 & (a+2 a i+L-2 m-a \text{ noPD}) \text{ Cot}[B] + 2 H \text{ Cos}[B] (2-\text{Cot}[aL-B] \text{ Cot}[B] + \text{Cot}[B]^2 + \text{Cot}[B] \text{ Csc}[aL- \\
 & B])) - 1/12 (a+2 a i-L-a \text{ noPD})^3 \text{ Cos}[aR/2]^3 \text{ Sec}[aR]^2 \text{ Sin}[aR/2] + 1/6 H^2 m \text{ Sin}[B] - 1/3 H m^2 \\
 & \text{Cot}[aL-B] \text{ Sin}[B] + 1/3 H m^2 \text{ Csc}[aL-B] \text{ Sin}[B] + 1/12 H m (3 (a+2 a i+L-2 m-a \text{ noPD}) - 2 \\
 & \text{Cos}[B] (m+2 H \text{ Cot}[aL-B] - 2 H \text{ Csc}[aL-B])) + 2 (2 H-m \text{ Cot}[aL-B] + m \text{ Csc}[aL-B]) \text{ Sin}[B]) - 1/6 \\
 & H (-L+m+H \text{ Cot}[B]) \text{ Sec}[(aR-B)/2] (\text{Cos}[(aR+B)/2] (L-m+H \text{ Cot}[B]) + 2 H \\
 & \text{Sin}[(aR+B)/2]) + 1/48 (a+2 a i+L-2 m-a \text{ noPD})^3 (1+2 \text{ Cos}[aR]) \text{ Sec}[aR] \text{ Tan}[aR] - 1/16 (a+2 a \\
 & i-L-a \text{ noPD}) (a+2 a i+L-2 m-a \text{ noPD}) (2 (L-m) + (a+2 a i+L-2 m-a \text{ noPD}) \text{ Cos}[aR]) \text{ Sec}[aR] \\
 & \text{Tan}[aR] - 1/4 a (L-m) (-H+(L-m) \text{ Tan}[aR]) - 1/2 a i (L-m) (-H+(L-m) \text{ Tan}[aR]) - 1/4 L (L-m) (- \\
 & H+(L-m) \text{ Tan}[aR]) + 1/4 a (L-m) \text{ noPD} (-H+(L-m) \text{ Tan}[aR]) + 1/2 m (-L+m) (H+(-L+m) \\
 & \text{Tan}[aR]) - 1/12 (L-m) \text{ Sec}[(aR-B)/2] ((-L+m) (3 \text{ Cos}[(aR-B)/2] + \text{Cos}[1/2 (3 aR+B)]) \text{ Sec}[aR] - \\
 & 2 H \text{ Sin}[(aR+B)/2]) (H+(-L+m) \text{ Tan}[aR]) + 1/4 a m^2 \text{ Tan}[aL] + 1/2 a i m^2 \text{ Tan}[aL] + 1/4 L m^2 \\
 & \text{Tan}[aL] - 1/2 m^3 \text{ Tan}[aL] - 1/4 a m^2 \text{ noPD} \text{ Tan}[aL] - 1/3 m^3 \text{ Cos}[B] \text{ Tan}[aL] + 1/12 m^2 (2 m+(-3 \\
 & L+4 m+a (-3-6 i+3 \text{ noPD})) \text{ Cos}[aL]) \text{ Sec}[aL] \text{ Tan}[aL] - 1/3 m^3 \text{ Cot}[aL-B] \text{ Sin}[B] \text{ Tan}[aL] + 1/3 \\
 & m^3 \text{ Csc}[aL-B] \text{ Sin}[B] \text{ Tan}[aL] + 1/6 m^3 \text{ Cos}[B] \text{ Cot}[aL-B] \text{ Tan}[aL]^2 - 1/6 m^3 \text{ Cos}[B] \text{ Csc}[aL-B] \\
 & \text{Tan}[aL]^2 - 1/6 m^3 \text{ Sin}[B] \text{ Tan}[aL]^2
 \end{aligned}$$

Ek 3: Durum A3 için Maliyet Fonksiyonları

$$E[DL1_{Durum3}] = 1/4 a H^2 \cot[aL] + 1/2 a H^2 i \cot[aL] + 1/4 H^2 L \cot[aL] - 1/2 H^2 m \cot[aL] - 1/4 a H^2 \text{noPD} \cot[aL] - 1/6 H^3 \cos[B] \cot[aL]^2 - 1/12 H^2 \cot[aR] (3 a + 6 a i - 3 L - 3 a \text{noPD} + 4 H \cot[aR] - 2 H \csc[aR]) - 1/8 H (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) (-L + 2 m + a (-1 - 2 i + \text{noPD}) + 2 H \csc[aL]) + 1/8 H (a + 2 a i + L - a \text{noPD} + 2 H \cot[aL]) (a + 2 a i + L - a \text{noPD} + 2 H \cot[aL] + 2 H \csc[aL]) - 1/12 H^2 \cot[aL] (3 (a + 2 a i + L - a \text{noPD}) + 4 H \cot[aL] + 2 H \csc[aL]) + 1/12 H^2 (-3 (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) \cot[B] + 2 H \cos[B] (2 - \cot[aL - B] \cot[B] + \cot[B]^2 + \cot[B] \csc[aL - B])) + 1/12 H^2 (\cot[aR] - \cot[B]) (-3 (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) + 2 H \csc[aR] + 2 H \csc[B]) - 1/4 H \sec[aR/2] ((m + a (-1 - 2 i + \text{noPD})) \csc[aR/2] + H \sec[aR/2]) (H \cos[aR] + (-L + m) \sin[aR]) - 1/3 H^3 \cot[aL] \sin[B] - 1/3 H^3 \cos[B] \cot[aL] \tan[(aL - B)/2] + 1/6 H^3 \cot[aL]^2 \sin[B] \tan[(aL - B)/2]$$

$$E[DL2_{Durum3}] = 1/4 a H^2 \cot[aL] + 1/2 a H^2 i \cot[aL] + 1/4 H^2 L \cot[aL] - 1/2 H^2 m \cot[aL] - 1/4 a H^2 \text{noPD} \cot[aL] - 1/6 H^3 \cos[B] \cot[aL]^2 - 1/12 H^2 \cot[aR] (3 a + 6 a i - 3 L - 3 a \text{noPD} + 4 H \cot[aR] - 2 H \csc[aR]) + 1/12 H^2 (-3 (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) \cot[B] + 2 H \cos[B] (2 - \cot[aL - B] \cot[B] + \cot[B]^2 + \cot[B] \csc[aL - B])) + 1/12 H^2 (\cot[aR] - \cot[B]) (-3 (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) + 2 H \csc[aR] + 2 H \csc[B]) - 1/4 H \sec[aR/2] ((m + a (-1 - 2 i + \text{noPD})) \csc[aR/2] + H \sec[aR/2]) (H \cos[aR] + (-L + m) \sin[aR]) - 1/32 (a + 2 a i + L - a \text{noPD}) \sec[aL/2] \sec[aL] (4 H (a + 2 a i + L - a \text{noPD}) \cos[(3 aL)/2] + 2 ((a + 2 a i + L - a \text{noPD})^2 + (-4 H^2 + L^2 + 2 a L (1 + 2 i - \text{noPD}) + a^2 (-1 - 2 i + \text{noPD})^2) \cos[aL]) \sin[aL/2] + 1/4 H \sec[aL/2] ((-a - 2 a i - L + m + a \text{noPD}) \csc[aL/2] + H \sec[aL/2]) (H \cos[aL] + m \sin[aL]) - 1/3 H^3 \cot[aL] \sin[B] + 1/48 (-1 + 2 \cos[aL]) (a + 2 a i + L - a \text{noPD} + 2 H \cot[aL])^3 \sec[aL] \tan[aL] + 1/24 (a + 2 a i + L - a \text{noPD})^3 \sec[aL] \sin[aL/2]^2 \tan[aL] - 1/3 H^3 \cos[B] \cot[aL] \tan[(aL - B)/2] + 1/6 H^3 \cot[aL]^2 \sin[B] \tan[(aL - B)/2]$$

