

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DAĞITIM MERKEZİ DEPOLARINA İLİŞKİN HİYERARŞİK DEPO
TASARIM METODOLOJİSİ VE KONVANSİYONEL/OTOMATİK DEPO
KARAR PROBLEMİNE İLİŞKİN ANALİTİK BİR MODEL**

DOKTORA TEZİ

İsmail KARAKIŞ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

OCAK 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DAĞITIM MERKEZİ DEPOLARINA İLİŞKİN HİYERARŞİK DEPO
TASARIM METODOLOJİSİ VE KONVANSİYONEL/OTOMATİK DEPO
KARAR PROBLEMİNE İLİŞKİN ANALİTİK BİR MODEL**

DOKTORA TEZİ

**İsmail KARAKIŞ
(507072110)**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Murat BASKAK

OCAK 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507072110 numaralı Doktora Öğrencisi **İsmail KARAKIŞ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**DAĞITIM MERKEZİ DEPOLARINA İLİŞKİN HİYERARŞİK DEPO TASARIM METODOLOJİSİ VE KONVANSİYONEL / OTOMATİK DEPO KARAR PROBLEMİNE İLİŞKİN ANALİTİK BİR MODEL**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Murat BASKAK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Eş Danışman : **Prof. Dr. Mehmet TANYAŞ**
Maltepe Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Alp ÜSTÜNDAĞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Şeyda SERDAR ASAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Semih ÖNÜT
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Tufan DEMİREL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Özalp VAYVAY
Marmara Üniversitesi

Teslim Tarihi : **09 Aralık 2013**
Savunma Tarihi : **27 Ocak 2014**

Anneme,

ÖNSÖZ

Günümüzde değişen ve sürekli olarak artan rekabet koşulları düşünüldüğünde depolar, tedârik zincirleri için vazgeçilmez bileşenlerdendir. Müşteri hizmet düzeyi ve stok yönetimi açısından bir işletmenin başarılı veya başarısız olmasında önemli rol oynayan depo yönetimi faaliyetleri, aynı zamanda mâliyet açısından da kritik öneme sahiptir.

Depolardan daha fazla performans elde etmek için, depoların tasarım ve operasyonel açılardan sürekli olarak iyileştirilmeleri gerekmektedir. Günümüzde işçilik ve çalışma ücretlerindeki artışlardan ötürü, depo yönetimi faaliyetleri ile ilgili problemlerin çözümünde daha fazla işgücü kullanmak, çok geçerli bir çözüm olarak görülmemektedir. Bu bağlamda, depolarda sürekli iyileştirme çabaları, ancak yeni yönetim felsefelerinin uyarlanması ile olanaklı gözükmektedir. Tüm bu çözümlerin önemli ve anlamlı bir düzeyde mâliyet ögesi olduğu açıkça görülmektedir. Dolayısıyla, depolara ilişkin bu tür lojistik mâliyetlerin çok iyi yönetilmesi gerekmektedir. Bu mâliyet öğelerinin anlamlı bir bölümü aslında deponun tasarım aşamasında belirlenmektedir. Bu bağlamda depo tasarımı, giderek daha önemli ve odaklanılması gereken bir konu hâline gelmektedir.

Literatürde yer alan depo tasarımı çalışmalarının çoğunlukla belirli bir probleme ya da problem grubuna odaklandığı saptanmıştır. Depo tasarımı problemi ise deponun mâliyet ve/veya performansı açısından gerekli amaçlara ulaşması için birçok farklı tasarım parametresi ile ilgili tüm kararların alınması süreci olarak tanımlanmakta olup söz konusu parametrelerin sistematik olarak değerlendirilmesini gerektirmektedir.

Bu tez çalışmasında, depo tasarımı sürecinde yer alan tüm karar problemlerine bütünsel bir yaklaşım ile sistematik bir depo tasarım yöntembilimi (metodolojisi) geliştirilmiştir. Ayrıca geliştirilen yöntembilim içerisindeki en önemli stratejik kararlardan biri olan konvansiyonel/otomatik depo karar problemi için analitik bir model önerilmiştir. Bu konuda literatürde belirli bir otomasyon çözümüne ilişkin uygulama ve optimizasyon odaklı birçok çalışma bulunmakla birlikte, olası seçeneklerin (alternatiflerin) seçimine yönelik çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Geliştirilen yöntembilim ve analitik model, kuramsal olarak ve gerçek uygulama örneği ile doğrulanmış ve sonuçları sunulmuştur.

Bu çalışmanın her aşamasında, konu ile ilgili bilgi ve deneyimini benimle paylaşan, ilgi ve önerilerini hiç bir zaman esirgemeyen, tez danışmanlığımı özenle yürüten değerli hocalarım Yrd. Doç.Dr. Murat BASKAK ve Prof.Dr. Mehmet TANYAŞ'a, tez çalışmam süresince depo tasarımı konusundaki uzman görüşünü ve sektörel deneyimlerini paylaşan İbrahim BEKTAŞ'a, başta eşim ve oğlum olmak üzere manevî destekleri için aileme teşekkür ederim.

Aralık 2013

İsmail KARAKIŞ
(Endüstri Yüksek Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE SONUÇLARI.....	7
2.1 Stratejik Düzey Depo Tasarımı.....	8
2.2 Taktik Düzey Depo Tasarımı.....	15
2.3 Operasyonel Düzey Depo Tasarımı.....	19
2.4 Literatür Araştırması Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	23
3. DEPOLAMA SİSTEM ELEMANLARI VE DEPOLAMA SÜREÇLERİ.....	29
3.1 Depolama Birimi.....	29
3.2 Depolama Ekipmanları.....	32
3.2.1 Rafsız depolama sistemleri.....	32
3.2.1.1 Blok depolama.....	32
3.2.1.2 Tank/silo içinde depolama.....	33
3.2.2 Rafli depolama sistemleri.....	33
3.2.2.1 Sırt sırta (back to back) raf sistemi.....	35
3.2.2.2 İkili derinlikli (double deep) raf sistemleri.....	36
3.2.2.3 Tek paletli raf sistemleri.....	36
3.2.2.4 İçine girilebilir ve içinden geçilebilir raf sistemleri.....	37
3.2.2.5 Giydirme raf sistemleri.....	38
3.2.2.6 Kayar raf sistemleri/arkadan itmeli sistemler.....	39
3.2.2.7 Hareketli (mobil) raf sistemleri.....	40
3.2.2.8 Dar koridorlu depolama sistemleri.....	41
3.2.2.9 Askılı konveyör/raf sistemleri.....	43
3.2.2.10 Kutulu kayar raf sistemleri.....	43
3.2.2.11 Mezanin tip raf sistemleri.....	45
3.2.2.12 Sipariş hazırlama raf sistemleri.....	45
3.2.2.13 Konsollu tip raf sistemleri.....	47
3.2.2.14 Dar koridor raf sistemleri.....	47
3.2.2.15 Mekik raf sistemleri.....	47
3.2.2.16 Paletsiz depolama sistemleri.....	49
3.2.3 Raf sistemlerinin karşılaştırılması.....	49
3.2.4 Otomatik depolama sistemleri.....	51
3.3 İstifleme ve Elleçleme Ekipmanları.....	53
3.3.1 Çaka (Forklift).....	55
3.3.2 Dar koridor çakası (Reach Truck).....	56

3.3.3 Dar koridor istif makinaları	57
3.3.4 Sipariş toplayıcılar	57
3.3.5 Elektrikli istif makinaları (sticker)	58
3.3.6 Transpalet	58
3.3.7 Konveyörler	59
3.3.8 Otomatik yönlendirmeli araçlar (AGV)	60
3.3.9 Streçleme makinası	61
3.4 Zemin	61
3.5 Personel Planlama	63
3.6 Depolama Süreçleri	64
3.6.1 Mal kabul	66
3.6.2 Yerleştirme	67
3.6.3 İkmâl / transfer	68
3.6.4 Sipariş toplama	69
3.6.5 Çapraz sevkiyat	70
3.6.6 Katma değerli hizmetler	71
3.6.7 Paketleme	72
3.6.8 Sevkiyat	72
3.6.9 İade alma, işleme ve imha	73
3.6.10 Açık saha yönetimi	75
3.7 Temel Depolama Süreçlerinin Depo Tasarımına Etkileri	76
4. TÜRKİYE’DE DEPO TASARIMI UYGULAMALARI	81
4.1 Lojistik Şirketleri’nde Depo Tasarımı Uygulamaları	81
4.2 Hızlı Tüketim/Perakende Şirketlerinde Depo Tasarımı Faaliyetleri	84
5. HİYERARŞİK DEPO TASARIMI	89
5.1 Stratejik Düzey Depo Tasarımı	90
5.1.1 Stratejik hedeflerin belirlenmesi ve yatırım planlama	90
5.1.2 Depo yeri seçimi	91
5.1.3 Veri analizi	91
5.1.4 Konvansiyonel/otomatik depo kararının verilmesi	96
5.1.5 Depolama süreçlerine ilişkin ilkeler	98
5.1.6 Üst düzey depo yerleşimi	100
5.2 Taktik Düzey Depo Tasarımı	102
5.2.1 Depolama politikaları	102
5.2.2 Koridor tasarımı	103
5.2.3 Raf sistemleri ve ekipman seçimi	103
5.2.4 Ayrıntılı depo yerleşimi	105
5.3 Operasyonel Düzey Depo Tasarımı	110
5.3.1 Depolama süreçleri ayrıntı tasarımı	110
5.3.1.1 Mal kabul	110
5.3.1.2 Yerleştirme	111
5.3.1.3 Sipariş toplama	111
5.3.1.4 Çapraz sevkiyat	112
5.3.1.5 Parti oluşturma	113
5.3.1.6 Katma değerli hizmetler	113
5.3.1.7 Ayırma/sınıflandırma	113
5.3.1.8 Depolama, rotalama ve sıralama	114
5.3.1.9 Sevkiyat	114
5.4 Depo Tasarımının Değerlendirilmesi ve Uygulanması	115
6. DEPO TASARIMI PERFORMANS GÖSTERGELERİ	119

7. KONVANSİYONEL / OTOMATİK DEPO KARAR PROBLEMİ.....	125
7.1 Modele İlişkin Formülasyon ve Örnek Uygulama.....	128
7.2 Modele İlişkin Doğrulama.....	176
7.3 Modelin Üstün ve Gelişime Açık Yönlerinin Değerlendirilmesi	177
8. SONUÇLAR.....	181
KAYNAKLAR.....	185
EKLER.....	201
ÖZGEÇMİŞ	223

KISALTMALAR

3PL	: Üçüncü Parti Lojistik Şirketi
AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
ANOVA	: Analysis of Variance (Varyans Analizi)
APG	: Anahtar Performans Göstergesi
AGV	: Automated Guided Vehicle (Otomatik Yönlendirmeli Araç)
AS/RS	: Automated Storage and Retrieval System (Otomatik Depolama Sistemi)
AVS/RS	: Automated Vehicle Storage/Retrieval System (Otonom Araç Depolama Sistemi)
B&B	: Branch & Bound Algorithm (Dal Sınır Algoritması)
BM	: Bi-linear Model (Çift Doğrusal Model)
CAD	: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
COI	: Cube-per-Order Index (Sipariş Başına Hacim İndeksi)
DEA	: Data Envelopment Analysis (Veri Zarflama Analizi)
DOS	: Duration of Stay (Bekleme Süresi)
DP	: Dynamic Programming (Dinamik Programlama)
DYS	: Depo Yönetim Sistemi
FEFO	: First Expire First Out (Son Kullanım Tarihi Önce Olan İlk Çıkar)
FIFO	: First In First Out (İlk Giren İlk Çıkar)
GA	: Genetik Algoritma
IP	: Integer Programming (Tamsayılı Programlama)
LP	: Linear Programming (Doğrusal Programlama)
LSH	: Local Search Heuristics (Yerel Arama Sezgiseli)
NLP	: Non-linear Programming (Doğrusal Olmayan Programlama)
NNH	: Nearest Neighbour Heuristics (En Yakın Komşu Sezgiselleri)
KDS	: Karar Destek Sistemi
LIFO	: Last In Last Out (Son Giren Son Çıkar)
MCDM	: Multi-Criteria Decision Making (Çok Ölçütlü Karar Verme)
NPV	: Net Present Value (Net Şimdiki Değer)
RFID	: Radio Frequency Identification System (Radyo Frekanslı Tanıma Sistemi)
ROI	: Return On Investment (Yatırımın Geri Dönüş Oranı)
SKU	: Stock Keeping Unit (Stok Tutma Birimi)
TSP	: Travelling Salesman Problem (Gezgin Satıcı Problemi)
TZY	: Tedârik Zinciri Yönetimi
A	: Analitik Model
S	: Simülasyon Modeli
H	: Sezgiseller
MH	: Metasezgiseller
K	: Kavramsal Modeller
T	: Tek Amaçlı Model
C	: Çok Amaçlı Model
D	: Deterministik Model

P : Probabilistik Model
S : Statik Modeller
D : Dinamik Model
UWLP : Unlimited Capacity Warehouse Location Problem (Sınırsız Kapasiteli Depo Yeri Seçimi Problemi)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1: Depolama sistemlerinin karşılaştırması.	50
Çizelge 3.2: Ekipmanın amacı ve yanıtlanması gereken sorular.	55
Çizelge 3.3 : Depolama süreçlerinin depo tasarımı konularına etkisi.	79
Çizelge 5.1 : Plânlama zaman dönemi analiz tablosu.	95
Çizelge 5.2 : Otomatik ekipmanların özelliklerine göre değerlendirilmesi.....	105
Çizelge 6.1 : Depo yönetimi performans göstergeleri.....	121
Çizelge 6.2 : Hiyerarşik depo tasarımına ilişkin performans göstergeleri.....	122
Çizelge 7.1 : Konvansiyonel/otomatik depo için gerekli personel sayıları.	136
Çizelge 7.2 : Depo kapasitesi hesaplamaları.....	141
Çizelge 7.3 : Seçenekler bazında operasyon ve yatırım mâliyetleri.	142
Çizelge 7.4 : Seçenekler bazında yıllık palet başına düşen eşdeğer mâliyetler.	143
Çizelge 7.5 : Farklı palet işlem hacimleri doğrultusunda bulunan çözümler.	144
Çizelge 7.6 : Farklı stok gün sayıları doğrultusunda bulunan çözümler.	148
Çizelge 7.7 : Önem tablosu.....	151
Çizelge 7.8 : Ölçüt önem ağırlıkları karşılaştırmalar ve normalize matrisi.....	155
Çizelge 7.9 : Seçeneklerin ikili karşılaştırma matrisleri.....	156
Çizelge 7.10 : Seçeneklerin ikili karşılaştırma normalize matrisleri.....	157
Çizelge 7.11 : Ölçütlere ilişkin ortalamalar matrisi.	158
Çizelge 7.12 : Seçeneklere ilişkin puan matrisleri ve sonuç.....	158
Çizelge 7.13 : Rassallık indeks değerleri.....	159
Çizelge 7.14 : Tutarlılık hesaplamaları.....	160
Çizelge 7.15 : Seçenekler bazında koridor başına düşen eşdeğer mâliyetler.	166
Çizelge 7.16 : Karma seçenekli ikili karşılaştırma matrisleri.....	169
Çizelge 7.17 : Seçeneklerin ikili karşılaştırma normalize matrisleri.....	170
Çizelge 7.18 : Karma seçenekli durumda ölçütlere ilişkin ortalamalar matrisi.	171
Çizelge 7.19 : Karma seçenekli durumda puan matrisi ve sonuç.	172
Çizelge 7.20 : Karma seçenekli durumda tutarlılık hesaplamaları.....	173
Çizelge 7.21 : AHP duyarlılık analizi sonuçları.....	175
Çizelge 7.22 : Problemin sonuç değerlerine ilişkin karşılaştırma.....	177
Çizelge A.1 : Literatür araştırması sonuçları.	203
Çizelge A.2 : Yöntem ayrıntısına ulaşılmayan çalışmalar.	213
Çizelge A.3 : Tam metnine ulaşılmayan çalışmalar.....	216

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Kanat (flying v) koridor tasarımı.	12
Şekil 2.2 : Balık kılçığı koridor tasarımı.	13
Şekil 2.3 : Apolet (chevron) koridor tasarımı.	13
Şekil 2.4 : Makalelerde kullanılan yöntemlerin dağılımı.	24
Şekil 2.5 : Stratejik düzeydeki konuları içeren makalelerde kullanılan yöntemler.	25
Şekil 3.1 : Çeşitli palet tipleri.	30
Şekil 3.2 : Şeritli palet türleri.	31
Şekil 3.3 : Temel blok palet çeşitleri.	31
Şekil 3.4 : Karton kutu ve plastik kap örnekleri.	32
Şekil 3.5 : Blok depolama örnekleri.	33
Şekil 3.6 : Tank ve silo içinde depolama örnekleri.	34
Şekil 3.7 : Sırt sırta raf sistemleri örneği.	36
Şekil 3.8 : İkili derinlikli raf sistemleri örneği.	37
Şekil 3.9 : Tek paletli raf sistemleri örneği.	37
Şekil 3.10 : İçine girilebilir ve içinden geçişli raf sistemleri.	38
Şekil 3.11 : Giydirme raf sistemleri örneği.	39
Şekil 3.12 : Paletli kayar raf sistemleri örneği.	40
Şekil 3.13 : Hareketli raf sistemleri örneği.	41
Şekil 3.14 : Dar koridorlu depolama sistemleri örnekleri.	42
Şekil 3.15 : Askılı konveyör depolama sistemleri örnekleri.	43
Şekil 3.16 : Kutulu kayar raf sistemleri örnekleri.	44
Şekil 3.17 : Mezanin tip raf sistemleri örnekleri.	45
Şekil 3.18 : Sipariş hazırlama raf sistemleri.	46
Şekil 3.19 : Konsollu tip raf sistemleri örnekleri.	47
Şekil 3.20 : Dar koridor raf sistemleri örneği.	48
Şekil 3.21 : Mekik raf sistemleri örneği.	48
Şekil 3.22 : Paletsiz depolama sistemleri örnekleri.	50
Şekil 3.23 : Otomatik depolama sistemleri örnekleri.	52
Şekil 3.24 : Çaka çeşitleri.	56
Şekil 3.25 : Dar koridor çakası örneği.	56
Şekil 3.26 : Dar koridor istif makinaları.	57
Şekil 3.27 : Sipariş toplama araçları.	58
Şekil 3.28 : Elektrikli istif makinaları.	58
Şekil 3.29 : Elektrikli (soldaki) ve manuel (sağdaki) tranpalet.	59
Şekil 3.30 : Konveyör tipleri.	60
Şekil 3.31 : Lazer kılavuzlu AGV.	61
Şekil 3.32 : Streçleme makinası.	62
Şekil 3.33 : Depolama ana süreci.	65
Şekil 3.34 : Depoya kabul sonrasındaki akış seçenekleri.	67
Şekil 3.35 : Depo tasarımı ve depolama süreçleri ilişkisi.	77
Şekil 5.1 : Ürün-depo-müşteri etkileşimi.	91

Şekil 5.2 : Depolama analizi grafiği.....	93
Şekil 5.3 : Hareket analizi grafiği	94
Şekil 5.4 : Depo akış diyagramı.....	96
Şekil 5.5 : Konvansiyonel/otomatik depolama	98
Şekil 5.6 : Depo işlevleri ve akışları	99
Şekil 5.7 : Stratejik düzey depo tasarım yöntembilimi.	101
Şekil 5.8 : Depolama sistemlerinin belirlenmesi için karar ağacı.....	105
Şekil 5.9 : Taktik düzey depo tasarım yöntembilimi.	109
Şekil 5.10 : Depolama süreçleri ve ilişkileri.	110
Şekil 5.11 : Sipariş toplama faaliyetlerinin sınıflandırılması	112
Şekil 5.12 : Operasyonel düzey depo tasarım yöntembilimi.	114
Şekil 5.13 : Depo tasarımının değerlendirilmesi ve uygulanması.	117
Şekil 7.1 : Hızlı tüketim sektöründe otomatik depolama.	127
Şekil 7.2 : Analitik modelin aşamaları.	131
Şekil 7.3 : Günlük işlem hacmine göre toplam mâliyetin değişimi – I.....	145
Şekil 7.4 : Günlük işlem hacmine göre toplam mâliyetin değişimi – II.	145
Şekil 7.5 : Farklı işlem hacimleri için toplam mâliyetin değişimi.	146
Şekil 7.6 : Farklı depolama yeri sayısı için toplam mâliyetin değişimi.	146
Şekil 7.7 : Farklı stok gün sayısı için toplam mâliyetin değişimi.	149
Şekil 7.8 : AHP yapısı.	150
Şekil 7.9 : İkili karşılaştırmalar matrisi.	151
Şekil 7.10 : Örnek probleme ilişkin AHP yapısı.	154
Şekil B.1 : Hiyerarşik depo tasarım yöntembilimi iş akışı.	217

DAĞITIM MERKEZİ DEPOLARINA İLİŞKİN HİYERARŞİK DEPO TASARIM METODOLOJİSİ VE KONVANSİYONEL/OTOMATİK DEPO KARAR PROBLEMİNE İLİŞKİN ANALİTİK BİR MODEL

ÖZET

Depo ve depolama kavramları, müşteri hizmet ve mâliyet düzeyi açısından her tedârik zinciri için önem arz etmektedir. Depolar, tedârik zincirleri için vazgeçilmez bileşenlerdendir. Müşteri hizmet düzeyi ve stok yönetimi açısından bir işletmenin başarılı veya başarısız olmasında önemli rol oynayan depo yönetimi faaliyetleri, aynı zamanda mâliyet açısından da kritiktir. Depolar, tedârik zinciri içerisinde birçok önemli işleve sahiptir. Örneğin, mevsimselliğe bağlı olarak değişen talepler nedeniyle malzemelerin tedârik zinciri boyunca akışlarında bir tampon görevi gören depolar, diğer yandan parti oluşturma, sevkiyata hazırlama, ürün birleştirme ve ürünlere etiket, bandrol yapıştırma gibi katma değerli hizmetlerin de yürütüldüğü bir yer olarak değerlendirilebilir.

Söz konusu bu önemli işlev ve roller, pazardaki rekabet koşulları ile birlikte düşünüldüğünde, tedârik ağlarının önemli bileşenleri olan depolardan daha fazla performans elde etmek için, depoların tasarıma dayalı ve operasyonel açılardan sürekli olarak iyileştirilmeleri gerekmektedir. Günümüzde işçilik ve çalışma ücretlerindeki artışlardan ötürü, depo yönetimi faaliyetleri ile ilgili problemlerin çözümünde daha fazla işgücü kullanmak, çok geçerli bir çözüm olarak görülmemektedir. Bu bağlamda, depolarda sürekli iyileştirme çabaları, ancak yeni yönetim felsefelerinin uyarlanması ile olanaklı gözükmektedir. Söz konusu yeni yaklaşımlar; sıkı stok kontrolü, daha kısa yanıt süreleri, barkod ve radyo frekanslı tanıma sistemi (RFID), depo yönetim sistemi (WMS) gibi teknolojik uygulamalar ile otomatik depolama sistemleri (AS/RS) olarak değerlendirilebilir.

Tüm bu çözümlerin önemli ve anlamlı bir düzeyde mâliyet unsuru olduğu açıkça görülmektedir. Dolayısıyla, depolara ilişkin bu tür lojistik mâliyetlerin çok iyi yönetilmesi gerekmektedir. Bir başka deyişle, depoların mâliyet açısından etkin bir şekilde faaliyet göstermeleri gerekmektedir ve bu mâliyet öğeleri, aslında deponun tasarım aşamasında belirlenmektedir. Bu bağlamda depo tasarımı, giderek daha önemli ve odaklanılması gereken bir konu hâline gelmektedir.

Depo tasarımı, deponun mâliyet ve/veya performansı açısından gerekli amaçlara ulaşması için birçok farklı tasarım parametresi ile ilgili kararların alınması süreci olarak tanımlanabilmektedir.

Bu tez çalışmasında öncelikle depo tasarımı ile ilgili ayrıntılı bir literatür araştırması sonucunda depo tasarımına ilişkin problemler, çözüm yöntemleri ve/veya yaklaşımları içeren 243 çalışma incelenmiş olup 170 çalışma, kullandığı yönteme göre ayrıntılı bir sınıflandırmaya tâbi tutulmuştur. Literatürde farklı depo tasarım problemlerine ilişkin birçok çalışma bulunmakla birlikte, depo tasarımına ilişkin sistematik/yapısal bir yaklaşım konusunda oldukça az sayıda çalışma olduğu gözlemlenmiştir.

Öte yandan literatür araştırması sonucunda depo tasarımı yaklaşımları konusunda akademik çalışmalar ile uygulamalar arasında da boşlukların bulunduğu gözlemlenmiştir. Bu bağlamda, Türkiye'deki depolama hizmeti konusunda öncü olan 7 lojistik şirketi, 3 hızlı tüketim malları üreticisi ve 2 perakende şirketi ile depo tasarımı konusundaki yaklaşımları üzerine bire-bir görüşmeler yapılmıştır. Bu görüşmelere, söz konusu şirketlerin lojistik yöneticileri, depo yöneticileri, satış ve iş geliştirme yöneticileri katılmıştır. Bu görüşmelerde öncelikle yeni bir depo projesi söz konusu olduğunda şirketlerin bu projeye yaklaşımları, depo tasarımı için süreç akışı ve kullanılan yöntemler üzerine konuşulmuştur.

Tez çalışması kapsamında, literatür araştırması sonuçları doğrultusunda özellikle farklı parametreleri göz önünde bulunduran bir depo tasarımı sistematığına gereksinim olduğu ortaya konmuş olup depo tasarımı ile ilgili hiyerarşik bir yöntembilim geliştirilmiştir. Bu yöntembilim çerçevesinde depo tasarımı problemleri üç hiyerarşik düzeyde ele alınmıştır. Stratejik düzeyde; depoya ilişkin stratejik hedefler ve yatırım planlama, depo yeri seçimi, veri analizi, konvansiyonel/otomatik depo kararı, depo süreçlerine ilişkin ilkeler ve üst düzey depo yerleşimi aşamaları yer almaktadır. Taktik düzeyde; depolama politikaları, koridor tasarımı, raf sistemleri ve ekipman seçimi ile ayrıntılı depo yerleşimi aşamaları bulunmaktadır. Operasyonel düzeyde ise depolama süreçlerinin ayrıntılı olarak tasarımı yer almaktadır. Söz konusu yöntembilim ile depo tasarımı problemine sistematik ve bütünsel bir yaklaşım geliştirilmiş olup tasarımı süreci boyunca gerçekleştirilmesi gereken faaliyetler ve karar konuları hiyerarşik bir yapı içerisinde birbirleri ile olan etki ve ilişkileri de ortaya konulmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında depo tasarımı yöntembiliminin yanı sıra, literatür araştırması sonucunda potansiyel bir diğer araştırma alanı olarak saptanmış olan ve stratejik düzeyde depo tasarımı bünyesindeki önemli aşamalardan biri olan konvansiyonel/otomatik depo karar verme problemine ilişkin analitik bir model önerilmektedir. Bu model iki aşamadan oluşmakta olup ilk aşamasında her bir alternatif için maliyet hesaplanmasının yanı sıra, farklı alternatiflerin kombinasyonu olacak şekilde optimum sonuç elde edilmiştir. Söz konusu sonuç, Türkiye'de faaliyet gösteren ve depolama alanında lider konumunda olan lojistik hizmet sağlayıcı şirketlerden bir tanesi ile yapılan ayrıntılı çalışma sonucunda doğrulanmıştır. Diğer yandan depo tasarımı konusundaki bu stratejik kararın verilmesinde maliyetin tek etmen olmadığı gerçeğinden hareketle, maliyet dışı 5 etmen de değerlendirilmeye alınmış ve nihai karar, AHP yöntemi ile yapılan uygulama sonucunda önerilmiştir. Modelin tüm aşamalarında birçok verinin parametrik olarak modele girilebilmesi, farklı durumlar için esnek analizlerin yapılmasına olanak vermektedir.

Tez çalışması, toplam sekiz bölümden oluşmaktadır.

Tez çalışmasının ilk bölümünde depo, depolama ve depo tasarımı kavramları ile depo tasarımı konusunun önemi, tez çalışmasının amacı, kapsamı ve yöntemi kısa ve özet bir şekilde anlatılmıştır.

İkinci bölümde, depo tasarımı konusunda literatürdeki çalışmalar kapsamlı ve derinlemesine incelenerek çözüm yöntemlerine ilişkin ayrıntılara göre sınıflandırılmıştır. Bu bölümde ayrıca literatür araştırması sonuçları değerlendirilerek bu doğrultusunda depo tasarımı problemi tanımlanmış ve tez çalışmasının amacı belirtilmiştir.

Üçüncü bölümde, depo yönetimi ve depo tasarımı konusuna doğrudan etkili olan depolama sistem elemanları ve depo yönetimi süreçlerine ilişkin ayrıntılı bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde, depo tasarımı konusunda Türkiye’de yapılmış olan uygulamalar ve gelişmeler anlatılmıştır.

Beşinci bölümde, geliştirilen hiyerarşik depo tasarım yöntembilimi ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

Altıncı bölümde, depo tasarım parametreleri ve performans yönetimi konusu anlatılarak, geliştirilen depo tasarım yöntembilimine ilişkin aşamalar bazında anahtar performans göstergeleri sınıflandırılmış ve açıklanmıştır.

Yedinci bölümde ise konvansiyonel/otomatik depo karar verme problemine ilişkin geliştirilen analitik modele ilişkin ayrıntılar verilmiş, örnek problem çözümü ile modelin doğrulanmasına ilişkin çalışmalar anlatılmıştır.

Sekizinci ve son bölümde ise, tüm tez çalışmasının genel bir değerlendirmesi yapılarak, ilerleyen dönemde gerçekleştirilebilecek yeni çalışmalar hakkında öneriler sunulmuştur.

HIERARCHICAL WAREHOUSE DESIGN METHODOLOGY AND AN ANALYTICAL MODEL FOR CONVENTIONAL/AUTOMATIC WAREHOUSE DECISION PROBLEM FOR DISTRIBUTION CENTERS

SUMMARY

Warehouses are essential components of the supply chains. They are one of the important players in the success or failure of the businesses from not only customer service levels perspective, but also the cost perspective. Warehouses have several major roles; enabling a buffer for the material flow along the supply chain due to the variability caused by seasonality, batching, transportation, and a value-added service place such as kitting, labeling, and stamping. When market competition is added to this situation, warehouses, as an important role player of supply networks, need to have a continuous improvement in the design and operations to get higher performance from the warehouses.

Because of the increase in labor costs, allocating more people for any warehouse performance problem is not a viable solution. Therefore, these improvement efforts result in the adoption of new management philosophies; tighter inventory control, shorter response times, as well as the new technology implementations like bar coding, radio frequency communications (RF), warehouse management systems (WMS), automatic storage and retrieval systems (AS/RS). All these solutions have a very significant cost impact. Because of that reason, such logistics costs related to warehouses should be very well managed, in other words warehouses should function cost effectively. Moreover, these cost drivers are in fact determined during the design phase.

Warehouse Design is to make decisions for different design parameters in order to satisfy the objectives in terms of costs and/or performance of the warehouse. Since there are different types of problems or decision points that affect the design of the warehouse, it is considered as a process that consists of sub-processes which have also relations and/or affects to each others.

Firstly, a comprehensive literature review and detailed interviews with leading 7 Turkish logistics service provider companies as well as 3 multi-national FMCG and 2 local retail companies in Turkey.

The literature review mainly focuses on the literature review for the design phase of the warehouses. There were 243 studies reviewed accordingly and 170 of these classified based on their method(s) used for warehouse design in more details. The studies in the literature are firstly classified into three levels as strategic, tactical, and operational according to the problem types from warehouse design perspective. It is realized that one study may focus on more than one topic under the same or different hierarchical levels. This is due to warehouse design problems are strongly hard coupled.

These studies are grouped into three hierarchical levels; strategic, tactical and operational. Strategic level contains warehouse design methodology, warehouse

location selection, warehouse capacity (sizing), warehouse layout (dimensioning), AS/RS design and storage systems design. Tactical level includes equipment selection, storage policies, organization (human capital management) and order picking related decision sets, and operational level covers receiving and shipping, batching, sorting, dwell point determination, AS/RS operations, and storing, routing and sequencing related decisions and problems.

Moreover, the methodologies of the reviewed research papers are categorized as well. The methods are classified as “A-Analytical” for mathematical and optimization models, quantitative techniques. The studies use heuristics classified as general “H-Heuristics” or “MH-Metaheuristics” based on the heuristics used. The papers that used simulation models are indicated as “S-Simulation” and the ones that use conceptual models like case studies, general approach, or benchmarking are evaluated as “K-Conceptual”. The methods classification done based on the objectives of the models as “T-Single” or “C-Multi-objective” models. For the models that use probability distributions or random variables are indicated as “P-Probabilistic”, models while the ones that have every set of variables determined by parameters as “D-Deterministic”. If all sets of data is ready at the beginning of the model execution, the model is indicated as “S-Static” while the methods that generate the data within the execution phase and/or require the input/decision from the modeler at a further stage are considered as “D-Dynamic” models like simulation or interactive methods.

It is obvious from the results of the study that there are many studies regarding the operational level. However, for tactical level, the numbers of the studies are less than operational level ones. Strategic level studies are significantly less than the tactical level research papers. Therefore, this dissertation asserts that there is a need to focus on warehouse problems at strategic level since there are no significant numbers of studies on that area. Furthermore, despite the fact that there are several studies regarding the problems of the warehouse design, there is a lack of study on systematic approach and/or methodology. It is obvious that although there is a consensus on the overall structure of the approaches there are fewer consensuses on the tools used for warehouse design.

In the light of this literature review, a type of design methodology called as hierarchical warehouse design approach is developed for distribution centers for FMCG industry. This methodology consists of three hierarchies as strategic, tactical and operational levels and indicates the steps that should be completed within each level. This methodology provides a holistic and systematic view for overall warehouse design problem that states step by step solutions for warehouse design problem with sequencing the sub-problems. Moreover, this methodology identifies the interrelated sub-problems and differentiates the impacts of each sub-problem to the other related areas.

In this dissertation, an analytical model is proposed due to the fact that there are several studies in the literature regarding the implementation and optimization of specifically focused on selected warehouse automation solutions. Moreover, the practitioners use intuitive knowledge and previous experiences in order to analyze these cases in the real life. In other words, there is no systematic or analytical approach regarding the automatic / conventional warehouse decision problem.

This analytical model considers not only operational and capital expenses dimensions but also technical performance dimension (e.g. speed, throughput,

material handling equipment attributes, etc.) for conventional/automatic warehouse decision problem which is one of the key strategic level decisions as well as a potential research area. This model consists of two steps. In the first step, the problem is solved to find out the most feasible solution alternative as well as the optimum solution in terms of combination of different alternatives based on minimizing the total costs. For optimum solution, a linear programming model is developed with the objective function of total cost minimization. The model proposes the optimum number of the aisles operated by each equipment under the area, throughput, annual budget, speed, and the minimum number of the equipment constraints. This model enables the decision makers to consider an optimum solution without sticking to one specific equipment alternative.

The result of this cost model is validated through the deep interviews with one of the leading warehouse service provider logistics company in Turkey. On the other hand, it is asserted that cost is not the only decision criteria for this strategic decision, and therefore 5 non-cost factors that are flexibility, supporting growth strategies, transaction accuracy, personnel management, and success of implementation are also considered besides the cost factor through AHP method and the final result is found. The proposed model is also enabling the flexible analysis for the decision makers since most of the data input can be set as parameter.

This analytical model is another contribution to the literature in terms of providing a systematic approach in order to make the decision of automatic / conventional warehouses with considering the multi criteria. The model also proposes the threshold values for both daily throughput and number of the storage bins which make the automatic warehouse alternative more feasible in terms of cost data of Turkish market.

In this dissertation there are eight sections. Contents of these sections are summarized as follows.

In the first section of dissertation, warehouse, warehousing concepts and warehouse design and the importance of these and the scope and purpose of the dissertation are briefly explained.

In the second section, attributes and solution methods of the existing studies in the literature are explained. The classification of these studies according to the methods used is summarized. Moreover, all the outputs of the comprehensive literature review are evaluated within this section. In the light of these, warehouse design problem is defined based on the literature review findings and the purpose of the dissertation is stated.

In the third section, warehousing system elements and warehouse management processes that directly affect the warehouse management and warehouse design are explained in details.

In the fourth section, warehouse design practices in Turkey are explained and the findings are evaluated.

In the fifth section, hierarchical warehouse design methodology is developed and each level of the proposed conceptual model is explained.

In the sixth section, basics of warehouse design parameters and warehouse performance management are explained. Key performance indicators are classified and explained according to the hierarchical warehouse design methodology levels.

In the seventh section, analytical model for conventional / automatic warehouse decision problem is developed. Besides the comprehensive explanation of this model, several solution examples are stated and the results of these sample solutions are evaluated. Moreover, the solution of practical problem with the validation of the model are explained.

In the eighth and the last section, general evaluation of dissertation is given and potential future relevant studies are outlined.

1. GİRİŞ

Depolar, tedârik zincirleri için vazgeçilmez olan bileşenlerdendir (Gu ve diğ., 2007). Müşteri hizmet düzeyi ve stok yönetimi açısından bir işletmenin başarılı veya başarısız olmasında önemli rol oynayan depo yönetimi faaliyetleri, aynı zamanda mâliyet açısından da kritiktir (Baker ve Canessa, 2009).

Depolar, tedârik zinciri içerisinde birçok önemli işleve sahiptir. Örneğin, mevsimselliğe bağlı olarak değişen talepler nedeniyle malzemelerin tedârik zinciri boyunca akışlarında bir tampon görevi gören depolar, diğer yandan parti oluşturma, sevkiyata hazırlama, ürün birleştirme ve ürünlere etiket, denetim pulu yapıştırma gibi katma değerli hizmetlerin de yürütüldüğü bir yer olarak değerlendirilebilir.

Son yıllarda küreselleşmenin etkisiyle temin süreleri artışlarından etkilenmemek amacıyla daha fazla güvence stoğu (safety stock) bulundurma gereksinimi ortaya çıkmıştır. Bu durum da daha fazla depolama kapasitesine sahip olma ve müşterilere daha fazla ürün seçeneği ile hizmet verme şeklinde, depoların tedârik zinciri yönetimi içerisindeki rollerini genişletmiştir (Baker, 2010).

Söz konusu bu önemli işlev ve roller, pazardaki rekabet koşulları ile birlikte düşünüldüğünde, tedârik ağlarının önemli bileşenleri olan depolardan daha fazla performans elde etmek için, depoların tasarım ve operasyonel açılardan sürekli olarak iyileştirilmeleri gerekmektedir (Gu ve diğ., 2007). Günümüzde işçilik ve çalışma ücretlerindeki artışlardan ötürü, depo yönetimi faaliyetleri ile ilgili problemlerin çözümünde daha fazla işgücü kullanmak çok geçerli bir çözüm olarak görülmemektedir (Gray ve diğ., 1992). Bu bağlamda, Gu ve diğ. (2007) ile Gray ve diğ. (1992)'nın belirttiği gibi, depolarda sürekli iyileştirme çabaları, ancak yeni yönetim felsefelerinin uyarlanması ile olanaklı olabilecek gibi gözükmemektedir. Söz konusu yeni yaklaşımlar; sıkı stok kontrolü, daha kısa yanıt süreleri, barkod ve RFID, DYS gibi teknolojik uygulamalar ile AS/RS olarak değerlendirilebilir.

Tüm bu çözümlerin önemli ve anlamlı bir düzeyde mâliyet ögesi olduğu açıkça görülmektedir. Dolayısıyla, depolara ilişkin bu tür lojistik mâliyetlerin çok iyi

yönetilmesi gerekmektedir. Bir başka deyişle, depoların mâliyet açısından etkin bir şekilde faaliyet göstermeleri gerekmektedir ve bu mâliyet öğeleri aslında Baker ve Canessa (2009) ile Rouwenhorst ve diğ. (2000)'nın belirttiği üzere deponun tasarım aşamasında belirlenmektedir. Bu bağlamda depo tasarımı, giderek daha önemli ve odaklanılması gereken bir konu hâline gelmektedir. Baker (2010), depoların toplam lojistik mâliyetler içerisindeki payının %24 olduğunu; stok mâliyetlerinin dâhil olduğu durumda ise bu oranın %37 olduğunu belirtmektedir ki, bu oran toplam lojistik mâliyetlerinin 1/3'ü; satış değerinin ise %2'si olarak değerlendirilmektedir. Satış değeri içindeki bu oranın iyileştirilmesi ise birçok şirket için kâr marjının iyileştirilmesi anlamına gelmektedir.

Depo tasarımı, deponun mâliyet ve/veya performansı açısından gerekli amaçlara ulaşması için birçok farklı tasarım parametresi ile ilgili kararların alınması süreci olarak tanımlanabilmektedir. Rouwenhorst ve diğ. (2000), depo tasarımı konusunu; stratejik, taktik ve operasyonel düzey olarak üç düzeyli bir yaklaşım ile değerlendirmiş ve her düzeyde birbiriyle ve diğer düzeylerle ilişkili birçok farklı karar noktasının olduğunu belirtmiştir. Aynı çalışmada, her düzey için söz konusu depo karakteristiklerini üç farklı açıdan değerlendirmektedir: süreçler, kaynaklar ve organizasyon. Süreçler, malzemelerin depo boyunca akışları ile ilişkili olan birçok farklı evreyi ifâde etmektedir. Mal kabul, depolama, sipâriş toplama ve sevkiyat, söz konusu farklı süreçler olarak tanımlanmaktadır. Depo ile ilgili kaynaklar ise; depolama birimi (palet, karton kutu, plastik kap vb.), depolama sistemi (raf, vinç, konveyör, AS/RS vb.), toplama ekipmanları (çaka, dar koridor çakası vb.), toplama yardımcı ekipmanları (barkod okuyucular), bilgisayar veya yazılım sistemi (DYS), malzeme taşıma ekipmanı (ayırma/sınıflandırma -sorting- ekipmanları, paletleme ekipmanları, kamyon yükleyiciler vb.) ve personel/işgücü olarak değerlendirilmektedir. Organizasyon ise; sınıflandırma, depolama alanı tayini, toplama gibi temel operasyonlara ait strateji ve yaklaşımlar olarak tanımlanmaktadır. Öte yandan; Gu ve diğ. (2007)'nın belirttiği gibi genel anlamda depolama stratejisi, depo tasarımına etki eden stratejik bir karardır.

Bu değerlendirmenin yanı sıra, depo tasarımı problemleri için diğer bir genel çerçevede, söz konusu tasarım problemlerinin beş ana karar bağlamında ele alınabileceği görülmektedir. Bu kararlardan ilki, deponun tüm yapısı ile ilgili olan kavramsal tasarım kararları olup depo içerisindeki malzeme akışının modellenmesi,

işlevsel bölümlerin ve bu bölümler arasındaki akış ilişkilerinin belirlenmesine ilişkin kararlardır. Diğer bir karar, depolama kapasitesinin (sizing) belirlenmesi ve sonrasında da buna bağlı olarak depo boyutlarının (dimensioning) belirlenmesi hususudur. Üçüncü karar ise deponun işlevsel bölümlerinin yerleşimi kararıdır ki çekme alanındaki koridorların düzenlenmesi, AS/RS konfigürasyonu gibi konular bu tip kararlara örnektir. Dördüncü karar ise depodaki otomasyon düzeyinin belirlenmesi için gerekli olan ekipman seçimi kararıdır. Bu ekipmanlar; depolama, nakliye, sipariş toplama ve ayırma/sınıflandırma (sorting) gibi operasyonlar için depo içerisinde kullanılacak olan araç ve gereçlerdir. Son karar ise operasyonların stratejilerine ilişkin noktalardır. Depo için rastgele depolama veya sabit adrese göre depolamanın kullanılması, bölgesel toplama (zone picking) yapılıp yapılmaması gibi kararlar bu gruba örnek oluşturmaktadır (Gu ve diğ., 2007; Gu ve diğ., 2010).

Kavramsal tasarım, depoya ilişkin verilerin toplanması ve derlenmesi sonucunda depoya ilişkin üst düzey işlevsel ve teknik tanımlamaların yapılması, depo tasarımının stratejik düzeyi içerisinde yer almaktadır. Söz konusu teknik ayrıntılar doğrultusunda ekipman seçimi ve depo içi yerleşimin belirlenmesi taktik düzeydeki işler olarak değerlendirilmektedir. Depoya ilişkin günlük operasyonların plân ve kontrolü bağlamındaki strateji ve politikalar ise depo tasarımının operasyonel düzeydeki faaliyetleri olarak tanımlanmaktadır.

Bunların yanı sıra, Rouwenhorst ve diğ. (2000)'na göre depo tasarımına ilişkin iki yaklaşım daha bulunmaktadır. Bunlardan ilki, yukarıdan aşağıya (top-down) yaklaşımı olup kısıtlı ayrıntı ile ilk bakışta kaba bir tasarım yaparak sonrasında ayrıntılara inmeyi hedeflemektedir. İkinci yaklaşım ise bu yaklaşımın tersi olan aşağıdan yukarıya (bottom-up) yaklaşımıdır.

Bu tez çalışması kapsamında, öncelikle geniş kapsamlı bir literatür araştırması gerçekleştirilmiş olup literatür araştırması sonuçları doğrultusunda özellikle farklı parametreleri göz önünde bulunduran bir depo tasarım sistematğine gereksinim olduğu ortaya konmuş olup depo tasarımına ilişkin hiyerarşik bir yöntembilim geliştirilmiştir. Bu bağlamda depo tasarımı ve yönetimi ile ilgili hususlar depo türleri ile değişkenlik gösterdiği için öncelikle yöntembilimin geçerli olacağı depo türü belirlenmiştir. Tasarımda hız ve hacim dengesinin kurulmasının çok daha önemli olması, farklı ürün gruplarının aynı lokasyonda depolanması ve dolayısıyla farklı ekipman ve raf sistemlerinin kullanılması, sektöre özgü süreç aşamalarının

bulunması gibi nedenlerden ötürü, çalışmaların yapılacağı depo türünün dağıtım merkezi depoları olmasına karar verilmiştir. Bu yöntembilimin dağıtım merkezlerine ilişkin olarak geliştirilmesi sırasında Türkiye’de faaliyet gösteren lojistik hizmet sağlayıcı firma yöneticileri ile hızlı tüketim ve perakende sektöründe faaliyet gösteren şirketlerin yöneticileri ile derinlemesine görüşmeler yapılmıştır. Bu kavramsal model çerçevesinde depo tasarım problemleri üç hiyerarşik düzeyde ele alınmıştır. Stratejik düzeyde; depoya ilişkin stratejik hedefler ve yatırım plânlama, depo yeri seçimi, veri analizi, konvansiyonel/otomatik depo kararı, depo süreçlerine ilişkin ilkeler ve üst düzey depo yerleşimi aşamaları yer almaktadır. Taktik düzeyde; depolama politikaları, koridor tasarımı, raf sistemleri ve ekipman seçimi ile ayrıntılı depo yerleşimi aşamaları bulunmaktadır. Operasyonel düzeyde ise depolama süreçlerinin ayrıntılı olarak tasarımı yer almaktadır. Söz konusu yöntembilim ile depo tasarımı problemine sistematik ve bütünsel bir yaklaşım geliştirilmiş olup tasarım süreci boyunca gerçekleştirilmesi gereken faaliyetler ve karar konuları hiyerarşik bir yapı içerisinde birbirleri ile olan etki ve ilişkileri de ortaya konulmaktadır. Türkiye’de faaliyet gösteren lojistik hizmet sağlayıcı firmalardan uzman görüş alınarak doğrulanan bu yöntembilim ile deponun tasarım sürecine etki eden birbirinden farklı ama birbirleri ile ilişkili olan çok sayıda konunun ve tasarım parametresinin belirli bir sistematik akış çerçevesinde değerlendirilmesi sağlanmıştır. Söz konusu yöntembilim, depo tasarımı konusunda hem akademisyenler hem de uygulayıcılar için depo tasarımı projelerinin gerçekleştirilmesi bağlamında bir yol haritası olarak da değerlendirilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında depo tasarım yöntembiliminin yanı sıra, literatür araştırması sonucunda potansiyel bir diğer araştırma alanı olarak saptanmış olan ve stratejik düzey depo tasarımı bünyesindeki önemli aşamalardan biri olan konvansiyonel/otomatik depo karar verme problemine ilişkin analitik bir model önerilmektedir. Bu model iki aşamadan oluşmakta olup ilk aşamasında her bir seçenek için mâliyet hesaplamasının yanı sıra farklı seçeneklerin kombinasyonu olacak şekilde optimum sonuç elde edilmiştir. Söz konusu sonuç, Türkiye’de faaliyet gösteren ve depolama alanında lider konumunda olan lojistik hizmet sağlayıcı şirketlerden bir tanesi ile yapılan ayrıntılı çalışma sonucunda doğrulanmıştır. Diğer yandan depo tasarımı konusundaki bu stratejik kararın verilmesinde mâliyetin tek etmen olmadığı gerçeğinden hareketle mâliyet dışı 5 etmen de değerlendirilmeye

alınmış ve nihai karar, AHP yöntemi ile yapılan uygulama sonucunda önerilmiştir. Modelin tüm aşamalarında birçok verinin parametrik olarak modele girilebilmesi, farklı durumlar için esnek analizlerin yapılmasına olanak vermektedir.

Geliştirilen analitik model doğrultusunda Türkiye'deki mâliyet öğeleri ve mâliyet yapıları ile pazar koşulları göz önüne alınmış olup konvansiyonel/otomatik depo karar verme problemine ilişkin otomatik depo seçimi için gerekli işlem hacmi palet bazında önerilmiştir. Bu model ile stratejik düzeyde deponun konvansiyonel ya da otomatik olması konusu ile taktik düzeyde ekipmanların seçimi konusu birlikte ele alınmış ve literatüre katkı sağlanmıştır. Ayrıca varolan durumda uygulayıcılar tarafından deneyimlere dayalı olarak yapılan çalışmalar sonucunda alınan kararların tüm aşamalarında birçok verinin parametrik olarak değiştirilebildiği, farklı durumlar için esnek analizlerin yapılabildiği bir analitik model doğrultusunda alınabilmesine olanak sağlanmıştır.

Bu tez çalışmasının bir sonraki bölümünde literatür araştırması ve sonuçlarına yer verilmiştir. Bu doğrultuda depo tasarım problemi tanımlanmış ve tez çalışmasının amacı belirtilmiştir. Üçüncü bölümde, depo yönetimi ve depo tasarımı konusuna doğrudan etkili olan depolama sistem elemanları ve depo yönetimi süreçlerine ilişkin ayrıntılı bilgiler verilmiş olup, dördüncü bölümde, depo tasarımı konusunda Türkiye'de yapılan uygulamalar ve gelişmeler anlatılmıştır. Beşinci bölümde, geliştirilen hiyerarşik depo tasarım yöntembilimi ayrıntılı bir şekilde anlatılmış olup altıncı bölümde, depo tasarım parametreleri ve performans yönetimi konusu anlatılarak geliştirilen depo tasarım yöntembilimine ilişkin aşamalar bazında anahtar performans göstergeleri sınıflandırılmış ve açıklanmıştır. Yedinci bölümde ise konvansiyonel/otomatik depo karar verme problemine ilişkin geliştirilen analitik modele ilişkin ayrıntılar verilmiş, örnek problem çözümü ile modelin doğrulanmasına ilişkin çalışmalar anlatılmıştır. Sekizinci ve son bölümde ise tüm tez çalışmasının genel bir değerlendirmesi yapılarak, ilerleyen dönemde gerçekleştirilebilecek yeni çalışmalar sunulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE SONUÇLARI

Bu tezde, depo tasarımı ile ilgili olan problemler üzerinde durulmaktadır. Bu bağlamda, literatürdeki çalışmalar öncelikle problem tiplerine göre depo tasarımı bakımından stratejik, taktik ve operasyonel düzey olmak üzere üç hiyerarşik düzeyde gruplandırılmıştır. Her düzeyin altında belirli alt başlıklar yer almaktadır. Literatür araştırması sonucunda bir çalışmanın hem aynı hem de farklı düzeyler içerisinde birden çok konuyu veya problemi ele aldığı da gözlemlenmiştir. Bunun bir nedeninin Gu ve diğ. (2010)'nın da belirttiği gibi depo tasarım problemlerinin birbirleri ile son derece ilişkili olduğu değerlendirilmiştir. Diğer bir ifadeyle, depo tasarımının çok sayıda birbirine bağlı veya ilişkili olan karar noktalarını dikkate alan bir süreç olduğu anlaşılmıştır (Rouwenhorst ve diğ., 2000).

Literatürdeki çalışmalar, kullandıkları yöntemlere göre de sınıflandırılmıştır. Bu yöntemler; matematiksel modeller, optimizasyon modelleri ve/veya sayısal teknikler için “A-Analitik” olarak sınıflandırılmıştır. Sezgiselleri yöntem olarak kullanan çalışmalar ise sezgiselin türüne göre “MH-Metasezgiseller” veya genel anlamda “H-Sezgiseller” olarak değerlendirilmiştir. Simülasyon modellerini kullanan çalışmaların yöntemleri “S-Simülasyon” olarak tanımlanırken vaka analizi, literatür taraması, genel çözüm yaklaşımı, kıyaslama gibi kavramsal modelleri kullanan çalışmaların yöntemleri de “K-Kavramsal” olarak belirtilmiştir.

Söz konusu yöntemler ayrıntılarına göre de sınıflandırılmış olup tek amaçlı modeller “T-Tek amaçlı”, çok amaçlı modeller “Ç-Çok amaçlı” olarak değerlendirilmiştir. Herhangi bir istatistiksel veya olasılık dağılımı içeren modeller “P-Probabilistik” olarak tanımlanırken, tüm değişkenlerin parametreler ile belirlendiği modeller “D-Deterministik” olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca modelin başlangıç aşamasında tüm veri kümesi hazır ise söz konusu model “S-Statik”; eğer veriler model çalıştırıldıktan sonra oluşturuluyor ve/veya bu aşamadan sonra herhangi bir anda karar vericiye soruluyorsa “D-Dinamik” olarak değerlendirilmiştir. Simülasyon, interaktif yöntemler buna örnektir.

Bu bağlamda Çizelge A.1’de verilen 170 çalışmanın tam metnine ulaşılmış; 39 çalışmanın ise tam metnine ulaşılamadığı için bu detayda bir sınıflandırma yapılamamıştır. Söz konusu çalışmalar Çizelge A.2’de verilmektedir. Ayrıca Çizelge A.3’te görülen 34 çalışma da söz konusu problemler ile ilgilenen çalışmalar olup, özet ve tam metnine ulaşılamamıştır.

2.1 Stratejik Düzey Depo Tasarımı

Stratejik düzey depo tasarımı çalışmaları temel olarak teknik (süreç akışı, ana sistemler) ve ekonomik (en az yatırım veya operasyonel mâliyetler) gibi depoların performanslarına odaklanmaktadır (Rouwenhorst ve diğ., 2000). Bu çalışma kapsamında stratejik düzey içerisinde yer alan konular şunlardır:

- “Depo tasarım yöntembilimi”, deponun tüm yapısı ile ilgili tasarımı için sistematik bir yaklaşım veya yöntem olarak tanımlanmaktadır (Gu ve diğ., 2010).
- “Depo yeri seçimi”, deponun coğrafi yeri ile ilgili en verimli stratejik yatırım kararı ile ilgilenmektedir (Zhang ve diğ., 2002a).
- “Depolama kapasitesi (sizing)”, deponun kapasitesi ile ilgili problemleri ifade etmektedir (Gu ve diğ., 2010).
- “Depo yerleşimi (dimensioning)”, deponun inşaa ve operasyonel mâliyetlerinin analizi için depo kapasitesinin zemin alanına dönüştürülmesidir (Gu ve diğ., 2010).
- “AS/RS tasarımı”, depo koridorları boyunca raflar arasında dolaşan vinçlerden oluşan AS/RS’ten dolaşım süresi (travel time), yanıt süresi, işlem hacmi gibi konularda daha fazla performans elde etmek amacıyla söz konusu sistemin fiziksel tasarımı ve kontrolü ile ilgili problemleri betimlemektedir (Roodbergen ve Vis, 2009).
- “Depolama sistemi tasarımı” ise birçok farklı özellikteki ürünlerin depolandığı çoklu alt sistemlerden oluşan depolama sistemleri ile ilgili tasarım problemlerini belirtmektedir (Rouwenhorst ve diğ., 2000; Roll ve diğ., 1989).

Söz konusu literatürdeki çalışmaların sonucunda tümüyle stratejik düzeydeki kararlara odaklanan 36 çalışma bulunmaktadır. Depo tasarım yöntembilimi ile doğrudan ilişkili olan 11 çalışmanın yer aldığı gözlemlenirken salt depo tasarım

yöntembilimine odaklanmış 9 çalışmanın yer aldığı gözlemlenmektedir. Bu çalışmalar temel olarak kavramsal model ve/veya yaklaşımları ortaya koymuşlardır. Duve ve Mantel (1996)'ın kullandığı aşamalı yöntem ile Frazelle ve Hackman (1994)'ın kullandığı kıyaslama yöntemi buna örnektir. Bunun yanı sıra simülasyon ile doğrulaması yapılan analitik modeller de kullanılmıştır. Gray ve diğ. (1992), birçok matematiksel modelin ekonomik katkısını değerlendirmek amacıyla hiyerarşik bir yaklaşım geliştirmiştir. DEA ise bir deponun performansını ölçmek için kullanılan diğer bir yöntem olarak görülmektedir (Ross ve Droge, 2002). Johnson ve McGinnis (2011), bu yöntem ile deponun teknik performansının ölçülmesine yönelik bir çalışma yapmıştır. Bunun yanı sıra Özdemir (2004), ilaç sektöründeki depo tasarım sorununu analitik ağ süreci ile çözümlemiş ve depo tasarımına ilişkin genel bir yaklaşımın eksikliğini vurgulamıştır. Blomqvist (2010), tanımladığı tasarım yöntembiliminde; temel gereksinimlerin ve deponun amacının belirlenmesi, operasyonel gereksinimlerin belirlenmesi, gerekli verilerin elde edilmesi, verilerin analiz edilmesi, farklı operasyonel stratejilerin oluşturularak değerlendirilmesi aşamalarını belirtmektedir.

Depo tasarımı ile ilgili yazılım kullanımının olduğu salt bir çalışmaya rastlanmıştır ki bu çalışma da depo tasarımı için bir CAD modeli geliştirilmiştir (Perlmann ve Bailey, 1988). Diğer yandan depo tasarımı sırasında tasarımcıların yararlanabilecekleri karar destek sistemleri olarak değerlendirilebilecek bazı yazılım uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Brito (1992), CAD tekniklerini kullanarak, depo tasarımı konusunda simülasyon modeli oluşturarak bir karar destek sistemi geliştirmiştir. Bu yaklaşımda depo tasarımı konusundaki tasarım parametreleri üst düzeyde değerlendirilmektedir. Üst düzey tasarım oluşturulurken genel yapılandırma, veri toplama ve tasarım seçeneklerinin oluşturulması faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Sonrasında bu parametreler doğrultusunda oluşturulan üst düzey (taslak) bir tasarıma ilişkin yaklaşık mâliyet ve performans analizi yapılmaktadır. Bu analizin sonrasında ayrıntılı tasarıma CAD teknikleri ile geçiş yapılmakta, görsel interaktif bir simülasyon yapılarak farklı seçeneklerin mâliyet ve performans açısından değerlendirilmesi ve en uygun seçeneğin seçilerek bu seçeneğe ilişkin parametrik testlerin yapılması söz konusu olmaktadır. Bu çalışmada depo tasarım seçeneklerinin değerlendirilmesi için simülasyon modellerinin son derece önemli olduğu da vurgulanmıştır. Teknolojinin gelişmesi ile geçmiş dönemlere göre

bilgisayar destekli uygulamaların mâliyet açısından büyük yatırımlar gerektirmediği belirtilmiştir. Depo tasarımı uygulayıcılarının kullanıcı dostu olan, veri analizine odaklı ve depo yönetimine özgü kavramları ve terminolojiyi içeren simülasyon modellerine gereksinimlerinin olduğu ifade edilmiştir. Kosfeld (1998) ise bütünleşik depo tasarımı yaklaşımı ile istenilen depo işlem hacmi için hem depodaki personel sayısı, hem de depo operasyonlarını destekleyecek ekipman yapısı ile ilgili önerilerde bulunan bir dinamik simülasyon modeli geliştirmiştir.

Yoon (1992) ise stratejik düzeyde sipariş toplama sisteminin tasarımı ve analizine yönelik bir yapısal yordam oluşturmuştur. Cormier ve Gunn (1992) depo tasarımı ve operasyonlarına ilişkin literatür taraması yaparak depo modellerini incelemiştir.

Depo yeri seçimi problemi ile ilgili yapılan çalışmalarda özellikle son yıllarda MCDM yöntemlerinin kullanıldığı gözlemlenmiştir (Özcan ve diğ., 2011; Demirel ve diğ., 2010). Yine bu konuda, Cura (2010) ise UWLP için metasezgisel bir yöntem olan yerel arama algoritmasını geliştirmiştir.

Depolama kapasitesi (sizing) problemleri için LP modellerinin daha yaygın kullanıldığı gözlemlenmiştir. Hung ve Fisk (1984) belirli bir plânlama ufkunda bir ürünün depolama alanı için stokastik olan talebi dikkate alarak farklı mâliyet modelleri yardımıyla depolama kapasitesinin belirlenmesi amacıyla LP modelini kullanırken, Rao ve Rao (1998) aynı problem için LP ve DP modellerini kullanmıştır. Öte yandan, depo inşaa, stokta tutma ve ikmâl mâliyetlerini içeren stok mâliyet modelleri ile depolama kapasitesinin belirlenmesi için Cormier ve Gunn (1996) ile Goh ve diğ. (2001) tek amaçlı, deterministik ve statik bir analitik yöntem kullanmışlardır. Yine Cormier ve Gun (1999), birbirini izleyen dönemlerde optimum depo genişlemesini belirlemek amacıyla NLP modeli geliştirmiştir. Gu ve diğ. (2010)'nın değindiği bir konu, bu modellerin mâliyet modelleri ile birlikte değerlendirilerek doğrulanması gerekliliğidir.

Depo yerleşimi (dimensioning) ve AS/RS tasarımı, stratejik düzeyde en fazla çalışmanın yapıldığı iki konu olarak görülmektedir. Depo yerleşimi (dimensioning) için, Berry (1968) taşıma mesafesi ve mâliyetlerini enazlayan ve alanı optimize eden depo yerleşiminin belirlenmesi üzerinde çalışmıştır. Roll ve Rosenblatt (1984, 1988) ise depolama kapasitesine odaklanarak konvansiyonel depo yerleşimini analitik yöntem ile belirledikten sonra bu yöntemi simülasyon ile değerlendirmiştir. Pandit ve

Palekar (1993), kuyruk modelleri ve simülasyon ile konvansiyonel depo yerleşimini yanıt süresi bağlamında analiz etmiştir. Larson ve diğ. (1997), sınıf bazlı depolama için bir sezgisel oluşturmuştur. Gue (1999), depoya gelen kamyonların kapılara optimum tayinlerinin yapılmasını temel alan operasyonel mâliyet tahmin modelinin geliştirilmesi ve verimliliği artıran kapı yerleşimlerinin belirlenmesi için analitik model geliştirmiştir. Bartholdi ve Gue (2000) ise toplam dolaşım ve boş kalma sürelerini enazlayan çapraz sevkiyat depo yerleşimi problemini çözümlemiş, verimliliği arttıran kapıların yerlerini, mâliyet modelini içeren simülasyon algoritması ile belirlemiştir. Malmberg ve Al-Tassan (2000), sipariş toplama sistemi için gerekli alan gereksinimlerinin ve döngü sürelerinin tahmin edilmesi için matematiksel model geliştirmiştir. Kallina ve Lynn (1976), malzeme taşıma mâliyetlerini belirli varsayımlar altında enazlayan COI depolama politikasının uygulanması amacıyla analitik model geliştirmiş ve optimal çözüme ulaşmıştır. Zhang ve diğ. (2000, 2002a, 2002b) ürün büyüklükleri kısıtı altında aynı ürünün tüm kalemlerinin, birbirlerine yakın olacak şekilde depolama alanlarına tayin edilmesi problemini GA ve simülasyon yardımı ile çözümlenmiştir. Depo yerleşimi problemi ile ilgili olarak tek düzeyli depoların yanı sıra, alan kısıtının olduğu çok düzeyli depolara ilişkin birkaç çalışmanın yapıldığı gözlemlenmiştir (Zhang ve diğ., 2002a).

Hassan (2002), depo yerleşiminin tasarımına yönelik bir model geliştirmiştir. Depo içerisindeki işlevsel alanların yerleşimi, rampa ve giriş/çıkış noktalarının sayısı ve yerinin belirlenmesi, koridor sayılarının, boyutlarının ve yerleşiminin belirlenmesi, alan gereksinimlerinin ortaya çıkarılması gibi konuları göz önünde bulundurmıştır. Bu çalışmada yer alan modelin genel çerçevesi şöyledir:

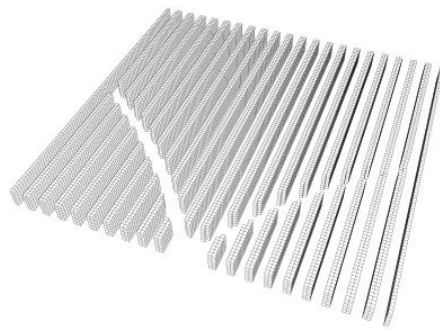
1. Deponun tipinin ve amacının belirlenmesi
2. Beklenen talebin analizi ve tahmininin yapılması
3. Depo işletimi için politikaların belirlenmesi
4. Stok düzeylerinin belirlenmesi
5. Sınıf bazlı depolamaya ilişkin ayrıntıların belirlenmesi (eğer sınıf bazlı bir stoklama yapılacak ise)
6. Üst düzey yerleşimin belirlenmesi
7. Stoklama alanlarının bölümlenmesi (rezerve stok alanı, toplama alanı vb.)

8. Malzeme taşıma, depolama ve ayırma/sınıflandırma sistemlerinin tasarlanması
9. Koridorların tasarlanması
10. Alan gereksinimlerinin belirlenmesi
11. Giriş/çıkış noktalarının sayısının ve yerlerinin belirlenmesi
12. Rampa sayılarının ve yerlerinin belirlenmesi
13. Stok politikalarının belirlenmesi
14. Toplama işlemi için bölgelerin belirlenmesi (bölgesel toplama yapılacak ise)

Bu modelde de görüldüğü üzere, birçok adım birbiri ile ilişkili ve hattâ döngüsel (iteratif) bir şekilde uygulanması gerekli olan aşamalardır.

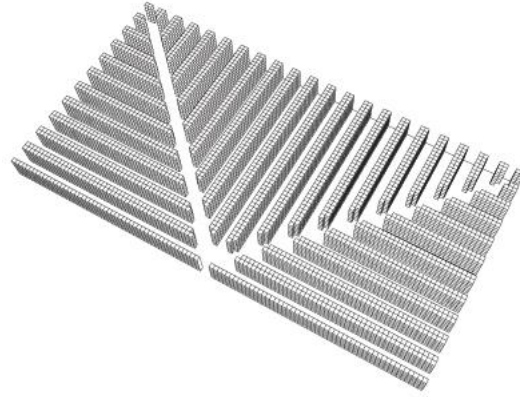
Depo yerleşimi konusundaki en önemli noktalardan biri olan koridorların tasarımına ilişkin Vaughan ve Ptersen (1999) ile Berglund ve Batta (2012) çapraz koridorların sipariş toplama performansına etkilerini analiz etmiştir. Öte yandan geleneksel koridor tasarımlarının yanı sıra birim yük depoları için geleneksel koridor tasarımlarından farklı tasarım seçenekleri ortaya konmuştur (Gue ve Meller, 2009). Özellikle birim yük stoklanan, tek komutlu toplama operasyonuna sahip ve yüklerin depo içerisindeki her alana depolanma olasılığının eşit olduğu (uniform depolama yoğunluğunun bulunduğu) depolarda üç farklı koridor tasarımı geliştirilmiştir. Bu koridor tasarımları Şekil 2.1, Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'te verilmektedir:

- Depolama alanına çapraz bir koridor açılarak bu koridorun toplama koridorları ile yalnızca 90° açıyla kesişme zorunluluğunun ortadan kaldırılması sonucunda geliştirilen “Uçan-V (Flying-V) Tasarımı” ile 21 koridor ve her bir koridor için 100 palet yerleşimi için optimum sonuca ulaşılmıştır.



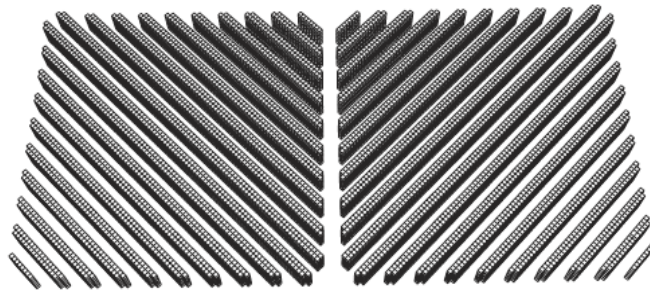
Şekil 2.1 : Kanat (flying v) koridor tasarımı (Gue ve Meller, 2009).

- Toplama alanlarının birbirine paralel olma zorunluluğunu ortadan kaldıran ve bu alanlar arasında 90° rotasyona olanak veren “Balık Kılçığı (Fishbone) Tasarımı” ile 21 dikey toplama koridoru ve her bir koridor için 50 palet yerleşimi için optimum sonuca ulaşılmıştır.



Şekil 2.2 : Balık kılçığı koridor tasarımı (Gue ve Meller, 2009).

- Balık Kılçığı (Fishbone) Tasarımı’nda depolama alanlarına tek bir merkezî noktadan ulaşılması sakıncasını ortadan kaldıran “Chevron Tasarımı”



Şekil 2.3 : Apolet (chevron) koridor tasarımı (Gue ve Meller, 2009).

Azadivar (1986), iki farklı depo bölümü arasında depolama alanının optimal olduğunu gösteren bir yaklaşım geliştirmiştir. Malmborg (2001), inşaa mâliyetleri ve operasyonel mâliyetler ile ekipman verimliliğini optimize eden AS/RS konfigürasyonunu sezgiseller ile belirlerken, Pohl ve diğ. (2009) ise üç farklı depo yerleşimi için çift komutlu operasyonlara sahip bir depoda dolaşım süresini analitik olarak değerlendirmiştir. Ito ve diğ. (2002) da bir deponun modellenmesi için akıllı sistemlerin kullanılması (iletişim, malzeme taşıma, stok kontrol) amacıyla simülasyon modeli kurmuştur. Heragu ve diğ. (2005), deponun işlevsel alanlarına ürün rezervasyonu problemi ile her bir alanın genişliği problemi için ortak bir çözüm

bulmak amacıyla matematiksel bir model geliştirmiştir. Söz konusu model, toplam malzeme taşıma mâliyetini enküçüklemeyi amaçlamaktadır. Diğeri bir çalışmada, farklı ürünlerin ardışık olarak aynı alanda depolanması konusunda optimum bir çözüm aranmaktadır (Ratliff ve Goetschalckx, 1990).

Ashayeri ve diğ. (1985a), AS/RS tasarımı optimize etmek amacıyla doğrusal olmayan karma IP modeli kullanırken en yüksek işlem hacmi için dolaşım süresi modellerinde de analitik yöntemler kullanılmıştır (Pan ve Wang, 1996; Meller ve Mungwattana, 1997; Hwang ve Ko, 1988; Foley ve Frazelle, 1991). Chang ve diğ. (1995) ise dolaşım süresini hesaplarırken hızlanma ve yavaşlama etmenlerini de dikkate almıştır. AS/RS tasarımı konusunda simülasyon da kullanılmıştır (van der Berg ve Gademann, 2000; Heragu ve diğ., 2010). Rouwenhorst ve diğ. (1996) bir karuzel (atlıkarınca) sisteminin en yüksek işlem hacmi ve yanıt süresini stokastik model ile belirlemiştir. Marchet ve diğ. (2013) tarafından ise AVS/RS tasarımına yönelik bir model geliştirilmiştir.

Bu konuda özellikle çok seferli (multi-shuttle) AS/RS gibi konvansiyonel olmayan sistemlerin tasarımı ile ilgili modellere gereksinim duyulduğu değeriendirilebilir. Bu noktada, çok seferli AS/RS için olmasa da; Keserla ve Peters (1994), standart AS/RS ile çift seferli AS/RS'in rastgele depolamada olduğu durumda metasezgiseller yardımı ile karşılaştırılmalı analizini yapmıştır. Ayrıca yine bu tip AS/RS için bekleme (dwell) noktası seçimi konusunda da bir çalışmaya rastlanmamıştır (Roodbergen ve Vis, 2009).

Depolama sistemi tasarımı problemleri için, genel olarak kavramsal yöntemlerin kullanıldığı gözlemlenmiştir. Roll ve diğ. (1989), depolama konteyner büyüklüğünün belirlenmesi için sistematik bir yaklaşım oluşturmuştur. Oser (1996), otomatik transfer aracı depolama ve çekme sistemi performansını kıyaslama yöntemiyle değeriendirmiştir. Daha önce de sözü edilen Keserla ve Peters (1994)'in yaptığı alışma, AS/RS bağlamında depolama sistemi tasarımı ile de ilgilidir. Bu noktada, depo alanlarının ve rampaların boyutları ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu konuda, Zaerpour ve diğ. (2013), belirli bir depolama kapasitesi için tasarlanacak olan depolama sisteminin optimum şeklinin depolama politikalarından bağımsız olduğunu belirlemiştir.

Stratejik düzeydeki problemler, gerçekten oldukça karmaşık ve çok sayıda seçenekleri bulunan problemlerdir. Bu bakımdan, depo tasarım probleminin tekil bir problem olarak değerlendirilmesi çok olanaklı gözükmemektedir. Bir başka deyişle, depo tasarımı altında birçok farklı alt problem ve karar konusu bulunmaktadır. Dolayısıyla Rouwenhorst ve diğ. (2000) ile Hassan (2002)'nın belirttiği gibi depo tasarımında her zaman optimum çözüm pratik olarak uygulanamayabilmektedir. Bunun bir nedeni, depo tasarımı sürecinde birçok farklı karar noktasının bulunmasıdır ki bu alt problemlerin tümü, birbirleri ile ilişkili olduğu için tüm problemlerin optimal olarak çözümleri oldukça zor olmaktadır. Depo tasarım probleminin zor bir problem olmasının diğer bir nedeni ise depo yönetimi kapsamında birçok farklı sürecin bulunması ve tasarımın bu farklı süreçlerin hepsini destekleyecek şekilde olma zorunluluğudur. Başka bir neden de bu süreçlerin birbiri ile ilişkili ve etkileşimde olduğu süreçler olması, dolayısıyla tasarım sırasında bu etkileşimlerin de göz önüne alınması gerekliliğidir (Hassan, 2002).

2.2 Taktik Düzey Depo Tasarımı

Taktik düzeydeki depo tasarımı konuları şu şekilde gruplanmaktadır:

- “Ekipman seçimi”, depodaki otomasyon düzeyini belirlemeye yönelik problemleri ifade etmektedir. Depolama ve malzeme taşıma sistemlerine ilişkin ekipman, araç ve gereç tipleri, bu başlık altına değerlendirilmektedir (Rouwenhorst ve diğ., 2000; Gu ve diğ., 2010).
- “Depolama politikaları”, depoda farklı ürünlere ait birim yüklerin nasıl yerleştirileceğine yönelik kuralları ifade etmektedir. Farklı kısıtlar dikkate alınarak ortalama depolama ve çekme süresinin enazlanması optimum çözüm olarak nitelendirilmektedir (Ratliff ve Goetschalckx, 1990). Depolama politikaları önemli kararlardan biri olup özellikle farklı politikaların değerlendirildiği çalışmalara gereksinim duyulmaktadır (Malmberg, 1996).
- “Organizasyon”, insan kaynakları yönetimi bağlamında organizasyonel sorunları ifade etmektedir (Rouwenhorst ve diğ., 2000).
- “Sipariş toplama”, söz konusu sipariş toplama sistemlerinin tasarımı için taktik düzeyde yer alan önemli sorulara yanıt aramayı amaçlayan çalışmaları

belirtmektedir (Yoon ve Sharp, 1995; Yoon ve Sharp, 1996; Brynzer ve diğ., 1994). Sipariş toplama, depodaki en yaygın faaliyetlerden birisi olduğu için genel depo tasarımıdan sonra en önemli ikinci konu olarak değerlendirilebilir. Taktik düzeyde, genel üst düzey tasarım ve işlevsel spesifikasyonlar belirlenmekte olup bu düzeydeki kararlar, aşağıda belirtilen operasyonel düzey konularına etki etmektedir.

Literatüre bakıldığında, taktik düzeydeki konular ile ilgili 74 çalışmanın bulunduğu gözlemlenmiştir. Ekipman seçimi konusunda temel olarak bir çalışmanın yer aldığı değerlendirilmektedir. Söz konusu çalışmada, maliyet/üretkenlik analizi ile farklı otomasyon düzeylerinin genel çözüm yaklaşımı ile kavramsal olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmalar genel olarak kavramsal ve/veya niteliksel (kalitatif) yöntemler kullanmaktadır. Bu bağlamda, önceden verilmiş depolama ve çekme gereksinimlerine göre ekipman seçeneklerinin belirlenmesi ve bu seçeneklerin değerlendirilmesine yönelik herhangi bir analitik veya sayısal yönteme rastlanmamıştır. Gu ve diğ. (2010)'nın da belirttiği gibi bu noktada gereksinimlere yönelik ekipman seçeneklerini karakterize eden yöntemlere gereksinim olduğu değerlendirilmektedir. Ayrıca, uygun seçenekler arasından AS/RS seçimi için de modellere gereksinim olduğu saptanmaktadır (Roodbergen ve Vis, 2009).

Literatürde depolama politikaları problemlerini inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır. Söz konusu konunun taktik düzey altında en çok incelenen konu olduğu ortaya konulmaktadır. Bu konuda, Goetschalckx ve Ratliff (1991) blok depolama sistemlerinde depolama politikalarını değerlendirmiştir. Jarvis ve McDowell (1991) ise depolama politikası için sezgisel geliştirmiştir. Bu konuda, van der Berg ve Sharp (1996) toplama ve ikmâl maliyetlerinin enküçüklenmesine yönelik ürün rezervasyonu için bir yordam geliştirilmiş ve LP modeli kullanmıştır.

