

HAVA HARP OKULU
HAVACILIK VE UZAY TEKNOLOJİLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENVANTER SINIFLANDIRMA TABANLI DEPO İÇİ YERLEŞİM
PLANLAMASI VE BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Behlül ŞENER

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Başkanlığı
Yöneylem Araştırması Programı

HAZİRAN 2015



**HAVA H ARP OKULU
HAVACILIK VE UZAY TEKNOLOJİLERİ
ENSTİTÜSÜ**



**ENVANTER SINIFLANDIRMA TABANLI DEPO İÇİ YERLEŞİM
PLANLAMASI VE BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Behlül ŞENER

(313102)

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Başkanlığı

Yöneylem Araştırması Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Umut Rıfat TUZKAYA

HAZİRAN 2015

Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsünün 313102 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Behlül ŞENER**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra Umut Rıfat TUZKAYA danışmanlığında hazırladığı “**Envanter Sınıflandırma Tabanlı Depo İçi Yerleşim Planlaması ve Bir Uygulama**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Umut Rıfat TUZKAYA**

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Adı SOYADI**

Prof. Dr. Adı SOYADI

Prof. Dr. Adı SOYADI

Teslim Tarihi : **15 Mayıs 2015**

Savunma Tarihi : **23 Haziran 2015**

Bu tez çalışmasında belirtilen görüş ve yorumlar yazara aittir. Türk Silahlı Kuvvetleri'nin ya da diğer kamu kuruluşlarının görüşlerini yansıtmaz. Ayrıca bu tez çalışması bilimsel ahlak ve etik değerlere uygun olarak yazılmış olup, yararlanılan tüm eserler kaynaklarda gösterilmiştir.

Haziran 2015

Behlül ŞENER

Aileme,

ÖNSÖZ

Deponun ve depolamanın günümüz lojistik ağındaki önemi ve oynadığı rol giderek artmaktadır. Dolayısıyla deponun yönetiminin ve etkinliğinin sürekli geliştirilmesi ilginin yoğun olduğu karar alanlarıdır. Bu kapsamda depo tasarımı ve depo tasarımını oluşturan karar seviyeleri ayrıntılandırılarak sahip olunan deponun, işletmenin tedarik zinciri içindeki rolüne uygun yapılandırılması ve işletilmesi mümkün kılınmaktadır.

Bu tezin hazırlanmasındaki tüm aşamalarda benden yardımlarını esirgemeyen değerli danışmanım Doç. Dr. Umut Rıfat TUZKAYA'ya ve her daim desteklerini hissettiğim aileme çok teşekkür ederim.

Haziran 2015

Behlül ŞENER

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı.....	3
1.2. Literatür Araştırması.....	4
1.3. Hipotez.....	19
2. DEPO VE STOK YÖNETİMİ.....	21
2.1. Depo ve Depo Yönetimi.....	21
2.1.1. Depo tanımı.....	22
2.1.2. Depo çeşitleri.....	23
2.1.3. Deponun işlevleri.....	30
2.1.4. Depo faaliyetleri.....	32
2.1.4.1. Ürün kabul.....	34
2.1.4.2. Art alan depolama.....	34
2.1.4.3. Sipariş toplama.....	35
2.1.4.4. Ayırıştırma.....	35
2.1.4.5. Siparişi derleme ve katma değerli hizmetler.....	35
2.1.4.6. Düzenleme ve sevkiyat.....	35
2.1.5. Deponun tedarik zincirindeki rolü ve önemi.....	35
2.1.5.1. Envanter saklama yeri.....	38
2.1.5.2. Konsolidasyon merkezi.....	38
2.1.5.3. Çapraz sevkiyat merkezi.....	38
2.1.5.4. Ayırıştırma merkezi.....	38
2.1.5.5. Montaj tesisi.....	38

2.1.5.6. Uluslararası Aktarma noktası.....	39
2.1.5.7. İade ürünler merkezi.....	39
2.1.6. Depolamaya duyulan ihtiyacın nedenleri.....	39
2.1.7. Depolamayı etkileyen stratejik konular.....	40
2.1.7.1. Pazar/Endüstri eğilimleri.....	41
2.1.7.2. İşletme amaçları.....	41
2.1.7.3. İş planı.....	41
2.1.7.4. Tedarik zinciri stratejisi.....	41
2.1.7.5. Diğer ilgili stratejiler.....	42
2.1.7.6. Müşteri hizmet seviyeleri.....	42
2.1.7.7. Dış etkenler.....	42
2.1.8. Depo maliyetleri.....	42
2.1.8.1. Depo faaliyetlerinin maliyeti.....	42
2.1.8.2. Depo işletme maliyeti.....	43
2.1.9. Depo sahipliği.....	43
2.1.9.1. Özmal depolar.....	44
2.1.9.2. Genel depolar.....	45
2.1.9.3. Anlaşmalı (3PL) depolar.....	46
2.1.10. Kullanılacak depo sayısına karar verme.....	46
2.1.11. Depolarda alan kullanımı.....	46
2.1.12. Depo yönetimi.....	47
2.2. Stok Yönetimi.....	50
3. DEPO TASARIMI	53
3.1. Depo Tasarımına Gereksinim ve Amaçlar.....	53
3.2. Tasarım Süreci.....	55
3.3. Depo Tasarımında Karar Seviyeleri.....	57
3.3.1. Stratejik seviye kararlar.....	60
3.3.1.1. Depolama alt sistemlerinin tasarımı.....	60
3.3.1.2. Ürün kabul ve gönderme alt sistemlerinin tasarımı.....	66
3.3.1.3. Malzeme elleçleme sistemlerinin tasarımı.....	68
3.3.2. Taktik seviye kararlar.....	72
3.3.2.1. Bekleme noktası (Dwell point) tasarımı.....	72
3.3.2.2. Ön ve art alan kullanımı.....	73
3.3.2.3. Depolama politikaları.....	74
3.3.2.4. Ürün yerleşimi.....	76

3.3.3. Operasyonel seviye kararlar	78
3.3.3.1. Sipariş toplama	78
3.3.3.2. Ayırıştırma	85
3.3.3.3. Paketleme	86
4. ENVANTER SINIFLANDIRMA TABANLI DEPO İÇİ YERLEŞİM PLANLAMASI.....	89
4.1. Kullanılan Teknikler	89
4.1.1. Envanter sınıflandırma	89
4.1.2. R-modeli	91
4.1.3. Çapraz değerlendirme tabanlı ağırlıklı doğrusal optimizasyon	92
4.1.4. DEMATEL yöntemi	94
4.2. Bir Kamu Kurumu Deposunda Envanter Sınıflandırma Tabanlı Ürün Yerleşimi	96
4.2.1. R-modeli ile sınıflandırma	101
4.2.2. ÇDTADO ile sınıflandırma	102
4.2.3. Entegre DEMATEL ve ÇDTADO ile sınıflandırma	103
4.2.4. Ürün yerleşimi ve kıyaslama	107
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	113
KAYNAKLAR	115
EK A	135
EK B	144
ÖZGEÇMİŞ.....	147

KISALTMALAR

SKU	: Stock Keeping Unit (Stok tutma Birimi)
LTL	: Less Than Truck Load (Parsiyel Yk)
FTL	: Full Truck Load (Tam Yk)
3PL	: Third Party Logistics (3'nc Parti Lojistik)
COI	: Cube-per-Order-Index
TSP	: Travelling Salesman Problem (Gezgin Satıcı Problemi)
RFID	: Radio Frequency Identification (Radyo Frekanslı Tanılama Sistemi)
AHP	: Analytical Hierarchy Process (Analitik Hiyerarşı Prosesi)
DEA	: Data Envelopment Analysis (Veri Zarflama Analizi)
TOPSIS	: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
AS/RS	: Automated Storage and Retrieval System (Otomasyonlu Depolama ve Toplama Sistemleri)
ÇDTADO	: Çapraz Değerlendirme Tabanlı Ağırlıklı Doğrusal Optimizasyon

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1: Envanter sınıflandırma oranları.....	11
Çizelge 1.2: Çok kriterli ABC envanter sınıflandırması hakkındaki çalışmalar.....	16
Çizelge 3.1: Depo Tasarımında Amaçlar.....	55
Çizelge 3.2: Literatürdeki depo tasarım süreçleri (1973-2000).....	58
Çizelge 3.3: Literatürdeki depo tasarım süreçleri (2000-2006)	59
Çizelge 3.4: Tasarım firmalarının kullandıkları tasarım süreçleri.....	60
Çizelge 4.1: İkili karşılaştırma ölçeği.....	95
Çizelge 4.2: Ürünlerin kriterler altındaki performansları.....	99
Çizelge 4.3: R-modeli ile sınıflandırma.....	101
Çizelge 4.4: ÇDTADO ile sınıflandırma.....	102
Çizelge 4.5: Birinci karar vericinin doğrudan ilişki puanları.....	103
Çizelge 4.6: İkinci karar vericinin doğrudan ilişki puanları.....	103
Çizelge 4.7: Üçüncü karar vericinin doğrudan ilişki puanları.....	104
Çizelge 4.8: Doğrudan ilişki matrisi.....	104
Çizelge 4.9: Normalleştirilmiş doğrudan ilişki matrisi.....	104
Çizelge 4.10: Toplam ilişki matrisi.....	105
Çizelge 4.11: Etkileyen ve etkilenen gruplar analizi.....	105
Çizelge 4.12: Entegre DEMATEL ve ÇDTADO ile sınıflandırma (eşik değer = 0,2).....	105
Çizelge 4.13: Entegre DEMATEL ve ÇDTADO ile sınıflandırma (eşik değer = 0,22).....	106
Çizelge 4.14: Entegre DEMATEL ve ÇDTADO ile sınıflandırma (eşik değer = 0,3).....	107
Çizelge 4.15: Gereken depo yeri sayısı ve elleçleme miktarı.....	108
Çizelge 4.16: Toplam yerleşim maliyetleri ve hesaplama süreleri.....	109
Çizelge A.1: ÇDTADO sıralaması sonucu yerleşim.....	134
Çizelge A.2: Entegre DEMATEL ve ÇDTADO sıralaması ile yerleşim (eşik değer=0,2).....	135
Çizelge A.3: Entegre DEMATEL ve ÇDTADO sıralaması ile yerleşim (eşik değer=0,22).....	137
Çizelge A.4: Entegre DEMATEL ve ÇDTADO sıralaması ile yerleşim (eşik değer=0,3).....	139

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1:	Ürünün lojistik ağdaki hareketi..... 22
Şekil 2.2:	Depo çeşitleri..... 26
Şekil 2.3:	Envanter bulundurma deposu faaliyetleri 34
Şekil 2.4:	Depo faaliyetlerinin maliyet oranları..... 43
Şekil 2.5:	Depo alternatiflerinin değerlendirilmesi..... 44
Şekil 2.6:	Alan Kullanımı..... 47
Şekil 3.1:	Depo tasarımında karar seviyeleri..... 57
Şekil 3.2:	U-tipi depo yerleşimi..... 62
Şekil 3.3:	L-tipi depo yerleşimi..... 62
Şekil 3.4:	Akış tipi depo yerleşimi..... 62
Şekil 3.5:	Depo boyutları..... 63
Şekil 3.6:	Koridor Tasarımları..... 64
Şekil 3.7:	Farklı istif araçları için koridor genişlikleri..... 65
Şekil 3.8:	Dok yerleşimi..... 67
Şekil 3.9:	Dokun yeri..... 68
Şekil 3.10:	Toplayıcının süre dağılımı..... 79
Şekil 3.11:	Sipariş toplama politikaları..... 79
Şekil 3.12:	Toplayıcının ürüne gittiği sistemler..... 80
Şekil 3.13:	Ürünün toplayıcıya geldiği sistemler..... 80
Şekil 3.14:	Birleştirilmiş sistemler..... 81
Şekil 3.15:	Sezgisel yöntemler..... 85
Şekil 4.1:	Raf düzeni..... 97
Şekil 4.2:	Depo krokisi..... 97
Şekil 4.3:	Geliştirilen yönteme ait iş akışı..... 98
Şekil B.1:	ÇDTADO hesaplaması ekran görüntüsü..... 142
Şekil B.2:	Entegre DEMATEL ve ÇDTADO hesaplaması ekran görüntüsü (eşik değeri=0,2)..... 142
Şekil B.3:	Entegre DEMATEL ve ÇDTADO hesaplaması ekran görüntüsü (eşik değeri=0,22)..... 142
Şekil B.4:	Entegre DEMATEL ve ÇDTADO hesaplaması ekran görüntüsü (eşik değeri=0,3)..... 142

ENVANTER SINIFLANDIRMA TABANLI DEPO İÇİ YERLEŞİM PLANLAMASI VE BİR UYGULAMA

ÖZET

Günümüzde lojistik süreçlerdeki rekabet işletmeler arası boyuttan tedarik zincirleri arası boyuta taşınmış durumdadır. Tedarik zincirlerinin bir bütün halinde gösterdikleri performans müşteri hizmet seviyesinin yüksekliği ve bu seviyenin devamlılığı ile ölçülmektedir. İlk tedarikçiden son müşteriye kadar olan tüm ara nokta ve hareket kanallarında malzeme akışı etkinlikle sağlanırken maliyetlerin de aynı şekilde en küçüklenmesi tüm tedarik zincirinin ortak ana hedefini oluşturmaktadır. Dolayısıyla tedarik zincirini oluşturan tüm öğelerin lojistik ağ içindeki üstlendikleri rollerini aynı etkinlik ve düşük maliyet anlayışı çerçevesinde gerçekleştirmeleri gerekmektedir.

Tedarik zinciri içinde varlığı geleneksel bakış açısıyla tartışmaya açık olarak görülen depolar ise; ölçek ekonomisi yönetimi, müşteri taleplerindeki dalgalanmalar ve taşımacılık maliyetlerindeki tasarruf imkânları gibi konuların fark edilmesiyle birlikte günümüzde lojistik ağın vazgeçilemez unsurlarından biri olmuş konumdadır. Deponun lojistik süreçler boyunca etkili bir araç olarak kullanılabilmesi için sağladığı kolaylıklardan faydalanırken maliyetlerinin de en alt seviyeye indirgenmesi gerekmektedir. İşletmenin tedarik zinciri içindeki rolü ve lojistik süreçlerdeki görevi dikkate alınarak sahip olunacak depo ile uyumunun sağlanması şarttır.

İşletme ve deponun uyumunun sağlanması depo tasarımı ile mümkündür. Depo tasarımı; depo yeri seçiminden siparişleri müşteriye gönderilmek üzere araçlara yüklemeleri öncesi yapılan paketleme politikalarına kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. İyi bir depo tasarımının yapılabilmesi için işletmenin tedarik zinciri içindeki rollerinin ve gerçekleştirdiği lojistik süreçlerin en ince ayrıntısına kadar tanınması gereklidir. Tasarım süresince karar vericiler ve çalışanların fikirleri daima tasarım sürecine dâhil edilmelidir. Tasarımın temelini oluşturan diğer bir konu ise veri toplamadır. Toplanan verilerin doğruluğu ve netliği yapılacak olan tasarımın başarısı üzerinde doğrudan etkiye sahiptir.

Depo tasarımı belirli bir plan içinde yürütülmek adına üç farklı karar seviyesinde alınacak kararlar doğrultusunda gerçekleştirilir. Bu karar seviyeleri; stratejik, taktik ve operasyonel seviye olarak isimlendirilirler. Stratejik seviye kararlar, işletmenin uzun vadeli planları kapsamında oluşturulan ve etkisi geniş çapta olan köklü kararlardır. Bu kararların kısa zamanda değişikliğe uğraması oldukça güç ve maliyetlidir. Taktik seviye kararlar, orta vadeli planlar çerçevesinde oluşturulan stratejik seviyeye göre nispeten daha küçük çapta etkiye sahip ancak tekrar düzenlenmesi yine oldukça güç ve sistemde önemli değişikliklere sebep olacak kararlardır. Nihayetinde operasyonel seviye kararlar ise daha çok cari işler ve süreçler üzerine etkisi olan verimli olmadığı veya verimliliğini yitirdiği durumlarda daha rahat değiştirilebilen kararlardır.

Bu tez çalışmasında taktik seviye kararlar kapsamına giren envanter sınıflandırma ve bu doğrultuda gerçekleştirilecek olan ürün yerleşimi üzerinde durulmuştur. İşletmenin sahip olduğu bütün envantere aynı oranda özen gösterebilmesinin mümkün olmadığı inkâr edilemez bir durumdur. Bu nedenle ürün ve süreçlerin özellikleri ile çalışanların tecrübeleri doğrultusunda karar vericiler tarafından belirlenen kriterlere göre envanterin sınıflara ayrılarak yönetilmesi daha etkili bir yöntemdir.

Envanter sınıflandırma genellikle Pareto analizine dayalı bir teknik olan ABC analizi kullanılarak yapılmaktadır. Bu hususta önemli olan ürünlerin sınıflara nasıl ayrılacağı konusudur. Literatürde envanter sınıflandırma için; basit matematiksel modeller, matrisler, çeşitli sezgisel yöntemler, bulanık mantık, AHP, TOPSIS, doğrusal olmayan programlama ve doğrusal programlama gibi birçok farklı yöntem kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında daha önce literatürde sunulmuş ve başka çalışmalarca da geliştirilmiş bir doğrusal programlama modeli üzerinde DEMATEL metodu yardımıyla yeni bir gelişim uygulanarak envanter sınıflandırmasına gidilmiştir. Envanter sınıflandırmasını müteakiben mevcut sınıflar göz önüne alınarak ürünlerin depo içinde en düşük elleçleme maliyetini verecekleri şekilde depo yerlerine yerleşimi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak kıyaslamalara bakıldığında; öncül modelle aynı etkinlikte bir sıralamanın daha az hesaplama, daha az süre ve daha az hata ihtimaliyle aynı veya daha düşük yerleşim maliyeti oluşturacak şekilde elde edilebildiği gösterilmiştir.

INVENTORY CLASSIFICATION BASED WAREHOUSE LAYOUT PLANNING: A CASE STUDY

SUMMARY

Rivalry in logistic processes, today, has come into an inter-supply chains issue rather than inter-companies. The performance, which is fulfilled by the whole supply chain, is measured by continuity and degree of customer service level. While product flow is provided in all nodes and movement channels from the first supplier to last customer, minimizing the cost in the same way is the common and main target of all supply chain. Thus undertaken roles of all elements of supply chain should be performed in the same mentality over efficiency and costs. Current logistics approaches force the companies to act in a team not as an individual actor in the market. Any strategy performed by the first supplier and its reaction from anywhere in the chain including customer effects the focal company's finance as well as processes and position in the market.

Warehouses, which are often seen as debatable by traditional point of view, nowadays has become indispensable elements of logistic networks by the companies realizing the issues just like management of economy of scale, fluctuations in customer demands and opportunity for saving in transportation. In order to use the warehouse as an efficient mean in the logistic processes, costs should be minimized while utilizing the benefits. The way of achieving this is providing the perfect synchronization of the warehouse with company's role and mission in the supply chain and logistic processes. Any defect in this issue will turn back as cost, failure and naturally heading down in the customer service level. If this synchronization is handled in a right way having and operating a warehouse will be beneficial, otherwise it will be a total load for the company why it requires large scales of investment and again causes big handling costs.

Providing the synchronization of warehouse with the company is possible via warehouse design. Warehouse design compasses a wide range of topics from the selection of warehouse location to the packaging operations in loading the goods to the trucks just before the dispatch. In order to perform a perfect warehouse design, company's logistic processes and role in the supply chain should be known meticulously. Any point missed from the designer's view will generate a problem in the latter steps. Bringing decision makers' and employees' thoughts in the design process will be complementary in this regard. Another issue forming the base of design procedure is obtaining data. Correctness and accuracy of obtained data has a direct impact on the warehouse design why all mathematical approaches as well as intuitive or verbal ones in the design procedure will be built on these data.

Warehouse design should be performed in a procedure and with decision levels and also should not miss any issue regarding the features of processes and goods. Warehouse design is performed in three decision levels in order to run the design process in a healthy plan. These decision levels are called as strategic, tactical and

operational levels. Strategic level decisions are made within the context of company's long period plans. These decisions are radical and have wide range effects, especially on the fundamentals of the company. Changing these decisions in the short term is so hard and costly. Strategic level decisions forms the identity of the warehouse in the supply chain and logistic processes. Tactical decisions are made up in the context of midterm plans of the company. This decision level has a lower range impact in comparison to strategic level, but again reorganization of the decisions is quite difficult and cause significant changes in the overall system. Ultimately as for operational level decisions, they have more impact on daily jobs and processes. These level decisions can be easily changed in case they are thought to be unprofitable or lost their productivity.

In this thesis; inventory classification, which is in the scope of the tactical level decisions, and product assignment, which is performed considering the classification, will be studied. Companies must have a strict control on inventory management in order to hold the required level of goods concerning the economy, and not to hold much more than needed. Buying the goods from the supplier and holding those in the inventory (land and handling) will be extra costs to the system. In order to avoid this situation companies must know what is in, what is out, how many they have, how many they should order and when to order exactly. To summarize companies must have a total domination on the inventory. In today's market conditions, companies have inventories of giant quantities of so many various goods in order to respond quickly to customer's various orders. It is quite certain that giving the equal importance to the entire inventory is impossible. Because of this, it is more efficient to manage the inventory by classifying the inventory according to the criteria made by decision makers in the context of features of goods and processes, and personnel's experiments.

Inventory is generally classified using ABC analysis which is based on Pareto analysis. In this classification inventory is consisted of three classes called as A, B and C. The most important items forms class A and should be controlled often, while class C is consisted of the least important items and should be controlled rarely. Lastly class B is consisted of items which are between these two groups. Dependent on decision makers' opinion, these classes can be increased and mid-groups can be made such as AA, BB and CC. In the literature, many different methods like simple mathematical model, matrices, various heuristics, fuzzy methods, AHP, TOPSIS, non-linear programming and linear programming are used to classify the inventory. In this thesis; an inventory classification is made by developing a linear model, which is previously presented and developed by different papers, via DEMATEL method. First, a model similar to data envelopment analysis (DEA), namely R-model, presented to classify the inventory. Latter, based on this R-model, an approach called Cross Evaluation Based Weighted Linear Optimization is presented. This model considers the peer estimation in the inventory. Considering peer estimation, enables this model to make a more accurate classification and provides the better weights of criteria. Lack of the second model is requiring so many calculations; so it needs so much calculation time and becomes susceptible to the faults. Unlike the general use as eliminating criteria in the literature, in this thesis DEMATEL is used for eliminating the items. Using the DEMATEL method, needed number of calculations can be reduced, so that calculation lasts less time and possibility of making mistake is reduced. After classifying the inventory, items' assignment to the slots is performed considering these classes. While assigning the

items to the slots, the main issue is minimizing the handling cost. Thus items are assigned to the slots on the basis of their handling costs and distance to the doors. As a consequence; a lineup, having the same efficiency with the former model, is obtained with less calculation, time and possibility of mistake when it is benchmarked. Also the lineup, offered in this thesis, causes same or less assignment costs. The main point here is stating the threshold value. There is no strict rule to set the threshold value. It's up to decision maker's experiment. A general opinion on that is eliminating one-third of the calculation. This is the only guiding principle about threshold value. In this thesis it is examined on three different threshold values and also they are benchmarked, too.

1. GİRİŞ

Depolar günümüzde tedarik zincirlerinin en hayati parçası konumuna gelmiş durumdadırlar. Ham madde veya yarı mamulden bitmiş ürüne kadar geçen süreçte tedarik üretim ve ürün dağıtımı gibi çeşitli amaçlarla depolar kullanılmakta olup müşteri hizmet seviyesinin en önde gelen belirleyici unsurlarından biri olduğu kabul edilmektedir.

İçinde bulunduğumuz dönemde bilgi teknolojilerindeki inanılmaz gelişim küreselleşmenin temel dinamiğini oluşturmaktadır. Bu gelişimin söz konusu rolünü gerçekleştirirken sergilediği en önemli özelliklerinden biri olan iletişimdeki hız, kolaylık ve etkinlik sayesinde dünyanın çok farklı yerlerindeki insanların veya şirketlerin mal, hizmet ve bilgi alışverişleri de imkân kazanmakla kalmayıp aynı oranda hız ve etkinlik de edinmiştir. Bu durumun doğal sonucu olarak işletmelerin rakipleri sadece bölgelerindeki diğer işletmeler olmaktan çıkıp her işletme küresel boyutta rekabetin içine girmiştir. Bu sebeple artan rekabet ortamında işletmeler müşteri odaklı düşünmenin kendilerini bulundukları pazarda ileri taşıyacak yegâne unsur olduğunu kavramışlardır. Bu düşünce sistemi ile hareket etmek isteyen işletmeler müşteri memnuniyetini tek başlarına sağlayabilmenin mümkün olmadığını ve bunun ancak tedarik zincirini iyi yöneterek ve bir bütün halinde hareket ederek olacağını kavramışlardır. Böylece rekabet işletmeler arası boyuttan tedarik zincirleri arası olan boyuta taşınmıştır. Tedarik zinciri içerisindeki her işletme kendi rolünü eksiksiz yerine getirmelidir, ancak bu şekilde işletmeler pazardan daha fazla pay alabilirler ve kârlılıklarını artırabilirler.

Depolar, işlevleri açısından bakıldığında tedarik zincirlerinin bütünleyici bir parçasıdırlar. Tedarik zincirinde yönetilmesi gereken pazar kararsızlığı, ürün yelpazesinin genişlemesi, müşteriye ürünün temin süresinin kısaltılmak istenmesi, ürün ömrünün kısılması vs. gibi hususların hepsi depoların paydayı oluşturduğu karar ortamlarında değerlendirilmektedir. Depolar bu hususlarda bazen kurtarıcı rolü üstlenebildiği gibi aynı zamanda maliyet açısından iyi yönetilmesi gereken araçlar konumundadır. Bu kapsamda değerlendirildiğinde depo tasarımı ve yönetimi önem

kazanmaktadır. Dolayısıyla depolar, müşteri memnuniyeti için gerekli olan hizmet seviyelerini karşılayabilmek için tedarik zinciri içinde maliyet açısından üzerinde durulan esas parçalardır. Depolar düşünüldüğünde doğal olarak çalışanlar ve araç-gereçler de hesaba katılması gereken unsurlardır. Dolayısıyla bazı durumlarda depolar en maliyetli unsurlar konumuna gelebilmektedir. Tüm bunlar göz önüne alındığında depoların yönetimi hem maliyet hem de hizmet seviyesi açısından ciddi anlamda önem kazanmaktadır.

Yapıları itibarıyla etkin ürün hareketi gerektiren ve ciddi şekilde yer kaybına sebep olan depolama günümüzde ayrı bir işletme faaliyeti olarak lojistik sistemlerde önemli bir yere sahiptir. Depolar sadece ürünleri daha sonra kullanmak veya sevk etmek için sakladığımız bir yer değil, aynı zamanda müşteri taleplerinin zamanında karşılanmasının önemli bir aşamasıdır.

Her ne kadar tam zamanında üretim ve benzeri teknikler uygulanmaya çalışılsa da lojistik süreçler içinde depolar halen vazgeçilmez olarak görülmektedir. Özellikle dağıtım ve yedek parça destekleri düşünüldüğünde depolama gerekli bir faaliyettir. Ürünler müşterinin siparişini bekler vaziyette stoklanmış vaziyette depoda bulundurulurken, yedek parçalar uzun süren ve maliyetli üretim aksaklıklarını engellemek amaçlı depolama gerekliliklerini işletmelere hissettirmektedirler. Bölgesel depolar işletmelere coğrafik olarak dağınık olan pazarlarına yüksek ürün hacmi ve/veya bölgedeki pazara özgün ürün yelpazesi ile yüksek temin hızıyla hizmet verebilme olanağı sağlamaktadır.

Depolama sıfır hızındaki taşıma olarak kabul edilmektedir. Depolama ve malzeme elleçleme faaliyetleri, işletmenin lojistik maliyetlerinin % 12-14'ünü oluşturmaktadır ki, bu da söz konusu faaliyetlerin dikkate değer olduklarını göz önüne sermektedir [1]. Tedarik zinciri içerisinde stratejik bir rol üstlenen depo yönetimi aynı zamanda ekipman, çalışanlar, alan kullanımı gibi gereksinimlerinin yanı sıra hizmet seviyesine olan etkisi göz önüne alındığında en yüksek maliyetli lojistik unsurdur. Ürünlerin özelliklerine, içinde bulundukları sektöre, talep büyüklüklerine vs. göre depolama işleminin gereksinimleri değişmektedir ve bu durumun doğal sonucu olarak da depolama maliyetleri de farklılık göstermektedir.

İşletmelerdeki karar verici ve süreç uzmanlarının depolanacak ürünleri ve depolama sistemleri iyi tanıması depolama ve hatta taşıma maliyetleri konusunda önemli

miktarda maliyet, iş gücü ve enerji tasarrufu sağlanması konusunda önemli bir etkidir. Dolayısıyla etkin bir depo yönetimi için depo tasarımının stratejik, taktik ve operasyonel seviyelerinde verilecek kararlar büyük önem arz etmektedir.

1.1. Tezin Amacı

Depolama işlevinde yönetilmesi gereken önemli unsur alan yönetimidir. Alan yönetimi depolama faaliyetindeki diğer tüm etkenlerin arasında maliyete ve hizmet seviyesine en büyük etkisi olan kısıtlı kaynaktır. Deponun içinde yanlış yerleştirilmiş ürünler, gereksiz alan kullanımı ile fazla kira bedellerinin yanı sıra fazladan iş gücü harcamalarına sebep olabilirler. Bunun yanında koridorun ortasında bulunan bir kolon veya rafların yerleşim düzeninin etkinliği gibi hususlar da alan kullanımına ve doğal olarak da depolama maliyetlerine etki etmektedir. Bu nedenle depo tasarımı önem kazanmaktadır. Depo tasarımı deponun inşasından sipariş toplama politikalarına kadar geniş bir karar alanını kapsamaktadır.

Depo tasarımı stratejik, taktik ve operasyonel seviye kararlarla gerçekleştirilir. Deponun tasarımına ve yönetimine ilişkin uzun vadeli planlar stratejik kararları oluştururken sırasıyla; taktik ve operasyonel kararlar ise orta ve kısa yani günlük işlere ilişkin planlama ve düzenlemeleri içerir. Bu çalışmada özellikle taktik kararlar kapsamında değerlendirilen ürünlerin sınıflandırılması ve yerleşimi irdelenecektir.

Bu bağlamda öncelikle envanter sınıflandırma yöntemine gidilecek olup devamında söz konusu ürünlerin kurulan doğrusal model yardımıyla depo yer tahsisi gerçekleştirilecektir. Böylece depo içerisinde ürünler, belirlenen kıstaslar esasıyla giriş/çıkış noktalarına göre depo yerlerine yerleştirilirler. Doğal olarak genel anlamda aranan minimum maliyet, minimum iş gücü, maksimum müşteri hizmet seviyesi gibi isterler eldeki envanter ve depo şartlarına göre sınıflandırma ve doğrusal model doğrultusunda yapılan işlemlerle sağlanmış olmaktadır. Diğer bir getiri ise envanter sınıflandırma yöntemiyle elde edilen bir politika yardımıyla depo yönetiminin daha etkin bir hale getirilmesidir. Elde edilen bu politika aynı zamanda ürün yerleşimin doğru yapılması hususunda da yardımcı rol üstlenmektedir. Esasen ürünlerin sınıflandırılmasının ve yer tahsisinin hesabında tüm isterler maliyetin en küçüklenmesi tabanında toplanabilir. Dolayısıyla gerek literatürde gerekse bu çalışmada maliyet özellikle sınıflandırma aşamasında ağırlıklı etkiye sahip durumdadır.

1.2. Literatür Araştırması

İşletmeler lojistik süreçlerdeki en maliyetli faaliyet olan depolama işlevini daha etkin kullanabilmek için iyi bir depo ve envanter yönetimine ihtiyaç duyarlar. Bu ihtiyacı gidermek için teknoloji, bilgisayar destekli depo yönetim sistemleri, envanter yönetim modelleri gibi yardımcıları kullanılır. RFID etiketler, ekonomik sipariş miktarı ve yeniden sipariş noktasının hesaplanması gibi yöntem ve uygulamalar ile depo yönetimi daha kolay, daha etkin ve daha az maliyetli hale getirilmeye çalışılmaktadır. İşletmelerin bu gayretleri doğrultusunda varmak istedikleri esas nokta depo ve depolama faaliyetleri üzerinde tam bir hâkimiyet sahibi olmaktır. Bu bağlamda; öncelikle depo ve depolama faaliyetlerini depo görevlileri, işletme ve işletmenin içinde bulunduğu lojistik süreçlere uyumlu hale getirmek ihtiyaç olunan bu hâkimiyeti sağlamakta önemli bir başlangıç noktası durumundadır. Depo yerinin seçimi, deponun inşası, şekli, raf yerleşim düzeni, kolon ve koridorların yeri, ürünlerin sınıflandırılması ve yerleşimi, sipariş toplama usulleri, ayrıştırma ve birleştirme yöntemleri gibi birçok karar noktasından oluşan depo tasarımı söz konusu başlangıç noktasını oluşturmakta ve etkin bir depo ve depolama faaliyeti yönetimi için anahtar durumundadır. Doğal olarak literatürde bu geniş konunun hemen her aşamasında birçok çeşitli yaklaşımlar sunan çalışmalar bulunmaktadır.

[2]'de depolama işlevinin temel faaliyetlerinden bahsetmiş ve devamında envanter seviyesinin sipariş toplama süresi üzerine olan etkisini vurgulayarak bu alanda mutlaka iyileştirilmeler yapılması gerektiğini vurgulamışlardır. Ayrıca malzeme elleçleme sistem türleri, ürün yer tahsisi ile depolardaki ön alan ve art alan depolama politikaları gibi karar alanlarına da değinmişlerdir. Depo tasarımı, yönetimi ve kontrolü hakkında bütünsel anlamda hazırlanmış diğer bazı çalışmalar ise şöyledir: [1], [3]–[20].

[21]'de öncelikle depo tasarımı hakkında bir literatür araştırmasını sunduktan sonra depo tasarımı metodolojisinin nasıl olması gerektiğini açıklamaya çalışmışlardır. [22]–[26] genel anlamda depo tasarımından ve nasıl yapılması gerektiğinden bahsedilen diğer bazı çalışmalardır. [27], [28] ise çalışmalarında bilgisayar yazılımları vasıtasıyla karar destek sistemlerinden faydalanarak depo tasarımı konusuna açıklık getirmek istemişlerdir.

Depo tasarımı; stratejik, taktik ve operasyonel seviye kararlardan oluşmaktadır [16]. Stratejik seviye kararlarda depo tasarımı uzun vadeli planları oluşturan kararlardır. Depo yeri seçimi, depo inşası, depo içi bölümlerin oluşturulması gibi çeşitli karar alanları bu seviyeye aittir. [29] Kore Cumhuriyeti Hava Kuvvetleri'nin lojistik süreçleri ve depolama faaliyetlerinin aksaklık yaşanmadan devamlılığının sağlanması amacıyla, yapısal denklik modeli adı verdikleri bir model yardımı ile söz konusu süreçlerdeki dinamikleri ve bu dinamikler arasındaki ilişkileri inceleyerek kısa, orta ve uzun vadede hangi konularda değişiklik veya gelişim göstermeleri gerektiğini bir plan olarak hazırlamışlardır. [30]'da akış tipi ve "u" tipi depolar için, deponun sahip olması gereken boyutlarını ve nasıl bir tasarım gerektirdiğini incelemişlerdir. Diğer taraftan [31] yine bir deponun boyutlarının nasıl olması gerektiğine değinmişlerdir. [32] ise deponun boyutlarının yanı sıra depo sahipliği ve envanter seviyesi gibi konuların depo ve depolama maliyetleri üzerine olan etkilerini göz önüne alarak depo kiralama seçeneğini değerlendirmiştir.

Ekipman seçimi, ekipman yenileme, ürün alan tahsisi, ürün yerleşimi, n ve art alan politikaları, raf tasarımı, depolama alanı boyutları, koridor tasarımı, toplama noktasının belirlenmesi, tahsisli, Rassal, sınıf bazlı veya işlem hacmi bazlı yerleşimden oluşan depolama politikalarının belirlenmesi, envanter sınıflandırma gibi karar alanları taktik seviye kararlarda meydana getirmektedir.

Günümüzde birçok işletme, iş gücü yoğunluğunun ve sipariş toplama maliyetlerinin düşürülmesi gibi sebeplerle depolarını n ve art alan olarak ikiye ayırmaktadır. Müşteri taleplerinin karşılandığı dağıtım sürecinde sıkça elleçleme gören malzemeler n alanda depolanırken, art alan çoğunlukla bu malzemelerin yeniden ikmaline olanak sağlamak için ürünlerin daha fazla sayıda ve genellikle daha büyük ambalajlar halinde saklandığı depo bölümlerini oluşturmaktadır. [33] depo içerisinde n ve art alanın ne kadar yer alması gerektiğini incelemiştir. n ve art alan arasındaki oranın önemli olduğunu ve bu oranın bulunmasında birim depolama alanı maliyeti ile birim yeniden ikmal maliyetlerinin etkili olduğunu savunmuştur. [34] ise makalelerinde n ve art alan tasarımından bahsederken n alanda ürünlere atanacak alanları da konularına dâhil etmişlerdir. [35] de konuya, benzer şekilde ürünlerin her bir alana tahsisini hesaplama düşüncesiyle yaklaşırken bahse konu alanlara çapraz depolama (cross-docking) alanını da eklemiştir. [36] ise n ve art alana sahip bir depoda her gün sipariş toplama öncesinde yeniden ikmal süresinin ayrıldığını tasarlayarak, bu

süreçte sipariş toplama için harcanacak olan ortalama iş gücünü en küçükleyecek en uygun yeniden ikmal politikasını belirme yoluna gitmiştir.

Raf tasarımı taktik seviye kararlar içerisindeki diğer bir husus olmakla birlikte sipariş toplama süresine doğrudan etkisi bulunan bir ögedir. [37] AS/RS kullanılan depolarda sipariş toplamak için dolaşma zamanını incelemiştir. Dolaşım zamanını incelerken, ABC envanter politikaları ve alternatif raf tasarımlarının bu dolaşım süresi üzerine olan etkilerini ayrıntılı sayısal verilerle ortaya koymuştur. [38] hareketli raflı AS/RS sistemlerinin işletimlerini incelemiştir. Her bir paletin işlem süresi ve maliyeti incelenmiş olup zaman açısından sabit raflı sistemlere göre kayda değer bir olumsuzluk gözlemlenmemiştir. Öte yandan maliyet kısmına bakıldığında; orta seviye bir istifle çalışan hareketli raf sistemine sahip AS/RS sisteminin, yüksek hızlı istif ile çalışan sabit raflı AS/RS sistemi ile kıyaslanabilir seviyede olduğu görülmüştür. AS/RS sistemine sahip depolarda birim yük ile çalışıldığında genellikle eşit boyutlu depolama alanları hesaba katılarak tasarım gerçekleştirilir. Oysa [39], günümüzdeki çok çeşitli ve değişken müşteri talepleri göz önüne alındığında bu hesabın yetersiz kalacağını ve modüler depo gözlemlerinden oluşan raf tasarımlarının işletmenin depolama kabiliyetine esneklik kazandıracağını savunmuştur. Bu sayede alan kullanımının etkinliği artırılırken değişik boyutlardaki ürünlerin depolanması da mümkün kılınmaktadır. [40], araç kullanan insanların çalıştığı AS/RS'lerde yinelemeli siparişlerin geldiği durumlar için raf tasarımı gerçekleştirmek için bir yaklaşım geliştirmişleridir. Ayırıştırma, atama ve dolaşan tezgâhtar algoritmalarından faydalanarak hazırladıkları yaklaşımlarını, sayısal benzetimler vasıtasıyla klasik düzenlemelerle kıyaslamışlar ve sonuç olarak bazı özel durumlarda dolaşım süresinde % 30'a varan tasarruflar elde edebilmişlerdir.

Taktik seviye depo tasarımında başka bir önemli konu da koridor tasarımıdır. [41], sınıf tabanlı depolama sisteminin uygulandığı bir depoda alandan faydalanmayı artırmak ve malzeme elleçleme işlemlerini azaltmak için koridor tasarımı ve depolama alanı boyutlarını belirlemeye çalışmıştır. Ele alınan depoda 20000 m²'den fazla alan tasarrufu ve malzeme elleçleme işlemlerinde yaklaşık %45 tasarruf sağlayabilmişlerdir. Günümüz depolarında teknolojinin giderek artan kullanımı ile AS/RS'ler önem kazanmıştır. Bu durumda AS/RS'lerin daha verimli kullanılabilmesi için [42], toplanan siparişlerin biriktirileceği noktanın ve dikine yer alan koridorun tespitinin önemini vurgulamıştır. Çok sınıflı yarı açık sıralı ağ teorisine dayalı belirli

analitik modeller kullanarak birikim noktası ve dikine koridorun bu verimliliğe olan etkisi araştırılmıştır. Sayısal çalışmalar doğru birikim noktasının seçimiyle depolama ve toplama işlemlerinde sırasıyla % 8 ve % 4 tasarruf sağlanabileceğini göstermiştir. Dikine koridorun yeri tespit edilirken literatürdeki çalışmaların aksine koridor sonunun değil, koridorun bulunduğu katmanda tamamen yerinin tespitinin önemli olduğu savunulmuştur ve ayrıntılı benzetim çalışmaları analitik modelin oldukça önemli iyileştirmeler sağlayabildiği belirtilmiştir. [43] ise farklı depolama ortamları kullanılan bir depoda alternatif depolama alanı krokileri için kıyaslama yapmıştır.