$$E[DR1_{Durum3}] = 1/3 H^3 \cos[B] + 1/4 a H^2 \cot[B] + 1/2 a H^2 i \cot[B] + 1/4 H^2 L \cot[B] - 1/2 H^2 m \cot[B] - 1/4 a H^2 \text{noPD} \cot[B] - 1/6 H^3 \cos[B] \cot[aL - B] \cot[B] + 1/6 H^3 \cos[B] \cot[B]^2 + 1/8 H (a + 2 a i - L - a \text{noPD} + 2 H \cot[aR]) (a + 2 a i - L - a \text{noPD} + 2 H \cot[aR] - 2 H \csc[aR]) - 1/12 H^2 \cot[aR] (3 a + 6 a i - 3 L - 3 a \text{noPD} + 4 H \cot[aR] - 2 H \csc[aR]) + 1/8 H (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD} + 2 H \csc[aR]) - 1/12 H^2 \cot[aL] (3 (a + 2 a i + L - a \text{noPD}) + 4 H \cot[aL] + 2 H \csc[aL]) + 1/6 H^3 \cos[B] \cot[B] \csc[aL - B] + 1/12 H^2 (\cot[aR] - \cot[B]) (3 (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) + 2 H \csc[aR] + 2 H \csc[B]) + 1/4 H \csc[aL/2] (H \csc[aL/2] + (a + 2 a i + L - m - a \text{noPD}) \sec[aL/2]) (H \cos[aL] + m \sin[aL]) - 1/12 H^2 \cot[aL] (3 (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) + 2 H \cos[B] (\cot[aL] + 2 \tan[(aL - B)/2]) - 2 H \sin[B] (-2 + \cot[aL] \tan[(aL - B)/2]))$$

$$E[DR2_{Durum3}] = 1/3 H^3 \cos[B] + 1/4 a H^2 \cot[B] + 1/2 a H^2 i \cot[B] + 1/4 H^2 L \cot[B] - 1/2 H^2 m \cot[B] - 1/4 a H^2 \text{noPD} \cot[B] - 1/6 H^3 \cos[B] \cot[aL - B] \cot[B] + 1/6 H^3 \cos[B] \cot[B]^2 - 1/12 H^2 \cot[aL] (3 (a + 2 a i + L - a \text{noPD}) + 4 H \cot[aL] + 2 H \csc[aL]) + 1/6 H^3 \cos[B] \cot[B] \csc[aL - B] + 1/12 H^2 (\cot[aR] - \cot[B]) (3 (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) + 2 H \csc[aR] + 2 H \csc[B]) - 1/12 (a + 2 a i - L - a \text{noPD})^3 \cos[aR/2]^3 \sec[aR]^2 \sin[aR/2] - 1/4 H \csc[aR/2] (H \csc[aR/2] + (a + 2 a i - m - a \text{noPD}) \sec[aR/2]) (H \cos[aR] + (-L + m) \sin[aR]) - 1/32 (a + 2 a i - L - a \text{noPD}) \csc[aR/2] \sec[aR] ((4 H^2 + L^2 - 2 a L (1 + 2 i - \text{noPD}) + a^2 (-1 - 2 i + \text{noPD})^2) \cos[aR/2] - (-4 H^2 + L^2 - 2 a L (1 + 2 i - \text{noPD}) + a^2 (-1 - 2 i + \text{noPD})^2) \cos[(3 aR)/2] + 4 H (a + 2 a i - L - a \text{noPD}) \sin[(3 aR)/2]) + 1/4 H \csc[aL/2] (H \csc[aL/2] + (a + 2 a i + L - m - a \text{noPD}) \sec[aL/2]) (H \cos[aL] + m \sin[aL]) + 1/48 (1 + 2 \cos[aR]) (a + 2 a i - L - a \text{noPD} + 2 H \cot[aR])^3 \sec[aR] \tan[aR] - 1/12 H^2 \cot[aL] (3 (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) + 2 H \cos[B] (\cot[aL] + 2 \tan[(aL - B)/2]) - 2 H \sin[B] (-2 + \cot[aL] \tan[(aL - B)/2]))$$

Ek 4: Durum A4 için Maliyet Fonksiyonları

$$E[DL1_{Durum4}] = -(1/12) H^2 \cot[aR] (3 a+6 a i-3 L-3 a \text{ noPD}+4 H \cot[aR]-2 H \csc[aR])-1/8 H (a+2 a i+L-2 m-a \text{ noPD}) (-L+2 m+a (-1-2 i+\text{noPD})+2 H \csc[aL])+1/8 H (a+2 a i+L-a \text{ noPD}+2 H \cot[aL]) (a+2 a i+L-a \text{ noPD}+2 H \cot[aL]+2 H \csc[aL])-1/12 H^2 \cot[aL] (3 (a+2 a i+L-a \text{ noPD})+4 H \cot[aL]+2 H \csc[aL])+1/12 H^2 (-3 (a+2 a i+L-2 m-a \text{ noPD}) \cot[B]+2 H \cos[B] (2-\cot[aL-B] \cot[B]+\cot[B]^2+\cot[B] \csc[aL-B]))+1/8 H (-L+m+H \cot[B]) (-\cot[aR]+\cot[B]-\csc[aR]-\csc[B]) (-2 a-4 a i+2 m+2 a \text{ noPD}-3 H \cot[aR]+H \cot[B]+H \csc[aR]+H \csc[B]) \sin[aR]+1/96 (H+H \cot[aR/2] \cot[B/2])^2 \sec[aR/2] \sec[B/2]^3 \sin[(aR-B)/2] (H (1-3 \cos[aR]) \sin[B]+\sin[aR] (H+3 H \cos[B]-3 (a+2 a i+L-2 m-a \text{ noPD}) \sin[B]))+1/16 H \csc[B/2]^2 \sec[B/2]^3 \sin[(aR-B)/2] (H \cos[B]+(-L+m) \sin[B]) (-H \sin[aR/2] \sin[B]+\cos[aR/2] (-3 H+H \cos[B]+2 (a+2 a i-m-a \text{ noPD}) \sin[B])) \tan[aR/2]+1/12 H^2 \cot[aL] (3 (a+2 a i+L-2 m-a \text{ noPD})-2 H \cos[B] (\cot[aL]+2 \tan[(aL-B)/2])+2 H \sin[B] (-2+\cot[aL] \tan[(aL-B)/2]))+1/192 H^2 \cos[aR] \cos[(aR-B)/2] \csc[B/2] \sec[B]^2 (4 H \cos[aR/2]+2 H \cos[(3 aR)/2]+2 H \cos[1/2 (aR-4 B)]+10 H \cos[1/2 (aR-2 B)]-2 H \cos[(3 aR)/2-B]+8 H \cos[aR/2+B]+3 a \sin[1/2 (aR-4 B)]+6 a i \sin[1/2 (aR-4 B)]+3 L \sin[1/2 (aR-4 B)]-6 m \sin[1/2 (aR-4 B)]-3 a \text{ noPD} \sin[1/2 (aR-4 B)]-3 a \sin[1/2 (aR+4 B)]-6 a i \sin[1/2 (aR+4 B)]-3 L \sin[1/2 (aR+4 B)]+6 m \sin[1/2 (aR+4 B)]+3 a \text{ noPD} \sin[1/2 (aR+4 B)]) (\tan[aR/2]-\tan[B/2])^3+1/192 H^2 \csc[B/2] \sec[aR/2]^2 \sec[B/2]^2 (\csc[B/2]-\sec[B/2] \sin[aR]) \sin[aR-B]^2 (H+H (3+\cos[aR] (-1+\sec[B]))) \sec[B]+(-3 (a+2 a i+L-2 m-a \text{ noPD})+(H-H \cos[aR] \sec[B]) \tan[aR/2]) \tan[B])$$