AS/RS için van Oudheusden ve Zhu (1992) depolama algoritmaları geliştirirken Parikh ve Meller (2010) ile Lehrer ve diğ. (2010) ise AS/RS için aynı probleme, dolaşım süresi (travel time) modelleri ile yaklaşmıştır. Hausmann ve diğ. (1976) AS/RS için sınıf bazlı depolama politikalarının analizi, işlem hacmi ve depolama kapasitesinin enbüyüklenmesi için boyutların belirlenmesinde analitik yöntemler kullanmıştır. Rosenblatt ve Eynan (1989, 1994) n adet sınıf için aynı problemi çalışmışlardır. Kouvelis ve Papanicolaou (1995) ise aynı problemi iki sınıf olduğu duruma göre analiz etmiştir. Malmberg (1996) da benzer problemler üzerinde

analitik yöntemleri kullanırken 1995 yılındaki çalışmasında simülasyon ve algoritmaları kullanmıştır. Muralidharan ve diğ. (1995) depolama politikaları ile ilgili üç sezgiseli simülasyon ile değerlendirmiştir. Yine Guenov ve Raeside (1992) ve Lee (1992), sınıf bazlı depolama politikalarını simülasyon ve sezgiseller ile değerlendiren başka çalışmalar yapmıştır. Chan ve Chan (2011), sınıf bazlı depolama politikalarının verimliliğini simülasyon ile ortaya koymaya çalışmıştır. Kültürel ve diğ. (1999) ise sınıf bazlı depolama ile durma süresi bazlı depolama politikalarını yine simülasyon ile karşılaştırmış ve sınıf bazlı depolamanın üstün olduğunu göstermiştir.

İlişkili depolama politikaların analizi ile ilgili olarak Frazelle ve Sharp (1989) genel kavramsal bir çözüm oluştururken Rosenwein (1994) ise aynı konuda 0-1 IP modeli oluşturmuştur. Park ve Webster (1989) yaptıkları çalışmada üç boyutlu depolama sistemleri için COI politikasını sezgiseller yardımıyla değerlendirmiştir. Malmborg (1995) ise depolama bölgelerine ilişkin kısıtlar doğrultusunda COI politikasını optimize etmiştir. Van der Berg ve diğ. (1998) birim yüklerin depolama alanına ikmâlîne yönelik sezgiseller geliştirmiştir. Petersen (2002), depolama alanının biçiminin operasyonel mâliyetler üzerindeki etkilerini simülasyon yardımıyla araştırmıştır.

Depolama politikalarında malzemelerin depolama alanlarına atanması problemi de önemli bir yere sahiptir. Jane (2000) çalışmasında bu amaç doğrultusunda sezgisel geliştirirken Jewkes ve diğ. (2004) aynı hususta sipariş toplama mâliyetini enazlayan analitik modeli kurmuştur. Pan ve Wu (2009) depo operasyonlarını Markov Zinciri şeklinde modelleyerek sipariş toplayıcının beklenen uzaklığının belirlenmesine yönelik analitik bir model geliştirmiştir. Guerriero ve diğ. (2013) ise teslimât sürelerini, stokları ve toplam lojistik mâliyetleri enazlayan bir matematiksel model geliştirmiş ve duyarlılık analizleri gerçekleştirmiştir.

Depolama politikalarından biri olan COI kuralları ile ilgili olarak Malmborg ve Krishnakumar (1989), Bengü (1995), Vickson ve Lu (1998) COI kurallarının belirlenmesinde analitik yöntemleri kullanmıştır. Hwang ve diğ. (2003) ise COI benzeri bir sezgisel geliştirmiştir. Montulet ve diğ. (1998) seçenek depolama politikalarının kullanılması ile operasyonel mâliyetlerin enküçüklenmesine yönelik bir çalışma yapmıştır. Lin ve Lu (1999), aynı sipariş içerisinde diğerlerine göre daha çok yer alan malzemelerin depolama alanlarına tayin edilmesi problemi üzerinde

sezgiseller ve simülasyon modellerini kullanarak çalışmıştır. Malmborg ve diğ. (1986, 1988), depolama politikalarına ilişkin matematiksel modelleri kullanmıştır. Sadiq ve diğ. (1996), dinamik olarak değişen sipariş yapıları doğrultusunda yeniden yerleştirme çizelgelerinin belirlenmesi (aynı sipariş içerisinde yer alması çok muhtemel olan malzemelerin yeniden yerleştirilmesi) için sezgiseller geliştirmiştir.

Depolama politikaları ile ilişkili olarak rotalama politikalarını inceleyen Caron ve diğ. (1998), farklı rotalama politikalarını analitik bir model ile değerlendirirken Petersen (1999), Petersen ve Schmenner (1999), Petersen ve Aase (2004) aynı probleme simülasyon yöntemi ile yaklaşmıştır. Dekker ve diğ. (2004) ise vaka analizleri yardımıyla çok koridorlu manuel sipariş toplama sistemi için depolama ve rotalama politikalarının iyileştirilmesini amaçlamıştır.

Depolama politikaları ile ilgili Poon ve diğ. (2011) küçük partilerin ikmallerine ilişkin problemlerin çözümü için gerçek zamanlı bir depo plânlama sisteminin oluşturulması amacıyla GA ve simülasyon kullanmıştır. Bunların yanı sıra ilk kez Strack ve Pochet (2010) ise taktik düzey depo tasarımı kararları ile stok plânlama kararlarını birleştiren bir model geliştirmiştir.

Organizasyon konusunda, literatürde bu konuya odaklanmış kayda değer bir çalışmaya rastlanmamıştır. Özellikle depodaki personel sayısının belirlenmesi konusu literatürde bu konudaki boşluklardan biri olarak değerlendirilebilir (Rouwenhorst, 2000).

Sipariş toplama problemi ise ikinci en çok araştırma konusu olan problem olarak belirlenmiştir (de Koster ve diğ., 2007). Bozer ve White (1990) çoklu mini yük taşıma ve depolama sistemlerinin performansını analitik modellerle ve algoritmalarla analiz etmiştir. Petersen (1997), sipariş toplama ile ilişkili olarak farklı rotalama politikalarını simülasyon ile değerlendirirken Caron ve diğ. (2000) ise aynı problemi analitik model ile çözümlenmiştir. Sipariş toplayıcıların rotalama ve sıralama problemine Theys ve diğ. (2010) ise TSP bazlı bir algoritma ile çözüm getirmiştir. Shiau ve Lee (2010) ise sipariş toplama sırasının üç kısımdan oluşan (konteyner seçimi, yük konfigürasyonu, yükleme/boşaltma sıralaması) ve toplama ile paketleme operasyonlarını birleştiren bir algoritma ile belirlemiştir. Bu çalışmada, konteyner seçimi için sezgiseller, yük konfigürasyonu için LP modeli ve yükleme/boşaltma sıralaması için ise algoritma kullanılmıştır. Russell ve Meller (2003) sipariş toplama

ve ayırma/sınıflandırma operasyonlarını farklı parti büyüklükleri için bütünleştiren bir model geliştirmiştir. Chackelson ve diğ. (2013) ise sipariş toplama performansının, toplam dolaşım süresinin yanı sıra sipariş olgunlaşma süresi gibi farklı operasyon seçeneklerine göre değerlendirmiştir.

2.3 Operasyonel Düzey Depo Tasarımı

Operasyonel düzey depo tasarımı konuları şu şekilde verilmektedir:

- “Mal kabul ve sevkiyat”, gelen ve giden malzemelerin akışını ifade etmektedir (Gu ve diğ., 2007; Rouwenhorst ve diğ., 2000).
- “Parti oluşturma (batching)”, Elsayed ve diğ. (1993) tarafından siparişler ile ilgili grupta karar olarak tanımlanmaktadır. Gu ve diğ. (2007)’na göre ise siparişlerin toplama ve sevkiyat için parti adı verilen parçalara ayrıştırılmasıdır.
- “Ayrırma/sınıflandırma (sorting)”, Gu ve diğ. (2007) tarafından çoklu siparişlerin birlikte toplanması olarak ifade edilmektedir.
- “Bekleme (dwell) noktası belirlenmesi”, depolama ve çekme sistemleri için sistem durduğu veya boş kaldığı süre zarfında, sistemin beklemesinin en uygun olduğu noktanın belirlenmesidir (Gu ve diğ., 2007). Bu noktanın uygun olarak belirlenmesi, sistemin dolaşım süresinin azaltılmasına olanak sağlamaktadır (van der Berg, 1999).
- “AS/RS işletimi”, söz konusu sistemlerin operasyonel tarafı ile ilgili problemleri belirtmektedir. COI kuralları gibi depolama kurallarının belirlenmesi, dolaşım süresi (travel time) modelleri gibi performans ilişkili diğer konular, bu başlık altında değerlendirilmektedir (Sarker ve Babu, 1995).
- “Depolama, rotalama ve sıralama”, sipariş toplama sırasındaki rotalama politikaları, sıralama yordamlarını ifade etmektedir. Gu ve diğ. (2007)’nin de belirttiği üzere bu kararlar belirli sipariş kalemlerinin en iyi sırada ve rotada toplanması amaçlanmaktadır.

Operasyonel düzeyde, diğer üst düzeylerle ilişkili alanları ve literatür taramalarını da içeren toplam 96 çalışmanın bulunduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmalardan 56’sı salt operasyonel düzey konularına odaklı olan çalışmalar olarak değerlendirilmiştir.

Mal kabul ve sevkiyat konusunda az sayıda çalışmanın olduğu görülmektedir. Bu çalışmalardaki problemler, kamyonların kapılara atanması ve bir kapıya tayin edilmiş kamyonlara verilecek hizmetin çizelgelenmesi şeklinde olup mâliyet modelleri ile çözümlendiği görülmektedir. Bu konudaki çalışmaların çoğu, belirli bir kapı veya rampaya odaklı süreçleri incelemekten çok kamyonlara ve sevk işlemlerine odaklanmıştır. Depoya gelen ve depodan çıkan kamyonların yükleme rampalarına tayin edilmesi problemi için BM ile optimum çözüm elde edilmiştir (Tsui ve Chang, 1990; Tsui ve Chang, 1992). Bu konuda literatürdeki diğer bir çalışma ise Alpan ve diğ. (2011) tarafından gerçekleştirilen, çapraz sevkiyat yapılan bir depoda kamyon değiştirme mâliyeti ve stokta tutma mâliyetini enküçükleyecek sevkiyat çizelgesini oluşturan sezgisellerin geliştirilmesidir.

Parti oluşturma (batching) ile ilgili önemli sayıda çalışmaya rastlanmış olup, söz konusu çalışmaların temel olarak sezgiselleri kullandığı ve bu sezgiselleri de simülasyon modelleri yardımıyla doğruladığı gözlemlenmiştir. Elsayed ve Stern (1983) parti oluşturma için kullanılan 24 farklı algoritmayı test etmiş ve değerlendirmiştir. Ruben ve Jacobs (1999) farklı depolama politikaları için parti algoritmalarını analiz etmiştir. Benzer bir çalışma da Rosenwein (1996) tarafından parti oluşturma problemi için kullanılan sezgisellerin karşılaştırması şeklinde yapılmıştır. Gibson ve Sharp (1992) tarafından ise iki yeni parti oluşturma yordamı değerlendirilmiştir. Bu konuda, de Koster ve diğ. (1999) da etkin parti oluşturma yöntemleri için iki farklı sezgisel algoritmayı değerlendirmiştir. Elsayed (1981), Elsayed ve Unal (1989) ile Pan ve Liu (1995), parti oluşturma algoritmalarını özellikle AS/RS bulunan depolar için değerlendirmiştir. Hwang ve diğ. (1988) ise AS/RS için parti oluşturma algoritmalarını doğrusal olmayan IP modeli ve simülasyon yardımıyla analiz etmiştir.

Parti oluşturma konusunda Elsayed ve diğ. (1993) ile Lee ve Kim (1995), tarihleri dikkate alan sıralama yordamları geliştirmiştir. Gademann ve diğ. (2001), parti temin sürelerini enazlayan parti oluşturma problemini B&B algoritması ile çözmüştür. Yine Gademann ve van de Velde (2005), toplam sipariş toplama süresini enazlayan parti oluşturma problemi için de B&B algoritmasını kullanmıştır. Aynı türdeki problem için Lee ve Schaefer (1997), farklı bir algoritma kullanmıştır. Won ve Olafsson (2005) ile Chen ve Wu (2005) ise, parti oluşturma problemlerine ilişkin analitik modelleri kullanmıştır. Hsu ve diğ. (2005) ise herhangi bir depo yerleşimi ve parti

oluşturma yapısına sahip bir depoda parti oluşturma problemini GA ile çözümlenmiştir. Ashayeri ve Selen (2013) ise matematiksel programlama modeli ile parti oluşturma hazırlığına ilişkin malzemelerin kullanım oranları, hacim ve alan kısıtlarına göre farklı depolama sistemlerine tayin edilmesini optimize ederek; işgücü, toplam bekleme süresi ve stoklama alanından tasarruf sağlamıştır.

Ayırma/sınıflandırma (sorting) işlemlerine odaklanan az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar, analitik yöntemler kullanmıştır. Bu yöntemler yardımıyla Meller (1997) zamanın enküçüklenmesini amaçlarken, Johnson ve Meller (2002) işlem hacminin enbüyüklenmesi amaçlamaktadır. Johnson (1998) ise ayırma/sınıflandırma stratejilerinin sistem performansına olan etkilerini belirlemiştir.

Bekleme (dwell) noktası seçiminde ise sezgiseller ve simülasyon modelleri kullanılmıştır. Bu problem için Egbelu (1991) LP bazlı algoritma kullanırken, Hwang ve Lim (1993) ise bu algoritmayı tesis yeri problemi yaklaşımı ile inceleyerek optimum sonuç elde etmiştir. Peters ve diğ. (1996), Chang ve Egbelu (1997) ile van der Berg (2002) ise analitik yöntemler ile optimal çözüme ulaşmıştır. Bu konu ile ilişkili bir başka çalışmada ise söz konusu noktanın seçiminde kullanılan değışik yordamlar simülasyon ile değıerlendirilmiştir (Egbelu ve Wu, 1993). Regattieri ve diğ. (2013) ise bekleme noktasına ilişkin kuralların AS/RS işletimine etkilerini analitik model ve simülasyon ile analiz etmiştir.

AS/RS işletimi, bu bölümde yer alan en fazla çalışmanın odaklandığı konu olarak belirlenmiştir. En yüksek işlem hacmi, sıralama gibi konularda optimum çözüm elde etmek için COI kuralları, yanıt süreleri, dolaşım süreleri (travel time) gibi noktalar analitik olarak modellenmiştir. Analitik modelleri, sırasıyla sezgiseller ve simülasyon modelleri izlemektedir. Graves ve diğ. (1977), sınıf bazlı depolama ve sıralama politikalarının depo performansı üzerindeki etkilerini analitik bir model üzerinden belirlemeye çalışmıştır. AS/RS için sıralama problemini Van der Berg ve Gademann (1999) ulaştırma modeli ile, Lee ve Schaefer (1997) atama modeli ile çözümlerken, aynı problem Alonso-Ayuso ve diğ. (2013) tarafından analitik model ve sezgiseller ile çözümlenmiştir. Literatürdeki analitik model kullanan diğ.er çalışmaların dolaşım süresi modelleri üzerinde yoğunlaştığı gözlemlenmiştir (Koh ve diğ., 2002; Hwang ve diğ., 2004; Park ve diğ., 2003; Meller ve Klote, 2004).

AS/RS işletimi ile rotalama ve sıralama problemlerinin birlikte ele alındığı çalışmalarda ise sezgisellerin kullanıldığı belirlenmiştir. Bartholdi ve Platzman (1988) ile Makris ve Giakoumakis (2003), insanlı (person-on-board) AS/RS için rotalama ve sıralama problemini bu şekilde çözmüştür. Eynan ve Rosenblatt (1993), sınıf bazlı depolama yapılan bir depoda en yakın komşu çekme politikasını değerlendirmiştir. Potrc ve diğ. (2004), çift komutlu birim yük AS/RS için rastgele depolamada sıralama problemini çok seferli dolaşım süresi modelleri ile çözümlenmiş ve simülasyon ile söz konusu modelleri doğrulama yoluna gitmiştir. Kim ve diğ. (2005) ise, sipariş toplama sırasında toplanan malzemenin her toplama operasyonu sonrasında toplama alanının altındaki dikey alana konulduğu özel bir AS/RS'i analiz ederek, bu tür bir sistemde sipariş toplama sıralamasını belirlemeye çalışmıştır.

Bu noktada, metasezgisellerin de kullanıldığı görülmektedir. Sarker ve diğ. (1991), Eben-Chaime (1992) ile Mahajan ve diğ. (1998) sıralama problemi için NNH kullanmıştır. Seidmann (1988) ile Ascheuer ve diğ. (1999) ise söz konusu problemin çözümünde yapay zekâ tekniklerinden yararlanmıştır. Sarker ve Babu (1995), ayrıca AS/RS'nin operasyonel kontrolüne yönelik bir literatür araştırması çalışması da yapmıştır.

Depolama, rotalama ve sıralama, ikinci en fazla araştırma konusu olarak görülmektedir. Bu noktada, rota belirlenmesi ve analizi, en az sipariş toplama maliyetine sahip depolama alanı tayini gibi problemler için sezgisellere göre analitik modellerin daha yaygın olarak kullanıldığı gözlemlenmektedir. Söz konusu modellerin simülasyon çalışmaları ile test edildiği ve doğrulandığı da görülmektedir. Hall (1993) ile de Koster ve van der Poort (1998), konvansiyonel depoda rotalama analizi için analitik yöntemleri kullanmıştır. Diğer yandan Roodbergen ve de Koster (2001a) ile Vaughan ve Petersen (1999) ise aynı problem için DP bazlı sezgiselleri kullanmıştır. Roodbergen ve de Koster (2001b) aynı zamanda genel sezgisellerden de yararlanmıştır. Bozer ve diğ. (1990), iki boyutlu depolama rafları için bir algoritma geliştirmiştir. Daniels ve diğ. (1998) ise TSP bazlı sezgisel ile rotalama öncesinde, toplama alanı seçimi problemini çözümlenmiştir. Linn ve Xie (1993) ise tarihleri dikkate alarak sıralamanın rolünü simülasyon ile analiz etmiştir.

Bu düzeydeki çoğu çalışmanın depolama ve toplama konuları ile ilgili olduğu söylenebilir. Özellikle rotalama ve sıralamanın deponun toplam operasyonel performansına (örneğin depolama kapasitesi, alan kullanımı, sipariş toplama

verimliliği vb.) en çok etki eden iki işlev olduğu değerlendirilmektedir. Gu ve diğ. (2007)'na göre bir SKU için çekme veya depolama işlemleri sırasında çok sayıda aday yer bulunduğu durumlarda depolama problemi, daha ilginç ve zorlayıcı olmaktadır. Choy ve diğ. (2014), depolama, rotalama, parti oluşturma gibi operasyonel politikaların depolama sisteminin güvenilirliğine etki ettiğini simülasyon modeli ile ortaya koymaktadır.

2.4 Literatür Araştırması Sonuçlarının Değerlendirilmesi

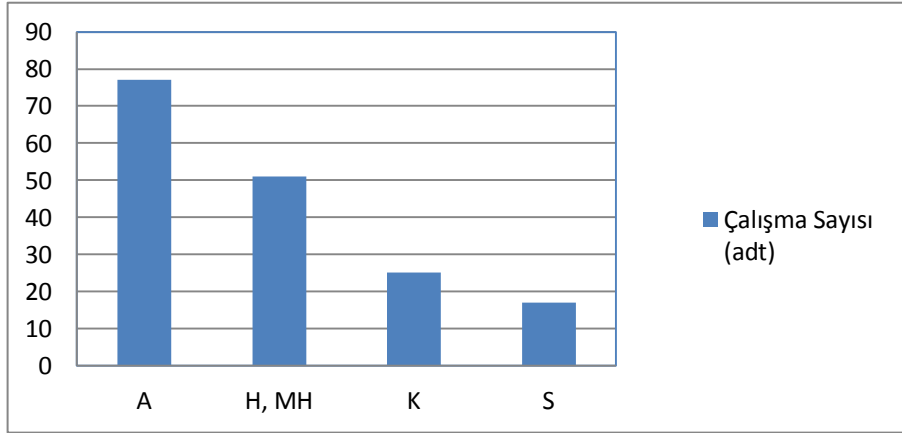
Bu bölümde, tez önerisi için önemli çalışmalar, tez konusuyla ilişkilendirilerek incelenecektir.

Bilindiği üzere depolar, tüm tedârik zincirleri için en önemli bileşenlerden biridir. Depo operasyonlarını hem mâliyet hem de performans açısından etkileyen parametrelerin büyük bir bölümünün deponun tasarım aşamasında belirlendiği düşünüldüğünde, depo tasarımı konusunun önemi günden güne artmaktadır.

Literatür taramasından da görülebileceği üzere depo tasarımı ve yönetimi konularında en fazla çalışma, operasyonel düzeyde yer alan konulara ilişkin yapılmıştır. Buna karşın taktik düzeyde yer alan çalışmaların sayısı operasyonel düzeydekilere göre azdır. Stratejik düzey çalışmaların ise taktik düzeydekilere göre anlamlı derecede daha az olduğu görülmektedir. Depo tasarım yöntembilimi konusundaki çalışmaların da oldukça az sayıda olduğu saptanmaktadır. Literatüre bakıldığında, depoda çalışması gerekli olan personel sayısı ve işlerin personele atanması konularında da herhangi bir çalışma görülememiştir (Rouwenhorst ve diğ., 2000).

Depo tasarımı konusunda kullanılan yöntemlere bakıldığı takdirde, 77 çalışmada olmak üzere en fazla analitik modellerin kullanıldığı görülmektedir. Söz konusu modellerin sezgiseller ve simülasyon modelleri ile doğrulandığı da saptanmıştır. İkinci en fazla kullanılan yöntem grubu sezgiseller ve metasezgiseller olup, 51 çalışmada bu yöntemlerin kullanıldığı belirlenmiştir. Literatür taramaları dahil olmak üzere toplam 25 çalışmada ise kavramsal modeller oluşturulmuştur. Bu modellerin çoğu stratejik düzeyde yer alan konulara ilişkin geliştirilmiştir. Literatürdeki 17 çalışmada simülasyon, birincil yöntem olarak kullanılmıştır. Kullanılan yöntemlerin dağılımı Şekil 2.4'te verilmektedir. Ashayeri ve Gelders (1985b)'in vurguladığı gibi

analitik modeller ve simülasyonun birlikte kullanıldığı yöntemlerin depo tasarım optimizasyonu ile ilgili konular için en pratik yaklaşımlar olduğu değerlendirilmektedir.



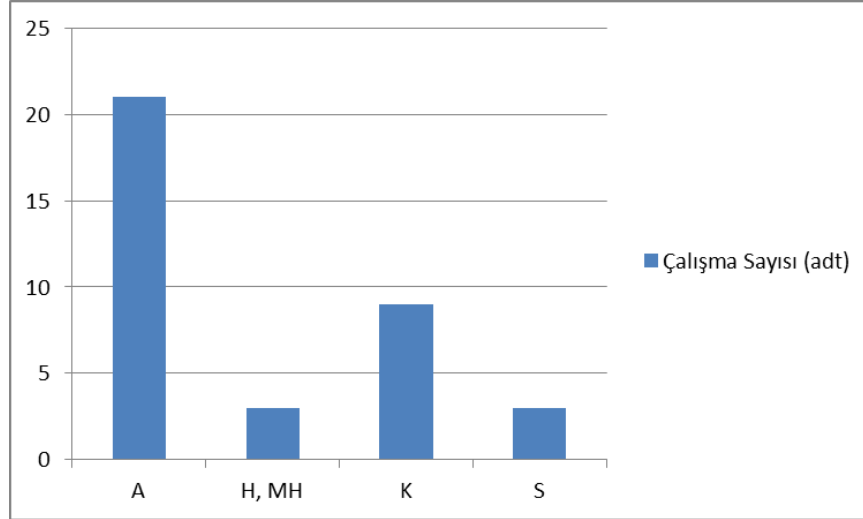
Şekil 2.4 : Makalelerde kullanılan yöntemlerin dağılımı.

Literatür araştırmasının diğer bir sonucu da Baker ve Canessa (2009)’nın da belirttiği üzere özellikle depo tasarımı yaklaşımları konusunda akademik çalışmalar ile uygulamalar arasında da boşlukların bulunmasıdır. Govindaraj ve diğ. (2000), uygulamadaki en önemli gözlemlerinin, tasarımın ilk aşamalarında depoya ilişkin tüm işlevlerin ve mâliyetlerin tahmine dayalı ve sezgisel olarak belirlenmeye çalışılması olduğunu ifade etmişlerdir. Bu bağlamda, nesneye dayalı tasarım (object oriented) yaklaşımını geliştirmiştir. Bu yaklaşımda, tasarım verileri “proje”, işlevler “akış” ve “operasyon” ile yapı ve kısıtlar da “depo (ekipman, depolama sistem elemanları, vb.)” ile “mâliyet” nesneleri şeklinde değerlendirilmiştir.

Bunun yanı sıra Gu ve diğ. (2007), depo tasarımı konularında birçok farklı tekniklerin kullanıldığı ve simülasyon modelleri ile bu tekniklerin doğrulanmaya çalışıldığını belirtmiş, fakat buna karşın, bu modellerin gerçek yaşamdaki uygulamalar ile doğrulanması gerektiğini vurgulamıştır. Literatür araştırması sonuçlarına ilişkin çizelgeler Ek A’da verilmiştir. Bu bağlamda, bu tezde stratejik düzeyde yer alan depo tasarım yöntembilimi konusunda literatürde boşluk olduğu değerlendirilmektedir. Sistematik bir depo tasarımı konusunun literatürdeki çalışma sayısı göz önünde bulundurulduğunda söz konusu konuda yeterli çalışmanın olmadığı açıkça görülmektedir. Ayrıca örneğin Gu ve diğ. (2010)’na göre yazılım destekli depo tasarımı konusu bu boşluğa örnektir. Bu noktada depo tasarım yöntembilimi ile ilgili olarak genel yaklaşımlar bağlamında temel bir düşünce birliği

bulunmasına rağmen, kullanılacak araç ve gereçler konusunda düşünce birliğinin çok daha az olduğu görülmektedir (Baker ve Canessa, 2009).

Stratejik düzeyde yer alan depo tasarımı konularına ilişkin yukarıda belirtilen 36 çalışmanın yöntem ayrıntılarına göre dağılımı ise Şekil 2.5'te verilmektedir:



Şekil 2.5 : Stratejik düzeydeki konuları içeren makalelerde kullanılan yöntemler.

Bu bağlamda literatürdeki çalışmalara bakıldığında stratejik düzey depo tasarımı konularının çözülmesi amacıyla en fazla analitik yöntemlerin kullanıldığı, bunları ise kavramsal modellerin izlediği gözlemlenmektedir. Sezgiseller ve metasezgiseller ile simülasyon modelleri ise aynı oranda kullanılmıştır. Depo tasarım yöntembilimi başlığı altında sınıflandırılan 9 çalışmaya bakıldığında ise 6 çalışmada kavramsal model kullanılmış olup, 3 çalışmada analitik yöntem kullanıldığı belirlenmiştir.

Bu bağlamda, literatür sonuçları doğrultusunda tez çalışması kapsamındaki depo tasarım yöntembilimi ile ilgili kavramsal bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Literatür çalışmaları, depo tasarım yöntembilimi veya sistematığı ile ilgili çalışma sayısının yetersiz olduğuna işaret etmektedir. Ayrıca bu konuda yapılan çok az sayıdaki araştırma da depo tasarımı konusunda temel ve standart bir yöntembilimin bulunmadığını göstermektedir. Bu tez önerisinde sunulacak problem, bu konuyu içerecektir. Depo tasarımı konusunda standart ve temel bir yöntemin ortaya konulması amaçlanmaktadır.

Bu noktada birçok farklı depo tipi bulunmaktadır. Bir başka deyişle depolar farklı ölçütlere göre değişik şekillerde sınıflandırılmaktadır. Temel olarak, işleyişine göre depolar üçe ayrılmaktadır: dağıtım merkezleri, üretim depoları ve sözleşmeli depolar.

Dağıtım merkezi olarak faaliyet gösteren depolar, farklı tedârikçilerden gelen ürünlerin toplandığı, depolandığı, bazı durumlarda montaj işlemine tabî tutulduğu ve sonuç olarak müşteriye sevk edildiği lojistik depolardır. Bu tip depolarda ürün çeşitliliği çok fazla olup, sipariş kalemi bazında miktarlar küçük olabilmektedir ki, bu durum depo operasyonlarını, özellikle sipariş toplama sürecini karmaşık ve mâliyetli bir duruma dönüştürmektedir. Bu depolar için tasarım ölçütleri, en yüksek işlem hacmi, en az yatırım ve/veya operasyonel mâliyetlerdir (Rouwenhorst ve diğ., 2000; van der Berg ve Zijm, 1999).

Bu depolarda, ortak müşterilere konsolide sevkiyat gerçekleştirilmek üzere, bir veya daha fazla firmanın çeşitli üretim noktalarından gelen ürünler toplanmakta ve birleştirilmektedir. Dağıtım merkezi, üretim yerleşimlerinin ve müşterinin ortasında konumlandırılmaktadır (Frazelle, 2002).

Üretim depoları, hammadde, yarı ürün ve üretim tesisindeki ürünlerin depolandığı yerlerdir. Bu tür depolarda hammaddeler uzun süreli ve parti takibi yapılarak stoklanabilmektedir (Rouwenhorst ve diğ., 2000; van der Berg ve Zijm, 1999). Üretim depolarından, işletme depoları diye de sözedilmekte; üretim sürecinde veya üretimden sonra, dağıtım öncesinde stoklanan malzemelere göre, hammadde, süreç içi stok ve bitmiş ürün deposu olarak çeşitlendirilebilmektedir (Frazelle, 2002).

Bu bağlamda mâliyet etkinliği için bu tür depolarda genellikle pahalı olmayan paletli raflar gibi depolama sistemleri kullanılmakta ve büyük miktarlar bu şekilde depolanmaktadır. Bu tür depolar için en önemli tasarım ölçütü depolama kapasitesi olup, amaç yanıt süresi gibi belirli kısıtlar altında düşük operasyonel mâliyeti sağlamaktır (Rouwenhorst ve diğ., 2000; van der Berg ve Zijm, 1999).

Sözleşmeli depolar ise depolama işlevlerinin bir veya birden fazla müşteri adına yürütüldüğü depolardır (Rouwenhorst ve diğ., 2000; van der Berg ve Zijm, 1999).

Bu tez kapsamında ele alınacak olan depo tasarım yöntembiliminin oluşturulması probleminin, dağıtım merkezi işlevinde olan depolar için incelenmesi ve çözümlenmesi amaçlanmaktadır. Tasarımda hız ve hacim dengesinin kurulmasının çok daha önemli olması, farklı ürün gruplarının aynı lokasyonda depolanması ve

dolayısıyla farklı ekipman ve raf sistemlerinin kullanılması, sektöre özgü süreç aşamalarının bulunması gibi nedenlerden ötürü çalışmaların yapılacağı depo türünün dağıtım merkezi depoları olmasına karar verilmiştir (Baker, 2004; Baker ve Halim, 2007; Dallari ve diğ., 2006).

Bu bağlamda tez kapsamında; dağıtım merkezi olarak faaliyet gösteren bir deponun tasarım parametrelerinin sistematik çerçevede, belirli bir yöntem ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda hiyerarşik ve kavramsal bir depo tasarım yöntembilimi geliştirilmiştir.

Ayrıca tez kapsamında stratejik düzeyde yer alan kritik tasarım problemlerinden biri olan konvansiyonel/otomatik depo karar verme problemine ilişkin iki aşamalı bir analitik model geliştirilmiştir. İlk aşamada kurulan mâliyet modeli ile toplam mâliyetler analitik olarak hesaplanırken ikinci aşamada ise AHP yöntemi ile mâliyet dışı etmenler de göz önünde bulundurularak nihai kararın verilmesi sağlanmıştır. Bu model de dağıtım merkezlerine yönelik olarak geliştirilmiştir. Dallari ve diğ. (2006) tarafından İtalya için gerçekleştirilen çalışmada verilen konvansiyonel/otomatik depo seçeneklerinin seçimine yönelik işlem hacmi ve depolama yeri sayısı önerisinin Türkiye için analiz edilmesi amaçlanmıştır.

3. DEPOLAMA SİSTEM ELEMANLARI VE DEPOLAMA SÜREÇLERİ

Depo tasarımı, depo yönetimi kapsamında yer alan ve birbirleri ile ilişkili ve etkileşimli olan süreçler ve sistemlerin (malzeme taşıma sistemleri, ayırma/sınıflandırma sistemi, depolama sistemleri vb.) beklenen performans göstergelerini karşılamak üzere belirlenmesidir. Depo tasarımı sürecinde ayrıntılı tasarım noktasında birçok farklı tasarım parametresi dikkate alınarak depo kaynaklarının plânlanması yapılmaktadır. Bu bölümde tez çalışması kapsamında geliştirilen hiyerarşik depo tasarım yöntemilimi ve analitik model ile ilişkili olan temel depolama sistem elemanları ile depolama süreçleri anlatılmaktadır.

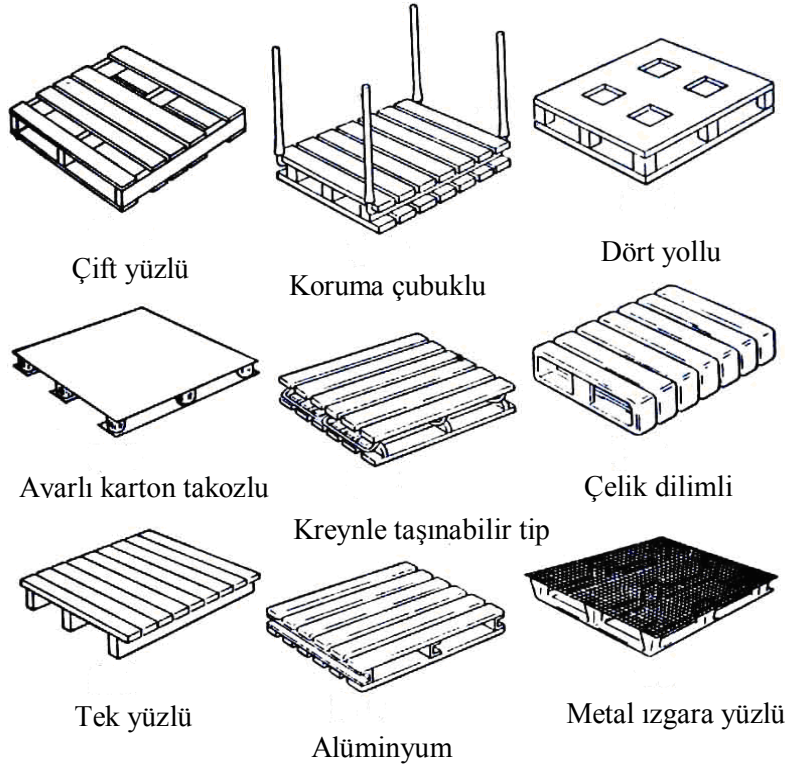
3.1 Depolama Birimi

Depolama birimleri, depo kaynaklarından biri olup, söz konusu depoda ürünlerin ne tür bir birim ile (palet, karton kutu, plastik kap vb.) depolanacağını belirtmektedir. Paletler plastik, metal veya ahşaptan yapılan taşınabilir alçak platformlardır. Palet, malların bir arada tek bir birim olarak taşınmasını sağlar. Paletler çaka, asansör ve vinçler tarafından taşınmaya uygundur. Paletler bir kez ya da sürekli kullanılabilirler. Palet çeşitleri Şekil 3.1’de gösterilmektedir.

Paletler; çaka, asansör ve vinçler tarafından taşınmaya uygundur. Alt kısımlarında yer alan ceplere çaka çatalları yerleştirilerek taşıma gerçekleştirilir. Paletlerin işlevleri, yüklemenin yapılacağı eşyanın belirli boyutlar içinde toplanmasını ve korunmasını sağlamaktan ibarettir. Malların bir arada tek bir birim olarak taşınmasını sağlamaktadır. Paletlerin üzerine konulan yükler, malzemenin şekline ve cinsine göre belirli bir düzende yerleştirilebilmektedir.

Paletler, boyut açısından üç grupta incelenebilmektedir:

- Standart dışı paletler; firmaların özel gereksinimlerinden doğan standart ölçülerin dışındaki her türlü palettir. Ölçü standardı yoktur. Amacı malzeme depolama, fabrika içi taşımalar ve nadir olarak tesisler arası taşımalarıdır.

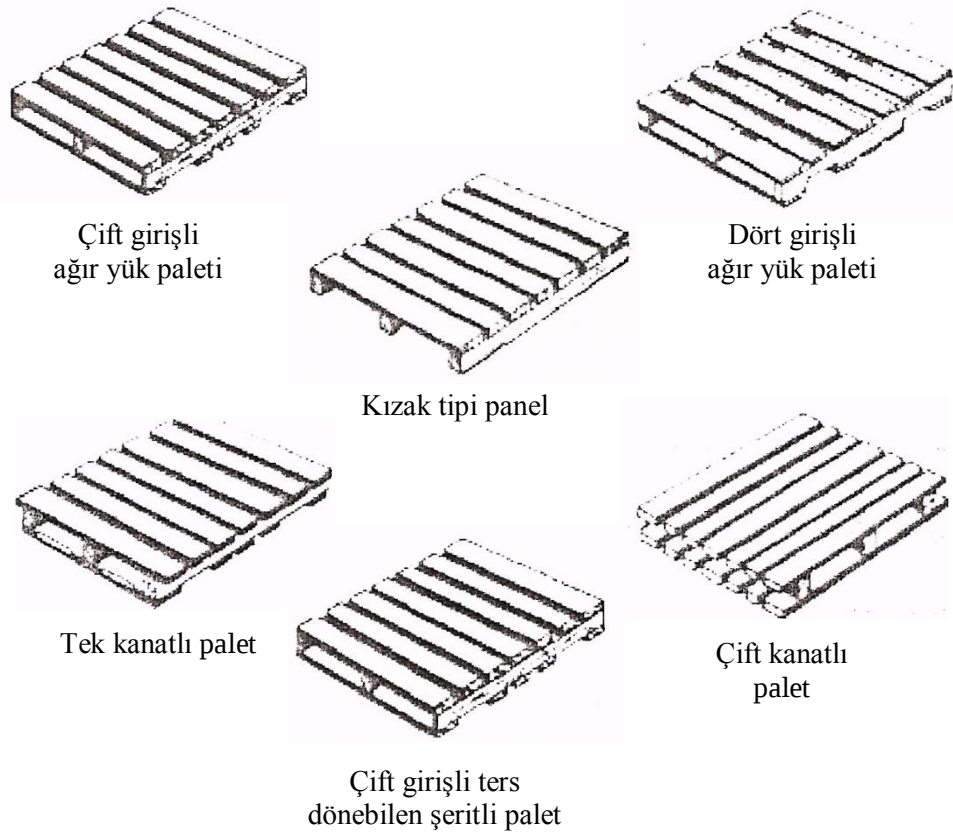


Şekil 3.1 : Çeşitli palet tipleri (Hopbaoglu, 2009).

- Euro palet; Avrupa ülkeleri zamanla paletlerde standardizasyona giderek, ölçü, kalite, malzeme cinsi ve nem oranı, kullanılan çivi vb. özelliklerini saptamışlar ve bu standartlara uygun paletleri Euro palet olarak tanımlamışlardır. Euro palet ile ilgili standart numarası UIC 435-2V'dir. Euro palet ölçüleri 80 cm x 120 cm'dir.
- Amerikan standardı (US) paletler; Amerika, Kanada ve Meksika'da palet standartları Avrupa standartlarından farklıdır. Amerikan standardında ölçü 100 cm x 120 cm'dir.

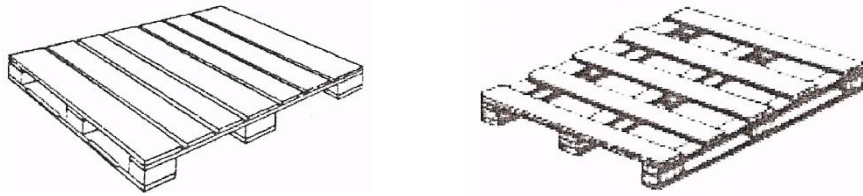
Paletler, tiplerine göre ise şeritli paletler ve blok paletler olarak ayrılmaktadır:

- Şeritli paletler; ABD'de yaygın olarak kullanılan palet türüdür. Genellikle 48x40" (inç) modeli yeğlenmektedir. Paletin zemin ve tavan kısımları tahta şeritlerle desteklendiğinden "şeritli palet" adını almaktadır. Bu şeritler 2x4" ya da 3x4" (inç) ölçülerindedir. Şeritli paletlerin 2 ve 4 girişli modelleri bulunmaktadır. Üzerinde bulunan tahta şeritler kolaylıkla çıkarılabilmekte ve bir sorunla karşılaşıldığında basit yöntemlerle onarılabilmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 : Şeritli palet türleri (Hopbaoğlu, 2009).

- Blok paletler; dört girişli olup, kalın tomruk, kontrplak ve plastik yüzeylerle desteklenmiştir. Yaygın olarak Avrupa ülkelerinde kullanılmaktadır. Manevra yeteneği zayıf çakalara yüklenebilmektedir. Çünkü yan devrilmelere karşı oldukça dayanıklıdır. Dört girişli olmasından dolayı çok ağır yüklerin taşınması gerçekleştirilebilmektedir. Diğer palet türlerinden farklı olarak zemin kısmında destekleyiciler olmayabilmektedir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 : Temel blok palet çeşitleri (Hopbaoğlu, 2009).

Depolama süreçlerinde palet kullanmanın getirdiği birçok yarar bulunmaktadır (Hopbaoğlu, 2009):

- Yükleme-boşaltma işleminde insan gücünden daha az yararlanılmaktadır.

- Eşyaları koruyacak ambalaj mâliyeti azalmaktadır.
- Malzemenin ezilmesinin ve devrilmesinin önüne geçilmektedir.
- Kayıp ve çalınmalar ile ara terminallerdeki işlemler azalmaktadır.
- Depolama işlemi daha verimli şekilde gerçekleştirilmektedir.
- Sevkiyat işlemleri hızlandırılmış olmaktadır.
- Kamyon, konteyner, tır gibi taşıyıcıların taşıma kapasiteleri arttırılmış olmaktadır.
- Dağıtımın verimi ve satışlar artmaktadır.

Paletlerin yanı sıra depolama birimi olarak karton kutular veya plastik kaplar da kullanılabilmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 : Karton kutu ve plastik kap örnekleri (Hopbaoğlu, 2009).

3.2 Depolama Ekipmanları

Farklı türdeki ürünlerin depolanması için kullanılan birçok alt sistemi içeren depolama sistemi içerisinde yer alan depolama ekipmanları; raflı, rafsız ve otomatik depolama sistemleri şeklinde sınıflandırılabilir.

3.2.1 Rafsız depolama sistemleri

3.2.1.1 Blok depolama

Blok depolama, birim yüklerin şeritlete (bloklara) ayrılmış zeminde birbiri üzerinde istiflenerek depolanmasını ifade etmektedir. “Blok depolama” terimi yerine “Zeminde depolama”, “Yığma depolama”, “Blok yığma depolama” terimleri de kullanılmaktadır. Yüklerin ağırlıklarına ve denge durumuna göre iki veya daha fazla

kat istif yapılabilir. Blok depolama örnekleri Şekil 3.5'te verilmektedir (Frazelle, 2002):



Şekil 3.5 : Blok depolama örnekleri (Frazelle, 2002).

Bu sistemde depolanacak mallar palet gibi yardımcı depolama malzemesi ile birlikte ya da bunlar olmaksızın doğrudan yerde depolanmaktadır. Depo donanımı için büyük bir yatırımın gerekmemesi önemli bir avantajdır. Ancak üçüncü boyut olan yükseklikten özveride bulunulduğu için hacim kullanımı açısından kötü bir sistemdir. Mal başına düşen birim hacmin küçük olacağı durumlar için uygun olmayan bir depolama şeklidir. Çünkü bir blokta birden fazla SKU bulunmamalı ve dolayısıyla en az SKU sayısı kadar blok olmalıdır. FIFO takibi için uygun olmayan bir depolama sistemidir. Bu sistemlerde LIFO disiplini ile çalışılmaktadır (Frazelle, 2002).

3.2.1.2 Tank/silo içinde depolama

Akışkan, sıvı ve gaz maddelerin depolanmasında kullanılan genellikle üstten doldurulup alttan boşaltılan depolardır. Bu depolama sistemine ilişkin örnek Şekil 3.6'da verilmektedir (Tanyaş, 2011).

3.2.2 Rafli depolama sistemleri

Rafli depoların en önemli özellikleri, istenilen sıradaki malın doğrudan alınmasına izin vermeleridir. En yüksek düzeydeki yer tasarrufuna blok sisteminde

ulaşılmaktadır. Ancak burada da son yerleştirilen malın ilk olarak alınması olasılığının doğuracağı tehlike vardır. Bu durum, eğik raflar kullanılarak aşılımaya çalışılmaktadır.



Şekil 3.6 : Tank ve silo içinde depolama örnekleri (Tanyaş, 2011).

Raf taşıyıcıları; yerden optimum tasarruf, yüksek depoların olanaklı olması ve tam otomatikleşmenin olanaklı olması gibi üstünlükler getirmişlerdir. Böylece yüksek raflı depolar kullanılmaya başlanmıştır. Depo büyüklüğü arttıkça çevresel bir taşıma sisteminin eklenmesi de kaçınılmaz olmaktadır. Önceleri elle kumandalı raf taşıyıcılarının kullanıldığı yüksek raflı depolar söz konusu iken; bugün artık otomatikleşmiş ve bilgisayarla yönetilen içine insan girmeyen depo sistemleri geliştirilmiştir. Raf sistemlerinin şu tipleri vardır:

- Sırt sırta (back to back) raf sistemleri
- İkili derinlikli (double deep) raf sistemleri
- Dar koridor (narrow-aisle) raf sistemleri
- Tek paletli raf sistemleri
- İçine girilebilir (drive in) raf sistemleri
- İçinden geçilebilir (drive through) raf sistemleri
- Mekik (drive in satellite) raf sistemleri
- Kayar raf (flow rack) sistemleri
- Arkadan itmeli (push back) sistemler
- Sipariş hazırlama raf sistemleri

- Mezanin (mezzanine) tip raf sistemleri
- Konsol kollu (gargamel) raf sistemleri
- Giydirme (rack clad buildings) raf sistemleri
- Hareketli (mobile) raf sistemleri
- Askılı konveyör/raf sistemleri
- Güvercin yuvası raf
- Çekmece (chest of drawer)

3.2.2.1 Sırt sırta (back to back) raf sistemi

Sırt sırta raf sistemi en yaygın, ekonomik ve geniş kullanım alanına sahip olan depolama sistemidir. İşletmelere en geniş depolama alanı yaratarak depo alanında en yüksek yer kullanımı amaçlamaktadır. Modüler yapısıyla en fazla alan tasarrufunu sağlamaktadır. Ayak yüksekliği ve travers uzunluğu müşterinin gereksinim ve taleplerine göre ayarlanabilen sırt sırta raf sistemleri, en küçük antrepodan en büyük ve karmaşık merkezlere kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu özelliği nedeniyle pek çok endüstriyel alanda ve ürün grubunda kullanılmaktadır.

Sırt sırta raf sistemlerinin önemli bir diğer özelliği ise diğer raf sistemleri ile kombine bir şekilde kullanılarak ürünlerin çok çeşitli amaçlarda stoklanmasına olanak sağlamasıdır. Bu sistemde pek çok eklenti ve aksesuar vardır. İşletmeler bu aksesuarlar yardımıyla ürünlerinin doğrudan veya kutu, bidon gibi koruyucular içine kobulması yolu ile stoklanmasını sağlarlar. Genellikle palet veya metal sandıkların istiflenmesine uygundur.

Sırt sırta raf sistemleri, tüm ürün çeşitlerine doğrudan ulaşma olanağı, serbest alan düzeni, manuel veya otomatik istif makinalarıyla kullanım olanağı, yükleme birimlerinin yüksekliğinde ve genişliğinde esneklik, FIFO ilkesinin gerçekleştirilebilirliği, ek olarak konulan güvenlik traversleri sayesinde paletlerin veya sandıkların gereksinim durumuna göre enine de depolanması gibi üstünlükler sunmaktadır. Sırt sırta raf sistemleri örneği Şekil 3.7’de verilmektedir (Hopbağlı, 2009):



Şekil 3.7 : Sırt sırta raf sistemleri örneği (Hopbaoğlu, 2009).

3.2.2.2 İkili derinlikli (double deep) raf sistemleri

Bu sistem de çok çeşitli ve çok miktarda ürün ile çalışan firmalar için kullanılmakta ve bu yönüyle sırt sırta raf sistemine benzemektedir. İkili derinlikte raf sistemi de alanın optimum kullanılması için etkin bir seçim olmaktadır (Hopbaoğlu, 2009). Bir SKU için depolama gereksinimi beş palet veya daha fazla ise ve mal kabul ve toplama sırasında paletler ikiyeşerli olarak hareket görüyorsa bu depolama sistemi kullanılmaktadır (Frazelle, 2002).

Sırt sırta raf sistemlerinin sağladığı üstünlükler, bu sistemler için de geçerlidir. Paletli ürünlerin depolanması için uygun olan bir sistem tüm ürün çeşitlerine doğrudan ulaşım olanağı, serbest alan düzeni, otomatik istif makinaları ile kullanım olanağı, raf yükseklik ve derinliğinde esneklik ve LIFO-FIFO çalışma sistemine uyum gibi üstünlükler sağlamaktadır. Şekil 3.8’de görülen bu raf sisteminde ek yatırım olarak istif makinalarına ek uzatma çatalı gerekmektedir.

3.2.2.3 Tek paletli raf sistemleri

Yüksek irtifada ağır içerikli ürünlerin depolanması için kullanılan bu sistem, iki ayak arasında bir palet istiflemeye olanak sağlayan bir sistemdir. Genellikle sandık veya kafes tip paletlerde istiflenen ürünlerin depolanması için uygun olan bu sistem, tüm ürün çeşitlerine doğrudan ulaşım olanağı, serbest alan düzeni, sipariş hazırlamada kolaylık, manuel veya otomatik istif makinaları ile kullanım olanağı, raf yükseklik ve derinliğinde esneklik ve FIFO çalışma sistemine uyum gibi üstünlükler sağlamaktadır. Şekil 3.9’da tek paletli bir raf sistemi örneği görülmektedir (Hopbaoğlu, 2009).



Şekil 3.8 : İkili derinlikli raf sistemleri örneği (Hopbaoğlu, 2009).



Şekil 3.9 : Tek paletli raf sistemleri örneği (Hopbaoğlu, 2009).

3.2.2.4 İçine girilebilir ve içinden geçilebilir raf sistemleri

İçine girilebilir ve içinden geçilebilir (drive-in/through) raf sistemleri, aaletli ürünlerin derinlemesine istiflenmesini sağlamaktadır. İstifleme araçları yükleme kanallarını bir koridor gibi kullanarak arkadan öne doğru doldurmaktadır. Böylece yüklerin blok olarak yerleştirilmesi ve boşaltılması sağlanmaktadır. Şekil 3.10'da görüleceği üzere, bu sistemlerde yükleme için travers yerine raylar kullanılmaktadır (Hopbaoğlu 2009).



Şekil 3.10 : İçine girilebilir ve içinden geçişli raf sistemleri (Hopbaoğlu, 2009).

İçine girilebilir (drive-in) raf sisteminin tek yönlü girişe sahip olması nedeniyle bu depolama sisteminde, son giren ilk çıkar (LIFO) yöntemine uygun olarak istifleme yapılabilmektedir (Hopbaoğlu, 2009). 20 veya daha fazla palet olarak bulundurulmuş ve yavaş ya da orta düzeyde bir hızla hareket gören SKU'lar için kullanımı uygun olmaktadır (Frazelle, 2002).

İçinden geçişli (drive-through) raf sistemi ise iki yönlü girişe sahiptir. Bu nedenle, FIFO yöntemine uygun olarak istifleme yapılabilmektedir. Hızlı ürün sirkülasyonuna gereksinim duyan işletmeler için uygundur.

Bu raf sistemlerinin sunduğu üstünlükler şöyledir (Hopbaoğlu, 2009):

- Ürünlerin blok şeklinde depolanmasını sağlamaktadır.
- Sezonluk ürünlerin depolanması için uygundur.
- Koridor gereksinimini en aza indirmektedir.
- Depo kapasitesini en iyi şekilde kullanmayı sağlamaktadır.
- Farklı derinliklerde ve yüksekliklerde istifleme sağlamaktadır.
- Bir istifleme ekipmanı birçok tüneldeki ürünler için kullanılabilir.

3.2.2.5 Giydirme raf sistemleri

Giydirme raf sistemleri, depo için gerekli olan çatı ve dış cephe gereksinimini ortadan kaldırmaktadır. Bu sistemlerde önceden bina inşasına gerek duyulmamaktadır. Yükseklik sorunu olmadığı için kullanılacak alandan en üst düzeyde yararı sağlayarak yer kaybını önlemektedir (Hopbaoğlu, 2009). Şekil 3.11'de giydirme raf sistemlerine ilişkin örnekler yer almaktadır.



Şekil 3.11 : Giydirme raf sistemleri örneği (Hopbaoglu, 2009).

3.2.2.6 Kayar raf sistemleri/arkadan itmeli sistemler

Kayar raf sistemleri, her büyüklükteki ürünler için sıralı koli alma, sipariş toplama ve görece küçük parçaların depolanması işlemleri için kullanılmaktadır.

Her boyuttaki koli için FIFO ilkesi gerçekleştirilebilmektedir. Bir koli alındıktan sonra, arkasındaki diğer koli yerçekimi kuvvetiyle aşağıya doğru eğimli rulolar üzerinde kayarak toplamaya (alıma) hazır konuma gelmektedir. Üst kısımdan yükleme ve alt kısımdan boşaltma yapılır. Dolayısıyla yükleme ve boşaltma tarafları ayrılmıştır.

FIFO kuralının tam olarak uygulanması sayesinde, kayar raf sisteminde, ürünlerin raf ömrünü aşması söz konusu değildir.

Büyük miktarda ürün depolamak olanaklı olup, alan kullanımı %50-60'lar düzeyine çıkmaktadır.

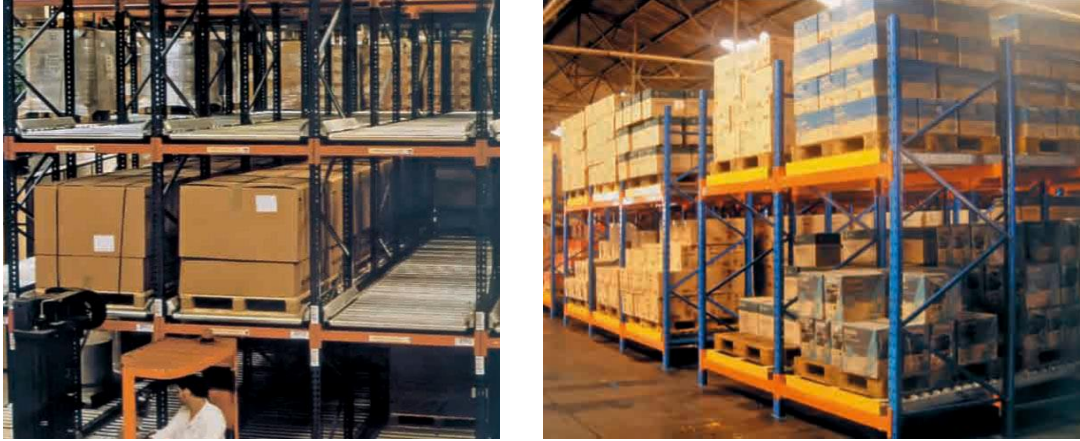
Kayar raf sistemleri arka arkaya sıralanmış, bir kanal oluşturan ayaklardan ve bu ayakların arasında bulunan makaralardan oluşmaktadır. Birçok kanal yanyana ve üstüste yerleşik olduğundan alan yüksekliğinden en uygun şekilde yararlanılmaktadır.

Arkadan itmeli sistemlerde, boşaltmaya hazır konumda duran palet ile hemen arkasındaki palet arasında ayırıcı bir mekanizma bulunmaktadır. Böylece boşaltılan palet raftan alındığında, arkasındaki ayırıcı mekanizma açılarak 2. palet boşaltma konumuna gelmekte ve burada iki palet birbirine baskı yapmamaktadır.

Büyük hacimli ve ağır malların kullanımı için uygundur. 4-6 sıra palet ardışık şekilde yerleştirilebilir. Depo alanı kullanımını %50-60 düzeyine çıkartır.

Makaralar depolamanın yanı sıra taşıma görevini de gerçekleştirmektedirler. Bu tip raflarda genellikle çatallı istif araçlarıyla çalışılmaktadır. Paletlerin alındığı en alt katta manuel kullanışlı istif aracı da kullanılabilir. Makaralar, yapı itibarıyla farklı (makara ve fren mekanizması) malzeme cinsine göre uyarlanabilmektedir. Kayar Raf Sistemindeki FIFO ilkesi, burada da geçerlidir. Optimal alan ve hacim kullanımını sağlamak ve otomatik malzeme akışı bütünleşmesine olanak tanımaktadır (Hopbağlı, 2009).

Şekil 3.12’de paletli kayar raf sistemleri örnekleri görülmektedir (Hopbağlı, 2009).



Şekil 3.12 : Paletli kayar raf sistemleri örneği (Hopbağlı, 2009).

3.2.2.7 Hareketli (mobil) raf sistemleri

Hareketli raflı depolama sistemleri, malın sürekli ya da süreksiz bir şekilde hareket hâlinde olduğu depolama sistemleridir. Bu hareket, hafif eğimli raylarla ya da yatay raylarla sağlanmaktadır. Bu tip sistemlerde FIFO ilkesi çok iyi uygulanabilir.

Şekil 3.13’te görülen hareketli raf sistemlerinde, ürünlerin az veya çok sayıda ürün çeşidinde olması önemli değildir. Önemli olan, ürünlerin çok fazla çeşitte stoklanması durumunda tüm ürünlerin az hareketli olması gerekliliğidir. Az çeşitteki ürünler için normal sevkiyat hızlarında önerilebilir sistemlerdir. Bu tür depolama sistemlerinde ürüne ulaşılabilirlik kısıtlı olduğundan dolayı hızlı hareket gören ürün grubu için uygun değildir (Hopbağlı, 2009).



Şekil 3.13 : Hareketli raf sistemleri örneği (Hopbaoğlu, 2009).

3.2.2.8 Dar koridorlu depolama sistemleri

Dar koridorlu depolama sistemi ile aşırı veya yetersiz depolama riski en aza indirgenmektedir. Böylece depolama ve lojistik ayağında verimliliğe kavuşulmuş olunmaktadır. Otomatik depolama ve boşaltma sistemlerinde de olduğu gibi, işletmenin çok çeşitli mal stoğuna ve yüksek hızda mal sirkülasyonuna sahip olması, bu tür depolama ve boşaltma sistemini kullanmasını gerektiren en önemli nedenlerdir (Hopbaoğlu, 2009).

Bu sistemde kullanılmak üzere geliştirilmiş dar koridor istif makinaları ile mal depolama veya boşaltma işlemleri yapılabilir. Bu da sistem için eksi puan getiren en büyük etken gibi görünmektedir. İstif makinalarında oluşacak bir sorun, sistemde ciddi aksamalara neden olduğu gibi, bu makinaların değerlerinin diğer istif makinalarına göre yüksek olması da diğer yandan bir finansman sorunu yaratabilmektedir. Kullanılan istif araçlarına göre dar koridor depolama sistemleri şöyle sınıflandırılabilir (Hopbaoğlu, 2009):

Dar koridor sistemi, sipariş hazırlama istif aracı (man-up): Bu sistem, sınıfında en sık kullanılan depo tipidir. Üstün yanları; kullanıcı elemanın her zaman boşaltma düzeyinde olması, dolayısıyla konumlama yardımcısına gereksinim duyulmaması ve doğrudan paletten sipariş hazırlama olanağı sunmasıdır.

Dar koridor sistemi, yüksek raf istif aracı (man-down): Bu depo tipi salt dolu paletin yüklenip boşaltıldığı durumlarda kullanılmaktadır. Man-up araçlarına göre

büyük raf yüksekliklerinde, zemin ve rafça daha dar toleranslar uygulanmalıdır ve yatay ve dikey yönde konumlama yardımcısına gereksinim duyulmaktadır.

Dar koridor sistemi, sipariş hazırlama istif aracı (man-up) ve üst kılavuz raylı:

Yüksek hızla çalışılan istif araçlarında, 19 metreye varan raf yüksekliklerinde ve 100 metreden büyük olan raf uzunluklarında elektrik bağlantılı olarak bütünleşmiş olan ek kılavuz kullanılmaktadır. Bu sistemin sorunsuz bir şekilde çalışmasının en önemli koşulu ise çok dar olan zemin ve raf toleranslarına uyulmasıdır.

Dar koridor istif aracıyla kullanılan paletli raf depoları: Dar koridor istif araçlarıyla kullanılan paletli raf depoları, günümüzde 14,2 m.'ye kadar uzanan yüksekliğe sahiptir. Bu depolar, yüksek kullanım oranlı hazır ürün depoları olarak kullanıldığı gibi, yüksek çapta sipariş hazırlama işlemi gerektiren yedek parça depoları olarak da kullanılmaktadır. Bu tip sistemlerde sürücü malzemeye gitmektedir.

Yükseklik kullanımı ile alandan tasarruf sağlayan ve kullanıcı kabininin asansörle yükselebildiği, yatay ve dikey yönde hareket edebilen çeşitli istif araçlarının kullanıldığı dar koridorlu depolama sistemlerine ilişkin örnekler Şekil 3.14'te görülmektedir.



Şekil 3.14 : Dar koridorlu depolama sistemleri örnekleri (Hopbaoğlu, 2009).

3.2.2.9 Askılı konveyör/raf sistemleri

Askılı sistem, üretim öncesinde ve sırasında malzeme akışını sağlayarak üretimde etkin bir rol oynamasının yanı sıra, depolama ve dağıtım işlemlerinde de çok yönlü olarak kullanılabilir. Bu sistemin tasarımında etkin olan etmenler, satış miktarı, ürün sirkülasyon hızı, ürün spesifikasyonları ve işletmenin sahip olmak istediği organizasyon tipidir. Şekil 3.15'te görüldüğü üzere, askılı konveyör depolama sistemleri daha çok tekstil sektöründe kullanılmaktadır (Hopbaoğlu, 2009; Tezcan, 2007).



Şekil 3.15 : Askılı konveyör depolama sistemleri örnekleri (Hopbaoğlu, 2009).

Askılı taşıma sistemlerinin iki yöntem ile uygulanmakta olduğu belirtilebilmektedir (Hopbaoğlu, 2009):

Trolley Taşıma Tekniği; tam otomatik olarak sunulan bu sistem, manuel sürgü veya raylar ile birlikte kullanılabilir. Sistem mal girişinden kalite kontrolüne, depolamadan sevkiyata kadar olan tüm görevleri yerine getirmektedir. Ürünlerin depolanması dinamik taşıma birimleri ile yapılmaktadır.

Trolleysiz Taşıma ve Ayırma Sistemi; eğer dağıtımda talepler çok farklıysa ürünlerin tek tek işlem görmesi gerekmektedir. Bunun için de yüksek verimli ayırma sistemi kullanılmaktadır. Gerek tek kademeli doğrudan dağıtım, gerekse çok kademeli ayırma işlemi için bu sistem, manuel olarak yapılan toplu ayırma işlemine göre daha iyi bir seçenektir.

3.2.2.10 Kutulu kayar raf sistemleri

Kutulu kayar raf sistemleri her büyüklükteki ürün için sıralı koli alma, sipariş toplama ve küçük parçaların depolanması işlemleri için kullanılmaktadır. Her boyuttaki kutular için FIFO ilkesi gerçekleştirilebilmektedir. Bir kutu tahliye olduktan sonra, arkasındaki diğer kutu yavaş yavaş aşağıya doğru eğimli makaralar

üzerinde kayarak tahliyeye hazır konuma gelmektedir. Bu raf sistemlerine ilişkin çalışma sistemi Şekil 3.16’da görülmektedir (Hopbaoğlu, 2009).



Şekil 3.16 : Kutulu kayar raf sistemleri örnekleri (Hopbaoğlu, 2009).

Sipariş hazırlama kayar rafları tüm standard raflara uygulanabilir ve aynı zamanda soğuk hava depoları için de uygundur. Sipariş hazırlama kayar rafları, palet kaydırma rayları veya makaralar ile donatıldığında, standard palet rafları ile de kombine edilebilmektedir. Eğimli makaralar, malların kendi kendine ön tarafa doğru kaymasını sağlamaktadır. Kayar raflar normal ayaklara bağlanan, kaydırma rayları ve makaralardan oluşmaktadır. Kayar raflarda böylece mal hiç bir zaman ne unutulur, ne de bayatlar. Makaraların adetleri, kutuların boyutuna ve ağırlığına göre değiştirilebilmektedir. Doldurma tarafında bulunan ayırıcılar, kayar kanalların birbirlerinden ayrılmasını sağlamaktadır.

Raf ön yüzünün şekli, sipariş hazırlama işlemlerini oldukça etkilemektedir. Malzemenin cinsi, şekli ve ölçülerine ve boşaltma birimlerine bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. İkinci önemli etmen ise, raf içerisine nakil mesafesinin bütünleştirilip bütünleştirilmeyeceğidir. Buradaki en önemli etmeni ergonomi oluşturmaktadır. Sipariş hazırlama işlemi manuel olarak gerçekleştiği için çalışanın malzemeye ulaşma mesafesi plânlanmalı ve gerekli durumlarda basamak kullanılmalıdır. Yükleme ve boşaltma sürelerinin kısaltılması, malzemeye çabuk ulaşım, kullanım açısından ergonomik tasarımı bu sistemin üstün yanlarından (Hopbaoğlu, 2009).

3.2.2.11 Mezanin tip raf sistemleri

Özellikle küçük ve çok sayıda ürün çeşidinin söz konusu olduğu yedek parça depolama için alan gereksinimi düşünüldüğünde, en ekonomik çözüm olarak bu sistem önerilmektedir. Mal istiflemeyi veya toplamayı yapacak personel boyu ile sınırlı olan bu tür ve tipte ürünlerin depolanması için iki veya çok katlı çözüm olarak sunulmaktadır. Mezaninler, baş hizası üstü yüksekliğini verimli depolama bölgelerine çevirmektedir. Böylece değerli zemin bölgesini daha önemli işler için ayırmak olanaklı olmaktadır. Bunlar, depolanan malları yükselterek, zemindeki yükleme-boşaltma veya üretim gibi etkinliklerin trafiğini hafifletmekte, hacim kullanımını daha verimli duruma getirerek enerji, bakım ve yatırım mâliyetlerini azaltmaktadır (Hopbaoğlu, 2009; Tezcan, 2007).

Elle yükleme yapılabilen mezanin sistemler, ürünlerin istenilen yere konulması ve istenildiği anda kolay ulaşılması üstünlüklerine de sahiptir. Ürünlerin gruplandırılması kolayca yapılabilir. Böylece sipariş hazırlamada, ürün toplamada ve ürün yerleştirmede kolaylık sağlanmaktadır. Yürüme platformlarının üzerinde manuel transpaletler kullanılabilir. Tüm parçaları demontedir, istenildiği zaman başka yerlere taşınabilmektedir. Şekil 3.17’de mezanin tip raf sistemleri görülmektedir (Hopbaoğlu, 2009; Tezcan, 2007).



Şekil 3.17 : Mezanin tip raf sistemleri örnekleri (Hopbaoğlu, 2009; Tezcan, 2007).

3.2.2.12 Sipariş hazırlama raf sistemleri

Depo düzenlemesi ve sipariş hazırlama işlemleri için gereksinimler, günümüzdeki ürünlerin çeşitliliğinin çoğalmasından dolayı artış göstermektedir. Sipariş hazırlama, en yoğun ve personel gerektiren işlemdir ve depo/sevkiyat bölümlerinin kesişme noktasıdır (Hopbaoğlu, 2009). Kutu rafları, küçük parça siparişlerin toplanmasında kullanılan en eski ve hâlen kullanımı en yaygın olan ekipmanlardır (Tompkins ve

Smith, 1998). Bu sistem, stoklanan ürünlerin yükleme ve boşaltma operasyonlarının herhangi bir istifleme aracı olmaksızın manuel olarak yapıldığı durumlarda yeğlenmektedir. Paletsiz olarak stoklanan, kutulu veya kutusuz ürünler için ideal bir çözümdür. Şekil 3.18’de sipariş hazırlama raflarına ilişkin örnekler yer almaktadır (Hopbaoğlu, 2009; Tezcan, 2007).

Sipariş hazırlama raflarının çok fazla yeğlenmesinin nedenleri; ilk mâliyetlerinin düşük olması, kurulum ve yeniden düzenleme sırasındaki kolaylık ve düşük yönetim gereksimlerinin söz konusu olmasıdır. Bu üstün yanlarına karşılık zeminde fazla alan kullanımı ve diğer sistemlere oranla daha fazla işgücü gerektirmesi, yönetsel ve ürün güvenliği konusunda ortaya çıkabilecek sorunlara açık olması, sistemin olumsuz yönleridir (Tompkins ve Smith, 1998).

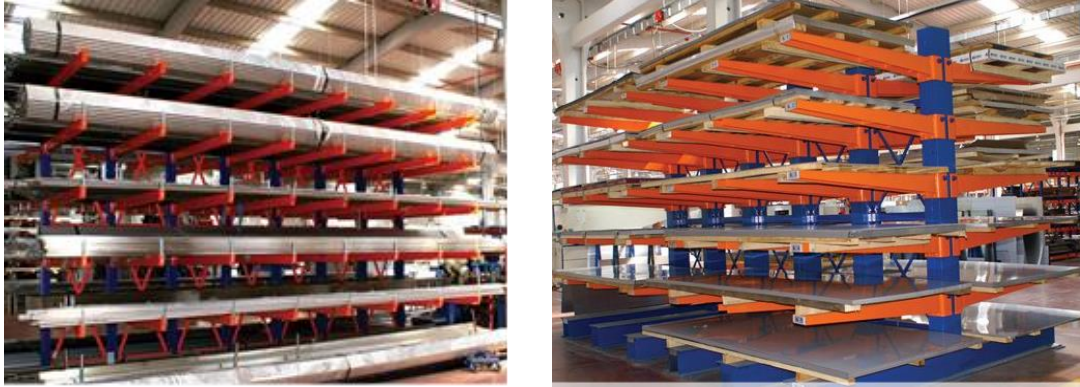


Şekil 3.18 : Sipariş hazırlama raf sistemleri (Hopbaoğlu, 2009; Tezcan, 2007).

3.2.2.13 Konsollu tip raf sistemleri

Konsol kollu raflar özellikle uzun malların (profil, boru, plastik vb.) depolanmasında kullanılmaktadır. Bu sistem, ek elemanlar ile istenilen uzunluğa ayarlanabilmektedir. Farklı uzunluktaki malların yan yana ve aralıksız depolanması için en uygun konstrüksiyona sahiptir.

Günümüzde işletmeler her alanda orta ve ağır yükler için konsol kollu raf sistemleri kullanmaktadır. Bu sistemlerin sağladığı üstünlükler; ölçü ve taşıma kapasitesi açısından sınır sorununun olmaması, civatalı sistemi sayesinde kolay monte edilebilmesi, istenilen yere taşınabilmesidir. Şekil 3.19’da konsollu tip raf sistemi örnekleri görülmektedir (Hopbaoğlu,2009):



Şekil 3.19 : Konsollu tip raf sistemleri örnekleri (Hopbaoğlu,2009).

3.2.2.14 Dar koridor raf sistemleri

Dar koridor raf sistemi, depo hacmini yatay ve düşeyde daha verimli kullanabilmek için uygun istifleme araçlarına göre koridorları daraltılmış raf sistemidir. İşletmenin çok çeşitli ürün stoğuna ve yüksek hızda mal sirkülasyonuna sahip olması, bu tür depolama sistemini kullanmasını gerektiren en önemli nedenlerdir. Bu sistem ile aşırı veya yetersiz depolama riski enazlanmaktadır. Bu raf sistemine ilişkin örnek Şekil 3.20’de verilmektedir (Tanyaş, 2011).

3.2.2.15 Mekik raf sistemleri

Bu sistem, “Drive-in Otomasyonu” olarak da bilinir. Yarı otomatik depo raf sistemi olup, her yükleme katında FILO (First In Last Out – İlk Giren Son Çıkar) ve/veya FIFO (aynı yükleme katında her iki tarafı da açıksa) ilkelerinin uygulanması olanaklıdır.

Derinlemesine yükleme yapılan sistemde, alanda en üst düzeyde depolama sağlanmaktadır. Bu sistemde derinlik yönünde istiflenen paletler, mekik aygıtının otomatik hareketi yardımıyla sırayla yüklenebilmekte ve boşaltılabilmektedir.

Bir kumanda yardımıyla mekik aygıtına verilen komutlar, hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Mekik aygıtı, elektromekanik bir yapıya sahip olup, özel aküsü ve lazer okuyucuları sayesinde “İçine Girilebilir” sisteme göre hız ve güvenlik açısından daha kullanışlıdır. Projelerdeki yerleşime göre FIFO ilkesine uygun olarak da çalışılabilmektedir. Mekik raf sistemlerine ilişkin örnekler Şekil 3.21’de verilmektedir (Tanyaş, 2011).



Şekil 3.20 : Dar koridor raf sistemleri örneği (Tanyaş,2011).



Şekil 3.21 : Mekik raf sistemleri örneği (Tanyaş,2011).

3.2.2.16 Paletsiz depolama sistemleri

Depo operasyonlarında genellikle palet kullanılmasına rağmen bazı ürünlerde paletli depolama ve taşıma yapmak olanaklı olmamaktadır. Bu ürünler; çok küçük, çok büyük veya çok uzun olan ürünler olabilir. Örnek olarak elektronik parçalar, çelik borular, variller, civata ve vidalar, halılar vb. gibi verilebilmektedir.

Küçük ürünlerin depolanması için uzun veya kısa uzunluktaki raflar kullanılmaktadır. Raflar, değişik yükseklikte, değişik dikey boşluklu ve değişik derinliği olan ürünleri depolamada kullanılmaktadır. Uzunlukları genellikle 1 metre civarında olmakla birlikte daha uzun raflar da kullanılmaktadır.

Rafların yanı sıra birçok değişik malzemeden üretilmiş sepetler de sanayide kullanılmaktadır. Galvanize edilmiş çelik, polipropilen veya tel örgü şeklindeki sepetler bunlara örnektir. Bu sepetler belirli boyutta yapılmakta ve içlerine ürünler doldurularak istiflenmektedir. Aynı ürün için bile birçok değişik boyutta sepet kullanılabilir.

Çekmeceler ise diğer bir depolama sistemi olup serbest durabildikleri gibi raflarda monte edilebilmektedir. Çekmece boşluklarını daha iyi kullanabilmek için bölmeler de kullanılabilir. Çekmeceler, elektronik parçaları, makina parçalarını ve diğer narin parçaları saklamak için ideal bir depolama aracı olarak değerlendirilmektedir. Çekmeceler, parçalara veya ürünlere kolay ulaşılabilmeyi sağlamakla birlikte temiz ve güvenli bir ortam yaratmaktadır.

Uzun ürünler için ise güvercin yuvası raflar veya destek raflar kullanılmaktadır. Güvercin yuvası raflar, özellikle uzunluğu boyunca korunması gereken ürünlerin stoklanmasında kullanılırken, destek raflar uzun boyutlu barları ve tüpleri stoklamak için kullanılmaktadır. Bu tür ürünlerin stoklanmasında kullanılan depolama sistemlerinin örnekleri, Şekil 3.22’de verilmektedir (Tanyaş, 2011).

3.2.3 Raf sistemlerinin karşılaştırılması

Depo tasarımı sürecinde ürün özelliklerine ve süreçlere uygun depolama sistemi seçerken hacimden yararlanabilme, yüksekliği verimli şekilde kullanabilme, sipariş toplama kolaylığı, ürünün güvenilirliğinin sağlanması, stok kontrolü gibi konularda depolama sistemlerinin sunduğu üstünlükler ve olumsuzluklar değerlendirilmelidir.



Çekmece



Güvercin Yuvası Raf



Destek Raf

Şekil 3.22 : Paletsiz depolama sistemleri örnekleri (Tanyaş, 2011).

Çizelge 3.1’de depolama sistemlerine ilişkin karşılaştırma tablosu yer almaktadır. Örneğin istenilen ürüne ulaşabilme kolaylığı sırt sırta, dar koridor ve otomatik depolama sistemlerinde en üst düzeyde iken, blok istifleme modelinde % 10 gibi düşük bir düzeydedir. Diğer bir açıdan, stok çevrim hızı yüksek olan ürünlerin depolanmasında magazinli, dinamik ve otomatik depolama sistemleri uygun iken, zemin üzerinde blok şeklinde istifleme yapılması, yeğlenmemesi gereken bir depolama sistemidir (Hopbaoğlu, 2009; Tezcan, 2007).

Çizelge 3.1: Depolama sistemlerinin karşılaştırması (Hopbaoğlu, 2009).

	Zemin	Sırt Sırta	Çift Sıra Sırt Sırta	Dar Koridor	İçine Girilebilir	Magazinli	Dinamik	AS/RS
Hacim verimi	%65	%45	%55	%57	%65	%85	%80	%62
Yükseklik verimi	%75	%100	%80	%100	%75	%90	%70	%95
Yüke ulaşılabilirlik	%10	%100	%50	%100	%30	%50	%50	%100
Sipariş toplama	%5	%100	%40	%100	%30	%30	%30	%100
Fiziksel zarar riski	%3	%0,2	%0,3	%0,2	%1	%0,2	%0,5	%0,1
Yük dengesi	%90	%100	%100	%100	%99	%100	%95	%100
Stok kontrol	%0	%95	%70	%95	%70	%70	%70	%100
Stok Çevrim Hızı	%0	%60	%40	%70	%40	%90	%100	%95

3.2.4 Otomatik depolama sistemleri

Otomatik depolama sistemleri (AS/RS) olarak adlandırılan depolama sistemleri genel olarak ambarlama, fabrika içi dağıtım ve depolama işlemlerinde kullanılmaktadır. Bu sistemler palet, fiçi, koli gibi parça malların yüksek yoğunlukta ve çok miktarda depolanması için uygundur (Hopbaoğlu, 2009). Bu sistemlerde depolama ve boşaltma görevini üstlenen makina, eşzamanlı olarak yatay ve dikey yönde hareket edebilmektedir (Tompkins ve Smith, 1998).