Taktik seviye kararların içerisinde en önemli alanlardan biri de ürün yerleşimidir. Depo içerisinde ürünlere alan tahsisi sipariş toplama ve müşteri hizmet seviyesi gibi ögelerle doğrudan etkileşim içerisinde. Doğal olarak ürün yerleşimi için çok çeşitli yöntemler ile araştırmalar yapılmıştır. Bu yöntemlerden biri olan COI (Cube-per-order-index) kullanım kolaylığı ile oldukça yaygın konumdadır. [44]'de COI'nin L-şekilli veya boru tipi (organ pipe) gibi diğer yöntemlere nazaran üstünlüğünden bahsedilirken COI hakkında geniş biçimde bilgi verilmiştir. COI yönteminin anlatıldığı diğer çalışmalar ise [45]–[50] 'dir. Ürün yerleşiminde yoğunlukla kullanılan yöntemlerden biri de sezgisel (heuristics) yöntemlerdir. [51]'de depo işletme maliyetine en büyük katkısı olan sipariş toplama işlemini iyileştirmek için ürün yerleşimi safhasına önem verilmesi gerektiği savunulmuştur. Söz konusu çalışmada MDA (Minimum Delay Algorithm) adı verilen sezgisel yöntem ile ürünler depoda yerleştirilmiştir. Bu algoritma ile toplayıcının en az yürüyeceği mesafe hedeflenmiştir. Yapılan örnek durum çalışmasında öne sürülen algoritmanın doğrusal programlama ve COI gibi diğer bazı yöntemlerle kıyaslanarak geçerliliği sınanmıştır. [52]–[68] sezgisel yöntem ile ürün yerleşimi konusunda olan diğer bazı çalışmalardır. Dinamik programlama da ürün yerleşimi için kullanılan tekniklerden biridir. [69], her bir depo yerinde tek bir ürünün bulunduğu bir depoda siparişleri tek tek toplayan toplayıcıları göz önüne alarak ürün yerleşimi, toplayıcının başlangıç yeri noktası ve ürünlerin toplayıcılara tahsisi konularının hepsini bir arada iyileştirmek için açgözlü algoritmadan (Greedy Approach) oluşan bir dinamik programlama hazırlamışlardır. Hazırladıkları bu dinamik programlanın birkaç farklı sipariş toplama stratejisinde işe yaradığını savunmuşlardır. [70], ürünlerin SKU'lar (Stock Keeping Unit) halinde depolandığı ve sipariş toplamanın da bu şekilde yapıldığı ve aynı zamanda bir tane dikine koridorun olduğu bir depoyu ele alarak ürün yerleşimi

için bir dinamik programlama yöntemi geliştirmişlerdir. Daha sonra bu dinamik programlama yöntemini geliştirerek iki adet sezgisel yöntem oluşturmuşlar ve yaptıkları kıyaslamada bu sezgisel yöntemlerden birinin diğeri yöntemlere nazaran daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Yöntemlerini sınamak adına hatalı verilerle de hesaplama yapmışlar ve yine de yöntemlerinin doğru çalıştığını göstermişlerdir. [71] ise yerleşik bir depoda ürünlerin yeniden yerleştirilmesi için iki adet dinamik programlama yöntemi sunmuştur. [72]'de depodaki her bir ürün için doğru envanter seviyesinin tutulması ve ürünlerin depoda doğru yerleştirilmesinin önemi vurgulanırken, söz konusu yerleşime ilişkin büyükten kğe doğru ve dört aşamadan oluşan bir hiyerarşik yöntem uygulanmıştır. [73]'de kütüphanedeki kitaplar, dijital ortamdaki nesneler veya bir atölyede kullanılacak olan takım-avadanlık gibi yinelemeli siparişlere sebebiyet verecek ürünlerin depolandığı bir depo dikkate alınarak nasıl bir depo krokisi ve depolama politikasına sahip olunması gerektiğı tartişılmıştır. Basamaklı şekilde düzenlenen depo yerlerinin bu tarz ürünleri depolamak için en uygun kroki olduğı savunulurken, ürünlerin tahsisli depolama ile mi yoksa depolama sürelerine göre mi depolanması gerektiğı tartişılmış ve sonunda depolama sürelerine göre depolamanın daha uygun olduğı savunulmuştur. Bu politika ile ürün yerleşimi için karışık tam sayılı programlama içeren bir model kurulmuştur. Bu politika ile atıl duruma düşen ürünlerin de takibinin kolaylıkla yapılabilereğı ve gerektiğı vakit depolamaktan vazgeilebileceğı belirtilmiştir.

Literatürdeki diğeri bir ürün yerleştirme tekniğı ise doğrusal programlamadır. [16], ürünlerin ilgili kapılar vasıtasıyla olan ellelemelerini, bu kapılara olan mesafelerini ve gereken depo yeri sayısını hesaba katarak oluşturduğı model ile minimum sipariş toplama maliyeti amacıyla ürün yerleşimini yapmıştır. [20] de benzer şekilde bir doğrusal model kurmuş, ancak iki kapıya sahip bir depoda bir kapıdan giriş ve bir kapıdan çıkış olması veya tek kapılı bir depoda doğal olarak aynı kapıdan hem giriş hem de çıkış yapılması durumları için modeli basite indirgemmiştir. Bu durumda her bir kapı aracılığıyla yapılan toplam elleçleme sayısı ile o kapının her bir depo yerine uzaklığının çarpımı kkten byğe sıralanırken, her bir ürünün gördüğü toplam elleçleme hacminin o ürün için gerekli toplam depo yeri sayısına bölümü büyükten kğe doğru sıralanır ve bu iki sıralama eşleştirilir. Böylece her bir ürün sırasıyla tüm depo yerlerine atanır. [74]'te sipariş toplama için gereken iş gücünü en küçükleme amacıyla ve ürünlerin ağırlıklarının da göz ardı edilmediğı bir doğrusal

model kurulmuştur. Bu model kullanılarak yapılan hesaplamadaki sonuçlar COI tekniği ile bulunan sonuçlarla kıyaslanmış ve insan sağlığı açısından bakıldığında daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür. [75]'te dağıtım süresi, envanter seviyesi ve lojistik maliyetleri en küçüklerken müşteri hizmet seviyesini en büyükmek amacıyla bir doğrusal model kurulmuştur. Devamında bu model örnek bir durumla çalışılmış ve aynı örnek durum yine geliştirilen başka bir sezgisel yöntemle de çalışılarak sonuçlar kıyaslanmıştır. [35]'de depo içerisinde ön ve art alanların boyutları, ürünlerin bu alanlara atanması ve ürünlerin depo yerlerine yerleşimlerini gerçekleştiren bir doğrusal model kurulmuştur. Daha büyük ürün sayısına sahip depolarda hesaplama süresini kısaltmak için bu model geliştirilerek başka bir doğrusal model kurulurken örneğin 3000 ve üzeri gibi oldukça fazla sayıda ürüne sahip depolar için ise sezgisel bir yöntem kurulmuştur.

Depolama politikasını genel olarak belirlemek de taktik seviye kararlara dâhil bir husustur. Tahsisli depolama, rastgele depolama, sınıf esaslı depolama ve devir hızı / işlem hacmi esaslı depolama gibi depolama politikaları mevcuttur. [76]'te tahsisli ve rassal yerleşim politikaları toplam depolama alanı ihtiyacı, sistem cevabı ve sipariş toplama çevrim süreleri açısından kıyaslanmıştır. Hesaplanan farklı örneklerde genellikle sipariş toplama çevrim zamanı açısından tahsisli yerleşim daha avantajlı görünse de depolama alanı açısından rassal yerleşim öne çıkmaktadır. Günümüzde depolarda otomatik sistemlerin ve bilgisayar kontrollü istif araçlarının artmasıyla [77]'de bu depolara ilişkin olarak çoklu ürünlerin aynı palete atanması (palet ataması), paletlerdeki ürünlerin depo yerlerine atanması (ürün yerleşimi) ve depolama ve toplama taleplerinin sıraya konması kuralları gibi konulara değinilmiştir. Aynı çalışmada depolama politikası olarak rassal, sınıf tabanlı ve devir hızı tabanlı yerleşim politikaları dikkate alınmıştır. Sonuç olarak devir hızı tabanlı yerleşim politikası kullanıldığında özellikle istif aracının dolaşım mesafesi / süresi açısından ciddi anlamda tasarruf edilebileceği belirtilmiştir. [78]'de öncelikle rassal ve tahsisli yerleşim politikalarının avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir. Otomasyon kullanılmayan depolar üzerine çalışılmak istenildiği için rassal yerleşimin mümkün olmayacağı düşüncesiyle örnek durum çalışması için ele alınan depoda tahsisli yerleşimi uygun görmüşlerdir. “Vertex Colouring Problem” adını verdikleri tam sayılı programlama yaklaşımı ile depoda ürün yerleşimini gerçekleştirmişlerdir. Amaç fonksiyonu olarak alan yeri kullanımını en küçükmeyi

ele alırken, uyumsuz ürünlerin beraber depolanmaması şartını da kısıtlardan biri olarak kabul etmişlerdir. Yaptıkları yerleşim sonucunda rassal yerleşimle kullanılabilecek kadar alan kullanımı sağlamayı başarmışlardır. [79]'da konveyör sistemine ve her bir seferde yalnız bir palet taşıyabilen, depolama ve toplama işlemlerini yapabilen ve sabit işlem verilerine sahip bir makineye sahip bir depodaki ürünler iki sınıfa ayrılarak sınıf bazlı yerleşime tabii tutulmuşlardır. Yapılan matematiksel hesaplamalarda rassal ve sınıf esaslı yerleşimlere ait sipariş çevrim süreleri dikkate alındığında sınıf esaslı yerleşimin daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. [80]'de, literatürdeki sınıf esaslı yerleşime ilişkin çalışmaların öncelikle sipariş toplama maliyeti üzerine yoğunlaşıp alan kullanımı maliyetini göz ardı ettikleri belirtilmiştir. Ayrıca yine bu çalışmalarda sınıfların COI esasına göre sınıflandırıldığı ve böylece oluşturulması muhtemel ve daha iyi sonuçlar verebilecek başka sınıfların elde edilemediği anlatılmıştır. [80]'de, muhtemel envanter sınıflandırmaları, alan kullanım ve sipariş toplama maliyetlerinin hepsi için kurulan tam sayılı programlama modelini çözmek üzere bir benzetilmiş tavlama yaklaşımı kullanılmıştır. Rastgele üretilen veriler üzerinde denenen model daha sonra endüstriyel bir örnek durumda da kullanılmış ve COI tekniği kullanan bir dinamik programlama yöntemine göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. [81]'de sınıf esaslı depolama kararlarının gerekli depolama alanı ve malzeme elleçleme maliyetleri üzerine önemli etkilerinin olduğu belirtilmiştir. Bu durumu daha iyi yönetebilmek adına bir doğrusal olmayan tam sayılı programlama modeli kurmuşlardır. Depolama alanında yapılacak olan tasarrufun sipariş toplama ve alan kullanımı maliyetleri üzerine olan etkileri de modele dâhil edilmiştir. Kurulan modeli çözmek üzere bir dal sınır algoritması geliştirilmiş olup bu model önce rastgele üretilen veriler, sonra da endüstriyel bir örnek durum üzerinde denenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde kurulan modelin ve yaklaşımın, temel seviye bir dinamik programlama modeline göre daha etkin olduğu ve sınıf esaslı yerleşimin tahsisli yerleşim politikasına göre toplam sipariş toplama ve alan kullanımı maliyetleri açısından daha az maliyetli olduğu görülmüştür.

Sınıf esaslı yerleşim politikasında dikkat edilmesi gereken hususlardan biri de sınıfların nasıl oluşturulacağıdır. Envanter sınıflandırma, depo ve depolama faaliyetleri yönetimi açısından kolaylık sağlamak ve envanter üzerindeki kontrolü sağlamak için etkili bir tekniktir. Bu teknik ile ürünleri karar vericilerin belirlediği

sayıda sınıflara ayırarak gerek gözden geçirme gerekse hassasiyet veya daha başka birçok hususu belirli politikalar çerçevesinde yönetmek mümkündür. Envanterdeki ürünleri sınıflandırmada kullanılan en bilindik yöntem ABC analizidir. ABC sınıflandırma sistemi 1950'lerde General Electric firmasında geliştirilmiş olup Pareto analizi esasına dayanmaktadır. Pareto analizi; İtalyan ekonomist Vilfredo Pareto tarafından ortaya konulmuş olup insanların % 20'sinin toplam zenginliğin %80'ine sahip olduğu savına dayanmaktadır. ABC analizi esnasında söz konusu yüzde değerleri literatürdeki çalışmalarda genellikle karar vericinin inisiyatifine bırakılmıştır. Örneğin ABC sınıflandırma konusundaki çalışmaların öncülerinden olan [82], yaptıkları çalışmada karar vericinin yönlendirmesi doğrultusunda Çizelge 1.1'de belirtildiği gibi yüzdeler kullanmıştır.

Çizelge 1.1: Eenvanter sınıflandırma oranları [82].

	A Sınıfı	B Sınıfı	C Sınıfı
Ürün Sayısı	10	14	23
Ürün Yüzdesi	% 21,3	% 29,8	% 48,9
Kullanım Yüzdesi	% 73,6	% 18,9	% 7,5

Bir depoda binlerce kalem ürün bulunabilmektedir. Dolayısıyla envanterin yönetimi git gide güçleşmektedir. Bu gibi bir durumda yönetici; elindeki geniş envanteri etkin bir şekilde planlayabilmek, denetleyebilmek ve yönetebilmek için akılcı bir envanter sınıflandırma yöntemine ihtiyaç duyar. En çok başvurulanan envanter sınıflandırma yöntemi ise Pareto analizi tabanlı olan ABC sınıflandırma yöntemidir. Klasik ABC yönteminde birim fiyat ile yıllık talep hacminin çarpımından elde edilen yıllık harcanan paraya göre sıralamalar ve müteakiben sınıflandırma yapılmıştır. Yalnız orta boyutlu bir işletmenin bile binlerce kalem ürünü depoladığı düşünülürse envanter sınıflandırmada sadece yıllık harcanan paranın kriter olarak ele alınmasının yeterli olmayacağı aşîkârdır. Nitekim [83], [84] ikili karşılaştırma matrisi kullanımıyla iki kıstas etkisi altında sınıflandırmanın yolunu göstermişlerdir. Yalnız daha fazla kıstasla işlem yapılması gerektiği vakit bu yöntem de yetersiz kalmaktadır. Nihayetinde ortalama birim maliyet, temin süresi, parça kritikliği, ikame olanağı, dayanıklılık, talep dağılımı vs. gibi daha birçok ölçüt yönetici tarafından değerlendirmeye alınmak istenebilir. [85], envanter yöneticilerinin doğrusal optimizasyon modelleri kullanmadan ABC sınıflandırması yapması olanağı sağlayan bir model geliştirdi (Ng-model). Ng-model'de hesaplanan envanter skoru ağırlıklardan bağımsız olarak elde edilir. Böyle bir hesaplamada ürünleri

sınıflandırmak için belirlenen kriterlerin ağırlıklarına yer verilmemesi nedeniyle sınıfların belirlenmesinde hatalar olabilmektedir. [86] ise Ng-modeli geliştirmek üzere yaptığı çalışmada doğrusal olmayan bir model (HV-model) sunuldu. Yalnız sunulan bu modelde de karar vericilerden kriter ağırlıklarını sıralamaları istenmesi yöntemin nesnelliğini kaybetmesine sebebiyet vermektedir. [87] ABC envanter sınıflandırmasını bulanık mantığı kullanarak uygulamaya çalışmıştır. Bulanık mantık vasıtasıyla sayısal ve sözel kriterlerin hepsini sınıflandırmaya dâhil etmiştir. Aynı zamanda karar vericilerin envanter sınıflandırmaya dair tecrübe ve yargılarını da sürece dâhil etmiştir. Sunulan çalışmadaki yöntem bir örnek durum üzerinde denenmiş ve ele alınan deponun önceki haline göre iyileştirme elde edildiği tespit edilmiştir.

Çok kriterli ABC envanter sınıflandırmasında kullanılan yöntemlerden bir diğeri de meta-sezgisel yöntemlerdir. Bu kapsamda [88], çok kriterli ABC sınıflandırması için genetik algoritmayı parametre optimizasyonu alanında kullanmıştır. Kriter ağırlıklarını parametreler olarak kabul edip uygulanan teknik Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi ile bulunan sonuçlarla kıyaslanmıştır. Yapılan kıyaslanma sonucunda genetik algoritma ile elde edilen sonuçların, AHP ile elde edilen sonuçlara göre karar vericinin yaptığı sınıflandırmaya daha yakın olduğu görülmüştür. Aynı zamanda genetik algoritma tekniğinin, AHP tekniğine göre karar vericilerin uygulaması açısından özellikle kriterleri karşılaştırma aşamasında daha kolay olduğu belirtilmiştir. Diğer bir meta-sezgisel yöntem ile yapılan çalışma ise [89]'dir. [89]'da iki adet yapay sinir ağı (Genetik Algoritma ve Geri Yayılım) kullanılmıştır. Bu iki tekniğin önce çeşitli verilerle geçerliliği sınanmış olup, ardından bir ecza firmasına ait bir depoda çoklu ayırıştırma çözümlemesi ile yapılan hesaplamayla kıyaslanmış ve her iki meta-sezgisel tekniğin de daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Meta-sezgisel yöntemlerin etkinliğini indirgeyen husus ise tekniğin karar vericiler tarafından kullanılmasının güç olmasıdır.

Çok kriterli ABC envanter sınıflandırmasında literatürde çokça başvuru alan yöntemlerden biri de AHP'dir. [82], yıllık harcama miktarına dayanan geleneksel ABC envanter sınıflandırmasının yerini çok kriterli yaklaşımlara bırakması sonucunda AHP yönteminin bu konuda etkin bir teknik olacağını savunmuştur. AHP tekniği sayesinde çok sayıda kriteri birleştirerek çözüme gidilmiştir. Aynı zamanda AHP tekniğinin aşamalarından biri olan karar vericilerin ağırlıkları belirlemesiyle

sınıflandırmaya karar vericilerin tecrübelerini aktarmasını sağlamıştır. [90]'da Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization) kullanılarak depo tasarımı uygulanırken, envanterin sınıflandırılması için AHP tekniği kullanılmıştır. Devir hızı, kırılmalık ve ağırlık kriterlerinin kullanıldığı tekniğin çözümü Expert Choice Package Programme ile yapılmıştır. AHP tekniğinin kullanıldığı diğler bazı çalışmalar ise şöyledir: [91], [92].

Diğler birçok kriterli karar verme tekniğı olan TOPSIS(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) de envanter sınıflandırma konusunda kullanılan yöntemlerdendir. [93], [94] TOPSIS tekniğini kullanarak ideal ve negatif çözüme olan uzaklık mantığıyla çalışan bir yöntem sunmuşlardır. Sunulan yöntem, tüm kriterler açısından en yüksek puanlara sahip olan pozitif ideal ürünler ve yine tüm kriterlerde en düşük performansa sahip negatif ideal ürünlerden oluşan iki tip sanal ürünler üretmektedir. Daha sonra TOPSIS yaklaşımından elde edilen görelilik uzaklık endeksi kullanılarak bu iki sanal ürün envanterdeki diğler tüm gerçek ürünlerle kıyaslanmıştır. Yöntemin verdiği sonuçlar diğler yöntemlerle kıyaslanmış ve daha iyi sonuçlar elde edildiğı gösterilirken aynı zamanda sunulan yöntemlerin tamamen nesnel oluşu da olumlu bir yön olarak ifade edilmiştir.

Genetik algoritmalar, yapay sinir ağıları, bulanık mantık, TOPSIS, AHP gibi yöntemler ABC envanter sınıflandırmasında etkili sonuçlar sunsalar bile, özellikle yöneticilerin kullanması için oldukça karmaşık ve anlaşılması güç yapılara sahip olmaları ve uzun hesaplama zamanı gerektirmeleri söz konusu yöntemlerin aksayan tarafları olmuştur. Diğler taraftan Ng-model ağırlıkların dâhil edilmemesi ve AHP tekniğı ile HV-model ise ağırlıkların önem sırasının karar vericiler tarafından belirlenmesi nedeniyle nesnelliğini yitirmesi açısından genellikle literatürde eleştiriye maruz kalmıştır. Doğal olarak bu durum hem daha anlaşılır hem daha nesnel ve hem de büyük ürün grupları ele alındığında daha kısa sürede cevap alınabilecek yöntemler geliştirilmesini gerektirmiştir. Bu noktada çok kriterli karar verme yönteminde, kıstas ağırlıklarının yöneticiler tarafından değil de kurulan model tarafından en uygun şekilde belirlenmesi için veri zarflama analizi benzeri bir tekniğı sahip olan ağırlıklı doğrusal optimizasyon yöntemine sıkça başvurulmuştur. [95] ABC sıralamasında kullanılacak olan envanter skorunu belirlemek üzere, envanterdeki her ürünün kriter seti için ağırlıklar üreten ağırlıklı doğrusal optimizasyon modeli (R-modeli) kurmuştur. R-modeli kriterlerin belirlenmesindeki

öznellikten kaçınmak için geliştirilmiş bir veri zarflama analizi benzeri yöntemdir, fakat bu yöntemde eleştiri alan iki noktası mevcuttur. Birincisi; birden fazla ürün aynı envanter skorunu alabilmektedir. Bu durumda ABC sınıflandırmasında kullanılacak olan puanların sıralamasında sıkıntı ortaya çıkmaktadır. İkincisi ise; kurulan modelde çoklu kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde fazla esneklik verilmesidir. Kriterler kendi skorlarını en büyükmek adına kendi ağırlıklarını belirlemektedirler. Dolayısıyla iki ürün karşılaştırıldığında sunulan beş kriterin dördünde geride olup, diğer kriterlere nazaran önem seviyesi düşük olan bir kriterde diğerine bariz üstünlük sağlayan ürünün sıralamada hatalı bir şekilde öne geçebilmesine olanak sağlanmaktadır. Yine de literatürdeki diğer birçok çalışmaya öncülük etmiş bir çalışmadır. [96], R-modelini geliştirerek ZF-model'i kurmuşlardır. Bu modelde; önce en kötü ve en iyi ağırlıklar bulunmuştur. En iyi ve en kötü ağırlıklar sırasıyla; R-modelinde bulunan envanter skoru "gI" (iyi endeks) ve kendi yöntemlerinde buldukları "bI" (kötü endeks)'dir. Daha sonrasında yöneticinin belirlediği λ ($0 \leq \lambda \leq 1$) belirleyici parametresiyle birleştirilmektedir. Sonuç olarak ABC sınıflandırmasına tabii tutulacak envanter skoruna bu yolla varılmaktadır. [97], ZF-modeli'nde uygulandığı gibi bileşik endeks kullanmak istemiş ve bunun için en etkin sınıflandırmadan sapmaları en küçükmeye çalışan bir model kurmuşlardır. [98] ise bu çalışmayı sadece nicel kıstasları bileşik endekse dâhil ettiği için yetersiz bularak, hem nitel hem de nicel kıstasları içeren yeni bir veri zarflama analizi benzeri model sunmuştur. [98]'in öncesinde [82] ile [95] çalışmalarında ortalama birim maliyet, yıllık harcanan para, kritiklik düzeyi ve temin süresi gibi kriterleri ele alırken, kritiklik düzeyi kriteri nitel olması ve diğer üç kriter gibi nicel olarak değerlendirilmesi güç olduğu için, diğer çalışmalarda göz ardı edilmiştir. Ancak [82] daha önce bahsettiğimiz üzere AHP ile çözüm aradığı için öznelliği nedeniyle pek tutulmamıştır. [95] kritiklik düzeyi için; çok kritik, orta dereceli kritik ve az kritik performanslarını sırasıyla "1", "0,5" ve "0,01" değerleriyle puanlandırmıştır. [98] ise bu puanlandırmayı da modelin kendi içinde veri zarflama analizi benzeri yöntemle bulmasını sağlamıştır. [99] ise literatürdeki birçok çalışmada öznelğin eleştirilmesine rağmen, çok kriterli ABC envanter sınıflandırmasında yöneticinin etkisinin olması savıyla ikili fayda fonksiyonu tabanlı ayırıştırma metodu kullanılmıştır. [100] çok kriterli ABC envanter sınıflandırma metoduna tüm ürünlerin emsal tahminli olduğu yeni bir yaklaşım sundu. Bu yöntemde çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde veri zarflama analizine çapraz etkinlik

değerlendirme metodolojisini dâhil etti. Söz konusu emsal tahminli yöntemde öncelikten tamamen uzak olarak, her ürün için en uygun ve en uygun olmayan anlamlarda iki performans skoru üretmek için iki ağırlık seti belirlenmiştir. Devamında bu iki skordan tek bir performans endeksi elde edilmiştir. [100] çalışmasının sonunda R-modeli, ZF-model ve klasik yöntem olan yıllık harcanan para ile yapılan sınıflandırmalar ile kıyaslama yapmıştır. Benzer bir çalışma [101] tarafından sunuldu. Bu çalışmada çok kriterli envanter sınıflandırma için çapraz değerlendirme tabanlı ağırlıklı doğrusal optimizasyon modeli kullanılmıştır. Esasen [95]'te sunulan modelle başlayan yöntem, sınıflandırma için yapılacak olan sıralamanın daha hassas olabilmesi adına ağırlıklı doğrusal optimizasyona çapraz etkinlik değerlendirme metodu dâhil edilmiştir. Ürünlerin birbirlerine olan etkileşimlerinin en küçüklenmeye çalışıldığı modelin devamında, her ürünün üzerindeki etkileşim puanlarının ortalamaları envanter sınıflandırmasına tabii tutulacağı skorunu belirlemektedir. Sunulan metod envanter, yönetim ve maliyet etkinliğini göstermek adına R-modeli, ZF-model, Ng-model ve [94]'ün sunduğu model ile bir simülasyon vasıtasıyla elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Benzetim modelleriyle yapılan kıyaslamalar haricinde, çok kriterli ABC envanter sınıflandırmasına dair yapılan çalışmaların sonlarında genellikle hangi yöntemin maliyet açısından daha etkin olduğunu söylemek mümkün olmamıştır. Bu durumda çalışmalarda ya karar vericinin yaptığı sınıflandırma ile kıyaslanmış ya da sadece yapılan sınıflandırmada önceki çalışmalara göre olan farklılıklardan bahsedilmiştir. Literatür araştırmasında yer verilen çok kriterli ABC envanter sınıflandırması için yapılan çalışmalardaki yöntemlerde kurulan modellere ilişkin bilgiler Çizelge 1.2'de sunulmuştur.

Operasyonel seviye kararlar depo yönetiminde en önemli maliyet sebeplerinden biri olarak görülen sipariş toplama faaliyeti ve buna bağlı faaliyetler ile karar alanları üzerine verilen kararlardır. [102]'de sipariş toplama faaliyetinin doğru bir şekilde yerine getirilebilmesi için doğru stratejilere sahip olunması gerektiği belirtilmektedir. Bu kapsamda söz konusu çalışmada doğru sipariş toplama stratejileri belirleyen bir bilgisayar destekli teknik geliştirilmiştir.

Çizelge 1.2: Çok kriterli ABC envanter sınıflandırması hakkındaki çalışmalar.

Makale	Çözüm Tekniği									SAYISAL KRİTERLER	SÖZEL KRİTERLER	KARAR VERİCİNİN KATKISI	ÖRNEK DURUM ÇALIŞMASI VEYA SAYISAL ÖRNEK
	ADO	GA	YSA	BM	DOP	İKM	BMM	TOPSIS	AHP				
[83]						*				*	*		*
[84]						*				*	*		*
[91]									*	*	*	*	*
[82]									*	*	*	*	*
[92]									*	*	*	*	*
[90]									*	*	*	*	*
[93]								*		*			*
[94]								*		*			*
[85]							*			*			*
[86]					*					*			*
[87]				*						*	*	*	*
[88]		*								*	*	*	*
[89]			*							*	*	*	*
[101]	*									*	*		*
[98]	*									*	*		*
[97]	*									*			*
[96]	*									*	*		*
[95]	*									*	*		*
[100]	*									*			*
[99]	*									*	*	*	*
Toplam	7	1	1	1	1	2	1	2	4	20	14	8	20

ADO: Ağırlıklı Doğrusal Optimizasyon,

GA: Genetik Algoritma,

YSA: Yapay Sinir Ağları,

BM: Bulanık Mantık,

DOP: Doğrusal Olmayan Optimizasyon,

İKM: İkili Karşılaştırma Matrisi,

BMM: Basit Matematiksel Model.

Teknik iki aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar; siparişlerin beş kategoriye tasnif edildiği birinci aşama ve bu kategoriler için bilgisayardaki benzetim modelinin uygun stratejiler üretmesi de ikinci aşamalardır. Modelin etkinliği bir örnekle gösterilmiş ve ayrıca başka sipariş toplama stratejilerinin etkinliği de araştırılmıştır. [103] ise literatürdeki çalışmalarda genellikle tek sipariş toplayıcının ele alındığını ve bu durumun da gerçek hayatta kaçınılmaz bir unsur olan sipariş toplama trafiğini göz ardı ettiğini belirterek yeni bir algoritma geliştirmiştir. Genel anlamda sipariş toplama politikalarını belirleme üzerine yapılan bazı çalışmalar ise şöyledir: [104]–[124].

Sipariş toplama maliyetlerinin indirgenmesi ve hizmet seviyesinin arttırılması için sipariş toplama faaliyetlerini iyileştirmek üzere yığın toplama, bölge toplama, ayrıştırma, sıralama ve rota planlaması gibi hususlarda önemli miktarda akademik çalışmalar bulunmaktadır. [125]’te toplam dolaşım mesafesini en aza indirmek amacıyla geliştirilen bir genetik algoritma ile yığın toplama politikası geliştirilmeye çalışılmıştır. Daha önce literatürde sunulan çalışmalarda tek koridorlu ve iki boyutlu depo krokileri üzerinde yığın toplama politikalarının çalışılmasının aksine bahse konu çalışmada her türlü kroki ve her türlü yığın yapısı için çalışabilecek bir genetik algoritma geliştirildiğinden bahsedilmiştir. Diğer bazı metotların aksine bu yöntemde siparişlerin yakınlığının hesabı veya dolaşım mesafesinin tahmini gerekmemektedir. Sunulan genetik algoritma orta ve büyük ölçekli örneklemeler için denenmiş ve toplam dolaşım mesafesi ile tesis kullanımı açısından kaliteli sonuçlar elde edilmiştir. [126], yığın toplama politikası üzerine iki yeni sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. Her iki sezgisel yöntem de dolaşım mesafesi ve ortalama toplayıcı araç kullanımı gibi konularda önemli kazançlar sağlamıştır. Bunun yanı sıra, farklı sipariş türleri altında en iyi politika bileşimlerini bulmak için ürün yerleşimi, sipariş toplama ve toplayıcı rotalama gibi konulara ortak çözümler aramışlardır. Değişik stratejilerin birbirlerine nazaran önemlerini belirlemek için de duyarlılık analizi yapmışlardır. Yığın toplama politikaları üzerine yapılan diğer bazı çalışmalar ise şöyledir: [124], [127]–[151].

Sipariş toplama tekniklerinden bir diğeri de alanlara bölerek toplamaktır. Birden fazla toplayıcıya uygun stratejilerle dağıtılan alanlar ile sipariş toplama faaliyetleri yürütülür. [152], [153]’te birden fazla toplayıcının bulunduğu ve bu toplayıcılara alan dağılımının yapıldığı bir toplama faaliyetinde; sipariş toplama, bir konveyör

vasıtasıyla biriktirme, ayrıştırma ve paketleme gibi işlemlerin toplam süresini en küçükmek için ne kadar toplama alanının oluşturulması gerektiği araştırılmıştır. Bir karışık tam sayılı doğrusal programlama modelinin sunulduğu çalışmada Hollanda'nın en büyük internet perakendecilerinden birine ait depoda örnek durum çalışması yapılmıştır. [12], [111], [122], [154]–[164] alanlar halinde sipariş toplamaya ilişkin araştırma yapan diğer çalışmalardır.

Siparişler işlenmek üzere depoya geldiğinde toplama işleminden önce yapılan planlamada toplayıcının rotası ve listedeki ürünleri hangi sırayla toplayacağı önemlidir. [165]'te toplayıcıların koridorların sonunda ve dikine koridor noktalarında koridor değiştirebildiği, paralel koridorlara sahip bir depoda en kısa sipariş toplama turlarını bulmaya yarayan bir dinamik programlama algoritması sunulmuştur. Depo planında ortada bir dikine koridorun olduğu ve olmadığı durumlarda ortalama rota mesafesi ölçülmüş ve dikine koridorun olmasının avantaj sağladığı belirtilmiştir. [166]'da AS/RS'ye sahip bir depoda gelen depolama ve toplama taleplerinin sıraya konulmasının AS/RS'nin performansına olan etkileri araştırılmış, statik ve dinamik yaklaşımlar çerçevesinde birkaç tane optimal ve sezgisel yöntem sunulmuştur. Bu sıralama metotları; tahsisli depolamada birim yükle çalışan AS/RS, miniload AS/RS ve rassal yerleşimde birim yükle AS/RS için uygulanmıştır. Sonuç olarak sıralama yapmanın, depolama ve toplama yapan makinenin dolaşım süresinde ciddi tasarruflar sağladığı, toplam üretilen işi artırdığı ve dinamik sezgisel yöntemin basit, hızlı ve diğer yöntemlerden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Sıralama ve rotalama hakkında yapılan diğer bazı çalışmalar ise şöyledir: [23], [104], [105], [121], [123], [167]–[199]. Sipariş toplama işlemleri gelen sipariş başına yapılmıyorsa, birikim noktasında toplanan siparişler daha sonra ayrıştırma işlemine tabii tutulurlar. Ayrıştırma konusu hakkında yapılan çalışmalar ise şu şekildedir : [119], [200]–[203].

The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) Metodu; araştırmada karmaşık ve birbirine girmiş problem gruplarının çözümünde kullanılması amacıyla 1972 ve 1976 yılları arasında Cenevre Battelle Memorial Enstitüsü, Bilim ve İnsan İlişkileri programı tarafından geliştirilmiştir [204]. DEMATEL metodu bu tezde hesaplanacak etkileşim sayısını indirgemek için kullanılmıştır. Değişik alanlarda DEMATEL yönteminin uygulandığı çalışmalar şöyledir : [205]–[215].

1.3. Hipotez

[101]'de ortaya konulan yöntem her bir ürünün diğer tüm ürünlerle olan etkileşimlerinin hesaplanması nedeniyle özellikle ürün sayısının arttığı durumlarda önemli miktarda zaman harcamaktadır. Günümüzde orta boyutlu işletmelerin depolarında bile binlerce ürün depolandığı göz önünde bulundurulduğunda hesaplama için harcanacak zamanın azaltılması kaçınılmaz bir zorunluluk durumuna gelmektedir. Bu noktada, DEMATEL yöntemi ile hesaplanması gereken etkileşim sayısını azaltarak hemen hemen aynı sonuçlara ulaşmak zaman açısından önemli bir kazanım arz etmektedir. DEMATEL yöntemini uygulamak için ürünleri ana ürün gruplarına ayırarak birbirleri ile olan etkileşimlerini değerlendirmek ve bu değerlendirme sonucunda karar vericinin kararıyla bir eşik seviye belirlenir. Bu seviyenin üzerindeki değerlere sahip ve sonuç olarak sadece sürece etki edenlerin dâhil olacağı değerlendirilen ürünlerin etkileşimleri hesaplanmaktadır. Bu çalışmada, örnek olarak ele alınan bir depodaki ürünler, sınıflandırılmak üzere yukarıda bahsedildiği şekilde hesaplamaya tabii tutulduğunda sıralama ve maliyet açısından bir kayıp yaşanmadığı halde [101]'in sunduğu yöntem nazaran yarı miktarda zaman harcayarak sonuca ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar literatürde bulunan geleneksel ABC analizi, [95] ve [101]'in yöntemleriyle bulunan sonuçlar ile kıyaslanmıştır.

2. DEPO VE STOK YÖNETİMİ

2.1. Depo ve Depo Yönetimi

Depolama fonksiyonunun işletmelere getirdiği maliyet yükü bilinmesine ve günümüzde işletmelerin artan rekabet ortamında maliyet oluşturan tüm etkenleri minimize etme çabalarına rağmen, depolar tedarik zinciri içerisindeki önemleri nedeniyle kolay vazgeçilebilir unsurlar değildirler.

Ürünlerin müşteri taleplerini karşılamak üzere depolanması veya yedek parçaların sistemi uzun süreli ve yüksek maliyetli arıza dönemlerine karşı korumak için depolanması gerekmektedir. Benzer şekilde coğrafi olarak dağınıklık gösteren pazarlarda bölgesel odaklanma, kısa temin süreleri, elde çeşitli ve yüksek hacimli ürün bulundurabilme ancak bölgesel dağıtım depolarının yardımı ile mümkündür [20].

Günümüz uluslararası pazar şartlarındaki gelişim sonucu artan rekabet ile birlikte tedarik zinciri stratejisi içerisinde lojistik yetenekler ve depolama faaliyetleri daha fazla önem kazanmıştır. Bu kapsamda depo ve depolama göz önüne alındığında; müşteri ihtiyaçlarının tam zamanında karşılanması, operasyonların hızlandırılması, depo sayısı ve yeri, depo ile ilgili her aşamada maliyetin düşürülmesi ve sonuca pozitif katkı sağlayacak olan politikalar müşteri odaklı olan bu yaklaşımda hayati önem arz eden konulardan bazılarıdır.

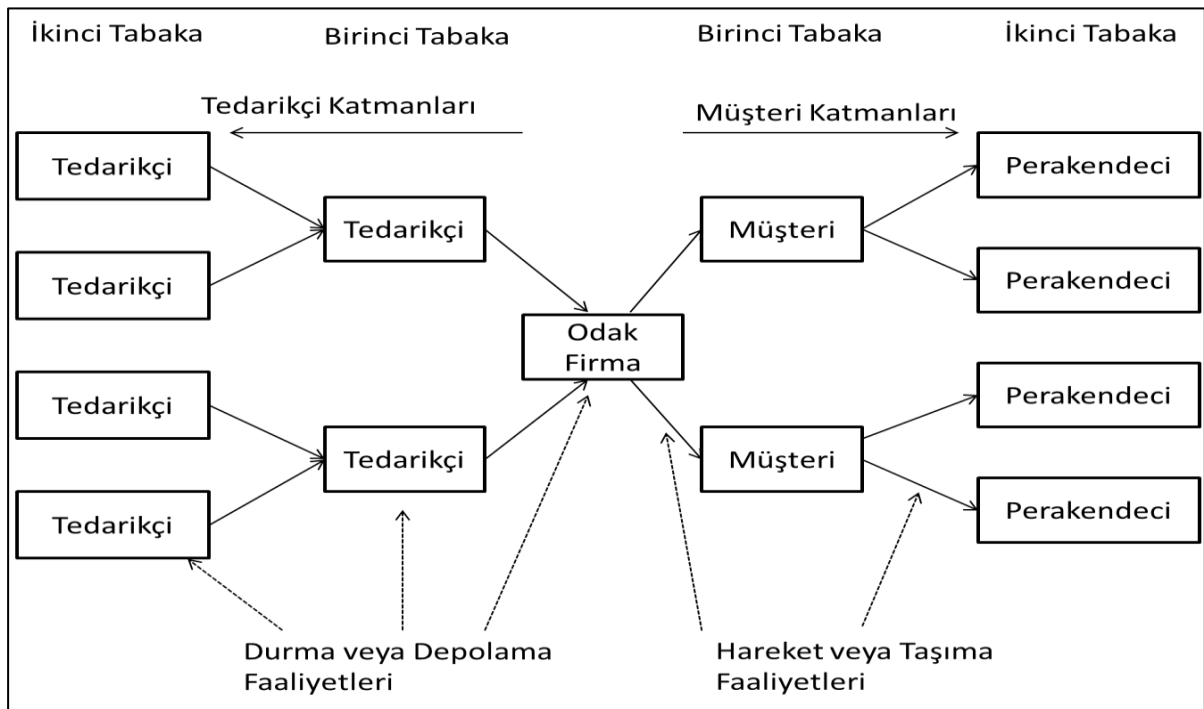
Depolar ürün kabulünden, ürünün teslimata sevk edilmesine kadar birçok faaliyetin yürütüldüğü alanlardır. Dolayısıyla depoların öncelikle tasarımı ve yönetimi hususunda verilecek kararlar depoların işletilmesinde büyük etkilere sahiptirler. Bir ürünün kabulü, depo yeri tahsisi, depolanması, toplanması, siparişlerin ayrıştırılması, yollama işlemleri gibi birçok faaliyet depo yönetiminin dinamiklerini oluşturmaktadır.

2.1.1. Depo tanımı

Depo; tedarik zinciri içinde, malzemelerin, çeşitli amaçlarla ve değişik dönemlerde kullanılmak üzere korunması ve stoklanması amacıyla istiflendiği, saklandığı ve malzeme tipine göre tasarlanmış, farklı boyutlarda ve özelliklerde olabilen, kapalı veya açık alandır.

Depolar ürünlerin veya yedek parçaların muhafaza edildiği yerler olmasının yanı sıra paketleme, tamir, tekil müşteri siparişlerinin karşılanması, test, inceleme ve montaj gibi katma değerli faaliyetlerinde yürütüldüğü alanlardır. Bu açıdan bakıldığında geleneksel bakış açısındaki depoların sadece ürünün depolandığı maliyet kaynağı alanlar olduğu fikrinin aksine depoların, işletmenin lojistik sürecindeki çok sayıda işlemin gerçekleştirilmesinde önemli bir manivela oldukları görülmektedir.

Ürünlerin depolama ve elleçleme işlemleri, taşıma işlemlerinin aksine, öncelikle dağıtım ağındaki düğüm noktalarında gerçekleşmektedir. Bu nedenle depolama hızın sıfır olduğu taşıma olarak adlandırılmaktadır [1]. Ürünün sürekli olarak bir taşıma içinde olduğu düşünüldüğünde lojistik ağıdaki hareketi Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Ürünün lojistik ağıdaki hareketi.

Depolar içinde bulundukları tedarik zincirlerinin en önemli parçalarından biridir. Bu açıdan bakıldığında depolar; tedarik zinciri içinde yer alan ürünlerin korunması,

stoklanması ve en verimli şekilde ilgili yerlere ulaştırılması amacıyla konumlandırıldığı alanlardır ve bu ürünlerin geçici olarak saklandığı, dizildiği, ürün tipine göre tasarımı yapılmış yardımcı işletmelerdir [8]. Ürünün tedarikçilerden müşterilere ulaştırılması işleminde aradaki zaman zarfında saklanacağı ve gerekliyse montaj, paketlenme vs. gibi işlemlere tabii tutulacağı açık veya kapalı alanlar olan depolar için kısa bir tanımlama vermek gerekirse; depolar gereksinime bağlı olarak belirli bir süre için ürünlerin konulduğu kapalı ya da açık alanlardır [216].