$$E[DL2_{Durum4}] = -(1/12) H^2 \cot[aR] (3 a+6 a i-3 L-3 a \text{ noPD}+4 H \cot[aR]-2 H \csc[aR])+1/12 H^2 (-3 (a+2 a i+L-2 m-a \text{ noPD}) \cot[B]+2 H \cos[B] (2-\cot[aL-B] \cot[B]+\cot[B]^2+\cot[B] \csc[aL-B]))+1/8 H (-L+m+H \cot[B]) (-\cot[aR]+\cot[B]-\csc[aR]-\csc[B]) (-2 a-4 a i+2 m+2 a \text{ noPD}-3 H \cot[aR]+H \cot[B]+H \csc[aR]+H \csc[B]) \sin[aR]+1/4 H \sec[aL/2] ((-a-2 a i-L+m+a \text{ noPD}) \csc[aL/2]+H \sec[aL/2]) (H \cos[aL]+m \sin[aL])+1/96 (H+H \cot[aR/2] \cot[B/2])^2 \sec[aR/2] \sec[B/2]^3 \sin[(aR-B)/2] (H (1-3 \cos[aR]) \sin[B]+\sin[aR] (H+3 H \cos[B]-3 (a+2 a i+L-2 m-a \text{ noPD}) \sin[B]))+1/16 H \csc[B/2]^2 \sec[B/2]^3 \sin[(aR-B)/2] (H \cos[B]+(-L+m) \sin[B]) (-H \sin[aR/2] \sin[B]+\cos[aR/2] (-3 H+H \cos[B]+2 (a+2 a i-m-a \text{ noPD}) \sin[B])) \tan[aR/2]+1/48 (-1+2 \cos[aL]) (a+2 a i+L-a \text{ noPD}+2 H \cot[aL])^3 \sec[aL] \tan[aL]+1/24 (a+2 a i+L-a \text{ noPD})^3 \sec[aL] \sin[aL/2]^2 \tan[aL]-1/16 (a+2 a i+L-a \text{ noPD}) (a+2 a i+L-a \text{ noPD}-2 H \tan[aL/2]) (2 H+(a+2 a i+L-a \text{ noPD}) \tan[aL])+1/12 H^2 \cot[aL] (3 (a+2 a i+L-2 m-a \text{ noPD})-2 H \cos[B] (\cot[aL]+2 \tan[(aL-B)/2])+2 H \sin[B] (-2+\cot[aL] \tan[(aL-B)/2]))+1/192 H^2 \cos[aR] \cos[(aR-B)/2] \csc[B/2] \sec[B]^2 (4 H \cos[aR/2]+2 H \cos[(3 aR)/2]+2 H \cos[1/2 (aR-4 B)]+10 H \cos[1/2 (aR-2 B)]-2 H \cos[(3 aR)/2-B]+8 H \cos[aR/2+B]+3 a \sin[1/2 (aR-4 B)]+6 a i \sin[1/2 (aR-4 B)]+3 L \sin[1/2 (aR-4 B)]-6 m \sin[1/2 (aR-4 B)]-3 a \text{ noPD} \sin[1/2 (aR-4 B)]-3 a \sin[1/2 (aR+4 B)]-6 a i \sin[1/2 (aR+4 B)]-3 L \sin[1/2 (aR+4 B)]+6 m \sin[1/2 (aR+4 B)]+3 a \text{ noPD} \sin[1/2 (aR+4 B)]) (\tan[aR/2]-\tan[B/2])^3+1/192 H^2 \csc[B/2] \sec[aR/2]^2 \sec[B/2]^2 (\csc[B/2]-\sec[B/2] \sin[aR]) \sin[aR-B]^2 (H+H (3+\cos[aR] (-1+\sec[B]))) \sec[B]+(-3 (a+2 a i+L-2 m-a \text{ noPD})+(H-H \cos[aR] \sec[B]) \tan[aR/2]) \tan[B])$$

$$E[DR1_{Durum4}] = -(1/4) a H^2 \cot[aL] - 1/2 a H^2 i \cot[aL] - 1/4 H^2 L \cot[aL] + 1/2 H^2 m \cot[aL] + 1/4 a H^2 \text{noPD} \cot[aL] - 1/6 H^3 \cos[B] \cot[aL]^2 + 1/3 H^3 \cos[B] \cot[aL] \cot[aL-B] - 1/12 H^2 \cot[aR] (3 a + 6 a i - 3 L - 3 a \text{noPD} + 4 H \cot[aR] - 2 H \csc[aR]) - 1/2 H (-L + m + H \cot[B]) (-a - 2 a i + m + a \text{noPD} - 2 H \cot[aR] + H \cot[B] + H \csc[aR]) - 1/12 H^2 \cot[aL] (3 (a + 2 a i + L - a \text{noPD}) + 4 H \cot[aL] + 2 H \csc[aL]) - 1/3 H^3 \cos[B] \cot[aL] \csc[aL-B] + 1/12 H^2 (3 (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) \cot[B] + 2 H \cos[B] (2 - \cot[aL-B] \cot[B] + \cot[B]^2 + \cot[B] \csc[aL-B])) + 1/4 H \csc[aL/2] (H \csc[aL/2] + (a + 2 a i + L - m - a \text{noPD}) \sec[aL/2]) (H \cos[aL] + m \sin[aL]) - 1/3 H^3 \cot[aL] \sin[B] - 1/6 H^3 \cot[aL]^2 \cot[aL-B] \sin[B] + 1/6 H^3 \cot[aL]^2 \csc[aL-B] \sin[B] - 1/16 (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) \csc[aR-B] (1/2 (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD} - 2 H \cot[B]) \csc[aR-B] \sin[aR] (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD} + (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) \cos[aR] - (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) \cos[aR - 2 B] - a \cos[2 B] - 2 a i \cos[2 B] - L \cos[2 B] + 2 m \cos[2 B] + a \text{noPD} \cos[2 B] + 2 H \sin[aR] + 2 H \sin[aR - 2 B]) + 2 H \cos[aR] (4 H \cos[B] + \sin[B] (-2 H \cot[aR] + (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) (-2 + \csc[aR-B] \sin[B]))) + 1/12 (\cot[aR] - \cot[B]) (H^2 (3 a + 6 a i + 3 L - 6 m - 3 a \text{noPD} + 4 H \cot[aR] - 4 H \cot[B] - 2 H \csc[aR]) - 1/(2 (\tan[aR] - \tan[B]))) (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) \sec[aR] \sec[B] (2 \cos[B] \sin[aR] (-3 H^2 + 1/4 (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD})^2 \csc[aR-B]^2 \sin[aR]^2 \sin[B]^2 + \sin[B] (-3 H (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) \csc[aR-B] \sin[aR] \sin[B] + (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD})^2 \csc[aR-B]^2 \sin[aR]^2 \sin[B]^2 - 3 (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) \sin[aR] (-2 H + 1/2 (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) \csc[aR-B] \sin[aR] \sin[B]) - 2 \cos[aR] (-3 H^2 + 1/4 (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD})^2 \csc[aR-B]^2 \sin[aR]^2 \sin[B]^2))) + 1/48 (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD})^3 (2 + \cos[aR]) \cot[aR] \csc[aR] \tan[B]^3 + 1/96 (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD})^3 \cot[aR]^2 \csc[aR-B]^2 \sin[B] (5 \sin[aR-B] + \sin[2 aR-B] - \sin[B] + \sin[aR+B]) \tan[B]^3 + 1/48 (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD})^3 \tan[B] (1 + \cot[aR/2] \tan[B])$$