Günümüzde çağdaş bir dağıtım merkezi kurmak, otomatik bir sipariş hazırlama sistemi gerektirdiği gibi, söz konusu sistemin, karmaşık olan süreçleri basit ve pratik bir duruma getirme zorunluluğu doğmaktadır. İşletmenin çok çeşitli mal stoğuna ve yüksek hızda mal sirkülasyonuna sahip olması, otomatik bir depolama ve boşaltma sistemini kullanılmasını gerektiren en önemli nedendir (Hopbaoğlu, 2009).

AS/RS sistemi tüm üretim dallarında, dağıtım, lojistik ve tüm ticarî işletmelerde uygulanabilir. Hacimli yükler için kullanılabilecek birim yük (unit load) AS/RS sistemi özellikle, işletmelerin çok yönlü depolama gereksinimlerini gidermek için idealdir. Bu sistemde ürünler ahşap ve plastik palet, metal ve tel kafesli sandık, manuel taşıma araçları vb. yardımcı istifleme ekipmanları için uygundur. Küçük hacimli ürünler için kullanılabilecek küçük yük (mini load) sistemi, genel amaçlı olarak , çok çeşitli sektörlerde üretim işlemi sırasında ve sonrasında depolama amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bu sistemde ürünler plastik ve karton kutu, tabla vb. yardımcı istifleme ekipmanları kullanılarak depolanmaktadır.

Otomatik depolama sistemlerinin üstünlükleri şunlardır (Tezcan, 2007):

- Ürünlere ilişkin sayım bilgileri tutarlılığının sağlanması
- Doğrudan ve dolaylı işçilik tasarrufunun sağlanması
- Mağaza ve bayilere sevkiyatlarda, sipariş boyutlarının küçülmesi
- Esnek üretim sistemleri ile bütünleşik çalışabilmesi; üretim ve kontrol sistemlerindeki geçici stok alanlarının elimine edilmesine yardımcı olması
- Yanlış ürün çekişlerinin ve yinelemelerin ortadan kaldırılması
- Depolama alanı tasarrufunun sağlanması
- Aydınlatma ve ısıtma gereksinimlerini ortadan kaldırması

- Yeni üretim teknolojilerini desteklemesi
- Stok devir hızını arttırması
- Taşıma sırasındaki zedelenme ve yıpranmalarda azalmalar sağlaması
- Ürünlerin tam olarak nerede olduğunun bilinmesi sayesinde, ürünlerin aranması ve benzeri katma değerli olmayan faaliyetlerin elimine edilmesi, yükleme ve çekme zamanlarının azalması
- Barkodlama vb. kırtasiye masraflarının azaltılması
- İrsaliye basımı gibi zaman alan işlemlerin otomatik duruma getirilmesi, bu işlemler için işgücü gereksiniminin azaltılması
- İrsaliye ve çıkış bilgilerinin daha sağlıklı duruma gelmesi
- Isıtma-aydınlatma gibi giderlerde tasarruf sağlanması

Otomatik depolama sistemlerinin sakıncaları şunlardır (Tezcan, 2007):

- Yüksek mâliyet gerektirmesi
- Kurulumların uzun zaman alması
- Bakım ve ekipman gibi pahalı giderlere neden olması
- Güçlü bir bilgisayar sistemi ile çalışıldığından, bunun bakımı ve geliştirilmesi için ayrı bir bilgi işlem biriminin kurulma gerekliliğinin bulunması

Şekil 3.23'te küçük ve büyük hacimli yükler için kullanılmakta olan otomatik depolama sistemleri ile ilgili örnekler görülmektedir.



Şekil 3.23 : Otomatik depolama sistemleri örnekleri (Hopbaoğlu, 2009).

3.3 İstifleme ve Elleçleme Ekipmanları

Depolarda depo iş süreçlerinin gerçekleştirilmesinde, özellikle malzemelerin yüklenmesi, boşaltılması ve taşınmasında kullanılan çeşitli istif makinaları ve malzeme elleçleme ekipmanları bulunmaktadır. Bu araçların kullanımında dikkate amaç, ürünün ilgili noktaya hasarsız ve hızlı bir şekilde ulaştırılmasıdır. Depolamada kullanılan bu araçlar; teknik özelliklerine, kapasitelerine, yaptıkları işe, kullanımında sağladığı üstünlüklere ve tasarımlarına göre farklılıklar göstermektedir.

Ürünün ambalaj yapısı, hareket yoğunluğu, saklama koşulları, ağırlığı, gerek istif sistemlerinin gerekse de istif makinalarının seçimine etkide bulunan ayrıntılardır. Öyle ki birisindeki seçim diğerini etkilemekte, birbiri ile yakından ilişkili olduğundan, birinde yapılan hata diğerinde de hata yapmaya neden olmaktadır. İstif makinalarının dönüş mesafesi, çıkma kapasitesi, ürün toplama şekli, ürünün hassasiyeti, doğrudan raf sistemini ve depo tasarımını da etkilemektedir (Hopbaoglu, 2009).

Konuralp (1993), çalışmasında, depo tasarım sürecinde kaynak plânlaması ile ilgili olarak ekipman seçiminde izlenecek olan adımları şu şekilde sıralamıştır:

1. Ekipmanların yapacağı işlevlerin tanımlanması
2. İlgili ekipman seçeneklerinin belirlenmesi
3. Bu seçeneklerin eldeki veriler doğrultusunda değerlendirilmesi
4. Ekipmanın seçilmesi

Adım 1: Çizelge 3.2’de yer alan sorulacak birtakım sorularla ekipmanların yapacakları işlevler saptanabilir.

Adım 2: Yapılacak işleri yerine getirebilecek ekipman seçenekleri toplanır.

Adım 3: Bu toplanan seçenekler arasından seçim yapılır. Ancak günümüz pazar koşullarında aynı işleri yapabilecek çok çeşitli ekipman vardır ve bu nedenle seçim zor olabilir. Ekipman seçenekleri arasında değerlendirme yaparken şu noktalara dikkat edilmektedir:

- Ekipmanın istenilen depo operasyonlarını gerçekleştirebilme yeteneği
- Ürünlerdeki değişikliklere (ambalaj boyutları gibi) uyabilme (esneklik)

- Depo içi yerleşim düzeninde ve bina kısıtlarında çalışabilme yeteneği
- Yer kullanımı
- Operatöre kullanım kolaylığı sağlayabilme
- Gözetimde bulunabilme kolaylığı
- Eğitimli opeatör temin edebilme
- Sık olması olası arızaların frekansı ve ciddiyeti
- Hizmet alma olanağı
- Bakım ve kolay onarılabılme olanağı
- Stoklanması gereken yedek parça miktarı
- Yedek parçaların kolay temin edilebilir olması
- Yüke hasar verme riski
- İşe göre uygun hız özelliği
- Personel problemleri (eğitim, gereksiz işçi tasarrufu)
- Ekipmanın her yerde kolay bulunabilirliği
- Doğal koşullardan etkilenme (zemin, hava gibi)
- Çalıştırma zamanı (karmaşık göstergeler ve panel gibi)
- Fiyatı
- Piyasadaki talebi

Belli başlı istif makinaları şunlardır:

- Çaka (Forklift, çatallı kaldırıcı)
- Dar koridor çakası
- Dar koridor istif makinaları
- Sipâriş toplayıcı
- Akülü istif makinaları
- Transpalet

Çizelge 3.2: Ekipmanın amacı ve yanıtlanması gereken sorular (Konuralp, 1993).

Boşaltma	• Hangi tip kamyonu hizmet verilecek ? • Hangi tip yük boşaltılacak ? • Yük ağırlıkları ne olacak ? • Boşaltma alanının kısıtları nelerdir ? • Kaldırma işlemi yapılacak mı ? Hangi yüksekliğe ?
İstifleme	• İstifleme için hangi tür palet ve raf sistemi kullanılacak ? • Hangi tip yük istiflenecek ? • Yükün ağırlığı ne olacak ? • Yük hangi yüksekliğe kadar kaldırılacak ? • Yükler istife nasıl gelecek ? • İstifleme alanındaki koridor genişlikleri ne olacak ?
İstiften yük alma	• Hangi tip yük alınacak ? Yükün hepsi mi, parça parça mı ? • Yükün ağırlığı ne olacak ? • Hangi tip raftan alınacak ? • Yük ne kadar yükseğe istiflenmiş ? • Yük nereye iletilecek ?
Yükleme	• Hangi tip yük yüklenecek ? • Yükün ağırlığı ne olacak ? • Yükler nereden gelecek ? • Yükler kaldırılarak mı yüklenecek ? • Hangi tip nakliye araçları kullanılacak ? • Yükleme alanındaki kısıtlar nelerdir ?

İstif makinalarının yanında konveyörler, otomasyona dayalı malzeme taşıma ve yerleştirme sistemleri de depo süreçlerinde kullanılan malzeme taşıma ekipmanlarıdır (Hopbaşı, 2009).

3.3.1 Çaka (Forklift)

Depo içerisinde çok sık kullanılan bir ekipman olup, elektrikli, tüplü ve dizelle çalışan modelleri vardır. Yükü istenilen yere taşımada, kaldırmada, indirmede ve yerleştirmede kullanılmaktadır (Konuralp, 1993). Oldukça geniş bir alanda çalışabilmekte, taşıma işlemini hem deponun içindeki hem de dışındaki alanlarda gerçekleştirebilmektedir (Hopbaşı, 2009). Raflar arasında çalışanları da vardır. Bu tip çakalar çok dar alanlarda ve farklı yüksekliklerde çeşitli aparatlar yardımıyla birçok yükü istifleyebilmektedir (Konuralp, 1993). Ön kısmında yer alan çatal ile yükün veya yükü taşıyan paletin altına girilerek yükleme yapılmaktadır.

Özellikle dış kullanımda yağlanması gerekli olan bu makinalar, 1 tondan 50 tona kadar değişik kapasitelerde karşımıza çıkmaktadır. Kapasite arttıkça makinanın elektrikli kullanımı yerine dizel motor kullanımı yağlanmaktadır. Salt 1-1,2 ton

civarındaki makinalarda tekerlek sayısı 3 olup, artan tonajlarda 4 teker veya üzerine çıkılmaktadır. Asansör tipi olarak standart, iki katlı, üç katlı seçenekleri varolup, yükseklik veya araç içine girme özelliğine göre yeğlenmektedir. Üç katlı olanlar hem kaldırma kapasitesi yüksek, hem de araç içine giren tiplerdir (Hopbaoğlu, 2009). Şekil 3.24’te çaka örnekleri görülmektedir.



Şekil 3.24 : Çaka çeşitleri (Hopbaoğlu, 2009).

3.3.2 Dar koridor çakası (Reach Truck)

Depo içinde alan kısıtı olan firmaların yeğlediği, dar alanlardan dönebilen (2,8-3,5 m), tümü elektrikle çalışan, poliüretan tekerlekli, elektronik destekli, geniş güvenlik seçenekleri olan, epoksi zeminlere zarar vermeyen makinalardır (Tezcan, 2007). Şekil 3.25’te bir dar koridor çakası örneği görülmektedir.



Şekil 3.25 : Dar koridor çakası örneği (Hopbaoğlu, 2009).

Taşıma kapasiteleri 1,2 tondan başlayıp, 3 tona kadar çıkmaktadır. Bu makinaların en büyük üstünlüğü, yüksekliğe bağlı olarak kaldırma kapasitesinde büyük bir kayıp olmamasıdır. Örneğin 1,6 ton taşıma kapasitesi olan bir makina 4-5 m ölçülerindeki yüksekliklerde en fazla 200 kg. gibi bir güç kaybetmektedir (Hopbaoğlu, 2009).

3.3.3 Dar koridor istif makinaları

Paletli hareketin veya sipariş toplamaların ağırlıklı olduğu depolarda kullanılan, bir ray üzerinde hareket eden, depolarda düşük metrekaresi alanlarda yüksek depolama kapasitesi sağlamak amaçlı olarak yeğlenen bir makinadır. Bu makina, diğerlerinden farklı olarak gövde dönmeden, çatallarını 180 derece hareket ettirmektedir. Bu nedenle alanlarda 140-160 cm ölçülerindeki palet hareketine izin vermektedir (Hopbaoğlu, 2009). Şekil 3.26'da dar koridor istif makinalarına örnekler verilmiştir.



Şekil 3.26 : Dar koridor istif makinaları (Hopbaoğlu, 2009).

3.3.4 Sipariş toplayıcılar

Sipariş toplayıcılar, dar koridor çakası için geçerli olan özellikleri taşımakta olan, farklı olarak yatay ve dikey yönde sipariş toplama yaparken operatörün de yükselmesini sağlayan, diğer bir deyişle operatörün de makina üzerinde yer değiştirmesine olanak veren ekipmanlardır. Bazı sipariş toplayıcılar için koridorlara operatörün istif makinasını rotalamasına yardımcı olan raylar döşenmektedir. Yatay sipariş toplayıcı ve dikey sipariş toplayıcı olmak üzere iki ana model bulunmaktadır.

Şekil 3.27’de yatay ve dikey sipariş toplayıcı istif makinası örnekleri görülmektedir (Hopbaoğlu, 2009).



Şekil 3.27 : Sipariş toplama araçları (Hopbaoğlu, 2009).

3.3.5 Elektrikli istif makinaları (sticker)

Bu makinalar, Şekil 3.28’de görüleceği üzere yaya yürümeli veya yürümesiz (platformlu) olarak ikiye ayrılmaktadır. İşlem hacminin fazla yüksek olmadığı adapolarda, genelde palet bazlı hareketin yaşandığı yerlerde kullanılmaktadırlar. Tümü elektrikli makinalardır. Kapasite olarak düşük kaldırma ve düşük yük kapasitesine sahiptirler (Hopbaoğlu, 2009).



Şekil 3.28 : Elektrikli istif makinaları (Hopbaoğlu, 2009).

3.3.6 Transpalet

Manuel veya elektrikli olmak üzere iki tipte olan, depoda sipariş toplama, araç yükleme ve boşaltma işlemlerinde kullanılan, ortalama 120 mm. ve en çok 550 mm. kaldırma özelliklerinde çeşitleri bulunan, dolayısıyla alçak konumlarda çalışmaya

elverişli ve mâliyeti düşük makinalardır. Şekil 3.29’da elektrikli ve manuel tranpalet çeşitleri görülmektedir (Hopbaoğlu, 2009).



Şekil 3.29 : Elektrikli (soldaki) ve manuel (sağdaki) tranpalet (Hopbaoğlu, 2009).

3.3.7 Konveyörler

Taşımanın sabit bir rota üzerinde yapılmasını sağlayan konveyörler, malzemeyi iki nokta arasında tek yönlü hareketle sürekli veya kesikli olarak taşıyan sabit veya portatif araçlardır (Hopbaoğlu, 2009). Raflardan yük almada ve rampalarda sıkça kullanılmaktadır. Barkod okuyucular ve bilgisayar ile donatılmış çok çeşitli ve karmaşık konveyör sistemleri bulunmaktadır. Bunlar özellikle iş hacminin yüksek olduğu çağdaş iş merkezlerinde sıkça kullanılmaktadırlar (Konuralp, 1993). İleri düzey sistemler ile işletilen konveyörler, siparişin hazırlanması aşamasında ayırıcı ve ayıklayıcı gibi görevleri üstlenerek operasyona önemli derecede katma değer sağlamaktadır.

Hopbaoğlu (2009) çalışmasında, kullanılma amaçlarına göre çeşitlenen ve farklı çalışma özelliklerine sahip konveyörlerden söz etmiştir.

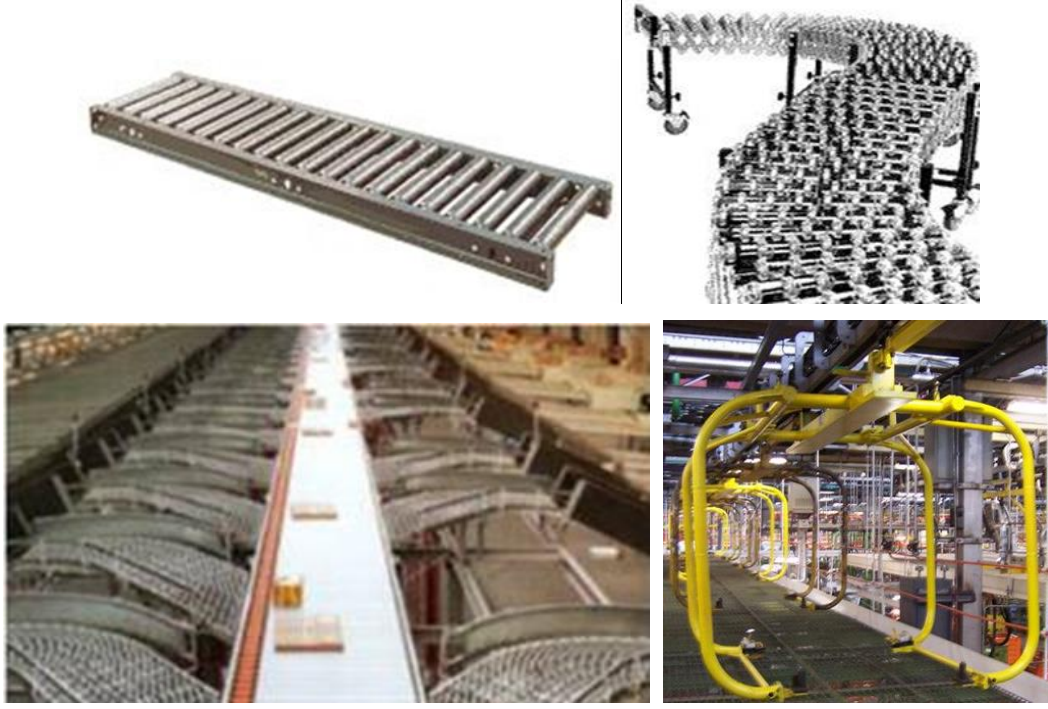
Kaymalı konveyörler; yerçekimine dayanarak çalışan konveyörlerdir. Malzeme eğik ve pürüzsüz bir düzlemde ya da eğime sahip rulmanlı yataklar üzerindeki silindirler üzerinde kaydırılarak hareket ettirilmektedir.

Bantlı konveyör; taşıma gücünü elektrik motorundan almaktadır. Bandın esnememesi için altına silindirler yerleştirilmiştir. Oldukça uzun yapıda olabilir.

Zincirli konveyörler; taşıma işini motor tarafından hareket ettirilen zincir yapmaktadır. Yatay, eğik ve düşey taşımalar zincir sayesinde yapılabilir.

Pnömatik konveyörler; çevreye zarar verebilecek malzemelerin taşınmasında kullanılmaktadırlar. Hava basıncı ile toz veya ufak kutular içindeki malzemeler kapalı bir borunun içinde taşınabilmektedir.

Şekil 3.30’da örnek konveyör düzenekleri yer almaktadır.



Şekil 3.30 : Konveyör tipleri (Hopbağlu, 2009).

3.3.8 Otomatik yönlendirmeli araçlar (AGV)

Bu sistemler tesis içinde herhangi bir noktadan malzeme siparişlerini alabilen, çeşitli noktalardaki malzemeleri bir depoda toplayan ve depodaki malzemeleri gereksinimi olan iş istasyonlarına dağıtan sistemlerdir. Bu sistemlerde barkodun önemi çok büyüktür. Çünkü bilgisayarlar malzemeyi barkod sayesinde okutmaktadır (Konuralp, 1993).

Bu sistemler, etkili bir iletişim sistemi ve bilgisayar sistemi ile donatılmışlardır. Bilgilerin alınmasında iletişim sistemi ve bu bilgilere dayalı işlemlerin yapılmasında bilgisayar sistemi rol oynamaktadır. AGV’ler bu sistemlerin en çok bilinenlerindendir. Çeşitli tipleri olan AGV’ler insansız çakalara benzemektedirler (Hopbağlu, 2009).

AGV’lerle yükün taşınması, transfer edilmesi, yükseltilmesi gibi işlemler otomatik olarak yapılabilmektedir. AGV’lerde, yere döşenen hassas kablo ve duvarlara ve

kolonlara döşenen sensörler ile gerçekleştirilmek üzere iki çeşit yön tayini bulunmaktadır. Sistemin geçeceği yerler ve yapacağı işlerin kontrolü, sensörler veya bilgisayarlar yardımıyla olmaktadır. Mâliyetleri yüksek ekipmanlar olup günümüzde özellikle robotlarla birlikte kullanılmaktadırlar (Konuralp, 1993). Şekil 3.31’de lazer kılavuzlu bir AGV örneği görülmektedir.



Şekil 3.31 : Lazer kılavuzlu AGV (Hopbaoğlu, 2009; Konuralp, 1993).

3.3.9 Streçleme makinası

Streçleme makinası; palet üzerine istiflenerek birim yük hâline getirilen ürünlerin dağılmaması, yağmur ve toz gibi doğal etmenlerden etkilenmemesi ve yükün sağlam ve güvenilir bir biçimde alıcıya ulaşması için streç film (ince plastik film) kullanılarak ve sıkıca birkaç kat sarılarak yapılan bir ambalajlama ekipmanıdır (Tompkins ve Smith, 1998). Şekil 3.32’de bir streçleme makinası örneği görülmektedir.

3.4 Zemin

Verimli ve etkili bir depoya sahip olmak, depo zeminini sağlam oluşturmaktan geçmektedir. Çünkü zemin; paletli raflar, koli kayar raflar, mezaninler, AS/RS, konveyörler ve dar koridor çaka işlemleri gibi malzeme akış sistemlerinde son derece büyük bir öneme sahiptir.



Şekil 3.32 : Streçleme makinası (Hopbaoğlu, 2009).

Genel bir kural olarak koridorlar ne kadar daralırsa zemin yapısı ve özellikle de zeminin düzlüğü o derece önem kazanmaktadır. Dayanıklılığı geliştirmek için de bazı zeminlerde, özellikle trafiğin yoğun olduğu alanlarda temel betonu ve birinci sınıf tozlanmayan zeminler yapılabilmektedir. Bunun sonucu olarak da tam anlamıyla korunmuş zeminlerde daha kolay temizlenen, daha uzun ömürlü ve gelişmiş çalışma alanları oluşmaktadır. Bununla birlikte korunmuş zeminler, istiflenmiş ürünlerin tozlanma riskini azaltmaktadır (Hopbaoğlu, 2009; Tezcan, 2007).

Zemin döşeme tasarım ilkeleri şu şekilde özetlenebilir (Hopbaoğlu, 2009):

- Varolan bir depo inşaatı üzerinde bir depo tasarımı yapılmakta ise ve zayıf bir zemin söz konusu ise, seçenek raf tasarımları ile noktasal yükleme sorunu azaltılabilir.
- Yüksek yapılardaki zemin, kurulacak yüksek raf sistemlerinin taşıyacağı yükü dengeleyecek yapıda tasarlanmalıdır.
- Rafların ayak pabuçlarının boy ve kalınlıklarının arttırılması, raftaki taşınan yükün dengelenmesi için zeminin güçlendirilmesine görece daha ucuz bir yöntemdir. Ancak, ekipman kullanımında lastiklerin bu durumdan zarar görebilme riski vardır.
- Yük taşıyan yapılara, duvarlara ve kolonlara genellikle ayaklık gerekmektedir. Bu yapılar güçlendirilmemiş zemin üzerine doğrudan yerleştirilmemelidir.
- Sonradan olabilecek hasarları önlemek amacıyla, zemine ilk yapım aşamasında dökme yoluyla gerekli taban temel yapılmalıdır.

3.5 Personel Planlama

Depo tasarımı sürecinde personel plânlanması yaparken, öncelikle depo iş süreçlerindeki adımların tanımlanması gerekmektedir. Ardından her bir adım için bir süre belirlenip belli bir zaman aralığındaki gerçekleşmesi beklenen iş hacmi ve personel başına düşen çalışma saati dikkate alınarak toplam gerekli personel sayısına ulaşmak olanaklıdır. Konuralp (1993) tarafından buna benzer bir yöntemle personel sayısı hesabına ilişkin bir çalışma sunulmuştur.

Örnek:

Giren ürün adedi	= 3.200 adet/gün
Paletteki ürün adedi	= 4 adet/palet
Giren palet adedi	= $3.200 / 4 = 800$ palet/gün
Palet giriş süresi	= 0,05 saat/palet
Toplam palet giriş süresi	= $800 * 0,05 = 40$ saat/gün
İstifleme süresi	= 0,03 saat/palet
Toplam istifleme süresi	= $800 * 0,03 = 24$ saat/gün
Depo içi palet yer değiştirme süresi	= 0,03 saat/palet
Palet değiştirme yüzdesi	= %10
Değişen palet adedi	= $800 * 0,10 = 80$ palet/gün
Toplam değişim süresi	= $80 * 0,03 = 2,4$ saat/gün
Sipariş verme ve çekiliş	= 0,02 saat/palet süresi
Siparişi verilen ve çekilen palet	= 500 palet/gün
Toplam sipariş verme ve çekme süresi	= $500 * 0,02 = 10$ saat/gün
Kontrol ve yükleme süresi	= 0,04 saat/palet
Kontrol edilen ve yüklenen palet sayısı	= 500 palet/gün
Toplam kontrol ve yükleme süresi	= $500 * 0,04 = 20$ saat/gün
Toplam yapılan iş süresi	= $40 + 24 + 2,4 + 10 + 20 = 96,4$ saat/gün
Günlük net çalışma süresi	= 7,5 saat/gün

Gerekli İşçi Sayısı

$$= 96.4 / 7.5 = 13,5 \text{ kişi}$$

Verilen örnek, depo içerisindeki operasyonlarda ürünlerin fiziksel hareketinde görevli alan personelinin plânlanmasına ilişkindir. Bu ekibin dışında temizlik görevlisi, dökümantasyon sorumlusu, bilgi-işlem operatörü, depo amiri, depo lideri veya depo müdürü gibi rollerde bulunan bir personel kadrosu da vardır.

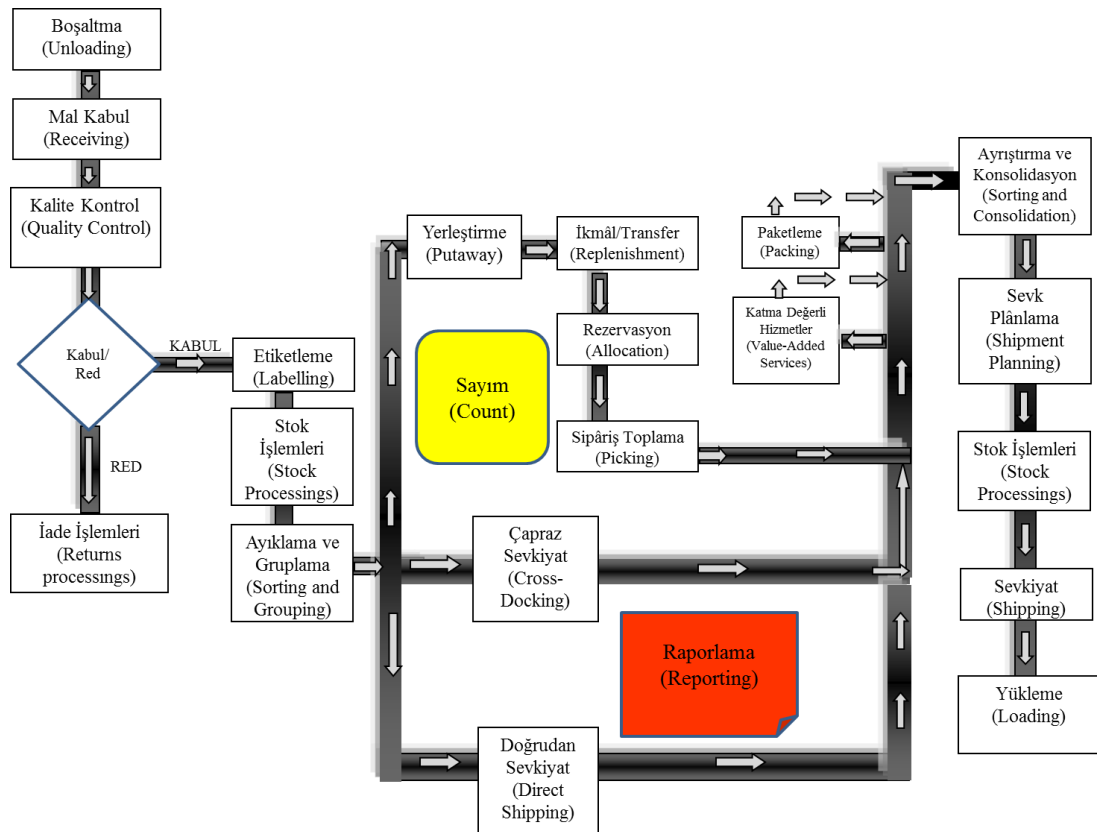
Personel plânlamasında baz alınan zaman aralığı geniş tutulduğunda, diğer bir deyişle büyük resime bakıldığında, salt iş hacmi miktarını ve normal çalışma süresini dikkate almak yeterli olmayabilir. İş hacminin ay veya hafta gibi zaman dilimleri içerisindeki dağılımı, uygulanacak vardiya düzenini ve fazla mesai oranını etkilemektedir.

Her bir işin tanımı yapılarak operasyonun gereksinim duyduğu kadro tamamlandıktan sonra personel, operasyonun gereklilikleri, iş güvenliği ve iş sağlığı, kurallar vb. konular ile ilgili olarak oryantasyon sürecine tâbi tutularak operasyona hazır duruma getirilmektedirler.

Sonuçlar irdelendiğinde siparişlerin ortalama teslim gecikmesi süresinin düşük olduğu görülmektedir. Fabrika, gelen siparişleri hemen plânlama programına girdi olarak sunmamaktadır. Öncelikle plânlama bölümü, müşteriye verebileceği en erken teslim tarihini bildirmektedir ve müşteriden gelen bilgiler ışığında teslim tarihleri belirlenmektedir. Bu nedenle de varolan siparişlerin teslim tarihi sıklığı düşüktür. Eğer teslim tarihleri sıkı olsaydı sonuçların da daha farklı olması beklenebilirdi.

3.6 Depolama Süreçleri

Rouwenhorst ve diğ. (2000), depo tasarımı açısından göz önünde bulundurulması gereken en önemli depo karakteristiklerinden birisinin de bu bölüme kadar anlatılmış olan depo kaynaklarının yanı sıra depolama süreçleri olduğunu belirterek temel süreçleri; mal kabul, yerleştirme, sipariş toplama ve sevkiyat olarak değerlendirmiştir. Tanyaş (2011), depolama ana sürecini Şekil 3.33'teki gibi vermekte olup, depolama süreçlerini ise “Temel Süreçler” ve “Destek Süreçler” olmak üzere iki ana grupta değerlendirmektedir.



Temel süreçler aşağıdaki süreçlerdir:

Destek süreçler ise şöyledir:

2. Stok İşlemleri
3. Sevk Plânlama
4. Sayım
5. Raporlama

Depo tasarımında öncelikle aşağıda ayrıntıları anlatılan temel süreçlere ilişkin ilkelerin ve akışların göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

3.6.1 Mal kabul

Mal kabul süreci, malzeme depoya geldiğinde ilk başlayan süreçtir. Mal kabulü; depo içerisine giren tüm malzemelerin sistemli bir şekilde kabulünde ve sipariş edilen malzemelerin miktar ve kalite açısından güvence altına alınmasında söz konusu olan etkinliklerin toplamıdır. Bu sürece ilişkin adımlar şu şekilde verilmektedir (Tanyaş, 2011):

- Taşıyıcıların, belli bir programa göre depoya (rampa vb. boşaltma yerleri) gelmelerinin sağlanması
- Gelen taşıyıcı araçların uygun yükleme/boşaltma alanlarına atanması
- Gelen malın nitelik ve niceliğinin, sipariş ve irsaliye kontrolü yapılarak karşılaştırılması, uygunsuzluk durumunda tutanak düzenlenmesi
- Taşıyıcıların getirdiği yüklerin, güvenli ve verimli bir şekilde boşaltılması ve mal kabul alanına taşınması
- Ürünlerin kalite kontrolden önce karantina bölgesinde bekletilmesi
- Tedârikçilerden gelen malların, kalite kontrol yordamlarına göre (Tam/%100 muayene, kısmî/örneklemeli muayene, haricî/dıştan muayene, gevşek muayene, sıkı muayene, muayenesiz geçiş) kontrol edilmesi, kusurlu ürünlerin saptanması, hasarlı ürün saptanırsa fotoğrafının çekilmesi ve tutanak düzenlenmesi, “kabul”, “şartlı kabul” ve “red” kararlarından birinin verilmesi (şartlı kabulde, tüm ürünler %100 muayeneden geçirilerek kusursuz olanlar kabul edilir)
- İade ürünlerin, önceden belirlenmiş iade alanlarına konulması ve tedârikçiye haber verilmesi

- Tüm hasarlı, eksik ve fazla saptamalarının, tedârikçinin müşteri temsilcisi ile paylaşılması, tutanakların e-posta veya faks aracılığı ile iletilmesi
- Gerektiğinde, kabul edilen ürünlerin, önceden belirlenmiş sisteme göre etiketlenmesi
- Mal kabul işleminin tamamlandığında barkod okuyucusu vb. sistemlerle kayıt altına alınması
- Operasyonun akışını engellemeyecek şekilde uygun bir alana istiflenmesi

Ürünlerin depo içerisine kabulü ile bu süreç sonlanmaktadır. Bu süreç sonunda ürünler depo içerisinde bekletilebilmekte veya farklı amaçlar doğrultusunda farklı süreçlere doğru ilerleyebilmektedir. Örneğin dağıtım için sipariş anında elde olmayan ama taahhüt edilmiş ve kayıt altına alınmış ürünler, doğrudan ambalajlama ve sevkiyat işlemlerine gönderilmektedir; mal kabulü yapılan ürünler, doğrudan çapraz sevkiyat alanına yönlendirilebilir. Bazı malzemeler ise, mal kabulünden istif alanlarına doğru depo içinde bir akış izler. Şekil 3.34'te bu seçenek akışlar gösterilmektedir (Tanyaş, 2011).



Şekil 3.34 : Depoya kabul sonrasındaki akış seçenekleri (Tanyaş, 2011).

3.6.2 Yerleştirme

Yerleştirme süreci, mal kabulünden sonraki ikinci süreç adımıdır. Bu süreçte malzemeler, niteliklerine göre depo içerisinde konumlandırılmaktadır. Bir depolama plânında düşünülmesi gereken en önemli parametreler; ürünün niteliği, miktarı, ağırlığı ve hacmi ile lokasyonların kapasiteleri (boyut, ağırlık vb.) ve özellikleri (ısı ve nem kontrolü vb.) olarak sayılabilmektedir. Ürünün giriş-çıkış (hareket) sayısı, depo yönetimi için önemlidir. Yüksek harekete sahip ürünler, depoda hareket

uzaklığını enazlayacak şekilde konumlandırılmalıdır. Örneğin, hızlı hareket gören ürünlerin sevkiyat alanına ve çıkış kapısına yakın yerleştirilmesi, sipariş toplama sürecinde depo içindeki hareketi azaltma yönünde yarar sağlayacaktır. Benzer şekilde ürünün ağırlığı ve özel karakteristikleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Ağır parçalar, harcanan kaldırma gücünü görece azaltmak üzere depolama alanlarının alçak olan yerlerine atanmalıdır. Yerleştirme sürecinin adımları şu şekilde verilebilmektedir (Tanyaş, 2011; Frazelle, 2002):

- Yerleştirilecek ürünlerin, bulundukları istif alanına gidilmesi
- Yerleştirilecek ürünlerin, barkod okuyucu vb. araçlarla tanımlanması
- Tanımlanan ürünlerin, yerleştirme bölgelerine göre ayıklanması ve gruplanması
- Depo Yönetimi Sistemleri (DYS) vb. sistemler tarafından belirlenen ürünlerin yerleştirme sırası ve yerleştirilebileceği yer seçenekleri arasından en uygun olanının seçilmesi
- Ürünlerin yerleştirileceği yerlere taşınması
- Lokasyon tanımlamasının barkod okuyucu vb. araçlarla yapılması
- Ürünlerin bu yerlere konulması
- Barkod okuyucu vb. araçlarla, işlemin tamamlandığının kayıt altına alınması

3.6.3 İkmâl / transfer

Depolara girişin paletli, çıkışın kolili, kutulu veya adetli olduğu durumlarda; ürünlerin paletli olarak yerleştirilmesinden sonra, kolili sevkiyatı gerçekleştirmek üzere paletlerin bozulması ve içindeki kolilerin farklı raflardaki mal toplama alanına aktarılmasına “ikmâl” denir. İkmâl, malzemenin depolanması süreci aşamaları arasında farklı ambalaj biçimleri ve/veya depolama yerleşimleri halinde akışın (bulunabilirliğinin-tedâriğinin), paletli depolamadan kolili depolamaya, kolili depolamadan adetsel depolamaya geçişin sağlanmasıdır.

Mevsimsel ürünlerin sezonunu tamamladıktan sonra, A grubu (söz konusu mevsimde hızlı hareket gören ürünler) yerleşim noktalarından B (orta derecede hareket eden ürünler) veya C (az hareket gören ürünler) grubu yerleşim noktalarına doğru hareketi de diğer bir ikmâl örneğidir.

İkmâl, küçük paketlerin bulunduğu toplama gözlerinde ürünün belirli bir limitin altına düşmesi durumunda ortaya çıkan bir mal besleme sürecidir. Dolayısıyla, hız ve miktar bu süreçte önemli öğelerdir. Bu noktada tedârikçilerle yakın ilişki içerisinde olunması gerekir. Mal besleme süreci bir önlem niteliği de taşımaktadır. Bu süreç ile gerekli malın elde bulunmaması durumu için bazı önlemler alınmış olmaktadır. Ürün paletli ve kolili olarak depoda bulunmaktadır. Kolili ürün belirli bir miktarın altına düştüğünde paletli ürüne geçilir. Paletli ürün belirli bir miktarın altına düştüğünde ise tedârikçiye sipâriş açılır. Tedârik açısından sağladığı yararın yanında, düzen olarak da işletme ortamına büyük katkısı vardır.

Depolama ana sürecini aksatmayacak şekilde LIFO, FIFO veya FEFO koşullarına dikkat edilmesi sağlanarak, ikmâl organizasyonu yapılmalıdır (Tanyaş, 2011).

3.6.4 Sipâriş toplama

Sipâriş; müşteri veya üretim/montaj iş istasyonları tarafından depoya iletilen ürün ve miktar gereksinimleri listesidir. Sipâriş toplama ise, gereksinim duyulan söz konusu ürünlerin, depolama alanından elle veya otomatik olarak toplanması sürecidir. Sipâriş toplama işleminin performansı üzerinde etkisi olan etmenler şunlardır (Tanyaş, 2011):

- Ürünlerin talep yapısı
- Deponun düzeni (alanı, yüksekliği, raflı/rafsız oluşu vb.)
- Depo içerisinde ürünlerin yerleşimi
- Sipâriş toplama yöntemi
- Ürünlerin toplanma sırasını tanımlayan ve toplayıcılar tarafından kullanılan rotalama yöntemi.

Sipâriş toplama, en mâliyetli ve en yoğun işleme sahip depolama sürecidir ve sonuç olarak müşteri teslimatına yönelik bir işlem olduğu için kritik bir öneme de sahip olmaktadır. Frazelle (2002), tipik bir depodaki mâliyet dağılımını %50 sipâriş toplama, %20 yerleştirme ve depolama, %15 mal kabul ve %15 sevkiyat olarak belirtmektedir. Bu sürecin temel adımları şunlardır (Tanyaş, 2011):

- Sevkiyat programına veya gereksinimlere göre toplanacak ürünlerin palet, kasa, koli, kutu, adet bazında belirlenmesi

- En etkin ve verimli hareketi sağlayacak şekilde; sipariş toplama yönteminin/algoritmasının seçilerek, sipariş, ürün grubu, bölgesel vb. bazda toplama listeleri oluşturulması
- Toplama listelerinin toplayıcılara (pickers) atanması
- Toplayıcının, gerektiğinde FIFO, FEFO, parti (lot) no., özel müşteri talebi vb. kurallara dikkat ederek, toplanacak ürünlerin yanına gelmesi
- Toplayıcının hangi lokasyondan hangi ürünü ne miktarda aldığının, el terminali vb. araçlarla kayıt altına alınması
- Toplanan ürünlerin sevk alanına götürülmesi

3.6.5 Çapraz sevkiyat

Müşteri hizmet düzeyini geliştirirken, eşzamanlı olarak lojistik ve dağıtım mâliyetlerini de kontrol etmede büyük potansiyele sahip, yenilikçi depolama stratejilerinden biri “Çapraz Sevkiyat (Cross-Docking)” stratejisidir. Doğru uygulandığında lojistik mâliyetleri azaltan ve ürünlerin akış hızını arttıran mal kabul ve sevk yöntemidir. Çapraz sevkiyat, en mâliyetli iki depolama etkinliği olan yerleştirme ve sipariş toplama işlemlerini ortadan kaldırma ve bu tip mâliyet getiren işlemlerden kurtulmayı sağlama potansiyeline sahiptir. Çapraz sevkiyat, ürünlerin depoda veya dağıtım merkezinde depolanmadan (rafa kalkmadan), mal kabul alanından sevkiyat alanına hareketinin söz konusu olduğu bir malzeme elleçleme ve dağıtım sürecidir.

Tipik bir çapraz sevkiyat sisteminde öncelikli amaç, stoklama ve aşırı malzeme elleçleme işlemlerini süreç dışı bırakmaktır. Bu sürece ilişkin adımlar şu şekilde verilmektedir (Frazelle, 2002):

- Ürünler (koliler, kutular, kartonlar vb.) dağıtım merkezine ulaşır ve mal kabul alanlarında gözden geçirilip doğrulanır. Bazı çapraz sevkiyat sistemlerinde ürünler, malzeme kabul alanında tartılır, boyutlandırılır ve etiketlenir.
- Ürünler ayrıştırılarak, varış noktalarına (müşterilere) göre gruplandırılır.
- Ürünler, sevkiyat alanındaki uygun bir yerleşime doğru işlem görür ve dağıtım merkezinden ayrılır.
- Mal kabul sırasında kalite kontrol veya karantina alanında bekleme gerekmez.

- Ürün depolama gerekmez.

Çapraz sevkiyat sürecini, talep tahmininin net olduğu ve çekme sistemi ile çalışan sistemlerde uygulamak olanaklıdır. Çapraz sevkiyat sisteminin işlediği bir dağıtım merkezine ürün gelmeden önce ürünün gideceği müşteri bilinmektedir. Çapraz sevkiyat sistemleri, stok devir hızının azaltılmasını sağlamakta ve böylece de stok düzeyi indirgenmekte, müşteriye yanıt verme hızında artış olmakta ve dağıtım etkinliğinin daha iyi kontrolü gerçekleştirilmektedir. Çapraz sevkiyat, yoğun dağıtım etkinliklerinin söz konusu olduğu perakende sektöründe ve çok sayıda ürün bileşeninin hareket hâlinde olduğu otomotiv sektöründe, özellikle yedek parçaların dağıtımında, mâliyet yararı yaratan ve müşteri hoşnutluğu sağlayan bir depo sürecidir (Tanyaş, 2011).

Çapraz sevkiyat, depo tasarımı konusuna etki eden bir süreçtir. Örneğin, çapraz sevkiyat ile ürünlerin gelen araçlardan giden araçlara hızlı bir şekilde hareket etmesi amaçlandığı için mal kabul ve sevkiyat yapılan rampalar deponun aynı tarafında veya iki farklı tarafta ise de en yakın noktalarda olmalıdır (Baker, 2004).

3.6.6 Katma değerli hizmetler

Depolarda müşteri talepleri üzerine yapılan etiketleme, ambalajlama, katlama, ısı ölçme, aktarma, karıştırma, birleştirme, ayırma, paletleme, hafif montaj, kullanım kılavuzu ekleme, barkod işlemleri, bakım-onarım işlemleri vb. hizmetlerdir. Her bir hizmet, ürün üzerinde bir katma değer sağlar ve bu hizmetler ürün mâliyetinin bir parçası olarak düşünülmektedir. Başlıca katma değerli hizmetler şu şekilde verilmektedir (Tanyaş, 2011):

- Kalite Kontrol/Son Kontrol
- Paletleme/Palet Bozma/Palet Değiştirme
- Paketleme/Paket Değiştirme
- Şrinkleme/Streçleme
- Set Oluşturma/Ürün Birleştirme (kitting)
- Kullanım Kılavuzu Ekleme
- Hafif Montaj/Demontaj (unkitting)/Modifikasyon

- Hafif Bakım/Onarım (Depoya gelen ürünlerin bakımlarının yapılması ve hasarlı olanlarının onarılması)
- Etiketleme/Bandrollama
- Hat Besleme
- Market Bazında Ayrıştırma
- Ütüleme/Tâdilât Hizmetleri
- Promosyon Hazırlama
- Laboratuvar Hizmetleri
- Yük dengeleme ve sabitleme (Lashing)

3.6.7 Paketleme

Paketleme, sipâriş toplama sürecinden sonra gerçekleştirilen, isteğe bağlı bir adımdır. Dökme olarak gelen malzemeler, daha sonra satılabilir miktarlarda paketlenabilmekte, bazı durumlarda hafif montaj işlemleri gerçekleştirilmekte, paletli olarak gelen tek tip ürünler, bozularak kutu veya koli hâlinde diğer paketlerdeki ürünlerle birlikte paketlenabilmektedir.

Paketleme ve etiketleme süreci, isteğe göre müşteri özelinde yapılan ve katma değer yaratan hizmetlerdir. Kullanılacak ambalajlar ve paketlenecek malzemeler zaten varolduğundan, paketleme yapılması için satış anına kadar beklenmesine gerek yoktur. Ancak fiyatların güncellenmesi gerektiği durumlarda, satış anından önce yapılan etiketleme işlemi, sonrasında katma değer sağlamayan ve hattâ gereksiz mâliyet yaratan bir işleme dönüşebilmektedir (Tanyaş, 2011).

3.6.8 Sevkiyat

Sevkiyat süreci, sipârişe göre sevk edilecek ürünlerin doğrulanmasından ve taşıma araçlarına yüklenmesinden oluşmaktadır. Bu süreçte şunlar yapılmaktadır:

- Sipârişler kontrol edildikten ve pakatlendikten sonra kamyonlara, trenlere ve diğer taşıma araçlarına yüklenmektedir.
- Depodan çıkışı plânlanan ürünler taşıma araçlarına palet, karton kutu, varil vb. taşıma birimleri ile yerleştirilmektedir.

- Mal kabulüne benzer olarak, ürünlerin bulunduğu yerden taşıma araçlarına aktarılması için konveyör veya çaka gibi yüklenecek malzemeleri taşıyan ekipmanlar kullanılmaktadır.

Sevkiyat süreci, genellikle siparişlerin dağıtım aşamasındaki ayrıştırma, gruplandırma, konsolidasyon, paketleme, araca yerleştirme ve yükleme etkinliklerini içermektedir. Mal kabulünde olduğu gibi sevkiyat süreci de, ürün elleçleme faaliyetlerinin oldukça düşük düzeyde olmasına olanak veren bir duruma getirilmelidir. Diğer bir deyişle birim yük ile sevkiyat yapılmalıdır. Taşıma mâliyeti açısından yarar sağlamak amacıyla, yükleme sırasında araç kapasitesinin en iyi şekilde kullanılması göz önünde bulundurularak, ambalajlama ve birim yük kavramına uygun paketleme işlemleri gerçekleştirilmelidir. Sevkiyat sürecine ilişkin adımlar şu şekilde verilmektedir (Tanyaş, 2011):

- Sevk edilecek ürünlerin belirlenmesi
- Görevlerin, ilgili depo personeline atanması
- Sevk edilecek ürünlerin siparişlere göre kontrolünün yapılması
- Ürünlerin uygun sevkiyat kabında paketlenmesi ve etiketlenmesi (etiketlerde orijin, gidecek ürün, gideceği yer, taşıma aracı, alıcı vb. bilgiler bulunabilir)
- Sevk ürünlerinin rota ve araç bazında gruplandırılması
- Çeki listesi, irsaliye vb. sevkiyat dokümanlarının hazırlanması
- Gerektiğinde, sevk edilecek ürünlerin ağırlık ve hacimlerinin saptanması
- Yükleme yapılacak araçların, uygun rampalara, bir plân dâhilinde yanaştırılması
- Ürünlerin taşıyıcı araçlara yüklenmesi
- Barkod okuyucu vb. araçlarla, işlemin tamamlandığının kayıt altına alınması

Sevkiyat sürecinin en iyi uygulamalar çerçevesinde yürütülmesi için konteyner optimizasyonu, otomatik yükleme, kapı ve rampa yönetimi gibi uygulamaların yaşama geçirilmiş olması gerekmektedir (Frazelle, 2002).

3.6.9 İade alma, işleme ve imha

Depolara gelen iade ürünlerin kabulü, elleçlenmesi ve ayrıştırılması, kalite kontrolü, uygun olanların stoğa geri kazandırılması, geri kazanıma sokulacakların saptanması,

imha edilmesi gerekenlerin de imha süreci yordamlarına uygun şekilde imha edilmesi hizmetleridir. İade ürünler, ya müşteri tarafından teslim alınmayıp, satıcı tarafından geri götürülür ya da müşteri tarafından teslim alındıktan sonra iade fatura kesilerek gönderilir. İlk durumda, sipariş iptal konumuna getirilerek not kısmına nedeni girilir. İkinci durumda ise faturaya istinâden iade ürünlerin girişi yapılır. Her iki durumda da gelen ürünlerin hasarlanıp hasarlanmadıkları kontrol edilir. Hasarlı gelen ürünler için Hasar Süreci uygulanır. Sağlam olanlar rafa kaldırılır. İade alma süreci, özellikle müşteriden gelen ürünlerin depoya alınması noktasında mal kabul süreci ile benzerlik göstermektedir. Bu süreçteki temel adımlar şöyle verilmektedir (Tanyaş, 2011):

- Depoya gelen ürünler, iade süreci tamamlanana kadar iade ürün bölgesinde bekletilir.
- İade ürün kontrolü, iade ürün formunun doldurulması, fatura iadesi veya iptali vb. işlemler sonucunda, iade ürün, uygun şekilde stoğa veya imha alanına alınır.
- İade ürün sürecindeki önem arzeden konu, iade ürün stok kodu ile bu ürün iade edilmeden önce depodan çıkan ürünün stok kodunun aynı olması gerektiğidir.

İade alma birçok farklı nedenden ötürü söz konusu olabilir. Teslim edilen ürünlerin ve/veya ambalajlarının kusurlu olması, teslim edilen ürünün ve/veya miktarının yanlış olması, üreticilerin ürünü geri çağırması, ürünün teslim zamanından önce veya sonra gönderilmiş olması başlıca nedenlerdir.

İşleme; sınıflandırma, ayrıştırma ve geri kazanım olarak üç aşamada ve farklı şekilde gerçekleştirilebilir. Sınıflandırma, yeniden işleme, geri dönüşüm, onarım, parça alma gibi plânlanmış geri kazanım opsiyonuna bağlı olarak ürünlerin kalitelerine ve izleyecekleri rotalara göre düzenlenmesi işlemidir. Ayrıştırma ise ürünler sınıflandırıldıktan sonra, teknolojik yeniliklerin eklenmesi, çalışır durumda olmayan modüllerin yenileriyle değiştirilmesi ve kullanılabilir durumdaki modüllerin alınarak iyileştirilmesi gibi ölçütlere göre ayıklanması işlemidir. Geri kazanım ise ürünün kalitesine bakılarak karar verilen ve gerçekleştirilen işlemlerdir. Eğer ürün kalitesi, yeni ürün kalitesine yakınsa ürün pazara yeniden kullanım, yeniden satış ve yeniden dağıtım için hemen gönderilir. Kaliteler yakın değilse talebe bağlı olarak, farklı düzeylerde farklı şekillerde yeniden işleme yapılabilir:

- Ürün düzeyinde (Onarım)

- Modül düzeyinde (Yenileme, örneğin yeniden cilalama)
- Montaj/Birleştirme düzeyinde (Yeniden üretim)
- Parça düzeyinde (Yeniden düzeltme)
- Malzeme düzeyinde (Geri dönüşüm)

Geri kazanım aşamasını gerçekleştirmenin olanaklı olmadığı durumlarda, iade ürünler yakılarak enerjiye dönüştürülebilmekte veya genellikle gömme yoluyla imha edilebilmektedir (Tanyaş, 2011).

3.6.10 Açık saha yönetimi

Açık alanlarda yapılan depolama işlemlerine “açık saha yönetimi” adı verilmektedir. Özellikle otomobil, seramik, mermer vb. açık hava koşullarına dayanıklı olan veya dayanıklı hâle getirilen ürünlerin konulduğu alanlar, bu süreç ile yönetilmektedir. Bazı metal çubuklar, borular, büyük demir parçaları, beton boru ve gereçler, kereste, dışta kurulan sistem ve makinalar ve otomobiller gibi malzemelerin kapalı binalarda depolanması pahalı veya gereksiz olabilir. Bu nedenle ağır ve açık havada zarar görmesi söz konusu olmayan malzemelerin açık sahada tutulması daha uygun olabilmektedir. Eğer önemli miktarda malzeme dışarıda tutulacaksa, açık sahalar depolama amacıyla daha etkin olarak yönetilebilmektedir (Tanyaş, 2011):

- İyi bir yerleşim plânlamasıyla alan, işgücü ve ekipman verimli bir şekilde kullanılabilir.
- Bölgenin çevresi kapatılarak güvenlik artırılır.
- Yeterli karayolu veya demiryolu bağlantıları kurulursa, hem araçların geliş-gidiş süresi azalır, hem de elleçleme ve taşıma araçlarının kullanılması daha etkin olarak sağlanabilir.
- Uygun bir kayıt işlemiyle, giren ve çıkan malzemenin ağırlıklarını, sayılarını ve konulduğu adresleri kaydetmek gerekir. Böylece malzemelerin bulunması daha kolay ve çabuk olacaktır.
- Yeterli bir drenaj sisteminin kurulması ile malzemenin zarar görmesi engellenebilir.

3.7 Temel Depolama Süreçlerinin Depo Tasarımına Etkileri

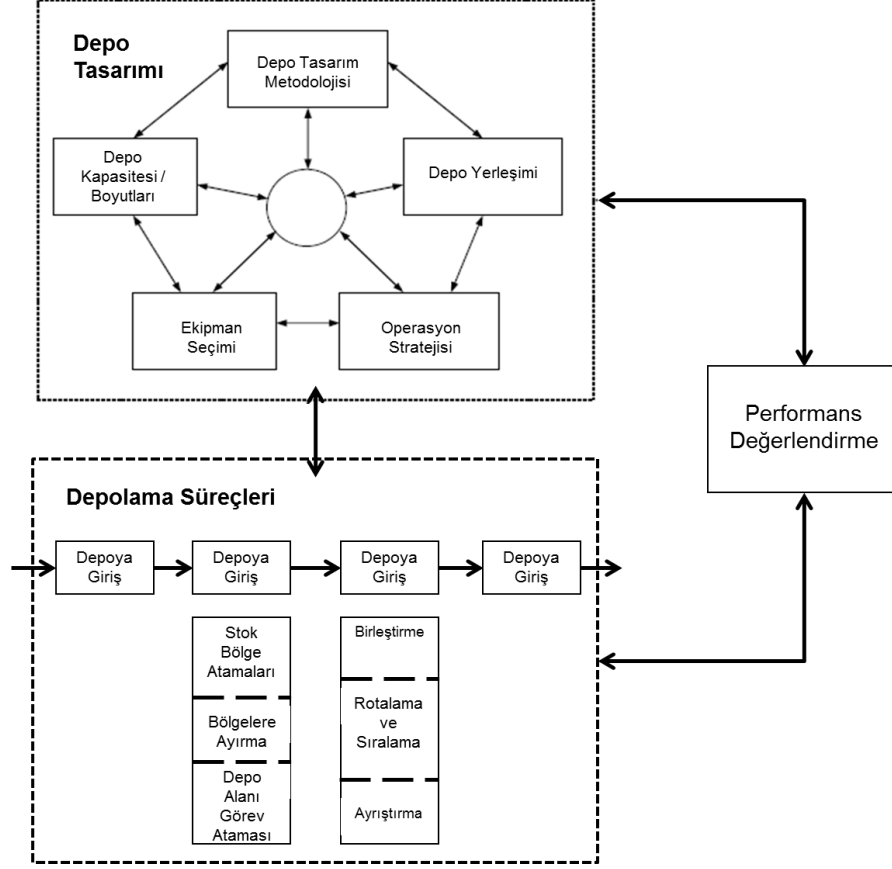
Depo içerisinde yürütülecek olan süreçlerin (operasyonların) da depo tasarımına etkileri bulunmaktadır. Özellikle taktik düzeyde ekipman seçimi, depolama politikaları ve sipariş toplama konularına ilişkin tasarım parametreleri, operasyonların yürütülme biçimlerine göre değişkenlik gösterebilmektedir. Operasyonel düzeydeki mal kabul ve sevkiyat, parti oluşturma (batching), ayırma/sınıflandırma (sorting), bekleme (dwell) noktası belirlenmesi, AS/RS işletimi ve depolama, rotalama ve sıralama, tasarım konuları da süreç tasarımlarından ve hedeflerinden etkilenmektedir.

Gu ve diğ. (2007) depo tasarımının genel çerçevesi ile depo süreçlerinin genel çerçevesinin ilişkisini ortaya koymuştur. Buna göre, Bölüm 2.1’de de sözü edilen depo tasarım yöntembilimi, depo yerleşimi, depo kapasitesi/boyutları, ekipman seçimi ve operasyon stratejisi bileşenlerinden oluşan depo tasarımı genel çerçevesinin Bölüm 3.6’da ayrıntılı olarak anlatılmış olan depoya giriş, depolama, sipariş hazırlama, sevkiyat süreçleri ile bütünleşik bir şekilde değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Söz konusu depo tasarımı ve depo operasyonları ilişkisi Şekil 3.35’te verilmektedir.

Temel depolama süreçlerinden mal kabul süreci, kapı ve rampa sayısına, mal kabul alanı ve dolayısıyla toplam depolama alanına etki etmektedir. Ayrıca depoda kullanılacak olan istifleme ve elleçleme ekipmanlarının da söz konusu sürecin hedeflerine uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. Ayrıca çapraz sevkiyat veya doğrudan sevkiyatın söz konusu olduğu durumlarda da depo tasarımı etkilenmektedir. Bu süreç, stratejik düzeyde depo yerleşimi (dimensioning), taktik düzeyde ekipman seçimi ve organizasyon ile operasyonel düzeyde mal kabul ve sevkiyat konularını etkilemektedir.

Yerleştirme süreci, ürünlerin hacim, ağırlık, boyutları gibi nitelikleri ile ürün hareketlerine ilişkin verileri (aktif SKU sayısı, ürün giriş/çıkış bilgileri, sipariş yapısı, iade oranı, paletli/kolili/adetli sevkiyat oranı, vb.) göz önüne almaktadır. Dolayısıyla depolama lokasyonunun kapasitesi (sizing), depo yerleşimi (dimensioning), AS/RS tasarımı ile depolama sistemi tasarımı gibi stratejik düzey depo tasarım konularına etki etmektedir. Taktik düzeyde ise; ekipman seçimi ve depolama politikalarını ve operasyonel düzeyde ise depolama, rotalama ve sıralama konularını etkilemektedir.

İkmâl/transfer sürecinin tasarımı ise stratejik düzeyde depolama kapasitesini (sizing) ve yerleşimini (dimensioning), depolama sistemi tasarımını etkilerken taktik düzeyde ekipman seçimi ve depolama politikalarını etkilemektedir.



Şekil 3.35 : Depo tasarımı ve depolama süreçleri ilişkisi (Gu ve diğ., 2007).

Bu süreç, aynı zamanda depo tasarımında kritik karar noktalarından biri olan “hız” ve “miktar” konusunda da önemli rol oynamaktadır. Çünkü işlem hacmine; hızlı ikmâl/transfer ve sipariş toplama ile sevkiyatın yeğlendiği depolar için tasarım farklı olurken daha çok hacimde depolamayı hedefleyen bir depo için tasarım farklı olacaktır. Genellikle bu iki hedefin aynı anda enbüyüklenmesi olanaklı olamamaktadır. Dolayısıyla deponun stratejik hedefleri belirlenirken bu iki unsur ile ilgili gerekli tercih ve öncelik yapılmalıdır. Örneğin üretimi destekleme amaçlı depolarda depolama kapasitesinden en yüksek düzeyde yararlanma ve depodaki hacmi maksimum en üst düzeyde kullanma ön plânda olurken, dağıtım merkezleri şeklinde faaliyet gösteren depolarda hızlı sipariş toplama yapmak adına dolaşım süresinin (travel time) enküçüklenmesi, depolama işlem hacminin enbüyüklenmesi

daha çok yeğlenmektedir. Bu da depolama kapasitesini, yerleşimini, raf sistemlerini ve ekipmanlar ile depolama alanını etkilemektedir.

Sipariş toplama süreci ise stratejik düzeyde depo yerleşimi (dimensioning), taktik düzeyde ise ekipman seçimi, organizasyon ve sipariş toplama konularını doğrudan etkileyen bir süreçtir. Bu süreç özellikle dağıtım merkezi olarak faaliyet gösteren depolar için çok daha önemli olduğu için operasyonel düzeydeki mal kabul ve sevkiyat, parti oluşturma (batching), ayırma/sınıflandırma (sorting), bekleme (dwell) noktasının belirlenmesi, AS/RS işletimi ve depolama, rotalama ve sıralama olmak üzere tüm tasarım başlıklarına etki etmektedir. Çapraz sevkiyat süreci stratejik düzeyde depo yerleşimi (dimensioning) ile operasyonel düzeyde mal kabul ve sevkiyat ilişkili tasarım konularını etkilemektedir.

Etiketleme, ambalajlama, kullanım kılavuzu ekleme vb. işlemleri içeren katma değerli hizmetler ve paketleme süreçleri de söz konusu işlemler için depo içerisinde ayrı bir alanın olması gerekliliğini ortaya koymaktadır ki, bu süreçler stratejik düzeyde depo yerleşimini (dimensioning), taktik düzeyde organizasyonu etkilemektedir.

Sevkiyat süreci özellikle dağıtım merkezi depolarında sipariş toplama ile birlikte en önemli süreçlerden birisidir. Bu süreç, söz konusu depolarda çapraz sevkiyat gibi özel süreçlerin de yer alması nedeniyle depoların yeterli bir sevkiyat alanına sahip olmasını gerektirmektedir ki bu da stratejik düzeyde depo yerleşimi (dimensioning) ile ilişkilidir. Taktik düzeyde ise araçlara yükleme yapılmasında kullanılacak ekipman seçimi ve organizasyon konularına etki etmektedir. Operasyonel düzeyde ise mal kabul ve sevkiyat konusuna etki etmektedir.

İade alma, işleme ve imha süreçleri ise mal kabul süreci ile yakın benzerlik göstermesi nedeniyle kapı ve rampa sayısına, mal kabul alanı ve dolayısıyla toplam depolama alanına etki etmektedir. Ayrıca kullanılacak olan taşıma ekipmanlarının da söz konusu sürecin hedeflerine uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. Bu süreç, stratejik düzeyde depo yerleşimi (dimensioning), taktik düzeyde ekipman seçimi ve organizasyon ile operasyonel düzeyde mal kabul ve sevkiyat konularını etkilemektedir.

İş emri yönetimi, stok plânlama, sevk plânlama, sayım ve raporlama gibi destek süreçler ise depo tasarımının değerlendirilmesinde etkili olan başta mâliyet olmak üzere diğer önemli APG'lere etki etmektedir.

Söz konusu depolama süreçlerinin ilişkili ve etkisi olduğu depo tasarım konuları Çizelge 3.3'te verilmektedir.

Çizelge 3.3 : Depolama süreçlerinin depo tasarımı konularına etkisi.

Depolama Süreci	Etkisi Bulunan Depo Tasarımı Konusu
Mal Kabul	Stratejik Düzey: Depo yerleşimi (dimensioning) Taktik Düzey: Ekipman seçimi, organizasyon Operasyonel Düzey: Mal kabul ve sevkiyat
Yerleştirme	Stratejik Düzey: Depolama kapasitesi (sizing), depo yerleşimi (dimensioning), AS/RS tasarımı, depolama sistemi tasarımı Taktik Düzey: Ekipman seçimi, depolama politikaları Operasyonel Düzey: Depolama, rotalama ve sıralama
İkmâl / Transfer	Stratejik Düzey: Depolama kapasitesi (sizing), depo yerleşimi (dimensioning), depolama sistemi tasarımı Taktik Düzey: Ekipman seçimi, depolama politikaları Operasyonel Düzey: Depolama, rotalama ve sıralama
Sipariş Toplama / Çapraz Sevkiyat	Stratejik Düzey: Depo yerleşimi (dimensioning) Taktik Düzey: Ekipman seçimi, organizasyon, sipariş toplama Operasyonel Düzey: Mal kabul ve sevkiyat, parti oluşturma (batching), ayırma/sınıflandırma (sorting), bekleme (dwell) noktasının belirlenmesi, depolama, rotalama ve sıralama
Katma Değerli Hizmetler / Paketleme	Stratejik Düzey: Depo yerleşimi (dimensioning) Taktik Düzey: Organizasyon
Sevkiyat, İade alma, İşleme ve İmhâ	Stratejik Düzey: Depo yerleşimi (dimensioning) Taktik Düzey: Ekipman seçimi, organizasyon Operasyonel Düzey: Mal kabul ve sevkiyat
Destek Süreçler (İş emri yönetimi, stok plânlama, sevk plânlama, sayım ve raporlama vb.)	Mâliyet Performans Yönetimi (APG): • İş emirlerinin istatistiksel analizi • Hareket görmeyen malzemeler • Hasar, fire ve kayıplar • Bütçe karşılaştırmalı depo giderleri • İşgücü analizi • Ekipman bakım-onarımları

Depolama süreçlerine ilişkin hedefler, organizasyonların stratejileri ile ilişkili olup bu hedefler depoların da beklenen operasyonel ve finansal performansına etki etmektedir. Diğer bir deyişle, depo tasarımı sırasında bu süreçlerin hedefleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca söz konusu süreç hedeflerine ilişkin zaman

içerisinde öngörülen veya öngörülemeyen değişiklikler yapılabilecektir. Dolayısıyla depo tasarımı yapılırken bu tür değişiklikler açısından esneklik sağlanmalıdır. Bu amaçla depo tasarımı sırasında senaryo plânlama kullanımı söz konusu olabilmektedir (Baker, 2010).

4. TÜRKİYE’DE DEPO TASARIMI UYGULAMALARI

4.1 Lojistik Şirketleri’nde Depo Tasarımı Uygulamaları

Daha önceki bölümlerde belirtildiği üzere literatür araştırmasının bir sonucu da Baker ve Canessa (2009) ile Govindaraj ve diğ. (2000) tarafından da vurgulanan depo tasarımı yaklaşımları konusunda akademik çalışmalar ile uygulamalar arasında da boşlukların bulunmasıdır.

Bu bağlamda, Türkiye’deki depolama hizmeti konusunda öncü olan altı lojistik şirketi ve lojistik konusunda danışmanlık hizmeti veren bir şirket ile depo tasarım konusundaki yaklaşımları üzerine bire-bir görüşmeler yapılmıştır. Bu görüşmelere, söz konusu şirketlerin depo operasyon yöneticileri, satış ve iş geliştirme yöneticileri katılmıştır.

Söz konusu görüşmelerde aşağıdaki konu başlıkları ayrıntılı ve derinlemesine bir şekilde görüşülmüştür:

- Depo tasarımı projelerine ilişkin genel yaklaşım ve uygulama süreci
- Tasarım sürecinde kritik karar noktaları ve kararları etkileyen etmenler
- Tasarım sürecinde kullanılan yöntemler, araç ve gereçler
- Depo yönetimi ve tasarımında kullanılan performans göstergeleri
- Depo yönetimi ve tasarımında dikkat edilmesi gereken noktalar

Bu görüşmelerde öncelikle yeni bir depo projesi söz konusu olduğunda şirketlerin bu projeye yaklaşımları, depo tasarımı için süreç akışı ve kullanılan yöntemler üzerinde konuşulmuştur. Şirketler, depo tasarım problemini öncelikle deponun amacı ve türüne göre tanımlandıklarını ifade etmişlerdir. Örneğin deponun tek müşteri için veya birden fazla müşteri için hizmet vereceği konusu, tasarım yaklaşımını değiştirebilmektedir. Ayrıca tek müşteri için olacak bir depo için müşteri şirketin depoya ilişkin ileriye yönelik stratejik hedef ve beklentileri, çok müşterili depolarda da lojistik şirketinin depoya ilişkin stratejik hedefleri de tasarımı etkileyen etmenler olarak belirtilmiştir. Depo yerinden kaynaklanan kiralık mı yoksa yeni yatırım mı

olacağı, arsa, imar izni vb. gibi kısıtlar da ilk başta değerlendirilmesi gereken noktalar olup tasarıma etki etmektedir.

Tek müşteriye hizmet vermek amaçlı tasarlanan depolarda en kritik konu, deponun konvansiyonel (geleneksel) veya otomatik olup olmaması kararıdır. Bir tür yatırım olarak değerlendirilebilen bu karar, yukarıda belirtilen stratejik hedeflere ve müşterinin satış stratejilerine göre değişmekle birlikte bu noktadaki en önemli konunun mâliyet olduğu vurgulanmıştır. Müşteriye ilişkin verilere; aktif SKU sayısı, ürün dağılımı, ürün paketleme birimi (koli, adet, askı vb.), iade oranı, birim zamandaki sipariş sayısı, malzemelerin hareketlerine ilişkin bilgiler vb. bakılarak bu tür bir operasyon için alan ve personel gereksinimi ortaya çıkarılmaya çalışılmaktadır. Bu bağlamda müşterinin sektör bilgisi de önemlidir. Çünkü sözü edilen veriler ve standartlar sektör bazında belirlenmiş olmaktadır. Hızlı tüketim malları sektörü için genellikle paletli taşıma yapılırken, ilaç ve tekstil gibi SKU sayısı çok daha fazla olan sektörler için daha farklı tasarımlar yapılabilmektedir. Personel gereksinimi ve mâliyetine alternatif olarak da otomatik depo seçeneği, mâliyet odaklı bir şekilde değerlendirilmektedir. Bu noktada, toplam mâliyetin yanı sıra yatırımın geri dönüş oranına (ROI: Return on Investment) da bakıldığı ifade edilmiştir.

Birden fazla müşteriye hizmet verecek şekilde tasarlanması plânlanan depolar için şirketler, iş geliştirme ve satış birimleri ile hedef sektörleri belirlemektedir. Sektöre göre veriler ve süreçler ortaya konmaktadır. Birden fazla müşteri için hizmet verecek depo tasarımlarında en önemli zorluğun esneklik olduğu belirtilmiştir. Otomatik depolarda teknolojilerin de bir ölçüde esneklik sağlaması gerektiği belirtilmiştir. Bu konudaki analizlerin yatırım ve operasyonel mâliyetler çerçevesinde yapıldığı, ayrıca ek ekipman gereksinimlerinin de göz önünde bulundurulduğu belirtilmiştir.

Bu noktada en pratik çözümün, yatırım mâliyeti en az; işgücü mâliyeti en yüksek olan çözüm; en karmaşık çözümün ise, yatırım mâliyeti en yüksek, işgücü mâliyeti en düşük olan çözüm şeklinde algılandığı da belirtilmiştir.

Sektör ve müşteri belirlendikten sonra ürün özelliklerine odaklanılmaktadır. Ürünlerin paketleme birimleri belirlenmektedir. Buna bağlı olarak da her bir birimin boyutları üzerinden depolama alan gereksinimi hesaplanmaktadır. Ürün karakteristiklerine ve depolama alanına göre de raf sistemlerine karar verilmektedir.

Örneğin hızlı tüketim malları sektöründe en çok kullanılan raf sistemi, sırt sırta raf sistemi olarak belirtilmiştir. SKU sayısının az, iş hacminin yüksek olduğu durumlarda ise içine girilebilir raf sistemlerinin kullanıldığı ifade edilmiştir. Raf sistemi kararlarında Pareto Analizi de yapılabildiği ve bu analiz sonucunda yapıya karar verildiği de belirtilmiştir. Raf sistemlerinde esneklik için mezanin tip rafların son dönemde yeğlendiği belirtilmiştir.

Raf sistemleri, bina yüksekliği ve ekipmanlara göre de koridor genişlikleri belirlenmektedir. Koridorlar tasarlandıktan sonra da söz konusu koridor genişliklerinde çalışabilecek toplama ekipmanlarına da karar verilmektedir. Raf sistemleri de ekipmanlar konusunda fikir vermektedir. Örneğin sırt sırta raflar için çoğunlukla dar koridor çakası yeğlenmektedir. Raf sistemi ve ekipman seçimi gibi kararların çoğunlukla deneyimlere göre verildiği gözlemlenmiştir.

Kapı sayısı, mal kabul süreci ayrıntılandırılırken ortaya çıkarılmakta olup ürün sayısı başta olmak üzere diğer müşteri verilerine göre mal kabul yapılacak iş istasyonu sayısı belirlenmekte ve genellikle kapı sayısı, bu istasyon sayısına eşit olacak şekilde değerlendirilmektedir. Kapıların sayılarında yükleme/boşaltma yapılacak araç özelliklerine de dikkat edildiği vurgulanmıştır. Bu noktada farklı araçlara göre yandan veya arkadan yükleme/boşaltma işlemleri yapılabilmektedir.

Görüşmeler sonucunda bu süreçlerin çoğunlukla deneyimlere dayalı olarak gerçekleştirildiği sonucuna varılmıştır. Şirketler, sektör bazında çoğunlukla aynı veya çok benzer yaklaşımları kullandıklarını, dolayısıyla sektör bazında bir standart depo tasarım yöntembiliminin geliştirilebileceğini belirtmişlerdir. Çünkü uygulamada net bir depo tasarım sistemi bulunmamaktadır.

Öte yandan, söz konusu farklı tasarım seçeneklerini değerlendirmek için herhangi bir yazılım veya karar destek sistemi kullanılmamaktadır. Bu seçenekler ekonomik performans açısından değerlendirilmekte, teknik performans göstergelerine de bakılmamaktadır. Görüşme yapılan şirketlerin bir tanesi, tüm tasarım bittikten sonra “Doğru tasarım yapıldı mı ?” sorusuna yanıt alabilmek için teknik performans ölçütlerinin de değerlendirildiği simülasyon uygulamalarını yaptıklarını belirtmiştir. Fakat tüm şirketler, söz konusu bir karar destek modeline gereksinim olduğunu belirtmişlerdir.

Söz konusu şirketler, depo tasarımı konusunda önemli performans göstergelerini şöyle sıralamışlardır:

- Sipariş karşılama oranı
- Ürün hasarlılık oranı
- Stok miktar doğruluğu
- Stok lokasyon doğruluğu
- Raf doluluk oranı
- Toplama süresi
- Toplama doğruluğu
- Katma değerli hizmetlere ilişkin standart süreler
- Personelin kişisel performansı (sipariş başına düşen toplam süre)

Görüşmeler sonucunda tüm depo tasarım uygulayıcıları açısından en önemli konunun esneklik olduğu belirtilmiştir. Çünkü tasarım sırasında bazı kabuller ve varsayımlar yapılmakta olup esnek tasarımlar yapılamamaktadır. Esnekliğin sağlanmasına yönelik, müşterilere bağlı kalmayan palet özelliklerinde standart ölçülerin dikkate alındığı, yük oranlarında ve özelliklerinde salt belirli tiplerin olacağı depolar tasarlanmaya çalışılmaktadır.

4.2 Hızlı Tüketim/Perakende Şirketlerinde Depo Tasarımı Faaliyetleri

Depo yönetimi ve tasarımı konusunda bir önceki bölümde anlatıldığı üzere Türkiye’de faaliyet gösteren lojistik şirketler ile ayrıntılı görüşmeler yapılmıştır. Öte yandan Türkiye’de söz konusu lojistik şirketlerin müşterisi olan veya kendi bünyesinde depo yönetimi ve tasarımı faaliyetlerini yürüten hızlı tüketim malları/perakende sektöründe faaliyet gösteren şirketler ile de ayrıntılı görüşmeler yapılmıştır. Bu görüşmelerin amacı, bu tür şirketler ile lojistik şirketler arasında depo tasarımı konusunda farklı bakış açıları, beklentileri ve performans değerlendirme ölçütlerini ortaya çıkarmaktır.

Bu bağlamda, Türkiye’de hızlı tüketim malları sektöründe öncü olan yabancı sermayeli üç şirket ve perakende sektöründe de öncü olan yerli sermayeli iki şirket ile depo tasarım konusundaki yaklaşımları üzerine bire-bir görüşmeler yapılmıştır.

Bu görüşmelere, söz konusu şirketlerin tedârik zinciri yöneticileri, lojistik yöneticileri ve dağıtım merkezi yöneticileri katılmıştır.

Bu görüşmelerde de, bir önceki bölümde lojistik şirketleri ile görüşülen konular aynı çerçevede değerlendirilmiştir. Hızlı tüketim malları sektöründeki öncü firmaların hepsi depolama hizmetini üçüncü parti lojistik şirketlerinden dış kaynak kullanımı yoluyla temin ettiklerini belirtmişlerdir. Bu şirketlerden bir tanesine hizmet veren lojistik hizmet sağlayıcı şirketin küresel olarak belirlendiği ve lojistik şirketinin deposunda başka şirketlerin ürünlerinin de olduğu ifade edilmiştir. Diğer şirketlerin ise Türk sermayeli yerel şirketler ile çalıştıkları belirtilmiş ve kendi gereksinimleri doğrultusunda birlikte iş modellerini oluşturarak depolama fonksiyonunu daha etkin bir şekilde yürüttükleri ifade edilmiştir. Bu şirketlerin depolarında salt kendi ürünleri bulunmakta olup, bir şirketin depo mülkiyeti de kendisine aittir.