Ürünler depolara sadece bitmiş ürün halinde stoklanmak için gelmezler. İşletmenin sahip olduğu lojistik sürece göre ham madde veya yarı mamul olarak da depolama faaliyetleri sürdürülmektedir. Dolayısıyla [11]'de depolar; lojistik sistemde hammadde, yarı mamul ve mamul maddelerin çeşitli dönemler için tutulduğu sabit noktalar, [10]'da ise ürünlerin hammadde aşamasından üretim ortamına, oradan da tüketim merkezlerine dağıtımına kadar olan bütün bir faaliyetler dizisinin gerçekleştirilmesinde stratejik rol oynayan ara noktalar olarak tanımlanmıştır.

Sonuç olarak depo; lojistik ağlarda hammadde yarı mamul ve mamullerin tedarik edildiği anından itibaren müşteriye temini aşamasına dek muhafaza edildiği, işletmenin lojistik süreçteki rolüne göre gerekliyse katma değerli faaliyetlerin de yürütüldüğü ve günümüz müşteri odaklı yaklaşımda tedarik zinciri boyunca en önemli manivelalardan biri konumunda olan stratejik bir unsurdur.

2.1.2. Depo çeşitleri

İşletmeler depolarda muhafaza edecekleri veya katma değerli işlemleri gerçekleştirecekleri ürünleri iyi tanımalıdırlar. İşletmenin içinde bulunduğu lojistik sürecin yapısı, ürünün fiziki hali ve şekli gibi birçok etken kullanılacak olan deponun yapısal şekli ve tasarımı üzerinde önemli karar noktalarına etki etmektedir. İşletmeler depolayacakları ürüne ve bu ürünle hizmet verirken lojistik ağda üstlendikleri role göre depolar kullanmalıdırlar.

Literatürde depoların sınıflandırılması için değişik yaklaşımlar bulunsa da genel anlamda depolar; coğrafi dağılıma, depolama stratejisine, işleyişe ve ürün karakteristiğine göre değişik türlere ayrılmaktadırlar. [5], depoların tedarik zinciri yönetiminde ve lojistik süreçlerde üstlendikleri rollere göre (hammadde deposu, süreç içi stok deposu, bitmiş ürün deposu, dağıtım deposu ve dağıtım merkezi, icra deposu ve icra merkezi, yerel depo, katma değerli hizmet depoları) depoları

çeşitlendirmiştir. Diğer taraftan [217], lojistik ağ tasarımı depoları toplama (konsolidasyon) merkezi, dağıtım merkezi, karma depo (çapraz sevkiyat merkezi) ve çoklu depo olarak dörde ayırmıştır.

Toplama (Konsolidasyon) Merkezi: Farklı noktalardan gelip, tek noktaya gidecek olan ürünlerin birleştirilmesine konsolidasyon denir. Hem tedarik, hem de dağıtım süreçlerinde kullanılan “Konsolidasyon Merkezi” kullanımının temel getirisi taşıma maliyetlerinin azaltılmasıdır. Konsolidasyon üretime destek amacıyla kullanıldığında, farklı tedarikçilerden sipariş edilen, parsiyel yük şeklinde temin edilen ve üretim için gerekli olan hammadde, yardımcı madde vb. malzemeler, söz konusu tedarikçilere yakın olan bir depoda toplanır. Daha sonra tam yük olacak şekilde düzenlenerek üretim tesisine gönderilir. Bu şekilde uzun mesafeler büyük kapasiteli ve tam dolu araç ile kat edilerek taşıma maliyeti düşürülmüş olur.

Dağıtım Merkezi: Dağıtım süreçlerinde yük bölme (break bulk) için kullanılan bu depoların amacı taşıma maliyetlerinin azaltılmasıdır. Fabrika, liman gibi belirli bir başlangıç noktasından farklı müşterilere gönderilecek ürünlerin, önce tam yük olarak bir dağıtım merkezine, burada bölünerek parsiyel yük olarak farklı müşterilere sevkiyatı yapılır. Dağıtım merkezinin kullanılmasıyla lojistik süreçteki uzun mesafeler büyük kapasiteli araç ile kat edilerek maliyet düşürülmüş olur.

Karma Depo - Çapraz sevkiyat merkezi: Müşteriler tarafından sipariş edilen ürünlerin aynı tedarikçi tarafından üretilmediği durumlarda, her tedarikçinin her müşteriye farklı taşıma araçları ile ürünlerini göndermesi, maliyetleri arttıran bir durumdur. Maliyetleri düşürmek için, müşterinin talep ettiği farklı ürünlerin, sevkiyat öncesi bir dağıtım merkezinde birleştirilerek gönderilmesidir. Bu modelin amacı, müşteri siparişlerinin toplu, hızlı ve düşük maliyetli bir biçimde gerçekleştirilmesidir.

Çoklu Depo: Müşterinin kesin olarak tahmin edilemeyen taleplerinin karşılanması ve tedarikçilere verilen siparişlerin zamanında veya sipariş verilen miktarlarda gelmeme riskine karşı, müşteri hizmet düzeyini koruyabilmek için müşterilere yakın birden fazla dağıtım merkezi bulunabilir. Amaç, talebe öngörülen süre içinde yanıt verebilmektir.

[18]'de depolar; perakende dağıtım merkezi, yedek parça dağıtım merkezi, katalog satışı veya e-ticaret dağıtım merkezi, üçüncü parti depoları, bozulabilen malzemeler deposu olarak beşe ayrılmıştır.

Perakende Dağıtım Merkezi: Wal-Mart gibi büyük perakende mağazalarına hizmet veren depolardır. Perakende mağazalarından gelen düzenli ve büyük miktarlı siparişleri karşılarlar. Müşteri tercihi veya pazar eğilimleri nedeniyle ürünlerin maiyeti değişkenlik göstermektedir, ancak genellikle bu değişimler önceden bilindiği için sorun teşkil etmemektedir. Kimi durumlarda pazarlama kampanyaları sebebiyle büyük partiler halinde ürün sevkیاتları mümkündür.

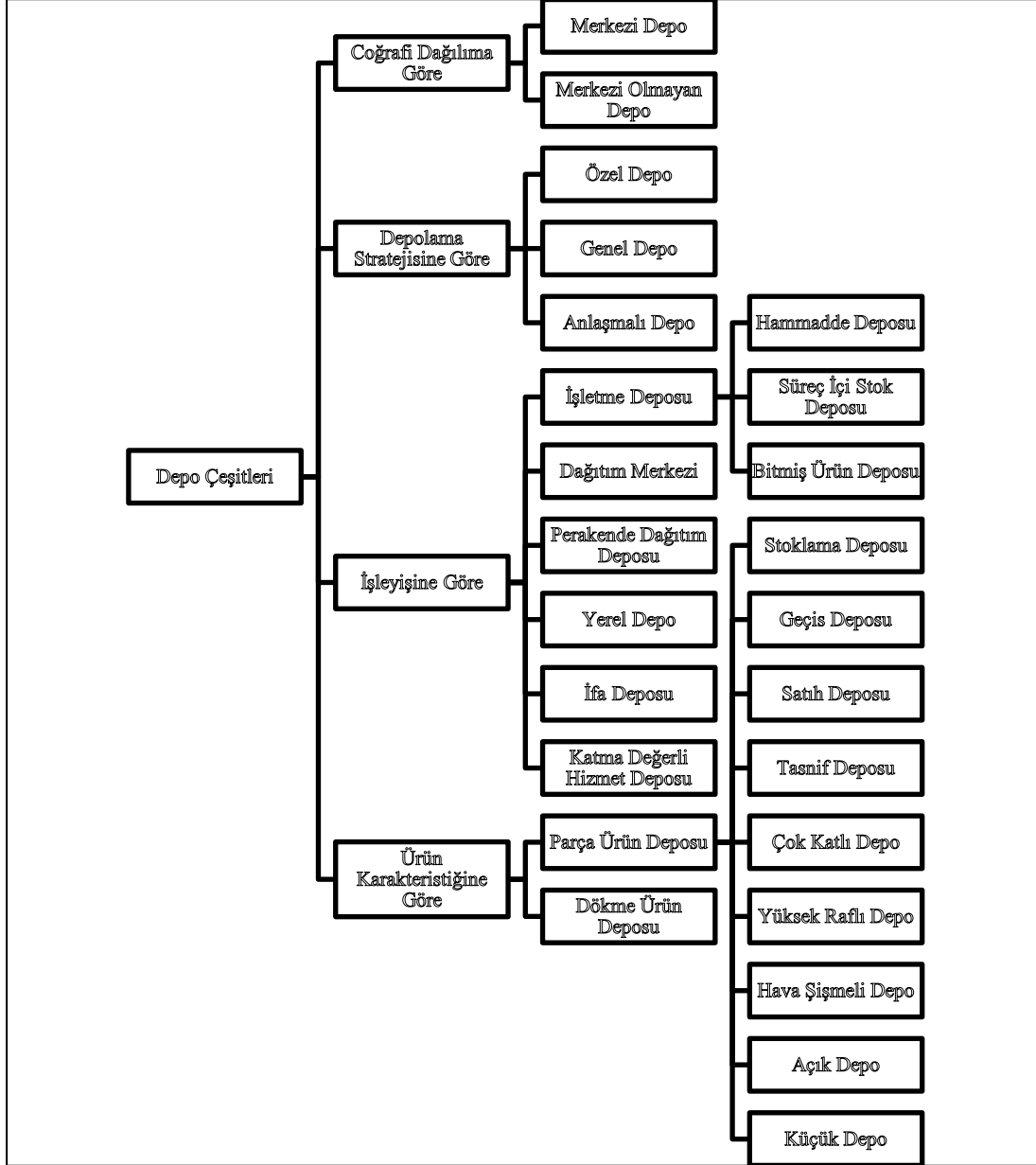
Yedek Parça Dağıtım Merkezi: Otomobil, uçak, bilgisayar sistemleri veya medikal malzeme firmaları gibi pahalı ana malzemelere yedek parça sağlayan ve yönetilmesi en güç tesislerdir. Büyük yatırımlar içeren envanterler mevcuttur. Bir kısmı çok pahalı olan önemli miktarda ürün depolanır. Talepteki varyansın büyük olması sebebiyle büyük emniyet stokları bulundurulması gerekmektedir.

Katalog Satışı veya E-Ticaret Dağıtım Merkezi: Bireysel müşterilerden telefon, faks veya internet yoluyla alınan küçük miktarlı siparişleri karşılayan depolardır. Siparişler her ne kadar küçük miktarlı da olsa bazen ivedi teslimatlar gerekebilmektedir. Müşteri siparişleri hızlı cevap beklediği için, böyle dağıtıcılar siparişleri şekillendirmek için özel fiyatlar uygulayarak belirli zamanlarda veya miktarlarda siparişleri teşvik ederler ve böylece belirlenmiş miktarlarda veya değişken tarihlerde siparişleri karşılamayı kolaylaştırırlar.

Üçüncü Parti Depoları: Firmaların depolama faaliyetlerini dış kaynak kullanımı yoluyla yerine getirmelerine yarayan depolardır. Üçüncü parti şirketleri aynı anda birden fazla firmanın ürünlerini aynı tesiste depolayabilmektedir. Hatta mevsimsellik sebebiyle yaşanabilecek boş dönemleri de başka firmaların ürünlerini depolama yoluyla atlatabilmektedir.

Bozulabilen Malzeme Depoları: Bu depolar yiyecek, çiçek, aşı gibi kısa raf ömrü gerektirdiği için soğutma gerektiren ürünleri depolarlar. Soğutma işlemi yapıldığı için alan kullanımı maliyet açısından önem kazanmaktadır. Depodan müşteriye ilk önce hangi ürünün verileceği gibi envanter yönetim konuları da ayrı bir önem arz etmektedir.

[9]'da depo çeşitleri coğrafi dağılıma, depolama stratejisine, işleyişe ve ürün karakteristiğine göre detaylandırılmış ve söz konusu sınıflandırma Şekil 2.2'de sunulmuştur. [10]'da ise, depolar hemen hemen aynı çeşitlerle gösterilirken coğrafi depoların altında yer alan merkezi olmayan depolar da bölgesel ve transit depolar olmak üzere iki farklı türe daha ayrıştırılmıştır.



Şekil 2.2: Depo çeşitleri [9].

Coğrafi dağılıma göre depolar, merkezi depolar ve merkezi olmayan depolar olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Merkezi Depolar: İşletmeler, stoklarını toplu bir biçimde tek bir depoda bulundurarak, fiziksel dağıtım üzerinde kontrolün sağlanmasını ve depo yönetimiyle

ilgili etkinliklerinin tek elden yürütülmesini amaçlamaktadırlar. Merkezi depolar önemli coğrafi konuma sahip ve yüksek hacimli ürün girişinin olduğu yerlerdir. Hedef pazar ya da müşteri grubuna göre bağlı olarak kıta veya ülke içerisinde birden fazla bölgeye hizmet verebilecek şekilde depo kuruluş yeri tespit edilmektedir.

Merkezi Olmayan Depolar: Bu depolar bölgesel ve transit depolar olarak ikiye ayrılmaktadır. Bölgesel depolar, belirli bir coğrafi bölge veya şehre hizmet veren depolardır. Genellikle ülke çapında ve müşterilerin yoğun bulunduğu bölgelerde faaliyet gösterirler. Transit depolar, kısa süreli ürün aktarmaları için kullanılmaktadır. Ürün hareketinin yüksek olması nedeniyle ürünlerin bekleme süreleri oldukça düşüktür. Asıl hedef, farklı noktalardan transit depoya gelen ürünlerin ayırıştırma ve/veya birleştirme operasyonlarıyla beraber belirli bir pazara hızla sevk edilmesidir.

Depolama stratejisine göre depolar özel depolar, genel depolar ve anlaşmalı depolardır.

Özel Depolar: Özel depolar, ürüne sahip olan firma tarafından işletilen depolardır. Depolanacak veya taşınacak ürün miktarı çok olan firmalar için özel depolar, depolama maliyetlerini azaltma yönünde fırsat sunmaktadır. Depoların doğru yere kurulumu, doğru büyüklük ve müşteri servisi ile uyumu gibi ana konuların çözümlendiği bir özel depo anlayışı firma geneli ile yüksek bir iletişime sahip olacak ve yüksek sinerji sağlanacaktır. Ayrıca olası vergi avantajları ve gelişim tevsikleri ile maliyetlerin düşürülmesi sağlanacak ve bu hizmetin dışarıdan baksa bir firma tarafından sağlanması için gerekli harcamada yapılmamış olacaktır.

Genel Depolar: Depoculuk konusunda uzman kişi ya da kurumlar tarafından yönetilen, işletme mallarının belirli bir ücret karşılığı stoklandığı depolardır. Bu depolar çok sayıda firmaya hizmet verebilecek kapasitedir. Birden fazla işletme aynı depoyu kullanabileceği için personelin atıl olması söz konusu değildir ve sabit maliyetler firmalar arasında bölüşüleceği için ölçek ekonomisi sağlamaktadır. Faturalamada ise stoklama ve taşıma maliyetleri ayrı ayrı gösterilebilir. Genelde bu depolar kiralanırlar, bu nedenle depolama maliyetleri değişken maliyet haline gelmiş olur. Pazarın değişmesi durumunda da yeni depolarla anlaşma yapılabilir.

Anlaşmalı Depolar: Anlaşmalı depolama, kullanıcı ve depolama hizmeti sağlayıcı arasındaki bir anlaşmadır. Anlaşmalı depo, özel ve genel depo etkinliklerinin en iyi

özelliklerini bir arada bulundurmaktadır. Bu depolar için en düşük düzeyde sabit kıymete gereksinim duyulmakla birlikte, bu depo türünde söz konusu olan uzun süreli ilişki ve paylaşılan risk, tipik genel depo anlaşmalarında daha düşük maliyet ile sonuçlanmaktadır.

İşleyişine göre depolar; işletme deposu, dağıtım merkezi, perakende dağıtım merkezi, yerel depo, ifa deposu ve katma değerli hizmet deposu olmak üzere altıya ayrılır.

İşletme Deposu: Genellikle depolama süresinin uzun olduğu yerlere işletme deposu denir. İşletme deposunun işlevi; giriş-çıkış ambarları ve ara depolar olmak üzere hammadde, yan ürün veya tamamlanmış ürünleri, üretim sürecinde kullanılmak üzere ve/veya dağıtım öncesinde depolamaktır. Temel tasarım kriterleri depolama kapasitesi ve işletme maliyetleridir. İşletme depoları üçe ayrılırlar. Bunlar; ham madde deposu, süreç içi stok deposu ve bitmiş ürün deposudur.

Dağıtım Merkezi: Dağıtım merkezi, ürünlerin saklandığı ve gelen siparişlere göre hızlı, sık ve kapsamlı sevkiyatlara elverişli büyük hacimli depolardır. Bir dağıtım merkezindeki farklı özellikteki yüklerin sayısı fazlayken, çok sayıdaki siparişler için istenen miktarlar çok çeşitlilik gösterebilir. Dolayısıyla karmaşık ve maliyetli sipariş süreçleri ile baş edilmesi gerekmektedir.

Perakende Dağıtım Deposu: Kısıtlanmış perakende birimlerine hizmet eden bir depo, siparişlerin bilesimi ile ilgili olarak ileri düzeyde bilgiye sahiptir. Vardiya basına düşen fazla sayıda sipariş söz konusudur. Siparişlerin toplanması koli veya adet toplama şeklinde gerçekleşmektedir ve genellikle ileri bir toplama alanı bulunmaktadır. Siparişlere yanıt süreleri çoğunlukla sabittir ve ağırlıklı olarak araç rotalama çizelgelerine bağlıdır. Perakende birimleri kısıtlanmamış, diğer bir deyişle belirli bir depodan sipariş edilmesi zorunlu değil ise, yanıt süresi önemli bir ölçüt durumuna gelmektedir.

Yerel Depo: Ulaşımdan tasarrufu sağlamak ve müşteri talebine hızla yanıt verebilmek amacıyla farklı konumlarda oluşturulan depolardır. Bu depoların oluşturulmasında hız, ulaşım yakınlık gibi kavramlara önem verilir.

İfa Deposu: Bireysel tüketicilerin küçük çaplı siparişlerine ilişkin mal kabul, toplama ve sevkiyat süreçlerini kapsayan depolardır.

Katma Değerli Hizmet Deposu: Depolamanın yanı sıra Paketleme, etiketleme, markalama, fiyatlandırma ve iade süreci gibi temel ürün özelleştirme etkinliklerinin gerçekleştirildiği tesis olarak hizmet verilir.

Ürün karakteristiğine göre depolar parça ürün depoları ve dökme ürün depoları olarak ikiye ayrılırlar.

Parça Ürün Depoları: Farklı şekillerde, farklı boyutlardaki küçük ebatlı, tek parça halinde hareket edebilen ve yerleştirilebilen ürünlerin olduğu depolardır. Parça malların belirli şekil ve boyutlarının olması, depolama ve taşımayı dökme mallara göre daha zorlaştırır. Parça malların depolanmasında; paletler, raflar, modüler çekmeceler, kutular, konteynırlar, açık alanda istifleme, mobil raflar vb. kullanılır. Bu ürünlerin taşınmasında özel donanım gerekmez; kamyon, konteynır, tren ve uçaklar da kullanılabilir. Parça malların taşınması ve depolanmasında malların boyutları, ağırlıkları, hacimleri, biçimleri vb. özellikleri etkilidir. Parça ürün depoları; stoklama deposu, geçiş deposu, satıl deposu, tasnif deposu, çok katlı depo, yüksek raflı depo, hava şişmeli depo, açık depo ve küçük depo olarak dokuz başlık altında incelenebilir.

Stoklama deposu: Yedek depo veya biriktirme deposu olarak da ifade edilebilen stoklama deposu, genellikle hacimsel kapasiteleri ve uzun depolama süreleri ile diğerlerinden ayrılmaktadır. Bu depolar, malları uzun süreler için stoklayıp saklamakta kullanılmaktadır (örneğin; kömür, tahıl depoları).

Geçiş deposu: Depoya giren malların çıkışa kadar geçen kısa süre içinde ayrılmaları için kullanılmaktadır. Depo malları aynı veya belirli aralıklarla yüklenmekte ve boşaltılmaktadır. Depolama zamanı genellikle çok kısadır (örneğin; hava alanlarındaki veya tren istasyonlarındaki koruma depoları).

Tasnif depoları: Lojistik süreçler esnasında belli bir düzenlemenin ve ayırımın yapıldığı depolardır. Bu noktaların çok kısa depolama süreleri vardır. Çeşitlilikte fazlalık söz konusu olduğunda, bu tür depolar tam otomasyon için çok uygundur.

Satıl deposu: Depolama işleminin karmaşık olmayışı, tesisin ucuza mâl olması ve koridorların kolayca değiştirilebilmesi gibi olumlu özelliklere karşın, alçak depoların istenmeyen yönleri daha fazla ve önemlidir. Depo yerinin verimli kullanılmaması, ürünlerin depo zeminini tamamen kaplaması, hep en üstte bulunan mal kümesi, depolama işlemlerinin gayet fazla zaman alması ve son olarak deponun otomatik depolama sistemlerine uygunluk göstermemesi gibi olumsuz özellikleri de vardır. Bu

tür depolar, 7 metre yüksekliğe kadar ulaşabilen, geniş bir alanı kaplayan depolardır. Ürün tabana ya da alçak raflara depolanmıştır. Depolama için kullanılan elleçleme araçları; vinç sistemleri, bantlı konveyörler gibi sabit sürekli transport makinaları ve çeşitli koridor taşıyıcıları gibi sistemlerdir. Yüksek satıh depolarının özellikleri satıh depolarla aynıdır. Ancak yükseklikleri 7-12 metre arasında değişmektedir.

Çok katlı depo: Üst üste düzenlenmiş satıh depoların oluşturduğu depolardır. Çok katlı depolar özellikle depo kullanım alanının az olduğu durumlarda kullanılırlar. Depoda taşıma için kullanılan elleçleme sistemleri, satıh depolarda kullanılanlar ile aynı olmakla birlikte, çok katlı depolarda asansör gibi düşey taşıyıcılar da önem kazanmaktadır.

Yüksek raflı depo: Bu depolar 12 metreden fazla yüksekliğe sahiptirler. Yükseklikleri 30 metreyi aşarken genişlikleri 120 metreye ulaşabilen, çok büyük kapasiteli depoların da kullanıldığı görülmektedir. Rafları depo duvarından oluşturulmuş veya serbest duran tipte olabilir.

Hava şişmeli depo: Bir pnömatis yapısı türünün ürünüdür. Bu balonsu yapılarda şişirme sonucu 0,01-0,03 bar arası bir basınç oluşmaktadır. Şişme yapısı plastik veya PVC den yapılmıştır.

Açık depo: Hava koşullarına karşı koruyucu üst kısım bulunmayan üstü açık depolardır. Bu yüzden bu tip depolarda, ne tür depo malının teknik olarak korunabileceğinin bilinmesi gerekmektedir. Kapalı ve naylon ya da plastik ile paketlenmiş depo malları, maliyeti düşürme açısından açık depolarda depolanabilir.

Küçük depo: Bunlar, 60-600 m² arasında olan ve kümelenmiş depolardır. Üretim yapan firmalarda, kendi bünyesindeki var olan depolar gereksinimi karşılamadığında, ek bir depo görevini görmektedir ve verdiği hizmet sınırlıdır.

2.1.3. Deponun işlevleri

Geleneksel bakış açısıyla depolar malların saklandığı açık veya kapalı alanlar olarak görülmektedir. Oysa günümüzde depolar bundan daha fazlasını yapmak için kullanılmaktadır. Ürünlerin tedarikçiden kabulü, depolanması, bakımı, testi, incelenmesi, montajı, iade işlemleri, paketleme işlemleri, etiketleme işlemleri ve sevkiyat gibi hem saklama hem de katma değerli hizmetleri içeren geniş bir görev

alanına sahip olan depolar; üstlendiği bu rol ile tedarik zinciri içerisinde müşteri hizmet seviyesini yükseltmek için verilecek kararlarda odak noktası durumundadır.

Günümüzde depo ve antrepo işlemleri; malı saklamak ve korumak işlevinin yanında malı özelliklerine, müşteri tiplerine ve sözleşme esaslarına göre sınıflandırmak, kalite kontrol, ambalajlama, bar-kod ve etiketleme yaparak sevkiyata hazır duruma getirmek, bilgisayar ortamında stok hareketlerinin kaydını tutmak ve ilgili taraflar (gönderen, alıcı, müşteri, üretici vs.) ile haberleşme sağlamaktır [10]. Deponun işlevleri ürünü saklamak, sevkiyat işlemlerini yapmak ve ilgili taraflar arasında iletişimi sağlamak görevleri doğrultusunda ele alındığında [9]'da; hareket, stoklama ve bilgi transferi işlevleri olarak değerlendirilmiştir.

Depolama sistemi öncelikle; depolama ve malzeme elleçleme olarak iki ana işlevden oluşmaktadır. Depolama işlevi muhafaza, toplama (konsolidasyon), yük bölme ve ürün karıştırma (product mixing) olarak dört gruba ayrılmıştır [1].

Depolamanın en net işlevlerinden biri ürünlerin muhafazasıdır. Ürünlerin depoda kalış süreleri ve gerektirdikleri depolama şartları ne tür bir depoda muhafaza edilmeleri gerektiğini şekillendirmektedir. Ürünler depolarda doğrudan pazara sunulmaya hazır bitmiş ürün halinde muhafaza edilebildikleri gibi işlem veya montaj bekleyen yarı mamul ya da ham madde halinde de depolanabilmektedirler.

Taşımacılık için gereken hız depolama şekillerini ve doğal olarak deponun işlevlerini etkilemektedir. Birden fazla tedarikçiden ürün temin edildiği durumlarda, genel taşımacılık maliyetini düşürmek maksadıyla küçük gönderileri bir araya toplayarak büyük gönderiler halinde taşımacılık yapılmaktadır. Bu tip durumlarda daha çok dağıtım merkezi adı verilen depolar toplama (konsolidasyon) işlevini yerine getirmek amaçlı kullanılmaktadır. Dağıtım merkezleri, muhafaza depolarının uzun süreleri ürün saklama işlevlerinin aksine daha kısa süreli muhafaza işlemi yaparlarken ürünlerin toplanma ve yeniden dağıtımının yapılmasında bir ara düzenleyici konumundadırlar.

Depoları yük bölme işlevi nedeniyle kullanmak, toplama işlevinden faydalanmak için kullanmanın tam tersidir. Üretici ile müşteri arasındaki mesafenin uzun, müşteri siparişlerinin ise LTL (parsiyel yük, Less Than Truck Load) olduğu durumlarda üreticiler müşterilere daha yakın yerlerde yük bölme işlevi yapan depolar oluşturup buralara tam yük halinde (FTL, Full Truck Load) ürün taşımacılığı yapılmaktadır.

Müşterilerin siparişlerini oluşturan ürünlerin farklı tedarikçilerden temin edildiği durumlarda firmalar ürün karıştırma depoları kurarak tedarikçilerden temin ettikleri ürünleri bu depolarda müşteri siparişine uygun hale getirerek sevkiyatı gerçekleştirmektedirler. Bu sayede taşıma maliyetlerinde tasarruf sağlamış olurlar. Aksi takdirde her bir sipariş için gerekli tüm tedarikçilere ayrı ayrı taşıma işlemi yapılması gerekmektedir ki bu da maliyeti artırmaktadır.

Depo işlevlerinden ikincisi olan malzeme elleçleme işlevi ise yükleme/boşaltma, depolama/toplama ve sipariş tamamlama işlevlerinden meydana gelmektedir [1]. Depolara gelen ürünler getirildikleri taşıma modlarına bağlı olarak iş gücü veya değişik elleçleme sistemleri ile boşaltılırlar. Boşaltma işlemi sadece ürünün araçtan indirilmesi değil aynı zamanda devamındaki ayrıştırma, inceleme ve depolama öncesi sınıflandırmayı da kapsar. Yükleme işlemi de boşaltma işlemine benzemektedir. Ancak yükleme işlemi sipariş içeriğinin son kontrolü, siparişlerin sıraya konması veya ürünlerin zarar görmemesi için özel paketlenmesi gibi faaliyetleri de içermektedir.

Depolama/toplama işlemleri ürünün kabulünü müteakip yerleştirilmesinin ve sipariş üzerine toplanmasının yanı sıra ön ve art alan kullanan depolarda olduğu gibi art alandan sipariş toplama alanı olarak kullanılan ön alana taşınmasını da kapsamaktadır. Dolayısıyla depolama, toplama ve depo içerisinde yeniden yerleşimler bu alanda düşünülmektedir.

Sipariş tamamlama faaliyetleri ürünlerin gelen siparişlere göre depo yerlerinden seçilmesidir. Ürünler bazen deponun kullanım şekillerine göre geçici süreli veya yığın depolama ya da sipariş toplama alanlarından seçilebilmektedir. Sipariş tamamlama, küçük hacimli ürünlerin iş gücü yoğunluğu sebebiyle diğer ürünlere nazaran daha maliyetli oldukları için malzeme elleçleme faaliyetleri içinde en önemli olanıdır. Depolar genel düşüncenin aksine sadece ürün saklama değil diğer birçok işlevi de yerine getiren öğelerdir.

2.1.4. Depo faaliyetleri

Depolar tedarik zinciri ve lojistik ağ içindeki rollerini yerine getirirken, bir önceki bölümde belirtilen bahse konu işlevleri gerçekleştirmek adına ürünün kabulünden sevkiyata dek uzanan bir faaliyetler zincirini ifa ederler. Bu kapsamda [19]'da deponun faaliyetleri ürün kabulü, ön paketleme (seçmeli), yerleştirme, depolama,

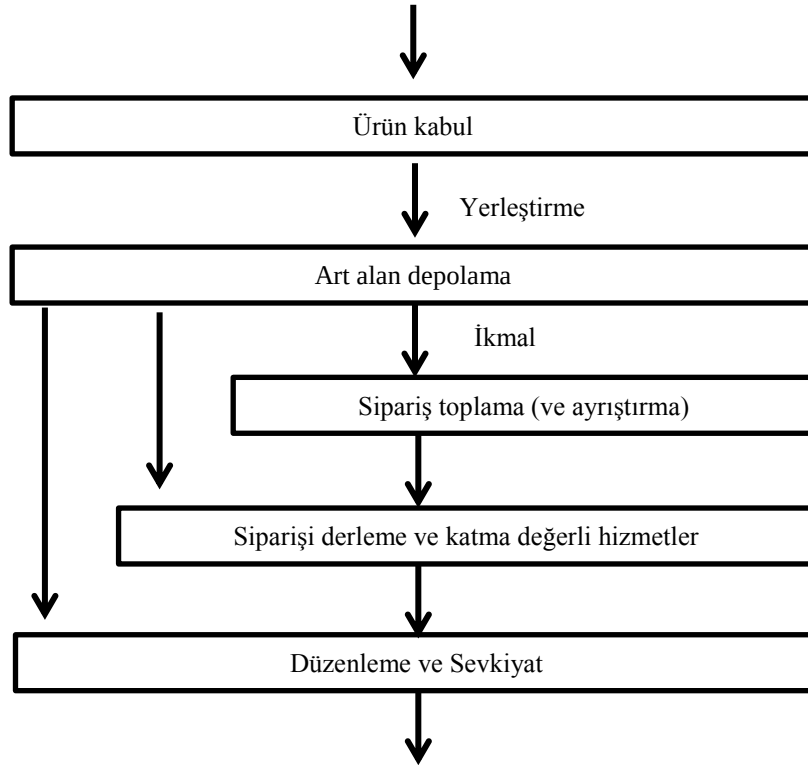
sipariş toplama, paketleme ve/veya fiyatlandırma (seçmeli), ayrıştırma ve/veya birleştirme ile paketleme ve sevkiyat olarak sekiz başlık altında toplanmıştır. Ürün kabulü, ürünlerin nitel ve nicel anlamda siparişte yer aldığı gibi getirildiğinin kontrolü ve ürünlerin depolanmak üzere teslim alınması aşamasıdır. Ön paketleme işlemi eğer işletme ürünleri yığınlar halinde alıyor ve tek parça halinde veya değişik kitleler, kombinasyonlar halinde dağıtım yapıyorsa işlem depolama sürecinin sonundaki işlem yoğunluğunu azaltmak için yapılabilecek seçmeli bir aşamadır. Ürünler kabul edildikten ve gerekli görüldüğü takdirde işlemlerden geçtikten sonra depo içi taşıma sistemleri ile bir sonraki hareketlerine dek muhafaza edilmek üzere depo yerlerine kaldırılmaktadırlar. Sipariş üzerine depo yerlerinden toplanan ürünler ön paketleme aşamasında olduğu gibi gerekli görüldüğü takdirde siparişin maiyetine göre paketlenebilirler. Aynı zamanda ürünün envantere bulunduğu süre boyunca fiyatının değişmesi durumunda yine bu aşamada fiyat etiketlerinde değişiklikler yapılabilmektedir. Bir sonraki aşamada yığınlar halinde toplanmış ürünlerin siparişlere göre ayrılması veya ayrı ayrı toplanmış olan ürünlerin yine siparişlere göre bir araya getirilmesi yapılır. Son olarak ürünlerin paketlenmesi ve sevkiyatı vardır. Bu aşamada ürünlerin nitel ve nicel olarak siparişte belirtildiği üzere hazırlanması, sevkiyat şartlarına uygun olarak paketlenmesi, yaftalama işlemleri, taşıma için ağırlığının hesaplanması, gerekirse taşıma işlemlerinin birleştirilmesi ve yükleme işlemleri (çoğu durumda taşıyıcının sorumluluğundadır) yapılmaktadır.

Depolar ürünlerin yeniden paketlenildiği ve yeniden düzenlediği yerler olup, ürünler depolara genellikle büyük ölçeklerle gelirken depodan daha küçük ölçekler halinde paketlenmiş olarak ayrılırlar. Diğer bir deyişle depoların bu aşamadaki kabaca görevi büyük yığınlar halinde gelen ürünleri daha küçük parçalar halinde dağıtmaktır. Örneğin bazı SKU'lar (Stok Tutma Birimi, Stock Keeping Unit) üretici veya satıcıdan paletler halinde gelirken müşteriye kutular halinde dağıtılabilmektedir. Ürünlerin dağıtım birimleri küçüldükçe işçilik maliyetleri artmaktadır. Depo faaliyetleri iç süreçleri oluşturan kabul ve depolama ile dış süreçleri oluşturan sipariş toplama, kontrol, paketleme ve sevkiyat işlemlerinden meydana gelmektedir [18].

[7]'de depolarda genel olarak ürün kabulü ve yollama, depolama ve sipariş toplama işlemlerini gerçekleştirildiğinden bahsedilmiştir. Devamında depolama işlevi yerine getirilirken SKU'ların, eğer depo farklı bölümlere ayrıldıysa bu bölümlere atanması, sipariş toplama kolaylığı için deponun alanlara ayrılması ve ürünlerin yer tahsisi

işlemlerinin yapıldığı belirtilmektedir. Benzer şekilde sipariş toplama başlığı altında da yığın oluşturma, rotalama ve sıralama ile ayırıştırma işlemlerine yer verilmiştir.

Tipik bir envanter bulundurma deposu için depo faaliyetleri ve malzeme akışları Şekil 2.3'te gösterilmiştir:



Şekil 2.3: Envanter bulundurma deposu faaliyetleri [12].

2.1.4.1. Ürün kabul

Bu aşamada ürünler fiziksel olarak gelen taşımadan indirilirler, satın alma siparişleri ile karşılaştırılarak kontrol edilirler ve kayıtlara gelen ürünler olarak kaydedilirler. Ayrıca paketleri açma veya bir sonraki depo faaliyetine hazır hale getirmek üzere tekrar paketlenme işlemleri de yapılabilir. Kalite kontrol işlemleri de bu aşamanın bir parçasıdır. Bundan sonra da ürünler depo yerlerine yerleştirilirler.

2.1.4.2. Art alan depolama

Birçok depoda depo kullanım alanı ön ve art alan olarak ikiye ayrılmıştır. Gelen ürünler öncelikle art alanda palet veya yığınlar şeklinde depolanır. Ürünler duruma göre buradan ya ön alan olarak kabul edilen sipariş toplama alanının ikmali için ya da doğrudan müşteri siparişinin boyutuna göre sevkiyata gönderilirler.

2.1.4.3. Sipariş toplama

Müşteriden sipariş geldiğinde gerekli hizmet seviyesine ulaşabilmek için ürünler depo yerlerinden zamanında ve doğru miktarda toplanmalıdırlar. Siparişler genellikle birden fazla üründen belirli miktarlarda oluşurlar. Eğer sipariş ürünün geldiği yük birimi ile verilmişse doğrudan art alandan karşılanabilir, aksi takdirde ön alandan sipariş toplama işlemi yapılır. Sipariş toplama depo yönetimi içerisinde gerek işçilik gerekse müşteri hizmet seviyesi bakımından maliyet anlamında en çok dikkat edilmesi gereken faaliyettir.

2.1.4.4. Ayırıştırma

Küçük boyutlu siparişlerin geldiği bir lojistik süreçte siparişleri yığınlar halinde toplamak mantıklıdır. Bu durumda ürünler sevkiyattan önce gelen siparişlere göre ayırıştırılmalıdırlar.

2.1.4.5. Siparişi derleme ve katma değerli hizmetler

Ürünler sevk edilecekleri karton vb. sevkiyat malzemelerine toplanmadıkları sürece daha sonrasında siparişleri hazır hale getirecek şekilde tam olarak derlenmelidirler. Örneğin ürünler bir paketleme istasyonuna gönderilip taşımaya hazır hale gelecek şekilde paketlenirler. Bu süreç ayrıca üretimin nihai erteleme noktası olarak da hizmet verebilir. Kit oluşturma veya etiketleme gibi katma değerli hizmetler de bu aşamada yapılır.

2.1.4.6. Düzenleme ve sevkiyat

Ürünler sevkiyat alanlarında araçların alacakları yükler şeklinde düzenlenirler ve taşıyıcı araca tedarik zincirindeki bir sonraki düğüme götürülmek üzere yüklenirler.

2.1.5. Deponun tedarik zincirindeki rolü ve önemi

Depolar tedarik zincirlerinde çok değişik roller üstlenebilirler. Örneğin sadece ürün muhafazası için kullanılan bir depo üretim hattına aksaklık yaşanmaması için çok hızlı cevap verme durumundadır. İnternet satışı yapan firmaların depoları ise çok fazla çeşide sahip bir envanteri yönetirken çok küçük miktarlarda ürünleri müşterilere düşük maliyetle sevk etmelidirler. Bir fabrikaya ait depoda ise sınırlı sayıdaki üründen çok miktarda depolanmalıdır. Büyük perakende mağazalarına ürün gönderen firmaların depoları çeşitli ürünlerden çok sayıda ürün depolarken ürün

gönderimleri belirli dönemlerle ve büyük miktarlarla olur. Aynı zamanda Pazar kampanyaları gereği bazen itme yoluyla bazı ürünleri mağazalara sevk ederler [15]. Görüldüğü üzere depolar işçilik, bilgi sistemleri, depo alanı, depolama ve malzeme elleçleme gibi maliyetlere rağmen yine de lojistik ağlar içerisinde vazgeçilmezlerdir, çünkü depolar ürünleri muhafaza etmenin yanı sıra taşımacılık maliyetlerinin azaltılması, katma değerli hizmetlerin görülmesi veya üretim erteleme gibi uygulamaların yapılabilmesi için fırsat oluşturulması gibi sebeplerle tedarik zincirinde ürünün tedarikçiden müşteriye kadar kat edeceği yolda esas bağdaştırıcı durumundadır.

[18], depoların kullanım nedenlerini müşteri talebi ile uyum sağlayabilmek ve konsolidasyon yapabilmek olarak göstermiştir. Mevsimsellik veya başka sebeplerle müşteri taleplerinde ani değişiklikler olması günümüzde birçok pazarda görülebilen bir durumdur. Oysa ürünlerin tedarikinde firmalar çeşitli tahmin modelleri kullansalar bile aynı orandaki değişimi yakalamaları neredeyse imkânsızdır. Bu nedenle müşterilerin değişen talepleriyle uyum sağlamak ve artan talep durumlarında kısa kalma sorunu yaşamamak için doğrudan satıştan ziyade envanter bulundurmak, yani bir depo işletmek gerekmektedir. Depolar sadece müşteri taleplerindeki ani değişimler için değil, tedarikteki değişimler için de etkili çözüm araçlarıdır. Kimi zaman toplu ürün alımları firmaların ekonomik anlamda tercih ettikleri bir durumdur. Konsolidasyon ise firmaların sıkça başvurduğu bir yöntem olup dağıtım merkezi olarak kullanılan depolara ihtiyaç duyulmasına sebep olmaktadır. Oldukça önemli bir maliyet kalemi olan taşımacılık hususunda birçok aracın tam yük seviyesine ulaşmadan yine birden çok noktaya ürün taşınmasından ziyade, tam yük haline getirilmiş araçlar ile daha az taşıma işlemi yapılması maliyet bakımından daha etkin olmaktadır. Konsolidasyon vasıtasıyla bir veya birkaç firmaya ait çeşitli üretim merkezlerinden birleştirilmiş sevkiyatların ortak müşterilere yapılabilmesi mümkün kılınmaktadır. Sadece konsolidasyon değil aynı zamanda yük bölme ve ürün karışımı da konsolidasyon ile benzer faydaları sebebiyle depoların kullanılması için sebep oluşturan önemli etkenlerdir. Ayrıca depolar müşteriye yakın olmak için de kullanılmaktadır. Özellikle az sayıda ve tekrar eden siparişler için müşteriye cevap hızını artırmak için pazara yakın yerlerde depolar kurmak işletmelerin sıkça başvurduğu yöntemlerdendir [19].