$$E[DR2_{Durum4}] = -(1/4) a H^2 \cot[aL] - 1/2 a H^2 i \cot[aL] - 1/4 H^2 L \cot[aL] + 1/2 H^2 m \cot[aL] + 1/4 a H^2 \text{noPD} \cot[aL] - 1/6 H^3 \cos[B] \cot[aL]^2 + 1/3 H^3 \cos[B] \cot[aL] \cot[aL-B] + 1/8 H (a + 2 a i - L - a \text{noPD} + 2 H \cot[aR]) (a + 2 a i - L - a \text{noPD} + 2 H \cot[aR] - 2 H \csc[aR]) - 1/12 H^2 \cot[aR] (3 a + 6 a i - 3 L - 3 a \text{noPD} + 4 H \cot[aR] - 2 H \csc[aR]) - 1/12 H^2 (\cot[aR] - \cot[B]) (3 a + 6 a i + 3 L - 6 m - 3 a \text{noPD} + 4 H \cot[aR] - 4 H \cot[B] + 2 H \csc[aR]) + 1/8 H (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD} + 2 H \cot[aR] - 2 H \cot[B]) (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD} + 2 H \cot[aR] - 2 H \cot[B] + 2 H \csc[aR]) - 1/12 H^2 \cot[aL] (3 (a + 2 a i + L - a \text{noPD}) + 4 H \cot[aL] + 2 H \csc[aL]) - 1/3 H^3 \cos[B] \cot[aL] \csc[aL-B] + 1/12 H^2 (3 (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) \cot[B] + 2 H \cos[B] (2 - \cot[aL-B] \cot[B] + \cot[B]^2 + \cot[B] \csc[aL-B])) + 1/4 H \csc[aL/2] (H \csc[aL/2] + (a + 2 a i + L - m - a \text{noPD}) \sec[aL/2]) (H \cos[aL] + m \sin[aL]) - 1/3 H^3 \cot[aL] \sin[B] - 1/6 H^3 \cot[aL]^2 \cot[aL-B] \sin[B] + 1/6 H^3 \cot[aL]^2 \csc[aL-B] \sin[B]$$

$$E[DR3_{Durum4}] = -(1/4) a H^2 \cot[aL] - 1/2 a H^2 i \cot[aL] - 1/4 H^2 L \cot[aL] + 1/2 H^2 m \cot[aL] + 1/4 a H^2 \text{noPD} \cot[aL] - 1/6 H^3 \cos[B] \cot[aL]^2 + 1/3 H^3 \cos[B] \cot[aL] \cot[aL-B] + 1/2 H (-L + m + H \cot[B]) (-a - 2 a i + m + a \text{noPD} - 2 H \cot[aR] + H \cot[B] - H \csc[aR]) - 1/12 H^2 (\cot[aR] - \cot[B]) (3 a + 6 a i + 3 L - 6 m - 3 a \text{noPD} + 4 H \cot[aR] - 4 H \cot[B] + 2 H \csc[aR]) - 1/12 H^2 \cot[aL] (3 (a + 2 a i + L - a \text{noPD}) + 4 H \cot[aL] + 2 H \csc[aL]) - 1/3 H^3 \cos[B] \cot[aL] \csc[aL-B] + 1/12 H^2 (3 (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) \cot[B] + 2 H \cos[B] (2 - \cot[aL-B] \cot[B] + \cot[B]^2 + \cot[B] \csc[aL-B])) - 1/12 (a + 2 a i - L - a \text{noPD})^3 \cos[aR/2]^3 \sec[aR]^2 \sin[aR/2] - 1/32 (a + 2 a i - L - a \text{noPD}) \csc[aR/2] \sec[aR] ((4 H^2 + L^2 - 2 a L (1 + 2 i - \text{noPD}) + a^2 (-1 - 2 i + \text{noPD})^2) \cos[aR/2] - (4 H^2 + L^2 - 2 a L (1 + 2 i - \text{noPD}) + a^2 (-1 - 2 i + \text{noPD})^2) \cos[(3 aR)/2] + 4 H (a + 2 a i - L - a \text{noPD}) \sin[(3 aR)/2]) + 1/4 H \csc[aL/2] (H \csc[aL/2] + (a + 2 a i + L - m - a \text{noPD}) \sec[aL/2]) (H \cos[aL] + m \sin[aL]) - 1/3 H^3 \cot[aL] \sin[B] - 1/6 H^3 \cot[aL]^2 \cot[aL-B] \sin[B] + 1/6 H^3 \cot[aL]^2 \csc[aL-B] \sin[B] + 1/48 (1 + 2 \cos[aR]) (a + 2 a i - L - a \text{noPD} + 2 H \cot[aR])^3 \sec[aR] \tan[aR]$$

Ek 5: Durum A5 için Maliyet Fonksiyonları

$$E[DL_{Durum5}] = -(1/4) a H m^{-1/2} a H i m - (H L m)/4 + (H m^2)/2 + 1/4 a H m \text{ noPD} + 1/3 H^3 \text{ Cos}[B] - 1/3 H m^2 \text{ Cos}[B] - 1/6 H^2 m \text{ Cos}[B] \text{ Cot}[aL-B] - 1/4 a H^2 \text{ Cot}[B] - 1/2 a H^2 i \text{ Cot}[B] - 1/4 H^2 L \text{ Cot}[B] + 1/2 H^2 m \text{ Cot}[B] + 1/4 a H^2 \text{ noPD} \text{ Cot}[B] - 1/6 H^3 \text{ Cos}[B] \text{ Cot}[aL-B] \text{ Cot}[B] + 1/6 H^3 \text{ Cos}[B] \text{ Cot}[B]^2 - 1/12 H^2 \text{ Cot}[aR] (3 a + 6 a i - 3 L - 3 a \text{ noPD} + 4 H \text{ Cot}[aR] - 2 H \text{ Csc}[aR]) + 1/6 H^2 m \text{ Cos}[B] \text{ Csc}[aL-B] + 1/6 H^3 \text{ Cos}[B] \text{ Cot}[B] \text{ Csc}[aL-B] + 1/12 H^2 (\text{Cot}[aR] - \text{Cot}[B]) (-3 (a+2 a i + L - 2 m - a \text{ noPD}) + 2 H \text{ Csc}[aR] + 2 H \text{ Csc}[B]) - 1/4 H \text{ Sec}[aR/2] ((m+a (-1-2 i + \text{noPD})) \text{Csc}[aR/2] + H \text{ Sec}[aR/2]) (H \text{ Cos}[aR] + (-L+m) \text{ Sin}[aR]) + 1/6 H^2 m \text{ Sin}[B] - 1/3 H m^2 \text{ Cot}[aL-B] \text{ Sin}[B] + 1/3 H m^2 \text{ Csc}[aL-B] \text{ Sin}[B] - 1/12 m (3 H (a+2 a i + L - 2 m - a \text{ noPD}) + 2 H \text{ Sec}[(aL-B)/2]) (m \text{ Cos}[(aL+B)/2] - 2 H \text{ Sin}[(aL+B)/2])) - 1/4 a m^2 \text{ Tan}[aL] - 1/2 a i m^2 \text{ Tan}[aL] - 1/4 L m^2 \text{ Tan}[aL] + 1/2 m^3 \text{ Tan}[aL] + 1/4 a m^2 \text{ noPD} \text{ Tan}[aL] - 1/3 m^3 \text{ Cos}[B] \text{ Tan}[aL] + 1/48 (a+2 a i + L - 2 m - a \text{ noPD})^3 (-1+2 \text{ Cos}[aL]) \text{ Sec}[aL] \text{ Tan}[aL] - 1/16 (a+2 a i + L - a \text{ noPD}) (a+2 a i + L - 2 m - a \text{ noPD}) (a+2 a i + L - 2 m - a \text{ noPD} + 2 m \text{ Sec}[aL]) \text{ Tan}[aL] + 1/24 (a+2 a i + L - a \text{ noPD})^3 \text{ Sec}[aL] \text{ Sin}[aL/2]^2 \text{ Tan}[aL] - 1/3 m^3 \text{ Cot}[aL-B] \text{ Sin}[B] \text{ Tan}[aL] + 1/3 m^3 \text{ Csc}[aL-B] \text{ Sin}[B] \text{ Tan}[aL] + 1/6 m^3 \text{ Cos}[B] \text{ Cot}[aL-B] \text{ Tan}[aL]^2 - 1/6 m^3 \text{ Cos}[B] \text{ Csc}[aL-B] \text{ Tan}[aL]^2 - 1/6 m^3 \text{ Sin}[B] \text{ Tan}[aL]^2$$