Bu şirketler depo tasarımı veya depolara ilişkin değişiklik projelerinde çalışmaların daha çok mâliyet odaklı olduğunu, bunun da lojistik mâliyetlerin ülkemizde çok fazla olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Ama tek ölçütün mâliyet olmadığını da vurgulamışlardır. Özellikle paletli ürün sevkiyatı yapan bu şirketlerin tümünde yıllık lojistik master plânlamaların yapıldığı ve bu plânların lojistik hizmet sağlayıcılar ile paylaşıldığı belirtilmiştir. Bu plânların ise söz konusu şirketlerin varolan ve gelecekte öngörülen ticaret yapma (satış yapma) iş modeli temel alınarak oluşturulduğunu, pazar koşullarına ve/veya teknolojik değişimlere göre aralıklar ile revize edildiği belirtilmiştir. Bir şirkette 3, 5 ve hattâ 10 yıl sonrasındaki olası senaryoların bile değerlendirildiği belirtilmiştir. Aynı şirkette, depo tasarımı projelerinin merkez tarafından yönlendirildiği de belirtilmiştir. Bu bağlamda örneğin elektronik satış, internetten satış gibi yakın gelecekte daha da önem kazanacak olan farklı satış ve ticaret modellerine uygun depoların tasarlanması gerektiği ifade edilmiştir. Dolayısıyla depo tasarımının bu iş modeline uygun, hedeflenen hizmet kalitesi ve düzeyini karşılayan ve aynı zamanda olabildiğince az mâliyetli olması gerektiği vurgulanmıştır. Bu noktada, hizmet düzeyinin ve kalitesinin mâliyetten daha öncelikli olduğu belirtilmiştir.

Söz konusu iş modeli, hızlı sevkiyat yapma ya da ürün stoklama konularından birini öne çıkartmaktadır. Bu aynı zamanda depo tasarımında hız/hacim karar noktasını oluşturmaktadır. Bu kritik kararın yanı sıra süreçlerin (operasyonların) de üst

düzeyde tasarlanması gerekliliği ve depo tasarımı yapılırken bu konunun mutlaka göz önünde bulundurulması gerektiği ifade edilmiştir.

Şirketlerin birinde farklı tasarım seçeneklerinin sistematik olarak bir karar destek sistem aracı ile simülasyon modelleri yardımıyla değerlendirmesinin yapıldığı belirlenmiştir. Bu değerlendirmelerde, depolama alanı verimliliği, hizmet düzeyi ve personel verimliliğine bakılmakta, sonrasında uygun olan çözüme ilişkin maliyetlendirme çalışması yapılmaktadır. Diğer şirketlerde ise bu tür analizler benzer şekilde, ancak ayrıca bir araç olmadan gerçekleştirilmektedir.

Bu şirketlerde depo tasarım projeleri öncelikle iş gereksinimlerinin ve hedeflerinin belirlenmesi ile başlamakta, sonrasında raf sistemlerinin seçimi yapılmaktadır. Bu aşamada hız/hacim karar noktası değerlendirilmektedir ve karara göre üst düzey yerleşim oluşturulmakta ve sonrasında ayrıntılı tasarım yapılmaktadır. Depo tasarımına ilişkin varolan durumdaki gibi master plânların lojistik şirketleri ile paylaşılması ve projelerin birlikte katılımlı olarak gerçekleştirilmesinin daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Perakende sektöründeki iki şirket ile gerçekleştirilen görüşmelerde ise depo yönetiminin kendileri tarafından yapıldığı ifade edilmiştir. Depo tasarımında dağıtım merkezi ilkelerinin ön plânda olması gerektiği vurgulanmıştır. Örneğin farklı ürün gruplarına göre farklı depolama koşullarının sağlanmasından dolayı bu farklı gruplara göre uygun depolama alanlarının belirlenmesi, mal giriş ve sevkiyat alanlarının titizlikle hesaplanması ve çapraz sevkiyat yapılacak alanın ayrı bir alan olarak değerlendirilmesi ve bu doğrultuda toplam depo alanının belirlenmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu bağlamda, özellikle mal kabul alanının yeterli olmasının çok kritik olduğu, çünkü mal kabul sürecinin aksaması durumunda, izleyen tüm süreçlerin de aksayacağı ve bunun etkisinin diğer sektörlerle göre çok daha fazla olacağı vurgulanmıştır. Dağıtım merkezlerinde sürekli olarak ürün giriş ve çıkışlarının yaşandığı düşünüldüğünde depolama alanının bir kısmının araç park alanı şeklinde düşünülmesinin yararlı olacağı belirtilmiştir (Erdal ve diğ., 2010).

Söz konusu şirketlerden biri, bu tür alan hesaplarının ve kapı/rampa sayılarının doğru belirlenmemesi sonucunda varolan durumda çapraz sevkiyatlarda çok ciddi gecikmelerin yaşandığını ve bu durumun da müşteri hizmet düzeyini doğrudan etkilediğini ifade etmiştir. Varolan durumda farklı depo tasarım seçeneklerinin

deneyimsel ve mâliyet odaklı olarak değerlendirildiği bu konuda bir karar destek sistemi veya aracından yararlanılmadığı belirtilmiştir.

Perakende şirketlerinde ürün kategorilerine ilişkin değişkenlikler, hızlı tüketim malları şirketlerine göre çok daha fazla olmaktadır. Örneğin hızlı tüketim mallarına ilişkin çoğunlukla paletli depolama yapılırken, perakende sektöründe çok çeşitli depolama birimleri bulunabilmektedir. Örneğin bir zincir market deposunda, kuru gıda, meyve ve sebze, et ürünlerinin yanı sıra dayanıklı tüketim malları ve hatta ütü masası, elektronik eşyalar vb. de bulunmaktadır.

Hızlı tüketim malları şirketleri için otomatik depo seçeneğinin söz konusu master plânlar çerçevesinde hem operasyonel APG hem de mâliyet açısından değerlendirildiği belirtilmiştir. Diğer yandan perakende şirketleri ise otomatik depolara, ülkemizdeki işçilik ücretlerinin az olması ve uzun vâdede esnekliği azaltması gerekçesiyle çok sıcak bakmadıklarını ifade etmişlerdir. Fakat belirli alanlarda konveyör kullanımının operasyonel verimliliği önemli ölçüde arttıracığı ve bu konuda çalışmalar yapıldığı belirtilmiştir. Bartholdi ve Hackman (2011) da düşük yatırım mâliyetine sahip depoların yüksek yatırım mâliyetine sahip tam otomatik depolardan daha verimli çalışabildiğini, çünkü yüksek yatırım mâliyeti olan depolarda otomasyondan ötürü esnekliğin azaldığını belirtmiştir.

Tüm şirketler tarafından depo tasarımı ve yönetiminde esneklik konusunun son derece önemli olduğu belirtilmiştir. Hızlı tüketim malları sektöründe ürün değişse bile çoğunlukla paletli depolama ve sevkiyat yapıldığı için, esneklik daha hızlı ve kolay bir şekilde sağlanabilmektedir. Bu şirketlerde salt palet dışında koli ve/veya adet bazında sevkiyat yapılması durumunda esneklik kritik duruma gelmektedir. Perakende sektöründe ise ürün kategorilerindeki değişikliklerin çok daha fazla olması nedeniyle, esneklik konusu daha önemli duruma gelmektedir.

Söz konusu şirketlere depo tasarımı ve performansını değerlendirmek üzere göz önüne aldıkları APG'ler sorulduğunda; tüm şirketler tarafından mâliyet kalemlerinin yanı sıra aşağıdaki APG'ler belirtilmiştir:

- Depolama alan verimliliği
- İşgücü verimliliği
- Zamanında teslimat

- Sipariş toplama süresi
- Sipariş toplama doğruluğu
- Hasarlı ürün oranı
- Stok lokasyon doğruluğu
- Mal kabul süresi

Görüşme gerçekleştirilen 5 şirketten 3'ü tarafından, depo yönetimi ve tasarımı konusunda personel ve işgücü optimizasyonu konusunun da sıkıntılı konulardan bir tanesi olduğunu belirtilmiştir.

5. HİYERARŞİK DEPO TASARIMI

Etkin ve verimli bir depo yönetimi için mâliyet ve hizmet performansının istenilen düzeyde sürekli olarak tutulması gerekmektedir. Söz konusu mâliyet ve hizmet performansına etki eden etmenlerin birçoğu ile ilgili kararlar, depo tasarımı aşamasında verilmektedir. Baker (2010), kira, amortisman gibi sabit mâliyetlerin toplam depolama mâliyetleri içerisinde ortalama %30-50 oranında olduğunu ve bu mâliyet öğelerinin tasarım aşamasında kararlaştırıldığını belirtmektedir. Diğer yandan personel, aydınlatma, ısıtma gibi değişken mâliyet öğelerinin de yine depo tasarımı çerçevesinde kararlaştırıldığını belirtmektedir. Depoların genel ömürlerinin 25-30 yıl, ekipmanlarının ise 5-10 yıl olduğu düşünüldüğünde hedeflere uygun ve/veya esnek olmayan bir depo tasarımı, işletmelerin performansına uzun süreli olarak kötü yönde etki etmektedir (Baker, 2010).

Önceki bölümlerde belirtildiği üzere depo tasarımı, birçok farklı düzeyde birbiriyle ilişkili ve etkileşimli olan bir veya birden fazla karar noktasını içermektedir. Bu doğrultuda hızlı tüketim malları/perakende sektörü için dağıtım merkezi olarak faaliyet gösteren bir depo tasarımına ilişkin iş akışını ve aşamalarını stratejik, taktik ve operasyonel olmak üzere; hiyerarşik bir yapıda incelemek gerektiği sonucuna varılmıştır.

Söz konusu hiyerarşik depo tasarım yöntembiliminde depo tasarımı problemi için bütünsel (holistik) ve uçtan uca tüm tasarım evrelerini içeren bir yaklaşım geliştirilmiştir. Yöntembilim içerisinde her bir hiyerarşik düzeye ilişkin gerçekleştirilmesi gereken görevler ve faaliyetler sıralı bir şekilde belirtilmiştir. Bazı görev ve faaliyetler ile ilgili alınan kararlar sonraki aşamalardaki bazı kararlar için girdi oluşturabileceği gibi, bir görev ve faaliyete ilişkin alınan bir karar; önceki adımlarda yer alan ilişkili görev ve faaliyetlerin yeniden gözden geçirilmesini de gerektirebilmektedir. Yöntembilim içerisinde tüm bu ilişkiler ile girdi/çıktı özellikleri gösterilmiştir.

5.1 Stratejik Düzey Depo Tasarımı

Depo tasarım çalışmaları, yeni depo tasarımı, küçük/büyük yeni bir depoya geçiş/taşınma veya varolan bir deponun yeniden tasarlanması şeklinde temel olarak üç farklı biçimde değerlendirilebilmektedir (Baker, 2010). Bu tez çalışmasında yeni depo tasarımına ilişkin bir depo tasarım yöntembilimi önerilmektedir.

5.1.1 Stratejik hedeflerin belirlenmesi ve yatırım planlama

Stratejik düzey depo tasarımında ilk aşamada depo ile ilgili stratejik hedeflerin belirlenmesi ve yatırım planlamasının gerçekleştirilmesi öngörülmektedir. Stratejik hedefler, depo tasarımı probleminin ayrıntılandırılması için kritik öneme sahiptir. Söz konusu hedefler, aşağıdaki konularda verilecek kararlar sonucunda ortaya çıkacaktır:

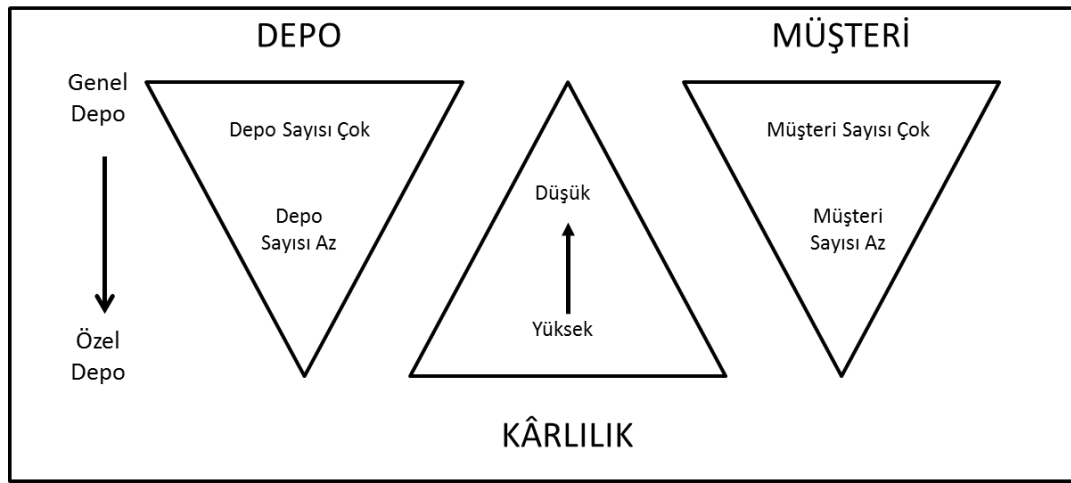
- Deponun amacı ve türü
- Deponun hizmet vereceği sektör
- Arazi kısıtlarına bağlılık
- Arazi topoğrafyasına bağlılık
- Arazi ve imar kısıtları doğrultusunda deponun tek katlı/çok katlı olması
- Deponun tek/çok müşteriye hizmet vermesi
- Depoda tek/çok tip ürün olması

Bu tez çalışmasında önerilen yöntembilim çerçevesinde, bu hedeflere ilişkin varsayımlar yapılmıştır. Deponun amacı ve türü dağıtım merkezi şeklinde belirlenmiş olup, deponun hizmet vereceği sektör ise hızlı tüketim malları/perakende sektörü olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada arazi ve imar kısıtları ile topoğrafya ilişkili kısıtlar gözardı edilmiştir. Bir başka deyişle, bu konulara ilişkin hiç bir kısıtın olmadığı varsayılmıştır. Bu doğrultuda deponun tek katlı, tek müşteriye hizmet veren ancak birden fazla tip ürünü bulunduran bir depo olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu aşamada deponun sürdürülebilirlik açısından da değerlendirilmesi önerilmektedir. Stratejik olarak deponun tasarımı sırasında göz önünde bulundurulacak olan çevresel, ekonomik ve toplumsal etmenlerin belirlenmesi ve tasarım sırasında belirlenen bu

ilkelerin göz önünde bulundurulması, deponun sürdürülebilir özellikte olmasını sağlayabilecektir.

Depo yatırım plânlaması da stratejik düzeyde gerçekleştirilmesi gereken diğer önemli bir konudur. Erdal ve diğ. (2010), bu hususta işletmelerin zorlandığını belirtmiştir. Yatırım plânlama, ürün-depo-müşteri etkileşim düzeyinin saptanması olarak değerlendirilebilir. Söz konusu etkileşim Şekil 5.1’de verilmektedir. Bu karar doğrultusunda deponun genel veya özel bir depo olması saptanabilmektedir. Yine yatırım plânlama faaliyetleri doğrultusunda deponun mülkiyetinin işletmeye ait olması ya da kiralanması şeklinde stratejik bir karar da verilmelidir.



Şekil 5.1 : Ürün-depo-müşteri etkileşimi (Erdal ve diğ., 2010).

5.1.2 Depo yeri seçimi

Belirlenen stratejik hedefler ve yatırım planları doğrultusunda depo yeri seçimi gerçekleştirilmelidir. Söz konusu tez çalışmasında, depo yeri seçiminin yapıldığı varsayılmıştır. Diğer bir deyişle, bu çalışmadaki depo tasarımı, depo yeri seçildikten sonraki konulara odaklanmaktadır.

5.1.3 Veri analizi

Depo tasarımında deponun genel yapısına ve işleyiş ilkelerine karar vermek için gereksinim duyulan verilerin toplanması ve analiz edilmesi gerekmektedir. Bu aşama, izleyen aşamalarda gereksinime yönelik bir çözümün oluşturulması yönünde ilerlenmesinin sağlanması açısından kritik bir öneme sahiptir.

Baker (2010)’a göre veri toplama aşaması, esasen iki farklı noktayı değerlendirmektedir:

- Varolan durumun analizi (malzeme akışı, miktar ve hareketler)
- Gelecekteki gereksinimlerin göz önüne alınması (yeni ürünler)

Bu aşama, depo tasarım aşamaları içerisinde en fazla süre alan aşamadır. Bazı durumlarda, istenilen kapsamda ve/veya ayrıntıda verilerin elde bulunmaması, söz konusu süreyi uzatabilmektedir.

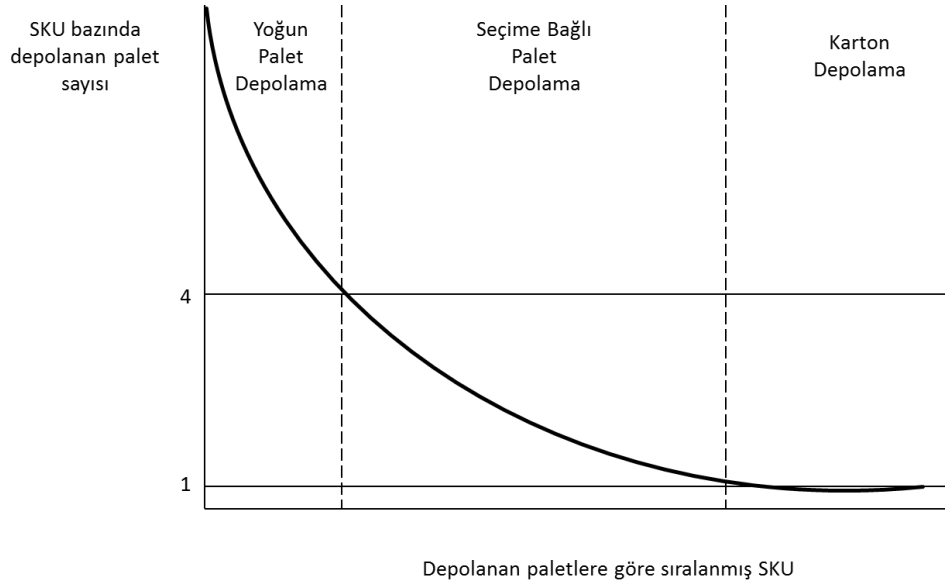
Baker (2010)'a göre hemen hemen her durumda aşağıdaki sorulara yanıt olacak kapsamda verilerin toplanması ve analiz edilmesi gerekmektedir:

- Malzeme girişleri nasıl yürütülmektedir, bu işleme ilişkin hacim nedir ? Malzemelerin yerleştirilme işlemlerinin nasıl olması istenmektedir ? Yerleştirme ne oranda ve hangi hacimde yapılacaktır ?
- Stoklanacak olan ürün grupları nelerdir ? Her bir ürünün (SKU bazında) fiziksel özellikleri nelerdir ?
- Her bir ürün ailesi/kategorisinde, ne hacimde bir depolama gereksinimi vardır ?
- Tipik sipariş profilleri nelerdir ? Bölüm, ürün ailesi/kategorisi bazında sipariş yapıları nasıldır ? Siparişler kontrol edilmekte ve/veya yeniden paketlenmekte midir ? Her bir faaliyete ilişkin içerik ve fiziksel hacim nedir ?
- Doğrudan yüklenmeyen malzemeler stoklanacak mıdır ? Depoya giriş ve çıkış yapan araç sayısı nedir ? Varolan durumda bu araçların yükleme/boşaltma işlemleri için ayrılan alan ne kadardır ? Taşıma ekipmanları için ek bir alan gereksinimi olacak mıdır ? Malzemelerin depolama birimlerine ilişkin boyut ve ölçüler nedir ?
- Depo işlem hacmi ve stoklara etki eden günlük/haftalık değişimler, mevsimsel etmenler gibi noktalar nelerdir ?

Varolan durumda ulaşılamayan veriler ile gelecekteki hedeflerin verilere etkilerini ortaya koymak amacıyla eğilim (trend) analizi yapılması veya değişim etmenlerinin hesaplamalara dahil edilmesi yaklaşımı değerlendirilebilir. Diğer yandan verilere ilişkin tüm varsayımlar ayrıntılı bir şekilde yazılmalı ve saklanmalıdır. Bu varsayımlar, ileriki aşamaların ve tasarım sonuçlarının değerlendirilmesi ve doğrulanması açısından kritik önem taşımaktadır. Söz konusu verilere ilişkin iki temel analiz yapılmalıdır:

- Depolama Analizi
- Hareket Analizi

Depolama analizinde en önemli karar noktalarından biri olan hız/hacim dengesi belirlenmektedir. Hız ve hacim konusundaki hedefler birbiri ile çelişmekte olduğundan, bu dengenin optimize edilmesi son derece önemlidir. Bunun için de mutlaka ürünlerin depolanma ve hareket verileri incelenmelidir. Bu bağlamda, sıralanmış ürün depolama ve sıralanmış ürün hareket oranlarına ilişkin veriler anlamlı olmamaktadır. Bunun yerine her bir ürünün depolanması gereken palet sayısı ile toplam depolanması gereken palet ve birim miktarı kombinasyonu değerlendirilmelidir. Örnek bir depolama analiz grafiği Şekil 5.2’de verilmektedir.

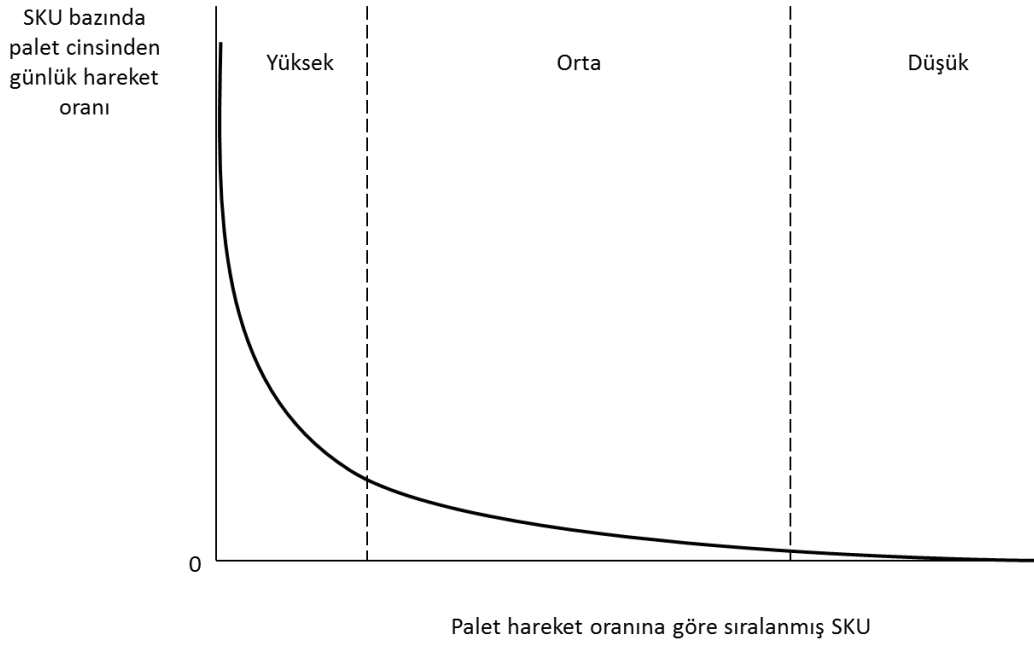


Şekil 5.2 : Depolama analizi grafiği (Baker, 2010).

Depolama analizi, depolama sistemlerinin tasarımı ve taktik düzeyde yer alan ekipman seçimi için de bir girdi oluşturmaktadır.

Hareket analizi, malzemelerin depoda hareket oranlarını; paletli veya karton kutulu şekilde belirtmektedir. Örnek bir hareket analizi grafiği Şekil 5.3’te verilmektedir.

Baker (2010), söz konusu verilerin genellikle tutarsal (finansal) veya birim satış miktarları bazında olabildiğini ancak böyle bir durumda analizin doğru sonuç vermesi için verilerin uygun formata (örneğin günlük palet sayısı, günlük sipariş kalem sayısı veya sipariş toplama emri sayısı) dönüştürülmesi gerektiğini belirtmektedir.



Şekil 5.3 : Hareket analizi grafiği (Baker, 2010).

Depolama ve hareket analizlerini takiben volumetrik analizlerin yapılması gerekmektedir. Bu analiz için gereken veriler DYS için de son derece önem taşımaktadır. Bu tür bir veriyi elde etmek için öncelikle büyük fiziksel hacim ve hızlı hareket gören ürün gruplarının incelenmesi gerekmektedir. Büyük olasılıkla ürün gruplarının %20'si, tüm depo işlem hacminin %80'ini oluşturmaktadır (Baker, 2010).

Yine Baker (2010)'a göre birçok işletme farklı depolama birimleri kullanabilmektedir. Bu tür bir durumda depoya giriş yapan, depolanan ve depodan çıkış yapan tüm farklı depolama birimleri ve paketlerine ilişkin boyut ve ölçülerin saptanması gerekmektedir. Varolan duruma ilişkin verilerin analizinin yanı sıra gelecekte, hedeflenen iş modelini de destekleyecek bir depo tasarımının yapılması gerekmektedir. Dolayısıyla gelecek durum ile ilgili satış ve pazarlama, üretim, depo yönetimi gibi gerekli tüm paydaşların katkı sağladığı bir analiz çalışması yürütülmelidir. Gelecekteki duruma ilişkin depo tasarımını etkileyecek etmenler şöyle verilebilmektedir:

- Depoda işlem görmeyecek ürün aileleri/kategorileri/SKU'lar
- Sipariş toplama hattı bazında miktar değişiklik öngörülleri
- Sipariş toplama birim yük değişiklik öngörülleri

- Mevsimsellik – depolama ve sipariş toplama gereksinimlerine etki etmektedir.
- Büyüme beklentileri
- Ürün aileleri/kategorilerine ilişkin yaşam döngüleri
- Politik ve ekonomik etmenler

Veri analizleri sırasında özellikle gelecekteki gereksinimlerin belirlenmesine ilişkin depo tasarımının geçerli olacağı plânlama zaman dönemine ilişkin konvansiyonel/otomatik depo geçişi ile ilgili bir analiz sonucu hazırlanmalıdır. Örnek bir analiz tablosu Çizelge 5.1’de verilmektedir.

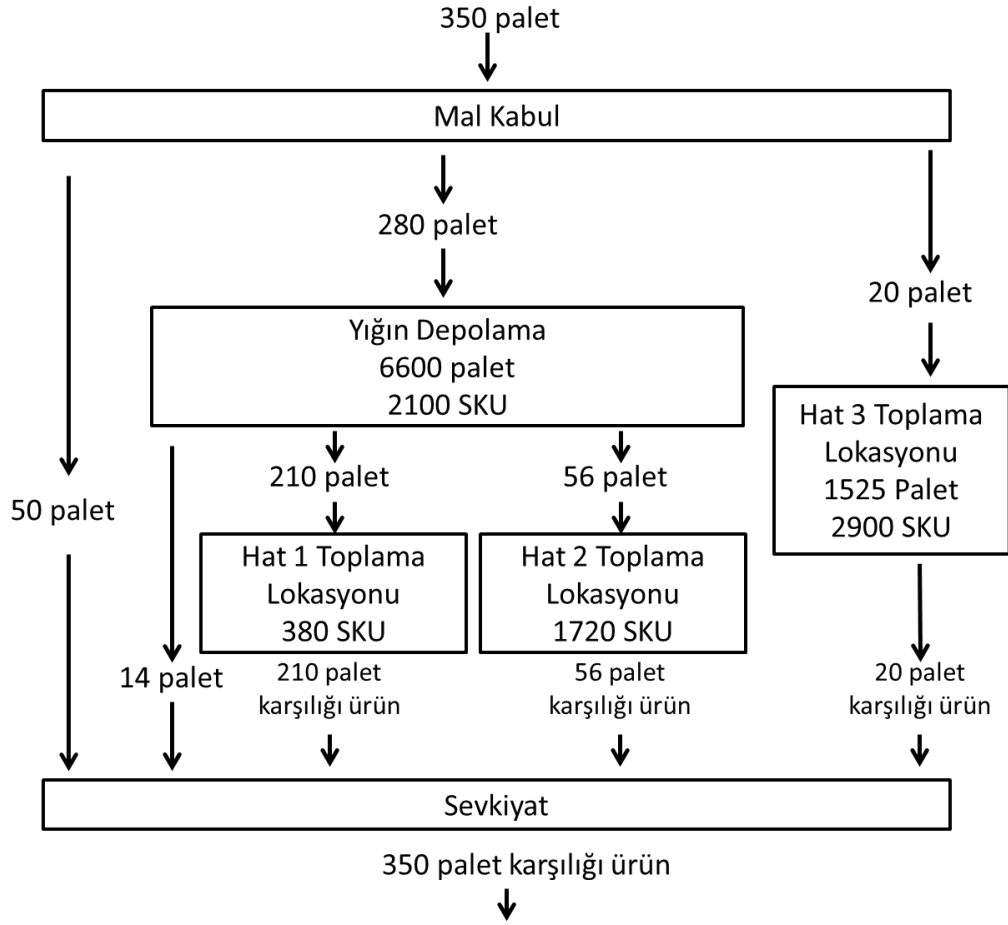
Çizelge 5.1 : Plânlama zaman dönemi analiz tablosu (Baker, 2010).

Zaman Dilimi	1-3 Yıl	1-5 Yıl	1-10 Yıl	1-10+ Yıl
Potansiyel Çözüm	Konvansiyonel -----→ Otomatik			
Esneklik	Gelecekte plânlama gereksinimleri ve pazar eğilimlerine göre esnek olma gereksiniminin artması			
Belirsizlik	Plânlama zaman dilimi uzadıkça belirsizlikler artacağı için belirli varsayımların yapılması ve bu varsayımların geçerliliğinin sürekli olarak izlenmesi			
Veri Gereksinimleri	Doğru kalem/hat verisi -----→ Doğru pazar projeksiyonları			

Veri analizleri sonuçları baz alınarak depo akış diyagramları oluşturulmalıdır. Örnek bir depo akış diyagramı Şekil 5.4’te verilmektedir.

Bu aşama sonrasında gerçekleştirilecek Pareto analizleri ile de depo bölümleri ve raflarının tanımlanması ile bölüm ve raf yayılımı konusunda kararlar verilmelidir. Veri analizleri sonucunda malzeme akışlarının yanı sıra ürün depolama birimlerine ilişkin boyutlar ve ölçüler de saptanabileceğinden depolama kapasitesi (sizing) konusuna ilişkin tasarım soruları yanıt bulmuş olacaktır. Sonrasında da deponun toplam boyutu belirlenmeli ve yerleşime geçiş yapılmalıdır (Gu, 2005; Baker, 2010).

Bu çalışmada, ürünlerin tümünün standart ve paletli olarak depolandığı varsayılmaktadır.



Şekil 5.4 : Depo akış diyagramı (Baker, 2010).

5.1.4 Konvansiyonel/otomatik depo kararının verilmesi

Veri analizi sonuçlarına göre deponun konvansiyonel veya otomatik depo olmasının kararının verilmesi gerekmektedir. Otomatik depolar, organizasyonların büyüme beklentilerine ilişkin hızın yüksek olması durumunda yeğlenebilmektedir. Örneğin yüksek düzeyde depo işlem hacmi ve depolama kapasitesi, depo otomasyon çalışmalarının en önemli nedeni olarak değerlendirilebilmektedir.

Depo tasarım sürecindeki en temel kararlardan biri olan otomasyon, genel olarak büyük ölçekli operasyonlarda, operasyonun hacmi ve ürünlerin dolaşım sürelerinin daha kritik duruma gelmesi nedeniyle kazanımlar sağlamaktadır. Otomasyon kararının verilmesinde aşağıdaki noktalar etkili olmaktadır:

- Manuel operasyon ve taşımaların azaltılması sonucunda verimlilik artışının sağlanması

- Depo işlem hacminin çok daha yüksek olmasının sağlanması (otomatik depolarda rotalama ve sıralama gibi işlemlerin hızlı olması nedeniyle birim zamanda işlem gören palet sayısı çok daha fazla olabilmektedir)
- Sipariş hazırlama ve toplama işlemlerine ilişkin doğruluk oranlarının artırılmasının sağlanması
- Daha düşük stok düzeyleri ile daha iyi stok kontrol faaliyetlerinin gerçekleştirilebilmesi

Son dönemde gerçekleştirilen araştırmaların sonuçlarına göre otomatik depolardan kısa vâdede beklentiler ve elde edilmek istenen kazanımlar şu şekilde belirtilmektedir:

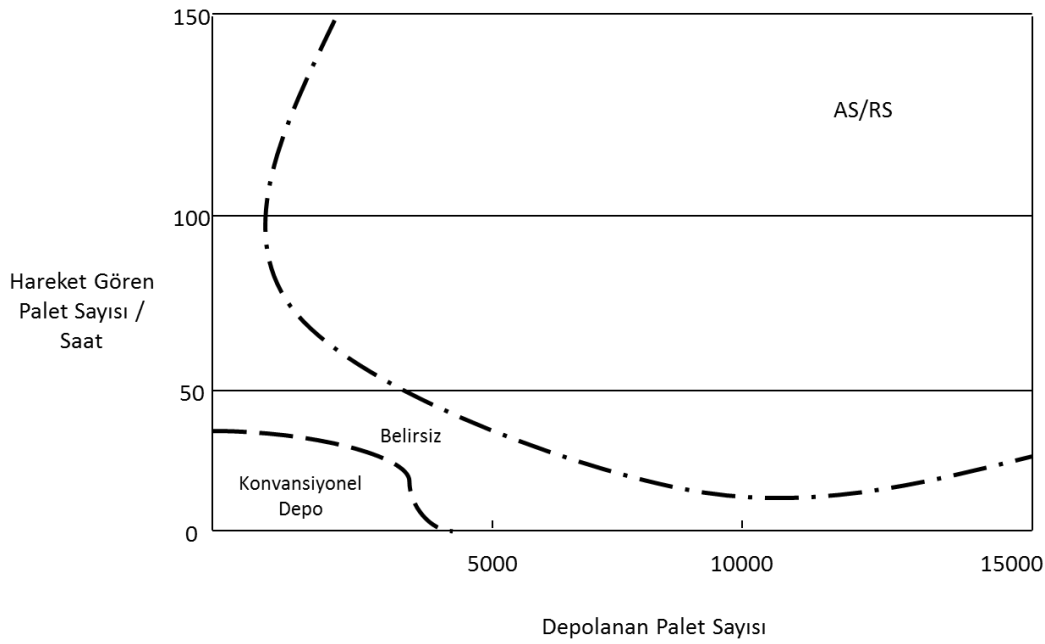
- Operasyon performansındaki iyileştirmeler de depolama yoğunluğundaki artış nedeniyle mâliyetlerde düşüşün sağlanması
- Temin sürelerinin ve teslim doğruluğunun artması nedeniyle müşteri hizmet düzeyinin iyileştirilmesi
- Operasyon mâliyetlerinin düşürülmesi ve müşteri hizmet düzeyinin iyileştirilmesine yönelik rakiplerin baskılarına karşı tepki verilebilmesi
- Hacim artışlarına, arz ve/veya taleplere ilişkin değişikliklere karşı esnek olunabilmesi

Otomatik depolama sistemlerinin destek gereksinimleri daha karmaşık olurken esnekliğin de azalması, depo yönetiminde riskleri de beraberinde getirebilmektedir. Gerçekleştirilen araştırma sonuçlarına göre otomatik depolarda bazı operasyonel sorunların da ortaya çıktığı belirlenmiş, depo yöneticilerinden söz konusu karar sırasında bu tip potansiyel sorunların da göz önünde bulundurulması gerektiği vurgulanmıştır:

- **Güvenilirlik/Duruşlar:** Sistem arızası veya duruşu durumunda plânlamanın yapılması
- **Kapasite Sorunları:** Toplam depo işlem hacmi ve kapasitesine ilişkin sonlu bir kapasitenin kurulması
- **Esnekliğin Azalması:** Değişikliklere karşı plânlama ve yanıt verebilme yeteneğinin yetersiz olması

- **Güncelleme:** Sistemlerin ve ekipmanların ekonomik ömürleri boyunca güncellenmesinin gerekliliği

Son araştırmalarda perakendeciler, üreticiler ve lojistik hizmet sağlayıcı şirketler otomatik depolama çözümlerinin yeğlenmesinde ölçek (depolanan palet) ve işlem hacminin (birim zamanda palet hareketleri) en önemli iki ana etmen olduğu ortaya konmuştur. Bu konuya ilişkin grafik Şekil 5.5'te verilmektedir (Dallari ve diğ., 2006).



Şekil 5.5 : Konvansiyonel/otomatik depolama (Dallari ve diğ., 2006).

Grafikten de görüleceği üzere 5.000-7.000 paletin depolanması ve saatteki palet hareketinin 50-60 palet olduğu durumda otomatik depo tercihinin yönelmenin olduğu görülebilmektedir. Öte yandan söz konusu çözümlerin mâliyetinin ve işletme kültürüne uygunluğunun da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu aşama sonucundaki çıktılar; ekipmanların seçimi ile ilgili girdileri oluşturacaktır.

5.1.5 Depolama süreçlerine ilişkin ilkeler

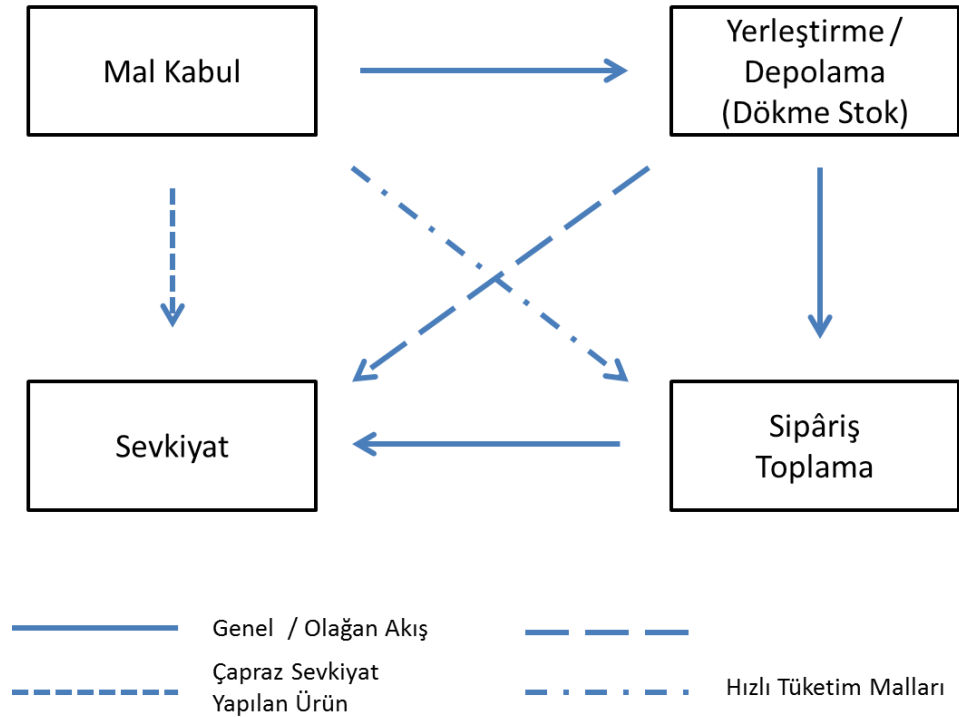
Bu aşamada, depo operasyonlarına ilişkin genel ilkelerin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Depo, tedârik zincirinin bütünleşme noktalarından biri olduğu için depolama süreçlerine ilişkin hedeflere uygun olarak tasarımı yapılmalıdır. Süreçlere ilişkin üst düzey tasarım ilkeleri öncesinde ise depo akış tipinin de bu aşamada

belirlenmesi ön görülmektedir. Deponun I-tipi, S-tipi, U-tipi vb. akış tipinin olması konusunda genel bir değerlendirme yapılmalıdır.

Özellikle temel depolama işlevleri olarak tanımlanabilen aşağıdaki dört konuda temel süreç ilkeleri ortaya konmalıdır (Baker, 2010):

- Mal Kabul
- Yerleştirme/Depolama
- Sipariş Toplama
- Sevkiyat

Söz konusu işlevlerin birbirleri ile olan ilişkileri ve temel akışları Şekil 5.6'da verilmektedir.



Şekil 5.6 : Depo işlevleri ve akışları (Baker, 2010).

Mal Kabul sürecine ilişkin olarak araç yükleme ve boşaltma süre ve alanlarına ilişkin temel ilkelerin belirlenmesi önemlidir. Özellikle hızlı tüketim malları/perakende dağıtım merkezlerinde araçların beklemesine ilişkin yeterli büyüklükte bir alanın da deponun dışında kalan alan olarak toplam depo alanına dâhil edilmesinde yarar görülmektedir.

Yerleştirme/Depolama sürecine ilişkin öncelikle kabul edilen malzemelerin dökme olarak stoklandığı alanın göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu tür bir depolama çoğunlukla rastgele bir stoklama alanı veya DYS kullanımı söz konusu ise DYS'nin önceden yapılan tanımlamalara göre önereceği bir stoklama alanı üzerinde yapılacaktır. Temel olarak hızlı hareket gören stoklar, rafların daha alçak ve ön kısımlarında; yavaş hareket gören malzemeler ise rafların yüksek ve daha arkada kalan kısımlarında depolanabilecektir. Bu durumun iki istinası bulunmaktadır; bazı hızlı hareket gören veya mevsimsel ürünler blok yığın şeklinde paletli olarak depolanabilmektedir. Bazı birim yükler ise çapraz sevkiyat sürecine tâbi olarak mal kabul alanından sevkiyat alanına transfer edilmektedir. Bloke stoklara ilişkin ayrı bir alanın tanımlanması özellikle gümrüklü olan mallar söz konusu olduğunda gerekmektedir. Ayrıca tedârikçilere veya müşterilere ait stokların da ayrı ayrı alanlarda depolanmasında yarar görülmektedir.

Sipâriş Toplama sürecine ilişkin kalem bazında toplama, koli toplama, palet toplama, parti toplama gibi farklı toplama türlerinden uygun olanlar belirlenmeli ve tasarımın ileriki aşamalarında göz önünde bulundurulmalıdır. Bu doğrultuda toplama işlemine ilişkin alan gereksinimi de ortaya çıkarılmalıdır.

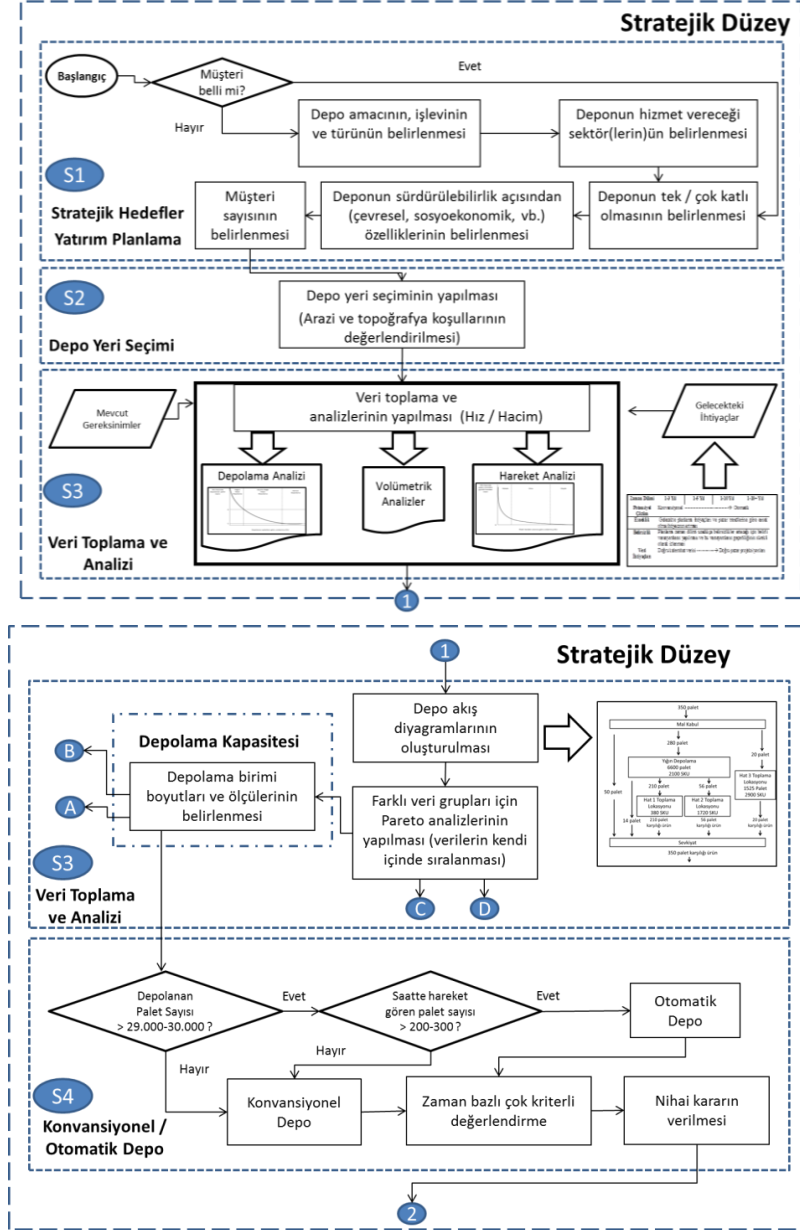
Sevkiyat sürecine ilişkin yeterli alan gereksinimi de mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Bu alanın hesaplanmasında araç türleri ve profilleri de önem taşımaktadır.

Depolama süreçlerine ilişkin ilkeler, depo yerleşimi açısından kritiktir. Depo yerleşiminde temel amaç, yatay ve dikey alanları en verimli ve etkin bir şekilde kullanmaktır; stok hareketlerini enküçükmek ve depolama potansiyelini enbüyüklemek olarak da ifâde edilebilir (Baker, 2010).

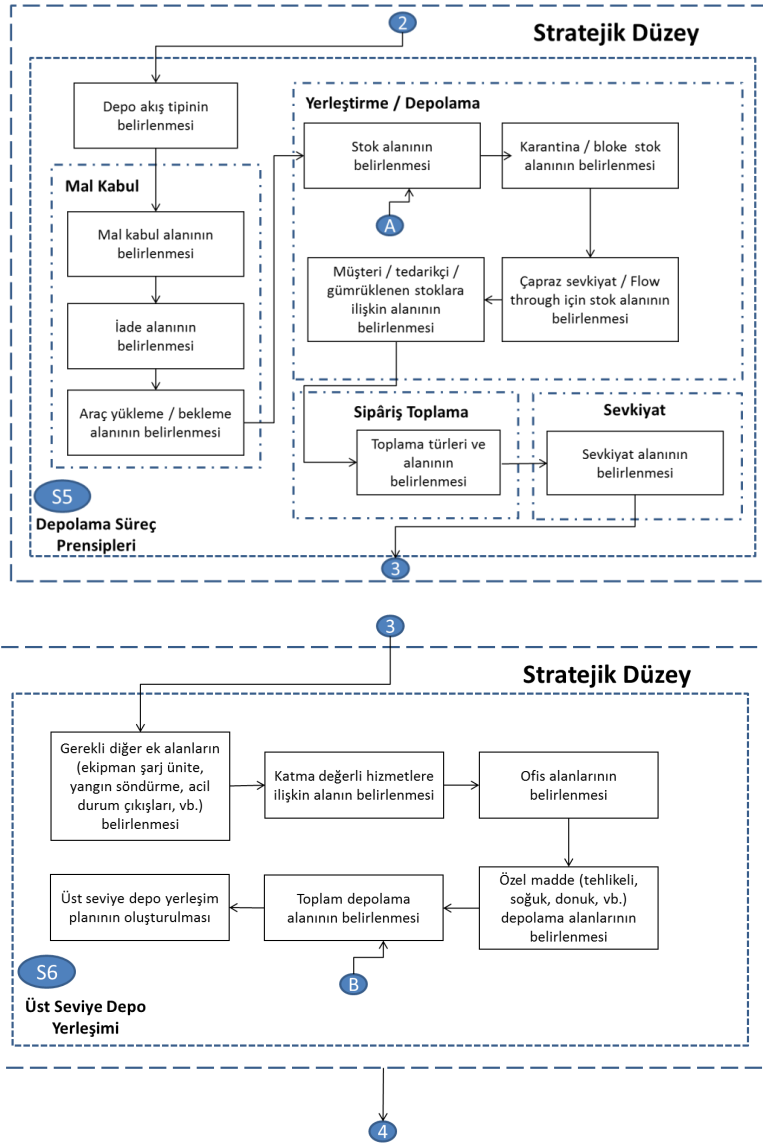
5.1.6 Üst düzey depo yerleşimi

Bu bilgiler ışığında deponun kabaca bir yerleşim plânı oluşturulmalıdır. Söz konusu yerleşim plânı, sonraki aşamalardaki kararlar doğrultusunda ayrıntılandırılacak ve kesinleştirilecektir. Ekipmanlara ilişkin şarj ünitelerinin yerleşimi, yangın söndürme araç ve gereçlerinin yerleşimi, âcil durum çıkışları, tehlikeli madde depolama alanları da depo tasarımı ve üst düzey depo yerleşiminin oluşturulması sırasında göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu bağlamda stratejik düzeye ilişkin depo tasarım yöntembilimi Şekil 5.7’de verilmektedir:



Şekil 5.7 : Stratejik düzey depo tasarım yöntembilimi.



Şekil 5.7 (devam) : Stratejik düzey depo tasarım yöntembilimi.

5.2 Taktik Düzey Depo Tasarımı

5.2.1 Depolama politikaları

Taktik düzeydeki depolama politikaları, depolama yönteminin seçimi ve sipariş toplama ile hazırlama yönteminin belirlenmesini içermektedir (Gu, 2005). Bu aşamada özellikle tahsisli depolama, rastgele depolama, sınıf bazlı depolama, ürün grubu bazında depolama gibi farklı depolama politikalarının belirlenmesi gerekmektedir (Rouwenhorst ve diğ., 2000). Depolama lokasyonunun belirlenmesinde COI kuralı da kullanılabilmektedir (de Koster ve diğ., 2007).

Söz konusu depolama politikalarının birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Malmberg (1996)'un belirttiği üzere, rastgele depolama politikası,

depolama alanını enküçüklerken toplama işlemleri sırasında verimsizliğe yol açabilmektedir. Diğer yandan tahsisli depolama ise toplama işlemlerini daha hızlı yürütmeyi olanaklı kılmakta ancak daha fazla depolama alanına gereksinim duymaktadır.

5.2.2 Koridor tasarımı

Depolama politikalarının belirlenmesinden sonra koridor tasarımları gerçekleştirilmelidir. Raf sistemleri ve buna bağlı olarak ekipman seçeneklerinin özelliklerine göre koridorların düzeni, uzunluk ve genişlikleri, numaraları daha kesin duruma getirilmelidir (Gu, 2005). Bu aşamada ayrıca paletli depolama için paletlerin ve istif şekillerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Bu aşamada geleneksel olarak paralel ve dikey koridorların yanı sıra deponun özelliklerine göre daha önce Bölüm 2.1’de sözedilen ve Şekil 2.1., Şekil 2.2. ve Şekil 2.3.’te belirtilen Kanat Koridor (Flying V), Balık Kılçığı (Fishbone) Koridor ve Apolet (Chevron) Koridor gibi farklı tasarım seçenekleri de değerlendirilmelidir.

Baker (2010), bir araştırmaya göre bir deponun toplam alanının %52’sinin depolama; %17’sinin sipariş toplama ve paketleme; %16’sının mal kabul ve sevkiyat; %7’sinin katma değerli hizmetler ve geriye kalan %7’lik kısmın ise diğer amaçlar için kullanıldığını belirtmektedir.

5.2.3 Raf sistemleri ve ekipman seçimi

Stratejik düzeyde veri analizleri, konvansiyonel/otomatik depo kararı ve depolama süreç ilkeleri, taktik düzeyde ise koridor tasarımına ilişkin ilkeler, bu aşama için girdileri oluşturmaktadır. Deponun hacim kullanımına ilişkin ilkeleri koridor tasarımları ile belirlenmekte olup koridor tasarımları doğrultusunda ekipmanların belirlenmesi gerekmektedir.

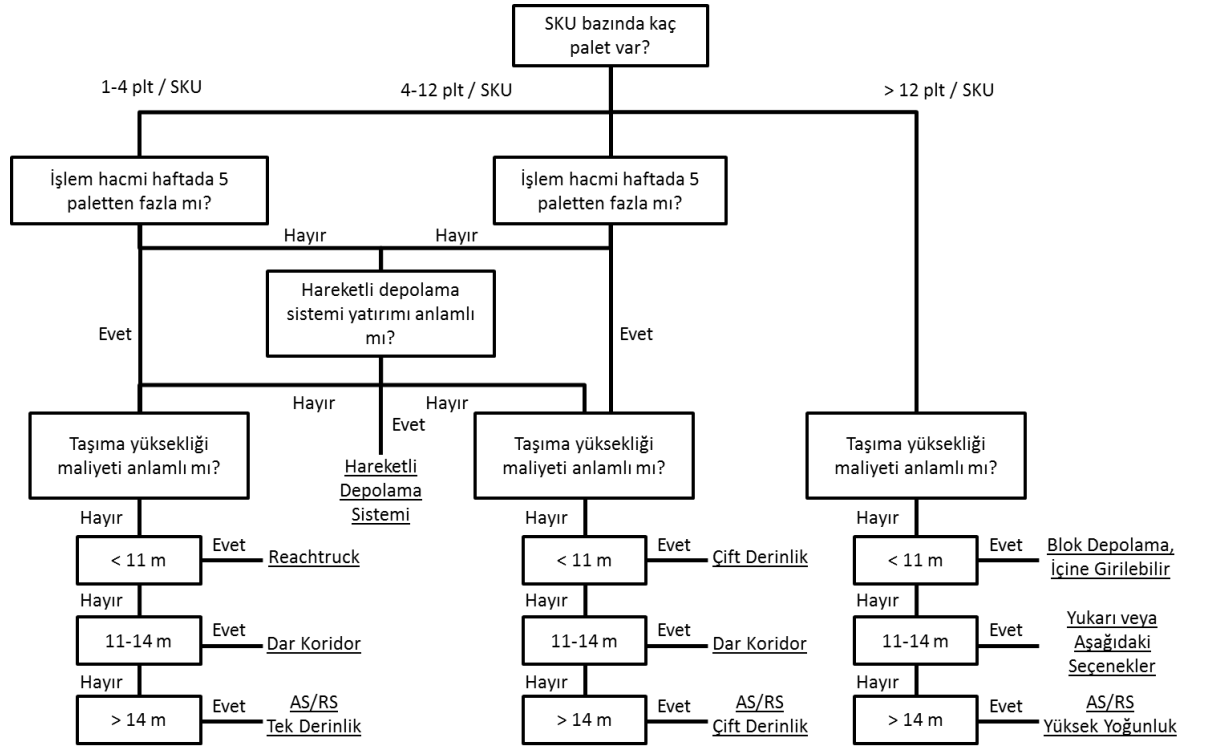
Bu aşamada depo içerisindeki sabit ve hareketli olan depolama ekipmanlarının seçiminin yapılması gerekmektedir (Baker, 2010). Raf sistemlerinin belirlenmesi ile birlikte, söz konusu raf sistemlerine uygun olan ekipmanlar da seçenekler arasından daha belirgin duruma gelmektedir.

Gu (2005)’ya göre bu aşamada ekipmanların ve otomasyon düzeylerinin belirlenmesi gerekmektedir. Söz konusu ekipmanlar, hem depolama hem de malzeme elleçleme ekipmanları olarak düşünülmelidir.

Daha önceki bölümlerde vurgulandığı üzere, Gu ve diğ. (2010)'nın da belirttiği gibi, bu noktada gereksinimlere yönelik ekipman seçeneklerini karakterize eden yöntemlere gereksinim olduğu değerlendirilmektedir. Ayrıca, uygun seçenekler arasından AS/RS seçimi için de modellere gereksinim olduğu saptanmaktadır (Roodbergen ve Vis, 2009).

Ekipman seçimi, ayrıntılı teknik analizlerin yanı sıra iş süreçlerine ilişkin temel ilkelere, depo binasının yapısına, ürün ve müşteri sipariş profilleri ile bilgi teknoloji altyapısına da bağlıdır. Ayrıca depoda söz konusu ekipmanların kullanımı konusunda gerekli yetkinliğe sahip personelin olması zorunluluğu da göz önüne alınmalıdır. Depodaki ekipmanların belirlenmiş spesifikasyonlara sahip olması, bakım ve onarım hizmetleri ve mâliyetlerini optimize etmek adına önemlidir. Bu bağlamda stoklama sistemlerine ilişkin teknik spesifikasyonların ve düzenli bakım yordamlarının, European Federation of Material Handlings (FEM) ve Storage Equipment Manufacturer's Association (SEMA) standartlarına uygun olması önem arz etmektedir.

Stratejik düzeyde yer alan konvansiyonel/otomatik depo kararının sonucuna göre, söz konusu depoda konvansiyonel depolama sistemleri kullanılması kararı verildiğinde, farklı depolama sistemleri arasında da nihai bir karar verilmelidir. Bu kararın verilmesinde yararlı olabilecek bir karar ağacı Şekil 5.8'de verilmektedir (Baker, 2010).



Şekil 5.8 : Depolama sistemlerinin belirlenmesi için karar ağacı (Baker, 2010).

Uygun ekipmanın seçiminde ekipmanların özelliklerine göre değerlendirilmeye tâbi tutulduğu bir matris yardımı ile söz konusu kararlar daha pratik bir şekilde verilebilmektedir. Otomatik ekipmanlar için örnek bir tablo Çizelge 5.2’de verilmektedir.

Çizelge 5.2 : Otomatik ekipmanların özelliklerine göre değerlendirilmesi

(1: en kötü – 5: en iyi) (Baker, 2010).

	Depolama Etkinliği	Depo İşlem Hacmi Kapasitesi	Esneklik
Otomatik Konveyör Sistemleri	1	5	3
Karuzel	5	2	2
Robot Sistemleri	1	3	2
AGV	1	3	4
AS/RS	5	3	3

5.2.4 Ayrıntılı depo yerleşimi

Bu bölümde depolama yeri ve alanı hesabı yapılarak ayrıntılı depo yerleşimi çalışması da gerçekleştirilmelidir. Tanyaş (2011)’a göre depolama (raf veya istif) yeri hesabı için öncelikle ileriye yönelik depolama gereksinimi tahminlerinin (stoklama profili; en fazla, en az, ortalama, standart sapma) belirlenmesi

gerekmektedir. Tahminin en az 6 yılı içermesi gerekmektedir. Depolama yeri hesabı aşağıdaki şekilde yapılmaktadır:

$$n_w = (D * s) / d \quad (5.1)$$

n_w : Depolama yeri

D: Depoya dönemsel ürün giriş miktarı

s: Stok gün sayısı

d: Dönemsel gün sayısı

Örneğin 2015 yılında 70.000 tonluk ürünün depoya girip çıkacağı öngörülmüş olsun. Stok gün sayısı 3, dönemsel gün sayısı 365 ve ortalama palet ağırlığı 0,5 ton ise, bu ürün için 2015 yılı depolama yeri gereksinimi;

$$n_w = (70.000 / 0,5) * 3 / 365 = 1.167 \text{ palet olacaktır.}$$

Ghiani ve diğ. (2004), depolama yeri sayısının tahsisli depolama politikası söz konusu olduğu durumda, ürünler, önceden kendisi için belirlenmiş depolama yerlerine konulmakta olduğunu belirtmiştir. Gerekli depolama yeri büyüklüğü hesabı için önce her bir ürünün dönemlere (örneğin: aylara) göre öngörülen en fazla depolama yeri miktarları (alan gereksinimleri) belirlenmektedir. Daha sonra depolama yeri gereksinimini belirlemek için her bir ürünün söz konusu en fazla depolama yeri gereksinimleri toplanmaktadır.

$$m_d = \sum \max_t I_j(t) \quad t = 1, \dots, k \quad ; \quad j = 1, \dots, n \quad (5.2)$$

m_d : Tahsisli depolama politikasında toplam depolama yeri gereksinimi

n: Ürünler

t: Dönem

k: Dönem sayısı

$I_j(t)$: t döneminde j ürününün depolama yeri gereksinimi

$\max I_j(t)$: j ürünün için tüm dönemler boyunca en fazla depolama yeri gereksinimi

Rastgele depolama politikası söz konusu olduğu durumda ise ürünlerin nereye yerleştirileceğine depo ve ürün (FIFO vb.) durumuna, olası giriş ve çıkış

öngörülerine (çok hareket görenler vb.) göre dinamik olarak karar verilmektedir. Dolayısıyla bir ürünün depolama yeri büyüklüğü zaman içinde değişebilmektedir.

$$m_r = \max_t \sum I_j(t) \quad j=1, \dots, n \quad (5.3)$$

m_r : Rastgele depolama politikasında depolama yeri gereksinimi

$I_j(t)$: t döneminde j ürününün depolama yeri gereksinimi

Depolama alanının en ve boy hesabının yapılması da bu aşamada gerçekleştirilmelidir. Deponun en ve boy özelliklerinin de raf, ekipmanlar ve koridor genişliklerine göre belirlenmesi gerekmektedir. Deponun eni ve boyunu belirlemek için gerekli olan bazı notasyonlar şöyle verilmektedir (Ghiani ve diğ, 2004):

m : Gerekli olan stok pozisyonu (palet, koli vb.)

α_y : Stok pozisyonunun y-eksenindeki uzunluğu

α_x : Stok pozisyonunun x-eksenindeki uzunluğu

w_x : Ara koridorun x-eksenindeki genişliği

w_y : Ana koridorun y-eksenindeki genişliği

n_z : z-eksenindeki stok konumu

n_x : x-eksenindeki stok konumu

n_y : y-eksenindeki stok konumu

v : Toplayıcının (Çaka (Forklift), Dar Koridor Çakası (Reach Truck), İşçi vb.) hızı

Buna göre y-ekseni ve x-ekseni boyunca stok konumu şöyle hesaplanmaktadır:

$$n_y = \lceil [(\alpha_x + w_x / 2) \cdot m] / 2\alpha_y n_z \rceil^{1/2} \quad (5.4)$$

$$n_x = \lceil 2\alpha_y m / n_z (\alpha_x + w_x / 2) \rceil^{1/2} \quad (5.5)$$

Deponun L_x ve L_y uzunlukları ise aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$L_x = (\alpha_x + w_x / 2) \cdot n_x \quad (5.6)$$

$$L_y = (\alpha_y n_y + w_y) \quad (5.7)$$

Tanyaş ve Çakmak (2012), bazı varsayımlar yapılarak ortalama toplayıcı mesafesini enküçükmek amacıyla akış tipi ve U-tipi depolar için depo boyutlarını belirleyen bir model geliştirmiştir.

Ayrıntılı depo yerleşimi çalışması sırasında yukarıdaki model ve hesaplamaların yanı sıra malzeme akışına ilişkin süreçlerin düzenli işletilebilmesi için gerekli hareket alanları da dikkate alınmalıdır. Depo içerisindeki bütünleşik malzeme akışı, temel olarak üç unsurdan oluşmaktadır:

- Depoya giren malzemeler
- Depodan çıkan malzemeler
- Dağıtım merkezi içerisindeki dâhili malzeme hareketleri

Bu unsurların yoğunluğu ve süreleri, operasyon için optimum depo yerleşiminin belirlenmesinde oldukça etkilidir. Mal girişi ve sevkiyatı yapılan ürünlerin hacmi, söz konusu operasyonlar için son derece kritiktir. Bu bağlamda malzeme akış haritası oluşturmak, her bir yük özelliklerini (SKU, palet, koli, vb.) ilgili adımda belirtmek, genel resmi görmek açısından yararlı olmaktadır (Baker, 2010).

Depolama alanının belirlenmesi sırasında iki verimlilik ölçütüne bakılmaktadır. Bunlardan ilki, tek bir depolama alanının hacimsel olarak doldurulma oranı olup bu oran tümüyle seçimli paletlerin bulunduğu alan için %100; toplama alanı için %50 ve statik depolama alanı için ise %40 veya daha az olacak şekilde değerlendirilmektedir. Diğer bir oran ise beklenen depolama kapasitesi oranı olup bu oran, depolama platformu ve taşıma ekipmanlarına bağlı olarak değişmektedir. Operasyonun manuel olarak yürütüldüğü konvansiyonel depolarda bu oran %85 olurken, otomatik depolarda ise bu oranın %95 düzeyinde olması beklenmektedir. Blok depolama veya içine girilebilir raf sistemlerinde ise bu oran yaklaşık %70 civarındadır (Baker, 2010). Toplama alanı verimliliğini arttırmak için bu alandaki koridorların çapraz olarak 33-45 m. arasında tasarlanması önerilmektedir. Hızın ön plânda olduğu paletli depolarda operatörler arasındaki mesafe 15 m.'den daha az ise aksamaların olması söz konusudur (Baker, 2010). Sevkiyat alanı için ise palet başına 3 m²'lik bir alan genellikle yeterli olmaktadır. Yandan yükleme yapılan araçların parkı için en az 8 m. merkezinde; arkadan yükleme yapılan araçların parkı için ise en az 4 m. merkezinde bir alan ayrılmalıdır. Sevkiyat alanının tasarımı için örneğin dağıtım merkezinde

Taktik Düzey

T1 Depolama Politikaları

Depolama politikalarının belirlenmesi

T2 Koridor Tasarımları

S5, S6 → Koridor tasarımlarının yapılması

T3 Raf Sistemleri ve Ekipmanlar

S3, C, S4, S5 → Raf Sistemleri ve ekipmanların belirlenmesi

SKU bazında kaç palet var?

1-4 plt / SKU, 4-12 plt / SKU, > 12 plt / SKU

İşlem hacmi haftada 5 paletten fazla mı?

Evet, Hayır

Hareketli depolama sistemi yatırımı anlamlı mı?

Evet, Hayır

Yüksek irtifalı raf sistemleri anlamlı mı?

< 11 m, 11-14 m, > 14 m

Evet, Hayır

Cok Dar Koridor, Dar Koridor, AS/RS Tek Derinlik

Hareketli Depolama Sistemi

Yüksek irtifalı raf sistemleri anlamlı mı?

< 11 m, 11-14 m, > 14 m

Evet, Hayır

Çift Derinlik, Dar Koridor, AS/RS Çift Derinlik

Yüksek irtifalı raf sistemleri anlamlı mı?

< 11 m, 11-14 m, > 14 m

Evet, Hayır

Blok Depolama, İçine Girilebilir, Yukarı veya Asağıdaki Seçenekler, AS/RS Yüksek Yoğunluk

T4 Koridor Tasarımı ve Detaylı Depo Yerleşimi

Depolama alanı hesabının yapılması

Depolama yeri hesabının yapılması

Toplam depo alanının hesaplanması

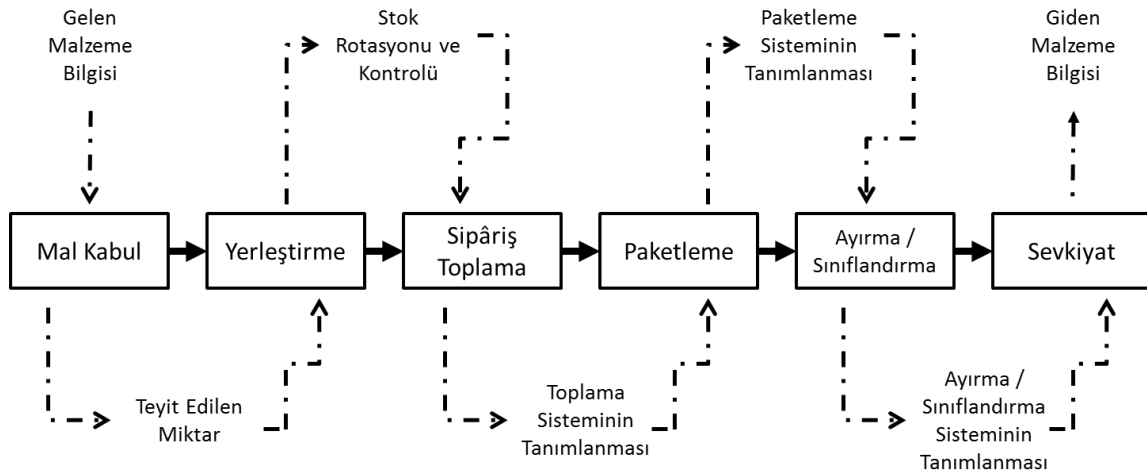
Taktik Düzey

109

5.3 Operasyonel Düzey Depo Tasarımı

5.3.1 Depolama süreçleri ayrıntı tasarımı

Bu aşamada Bölüm 5.1.5'te belirtilen Depolama Süreçlerine İlişkin İlkeler doğrultusunda her bir depolama sürecinin ayrıntılı tasarımı yapılmalıdır. Aynı zamanda birbiri ile ilişkili olan bu süreçlerin girdi/çıkış ilişkileri de belirlenmelidir. Söz konusu süreç akışları ve ilişkileri Şekil 5.10'da verilmektedir (Baker, 2010).



Şekil 5.10 : Depolama süreçleri ve ilişkileri (Baker, 2010).

Temel depolama süreçlerine ilişkin ayrıntılı süreç tasarımında, operasyonel düzey depo tasarımını etkileyen önemli etmenler, aşağıda süreç bazında belirtilmektedir. Söz konusu süreçlerin ayrıntılı tasarımının tamamlanmasının ardından bu süreçleri yürütebilecek personel sayısının belirlenmesi de bu aşamanın sonunda gerçekleştirilmektedir.

5.3.1.1 Mal kabul

Mal Kabul süreci, daha önce karar verilen süreç ilkeleri doğrultusunda tasarlanmalıdır. Bu süreçte en önemli nokta, mal kabul alanı hesaplanmasına temel oluşturacak süreç faaliyetleridir. Tedârikçilerden gelen malzemeleri taşıyan araçlar ile malzeme birim yük boyutları bu noktada kesinleştirilmelidir. Ayrıca mal kabul sürecinde ne tür farklı faaliyetlerin de yapılacağı belirlenmelidir. Mal teslim alma aşamasındaki etiketleme, kalite kontrol gibi farklı adımlar söz konusu ise alan hesabı yapılırken bu adımlar göz önüne alınmalıdır. Yine kalite kontrol sonrasında karantina

şeklinde değerlendirilecek ve/veya başka bir nedenle tedârikçiye iade edilecek stoklar için gerekli alan da değerlendirilmelidir (Baker, 2010).

Bu süreçte araç-rampa ve sipariş-araç atamaları ile araçların dağıtım plânlarının yapılması gibi konular öne çıkmaktadır (Gu, 2005).

Depo tasarımı açısından kapı sayısının belirlenmesi önemli bir konudur. Bu bağlamda kapı sayısı en yoğun giriş ve çıkışın olduğu döneme göre hesaplanır (Tanyaş, 2011):

$$n_d = (D * t / Q * T) \quad (5.8)$$

n_d : Kapı sayısı

D: Dönemsel depoya giren ve/veya çıkan ürün miktarı(palet, koli vb.)

t: Ortalama araç yükleme ve/veya boşaltma süresi

Q: Araç kapasitesi

T : Dönemsel kullanılabilir yükleme boşaltma süresi

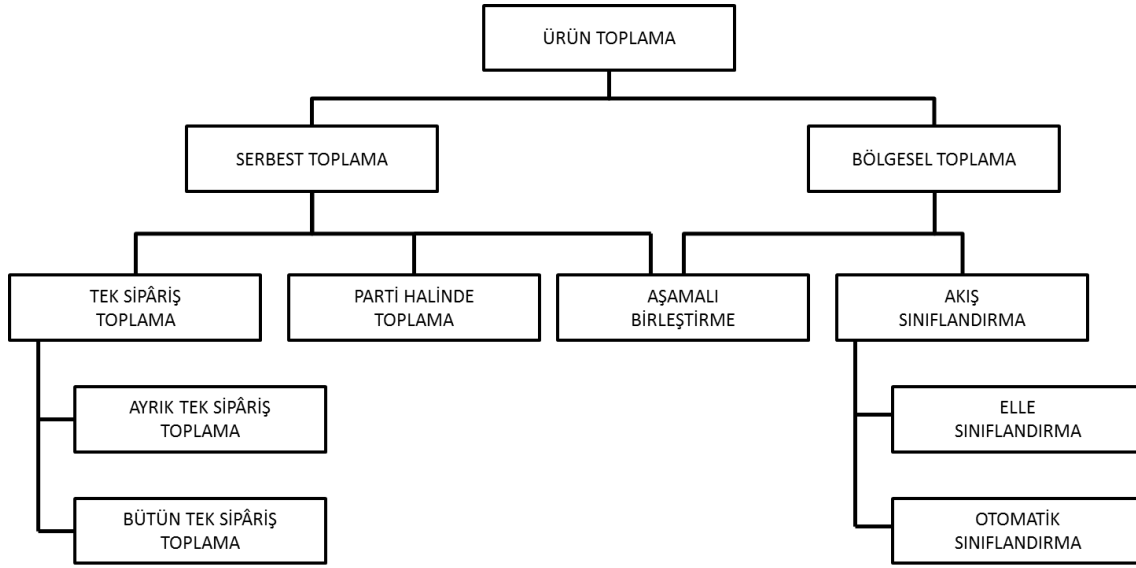
5.3.1.2 Yerleştirme

Bu süreçte depolama alanının belirlenmesine ilişkin stratejik düzeyde tanımlanan ilkeler ve taktik düzeyde yer alan depolama politikaları ayrıntılandırılmalıdır. Bunun yanı sıra deponun farklı bölümlerine ürünlerin atama kurallarının belirlenmesi, depolama alanının bölümlendirilmesi konuları değerlendirilmelidir (Gu, 2005).

5.3.1.3 Sipariş toplama

Bu aşamada da stratejik düzeyde sipariş toplama sürecine ilişkin üst düzey ilkeler doğrultusunda süreç adımları ayrıntılandırılmalıdır. Bu adım depolama süreçlerinde en fazla işgücü gerektirdiğinden kritik bir süreç olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, de Koster ve diğ. (1999), bu süreçteki işgücünün depo yönetiminde kullanılan toplam işgücünün yaklaşık %60'ı olduğunu belirtmektedir.

Bu bağlamda ürün toplama faaliyetlerine karar verilmelidir. Söz konusu toplama faaliyetlerine ilişkin bir sınıflandırma Şekil 5.11'de verilmektedir (Frazelle, 2002):



Şekil 5.11 : Sipâriş toplama faaliyetlerinin sınıflandırılması (Frazelle, 2002).

Toplama sürecinin ayrıntılı tasarımında serbest toplama veya bölgesel toplama olma durumlarında toplayıcıların bölgelere atanması da değerlendirilmelidir. Ayrıca yine bu süreç içerisinde toplama işleminin genel rotası Akış Tipi, U-Tipi, S-Tipi vb. belirlenmelidir. Depo içerisindeki toplam dolaşım süresinin enküçüklenmesi, bu sürece ilişkin en kritik hedef olarak verilmektedir.

Ayrıca otomatik depolarda da sipâriş toplama ve parti oluşturma söz konusu olabilmektedir. AS/RS, dikey taşıyıcı modüller, karuzeller gibi otomasyon sistemlerine yönelik sipâriş toplama sürecinin de tasarlanması gerekmektedir. Bu bağlamda AS/RS söz konusu olduğunda tek komutlu, çift komutlu ve çok komutlu operasyon modları da değerlendirilmelidir (de Koster ve diğ., 2007).

5.3.1.4 Çapraz sevkiyat

Çapraz sevkiyat, yoğun dağıtım etkinliklerinin söz konusu olduğu perakende sektöründe ve çok sayıda ürün bileşeninin hareket hâlinde olduğu otomotiv sektöründe, özellikle yedek parçaların dağıtımında, mâliyet yararı yaratan ve müşteri hoşnutluğu sağlayan bir depo sürecidir (Tanyaş, 2011).

Çapraz sevkiyat, depo tasarımı konusuna etki eden bir süreçtir. Örneğin, çapraz sevkiyat ile ürünlerin gelen araçlardan giden araçlara hızlı bir şekilde hareket etmesi amaçlandığı için mal kabul ve sevkiyat yapılan rampalar deponun aynı tarafında veya iki farklı tarafta ise de en yakın noktalarda olmalıdır (Baker, 2004).

Hızlı tüketim malları sektöründe çapraz sevkiyat son derece yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu bağlamda bu tür bir sürecin etkin olarak yürütüleceği alan tasarımı yapılmalıdır.

5.3.1.5 Parti oluşturma

Parti oluşturma, Elsayed ve diğ. (1993) tarafından siparişler ile ilgili gruplama kararı olarak tanımlanmaktadır. Gu ve diğ. (2007)'na göre ise siparişlerin toplama ve sevkiyat için parti adı verilen parçalara ayrıştırılmasıdır.

Sipariş toplama sırasında parti oluşturma söz konusu olacak ise Gu (2005)'nin belirttiği üzere siparişe ilişkin “toplarken sınıflandırma” (sort-while-pick) ya da “topla, sınıflandır” (pick-and-sort) gibi uygun yaklaşımlar belirlenmelidir. Bu yaklaşımlara da Koster ve diğ. (2007) bölgesel toplama alanlarının tümü ziyaret edildikten sonra toplama iş emrinin kapatılmasına dayalı olarak (pick-and-pass) ve aynı hedef yere yönelik farklı depolama alanları için toplama iş emirlerinin oluşturulmasına dayalı olarak (wave picking) parti oluşturma yöntemlerini de eklemektedir. Diğer yandan parti büyüklüklerinin belirlenmesi gerekmektedir.

5.3.1.6 Katma değerli hizmetler

Katma değerli hizmetler, depolarda müşteri talepleri üzerine yapılan etiketleme, ambalajlama, katlama, ısı ölçme, aktarma, karıştırma, birleştirme, ayırma, paletleme, hafif montaj, kullanım kılavuzu ekleme, barkod işlemleri, bakım-onarım işlemleri vb. hizmetlerdir (Tanyaş, 2011). Özellikle hızlı tüketim malları sektöründe bu işlemler depoda halihazırda bulunan ürünlere ilişkin yapılabildiği için bu tür bir süreç de depolama süreçlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, hızlı tüketim malları için dağıtım merkezi olarak faaliyet gösterecek bir deponun tasarımında mutlaka katma değerli hizmetlerin yürütüleceği bir alan ayrılmalıdır.

5.3.1.7 Ayırma/sınıflandırma

Ayırma/sınıflandırma (sorting) işlemi toplama işlemi ile ilişkili bir şekilde yürütülebilmektedir. Toplama sürecinin tamamlanmasının ardından farklı coğrafi bölgelere veya araçlara göre ürünler ayrılıp sınıflandırılabilir. Bu adım konvansiyonel depolarda manuel olurken, otomatik depolarda ise ekipmanlar vasıtasıyla gerçekleştirilebilmektedir (Baker, 2010).