Bir işletmenin tedarik sürecini kusursuz şekilde işletmesi, müşteri taleplerini de net şekilde bilmesi ve taşımacılık süreçlerinde yine kusursuz şekilde görevlerin yerine getirilmesinin gerçeklik payının bulunmaması işletmeleri depoların kullanımına yönlendirmektedir. Taşımacılık ve üretim konularında sağladığı kolaylıklar nedeniyle depo kullanımı maliyet olarak işletmenin üzerinde yük olmaktan çok maliyet azaltma konusunda bir araçtır. Lojistik ağ süreci boyunca oluşacak üretim, satın alma, taşımacılık ve müşteri talebini karşılamaya ilişkin muhtemel giderleri göz önüne alındığında depo kullanımı zorunluluktan ziyade bir ekonomik kazanç noktası durumuna gelmektedir. [1]'e göre depo kullanımı için dört temel sebep vardır. Bunlar taşıma ve üretim maliyetlerini indirmek, tedarik ve talebi koordine etmek, üretim süreçlerinde yardım ve pazar süreçlerinde yardımdır. Üretim gerçekleştiren bir firmanın depo kullanması üretimin aksaklık veya duraksama yaşamadan üretimin devamını sağlamasına ortam hazırlamaktadır. Firmanın pazara uzaklığının söz konusu olduğu durumlarda müşteriye daha hızlı cevap verilmesi ve iade işlemleri gibi katma değerli işlemlerin de etkinlikle yapılması için depoların kullanılması mantıklı olmaktadır.

Özellikle talebin sürekli olduğu veya tedarik zamanının talep çevrim süresinden uzun olduğu durumlarda envanter bulundurmamak elzem hale gelmektedir. Müşterinin talebiyle aynı frekansı tutturabilmek ve kısa kalmamak için alınabilecek tek yöntem envanter bulundurmadır. Tam zamanında üretim vs. gibi yöntemlerde bile depoların varlığı gerçek bir gereklilik arz etmektedir. Aksi takdirde ürünlerin tedarikçiden alınıp, işlem görme ve teslimat aşamasının her birinde süre temelinde hiç hata yaşanmaması gerekmektedir ki gerçek dünyada bu durum mümkün değildir. Talep tahminlerinin kullanımı da bu durumu hafifletmemektedir, çünkü sonuçta yapılan işlem sadece tahmin etmektir. Dolayısıyla talepte meydana gelebilecek bir dalgalanma firmanın elinde muhafaza etmesi gereken fazla ürün kalmasına veya müşterinin talebini karşılayamayarak kısa kalmasına sebep olacaktır ki her iki durum da katlanılması gereken ek maliyetler oluşturmaktadır. Özellikle ikinci durumda katlanılan sıkıntı sadece kısa kalmadan kaynaklı kârdan kayıp değil, aynı zamanda itibar kaybına sebep olmaktadır. Dolayısıyla etkin bir envanter yönetimi ile depo kullanımı işletmenin maliyetlerinde artışın aksine tedarik zincirine genel bir bakış ile yaklaşıldığı vakit işletmenin mali açıdan faydasına olduğu görülmektedir.

Depoların lojistik ağılarda üstlendikleri rollerden bazıları; envanter muhafaza noktası, konsolidasyon merkezi, çapraz sevkiyat merkezi, ayrıştırma merkezi, birleştirme tesisi, aktarma noktası, iade ürünler merkezidir. İşletmeler içinde bulundukları lojistik süreçlerde bazen yukarıdaki rollerden birkaçını birden yerine getirmektedirler [12].

2.1.5.1. Envanter saklama yeri

Bu depolar genellikle ayırım noktası kavramıyla ilişkili olup önemli miktarda ürünler depolanır. Üretim yapan firmalarda aksaklık anlarına önlem amaçlı kritik parçaların muhafaza edildiği depolar da bu kapsamdadırlar.

2.1.5.2. Konsolidasyon merkezi

Müşteriler genellikle siparişlerinde birden fazla ürün talep ederler ve doğal olarak bunların birlikte gönderilmesini isterler. Konsolidasyon merkezleri bu ürünlerin bir araya getirilmesini, kendi envanterlerinin yardımıyla veya tedarik zincirindeki başka noktaları kullanarak, sağlarlar.

2.1.5.3. Çapraz sevkiyat merkezi

Eğer ürünler doğrudan üreticiden veya başka bir depodan gibi tedarik zincirindeki başka bir yerden özel olarak müşterinin siparişini yerine getirmek için getirildiyse, ürünlerin çapraz sevkiyatı söz konusudur. Yani ürünler giriş çıkış yerleri vasıtasıyla, depolanmadan gelen araçtan doğrudan giden araca yüklenirler.

2.1.5.4. Ayrıştırma merkezi

Bu depolar da aslında temel olarak çapraz sevkiyat merkezleridir, ancak ayrıştırma merkezi terimi ürünlerin belirli bölge veya müşteriler için ayrıştırılmak üzere getirildiği paket taşınmalı depolar için kullanılmaktadır.

2.1.5.5. Montaj tesisi

Bu depolar genellikle envanteri en küçükleme için tedarik zincirinin geride kalan kısmı boyunca mümkün olduğu sürece ertelemeli üretimlerde faydalıdır. Bu depolar dolayısıyla ürünler için kit oluşturma, test ve etiketleme gibi faaliyetlerin de dâhil olduğu son birleştirme noktası olarak kullanılmaktadır.

2.1.5.6. Uluslararası Aktarma noktası

Bu depolar genellikle ülkenin dışında olan bölgelere hizmet verirler. Ürünler ulusal bir dağıtım merkezinden alınır ve ürünlerin derhal müşteriye dağıtım için daha küçük araç yükleri halinde ayrıştırıldıkları, boş aktarma depolarına taşınırlar. Bu aktarma depoları sadece ayrıştırma amaçlı kullanılan küçük depolardır.

2.1.5.7. İade ürünler merkezi

İade edilen ürünlerin yönetilmesi giderek artan bir önem arz etmektedir. Bu durum, mağaza satışlarına göre daha yüksek yüzde iade oranına sahip internet satışları ve çevre ile ilgili yasaların (örneğin paketleme ve elektrik/elektronik malzemelerin geri dönüşümü ile ilgili) etkisi altında bulunmaktadır.

2.1.6. Depolamaya duyulan ihtiyacın nedenleri

İşletmeler tedarik zinciri içindeki belirsizliklere karşı emniyet tedbiri almak, hizmet seviyesini yüksek tutmak, taşımacılık ve üretim maliyetlerini düşürmek gibi sebeplerle envanter tutma ihtiyacı duymaktadırlar. Bu envanter bulundurma isteği depolamanın ihtiyaç olmasının temel sebebini oluşturmaktadır. İşletmeler depolar sayesinde tedarik zincir içindeki ani değişikliklere karşı hazırlıklı olurlar. Tedarikteki yaşanabilecek sıkıntılar veya ekonomik kaygılar nedeniyle değişen tedarik parti büyüklüklerinin yol açabileceği sıkıntılar konusunda depolar tampon görevi görebilirler. Benzer şekilde depoların varlığı ile müşteri taleplerindeki değişimler karşısında işletmelerin daima hazırlıklı kalması mümkündür. Depolar aynı zamanda işletmelerin pazarda müşterilere daha rahat erişmeleri için önemli araçlardır. İşletmenin coğrafi olarak uzağında kalan pazarlar için müşteri talebine cevabın hızlı verilebilmesi için depoların kullanımı şarttır. Aynı zamanda özellikle yine coğrafi olarak uzak olan pazarlarda küçük miktarlı ve farklı zamanlarda gelen siparişlerin müşteriye ulaştırılmasındaki taşımacılık maliyetlerinin de düşürülmesinde depolar etkili hamleler olmaktadır. Depolar aynı zamanda iade işlemleri veya yine müşteri memnuniyeti kapsamında müşteri ile ilişkilerin yürütülebileceği noktalar olarak kullanılabilirler. Bazı işletmeler depolara tüm bu hususların yanı sıra üretim erteleme politikaları nedeniyle de ihtiyaç duyabilmektedirler. Üretilen ürünün niteliğine veya müşteri siparişinin niteliğine göre ürünün sevkiyattan hemen önce montajı/birleştirilmesi depolarda yapılarak sevkiyat gerçekleştirilmektedir. Tüm bu sebepler göz önüne alındığında depolar lojistik süreçlerde farklı rol ve görevler

üstlenerek işletmelere esneklik ve düşük maliyetler gibi faydalar getirmektedirler. Dolayısıyla işletmeler tüm kazanç ve kayıpları değerlendirdiklerinde, depo sahipliği, kullanımı, işletmesi gibi konulardan kaynaklanacak maliyetlere rağmen depoların kullanımına ihtiyaç duymaktadırlar.

İşletmelerin depo kullanım sebepleri [9]'da şöyle aktarılmıştır:

- Nakliye giderlerinden tasarruf sağlamak,
- Üretim tasarrufu sağlamak,
- Ölçek ekonomisinden yararlanılan satın almaların gerçekleştirilmesini sağlamak,
- Sürekli bir tedarik kaynağı sağlamak,
- Firmanın müşteri hizmet politikalarını desteklemek,
- Değişen pazar koşullarını karşılamak (mevsimsellik, talep dalgalanmaları, rekabet vb.),
- Üreticiler ile tüketiciler arasındaki zaman ve yer farklılıklarını ortadan kaldırmak,
- İstenilen müşteri hizmet düzeyi ile orantılı en düşük toplam maliyete ulaşmak,
- Üreticilerin ve müşterilerin 'tam zamanında' felsefesini taşıyan programlarını desteklemek,
- Müşterilere her siparişte tek ürün yerine ürünlerin bir karışımını temin etmek,
- Atık veya geri dönüşümü olan malzemelerin geçici olarak stoklanmasını sağlamak.

2.1.7. Depolamayı etkileyen stratejik konular

Depolar tedarik zinciri içerisinde bütünlüycü bir parça ve süreçleri birbirine bağlayıcı noktalar olmaları nedeniyle depoların yönetimi veya tasarımı üzerinde alınabilecek her türlü karar aslında tüm tedarik zincirini ilgilendirmektedir. Depoların tasarımı ve işleyişi içinde bulunan tedarik zincirinin özelliğine ve işletmenin yine bu lojistik ağ içindeki rolüne göre şekil almaktadır. Dolayısıyla karşılıklı olarak kuvvetli inşa edilmesi gereken bu bağ nedeniyle depoların tasarımından başlayarak tüm yönetim süreci dahil olmak üzere verilen bütün kararlar söz konusu tedarik zincirine ve işlemenin tedarik zinciri içinde gerçekleştirdiği görevlerine uygun olmalıdırlar. Aksi halde sürecin işleyişinde uyumsuzluklar nedeniyle giderek büyüyen aksaklıklar yaşanması kaçınılmazdır.

Depolamayı etkileyen birçok stratejik mesele olabileceği gibi bunların başlıcaları şunlardır [12]:

2.1.7.1. Pazar/Endüstri eğilimleri

Hemen hemen tüm endüstriler, pazarlarında ve benzer şekilde ilgili teknolojilerde önemli değişiklikler ile karşılaşmaktadırlar. Örneğin yiyecek perakende sektörü, fabrika çıkışı fiyatlandırması, bozulabilen ve diğer ürünlerin çapraz sevkiyatı, mağazalarda hazır bulundurulmuş sunumlar gibi gelişmelere şahit oldu. Tüm bu gelişmeler depo tasarımı ve yönetimi bakımından da kayda değer değişikliklere sebep oldu. Dolayısıyla son pazar eğilimleri göz önünde bulundurulmayan tasarlanan veya yönetilen depolar, işletme aşamasına gelindiğinde ciddi sıkıntılarla karşılaşılmasına sebep olmaktadır.

2.1.7.2. İşletme amaçları

Değişik şirketlerin genellikle pazar durumları (örneğin müşteri hizmet taahhütleri), personel politikaları (örneğin çalışma ortamı) ve paydaşların beklentileri (örneğin sermaye yatırımları için makul geri ödeme zamanlarını etkileyebilecek beklentiler) açısından değişik amaçları vardır. Depolar da şirketlerin bu belirli amaçlarıyla uyum içerisinde olmak zorundadırlar.

2.1.7.3. İş planı

İş planı yeni pazarlar ve satış tahminleri ile aynı zamanda bu tahminlerin netlik derecesini içermektedir. Bu içerikler, depolamaya dâhil edilmesi gereken genişleme potansiyeli ve izin verilmesi gereken esneklik derecesi gibi tasarım kararlarını etkilemektedirler. Özellikle müsaade edilecek esneklik derecesi için depoların, iş planındaki muhtemel değişikliklerle nasıl başa çıkacağını görmek için senaryo planlamaları yapmak gerekebilir.

2.1.7.4. Tedarik zinciri stratejisi

Her depo bütün tedarik zinciri stratejisinin içerisinde bir bileşen durumundadır ve bu nedenle tedarik zinciri dikkate alınarak tasarlanmalıdır. Bu strateji her deponun yerini, boyutlarını ve rolünü belirler. Depo boyutu toplam üretilen iş kapasitesi ve gereken envanter kapasiteleri göz önünde tutularak belirlenebilir.

2.1.7.5. Diğer ilgili stratejiler

İş planı çeşitli departmanların stratejilerinin olduğu kadar tedarik zincirinin stratejisi doğrultusunda da uygulanmalıdır. Bu stratejilerin çoğu, tedarikçilerden veya üretimden gelen yığın ebatları, müşteri sipariş karakteristiği, uygun bilgi teknolojileri ve finansal kısıtlamalar gibi etkenleri belirledikleri için depo tasarımı etkilemektedirler.

2.1.7.6. Müşteri hizmet seviyeleri

Daha önce tanımlanan stratejilerden bazıları, özellikle pazarlama ve tedarik zinciri ile ilgili olanlar, deponun karşılaması gereken müşteri hizmet seviyesini belirlemektedirler. Deponun nasıl tasarlanması ve işletilmesi gerektiğini belirleyen anahtarlar bu hizmet seviyeleridir.

2.1.7.7. Dış etkenler

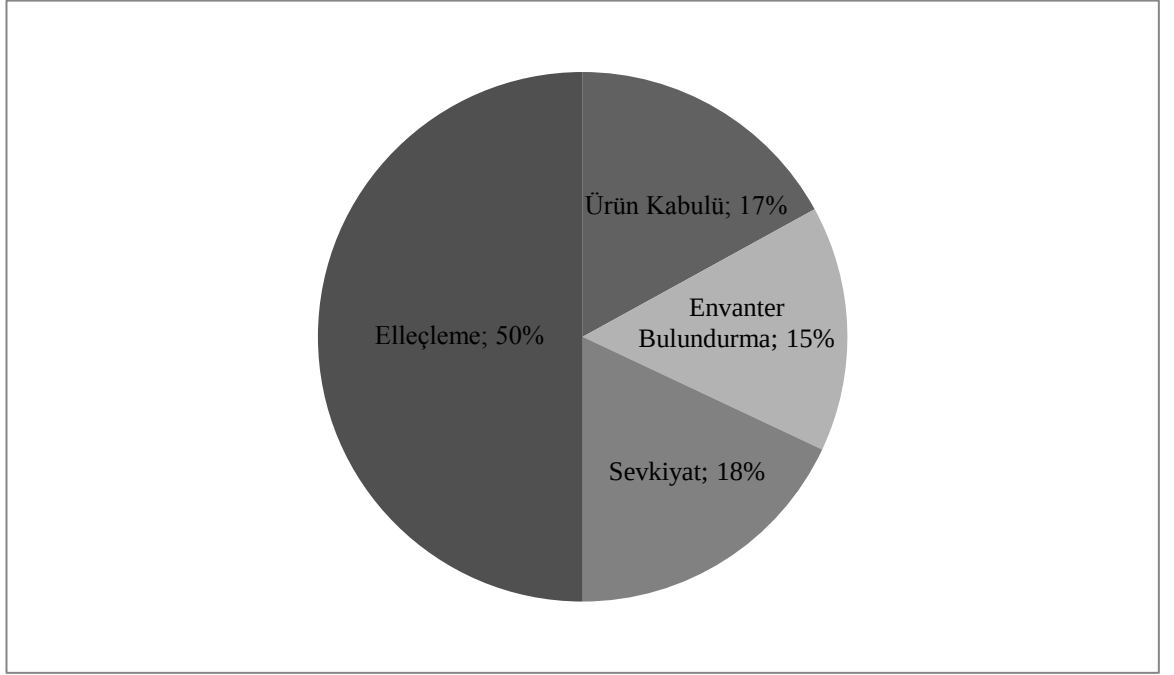
Özellikle yasalar gibi dış etkenlerden kaynaklanan kısıtların olması muhtemeldir. Depo tasarımı ve faaliyetlerini yerel planlama kısıtları (örneğin bina yüksekliği ve çalışma saatleri) kadar inşaat, sağlık ve emniyet, manuel elleçlemeleri, çalışma saatleri, yangın önlemleri, teçhizat, zararlı maddeler, yiyecek güvenliği ve paketleme atığı gibi alanlara ilişkin yasaları içeren geniş çaptaki kanuni yönetsel bağlayıcılar etkilemektedirler.

2.1.8. Depo maliyetleri

2.1.8.1. Depo faaliyetlerinin maliyeti

Depo faaliyetleriyle ilişkili toplam yıllık maliyet; ürünlerin kabulü, depo yerlerinde ürün bulundurma, müşteri siparişlerini toplama ve düzenleme ile sevkiyattan oluşan dört ana faaliyetten kaynaklanmaktadır. Bu maliyetler esasen depolama ortamı ile depolama/toplama mekanizmaları ve bu mekanizmaların politikalarına dayanmaktadır. Ürünlerin kabulü ve gönderme için siparişe göre düzenlenmesi otomatikleştirilmesi güç faaliyetler olması sebebiyle genellikle iş gücü yoğun aşamalardır. Envanter bulundurma ise genellikle depolama ortamı ile ilgili konulardır. Diğer taraftan toplama maliyetleri ise manuel sistemlerden tam otomasyona kadar geniş bir yelpazeye uzanan depolama/toplama taşıma sistemleriyle

ilgilidir. Şekil 2.4'te depo faaliyetlerinden kaynaklanan maliyet oranları gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Depo faaliyetlerinin maliyet oranları [16].

2.1.8.2. Depo işletme maliyeti

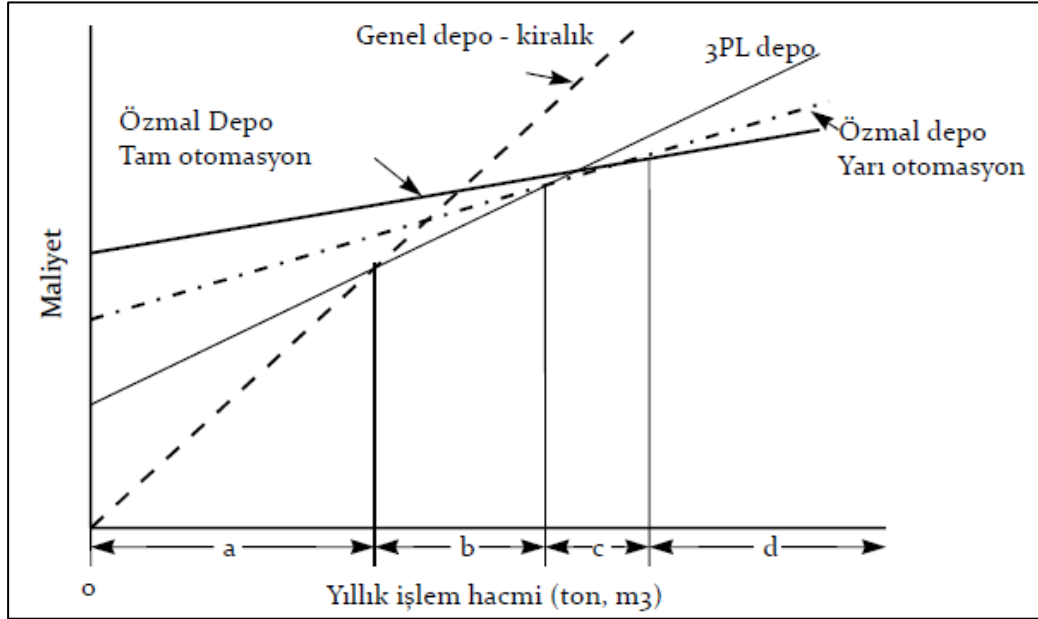
Lojistik maliyetlerin %18-20'si envanter bulundurma maliyeti iken, %20-30'u da depo işletme maliyetleridir. Bu iki maliyet birlikte düşünüldüğünde işletmeler için oldukça önemli bir miktarı teşkil etmektedir. Depolama maliyetlerini oluşturan maliyetleri detaylandırmak gerekirse, bu maliyet oranları: yarısı sipariş toplama ve paketleme personeline ait olan %45-50 personel maliyeti; kiralama ve aşınma payı giderleri de dâhil olmak üzere % 25 bina maliyeti; ısıtma, ışık, enerji, bina bakımı, sigorta giderleri dâhil olmak üzere %15 bina hizmetleri; kiralama veya aşınma payı, teçhizat bakımı ve idame maliyetleri dâhil olmak üzere %10-15 teçhizat maliyetleri; sistemler ve veri terminalleri dâhil olmak üzere %5-10 bilgi teknolojileridir [12].

2.1.9. Depo sahipliği

Bir lojistik sistemde depolamaya ihtiyaç duyulduğunda işletmenin karşısında iki seçenek vardır; bir uzmanın hizmetinden yararlanmak veya bu işi kendi tesislerinde yürütmektir. Firmalar envanterlerini stoklamak üzere ya bir depo işletmek ya da bu işi üstlenecek bir 3PL(Üçüncü Parti Lojistik), firma ile anlaşmak durumundadırlar.

Bu kapsamda depo sahipliği değerlendirildiğinde üç çeşit durum karşımıza çıkmaktadır. Bunlar özmal depolar, genel depolar ve anlaşmalı (3PL) depolardır.

İşletmeler yapılacak yatırım, toplam üretilen iş miktarı, istenilen kontrol seviyesi veya malî kaygılar gibi hususları göz önünde bulundurarak bu depo işletme seçeneklerinden birine yönelmektedirler. Seçilecek depo işletme şekline göre işletmenin katlanması gereken maliyetler Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Depo alternatiflerinin değerlendirilmesi [1].

[1], yıllık işlem hacmi ve seçilen depo seçeneğinin işletmeye maliyetleri değerlendirildiğinde; “a” ile ifade edilen bölgede genel depo kullanımının, “b” ile ifade edilen bölgede anlaşmalı depo kullanımının, “c” ile ifade edilen bölgede yarı otomasyonlu özmal depo kullanımının ve nihayet “d” ile gösterilen bölgede ise tam otomasyona sahip özmal depo kullanımının daha doğru olduğunu belirtmiştir.

2.1.9.1. Özmal depolar

Özmal depolar başlangıçta depolama alanı ve elleçleme sistemleri için ciddi yatırım gerektirmektedir, ancak uzun vadede sabit ve önemli miktardaki talepler durumunda en az maliyetli seçenek durumundadırlar. Ayrıca bu depolar müşteri hizmet seviyesinin yüksek tutulmasının istendiği durumlarda depolar üzerinde yüksek seviye kontrol isteniyorsa veya süreç için özel personel ve teçhizatlar gerekliyse tercih edilirler. Bu depoların diğer bir kullanım alanı ise gerektiğinde işletmelerin satış merkezleri olarak da kullanılabilmeleridir [16]. Mevsimselliğin veya talepte başka

sebeplerle olan değişkenlik durumlarında boş kapasiteler olması ve atıl iş gücünün oluşması söz konusudur. Özmal depolarda toplam iş miktarı arttıkça tam otomasyonlu sistemlerin kullanımı daha mantıklı hale gelmektedir. Tam otomasyonlu sistemler başlangıçta otomatik konveyörler, bilgisayarlı sistem destekleri gibi ciddi yatırımlar gerektirir, ancak değişken maliyetler konusunda da yarı otomasyonlu sistemlere veya manuel sistemlere göre tercih edilen durumdadır.

Özmal depoların işletme maliyetleri diğer seçeneklere göre düşük iken, ilk yatırım olarak ise ciddi sermaye aktarımı gerektirmektedir. Anlaşmalı veya genel depolara göre özmal depolar, müşteri hizmet seviyesini yüksek tutmak için depo üzerindeki kontrolün yüksek olmasını isteyen işletmeler için daha makuldür. Tabii ki bu durum yönetimin iş yükünün diğer seçeneklere göre daha fazla olması anlamına da gelmektedir. Özmal depolar vergi avantajı açısından değerlendirildiğinde aşınma payı giderleri olarak gösterilebilirler. Bu depolarda depolama ve elleçleme maliyetlerinin belirlenmesi güçtür. Işıklandırma, ısıtma/soğutma, işçilik, enerji kullanımı vb. birçok girdiyi dâhil ederek net bir hesaplama yapmak zordur. Özmal depolar esneklik açısından değerlendirildiğinde diğer depo işletme seçeneklerine nazaran geride kalmaktadır, çünkü ciddi bir yatırım yapılan tesisin envanterdeki değişimlere göre yeniden boyutlandırılması, özelliklerinin değiştirilmesi veya tesisin değiştirilmesi çok maliyet etkin olmamaktadır. Bununla birlikte bu depoların diğer bir avantajı ise işletmeye özel tasarımlarla inşa edilmiş olmalarıdır. Bu sayede işletme üyesi oldukları tedarik zincirine uyumla hizmet verebilirler.

2.1.9.2. Genel depolar

Genel depolar işletmelere kısa dönemler için hizmet veren başka işletmeler tarafından çalıştırılan depolardır. Genel depolar belirli ürün tiplerine (örneğin yığın tipi ürünler veya sıcaklık kontrollü ürünler) hizmet verebilecek şekilde elleçleme ve depolama sistemlerine sahiptirler [16]. Tasarımları işletmeye özel olmadığı için uygun tip stoklayan depolar kiralansa bile işletmenin tedarik zincirine tam uyumu sağlanamayabilir. Talepteki değişiklikler veya başka sebeplerle işletmenin depolama ihtiyaçlarının değişmesi durumunda kiralanan deponun değiştirilme maliyeti yüksek değildir. Bu durum işletmeye esneklik kazandırmaktadır. Bu depolarda ilk yatırım söz konusu değildir, ancak işletme maliyetleri özmal depolara göre yüksektir.

2.1.9.3. Anlaşmalı (3PL) depolar

Diğer bir depo seçeneği de anlaşmalı (3PL) depo kullanımıdır. Genel depo kullanımının aksine anlaşmalı depolar uzun süreli anlaşmalar ile işletme kullanımına sunulurlar. Genel depolarda olduğu gibi bu depoların da ilk yatırımlarının olmaması bir avantaj iken bunun yerine işletme maliyetleri özmal depolara göre daha yüksektir. Bu depoların işletme maliyetleri yine genel depolarda olduğu gibi vergilendirmede gider gösterilebilir. Bu depolar dış kaynak kullanımı şeklinde yürütüldüğü için yönetimin iş yükü azdır. Esneklik açısından özmal depolar ile genel depoların arasında bir yere sahiptirler. Tedarik zincirindeki şartlar değiştiğinde işletmenin kullanılan depoyu değiştirmek istemesi özmal depodaki kadar zor değilse de genel depodaki kadar da kolay olmamaktadır. Genel depolara benzer şekilde bu depolar işletmeye özel inşa edilmedikleri için daha genel tasarımlara sahiptirler.

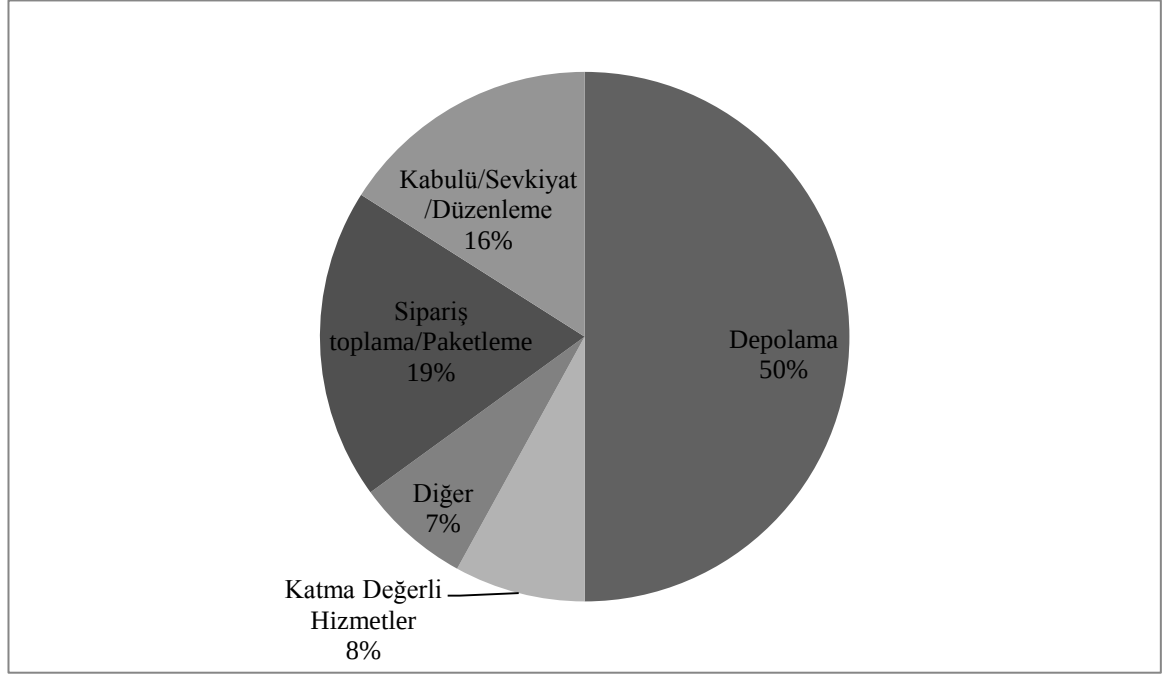
2.1.10. Kullanılacak depo sayısına karar verme

Depo kullanımı her ne kadar taşımacılık ve üretim gibi konularda sağladığı faydalarla bir maliyetinden fazla fayda sağlasa da yine de ciddi yatırımlar gerektirdiği unutulmamalıdır. Bu durumda işletmeler üretilen toplam iş miktarı, envanter seviyeleri, tedarik zinciri ve pazar şartları ile maliyet gibi unsurları göz önüne alarak kullanacağı depo sayısına karar vermelidir. Depolar ilk yatırımın yanı sıra faaliyet süresince işletme maliyetleri de çıkarmaktadır. Bu durumda karar vericiler tarafından maliyet ve fayda dengesi optimum seviyede tutularak kullanılacak depo sayısı değerlendirilmelidir. Depo sayısının artması müşteri hizmet seviyesinde artış ve taşımacılık maliyetlerinde tasarruf anlamına gelirken daha fazla maliyeti de beraberinde getirmektedir.

2.1.11. Depolarda alan kullanımı

Depo işletme maliyetlerinin arasında en yüksek olan iş gücü yani personel maliyetleri olsa da ciddi bir oranla ikinci sırada gelen de bina maliyetleridir [17]. Bu nedenle depolarda alan kullanımı oldukça önemlidir. İşletmeler çalıştırmakta oldukları süreçlerin ihtiyaçlarını net olarak belirleyebilmelidirler. Gereğinden fazla veya az alan ihtiyacı tespiti özmal veya kiralık depoların hepsinde ciddi kayıplara yol açabilir. Aşırı alan kullanımı sadece binaya yatırılan fazla sermaye olarak düşünülmemelidir. Ürün depolama ve sipariş toplama gibi faaliyetlerde gereğinden fazla dolaşım mesafeleri olacağı için fazla iş gücü harcanmasına da neden

olmaktadır. Aksi durumda gereğinden daha az alan tahsisi yapılırsa da ürünler düzenli bir şekilde depolanamayacaktır. Depo yerleri dolduğunda depo içerisinde bulunan boş yerlere konulan ürünler yine depolama ve sipariş toplama faaliyetleri esnasında engel teşkil edeceklerdir. Dolayısıyla harcanan iş gücünün artmasından, gecikmeler dolayısıyla müşteri hizmet seviyesindeki düşüslere kadar birçok zarar meydana gelecektir.



Şekil 2.6: Alan Kullanımı [12].

Depo faaliyetlerinin depo alanı kullanımı üzerine olan oranları Şekil 2.6'da gösterilmiş olup depolama faaliyetinin diğer faaliyetlerden çok daha fazla alan kapladığı görülmektedir. Sipariş toplama ve paketleme faaliyetlerinin oranları, genellikle bu işlemler beraber yapıldığı için birlikte gösterilmiştir. Bu iki faaliyet, ürünlerin kabulü, sevkiyatı ve her iki faaliyet için de gerekli tertiplemelerden daha fazla alan kullanımı gerektirmektedir. Katma değerli hizmetlerin oldukça az alan gerektirmesi dikkat çeken bir husustur. Bu durum, katma değerli hizmetlerin genellikle sipariş toplama ve paketleme faaliyetlerinin bütünleyici bir kısmı olmasından kaynaklanmaktadır [12].

2.1.12. Depo yönetimi

Depolar her tedarik zincirinin temel parçalarıdır. Tedarik zinciri boyunca ürün mevsimselliği ve/veya üretimdeki yığınlama politikası ve taşımacılık gibi nedenlerle

oluşabilecek değişikliklerle başa çıkmak için ürün stoklamak, çeşitli tedarikçilerden gelen ürünlerin müşterilere birleştirilmiş sevkiyatı için konsolidasyonu ve kit oluşturma, fiyatlandırma, etiketleme, ürün özelleştirme gibi katma değerli hizmetlerin yürütülmesi deponun ana rollerinin kapsamına girmektedir [7]. Tedarik zincir içindeki birçok faaliyeti bu şekilde içeren veya diğer faaliyetleri de önemli seviyede etkileyen bir unsur olan deponun yönetimi yüksek seviyede dikkat ve ciddiyet ile alınmış doğru kararları gerektirmektedir.

Depolar malların üst üste dizildiği ve giriş çıkışının yapıldığı yerler değildir. Teknoloji alanındaki gelişmelerden en çok nasibini alan lojistik faaliyetleridir. Son yıllardaki teknolojik gelişmeler depoların daha verimli bir şekilde kullanılmasını ve dolayısıyla envanter masraflarının büyük oranda azalmasını sağlamıştır. Örneğin, gelişen teknolojiyle birlikte bilgisayar ortamında stok takibi yapılabilmektedir. Buna benzer metotlar kullanılarak böylece, etkin bir depo yönetim sistemi ile deponun yönetilmesi mümkün olmaktadır [8]. Depoların etkinlikle yönetilebilmesi için yöneticilerin; müşteri hizmet seviyeleri, tedarik zincir içindeki üstlenilen rol, toplam üretilen iş miktarı, depo ve depolama yetenekleri, malî imkânlar, yerel kanun ve uygulamalar ve hatta çalışan personel nedeniyle bölge insanının eğilimleri ve yapısı da dâhil olmak üzere birçok değişik alanda detaylı bilgi ve veriye sahip olması ve bu verileri hemen hemen kusursuz bir ahenk içinde düzene koyması gerekmektedir. Bu uyum sağlama sürecinde verilecek kararlar ise uzun, orta ve kısa vadeli kararlar şeklinde planlanarak daha sistematik ve akılcı bir yaklaşımla ortaya konulmalıdırlar.

Depolamanın amacı müşteri gereksinimlerini karşılarken depo kaynaklarından faydalanmayı en büyükmektir. Bu en büyükleme işlemi için ve doğal olarak müşteri memnuniyeti için anahtar konu kontroldür. Depo yönetiminde kontrolü sağlayacak araç ise bilgisayar destekli depo yönetim sistemidir (DYS). Depo yönetim sistemlerinin amacı depo faaliyetlerini en iyilemek olup bu amaçla bar-kod teknolojileri, radyo frekanslı iletişim araçları, donanım ve depo yönelimli yazılımlar kullanırlar [19]. Depo yönetim sistemleri malzemelerin depo içinde yerlerini takip ve kaydetmek, personel arasında iş paylaşımını ve personelin işlere atamalarını, siparişlerin takibini, siparişlerin tam ve doğru olarak sevkiyata naklini ve sevkiyat işlemlerini takip etmektedir. Depo içinde ürünün kabulünden sevkine kadar süreçleri yöneten depo yönetim sistemlerinin doğal olarak tüm alt süreçlere netlikle erişim halinde olması gerekmektedir.

Değişen müşteri gereksinimleri ile hızlı, esnek ve düşük maliyetli operasyonlar yönetmeyi zorunlu kılan pazar koşulları, depo yönetiminde süreçleri destekleyen bütünleşik bir yazılım kullanmayı gerekli kılmaktadır [9]. Depo yönetim sistemi çalışanlara depo faaliyetlerini en iyi şekilde yapmayı öğretir ve bu şekilde ürünün tesis içindeki akışı ve depolanmasını yönetir [17]. Bu programlar ile ürünlerin, müşteri bazında, depo içinde ayrılmış özel alanlarda takibi yapılmakta ve her türlü depo faaliyetleri işlem bazında takip edilmektedir. Depo içi işlemlerin gerçekleştirilmesi, SKU bazında tanımlanan stratejilere göre oluşturulan iş emirleri ile sağlanır.

Depo yönetim sistemi; envanteri, depo yerlerini ve iş gücünü yönetmeye, müşteri siparişlerinin hızlı bir şekilde toplanıp paketlenip gönderildiğini takip etmeye yarayan karmaşık bir yazılım paketidir. Tipik bir depo yönetim sistemi depodaki her ürünü, o ürünün boyutlarını, depo kabul noktasına geldiği sıradaki paketlenme şeklini, depo yerini, tüm depo yerlerinin adreslerini ve boyutlarını bilir. Bu bilgiler sayesinde de depoda ürünleri, teçhizatı ve insanları yönlendirir [18]. Depo yönetimi dikkat, ciddiyet ve doğru bilgi kullanımı gerektirir. Bu kapsamda depo yönetim sisteminin doğru ve net verilere ihtiyacı vardır. Aldığı verileri işleyerek bilgi halinde kullanır ve depodaki tüm akışı kontrol eder.

Sıradan bir depo yönetimi sistemi; çalışanların vardiyalarını, iş yüklerini ve iş paylaşımlarını, gelen ürünlerin verilmiş olan siparişlerle tutarlılığını, depolama ve envanterin kontrolünü, siparişlerin işlenmesini, sipariş toplama işlemlerini, ayrıştırma/birleştirme işlemlerini ve sevkiyat işlemlerini yönetir [15]. Özellikle RFID (Radyo Frekanslı Tanılama Sistemi) teknolojileri ve bar-kod kullanımı sayesinde, depo yönetim sistemleri depo içindeki envanter seviyesini, farklı müşteri siparişlerinin takibini, ürünlerin depo içindeki hareketlerini rahatlıkla takip edebilmektedirler. Depo yönetim sistemleri, taşıma yönetim sistemleri gibi sistemlerle bütünleşik hale getirilerek işletmenin lojistik ağının kontrolünü kolaylaştırabilmektedir.

Sonuç olarak depo yönetim sistemlerinin kullanımı sayesinde işletmelerin ürün, malzeme elleçleme sistemleri, depolama sistemleri, çalışanlar, siparişler ve depo faaliyetleri üzerindeki kontrol seviyesi artmaktadır. Artan kontrol seviyesi işletmenin yürüttüğü sürece olan hâkimiyeti demektir. Bu hâkimiyet sayesinde işletmenin gerçekleştirdiği iş sürecinde verimliliği ve özellikle de etkinliğinin artmasıyla

günümüz yaklaşımlarının esas odak noktası olan müşteri memnuniyetindeki artış nihai hedef konumundadır.

2.2. Stok Yönetimi

Satış veya kullanım için gerekli mal veya malzeme kaynağı olarak kısaca adlandırılabilir olan stoğun depo faaliyetleri kapsamında yönetilmesi, satışlardan elde edilecek gelir düşüncesinden ziyade lojistik süreci bir bütün olarak ele alıp toplam kârı en büyükmek amacıyla yerine getirilmektedir. İşletmeler; hava muhalefeti, tedarikçi stoklarında erime, yanlış malzeme dağıtımı, kalite problemleri, kaza/kırım gibi dağıtımdaki gecikme nedenlerinden kaynaklanan ve temin süresinde değişikliklere yol açan sorunlar ile rakiplerin ortadan kalkması, ulusal/uluslararası tehditler, doğal afetler, sosyoekonomik olaylar ve politik değişimler gibi beklenmedik talep patlamalarına sebep olabilecek talep değişikliği durumlarını dengede yürütmek için stok yönetimine ihtiyaç duymaktadırlar. Söz konusu dengenin sağlanamaması durumunda; dağıtımın gerçekleşmemesi, dar boğazlar, satış kayıpları, müşteri mutsuzluğu, itibar kaybı gibi stok eksikliği kaynaklı veya sermayenin bağlanması, maliyetlerin yükselmesi ve raf ömrü tehlikesi gibi stok fazlalığı kaynaklı problemler baş gösterebilmektedir [218]. Öncelikle stok yönetiminin depo işletme konusuna faaliyetlerle ilgili bir bakış açısıyla değil, finansal yönden baktığı bilinmelidir. Stok yönetim modelleri depolarla ilgili ölçeksel veya boyutsal sorunlarla ya da gerekli alanlarla ilgilenmez. Bunun yerine ne zaman, ne kadar sipariş verileceği gibi konular ve bu konuların depo faaliyetlerine olan etkileri ile ilgilenirler [18]. Etkin bir stok yönetimi ile işletmenin tedarik zinciri içinde kendisinden önceki ve sonraki tüm aşamalar arasında denge sağlanabilir. Bu şekilde müşteri hizmet seviyesinin yüksek tutulması için de önemli bir hamle yapılmış olur. İyi bir stok yönetimi müşterinin siparişini tam ve zamanında karşılamak için atılması gereken ilk adımdır. Ancak doğru ve tam ürün elde olursa, ürünü lojistik süreçte müşteriye ulaştırana kadar geçen faaliyetler gerçekleştirilebilir.