$$E[DR1_{Durum5}] = (a H m)/4 + 1/2 a H i m + (H L m)/4 - (H m^2)/2 - 1/4 a H m \text{ noPD} + 1/4 a H^2 \text{ Cot}[aR] + 1/2 a H^2 i \text{ Cot}[aR] + 1/4 H^2 L \text{ Cot}[aR] - 1/2 H^2 m \text{ Cot}[aR] - 1/4 a H^2 \text{ noPD} \text{ Cot}[aR] - 1/4 a H^2 \text{ Cot}[B] - 1/2 a H^2 i \text{ Cot}[B] - 1/4 H^2 L \text{ Cot}[B] + 1/2 H^2 m \text{ Cot}[B] + 1/4 a H^2 \text{ noPD} \text{ Cot}[B] + 1/8 H (a+2 a i - L - a \text{ noPD} + 2 H \text{ Cot}[aR]) (a+2 a i - L - a \text{ noPD} + 2 H \text{ Cot}[aR] - 2 H \text{ Csc}[aR]) - 1/12 H^2 \text{ Cot}[aR] (3 a + 6 a i - 3 L - 3 a \text{ noPD} + 4 H \text{ Cot}[aR] - 2 H \text{ Csc}[aR]) + 1/8 H (a+2 a i + L - 2 m - a \text{ noPD}) (a+2 a i + L - 2 m - a \text{ noPD} + 2 H \text{ Csc}[aR]) - 1/3 H^3 \text{ Cos}[(aR-B)/2]^2 \text{ Cot}[B] \text{ Csc}[aR]^2 \text{ Csc}[B] + 1/3 H^3 \text{ Cos}[(aR-B)/2]^2 \text{ Cot}[aR] \text{ Csc}[aR] \text{ Csc}[B]^2 - 1/3 H m^2 \text{ Cos}[(aL+B)/2] \text{ Sec}[(aL-B)/2] + 1/6 H^2 m \text{ Sec}[(aL-B)/2] \text{ Sin}[(aL+B)/2] + 1/12 H m (3 (a+2 a i + L - 2 m - a \text{ noPD}) - 2 m \text{ Cos}[(aL+B)/2] \text{ Sec}[(aL-B)/2] + 4 H \text{ Sec}[(aL-B)/2] \text{ Sin}[(aL+B)/2] + 1/12 H^2 \text{ Cot}[B] (3 (a+2 a i + L - 2 m - a \text{ noPD}) + 2 H \text{ Cos}[(aL+B)/2] \text{ Cot}[B] \text{ Sec}[(aL-B)/2] + 4 H \text{ Sec}[(aL-B)/2] \text{ Sin}[(aL+B)/2] + 1/4 a m^2 \text{ Tan}[aL] + 1/2 a i m^2 \text{ Tan}[aL] + 1/4 L m^2 \text{ Tan}[aL] - 1/2 m^3 \text{ Tan}[aL] - 1/4 a m^2 \text{ noPD} \text{ Tan}[aL] + 1/12 m^2 (2 m + (-3 L + 4 m + a (-3 - 6 i + 3 \text{ noPD})) \text{ Cos}[aL]) \text{ Sec}[aL] \text{ Tan}[aL] - 1/3 m^3 \text{ Cos}[(aL+B)/2] \text{ Sec}[(aL-B)/2] \text{ Tan}[aL] - 1/6 m^3 \text{ Sec}[(aL-B)/2] \text{ Sin}[(aL+B)/2] \text{ Tan}[aL]^2$$

$$E[DR2_{Durum5}] = (a H m)/4 + 1/2 a H i m + (H L m)/4 - (H m^2)/2 - 1/4 a H m \text{ noPD} + 1/4 a H^2 \text{ Cot}[aR] + 1/2 a H^2 i \text{ Cot}[aR] + 1/4 H^2 L \text{ Cot}[aR] - 1/2 H^2 m \text{ Cot}[aR] - 1/4 a H^2 \text{ noPD} \text{ Cot}[aR] - 1/4 a H^2 \text{ Cot}[B] - 1/2 a H^2 i \text{ Cot}[B] - 1/4 H^2 L \text{ Cot}[B] + 1/2 H^2 m \text{ Cot}[B] + 1/4 a H^2 \text{ noPD} \text{ Cot}[B] - 1/3 H^3 \text{ Cos}[(aR-B)/2]^2 \text{ Cot}[B] \text{ Csc}[aR]^2 \text{ Csc}[B] + 1/3 H^3 \text{ Cos}[(aR-B)/2]^2 \text{ Cot}[aR] \text{ Csc}[aR] \text{ Csc}[B]^2 - 1/3 H m^2 \text{ Cos}[(aL+B)/2] \text{ Sec}[(aL-B)/2] - 1/12 (a+2 a i - L - a \text{ noPD})^3 \text{ Cos}[aR/2]^3 \text{ Sec}[aR]^2 \text{ Sin}[aR/2] - 1/4 H \text{ Csc}[aR/2] (H \text{ Csc}[aR/2] + (a+2 a i - m - a \text{ noPD}) \text{ Sec}[aR/2]) (H \text{ Cos}[aR] + (-L+m) \text{ Sin}[aR]) - 1/32 (a+2 a i - L - a \text{ noPD}) \text{ Csc}[aR/2] \text{ Sec}[aR] ((4 H^2 + L^2 - 2 a L (1+2 i - \text{noPD}) + a^2 (-1-2 i + \text{noPD})^2) \text{ Cos}[aR/2] - (-4 H^2 + L^2 - 2 a L (1+2 i - \text{noPD}) + a^2 (-1-2 i + \text{noPD})^2) \text{ Cos}[(3 aR)/2] + 4 H (a+2 a i - L - a \text{ noPD}) \text{ Sin}[(3 aR)/2]) + 1/6 H^2 m \text{ Sec}[(aL-B)/2] \text{ Sin}[(aL+B)/2] + 1/12 H m (3 (a+2 a i + L - 2 m - a \text{ noPD}) - 2 m \text{ Cos}[(aL+B)/2] \text{ Sec}[(aL-B)/2] + 4 H \text{ Sec}[(aL-B)/2] \text{ Sin}[(aL+B)/2] + 1/12 H^2 \text{ Cot}[B] (3 (a+2 a i + L - 2 m - a \text{ noPD}) + 2 H \text{ Cos}[(aL+B)/2] \text{ Cot}[B] \text{ Sec}[(aL-B)/2] + 4 H \text{ Sec}[(aL-B)/2] \text{ Sin}[(aL+B)/2]) + 1/48 (1+2 \text{ Cos}[aR]) (a+2 a i - L - a \text{ noPD} + 2 H \text{ Cot}[aR])^3 \text{ Sec}[aR] \text{ Tan}[aR] + 1/4 a m^2 \text{ Tan}[aL] + 1/2 a i m^2 \text{ Tan}[aL] + 1/4 L m^2 \text{ Tan}[aL] - 1/2 m^3 \text{ Tan}[aL] - 1/4 a m^2 \text{ noPD} \text{ Tan}[aL] + 1/12 m^2 (2 m + (-3 L + 4 m + a (-3 - 6 i + 3 \text{ noPD})) \text{ Cos}[aL]) \text{ Sec}[aL] \text{ Tan}[aL] - 1/3 m^3 \text{ Cos}[(aL+B)/2] \text{ Sec}[(aL-B)/2] \text{ Tan}[aL] - 1/6 m^3 \text{ Sec}[(aL-B)/2] \text{ Sin}[(aL+B)/2] \text{ Tan}[aL]^2$$