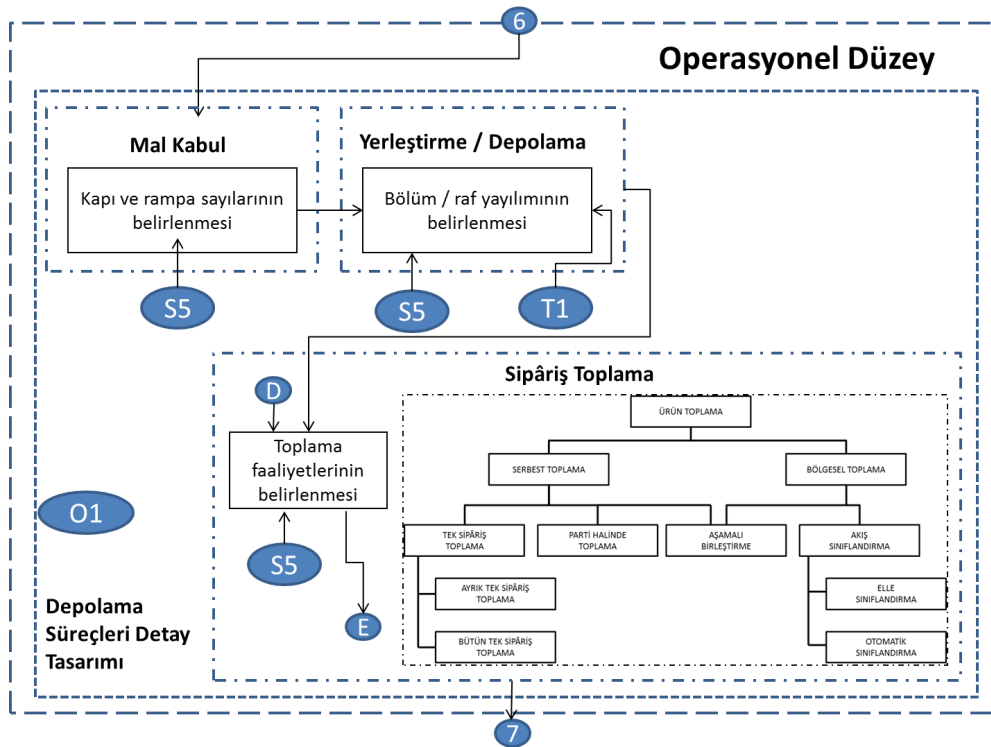
5.3.1.8 Depolama, rotalama ve sıralama

Bu aşamada depo içi rotaların ve zaman plânlamasının yapılmasına yönelik süreç adımları belirlenmelidir (Gu, 2005). Bu kararlar, belirli sipariş kalemlerinin en iyi sırada ve rotada toplanması amaçlanmaktadır. Söz konusu tasarımda toplam malzeme taşıma maliyetlerinin enküçüklenmesi esas amaç olarak belirtilmektedir (Gu ve diğ., 2007).

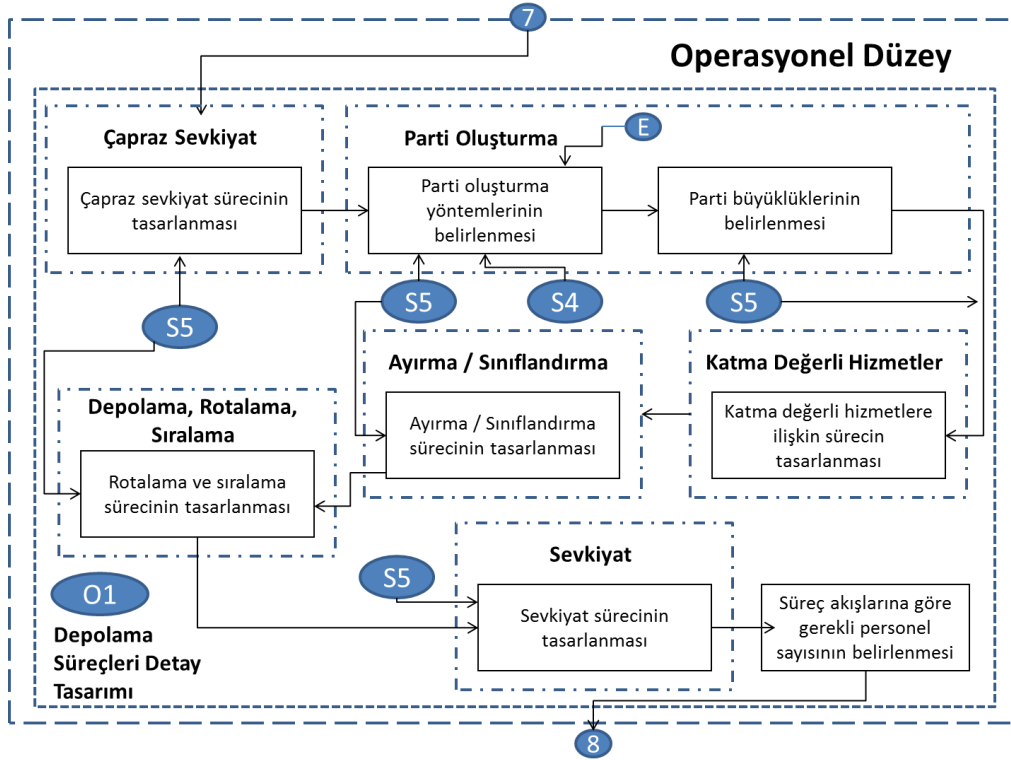
5.3.1.9 Sevkiyat

Sevkiyat süreci, toplanan ürünlerin araçlara yüklenmesi amacıyla düzenlenmesi, doğrulanması ve araçlara yüklenmesinden oluşmaktadır (Tanyaş, 2011; Baker, 2010). Bu aşamada, söz konusu sürece ilişkin tasarım yapılmalıdır. Özellikle sevkiyat alanının belirlenmesi depo tasarımı açısından kritik bir konudur.

Bu bağlamda, operasyonel düzey depo tasarım yöntemliliği Şekil 5.12’de gösterilmektedir.



Şekil 5.12 : Operasyonel düzey depo tasarım yöntemliliği.



Şekil 5.12 (devam) : Operasyonel düzey depo tasarım yöntembilimi.

5.4 Depo Tasarımının Değerlendirilmesi ve Uygulanması

Bu aşamaya kadar yukarıda anlatılmış olan depo tasarımı faaliyetlerinin tamamlanmasından sonra, söz konusu hiyerarşik depo tasarımı iş akışında aşağıdaki adımların da sırasıyla yürütülmesi gerekmektedir (Baker, 2010):

- Depo tasarımına ilişkin ekipman, işgücü mâliyetlerinin ve bütçelerinin hazırlanması
- Depo tasarımının değerlendirilmesi
 - Finansal performans değerlendirme
 - Yatırım mâliyetinin yıllara dağılımı ve işletme mâliyetleri ile karşılaştırılması
 - Net Şimdiki Değer Analizi (NPV)
 - Yatırımın Geri Dönüş Oranı (ROI)
 - Teknik performans değerlendirme
 - Her bir AS/RS hücresinin hizmet düzeyine etkisi

- En büyük işlem hacmi durumunda konveyör kuyruğunun analizi
- Yükleme/boşaltma alanlarının ve park alanlarının kullanımı
- Diğer
 - Çevresel analizler (enerji sistemleri ve karbon salınımı, su tüketimi vb.)
 - İşgücü/otomasyon gereksinim analizi
 - Sistem seçeneklerinin değerlendirilmesi
 - 3PL kullanımı durumuna göre karşılaştırma
 - Risk değerlendirmesi

Söz konusu depo tasarımının ve diğer seçenek tasarımlarının değerlendirilmesi, genellikle farklı senaryoların oluşturularak gerçeğe yakın durumların analiz edilebildiği simülasyon modelleri ile gerçekleştirilmektedir. Öte yandan bu tür bir değerlendirme ve seçim, çok ölçütlü bir karar verme probleminden çok işletme için stratejik bir karar verme problemi olarak tanımlanmalıdır.

- Uygulama ve Proje Yönetimi
 - Deponun inşaatı
 - Ekipman sistemlerinin kurulumu ve test edilmesi
 - DYS ve diğer yazılım sistemlerinin kurulumu ve test edilmesi
 - Depo personelinin işe alımı ve oryantasyonu
 - Deponun devreye alınması
 - Depo performans yönetimi ve sürekli gelişim

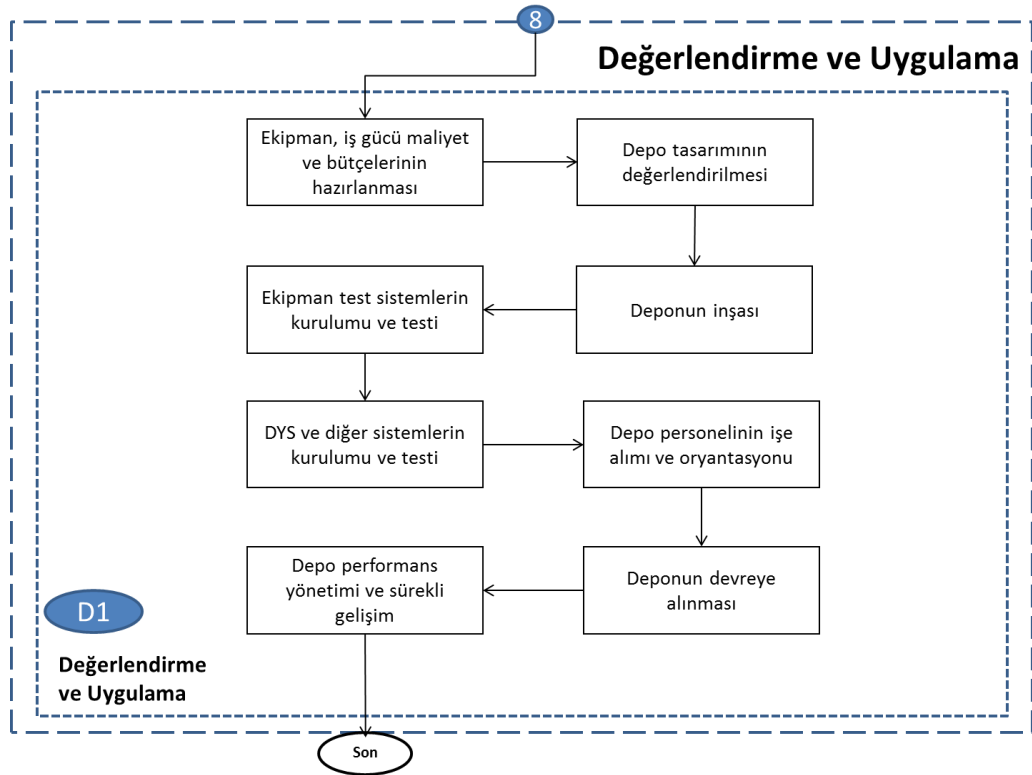
Söz konusu hiyerarşik depo tasarım yöntembilimi sonucunda, depo tasarım problemine ilişkin şunlar yapılmıştır:

- Bütünsel bir yaklaşım geliştirilmiştir.
- Sistematik bir yaklaşım geliştirilmiştir.
- Çözüm aşamaları oluşturulmuştur.
- Depo tasarımına ilişkin alt problemlerin sıralaması yapılmıştır.
- Alt problemlerin birbirleri ile ilişkisi ortaya konulmuştur.

- Her alt problemin ilişkili diğer alanlara olan etkileri ortaya konulmuştur.

Depo tasarımı, depo yönetimi kapsamında yer alan ve birbirleri ile ilişkili ve etkileşimli olan süreçler ve sistemlerin (malzeme taşıma sistemleri, ayırma/sınıflandırma sistemi, depolama sistemleri vb.) beklenen performans göstergelerini karşılamak üzere belirlenmesidir. Depo tasarımı sürecinde ayrıntılı tasarım noktasında birçok farklı tasarım parametresi dikkate alınarak depo kaynaklarının plânlanması yapılmaktadır.

Bu bilgiler doğrultusunda depo tasarımının değerlendirilmesi ve uygulanmasına ilişkin aşamalar Şekil 5.13'te gösterilmektedir:



Şekil 5.13 : Depo tasarımının değerlendirilmesi ve uygulanması.

Söz konusu hiyerarşik depo tasarım yöntemibilimine ilişkin tüm aşamaları içeren iş akışı Ek B içerisinde Şekil B.1'de verilmektedir.

6. DEPO TASARIMI PERFORMANS GÖSTERGELERİ

Bölüm 2’de belirtildiği üzere bu tez çalışması kapsamında ele alınacak olan depo tasarım yöntembiliminin oluşturulması probleminin, dağıtım merkezi işlevinde olan depolar için incelenmesi ve çözümlenmesi amaçlanmaktadır. Dağıtım merkezleri, birçok şirketin başarılı olması konusunda oldukça kritik rol oynamaktadır (Baker, 2008).

Baker (2004), dağıtım merkezi depolarının tasarımı konusunun tedârik zinciri stratejileri açısından son derece kritik olduğunu ancak bu konuda tedârik zinciri kuramı ile depolama kuramlarının birbirinden ayrı olarak değerlendirildiğini belirtmektedir. Bu bağlamda tedârik zinciri stratejilerinin arz odaklı ve talep odaklı olmak üzere iki ana grupta toplandığını ve her ikisi için de günümüzde çevik ve yalın olma kavramlarına önem veren mâliyet ve hizmetlere odaklandığını ifâde etmektedir. Dağıtım merkezi olarak faaliyet gösteren depolardaki temel sorunlar ile ilgili olarak İngiltere’de üçüncü parti lojistik şirketi olarak depolama faaliyeti gösteren 50 şirketin depo yöneticilerine yapılan anket çalışması sonucunda 45 geçerli dönüş elde edilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre dağıtım merkezi operasyonlarında en önemli zorluğun (%73 oranında) mâliyet düşürme olduğu belirtilmiştir. 2007 yılı itibarıyla ise mâliyet düşürmenin %51 oranına gerileyeceği; temin sürelerinin kısaltılmasının ise %64 ile ilk sırada geleceği saptanmıştır. Baker (2004), bu değişimi mâliyete odaklanan “yalınlık” kavramının, hizmet düzeyine odaklanan “çeviklik” kavramına doğru kayan bir paradigmatik değişim olarak tanımlamaktadır.

Bu paradigmatik değişim, Christopher ve Towill (2002) tarafından da pazar koşullarının daha sert ve zor tahmin edilebilir duruma gelmesi sonucunda tedârik zinciri yönetiminin de sipârîşte öncü olmayı sağlayan “mâliyet” odağından, pazarda öncü olan “yanıt verme” odağına kayması şeklinde değerlendirilmiştir.

Yanıt verme odaklı olma noktasında işletmelerin birçok alanda esnekliğe sahip olması gerekmektedir. Depo kaynakları uzun dönemli olarak plânlandığından,

dağıtım merkezleri için bu tür bir esneklik son derece önemli bir konudur. Çeviklik anlamında yanıt verilmesi gereken üç nokta bulunmaktadır (Baker, 2008):

- **Hacim değişiklikleri:** Mevsimsellik, ürün yaşam döngüsü veya son kullanıcı talep değişikliklerinden dolayı oluşabilmektedir.
- **Zaman değişiklikleri:** Acil siparişler buna örnek olarak gösterilebilmektedir.
- **Miktar değişiklikleri:** Küçük siparişler, koli birimi düzeyinden daha düşük düzeyde verilen siparişler buna örnektir.

Avrupa’da hızlı tüketim sektöründe faaliyet gösteren 9 farklı şirket ile yapılan karşılıklı görüşmeler sonucunda, hacim değişikliklerinin öne çıkan bir konu olduğu ve bu değişikliklere karşı çeviklik sağlayabilmek için de en önemli depo tasarım parametresinin depo işlem hacmi olduğu belirlenmektedir. Büyüme ve mevsimselliğin en büyük iki zorluk olduğu da vurgulanmaktadır (Baker, 2008).

Özdemir (2004), depo tasarımı sorununa analitik ağ süreci ile çözümleme getirirken de yarar, mâliyet, fırsat, risk gibi kontrol hiyerarşileri içeren bir model ile sorunun farklı açılardan analiz edilmesinin yararlı olduğunu belirtmiştir.

Bu aşamada, önemli olan depo tasarım parametreleri şu şekilde verilmektedir:

- Mâliyet
- Sipariş karşılama oranı
- Sipariş karşılama süresi
- Depo işlem hacmi
- Toplama süresi
- Toplama doğruluğu
- Güvenilirlik (İki hatalı ürün teslimatı arasındaki süre)

Depo yönetimine ilişkin temel performans göstergeleri Çizelge 6.1’de gösterilmektedir (Hopbaşıoğlu, 2009).

Çizelge 6.1 : Depo yönetimi performans göstergeleri (Hopbaoğlu, 2009).

Gösterge Adı	Birim	Formül	İzleme Sıklığı	Hedef
Stok Doğruluğu	%	Stok Miktarı Doğru Olan SKU Sayısı/Toplam Stok SKU Sayısı	Aylık	99%
Yerleşim Doğruluğu	%	Doğru Yerleşimlerde Olan SKU Sayısı/Toplam Yerleşim SKU Sayısı	Aylık	99%
Zamanında Teslim Alma Oranı	%	Zamanında Sevkedilen Araç Sayısı/Sevk Edilen Toplam Araç Sayısı	Günlük	99%
Zamanında Sevkiyat Oranı	%	Zamanında Teslim Alması Tamamlanan Araç Sayısı/Teslim Alınan Toplam Araç Sayısı	Günlük	99%
Kusursuz Talep Karşılama Oranı	%	$1 - ((\text{Yanlış Ürün Sevk Sayısı} + \text{Yanlış Miktarda Sevk Sayısı} + \text{Yanlış Yere Sevk Sayısı} + \text{Hasarlı Sevkiyat Sayısı}) / \text{Toplam Sevkiyat Sayısı}) * 100$	Aylık	99%
Dokümantasyon Doğruluğu	%	Dokümantasyon Doğru Örneklem Sayısı/Dokümantasyon Toplam Örneklem Sayısı	Aylık	100%
Parça Başına Mâliyet	TL/Adet	Toplam Mâliyet/Toplam Parça Sayısı	Aylık	0,12
Satır Başına Mâliyet	TL/Adet	Toplam Mâliyet/Toplam Satır Sayısı	Aylık	15
Operasyonel Mâliyetlerin Toplam Mâliyetlere Oranı	%	$(\text{Operasyonel Mâliyetler} / \text{Toplam Mâliyetler}) \times 100$	Aylık	50%
Kaynakların Mâliyetlerinin Toplam Mâliyetlere Oranı	%	$(\text{Kaynakların Mâliyeti} / \text{Toplam Mâliyetler}) \times 100$	Aylık	40%
Sipariş Başına Parça Sayısı	Adet	Toplam Parça Sayısı/Toplam Sipariş Sayısı	Aylık	350
m ² Başına Mâliyet	TL/m ²	Toplam Mâliyet/Net m ²	Aylık	7
Ekipman Kullanım Oranı	%	$(\text{Net Çalışma Saati} + \text{Net Arızalı Olduğu Saat}) / \text{Toplam Çalışma Saati} \times 100$	Aylık	80%
İş Kazası Sayısı	Adet	Çalışandan Kaynaklanan İş Kazaları+Ekipmandan Kaynaklanan İş Kazaları+İşletmeden Kaynaklanan İş Kazaları	Aylık	0
Depo İçi Taşıma Oranı	%	$(\text{Yerleşimler Arası Taşınan Parça Sayısı} / (\text{Giren Parça Sayısı} + \text{Çıkan Parça Sayısı} + \text{Yerleşimler Arası Taşınan Parça Sayısı})) \times 100$	Günlük	5%
Hasar Oranı	%	$(\text{Hasarlanan Parça Sayısı} / (\text{Giren Parça Sayısı} + \text{Çıkan Parça Sayısı} + \text{Yerleşimler Arası Taşınan Parça Sayısı})) \times 100$	Aylık	0,10%
Personel Başına Parça Sayısı	Adet	(Depoya Giren Parça Sayısı+Depodan Çıkan Parça Sayısı)/Personel Sayısı	Aylık	1000

Depo tasarım yöntembilimi çerçevesinde belirlenen farklı depo sistem elemanları seçeneklerinin yukarıda sözü edilen parametrelere ve performans göstergelerine göre değerlendirilmesi hedeflenmektedir. Tasarım parametrelerinde mâliyet ilişkili göstergelerin yanı sıra teknik performans ilişkili operasyonel göstergelerin de değerlendirilmesi öngörülmektedir. Baker (2010)'a göre depo tasarımının

tamamlanması ve uygulanması sonucunda özellikle aşağıda verilen APG’ler değerlendirilmelidir:

- Finansal APG’ler (örneğin koli başına mâliyet)
- Üretkenlik APG’leri (örneğin toplama oranı)
- Verimlilik APG’leri (örneğin dolu olan depolama alanı %’si)
- Kalite APG’leri (örneğin toplama doğruluğu)
- Döngü Süresi (Bir siparişin alınmasından sevk edilmesine kadar geçen süre)
- Stok Yönetimi APG’leri (örneğin stoktaki kullanılabilir SKU oranı)
- İnsan Kaynakları APG’leri (örneğin iş kazaları, işe devamsızlık oranı)
- Çevresel APG’ler (örneğin kWh/m²)

Bu bilgiler doğrultusunda söz konusu hiyerarşik depo tasarım yönteminde verilen aşamalara ilişkin önemli APG’ler Çizelge 6.2’de verilmektedir.

Çizelge 6.2 : Hiyerarşik depo tasarımına ilişkin performans göstergeleri.

Aşama	Gösterge Adı	Birim	Formül
S1 – Stratejik Hedefler ve Yatırım Plânlama	Yatırımın Geri Dönüş Oranı (ROI)	Para Birimi	Net Kâr / Yatırım Mâliyeti
S1 – Stratejik Hedefler ve Yatırım Plânlama	Artık Gelir (Residual Income)	Para Birimi	Net Kâr – (Fâiz Oranı x Yatırım Mâliyeti)
S1 – Stratejik Hedefler ve Yatırım Plânlama	m ² Başına Enerji Tüketimi	kWh/m ²	Toplam Enerji Tüketimi/m ²
S1 – Stratejik Hedefler ve Yatırım Plânlama	Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Tüketilen Enerji Oranı	%	Yenilenebilir Kaynaklardan Enerji Tüketimi/Toplam Enerji Tüketimi
S4 – Kovansiyonel / Otomatik Depo	Depolama Birimi Başına Mâliyet	TL/Palet	Toplam Mâliyet/Toplam Depolama Birimi Sayısı
S4 – Kovansiyonel / Otomatik Depo	Operasyonel Mâliyetlerin Toplam Mâliyetlere Oranı	%	(Operasyonel Mâliyetler/Toplam Mâliyetler) x 100
S4 – Kovansiyonel / Otomatik Depo	Kaynakların Mâliyetlerinin Toplam Mâliyetlere Oranı	%	(Kaynakların Mâliyeti/Toplam Mâliyetler) x 100
S4 – Kovansiyonel / Otomatik Depo	m ² Başına Mâliyet	TL/m ²	Toplam Mâliyet/Net m ²
S4 – Kovansiyonel / Otomatik Depo	Ekipman Kullanım Oranı	%	(Net Çalışma Saati+Net Arızalı Olduğu Saat)/Toplam Çalışma Saati x 100

Çizelge 6.2 (devam) : Hiyerarşik depo tasarımına ilişkin performans göstergeleri.

Aşama	Gösterge Adı	Birim	Formül
S4 – Kovansiyonel / Otomatik Depo	Depo İçi Taşıma Oranı	%	$\frac{\text{(Yerleşimler Arası Taşınan Parça Sayısı/(Giren Parça Sayısı+Çıkan Parça Sayısı+Yerleşimler Arası Taşınan Parça Sayısı))} \times 100}{1}$
S4 – Kovansiyonel / Otomatik Depo	Sipariş Toplama Süresi	dk.	Bir sipariş ilişkin toplama sürecinin başlamasından bitişine kadar geçen toplam süre
S4 – Kovansiyonel / Otomatik Depo	Ürün Çıkış Hızı	Palet/Saat	Ürün Çıkış Miktarı/Günlük Çalışma Süresi
S4 – Kovansiyonel / Otomatik Depo	Stok Devir Hızı	-	Yıllık Toplam Satışlar/Yıllık Stok Tutarı
S4 – Kovansiyonel / Otomatik Depo	Stok Gün Sayısı	Gün	Stok Devir Hızı/Çalışma Gün Sayısı
S4 – Kovansiyonel / Otomatik Depo	İşlem Doğruluk Oranı	%	$\frac{\text{Doğru İşlem Sayısı/Toplam İşlem Sayısı}}{1}$
S4 – Kovansiyonel / Otomatik Depo	İş Kazası Sayısı	Adet	$\frac{\text{Çalışandan Kaynaklanan İş Kazaları+Ekipmandan Kaynaklanan İş Kazaları+İşletmeden Kaynaklanan İş Kazaları}}{1}$
S5 – Depolama Süreç İlkeleri	Sipariş Başına Parça Sayısı	Adet	Toplam Parça Sayısı/Toplam Sipariş Sayısı
S5 – Depolama Süreç İlkeleri	Zamanında Teslim Alma Oranı	%	$\frac{\text{Zamanında Sevk Edilen Araç Sayısı/Sevk Edilen Toplam Araç Sayısı}}{1}$
S5 – Depolama Süreç İlkeleri	Zamanında Sevkiyat Oranı	%	$\frac{\text{Zamanında Teslim Alması Tamamlanan Araç Sayısı/Teslim Alınan Toplam Araç Sayısı}}{1}$
S5 – Depolama Süreç İlkeleri	Kusursuz Talep Karşılama Oranı	%	$\frac{1 - ((\text{Yanlış Ürün Sevk Sayısı} + \text{Yanlış Miktarda Sevk Sayısı} + \text{Yanlış Yere Sevk Sayısı} + \text{Hasarlı Sevkiyat Sayısı}) / \text{Toplam Sevkiyat Sayısı}) \times 100}{1}$
S6 – Üst Düzey Depo Yerleşimi	m ² Başına Mâliyet	TL/m ²	Toplam Mâliyet/Net m ²
S6 – Üst Düzey Depo Yerleşimi	Depo İçi Taşıma Oranı	%	$\frac{\text{(Yerleşimler Arası Taşınan Parça Sayısı/(Giren Parça Sayısı+Çıkan Parça Sayısı+Yerleşimler Arası Taşınan Parça Sayısı))} \times 100}{1}$
T1 – Depolama Politikaları	Raf Doluluk Oranı	%	$\frac{\text{Rafta Duran Olan SKU Sayısı/Toplam SKU Sayısı}}{1}$
T1 – Depolama Politikaları	Yerleşim Doğruluğu	%	$\frac{\text{Doğru Yerleşimlerde Olan SKU Sayısı/Toplam Yerleşim SKU Sayısı}}{1}$
T3 – Raf Sistemleri ve Ekipmanlar	Ekipman Kullanım Oranı	%	$\frac{\text{(Net Çalışma Saati+Net Arızalı Olduğu Saat)/Toplam Çalışma Saati} \times 100}{1}$
O1 – Depolama Süreçleri Ayrıntılı Tasarımı	Stok Doğruluğu	%	$\frac{\text{Stok Miktarı Doğru Olan SKU Sayısı/Toplam Stok SKU Sayısı}}{1}$
O1 – Depolama Süreçleri Ayrıntılı Tasarımı	Yerleşim Doğruluğu	%	$\frac{\text{Doğru Yerleşimlerde Olan SKU Sayısı/Toplam Yerleşim SKU Sayısı}}{1}$
O1 – Depolama Süreçleri Ayrıntılı Tasarımı	Ürün Çıkış Hızı	Palet/Saat	Ürün Çıkış Miktarı/Günlük Çalışma Süresi

Çizelge 6.2 (devam) : Hiyerarşik depo tasarımına ilişkin performans göstergeleri.

Aşama	Gösterge Adı	Birim	Formül
O1 – Depolama Süreçleri Ayrıntılı Tasarımı	Parça Başına Mâliyet	TL/Adet	Toplam Mâliyet/Toplam Parça Sayısı
O1 – Depolama Süreçleri Ayrıntılı Tasarımı	Satır Başına Mâliyet	TL/Adet	Toplam Mâliyet/Toplam Satır Sayısı
O1 – Depolama Süreçleri Ayrıntılı Tasarımı	Zamanında Teslim Alma Oranı	%	Zamanında Sevk Edilen Araç Sayısı/Sevk Edilen Toplam Araç Sayısı
O1 – Depolama Süreçleri Ayrıntılı Tasarımı	Zamanında Sevkiyat Oranı	%	Zamanında Teslim Alması Tamamlanan Araç Sayısı/Teslim Alınan Toplam Araç Sayısı
O1 – Depolama Süreçleri Ayrıntılı Tasarımı	Kusursuz Talep Karşılama Oranı	%	$1 - ((\text{Yanlış Ürün Sevk Sayısı} + \text{Yanlış Miktarda Sevk Sayısı} + \text{Yanlış Yere Sevk Sayısı} + \text{Hasarlı Sevkiyat Sayısı}) / \text{Toplam Sevkiyat Sayısı}) * 100$
O1 – Depolama Süreçleri Ayrıntılı Tasarımı	Sipariş Toplama Doğruluğu	%	Doğru Toplanan Sipariş Sayısı/Toplam Sipariş Sayısı
O1 – Depolama Süreçleri Ayrıntılı Tasarımı	Sipariş Başına Parça Sayısı	Adet	Toplam Parça Sayısı/Toplam Sipariş Sayısı
O1 – Depolama Süreçleri Ayrıntılı Tasarımı	Hasar Oranı	%	$(\text{Hasarlanan Parça Sayısı} / (\text{Giren Parça Sayısı} + \text{Çıkan Parça Sayısı} + \text{Yerleşimler Arası Taşınan Parça Sayısı})) * 100$
O1 – Depolama Süreçleri Ayrıntılı Tasarımı	İşlem Doğruluk Oranı	%	Doğru İşlem Sayısı/Toplam İşlem Sayısı
O1 – Depolama Süreçleri Ayrıntılı Tasarımı	Personel Başına Parça Sayısı	Adet	$(\text{Depoya Giren Parça Sayısı} + \text{Depodan Çıkan Parça Sayısı}) / \text{Personel Sayısı}$
O1 – Depolama Süreçleri Ayrıntılı Tasarımı	İş Kazası Sayısı	Adet	$\text{Çalışandan Kaynaklanan İş Kazaları} + \text{Ekipmandan Kaynaklanan İş Kazaları} + \text{İşletmeden Kaynaklanan İş Kazaları}$

Söz konusu performans göstergelerine ilişkin değerler, birden fazla aşama için geçerli olabileceği gibi, depo tasarımı başlangıcında hedeflenen değerler olarak da belirlenebilir ve bu doğrultuda tasarım süreci yürütülebilir. Ayrıca özellikle S1-Stratejik Hedefler ve Yatırım Plânlama ve S4-Konvansiyonel/otomatik Depo aşamasında yatırımlara ilişkin diğer analizler olan Net Şimdiki Değer, Yıllık Nakit Akışı ve İç Verim Oranı Analizi gibi analizler de kullanılabilir (Tolga ve Kahraman, 1994).

7. KONVANSİYONEL / OTOMATİK DEPO KARAR PROBLEMİ

Bölüm 5’te anlatılan hiyerarşik depo tasarım yöntembilimi içerisinde yer alan farklı görev ve faaliyetlerin tamamlanması, o konu ile ilgili birçok farklı alt karar problemini içermektedir. Bu problemlerin her birinin çözülmesi için ise birden fazla teknik kullanılabilir.

Bu bağlamda, tez çalışması kapsamında söz konusu metodolojik yaklaşım içerisinde stratejik düzeyde yer alan ve Bölüm 5.1.4’te anlatılan konvansiyonel/otomatik depo kararının verilmesine yönelik probleme odaklanılmıştır. Yöntembilim için bir önceki bölümdeki tüm varsayımlar, söz konusu problem için de geçerli olacaktır.

Depo tasarımı açısından bir deponun konvansiyonel veya otomatik depo olarak tasarlanma kararı stratejik düzeyde bir karar olup, hareket ve depolama faaliyetlerini gerçekleştiren malzeme taşıma ekipmanlarının, operatörler veya sürücüler tarafından doğrudan kontrol edilmesine gerek olmaması şeklinde tanımlanabilir. Bu tanım doğrultusunda, depo otomasyon sistemleri; AS/RS, AGV, ayırma/sınıflandırma konveyör sistemlerini içermekte iken, depo operatörlerinin gereksinim duyduğu DYS ve RFID gibi sistemleri içermemektedir (Baker ve Halim, 2007; Dallari ve diğ., 2006).

Mulcahy (1994) tarafından konvansiyonel/otomatik depo ekipman seçeneklerinin belirlenmesi, dağıtım merkezi plânlamasındaki en kritik konulardan biri olarak değerlendirilmektedir.

Bu konuda literatürde belirli bir otomasyon çözümüne ilişkin uygulama ve optimizasyon odaklı birçok farklı çalışma bulunmaktadır (Graves ve diğ., 1977; Rosenblatt ve Eynan, 1989; van der Berg ve Zijm, 1999; Dallari ve diğ., 2006; Marchet ve diğ., 2013). Diğer yandan Gray ve diğ. (1992), deponun operasyonel tasarımına yönelik problemleri ele alırken, teknoloji ve ekipman seçimi gibi kararları da matematiksel ve simülasyon modelleri ile çözümlemiştir. Ancak sistematik yaklaşıma ilişkin oldukça az sayıda çalışma olduğu görülmektedir (Hackman ve diğ., 2001; Dallari ve diğ., 2006).

Gu ve diğ. (2010), depo tasarımı ve performans değerlendirme konusunda yaptıkları literatür taraması çalışması sonucunda depo tasarımında seçenek ekipmanların belirlenmesi ve uygun olan ekipmanların seçilmesi konusunda literatürde çok az sayıda çalışma olduğunu ve bu konuda bir model geliştirilmesinin, literatüre önemli bir katkı olduğunu belirtmektedir.

Dallari ve diğ. (2006), malzeme taşıma sistemlerine ilişkin otomasyon çözümlerinin 1960'lı ve 1970'li yıllardan beri yapılmasına karşın, günümüzde otomatik depo kararının derin ve ayrıntılı araştırmalar sonucu verildiğini belirtmektedir. Otomatik depoların depolama, çekme ve/veya sipariş toplama gibi hangi süreç ve faaliyetlere ilişkin kurgulanacağı da önemli bir diğer etmen olarak görülmektedir. Örneğin, Wal Mart, söz konusu teknolojiyi çapraz sevkiyat sürecinde kullanmaya karar vermiş iken, İsveç'teki perakende şirketi olan ICA ise sipariş toplama robotları ile otomasyon gerçekleştirmiştir.

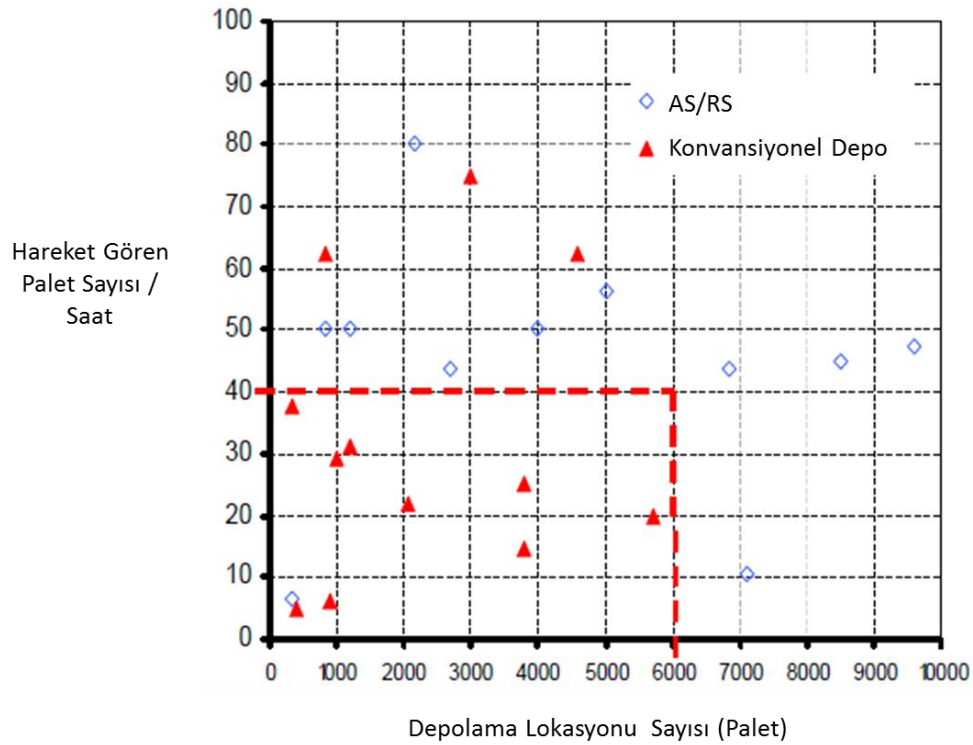
Otomatik depolar, temel olarak yüksek mâliyetlere sahip olmasından ötürü özellikle geniş ve büyük depolar için daha uygun olarak görülmektedir (Hackman ve diğ., 2001; Dallari ve diğ., 2006). Öte yandan geniş hacimli depolardaki otomasyon sistemlerinin daha az verimli sonuçlar verdiği de ortaya konmuştur (Hackman ve diğ., 2001). Bu tür bir sonucun ana nedenleri arasında, uygun olmayan sistem ve ekipmanların seçilmesi, yeterli düzeyde sistem bakımlarının gerçekleştirilmemesi ve değişen iş gereksinimlerine göre sistem konfigürasyonlarının yenilenememesi sayılabilmektedir. Otomatik depoların daha geniş tedârik zincirleri için yararlı olduğu (örneğin stokların merkezileştirilmesi ile) belirtilmektedir (Baker ve Halim, 2007).

Yine Baker ve Halim (2007) tarafından İngiltere'deki otomatik depo projelerine ilişkin gerçekleştirilen bir araştırmaya göre otomatik depolar için en önemli seçim nedenlerinin sırasıyla büyüme stratejisini destekleme, operasyonel mâliyeti azaltma ve müşteri hizmet düzeyini artırma olduğu belirlenmiştir. İşletmenin büyümesinin desteklenmesi konusunun ilk sırada yer alması, deponun konvansiyonel/otomatik depo olması kararının stratejik düzeyde olduğunu bir kez daha göstermektedir. Dallari ve diğ. (2006) da, AS/RS gibi otomatik depolar için karar verilirken en önemli etmenlerin ekonomik etmenler olduğunu belirtmekle birlikte uzun vadeli bir plânlamanın da kritik olduğunu vurgulamışlardır. Özellikle dış kaynak kullanımının

söz konusu olduğu durumlarda, 5 yıldan uzun süreli olan sözleşmelerde bu tür çözümlerin daha uygun olarak yeğlendiğini belirtmişlerdir.

Bunların yanı sıra, aynı çalışma sonucunda otomatik depolarda yaşanan en büyük sorunların, bilgi teknolojilerinden ve ekipmanların kurulumundan kaynaklandığı ortaya konulmuştur.

Dallari ve diğ. (2006) tarafından İtalya’da faaliyet gösteren hızlı tüketim malları sektöründeki 94 depo üzerinde manuel/otomatik depo kararının verilmesine yönelik yapılan analiz çalışması sonucunda işgücü gereksinimleri ve depolama çözümü arasındaki korelasyon ortaya konmaya çalışılmıştır. Bu bağlamda depolanan palet sayısı 10.000’den az ve saatte hareket gören palet sayısı 100 paletten az olduğu duruma ilişkin otomatik/konvansiyonel depolama analizi gerçekleştirilmiş olup sonuçları Şekil 7.1’de verilmektedir.



Şekil 7.1 : Hızlı tüketim sektöründe otomatik depolama (Dallari ve diğ., 2006).

Dallari ve diğ. (2006), yaptıkları çalışmada depolama lokasyonu sayısı arttıkça manuel/otomatik depo seçenekleri arasındaki yatırım mâlîyeti farkının azaldığını gözlemlemişlerdir. Saatte hareket gören palet sayısı artışının ise bu iki seçenek arasındaki operasyonel mâlîyet farkının konvansiyonel depolar tarafında artış gösterdiği belirlenmiştir. Bu tez kapsamında geliştirilen modelin sonucunda, saatte

hareket gören palet sayısı ve palet yeri sayısının Türkiye pazarı ve koşulları için geçerli olan mâliyet verileri doğrultusunda analitik olarak hesaplanarak ortaya konulması amaçlanmıştır.

Hassan (2010), malzeme taşıma sistemlerinin seçimi konusunda geliştirdiği genel bir yaklaşımı anlattığı çalışmada, mâliyetin yanı sıra iş güvenliği, işlem hacmi, esneklik gibi etmenlerin de değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Ayrıca söz konusu çalışmada malzeme taşıma sistemlerinin seçilmesine yönelik geliştirdiği yaklaşımda; seçilen seçeneğin doğrulanmasının hem mâliyet, hem de esneklik, hız, arıza gibi konular açısından simülasyon modelleri ile yapılması gerekliliğini belirtmektedir. Dhamdhere ve diğ. (2012) ise otomatik depolama sistemlerini akıllı depolama sistemleri olarak nitelendirerek, bu sistemlerin etkin işgücü kullanılması, işlem doğruluğu sonucunda stok kontrolünün daha sağlıklı yapılması ve iş güvenliğinin artırılması gibi üstünlükleri olduğunu belirtmiştir.

Potrc ve diğ. (2010) ise otomatik depolar (AS/RS) için yatırım mâliyetini enazlayan bir model geliştirmiş olup, bu problemi genetik algoritmalar ile çözümleyerek optimum sonucu ortaya koymuşlardır.

7.1 Modele İlişkin Formülasyon ve Örnek Uygulama

Dallari ve diğ. (2006), konvansiyonel/otomatik depo karar verme probleminin analizi sırasında aşağıdaki etmenlerin göz önünde bulundurulduğunu belirtmektedir:

- İşgücü gereksinimleri (palet, karton, kutu, vb. depolama ve toplama)
- Hareket gereksinimleri (depolama ve çekme işleminin ortalama oranı, mevsimsel değişkenlikler vb.)
- Depolama gereksinimleri (depolama alanı, depolanan SKU sayısı vb.)
- Dış etmenler (yatırımın geri dönüş oranı, personelin nitelikli olması vb.)

Bu konular bakımından simülasyon modelleri ile yapılması gerekliliği belirtilmektedir. Russel ve Meller (2003) tarafından da manuel ve otomatik sipariş toplama sistemlerine ilişkin mâliyet ve işlem hacmi modellemesi için temel bir model ile farklı kombinasyonların değerlendirilmesi için analitik ve simülasyon modelleri kullanılmıştır. Frazelle (2002) ise depolama sistemlerinin seçimi için alan,

işçilik, raf ve ekipman mâliyetlerinin enazlanmasına yönelik bir yazılım geliştirmiştir.

Modelin formülasyonu ile ilgili çalışmalar sırasında Bölüm 4.1’de derinlemesine görüşmelerin gerçekleştirildiği lojistik hizmet sağlayıcı şirketlerinden özellikle otomatik depo konusunda deneyimleri diğerlerine göre daha fazla olan üç şirket ile yeniden ayrıntılı görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Söz konusu iki şirkette görüşme yapılan kişiler, bir önceki görüşmelerin gerçekleştirildiği üst düzey yöneticiler iken diğer şirket için de bir önceki görüşmenin yapıldığı iş geliştirme müdürü ve ekibidir.

Bu görüşmelerde şirketler ile konvansiyonel/otomatik depolama problemine ilişkin yaklaşımları, çözüm yöntemleri ve problemin modellenmesi söz konusu olduğunda, göz önünde bulundurulması gereken etmenler konularında değerlendirmeler yapılmıştır.

Her üç şirket de bu konuda en önemli karar noktasının mâliyet olduğunu belirtmişlerdir. Bir başka deyişle amaç, mâliyet açısından avantajlı olan seçeneğin seçildiği vurgulanmıştır.

Bu noktada belirli mâliyet kalemleri şu şekilde ifâde edilmiştir:

- Arsa mâliyeti
- Bina mâliyeti (inşaa mâliyeti)
- Raf mâliyetleri (raf kurulum mâliyetleri)
- Otomatik depolama sistemi yatırım mâliyeti
- Mekanik (yangın sistemleri gibi) ve elektrik yatırım mâliyeti
- Operasyonel mâliyetler (çalışan personel ve malzeme taşıma sistemlerine ilişkin bakım mâliyetleri vb.)

Bu probleme ilişkin kısıtlar ise şu şekilde belirtilmiştir:

- Hedeflenen depo işlem hacmi
- Depolama alanı
- Yatırım bütçesi
- İşletme bütçesi
- Nakit akışı

Ayrıca karar verilirken yatırımın geri dönüş oranının da göz önüne alınması gerektiği belirtilmiştir. Türkiye için uygulamalarda ortalama 1 Milyon € civarındaki bir yatırımın ortalama 3-4 yılda geri döneceği; 20 Milyon € civarındaki bir yatırımın ise ortalama 10 yılda geri döneceği genel yaklaşım olarak düşünülmektedir.

Bunların yanı sıra esneklik, müşteri hoşnutluğu, stok doğruluğu, hata oranı gibi nitel etmenlerin de değerlendirilebildiği ifade edilmiştir. Tüm şirketler, bu tür bir kararın verilmesinde farklı seçenekler ile ilgili yukarıdaki ölçütler açısından kıyaslama yapıldığını ve nihai kararın tüm tarafların katılımı ile yapılan bir çalıştay sonucunda belirlendiğini ifade etmişlerdir.

Türkiye pazarında çoğunlukla üretici olan şirketlerin kendilerine ait olan depolar için otomatik depo çözümünü yeğlediği belirtilmiştir. Bunun nedeni, otomatik depoların ciddi yatırımlar gerektirmekte oluşu ve şirketlerin mülkü kendilerine ait olmayan depolar için bu tür yatırımların yapılmasını ileriye yönelik olarak riskli görmekte oluşlarıdır.

Görüşme yapılan bir şirket, depodan beklenen işlem hacminin en kritik nokta olarak ele alındığını ve alan ve yükseklik gibi kısıtlara göre daha baskın olduğunu belirtmiştir.

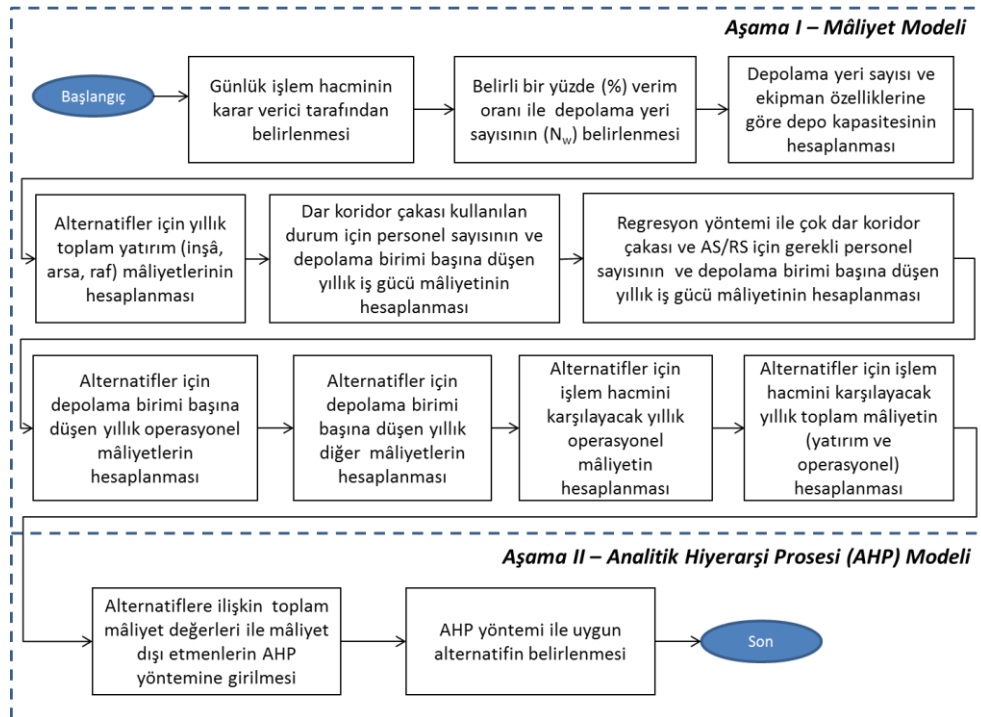
Söz konusu şirket yöneticilerinden birisi ise hızlı tüketim malları için bu problemin paletli depolama olarak ele alınabileceğini, otomatik depo seçeneğinin AS/RS (vinç – crane) olarak değerlendirilebileceğini belirtmiştir. Konvansiyonel depo çözümünde ise dar koridor çakası ve/veya çok dar koridor çakasının uygulamalarda yaygın olarak kullanıldığını ifade etmiştir. Dar koridor çakası seçeneğinde paletlerin raflara yerleştirilmek üzere veya raflardan alınan paletlerin sipariş toplama alanlarına transferi için istifleme araçlarının (stacker) da kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Çakaların genellikle rampalardan depo içi alanlara veya sipariş toplama alanlarından rampalara taşımada daha yoğun kullanıldığı ifade edilerek son dönemde özellikle koridor içindeki işlemler için alan verimliliği açısından çakaların yeğlenmediği belirtilmiştir.

Konvansiyonel/otomatik depo kararı verilirken, depoda işlem hacmini karşılayacak personel ve ekipman sayılarının belirlenmesi sonrasında maliyetlendirmenin yapıldığı ifade edilmiştir.

Bu görüşmelerde otomatik depoların işgücü mâliyeti, depolama alanı verimliliği, işlem doğruluğu gibi konularda üstünlük getirmesine karşılık, yatırım mâliyeti, esneklik ve teknik destek (yazılım kurulumu ve desteği vb.) konularında ise olumsuzluk yaratacağı belirtilmiştir. Roodbergen ve Vis (2009) tarafından yapılan çalışmada da AS/RS özelinde işgücü mâliyeti, depolama alanı ve işlem güvenilirliği konusunda üstünlük sağlanırken, esneklik kaybı ve yüksek yatırım mâliyetleri de bu tür sistemlerin eksik yanları olarak tanımlanmıştır. Konvansiyonel/otomatik depo karar verme problemi için konvansiyonel/otomatik depo çözümleri bağlamında farklı seçenekler belirlenerek, bu seçeneklere ilişkin en uygun olan çözümün belirlenmesine yönelik iki aşamalı bir analitik model geliştirilmiştir. Söz konusu seçenekler şunlardır:

1. Deponun otomatik depo olarak tasarlanması (AS/RS)
2. Deponun konvansiyonel olarak (çok dar koridor çakası – turret truck) tasarlanması
3. Deponun konvansiyonel olarak (dar koridor çakası – reach truck) tasarlanması

Çok dar koridor çakası seçeneğinde söz konusu depolama birimi olan paletlerin istiflenme işleminin de tamamlanabilmesi için istifleme aracı (stacker) gereksinimi de göz önünde bulundurulmuştur. Söz konusu modelin aşamaları ve akışı Şekil 7.2’de verilmektedir:



Şekil 7.2 : Analitik modelin aşamaları.

Analitik modelin ilk aşamasında farklı seçeneklere ilişkin toplam mâliyetlerin hesaplanmasına yönelik bir mâliyet modeli geliştirilmiştir. Bu bağlamda konvansiyonel/otomatik depo için her bir ekipman seçeneği için göz önünde bulundurulacak olan mâliyet öğeleri aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

- İnşâ mâliyeti (PB/m²)
- Arsa mâliyeti (PB/m²)
- Raf mâliyeti (PB/depolama birimi)
- Ekipman satınalma mâliyetleri (PB)
- İlk yatırım mâliyeti (PB)
- İşgücü mâliyeti (PB/depolama birimi)
- Operasyonel mâliyetler (PB/depolama birimi)
- Diğer mâliyetler (PB/depolama birimi)

Seçenekler bazında işgücü, operasyonel ve diğer mâliyetler depolama birimi başına düşecek şekilde değerlendirilmekte ve karar verici tarafından belirlenen işlem hacmi doğrultusunda yıllık toplam mâliyetlere dönüştürülmektedir. Yatırım ve ekipman satınalma mâliyetleri de yıllık eşdeğer mâliyetlere dönüştürüldükten sonra her bir ekipman seçeneği için toplam mâliyet; yıllık operasyonel, yatırım ve ekipman satınalma mâliyetleri toplamıdır.

Söz konusu mâliyet öğelerinin hesaplanması için öncelikle karar verici tarafından günlük işlem hacmi (ürün giriş miktarı) belirlenmektedir. Karar verici tarafından belirlenen bu işlem hacmi ve formül (5.1)'deki diğer parametreler yardımıyla depolama yeri sayısı belirlenmektedir. Bu aşamada karar verici tarafından aşağıdaki bilgiler modele girilmektedir:

- Palet ölçüleri (en, boy ve yükseklik)
- Raf eni ve raf boyu
- Deponun ana ve ara koridor genişlik ölçüleri
- Operasyon boşluğu, travers kalınlığı
- Bina yüksekliği

- Sipariş alanı eni
- Dikey ekseninde (z-ekseni) palet yeri sayısı

Dikey ekseninde (z-ekseni) palet yeri sayısı karar verici tarafından belirlenen palet ölçüleri ve tüm diğer bilgiler doğrultusunda ekipman seçeneği bazında uygun olan bina yüksekliği ile palet ve üzerindeki ürünün toplam yüksekliği oranı ile hesaplanabilmektedir. Örneğin palet ölçütleri için Europalet ölçüleri baz alındığında, örneğin dar koridor çakası için bina yüksekliği 12,25 m., çok dar koridor çakası için 15 m. ve AS/RS için ise 35 m. olarak değerlendirme yapılabilir. Palet yüksekliği, operasyon boşluğu ve travers kalınlığı toplamı ise sırasıyla 1,49 m., 1,44 m. ve 1,42 m. olarak modele girilebilir. Deponun tavanından 1 m. çatı payı olarak bırakıldığı takdirde, z-ekseni boyunca stok palet yeri sayıları örneğin dar koridor çakası için $[(12,25-1) / 1,49 =] 7$ olarak belirlenebilir. Söz konusu palet yeri sayısı, çok dar koridor çakası ve AS/RS için ise sırasıyla 9 ve 23 olarak değerlendirilebilir.

Bu bilgiler doğrultusunda depolama kapasitesine yönelik hesaplamalar (5.4), (5.5), (5.6) ve (5.7) formülleri yardımıyla gerçekleştirilmek sùretiyle stoklama alanı hesaplanmaktadır. Stoklama enine sipariş alanı eni ilave edilerek depolama alanı eni bulunmakta ve bu değer ile stoklama alanı boyuna eşit olan depolama alanı boyu çarpılmak sùretiyle depolama alanı hesaplanmaktadır. Depolama alanı hesaplamalarında Ghiani ve diğ. (2004) ve Tanyaş ve Çakmak (2012) tarafından önerilen hesaplama yöntemi temel alınmaktadır. Depo alanı ve arsa alanı arasındaki ilişki de parametrik olarak verilebilmekle birlikte Türkiye'deki lojistik uygulayıcılar ile yapılan derinlemesine görüşmeler sonucunda uygulamalarda arsa alanının depolama alanının yaklaşık iki katı olarak değerlendirildiği bilgisi edinilmiştir. Depolama kapasitesi hesaplamalarının ardından arsa ve inşaa mâliyetleri, birim mâliyetlerin alan değerleri ile çarpılması sùretiyle hesaplanmaktadır. Raf mâliyeti ise toplam depolama yeri sayısı ile birim raf mâliyeti çarpımı ile hesaplanmaktadır.

Ekipman satınalma mâliyeti ise gerekli olan ekipman sayısı üzerinden belirlenmektedir. Ekipman sayısının daha gerçekçi olarak belirlenmesi için karar verici tarafından belirlenen iş hacmi ile her bir ekipmanın teknik kapasitesi doğrultusunda her bir seçenek için gerekli olan ekipman sayısı hesabının yapılması öngörölmüştür. Örneğin pazardaki dar koridor çakalarının teknik verileri göz önüne alındığında bu ekipman için döngü süresi ortalama 6 dk/palet olarak

değerlendirilebilir. Aynı şekilde çok dar koridor çakası için bu sürenin 4 dk/palet ve AS/RS için ise 2 dk/palet olduğu belirtilebilir. Bu süreler AS/RS ve çok dar koridor çakası için paletin koridorun önünden raf adresine kadar geçen süre iken dar koridor çakası için rampa önünden raf adresine kadar yapılan işlemler için geçen süre olarak değerlendirilmektedir. Öte yandan çok dar koridor çakası seçeneğinde bu ekipmanın yanı sıra istifleme aracının da (stacker) kullanımının uygulamalar açısından daha gerçekçi olduğundan hareketle söz konusu seçeneğin ilk yatırım mâliyeti için istifleme aracının bedeli de göz önüne alınabilmektedir. Bu noktada istifleme aracı için kapasitenin 2 dk/palet olarak verildiği öngörülebilmektedir.

İlk yatırım mâliyeti ise salt AS/RS seçeneği için geçerli olan sabit bir mâliyet kalemidir. Tüm bu yatırım mâliyet öğeleri, lojistik şirketleri ile yapılan görüşmeler doğrultusunda gerçek uygulamalar göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Bu mâliyet kalemlerinin model içerisinde yıllık mâliyetler olarak değerlendirilip kullanılması öngörülmektedir. Bu bağlamda, yatırım mâliyetlerinin de yıllık eşdeğer mâliyetlere dönüştürülerek model içerisinde yer alması gerekmektedir. Bir başka deyişle şimdiki mâliyetin yıllık mâliyete dönüştürülmesi için aşağıdaki formül kullanılır (Tolga ve Kahraman, 1994; Russell ve Meller, 2003):

$$A = P(A/P) = P[i(i+1)^n / ((i+1)^n - 1)] \quad (7.1)$$

A: Yıllık eşdeğer mâliyet (pb)

P: Şimdiki mâliyet (pb)

i: Faiz oranı (%)

n: Faiz dönem sayısı

Söz konusu formülde yatırıma konu olan ekipman, arsa ve inşaat unsurlarının hurda değerleri ihmâl edilmiştir. Karar vericinin hurda değerlerini de göz önüne almak istemesi durumunda hurda değer kâr gibi düşünülerek mâliyeti azaltıcı bir etki yaratacağından ötürü hurda satış değerinin yıllık değeri, formül (7.1)'deki ifâdede belirtilen eşdeğer yıllık mâliyetten çıkarılmalıdır (Tolga ve Kahraman, 1994).

Lojistik şirketleri ile yapılan görüşmelerde, uygulamalarda; arsa mâliyeti için faiz dönem sayısının 20 yıl; diğer yatırım mâliyet kalemleri için ise 10 yıl olarak alındığı belirtilmiştir.

İşgücü mâliyeti ile ilgili hesaplamada personel gereksiniminin hesaplanması gerekmektedir. Konvansiyonel durumlardan en temel olan seçenek dar koridor çakası olduğu için bu seçeneğe ilişkin en az personel sayısı şu şekilde hesaplanabilir:

$$R_j = [D_j / t_j] \quad (7.2)$$

R_j : Konvansiyonel durumda depolama birimi için gerekli en az personel sayısı

t_j : Depolama birimi için gereken standart süre

D_j değeri, formül (5.1)'de belirtilen değerler üzerinden hesaplanmaktadır.

Bu noktada, lojistik hizmet sağlayıcı şirketleri ile yapılan görüşmeler sonucunda konvansiyonel ve otomatik depo seçeneklerine ilişkin personel sayıları arasında doğru orantı ile hesaplanamayan bir ilişki olduğu anlaşılmıştır. Bu bağlamda, çok dar koridor çakası ve AS/RS seçenekleri için gerekli personel sayıları, dar koridor çakası için gerekli personel sayısı üzerinden doğrusal regresyon yöntemi ile belirlenmektedir. Karar verici tarafından belirlenen günlük işlem hacmi ve depolama biriminin işlenmesi için gerekli standart süre ve günlük çalışma saati üzerinden dar koridor çakası seçeneği için gerekli personel sayısı hesaplanmaktadır. Bu personel sayısı üzerinden sektörel uygulamalara paralel olarak diğer seçenekler için de gerekli olacak personel sayısı, regresyon yöntemi sonucunda tanımlanan eşitlikler ile belirlenmektedir. Bu bağlamda α ve β parametreleri en küçük kareler yöntemi ile tahmin edilmektedir (Larsen ve diğ., 1997):

$$R_j = \alpha_1 + \beta_1 R_1 + \epsilon_1 \quad (7.3)$$

R_j : Depolama birimi için gerekli en az personel sayısı

($j = 1$ (dar koridor çakası), 2 (çok dar koridor çakası), 3 (AS/RS))

Bu eşitlikte ϵ , hata terimidir. En küçük kareler yöntemi ile bu hata terimlerinin kareleri toplamını en küçükleyecek biçimde parametrelerin tahmini değerleri hesaplanmaktadır. Bir başka deyişle, bu yöntemle bulunan tahmin değerlerinin gerçek personel sayısı değerlerinden sapmalarının kareleri toplamı en küçük olmaktadır. Bu noktada tek bir bağımsız değişken olduğu kabul edilmiştir. Regresyon analizinde kullanılan veri tablosu lojistik hizmet sağlayıcı şirketlerden temin edilmiş olup Çizelge 7.1'de verilmektedir:

Çizelge 7.1 : Konvansiyonel/otomatik depo için gerekli personel sayıları.

Otomatik Depo		Konvansiyonel Depo	
Palet Sayısı (Adet)	AS/RS Personel Sayısı (Adet)	Dar Koridor	Çok Dar Koridor
		Çakası Personel Sayısı (Adet)	Çakası Personel Sayısı (Adet)
100	3	10	8
200	4	25	20
300	8	35	27
400	9	50	35
500	10	60	50
600	12	70	60
700	14	85	70
800	16	95	80
900	18	105	85
1000	20	120	90

Söz konusu verilere göre tahmin modeli; $R_j = \alpha_1 + \beta_1.R_1$ olarak verilmekte olup %95 güven düzeyinde gerçekleştirilen basit doğrusal regresyon analizi sonucunda aşağıdaki eşitlikler tanımlanmıştır:

$$R_2 = 0,186606952441899 + R_1.0,798677756451269 \quad (7.4)$$

$$R_3 = 1,15802943058221 + R_1.0,156365962891875 \quad (7.5)$$

R_1 : Dar koridor çakası durumunda depolama birimi için gerekli en az personel sayısı

R_2 : Çok dar koridor çakası durumunda depolama birimi için gerekli en az personel sayısı

R_3 : AS/RS durumunda depolama birimi için gerekli en az personel sayısı

Söz konusu regresyon analizi sonucunda AS/RS ve çok dar koridor çakasına ilişkin r^2 değerleri sırasıyla %98,7 ve %98,6 olarak bulunmuştur. Buna göre söz konusu regresyon modeli ile bu ekipmanlara ilişkin personel sayıları güçlü bir şekilde açıklanabilmektedir. Öte yandan anlamlı F değerleri ise AS/RS için 0,0000000079006, çok dar koridor çakası için ise 0,00000000933 olarak hesaplanmıştır. Buna göre regresyon modelinin anlamlı olduğu gözlemlenmiştir.

İşgücü gereksiniminin belirlenmesinde öncelikle konvansiyonel durumdaki işgücünün hesaplanması ve bu doğrultuda diğer ekipmanlar için işgücünün tahmin edilmesi Türkiye'deki lojistik şirketler tarafından da pratik olarak uygulanan bir yöntemdir. İşgücü gereksinimi hesaplaması için Bartholdi ve Hackman (2011)

tarafından önerilen Little Kanunu'nu temel alan ve depoyu kuyruk sistemi olarak değerlendiren bir kuram da kullanılabilir. Bu kurama göre kuyruğun ortalama uzunluğu (L), ortalama varış süresi (λ) ile bekleme süresinin (W) çarpımına eşittir:

$$L = \lambda W \quad (7.6)$$

Örneğin 10.000 palet depolanan ve yılda ortalama 4 kez devreden bir depo için;

10.000 palet = λ (1/4 yıl) ise $\lambda \approx 40.000$ palet/yıl bulunur. Günlük 8 saatlik bir vardiya ve yılda 250 çalışma günü olduğu düşünülürse;

$\lambda \approx 20$ palet/saat sonucu bulunur. Bir personelin tek bir palet için çalışma süresi ortalama 10 dakika olarak düşünülürse 1 saatte 6 paletin işlenmesi söz konusu olacaktır. Saatte 20 palet işlem görmesi için ise $20/6 = 3,33 \approx 4$ personel gereksinimi olacaktır.

Operasyonel mâliyetler ise deponun işletilmesi sırasında oluşan bakım, onarım ve diğer genel yönetim giderlerini tanımlamaktadır. Bilgi teknolojilerine ilişkin altyapı, donanım ve yazılım mâliyetleri ile genel yönetim giderleri ise diğer mâliyetler olarak değerlendirilmektedir.

Her bir ekipman seçeneği için toplam mâliyet, yıllık toplam operasyonel mâliyetler (depolama birimi sayısı ile depolama birimi başına düşen mâliyetin çarpımı), yıllık toplam yatırım mâliyeti ve yıllık toplam ekipman satınalma mâliyeti (günlük talebi karşılayacak en az ekipman sayısı ile ekipman satınalma fiyatının çarpımı) değerlerinin toplamıdır.

Modele ilişkin varsayımlar şu şekilde özetlenmiştir:

- FMCG sektörü için dağıtım merkezi olarak faaliyet gösteren yeni inşaa edilecek olan tek katlı bir depo için konvansiyonel/otomatik depo kararına ilişkin modelleme yapılmıştır. Bu noktada otomatik depo, temel olarak AS/RS (vinç – crane) şeklinde tanımlanırken, konvansiyonel depo olarak dar koridor çakası ve çok dar koridor çakası (turret truck) olarak tanımlanmıştır. Çok dar koridor çakasının söz konusu olduğu çözüm seçeneğinde yardımcı ekipman olarak istifleme aracı (stacker) kullanımının da olacağı varsayılmıştır.
- Ekipman kapasite değerleri için verilen süreler ise AS/RS ve çok dar koridor çakası için paletin koridorun önünden raf adresine kadar geçen süre iken dar

koridor akası için rampa önünden raf adresine kadar yapılan işlemler için geçen süre olarak değerlendirilmiştir.

- Modelde depo yerleşiminden (dimensioning) bağımsız olarak depolama kapasitesine (sizing) ilişkin bir analiz gerçekleştirilmiştir.
- Depo tasarımınnın bu seçeneklerden birisi için uygulanacağı gibi aynı anda birden fazla seçeneğin de kullanılabileceği varsayılmıştır. Bir başka deyişle, otomatik ve konvansiyonel depo çözümlerinin aynı anda uygulanabildiği varsayılmıştır.
- Her bir koridordaki raf tasarımınnın sırt sırta raf sistemi olarak yapıldığı varsayılmıştır.
- rn bağımsız olarak palet bazında giriş-çıkış yapılan bir depo için modelleme yapılmıştır.
- Mâliyetler yıllık olarak değerlendirilmiştir. Yatırım mâliyetlerinin belirlenmesinde faiz oranı ve faiz dönemi parametrik olarak belirlenmiştir. Yatırım mâliyetleri hesaplanırken hurda değeri ya da satış değeri ihmâl edilmiştir.
- Ortalama işgücü mâliyeti otomatik ve konvansiyonel depo durumlarında eşit olarak kabul edilmiştir. Bir başka deyişle, iki durumda da çalışacak personelin yetkinliklerinin ve becerilerinin aynı olduğu varsayılmıştır.
- İşgücü gereksinimi dar koridor akası için işlem hacmi, palet işleme standart süresi ve günlük çalışma saati üzerinden belirlenmekte olup sektörel uygulamalara paralel olarak çok dar koridor akası ve AS/RS için bu bilgi üzerinden regresyon ile hesaplanmaktadır. Regresyon için kullanılan veriler lojistik şirketleri ile yapılan görüşmeler yoluyla elde edilmiştir.
- İşletme mâliyetleri içerisinde her türlü ekipman mâliyeti (bakım ve onarım mâliyetleri de dâhil olmak üzere) yer almaktadır.
- Modelde yer alan depolama birimi palet olarak ele alınmış olup paletlerin ölçüleri ile ekipmanların teknik özellikleri karar vericiye bağlı olarak parametrik bir şekilde modele girilmektedir. Karar vericinin ilgili ekipmana ilişkin teknik katalogları incelemesi sonucunda ortalama değerlerin modele girildiği varsayılmaktadır.

Mâliyetleri oluşturan kalemlere ilişkin birim mâliyetler (birim raf ve inşaa mâliyeti, ortalama personel ücretleri, yıllık çalışılan gün sayısı, günlük çalışma süresi vb.) piyasa koşulları ve farklı bölgesel uygulamalar doğrultusunda karar verici tarafından parametrik olarak değiştirilebilmektedir.

Konvansiyonel/otomatik depo karar verme problemi için yukarıda ayrıntıları anlatılan modelin depo tasarımı ve otomatik depo çözümleri konusunda hizmet veren lider iki şirketin sırasıyla iş geliştirme ve satış konusundaki üst yöneticileri ile yapılan ayrıntılı görüşmeler sonucunda oluşturulan örnek veriler ile çözümü gerçekleştirilmiştir. Bu örnek problemde aşağıdaki bilgiler yer almaktadır:

- Günlük işlem hacmi (ürün giriş miktarı): 2.500 palet
- Depolama yeri sayısı verim oranı: %85
- Stok gün sayısı (gün): 20
- Dönemsel gün sayısı (yıl): 365 gün
- Yıllık çalışma süresi (gün): 303 gün
- 1 kişi tarafından paletin işlem süresi 10 dk/palet olup günde bir kişi 7 saat çalışmaktadır. Depodaki çalışma ise 3 vardiya olarak belirlenmiştir. Depoda çalışan farklı düzey ve ünvandaki personelin ortalama aylık brüt maaşı 2.500 TL/kişi olarak verilmektedir.
- Arsa mâliyeti 500 TL/m² ve raf mâliyeti dar koridor ve çok dar koridor çakası için aynı olup 65 TL/m² olarak verilmekte iken AS/RS için 80 TL/m² olarak verilmektedir.
- İnşâ mâliyeti ise dar koridor çakası için 1.000 TL/m²; çok dar koridor çakası için 900 TL/m² ve AS/RS için 1.200 TL/m² olarak belirlenmiştir.

Şekil 7.2’de verilen akış doğrultusunda modelin ilk aşamasının çözümü için öncelikle karar verici tarafından belirlenen günlük işlem hacmi ve verim oranı doğrultusunda depolama yeri sayısının hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplama (5.1) formülü ile yapılmaktadır:

$$n_w = (D * s) / d = [(2.500 * 303 * 20) / 365] / 0,85 = 48.832$$

Söz konusu işlem hacmi için depoda yer alması gereken depolama yeri sayısı 48.832 olarak belirlenmiştir. Bu bilgi ve ekipman özellikleri doğrultusunda AS/RS, dar koridor çakası ve çok dar koridor çakası için deponun en-boy uzunlukları ve depolama alanı ve arsa alanı hesaplamaları (5.4), (5.5), (5.6) ve (5.7) formülleri yardımıyla yapılmakta olup Çizelge 7.2’de gösterilmektedir. Bu hesaplamalar sırasında palet ölçüleri Europalet standart ölçüleri olarak alınmıştır. Diğer yandan, bu hesaplamada x, y ve z eksenleri doğrultusundaki palet yerleri karar verici tarafından verilmekte olup z eksenı doğrultusunda palet yeri, bina yüksekliği ile palet yüksekliği, travers kalınlığı ve operasyon boşluğu toplamının oranlanması ile elde edilmektedir. Bina yüksekliği, her bir ekipmanın teknik özelliklerine göre uygun olan çalışma yüksekliği şeklinde düşünölmüş olup bina yüksekliğinin son 1 metrelik kısmı çatı payı olarak bırakılmıştır. Bina yüksekliği, her bir ekipmanın farklı markalarına ait teknik kataloglarındaki “h₃” yükseklik değeri lerinin ortalaması şeklinde düşünölebilir. Ekipman kapasite değeri leri için verilen süreler ise AS/RS ve çok dar koridor çakası için paletin koridorun önünden raf adresine kadar geçen süre iken dar koridor çakası için rampa önünden raf adresine kadar yapılan işlemler için geçen süredir. Bu noktada, depolama kapasitesine (sizing) ilişkin bir analiz gerçekleştirilmiş olup sonuç değeri leri Çizelge 7.2’de verilmektedir.

İnşâ mâliyetleri ise Çizelge 7.2’de verilen depo alanı ile her bir seçen ek ipman için verilen m² bazındaki inşaa mâliyetlerinin çarpımı ile bulunmuştur. Örneğin dar koridor çakası için $21.521 \text{ m}^2 \times 1.000 \text{ TL/m}^2 = 21.520.620 \text{ TL}$ olarak hesaplanmıştır. Diğer seçenekler için de aynı yöntem kullanılmış olup çok dar koridor çakası için söz konusu mâliyet 11.735.056 TL ve AS/RS için ise 6.657.611 TL olarak hesaplanmıştır.

Arsa mâliyetleri, Çizelge 7.2’de yer alan arsa alanı ile arsa m² bazında verilen mâliyetin çarpımı ile bulunmuştur. Örneğin dar koridor çakası için arsa alanı $43.041 \text{ m}^2 \times 500 \text{ TL/m}^2 = 21.520.620 \text{ TL}$ olarak hesaplanmıştır. Diğer seçenekler için de aynı yöntem kullanılmıştır.

Çizelge 7.2 : Depo kapasitesi hesaplamaları.

	Dar Koridor Çakası	Çok Dar Koridor Çakası	AS/RS
m (depolama yeri sayısı)	48.832	48.832	48.832
Palet eni (m)	0,8	0,8	0,8
Raf eni (α_y)	1	1	1
Palet boyu (m)	1,2	1,2	1,2
Raf boyu (α_x)	1	1	1
Ana Koridor (w_y)	4	4	2
Ara Koridor (w_x)	3,3	1,95	1,95
Palet Yeri Sayısı (n_z)	7	9	23
Palet Yüksekliği (m)	1,2	1,2	1,2
Operasyon Boşluğu (m)	0,15	0,1	0,08
Travers Kalınlığı (m)	0,14	0,14	0,14
Bina Yüksekliği (m)	12,25	15	35
Palet Yeri Sayısı (n_y)	192	146	92
Palet Yeri Sayısı (n_x)	36	37	23
Toplam Palet Yeri Sayısı	48.832	48.832	48.832
Stoklama Alanı Boyu (L_y) (m)	196	150	94
Stoklama Alanı Eni (L_x) (m)	96	73	46
Stoklama Alanı (m^2)	18.871	11.009	4.285
Sipariş Alanı Boyu	196	150	94
Sipariş Alanı Eni	13,5	13,5	13,5
Sipariş Alanı (m^2)	2.650	2.030,34	1.263,27
Depo Alanı Boyu (m)	196	150	94
Depo Alanı Eni (m)	110	87	59
Depo Alanı (m^2)	21.521	13.039	5.548
Arsa Alanı (m^2)	43.041	26.078	11.096
Ekipman Kapasitesi (dk/palet) -I	6	4	2
Ekipman Kapasitesi (dk/palet) -II	-	2	-

Raf mâliyetleri ise depolama yeri sayısı ile m^2 bazında verilen raf mâliyetlerinin çarpımı ile hesaplanmıştır. Dar koridor ve çok dar koridor çakası seçenekleri için raf mâliyeti 48.832 palet x 68 TL/palet = 3.320.548 TL olarak bulunmuştur. AS/RS için ise raf mâliyeti 48.832 palet x 80 TL/palet = 3.906.527 TL olarak hesaplanmıştır.

Ekipman satınalma mâliyetleri ise palet sayısına bağlı olarak hesaplanan ekipman sayısı ile birim mâliyeti çarpımı sonucu elde edilecek şekilde amaç fonksiyonunda tanımlanmıştır. Dar koridor çakası için her bir ekipmanın bedeli 75.600 TL olarak belirlenmektedir. Çok dar koridor çakasının ortalama satış liste fiyatı 216.000 TL olarak verilirken, istifleme aracı (stacker) bedeli ise 23.700 TL olarak alınmıştır. AS/RS için ise her bir vinç ekipmanın satış fiyatı 810.000 TL ve tüm sistemin ilk kurulum mâliyeti (ilk yatırım mâliyeti) ise 23,7 Milyon TL olarak alınmıştır.

Söz konusu seçenekler için işgücü mâliyetlerinin belirlenmesi amacıyla gerekli personel sayılarının hesaplanması gerekmektedir. Bu noktada dar koridor çakası için gerekli personel sayısı, verilen bilgiler doğrultusunda yıllık talep üzerinden hesaplanmaktadır. Buna göre; $R_1 = 757.500 \text{ palet} / (303 \text{ gün} \times 7 \text{ saat/gün} \times 6 \text{ palet/saat}) = 59,5 \approx 60$ kişi olarak bulunur. Çok dar koridor çakası için gerekli personel sayısı (R_2) ve AS/RS için gerekli personel sayısı (R_3), (7.4) ve (7.5) formülleri yardımıyla hesaplanarak sırasıyla 48 ve 11 olarak bulunmuştur. İşgücü mâliyetleri ise personel sayısı ile brüt ücret çarpımı ile hesaplanmaktadır.

Bu aşamadan sonra her bir seçenek ekipman için palet başına yıllık işletme mâliyetleri ve diğer mâliyetlerin hesaplanması adımı gelmektedir. Operasyonel mâliyetlerde işgücü mâliyeti haricindeki tüm bakım-onarım, yedek parça giderleri vb. gibi işletme mâliyetleri yer alırken diğer mâliyetler içerisinde ise genel yönetim giderleri ve bilgi teknolojileri giderleri göz önünde bulundurulmaktadır.

Söz konusu hesaplamalar doğrultusunda her bir seçenek için toplam operasyonel ve yatırım mâliyetleri Çizelge 7.3'te verilmektedir:

Çizelge 7.3 : Seçenekler bazında operasyon ve yatırım mâliyetleri.