Etkinlikle gerçekleştirilen stok yönetimleri depolarda fazla stok bulunmasına engel olur. İhtiyaç seviyesine indirgenmiş stok seviyeleri sadece depolama maliyetlerini değil aynı zamanda sipariş toplama maliyetlerini de aşağı çeker [2]. Bu sayede toplayıcıların depo içerisinde sipariş toplamak için kat edecekleri mesafe ve ürün bulmak için harcayacakları zamanda tasarruf elde edilebilir. Dolayısıyla müşteri

hizmet seviyesine etki eden depo içi faaliyetler ve stok yönetimi aslında iki ayrı faaliyet olarak değil karşılıklı etkileşimleri olan iki yaklaşım olarak değerlendirilmelidirler. Son yıllarda endüstride stok seviyelerini aşağı çekmek ve buna bağlı olarak alan kullanım etkinliğini artırmak için conwip, kan-ban, tam zamanında üretim, yalın üretim ve esnek üretim gibi birçok üretim programı bu nedenle geliştirilip denenmiştir.

Depoların pratik ve ekonomik önemi gereği stok yönetimi konusu esas konulardan biri durumundadır. Ne zaman ve ne kadar sipariş verilmesi gerektiği, ne kadar emniyet stoğu bulundurulması gerektiği gibi sorular bu anlamda sürekli cevap bekleyen önemli konulardır. İşletmeler gerekli stok seviyesini belirlerken bazı değişken ve sabit maliyetler ve siparişe ilişkin bazı verileri kullanırlar. Bunlar; talep hızı, ekonomik sipariş miktarı, emniyet stoğu, yeniden sipariş noktası, elde bulundurma maliyeti, yeniden sipariş maliyeti, sabit sipariş maliyeti, birim ürün maliyeti, kısa kalma maliyeti gibi verilerdir. Talep hızı birim zamanda gelen talep miktarı iken, ekonomik sipariş miktarı ise tedarikçiye sistemin dinamikleri hesaba katıldığında ne kadar sipariş verilmesi gerektiğidir. Stok yönetimindeki önemli aşamalardan biri olan “Ne kadar sipariş verilmeli?” sorusunun cevabıdır. Stok yönetiminin ilgilendiği diğer önemli bir soru olan “Ne zaman sipariş verilmeli?” sorusunun cevabı ise yeniden sipariş noktasıdır. İşletmeler seçtikleri stok yönetim modellerine göre yeniden sipariş vermeleri gereken noktaları belirlerler. Emniyet stoğu, istenen müşteri hizmet seviyesine ulaşma sürecinde kısa kalma durumlarına karşı depolanması gereken tampon ürün seviyesidir. İşletme ürün sipariş edeceğinde katlanması gereken maliyetler sipariş hazırlığı olarak kabul edilen sabit maliyet, birim ürün maliyeti ve değişken sipariş verme maliyetleridir. Diğer taraftan müşteriden gelen siparişi zamanında karşılayamama durumunda kısa kalma maliyeti ve itibar kaybı söz konusu iken, elde fazla stok bulundurulması durumunda da ürünü elde bulundurma maliyetleri katlanması gereken maliyetlerdir. Bu gibi veriler ışığında işletmeler kendilerine uygun stok yönetim modellerini belirleyerek toplam kârı hedeflemektedirler. Nihayetinde, bulundurulması gereken stok seviyesini belirleyen bu girdiler işletmenin gelir ve giderlerine doğrudan etki etmektedirler.

İşletmeler depolarda etkin bir stok yönetim modeli kurmak için; sürekli veya periyodik gözden geçirme politikalarından hangisini seçeceklerine karar vermelidirler. Periyodik gözden geçirme sisteminde haftalık veya aylık dönemlerle

fiziksel sayım gerçekleştirilir. Her sayım sonrası tahmini talep göz önünde bulundurularak yeniden sipariş miktarı hesaplanarak siparişler verilir. Sayımlarda oluşabilecek hatalar ve kontrol eksikliği sıkıntılara yol açabilir. Sürekli gözden geçirme politikalarında ise stoktaki mallar sürekli izlendiği için her birine ait anlık geçerli bilgiye ulaşmak mümkündür. Depodaki stok seviyesi önceden belirlenmiş olan yeniden sipariş noktası miktarına düştüğünde yine önceden belirlenmiş olan ekonomik sipariş miktarı kadar sipariş verilir. Sürekli gözden geçirme politikalarını uygulamadaki güçlük bu sistemin kurulum aşamasıdır. Aynı zamanda sistemde oluşabilecek aksaklıklara karşı hala fiziksel sayıma ihtiyaç vardır.

Seçilen gözden geçirme politikasının yanı sıra işletmenin ekonomik sipariş miktarı ve yeniden sipariş noktasını belirlemek için, ürün çevriminin özelliklerine göre toplam envanter maliyetini hesaplayacağı modeli oluşturması gerekmektedir. Talebin belirli dönemler boyunca aynı parametrelerle ifade edilebilmesi (statik) veya edilememesi (dinamik), yine talebin ve/veya temin süresinin deterministik veya stokastik olması, tek ürün veya çok ürün çeşidi olması gibi işletmeye özgü durumlar göz önüne alınarak toplam envanter maliyetini en küçükleyecek ekonomik sipariş miktarı ve yeniden sipariş noktası hesaplanır.

3. DEPO TASARIMI

Depo tasarımı; depolamayı etkileyen stratejik konular doğrultusunda temel dayanakların belirlenmesi ile başlar. Deponun tedarik zinciri içindeki rolü, toplam üretilmesi planlanan iş miktarı, bulundurulması düşünülen envanter seviyesi ve hedeflenen müşteri hizmet seviyelerinden oluşan bu dayanaklar, karar vericilerin depo tasarımı konusundaki isterlerini oluştururlar [12]. Depo tasarımı, bu isterler doğrultusunda depoda kullanılacak veya uygulanacak olan stratejiler, teçhizatlar, personel miktarı ve görevleri, maliyetler, boyutlar ve bilgi sistemleri gibi alt konular hakkında verilen kararlar ile gerçekleşir.

Depo tasarımı; krokinin çizilmesi, bina iskeletinin ve ekipmanların seçimi gibi aşamaları kapsar. Ana tasarım kararları [16]'da aşağıdaki şekilde sıralanmıştır:

- Bina iskeletinin yükseklik, genişlik ve uzunluğunun belirlenmesi,
- Depolama, gönderme ve kabul alanlarının yerleştirilmesi ve boyutlandırılması (giriş/çıkış alanlarının sayısı, koridorların boyu, uzunluğu ve sayısı),
- Depolama ortamının seçimi,
- Depolama ve geri alma sistemlerinin belirlenmesi.

3.1. Depo Tasarımına Gereksinim ve Amaçlar

Günümüzde lojistik ve tedarik zinciri yönetimi tamamen müşteri odaklı yaklaşımlara yönelmiş durumdadır. Yöneticiler işletmenin geleceğinin ve kâr edilebilirliğin müşteri memnuniyetinde olduğunu anlamış durumdadır. Bu nedenle tedarik zinciri boyunca ana hedef belirlenmiş olan müşteri hizmet seviyesine ulaşmak ve bu seviyeyi koruyarak devam ettirebilmektir. Ancak ürün ömürlerindeki kısaltmalar, müşteri taleplerindeki değişimler ve çeşitliliğin artması, sipariş çevrim sürelerinin artan rekabet ortamında her geçen gün daha da geliştirilmek durumunda olması, işletmelerin yapılarını bu dinamiklere cevap verebilecek esneklik ve çeviklikte oluşturmalarını gerektirmektedir. Bu bağlamda her seviyedeki karar alanları ile depo tasarımı, karar vericilerin tesisleri işletmeden beklenen şartlara uygun hale

dönüştürmeleri veya en baştan bu şartlar altında yapılandırmaları için başvurulmuş bir yöntemdir.

Deponun gerek yüzeysel gerekse hacimsel alanının etkin kullanımı, ürünlerin niteliklerinin bozulmayacağı şekilde saklanması, depolama faaliyetlerine ilişkin tüm maliyetlerin en az seviyeye indirilmesi ve süreçlerde veya süreçlere etki eden tüm konularda hizmet seviyesinin artırılmasına yönelik önlemlerin alınması depo tasarımının temel amaçlarını oluşturmaktadır.

Deponun dış alanında bulunan sevkiyat alanları gibi yerlerin doğru tasarlanması sevkiyat işlemlerinin daha kolay, hızlı ve etkin yürütülmesini sağlar ve bu şekilde sevkiyatta oluşabilecek muhtemel aksaklıklardan etkilenecek olan sevkiyat öncesi depolama faaliyetleri ile müşteriye siparişin ulaştırılmasının daha sağlıklı bir şekilde yerine getirilmesi mümkün olur. Deponun genel anlamda kullandığı yüzeysel alan kiralık veya özmal fark etmeden aynı zamanda bir maliyet olması sebebiyle tesisin ihtiyaç fazlası alan kullanımından kaçınması gerekmektedir. Bu anlamda deponun hacimsel olarak da özellikle ürünlerin depolanması konusunda etkinlikle kullanılması gereklidir.

Ürünlerin ve sürecin nitelikleri iyi bilinerek bu doğrultuda koridor, raf ve kullanılacak malzeme elleçleme sistemi tasarımları önem kazanmaktadır. Bu tasarım konuları aynı zamanda depolama şekline göre binanın yüksekliği gibi boyut tasarımlarına veya yalıtım, ısıtılma gibi hususlara da etki etmektedir. Depoların öncelikli görevinin ürünlerin muhafazası olduğu düşünüldüğünde, işletmelerin depolanan ürünlerin özelliklerini kaybetmeden saklanabilmesi için uygun şartların olduğu tesislere sahip olması gereklidir.

Depo tasarımı esnasında işletmenin toplam kârı düşünülmelidir. Bu kapsamda depolama faaliyetlerinden doğacak maliyetler en aza indirilirken müşteri hizmet seviyesinin belirlenen noktadan yukarıda olması amaçlanır. Dolayısıyla personelin görevleri ve iş yükü dağılımı gibi konulardan, kullanılacak olan raf sistemleri, malzeme elleçleme sistemleri, ayırıştırma sistemleri, paketleme sistemleri, koridor tasarımları, depo yönetim sistemi, ürünlerin yerleşimi gibi birçok konuya kadar depolama faaliyeti maliyetlerine ve aynı zamanda nihayetinde müşteri hizmet seviyesine etki eden konular dikkatle belirlenmelidir.

Depo tasarımı stratejik, taktik ve operasyonel seviye karar katmanları olarak ele alınırlar. Depo tasarımının amaçlarını da yine benzer katmanlar halinde değerlendirmek mümkündür. Çizelge 3.1’de depo tasarımındaki stratejik, taktik ve operasyonel amaçlar sunulmuştur.

Çizelge 3.1: Depo Tasarımında Amaçlar [13].

Stratejik Seviye Amaçlar	Taktik Seviye Amaçlar	Operasyonel Seviye Amaçlar
Tahmin edilen kapasite gereksinimlerini karşılayabilmek	Organizasyon yapısıyla uyum	Yüksek yarı mamul devir hızı
Gelecek beklentileri	Denetim, yönetim ve iletişimin tesisi	Ürün, bilgi ve personel akışının iyileştirilmesi
İşletmenin imajı ile uyum	Alan kullanımının iyileştirilmesi	Elleçlemenin iyileştirilmesi
Ana sermaye yatırımının iyileştirilmesi	Basitleştirme ve standartlaştırma	Malzeme, teçhizat ve personel güvenliği
Kurulum süresince üretime etkinin azaltılması	Plan ve faaliyetlerin devamı	Personel-iş uygunluğu ve iş memnuniyetinin sağlanması
Çevreye zararın azaltılması	Depolama ve destek hizmetlerinin artırılması	Teçhizat kullanımının iyileştirilmesi
Dış unsurlarla bütünleşme(diğer tesisler, ulaşım vs.)	Doğal şartlar, bina ve çevre kullanımının gelişimi	En iyi iş gücü kullanımının sağlanması
	Bakımın tesis edilmesi	
	Engelli işçilerin ihtiyaçları	

3.2. Tasarım Süreci

Depo tasarımı işletmelerin önemli yatırımlar yaptığı tesislerin, işletmelerin lojistik süreçlerine, depoladıkları ürüne ve tedarik zinciri içindeki rollerine göre şekillendirilmesidir. Depo tasarımı alt seviye kararlar hariç genellikle değiştirilmesi pek mümkün olmayan ciddi karar alanları içerir. Alt seviye kararların dahi sıklıkla değiştirilmesi işletmenin yapısına ve işleyişine önemli zararlar verebilir. Bu nedenle depo tasarımının dikkatli ve belirli bir plan doğrultusunda en ince ayrıntılar bile düşünülerek yapılması gerekmektedir.

Çağdaş ve geniş bir deponun tasarımı; faaliyetler, inşaat, malzeme elleçleme, bilgi sistemleri, personel, finans ve proje yönetimi gibi birçok alanı ve yeteneği sürece dâhil etmeyi gerektiren karmaşık bir problemdir. Tedarik zinciri ve lojistik süreçler depoların tasarım sonucunda faydalanılacağı yerler olduğu için ilk planda düşünülmesi gereken alanlardandır. Benzer şekilde deponun yapısal durumu eğer ihtiyaçları karşılayacak şekilde olmazsa yine dönüşü zor ve ciddi sıkıntılar ortaya

çıkabilir. Genellikle işletmenin uzun vadeli stratejileri ve finansal kaynaklarını göz önüne alarak tasarım sürecinde rehberlik yapan ve üst düzey yöneticilerin bu konulardaki fikirlerini bir araya getirerek tasarım sürecine uyarlayan rehber grupların kullanımı tasarım süreçlerinde makul kabul edilmektedir [12].

Depo tasarımı binanın her yanında devamlı doğrudan malzeme akışını kolaylaştıracak nitelikte olmalıdır [8]. Tasarım; işletmenin depo faaliyetlerinin yerine getirirken ürün, sistemler ve personelin kullanım ve çalışma konusunda işlerini kolaylaştıracak şekilde yapılmalıdır. Mümkün olan en az yatırım ve işletme maliyetleri ile en fazla üretilebilen iş miktarına ulaşmak için depo tasarımlarının belirli bir süreç algoritmasına ihtiyacı vardır. Literatürde depo tasarım süreci için; veri toplama, ihtiyaçların belirlenmesi, fikirlerin geliştirilmesi, uygulama ve kontrol gibi birçok ortak noktalarına rağmen, değişik yaklaşımlar bulunmaktadır. Örneğin [6] depo tasarım sürecini; kavram, veri toplama, işlevsel özgünleştirme, teknik özgünleştirme, araç ve donanım seçimi, yerleşim planı ile planlama ve kontrol politikalarının seçimi şeklinde tanımlamıştır.

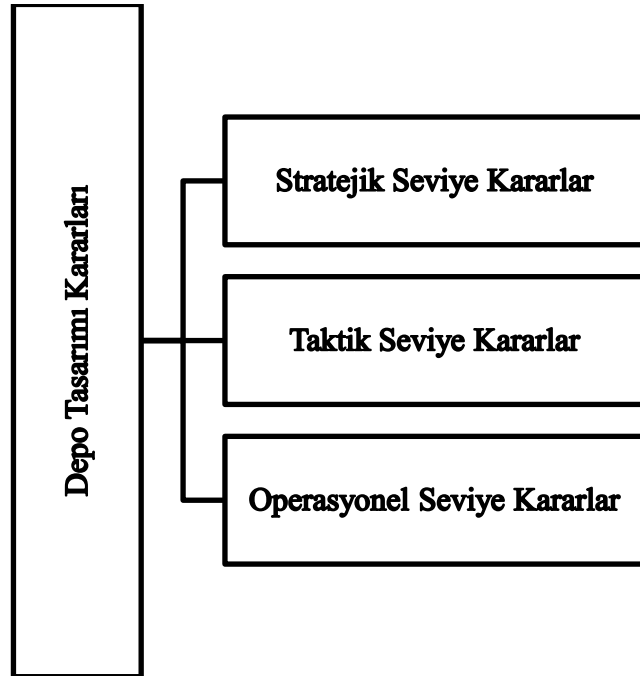
Literatürdeki çalışmalarda yer alan ve Çizelge 3.2 ile Çizelge 3.3'te kronolojik sırayla belirtilen belli başlı tasarım süreçleri ile bazı depo tasarım firmalarının uygulamada kullandıkları ve Çizelge 3.4'te sunulan tasarım süreçleri [21]'de kıyaslanmıştır. Bu kıyaslama sonucuna uygulama ve akademik alandaki süreç tasarımlarının örtüşmeyen noktaları da dikkate alınarak aşağıdaki tasarım süreci sunulmuştur:

- Sistem gereksinimlerinin tanımlanması,
- Verilerin tanımlanması ve elde edilmesi,
- Verilerin analizi,
- Kullanılacak birim yüklerin belirlenmesi,
- Faaliyet süreçlerinin ve yöntemlerinin belirlenmesi,
- Teçhizat tiplerinin ve özelliklerinin göz önünde bulundurulması,
- Teçhizat kapasitelerinin ve miktarlarının hesaplanması,
- Hizmetlerin ve yardımcı faaliyetlerin tanımlanması,
- Olası yerleşim planlarının hazırlanması,
- Değerlendirme ve irdeleme,
- Tercih edilen tasarımın belirlenmesi.

Literatürde yer alan ve tasarım şirketlerinin uyguladıkları tasarım adımlarına göz gezdirildiğinde işletmelerin içinde bulundukları şartların; kullandıkları ürünlere ait bilgileri de içeren verilerin eksiksiz ve doğru elde edilmesi; sistemler, çalışanlar ve ürünlere ait hususların tasarımı ile uygulamaya geçmeden önce benzetim modelleriyle sınanmasının önemli adımlar oldukları görülmektedir. Depo tasarımının kilit noktası tasarımı gerçekleştirecek ekibin işletmenin lojistik süreçlerini ve tedarik zincirini çok iyi tanınması gerekmektedir. Ancak bu koşullar altında gerçekleştirilen depo tasarımı tedarik zincirinin ve işletmenin isterlerini karşılama konusunda yeterli olabilir.

3.3. Depo Tasarımında Karar Seviyeleri

Depo tasarım sürecinin etkili olabilmesi için söz konusu adımlar boyunca alınacak kararların da sistemli bir şekilde ele alınması gerekmektedir. Bu kapsamda depo tasarımı hakkında alınacak kararlar, Şekil 3.1’de de gösterildiği üzere stratejik seviye, taktik seviye ve operasyonel seviye olmak üzere üç katman halinde incelenirler.



Şekil 3.1: Depo tasarımında karar seviyeleri.

Çizelge 3.2: Literatürdeki depo tasarım süreçleri (1973-2000) [21].

[219]	[220]	[221]	[222]	[223]	[224]	[225]
Depo gereksinimlerini belirle	Veri elde et	Depo işlevlerini belirle	Görevi Tanımla (veri toplamayı da içerir)	Veri topla	Sistem gereksinimlerini tanımla	Verileri topla ve analiz et
Tesisi ve malzeme elleçleme sistemlerini tasarla	Verileri analiz et	Veri topla ve amaçları belirle	Ürün miktarını analiz et	Veriyi analiz et	Veri tanımla ve elde et	İşlevsel ihtiyaçları belirle
Tesisin yerleşim planını geliştir	Süreçleri tasarla	Yöntem seçenekleri geliştir	Ürün hareketini analiz et	Tasarım yılı parametrelerini belirle	Veriyi analiz et	Yüksek seviye (mimari) kararlar ver
	Malzeme akışını planla	İşlevsel seçenekleri tek bir sisteme birleştir	Alternatif kavramlar geliştir	Alternatif malzeme elleçleme teçhizat ve yöntemlerini gözden geçir	Kullanılacak birim yükleri belirle	Ayrıntılı sistem özelleştirmesi ve iyileştirmesini yürüt
	Teçhizat gereksinimlerini hesapla	Bütün sistemi seç	Yönetim sistemini (yöntemler, süreçler ve sistemler) geliştir	Yönetimsel işlev alanlarını tanımla	Faaliyet kaide ve yöntemlerini belirle	Yukarıdaki adımları tekrarla
	Bireysel çalışma alanlarını planla			Alternatif yerleşim planları geliştir	Teçhizat tiplerini ve özelliklerini gözden geçir	
	Malzeme elleçleme teçhizatını seç				Teçhizat kapasitelerini ve miktarlarını hesapla	
	Depolama gereksinimlerini belirle				Hizmetleri ve yardımcı faaliyetleri tanımla	
	Hizmet ve destek faaliyetlerini planla				Muhtemel yerleşim planlarını hazırla	
	Alan gereksinimini belirle				Değerlendir ve irdele	
	Faaliyet alanlarını toplam alana dağıt				Tercih edilen tasarımı tanımla	
	Ana yerleşim planını yap					

Çizelge 3.3: Literatürdeki depo tasarım süreçleri (2000-2006) [21].

[6]	[226]	[227]	[228]	[229]	[230]	[12]
Konsepti tanımla	Sistem ihtiyaçlarını ve tasarım kısıtlarını tanımla	Sistem ihtiyaçlarını ve tasarım kısıtlarını tanımla	Veri topla	Deponun amacını ve tipini belirle	Gelecek talebi tahmin et	İşletme gereksinimi ve tasarım sınırlarını belirle
Veri elde et	Verileri tanımla ve elde et	Verileri tanımla ve elde et	Veri profillerini belirle	Beklenen talebi tahmin ve analiz et	Depo içindeki hareketleri ön gör	Verileri tanımla ve elde et
İşlevsel tanımlama yap	Verileri analiz et	Verileri analiz et	Yüksek seviye işlevleri belirle	Faaliyet politikaları belirle	Uygun elleçleme teçhizatını karşılaştır	Planlama esasını formüle et
Teknik tanımlama yap	Kullanılacak birim yükleri belirle	Kullanılacak birim yükleri belirle	Yüksek seviye (mimari) kararlar al	Envanter seviyelerini belirle	Depolama ve hareket için gerekli alanı hesapla	Operasyonel ilkeleri tanımla
Araçları ve teçhizatı seç	Faaliyet yordam ve sistemlerini belirle	Temel faaliyet ve yöntemleri belirle	Ayrıntılı sistem tanımlamalarını ve iyileştirmesini yürüt	Ürün sınıflarını oluştur	Hangi malzemelerin birbirine yakın depolanması gerektiğini belirle	Teçhizat tiplerini değerlendir
Yerleşim planı geliştir	Teçhizat tiplerini ve özelliklerini gözden geçir	Muhtemel teçhizat tiplerini gözden geçir	Yukarıdaki adımları tekrarla	Genel yerleşim planını belirle ve departmanlara ayır	Taslak planlar oluştur	Dâhili ve harici yerleşim planlarını hazırla
Planlama ve kontrol politikalarını seç	Teçhizat miktarlarını hesapla	Teçhizat miktarlarını hesapla	Yükleme/boşaltma alanlarını belirle	Depolama alanlarını bölümlendir	Tasarımı sonlandır (belirle)	Üst seviye kaideleri ve bilgi teknolojisi gereksinimlerini tasarla
Tercih edilen tasarımı seç	Diğer tesis ve hizmetleri tanımla	Personel seviyesini hesapla	Depolama düzenini belirle	Elleçleme, depolama ve ayrıştırma sistemlerini tasarla	Sermaye ve işletme maliyetlerini hesapla	Tasarım esnekliğini değerlendir
Beklenen performansı değerlendir ve irdele	Muhtemel yerleşim planları çiz	Olası bina ve tesis yerleşim planlarını hazırla	Toplama bölgelerini belirle	Koridorları tasarla	Gereksinimlere binaen tasarımı değerlendir	Teçhizat miktarını hesapla
Bilgisayarlı benzetim uygula	İhtiyaçlara binaen tasarımı değerlendir			Alan ihtiyaçlarını belirle	Seçilen tasarımı sonlandır	Personel seviyesini hesapla
	Tercih edilen tasarımı tanımla			Giriş/çıkış noktalarını belirle		

Çizelge 3.4: Tasarım firmalarının kullandıkları tasarım süreçleri [21].

A Şirketi	B Şirketi	C Şirketi	D Şirketi
Malzeme akışını geliştir(birim yük şekli dâhil)	Veriyi tanımla ve topla	Veri toplama	Faaliyet gereksinimlerinin tanımı
Teknoloji değerlendirmesi	Veriyi analiz et	Veri analizi	Veri tanımlama ve elde etme
Tercih edilen seçeneklerin ayarlanması	Tasarım parametrelerini belirle	Malzeme akış diyagramları	Operasyonel kısıtları tanımla
Personel seviyeleri	İşletme yordamlarını belirle	Faaliyet ilkeleri	Teçhizat tiplerini ve özelliklerini gözden geçir
CAD (bilgisayar destekli karar mekanizmaları) yerleşim planları	İlk tasarım	Alternatif tasarımların geliştirilmesi	Tasarım yerleşim planları
İşlevsellik tanımı (süreçler ve sistem işlevselliği)	İlk tasarımı değerlendir	Taslak maliyetlendirme	Tasarım yerleşim planlarını değerlendir ve irdele
Ayrıntılı tasarım (destek hizmetleri dâhil)	Tasarımı ayarla	Tasarım değerlendirme	Tercih edilen tasarımın tanımlanması
Benzetim/modelleme	Çözümün benzetimi	Tercih edilen seçeneğin geliştirilmesi	Son teklifin hazırlanması ve ayrıntılı tanımlama
Teçhizat tanımlama	Son tasarımı değerlendir	Tasarım teklifinin kabulü	

3.3.1. Stratejik seviye kararlar

Stratejik seviye kararlar işletmenin uzun vadeli planları ve beklentileri doğrultusunda alınan, büyük yatırımlar gerektiren, uygulandıktan sonra değiştirilmesi güç ve pahalı olan ve depo faaliyetlerinin genelini etkileyecek olan kararlardır. [6] stratejik seviye kararları; süreç akışına ilişkin kararlar ve depolama sistemi tipine ilişkin kararlar olarak iki grup halinde ele almıştır. Stratejik seviye kararlar aynı zamanda uygulandıkları alanlar dikkate alınarak da sınıflandırılabilirler. Bu bağlamda, depolama alt sistemlerinin tasarımı, ürün kabul ve gönderme alt sistemlerinin tasarımı ve malzeme elleçleme alt sistemlerinin tasarımı başlıkları stratejik seviye kararları oluştururlar.

3.3.1.1. Depolama alt sistemlerinin tasarımı

Depolama ortamı

Depolama ortamının seçimi, depolanacak ürünün özellikleri ve müşteri siparişinde yer alan ortalama ürün sayısından önemli şekilde etkilenir. Katı haldeki ürünleri

depolamak için raflar, yığınlar ve çekmeceler olmak üzere üç farklı depolama ortamı mevcuttur. Yığın halde depolama kartonlar veya paletler ile yapılır. Bu depolama ortamı için herhangi bir ekstra yatırıma ihtiyaç duyulmaz. Özellikle düşük talep hızına sahip ürünlerin veya ikmal payı olarak ayrılan ürünlerin art alanda depolanmaları için de uygun bir seçenektir. Ürünler kutular veya paletler halinde koridorlarla ayrılmış raflarda depolanabilirler. Raflar birim yük ile toplamaya elverişlidirler. Son olarak çekmeceler ise küçük ebatlı ürünlerin depolanması için kullanılırlar [16].

Depolama kapasitesi

Depolama kapasitesi doğrudan depolama politikasıyla ilgili bir konudur. Ürünlerin tahsisli, rassal veya sınıf esaslı yerleşimleri depo içerisinde ne kadar depolama alanı ihtiyacı olduğunu belirler. Bir depoda “ n ” adet ürün olduğu düşünüldüğünde, “ j ” ürününün “ t ” zamanındaki envanter seviyesi “ $I_j(t)$ ” ile gösterilir. Bu durumda tahsisli yerleşimde gerekli depolama yeri sayısı ise “ m_d ” ile ifade edilir.

$$m_d = \sum_{j=1}^n \max_t I_j(t) \quad (3.1)$$

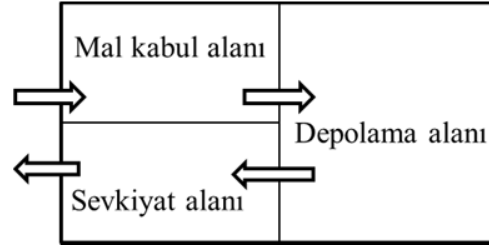
Rassal yerleşim her ne kadar yönetimi güç de olsa alan kullanımının en etkin olduğu depolama politikasıdır. Her ürüne ayrı bir yer tahsisi olmadığı için genellikle depoda kullanılan alan tahsisli yerleşime göre daha azdır. Rassal yerleşimde gereken depo yeri sayısı “ m_r ” olmak üzere gereken yer sayısı denklem 3.2’de gösterilmiştir.

$$m_r = \sum_{j=1}^n I_j(t) \leq m_d \quad (3.2)$$

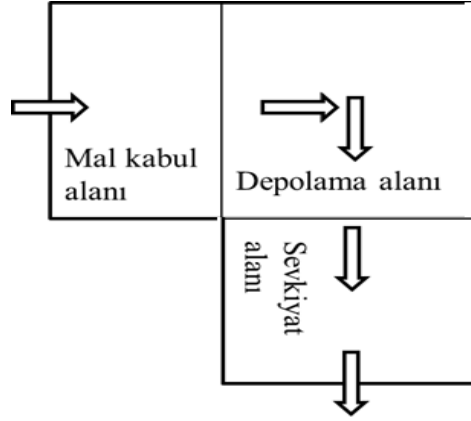
Sınıf esaslı yerleşimde ise ürünlerin ayrıldığı sınıfların içinde yine tahsisli yerleşim mi yoksa rassal yerleşim mi yapıldığına göre gereken depo yeri sayısı yine aynı denklemlerle bulunabilir.

Depo yerleşimi

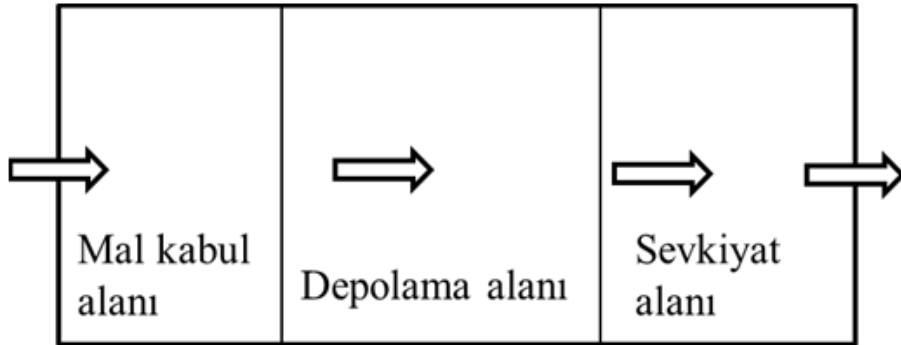
Depo yerleşim çeşitleri U-tipi, L-tipi ve akış tipi yerleşimler olup sırasıyla Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’te gösterilmiştir.



Şekil 3.2: U-tipi depo yerleşimi [217].



Şekil 3.3: L-tipi depo yerleşimi [217].



Şekil 3.4: Akış tipi depo yerleşimi [217].

Depo boyutları

Depoların binalarının inşasında ilk belirlenmesi gereken noktalardan biri doğal olarak deponun boyutlarıdır. İşletmenin depoladığı ürün miktarını ve depo faaliyetlerini yürütmede yeterli yüzey ve hacim alanını sağlayabilecek tesisin tasarlanması gereklidir. Yükseklik seçimi depoda kullanılan malzeme elleçleme sistemine göre değişiklik gösterir. AS/RS kullanılırken 12 m.'ye ihtiyaç duyulurken, bu mesafe forklift kullanımında daha düşük olabilir. Deponun boyu ve eninin (L_x , L_y) hesaplanması için ise [16]'da denklem 3.3 ve 3.4 sunulmuştur. Burada " α_x " ve " α_y " sırasıyla birim yükün (palet vs.) "x" ve "y" yönündeki işgal ettiği uzunluk, " ω_x " ve

“ ω_y ” de yine sırasıyla yan koridor ve orta koridorun uzunluklarıdır. Son olarak da “ n_x ” ve “ n_y ” ise “ x ” ve “ y ” yönündeki depolama alanı sayısını ifade etmektedir.

$$L_x = \left(\alpha_x + \frac{1}{2} \omega_x \right) \cdot n_x \quad (3.3)$$

$$L_y = \alpha_x \cdot n_y + \omega_y \quad (3.4)$$

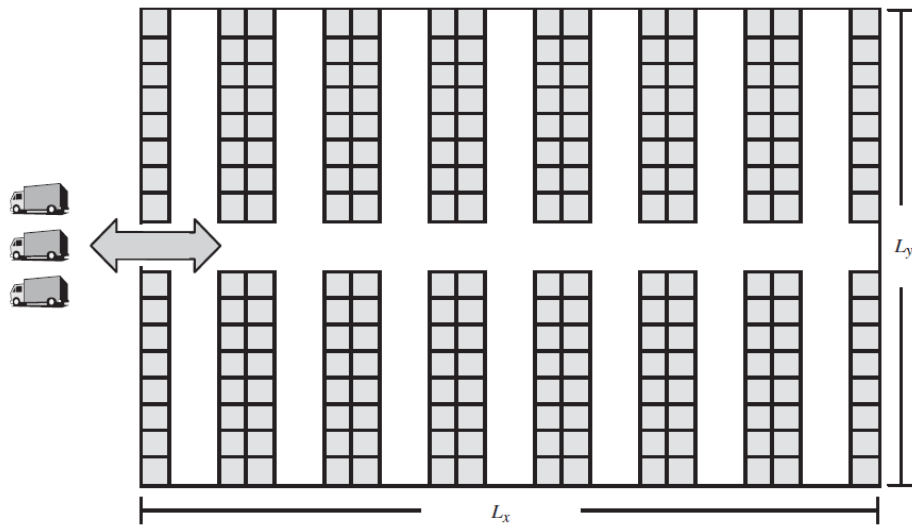
Bu denklemlerde halen bilinmeyen durumunda olan “ n_x ” ve “ n_y ” ise, depodaki toplam elleçleme miktarını en aza indirmeyi amaçlayan bir doğrusal modelden alınan kısmi türevler (“ n'_x ” ve “ n'_y ”) ve bu türevlerden elde edilen değerler ($\overline{n_x}$ ve $\overline{n_y}$) yoluyla hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar geleneksel bir depo dikkate alınarak yapılmış olup Şekil 3.5’te söz konusu depo gösterilmiştir.

$$n'_x = \sqrt{\frac{m\omega_y}{2n_z \left(\alpha_x + \frac{1}{2} \omega_x \right)}} \quad (3.5)$$

$$n'_y = \sqrt{2m \left(\frac{\alpha_x + \frac{1}{2} \omega_x}{\alpha_y n_z} \right)} \quad (3.6)$$

$$\overline{n_x} = [n'_x] \quad (3.7)$$

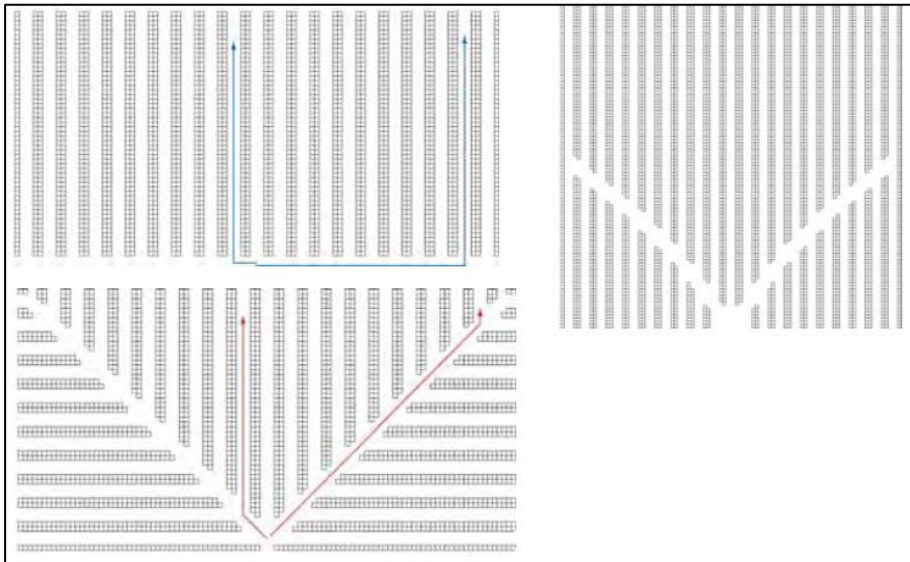
$$\overline{n_y} = [n'_y] \quad (3.8)$$



Şekil 3.5: Depo boyutları [16].

Koridor ve raf tasarımı

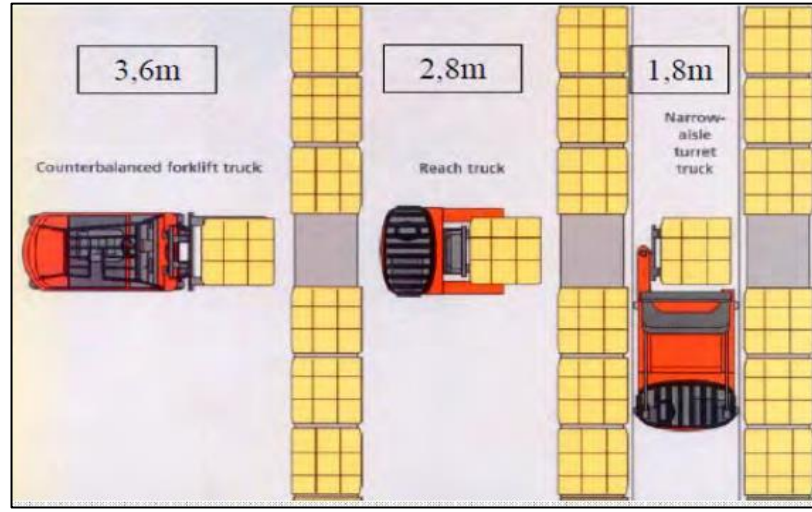
Koridor ve raf tasarımı, depo alanı kullanımının depo işletme maliyetleri içinde en önemli maliyetlerden birisi olması nedeniyle oldukça önemlidir. Rafların depo içindeki yönleri ve dolayısıyla koridorların tasarımı temel anlamda giriş noktasına dik veya paralel olarak iki şekilde olup genellikle depolarda bu tasarımlar yer alır. [231], oluşturdukları elleçleme ve bina çevre maliyetlerinin kıyaslamasıyla rafların dikine mi yoksa paralel mi yerleştirilmesi gerektiğini araştırmışlardır. Bu temel iki koridor tasarımının yanı sıra işletmelerin toplama politikaları ve ürünlerin yapılarına göre kendilerine uygun bulmalarına göre değişen farklı koridor tasarımları da mevcuttur. Bu koridor tasarımlarından bazıları Şekil 3.6'da sunulmuştur. Bu tasarımlardaki amaç ürün toplama maliyetini ve alan kullanım maliyetlerini dengeli bir şekilde en aza indirmektir.



Şekil 3.6: Koridor Tasarımları [217].

Raflar arasında oluşan yan koridorların dikine yerleştirilen ana koridorların yeri ve sayısı ise yine benzer şekilde sipariş toplama maliyetleri ile alan kullanım maliyeti arasında bir takas ekonomisi oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra koridorların genişlikleri de kullanılan malzeme elleçleme sistemlerine göre değişmektedir. Örneğin AS/RS'ye sahip depolarda genellikle yüksek raflar ve dar koridorlar tercih edilir. AS/RS'nin dar alanlarda hareket ve yüksekliği etkin kullanabilme kabiliyetinden faydalanılarak dar koridor tasarımları düşünülebilmektedir. Farklı tipteki istif araçlarının kullanımında koridor genişlikleri değişkenlik

gösterebilmektedir. Şekil 3.7’de bazı istif araçları için gerekli koridor genişlikleri gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Farklı istif araçları için koridor genişlikleri [217].

Raf tasarımları depolarda kullanılan elleçleme sistemlerine, ürünlerin boyutlarına ve hatta siparişlerin özelliklerine göre değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin [73]’te aynı ürünlere ait yinelenen siparişlerin olduğu kütüphane, inşaat malzemesi depoları gibi tesisler için basamaklı raf düzenleri önerilmiştir. Ürünlerin sipariş verilme zamanlarına göre kapıdan arkaya doğru basamak halindeki raflara yerleştirilmelerini ve böyle aynı zamanda atıl ürün yönetiminin de yapılması anlatılmıştır. Geleneksel depolarda paletlerin tek tek depo yerlerinde depolandığı veya yine raflarda kutular vs. halinde depolamaların yapıldığı raf sistemleri mevcuttur. Teknolojinin gelişmesi ve depolama maliyetlerinin en aza indirgenmesi istekleriyle, işletmeler ürün tipleri ve depolama süreçleri açısından maliyet-etkin olduğu müddetçe otomasyonlu sistemleri tercih etmektedirler. Bu durumun sonucunda kullanılan otomasyonlu sistemin depolanacak ürün ve sipariş toplama politikaları ile uyumuna binaen çok sayıda farklı raf sistemleri kullanılmaktadır. Depolama ve toplama sisteminin otomatikleştirilmesinin sayesinde depolarda yüksekliğin de daha etkin kullanımı mümkün hale gelmiştir. Depolarda kullanılan raf sistemlerinden bazıları; sırt sırta raf sistemi, ikili derinlikte raf sistemi, tek paletli raf sistemi, içine girilebilir ve içinden geçişli raf sistemleri, giydirme raf sistemi, paletli kayar raf sistemi, hareketli raf sistemi gibi sistemler ile hareketli raf ve sıralara sahip olan karusellerdir [8].

3.3.1.2. Ürün kabul ve gönderme alt sistemlerinin tasarımı

Yükleme ve boşaltma alanlarının (dok) tasarımı

Depolarda ürünlerin giriş/çıkışının yapılacağı, dolayısıyla depo ile tedarik zincirindeki diğer tesis ve faaliyetlerin temas noktaları ürünlerin yükleme ve boşaltma alanlarıdır. Bu nedenle bu kapıların nerelerde olacağı, genişlikleri, önlerindeki havuzun büyüklüğü ve kullanımı, yine bu kapılarda kullanılan rampalar oldukça önemlidir. Çünkü bu sistem depo ile dışarısı arasındaki irtibatın sağlandığı yerdir.