Ek 6: Durum A6 için Maliyet Fonksiyonları

$$E[DL_{Durum6}] = \frac{1}{6} \cos[B] \cot[A2-B] \tan[A2]^2 m^3 - \frac{1}{6} \cos[B] \csc[A2-B] \tan[A2]^2 m^3 - \frac{1}{6} \sin[B] \tan[A2]^2 m^3 + \frac{1}{2} \tan[A2] m^3 - \frac{1}{3} \cos[B] \tan[A2] m^3 - \frac{1}{3} \cot[A2-B] \sin[B] \tan[A2] m^3 + \frac{1}{3} \csc[A2-B] \sin[B] \tan[A2] m^3 + \frac{1}{3} H \cos[B] m^2 - \frac{1}{3} H \cot[A2-B] \sin[B] m^2 + \frac{1}{3} H \csc[A2-B] \sin[B] m^2 - \frac{1}{4} a \tan[A2] m^2 - \frac{1}{2} a i \tan[A2] m^2 - \frac{1}{4} L \tan[A2] m^2 + \frac{1}{4} a \text{noPD} \tan[A2] m^2 - \frac{1}{4} (a H m) \tan[A2] m^2 + \frac{1}{4} a H \text{noPD} m - \frac{1}{6} H^2 \cos[B] \cot[A2-B] m + \frac{1}{6} H^2 \cos[B] \csc[A2-B] m - \frac{1}{12} (3 H (2 i a \text{noPD} a + a + L - 2 m) + 2 H \sec[(A2-B)/2] (m \cos[(A2+B)/2] - 2 H \sin[(A2+B)/2])) m + \frac{1}{6} H^2 \sin[B] m - \frac{1}{4} (H L m) + \frac{1}{192} H^2 \cos[(A1-B)/2] \cos[A1] \csc[B/2] \sec[B]^2 (4 H \cos[A1/2] + 2 H \cos[(3 A1)/2] - 2 H \cos[(3 A1)/2 - B] + 8 H \cos[A1/2 + B] + 10 H \cos[1/2 (A1 - 2 B)] + 2 H \cos[1/2 (A1 - 4 B)] - 3 a \sin[1/2 (A1 + 4 B)] - 6 a i \sin[1/2 (A1 + 4 B)] - 3 L \sin[1/2 (A1 + 4 B)] + 6 m \sin[1/2 (A1 + 4 B)] + 3 a \text{noPD} \sin[1/2 (A1 + 4 B)] + 3 a \sin[1/2 (A1 - 4 B)] + 6 a i \sin[1/2 (A1 - 4 B)] + 3 L \sin[1/2 (A1 - 4 B)] - 6 m \sin[1/2 (A1 - 4 B)] - 3 a \text{noPD} \sin[1/2 (A1 - 4 B)]) (\tan[A1/2] - \tan[B/2])^3 - \frac{1}{12} H^2 \cot[A1] (6 i a - 3 \text{noPD} a + 3 a - 3 L + 4 H \cot[A1] - 2 H \csc[A1]) + \frac{1}{12} H^2 (2 H \cos[B] (\cot[B]^2 - \cot[A2-B] \cot[B] + \csc[A2-B] \cot[B] + 2) - 3 (2 i a \text{noPD} a + a + L - 2 m) \cot[B]) + \frac{1}{8} H (-L + m + H \cot[B]) (-\cot[A1] + \cot[B] - \csc[A1] - \csc[B]) (-4 i a + 2 \text{noPD} a - 2 a + 2 m - 3 H \cot[A1] + H \cot[B] + H \csc[A1] + H \csc[B]) \sin[A1] + \frac{1}{96} (\cot[A1/2] \cot[B/2] H + H)^2 \sec[A1/2] \sec[B/2]^3 \sin[(A1-B)/2] (H (1 - 3 \cos[A1]) \sin[B] + \sin[A1] (3 \cos[B] H + H - 3 (2 i a \text{noPD} a + a + L - 2 m) \sin[B])) + \frac{1}{16} H \csc[B/2]^2 \sec[B/2]^3 \sin[(A1-B)/2] (H \cos[B] + (m-L) \sin[B]) (\cos[A1/2] (\cos[B] H - 3 H + 2 (2 i a \text{noPD} a + a - m) \sin[B]) - H \sin[A1/2] \sin[B]) \tan[A1/2] + \frac{1}{24} (2 i a \text{noPD} a + a + L)^3 \sec[A2] \sin[A2/2]^2 \tan[A2] + \frac{1}{48} (2 i a \text{noPD} a + a + L - 2 m)^3 (2 \cos[A2] - 1) \sec[A2] \tan[A2] - \frac{1}{16} (2 i a \text{noPD} a + a + L) (2 i a \text{noPD} a + a + L - 2 m) (2 i a \text{noPD} a + a + L - 2 m + 2 m \sec[A2]) \tan[A2] + \frac{1}{192} H^2 \csc[B/2] \sec[A1/2]^2 \sec[B/2]^2 (\csc[B/2] - \sec[B/2] \sin[A1]) \sin[A1-B]^2 ((\cos[A1] (\sec[B] - 1) + 3) \sec[B] H + H + ((H - H \cos[A1] \sec[B]) \tan[A1/2] - 3 (2 i a \text{noPD} a + a + L - 2 m)) \tan[B])$$