Mâliyetler (TL)	Dar Koridor Çakası	Çok Dar Koridor Çakası	AS/RS
İşgücü Mâliyeti	1.785.714	1.440.000	330.000
Operasyonel Mâliyetler	957.660	728.040	813.660
Diğer Mâliyetler	133.933	130.406	472.794
Ara Toplam	2.877.307	2.298.446	1.616.454
Arsa Mâliyeti	21.520.620	13.038.951	5.548.010
Raf Mâliyeti	3.320.548	3.320.548	3.906.527
İnşaa Mâliyeti	21.520.630	11.735.056	6.657.611
İlk Yatırım Mâliyeti	-	-	23.700.000
Ara Toplam	46.361.787	28.094.554	39.812.148
Toplam	49.239.095	30.393.000	41.428.602

Bu aşamadan sonra seçenekler bazında yıllık mâliyetler hesaplanmaktadır. Yatırım mâliyetleri, yıllık faiz oranı %12; faiz dönemi ise arsa için 20 yıl, diğer mâliyet kalemleri için 10 yıl olarak kabul edilerek formül (7.1) ile yıllık eşdeğer mâliyet olarak yıllık eşdeğer mâliyetlere dönüştürülmüştür. Ekipmanlara ilişkin yıllık eşdeğer mâliyetler ise vinç için 143.357 TL, çok dar koridor çakası için 38.229 TL, istifleme aracı (stacker) için 4.195 TL ve dar koridor çakası için 13.380 TL olarak

hesaplanmıştır. Ekipman sayıları ise günlük işlem hacmini karşılayacak şekilde ekipman kapasiteleri doğrultusunda belirlenmiştir. Örneğin AS/RS seçeneğinde vinç sayısı, günde 7 saatten 3 vardiya çalışan depoda günlük işlem görmesi beklenen palet sayısı 2.500 palet olarak alındığında saatlik işlem hacmi 120 palet olmakta ve vinç 2 dk/palet süresi ile çalıştığı için saatte 30 paleti işleme tâbi tutmaktadır. Dolayısıyla 120 palet için 4 vinç gerekmektedir. Benzer şekilde çok dar koridor çakası için ekipman sayısı 8; buna bağlı olarak istifleme aracı için 4 ve dar koridor çakası için ise 12 ekipman gereksinimi hesaplanmıştır.

Operasyonel mâliyetlerin palet başına düşen mâliyet değerleri ise Çizelge 7.3'teki işletme mâliyetlerinin 1 kişi tarafından yıllık toplam işlem görebilecek palet sayısı olan $[303 \text{ gün} \times 7 \text{ saat} \times 6 \text{ palet/saat} =]$ 12.726 palet değerine oranlanması ile elde edilmiştir.

Yatırım mâliyetlerinin yıllık eşdeğer mâliyet değerleri ile işletme mâliyetlerinin palet bazındaki değerleri ile Çizelge 7.4'te gösterilmektedir.

Çizelge 7.4 : Seçenekler bazında yıllık palet başına düşen eşdeğer mâliyetler.

Mâliyetler (TL)	Dar Koridor Çakası	Çok Dar Koridor Çakası	AS/RS
İşgücü Mâliyeti	140	113	26
Operasyonel Mâliyetler	75	57	64
Diğer Mâliyetler	11	10	37
Toplam	226	181	127
Arsa Mâliyeti	2.881.154	1.745.639	742.761
Raf Mâliyeti	587.684	587.684	691.393
İnşaa Mâliyeti	3.808.809	2.076.919	1.178.292
İlk Yatırım Mâliyeti	-	-	4.194.525
Toplam	7.277.648	4.410.242	6.806.971

Bu analitik model önerisinde yeni bir depo tasarımına ilişkin uygulamalara paralel olarak konvansiyonel depo seçeneklerinin de aynı anda uygulanmadığı varsayım olarak kabul edilmiştir. Özellikle koli, kasa gibi birbirinden farklı depolama birimleri ile sipariş toplama operasyonu yapılmadığı durumlarda ya da depoda hareket görmeyen mallar gibi özel bir durum söz konusu değilse, deponun tek bir çözüme göre uygulamaya alınması öngörülmüştür. Bu durum, lojistik hizmet sağlayıcısı olan bir şirketin iş geliştirmeden sorumlu üst yönetici ile de derinlemesine

değerlendirilmiş olup ele alınan problemde paletli depolama öngörüldüğü için bu tür bir seçenek modele dâhil edilmemiştir.

Bu doğrultuda Çizelge 7.4'te verilen mâliyet değerleri doğrultusunda seçenekler bazında yıllık toplam mâliyet değeri hesaplanmıştır.

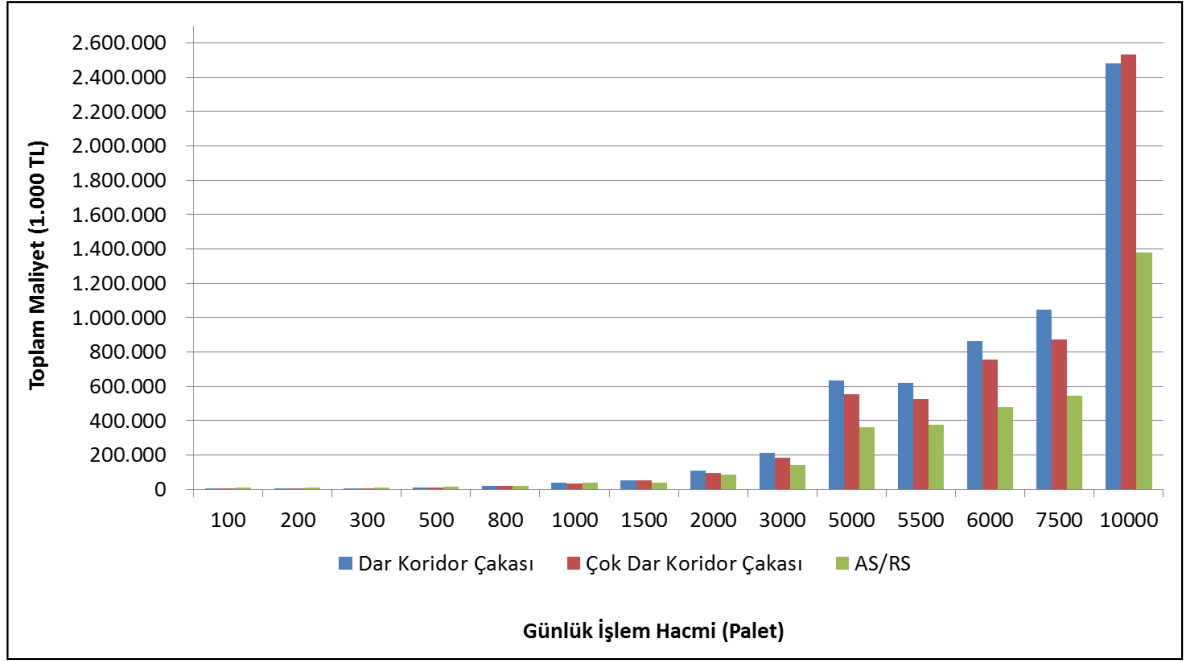
Buna göre AS/RS seçeneği için yıl bazında toplam mâliyet değeri; $(757.500 \text{ palet} \times 127 \text{ TL/palet}) + 6.806.971 \text{ TL} + (4 \text{ vinç} \times 143.357 \text{ TL/vinç}) = 103.582.896 \text{ TL}$ olarak bulunmuştur. Çok dar koridor çakası için yapılan çözümde toplam mâliyet ise 141.840.352 TL olarak bulunmuştur. Dar koridor çakası için yapılan çözüm için ise toplam mâliyet 178.633.216 TL olarak bulunmuştur.

Bu aşamada ayrıntıları yukarıda anlatılan modele ilişkin karar verici tarafından belirlenen farklı günlük palet işlem hacimleri doğrultusunda hesaplanan farklı mâliyet değerleri Çizelge 7.5'te verilmektedir.

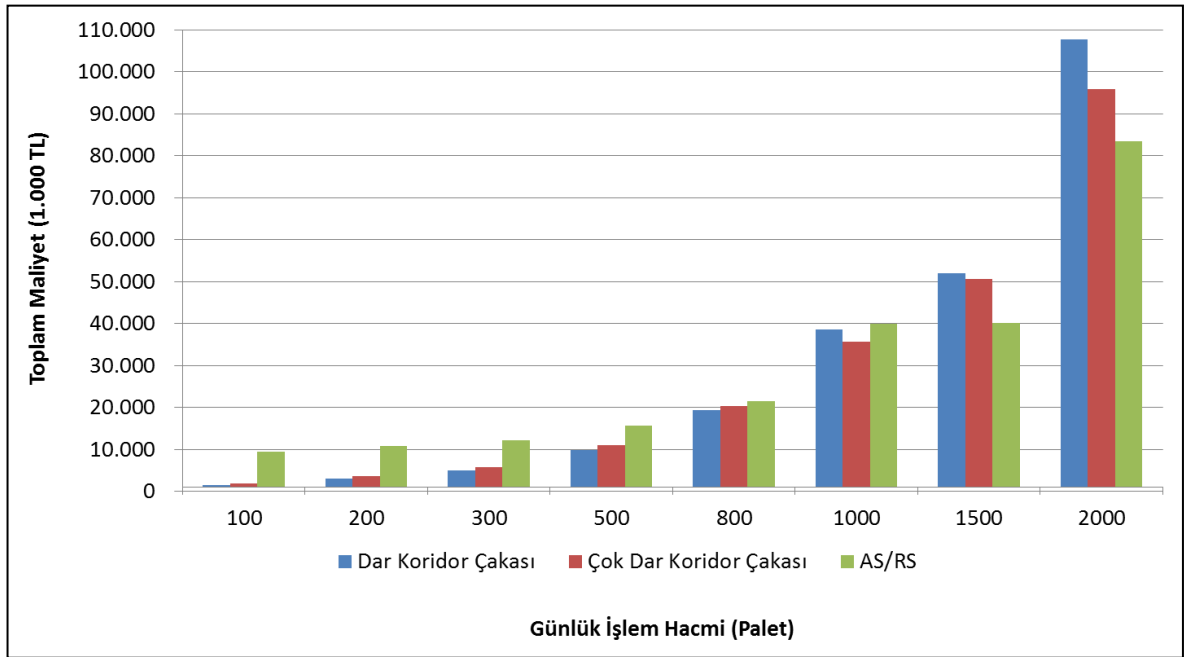
Söz konusu çözümlere ilişkin palet sayılarına bağlı olarak toplam mâliyetin değişimi ise Şekil 7.3'te verilmektedir. Günlük işlem hacmi 2.000 palete kadar olan mâliyet değişimi ise ayrıntılı olarak Şekil 7.4'te verilmektedir.

Çizelge 7.5 : Farklı palet işlem hacimleri doğrultusunda bulunan çözümler.

Günlük İşlem Hacmi (palet)	AS/RS Alternatifi Mâliyeti (Milyon TL)	Çok Dar Koridor Çakası Alternatifi Mâliyeti (Milyon TL)	Dar Koridor Çakası Alternatifi Mâliyeti (Milyon TL)
100	9.49	1.84	1.47
200	10.80	3.68	3.13
300	12.21	5.81	5.07
500	15.67	10.94	9.86
800	21.55	20.33	19.29
1.000	40.00	35.68	38.52
1.500	40.15	50.64	52.03
2.000	83.34	95.79	107.62
3.000	141.82	185.25	21.03
5.000	362.08	555.32	631.95
5.500	376.15	524.23	618.99
6.000	478.41	753.52	863.63
7.500	543.51	873.66	1.047,98
10.000	1.377,24	2.534,21	2.480,03

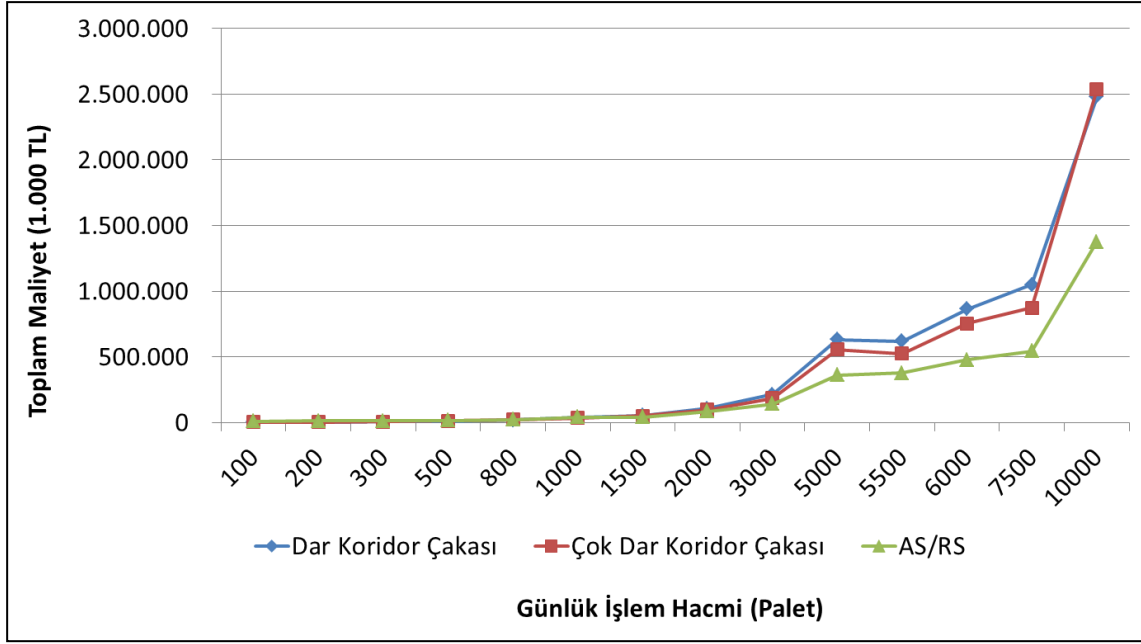


Şekil 7.3 : Günlük işlem hacmine göre toplam mâliyetin değişimi – I.



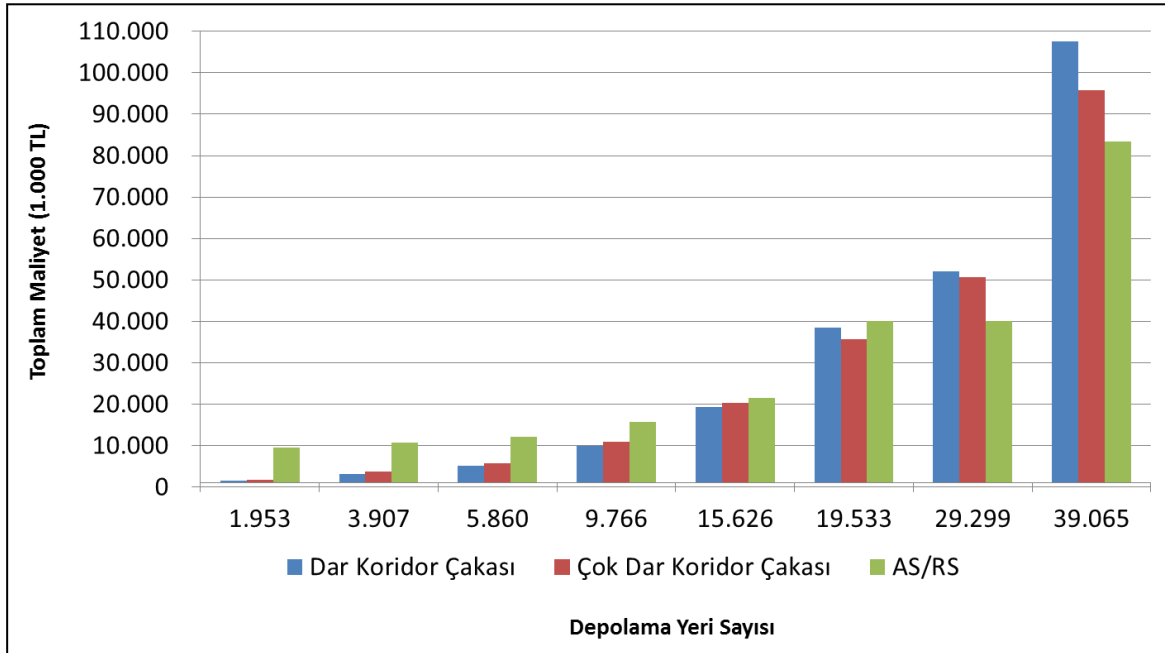
Şekil 7.4 : Günlük işlem hacmine göre toplam mâliyetin değişimi – II.

Söz konusu Şekil 7.4'teki grafikte günlük işlem hacmi 1.000 palet olduğu durumda konvansiyonel çözümler mâliyet açısından daha avantajlı olurken 1.500 palet için AS/RS çözümü daha az mâliyetli konuma geçmektedir. Ayrıca Şekil 7.5'ten görüldüğü üzere günlük işlem hacminin 7.500 paletten fazla olduğunda konvansiyonel seçeneklerin toplam mâliyetinin AS/RS çözümüne göre daha fazla oranda arttığı ortaya konulmuştur.



Şekil 7.5 : Farklı işlem hacimleri için toplam mâliyetin değişimi.

Modele ilişkin hesaplanan örnekler için konvansiyonel/otomatik depo seçeneklerinin toplam mâliyetinin depolama yeri sayısı bazında değişimi ise Şekil 7.6'da verilmektedir:



Şekil 7.6 : Farklı depolama yeri sayısı için toplam mâliyetin değişimi.

Şekil 7.4 ve 7.6'da gösterildiği üzere, günlük işlem hacmi 1.500 palet, 29.299 depolama yeri sayısı için AS/RS çözümü daha avantajlı bir duruma geçmektedir. Bu bulgu, Dallari ve diğ. (2006) tarafından yapılan, İtalya'daki depolar için ortaya

konan, işlem gören palet sayısının saatte 50-70 paletin üzerinde veya depolama lokasyonu sayısının 5.000-7.000 palet üzerinde olduğu durumda AS/RS çözümünün uygun duruma gelmesine ilişkin çalışmanın, Türkiye pazarı ve koşulları için olan değerlerini göstermektedir. Söz konusu teknik göstergelerin Türkiye için geçerli olacak şekilde belirlenmesi son derece önemlidir. Buna göre Türkiye için günlük çalışma saati 7 saat olarak düşünüldüğünde saatte işlem gören palet sayısının yaklaşık 215 palet veya depolama yeri sayısının 29.300 adetten fazla olması durumunda AS/RS seçeneğinin uygun çözüm olduğu ortaya konmuştur. Bunun en önemli nedenlerinden birinin Türkiye’de işçilik ve operasyonel mâliyetlerin Avrupa ülkelerine göre daha az olması gösterilebilmektedir. Öte yandan ilk yatırım mâliyetinin ise para birimi ve kur etmenlerinden ötürü Avrupa ülkeleri için daha düşük olduğu gösterilebilmektedir. Türkiye pazarının mâliyet odaklı bir pazar olmasının yanı sıra geleceğe yönelik plânlama konusundaki belirsizlikler de işletmelerin bu tür yatırımlara ilişkin geri dönüş oranı ve süresi konusunda çok daha temkinli olmasına neden olmaktadır. Ayrıca otomatik depo çözümlerinin esnekliği azaltması da bu belirsizlik ortamında Türkiye’deki işletmelerin Avrupa’daki işletmelere göre çok daha yüksek iş hacimlerinde bu tür çözümleri değerlendirmesine yol açmaktadır.

Söz konusu değerler, Türkiye’de faaliyet gösteren bir lojistik hizmet sağlayıcısı ile lojistik danışmanlık hizmeti veren bir şirketin uzmanları ile ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmiş ve uygulamalar ile uyumlu olduğu sonucuna varılarak doğrulanmıştır. Görüşme yapılan lojistik hizmet sağlayıcısı şirketin yetkilileri, Türkiye koşullarında saatte ortalama 200 paletten daha düşük işlemler için otomatik depo çözümünün çoğu zaman seçenek olarak düşünülmediğini belirtmiştir.

Bu noktada ekipmanlara ilişkin toplam mâliyet değerinin bağımlı değişken ve günlük işlem hacminin bağımsız değişken olarak değerlendirildiğinde bağımsız değişkenlerin kendi aralarındaki etkileşimleri ve bu etkileşimlerin bağımlı değişken üzerindeki etkilerinin analiz edilmesi amacıyla tek yönlü ANOVA testi gerçekleştirilmiştir. ANOVA, üç veya daha fazla ortalamanın eşit olup olmadığını test etmekte olup, bu örnekte günlük işlem hacminin ekipman toplam mâliyeti üzerinde istatistiksel olarak anlamlı düzeyde bir etkisinin olup olmadığı test edilmiştir (Larsen ve diğ., 1997). Bu bağlamda H_0 hipotezi, “günlük işlem hacminin farklı seçeneklerin mâliyet değerlerine etkisi yoktur” ya da “bu grupların ortalamaları

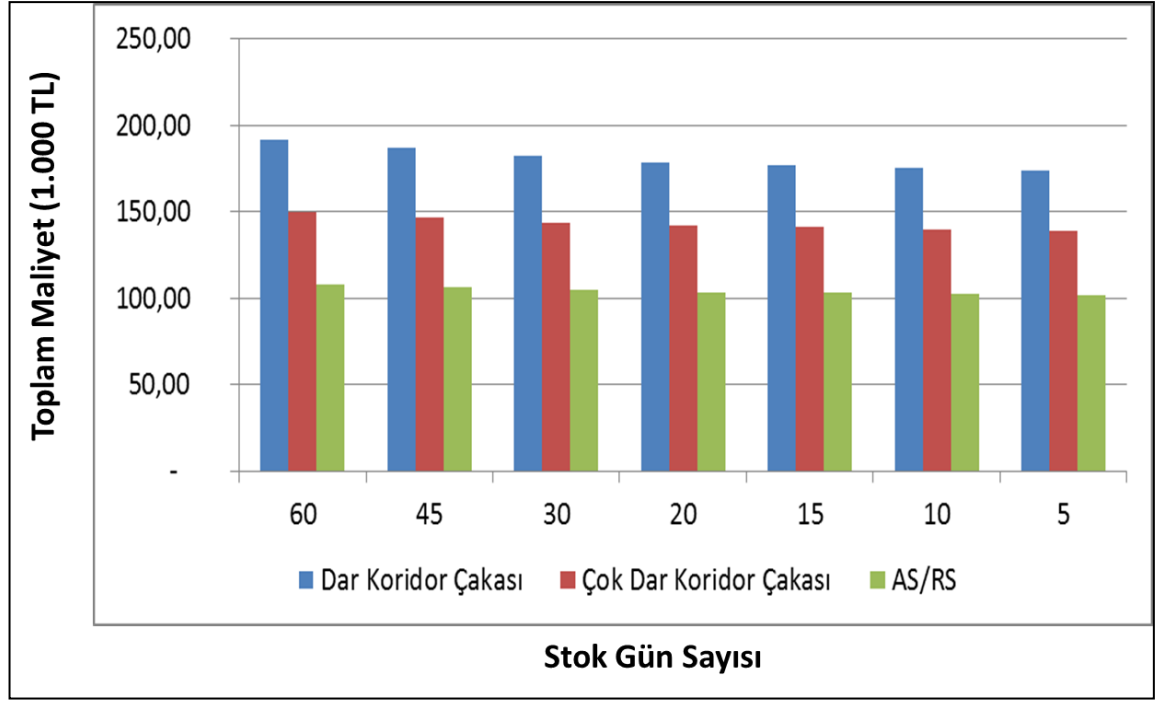
arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır” şeklinde düşünülürken H_1 hipotezi de “günlük işlem hacminin mâliyet değerleri üzerinde etkisi vardır” şeklinde değerlendirilmektedir. Çizelge 7.5’te farklı işlem hacmi içeren gruplara ilişkin seçeneklerin mâliyet değerleri için 0,05 önem düzeyinde ANOVA testi gerçekleştirildiğinde F değeri 25,20 bulunmuş olup f-kritik değeri olan 2,09 değerinden büyük olarak hesaplanmıştır. Buna göre H_0 hipotezi reddedilmiş olup söz konusu günlük işlem hacminin mâliyet üzerinde istatistiksel olarak anlamlı düzeyde etkisi olduğu bulunmuştur. Bu etkinin bir göstergesi olarak işlem hacminin artması ile mâliyet değerlerinin de arttığı gözlemlenmektedir.

Söz konusu ayrıntıları yukarıda uygulama örneği olarak anlatılan modele ilişkin günlük 2.500 palet üzerinden karar verici tarafından belirlenen farklı stok gün sayıları doğrultusunda üretilen farklı çözümler, Çizelge 7.6’da verilmektedir.

Çizelge 7.6 : Farklı stok gün sayıları doğrultusunda bulunan çözümler.

Stok Gün Sayısı	AS/RS Seçeneği Mâliyeti (Milyon TL)	Çok Dar Koridor	
		Çakası Seçeneği Mâliyeti (Milyon TL)	Dar Koridor Çakası Seçeneği Mâliyeti (Milyon TL)
60	108.20	149.79	191.98
45	106.49	146.83	187.01
30	104.76	143.85	182.00
20	103.58	141.84	178.63
15	102.99	140.82	176.93
10	102.38	139.78	175.19
5	101.75	138.71	173.42

Bu bağlamda, farklı ekipman seçeneklerine ilişkin toplam yıllık mâliyet değerinin stok gün sayısına bağlı olarak değişimi de Şekil 7.7’de verilmektedir. Şekil 7.7’den görüldüğü üzere 2.500 palet günlük iş hacmi ve 3 vardiya çalışma için otomatik depo çözümü farklı stok gün değerleri söz konusu olduğu durum, en iyi seçenek olarak görülmektedir.



Şekil 7.7 : Farklı stok gün sayısı için toplam mâliyetin değişimi.

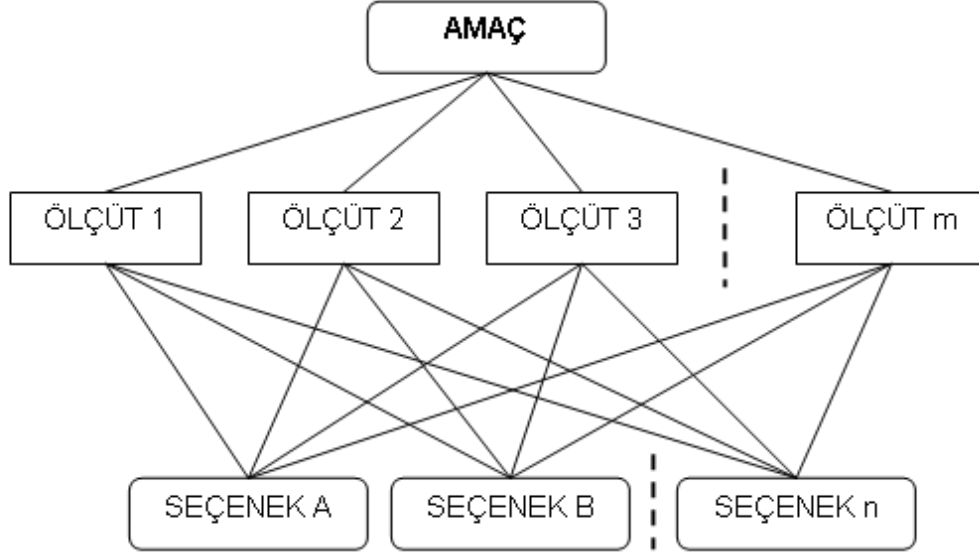
Bunun yanı sıra stok gün sayısının azalmasına paralel olarak tüm seçeneklerin mâliyetlerinin kendi içinde paralel olarak azaldığı gözlemlenmektedir. Bu durum, stok gün sayısının, depolama hacmine olan etkisinden ötürü yatırım mâliyetlerini etkilemesi ile açıklanabilmektedir. Öte yandan stok gün sayısının değişimi, seçeneklerin birbirlerine göre mâliyetlerinin değişimini ve modelin stok gün sayısı bazında önerdiği en iyi mâliyete sahip seçenek sonucunu etkilememektedir.

Stok gün sayısının, seçeneklere ilişkin mâliyet değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı düzeyde bir etkisinin olup olmadığı ANOVA ile test edilmiştir. Bu durumda H_0 hipotezi, “stok gün sayısının farklı seçeneklerin mâliyet değerlerine etkisi yoktur” ya da “bu grupların ortalamaları arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır” şeklinde düşünülürken H_1 hipotezi de “stok gün sayısının mâliyet değerleri üzerinde etkisi vardır” şeklinde değerlendirilmektedir. Çizelge 7.6’da farklı stok gün sayıları içeren gruplara ilişkin seçeneklerin mâliyet değerleri için 0,05 önem düzeyinde ANOVA testi gerçekleştirildiğinde F değeri 0,039 bulunmuş olup f-kritik değeri olan 2,85 değerinden küçük olarak hesaplanmıştır. Buna göre H_0 hipotezi kabul edilmiş olup söz konusu stok gün sayısının mâliyet üzerinde istatistiksel olarak anlamlı düzeyde etkisi olmadığı ANOVA testi ile de belirlenmiştir.

Konvansiyonel/otomatik depo karar probleminde öngörülen amaç fonksiyonu mâliyetin enküçüklenmesi şeklinde olsa da bu problemin çözümlenmesi sırasında göz önünde bulundurulması gereken başka etmenler de bulunmaktadır. Bu doğrultuda, modelin ikinci aşamasında yukarıda ayrıntıları verilen matematiksel model sonucunda her bir seçenek için hesaplanan optimum mâliyetler, diğer etmenler ile birlikte Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemine dâhil edilerek en uygun seçeneğin seçimi gerçekleştirilmiştir. AHP yöntemi, karar verici tarafından belirlenen belirli ölçütlerin önceliklerine göre ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulduğu ve bu ölçütlerin ağırlıklarına göre seçeneklerin değerlendirilerek sıralandığı bir karar verme yöntemidir. AHP yönteminin adımları şöyledir:

- Problemin tanımlanması ve amacın belirlenmesi
- Kararın amacından başlayarak karar hiyerarşi yapısının oluşturulması
- İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması
- Önem değerlerine göre önceliklendirmenin yapılması

Söz konusu yöntemin yapısı Şekil 7.8’de gösterilmektedir (Saaty, 2008).



Şekil 7.8 : AHP yapısı (Saaty, 2008).

Bu yöntemde seçeneklerin karşılaştırılması için Çizelge 7.7’de verilen önem tablosu kullanılmaktadır (Saaty, 2008; Winston, 2004):

Çizelge 7.7 : Önem tablosu (Saaty, 2008).

Önem Değerleri	Tanım
1	Öğeler Eşit Önemde
3	İlk öge diğerine göre biraz daha önemli
5	İlk öge diğerine göre fazla önemli
7	İlk öge diğerine göre çok fazla önemli
9	İlk öge diğerine göre aşırı derece önemli
2, 4, 6, 8	Ara Değerler

AHP yönteminin algoritması ise şu şekildedir:

- **İkili Karşılaştırmalar Matrisi:** Ölçütlerin amaca ulaşmakta, seçenekler açısından önemleri, ikili kıyaslama yöntemi çerçevesinde belirlenir. Bu karşılaştırmalar ile elde edilen sonuçlar ve ölçütler için Şekil 7.9’da gösterildiği biçimde İkili Karşılaştırmalar Matrisi elde edilir:

	K_1	K_2	K_3		K_m
K_1	a_{11}	a_{12}	a_{13}		a_{1m}
K_2	a_{21}	a_{22}	a_{23}		a_{2m}
:	:	:	:		:
K_m	a_{m1}	a_{m2}	a_{m3}		a_{mm}

Şekil 7.9 : İkili karşılaştırmalar matrisi.

- **Öncelik Vektörlerinin Bulunması:** İkinci adım her bir özelliğin önem derecesini gösteren öncelik vektörlerinin bulunmasıdır. AHP yöntemine uygun olmak koşuluyla uygulamada kolaylık olması açısından geliştirilmiş pek çok durumda çok iyi sonuçlar veren bir algoritma geliştirilmiştir:

İkili karşılaştırma matrisindeki her bir sütunun elemanları, o sütunun toplamına bölünür. Böylece A_w olarak adlandırılan ve her sütundaki değerler toplamı 1’e eşit olan bir Normalleştirilmiş İkili Karşılaştırma Matrisi elde edilmektedir. Elde edilen A_w matrisinde, her bir satırda yer alan elemanların aritmetik ortalaması alınır. Bu aritmetik ortalama $(1 \times m)$ boyutlu matrisin ilgili satırını oluşturacaktır. Bunun sonucu olarak, m boyutlu ω öncelik vektörü elde edilir:

$$\omega = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m]^T \quad (7.7)$$

- **Tutarlılık Oranlarının Hesaplanması:** Bu aşamada AHP’de yapılan ikili karşılaştırmaların tutarlılık derecesi hesaplanmaktadır. Yapılan hesaplama sonucunda elde edilen tutarlılık derecesi kabul edilebilir limitin altında ise, değerlendirmeler yenilenmeli, oluşturulan yapı ve süreçler gözden geçirilmeli ve bu aşamaya kadar yürütülen çalışmalar yinelenmelidir.
- **Değerlendirme ve Sonuç:** Tutarlılık kontrolleri yapıldıktan sonra karar seçeneklerinin öncelik sıralamasını geliştirmek için ölçüt öncelikleri ve karar seçeneklerinin her bir ölçüte göre göreceli önceliklerinin birleştirilmesi ile öncelik matrisi oluşturulur. Her bir karar seçeneği için öncelik, bu ölçütlere göre karar seçeneğinin önceliğinin ölçütün önceliğiyle çarpılması ve çarpım sonuçlarını toplanması ile elde edilir.

Konvansiyonel/otomatik depo karar verme problemi bu açıdan bakıldığında dar koridor çakası, çok dar koridor çakası ve AS/RS seçeneklerine ilişkin bir seçim problemidir ve ilk aşamada hesaplanan mâliyet ögesi dışında da karar verme sürecine etki eden farklı etmenler bulunmaktadır. AHP yönteminde göz önüne alınacak söz konusu mâliyet dışı etmenlerin başında esneklik gelmektedir. Otomatik depoların, kurulumu tamamlandıktan sonra yeni gereksinimlere göre değiştirilmesi, sökülmesi ve sonrasında kiralanması veya satılması oldukça zordur. Konvansiyonel depolardaki rafların yeni gereksinimlere göre değiştirilmesi, yeniden kurulumu daha kolaydır. Ayrıca bu tür bir depoda kullanılan çaka, dar koridor çakası gibi ekipmanların da gerekli durumlarda kiralanabilmesi veya satılabilmesi söz konusu olabilmektedir. Baker ve Halim (2007), esneklik ilişkili endişelerin depo otomasyon çözümlerinde en önemli noktalardan biri olduğunu ortaya koymuştur.

Baker (2008)’a göre dağıtım merkezleri açısından esneklik konusu, aşağıdaki üç farklı duruma karşı tepki verme ve uyum sağlama şeklinde tanımlanmaktadır:

- Mevsimsellik, ürün yaşam döngüleri, müşteri talep dalgalanmalarından ötürü oluşan hacimsel farklılıklar
- Âcil siparişlerde söz konusu olan zaman farklılıkları
- Farklı depolama birimlerinde ve miktarlarında olan siparişlerden ötürü oluşan miktarsal farklılıklar

Shukla ve diğ. (2010) ise tedârik zincirlerine ilişkin esneklik kavramının içerisinde sürdürülebilirlik kavramının da değerlendirilebileceğini belirtmiştir.

Bu model kapsamında esneklik, Baker (2008) tarafından açıklanan tanımın yanı sıra farklı depolama birimleri veya ürün özelliklerine göre ekipmanların değişimi veya dönüşümü olarak düşünülmüş ve değerlendirme ölçütü olarak belirlenmiştir.

Peter ve Halim (2007), otomatik depo kararı için en önemli etmenlerden bir diğerinin, şirketin büyüme stratejilerini desteklemek olduğunu belirtmektedir. Bu bağlamda, büyüme stratejilerini destekleme, değerlendirme ölçütü olarak belirlenmiştir.

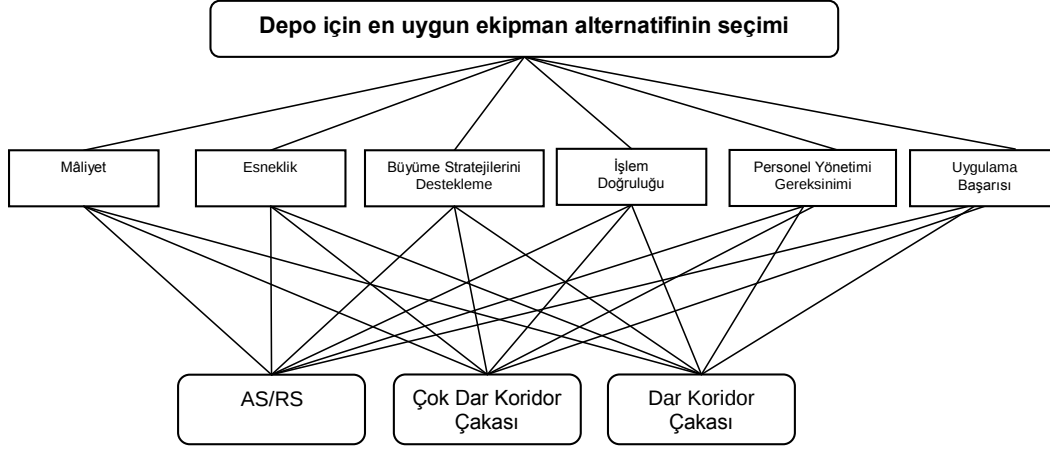
Bunların yanı sıra Türkiye’de faaliyet gösteren üç lojistik hizmet sağlayıcı şirketin iş geliştirme ve satış yöneticileri ile yapılan görüşmeler doğrultusunda işlem doğruluğu, personel yönetimi gereksinimi ve uygulama başarısını da, göz önünde bulundurulması gereken diğer ölçütler olarak belirlenmiştir.

İşlem doğruluğu, depo operasyonları bağlamında gerçekleştirilen işlemler (iş emri yönetimi, stok giriş, çıkış ve transfer işlemleri vb.) bağlamında otomatik depolarda manuel işlemlerin olmaması ya da en az düzeyde olması nedeniyle işlem doğruluğu açısından otomatik depolar avantaj sağlamaktadır.

Personel yönetimi gereksinimi ise günlük operasyon içerisinde yapılması gereken işgücü plânlama, vardiya plânlama gibi faaliyetleri belirtmekte olup, personel gereksiniminin fazla olduğu konvansiyonel çözümlerde gerçekleştirilmesi gereken bir faaliyet olarak değerlendirilmektedir. Otomatik depolarda ise insan gücü gereksinimi çok daha az olduğundan personel yönetim gereksinimi çok daha az ve kolay olarak yapılabilmektedir.

Uygulama başarısı ise, tasarlanan deponun devreye alınma sırasındaki risk düzeyi olarak tanımlanabilmektedir. Konvansiyonel seçeneklerde bu tür bir risk az olmakla birlikte AS/RS gibi otomatik depo çözümlerinde bu çözümün devreye alınması sırasında başarısız olma riskinin daha yüksek olduğu düşünülmektedir.

Sonuç olarak, konvansiyonel/otomatik depo karar verme problemi için şu etmenler değerlendirmeye alınacaktır: Mâliyet (K_1), esneklik (K_2), büyüme stratejilerini destekleme (K_3), işlem doğruluğu (K_4), personel yönetimi gereksinimi (K_5) ve uygulama başarısı (K_6). Buna göre söz konusu probleme ilişkin AHP yapısı Şekil 7.10’da verilmektedir:



Şekil 7.10 : Örnek probleme ilişkin AHP yapısı.

Bu aşamada tüm ölçütlere ilişkin bilgiler karar verici tarafından belirlenirken, mâliyetle ilişkin bilgiler ise ilk aşamadaki matematiksel model tarafından belirlenmektedir. Söz konusu problem için değerlendirmeye alınan ölçütler, literatürdeki çalışmalar ve Türkiye’de faaliyet gösteren üç lojistik hizmet sağlayıcı şirketin iş geliştirme yöneticileri ile yapılan görüşmeler sonucunda belirlenmiştir. Bu mâliyetler AHP yönteminde kullanılmak üzere öncelikle ters çevrilmelidir. Bu bağlamda $(1/\text{Mâliyet})$ değerleri bulunarak toplam mâliyetlere her ters çevrilmiş mâliyet toplamının oranlanması yoluyla normalize edilmesi gerekmektedir. Böylece ikili karşılaştırma matrisinin vektörü yerine bu normalize değerler vektörünün kullanılması öngörülmüştür (Topcu, 2013).

AHP yöntemi ile yukarıda ayrıntılı bir şekilde anlatılan problemin çözümü gerçekleştirilmiştir. Öncelikle ölçütlerin birbirlerine göre önem ağırlıkları belirlenmiş ve sonrasında normalize edilmiş matris elde edilmiştir. Çizelge 7.8’de söz konusu matrisler gösterilmektedir.

Seçeneklerin ölçütlere göre ikili karşılaştırma ve normalize edilmiş matrisler de Çizelge 7.9 ve Çizelge 7.10’da verilmektedir.

Çizelge 7.8 : Ölçüt önem ağırlıkları karşılaştırmalar ve normalize matrisi.

	Mâliyet	Esneklik	Büyüme Stratejilerini Destekleme	İşlem Doğruluğu	Personel Yönetimi	Uygulama Başarısı
Mâliyet	1,0000	2,0000	2,0000	5,0000	7,0000	3,0000
Esneklik	0,5000	1,0000	3,0000	5,0000	7,0000	0,5000
Büyüme Stratejilerini Destekleme	0,5000	0,3333	1,0000	4,0000	7,0000	0,5000
İşlem Doğruluğu	0,2000	0,2000	0,2500	1,0000	5,0000	0,5000
Personel Yönetimi Gereksinimi	0,1429	0,1429	0,1429	0,2000	1,0000	0,2000
Uygulama Başarısı	0,3333	2,0000	2,0000	2,0000	5,0000	1,0000
Toplam	2,6762	5,6762	8,3929	17,2000	32,0000	5,7000

	Mâliyet	Esneklik	Büyüme Stratejilerini Destekleme	İşlem Doğruluğu	Personel Yönetimi Gereksinimi	Uygulama Başarısı	Ort. (Ağırlık)
Mâliyet	0,3736	0,3523	0,2382	0,2906	0,2187	0,5263	0,3333
Esneklik	0,1868	0,1761	0,3574	0,2906	0,2187	0,0877	0,2196
Büyüme Stratejilerini Destekleme	0,1868	0,0587	0,1191	0,2325	0,2187	0,0877	0,1506
İşlem Doğruluğu	0,0747	0,0352	0,0297	0,0581	0,1562	0,0877	0,0736
Personel Yönetimi Gereksinimi	0,0533	0,0251	0,0170	0,0116	0,0312	0,0350	0,0289
Uygulama Başarısı	0,1245	0,3523	0,2382	0,1162	0,1562	0,1754	0,1939

Çizelge 7.9 : Seçeneklerin ikili karşılaştırma matrisleri.

Esneklik	Dar Koridor Çakası	Çok Dar Koridor Çakası	AS/RS
Dar Koridor Çakası	1,0000	3,0000	9,0000
Çok Dar Koridor Çakası	0,3333	1,0000	7,0000
AS/RS	0,1111	0,1429	1,0000
Büyüme Stratejilerini Destekleme	Dar Koridor Çakası	Çok Dar Koridor Çakası	AS/RS
Dar Koridor Çakası	1,0000	0,5000	0,1111
Çok Dar Koridor Çakası	2,0000	1,0000	0,1111
AS/RS	9,0000	9,0000	1,0000
İşlem Doğruluğu	Dar Koridor Çakası	Çok Dar Koridor Çakası	AS/RS
Dar Koridor Çakası	1,0000	0,5000	0,1111
Çok Dar Koridor Çakası	2,0000	1,0000	0,1429
AS/RS	9,0000	7,0000	1,0000
Personel Yönetimi Gereksinimi	Dar Koridor Çakası	Çok Dar Koridor Çakası	AS/RS
Dar Koridor Çakası	1,0000	0,5000	0,1111
Çok Dar Koridor Çakası	2,0000	1,0000	0,1111
AS/RS	9,0000	9,0000	1,0000
Uygulama Başarısı	Dar Koridor Çakası	Çok Dar Koridor Çakası	AS/RS
Dar Koridor Çakası	1,0000	2,0000	9,0000
Çok Dar Koridor Çakası	0,5000	1,0000	7,0000
AS/RS	0,1111	0,1429	1,0000

Çizelge 7.10 : Seçeneklerin ikili karşılaştırma normalize matrisleri.

Esneklik	Dar Koridor Çakası	Çok Dar Koridor Çakası	AS/RS
Dar Koridor Çakası	0,6923	0,7241	0,5294
Çok Dar Koridor Çakası	0,2308	0,2414	0,4118
AS/RS	0,0769	0,0345	0,0588

Büyüme Stratejilerini Destekleme	Dar Koridor Çakası	Çok Dar Koridor Çakası	AS/RS
Dar Koridor Çakası	0,08333	0,04762	0,09091
Çok Dar Koridor Çakası	0,16667	0,09524	0,09091
AS/RS	0,75000	0,85714	0,81818

İşlem Doğruluğu	Dar Koridor Çakası	Çok Dar Koridor Çakası	AS/RS
Dar Koridor Çakası	0,08333	0,05882	0,08861
Çok Dar Koridor Çakası	0,16667	0,11765	0,11392
AS/RS	0,75000	0,82353	0,79747

Personel Yönetimi Gereksinimi	Dar Koridor Çakası	Çok Dar Koridor Çakası	AS/RS
Dar Koridor Çakası	0,08333	0,04762	0,09091
Çok Dar Koridor Çakası	0,16667	0,09524	0,09091
AS/RS	0,75000	0,85714	0,81818

Uygulama Başarısı	Dar Koridor Çakası	Çok Dar Koridor Çakası	AS/RS
Dar Koridor Çakası	0,62069	0,63636	0,52941
Çok Dar Koridor Çakası	0,31034	0,31818	0,41176
AS/RS	0,06897	0,04545	0,05882

Seçeneklerin ölçütler bazında oluşturduğu ortalamalar matrisi ise Çizelge 7.11’de verilmektedir.

Çizelge 7.11 : Ölçütlere ilişkin ortalamalar matrisi.

	Mâliyet	Esneklik	Büyüme Stratejilerini Destekleme	İşlem Doğruluğu	Personel Yönetimi	Uygulama Başarısı
Dar Koridor Çakası	0,2510	0,6486	0,0740	0,0769	0,0740	0,5955
Çok Dar Koridor Çakası	0,3161	0,2946	0,1176	0,1327	0,1176	0,3468
AS/RS	0,4329	0,0567	0,8084	0,7903	0,8084	0,0577

Bu aşamadan sonra Çizelge 7.11’de yer alan seçeneklerin ölçütlere göre puanlarını gösteren matris ile ölçütlerin önem ağırlıklarını gösteren matris, matris çarpımı ile çarpılarak her bir seçenek için puanlar bulunmaktadır. Söz konusu matrisler ve matris çarpım sonucu Çizelge 7.12’de gösterilmektedir.

Çizelge 7.12 : Seçeneklere ilişkin puan matrisleri ve sonuç.

		Ort. (Ağırlık)
Mâliyet		0,3333
Esneklik		0,2196
Büyüme Stratejilerini Destekleme		0,1506
İşlem Doğruluğu		0,0736
Personel Yönetimi Gereksinimi		0,0289
Uygulama Başarısı		0,1939
		Puan
Dar Koridor Çakası	0,3605	36,05%
Çok Dar Koridor Çakası	0,2682	26,82%
AS/RS	0,3713	37,13%
Toplam	1,00	100%

Söz konusu örnek problemin çözümü sonucunda AS/RS seçeneği tüm ölçütler açısından değerlendirme yapıldığında en uygun seçenek olarak belirlenmiştir. Söz konusu örnekte mâliyet açısından AS/RS en uygun seçenek olarak bulunmakla birlikte mâliyet dışı etmenlerin karar verme sürecine dâhil edilmesi sonucunda da otomatik depo çözümünün en uygun seçenek olarak belirlendiği görülmektedir.

AHP yönteminde kullanılan ikili karşılaştırmalar matrisi ve ölçütlerin amaca yönelik olarak değerlendirildiği matrislere ilişkin değerler Türkiye’de faaliyet gösteren üç

lojistik hizmet sağlayıcı şirketin iş geliştirme yöneticileri ile yapılan görüşmeler sonucunda doğrulanmıştır. Bunun yanı sıra söz konusu matrislere ilişkin tutarlılık kontrolü yapılması gerekmektedir. Tutarlılık hesaplamaları sonucuna göre eğer matris tutarlı değil ise, elde edilen ağırlıklar ve matris değerleri kullanılmamalıdır. Saaty (1987) tarafından belirlenen yöntem doğrultusunda hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Tutarlılık hesaplamaları için öncelikle aşağıdaki eşitlikten λ_{maks} değeri hesaplanmıştır:

$$Aw = \lambda_{maks} \cdot w \quad (7.8)$$

Bu ifâdedeki A, karşılaştırmalar matrisini; w ise ağırlık matrisini belirtmektedir. Dolayısıyla Aw ifâdesi bu iki matrisin çarpımı şeklinde değerlendirilmelidir. Söz konusu λ_{maks} vektörünün hesaplanmasının ardından “tutarlılık indeksi (CI)” hesaplaması aşağıdaki şekilde yapılmaktadır:

$$CI = (\lambda_{maks} - n) / (n - 1) \quad (7.9)$$

Bu formüldeki n, matrisin boyutunu göstermektedir. CI değerinin hesaplanmasından sonra ise bu değer “rassallık indeksi (RI)” değeri ile karşılaştırması yapılmaktadır. RI değerleri matrisin boyutuna bağlı olarak Çizelge 7.13’te verilmektedir (Saaty, 1987):

Çizelge 7.13 : Rassallık indeks değerleri (Saaty, 1987).

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Bu veriler doğrultusunda “tutarlılık oranı (CR)” şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$CR = CI / RI \quad (7.10)$$

CR değerinin %10’dan az olması, yapılan uygulamanın tutarlı olduğunu göstermektedir (Saaty, 1987).

Bu problemde kullanılan matrisler için tutarlılık hesaplamaları da yapılmıştır. Söz konusu tutarlılık hesaplamaları Çizelge 7.8 ve Çizelge 7.9’daki matris değerleri kullanılarak yapılmış olup sonuçları Çizelge 7.14’te gösterilmektedir.

Çizelge 7.14 : Tutarlılık hesaplamaları.

	Ağırlık (w)	Aw	Aw/w	CI	RI	Tutarlılık Oranı
Mâliyet	0,3333	2,2261	6,6779	0,1196	1,2400	0,0964
Esneklik	0,2196	1,5058	6,8567			
Büyüme Stratejilerini Destekleme	0,1506	0,9845	6,5360			
İşlem Doğruluğu	0,0736	0,4634	6,2929			
Personel Yönetimi Gereksinimi	0,0289	0,1829	6,3250			
Uygulama Başarısı	0,1939	1,3373	6,8984			
		λ_{maks}	6,5978			
Esneklik	Ağırlık (w)	Aw	Aw/w	CI	RI	Tutarlılık Oranı
Dar Koridor Çakası	0,6486	2,0432	3,1501	0,0406	0,5800	0,0701
Çok Dar Koridor Çakası	0,2946	0,9080	3,0819			
AS/RS	0,0567	0,1709	3,0119			
		λ_{maks}	3,0813			
Büyüme Stratejilerini Destekleme	Ağırlık (w)	Aw	Aw/w	CI	RI	Tutarlılık Oranı
Dar Koridor Çakası	0,0740	0,2226	3,0098	0,0273	0,5800	0,0471
Çok Dar Koridor Çakası	0,1176	0,3553	3,0215			
AS/RS	0,8084	2,5325	3,1325			
		λ_{maks}	3,0546			
İşlem Doğruluğu	Ağırlık (w)	Aw	Aw/w	CI	RI	Tutarlılık Oranı
Dar Koridor Çakası	0,0769	0,2311	3,0045	0,0109	0,5800	0,0189
Çok Dar Koridor Çakası	0,1327	0,3995	3,0095			
AS/RS	0,7903	2,4118	3,0517			
		λ_{maks}	3,0219			
Personel Yönetimi Gereksinimi	Ağırlık (w)	Aw	Aw/w	CI	RI	Tutarlılık Oranı
Dar Koridor Çakası	0,0740	0,2226	3,0098	0,0273	0,5800	0,0471
Çok Dar Koridor Çakası	0,1176	0,3553	3,0215			
AS/RS	0,8084	2,5325	3,1325			
		λ_{maks}	3,0546			

Çizelge 7.14 (devam) : Tutarlılık hesaplamaları.

Uygulama Başarısı	Ağırlık (w)	Aw	Aw/w	CI	RI	Tutarlılık Oranı
Dar Koridor Çakası	0,5955	1,8087	3,0374	0,0109	0,5800	0,0188
Çok Dar Koridor Çakası	0,3468	1,0487	3,0244			
AS/RS	0,0577	0,1735	3,0036			
		λ_{maks}	3,0218			

Bu noktada, karar verici tarafından söz konusu üç seçenektan uygun olan birinin seçilmesi yerine bu seçeneklerin karması olan seçeneğin de değerlendirilmesi söz konusu olabilir. Bir diğer deyişle, karar verici tasarımı yapılan depo içerisinde birden fazla ekipman seçeneğini aynı anda kullanmak durumunu da göz önünde bulundurmak isteyebilmektedir. Bu tür bir seçim seçeneğinin değerlendirmeye alınmak istenmesinin temel nedeni bütçesel kısıtlardır. Diğer bir neden ise ürünlerin çeşitliliğidir. Özellikle farklı türdeki malzeme ve/veya ürünlerin aynı depo içerisinde stoklanması söz konusu olduğunda, deponun belirli bir kısmında hızın çok daha önemli olduğu ürünler için AS/RS veya Çok Dar Koridor Çakası çalıştırılırken diğer kısımları için konvansiyonel ekipmanların çalışması durumu söz konusu olabilir.

Bu tez kapsamında söz konusu ekipman seçeneklerinin seçimine yönelik doğrusal programlama modeli oluşturulmuştur (Winston, 2004). Söz konusu problemde mâliyetin enküçüklenmesi amaçlanmaktadır. Modele ilişkin ayrıntılar aşağıda verilmektedir:

Karar Değişkenleri:

X_i : i durumunda i türündeki ekipmanın çalışacağı koridor sayısı (adet)

(i = 1 (AS/RS), 2 (çok dar koridor çakası), 3 (dar koridor çakası))

C_{ik} : i durumunda koridor başına k türündeki mâliyet tutarı (PB)

(i = 1 (AS/RS), 2 (çok dar koridor çakası), 3 (dar koridor çakası))

(k = 1 (arsa mâliyeti (PB/m²)), 2 (raf mâliyeti (PB)), 3 (inşaa mâliyeti (PB)), 4 (ilk yatırım mâliyeti (PB)), 5 (işgücü mâliyeti (PB)), 6 (operasyonel mâliyetler (PB)), 7 (diğer mâliyetler (PB)))

Y_i : i durumunda ekipman sayısı (adet)

(i = 1 (AS/RS), 2 (Çok Dar Koridor Çakası), 3 (Dar Koridor Çakası))

Amaç fonksiyonu:

$$\min Z = \sum (C_{ik} \cdot X_i) + \sum (C_{ik} \cdot Y_i) \quad (7.11)$$

Amaç fonksiyonunun ilk bölümü, söz konusu ekipmanın çalışacağı koridorlar için toplam operasyonel ve yatırım mâliyetini belirtmektedir. İkinci bölümü ise ekipmanların ilk yatırım mâliyeti üzerinden toplam mâliyeti belirtmektedir. Fonksiyonun ilk bölümü için $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ değerlerini alırken ikinci bölüm için $k = 4$ değerlerini alacaktır.

Modele ilişkin kısıtlar ise şöyle ifâde edilmektedir:

Bütçe kısıtları:

$$\sum (C_{ik} \cdot X_i) \leq TB \quad (k = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) \quad (7.12)$$

$$\sum (C_{ik} \cdot Y_i) \leq TEB \quad (k = 4) \quad (7.13)$$

Burada TB, yıllık toplam bütçeyi; TEB ise yıllık toplam ekipman bütçesini tanımlamaktadır.

Depolama hacmi kısıtı ise şöyle tanımlanmıştır.

$$\sum (N_i \cdot X_i) \geq n_w \quad (7.14)$$

N_i : i seçeneğindeki ekipmanın çalışacağı koridordaki toplam depolama yeri sayısı (adet)

Ekipman seçeneği doğrultusunda değişen koridor tasarımlarına göre her bir koridorda yer alan raf yeri sayısının toplamının, yıllık giriş ve çıkış yapan ürün miktarına eşit ya da daha büyük olması gerekmektedir. Formüldeki n_w değeri, formül (5.1) ile hesaplanan depolama yeri sayısı değeridir.

Stoklama alanına ilişkin kısıt ise şu şekilde verilmektedir:

$$\sum (A_i \cdot X_i) \leq S \quad (7.15)$$

A_i : i seçeneğindeki ekipmanın çalışacağı koridorlara ilişkin alan (m^2)

S: Stoklama alanı (m^2)

Söz konusu problemde, S değeri karar verici tarafından belirlenecek alan değeridir.

Koridorlarda çalışması öngörülen ekipman sayısına ilişkin sektörel uygulamalar doğrultusunda AS/RS ve çok dar koridor çakası için her bir koridorda bir adet ekipmanın kullanılması öngörülürken dar koridor çakası için ise bir koridor başına en az iki ekipman ve toplam dar koridor çakası sayısının en az yarısı kadar istifleme aracı (stacker) kullanılması öngörülmüştür. Bu duruma ilişkin kısıt ise şu şekilde tanımlanmıştır:

$$Y_1 = X_1 \quad (7.16)$$

$$Y_2 = X_2 \quad (7.17)$$

$$Y_2 \leq 2 Z \quad (7.18)$$

$$Y_3 \geq 2 X_3 \quad (7.19)$$

X_i : i durumunda i türündeki ekipmanın çalışacağı koridor sayısı (adet)

Y_i : i durumunda ekipman sayısı (adet)

Z : (i=2) durumundaki istifleme aracı (stacker) sayısı (adet)

(i = 1 (AS/RS), 2 (çok dar koridor çakası), 3 (dar koridor çakası))

Hız kısıtı ise şu şekilde tanımlanmıştır:

$$\sum (60/t_i).W.Y_i \geq 2 . D_p \quad (7.20)$$

t_i : i seçeneğindeki ekipmanın birim zaman başına işlem süresi (dk.)

W : Yıllık toplam çalışma süresi (saat)

Y_i : i durumunda ekipman sayısı (adet)

(i = 1 (AS/RS), 2 (çok dar koridor çakası), 3 (dar koridor çakası))

D_p , yıllık paletli ürün giriş miktarı olup (5.1) denkleminde belirtilen değerler üzerinden hesaplanmaktadır. Depodaki talebin giriş ve çıkış için toplamı değerlendirildiği için bu değer iki katı alınmıştır. Bu kısıt, esasen yıllık işlem hacminin gün bazında eşit dağıldığı durum için geçerli olmakla birlikte, bu noktada karar verici günlük işlem hacminin mevsimsellik vb. etmenlere göre olan değişimlerini de değerlendirmek sùretiyle en fazla bir günlük işlem hacmi olarak da tanımlayabilmektedir.

Buna göre matematiksel model ve notasyonları şu şekilde verilmektedir:

Amaç fonksiyonu:

$$\min Z = \sum (C_{ik} \cdot X_i) + \sum (C_{ik} \cdot Y_i) \quad (7.21)$$

Kısıtlar:

$$\sum (C_{ik} \cdot X_i) \leq TB \quad (k = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) \quad (7.22)$$

$$\sum (C_{ik} \cdot Y_i) \leq TEB \quad (k = 4) \quad (7.23)$$

$$\sum (N_i \cdot X_i) \geq n_w \quad (7.24)$$

$$\sum (A_i \cdot X_i) \leq S \quad (7.25)$$

$$Y_1 = X_1, Y_2 = X_2, Y_2 \leq 2 Z \quad (7.26)$$

$$Y_3 \geq 2 X_3 \quad (7.27)$$

$$\sum (60/t_i) \cdot W \cdot Y_i \geq 2 \cdot D_p \quad (7.28)$$

X_i : i durumunda i türündeki ekipmanın çalışacağı koridor sayısı (adet)

C_{ik} : i durumunda koridor başına k türündeki mâliyet tutarı (pb)

Y_i : i durumunda ekipman sayısı (adet)

Z : i = 2 durumundaki istifleme aracı (stacker) sayısı (adet)

TB : Yıllık toplam bütçe (PB)

TEB : Yıllık toplam ekipman bütçesi (PB)

N_i : i seçeneğindeki ekipmanın çalışacağı koridordaki toplam depolama yeri sayısı (adet)

A_i : i seçeneğindeki ekipmanın çalışacağı koridorlara ilişkin alan (m^2)

S : Stoklama alanı (m^2)

t_i : i seçeneğindeki ekipmanın birim zaman başına işlem süresi (dk.)

W : Yıllık toplam çalışma süresi (saat)

D_p : Yıllık paletli ürün giriş miktarı

($i = 1$ (AS/RS), 2 (çok dar koridor çakası), 3 (dar koridor çakası))

($k = 1$ (arsa mâliyeti (PB/m²)), 2 (raf mâliyeti (PB)), 3 (inşaa mâliyeti (PB)), 4 (ilk yatırım mâliyeti (PB)), 5 (işgücü mâliyeti (PB)), 6 (operasyonel mâliyetler (PB)), 7 (diğer mâliyetler (PB)))

Söz konusu matematiksel model, yukarıda belirtilen örnek uygulama probleminin çözümü için kullanılmış olup Çizelge 7.4'te belirtilen operasyonel ve yatırım mâliyetleri koridor bazında hesaplanmıştır. Her bir ekipman seçeneği için öncelikle koridor sayısı belirlenmelidir. Ekipmanların hız verilerinin geçerli olduğu stoklama alanı boyları (L_y) AS/RS için 120 m., çok dar koridor çakası için 110 m. ve dar koridor çakası için 100 m. olarak verilmektedir. Buna göre y-ekseni doğrultusundaki palet yeri sayısı (n_y) stoklama alanı boyu (L_y) ana koridor (w_y) farkı kadar olacaktır. Buna göre AS/RS için n_y değeri 118 palet, çok dar koridor çakası için 106 palet ve dar koridor çakası için 96 palet olarak hesaplanmaktadır. Depolama hacminin 48.832 palet olduğu ve Çizelge 7.2'de verilen z-ekseni doğrultusundaki palet yeri sayıları doğrultusunda x-ekseni boyunca gerekli olan palet yeri sayısı (n_x) ve stoklama alanı eni (L_x) değerleri hesaplanmaktadır. Buna göre AS/RS için $n_x = 18$ palet ve $L_x = 36$ m.; çok dar koridor çakası için $n_x = 51$ palet ve $L_x = 101$ m.; dar koridor çakası için $n_x = 73$ palet ve $L_x = 193$ m. olarak bulunmuştur. Buna göre koridor sayıları ise stoklama alanı eni (L_x) ile Çizelge 7.2'de belirtilen ara koridor (w_x) ve raf eni (α_x) toplamının oranlanması ile belirlenmiştir. Raf sisteminin sırt sırta olduğu duruma göre AS/RS için $36 / (1,95 + 1 + 1) = 8,9 \approx 9$ olarak hesaplama yapılırken çok dar koridor ve dar koridor çakası ekipmanları için sırasıyla 26 ve 37 koridor hesaplanmıştır. Her bir koridordaki ekipmanın işlem yapacağı palet sayısı ise D_p değerinin koridor sayılarına oranı şeklinde bulunmuştur. Bu bağlamda yıllık talebi karşılamak için AS/RS ekipmanının çalıştığı koridor başına işlem görmesi gereken palet sayısı sırasıyla 84.167 palet olarak hesaplanırken, çok dar koridor ve dar koridor çakaları için bu değer sırasıyla 29.135 ve 20.473 palet olarak bulunmuştur. Çizelge 7.4'te palet başına düşen işgücü mâliyeti, operasyonel mâliyetler ve diğer mâliyetler, söz konusu palet sayıları ile çarpılmak sûretiyle, koridor başına düşen mâliyet değerleri hesaplanmıştır.

Yatırım mâliyetleri ise her bir seçenek ekipman için gerekli olan koridor alanı (m²) doğrultusunda hesaplanmıştır. Buna göre Çizelge 7.4'te belirtilen inşaa mâliyeti ise depo alanına; arsa mâliyeti, yeni hesaplanan depo en ve boy ölçülerine göre belirlenen arsa alanına; raf mâliyeti ve ilk yatırım mâliyeti, stoklama alanına oranlanarak m² başına düşen birim mâliyetler hesaplanmıştır. Buna göre AS/RS, çok dar koridor ve dar koridor çakası için sırasıyla L_y ile Çizelge 7.2'de belirtilen ara koridor (w_x) ve raf en (α_x) toplamının çarpımı şeklinde sırasıyla 474, 435 ve 530 m² olarak bulunmuştur. Birim yatırım mâliyetleri bu alan değerleri ile çarpılmak sûretiyle koridor başına düşen yatırım mâliyetleri hesaplanmıştır. Söz konusu mâliyetler Çizelge 7.15'te belirtilmiştir:

Çizelge 7.15 : Seçenekler bazında koridor başına düşen eşdeğer mâliyetler.

Mâliyetler (TL)	Dar Koridor Çakası	Çok Dar Koridor Çakası	AS/RS
İşgücü Mâliyeti	2.866.220	3.292.255	2.188.342
Operasyonel Mâliyetler	1.535.475	1.660.695	5.386.688
Diğer Mâliyetler	225.203	291.350	3.114.179
Ara Toplam	4.626.898	5.244.300	10.689.209
Arsa Mâliyeti	37.052	30.086	29.916
Raf Mâliyeti	16.175	22.963	76.854
İnşaa Mâliyeti	97.963	71.591	94.917
İlk Yatırım Mâliyeti	-	-	466.253
Ara Toplam	151.189	124.640	667.940
Toplam	4.778.087	5.368.940	11.357.149

Çizelge 7.15'teki bilgiler ve örnek problemdeki ekipman mâliyet değerleri doğrultusunda amaç fonksiyonu şu şekilde tanımlanmıştır:

$$\min Z = 11.357.149 X_1 + 5.368.904 X_2 + 4.778.087 X_3 + 143.357 Y_1 + 38.229 Y_2 + 13.380 Y_3 + 4.195 Z \quad (7.29)$$

Örnek problemde yıllık toplam bütçe 120.000.000 TL iken yıllık toplam ekipman için yatırım bütçesi 1.275.000 TL olarak verilmektedir. Bütçe kısıtları da şu şekilde tanımlanmıştır:

$$11.357.149 X_1 + 5.368.904 X_2 + 4.778.087 X_3 \leq 120.000.000 \quad (7.30)$$

$$143.357 Y_1 + 38.229 Y_2 + 13.380 Y_3 + 4.195 Z \leq 1.275.000 \quad (7.31)$$

Yukarıdaki denklemlerde verilen Z değeri ise çok dar koridor çakası kullanıldığı durumda gerekli olan istifleme aracı (stacker) sayısını simgelemektedir.

Her bir koridor başına düşen depolama yeri sayısına göre depolama hacmi kısıtı tanımlanmıştır. Koridor başına düşen depolama yeri sayısı, sırt sırta tasarlanmış raf sistemi için her bir ekipman seçeneği ile ilgili bir koridorda yer alan palet yeri sayısıdır. Bu değer, x-ekseni boyunca yer alan palet yeri sayısı (n_x) ile Çizelge 7.2’de z-ekseni boyunca yer alan palet yeri sayısı (n_z) çarpımının iki katı olarak bulunmuştur. Buna göre AS/RS için $118 \times 23 \times 2 = 5.428$ palet hesaplanırken çok dar koridor ve dar koridor çakası için bu değer sırasıyla 1.908 ve 1.344 palet olarak hesaplanmıştır. Bu doğrultuda depolama hacmi kısıtı şöyle tanımlanmıştır:

$$5.428 X_1 + 1.908 X_2 + 1.344 X_3 \geq 48.832 \quad (7.32)$$

Stoklama alanı kısıtı şöyle verilmektedir:

$$474 X_1 + 435 X_2 + 530 X_3 \leq 20.000 \quad (7.33)$$

Ekipman sayısı kısıtı ise şöyle verilmektedir:

$$Y_1 = X_1 \quad (7.34)$$

$$Y_2 = X_2 \quad (7.35)$$

$$Y_2 \leq 2 Z \quad (7.36)$$

$$Y_3 \geq 2 X_3 \quad (7.37)$$

(i = 1 (AS/RS), 2 (Çok Dar Koridor Çakası), 3 (Dar Koridor Çakası))

Ekipman çalışma hızı ise Çizelge 7.2’de verilen kapasite bilgisine göre AS/RS için saatte 30 palet işlem görebilirken, çok dar koridor ve dar koridor çakaları için saatte işlem gören palet sayısı sırasıyla 15 ve 10 palet olarak hesaplanmıştır. Yıllık çalışma süresinin ise günde her biri 7 saat olan 3 vardiya üzerinden 303 gün olduğu durum doğrultusunda söz konusu kısıt aşağıdaki şekilde hesaplanarak tanımlanmıştır:

$$6363. [(30 Y_1 + 15 Y_2 + 10 Y_3)] \geq 1.515.000 \quad (7.38)$$

Söz konusu model LINDO 6.1 üzerinde aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

MIN 11357149 X1 + 5368904 X2 + 4778087 X3 + 143357 Y1 + 38229 Y2 + 13380 Y3 + 4195 Z1

SUBJECT TO

2) 143357 Y1 + 38229 Y2 + 13380 Y3 + 4195 Z1 <= 1275000

3) 11357149 X1 + 5368904 X2 + 4778087 X3 <= 120000000

4) 5428 X1 + 1908 X2 + 1344 X3 >= 48832

5) 474 X1 + 435 X2 + 530 X3 <= 20000

6) Y1 - X1 = 0

7) X2 - Y2 = 0

8) Y3 - 2 X3 >= 0

9) Y2 - 2 Z1 <= 0

10) 190890 Y1 + 95445 Y2 + 63630 Y3 >= 1515000

END

GIN X1

GIN X2

GIN X3

GIN Y1

GIN Y2

GIN Y3

GIN Z

Örnek problem Lindo 6.1 ile çözülmüş ve $X_1 = Y_1 = 8$, $X_2 = Y_2 = 3$ ve $Z = 2$ olarak optimum sonuç bulunmuştur. Buna göre söz konusu deponun 8 koridoru her bir koridor başına 1 adet AS/RS ekipmanının (vinç) çalışacağı şekilde tasarlanırken, 3 koridoru ise her bir koridorda 1 adet çok dar koridor çakasının çalışacağı şekilde tasarlama yapılması önerilmektedir. Çok dar koridor çakasının kullanılacağı koridorlar için toplam 2 adet de istifleme aracı (stacker) kullanılması önerilmektedir. Bu doğrultuda toplam mâliyet 108.233.943 TL olarak hesaplanmaktadır.

Modele ilişkin kısıt sağ taraf değerlerindeki değişim aralıklarına bakıldığında, yıllık toplam bütçe kısıt değerinin 13.036.096 TL ve yıllık toplam ekipman yatırım bütçe değerinin ise 5.067 TL oranında azalması durumunda optimum sonucun değişeceği gözlemlenmiştir. Varolan çözümde depolama yeri sayısı kısıt değerinde verilen 48.832 adetten 316 adet fazla olacak şekilde 49.148 adet olarak hesaplanmaktadır. Bu çözümde karar verici tarafından belirlenen 20.000 m² stoklama alanının ise 5.097 m²'sinin kullanıldığı gözlemlenmiştir. Bu bağlamda stoklama alanına ilişkin alan tasarrufu sağlanmıştır. Ayrıca bulunan çözümde hız kısıt değerinin 298.455 palet oranında aşıldığı, diğer bir ifadeyle bu çözümde yıllık giriş ve çıkış yapan palet sayısının, hedeflenen palet sayısından 298.455 adet fazla olacağı gözlemlenmiştir. Bu aşamada karar vericinin bir önceki analitik modelde hesaplanan ekipman

seçeneklerine söz konusu karma çözüm seçeneğini de dâhil etmek sûretiyle nihai çözümüne ulaşmak istemesi durumuna ilişkin tüm seçenekler AHP yöntemi ile yeniden değerlendirilmiştir. Bir önceki problemde yer alan ölçütler kullanılmış olup, matrislere ilişkin değerler Türkiye’de faaliyet gösteren üç lojistik hizmet sağlayıcı şirketin iş geliştirme yöneticileri ile yapılan görüşmeler sonucunda doğrulanmıştır. Ölçütlerin önem ağırlıkları ve normalize edilmiş matris Çizelge 7.8’de belirtilmiş olup seçeneklere ilişkin ikili karşılaştırma matrisleri ve normalize matrisler Çizelge 7.16 ve Çizelge 7.17’de verilmektedir:

Çizelge 7.16 : Karma seçenekli ikili karşılaştırma matrisleri.

Esneklik	Dar Koridor Çakası	Çok Dar Koridor Çakası	AS/RS	Karma Alternatif
Dar Koridor Çakası	1,0000	2,0000	7,0000	4,0000
Çok Dar Koridor Çakası	0,5000	1,0000	7,0000	1,0000
AS/RS	0,1429	0,1429	1,0000	0,5000
Karma Seçenek	0,2500	1,0000	2,0000	1,0000

Büyüme Stratejilerini Destekleme	Dar Koridor Çakası	Çok Dar Koridor Çakası	AS/RS	Karma Alternatif
Dar Koridor Çakası	1,0000	0,5000	0,1111	0,1429
Çok Dar Koridor Çakası	2,0000	1,0000	0,1111	0,2000
AS/RS	9,0000	9,0000	1,0000	3,0000
Karma Seçenek	7,0000	5,0000	0,3333	1,0000

İşlem Doğruluğu	Dar Koridor Çakası	Çok Dar Koridor Çakası	AS/RS	Karma Alternatif
Dar Koridor Çakası	1,0000	1,0000	0,1111	0,1429
Çok Dar Koridor Çakası	1,0000	1,0000	0,1111	0,2000
AS/RS	9,0000	9,0000	1,0000	5,0000
Karma Seçenek	7,0000	5,0000	0,2000	1,0000

Çizelge 7.16 (devam) : Karma seçenekli ikili karşılaştırma matrisleri.

Personel Yönetimi Gereksinimi	Dar Koridor Çakası	Çok Dar Koridor Çakası	AS/RS	Karma Alternatif
Dar Koridor Çakası	1,0000	0,5000	0,1111	0,1429
Çok Dar Koridor Çakası	2,0000	1,0000	0,1111	0,2000
AS/RS	9,0000	9,0000	1,0000	5,0000
Karma Seçenek	7,0000	5,0000	0,2000	1,0000

Uygulama Başarısı	Dar Koridor Çakası	Çok Dar Koridor Çakası	AS/RS	Karma Alternatif
Dar Koridor Çakası	1,0000	2,0000	5,0000	3,0000
Çok Dar Koridor Çakası	0,5000	1,0000	5,0000	2,0000
AS/RS	0,2000	0,2000	1,0000	0,2000
Karma Seçenek	0,3333	0,5000	5,0000	1,0000

Çizelge 7.17 : Seçeneklerin ikili karşılaştırma normalize matrisleri.

Esneklik	Dar Koridor Çakası	Çok Dar Koridor Çakası	AS/RS	Karma Alternatif
Dar Koridor Çakası	0,5283	0,4828	0,4118	0,6154
Çok Dar Koridor Çakası	0,2642	0,2414	0,4118	0,1538
AS/RS	0,0755	0,0345	0,0588	0,0769
Karma Seçenek	0,1321	0,2414	0,1176	0,1538

Büyüme Stratejilerini Destekleme	Dar Koridor Çakası	Çok Dar Koridor Çakası	AS/RS	Karma Alternatif
Dar Koridor Çakası	0,05263	0,03226	0,07143	0,03289
Çok Dar Koridor Çakası	0,10526	0,06452	0,07143	0,04605
AS/RS	0,47368	0,58065	0,64286	0,69079
Karma Seçenek	0,36842	0,32258	0,21429	0,23026

Çizelge 7.17 (devam) : Seçeneklerin ikili karşılaştırma normalize matrisleri.

İşlem Doğruluğu	Dar Koridor Çakası	Çok Dar Koridor Çakası	AS/RS	Karma Alternatif
Dar Koridor Çakası	0,05556	0,06250	0,07813	0,02252
Çok Dar Koridor Çakası	0,05556	0,06250	0,07813	0,03153
AS/RS	0,50000	0,56250	0,70313	0,78829
Karma Seçenek	0,38889	0,31250	0,14063	0,15766
Personel Yönetimi Gereksinimi	Dar Koridor Çakası	Çok Dar Koridor Çakası	AS/RS	Karma Alternatif
Dar Koridor Çakası	0,05263	0,03226	0,07813	0,02252
Çok Dar Koridor Çakası	0,10526	0,06452	0,07813	0,03153
AS/RS	0,47368	0,58065	0,70313	0,78829
Karma Seçenek	0,36842	0,32258	0,14063	0,15766
Uygulama Başarısı	Dar Koridor Çakası	Çok Dar Koridor Çakası	AS/RS	Karma Alternatif
Dar Koridor Çakası	0,49180	0,54054	0,31250	0,48387
Çok Dar Koridor Çakası	0,24590	0,27027	0,31250	0,32258
AS/RS	0,09836	0,05405	0,06250	0,03226
Karma Seçenek	0,16393	0,13514	0,31250	0,16129

Bu durumda ölçütlere ilişkin ortalamalar matrisi ise Çizelge 7.18’de verilmektedir:

Çizelge 7.18 : Karma seçenekli durumda ölçütlere ilişkin ortalamalar matrisi.

	Mâliyet	Esneklik	Büyüme Stratejilerini Destekleme	İşlem Doğruluğu	Personel Yönetimi	Uygulama Başarısı
Dar Koridor Çakası	0,1775	0,5096	0,0473	0,0547	0,0464	0,4572
Çok Dar Koridor Çakası	0,2235	0,2678	0,0718	0,0569	0,0699	0,2878
AS/RS	0,3061	0,0614	0,5970	0,6385	0,6364	0,0618

Karma seçeneğin değerlendirmeye alındığı durumda her bir seçeneğe ilişkin puan matrisleri ve sonuç değerler ise Çizelge 7.19’da verilmektedir.

Çizelge 7.19 : Karma seçenekli durumda puan matrisi ve sonuç.