Dok sayısı, yeri ve boyutu bu aşamada verilmesi gereken kararlardır. Dok sayısı denklem 3.9’da verilen formül ile hesaplanabilir. Burada “ d ” günlük giren ve çıkan palet vs. miktarı, “ t ” ortalama araç yükleme ve boşaltma süresi, “ q ” araç kapasitesi, “ T ” günlük kullanılabilir yükleme boşaltma süresidir [16].

$$n_D = \left\lceil \frac{dt}{qT} \right\rceil \quad (3.9)$$

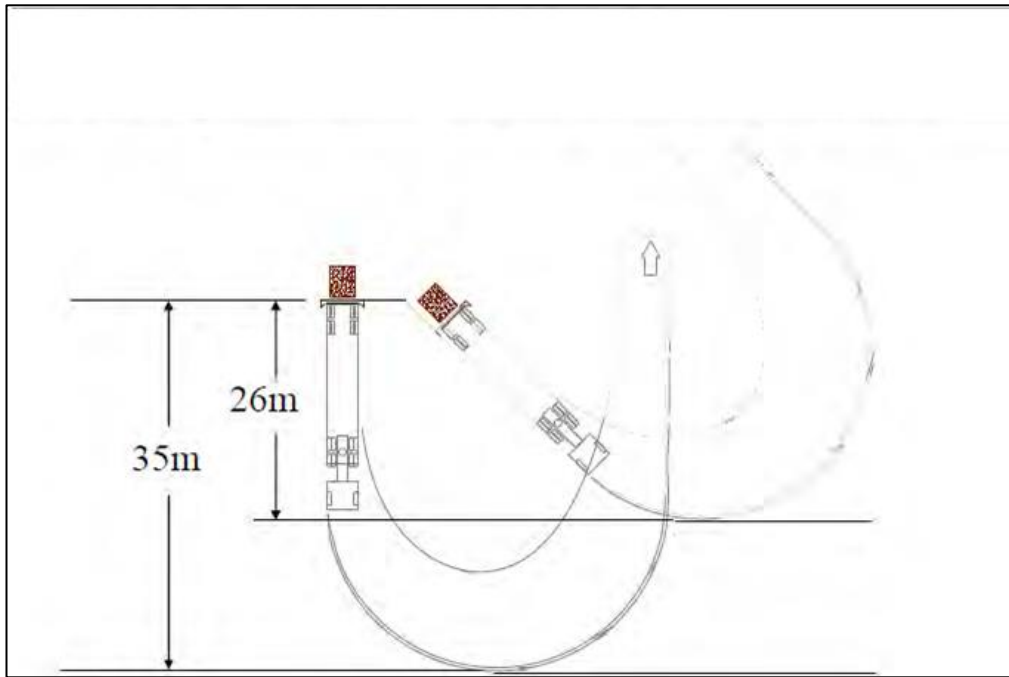
Kamyon gibi araçlar için dokun uzunluğu önemli olmasa da raylı araçlar için bu böyle değildir. Raylı sistemlerin kullanıldığı bir taşımada deponun sahip olması gereken dok uzunluğu denklem 3.10’da sunulmuştur. Burada “ L ” dokun uzunluğunu, “ $\sum_i D_i$ ” günlük “ i ” siparişte belirtilen toplam talebi (cwt/gün), “ S ” kullanılan raylı aracın ortalama uzunluğunu (ft), “ Q ” her araca yüklenen ortalama ürün ağırlığını (cwt/araç), “ N ” günlük değişen araç sayısını ifade etmektedir [1].

$$L = \frac{(\sum_i D_i) \cdot S}{QN} \quad (3.10)$$

Dok uzunluğunun yanı sıra düşünülebilecek başka tasarım konuları da vardır. Mesela dokun üstü kapalı olması hem hırsızlığa karşı bir önlem, hem de kötü hava koşullarında çalışmayı kolaylaştıran bir unsur olabilir. Ayrıca bu platformun derinliği de önemlidir. Araç yükleme boşaltma işlemlerinde istif aracı kullanılıyorsa 12 ft kadar bir derinlik manevralar için gerekli olacaktır. Muayene veya paletleme gibi işlemler dokta yapılıyorsa, o zaman bu mesafe 40-50 ft olarak düşünülmelidir [1].

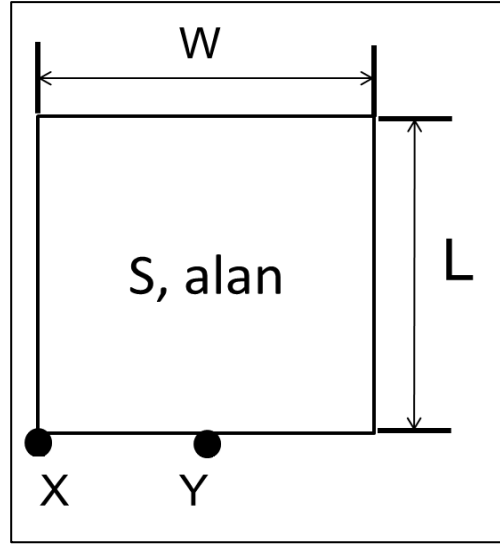
Taşımacılığı yapan araçlarla dokun bağlantısını yapmak için rampalar kullanılır. Bu rampaların eğimi en fazla % 10 olmalıdır [8].

Dok tasarımı ile ilgili diğer bir husus ise dokun deponun konumuna göre yerleşimidir. Dokun yerleşim açısı, araçların manevra yapacakları havuzun genişliğine doğrudan etki etmektedir. Alan maliyeti açısından düşünüldüğünde bu konu kesinlikle göz ardı edilmemelidir. Şekil 3.8’de de gösterildiği üzere 17 metre uzunluğundaki sıradan bir kamyon, 90°’lik açıya sahip bir dok kullanımıyla 35metrelik bir yarıçapla manevra yapabilirken aynı kamyon için bu mesafe 45°’lik bir dok kullanımıyla 26 metreye düşmektedir [217].



Şekil 3.8: Dok yerleşimi [217].

Dok tasarımı ile ilgili son husus ise dokun yeridir. [1], deponun eninin ve boyunun malzeme elleçleme maliyetleri dikkate alınarak belirlenmesi gerektiğini savunmuş ve kullanılabilecek alan kısıdı altında bunu formüle etmiş ve buradan hareketle dokun yeri için Şekil 3.9’da gösterildiği gibi iki farklı nokta arasında seçim yapmıştır. Burada “ t_j ”; “ j ” ürününün birim mesafe hareket ettirme yani elleçleme maliyeti, “ u_j ” beklenen elleçlenecek ürün miktarı, “ k ” depo çevresi esasında hesaplanmış depo inşa ve bakım maliyeti, “ S ” ise kullanılacak alandır.



Şekil 3.9: Dokun yeri [19].

Yer seçimine ilişkin toplam maliyetin hesabında kullanılacak olan elleçleme maliyeti “C” ile gösterilip denklem 3.11’de sunulmuştur.

$$C = \sum_j u_j t_j \quad (3.11)$$

X noktasına dok yerleştirildiği durumda toplam maliyet (“ TC_x ”):

$$TC_x = 2 \left[\left(\frac{C}{2} + 2k \right) \left(\frac{C}{4} + 2k \right) \right]^{1/2} \cdot S^{1/2} \quad (3.12)$$

Y noktasına dok yerleştirildiği durumda toplam maliyet (“ TC_y ”):

$$TC_y = \left(\frac{C}{2} + 4k \right) \cdot S^{1/2} \quad (3.13)$$

Yukarıda verilen denklem 3.12 ve denklem 3.13 ile elde edilen maliyetlerin kıyaslanması sonucunda dokun hangi noktaya yerleştirilmesinin daha uygun olduğu kararı verilmektedir.

3.3.1.3. Malzeme elleçleme sistemlerinin tasarımı

Malzeme elleçleme sistemleri, malzemeyi tesis içerisinde üretim, montaj, dağıtım, depolama vs. gibi aşamalar boyunca hareket ettiren donanım sistemleridir. Malzeme hareketi depoda her zaman ve her aşamada mevcuttur. Malzeme hareketi üretim

süreçlerinde katma değeri olan bir işlem olmasa da bir ürün sunmak için gerekli bir işlemdir. Yüksek ürün çeşitliliği ve kısa cevap süreleri için artan talep yüksek esneklik ve etkinliğe sahip elleçleme sistemlerinin önemini de artırmaktadır [15]. Kullanılan elleçleme teçhizatının tipi ve otomasyon seviyesi gibi konular malzeme elleçleme maliyetini etkileyen unsurlardır. Kullanılan sistemin sürece katkısı ile maliyetinin dengede tutulması malzeme elleçleme tasarımının alanına girmektedir [1]. Otomasyonlu sistemler, ürünlerin bar-kod veya diğer tekniklerle otomatik olarak tanımlanabildiği şartlarda olurlu çözüm araçlarıdır. Otomasyonlu sistemler alan kullanımı ve işçilik maliyetlerini düşürürler, ancak büyük miktarda ilk yatırım gerektirirler. Dolayısıyla genellikle ürün hacminin yeterince büyük olduğu durumlarda ekonomiktirler [16]. Ürünlerin depoya geldiği andan sevk edildikleri ana kadar sürekli bir elleçleme içinde oldukları ve depo faaliyetleri içinde en yüksek maliyet kalemlerinden birini bu işlemin oluşturduğu düşünüldüğünde, bu faaliyet işçilik maliyetleri, alan kullanımı maliyeti ve depolamanın etkinlikle yapılabilmesi faydalarıyla tasarım esnasında üzerinde dikkatle durulması gereken bir husustur. Yalnız önemli olan nokta işletmenin süreçlerinin ve işlenen ürün hacminin iyi tanınarak uygun sistemin ve otomasyon seviyesinin seçilmesidir. Aksi takdirde yüksek maliyetleri olan sistemlerin seçimiyle veya gereğinden daha düşük otomasyon seviyesi kullanarak istenen etkinliğin elde edilememesiyle işletme ciddi zararlara uğrayabilir.

Amerika Malzeme Elleçleme Endüstrisi tarafından belirlenen malzeme Elleçlemenin prensipleri; planlama, standartlaştırma, iş yükü, ergonomi, birim yük, alan kullanımı, sistem, otomasyon, çevre ve ömür çevrimidir. Malzeme elleçleme sisteminin tasarımında, her tasarım işleminin başında olması gerektiği gibi, ilk yapılması gereken planlamadır. Malzeme, depodaki hareketler ve elleçleme yöntemi gibi öğelerin uyumunun planlanması ile elleçleme sisteminin tasarımına başlanılır. İşletmenin üretilen iş miktarı, esneklik ve modülerlik gibi gereksinimlerinden ödün vermeden; elleçleme yöntemleri, teçhizat, kontroller ve yazılım gibi tüm alanlarda standartlaştırma tasarlanan elleçleme sisteminin başarısında önemli rol oynamaktadır. Malzeme elleçlemedeki iş yükü akış içindeki ürün ve kat edilen mesafeden meydana gelmektedir. Söz konusu iş yükünün en aza indirgenmesi için üretilen iş miktarı ve gerekli hizmet seviyesinden fedakârlık yapmadan çözümler üretilmelidir. Seçilecek olan elleçleme sisteminin çalışanlara ergonomik açıdan

uyumlu olmalıdır. Benzer şekilde birim yük, çalışanların ergonomisi ve aynı zamanda kullanılacak olan elleçleme sisteminin işini etkinlikle yapabileceği şekilde belirlenmelidir. İyi bir elleçleme sistemi tesisteki alan kullanımını en üst seviyeye çekmelidir. Bu amaçla özellikle otomasyona sahip depolarda oldukça yüksek ve dar aralıklı raflar ile çalışabilen elleçleme sistemleri kullanılmaktadır. Kurulan elleçleme sistemi depodaki üretim dağıtım gibi değişik süreçler, malzeme ve bilgi akışı, envanter yönetimi gibi etkenlerden oluşan genel depo sistemi ile uyumlu olmalıdır. Elleçleme sisteminin sahip olacağı otomasyon seviyesi ve çevreye olan etkileri ile sisteme ilk andan itibaren yapılan harcamalar da malzeme elleçleme sistemi tasarımı esnasında göz önünde bulundurulması gereken diğer ilkelere [15].

Depolarda kullanılan elleçleme teçhizatları; görevleri, kapasiteleri, otomasyon seviyeleri, hareket kabiliyetleri, boyutlar gibi birçok etken nedeniyle çeşitlilik göstermektedirler. Elleçleme teçhizatları; çaka, vinç, konveyör, “reachtruck”, otomatik araçlar, robot, palet yapan makineler, streçleme makineleri, transpalet, istif aracı (forklift), otomasyona dayalı AS/RS sistemi araçları ve konveyörlerle birlikte çalışan ayırıştırma sistemleri gibi araçlardır.

Ekipman seçimi

Malzeme elleçleme sistemleri depo tasarımı esnasında kritik karar noktalarından biridir. Gerek ilk yatırımının yüksek meblağlara ulaşabilmesi ve memnun kalınmadığında değiştirilmesinin pek makul olmaması, gerekse binada bazı yapısal düzenlemeler gerektirmesi nedeniyle depo tasarımına ilk bakışta gözden geçirilmesi gereken hususlardan biridir. Depolama faaliyetleri seçilecek ekipman vasıtasıyla gerçekleştirileceği için toplam üretilen işe ve müşteri hizmet seviyesine doğrudan etkisi vardır.

Elleçleme sistemlerindeki her teçhizat, bütün sistemle uyumunu ölçen seçim kriterlerine uygunluğu detaylıca irdelenerek seçilmelidir. Bu kriterlerden bazıları:

- Ekipman birimi gerekli faaliyetleri gerçekleştirecek doğru boyut ve kapasiteye sahip midir?
- Ekipmanın konfigürasyonu sistemdeki kullanılacağı noktada gereken işleve uygun mudur?
- Ekipman; bakım, kurulum kolaylığı, yapısal tasarım, emniyet veya değişik standartları karşılayabilecek mühendislik tekniğine sahip midir?

- Güç gereksinimleri merkezi sistemdeki düzenleme ile uyumlu mudur?
- Satın alınan bileşenler standart, değiştirilebilir midir ve/veya bakım ve idamesi mümkün müdür?
- Satıcı veya üretici hizmet ağı ve garanti şartları kabul edilebilir midir?

İşletmeler bu maddeleri göz önüne alarak seçenekleri değerlendirdikten sonra daha detaylı bilgi almak üzere satıcı veya üreticilerden teknik tanımlamalar isteyerek daha net kararlar verebilirler [19].

Ekipman seçimi için çok sayıda araştırmacı maliyet en küçükleme, faydalanmanın en büyüklenmesi, güvenlik, uyumluluk, esneklik gibi etkenleri veya birden fazlasının birleşimini dikkate alan amaç fonksiyonları belirlemişlerdir. Örneğin [1]; net şimdiki değer formülü yardımıyla ekipman seçimi konusuna çözüm aramıştır. Söz konusu model denklem 3.14'te verilmiştir. Denklem 3.14'te “NPV” net şimdiki değeri, “ I ” başlangıçtaki ilk yatırımı, “ j ” planlama ufkunda “0” ve “ n ” arasındaki zaman dönemini, “ n ” planlama ufkunun sonundaki zaman dönemini, “ C_j ” “ j ” sürecindeki seçenekler arasındaki çıkan nakit akış farkını, “ i ” yıllık olarak geri dönmesi beklenen indirim oranı gibi oranları, “ S_n ” ise “ n ” dönemindeki malın hurda değeri gibi nakit dönüşünü ifade etmektedir.

$$NPV = -I - \frac{C_j}{(1+i)^j} + \frac{S_n}{(1+i)^n} \quad (3.14)$$

Ekipman seçimi için farklı seçenekler değerlendirilirken denklem 3.14'ten elde edilen sonuçlar negatif değerler olacaktır ve bu durumda sayısal değer olarak büyük olan (sıfıra yakın olan) net şimdiki değere sahip ekipmanın seçimi daha uygun olacaktır.

Ekipman yenileme

Malzeme elleçleme ekipmanları raflar veya benzeri depolama araçlarına göre daha çabuk eskir, modası geçer veya kullanım faydasını yitirirler. Bu nedenle ekipmanı yenilemek için işletmelerin politikalar belirlemesi gerekmektedir [1]. Zamanında yenilenmeyen elleçleme teçhizatı depo faaliyetlerinde önemli aksaklıklara hatta bazen üretim hattının veya malzeme akışının durmasına bile yol açabilirler.

Kullanılan teçhizatın zamanla niteliğini yitirmesi, yeni çıkan sistemlerin daha etkin işlevler yerine getirebilmesi ve yine mevcut teçhizatın işletme maliyetinin teçhizatı

kullanmayı zorlaştırması gibi nedenler ekipmanı yenilemek için dikkat edilmesi gerek noktalar. Ekipman yenileme konusunda “Her beş yılda bir değiştirilmelidir” gibi pratik yöntemler uygulamak pek mantıklı değildir. Söz konusu yöntem tecrübelerle dayanıyorsa akla yatkın gelebilir ancak yine de analitik modeller ile bu kararı vermek yöneticilerin tercihi olacaktır. Denklem 3.15’te eşdeğer ortalama yıllık maliyet hesaplamasıyla ne zaman ekipman yenilenmesi gerektiğinin bulunabileceği bir formül sunulmuştur. Söz konusu formül ile bulunan eşdeğer ortalama yıllık maliyetleriyle oluşturulacak tabloda en küçük maliyeti sunan yıl, ekipman yenileme yılı olarak belirlenir. Burada “ AC_n ” eşdeğer ortalama yıllık maliyeti, “ C_j ” toplam işletme maliyetini, “ I ” ilk yatırımı, “ S_n ” hurda değerini, “ n ” yenileme çevrim süresini, “ i ” ise geri dönüşü beklenen bazı yatırımların indirim oranını ifade etmektedir [1].

$$AC_n = \left[I + \sum_{j=1}^n \frac{C_j}{(1+i)^j} - \frac{S_n}{(1+i)^n} \right] \cdot \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (3.15)$$

3.3.2. Taktik seviye kararlar

Taktik seviye kararlar; işletmelerin orta vadeli planları doğrultusunda verilen, depo faaliyetlerinin daha kolay ve etkin yürütülmesi için zemin hazırlayan konularla ilgili olan kararlardır. Taktik seviye kararlar stratejik kararlardan daha az etki alanına sahip olup stratejik kararların doğrultusunda oluşturulurlar. Taktik seviye kararlar, stratejik seviye kararlara göre daha küçük ebatlı problemlerle ilgili olsalar da yine de önemli yatırımlar gerektirdiği için çok sık değiştirilebilen kararlar değildirler. Taktik seviye kararlara dâhil olan tasarım konularından bazıları; bekleme noktasının (dwell point) tasarımı, ön ve art alan kullanımı, depolama politikaları ve ürün depo yeri tahsisidir.

3.3.2.1. Bekleme noktası (Dwell point) tasarımı

Bekleme noktası tasarımı özellikle depolama/toplama araçları veya AS/RS’ler söz konusu olduğu durumlarda daha çok dikkat edilen bir konudur. Performans ölçümüne olan etkisi sebebiyle literatürde doğrusal modeller, değişik algoritmalar, benzetim yöntemleri, basit yöntemler vs. gibi birçok farklı yaklaşım ile bekleme noktasının yerinin tayinine çözüm aranmıştır. Bekleme noktasının otomasyonun

olmadığı depolarda kullanımı ve tasarımı, personelin siparişler arasında bir sonraki siparişi en çabuk tamamlayacak şekilde depo içinde yer alması doğrultusunda yapılabilirse de literatürde kendine pek yer bulamamıştır.

Bekleme noktası aracın işini tamamladıktan sonra boş beklediği yerdir. Bekleme noktasının seçimi, bir sonraki işlemi gerçekleştirmek üzere yapılacak olan dolaşım zamanını etkilemektedir. Örneğin son işlemin bittiği noktada bekleyen bir aracın, yeni bir işlem olarak aynı noktadan bir palet olaksa bu durumda işlemin bittiği yerde bekleme yapılması mantıklı bir seçim olacaktır. Ancak eğer bir sonraki işlem bir depolama işlemi ise depolama/boşaltma noktası bekleme yeri olarak daha uygun olacaktır, çünkü depolanacak palet yükleme/boşaltma noktasından alınacaktır [42]. Bekleme yerinin doğru seçilmesi siparişin tamamlanma süresini kısıltacaktır. İlk sipariştten itibaren en uygun yerde bekleme yapan araç bir sonraki işleme en kısa sürede varacağı için bütün işlemler göz önünde bulundurulduğunda ciddi zaman ve iş yükü tasarrufuna imkân sağlamaktadır [4]. Literatürdeki çalışmalar, bekleme noktasının doğru tayini ile depolama ve toplama işlemlerinde sırasıyla %8 ve % 4 tasarruf edilebileceğini söylemektedir [42]. Diğer taraftan bazı çalışmalarda ise bunun aksine bekleme noktasının seçiminin, elleçleme sisteminden tam anlamıyla faydalanıldığı takdirde, sipariş tamamlama süresinde 10 saniyeden daha az tasarruflar sağlayabileceği ve dolayısıyla çok önemli olmadığı savunulmaktadır [17].

3.3.2.2. Ön ve art alan kullanımı

İşletmelerin önemli bir kısmı depolarını ön ve art alan olarak iki parçaya ayırırlar. Art alanda ürünler genellikle tedarikçiden geldikleri ambalaj şekilleriyle depolanırlar. Bu alanların görevi ön alanda ürünün eksildiği durumlarda gerekli ikmali karşılamaktır. Ürünler sipariş toplamayı hızlandırmak için sadece belli miktarlarda ön alanda depolanırlar. Ürünün kalan kısmı büyük miktarlarla art alanda depolanırlar. Bu şekilde sipariş toplama hızı artırılırken bir taraftan da art alan kullanımı sayesinde depodaki alan kullanımından da faydalanılmaya çalışılır. Ön alandaki tüm miktarı boşaltacak veya daha büyük miktarlardaki siparişler doğrudan art alandan karşılanır. Böylece tekrar ön alanı ikmal etmek için harcanacak zaman ve iş gücünden tasarruf edilmiş olunur. Ön alanda ürünlerin sadece gün içinde veya yeniden ikmale kadar geçecek sürede sipariş karşılamayı sağlayacak miktarda bulundurulması ve kalan ürünlerin art alanda depolanması esastır. Böylece

toplayıcılar daha dar bir alanda ve daha az ürün arasından sipariş listesindeki ürünleri bulabilmektedirler. Ön ve art alanın kullanılabilecek depo alanı içindeki oranları, ön alanda bulundurulacak ürünler ve miktarları ve ön alana yapılacak ürün ikmaline ilişkin politikaların geliştirilmesi bu konunun tasarımında genellikle üzerinde durulan konulardır. [33], ön ve art alan kullanımı olan bir depoda söz konusu iki alanın arasında ekonomik dengeyi sağlayacak bir oranın olması gerektiğini belirtmiştir. Bu doğrultuda, ekonomik dengenin hacimsel depolama alanı maliyeti ile ön alana yapılacak ürün ikmalinin maliyetine dayandığını söyleyerek bu oranı bulmaya çalışmıştır. [36] ise ön alana yapılacak ikmalde harcanacak iş gücünü en aza indirmek maksadıyla politikalar geliştirmeye çalışmıştır. [34] de hangi ürünlerin ön alanda depolanması gerektiğini ve ön alan ile art alanın boyutlandırılmasını çalışmıştır.

3.3.2.3. Depolama politikaları

Tahsisli yerleşim

Tahsisli yerleşim politikasının uygulandığı depolarda, işletmenin, o an elinde bulunsun veya bulunmasın, lojistik ağda depolama görevini üstlendiği tüm ürünler için ayrı bir depo yeri tahsis edilir. Depo alan kullanımı açısından elde bulundurulmayan ürünler için bile yer tahsisi yapıldığı için kârlı görülme de, özellikle sipariş toplama konusunda toplayıcıların ürünlerin yerlerini daha kolay bulabilmeleri sayesinde sipariş toplama maliyetlerinde önemli miktarda tasarruf sağlanabilmektedir. Sipariş toplama maliyetlerinin alan kullanımı maliyetinden çok daha yüksek olduğu durumlarda çok daha faydalıdır. Tahsisli yerleşimde her ürün lojistik süreçler boyunca ulaşabileceği en fazla envanter seviyesine göre depo yerine sahiptir.

Her ürünün farklı tedarik zamanları olacağı için depolama süresince kimi ürünler tam seviyede depolanırken kimi ürünler bitmiş veya yarı seviyede bulundurulabilir. Depolama faaliyeti süresince herhangi bir zamanda ortalama %50 envanter seviyesi elde bulundurulur denilebilir [18]. Bu açıdan alan kullanımı olarak çok etkili görünmese de, depoda stok yönetimi üzerindeki hâkimiyet yüksek seviyededir [20]. Ayrıca ürünler ağırlık, COI (Cube-per-order-index) veya başka istenen kriterler göz önünde bulundurularak tahsisli yerleşim yapılabilmesi ve iş gücü kullanımında kolaylık sağlanması mümkün olur [3].

Rassal yerleşim

Rassal yerleşim politikası SKU'ların depoda ilk bulunan uygun yere rastgele depolanmalarını sağlar. Uygulanmasının kolay olması, diğer politikalardan daha az yer gerekmesi ve tüm koridorların yoğun bir şekilde kullanılması yönleriyle depolama sanayinde geniş çapta kullanılan bir politikadır [14]. Rassal yerleşim politikası sadece bilgisayar kontrollü, yani otomasyonun mevcut olduğu depolarda kullanılabilir. Aksi takdirde ürünlerin yerini bulmak mümkün olmayacaktır [3]. Tedarikçiden ürün geldiğinde bilgisayar en uygun boş yeri belirler ve ürün depolanır. Benzer şekilde toplama işlemi için bilgisayar sistemi yine uygun ürünün alınması için elleçleme sistemini harekete geçirir. Toplayıcıların ürünleri depolayacağı yerleri kendileri belirlerse o zaman bu politika en yakın boş yere depolama politikası haline gelir.

Sınıf esaslı yerleşim

Bu politika belirlenen kriterlere göre gruplara ayrılan SKU'ların depolardaki ayrılmış alanlara yerleştirilmesidir [14]. Ürün sınıfları, sık kullanılabilirlik, COI veya beklenen depolama süresi gibi kriterlere göre oluşturulur. Genellikle A,B ve C olmak üzere üç adet sınıf oluşturulur. Karar vericilerin inisiyatifine göre AA, BB, CC gibi ara sınıflar uygulanarak da sınıf sayısı arttırılabilir. Sınıflar oluşturulurken Pareto analizinden faydalanılır. Pareto analizine göre yapılan sınıflandırmada ürünlerin %15'i seçilen kriterlere göre toplam etkinliğin % 85'ini gerçekleştirir. Ürünler sınıflara ayrıldıktan sonra grup içinde yine rassal veya tahsisli yerleşime tabii tutulabilirler.

COI (Cube-per-order-index)

[49] tarafından sunulmuş bir yerleşim politikası olup sınıf esaslı yerleşimde sınıfların belirlenmesinde veya tahsisli yerleşimde ürünlerin giriş/çıkış noktasına göre yerleşimlerinde kullanılır. İndeks ürünün depolanması için gerek duyulan ortalama birim hacmin, ürüne ilişkin günlük ortalama talep sayısına oranı ile elde edilir. Bu sayede ürünün hem popülerliği hem de ebadı dikkate alınarak en yüksek puanlı ürün kapıya en yakın ürün olacak şekilde yerleşim gerçekleştirilir.

Devir hızı esaslı yerleşim

Bu yerleşim politikası da yine COI gibi tahsisli yerleşimde veya sınıf esaslı yerleşimdeki sınıfların oluşturulmasında kullanılabilir. En çok sipariş alan ürünler

erişimi en kolay noktalara yerleştirilirler. COI'den farkı sadece ürünlerin popülerliğini dikkate almasıdır.

Basit modeller

Ürünleri depolarken yukarıda bahsedilen ve daha çok rastlanan yöntemlerin yanı sıra daha basit veya sezgisel yöntemler de mevcuttur. Tamamlayıcı ürünler, ürün aileleri, uyumlu ürünler, ebatlara göre yerleşim, alfa numerik yerleşim, hızlı ve diğerleri yerleşimi ve seçim yoğunluk etkeni yerleşimi gibi politikalar bunlardan bazılarıdır [1], [3], [14]. Genellikle birlikte sipariş verilen ürünlerin bir arada depolanması sipariş listelerinin tamamlanırken kolaylık sağlanmasında faydalıdır. Bu tarz yerleşimde ürünlerin tamamlayıcılığı dikkate alınır. Aynı ürün grubuna ait ürünlerin bir arada depolanması ürün ailelerini oluştururken, ürünlerin birbirleri ile uyumlarına göre depolanmaları da uyumluluk yerleşimi olarak adlandırılır. Ürünlerin elleçleme kolaylığı sağlanması açısından ebatlarına göre yerleştirilmeleri de görülen uygulamalardandır. Alfa numerik yerleşimde tüm ürünler alfa numerik sıralamaya tabii tutularak depo yerlerinin kapıya uzaklıklarına göre yerleştirilirler. Hızlı ve diğerleri yerleşiminde ise sadece seçilen ürünler alfa numerik sıralamaya tabii tutulurlar. Seçim yoğunluk etkeni yerleşimi ise COI'nin tam tersidir. Burada ürünün yıllık gereken depolama hacmi ne kadar yüksekse ürün o kadar kapıya yakın konumlandırılır.

3.3.2.4. Ürün yerleşimi

Depolama politikası seçildikten sonra sıra bu politika kapsamında ürünlerin depo yerlerine atanmasına gelmektedir. Bu atama işlemi doğrusal programlama, benzetilmiş tavlama yaklaşımları (simulated annealing approach), sezgisel (heuristic) yöntemler, dinamik programlama, matematiksel formüllerle elde edilen yöntemler veya çeşitli algoritmalar gibi karmaşık sistemlerle veya yukarıda bahsedilen COI, devir hızı esaslı gibi daha basit yöntemlerle de yapılmaktadır. Ürün yerleşimi tahsisli yerleşimlerde veya sınıf esaslı yerleşimde grup için yerleşimlerde kullanılabilir. Ürün yerleşiminde yapılan çalışmalarda ortak nokta alan kullanımının etkinliği ve yine depolamanın önemli diğer bir maliyeti olan sipariş toplama maliyetini düşürmek üzere toplayıcının dolaşacağı mesafenin veya daha genel olarak elleçleme maliyetinin indirgenmesidir. Ürünler bu amaçlarla literatürde yer alan çok çeşitli

yöntemlerle sıralanıp giriş/çıkış noktalarından uzaklıklarına göre depo yerlerine yerleştirilmektedirler.

Doğrusal programlama yöntemi kullanarak ürün yer tahsisine örnek olarak; [20] ürünlerin kapıların kullanım oranlarını da dikkate alacak şekilde elleçleme maliyetlerini göz önünde bulundurarak ürünleri depo yerlerine atama işlemini gerçekleştirmiştir. Bunun için öncelikle 3.16'da verilen denklem ile elleçleme maliyetleri bulunmuş ve sonra 3.17'de sunulan model ile de yerleşim yapılmıştır. Burada “ i ” ($i=1,2,...,N$) ilgili ürün, “ M ” toplam depo yeri sayısı, “ A_i ” “ i ” ürününü depolama için gereken toplam depo yeri sayısı, “ P ” giriş/çıkış noktası sayısı, “ w_{ip} ” “ i ” ürününün birim sürede “ p ” kapısını kullanma sayısı, “ d_{pj} ” “ j ” gridinin merkezinden “ p ” kapısına olan uzaklık, elleçleme maliyeti “ c_{ij} ”, ürün “ j ” gridine atandıysa “ x_{ij} ” “1” aksi söz konusuysa “0”dır.

$$C_{ij} = \frac{1}{A_i} \sum_{p=1}^P w_{ip} d_{pj} \quad (3.16)$$

$$\min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M c_{ij} x_{ij} \quad (3.17a)$$

Ş.k.a.

$$\sum_{j=1}^M x_{ij} = A_i \quad \text{tüm } i\text{'ler} \quad (3.17b)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} = 1 \quad \text{tüm } j\text{'ler} \quad (3.17c)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (3.17d)$$

Depoda tüm kapıların aynı oranda kullanımı, tek bir kapıdan giriş ve diğer bir kapıdan çıkış olması veya tüm giriş/çıkışların tek bir kapıdan yapılması durumunda model daha basite indirgenmiştir. Elleçleme maliyeti “ f_j ” ve “ c_i/A_i ” olarak iki

bileşene ayrılmıştır. Burada “ c_i ” “ i ” ürününün elleçleme hacmidir. “ f_j ” ise denklem 3.18’de ifade edilmiş olup “ w_p ” “ p ” kapısını kullanan yüklerin oranıdır.

$$f_j = \sum_{p=1}^P w_p d_{pj} \quad (3.18)$$

Söz konusu şartlar altında çözüm aşağıdaki adımlar halinde elde edilir:

- Tüm “ f_j ”leri ($j=1, \dots, M$) hesapla ve küçükten büyüğe doğru sırala,
- Elleçleme maliyetinin diğer bileşeni olan “ c_i/A_i ”leri ($i=1, \dots, N$) hesapla ve büyükten küçüğe doğru sırala,
- Her iki dizeyi eşleştir.

3.3.3. Operasyonel seviye kararlar

Operasyonel seviye kararlar daha çok işletmenin depolama faaliyetlerini yerine getirirken günlük olarak ilgilendiği konularla ilgilidir. Bu kararlar stratejik ve taktik seviye kararlara göre depolama faaliyetinin daha ayrıntılı olan kısımları üzerinedir. Operasyonel seviye kararları sipariş toplama, ayrıştırma/birleştirme ve paketleme alanlarında verilecek kararlar olarak üç ayrı alt başlık altında inceleyebiliriz.

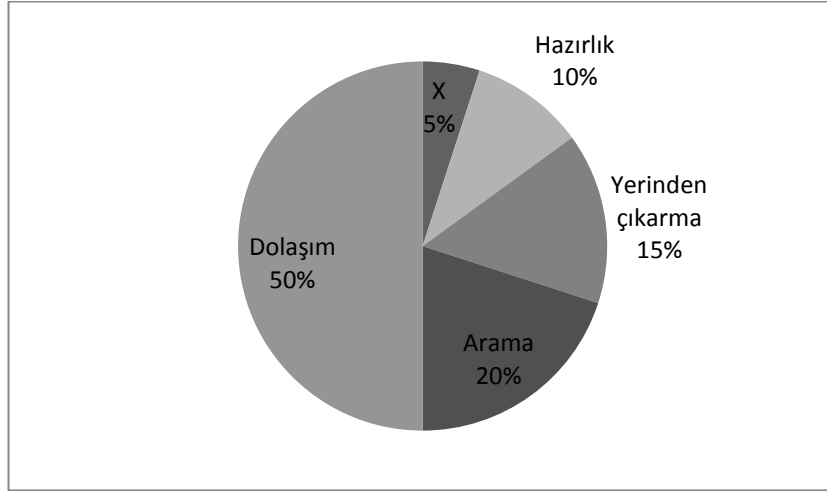
3.3.3.1. Sipariş toplama

Ürün çevrim süresindeki azalma, hızlı yanıt stratejileri, müşteri hizmet seviyesi gibi dinamiklerin etkisiyle işletmeler; daha çok çeşit içeren ve daha fazla sayıda ürünü depolamak durumunda kalmanın yanı sıra bu ürünlerin istenilen şekilde, eksiksiz ve kısa zamanda müşteri siparişini karşılanmak üzere depolama faaliyetlerini yürütmek durumundadırlar. Bu iki durum arasındaki dengeyi sağlamak sipariş toplama faaliyetinin etkinliğinden geçmektedir. Pratik bir düşünme tarzı ile daha fazla çalışan veya daha yeni otomasyon sistemleri edinerek çözüme ulaşmak çoğu zaman düşünüldüğü kadar kârlı değildir. Bunun için uygulanacak sipariş toplama politikaları ve bu alanda verilecek tasarım kararları oldukça önem kazanmaktadır.

Birleşik Krallık’ ta tipik bir depo işletmenin tüm maliyetlerinin %63’ünü sipariş toplama maliyetlerinden oluştuğu [19]’da belirtilmiştir. Sipariş toplama maliyetleri depolama faaliyeti boyunca birçok alanda karşımıza çıkmaktadır. Örneğin ürün yerleşim modellerinin önemli çoğunluğunun amaç fonksiyonunu sipariş toplama

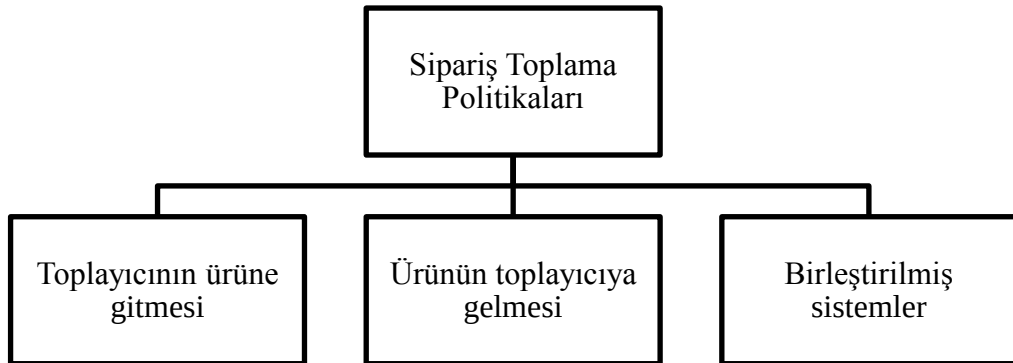
maliyetleri oluşturur. Toplayıcının dolaşım süresi veya mesafesi bu hususta en çok dikkat çeken unsurdur.

Tipik bir sipariş toplamada; toplayıcı siparişi alır ve inceler, ürünün yerini arar ve depo yerine gider, ürünü bulunduğu depo yerinden alır (çoklu halde depolanıyorsa aradan çıkarır) ve tekrar dağıtımına götürür. Şekil 3.10’da toplayıcının, sipariş toplama esnasındaki zaman dağılımı sunulmuştur.



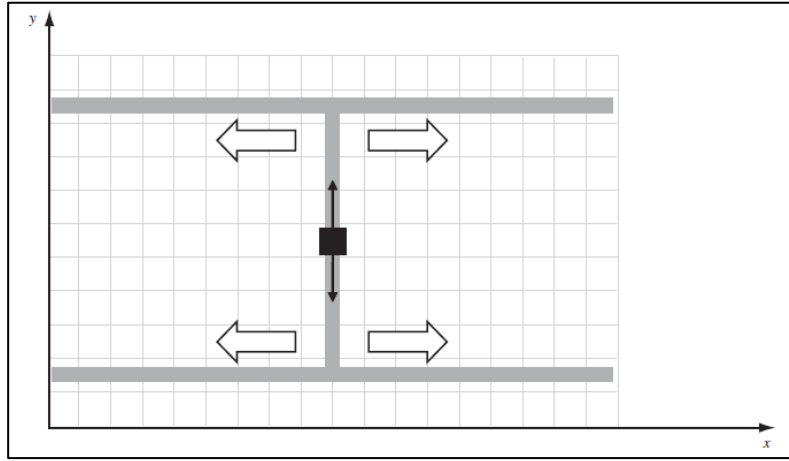
Şekil 3.10: Toplayıcının süre dağılımı [19].

Bu bağlamda düşünüldüğünde sipariş toplama faaliyetlerinin belirli bir politika ve uygulama yöntemlerine sahip olması gerekmektedir. Sipariş toplama faaliyetleri genel anlamda Şekil 3.11’de de gösterildiği gibi üç farklı politika ile gerçekleştirilebilir. Bu politikalar; toplayıcının ürünlere gittiği sistemler, ürünlerin toplayıcıya gittiği sistemler ve bunların ikisinin de özelliklerini taşıyan birleştirilmiş sistemlerdir.

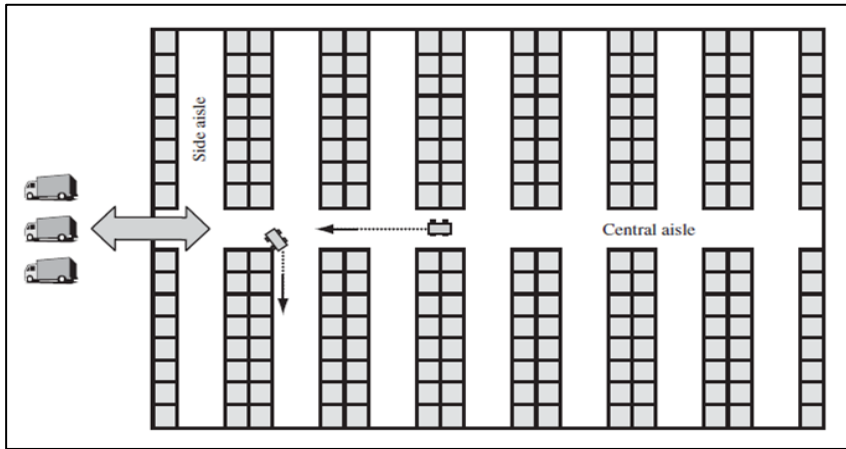


Şekil 3.11: Sipariş toplama politikaları.