$$E[DR1_{Durum6}] = (a H m) / 4 + \frac{1}{2} a H i m + (H L m) / 4 - (H m^2) / 2 - \frac{1}{4} a H m \text{noPD} - \frac{1}{3} H m^2 \cos[B] - \frac{1}{6} H^2 m \cos[B] \cot[A2-B] - \frac{1}{12} H^2 \cot[A1] (3 a + 6 a i - 3 L - 3 a \text{noPD} + 4 H \cot[A1] - 2 H \csc[A1]) - \frac{1}{2} H (-L + m + H \cot[B]) (-a - 2 a i + m + a \text{noPD} - 2 H \cot[A1] + H \cot[B] + H \csc[A1]) + \frac{1}{6} H^2 m \cos[B] \csc[A2-B] + \frac{1}{12} H^2 (3 (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) \cot[B] + 2 H \cos[B] (2 - \cot[A2-B] \cot[B] + \cot[B]^2 + \cot[B] \csc[A2-B])) + \frac{1}{6} H^2 m \sin[B] - \frac{1}{3} H m^2 \cot[A2-B] \sin[B] + \frac{1}{3} H m^2 \csc[A2-B] \sin[B] + \frac{1}{12} H m (3 (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) - 2 \cos[B] (m + 2 H \cot[A2-B] - 2 H \csc[A2-B]) + 2 (2 H - m \cot[A2-B] + m \csc[A2-B]) \sin[B]) - \frac{1}{16} (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) \csc[A1-B] (1/2 (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD} - 2 H \cot[B]) \csc[A1-B] \sin[A1] (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD} + (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) \cos[A1] - (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) \cos[A1 - 2 B] - a \cos[2 B] - 2 a i \cos[2 B] - L \cos[2 B] + 2 m \cos[2 B] + a \text{noPD} \cos[2 B] + 2 H \sin[A1] + 2 H \sin[A1 - 2 B]) + 2 H \cos[A1] (4 H \cos[B] + \sin[B] (-2 H \cot[A1] + (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) (-2 + \csc[A1-B] \sin[B]))) + \frac{1}{4} a m^2 \tan[A2] + \frac{1}{2} a i m^2 \tan[A2] + \frac{1}{4} L m^2 \tan[A2] - \frac{1}{2} m^3 \tan[A2] - \frac{1}{4} a m^2 \text{noPD} \tan[A2] - \frac{1}{3} m^3 \cos[B] \tan[A2] + \frac{1}{12} m^2 (2 m + (-3 L + 4 m + a (-3 - 6 i + 3 \text{noPD})) \cos[A2]) \sec[A2] \tan[A2] - \frac{1}{3} m^3 \cot[A2-B] \sin[B] \tan[A2] + \frac{1}{3} m^3 \csc[A2-B] \sin[B] \tan[A2] + \frac{1}{6} m^3 \cos[B] \cot[A2-B] \tan[A2]^2 - \frac{1}{6} m^3 \cos[B] \csc[A2-B] \tan[A2]^2 - \frac{1}{6} m^3 \sin[B] \tan[A2]^2 + \frac{1}{12} (\cot[A1] - \cot[B]) (H^2 (3 a + 6 a i + 3 L - 6 m - 3 a \text{noPD} + 4 H \cot[A1] - 4 H \cot[B] - 2 H \csc[A1]) - 1/2 (\tan[A1] - \tan[B])) (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) \sec[A1] \sec[B] (2 \cos[B] \sin[A1] (-3 H^2 + 1/4 (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD})^2 \csc[A1-B]^2 \sin[A1]^2 \sin[B]^2) + \sin[B] (-3 H (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) \csc[A1-B] \sin[A1] \sin[B] + (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD})^2 \csc[A1-B]^2 \sin[A1]^2 \sin[B]^2 - 3 (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) \sin[A1] (-2 H + 1/2 (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD}) \csc[A1-B] \sin[A1] \sin[B]) - 2 \cos[A1] (-3 H^2 + 1/4 (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD})^2 \csc[A1-B]^2 \sin[A1]^2 \sin[B]^2))) + \frac{1}{48} (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD})^3 (2 + \cos[A1]) \cot[A1] \csc[A1] \tan[B]^3 + \frac{1}{96} (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD})^3 \cot[A1]^2 \csc[A1-B]^2 \sin[B] (5 \sin[A1-B] + \sin[2 A1-B] - \sin[B] + \sin[A1+B]) \tan[B]^3 + \frac{1}{48} (a + 2 a i + L - 2 m - a \text{noPD})^3 \tan[B] (1 + \cot[A1/2] \tan[B])$$

$$E[DR2_{Durum6}]=(a H m)/4+1/2 a H i m+(H L m)/4-(H m^2)/2-1/4 a H m \text{ noPD}-1/3 H m^2 \text{ Cos}[B]-1/6 H^2 m \text{ Cos}[B] \text{ Cot}[A2-B]+1/8 H (a+2 a i-L-a \text{ noPD}+2 H \text{ Cot}[A1]) (a+2 a i-L-a \text{ noPD}+2 H \text{ Cot}[A1]-2 H \text{ Csc}[A1])-1/12 H^2 \text{ Cot}[A1] (3 a+6 a i-3 L-3 a \text{ noPD}+4 H \text{ Cot}[A1]-2 H \text{ Csc}[A1])-1/12 H^2 (\text{Cot}[A1]-\text{Cot}[B]) (3 a+6 a i+3 L-6 m-3 a \text{ noPD}+4 H \text{ Cot}[A1]-4 H \text{ Cot}[B]+2 H \text{ Csc}[A1])+1/8 H (a+2 a i+L-2 m-a \text{ noPD}+2 H \text{ Cot}[A1]-2 H \text{ Cot}[B]) (a+2 a i+L-2 m-a \text{ noPD}+2 H \text{ Cot}[A1]-2 H \text{ Cot}[B]+2 H \text{ Csc}[A1])+1/6 H^2 m \text{ Cos}[B] \text{ Csc}[A2-B]+1/12 H^2 (3 (a+2 a i+L-2 m-a \text{ noPD}) \text{ Cot}[B]+2 H \text{ Cos}[B] (2-\text{Cot}[A2-B] \text{ Cot}[B]+\text{Cot}[B]^2+\text{Cot}[B] \text{ Csc}[A2-B]))+1/6 H^2 m \text{ Sin}[B]-1/3 H m^2 \text{ Cot}[A2-B] \text{ Sin}[B]+1/3 H m^2 \text{ Csc}[A2-B] \text{ Sin}[B]+1/12 H m (3 (a+2 a i+L-2 m-a \text{ noPD})-2 \text{ Cos}[B] (m+2 H \text{ Cot}[A2-B]-2 H \text{ Csc}[A2-B])+2 (2 H-m \text{ Cot}[A2-B]+m \text{ Csc}[A2-B]) \text{ Sin}[B])+1/4 a m^2 \text{ Tan}[A2]+1/2 a i m^2 \text{ Tan}[A2]+1/4 L m^2 \text{ Tan}[A2]-1/2 m^3 \text{ Tan}[A2]-1/4 a m^2 \text{ noPD} \text{ Tan}[A2]-1/3 m^3 \text{ Cos}[B] \text{ Tan}[A2]+1/12 m^2 (2 m+(-3 L+4 m+a (-3-6 i+3 \text{ noPD})) \text{ Cos}[A2]) \text{ Sec}[A2] \text{ Tan}[A2]-1/3 m^3 \text{ Cot}[A2-B] \text{ Sin}[B] \text{ Tan}[A2]+1/3 m^3 \text{ Csc}[A2-B] \text{ Sin}[B] \text{ Tan}[A2]+1/6 m^3 \text{ Cos}[B] \text{ Cot}[A2-B] \text{ Tan}[A2]^2-1/6 m^3 \text{ Cos}[B] \text{ Csc}[A2-B] \text{ Tan}[A2]^2-1/6 m^3 \text{ Sin}[B] \text{ Tan}[A2]^2$$