		Ort. (Ağırlık)
Mâliyet		0,3333
Esneklik		0,2196
Büyüme Stratejilerini Destekleme		0,1506
İşlem Doğruluğu		0,0736
Personel Yönetimi Gereksinimi		0,0289
Uygulama Başarısı		0,1939
		Puan
Dar Koridor Çakası	0,2722	27,22%
Çok Dar Koridor Çakası	0,2061	20,61%
AS/RS	0,2828	28,28%
Karma Seçenek	0,2388	23,88%
Toplam	1,00	100%

Karma seçenekli durumda en uygun seçenek olarak yine AS/RS çözümü belirlenmiştir. İlk durumda olduğu gibi AS/RS çözümünün mâliyet açısından yüksek işlem hacmi olduğu için diğer seçeneklere göre daha avantajlı olmasının yanı sıra mâliyet dışı etmenler açısından da değerlendirme yapıldığında bu çözüm yine en uygun seçenek olarak bulunmuştur. AS/RS ve çok dar koridor çakası ekipmanlarının birlikte önerildiği karma seçenekli çözüm ise AS/RS'ye göre daha fazla ancak çok dar koridor çakası çözüm seçeneğine göre ise daha az bir mâliyet değerine sahiptir. Dolayısıyla çok dar koridor çakası ekipmanının tek başına çalıştığı çözüm seçeneğine göre mâliyet açısından daha iyi bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Her iki durumda da dar koridor çakası seçeneğinin yüksek mâliyet değerine rağmen AHP sonucunda avantajlı bir puana sahip olmasının temel nedeninin bu çözümün mâliyet dışı etmenlerden özellikle esneklik ve başarısızlık riski gibi etmenler açısından otomatik depo çözümlerine göre daha üstün bir seçenek olduğu düşünülmektedir. Söz konusu çözüme ilişkin bir önceki çözümde belirtildiği üzere tutarlılık hesaplamaları da yapılmış olup tutarlılık hesaplamaları Çizelge 7.20'de verilmektedir.

Çizelge 7.20 : Karma seçenekli durumda tutarlılık hesaplamaları.

	Ağırlık (w)	Aw	Aw/w	CI	RI	Tutarlılık Oranı
Mâliyet	0,3333	2,2261	6,6779	0,1196	1,2400	0,0964
Esneklik	0,2196	1,5058	6,8567			
Büyüme Stratejilerini Destekleme	0,1506	0,9845	6,5360			
İşlem Doğruluğu	0,0736	0,4634	6,2929			
Personel Yönetimi Gereksinimi	0,0289	0,1829	6,3250			
Uygulama Başarısı	0,1939	1,3373	6,8984			
		λ_{maks}	6,5978			
Esneklik	Ağırlık (w)	Aw	Aw/w	CI	RI	Tutarlılık Oranı
Dar Koridor Çakası	0,5096	2,1200	4,1606	0,0489	0,9000	0,0543
Çok Dar Koridor Çakası	0,2678	1,1138	4,1592			
AS/RS	0,0614	0,2531	4,1203			
Karma Seçenek	0,1612	0,6793	4,2128			
		λ_{maks}	4,1467			
Büyüme Stratejilerini Destekleme	Ağırlık (w)	Aw	Aw/w	CI	RI	Tutarlılık Oranı
Dar Koridor Çakası	0,0473	0,1901	4,0187	0,0303	0,9000	0,0337
Çok Dar Koridor Çakası	0,0718	0,2895	4,0316			
AS/RS	0,5970	2,5207	4,2224			
Karma Seçenek	0,2839	1,1731	4,1322			
		λ_{maks}	4,0909			
İşlem Doğruluğu	Ağırlık (w)	Aw	Aw/w	CI	RI	Tutarlılık Oranı
Dar Koridor Çakası	0,0547	0,2182	3,9917	0,0674	0,9000	0,0749
Çok Dar Koridor Çakası	0,0569	0,2325	4,0846			
AS/RS	0,6385	2,8925	4,5303			
Karma Seçenek	0,2499	1,0450	4,1813			
		λ_{maks}	4,2022			

Söz konusu AHP modelinde kullanılan ölçütlere ilişkin duyarlılık analizi çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında her bir ölçüte ilişkin ağırlığın %0 ve %100 olması durumunda seçeneklerin puanlarına ilişkin değişimler analiz edilmiştir. Bir ölçütün ağırlığının %0 olduğu durumda diğer ölçütlerin yeni ağırlıkları, varolan ağırlıkları ile değiştirilen ölçüt ağırlığının 1’den farkı olan değerlerin oranlanması ile yeniden belirlenmiştir. Ölçüt ağırlığının %100 olduğu durumda ise söz konusu ölçüt dışındaki tüm diğer ölçütlerin ağırlıkları %0 olarak alınmıştır (Topcu, 2013).

Çizelge 7.20 (devam) : Karma seçenekli durumda tutarlılık hesaplamaları.

Personel Yönetimi Gereksinimi	Ağırlık (w)	Aw	Aw/w	CI	RI	Tutarlılık Oranı
Dar Koridor Çakası	0,0464	0,1874	4,0393	0,0749	0,9000	0,0833
Çok Dar Koridor Çakası	0,0699	0,2828	4,0483			
AS/RS	0,6364	2,9192	4,5868			
Karma Seçenek	0,2473	1,0486	4,2398			
		λ_{maks}	4,2248			
Uygulama Başarısı	Ağırlık (w)	Aw	Aw/w	CI	RI	Tutarlılık Oranı
Dar Koridor Çakası	0,4572	1,9214	4,2028	0,0500	0,9000	0,0555
Çok Dar Koridor Çakası	0,2878	1,2118	4,2104			
AS/RS	0,0618	0,2494	4,0366			
Karma Seçenek	0,1932	0,7985	4,1326			
		λ_{maks}	4,1499			

Bu doğrultuda ölçütlere ilişkin ağırlık değişimleri sonucunda seçeneklerin puanlarına ilişkin değerler Çizelge 7.21’de verilmektedir.

Çizelge 7.21’de verilen puan değişimlerine bakıldığında mâliyet ölçütünün önem ağırlığının bulunmadığı durumda dar koridor çakası seçeneği en yüksek puana ulaşmıştır. Mâliyet ölçütünün ağırlığının %100 olduğu durumda ise AS/RS seçeneği en yüksek puana sahip olmaya devam etmektedir. Bunun nedeni, mâliyet modeli çerçevesinde yapılan hesaplamalarda AS/RS seçeneğine ilişkin mâliyet değerinin işlem hacmi fazlalığından ötürü en uygun mâliyet değeri olmasıdır.

Esneklik ölçütünün önemsiz olduğu durumda ise AS/RS seçeneğinin puanının arttığı ve %34,52 puan ile en uygun seçenek olarak önerildiği görülmektedir. AS/RS seçeneğini, %26,07 puan ile yine otomatik depo çözümünü içeren karma seçenek izlemektedir. Esneklik ölçütünün %100 ağırlığa sahip olduğu durumda ise dar koridor çakası seçeneği %50,96 puan ile en uygun seçenek olarak belirlenmektedir. AS/RS çözümleri, depolama birimleri veya ürün özelliklerine göre ekipmanların değişimi veya dönüşümü konusunda geri dönüşü zor ve mâliyetli olan bir seçenek olduğu için esnekliğin önemli olduğu bir durumda AS/RS seçeneğinin puanının %6,14 ve AS/RS içeren karma seçeneğe ilişkin puanın ise %16,12 olduğu gözlemlenmiştir. Buna karşın konvansiyonel çözümler olan çok dar koridor ve dar koridor çakası seçeneklerinin puanlarının artarak sırasıyla %26,78 ve %50,96 olarak belirlenmesinin olağan olarak düşünülmektedir. En konvansiyonel ve temel ekipman seçeneği olarak dar koridor çakasına ilişkin puanın çok dar koridor çakasına göre

daha fazla artış göstermesi de bu şekilde açıklanabilmektedir. Çünkü dar koridor çakasının çalıştığı koridor ve depolar, değişen depolama birimleri veya ürün özelliklerine göre kolaylıkla değiştirilebilmekte ve/veya yenilenebilmektedir.

Çizelge 7.21 : AHP duyarlılık analizi sonuçları.

Yüzde (%)	Mâliyet		Esneklik		Büyüme Stratejilerini Destekleme		İşlem Doğruluğu		Personel Yönetimi Gereksinimi		Uygulama Başarısı	
Ağırlıklar	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100
Dar Koridor Çakası	31,95	17,75	20,54	50,96	31,21	4,73	28,95	5,47	27,89	4,64	22,77	45,72
Çok Dar Koridor Çakası	19,74	22,35	18,88	26,78	23,00	7,18	21,80	5,69	21,02	6,99	18,65	28,78
AS/RS	27,12	30,61	34,52	6,14	22,71	59,70	25,46	63,85	27,23	63,64	33,60	6,18
Karma Seçenek	21,18	29,29	26,07	16,12	23,08	28,39	23,79	24,99	23,86	24,73	24,98	19,32

Büyüme stratejilerini destekleme ölçütünün ağırlığının %0 alındığı durumda dar koridor çakası %31,21 puan ile en uygun seçenek olurken bu ölçüt ağırlığının %100 olduğu durumda ise AS/RS seçeneği %59,70 puan ile en uygun seçenek hâline gelmektedir. Peter ve Halim (2007) tarafından belirtildiği üzere otomatik depo kararı için en önemli noktalardan biri AS/RS gibi çözümlerin şirketin gelecekteki büyüme ve işlem hacmi artışı gibi plânlarına destek verme yeteneğidir. Dolayısıyla büyüme stratejilerinin en önemli olduğu durumda bu seçeneğin puanının artması ve konvansiyonel seçenekler olan çok dar koridor ve dar koridor çakasının puanının azalması olağan olarak değerlendirilmektedir. Karma seçeneğin puanı ise AS/RS çözümünü içerdiği için artış göstererek %28,39 olarak belirlenmiştir.

İşlem doğruluğu ve personel yönetimi gereksinimi ölçütlerine ilişkin analiz sonuçlarına bakıldığında ise bu ölçütlerin önemsiz olduğu durumda dar koridor çakası seçeneğinin puanında artış olduğu gözlemlenirken, bu ölçütlerin çok önemli olduğu durumda ise otomatik depo çözümlerini içeren AS/RS seçeneği ve karma seçeneğin puan değerlerinin artış gösterdiği belirlenmiştir. Otomatik depo çözümleri, manuel işlemlerin olmaması ya da en az düzeyde olması nedeniyle personel yönetimi ve işlem doğruluğu açısından üstünlük sağlamaktadır. Bu nedenle konvansiyonel seçeneklere ilişkin puanlarda büyük oranlarda düşüşler gözlemlenmektedir.

Uygulama başarısı ölçütüne ilişkin ağırlığın %0 olduğu durumda, bir başka deyişle tasarlanan deponun devreye alınma sırasındaki risk düzeyinin önemsiz olduğu

durumda otomatik depo seçeneği olan AS/RS ekipmanının puanı artış göstermekte ve %33,60 olarak hesaplanmaktadır. Uygulama başarısına ilişkin risk düzeyinin çok önemli düzeyde değerlendirmeye alındığı durumda ise otomatik depo seçeneklerini içeren AS/RS ve karma seçeneğin sırasıyla puan değerleri düşmekte iken konvansiyonel seçeneklerin puanları yükselmektedir. Bu bağlamda en konvansiyonel çözüm seçeneği olan dar koridor çakası, %45,72 ile en yüksek puan değerine ulaşmaktadır.

7.2 Modele İlişkin Doğrulama

Bölüm 7.1’de ayrıntılı bir şekilde anlatılan ve uygulama örneği verilen analitik modele ilişkin Türkiye’de lojistik hizmet sağlayıcısı olarak hizmet veren şirketler grubunun iş ve sistem geliştirmeden sorumlu genel müdürü ile derinlemesine görüşme ve çalışma yapılarak modelin doğrulaması gerçekleştirilmiştir. Bu probleme ilişkin lojistik hizmet sağlayıcı şirket, varolan durumda bu tür çalışmalarda kullandığı hesaplama şablonu üzerinden çözüm elde etmiştir. Söz konusu hesaplama şablonunda öncelikle personel maaşları, ekipman satınalma mâliyetleri, birim raf mâliyetleri, yıllık çalışma günü sayısı, günlük vardiya sayısı ve çalışma süresi, yatırımlara ilişkin geçerli olan dönem ve faiz oranı, baz mâliyet bilgileri ve hesaplama verileri olarak belirlenmektedir. Bu aşamadan sonra her bir ekipman seçeneği için günlük işlem hacmi ve depolama yeri sayısı doğrultusunda ekipmanın çalışma kapasite verilerine göre ekipman sayısı ve personel sayısı hesaplanmaktadır. Depolama yeri ve ekipman sayısına göre kaba bir depo koridor tasarımı oluşturulmakta ve bu tasarım sonucunda stoklama alanı, depolama alanı ve arsa alanı saptanmaktadır. tespit edilmektedir. Bu alanlar ve raf sayıları üzerinden alan ve raf mâliyetleri hesaplanmaktadır. Sonrasında ise idarî mâliyetler ile bilgi teknolojisi mâliyetleri bulunarak aylık bazda palet başına düşen mâliyet değeri ile toplam yatırım mâliyeti hesaplanmaktadır. Aylık mâliyetlerden yıllık mâliyetlere geçiş yapılmaktadır. Bu hesaplama çalışması tüm seçenekler için ayrı ayrı çalışılmaktadır. Bu doğrultuda, Bölüm 10.1’de verilen problem, varolan yöntemler ile söz konusu lojistik şirketi tarafından çözümlenmiştir. Söz konusu problemin iki yöntem ile elde edilen sonuçlarına ilişkin karşılaştırma Çizelge 7.22’de verilmektedir.

Çizelge 7.22 : Problemin sonuç değerlerine ilişkin karşılaştırma.

Dar Koridor Çakası			Çok Dar Koridor Çakası		AS/RS	
	Varolan	Önerilen	Varolan	Önerilen	Varolan	Önerilen
Palet Yeri Sayısı (Adet)	50.000	48.832	50.000	48.832	50.000	48.832
Depolama Alanı (m ²)	31.500	21.521	19.500	13.039	8.250	5.548
Arsa Alanı (m ²)	53.550	43.041	35.100	26.078	16.500	11.096
Palet Başına İşletme Mâliyeti (TL)	260	226	209	181	133	127
Toplam Yıllık Operasyonel Mâliyet (TL)	196.846.874	171.195.000	157.942.916	137.107.500	100.608.769	96.202.500
Toplam Yıllık Yatırım Mâliyeti (TL)	12.718.195	7.438.216	9.175.071	4.732.852	6.373.011	7.380.396
Toplam Yıllık Mâliyet (TL)	209.565.069	178.633.216	167.117.987	141.840.352	106.981.780	103.582.896

Söz konusu çizelgede belirtilen varolan yöntem, lojistik hizmet sağlayıcı işletmenin kullandığı yöntemi; önerilen yöntem ise bu tez çalışması kapsamında geliştirilen yeni modeli belirtmektedir. Çizelge 7.21’den görüldüğü üzere, önerilen model, tüm seçenekler için toplam mâliyete ilişkin varolan durumda kullanılan yöntemle göre daha iyi sonuç vermektedir.

Bu bağlamda sektörel uygulamalarda deneyim ve sezgisel düşünceler doğrultusunda yapılan depo tasarımı projeleri için çözüm seçeneklerinin oluşturulmasına yönelik tek bir seçenek bazında ya da optimum sonuç olan karma çözüm seçeneğini de göz önünde bulunduran analitik bir model geliştirilmiş ve doğrulanmıştır.

7.3 Modelin Üstün ve Gelişime Açık Yönlerinin Değerlendirilmesi

Bu bölümde, Bölüm 7.1’de ayrıntılı bir şekilde anlatılan ve uygulama örneği verilen analitik modelin üstün ve gelişime açık olan yönleri açıklanmaktadır.

Söz konusu modelin üstün yönleri şu şekilde verilmektedir:

- Literatür araştırması sonucunda bu konuda az sayıda çalışmanın bulunması ve varolan çalışmaların ise belirli bir depo çözümü kararı verildikten sonraki problemlere odaklanması sonucunda bu model ile stratejik düzeydeki

konvansiyonel/otomatik depo karar problemi ile taktik düzeydeki ekipman seçimi problemi için literatüre katkıda bulunulmuştur.

- Sektörel uygulamalarda deneyim ve sezgisel düşünceler doğrultusunda yapılan depo tasarımı projeleri için çözüm seçeneklerinin oluşturulmasına yönelik tek bir seçenek bazında ya da optimum sonuç olan karma çözüm seçeneğini de göz önünde bulunduran analitik bir model geliştirilmiş ve doğrulanmıştır.
- Model, salt mâliyet odaklı bir model olmayıp mâliyetin yanı sıra teknik performans göstergelerini (hız, hacim, alan vb.) de göz önünde bulundurmaktadır.
- Türkiye koşullarına göre konvansiyonel/otomatik depo kararına ilişkin gereken işlem hacmi ve depolama yeri sayısı analitik bir model ile belirlenmiştir.
- Modelin sonucunda mâliyet açısından optimum sonuç bulunmakla birlikte nihai kararın verilmesinde mâliyet dışı etmenler de değerlendirilmiştir.
- Model, parametrik olduğu için modeldeki öğeler karar verici tarafından farklılaştırılabilmekte, farklı ekipman seçeneklerinin, mâliyet öğelerinin, kısıtların, değerlendirme ölçütlerinin ve bunlara ilişkin kombinasyonların modele kolaylıkla uygulanması olanaklı olmaktadır.

Modelin gelişime açık olan yönleri ise şu şekilde verilmektedir:

- Modelde depolama kapasitesi (sizing) üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Söz konusu modele depo yerleşimi (dimensioning) ile ilgili noktaların dâhil edilerek modelin geliştirilebileceği düşünülmektedir.
- Modelde tek bir depolama birimi kullanılmaktadır. Farklı depolama birimleri ve bu depolama birimlerinin giriş ve çıkış sırasındaki dönüşümleri modele dâhil edilerek modelin geliştirilebileceği öngörülmektedir.
- Farklı ekipman seçenekleri ve kombinasyonları üzerinden modelin geliştirilebileceği düşünülmektedir.
- Konvansiyonel/otomatik depo çözüm seçeneklerinin seçiminde kullanılan mâliyet dışı etmenlerin genel bir teknolojik çözüm seçiminde kullanılabilecek olan farklı ölçütler ile genişletilmesi sonucunda modelin geliştirilebileceği düşünülmektedir.

- Çok ölçütlü karar verme yöntemi olarak tez kapsamında kullanılan AHP yöntemi yerine, Bulanık (Fuzzy) AHP modeli ya da diğer MCDM yöntemlerinin kullanılabileceği öngörülmektedir.

8. SONUÇLAR

Bu çalışmada, depo tasarımı konusunda kapsamlı bir literatür çalışmasının sonucunda depo tasarım yöntembilimi konusunda literatürde boşluklar olduğu ortaya konulmuştur. Bu doğrultuda özellikle FMCG/Perakende sektöründe dağıtım merkezi olarak faaliyet gösterecek bir depo için uçtan uca bir tasarım yöntembilimi önerilmektedir. Bu yöntembilim, depo tasarımı konusunu hiyerarşik bir yapıda ele almakta olup, stratejik, taktik ve operasyonel düzeyde yer alan karar noktalarını ve/veya faaliyet adımlarını ayrıntılı bir şekilde göstermektedir. Söz konusu yöntembiliminin geliştirilmesi ile sistematik ve bütünsel bir depo tasarımı yaklaşımı konusunda literatüre katkı sağlanmıştır.

Ayrıca bu sırada özellikle literatürde belirtildiği üzere akademik çalışmalar ile uygulamaların birbirinden bağımsız şekilde ilerlemesi konusundaki boşluğun doldurulması adına Türkiye’de faaliyet gösteren 7 lojistik hizmet sağlayıcı şirket ve 3 yabancı sermayeli, 2 yerli sermayeli olmak üzere lojistik hizmet alan tarafta yer alan toplam 5 şirketin yöneticileri ile de derinlemesine görüşmeler gerçekleştirilmiştir.

Bu yöntembilim ile deponun tasarım sürecine etki eden birbirinden farklı ancak ilişkili olan çok sayıda konunun ve tasarım parametresinin belirli bir sistematik akış çerçevesinde değerlendirilmesi sağlanmıştır. Söz konusu yöntembilim, hem akademisyenler hem de uygulayıcılar için depo tasarımı projelerinin gerçekleştirilmesi bağlamında bir yol haritası olarak da değerlendirilmektedir.

Hiyerarşik depo tasarım yöntembilimi ile aşağıdaki kazanımlar elde edilmiştir:

- Depo tasarım problemine bütünsel bir yaklaşım (uçtan uca) geliştirilmiştir.
- Depo tasarımı konusunda baştan sona tüm aşamaları içeren bir sistematik yaklaşım geliştirilmiştir.
- Depo tasarımı problemi ve ilişkili alt problemleri için faaliyet bazında adım adım çözüm aşamaları ortaya konmuştur.

- Depo tasarımı konusunda alt problemlerin sırası ve birbirleri ile olan ilişkileri ortaya konmuştur.
- Depo tasarımı konusundaki bir problemin çözümünün etkilediği diğer problemler belirlenmiştir.

Söz konusu yöntembilim, Türkiye’de faaliyet gösteren 2 lojistik hizmet sağlayıcı şirketinin üst düzey yetkilileri ile ayrıntılı bir şekilde incelenmiş ve yöntembilimin geçerliliği, kullanılabilirliği ve gerçeğe uygunluğu konusunda olumlu yönde uzman görüşleri alınmıştır. Gelecekteki çalışmalar bağlamında söz konusu yöntembilime ilişkin özellikle uygulayıcılar ile doğrulama çalışmalarının daha ayrıntılı olarak yapılması ve bu yöntembilimin gerçek bir depo tasarımı projesi kapsamında doğrulanması oldukça önemli olacaktır. Ayrıca yöntembilimde belirtilen her bir problem için en uygun çözüm yaklaşımlarının ve/veya tekniklerinin belirlenmesi de diğer bir çalışma olarak değerlendirilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında hiyerarşik depo tasarımı yöntembiliminin yanı sıra bu yöntembilim çerçevesinde stratejik düzeyde yer alan konvansiyonel/otomatik depo karar verme problemi için analitik bir model geliştirilmiştir. Söz konusu model, hem literatürde belirlenen boşluğun doldurulması açısından, hem de uygulayıcıların da günümüzdeki sıkça karşılaştıkları bu karar problemine destek vermesi açısından önem arz etmektedir. Literatür araştırması sonucunda bu konuda da literatürde boşluklar olduğu gözlemlenmiş ve yapılan çalışmaların büyük oranda söz konusu karar verme problemi yerine verilen karara ilişkin tasarım ve işletme parametrelerinin optimizasyonuna odaklandığı belirlenmiştir.

Geliştirilen analitik modelin ilk aşamasında, konvansiyonel ve otomatik depo çözüm seçeneklerinin her biri için operasyonel ve yatırım mâliyetleri toplamının hesaplanması amaçlanmaktadır. Bunun ekonomik etmenler başta olmak üzere depodaki alan kısıtları gibi etmenlerden ötürü karar verici, deponun salt belirli bir bölümünde otomatik depo çözümlerinin kullanılmasını ve diğer bölümlerin ise konvansiyonel depo olarak tasarlanması seçeneğini de değerlendirmek isteyebilmektedir. Bu doğrultuda operasyonel ve yatırım mâliyetlerinin toplamının enazlanmasını amaçlayan doğrusal programlama modeli geliştirilmiş olup, ekonomik performansı ifâde eden bütçe kısıtlarının yanı sıra hız (talep), hacim (depolama yeri sayısı) ve alan ile ilgili olarak depo tasarımında çok önemli olan teknik performans

kısıtı da model tarafından göz önünde bulundurulmuştur. Karar verici modelin ilk aşamasında her bir seçenek için toplam mâliyetleri analitik hesaplamalar ile belirleyebileceği gibi mâliyet konusunda optimum sonucu da elde edebilmektedir. Söz konusu sonuç Türkiye’de faaliyet gösteren ve depolama alanında lider konumunda olan lojistik hizmet sağlayıcı şirketlerden biri ile yapılan ayrıntılı çalışma sonucunda doğrulanmıştır.

Geliştirilen analitik model doğrultusunda Türkiye’deki mâliyet öğeleri ve mâliyet yapıları ile pazar koşulları göz önüne alınmış olup konvansiyonel/otomatik depo karar verme problemine ilişkin otomatik depo seçimi için gerekli işlem hacmi palet bazında önerilmiştir. Bir başka deyişle, Dallari ve diğ. (2006) tarafından İtalya için gerçekleştirilen çalışmada verilen konvansiyonel/otomatik depo seçeneklerinin seçimine yönelik işlem hacmi ve depolama yeri sayısı önerisi Türkiye için analiz edilmiştir. Türkiye koşullarına göre olması gereken işlem hacimleri ve depolama yeri sayıları, Dallari ve diğ. (2006) tarafından yapılan deneysel çalışmaya karşılık analitik bir model ile belirlenmiştir.

Diğer yandan depo tasarımı konusundaki bu stratejik kararın verilmesinde mâliyetin tek etmen olmadığı gerçeğinden hareketle, mâliyet dışı beş etmen de değerlendirilmeye alınmış ve nihai karar, AHP yöntemi ile yapılan uygulama sonucunda önerilmiştir. AHP yöntemi çerçevesinde belirlenen ölçütler ve matrislere ilişkin değerler, Türkiye’de faaliyet gösteren üç lojistik hizmet sağlayıcı şirketin iş geliştirme yöneticileri ile yapılan görüşmeler sonucunda doğrulanmıştır.

Tez çalışması kapsamında geliştirilen modelin tüm aşamalarında birçok verinin parametrik olarak modele girilebilmesi, farklı durumlar için esnek analizlerin yapılmasına olanak vermektedir.

Analitik modele ilişkin gelecekteki çalışmalarda depo içerisindeki farklı depolama birimleri ve bu birimlerin giriş-çıkış arasında birbirine dönüştürülebildiği durumlar ile farklı personel organizasyonları için işgücü mâliyetlerinin ayrıntılandırılması ile modelin geliştirilmesi öngörülmektedir. Modelde, depolama kapasitesinin (sizing) hesaplanması amacı esas alınmış olup, depo yerleşimi (dimensioning) ayrıntılandırılmamıştır. Dolayısıyla yerleşim ile ilgili noktaların da bir sonraki aşama olarak söz konusu modele dâhil edilmesi öngörülmektedir. Ayrıca modeldeki ekipman seçeneklerini uygun kombinasyonları ile birlikte değerlendirmek sûretiyle

modelin geliştirilebileceği düşünülmektedir. Öte yandan analitik modele ilişkin duyarlılık analizleri ile AHP yöntemine ilişkin duyarlılık analizlerinin ayrıntılı bir şekilde karşılaştırılması ve incelenmesi de gelecekte yapılabilecek çalışmalar arasında öngörülmektedir. Bunun yanı sıra, gelecekteki çalışmalarda, teknoloji seçimi konusunda geçerli olabilen diğer etmenlerin de değerlendirilerek AHP'ye dâhil edilebileceği düşünülmektedir. Ayrıca çok ölçütlü karar verme yöntemi olarak tez kapsamında kullanılan AHP yöntemi yerine, Bulanık (Fuzzy) AHP modeli ya da diğer MCDM yöntemlerinin kullanılabileceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Alonso-Ayuso, A., Tirado, G. ve Udias, A.** (2013). On a selection and scheduling problem in automatic storage and retrieval warehouses. *International Journal of Production Research*, 51, 5337-5353.
- Alpan, G., Ladier, A., Larbi, R. ve Penz, B.** (2011). Heuristic solutions for transshipment problems in multiple door cross docking warehouse. *Computers and Industrial Engineering*, 61, 402-408.
- Ascheuer, N., Grotschel, M. ve Abdel-Hamid, A. A.-A.** (1999). Order picking in an automatic warehouse: solving online asymmetric TSPs. *Mathematical Methods of Operations Research*, 49, 501-515.
- Ashayeri, J., Gelders, L. ve van Wassenhove, L.** (1985a). A micro-computer-based optimization model for the design of automated warehouses. *International Journal of Production Research*, 23, 825-839.
- Ashayeri, J. ve Gelders, L. F.** (1985b). Warehouse design optimization. *European Journal of Operational Research*, 21, 285-294.
- Ashayeri, J. ve Selen, W.** (2013). A storage assignment model for batch preparation in process industries. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 24, 830-849.
- Azadivar, F.** (1986). Maximizing of the throughput of a computerized automated warehousing system under system Constraints. *International Journal of Production Research*, 24, 551-566.
- Baker, P.** (2004). Aligning Distribution Center Operations to Supply Chain Strategy. *The International Journal of Logistics Management*, 15, 111-123.
- Baker, P. ve Halim, Z.** (2007). An exploration of warehouse automation implementations: cost, service and flexibility issues. *Supply Chain Management: An International Journal*, 12, 129-138.
- Baker, P.** (2008). The Design and Operation of Distribution Centers within Agile Supply Chains. *International Journal of Production Economics*, 111, 27-41.
- Baker, P. ve Canessa, M.** (2009). Warehouse Design: a structured approach. *European Journal of Operational Research*, 193, 425-436.

- Baker, P.** (2010). *The Principles of Warehouse Design*. Chartered Institute of Logistics and Transport in the UK, İngiltere.
- Bartholdi, J. J. ve Platzman, L. K.** (1988). *Report of a design of efficient bin numbering schemes for warehouses* (Technical Report No: MHRC-TD-85-09). Atlanta: Georgia Institute of Technology.
- Bartholdi, J. J. ve Gue, K. R.** (2000). Reducing labor costs in an LTL crossdocking terminal. *Operations Research*, 48, 823-832.
- Bartholdi, J. J. ve Hackman, S. T.** (2011). *Warehouse & Distribution Science*. Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA.
- Bengu, G.** (1995). An optimal storage assignment for automated rotating carousels. *IIE Transactions*, 27, 105-107.
- Berglund, P., Batta, R.** (2012). Optimal placement of warehouse cross-aisles in a picker-to-part warehouse with class-based storage. *IIE Transactions*, 44, 107-120.
- Berry, J. R.** (1968). Elements of warehouse layout. *International Journal of Production Research*, 7, 105-121.
- Blomqvist, T.** (2010). *A Warehouse Design Framework for Order Processing and Materials Handling Improvement – Case Etra Oy*. (Master's thesis), Aalto University, Aalto School of Economics, Finland.
- Bozer, Y. A. ve White, J. A.** (1990). Design and performance models for end-of-aisle order picking systems. *Management Science*, 36, 852-866.
- Bozer, Y. A., Schorn, E. C. ve Sharp, G. P.** (1990). Geometric approaches to solve the Chebyshev traveling salesman problem. *IIE Transactions*, 22, 238-254.
- Brito, A. E. S. C.** (1992). *Configuring simulation models using CAD techniques: a new approach to warehouse design*. (Doctoral dissertation), Cranfield University, Institute of Technology, United Kingdom.
- Brynzer, H. Johansson ve M., Medbo, L.** (1994). A methodology for evaluation of order picking systems as a base for system design and managerial decisions. *International Journal of Operations&Production Managemet*, 14, 126-139.
- Caron, F., Marchet, G. ve Perego, A.** (1998). Routing policies and COI-based storage policies in picker-to-part systems. *International Journal of Production Research*, 36, 713-732.
- Caron, F., Marchet, G. ve Perego, A.** (2000). Optimal layout in low level picker-to-part systems. *International Journal of Production Research*, 38, 101-117.

- Chackelson, C., Errasti, A., Cipres, D. ve Lahoz, F.** (2013). Evaluating order picking performance trade-offs by configuring main operating strategies in a retail distributor: design of experiments approach. *International Journal of Production Research*, 51, 6097-6109.
- Chan, F. T. S. ve Chan, K. H.** (2011). Improving the productivity of order picking of a manual-pick and multi-level rack distribution warehouse through the implementation of class-based storage. *Expert Systems with Applications*, 38, 2686-2700.
- Chang, D. T., Wen, U. P. ve Lin, J. T.** (1995). The impact of acceleration/deceleration on travel time models for automated storage/retrieval systems. *Omega*, 33, 333-343.
- Chang, S. H. ve Egbelu, P. J.** (1997). Relative pre-positioning of storage/retrieval machines in automated storage/retrieval systems to minimize expected system response time. *IIE Transactions*, 29, 313-322.
- Chen, M. C. ve Wu, H. P.** (2005). An association-based clustering approach to order batching considering customer demand patterns. *IIE Transactions*, 27, 108-111.
- Choy, K. L., Sheng, N., Lam, H. Y., Lai, I. K. W., Chow, K. H., Ho, G. T. S.** (2014). Assess the effects of different operations policies on warehousing reliability. *International Journal of Production Research*, 52, 662-678.
- Christopher, M. ve Towill, D.** (2002). Developing market specific supply chain strategies. *International Journal of Logistics Management*, 13, 1-14.
- Connolly, C.** (2008). Warehouse management Technologies. *Sensor Review*, 28, 108-114.
- Cormier, G. ve Gunn, E. A.** (1992). A review of warehouse models. *European Journal of Operational Research*, 58, 3-13.
- Cormier, G. ve Gunn, E. A.** (1996). On coordinating warehouse sizing, leasing, and inventory policy. *IIE Transactions*, 28, 149-154.
- Cormier, G. ve Gunn, E. A.** (1999). Modeling and analysis for capacity expansion planning in warehousing. *Journal of the Operational Research Society*, 50, 52-59.
- Cura, T.** (2010). A parallel local search approach to solving the uncapacitated warehouse location problem. *Computers and Industrial Engineering*, 59, 1000-1009.

- Dallari, F., Marchet, G., Melacini, M. ve Perotti, S.** (2006). Automated materials handling systems: a way to increase efficiency of distribution networks, *The 18th International Conference on Production Research*, Salerno, Italy: July 31 – August 4.
- Daniels, R. L., Rummel, J. L. ve Schantz, R.** (1998). A model for warehouse order picking. *European Journal of Operational Research*, 105, 1-17.
- de Koster, R. ve van der Poort, E. S.** (1998). Routing orderpickers in a warehouse: a comparison between optimal and heuristic solutions. *IIE Transactions*, 30, 469-480.
- de Koster, M. B. M., van der Poort, E. S. ve Wolters, M.** (1999). Efficient order batching methods in warehouse. *International Journal of Production Research*, 37, 1479-1504.
- de Koster, R., Le-Duc, T. ve Roodbergen, K. J.** (2007). Design and control of warehouse order picking: a literature review. *European Journal of Operational Research*, 187, 481-501.
- Dekker, R., de Koster, M. B. M., Roodbergen, K., J. ve van Kalleveen, H.** (2004). Improving order picking response time at Ankor's warehouse. *Interfaces*, 34, 303-313.
- Demirel, T., Demirel, N. Ç. ve Kahraman, C.** (2010). Multi-criteria warehouse location selection using Choquet integral. *Expert Systems with Applications*, 37, 3943-3952.
- Dhamdhare, A., Gadakar, M. ve Jaisingpure, D.** (2012). Intelligent warehousing using AS/RS. *Canadian Journal on Artificial Intelligence*, 3, 28-32.
- Duve, B. ve Mantel, R.** (1996). Logitrace: a decision support system for warehouse design. In *Progress in Material Handling Research* (Sf. 111-124). Charlotte, NC: The Material Handling Industry of America.
- Eben-Chaime, M.** (1992). Operations sequencing in automated warehouse systems. *International Journal of Production Research*, 30, 2401-2409.
- Egbelu, P. J.** (1991). Framework for dynamic positioning of storage/retrieval machines in an automated storage/retrieval system. *International Journal of Production Research*, 29, 17-37.
- Egbelu, P. J. ve Wu, C. T.** (1993). A comparison of dwell point rules in an automated storage/retrieval system. *International Journal of Production Research*, 31, 2515-2530.
- Elsayed, E. A.** (1981). Algorithms for optimal material handling in automatic warehousing systems. *International Journal of Production Research*, 19, 525-535.

- Elsayed, E. A. ve Stern, R. G.** (1983). Computerized algorithms for order processing in automated warehouse systems. *International Journal of Production Research*, 21, 579-586.
- Elsayed, E. A. ve Unal, O. I.** (1989). Order batching algorithms and travel time estimation for automated storage/retrieval systems. *International Journal of Production Research*, 27, 1097-1114.
- Elsayed, E. A., Lee, M. K., Kim, S. ve Scherer, E.** (1993). Sequencing and batching procedures for minimizing earliness and tardiness penalty of order retrievals. *International Journal of Production Research*, 31, 727-738.
- Erdal, M., Görçün, Ö. F., Görçün, Ö. ve Saygılı, M. S.** (2010). *Entegre Lojistik Yönetimi*, Beta Yayıncılık, İstanbul.
- Eynan, A. ve Rosenblatt, M. J.** (1993). An interleaving policy in automated storage/retrieval systems. *International Journal of Production Research*, 31, 1-18.
- Foley, R. ve Frazelle, E. H.** (1991). Analytical results for miniload throughput and the distribution of dual command travel time. *IIE Transactions*, 23, 273-281.
- Frazelle, E. H. ve Sharp, G. P.** (1989). Correlated assignment strategy can improve order-picking operation. *Industrial Engineering*, 4, 33-37.
- Frazelle, E. H. ve Hackman, S. T.** (1994). *Report of the warehouse performance index: a single-point metric for benchmarking warehouse performance* (Technical Report No: MHRC-TD-91-13). Atlanta: Georgia Institute of Technology.
- Frazelle, E. H.** (2002). *World-Class Warehousing and Material Handling*, McGraw-Hill, USA.
- Gademann, N., van der Berg, J. P. ve van der Hoff, H. H.** (2001). An order batching algorithm for wave picking in a parallel-aisle warehouse. *IIE Transactions*, 33, 385-398.
- Gademann, N. ve van de Velde, S.** (2005). Order batching to minimize total travel time in a parallel-aisle warehouse. *IIE Transactions*, 37, 63-75.
- Ghiani, G., Laporte, G. ve Musmanno, R.** (2004). *Introduction to Logistics Systems Planning and Control*, Wiley, USA.
- Gibson, D. R. ve Sharp, G. P.** (1992). Order batching procedures. *European Journal of Operational Research*, 58, 57-67.

- Goetschalckx, M. ve Ratliff, H. D.** (1991). Optimal lane depths for single and multiple products in block stacking storage systems. *IIE Transactions*, 23, 245-258.
- Goh, M., Ou, J. ve Teo, C. -P.** (2001). Warehouse sizing to minimize inventory and storage costs. *Naval Research Logistics*, 48, 299-312.
- Govindaraj, T., Blanco, E. E., Bodner, D. A., Goetschalckx, M., McGinnis, L. F., Sharp, G. P.** (2000). Design of warehousing and distribution systems: an object model of facilities, functions, and information, *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Tennessee, USA: October 8-11.
- Graves, S. C., Hausmann, W. H. ve Schwarz, L. B.** (1977). Storage-retrieval interleaving in automatic warehousing systems. *Management Science*, 23, 935-945.
- Gray, A. E., Karmakar, U. S. ve Seidmann, A.** (1992). Design and Operation of an Order-Consolidation Warehouse: Models and Application. *European Journal of Operational Research*, 58, 14-36.
- Gu, J.** (2005). *The forward reserve warehouse sizing and dimensioning problem*. (Doctoral dissertation), Georgia University, Institute of Technology, Atlanta.
- Gu, J., Goetschalckx ve M., McGinnis, L. F.** (2007). Research on Warehouse Operation: A Comprehensive Review. *European Journal of Operational Research*, 177, 1-21.
- 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, 539-549.
- Gue, K. R.** (1999). The effects of trailer scheduling on the layout of freight terminals. *Transportation Science*, 33, 419-428.
- Gue, K. R. ve Meller, R. D.** (2009). The application of new aisle designs for unit-load warehouses. *NSF Engineering Research and Innovation Conference*, Hawaii, USA: June 22-25.
- Guenov, M. ve Raeside, R.** (1992). Zone shapes in class based storage and multi-command order picking when storage/retrieval machines are used. *European Journal of Operational Research*, 58, 37-47.
- Guerriero, F., Musmanno, R., Pisacane, O. ve Rende, F.** (2013). A mathematical model for the multi-levels product allocation problem in a warehouse with compatibility constraints. *Applied Mathematical Modelling*, 37, 4385-4398.

- Güler, E.** (2006). *Depo yönetiminde bilgi teknolojileri kullanımı*. (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hackman, S. T., Frazelle, E. H., Griffin, P. M., Griffin, S. ve Vlasta, D. A.** (2001). Benchmarking warehousing and distribution operations: an input-output approach. *Journal of Productivity Analysis*, 16, 79-100.
- Hall, R. W.** (1993). Distance approximations for routing manual pickers in a warehouse. *IIE Transactions*, 25, 76-87.
- Hassan, M. M. D.** (2002). A Framework for the design of warehouse layout. *Facilities*, 20, 432-440.
- Hassan, M. M. D.** (2010). A Framework for selection of material handling equipments in manufacturing and logistics facilities. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 21, 246-268.
- Hausmann, W. H., Schwarz, L. B. ve Graves, S. C.** (1976). Optimal storage assignment in automatic warehousing systems. *Management Science*, 22, 629-638.
- Heragu, S. S., Du, L., Mantel, R. J. ve Schuur, P. C.** (2005). Mathematical model for warehouse design and product allocation. *International Journal of Production Research*, 43, 327-338.
- Heragu, S. S., Ekren, B. Y., Krishnamurthy, A. ve Malmborg, C. J.** (2010). Simulation based experimental design to identify factors affecting performance of AVS/RS. *Computers and Industrial Engineering*, 58, 175-185.
- Hill, J. M.** (2003). Warehouse management system planning, design and Procurement. *The ESYNC Supply Chain Series*. Retrieved December 1, 2013, from http://www.idii.com/wp/ESYNC_wms_planning.pdf
- Hopbaoğlu, F.** (2009). *Tedârik zincirinde ve lojistik süreçlerde depo tasarımı ve depo yönetimi: kozmetik sektöründe bir uygulama*. (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hsu, C., Chen, K. ve Chen, C.** (2005). Batching orders in warehouses by minimizing travel distance with genetic algorithms. *Computers in Industry*, 56, 169-178.
- Hung, M. S. ve Fisk, C. J.** (1984). Economic sizing of warehouses - a linear programming approach. *Computers and Operations Research*, 11, 13-18.

- Hwang, H., Baek, W. ve Lee, M. K.** (1988). Clustering algorithms for order picking in an automated storage and retrieval system. *International Journal of Production Research*, 26, 189-201.
- Hwang, H. ve Ko, C. S.** (1988). A study on multi-aisle system served by a single storage and retrieval machine. *International Journal of Production Research*, 26, 1727-1737.
- Hwang, H. ve Lim, J. M.** (1993). Deriving an optimal dwell point of the storage/retrieval machine in an automated storage/retrieval system. *International Journal of Production Research*, 31, 2591-2602.
- Hwang, H., Yong, H. O. ve Cha, C. N.** (2003). A stock location rule for a low level picker-to-part system. *Engineering Optimization*, 35, 285-295.
- Hwang, H., Oh, Y. H. ve Lee, Y. K.** (2004). An evaluation of routing policies for order picking operations in low level picker-to-part system. *International Journal of Production Research*, 42, 3873-3889.
- Ito, T., Abadi, J. ve Mousavi, S. M.** (2002). Agent-based material handling and inventory planning in warehouse. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 13, 201-210.
- Jane, C. C.** (2000). Storage location assignment in a distribution center. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 30, 55-71.
- Jarvis, J. M. ve McDowell, E. D.** (1991). Optimal product layout in an order picking warehouse. *IIE Transactions*, 23, 93-102.
- Jewkes, E., Lee, C. ve Vickson, R.** (2004). Production location, allocation and server home base location for an order picking line with multiple servers. *Computers and Operations Research*, 31, 623-636.
- Johnson, M. E.** (1998). The impact of sorting strategies on automated sortation system performance. *IIE Transactions*, 30, 67-77.
- Johnson, M. E. ve Meller, R. D.** (2002). Performance analysis of split-case sorting systems, *Manufacturing & Service Operations Management*, 4, 258-274.
- Johnson, A. ve McGinnis, L.** (2011). Performance measurement in warehousing industry, *IIE Transactions*, 43, 220-230.
- Kallina, C. ve Lynn, J.** (1976). Application of the cube-per-order index rule for stock location in a distribution warehouse. *Interfaces*, 7, 37-46.
- Keserla, A. ve Peters, B. A.** (1994). Analysis of dual shuttle automated storage/retrieval systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 13, 424-434.

- Kim, B. I., Heragu, S. S., Graves, R. J. ve Onge, A. S.** (2005). Clustering based order picking sequence algorithm for an automated warehouse, *International Journal of Production Research*, 41, 3445-3460.
- Koh, S. G., Kim, B. S. ve Kim, B. N.** (2002). Travel time model for the warehousing system with a tower crane S/R machine. *Computers and Industrial Engineering*, 43, 495-507.
- Konuralp, Ş.M.** (1993). *Depo yönetimi*. (Yüksek lisans tezi), İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Kosfeld, M.** (1998). Warehouse Design Through Dynamic Simulation, *Winter Simulation Conference*, Washington, USA: December 13-16.
- Kouvelis, P. ve Papanicolaou, V.** (1995). Expected travel time and optimal boundary formulas for a two-class-based automated storage/retrieval system. *International Journal of Production Research*, 33, 2889-2905.
- Larsen, R. J., Marx, M. L. ve Cooil, B.** (1997). *Statistics for applied problem Solving and Decision Making*, Duxbury Press, USA.
- Larson, T. N., March, H. ve Kusiak, A.** (1997). A heuristic approach to warehouse layout with class-based storage. *IIE Transactions*, 29, 337-348.
- Lee, M. K.** (1992). A storage assignment policy in a man-on-board automated storage/retrieval system. *International Journal of Production Research*, 30, 2281-2292.
- Lee, M. K. ve Kim, S. Y.** (1995). Scheduling of storage/retrieval orders under a just-in-time environment. *International Journal of Production Research*, 33, 3331-3348.
- Lee, H. S. ve Schaefer, S. K.** (1997). Sequencing methods for automated storage and retrieval systems with dedicated storage. *Computers and Industrial Engineering*, 32, 351-362.
- Lehrer, T., Potrc, I., Sraml, M. ve Tollazzi, T.** (2010). Travel time models for automated warehouses with aisle transferring storage and retrieval machine. *European Journal of Operational Research*, 205, 571-583.
- Linn, R. J. ve Xie, X. D.** (1993). A simulation analysis of sequencing rules for AS/RS in a pull-based assembly facility. *International Journal of Production Research*, 31, 2355-2367.
- Mahajan, S., Rao, B. V. ve Peters, B. A.** (1998). A retrieval sequencing heuristic for miniload end-of-aisle automated storage/retrieval systems. *International Journal of Production Research*, 36, 1715-1731.

- Makris, P. A. ve Giakoumakis, I. G.** (2003). k-interchange heuristics as an optimization procedure for material handling applications. *Applied Mathematical Modelling*, 27, 345-358.
- Malmborg, C. J., Balachandran, S. ve Kyle, D. M.** (1986). A model based evaluation of a commonly used rule of thumb for warehouse layout. *Applied Mathematical Modelling*, 10, 133-138.
- Malmborg, C. J., Krishnakumar, B. ve Simons, G. R.** (1988). A mathematical overview of warehousing systems with single/dual order picking cycles. *Applied Mathematical Modelling*, 12, 2-8.
- Malmborg, C. J. ve Krishnakumar, B.** (1989). Optimal storage assignment policies for multiaddress warehousing systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 19, 197-204.
- Malmborg, C. J.** (1995). Optimization of cube-per-order index warehouse layouts with zoning constraints. *International Journal of Production Research*, 33, 465-482.
- Malmborg, C. J.** (1996). Storage assignment policy trade-off. *International Journal of Production Research*, 34, 363-378.
- Malmborg, C. J. ve Al-Tassan, K.** (2000). An integrated performance model for order picking systems with randomized storage. *Applied Mathematical Modelling*, 24, 95-111.
- Malmborg, C. J.** (2001). Rule of thumb heuristics for configuring storage racks in automated storage and retrieval systems design. *International Journal of Production Research*, 39, 511-527.
- Marchet, G., Melacini, M., Perotti, S. ve Tappia, E.** (2013). Development of a framework for the design of autonomous vehicle storage and retrieval systems. *International Journal of Production Research*, 51, 4365-4387.
- Meller, R. D.** (1997). Optimal order-to-lane assignments in an order accumulation/sortation system. *IIE Transactions*, 29, 293-301.
- Meller, R. D. ve Mungwattana, A.** (1997). Multi-shuttle automated storage/retrieval systems: analytical models and application. *IIE Transactions*, 29, 925-938.
- Meller, R. D. ve Klote, J. F.** (2004). A throughput model for carousel / VLM pods. *IIE Transactions*, 36, 725-741.
- Montulet, P., Langevin, A. ve Riopel, D.** (1998). Minimizing the peak load: an alternative objective for dedicated storage policies. *International Journal of Production Research*, 36, 1369-1385.

- Mulcahy, D. E.** (1994). *Warehouse Distribution and Operations Handbook*, McGraw-Hill, USA.
- Muralidharan, B., Linn, R. J. ve Pandit, R.** (1995). Shuffling heuristics for the storage location assignment in an AS/RS. *International Journal of Production Research*, 33, 1661-1672.
- Oser, J.** (1996). Design and analysis of an automated transfer car storage and retrieval system. In *Progress in Material Handling Research* (Sf. 457-466). Charlotte, NC: The Material Handling Industry of America.
- Özcan, T., Çelebi, N. ve Esnaf, Ş.** (2011). A Comparative analysis of multi-criteria decision making methodologies and implementation of a warehouse location selection problem. *Expert Systems with Applications*, 38, 9773-9779.
- Özdemir, F.** (2004). *Depo tasarım sorunu analizi: bir analitik ağ süreci uygulaması*. (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Pan, C. H. ve Liu, S. Y.** (1995). A comparative study of order batching algorithms. *Omega*, 23, 322-328.
- Pan, C. H. ve Wang, C. H.** (1996). A framework for dual command cycle travel time model in automated warehousing systems. *International Journal of Production Research*, 34, 2099-2117.
- Pan, J. C. ve Wu, M.** (2009). A study of storage assignment problem for an order picking line in a pick-and-pass warehousing system. *Computers and Industrial Engineering*, 57, 261-268.
- Pandit, R. ve Palekar, U. S.** (1993). Response time considerations for optimal warehouse layout design. *Journal of Engineering for Industry*, 115, 322-328.
- Parikh, P. J. ve Meller, R. D.** (2010). A travel-time model for a person-onboard order picking system. *European Journal of Operational Research*, 200, 385-394.
- Park, Y. H., Webster, D. B.,** 1989. Design of class-based storage racks for minimizing travel time in a three-dimensional storage system, *International Journal of Production Research*, 27, 1589-1601
- Park, B. C., Foley, R. D., White J. A. ve Frazelle, E. H.** (2003). Dual command travel times and miniload system throughput with turnover based storage. *IIE Transactions*, 35, 343-355.
- Perlmann, A. M. ve Bailey, M.** (1988). Warehouse logistics systems – a CAD model. *Engineering Costs and Production Economics*, 13, 229-237.

- Peters, B. A., Smith, J. S. ve Hale, T. S.** (1996). Closed form models for determining the optimal dwell point location in automated storage and retrieval systems. *International Journal of Production Research*, 34, 1757-1771.
- Petersen, C. G.** (1997). An evaluation of order picking routing policies. *International Journal of Operations and Management Science*, 17, 1098-1111.
- Petersen, C. G.** (1999). The impact of routing and storage policies on warehouse efficiency. *International Journal of Operations and Production Management*, 19, 1053-1064.
- Petersen, C. G. ve Schmenner, R. W.** (1999). An evaluation of routing and volume-based storage policies in an order picking operation. *Decision Science*, 30, 481-501.
- Petersen, C. G.** (2002). Considerations in order picking zone configuration. *International Journal of Operations and Production Management*, 22, 793-805.
- Petersen, C. G. ve 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. D. ve Gue, K. R.** (2009). An analysis of dual command operations in common warehouse designs. *Transportation Research*, 45, 367-379.
- Poon, T. C., Choy, K. L., Chan, F. T. S., Ho, G. T. S., Gunasekaran, A., Lau, H. C. W. ve diğ.** (2011). A real-time warehouse operations planning system for small batch replenishment problems in production environment. *Expert Systems with Applications*, 38, 8524-8537.
- Potrc, I., Lehrer, T., Kramberger, J. ve Sraml, M.** (2004). Simulation model of multi-shuttle automated storage and retrieval systems, *Journal of Materials Processing Technology*, 157-158, 236-244.
- Potrc, I., Lehrer, T. ve Sraml, M.** (2010). Designing automated warehouses by minimising investment cost using genetic algorithms, *International Material Handling Research Colloquium*, Wisconsin, USA: June 21-25.
- Rao, A. K. ve Rao, M. R.** (1998). Solution procedures for sizing warehouses. *European Journal of Operational Research*, 108, 16-25.
- Ratliff, H. D. ve Goetschalckx, M.** (1990). Shared storage policies based on the duration stay of unit loads. *Management Science*, 36, 1120-1132.

- Regattieri, A., Santarelli, G., Manzini, R. ve Pareschi, A.** (2013). The impact of dwell point policy in an automated storage/retrieval system. *International Journal of Production Research*, 51, 4336-4348.
- Roll, Y. ve Rosenblatt, M. J.** (1984). Warehouse design with storage policy consideration. *International Journal of Production Research*, 22, 809-821.
- Roll, Y. ve Rosenblatt, M. J.** (1988). Warehouse capacity in a stochastic environment. *International Journal of Production Research*, 26, 1847-1851.
- Roll, Y., Rosenblatt, M. J. ve Kadosh, D.** (1989). Determining the size of a warehouse container. *International Journal of Production Research*, 40, 731-744.
- Roodbergen, K. J. ve de Koster, R.** (2001a). Routing methods for warehouses with multiple cross aisles. *International Journal of Production Research*, 39, 1865-1883.
- Roodbergen, K. J. ve de Koster, R.** (2001b). Routing orderpickers in a warehouse with a middle aisle. *European Journal of Operational Research*, 133, 32-43.
- Roodbergen, K. J. ve Vis, I. F. A.** (2009). A Survey of Literature on Automated Storage and Retrieval Systems. *European Journal of Operational Research*, 194, 343-362.
- Rosenblatt, M. J. ve Eynan, A.** (1989). Deriving the optimal boundaries for class-based automatic storage and retrieval systems. *Management Science*, 35, 1519-1524.
- Rosenblatt, M. J. ve Eynan, A.** (1994). Establishing zones in single command class-based rectangular AS/RS. *IIE Transactions*, 26, 38-46.
- Rosenwein, M. B.** (1994). An application of cluster analysis to the problem of locating items within a warehouse. *IIE Transactions*, 26, 101-103.
- Rosenwein, M. B.** (1996). A comparison of heuristics for the problem of batching orders for warehouse selection. *International Journal of Production Economics*, 34, 657-664.
- Ross, A. ve Droge, C.** (2002). An integrated benchmarking approach to distribution center performance using DEA model. *Journal of Operations Management*, 20, 19-32.
- Rouwenhorst, B., van der Berg, J. P., van Houtum, G. J. ve Zijm, W. H. M.** (1996). Performance analysis of a carousel system. In *Progress in Material Handling Research* (Sf. 495-511). Charlotte, NC: The Material Handling Industry of America.

- Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., van Houtum, G. J., Mantel, R. J., Zijm, W. H. M.** (2000). Warehouse Design and Control: A Framework and Literature Review. *European Journal of Operational Research*, 122, 515-533.
- Ruben, R. A. ve Jacobs, F. R.** (1999). Batch construction heuristics and storage assignment strategies for walk/ride and pick systems. *Management Science*, 45, 575-596.
- Russell, M. L. ve Meller, R. D.** (2003). Cost and throughput modeling of manual and automated order fulfillment systems. *IIE Transactions*, 35, 589-603.
- Saaty, R. W.** (1987). The analytic hierarchy process – what it is an how it is used. *Mathematical Modelling*, 9, 161-176.
- Saaty, T. L.** (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1, 83-98.
- Sadiq, M., Landers, T. L. ve Taylor, G. D.** (1996). An assignment algorithm for dynamic picking systems. *IIE Transactions*, 28, 607-616.
- Sarker, B. R., Sabapathy, A., Lal, A. M. ve Han, M.** (1991). The performance evaluation of a double shuttle automated storage retrieval system. *Production Planning & Control*, 2, 207-213.
- Sarker, B. R. ve Babu, P.** (1995). Travel time models in automated storage/retrieval systems: a critical review. *International Journal of Production Economics*, 40, 173-184.
- Seidmann, A.** (1988). Intelligent control schemes for automated storage and retrieval systems. *International Journal of Production Research*, 26, 931-952.
- Shiau, J. ve Lee, M.** (2010). A warehouse management system with sequential picking for multi-container deliveries. *Computers and Industrial Engineering*, 58, 382-392.
- Shukla, A. C., Deshmukh, S. G. ve Kanda, A.** (2010). Flexibility and sustainability of supply chains: are they together? *Global Journal of Flexible Systems Management*, 11, 25-38.
- Strack, G. ve Pochet, Y.** (2010). An integrated model for warehouse and inventory planning. *European Journal of Operational Research*, 204, 35-50.
- Tanyaş, M.** (2011). *Depo Yönetimi ve Depo Tasarımı*. Seminer Notları, İstanbul.
- Tanyaş, M. ve Çakmak, E.** (2012). Akış Tipi ve U-Tipi Depolar için Depo Boyutlarını ve Tasarımını Belirleme, *I. Ulusal Lojistik ve Tedârik Zinciri Kongresi*, Konya, Türkiye, 10-12 Mayıs.

- Tezcan, I.** (2007). *Sektörel lojistik yönetimi sistemlerinde depo tasarım metodolojisi*. (Yüksek lisans tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Theys, C., Braysy, O., Dullaert, W. ve Raa, B.** (2010). Using a TSP heuristic for routing order pickers in warehouses. *European Journal of Operational Research*, 200, 755-763.
- Tolga, E. ve Kahraman, C.** (1994). *Mühendislik Ekonomisi*. İTÜ Yayınları, İstanbul.
- Tompkins, J. A. ve Smith, J. D.** (1998). *The Warehouse Management Handbook*, Tompkins Pres, Raleigh, North Carolina, USA.
- Topcu, İ.** (2013). Kişisel görüşme, 11 Haziran, İstanbul.
- Tsui, L. Y. ve Chang, C. H.** (1990). A micro computer based decision support tool for assigning dock doors in freight yards. *Computers and Industrial Engineering*, 19, 309-312.
- Tsui, L. Y. ve Chang, C. H.** (1992). An optimal solution to a dock door assignment problem. *Computers and Industrial Engineering*, 23, 283-286.
- Üstündağ, A.** (2008). *Radyo frekansıyla tanıma (rfid) teknolojisinin tedârik zinciri üzerindeki etkileri*. (Doktora tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- van der Berg, J. P. ve Sharp, G. P.** (1996). Forward-reserve allocation in a unit load warehouse operation with picking periods. In *Progress in Material Handling Research* (Sf. 625-638). Charlotte, NC: The Material Handling Industry of America.
- van der Berg, J. P., Gademann, A. J. R. M., Sharp, G. P. ve Pochet, Y.** (1998). Forward-reserve allocation in a warehouse with unit-load replenishments. *European Journal of Operational Research*, 111, 98-113.
- van der Berg, J. P.** (1999). A literature survey on planning and control of warehousing systems. *IIE Transactions*, 31, 751-762.
- van der Berg, J. P. ve Zijm, W. H. M.** (1999). Models for warehouse management. *International Journal of Production Economics*, 59, 519-528.
- van der Berg, J. P. ve Gademann, A. J. R. M.** (1999). Optimal routing in an automated storage/retrieval system with dedicated storage. *IIE Transactions*, 31, 407-415.
- van der Berg, J. P. ve Gademann, A. J. R. M.** (2000). Simulation study of an automated storage/retrieval system. *International Journal of Production Research*, 38, 1339-1356.

- van der Berg, J. P.** (2002). Analytical expressions for the optimal dwell point in an automated storage/retrieval system. *International Journal of Production Economics*, 76, 13-25.
- van Oudheusden, D. L. ve Zhu, W.** (1992). Storage layout of AS/RS racks based on recurrent orders. *European Journal of Operational Research*, 58, 48-56.
- Vaughan, T. S. ve Petersen, C. G.** (1999). The effect of warehouse cross aisle on order picking efficiency. *International Journal of Production Research*, 37, 881-897.
- Vickson, R. G. ve Lu, X.** (1998). Optimal product and server locations in one dimensional storage racks. *European Journal of Operational Research*, 105, 18-28.
- Winston, W.** (2004). *Operations Research Applications and Algorithms*. Thomson, Canada.
- Won, J. ve Olafsson, S.** (2005). Joint order batching and order picking in warehouse operations. *International Journal of Production Research*, 43, 1427-1442.
- Yoon, C. S.** (1992). *Report of a structured procedure for order pick system analysis and design* (Technical Report No: MHRC-TD-91-13). Atlanta: Georgia Institute of Technology.
- Yoon, C. S. ve Sharp, G. P.** (1995). Example application of the cognitive design procedure for an order picking system. *European Journal of Operational Research*, 87, 223-246.
- Yoon, C. S. ve Sharp, G. P.** (1996). A structured procedure for analysis and design of order pick systems. *IIE Transactions*, 28, 379-389.
- Zaerpour, N., de Koster, R. B. M. ve Yu, Y.** (2013). Storage policies and optimal shape of a storage system. *International Journal of Production Research*, 51, 6891-6899.
- Zhang, G. Q., Xue, J. ve Lai, K. K.** (2000). A genetic algorithm based heuristic for adjacent paper-reel layout problem. *International Journal of Production Research*, 38, 3343-3356.
- Zhang, G. Q., Xue, J. ve Lai, K. K.** (2002a). A Class of Genetic Algorithms for Multiple-level Warehouse Layout Problems. *International Journal of Production Research*, 40, 731-744.
- Zhang, G. Q., Xue, J. ve Lai, K. K.,** (2002b). Layout design for a paper reel warehouse: a two stage heuristic approach. *International Journal of Production Economics*, 75, 231-2.

EKLER

EK A: Literatür Araştırması Sonuçları

EK B: Hiyerarşik Depo Tasarım Yöntembilimi

EK A: Literatür Araştırması Sonuçları

Çizelge A.1 : Literatür araştırması sonuçları.

Yıl	Yazar(lar)	Çalışmanın Adı	Stratejik Düzey					Taktik Düzey				Operasyonel Düzey						Amaç	Yöntem					
			Depo Tasarım Metodolojisi	Depo Yeri Seçimi	Depolama Kapasitesi (Sizing)	Depo Yerleşimi (Dimensioning)	Otomatik Depolama Sistemi (AS/RS) Tasarımı	Depolama Sistemi Tasarımı	Ekipman Seçimi	Depolama Politikaları	Organizasyon	Sipariş Toplama	Mal Kabul ve Sevkiyat (Receiving & Shipping)	Parti Oluşturma (Batching)	Ayırma/ Sınıflandırma (Sorting)	Bekleme (Dwell) Noktası Belirlenmesi	Otomatik Depolama Sistemi (AS/RS) İşletimi		Depolama, Rotalama ve Sıralama	Analitik (A) / Simülasyon (S) / Sezgiseller (H) / Metasezgiseller (MH) / Kavramsal (K)	Yöntemin Detayı	Tek amaçlı (T) / Çok Amaçlı (C)	Deterministik (D) / Probabilistik (P)	Statik (S) / Dinamik (D)
1992	C.S. Yoon	A structured procedure for order pick system analysis and design	X								X								Sipariş toplama sistemlerinin tasarımı ve analizi	K	Kavramsal tasarım modeli	-	-	-
1995	C.S. Yoon, G.P. Sharp	Example application of the cognitive design procedure for an order picking system	X								X								Sipariş toplama sistemlerinin tasarımı ve analizi	K	Vaka analizi, kavramsal tasarım modeli	-	-	-
1996	C.S. Yoon, G.P. Sharp	A structured procedure for analysis and design of order pick systems	X								X								Sipariş toplama sistemlerinin tasarımı ve analizi	K	Kavramsal tasarım modeli	-	-	-
1996	B. Duve, R. Mantel	Logitrac: a decision support system for warehouse design	X																Depo tasarımı için bir model oluşturma	K	Aşamalı yöntem	-	-	-
1994	E.H. Frazelle, S.T. Hackman	The warehouse performance index: a single-point metric for benchmarking warehouse performance	X																Depo tasarımı bazında depo performanslarının kıyaslama yoluyla değerlendirilmesi	K	Kıyaslama	-	-	-
1994	H. Brynzer, M. Johansson, L. Medbo	A methodology for evaluation of order picking systems as a base for system design and managerial decisions	X								X								Sipariş toplama sistemlerinin tasarımı ve değerlendirilmesine yönelik bir yöntemin geliştirilmesi	A	Sıfır temelli analiz metodu	C	D	S
1980	M. Rupp	Vorgehenskonzept für Lagerplanungen	X																Depo tasarım metodolojisinin oluşturulması	K	Hiyerarşik tasarım modeli	-	-	-
1992	A.E. Gray, U.S. Karmarkar, A. Seidmann	Design and operation of an order consolidation warehouse	X																Depo tasarım metodolojisinin oluşturulması	A,S	Hiyerarşik tasarım modeli, analitik yöntem,	T	P	D
1995	H. Rink, P. Waibel	Serie: strukturierte lagerplanung, lasys - ein program zu lager systemplanung	X																Depo tasarımı için KDS geliştirilmesi	K	KDS	-	-	-
2002	A. Ross, C. Droge	An integrated benchmarking approach to distribution center performance using DEA model	X																Depo performansının ölçülmesi ve değerlendirilmesi	A	DEA	C	P	S
2009	P. Baker, M. Canessa	Warehouse design: a structured approach	X																Literatürde yer alan ve özel şirketlerde kullanılan yöntemler baz alınarak depo tasarımı yaklaşımının	K	Literatür taraması	-	-	-
1989	Y. Roit, M.J. Rosenblatt, D. Kadosh	Determining the size of a warehouse container						X											Depolama konteyner büyüklüğünün belirlenmesi	K	Sistematik yaklaşım	-	-	-
1996	J. Oser	Design and analysis of an automated transfer car storage and retrieval system						X											Otomatik transfer aracı depolama ve çekme sistemi performansının değerlendirilmesi	K	Kıyaslama	-	-	-
1994	A. Keserlia, B.A. Peters	Analysis of dual shuttle automated storage/retrieval systems						X									X		Standart AS/RS ile çift seferli AS/RS'in rasgele depolamadaki karşılaştırmalı analizi	MH,S	Sezgiseller (minimum-perimeter sezgiseli),	T	P	D

Çizelge A.1 (devam) : Literatür araştırması sonuçları.

			Stratejik Düzey					Taktik Düzey				Operasyonel Düzey					Amaç	Yöntem						
			Depo Tasarım Metodolojisi	Depo Yeri Seçimi	Depolama Kapasitesi (Sizing)	Depo Yerleşimi (Dimensioning)	Otomatik Depolama Sistemi (AS/RS) Tasarımı	Depolama Sistemi Tasarımı	Ekipman Seçimi	Depolama Politikaları	Organizasyon	Sipariş Toplama	Mal Kabul ve Sevkiyat (Receiving & Shipping)	Parti Oluşturma (Batching)	Ayırma/ Sınıflandırma (Sorting)	Bekleme (Dwell) Noktası Belirlenmesi	Otomatik Depolama Sistemi (AS/RS) İşletimi	Depolama, Rotalama ve Sıralama	Analitik (A) / Simülasyon (S) / Sezgiseller (H) / Metasezgiseller (MH) / Kavramsal (K)	Yöntemin Detayı	Tek amaçlı (T) / Çok Amaçlı (C)	Deterministik (D) / Probabilistik (P)	Statik (S) / Dinamik (D)	
Yıl	Yazar(lar)	Çalışmanın Adı																	Çalışmanın Amacı					
1968	J.R. Berry	Elements of warehouse layout				X													Taşıma mesafesi ve maliyetlerini minimize eden ve alanı optimize eden depo yerleşiminin belirlenmesi	A	Optimizasyon modeli	C	P	S
1984	Y. Roit, M.J. Rosenblatt	Warehouse design with storage policy consideration				X													Depolama kapasitesine odaklanarak konvansiyonel depo yerleşiminin belirlenmesi	A,S	Analitik yaklaşım, simülasyon	T	P	D
1988	Y. Roit, M.J. Rosenblatt	Warehouse capacity in a stochastic environment				X													Depolama kapasitesine odaklanarak konvansiyonel depo yerleşiminin belirlenmesi (depolama kapasitesi, ürün ve sipariş karakteristiklerinin bir	A,S	Analitik yaklaşım, simülasyon	T	P	D
1993	R. Pandit, U.S. Patkar	Response time considerations for optimal warehouse layout design				X													Konvansiyonel depo yerleşiminin yanıt süresi bağlamında analiz edilmesi	A,S	Analitik yaklaşım (kuru modelleri), simülasyon	T	P	D
1996	B. Rouwenhorst, J.P. Van den Berg, G.J. Van Houtum, W.H.M. Zijm	Performance analysis of a carousel system					X					X							Bir karusel sisteminin maksimum işlem hacmi ve yanıt süresinin belirlenmesi	A	Stokastik model	C	P	D
1990	Y.A. Bozer, J.A. White	Design and performance models for end-of-aisle order picking systems										X							Çoklu mini yük taşıma ve depolama sistemlerinin performansının	A,H	Analitik yöntem, algoritma	T	P	D
1991	R.D. Foley, E.H. Frazelle	Analytical results for miniloading throughput and the distribution of dual command travel time					X												Mini yük taşıma ve depolama sistemlerinin maksimum işlem hacmine yönelik matematiksel analizi	A	Analitik model	T	P	S
1985	J. Ashayeri, L. Gelders, L. Van Wassenhove	A micro-computer-based optimization model for the design of automated warehouses					X												Performansı artırmaya yönelik ekonomik AS/RS tasarımı	A	Lineer olmayan karma IP	T	D	S
1995	D.T. Chang, U.P. Wen, J.T. Lin	The impact of acceleration/deceleration on travel time models for automated storage/retrieval systems					X												AS/RS dolaşım süresinin, hızlanma ve yavaşlama faktörleri göz önünde bulundurularak belirlenmesi	A	Analitik model	T	P	D
1996	C.H. Pan, C.H. Wang	A framework for dual command cycle travel time model in automated warehousing systems					X												Maksimum işlem hacmi için AS/RS dolaşım süresinin modellenmesi	A	Analitik model	T	P	S
1997	R.D. Meier, A. Mungwattana	Multi-shuttle automated storage/retrieval systems: analytical models and an application					X												Maksimum işlem hacmi için AS/RS dolaşım süresinin modellenmesi	A	Analitik model	T	P	S
1993	M.J. Rosenblatt, Y. Roit, V. Zyser	A combined optimization and simulation approach for designing automated storage/retrieval systems				X	X												Maksimum işlem hacmi ve yanıt süresi kısıtları altında AS/RS boyutlarının belirlenmesi	A,S	Analitik yaklaşım (lineer olmayan karma IP), simülasyon	T	D	S
1988	H. Hwang, C.S. Ko	A study on multi-aisle system served by a single storage and retrieval machine					X												Farklı sayıda vinç ve depolama politikaları için çok koridorlu AS/RS'in boyutlarının belirlenmesi	A	Analitik model	C	P	S
2000	J.P. Van der Berg, A.J.R.M. Gademann	Simulation study of an automated storage/retrieval system					X												AS/RS'in çoklu organizasyon politikalarının maksimum depo işlem hacmi, yanıt süresi ve depolama kapasitesi üzerindeki	S	Simülasyon	C	P	D
1997	T.N. Larson, H. March, A. Kusiak	A heuristic approach to warehouse layout with class-based storage				X													Sınıf bazlı depolama için bir sezgisel yaklaşımın oluşturulması	H	Sezgiseller	C	D	D
1983	E.A. Elsayed, R.G. Stern	Computerized algorithms for order processing in automated warehouse systems												X					24 farklı parti oluşturma algoritmasının test edilmesi ve değerlendirilmesi	H	Algoritma	T	D	D
1989	E.A. Elsayed, O.I. Unal	Order batching algorithms and travel time estimation for automated storage/retrieval systems													X		X		Parti oluşturma algoritmalarının ve AS/RS'in dolaşım süresi tahminlerinin değerlendirilmesi	H	Algoritma	T	P	D
1996	M.B. Rosenwein	A comparison of heuristics for the problem of batching orders for warehouse selection													X				Maksimum işlem hacmi ve parti oluşturmalarının simülasyon ile analizi	H	Algoritma	T	D	D

Çizelge A.1 (devam) : Literatür araştırması sonuçları.

			Stratejik Düzey					Taktik Düzey					Operasyonel Düzey						Amaç	Yöntem				
			Depo Tasarım Metodolojisi	Depo Yeri Seçimi	Depolama Kapasitesi (Sizing)	Depo Yerleşimi (Dimensioning)	Otomatik Depolama Sistemi (AS/RS) Tasarımı	Depolama Sistemi Tasarımı	Ekipman Seçimi	Depolama Politikaları	Organizasyon	Sipariş Toplama	Mal Kabul ve Sevkiyat (Receiving & Shipping)	Parti Oluşturma (Batching)	Ayırma/ Sınıflandırma (Sorting)	Bekleme (Dwell) Noktası Belirlenmesi	Otomatik Depolama Sistemi (AS/RS) İşletimi	Depolama, Rotalama ve Sıralama	Çalışmanın Amacı	Analitik (A) / Simülasyon (S) / Sezgiseller (H) / Metasezgiseller (MH) / Kavramsal (K)	Yöntemin Detayı	Tek amaçlı (T) / Çok Amaçlı (C)	Deterministik (D) / Probabilistik (P)	Statik (S) / Dinamik (D)
Yıl	Yazar(lar)	Çalışmanın Adı																						
1992	D.R. Gibson, G.P. Sharp	Order batching procedures												X					2 yeni parti oluşturma prosedürünün	S	Simülasyon	C	P	D
	C.H. Pan, S.Y. Liu	A comparative study of order batching algorithms												X			X		İnsanlı (person-on-board) AS/RS için parti oluşturma operasyonlarının analizi	H	Algoritma	C	P	D
1995		Algorithms for optimal material handling in automatic warehousing systems												X			X		Çok koridorlu AS/RS için bir parti oluşturma algoritmasının geliştirilmesi	H	Algoritma	T	D	D
1981	E.A. Elsayed	Clustering algorithms for order picking in an automated storage and retrieval system												X			X		AS/RS için parti oluşturma algoritmalarının belirlenmesi	A,S	Analitik yaklaşım (lineer olmayan IP), simülasyon	T	D	S
1988	H. Hwang, W. Baek, M.K. Lee	Optimal lane depths for single and multiple products in block stacking storage systems								X									Blok depolama sistemlerinde depolama politikalarının değerlendirilmesi	A,H	Analitik yöntem, sezgiseller	C	D	D
1991	M. Goetschalckx, H.D. Ratliff	Optimal product layout in an order picking warehouse								X									Depolama politikası için bir sezgisel	H	Sezgiseller	T	P	D
1991	J.M. Jarvis, E.D. McDowell	Forward-reserve allocation in a unit load warehouse operation with picking periods								X									Toplama ve ikmal maliyetlerinin minimize edilmesine yönelik ürün rezervasyonu için bir prosedür	A	LP	T	D	S
1996	J.P. Van der Berg, G.P. Sharp	Storage layout of AS/RS racks based on recurrent orders								X							X		İnsanlı (person-on-board) AS/RS için depolama algoritmalarının geliştirilmesi	S	Simülasyon	T	P	D
1992	D.L. Van Dudenheiden, W. Zhu	Optimal storage assignment in automatic warehousing systems								X							X		AS/RS için sınıf bazlı (2-3 sınıf) depolama politikalarının analizi, işlem hacmi ve depolama kapasitesinin maksimizasyonu için	A	Analitik model	T	P	S
1976	W.H. Hausmann, L.B. Schwarz, S.C. Graves	Deriving the optimal boundaries for class-based automatic storage and retrieval systems								X							X		AS/RS için sınıf bazlı (n sınıf) depolama politikalarının analizi, işlem hacmi ve depolama kapasitesinin maksimizasyonu için	A	Analitik model	T	D	D
1989	M.J. Rosenblatt, A. Eynan	Shared storage policies based on the duration stay of unit loads				X				X							X		AS/RS için sınıf bazlı depolama politikalarının analizi, işlem hacmi ve depolama kapasitesinin maksimizasyonu için	A,S	Analitik model, simülasyon	T	P	D
1990	M. Goetschalckx, H.D. Ratliff	Establishing zones in single command class-based rectangular AS/RS								X							X		AS/RS için sınıf bazlı (n sınıf) depolama politikalarının analizi, işlem hacmi ve depolama kapasitesinin maksimizasyonu için	A	Analitik model	T	P	S
1994	M.J. Rosenblatt, A. Eynan	Expected travel time and optimal boundary formulas for a two-class-based automated storage/retrieval system								X							X		AS/RS için sınıf bazlı (2 sınıf) depolama politikalarının analizi, işlem hacmi ve depolama kapasitesinin maksimizasyonu için	A	Analitik model	T	P	S
1995	P. Kouvelis, V. Papanicolaou	Storage assignment policy trade-off								X							X		AS/RS için sınıf bazlı depolama politikalarının analizi, işlem hacmi ve depolama kapasitesinin maksimizasyonu için	A	Analitik model	T	P	S
1996	C.J. Malmberg	Optimization of cube-per-order index warehouse layouts with zoning constraints								X							X		AS/RS için depolama politikasının belirlenmesi, depolama kapasitesini maksimize eden bir	A	Analitik model	C	P	S
1995	C.J. Malmberg	Shuffling heuristics for the storage location assignment in an AS/RS								X							X		3 sezgiselin simülasyon ile değerlendirilmesi	S,H	Simülasyon, algoritma	T	P	D
1995	B. Muralidharan, R.J. Linn, R. Pandit	Zone shapes in class based storage and multi-command order picking when storage/retrieval machines are used								X							X		AS/RS için sınıf bazlı depolama politikalarının değerlendirilmesi	MH,S	NNH, simülasyon	T	P	D
1992	M. Guenov, R. Raeside									X							X			S	Simülasyon	T	P	D

Çizelge A.1 (devam) : Literatür araştırması sonuçları.