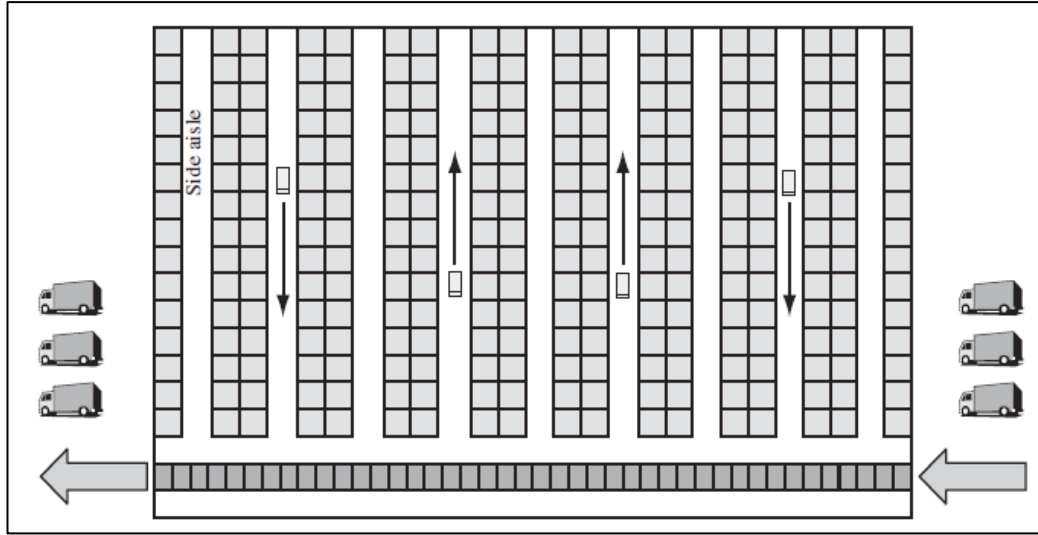
Toplayıcının ürüne gittiği sistemler, üzerinde insan yüklü ve genellikle belli bir koridora tahsis edilmiş olan AS/RS araçlarının toplayıcıyı depo yerine götürmesi ve toplayıcının yürüyerek veya motorlu bir araçlar koridorları arasında gezerek depolama/toplama işini gerçekleştirmesi şeklinde ikiye ayrılırlar. Şekil 3.12’de toplayıcının dolaştığı sistemlere örnek gösterilmiştir. Ürünün toplayıcıya geldiği sistemlerin en popülerleri AS/RS sistemleridir. Bu sistemler otomasyon araçları veya vinç vasıtasıyla hizmet gören koridor setlerinden oluşur. Her koridorun sonunda bu araçlar tarafından erişilebilen toplama ve dağıtım noktaları mevcuttur. Şekil 3.13’te ürünün toplayıcıya geldiği sistemler resmedilmiştir. Son olarak ise birleştirilmiş sistemleri, bir grup çalışanın veya AS/RS aracının konveyöre ürün taşıdıkları sistemler gibi kurulumlardır. Şekil 3.14’te birleştirilmiş sistemlere ait bir örnek gösterilmiştir [16].



Şekil 3.12: Toplayıcının ürüne gittiği sistemler [16].



Şekil 3.13: Ürünün toplayıcıya geldiği sistemler [16].



Şekil 3.14: Birleştirilmiş sistemler [16].

Ürünlerin toplayıcıya getirileceği veya tersi hakkında karar verildikten sonra siparişin toplanma şekli hakkında kararlar verilmelidir. Bu anlamda öncelikle ürünlerin gelen her bir sipariş başına toplanması veya yığınlar oluşturularak toplanması gibi seçenekler değerlendirilir. Birinci durumda toplayıcılar her siparişi ayrı ayrı tamamlarlar. Bu yöntemin avantajı sipariş bütünlüğünün sağlanmasıdır, ancak toplama işlemi için genel anlamda daha fazla mesafe kat edilmiş olur. İkinci durumda ise birden fazla sipariş aynı anda toplanarak sipariş toplama maliyetlerinde tasarruf edilmeye çalışılır. Söz konusu yöntemler ayrıştırma işlemlerinin dâhil edilmesiyle, alan halinde veya dalgalar halinde toplama yöntemleri ile geliştirilebilir.

Sipariş toplama, en çok önem arz eden ve öncelikli olarak iyileştirilmesi gereken depo is sürecidir. Çünkü depo maliyetlerinin büyük çoğunluğunu oluşturan etkinlik sipariş toplama [9]. Sipariş toplama konusunda verilecek tasarım kararları bu faaliyetin tüm ayrıntıları değerlendirilerek verilmelidir. Müşterilerin siparişleri çeyrek, yarım veya tam SKU'lar halinde vermesi motive edilerek sipariş toplama işlemi kolaylaştırılabilir. Aynı zamanda bu sayede sayım ve kontrol işlemlerinde de kolaylık sağlanmış olur. Mümkün olduğu sürece sipariş toplama esnasında gerçekleştirilecek alt faaliyetleri birleştirmek veya elemek sürece hız ve tasarruf kazandıracaktır. Toplayıcının bilgisayar kontrollü araç üzerinde depo yerleri arasında gezdiği durumlarda belge işlemleri, ayrıştırma veya paketleme faaliyetleri de yapılarak zaman kazanılabilir. Ön ve art alan kullanımı ile ön alanda hızlı sipariş toplama imkânı sunulabilir. Bu sayede daha dar bir alanda ürün aramanın yanı sıra toplayıcıların ürünlerin yerini öğrenmesi ve daha kolay bulması mümkün olacaktır.

En sık kullanılan ürünlerin yakında veya genellikle birlikte istenen ürünlerin beraber depolanması iyi bir seçenektir, ancak burada oluşabilecek trafik de dikkate alınarak yerleşim yapılmalıdır. Depolama ve toplama işlemleri değişik algoritma ve modeller yardımıyla sıralanabilir ve bu yöntemle sipariş toplama turları %50 oranında bile azaltılabilir. Ürün arama sürelerini kısaltmak için anlaşılır sipariş toplama belge ve tabloları hazırlanarak toplayıcıların ürünlerin yerlerini daha rahat bulması sağlanabilir [19].

Otomasyonlu elleçleme sistemlerinin kullanıldığı durumlarda, gelen komutları işleme politikaları tasarım aşamasında karar verilmesi gereken diğer bir husustur. AS/RS sistemleri tek döngü, çift döngü veya çok komutlu döngü ile çalıştırılabilirler. Tek döngülü politikalarda depolama ve toplama işlemleri tek tek yapılır. Çift döngülü politikalarda, döngü süresini kısaltmak için depolama ve toplama işlem çiftleri tek seferde ve sırayla yapılır. Son olarak çok komutlu döngülerde aynı anda birden fazla yük depolanabilir ve toplanabilir [16].

Yığın halinde toplama (Batch picking)

Siparişleri kümeleyerek toplama yapıp depo içi hareketleri azaltmak mümkündür. Toplama yapan bir depo personelinin bir turda topladığı sipariş sayısı arttırılarak gezme süresi azaltılabilir [9]. Siparişler büyük boyutlu ürünlerden oluşuyorsa yığınlar halinde toplama mümkün olmayabilir, ancak küçük ebatlı ürünlerden oluşan siparişleri bekletip biriktirerek sipariş toplama için harcanan zaman ve iş gücünde ve dolayısıyla maliyette tasarruf edilebilir. Yığın halinde toplama sipariş setlerini birkaç alt sete gruplandırarak tek bir toplama turu oluşturma yöntemidir [3]. Yığın halinde toplama, sipariş toplama için yapılan bir planlamadır. Yığın halinde toplama işlemi iki temelde yapılabilir. Gelen siparişler ya belirli zaman aralıklarıyla toplanmak üzere biriktirilir ki bu dalga halinde toplamadır, ya da depo belirli alanlara ayrılır ve siparişler bulundukları depo yerlerine göre biriktirilerek toplanır ki bu da alan toplamadır. Bu iki temel anlayış çerçevesinde yığınlar oluşturulurken yığınların ne büyüklükte olacakları ise yine literatürde algoritmalar, sezgisel (heuristic) yöntemler veya doğrusal programlama gibi birçok farklı yöntemle cevap aranan bir konudur.

Yığın halinde toplama siparişlerin toplanmasını hızlandırabilir ancak toplandıktan sonra ayrıştırılma ve satır bazında siparişlerin oluşturularak tamamlanması gerekir. Bu işlemlerin de ayrı maliyetlere yol açacakları göz önünde bulundurulmalıdır [17].

Alan toplama (Zone picking)

Siparişlerin tek tek toplanmasına bir alternatif olarak deponun alanlara bölünerek birden fazla siparişin yığınlar halinde toplanması mümkün kılınabilir [3]. Bununla birlikte alan toplama yine de her bir sipariş başına yapılan toplama işleminde de kullanılabilir [12]. Alanlara bölünerek yapılan sipariş toplamada depo belirli alanlara bölünür ve bu alanlara sabit personel görevlendirilir. Sipariş geldiği zaman her personel kendi alanında olan ürünleri toplarlar.

Uygulamada alanlar halinde toplama kısmen ürünlerin özelliklerine bağlıdır. İşletmeler ebat, ağırlık, gereken sıcaklık veya yine emniyet gereksinimleri gibi özelliklere göre depolarını alanlara ayırırlar [3]. Bu yöntem farklı ürün tipleri için farklı teçhizatın kullanıldığı, bir siparişin tek bir toplayıcı için çok fazla yük oluşturacağı veya sevkiyat zamanlarının tüm siparişlerin birden toplanmasını gerektirdiği depolarda kullanmak için elverişlidir. Deponun alanlara bölünerek yapıldığı toplama işleminin; her toplayıcının daha az mesafe kat etmesi ve dolayısıyla sipariş toplama süresinin oldukça azalması, toplayıcıların ürünlerin yerlerini tanımasının daha çabuk ve kolay olması ve toplayıcıların ayrı yerlerde olması nedeniyle trafiğin söz konusu olmaması gibi avantajları vardır. Bu toplama yönteminin dezavantajı ise siparişlerin doğru olarak birleştirilmesinde sıkıntılar yaşanması ihtimalinin yüksek olmasıdır. Bu nedenle alan toplamaya karar verirken ayrıştırma faaliyeti ve bu faaliyetin maliyeti de dikkate alınmalıdır [19]. Bu dezavantajla baş etmek üzere iki yaklaşım kullanılır. Bunlardan birincisi topla-ve-ilet(pick-and-pass) yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda bir toplayıcı gelen siparişe kendi alanındaki ürünleri toplayarak başlar. Kendi alanındaki toplanacak ürünler bitince kutuyu, sipariş emrini ve siparişe ilgili başka her ne varsa yandaki alanda çalışan toplayıcıya iletir. Sipariş emri ve toplanan ürünler böylece tüm alanları dolaşarak sevkiyata hazır hale gelir. İkinci yaklaşım ise paralel (veya senkronize) toplamadır. Belirli sayıdaki toplayıcılar her biri kendi alanında olmak üzere aynı anda aynı siparişi toplamaya başlarlar. Toplama bitince sipariş bir araya getirilir.

Alan toplama yönteminde toplayıcılar arasında iş yükü dağılımının dengeli olması gerekmektedir. Sipariş geldiğinde bazı alanlardaki toplayıcılar diğerlerine oranla çok fazla ürün toplarken bazıları hiç ürün toplamayabilir. Bu durumun üstesinden gelmek için alanların doğru belirlenmesi gerekmektedir. Literatürde iş yükünün dengeli

dağılımı ile birlikte oluşturulacak alan sayısının kararı da farklı yöntemlerle araştırılmıştır.

Dalga halinde toplama (Wave picking)

Siparişler, ürünlerin yeniden ikmal, toplama, paketlenme, düzenleme ve sevkiyat bakımından akışını kontrol etmek için saatlik olarak veya her gün sabah vs. gibi zaman dilimlerinde dalgalar halinde toplanabilirler. Dalgaların zamanları çıkış yapacak araçların kalkış zamanına siparişlerin yetiştirileceği şekilde ayarlanır. Bu nedenle siparişler gönderme vaktine yetişecek şekilde, alanlarda toplanacak ürün miktarına göre farklı zamanlarda alanlardaki toplayıcılara dağıtılır. Kimi alanlarda ürün toplama çok zaman alabilecek iken kimi alanlarda ise gönderme vaktinden çok az bir zaman önce toplama işleminin başlaması yeterli olabilir. Dalgalar halinde toplama yapmak, aynı anda işlenecek sipariş miktarı açısından sınırlı olan, ayrıştırma ve düzenleme gibi faaliyetler için sıkı bir yönetim ve kontrol elde edilmesini sağlar [12].

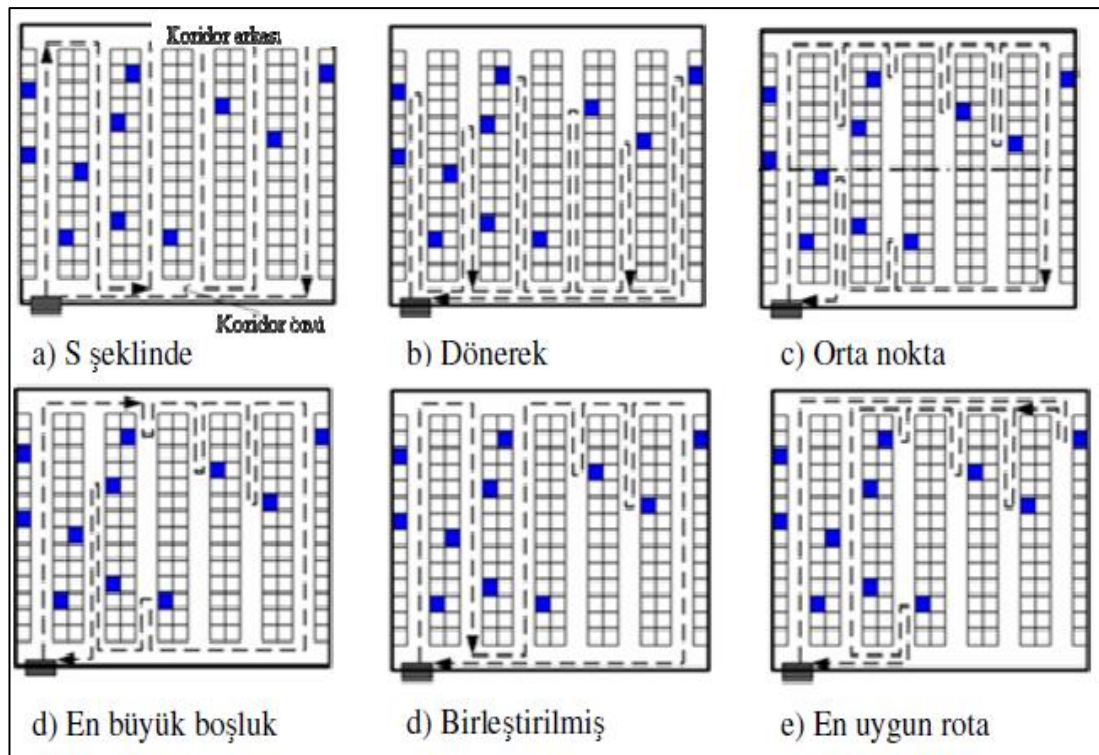
Sıralama ve rotalama

Toplayıcının depo içindeki dolaşım süresinde tasarruf etmek üzere uygulanacak diğer bir etkili yöntem de iyi depolama/toplama rotalarının belirlenmesi yaklaşımıdır. Rotaları belirleme problemi, dolaşım mesafelerinin olabildiğince kısa olmasını sağlayacak şekilde ürünlerin depolama/toplama sırasının bulunmasını ihtiva eder [174]. Rotalama problemi sipariş toplama konusunda tipik bir TSP (Travelling Salesman Problem, Gezgin Satıcı Problemi)'dir [7].

Sıralama; ürünlerin toplama rotasının oluşturulduğu listede, depo boyunca etkili bir rota dâhilinde toplanmak üzere, sıraya konmasıdır. Sipariş toplama süresi aynı koridorlardaki tekrar geri dönüşlerin azaltılmasıyla azaltılabilir [1]. Hem ürünün toplayıcıya hem de toplayıcının ürüne gittiği sistemlerde toplama noktalarını sıraya koymak dolaşım süresinde önemli tasarruflar sağlamaktadır [19].

Sıralama ve dolayısıyla rotanın belirlenmesi için çeşitli optimal ve sezgisel (heuristic) yöntemler mevcuttur. Optimal rotalama yöntemleri sezgisel yöntemlere göre daha az sürede toplama sağlayan rotalar üretebilmektedir. Diğer taraftan sezgisel yöntemler ise basitliği ve çalışanlara sağladığı uygulama kolaylığı ile avantaj sunmaktadır. Sezgisel yöntemler, optimal yöntemler kadar etkili sonuçlar

üretmeye de, işletmenin içinde bulunabileceği mevcut duruma göre oldukça etkili iyileştirmeler sunarlar. Sezgisel yöntemler anlaşılması basit uygulamalardır ve aynı zamanda çok değişkenlik göstermezler. Bu tutarlılıkları sayesinde de, birkaç adım fazla atmaktan daha büyük zararları olabilecek olan siparişlerin eksik toplanması gibi risklerin en aza indirgenmesinde etkilidirler. Karar vericilerin, sezgisel yöntemlerin bu avantajları ile optimal yöntemlerin avantajı olan mesafe tasarruflarını karşılaştırmaları gerekmektedir. Sıralama ve rotalamanın etkin sonuçlar verebilmesi için ürün yerleşimi de önemlidir [123]. Sırt sırta raf sistemlerinin kullanıldığı bir depoda uygulanabilecek sezgisel yöntemlerden bazıları Şekil 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3.15: Sezgisel yöntemler [9].

3.3.3.2. Ayırıştırma

Yığın halinde veya alanlar şeklinde toplama yapıldığında genellikle ürün yığınlarını müşteri siparişlerine veya gidecekleri yerlere göre tekrar ayırıştırmak veya bir araya getirmek üzere fazladan çaba sarf etmek gereklidir [3]. Bu işlem el yordamı ile veya otomasyonlu ayırıştırma sistemleri vasıtasıyla gerçekleştirilebilir.

Ayırıştırma işlemi, toplama süresi boyunca toplayıcılar tarafından (toplarken ayırıştırma) veya toplama işlemi bittikten sonra (topla-ve-ayırıştır) yerine getirilebilir [7]. Ayırıştırma sistemleri genellikle konveyör sistemleri ile birlikte toplama

faaliyetinden akış aşağı olacak şekilde kurulmuş, bütünleşik yapıya sahip pahalı otomasyon sistemleridir. Ayırıştırma sistemleri sayesinde yığın veya alanlar şeklinde toplama etkinlikle yerine getirilirken müşteri siparişlerinin daha çabuk ve doğru hazırlanması mümkün kılınır. Ayırıştırma sistemleri genellikle bar-kod veya RFID gibi tarama ve tanımlama teknolojileri ile bilgi sistemlerinin önemli katkısı sayesinde gerçek zamanlı kontrol elde edilmesini sağlar. Elleçlenen malzemenin özelliklerini ve ihtiyaç duyulan faaliyet hızına bağlı olarak çok çeşitli ayırıştırma sistemleri vardır [18]. İtme sistemleriyle çalışan ayırıştırıcılar, kayar tepsilerle çalışan ayırıştırıcılar, kayan ayakkabı tarzı ayırıştırma sistemleri ve dikey olarak düşürülebilecek kutular için de bomba yatağı tarzı ayırıştırma sistemleri bunlardan bazılarıdır [12]. Ayırıştırma sistemlerinin tasarımı zor bir konudur, çünkü bu sistemler değişik şekil ve boyutlardaki ürünleri elleçleyebilmeli ve sisteme gelen sipariş dalgalarını yürütebilecek yetenek ve kapasiteye de sahip olmalıdırlar. Kaç tane ayırıştırma kanalının olacağı da karar verilmesi gereken önemli bir konudur. Aynı anda kaç tane siparişin tamamlanabileceği bu karara bağlıdır. Ayırıştırma esnasında yeniden döngü gerektiği durumlardaki politikaların da belirlenmesi gereklidir. Bu konudaki seçenekler arasında ürünün sistemi terk etmesi, yeniden aynı konveyörde dönüye girmesi veya ayrı bir konveyörde döngüye girmek üzere ayrılması vardır. Ayrıca tüm otomasyon sistemlerinde olduğu gibi bu sistemdeki önemli bir risk ise; sistemin gayri faal olduğu durumlarda tüm depoyu durdurma ihtimalidir [18].

3.3.3.3. Paketleme

Paketleme işlemi sevkiyat öncesi ürünleri hazırlama aşamasında gerçekleşen bir faaliyettir. Ürünlerin özelliklerine ve taşıma moduna bağlı olarak ürünler veya kutular, paletler veya konteynerlere yüklenirler. Tüm bu paketleme işlemleri, ürünlerin söz konusu muhafaza haznelerine yerleştirilmesi gibi matematiksel bir tabanda buluşurlar. Buradaki amaç bu haznelerin kullanımı ile ilgili maliyetin veya kısaca kullanılacak hazne sayısının en aza indirgenmesidir. Matematiksel bir bakış açısıyla değerlendirildiğinde paketleme problemleri genellikle polinom olmayan (NP-hard) problemler olduğu için çoğu karar destek sistemlerinde de sezgisel (heuristic) yöntemler kullanılmıştır. Bazı paketleme problemlerinde ürüne ait tüm özelliklerin bilinmesine gerek duyulmayabilir. Örneğin yüksek yoğunluktaki ürünlerin bir kamyonu yüklenmesi esnasında sadece ağırlıkları dikkate alınabilir. Sonuç olarak paketleme problemleri gerekli parametre sayısına göre

sınıflandırılmıştır. Tek boyutlu paketleme problemleri genellikle sadece yüksek yoğunluklu olan ve ağırlığın belirleyici olduğu ürün paketleme işlemlerinin araştırıldığı durumlardır. İki boyutlu paketleme problemleri genellikle aynı yüksekliğe sahip paletlerin yüklendiği durumlardır. Üç boyutlu paketleme problemleri ise düşük yoğunluklu olan ve hacmin belirleyici rol aldığı paketleme işlemleridir. Paketleme problemleri çevrim dışı ve çevrim içi sezgiseller olarak yüklenecek ürünlerin hepsinin paketleme başladığında müsait olup olmamasına göre ikiye ayrılırlar. İlkinde ürün özelliklerine göre önceden işlemler yapılabilir. Örneğin ürünler sezgisel yöntemin performansını artırmak için ağırlıklarına göre listelenebilirler. Her üç paketleme problemi için de genellikle ilk uygun (First Fit) veya en iyi uyan (Best Fit) yaklaşımlar temelinde farklı sezgisel yöntemler ile sonuç aranmaktadır [16].

4. ENVANTER SINIFLANDIRMA TABANLI DEPO İÇİ YERLEŞİM PLANLAMASI

4.1. Kullanılan Teknikler

4.1.1. Envanter sınıflandırma

Günümüzde rekabet işletmeler arası seviyeden tedarik zincirleri arası rekabet seviyesine geçiş yaparken, işletmeler tedarik zinciri maliyetlerini en aza indirmek üzere tedarik zinciri yönetimi politikalarına giderek artan bir şekilde rağbet göstermektedirler. Etkili bir tedarik zinciri yönetimi, işletmenin performansını geliştirmenin ve rekabet avantajını elde bulundurmanın anahtarı konumuna gelmiştir. Dolayısıyla tedarik zinciri içindeki her faaliyet çok büyük önem kazanmış durumdadır. Bu bakış açısıyla depolama ve envanter yönetimi tedarik zinciri üzerinde etkisi olan, birbiri ile yakından ilişkili iki önemli faaliyettir. Üretilen toplam iş miktarı hızının artırılması ve faaliyet maliyetlerinin en alt seviyeye çekilmesi üzerinde büyük bir baskı oluşmuş durumdadır. Bu iki amaç doğrultusunda AS/RS kullanımı, etkin sipariş toplama politikaları ve hepsinin temelinde bulunması gereken doğru ve etkin ürün yerleşimi öne çıkan uygulamalardır [80].

Günümüz tedarik zincirlerindeki müşteri odaklı yaklaşımın ürünü olarak ortaya çıkan müşteri hizmet seviyesinin sağlanabilmesi için daha kısa sipariş yanıt süresi, artan ürün çeşitliliği ve sayısı ile envanterin üzerindeki sağlanması gereken hâkimiyet ve kontrol seviyesi daha da önem kazanmıştır. Envanter sınıflandırma bu noktada karar vericilerin yardımına koşan önemli bir araçtır. Envanterin sınıflandırılması ile farklı depolama ihtiyaçları olan ürünlerin uygun şartlarda depolanmasının yanı sıra müşteri siparişini karşılarken bu sınıflandırma sayesinde daha doğru ve daha hızlı hareket etme kabiliyeti kazanılmış olur. Yine envanter sınıflandırması sayesinde ürünlerin stok ve yeniden sipariş takipleri kolaylaşırken, kısa kalma durumuna ve bu durumdan kaynaklanabilecek ceza maliyetlerine karşı önlem alınmış olur.

Envanter sınıflandırmanın amacı, uygun envanter sınıfına göre kararların verilmesi yoluyla belirli bir plan ve yöntem vasıtasıyla envanter yönetiminde etkinliğin sağlanmasıdır. Uygulamada bütün envanterin aynı düzeydeki dikkat ile yönetilmesi mümkün değildir. Bu nedenle sınıflara ayırarak her sınıfa gerekli özeni göstermek envanter yönetimini kolaylaştıracaktır. En yaygın kullanılan envanter sınıflandırma yöntemi ABC analizi doğrultusunda gerçekleştirilen ABC envanter sınıflandırma yöntemidir [87]. Envanter genellikle A,B ve C sınıfları olmak üzere üç ayrı sınıfa ayrılır. Karar vericilerin inisiyatifi doğrultusunda bu sınıf sayısı arttırılabilir ve AA, BB ve CC gibi ara sınıfların oluşturulması da mümkündür.

ABC analizi; envanteri Pareto analizine dayanarak önem seviyelerine göre üç gruba ayıran bir tekniktir. Bu gruplardan A sınıf çok önemli, B sınıfı orta dereceli önemli ve C sınıfı ise en az öneme sahiptir. A sınıfı ürünler ilgili kriter veya kriterler doğrultusunda toplam değer % 80'ine sahipken miktar olarak ise envanterin % 20'sini oluşturur. B sınıf için bu oranlar sırasıyla % 15 ve % 30 iken C sınıfı için ise yine sırasıyla % 5 ve % 50'dir [101]. Bu kapsam ABC envanter sınıflandırması vasıtasıyla; ürün sınıfları için yapılacak kontrol ve gözden geçirmeler, giriş/çıkış noktasına göre yerleşim yerleri gibi karar alanları sayıca az ama önem seviyesi olarak yüksek olan A grubundan sırasıyla B ve C gruplarına doğru göreceli biçimde en üst seviyeden en alt seviyeye doğru azalan önem sırasıyla yürütülürler.

ABC envanter sınıflandırması tekniği geleneksel yaklaşımda yıllık harcanan para miktarı (yıllık talep * birim fiyat) üzerine kurulmuştur. Envanterdeki ürünler yıllık harcanan miktara göre azalan şekilde sıralandıktan sonra karar vericilerin belirlediği oranlarda sınıflara ayrılırlar. ABC sınıflandırması için tamamlayıcılık, uyumluluk, sık kullanılabilirlik vb. kriterler de kullanılarak envanter sınıflandırması yapılmaktadır. Geleneksel yaklaşımdaki bir tek kriterin envanter sınıflarında belirleyici olmasının aksine günümüzde, kritiklik oranı, envanter elde bulundurma maliyeti, temin süresi, dayanıklılık, ağırlık, ikame edilebilirlik, kısa kalma ceza maliyeti gibi daha birçok kriterin de envanterin sınıflandırılmasında önemli rol oynadığı düşünülmektedir. COI ile yapılan sıralama belki depolama için gerekli hacim ve sipariş miktarını dikkate alarak birden fazla kriteri dikkate almış olsa da depolamayı etki eden çok sayıdaki etkenin etki etmemesi bu yöntemi de yetersiz kılmaktadır. Bu noktadan hareketle literatürde basit matematiksel modeller, genetik algoritmalar, yapay sinir ağları, dinamik programlama, ikili karşılaştırma matrisleri, AHP, TOPSIS, bulanık mantık,

çeşitli sezgisel yöntemler, doğrusal olmayan programlama ve temeli [95] tarafından sunulan ve bundan sonra R-modeli olarak ifade edilecek olan veri zarflama benzeri doğrusal programlama modeline dayanan doğrusal modeller ile envanteri en hassas ve doğru sınıflandırarak envanterin kontrolü, ürün yerleşimi, sipariş toplama ve nihayetinde istenen müşteri hizmet seviyesine ulaşmak için en etkili politika araştırılmıştır.

4.1.2. R-modeli

Envanteri sınıflandırmak için kullanılan diğer yöntemlerde öznelliğin hesap aşamasında yer alması, karar vericiler için kullanım zorluğu ve karmaşıklığı gibi nedenlerin olması bu yöntemlerin doğruluğunu ve uygulanabilirliğini tartışılır hale getirmektedir. Ürünler envanter sınıflandırmasına tabii tutulmak için öncelikle yapılan hesaplamalar sonucunda bir envanter skoruna sahip olurlar. Bu envanter skoru karar vericilerin belirlediği kriterler ve bu kriterler altında ürünlerin performansları doğrultusunda elde edilir. Dolayısıyla birden fazla kriterin dâhil edildiği bir hesaplamada her kriterin toplam skor içinde bir ağırlığı söz konusudur. [95] tarafından kurulan ve denklem 4.1’de verilen doğrusal modelde bu kriter ağırlıklarının karar vericiler tarafından belirlenmesini değil, modelin kendi içinde üretilmesini sağlamıştır. Bu sayede ürünler belirlenen kriterler doğrultusunda tamamen öznellikten uzak bir şekilde elde ettikleri envanter skorlarına binaen azalan şekilde sıralanarak yine karar vericilerin belirlediği oranda sınıflara ayrılırlar.

$$I_k = \max \sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rk} \quad (4.1a)$$

Ş.k.a.

$$\sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rj} \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (4.1b)$$

$$u_{rk} \geq 0, \quad \forall r. \quad (4.1c)$$

Denklem 4.1’de verilen modelde “ I_k ” optimal envanter skorunu, “ s ” kriter sayısını, “ r ” ilgili kriteri, “ n ” toplam ürün sayısını, “ k ” ürün sırasını, “ y_{rk} ” ilgili kriter altında seçilen ürünün performansını, “ u_{rk} ” ise ilgili kriterin seçili ürün için optimal envanter

skoru içindeki ağırlığını ifade etmektedir. Modelde belirlenen tüm kriterlerin ürünün önem seviyesiyle pozitif yönde etkileşim içinde oldukları kabul edilmektedir. Negatif etkileşim söz konusu olduğunda ise söz konusu kriter altındaki performans değerinin mutlak değeri alınarak hesaplama katılmaktadır. Ağırlıklı doğrusal optimizasyon yöntemi kullanılarak tüm kriterlere ait performans değerleri optimal envanter skoru adı altında toplanmıştır. Ağırlıklar, aynı ağırlık seti ile tüm ürünlerin ağırlıklı toplamalarının bire eşit veya küçük olmaları kısıdı altında optimizasyon modeli tarafından hesaplanmıştır. Tüm kriterlerin ürünün önem seviyesine pozitif etkisi olduğu varsayımından dolayı model en büyükleme problemi şeklinde kurulmuştur. Sunulan model çözüldüğünde sadece seçilen ürüne ait optimal envanter skorunu vermektedir. Dolayısıyla amaç fonksiyonu değiştirilerek her bir ürün için tekrar modeli çalıştırmak gereklidir.

Veri zarflama analizi benzeri ağırlıklı doğrusal optimizasyon yöntemiyle oluşturulan R-modeli, literatürdeki diğer araştırmalar tarafından parça kritikliği gibi kategorik kriterleri değerler vererek hesaba katması, her kriterin kendi ağırlığını en büyükleme için çaba sarf etmesi nedeniyle göreceli olarak önemsiz olan kriterlerin hatalı bir şekilde diğer kriterlere baskın gelebilmesi ve elde edilen optimal envanter skorlarının sıralaması esnasında birbirine eşit değer alan çok sayıda ürün olması gibi nedenlerden eleştirilmiştir. Sözel kriterlere verilen kategorik değerlerin ilgili kriteri tam ve doğru ifade edip edemediği tartışması diğer çalışmalarda, farklı yöntemlerle bu kriterlerin dâhil edilmesi veya tamamen ihmal edilmesiyle çözüm bulmuştur. Elde edilen bütün optimal envanter skorlarının listelenmesi esnasında aynı değere sahip ürünlerin olması da yine R-modelinin hassasiyet açısından eleştirilmesine neden olmuş ve literatürdeki diğer çalışmalarda ürünlerin birbirlerine etkileşimlerinin de dâhil edildiği modeller kurularak bu sorun giderilmeye çalışılmıştır.

4.1.3. Çapraz değerlendirme tabanlı ağırlıklı doğrusal optimizasyon

R-modelinden elde edilen optimal envanter skorlarının yeterli hassasiyete sahip olmaması nedeniyle birçok ürün aynı skora sahip olabilmektedir. Bu durumda ürünlerin hangi sınıfa ait olduklarını belirlemek güçleşmektedir. Bu sonuç ışığında [101], envanteri sınıflara ayırırken sadece ürünlerin belirlenen kriterlerden değil aynı zamanda birbirlerinden de etkilendiğini savunarak Çapraz Değerlendirme Tabanlı Ağırlıklı Doğrusal Optimizasyon (ÇDTADO) modelini sunmuştur. Bu model ile

sınıflandırmanın daha hassas yapılabilmesinin ve kriterlerin modelin yapısı gereği birbirlerine karşı hatalı bir şekilde baskın gelmesine engel olunmasının mümkün olduğu belirtilmiştir.

[101] çapraz değerlendirme tabanlı ağırlıklı doğrusal optimizasyon yaklaşımında, agresif bir çapraz değerlendirme metodu olan ikili etkileşim oyunu (Pairwise Efficiency Game) modelini kullanmıştır. Bu modelde her ürün diğer ürünlerle karşılaştırılır. Envanterdeki bir ürün, optimal envanter skorunu en büyükmek için optimal ağırlıkları seçerken aynı zamanda diğer ürünlerin kendi üzerindeki etkinlik puanlarını da en küçükmeye çalışmaktadır. Dolayısıyla [101] sunduğu ve denklem 4.2’de belirtilen modelde, öncelikle R-modeli yardımıyla yine tüm ürünler için puanları bulmuş ve bu puanları daha sonra çapraz etki puanlarının hesaplandığı modelde kısıt olarak kullanmıştır.

$$c_{pk} = \min \sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rp} \quad (4.2a)$$

Ş.k.a.

$$\sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rk} = I_k^* \quad (4.2b)$$

$$\sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rj} \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n, j \neq k. \quad (4.2c)$$

$$u_{rk} \geq 0, \quad \forall r. \quad (4.2d)$$

Sonuç olarak her ürün için bu iki modelin art arda çalıştırılmasıyla diğer ürünlerin hepsinden etkilendikleri puanlar elde edilmiştir. Müteakiben sınıflandırma için sıralamaya tabii tutulacak olan optimal envanter skorları denklem 4.3’te gösterildiği üzere, her bir ürün üzerindeki çapraz etki puanlarının ortalamalarının alınmasıyla elde edilmiştir.

$$I_p = \frac{\sum_{k=1}^n c_{pk}^*}{n}, \quad p = 1, \dots, n. \quad (4.3)$$

Denklem 4.2 ve 4.3'te; " c_{pk} " " k " ürününün " p " ürünü üzerindeki etki puanını, " y_{rp} " " p " ürününün " r " kriteri altındaki performansını ve " I_p " de " p " ürününe ait önem indeksini göstermekte olup sınıflandırılmak üzere yapılan sıralama bu indeks esasında yapılmaktadır. Modelde " c_{pk} ", " $p \neq k$ " olduğu durumlar için hesaplanır. Aksi durumda ise " $c_{pk} = I_k$ " kabul edilmektedir. Model bu durum dikkate alınmadan da çözüm üretebilse de bu durum hesaplama kolaylığı açısından sunulmuştur. Denklem 4.2 öncelikle " k " ürününe ait optimal envanter skorunu en büyükleyecek ve sonra da bu şartlar altında sıralamada rakip olan " p " ürününün optimal envanter skorunu en küçükleyecek ağırlıklar bulunmaya çalışılmıştır. İlk kısıt, çapraz etki puanı hesaplanırken hedef ürüne ait envanter skorunun modelin ilk aşamasında R-modeli vasıtasıyla bulunan optimal envanter skoruna eşit olması için konulmuştur. İkinci kısıt ise herhangi bir ürünün envanter skorunun " 1 " değerini aşmaması için eklenmiştir.

4.1.4. DEMATEL yöntemi

DEMATEL, üzerinde çalışılan problemin çözüm sürecinin kolaylaştırılması için önemli bir tekniktir. The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) Metodu; ele alınan araştırmada karmaşık ve birbirine girmiş problemlerin çözümünde kullanılması amacıyla 1972 ve 1976 yılları arasında Cenevre Battelle Memorial Enstitüsü, Bilim ve İnsan İlişkileri programı tarafından ortaya konulmuştur. DEMATEL, problemlerin kavrayışını geliştirmek, birbirine geçmiş problem kümelerini çözmek ve hiyerarşik yapıda uygulanabilir çözümlerin tanımlanmasına katkıda bulunmak için uygun bilimsel araştırma yöntemlerinin kullanılmasına öncülük etme amacıyla geliştirilmiştir. DEMATEL metodu graf teori temelinde çalışmakta olup nedensel ilişkiyi daha iyi anlamamızı sağlayacak ilgili faktörleri sebep ve sonuç gruplarına bölerek, problemleri taslak olarak planlama ve çözme imkânı verir [204].

DEMATEL karar vericilere sadece problemlerin çözümünde hesaplamalarda kolaylık sağlama konusunda yardımcı olmakla kalmamaktadır. Karar vericiler DEMATEL vasıtasıyla analiz etme imkânı da bulmaktadır. Böylece karar vericiler, nedensel ilişkileri çok daha kolaylıkla anlayabilmek için çok boyutlu kriterleri etkileyen ve etkilenen gruplarına ayırır. Ayrıca yön verilmiş grafik çizgileri ki ikili grafik çizgileri diye adlandırılırlar, alt sistemler arasındaki yönlendirilmiş ilişkileri

daha iyi açıkladıkları için daha açıklayıcıdır. Diğer bir deyişle bir ikili grafik çizgisi varlıklar ve onların gruplanmaları arasındaki iletişim ağını veya baskın ilişkileri temsil eder [213]. DEMATEL yöntemi gruplar halinde bilgi toplamaya yardımcı olan ve alt sistemler arasındaki ilişkilerin daha iyi anlaşılabilmesi açısından oldukça etkili bir yöntemdir. Bu sayede problemin dinamikleri daha rahat belirlenerek etkisi dikkate alınacak seviyede olanları hesaba katarak problemin çözümünde etkin bir kolaylık sağlanmaktadır.

DEMATEL yöntemi beş adımdan oluşmaktadır [204]:

Adım 1: Doğrudan ilişki matrisi “H” belirlenir. Söz konusu sürecin uzmanları tarafından Çizelge 4:1’de sunulan ikili karşılaştırma ölçeği kullanılarak kriterler arasındaki doğrudan ilişkiler puanlandırılır ve bu puanların ortalamaları alınarak doğrudan ilişki matrisi oluşturulur. Bu matriste köşegen değerleri “0” olur.

Çizelge 4.1: İkili karşılaştırma ölçeği [204].

Sayısal Değer	Tanım
0	Etkisiz
1	Düşük etki
2	Orta Etki
3	Yüksek Etki
4	Çok Yüksek Etki

Adım 2: Doğrudan ilişki matrisi “H” kullanılarak normalleştirilmiş doğrudan ilişki matrisi “X” bulunur.

$$X = k.H \quad (4.4)$$

$$k = \min \left(\frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n a_{ij}}, \frac{1}{\max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n a_{ij}} \right), i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (4.5)$$

Adım 3: Normalleştirilmiş doğrudan ilişki matrisi ve denklem 4.6 kullanılarak toplam ilişki matrisi “T” bulunur. “I” birim matrisi ifade etmektedir.

$$T = X(I - X)^{-1} \quad (4.6)$$

Adım 4: Etkileyen ve etkilenen gruplar belirlenir. “T” matrisi değerleri ele alındığında; satırlar toplamı “D” ve sütunlar toplamı ise “R” olarak kabul edilir. Daha sonra “D+R” ve “D-R” değerleri bulunur. “D+R” kriterin ne kadar önemli olduğunu, “D-R” ise kriterler arasındaki ilişkiyi etkilenen ve etkileyen grupları oluşturarak belirler. “D-R” pozitif ise kriter etkileyen, negatif ise etkilenendir.

Adım 5: Eşik değeri belirlenir ve hesaplama işlemlerine geçilir. Karar vericiler veya uzmanlar etkili bir hesaplama elde etmek için uygun bir eşik değeri belirlemelidirler. “T” matrisindeki sadece eşik değeri aşan değerler hesaplamada kendilerine yer bulabilirler.

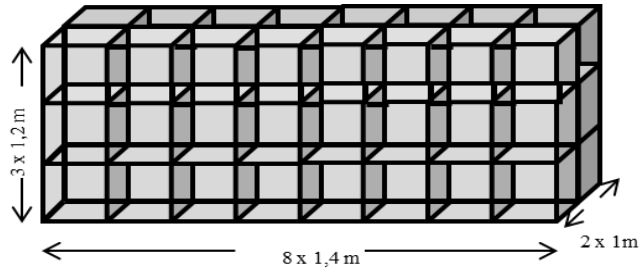
4.2. Bir Kamu Kurumu Deposunda Envanter Sınıflandırma Tabanlı Ürün Yerleşimi

Envanter yönetiminin daha etkin gerçekleştirilmesi ve ürün yerleşimi, sipariş toplama gibi konularda alınacak kararlar ile maliyetlerin düşürülmesi ve işletmenin nihai amacı olan müşteri hizmet seviyesinin istenen düzeyde tutulabilmesi için ABC analizi vasıtasıyla ürünlerin sınıflandırılması ve bu sınıflandırma doğrultusunda depo yerlerine atanmaları etkili bir politikadır. Bu kapsamda örnek durum çalışması için ele alınan bir kamu deposundaki altmış kalem ürün üzerinde çalışma yapılmıştır. Depodaki envanter altı ana ürün grubundan meydana gelmektedir. Bu gruplar; demir-kaynak malzemeleri, elektrik tesisatı malzemeleri, hırdavat, marangoz malzemeleri, sıhhi tesisat malzemeleri ve yapı malzemeleridir. Envanterin sınıflandırılması için kurumdaki çalışan ve yöneticilerin görüşleri ve süreçte kullanılan bilgi sistemi ışığında yedi adet kriter literatürdeki çalışmalar da göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Bu kriterler ortalama birim maliyet, yıllık harcanan para, kritiklik etkeni, temin süresi, yıllık kullanım miktarı, elleçleme zorluğu (ağırlık veya boyut bakımından), kullanım frekansıdır (yıllık kullanım miktarı/ürünün gördüğü işlem sayısı).