$$E[DR3_{Durum6}]=(a H m)/4+1/2 a H i m+(H L m)/4-(H m^2)/2-1/4 a H m \text{ noPD}-1/3 H m^2 \text{ Cos}[B]-1/6 H^2 m \text{ Cos}[B] \text{ Cot}[A2-B]+1/2 H (-L+m+H \text{ Cot}[B]) (-a-2 a i+m+a \text{ noPD}-2 H \text{ Cot}[A1]+H \text{ Cot}[B]-H \text{ Csc}[A1])-1/12 H^2 (\text{Cot}[A1]-\text{Cot}[B]) (3 a+6 a i+3 L-6 m-3 a \text{ noPD}+4 H \text{ Cot}[A1]-4 H \text{ Cot}[B]+2 H \text{ Csc}[A1])+1/6 H^2 m \text{ Cos}[B] \text{ Csc}[A2-B]+1/12 H^2 (3 (a+2 a i+L-2 m-a \text{ noPD}) \text{ Cot}[B]+2 H \text{ Cos}[B] (2-\text{Cot}[A2-B] \text{ Cot}[B]+\text{Cot}[B]^2+\text{Cot}[B] \text{ Csc}[A2-B]))-1/12 (a+2 a i-L-a \text{ noPD})^3 \text{ Cos}[A1/2]^3 \text{ Sec}[A1]^2 \text{ Sin}[A1/2]-1/32 (a+2 a i-L-a \text{ noPD}) \text{ Csc}[A1/2] \text{ Sec}[A1] ((4 H^2+L^2-2 a L (1+2 i-\text{noPD})+a^2 (-1-2 i+\text{noPD})^2) \text{ Cos}[A1/2]-(-4 H^2+L^2-2 a L (1+2 i-\text{noPD})+a^2 (-1-2 i+\text{noPD})^2) \text{ Cos}[(3 A1)/2]+4 H (a+2 a i-L-a \text{ noPD}) \text{ Sin}[(3 A1)/2])+1/6 H^2 m \text{ Sin}[B]-1/3 H m^2 \text{ Cot}[A2-B] \text{ Sin}[B]+1/3 H m^2 \text{ Csc}[A2-B] \text{ Sin}[B]+1/12 H m (3 (a+2 a i+L-2 m-a \text{ noPD})-2 \text{ Cos}[B] (m+2 H \text{ Cot}[A2-B]-2 H \text{ Csc}[A2-B])+2 (2 H-m \text{ Cot}[A2-B]+m \text{ Csc}[A2-B]) \text{ Sin}[B])+1/48 (1+2 \text{ Cos}[A1]) (a+2 a i-L-a \text{ noPD}+2 H \text{ Cot}[A1])^3 \text{ Sec}[A1] \text{ Tan}[A1]+1/4 a m^2 \text{ Tan}[A2]+1/2 a i m^2 \text{ Tan}[A2]+1/4 L m^2 \text{ Tan}[A2]-1/2 m^3 \text{ Tan}[A2]-1/4 a m^2 \text{ noPD} \text{ Tan}[A2]-1/3 m^3 \text{ Cos}[B] \text{ Tan}[A2]+1/12 m^2 (2 m+(-3 L+4 m+a (-3-6 i+3 \text{ noPD})) \text{ Cos}[A2]) \text{ Sec}[A2] \text{ Tan}[A2]-1/3 m^3 \text{ Cot}[A2-B] \text{ Sin}[B] \text{ Tan}[A2]+1/3 m^3 \text{ Csc}[A2-B] \text{ Sin}[B] \text{ Tan}[A2]+1/6 m^3 \text{ Cos}[B] \text{ Cot}[A2-B] \text{ Tan}[A2]^2-1/6 m^3 \text{ Cos}[B] \text{ Csc}[A2-B] \text{ Tan}[A2]^2-1/6 m^3 \text{ Sin}[B] \text{ Tan}[A2]^2$$

Ek 7: Ortalama Ulaşım Maliyetleri

Tablo 7.1 Eşit Malzeme Akış Politikası Altında Ortalama Seyahat Uzaklıkları

Kapı Sayısı	Geliştirilmiş Tasarım	Chevron Tasarım	Geleneksel Tasarım
1	40,2	40,2	50,0
3	42,0	42,1	50,2
5	43,4	43,7	50,5
7	44,8	45,4	51,0
9	46,3	47,3	51,7
11	47,9	49,2	52,5
13	49,6	51,2	53,5
15	51,4	53,4	54,7
17	53,2	55,6	56,0
19	55,2	57,8	57,5

Tablo 7.2 Merkez Yoğun Malzeme Akışı Politikasında Ortalama Seyahat Uzaklıkları

Kapı Sayısı	Geliştirilmiş Tasarım	Geleneksel Tasarım
1	40,24	50,00
3	41,97	50,17
5	42,88	49,98
7	44,64	50,94
9	44,52	49,95
11	48,09	53,18
13	48,72	53,30
15	46,07	50,08
17	48,79	52,72
19	50,25	54,13

Tablo 7.3 Merkez Seyrek Malzeme Akışı Politikası Altında Ortalama Seyahat Uzaklıkları

Kapı Sayısı	Geliştirilmiş Tasarım	Geleneksel Tasarım
1	40,24	50,00
3	42,40	50,67
5	43,89	51,02
7	46,35	52,59
9	47,20	52,35
11	46,75	50,77
13	47,90	51,02
15	53,93	56,52
17	59,53	61,52
19	64,66	66,05

8. Özgeçmiş

Yeliz Kocaman 26.07.1984 tarihinde Kırşehir'de doğmuştur. Lisans eğitimini Yaşar Üniversitesi Endüstri Mühendisliğinde tamamlamıştır. Yüksek Lisans ve Doktora eğitimini Yaşar Üniversitesi İşletme Anabilim dalında tamamlamıştır. 2007-2013 yılları arasında Yaşar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmıştır. 2014 yılından itibaren Yaşar Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Lojistik Programında öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır.

Yayınlar:

Kocaman, Y., Dizbay, İ.E., Karaöz, B.(2015). Vikor Yöntemi ile Kamu Kuruluşlarından Yardım Alacak Kişilerin Seçimi ve Dağıtım Rotalarının Belirlenmesi. 35. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Kongresi. 50-51. Ankara.(Bildiri Özeti)

Gümüšoğlu, Ş., Esendemir, E., Kocaman, Y., Dizbay, İ.E.(2012). Dünya Klasmanında İmalat Uygulayan İşletmelerin Üretim Performanslarını Etkileyen Faktörlerin Üretim Planlama ile İlişkilerinin Belirlenmesi: Bir Uygulama. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 32. Ulusal Kongresi. 208-209. İstanbul. (Bildiri Özeti)

Kocaman, Y., Dizbay, İ.E., Özdemir A. (2011). The Effect of Supplier Selection Criteria to Delivery Performance: Application of Logistic Regression Analysis. IX International Logistics and Supply Chain Congress. İzmir.

Uluşans, E., Kocaman, Y., Şarman, S.(2009). Yenilenebilir Enerji Üretim Kaynakları ve İnsan Merkezli Tasarım Projeleri İçin Ergonomik İlkeler. TMMOB Makine Mühendisleri Odası Bülteni, 129.16-18. İzmir.

Projeler:

İzmir Büyükşehir Belediyesi-Yaşar Üniversitesi. Süreç İyileştirme ve Yönetim Organizasyon Projesi. Haziran 2015- Haziran 2015.

Verdiği Dersler:

Depo Yönetimi, İşletme, Stratejik Yönetim, Bilgisayar Destekli Çizim, Mesleki İngilizce.