Yıl	Yazar(lar)	Çalışmanın Adı	Stratejik Düzey					Taktik Düzey				Operasyonel Düzey							Amaç	Yöntem				
			Depo Tasarım Metodolojisi	Depo Yeri Seçimi	Depolama Kapasitesi (Sizing)	Depo Yerleşimi (Dimensioning)	Otomatik Depolama Sistemi (AS/RS) Tasarımı	Depolama Sistemi Tasarımı	Ekipman Seçimi	Depolama Politikaları	Organizasyon	Sipariş Toplama	Mal Kabul ve Sevkiyat (Receiving & Shipping)	Parti Oluşturma (Batching)	Ayırma/ Sınıflandırm a (Sorting)	Bekleme (Dwell) Noktası Belirlenmesi	Otomatik Depolama Sistemi (AS/RS) İşletimi	Depolama, Rotalama ve Sıralama		Analitik (A) / Simülasyon (S) / Sezgiseller (H) / Metasezgiseller (MH) / Kavramsal (K)	Yöntemin Detayı	Tek amaçlı (T) / Çok Amaçlı (C)	Deterministik (D) / Probabilistik (P)	Statik (S) / Dinamik (D)
1992	M.K. Lee	A storage assignment policy in a man-on-board automated storage/retrieval system								X							X		AS/RS için sınıf bazlı depolama politikalarının değerlendirilmesi	H,S	Sezgiseller, simülasyon	T	D	D
1989	E.A. Frazelle, G.P. Sharp	Correlated assignment strategy can improve order-picking operation								X									İlişkili depolama politikalarının analizi ve genel bir yaklaşımın	K	Genel çözüm yaklaşımı	-	-	-
1994	M.B. Rosenwein	An application of cluster analysis to the problem of locating items within a warehouse								X									İlişkili depolama politikalarının analizi ve genel bir yaklaşımın oluşturulması	A	Cluster analizi, p median 0-1 IP	T	P	S
1990	C.J. Malmberg, K. Bhaskaran	A revised proof of optimality for the cube-per-order index rule for stored item location								X									Farklı depo tipleri için cube-per index depolama politikasının değerlendirilmesi	A	Analitik model	T	D	S
1989	Y.H. Park, D.B. Webster	Design of class-based storage racks for minimizing travel time in a three-dimensional storage system								X									3 boyutlu depolama sistemleri için cube-per index depolama politikasının değerlendirilmesi	H	Algoritma	T	D	D
1994	L. Gelders, D. Heeremans	Het traveling salesman problem togepast op order picking																X	Konvansiyonel depo için rotalama analizi	MH,S	Travelling salesman problem solution	T	D	D
1993	R.W. Hall	Distance approximations for routing manual pickers in a warehouse																X	Konvansiyonel depo için rotalama analizi	A	Analitik model	T	P	S
1998	R. De Koster, E. Van der Poort	Routing orderpickers in a warehouse: a comparison between optimal and heuristic solutions																X	Konvansiyonel depo için rotalama analizi	A	Analitik yöntem	T	D	D
1990	Y.A. Bozer, E.C. Shorn, G.P. Sharp	Geometric approaches to solve the Chebyshev traveling salesman problem																X	2 boyutlu depolama rafları için bir algoritma geliştirilmesi	H,S	Algoritma, simülasyon	T	P	D
1993	R.J. Linn, X. Xie	A simulation analysis of sequencing rules for AS/RS in a pull-based assembly facility																X	Tarihleri dikkate alarak sıralamanın rolünün simülasyon ile analiz edilmesi	S	Simülasyon	T	P	D
1993	E.A. Elsayed, M.K. Lee, S. Kim, E. Scherer	Sequencing and batching procedures for minimizing earliness and tardiness penalty of order retrievals												X				X	Tarihleri dikkate alan sıralama prosedürünün geliştirilmesi	H	Algoritma	T	D	D
1995	M.K. Lee, S.Y. Kim	Scheduling of storage/retrieval orders under a just-in-time environment												X				X	Tarihleri dikkate alan sıralama prosedürünün geliştirilmesi	H	Sezgiseller	T	P	D
1993	A. Eynan, M.J. Rosenblatt	An interleaving policy in automated storage/retrieval systems															X	X	Sınıf bazlı depolama yapılan bir depoda en yakın komşu çekme politikasının	H	Sezgiseller	T	P	D
1992	M. Eben-Chaime	Operations sequencing in automated warehouse systems															X	X	AS/RS için dinamik sıralama ve blok çizelgeleme arasındaki farkların analizi	MH	NNH	T	P	D

Çizelge A.1 (devam) : Literatür araştırması sonuçları.

Yıl	Yazar(lar)	Çalışmanın Adı	Stratejik Düzey					Taktik Düzey					Operasyonel Düzey						Amaç	Yöntem				
			Depo Tasarım Metodolojisi	Depo Yeri Seçimi	Depolama Kapasitesi (Sizing)	Depo Yerleşimi (Dimensioning)	Otomatik Depolama Sistemi (AS/RS) Tasarımı	Depolama Sistemi Tasarımı	Ekipman Seçimi	Depolama Politikaları	Organizasyon	Sipariş Toplama	Mal Kabul ve Sevkiyat (Receiving & Shipping)	Parti Oluşturma (Batching)	Ayırma/Sınıflandırm a (Sorting)	Bekleme (Dwell) Noktası Belirlenmesi	Otomatik Depolama Sistemi (AS/RS) İşletimi	Depolama, Rotalama ve Sıralama		Çalışmanın Amacı	Analitik (A) / Simülasyon (S) / Sezgiseller (H) / Metasezgiseller (MH) / Kavramsal (K)	Yöntemin Detayı	Tek amaçlı (T) / Çok Amaçlı (C)	Deterministik (D) / Probabilistik (P)
1988	A. Seidmann	Intelligent control schemes for automated storage and retrieval systems														X	X	Ürünlerin mevsimsel talep dalgalanmalarını dikkate alan sıralama kurallarının geliştirilmesi	MH	Yapay zeka teknikleri	C	P	D	
1991	P.J. Egbeu	Framework for dynamic positioning of storage/retrieval machines in an automated storage/retrieval system												X	X			Bekleme (dwell) noktası seçimi için bir algoritma oluşturulması	H	LP bazlı algoritma	T	D	S	
1993	P.J. Egbeu, C.T. Wu	A comparison of dwell point rules in an automated storage/retrieval system												X	X			Farklı bekleme (dwell) noktası seçim prosedürlerinin simülasyon ile değerlendirilmesi	S	Simülasyon	T	P	D	
1993	H. Hwang, J.M. Lim	Deriving an optimal dwell point of the storage/retrieval machine in an automated storage/retrieval system												X	X			AS/RS bekleme (dwell) noktası seçimi için bir algoritma oluşturulması	H	Algoritma	T	D	D	
1996	B.A. Peters, J.S. Smith, T.S. Hale	Closed form models for determining the optimal dwell point location in automated storage and retrieval systems												X	X			Çoklu AS/RS tasarımlarının yanıt sürelerinin ve bekleme (dwell) noktası politikalarının analizi	A	Analitik model	T	P	D	
1977	S.C. Graves, W.H. Hausman, L.B. Schwarz	Storage-retrieval interleaving in automatic warehousing systems													X	X		Sınıf bazlı depolama ve sıralama politikalarının depo performansına olan etkilerinin değerlendirilmesi	A	Analitik model	T	P	S	
1995	B.R. Sarker, P.S. Babu	Travel time models in automated storage/retrieval systems: a critical review														X		AS/RS'in operasyonel kontrolüne yönelik literatür taramasının yapılması	K	Kıyaslama	-	-	-	
1999	J.P. Van der Berg	A literature survey on planning and control of warehousing systems							X					X	X			Farklı operasyonel kontrol problemlerinin analizi	K	Literatür taraması	-	-	-	
1990	L.Y. Tsui, C.H. Chang	A microcomputer based decision support tool for assigning dock doors in freight yards									X							Depoya gelen ve depodan çıkan kamyonların yüklem rampalarına tayin edilmesi	A	BM	T	D	S	
1992	L.Y. Tsui, C.H. Chang	An optimal solution to a dock door assignment problem									X							Depoya gelen kamyonların kapılara optimum tayinlerinin yapılmasını baz alan operasyonel maliyet tahmin modelinin geliştirilmesi ve verimliliği artırma amacı	A	BM (optimal çözüm)	T	P	D	
1999	K.R. Gue	The effects of trailer scheduling on the layout of freight terminals				X					X							Depoya gelen kamyonların kapılara optimum tayinlerinin yapılmasını baz alan operasyonel maliyet tahmin modelinin geliştirilmesi ve verimliliği artırma amacı	A	Analitik model	T	D	S	
2000	J.J. Bartholdi, K.R. Gue	Reducing labor costs in an LTL crossdocking terminal				X					X							Toplam dolayım ve boş kalma sürelerini minimize eden çapraz sevkıyat depo yerleşimi probleminin çözülmesi, verimliliği artıran kapıların yerlerinin maliyet modelini içeren simülasyon algoritması ile	A,S	Ulaştırma ve kuyruk modelleri, simülasyon	T	P	S	
2000	C.J. Malmberg, K. Al-Tassan	An integrated performance model for order picking systems with randomized storage				X					X							Sipariş toplama sistemi için gerekli alan ihtiyaçlarının ve döngü sürelerinin tahmin edilmesi için matematiksel modelin geliştirilmesi	A	Analitik model	C	P	S	
2010	S.S. Heragu, B.V. Eken, A. Krishnamurthy, C.J.	Simulation based experimental design to identify factors affecting performance of AVS/RS					X											Simülasyon bazlı deney tasarımı ile AVS/RS'in performansına etki eden faktörlerin belirlenmesi	S	Simülasyon	C	P	D	
1994	E.H. Frazelle, S.T. Hackman, U. Passy, L.K. Platzman	The forward-reserve problem							X									Toplama ve rezervasyon alanı probleminin, ekipman maliyetinin ekipman büyüklüğünün bir fonksiyonu şeklinde yazılarak ve karar değişkeni şeklinde	A,H	Sezgiseller (Sırt çantası problemi), analitik model	T	D	D	
1998	J.P. Van der Berg, G.P. Sharp, A.J.R.M.N. Gademann, Y. Pochet	Forward-reserve allocation in a warehouse with unit-load replenishments							X									Birim yüklerin depolama alanına ıkmalıne yönelik sezgisellerin geliştirilmesi	H	Sezgiseller (Sırt çantası problemi)	T	D	D	
2002	C.G. Petersen	Considerations in order picking zone configuration							X									Depolama alanının biçiminin operasyonel maliyetler üzerindeki etkilerinin	S	Simülasyon	T	P	D	

Çizelge A.1 (devam) : Literatür araştırması sonuçları.

			Stratejik Düzey					Taktik Düzey				Operasyonel Düzey						Amaç	Yöntem					
			Depo Tasarım	Depo Yeri	Depolama Kapasitesi (Sizing)	Depo Yerleşimi (Dimensioning)	Otomatik Depolama Sistemi (AS/RS) Tasarımı	Depolama Sistemi Tasarımı	Ekipman Seçimi	Depolama Politikaları	Organizasyon	Sipariş Toplama	Mal Kabul ve Sevkiyat (Receiving & Shipping)	Parti Oluşturma (Batching)	Ayırma/ Sınıflandırma (Sorting)	Bekleme (Dwell) Noktası Belirlenmesi	Otomatik Depolama Sistemi (AS/RS) İşletimi	Depolama, Rotalama ve Sıralama		Analitik (A) / Simülasyon (S) / Sezgiseller (H) / Metasezgiseller (MH) / Kavramsal (K)		Tek amaçlı (T) / Çok Amaçlı (C)	Deterministik (D) / Probabilistik (P)	Statik (S) / Dinamik (D)
Yıl	Yazar(lar)	Çalışmanın Adı	Metodolojisi	Seçimi	(Sizing)	(Dimensioning)	Tasarımı	Tasarımı	Seçimi									Çalışmanın Amacı		Yöntemin Detayı				
2013	F.T.S. Chan, H.K. Chan	Improving the productivity of order picking of a manual-pick and multi-level rack distribution warehouse through the implementation of class-based storage															X	Sipariş toplama esnasında sınıf bazlı depolama politikalarının verimliliğinin belirlenmesi	S	Simülasyon	C	D	D	
1999	S. Kültürel, N.E. Özdemirel, C. Sepil, Z. Bozkurt	Experimental investigation of shared storage assignment policies in automated storage/retrieval systems															X	Sınıf bazlı depolama (DOS) bazlı depolama politikalarının simülasyon ile karşılaştırılması ve sınıf bazlı depolamanın üstün	S	Simülasyon	C	P	D	
2010	T. Lehrer, I. Potrc, M. Strani, T. Tollazzi	Travel time models for automated warehouses with aisle transferring storage and retrieval machine															X	Çok koridorlu depoda AS/RS dolajım süresinin modellenmesi	A,S	Analitik model, simülasyon	T	P	D	
2009	A. Kovacs	Optimizing storage assignment in a warehouse served by milkrun logistics																Tarifeli döngüsel seferlerin (milk run) geçerli olduğu ve çok komutlu sipariş toplama sisteminin olduğu bir depoda optimize depolama alanı	A	Karma IP	C	P	D	
1999	M.B.M. De Koster, E.S. Van der Poort, M. Wolters	Efficient order batching methods in warehouse												X				Parti oluşturma ve rotalama algoritmalarının değerlendirilmesi	H	Algoritma	T	P	D	
1999	R.A. Ruben, F.R. Jacobs	Batch construction heuristics and storage assignment strategies for walk/ride and pick systems												X				Farklı depolama politikaları için parti oluşturma algoritmalarının değerlendirilmesi	H	Algoritma	C	P	D	
1996	H.S. Lee, S.K. Schaefer	Retrieval sequencing for unit-load automated storage and retrieval systems with multiple openings												X			X	Siparişlerin toplam gecikmelerini minimize eden parti oluşturma ve sıralama algoritmasının geliştirilmesi	H	Algoritma (optimal çözüm)	T	D	D	
2005	J. Won, S. Olafsson	Joint order batching and order picking in warehouse operations												X				Toplam verimlilik ve siparişlerin teslim süresini dikkate alarak sipariş toplama ve parti oluşturma problemlerini birlikte çözen matematiksel model ve sezgisellerin	A,H	Analitik yöntem, sezgiseller	C	D	D	
2001	N. Gademann, J.P. Van den Berg, H.H. Van	An order batching algorithm for wave picking in a parallel-aisle warehouse												X				Partilerin teslim sürelerini minimize eden parti oluşturma probleminin çözülmesi	MH	B&B	T	P	D	
2005	N. Gademann, S. Van de Velde	Order batching to minimize total travel time in a parallel-aisle warehouse												X				Toplam sipariş toplama süresini minimize eden parti oluşturma probleminin çözülmesi	MH	B&B	T	P	D	
2005	M.C. Chen, H.P. Wu	An association-based clustering approach to order batching considering customer demand patterns												X				Birçok ortak malzeme içeren siparişler için parti oluşturma probleminin çözülmesi	A	IP	T	P	D	
2007	R. De Koster, T. Le-Duc, K.J. Roodbergen	Design and control of warehouse order picking: a literature review				X				X		X		X				Sipariş toplama sistemlerinin tasarımı ve kontrolüne yönelik literatür taramasının	K	Literatür taraması	-	-	-	
2001	M. Goetschalckx, L. McGinnis, G. Sharp, D. Bodner, T. Govindaraj, K. Huang	A Framework for systematic warehousing design	X															Depo tasarımı için matematiksel model geliştirilmesi	A	Karma IP	T	D	S	
2001	K.J. Roodbergen, R. De Koster	Routing methods for warehouses with multiple cross aisles															X	Konvansiyonel çok koridorlu depolar için rotalama yöntemlerinin araştırılması	MH	DP bazlı sezgiseller	T	P	D	
2001	K.J. Roodbergen, R. De Koster	Routing orderpickers in a warehouse with a middle aisle															X	Konvansiyonel çok koridorlu depolar için rotalama yöntemlerinin araştırılması	H	Algoritma	T	D	D	
1999	T.S. Vaughan, C.G. Petersen	The effect of warehouse cross aisle on order picking efficiency															X	Konvansiyonel çok koridorlu depolar için rotalama yöntemlerinin araştırılması	MH	DP bazlı sezgiseller	T	P	D	
1998	R.L. Daniels, J.L. Rummel, P. Caron, G. Marchet, G. Perego	A model for warehouse order picking															X	Konvansiyonel çok koridorlu depolarda rotalamadan önce sipariş toplama alanlarının seçilmesi	MH	TSP bazlı sezgiseller	T	D	D	
1998	F. Caron, G. Marchet, G. Perego	Routing policies and COI-based storage policies in picker-to-part systems								X		X						Farklı rotalama politikalarının değerlendirilmesi	A	Analitik model	T	P	S	
2000	F. Caron, G. Marchet, G. Perego	Optimal layout in low level picker-to-part systems										X					X	Farklı rotalama politikalarının değerlendirilmesi	A	Analitik model	T	P	S	
1997	C.G. Petersen	An evaluation of order picking routing policies										X					X	Farklı rotalama politikalarının değerlendirilmesi	S	Simülasyon	T	P	D	

Çizelge A.1 (devam) : Literatür araştırması sonuçları.

Yıl	Yazar(lar)	Çalışmanın Adı	Stratejik Düzey					Taktik Düzey				Operasyonel Düzey							Amaç	Yöntem				
			Depo Tasarım	Depo Yeri Seçimi	Depolama Kapasitesi (Sizing)	Depo Yerleşimi (Dimensioning)	Otomatik Depolama Sistemi (AS/RS) Tasarımı	Depolama Sistemi Tasarımı	Ekipman Seçimi	Depolama Politikaları	Organizasyon	Sipariş Toplama	Mal Kabul ve Sevkiyat (Receiving & Shipping)	Parti Oluşturma (Batching)	Ayrırma/ Sınıflandırma (Sorting)	Bekleme (Dwell) Noktası Belirlenmesi	Otomatik Depolama Sistemi (AS/RS) İşletimi	Depolama, Rotalama ve Sıralama	Çalışmanın Amacı	Analitik (A) / Simülasyon (S) / Sezgiseller (H) / Metasezgiseller (MH) / Kavramsal (K)	Yöntemin Detayı	Tek amaçlı (T) / Çok Amaçlı (C)	Deterministik (D) / Probabilistik (P)	Statik (S) / Dinamik (D)
		Improving the productivity of order picking of a manual-pick and multi-level rack distribution warehouse through the implementation of class-based storage																	Sipariş toplama esnasında sınıf bazlı depolama politikalarının verimliliğinin belirlenmesi	S	Simülasyon	C	D	D
2011	F.T.S. Chan, H.K. Chan, S. Kulturel, N.E. Ozdemirel, C. Sepil, Z. Bozkurt	Experimental investigation of shared storage assignment policies in automated storage/retrieval systems								X									Sınıf bazlı ve durma süresi (DOS) bazlı depolama politikalarının simülasyon ile karşılaştırılması ve sınıf bazlı depolamanın üstün	S	Simülasyon	C	P	D
1999	T. Lehrer, I. Potrc, M. Srnami, T. Tollazzi	Travel time models for automated warehouses with aisle transferring storage and retrieval machine								X									Çok koridorlu depoda AS/RS dolaşım süresinin modellenmesi	A,S	Analitik model, simülasyon	T	P	D
2009	A. Kovacs	Optimizing storage assignment in a warehouse served by milkrun logistics								X									Tarifei döngüsel seferlerin (milk run) geçerli olduğu ve çok komutlu sipariş toplama sisteminin olduğu bir depoda optimize depolama alanı	A	Karma IP	C	P	D
1999	M.B.M. De Koster, E.S. Van der Poort, M. Wouters	Efficient order batching methods in warehouse												X					Parti oluşturma ve rotalama algoritmalarının değerlendirilmesi	H	Algoritma	T	P	D
1999	R.A. Ruben, F.R. Jacobs	Batch construction heuristics and storage assignment strategies for walk/ride and pick systems											X						Farklı depolama politikaları için parti oluşturma algoritmalarının değerlendirilmesi	H	Algoritma	C	P	D
1996	H.S. Lee, S.K. Schaefer	Retrieval sequencing for unit-load automated storage and retrieval systems with multiple openings											X				X	X	Siparişlerin toplam gecikmelerini minimize eden parti oluşturma ve sıralama algoritmasının geliştirilmesi	H	Algoritma (optimal çözüm)	T	D	D
2005	J. Won, S. Olafsson	Joint order batching and order picking in warehouse operations											X						Toplam verimlilik ve sipariş temin süresini dikkate alarak sipariş toplama ve parti oluşturma problemlerini birlikte çözen matematiksel model ve sezgisellerin	A,H	Analitik yöntem, sezgiseller	C	D	D
2001	N. Gademann, J.P. Van den Berg, H.H. Van	An order batching algorithm for wave picking in a parallel-aisle warehouse											X						Partilerin temin sürelerini minimize eden parti oluşturma probleminin	MH	B&B	T	P	D
2005	N. Gademann, S. Van de Velde	Order batching to minimize total travel time in a parallel-aisle warehouse											X						Toplam sipariş toplama süresini minimize eden parti oluşturma probleminin	MH	B&B	T	P	D
2005	M.C. Chen, H.P. Wu	An association-based clustering approach to order batching considering customer demand patterns												X					Birçok ortak malzeme içeren siparişler için parti oluşturma probleminin çözülmesi	A	IP	T	P	D
2007	R. De Koster, T. Le-Duc, K.J. Roodbergen	Design and control of warehouse order picking: a literature review				X				X		X						X	Sipariş toplama sistemlerinin tasarım ve kontrolüne yönelik literatür taramasının	K	Literatür taraması	-	-	-
2003	M. Goetschalckx, L. McGinnis, G. Sharp, D. Bodner, T. Govindaraj, J. Huang	A Framework for systematic warehousing design	X																Depo tasarımı için matematiksel model geliştirilmesi	A	Karma IP	T	D	S
2001	K.J. Roodbergen, R. De Koster	Routing methods for warehouses with multiple cross aisles																X	Konvansiyonel çok koridorlu depolar için rotalama yöntemlerinin araştırılması	MH	DP bazlı sezgiseller	T	P	D
2001	K.J. Roodbergen, R. De Koster	Routing orderpickers in a warehouse with a middle aisle																X	Konvansiyonel çok koridorlu depolar için rotalama yöntemlerinin araştırılması	H	Algoritma	T	D	D
1999	T.S. Vaughan, C.G. Petersen	The effect of warehouse cross aisle on order picking efficiency																X	Konvansiyonel çok koridorlu depolar için rotalama yöntemlerinin araştırılması	MH	DP bazlı sezgiseller	T	P	D
1998	R.L. Daniels, J.L. Rummel, R. Schanz	A model for warehouse order picking																X	Konvansiyonel çok koridorlu depolarda rotalamadan önce sipariş toplama alanlarının seçilmesi	MH	TSP bazlı sezgiseller	T	D	D
1998	P. Caron, G. Marchet, G. Perego	Routing policies and COI-based storage policies in picker-to-part systems								X		X						X	Farklı rotalama politikalarının değerlendirilmesi	A	Analitik model	T	P	S
2000	P. Caron, G. Marchet, G. Perego	Optimal layout in low level picker-to-part systems										X						X	Farklı rotalama politikalarının değerlendirilmesi	A	Analitik model	T	P	S
1997	C.G. Petersen	An evaluation of order picking routing policies										X						X	Farklı rotalama politikalarının değerlendirilmesi	S	Simülasyon	T	P	D

Çizelge A.1 (devam) : Literatür araştırması sonuçları.

Yıl	Yazar(lar)	Çalışmanın Adı	Stratejik Düzey					Taktik Düzey				Operasyonel Düzey							Amaç	Yöntem				
			Depo Tasarım Metodolojisi	Depo Yeri Seçimi	Depolama Kapasitesi (Sizing)	Depo Yerleşimi (Dimensioning)	Otomatik Depolama Sistemi (AS/RS) Tasarımı	Depolama Sistemi Tasarımı	Ekipman Seçimi	Depolama Politikaları	Organizasyon	Sipariş Toplama	Mal Kabul ve Sevkiyat (Receiving & Shipping)	Parti Oluşturma (Batching)	Ayırma/ Sınıflandırma (Sorting)	Bekleme (Dwell) Noktası Belirlenmesi	Otomatik Depolama Sistemi (AS/RS) İşletimi	Depolama, Rotalama ve Sıralama		Analitik (A) / Simülasyon (S) / Sezgiseller (H) / Metasezgiseller (MH) / Kavramsal (K)	Yöntemin Detayı	Tek amaçlı (T) / Çok Amaçlı (C)	Deterministik (D) / Probabilistik (P)	Statik (S) / Dinamik (D)
1999	C.G. Petersen	The impact of routing and storage policies on warehouse efficiency								X								X	Farklı rotalama politikalarının değerlendirilmesi	S	Simülasyon	T	P	D
1999	C.G. Petersen, R.W. Schmenner	An evaluation of routing and volume-based storage policies in an order picking operation								X								X	Farklı rotalama politikalarının değerlendirilmesi	S	Simülasyon	T	P	D
2004	C.G. Petersen, G. Aase	A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking								X		X						X	Farklı rotalama politikalarının değerlendirilmesi	S	Simülasyon	T	P	D
1988	J.J. Bartholdi, L.K. Platzman	Design of efficient bin numbering schemes for warehouses															X	X	İnsanlı (person-on-board AS/RS için rotalama ve sıralama probleminin çözülmesi)	H	Sezgiseller, alan doldurma eğrisi (space filling curve) algoritması	T	D	D
2003	P.A. Makris, I.G. Giakoumakis	k-interchange heuristics as an optimization procedure for material handling applications															X	X	İnsanlı (person-on-board AS/RS için rotalama ve sıralama problemi için gelişmiş çözüm yöntemlerinin)	H	Sezgiseller (k-interchange)	T	P	D
2005	B.I. Kim, S.S. Heragu, R.J. Graves, A.S. Onge	Clustering based order picking sequence algorithm for an automated warehouse															X	X	Sipariş toplama esnasında toplanan malzemenin her toplama operasyonu sonrasında toplama alanının altındaki dikey alana konulduğu özel bir AS/RS'in	H	Sezgiseller (clustering sezgiselleri)	T	D	D
1998	S. Mahajan, B.V. Rao, B.A. Peters	A retrieval sequencing heuristic for miniload end-of-aisle automated storage/retrieval systems															X	X	Çift komutlu mini yük AS/RS için rasgele depolamada sıralama probleminin çözülmesi	MH	NNH	T	P	D
1991	B.R. Sarker, A. Sabapathy, A.M. Lal, M. Han	The performance evaluation of a double shuttle automated storage/retrieval system															X	X	Çift komutlu mini yük AS/RS için rasgele depolamada sıralama probleminin çözülmesi	MH	NNH	T	D	D
1999	J.P. Van den Berg, A.J.R.M.N. Gademann	Optimal routing in an automated storage/retrieval system with dedicated storage															X	X	Çift komutlu mini yük AS/RS için sıralama probleminin çözülmesi	A	Ulaştırma modelleri (optimal çözüm)	T	D	S
1997	H.S. Lee, S.K. Schaefer	Sequencing methods for automated storage and retrieval systems with dedicated storage															X	X	Çift komutlu mini yük AS/RS için sıralama probleminin çözülmesi	A	Atama modeli (optimal çözüm)	T	D	S
1999	N. Ascheuer, M. Grottschel, A.A.A. Abdel-Hamid	Order picking in an automatic warehouse: solving online asymmetric TSPs															X	X	Depolama sistemine yeni bir talep geldiğinde taleplerin yeniden dinamik algoritmalarla sıralanması	MH	Dinamik algoritmalar, yapay zeka teknikleri	T	D	D
2002	S.G. Koh, B.S. Kim, N.B. Kim	Travel time model for the warehousing system with a tower crane S/R machine															X	X	Çift komutlu birim yük AS/RS için rasgele depolamada sıralama probleminin çözülmesi	A	Analitik yöntem (dolaşım süresi modeli)	T	P	S
2004	I. Potrc, T. Lerher, J. Kramberger, M. Sraml	Simulation model of multi-shuttle automated storage and retrieval systems															X	X	Çift komutlu birim yük AS/RS için rasgele depolamada sıralama probleminin çok seferli dolaşım süresi	H,S	Sezgiseller, simülasyon	T	P	D
2004	H.Hwang, Y.H. Oh, Y.K. Lee	An evaluation of routing policies for order picking operations in low level picker-to-part system															X	X	Çok koridorlu depolarda rotalama politikalarının dolaşım süresi modelleri ile değerlendirilmesi	A	Analitik yöntem (dolaşım süresi modeli)	T	P	S
2003	B.C. Park, R.D. Foley, J.A. White, E.H. Frazelle	Dual command travel times and miniload system throughput with turnover based storage															X	X	Bir karuzel sisteminin işlem hacmine yönelik dolaşım süresi modelinin geliştirilmesi	A	Analitik yöntem (dolaşım süresi modeli)	T	P	S

Çizelge A.1 (devam) : Literatür araştırması sonuçları.

			Stratejik Düzey					Taktik Düzey				Operasyonel Düzey					Amaç	Yöntem						
			Depo Tasarım	Depo Yeri Seçimi	Depolama Kapasitesi (Sizing)	Depo Yerleşimi (Dimensioning)	Otomatik Depolama Sistemi (AS/RS) Tasarımı	Depolama Sistemi Tasarımı	Ekipman Seçimi	Depolama Politikaları	Organizasyon	Sipariş Toplama	Mal Kabul ve Sevkiyat (Receiving & Shipping)	Parti Oluşturma (Batching)	Ayırma/ Sınıflandırma (Sorting)	Bekleme (Dwell) Noktası Belirlenmesi	Otomatik Depolama Sistemi (AS/RS) İşletimi	Depolama, Rotalama ve Sıralama	Çalışmanın Amacı	Analitik (A) / Simülasyon (S) / Sezgiseller (H) / Metasezgiseller (MH) / Kavramsal (K)	Yöntemin Detayı	Tek amaçlı (T) / Çok Amaçlı (C)	Deterministik (D) / Probabilistik (P)	Statik (S) / Dinamik (D)
Yıl	Yazar(lar)	Çalışmanın Adı	Metodolojisi																					
2004	R.D. Meiller, J.F. Klotte, R. Dekker, M.B.M. De Koster, K.J. Roodbergen, H. Van Kalleveen	A throughput model for carousel /VLM pods															X	X	Bir karuzel sisteminin işlem hacmine yönelik dolaşım süresi modelinin	A	Analitik yöntem (dolaşım süresi modeli)	T	D	S
2004		Improving order picking response time at Ankor's warehouse								X								X	Çok koridorlu manuel sipariş toplama sistemi için depolama ve rotalama politikalarının iyileştirilmesi	K	Vaka analizi	-	-	-
1998	M.E. Johnson	The impact of sorting strategies on automated sortation system performance													X				Ayırma/Sınıflandırmada stratejilerinin sistem performansı üzerindeki etkilerinin belirlenmesi	A	Analitik yöntem	T	P	S
1997	R.D. Meiller	Optimal order-to-lane assignments in an order accumulation/sortation system														X			Sipariş-rotalı tayinin ayırma/sınıflandırmada zamanının minimize edilmesine yönelik optimize	A	Analitik yöntem, algoritma (optimal çözüm)	T	P	D
2002	M.E. Johnson, R.D. Meiller	Performance analysis of split-case sorting systems														X			İşlem hacmine göre ayırma/sınıflandırmada sistemlerinin analizi	A	Analitik yöntem (stokastik model)	C	P	D
2003	M.L. Russell, R.D. Meiller	Cost and throughput modeling of manual and automated order fulfillment systems										X				X			Sipariş toplama ve ayırma/sınıflandırmada operasyonlarını farklı partli büyüklükleri için entegre eden bir modelin	A,S	Analitik yöntem, simülasyon	T	P	D
1997	S.H. Chang, P.J. Egbebu	Relative pre-positioning of storage/retrieval machines in automated storage/retrieval systems to minimize expected system response time															X		AS/RS bekleme (dwell) noktasının yanıt süresini minimize edecek şekilde belirlenmesi	H	Analitik yöntem (optimal çözüm)	T	D	S
2002	J.P. Van den Berg	Analytical expressions for the optimal dwell point in an automated storage/retrieval system															X		AS/RS optimum bekleme (dwell) noktasının belirlenmesi	A	Analitik yöntem (optimal çözüm)	T	P	D
2000	J.P. Van den Berg, A.J.R.M.N. Gademann	Simulation study of an automated storage/retrieval system								X							X	X	Birim yük AS/RS politikalarının karşılaştırılması (bekleme - dwell- noktası seçimi, depo alanı tayini, sıralama)	S	Simülasyon	C	P	D
2005	C.M. Hsu, K.Y. Chen, M.C. Chen	Batching orders in warehouses by minimizing travel distance with genetic algorithms													X				Herhangi bir depo yerleşimi ve parti oluşturma yapısına sahip bir depoda partli oluşturma probleminin çözümlenmesi	MH	GA	T	P	D
1984	M.S. Hung, C.J. Fisk	Economic sizing of warehouses - a linear programming approach			X														Belirli bir plantama ufunda bir ürünün depolama alanı için stokastik olan talebi dikkate alarak farklı maliyet modelleri yardımıyla depolama kapasitesinin	A	LP	T	P	S
1998	A.K. Rao, M.R. Rao	Solution procedures for sizing warehouses			X														Belirli bir plantama ufunda bir ürünün depolama alanı için stokastik olan talebi dikkate alarak farklı maliyet modelleri yardımıyla depolama kapasitesinin	A	LP, DP	T	P	S
1996	G. Cormier, E.A. Gunn	On coordinating warehouse sizing, leasing, and inventory policy			X														Depo inşa, stokta tutma ve ikmal maliyetlerini içeren stok maliyet modelleri ile depolama kapasitesinin	A	Analitik yöntem	T	D	S
2001	M. Goh, J. Ou, C.P. Teo	Warehouse sizing to minimize inventory and storage costs			X														Depo inşa, stokta tutma ve ikmal maliyetlerini içeren stok maliyet modelleri ile depolama kapasitesinin	A	Analitik yöntem	T	D	S
1999	G. Cormier, E.A. Gunn	Modeling and analysis for capacity expansion planning in warehousing			X														Birbirini takip eden dönemlerde optimum depo genişlemesinin belirlenmesi	A	NLP	T	P	D
1986	F. Azadivar	Maximizing of the throughput of a computerized automated warehousing system under system constraints				X													2 farklı depo bölümü arasında depolama alanının optimal olduğunu gösteren bir yaklaşımın geliştirilmesi	A,S	Analitik yöntem (optimal çözüm), simülasyon	T	D	S
2005	S.S. Heragu, L. Du, R.J. Mantel, P.C. Schuur	Mathematical model for warehouse design and product allocation				X				X									Depoya 3 farklı fonksiyonel alana bölerek malzemelerin farklı depolama alanlarına tayin edilmesi probleminin bir optimal model ve sezgiseller yardımıyla	A,H	Analitik yöntem (optimal çözüm), sezgiseller	C	D	D
2001	C.J. Malmberg	Rule of thumb heuristics for configuring storage racks in automated storage and retrieval systems design				X	X												İnşa ve operasyonel maliyetler ile ekipman verimliliğini optimize eden AS/RS konfigürasyonunun belirlenmesi	H	Sezgiseller	T	D	D

Çizelge A.1 (devam) : Literatür araştırması sonuçları.

			Stratejik Düzey					Taktik Düzey				Operasyonel Düzey					Amaç	Yöntem							
Yıl	Yazar(lar)	Çalışmanın Adı	Depo Tasarım Metodolojisi	Depo Yeri Seçimi	Depolama Kapasitesi (Sizing)	Depo Yerleşimi (Dimensioning)	Otomatik Depolama Sistemi (AS/RS) Tasarımı	Depolama Sistemi Tasarımı	Ekipman Seçimi	Depolama Politikaları	Organizasyon	Sipariş Toplama	Mal Kabul ve Sevkiyat (Receiving & Shipping)	Parti Oluşturma (Batching)	Ayırma/ Sınıflandırma (Sorting)	Bekleme (Dwell) Noktası Belirlenmesi	Otomatik Depolama Sistemi (AS/RS) İşletimi	Depolama, Rotalama ve Sıralama	Çalışmanın Amacı	Analitik (A) / Simülasyon (S) / Sezgiseller (H) / Metasezgiseller (MH) / Kavramsal (K)	Yöntemin Detayı	Tek amaçlı (T) / Çok Amaçlı (C)	Deterministik (D) / Probabilistik (P)	Statik (S) / Dinamik (D)	
1986	B. Cox	Determining economic levels of automation by using a hierarchy of productivity ratios techniques							X											Maliyet/Üretkenlik analizi ile farklı otomasyon düzeylerinin değerlendirilmesi	K	Genel çözüm yaklaşımı	-	-	-
1988	A.M. Perlmann, M. Bailey	Warehouse logistics systems - a CAD model				X														Farklı depo tasarımı alternatifleri için CAD modelinin geliştirilmesi	K	CAD	-	-	-
2002	T. Ito, J. Abadi, S.M. Mousavi	Agent-based material handling and inventory planning in warehouse design and performance evaluation: a comprehensive review				X														Bir deponun modellenmesi için akıllı sistemlerin kullanılması (iletişim, malzeme taşıma, stok kontrol)	S	Simülasyon	C	P	D
2010	J. Gu, M. Goetschalckx, L.F. McGinnis	Research on warehouse operation: a comprehensive review			X	X	X		X	X		X	X	X		X		X	X	Depo tasarımına ilişkin literatür taramasının yapılması	K	Literatür taraması	-	-	-
2007	J. Gu, M. Goetschalckx, L.F. McGinnis	Research on warehouse operation: a comprehensive review								X		X	X	X		X	X	X	X	Depo operasyonlarına ilişkin literatür taramasının yapılması	K	Literatür taraması	-	-	-
2000	B. Rouwenhorst, B. Reuter, V. Stockrahm, G.J. Van Houtum, R.J. Mantel	Warehouse design and control: framework and literature review	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Depo tasarımına ilişkin literatür taramasının yapılması	K	Literatür taraması	-	-	-
2010	G. Strack, Y. Pochet	An integrated model for warehouse and inventory planning								X										Depolama politikaları ile stok kontrolünü entegre eden genel bir modelin geliştirilmesi ve bu modelin 2 sezgisel yardımıyla	A,H	Lineer olmayan karma LP, sezgiseller	T	P	D
2009	LM. Pohl, R.D. Meiler, K.R. Gue	An analysis of dual command operations in common warehouse designs				X	X					X								3 farklı depo yerleşimi için çift komutlu operasyonlara sahip bir depoda dolaşım süresinin analitik olarak	A	Analitik yöntem	T	P	S
2010	J. Shiau, M. Lee	A warehouse management system with sequential picking for multi-container deliveries										X						X	X	Sipariş toplama sırasının 3 kısımdan oluşan (konteyner seçimi, yük konfigürasyonu, yükleme/boşaltma sıralaması) ve toplama ile paketlenme operasyonlarını birleştiren bir algoritma ile belirlenmesi	A,H	Sezgiseller (konteyner seçimi), LP (yük konfigürasyonu), algoritma (yükleme/boşaltma sıralaması)	C	D	D
2011	T. Ozcan, N. Çelebi, S. İsa	Comparative analysis of multi-criteria decision making methodologies and implementation of a warehouse location selection problem		X																Çok kriterli karar verme yöntemlerinin (AHP, ELECTRE, TOPSIS, vb) depo yeri seçimi problemi için karşılaştırılması ve perakende sektöründeki bir vaka analizi ile değerlendirilmesi	A	MCDM yöntemleri	T	P	D
2010	C. Theys, O. Brays, W. Dullaert, B. Raaijmakers	Using a TSP heuristic for routing order pickers in warehouses										X						X	X	Konvansiyonel çok koridorlu depolar için sipariş toplayıcıların rotalama ve sıralama probleminin	MH	TSP bazlı sezgiseller	T	D	D
2011	T.C. Poon, K.L. Choy, F.T.S. Chan, G.T.S. Ho, A. Gunasekaran, H.C.W. Lau, H.K.H. Chow	A real-time warehouse operations planning system for small batch replenishment problems in production environment								X				X						Küçük partilerin ikmaline ilişkin problemlerin çözümü için gerçek zamanlı bir depo planlama sisteminin oluşturulması	MH,S	GA, simülasyon	T	P	D
2010	G. Alpan, A. Ladier, R. Lehu, B. Penz	Heuristic solutions for transshipment problems in multiple door cross docking warehouse											X							Çapraz sevkiyat yapılan bir depoda kamyon değiştime maliyeti ve stokta tutma maliyetini minimize edecek sevkiyat çizelgesini oluşturan sezgisellerin geliştirilmesi	H	Sezgiseller	C	D	D
2009	K.J. Roodbergen, J.F.A. Vis	A survey of literature on automated storage and retrieval systems					X			X					X	X	X	X	X	Sen 30 yıla ilişkin AS/RS konusunda literatür taramasının yapılması	K	Literatür taraması	-	-	-
2009	J.C. Pan, M. Wu	A study of storage assignment problem for an order picking time in a pick-and-pass warehousing system									X	X								Sevkiyat çizelgesinin belirlenmesi ile bir sipariş toplayıcının beklenen uzaklığının belirlenmesine yönelik analitik bir model geliştirilmesi, bu model doğrultusunda kullanılan 3 algoritma ile malzemelerin	A	Algoritma (optimal çözüm)	C	P	D
2010	T. Demirel, N.Ç. Demirel, C. Kahraman	Multi-criteria warehouse location selection using Choquet integral approach to solving the uncapacitated warehouse location problem		X																Türkiye'deki bir lojistik şirketi için gerçek bir depo yeri seçimi probleminin çözülmesi	A	MCDM yöntemi (Choquet integral)	T	P	D
2010	T. Cüre	approach to solving the uncapacitated warehouse location problem		X																Sınırsız kapasiteli depo yeri seçimi problemi (UWLP) için lokal arama algoritmasının geliştirilmesi	MH	Sezgiseller (local arama algoritması)	T	D	D
1985	J. Ashayeri, F. Gelders	Warehouse design optimization	X																	Depo tasarım metodolojisine ilişkin literatür taramasının yapılması	K	Literatür taraması	-	-	-
1992	G. Cormier, E.A. Gunn	A review of warehouse models			X	X		X		X		X		X						Depo tasarımlarına ilişkin literatür taramasının yapılması	K	Literatür taraması	-	-	-

Çizelge A.2 : Yöntem ayrıntısına ulaşamayan çalışmalar.

Yıl	Yazar(lar)	Çalışmanın Adı	Stratejik Düzey						Taktik Düzey				Operasyonel Düzey						Amaç	Yöntem				
			Depo Tasarım Metodolojisi	Depo Yeri Seçimi	Depolama Kapasitesi (Sizing)	Depo Yerleşimi (Dimensioning)	Otomatik Depolama Sistemi (AS/RS) Tasarımı	Depolama Sistemi Tasarımı	Ekipman Seçimi	Depolama Politikaları	Organizasyon	Sipariş Toplama	Mal Kabul ve Sevkiyat (Receiving & Shipping)	Parti Oluşturma (Batching)	Ayırma/Sınıflandırma (Sorting)	Bekleme (Dwell) Noktası Belirlenmesi	Otomatik Depolama Sistemi (AS/RS) İşletimi	Depolama, Rotalama ve Sıralama	Çalışmanın Amacı	Analitik (A) / Simülasyon (S) / Sezgiseller (H) / Metasezgiseller (MH) / Kavramsal (K)	Yöntemin Detayı	Tek amaçlı (T) / Çok amaçlı (C)	Deterministik (D) / Probabilistik (P)	Statik (S) / Dinamik (D)
1980	Y. Bassan, Y. Roll, M.J. Rosenblatt	Internal layout design of a warehouse				X													Taşıma maliyetlerini minimize eden ve alanı optimize eden depo yerleşiminin belirlenmesi	A	Analitik model (optimal çözüm)			
1996	R. De Koster	On the design of a high capacity pick-and-pass order picking system										X							Maksimum işlem hacmi için sipariş toplama sisteminin tasarlanması	A	Analitik model			
1996	Y.A. Bozer, J.A. White	A generalized design and performance analysis model for end-of-aisle order picking systems										X							Yukarıdaki çalışmadaki algoritmanın sipariş toplama sistemlerinin diğer konfigürasyonları için genelleştirilmesi	A,H	Analitik model, algoritma			
1980	Y. Karasawa, H. Nakayama, S. Dohi	Trade-off analysis for optimal design of automated warehouses				X	X												Performansı artırmak amacıyla ekonomik AS/RS tasarımının yapılması	A	Lineer olmayan karma IP			
1984	Y.A. Bozer, J.A. White	Travel time models for automated storage/retrieval systems					X												AS/RS'in dolaşım süresinin belirlenmesi	A	Analitik model			
1995	S.U. Randhawa, R. Shroff	Simulation based design evaluation of unit load automated storage and retrieval systems					X												Maksimum işlem hacmi, yanıt süresi, depolama kapasitesi, giridi/çıkıti noktası yerleşimi kısıtları altında AS/RS boyutlarının belirlenmesi	S	Simülasyon			
1987	R.J. Linn, R.A. Wysk	An analysis of control strategies for an automated storage/retrieval system					X			X						X	X	X	AS/RS'in bekleme (dwell) noktası, depolama politikası ve çekme sırasına ilişkin bir karar ağacının önerilmesi	S	Simülasyon			
1990	R.J. Linn, R.A. Wysk	An expert system framework for automated storage and retrieval system control					X												AS/RS'in operasyonel kontrolü için uzman sistem önerilmesi	S	Simülasyon			
1982	J.S. Pliskin, D. Dori	Ranking alternative warehouse area assignments: a multiattribute approach				X													7 farklı depo yerleşimi için çok ölçütlü analiz ve değerlendirmeler için prosedür geliştirilmesi	A	MCDM yöntemi			
1979	R.D. Armstrong, W.D. Cook, A.L. Salpe	Optimal batching in a semi-automated order picking system												X					Ayırma/sınıflandırma sisteminde parti oluşturma algoritmalarının değerlendirilmesi	A	Karma IP			
1988	H. Hwang, M.K. Lee	Order batching algorithms for a man-on-board automated storage and retrieval system												X			X		AS/RS için parti oluşturma algoritmalarının belirlenmesi	S	Simülasyon			
1996	M.R. Wilhelm, J.L. Shaw	An empirical study of the closest open location rule for AS/RS storage assignments								X							X		AS/RS için depolama politikalarının belirlenmesi	H	En yakın açık yer kuralı			
1990	R. Jaikumar, M.M. Solomon	Dynamic operational policies in an automated warehouse								X									AS/RS için malzeme yer değişikliklerinin analizi	A	Algoritma (optimal çözüm)			

Çizelge A.2 (devam) : Yöntem ayrıntısına ulaşılmayan çalışmalar.

Yıl	Yazar(lar)	Çalışmanın Adı	Stratejik Düzey					Taktik Düzey				Operasyonel Düzey							Amaç	Yöntem				
			Depo Tasarım Metodolojisi	Depo Yeri Seçimi	Depolama Kapasitesi (Sizing)	Depo Yerleşimi (Dimensioning)	Otomatik Depolama Sistemi (AS/RS) Tasarımı	Depolama Sistemi Tasarımı	Ekipman Seçimi	Depolama Politikaları	Organizasyon	Sipariş Toplama	Mal Kabul ve Sevkiyat (Receiving & Shipping)	Parti Oluşturma (Batching)	Ayrırma/Sınıflandırma (Sorting)	Bekleme (Dwell) Noktası Belirlenmesi	Otomatik Depolama Sistemi (AS/RS) İşletimi	Depolama, Rotalama ve Sıralama	Çalışmanın Amacı	Analitik (A) / Simülasyon (S) / Sezgiseller (H) / Metasezgiseller (MH) / Kavramsal (K)	Yöntemin Detayı	Tek amaçlı (T) / Çok Amaçlı (C)	Deterministik (D) / Probabilistik (P)	Statik (S) / Dinamik (D)
1988	A. Kaylan, D.J. Medeiros	Analysis of storage policies for miniload AS/AR								X							X		Mini yük taşıma ve depolama sistemlerinin depolama politikalarının analizi	S	Simülasyon			
1988	M. Goetschalckx, H.D. Ratliff	An efficient algorithm to cluster order picking items in a wide aisle																X	Konvansiyonel depoda rotalama analizi	A,H	Analitik yöntem, algoritma			
1988	M. Goetschalckx, H.D. Ratliff	Order picking in an aisle																X	Konvansiyonel depoda rotalama analizi	A	Analitik model			
1983	H.D. Ratliff, A.S. Rosenthal	Order-picking in a rectangular warehouse																X	Maksimum işlem hacmi için konvansiyonel deponun rotalama analizi	MH	DP bazlı algoritma			
1986	J.J. Kanet, R. Gonzalo, Remirez	Optimal stock picking decisions in automated storage retrieval system															X	X	AS/RS için sıralama politikalarının değerlendirilmesi	A	Karma 0-1 IP			
1987	M.H. Han, L.F. McGinnis, J.S. Shieh, J.A. White	On sequencing retrievals in an automated storage/retrieval system															X	X	AS/RS için en yakın yol ve komşu politikalarının analizi	MH,S	NNH, simülasyon			
1988	D.L. Van Oudheusden, Y.J.J. Tzen, H.T. Ko	Improving storage and other picking in a person-on-board AS/R system															X	X	AS/RS için depolama ve sıralama probleminin analizi	S	Simülasyon			
1978	L.B. Schwarz, S.C. Graves, W.H. Hausman	Scheduling policies for automatic warehousing systems: simulation results															X	X	AS/RS'in depolama ve sıralama politikalarının bir fonksiyonu olarak tanımlanan maksimum işlem hacmi için simülasyon çalışmasının yapılması	S	Simülasyon			
1990	S.T. Hackman, M.J. Rosenblatt	Allocating items to an automated storage and retrieval system															X		AS/RS için toplam malzeme taşıma maliyetlerini minimize eden malzeme rezervasyonunun oluşturulması	H	Sezgiseller (Sırt çantası problemi)			
1972	A.J. Maillette, R.L. Francis	A generalized assignment approach to optimal facility layout				X				X									COI depolama politikalarının optimal olmadığını belirten varsayımların belirlenmesi ile tek komutlu COI kurallarının oluşturulması	K	Genel çözüm yaklaşımı			
1987	C.J. Malmberg, B. Krishnakumar	On the optimality of the cube per order index for conventional warehouses with dual command cycles								X									Sipariş toplama için optimum çift komutlu COI kurallarının belirlenmesi	A	Analitik model (optimal çözüm)			
1996	R.G. Vickson, A. Fujimoto	Optimal storage locations in a carousel storage and retrieval system								X							X		Bir karuzel için COI kurallarının belirlenmesi	A	Analitik model (optimal çözüm)			
1996	H. Brynzer, M. Johansson	Storage location assignment: using the product structure to reduce order picking times								X									Aynı siparişte diğerlerine göre daha fazla geçen malzemelerin depolama alanlarına tayin edilmesi Parti büyüklüğü ve depo alanı tayin problemlerini birlikte dikkate alarak toplam malzeme taşıma maliyetlerinin optimize edilmesi	H,S	Cluster analizi, alan doldurma eğrisi (space filling curve, peano curve segiseli),			
1977	H.G. Wilson	Order quantity, product popularity, and the location of stock in a warehouse								X										A,H	Analitik yöntem, algoritma			
1982	T.J. Hodgson, T.J. Lowe	Production lot sizing with material handling cost considerations								X									Depolama alanı problemi için parti büyüklüğü modelinin geliştirilmesi	A,H	Analitik yöntem, algoritma			

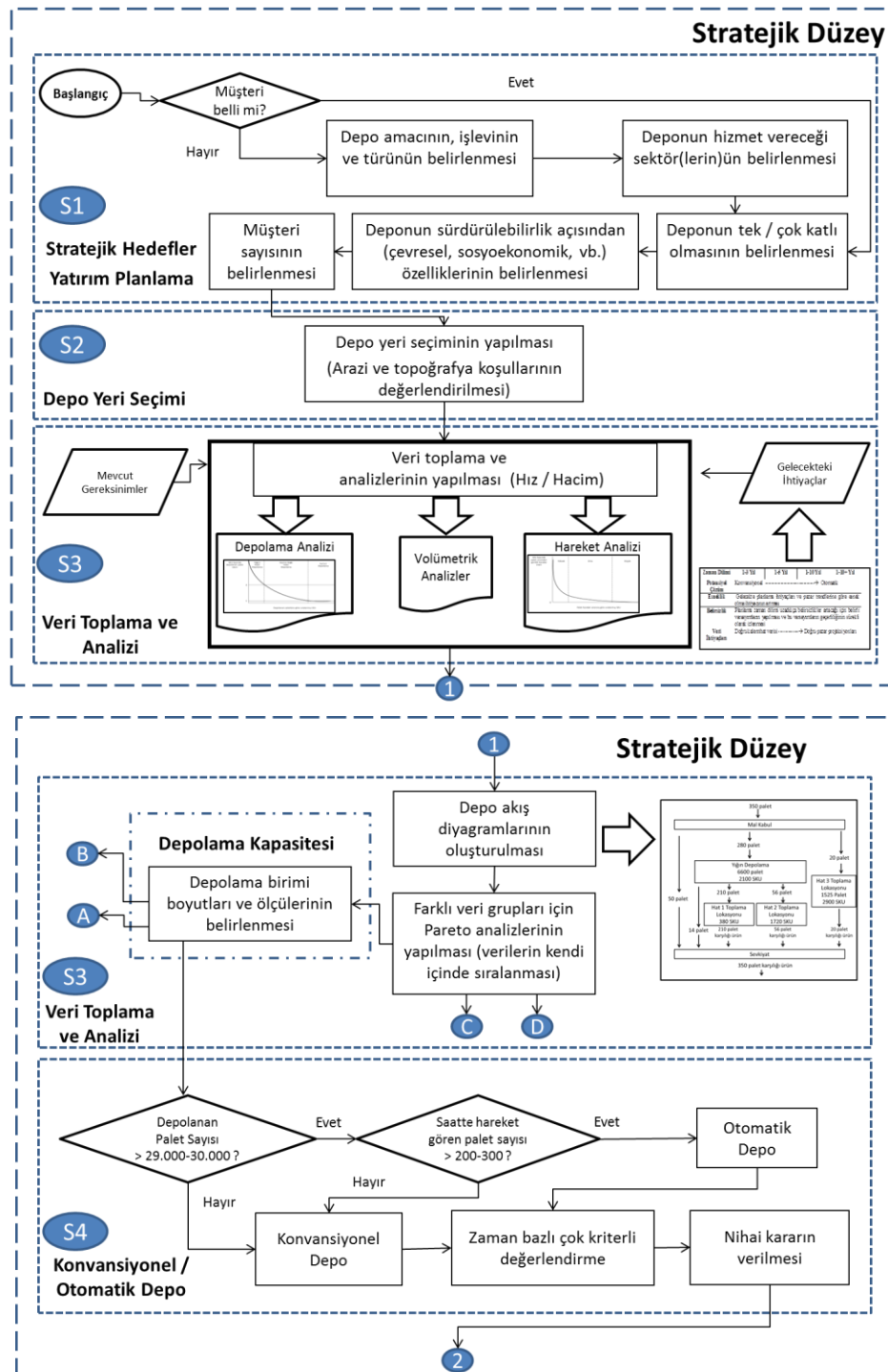
Çizelge A.2 (devam) : Yöntem ayrıntısına ulaşılmayan çalışmalar.

Yıl	Yazar(lar)	Çalışmanın Adı	Stratejik Düzey						Taktik Düzey				Operasyonel Düzey						Amaç	Yöntem				
			Depo Tasarım Metodolojisi	Depo Yeri Seçimi	Depolama Kapasitesi (Sizing)	Depo Yerleşimi (Dimensioning)	Otomatik Depolama Sistemi (AS/RS) Tasarımı	Depolama Sistemi Tasarımı	Ekipman Seçimi	Depolama Politikaları	Organizasyon	Sipariş Toplama	Mal Kabul ve Sevkiyat (Receiving & Shipping)	Parti Oluşturma (Batching)	Ayrırma/Sınıflandırma (Sorting)	Bekleme (Dwell) Noktası Belirlenmesi	Otomatik Depolama Sistemi (AS/RS) İşletimi	Depolama, Rotalama ve Sıralama		Analitik (A) / Simülasyon (S) / Sezgiseller (H) / Metasezgiseller (MH) / Kavramsal (K)	Yöntemin Detayı	Tek amaçlı (T) / Çok amaçlı (C)	Deterministik (D) / Probabilistik (P)	Statik (S) / Dinamik (D)
1988	C.J. Malmberg, S.J. Deutsch	A stock location model for dual address order picking systems								X									Çift adresli sipariş toplama sistemlerinin depolama alanlarının belirlenmesi için bir model geliştirilmesi	A	Analitik model			
1972	N. Christofides, I. Colloff	The rearrangement of items in a warehouse								X								X	Malzemelerin belirlenmiş hedef adreslere yeniden yerleştirilmesi esnasında dinamik depolama alanı tayini problemine ilişkin toplam maliyeti minimize eden rotanın belirlenmesi	H	Sezgiseller			
1993	H. Hwang, J.Y. Song	Sequencing picking operations and travel time models for man-on-board storage and retrieval warehousing system															X	X	İnsanlı (person-on-board) AS/RS için rotalama ve sıralama probleminin çözülmesi	H,S	Sezgiseller (combined hull sezgiseli), simülasyon			
1994	B.R. Sarker, L. Mann, J.D. Santos	Evaluation of a class based storage scheduling technique applied to a dual shuttle automated storage and retrieval systems															X	X	Sınıf bazlı depolamada çift komutlu mini yük AS/RS'in sıralama probleminin çözülmesi	MH	NNH			
1992	J.B. Ghosh, C.E. Wells	Optimal retrieval strategies for carousel conveyors															X	X	Karuzel sistemlerinin sıralama probleminin çözülmesi	A	DP			
1988	U.P. Wen, D.T. Chang	Picking rules for a carousel conveyor in an automated warehouse															X	X	2 boyutlu karuzel sistemine ait rotalama ve sıralama probleminin çözümü için 3 sezgiselin önerilmesi	H	Sezgiseller			
1971	J.A. White, R.L. Francis	Normative models for some warehouse sizing problems			X														Belirli bir planlama ufunda bir ürünün depolama alanı için oluşan stokastik talep bazında depolama kapasitesinin belirlenmesi	A	LP			
1979	T.J. Lowe, R.L. Francis, E.W. Reinhardt	A greedy network flow algorithm for a warehouse leasing problem			X														Belirli bir planlama ufunda bir ürünün depolama alanı için oluşan stokastik talep bazında depolama kapasitesinin belirlenmesi	A	LP (ağ akış problemi çözümü, optimal çözüm)			
1974	J. Levy	The optimal size of a storage facility			X														Depo inşa, stokta tutma ve ikmal maliyetlerini içeren stok maliyet modelleri ile depolama kapasitesinin belirlenmesi	A	Analitik yöntem			
1972	S.D. Roberts, R. Reed	Optimal warehouse bay configurations				X													Depolama bölümlerine ilişkin yerleşim probleminin inşa, işletme ve malzeme taşıma maliyetlerini optimize etmek doğrultusunda çözülmesi	A	LP			
1988	M.K. Lee, H. Hwang	An approach in the design of a unit load automated carousel storage system				X	X												AS/RS konfigürasyonunda inşa ve operasyon maliyetlerinin optimize edilmesi	A	Lineer olmayan LP			

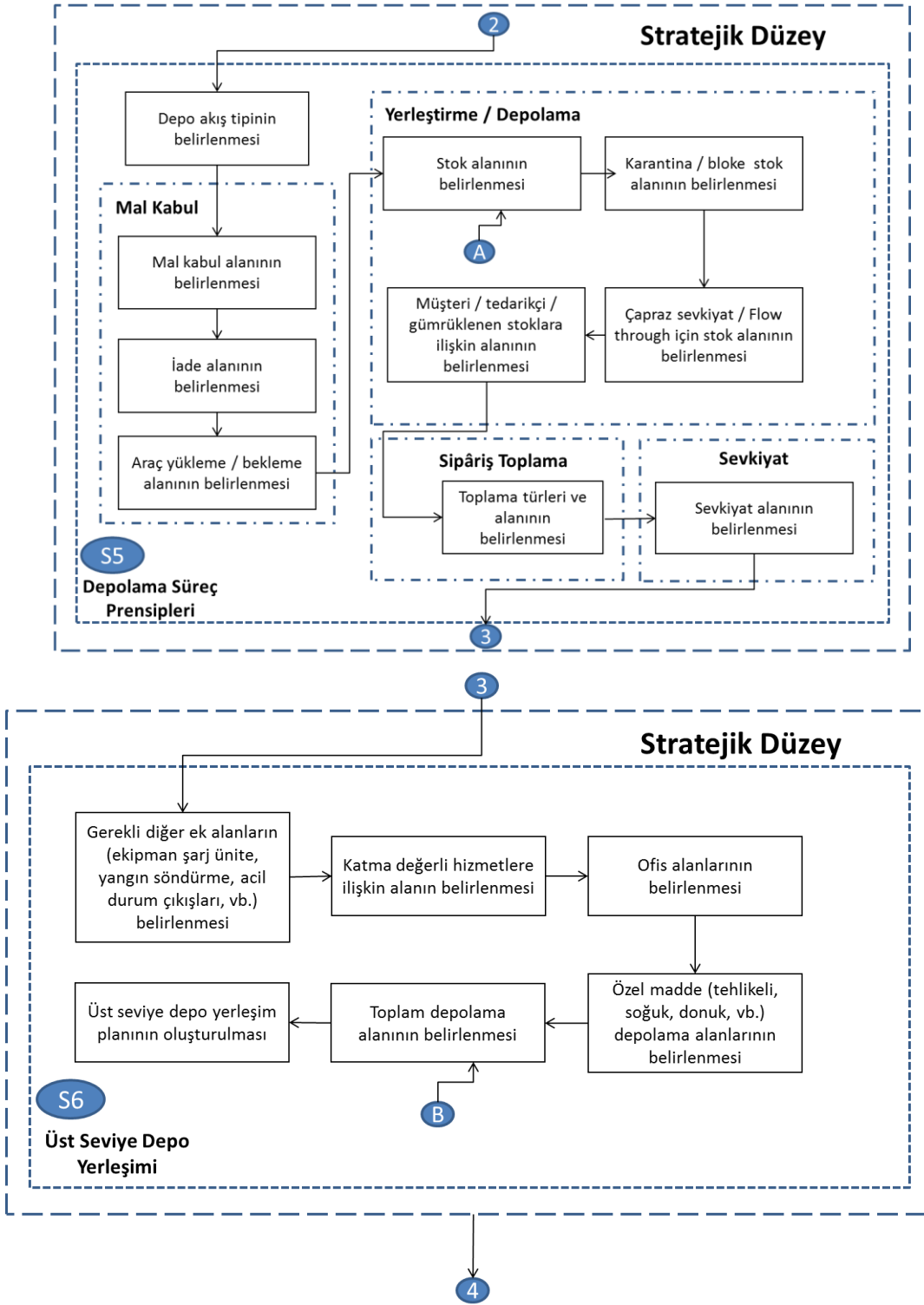
Çizelge A.3 : Tam metnine ulaşılmayan çalışmalar.

Yıl	Yazar(lar)	Çalışmanın Adı
1988	J. Ashayeri, M. Goetschalckx	Analysis and design of order picking systems
1994	G.P. Sharp, R. Kittell, K. Hollender	Economics of storage/retrieval systems for item picking
1991	R. Schmidt	Satellitenlagersysteme - leistungsbestimmung und betriebsstrategien
1985	I. Mardix, G.P. Sharp	Cost and efficiency analysis of the carousel storage system
1990	G.P. Sharp, J. Eckert, D. Gibson	Order picking using horizontal carousels
1996	D. Spee	Automated order picking system with horizontal racks
1996	H. Stadler	Optimal dimensions for automated storage/retrieval systems
1985	Y.A. Bozer, G.P. Sharp	An empirical evaluation of a general purpose automated order accumulation and sortation system used in batch picking
1988	Y.A. Bozer, G.P. Sharp, M.A. Quiroz	An evaluation of alternative control strategies and design issues for automated order accumulation and sortation systems
1991	Y.A. Bozer, G.P. Sharp, M.A. Quiroz	Throughput analysis of order accumulation and sortation systems
1991	G.P. Sharp, R. Kittell, K. Hollender	Conveyor input/output systems for pallet AS/RS
1996	G. Grossman	Development of a mobile handling robot for packages
1996	G. Sharp, R. Handelsmann, D. Light, A. Yermeyev	Productivity and quality impacts of pick-to-light systems
1996	L.M. Bunde, R.J. Graves	The multi-liner palletizer material flow problem
1979	W.H. Marsh	Elements of block storage design
1983	Y. Roll, M.J. Rosenblatt	Random versus grouped storage policies and their effect on warehouse capacity
1985	J.J. Bartholdi, III L.K. Platzman	Design of efficient bin numbering schemes for automated warehouse carousel storage systems
1988	M. Yang	Analysis and optimization of class-based dedicated storage systems
1996	J. Ashayeri, R. Heutz, H.C. Veraart	A new approach for the determination of expected traveling time in an AS/RS under any assignment policy
1996	H. Stadler	An operational planning concept for deep lane storage systems
1989	M. Guenov, R. Raeside	Real time optimization of man on board order-picking
1987	G. Cormier	On the scheduling of order-picking operations in single-aisle automated storage and retrieval systems
1985	Y.A. Bozer	Optimizing throughput performance in designing order picking systems
1963	J.L. Heskett	Cube-per-order index - a key to warehouse stock location
1964	J.L. Heskett	Putting the cube-per-order index to work in warehouse layout
1987	Y. Roll, M.J. Rosenblatt	Shifting in warehouses
1973	T. Gudehus	Principles of order picking: operations in distribution and warehousing systems
1988	M. Goetschalckx, H.D. Ratliff	Sequencing picking operations in a man-on-board order picking system
1987	M.H. Han, L.F. McGinnis, J.A. White	Analysis of rotary pack operation
1967	R.L. Francis	On some problems of rectangular warehouse design and layout
1965	J.J. Moder, H.M. Thornton	Quantitative analysis of the factors affecting floor space utilization of palletized storage
1996	H.A. Zollinger	Expanded methodology to concept horizontal transportation problem solutions
1981	J.A. White, N.A. DeMars, J.O. Matson	Optimizing storage system selection
1981	J.O. Matson, J.A. White	Storage system optimization

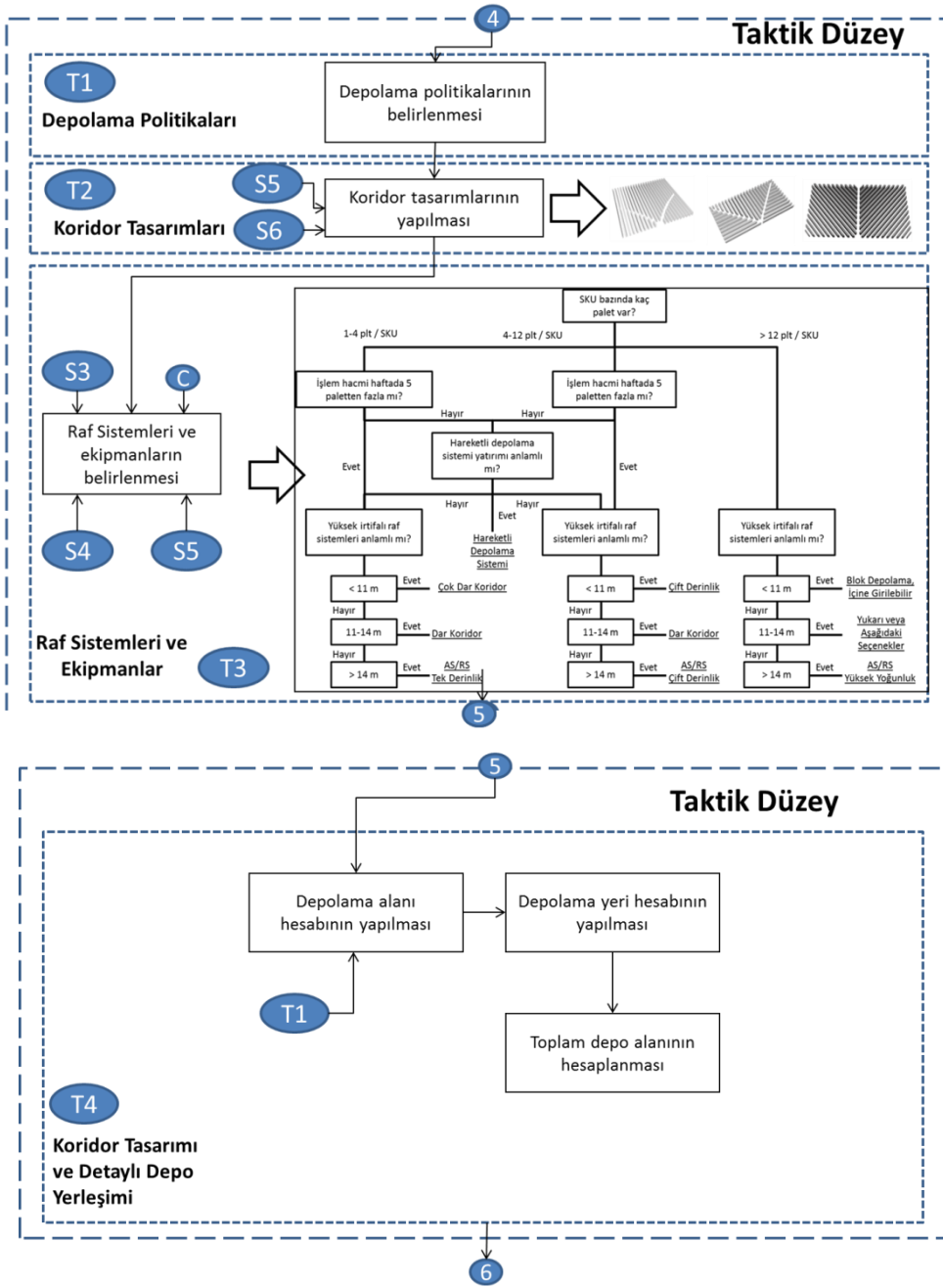
EK B: Hiyerarşik Depo Tasarım Yöntembilimi



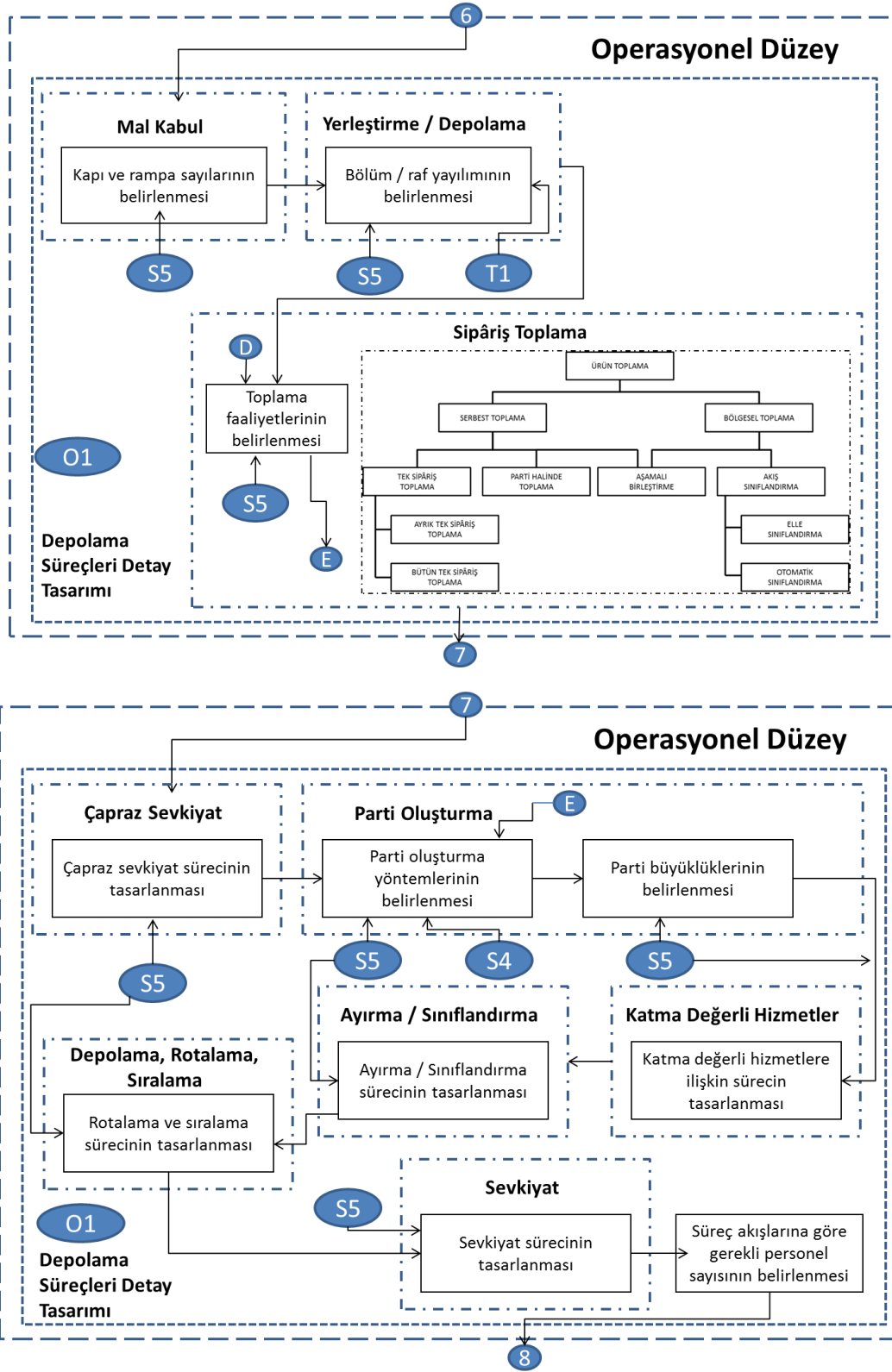
Şekil B.1 : Hiyerarşik depo tasarım yöntembilimi iş akışı.



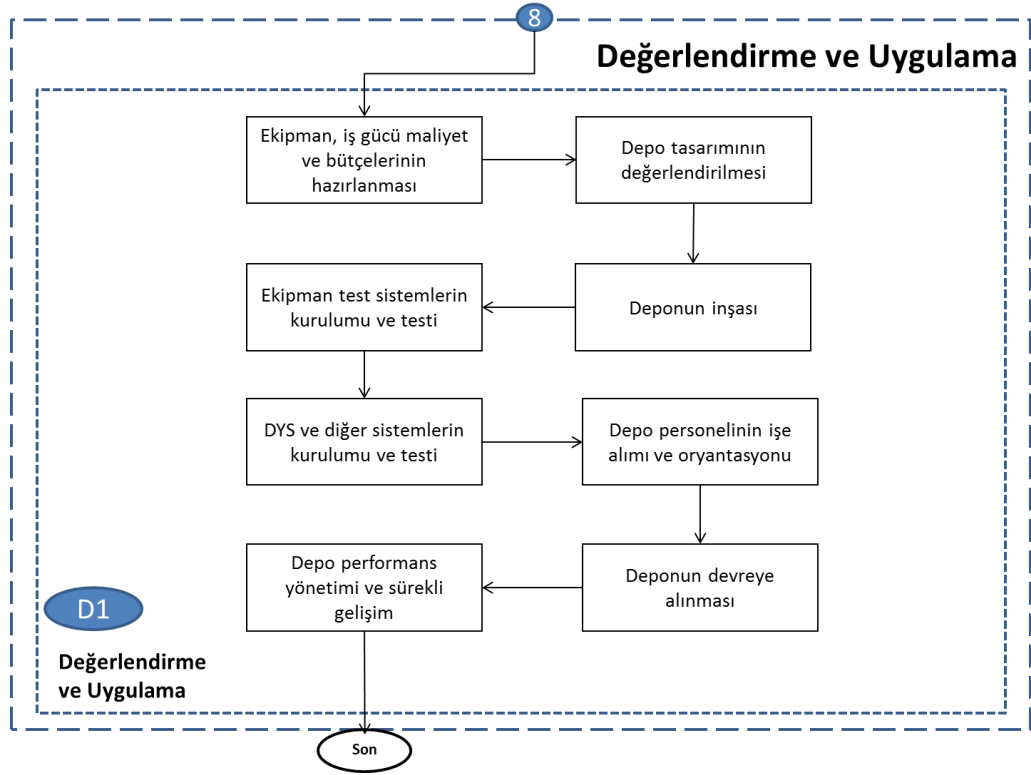
Şekil B.1 (devam): Hiyerarşik depo tasarım yöntembilimi iş akışı.



Şekil B.1 (devam): Hiyerarşik depo tasarım yöntembilimi iş akışı.



Şekil B.1 (devam): Hiyerarşik depo tasarım yöntembilimi iş akışı.



Şekil B.1 (devam): Hiyerarşik depo tasarım yöntembilimi iş akışı.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: İsmail KARAKIŞ
Doğum Yeri ve Tarihi: Denizli / 04.03.1981
Adres: Kadıköy / İSTANBUL
E-Posta: ismail.karakis@gmail.com
Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi / Endüstri
Mühendisliği
Yüksek Lisans : İstanbul Teknik Üniversitesi / Endüstri
Mühendisliği - Mühendislik Yönetimi

Mesleki Deneyim ve Ödüller: İsmail KARAKIŞ, 9 yılı aşkın bir süredir stratejik satınalma, tedârik yönetimi, stok ve depo yönetimi başta olmak üzere tedârik zinciri yönetimi ve lojistik konularında strateji, organizasyon, süreç / operasyon modeli analizi, tasarımı ve iyileştirme ile teknoloji konularında yönetim danışmanı olarak çalışmaktadır.

Yayın ve Patent Listesi:

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- **Karakış, İ.**, Baskak, M., Tanyaş, M., (2013). Dağıtım merkezi depolarına ilişkin hiyerarşik depo tasarım metodolojisi. *Lojistik Dergisi*, 28, 26-35.
- **Karakış, İ.**, Baskak, M., Tanyaş, M., 2013: Conventional / Automatic Warehouse Decision Problem: An Analytical Model. *Proceedings of XI. International Logistics and Supply Chain Congress*, November 07-09, 2013 Cappadocia & Kayseri, Turkey.

- **Karakış, İ.**, Baskak, M., Tanyaş, M., 2013: Hiyerarşik Depo Tasarımında Konvansiyonel/otomatik Depo Karar Verme Problemi İçin Analitik Bir Model Önerisi. *II. Ulusal Lojistik ve Tedârik Zinciri Kongresi Bildiriler Kitabı*, Mayıs 16-18, 2013 Aksaray, Türkiye.
- **Karakış, İ.**, Baskak, M., Tanyaş, M., 2012: A Hierarchical Warehouse Design Approach for Distribution Centers. *Proceedings of X. International Logistics and Supply Chain Congress*, November 08-09, 2012 İstanbul, Turkey.
- **Karakış, İ.**, Baskak, M., Tanyaş, M., 2012: Depo Tasarımı Problemleri: Literatür Araştırması ve Türkiye'deki Uygulamalar. *I. Ulusal Lojistik ve Tedârik Zinciri Kongresi Bildiriler Kitabı*, Mayıs 10-12, 2012 Konya, Türkiye.
- **Karakış, İ.**, Baskak, M., Tanyaş, M., 2011: Warehouse Design: A Comprehensive Literature Review. *Proceedings of IX. International Logistics and Supply Chain Congress*, October 27-29, 2011 İzmir, Turkey.