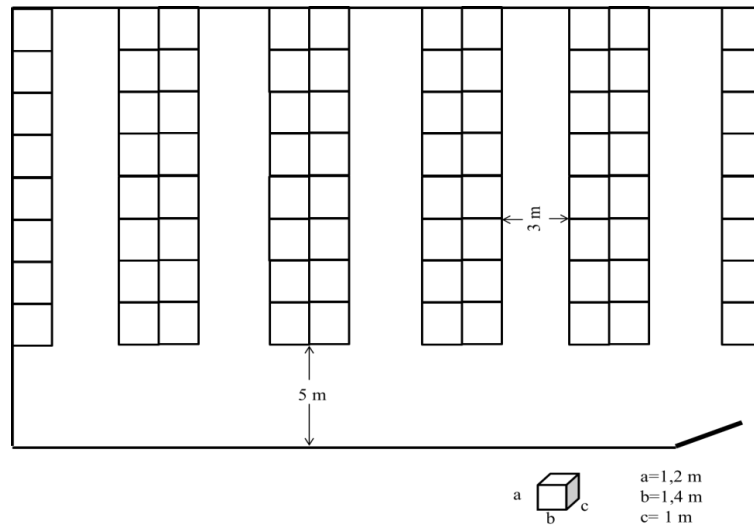
Yapılan çalışmada; [101]’in sunduğu çapraz değerlendirme tabanlı ağırlıklı doğrusal optimizasyon yönteminin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Aynı envanteri daha kısa sürede ve daha kolay hesaplamayla, aynı veya daha iyi yerleşime tabii tutmak için DEMATEL metodu kullanılmıştır. DEMATEL yönteminin ilk basamağı olarak ürün gruplarının birbirleri üzerine etkilerinin de puanlanması sayesinde ürünlerin etkileşimlerinin sıralamaya etki ettiği ortamda, karar vericilerin de bu etkileşim

üzerindeki yorumlarının sürece dâhil olması sağlanmış bulunmaktadır. Envanterin sınıflandırılmasının ardından [20]'de sunulan model vasıtasıyla ürünlerin depo yerlerine tahsisi gerçekleştirilmiştir.

Kullanılan depoda iki kapı bulunmaktadır, ancak kapılardan biri sadece yangın gibi acil durumlar için kullanılmakta olup günlük tüm giriş/çıkış işlemleri tek bir kapıdan yapılmaktadır. Depoda sırt sırta raf sistemi mevcut olup herhangi bir otomasyon söz konusu değildir. Çalışanlar bilgi sisteminden gelen siparişi depo yerlerine yürüyerek giderek toplayıp sevkiyat noktasına biriktirmektedirler. Gerekli evrak işlemlerini müteakiben sipariş edilen ürünler dok bölgesinden araçlara yüklenerek sevk edilmektedir. Yeni gelen ve iade ürünlerin tabii tutuldukları süreç de dağıtım sürecinin tam tersi olarak uygulanmaktadır. Raflarda yüksek olan depo yerlerine erişebilmek için merdiven kullanılmaktadır. Kuruma ait diğer depolarda ürün taşıma ve yüksek depo yerlerine erişim için SKU ve dağıtım birimi özelliklerine binaen forklift (istif aracı) kullanılmaktadır. Depoya ait yerleşim krokisi, depo ve depolama alanı ölçüleri ve raf düzeni Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



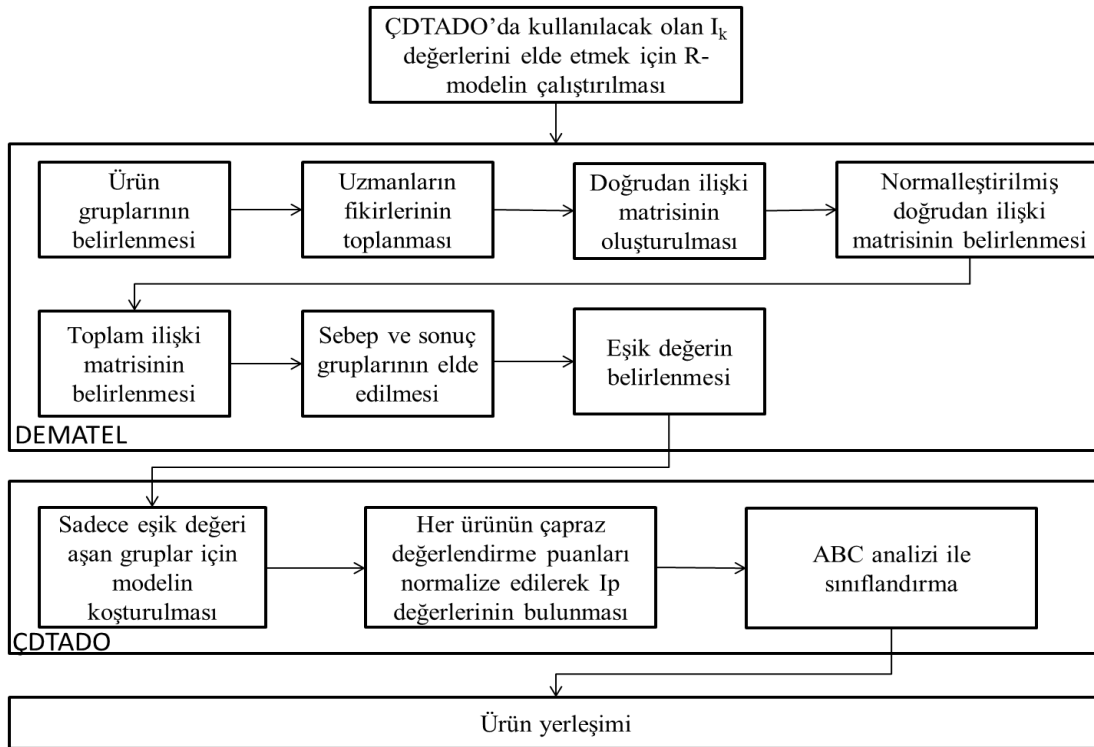
Şekil 4.1: Raf düzeni.



Şekil 4.2: Depo krokisi.

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilen depo planlarına bakıldığında; ana koridor 5 metre, ara koridorlar ise 3 metre genişliğinde, depo yerlerinin enleri 1,4 metre, derinlikleri 1 metre ve yükseklikleri de 1,2 metredir. Ayrıca kapıdan girildiğinde depo yerlerinin numaralandırması en sağ alttaki ilk depo yeri “S1” ile başlayıp son depo yeri “S8” ile biterken, üst sıraları da benzer şekilde sırayla “S9” ve “S17” ile başlayıp “S16” ve “S24” ile bitmektedir. Benzer şekilde sıralama koridorun diğer tarafındaki raftan devam ederken, koridordaki numara verilecek depo yeri bitince sıralama, bir sonraki koridorda yine sağ en alttaki ilk depo yerinden aynı şekilde devam etmektedir. Depoda toplam 240 adet depo yeri bulunmaktadır.

Envanter sınıflandırma ve bu sınıflandırmaya binaen ürün yerleşimi sırasıyla ÇDTADO ve bu tez çalışmasında sunulan Entegre DEMATEL ve ÇDTADO yöntemleriyle yapılacaktır. Böylece her iki yöntemi; sıralama hassasiyeti ve doğruluğu, hesaplama kolaylığı, hesaplama için gerekli süre ve yerleşim doğrultusunda maliyet-etkinliği açısından kıyaslamak mümkün olacaktır. Bu çalışmadaki tüm hesaplamalar Microsoft Office Excel ve Microsoft Visual Basic for Applications programları yardımlarıyla yapılmıştır. Bu çalışmada sunulan yöntemle ait iş akışı Şekil 4.3’te sunulmuştur.



Şekil 4.3: Geliştirilen yöntemle ait iş akışı.

Ürünlerin yerleştirilmesi için [20] tarafından sunulmuş olan doğrusal modelin, depoda giriş/çıkış için tek kapının kullanılması nedeniyle yine aynı kaynaktan belirtilmiş olan sadeleştirilmiş hali kullanılacaktır. Bu durumda model; her bir depo yerinin kapıya olan uzaklıklarının küçükten büyüğe, her bir ürünün skorunun da büyükten küçüğe sıralanarak eşleştirilmesi ile çözülmektedir. Envanterdeki ürünlerin belirlenen kriterler altındaki performansları bilgi sistemi ve personelin tecrübesine(kritiklik etkeni, taşıma gücü) dayanarak Çizelge 4.2’de sunulmuştur. Söz konusu kriterler literatürdeki örneklerin katkısı ile karar verici ve personelin fikirleri doğrultusunda belirlenmiştir. Kritiklik etkeni 0,01: kritik değil, 0,5: orta derece kritik ve 1: çok kritik şeklinde ölçeklendirilirken elleçleme gücü ise 0,25: çok kolay, 0,5: kolay, 0,75: zor ve 1: çok zor şeklinde ölçeklendirilmiştir.

Çizelge 4.2: Ürünlerin kriterler altındaki performansları.

Ana ürün grubu	Ürün Kodu	Ortalama Birim Maliyet	Yıllık Harcanan Para	Kritiklik Etkeni	Frekans	Elleçleme Gücü	Yıllık Kullanım Miktarı	Temin Süresi
MG1	G1	2,960	11,840	0,01	0	0,25	0	16
	G2	4,350	17,400	0,01	0,5	1	2	8
	G3	5,000	165,000	0,5	1	0,5	1	5
	G4	17,700	177,000	0,5	1,5	0,5	3	4
	G5	20,060	621,860	0,01	1,5	1	3	13
	G6	1,980	196,020	0,01	0	1	0	25
	G7	1,830	7,320	0,01	0	0,25	0	26
	G8	2,950	221,250	0,01	2,25	0,25	9	11
	G9	29,000	2320,000	0,01	0	0,25	0	3
	G10	14,160	1543,440	0,5	1,333333333	0,5	4	10
MG2	G11	1,300	26,000	1	0	0,5	0	4
	G12	4,720	146,320	1	1	0,5	2	5
	G13	1,100	38,500	1	0	0,5	0	7
	G14	1000,000	7000,000	1	1	1	1	35
	G15	0,250	23,750	0,5	0	0,5	0	15
	G16	2,400	57,600	1	0	1	0	7
	G17	1,360	85,680	0,01	0	0,5	0	3
	G18	70,000	840,000	1	0	1	0	10
	G19	2,070	414,000	1	25	0,75	50	14
	G20	1,250	230,670	0,01	3,333333333	0,75	10	2
	G21	1722,800	13782,400	1	0	1	0	19
	G22	91,170	364,680	1	0	0,5	0	33
MG3	G23	8,020	128,320	0,01	1	0,25	6	4
	G24	0,030	0,060	0,01	0	0,25	0	3
	G25	15,340	260,780	0,01	1,090909091	0,5	12	2

Çizelge 4.2 (devam): Ürünlerin kriterler altındaki performansları.

Ana Ürün Grubu	Ürün Kodu	Ortalama Birim Maliyet	Yıllık Harcanan Para	Kritiklik Etkeni	Frekans	Elleçleme Güçlüğü	Yıllık Kullanım Miktarı	Temin Süresi
MG3	G26	10,000	130,000	0,01	0	0,5	0	4
	G27	2,760	372,600	0,01	0	0,25	0	8
	G28	11,480	172,200	0,01	1,666666667	0,25	5	2
	G29	3,000	9,000	0,5	0	0,25	0	9
	G30	4,850	169,750	0,5	0	0,25	0	10
	G31	14,850	297,000	0,5	0	0,25	0	9
	G32	0,140	2,940	0,5	0	0,25	0	11
	G33	11,880	249,480	0,01	0	1	0	5
MG4	G34	9,200	165,600	0,5	4,666666667	0,25	14	6
	G35	0,030	18,000	0,01	0	1	500	17
	G36	0,500	5,500	0,01	2	0,25	2	5
	G37	11,190	55,950	0,01	1	0,5	1	3
	G38	5,720	154,440	0,01	0	0,25	0	6
	G39	2,920	52,560	0,01	0	0,25	0	16
	G40	2,780	208,500	0,01	1,5	0,25	3	15
	G41	0,050	15,000	0,01	0	0,25	0	7
	G42	0,050	0,500	0,01	0	0,25	0	8
	G43	2,350	28,200	0,01	0	0,25	0	22
MG5	G44	15,000	30,000	0,5	0	0,25	0	12
	G45	10,640	85,120	0,5	0	0,5	0	6
	G46	14,840	593,600	0,01	0	1	0	17
	G47	41,010	779,190	1	2	0,75	6	6
	G48	1,020	93,840	0,5	7,5	0,5	30	2
	G49	2,360	23,600	1	0	0,25	0	13
	G50	0,180	0,540	0,5	0	0,25	0	11
MG6	G51	24,960	998,400	0,5	4,666666667	0,25	14	10
	G52	0,180	108,000	0,01	0	0,25	500	7
	G53	4,430	270,230	0,01	0	0,25	0	8
	G54	19,900	99,500	0,01	0	0,5	0	5
	G55	1,720	49,880	0,01	3,75	1	15	14
	G56	0,180	60,300	0,01	11,25	1	90	5
	G57	99,120	792,960	0,5	0,8	1	4	13
	G58	11,560	323,680	0,01	0	1	20	12
	G59	3,520	35,200	1	0,222222222	1	2	14
	G60	10,010	9009,000	0,01	0	0,25	0	4

Personelin çalışma süresi, gösterebileceği dikkat, iş yoğunluğu ve ürünlerin envanter skorları ile de desteklenen önem seviyeleri göz önünde bulundurularak karar

vericilerin görüşü doğrultusunda envanterdeki 60 kalem ürün; 13 kalemi A sınıfı, 18 kalemi B sınıfı ve 29 kalemi de C sınıfı olarak düzenlenecektir.

4.2.1. R-modeli ile sınıflandırma

Envanterdeki ürünlerin Çizelge 4.2’de belirtilen performans değerleri denklem 4.1 ile MS Excel ve Visual Basic yardımıyla hesaplandığında elde edilen optimal envanter skorları ve bu skorlara binaen oluşturulan sınıflandırma Çizelge 4.3’te sunulmuştur.

Çizelge 4.3’te görüldüğü üzere birden fazla ürün literatürdeki eleştirilerde de belirtildiği üzere aynı optimal envanter skoruna sahiptir. Bu durum ürünlerin ardışık sıralamalarını düzenlerken ve her bir kalem ürünün hangi sınıfa dâhil olmaları kararını verirken yöneticiler için güçlük oluşturmaktadır. R-modeli ile sınıflandırma yine de diğer modellerin temelini oluşturmaktadır. Hesaplanacak diğer her iki metot da bu veriler üzerine inşa edilecektir.

Çizelge 4.3: R-modeli ile sınıflandırma.

Ürün kodu	Optimal Envanter Skoru	Sınıfı	Ürün kodu	Optimal Envanter Skoru	Sınıfı	Ürün kodu	Optimal Envanter Skoru	Sınıfı
G31	100	A	G42	100	B	G8	50	C
G41	100	A	G9	100	B	G36	50	C
G56	100	A	G53	100	B	G27	50	C
G6	100	A	G55	75	B	G49	50	C
G11	100	A	G12	74,28571429	B	G60	50	C
G18	100	A	G23	65,365974	B	G7	50	C
G19	100	A	G54	62,85714286	B	G35	45,71428571	C
G21	100	A	G39	56,77752177	B	G44	45,71428571	C
G22	100	A	G5	50,93150169	B	G45	45,51360446	C
G47	100	A	G16	50,80656434	B	G13	36,65260776	C
G59	100	A	G2	50,46575085	B	G32	25,5840515	C
G33	100	A	G46	50	C	G14	25	C
G57	100	A	G4	50	C	G20	25	C
G52	100	B	G10	50	C	G43	25	C
G25	100	B	G3	50	C	G37	25	C
G1	100	B	G15	50	C	G50	25	C
G40	100	B	G30	50	C	G51	25	C
G28	100	B	G34	50	C	G24	25	C
G29	100	B	G17	50	C	G48	25	C
G38	100	B	G26	50	C	G58	25	C

4.2.2. ÇDTADO ile sınıflandırma

Envanteri çapraz değerlendirme tabanlı ağırlıklı doğrusal optimizasyon ile sınıflandırmak üzere denklem 4.2 ve denklem 4.3'te sunulan model yine Çizelge 4.2'deki performans değerleri ile çözülmüştür. Her bir ürün kaleminin önem seviyesini belirten envanter skorları ve bu skorlar doğrultusunda oluşturulan sıralama Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Bu yöntem ile elde edilen sonuçlar R-modeline göre çok daha hassas bir sıralama sunmaktadır. Bununla beraber her bir ürünün envanterdeki diğer tüm ürünlerle olan etkileşimlerinin hesaplanması zorunluluğu ciddi miktarda bir işlem kalabalığı meydana getirmektedir. Ürün sayısının arttığı düşünüldüğünde hata ihtimali ve hesaplama süresi karar vericilerin önünde dikkate alınması gereken bir unsur konumundadır.

Çizelge 4.4: ÇDTADO ile sınıflandırma.

Ürün kodu	Optimal Envanter Skoru	Sınıfı	Ürün kodu	Optimal Envanter Skoru	Sınıfı	Ürün kodu	Optimal Envanter Skoru	Sınıfı
G14	0,93098425	A	G33	0,487905224	B	G25	0,247997455	C
G21	0,890471042	A	G15	0,444223904	B	G17	0,247015296	C
G59	0,838610546	A	G10	0,434411862	B	G7	0,196362	C
G18	0,827017141	A	G48	0,423766601	B	G43	0,184777985	C
G16	0,815432782	A	G49	0,419835926	B	G52	0,183768988	C
G19	0,763784511	A	G45	0,415882128	B	G40	0,167889261	C
G47	0,681365262	A	G3	0,415398214	B	G39	0,167377659	C
G57	0,677925609	A	G4	0,413926904	B	G1	0,167314487	C
G22	0,621811	A	G20	0,369036683	B	G8	0,158339987	C
G35	0,5778194	A	G51	0,304703933	B	G27	0,144516063	C
G6	0,545862461	A	G44	0,296637189	B	G53	0,144408426	C
G13	0,538999156	A	G32	0,293293961	C	G42	0,144039876	C
G12	0,535652	A	G50	0,293290625	C	G60	0,143406	C
G11	0,529458986	B	G34	0,290652286	C	G41	0,141151528	C
G46	0,52322059	B	G30	0,290396664	C	G36	0,139350584	C
G55	0,522419832	B	G31	0,287538117	C	G38	0,138469118	C
G56	0,518587844	B	G29	0,286977745	C	G23	0,1353241	C
G5	0,5148846	B	G54	0,25295094	C	G9	0,13248155	C
G58	0,510668	B	G26	0,250058359	C	G28	0,130688042	C
G2	0,497552958	B	G37	0,249126158	C	G24	0,129509518	C

4.2.3. Entegre DEMATEL ve ÇDTADO ile sınıflandırma

Günümüz tedarik zincirlerinde depolarda bulundurulanan envanterin yüzlerce ve hatta binlerce kalem ürüne ulaştığı düşünüldüğünde çapraz değerlendirme tabanlı ağırlıklı doğrusal optimizasyon yöntemi ile envanter sınıflandırması yapmak oldukça zor olmaktadır. ÇDTADO yönteminde her bir ürünün diğer tüm ürünler ile etkileşimlerinin hesaplanması gerekliliği hata ihtimalini ve işlem süresini arttırmaktadır.

DEMATEL metodu literatürde genellikle kriterler arasında uygulanmıştır. Bu tezde sunulan çalışmada DEMATEL metodu; sadece belirlenen eşik değerin üzerinde kalan ürün gruplarına dâhil olan ürünlerin etkileşimlerini hesaplayarak işlem sayısını azaltmak, böylece de hata ihtimali ve işlem süresini düşürmek üzere kullanılmıştır. Diğer ürünlerden etkilenme seviyesi karar vericinin belirlediği sınırdan yüksek olan ürünlerin etkileşim puanları hesaplamaya katılmıştır. ÇDTADO yönteminde etkileşimlerin kullanılması ile ürünlerin sınıflandırılmasında; hassasiyet, kırılabilirlik veya narinlik gibi kriterleri de dikkate alınırken, DEMATEL metodu sadece birbirlerine yüksek etkiye sahip ürün gruplarının etkileşim puanlarını hesaplayarak bu gizli kriteri daha da hassaslaştırmaktadır.

Çizelge 4.1 doğrultusunda üç adet karar verici tarafından ürünlerin birbirleri üzerlerine olan olumsuz etkileri göz önüne alınarak doldurulan matrisler ve bu matrislerin ortalaması ile elde edilen doğrudan ilişki matrisi (H matrisi) sırasıyla Çizelge 4.5, Çizelge 4.6, Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.5: Birinci karar vericinin doğrudan ilişki puanları.

1’inci Karar Verici	MG1	MG2	MG3	MG4	MG5	MG6
MG1	0	1	3	1	0	1
MG2	1	0	1	0	3	3
MG3	3	2	0	2	1	3
MG4	3	0	3	0	0	2
MG5	4	2	1	1	0	3
MG6	4	2	2	1	1	0

Çizelge 4.6: İkinci karar vericinin doğrudan ilişki puanları.

2’nci Karar Verici	MG1	MG2	MG3	MG4	MG5	MG6
MG1	0	1	3	1	2	2
MG2	3	0	3	3	2	3
MG3	2	1	0	1	1	1
MG4	2	1	2	0	1	1
MG5	4	2	3	3	0	4
MG6	4	2	4	4	3	0

Çizelge 4.7: Üçüncü karar vericinin doğrudan ilişki puanları.

3'üncü Karar Verici	MG1	MG2	MG3	MG4	MG5	MG6
MG1	0	1	3	1	2	2
MG2	3	0	3	3	2	3
MG3	2	1	0	1	1	1
MG4	2	1	2	0	1	1
MG5	4	2	3	3	0	4
MG6	4	2	4	4	3	0

Çizelge 4.8: Doğrudan ilişki matrisi.

H matrisi	MG1	MG2	MG3	MG4	MG5	MG6	Satır toplamı
MG1	0	1,333333	3	1	1,333333	1,666667	8,333333333
MG2	2,333333	0	1,666667	1,666667	2,333333	2,666667	10,66666667
MG3	3	1,666667	0	1,333333	1,333333	2	9,333333333
MG4	2,666667	1	2	0	1	1,333333	8
MG5	4	2	1,666667	1,666667	0	3	12,33333333
MG6	4	2	2,333333	2	2	0	12,33333333
Sütun Toplamı	16	8	10,66667	7,666667	8	10,66667	

Doğrudan ilişki matrisi bulunduktan sonra, normalleştirilmiş doğrudan ilişki matrisini bulmak için öncelikle “k” sabitinin bulunması gerekmektedir. Denklem 4.5’te belirtilen yöntemle “k” sabitini bulmak için satır ve sütunların toplamaları bulunur ve bu toplamaların maksimum değerleri bulunur. Bu kapsamda;

$$k = \min\left(\frac{1}{12,33333333}, \frac{1}{16}\right) = 0,0625 \quad (4.7)$$

olarak elde edilir. Denklem 4.7 ile elde edilen sabitin kullanımıyla bulunan normalleştirilmiş doğrudan ilişki matrisi (X matrisi) Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9: Normalleştirilmiş doğrudan ilişki matrisi.

X Matrisi	MG1	MG2	MG3	MG4	MG5	MG6
MG1	0	0,083333	0,1875	0,0625	0,083333	0,104167
MG2	0,145833	0	0,104167	0,104167	0,145833	0,166667
MG3	0,1875	0,104167	0	0,083333	0,083333	0,125
MG4	0,166667	0,0625	0,125	0	0,0625	0,083333
MG5	0,25	0,125	0,104167	0,104167	0	0,1875
MG6	0,25	0,125	0,145833	0,125	0,125	0

Normalleştirilmiş doğrudan ilişki matrisinin bulunmasından sonra birim matrisin yardımıyla elde edilen toplam ilişki matrisi (T matrisi) Çizelge 4.10’da sunulmuştur.

Çizelge 4.10: Toplam ilişki matrisi.

T Matrisi	MG1	MG2	MG3	MG4	MG5	MG6
MG1	0,239539	0,207653	0,335848	0,180881	0,205279	0,259272
MG2	0,43232	0,165309	0,315724	0,249435	0,292153	0,354282
MG3	0,42089	0,236364	0,194966	0,209663	0,218612	0,291069
MG4	0,365351	0,179748	0,27811	0,111867	0,177926	0,228796
MG5	0,546951	0,295571	0,34735	0,266421	0,183501	0,393763
MG6	0,539342	0,291461	0,375876	0,279261	0,289898	0,229371

Toplam ilişki matrisinin bulunmasını müteakiben karar vericilerin envanter hakkında daha derinlemesine bilgi edinmesi için etkilenen ve etkileyen gruplar belirlenir. Etkilenen ve etkileyen grupların belirlenmesi için toplam ilişki matrisinde satır ve sütun toplamaları kullanılır. Ürün grupları satır ve sütun toplamalarının farkları ile elde edilen sonuç negatif ise etkilenen, pozitif ise etkileyen grup olarak adlandırılırlar. Satır ve sütun toplamalarının toplamaları ise bu etkileşimin derecesini belirtir. Bu kapsamda etkileyen ve etkilenen grupların analizi Çizelge 4.11’de sunulmuştur.

Çizelge 4.11: Etkileyen ve etkilenen gruplar analizi.

	D	R	D+R	D-R	
MG1	1,428471	2,544393	3,972864	-1,11592	Etkilenen
MG2	1,809222	1,376105	3,185328	0,433117	Etkileyen
MG3	1,571563	1,847874	3,419437	-0,27631	Etkilenen
MG4	1,341798	1,297528	2,639327	0,04427	Etkileyen
MG5	2,033556	1,367369	3,400925	0,666187	Etkileyen
MG6	2,00521	1,756552	3,761761	0,248658	Etkileyen

DEMATEL metodunun son aşaması olarak eşik değer genellikle sadece toplam ürün grubunun yaklaşık üçte birini eleyecek şekilde belirlenir. Bunun haricinde eşik değer belirlenmesi için belirli bir politika yoktur. Bu nedenle eşik değer belirlenmesinin tamamen tecrübeye dayalı olduğu kabul edilebilir. Bu bağlamda, yapılan çalışmada “0,2; 0,22 ve 0,3” olmak üzere üç farklı değer eşik değer olarak kabul edilerek alternatif sınıflandırmalar elde edilmiş ve bu sınıflandırmalar sırasıyla Çizelge 4.12, Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14’te sunulmuştur.

Çizelge 4.12: Entegre DEMATEL ve ÇDTADO ile sınıflandırma (eşik değer = 0,2).

Ürün kodu	Optimal Envanter Skoru	Sınıfı	Ürün kodu	Optimal Envanter Skoru	Sınıfı	Ürün kodu	Optimal Envanter Skoru	Sınıfı
G14	0,944024185	A	G15	0,456458027	B	G26	0,233949011	C
G21	0,893721787	A	G33	0,453761499	B	G25	0,231425456	C
G18	0,841461389	A	G10	0,443877562	B	G43	0,219352	C
G59	0,838610546	A	G3	0,430406298	B	G40	0,20408	C
G16	0,829377395	A	G4	0,429957473	B	G39	0,202948	C
G19	0,767292465	A	G20	0,428155737	B	G52	0,183769	C

Çizelge 4.12(devam): Entegre DEMATEL ve ÇDTADO ile sınıflandırma (eşik değer = 0,2).

Ürün kodu	Optimal Envanter Skoru	Sınıfı	Ürün kodu	Optimal Envanter Skoru	Sınıfı	Ürün kodu	Optimal Envanter Skoru	Sınıfı
G35	0,730542	A	G48	0,412419261	B	G42	0,180878	C
G57	0,677925609	A	G45	0,404856341	B	G41	0,178169	C
G47	0,652679277	A	G49	0,384130907	B	G36	0,177101	C
G22	0,63087954	A	G37	0,326406522	B	G38	0,175751	C
G46	0,555892486	A	G51	0,304703933	B	G7	0,164804	C
G13	0,535945294	A	G17	0,286252674	C	G1	0,147807	C
G12	0,531396566	A	G44	0,283446131	C	G53	0,144408	C
G11	0,525029338	B	G32	0,28260485	C	G8	0,143856	C
G55	0,522419832	B	G50	0,279657568	C	G60	0,143406	C
G56	0,518587844	B	G30	0,27905714	C	G27	0,140428	C
G6	0,513411593	B	G34	0,278028221	C	G9	0,129227	C
G58	0,510668124	B	G31	0,275556878	C	G23	0,129172	C
G5	0,49644638	B	G29	0,274870708	C	G28	0,123496	C
G2	0,485334547	B	G54	0,25295094	C	G24	0,122052	C

Çizelge 4.13: Entegre DEMATEL ve ÇDTADO ile sınıflandırma (eşik değer= 0,22).

Ürün kodu	Optimal Envanter Skoru	Sınıfı	Ürün kodu	Optimal Envanter Skoru	Sınıfı	Ürün kodu	Optimal Envanter Skoru	Sınıfı
G14	0,944024	A	G33	0,46901	B	G26	0,240187	C
G21	0,893722	A	G15	0,456458	B	G25	0,239191	C
G18	0,841461	A	G10	0,449798	B	G7	0,230277	C
G59	0,838611	A	G3	0,431791	B	G43	0,219352	C
G16	0,829377	A	G4	0,43037	B	G40	0,20408	C
G19	0,767292	A	G20	0,428156	B	G39	0,202948	C
G35	0,730542	A	G48	0,412419	B	G1	0,202852	C
G6	0,698661	A	G45	0,404856	B	G8	0,195431	C
G57	0,677926	A	G49	0,384131	B	G52	0,183769	C
G5	0,670247	A	G37	0,326407	B	G42	0,180878	C
G2	0,652894	A	G51	0,304704	B	G41	0,178169	C
G47	0,652679	A	G17	0,286253	C	G36	0,177101	C
G22	0,63088	A	G44	0,283446	C	G38	0,175751	C
G46	0,555892	B	G50	0,279658	C	G9	0,172589	C
G13	0,535945	B	G34	0,278028	C	G53	0,144408	C
G12	0,531397	B	G32	0,261877	C	G60	0,143406	C
G11	0,525029	B	G30	0,259235	C	G27	0,138307	C
G55	0,52242	B	G31	0,256666	C	G23	0,130262	C
G56	0,518588	B	G29	0,255616	C	G28	0,126349	C
G58	0,510668	B	G54	0,252951	C	G24	0,124124	C

Çizelge 4.14: Entegre DEMATEL ve ÇDTADO ile sınıflandırma (eşik değer = 0,3).

Ürün kodu	Optimal Envanter Skoru	Sınıfı	Ürün kodu	Optimal Envanter Skoru	Sınıfı	Ürün kodu	Optimal Envanter Skoru	Sınıfı
G14	0,945521	A	G11	0,512056	B	G32	0,275468	C
G21	0,915233	A	G3	0,5	B	G30	0,266963	C
G59	0,913177	A	G4	0,5	B	G29	0,258458	C
G35	0,876184	A	G10	0,5	B	G31	0,258458	C
G18	0,860241	A	G20	0,486948	B	G34	0,257886	C
G16	0,850173	A	G15	0,456632	B	G27	0,23505	C
G57	0,808134	A	G48	0,439795	B	G42	0,23505	C
G19	0,755808	A	G45	0,432082	B	G41	0,226545	C
G55	0,719394	A	G49	0,371782	B	G52	0,223816	C
G33	0,709659	A	G26	0,367739	B	G36	0,219709	C
G56	0,705257	A	G37	0,364321	B	G38	0,218041	C
G58	0,702748	A	G25	0,357685	C	G23	0,206762	C
G47	0,689187	A	G43	0,354117	C	G53	0,197167	C
G46	0,677644	B	G54	0,347735	C	G28	0,192929	C
G2	0,64	B	G17	0,324255	C	G24	0,192526	C
G5	0,64	B	G51	0,317574	C	G60	0,180967	C
G6	0,64	B	G39	0,303088	C	G8	0,162727	C
G22	0,59241	B	G40	0,302407	C	G1	0,162727	C
G13	0,520316	B	G44	0,283503	C	G7	0,162727	C
G12	0,517422	B	G50	0,28069	C	G9	0,162727	C

4.2.4. Ürün yerleşimi ve kıyaslama

Depodaki ürünlerin envanter sınıflandırılmasına tabii tutulmasının devamında ürünlerin depo yerlerine yerleşimleri gelmektedir. Ürünlerin yerleşimi yapılırken deponun tek bir kapısı olduğu ve tüm giriş/çıkış işlemlerinin bu kapıdan yapıldığını dikkate almak gerekmektedir. Bu kapsamda [20] tarafından sunulan modeli kullanacak olursak denklem 3.18’de belirtilen “ f_j ” değerleri hesaplanırken sadece depo yerinin kapılardan uzaklığını hesaba katmak yeterli durumdadır. Envanter sınıflandırmasının depo yerleşimine etkisinin bulunması adına, söz konusu modelde “ f_j ” değerleri ile eşleştirilen “ c_i/A_i ” değerleri yerine ürünlerin sınıflandırılmasında kullandığımız optimal envanter skorlarını almak daha doğru olacaktır. Bu durumda model depo yerlerinin kapıdan uzaklıklarının küçükten büyüğe sıralanışı ile optimal envanter skorlarının büyükten küçüğe sıralanışının eşleştirilmesi şeklini alacaktır. Yapılacak depo yerleşimine binaen hesaplanacak ve elleçleme maliyeti temelinde

oluşturulan depo yerleşim maliyeti ise hangi sınıflandırmanın daha etkin olduğunu gösterecektir. Depo yerleşim maliyetinin hesabı denklem 4.8 ile mümkündür.

$$c_{ij} = \frac{1}{A_i} \sum_{p=1}^P h_{pi} d_{pj} \quad (4.8)$$

Söz konusu kuruma ait depoda tek kapı kullanıldığı için bu durumda maliyet hesabı denklem 4.9'daki şekli alır. Burada; “ c_{ij} ” “ i ” ürününü “ j ” depo yerine yerleştirme maliyetini, “ h_i ” yıllık elleçleme miktarını, “ d_j ” depo yerinin kapıya olan mesafesini ve “ A_i ” “ i ” ürününü depolamak için gereken toplam depo yeri sayısını ifade etmektedir.

$$c_{ij} = \frac{h_i \times d_j}{A_i} \quad (4.9)$$

Depoda 240 adet boş depo yeri bulunmaktadır. Her ürün için gereken depo yeri sayısı ve yıllık elleçleme miktarları Çizelge 4.15'te verilmiştir.

Çizelge 4.15: Gereken depo yeri sayısı ve elleçleme miktarı.

Ürün kodu	Gereken Depo yeri sayısı	Elleçleme miktarı	Ürün kodu	Gereken Depo yeri sayısı	Elleçleme miktarı	Ürün kodu	Gereken Depo yeri sayısı	Elleçleme miktarı
G1	2	1	G21	6	1	G41	2	1
G2	2	5	G22	2	1	G42	2	1
G3	4	2	G23	2	7	G43	2	1
G4	4	3	G24	2	1	G44	2	1
G5	2	3	G25	6	12	G45	2	1
G6	6	1	G26	2	1	G46	2	1
G7	2	1	G27	2	1	G47	4	4
G8	2	5	G28	2	4	G48	4	5
G9	12	1	G29	2	1	G49	2	1
G10	4	4	G30	2	1	G50	2	1
G11	2	1	G31	2	1	G51	2	4
G12	2	3	G32	2	1	G52	2	1
G13	2	1	G33	2	1	G53	6	1
G14	12	2	G34	2	4	G54	2	1
G15	2	1	G35	2	1	G55	4	5
G16	4	1	G36	2	2	G56	4	9
G17	6	1	G37	2	2	G57	4	6
G18	4	1	G38	2	1	G58	2	1
G19	2	3	G39	2	1	G59	2	10
G20	2	4	G40	2	3	G60	2	1

Bu veriler doğrultusunda çapraz değerlendirme tabanlı ağırlıklı doğrusal optimizasyon ile yapılan sıralama sonucu yapılan ürün yerleşimi Çizelge A.1’de sunulmuştur. R-modeli ve çapraz değerlendirme tabanlı ağırlıklı doğrusal optimizasyon yöntemleri kullanılarak yapılan sınıflandırma ve yerleşimden sonra Entegre DEMATEL ve ÇDTADO ile sınıflandırma ve yerleşimi üç farklı eşik değer için yapılmıştır. Bu kapsamda eşik değer 0,2 alındığı durumda yerleşim Çizelge A.2’de, eşik değer 0,2’den 0,22’ye çıkartıldığı zaman oluşan yerleşim Çizelge A.3’te ve son olarak eşik değer 0,3 alındığı durumdaki yerleşim Çizelge A.4’te sunulmuştur. Eşik değer değiştikçe sıralama ve yerleşimde bazı değişiklikler görülmektedir. Bu durum doğal olarak yerleşim maliyetlerine de etki etmektedir.

Envanter sınıflandırması ve buna binaen yapılan ürün yerleşimi sonucunda ortaya çıkan yerleşim maliyetleri ve hesaplamalar için harcanan süre Çizelge 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.16: Toplam yerleşim maliyetleri ve hesaplama süreleri.

Yöntem	Toplam yerleşim maliyeti	Süre
ÇDTADO	3110,566667	22 dk. 39 sn.
Entegre DEMATEL ve ÇDTADO (0,2)	3666,1	14 dk. 25 sn.
Entegre DEMATEL ve ÇDTADO (0,22)	2962,433333	11 dk. 40 sn.
Entegre DEMATEL ve ÇDTADO (0,3)	3661,666667	5 dk. 32 sn.

R-modeli sahip olduğu basit yapı nedeniyle özellikle işlem süresi açısından oldukça kısa bir sürede yanıt verebilmektedir. Ancak bu model üzerine yapılan eleştirilerin yine de söz konusu modelin belirlenen kriterler doğrultusunda yeterince etkin olmadığı konusunda haklı durumda olduğu ele alınan örneklemdaki sınıflandırma esnasında görülmüştür. Dolayısıyla kriterlerin daha net bir şekilde sınıflandırmaya etki ettiği ÇDTADO yöntemi ile sınıflandırma depoda daha doğru bir yerleşime imkân tanımaktadır. Ancak yukarıda da görüldüğü gibi harcanan zaman böylesine küçük bir örnekleme bile önemli seviyededir. Günümüz işletmelerin sahip oldukları envanter büyüklükleri düşünüldüğünde hesaplama kolaylığı ve harcanan zaman açısından geliştirilmesi gereken bir yöntem olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu noktada DEMATEL yardımı ile yapılan sınıflandırmalar değerlendirildiğinde uygun eşik değer belirlenmesinin önemi ortaya çıkmaktadır. Yapılan değerlendirme sonucu denenen üç farklı eşik değerden 0,22 değere sahip olan eşik değer denenen metotta

en iyi sonucu verdiği gör÷lmektedir. Söz konusu eşik değere sahip metot; ÇDTADO ile yapılan sınıflandırma ve yerleşime göre hemen hemen yarı yarıya bir sürede karar vericiye çözümü sunmaktadır. Yöntem; maliyet açısından değerlendirildiğinde ise, yine ÇDTADO yönteminin altında bir maliyete sebep olmaktadır.

Hesaplama kolaylığı, hata ihtimali ve harcanan süre konusuna daha derinlemesine bir bakış açısı kazandırmak için çapraz değerlendirme tabanlı ağırlıklı doğrusal optimizasyon ve eşik değerin sırasıyla 0,2; 0,22 ve 0,3 olduğu DEMATEL destekli yöntemlerde hesaplanması gereken ürün etkileşimi sayısına bakmak gerekmektedir. Bu doğrultuda Şekil B1, Şekil B.2, Şekil B.3 ve Şekil B.4'te sırasıyla ÇDTADO ile 0,2; 0,22 ve 0,3 eşik değere sahip Entegre DEMATEL ve ÇDTADO yöntemleri için yapılan hesaplamaların ekran görüntüleri verilmiştir. Ürün grupları yatay ve dikey olarak ilk satır ve sütunda renklendirilerek eşleştirilirken, gövdedeki koyu arka fona sahip hücreler hesaplamaların olduğu ve dolayısıyla açık arka fona sahip hücreler ise eşik değerin altında kaldığı için ihmal edilen etkileşimleri ifade etmektedir.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Günümüz tedarik zinciri anlayışında depoların önemi giderek artmaktadır. Depo her ne kadar ilk bakışta bir maliyet nedeni gibi görünse de doğru kullanımı durumunda işletmeye lojistik ağ içinde esneklik ve hız gibi özelliklerin yanı sıra önemli mali tasarruf veya kazançlar da getirebilecek bir argümandır. Bu bağlamda depoların doğru işletilmesi önem kazanmaktadır. Dolayısıyla deponun sahipliğinden başlayarak müşteri siparişine kadar uzanan süreçte her karar noktasının etkinlik ve verimlilik içinde çalışabilmesi için doğru tasarlanmış olması gerekmektedir.

Depo tasarımına genel olarak bakıldığında özellikle alan ve sipariş toplama maliyetlerinin öne çıktığı görülmektedir. Dolayısıyla depo tasarımı esnasında birçok karar alanında bu iki öge verilecek karar konusunun temeline oturtulmaktadır. Bu iki unsur ihtiyaç duyulan depo büyüklüğünden müşteri hizmet seviyesinin belirlenmesi istenen seviyede tutulabilmesine kadar etkiye sahiptir. Bu nedenle bu iki unsuru dengede tutacak önemli politikalarda biri ürün yerleşimidir. Ürünlerin depo içerisindeki doğru yerleşimi hem ihtiyaç duyulandan fazla alanın kullanılmasına engel olacak hem de sipariş toplama maliyetlerini en küçüklemeye önemli bir adım atılmasına imkân sunacaktır.

Depo işletilmesi hususunda envanter hakkında verilecek kararlar doğrudan sürece ve mali konulara tesiri olan kararlardır. Bu nedenle karar vericilerin envanter üzerinde bütünüyle bir hâkimiyete sahip olmaları gereklidir. Benzer doğrultuda çalışanların da depolanan envantere olan hâkimiyetleri depo faaliyetlerinin en az aksaklık seviyesinde sürdürülebilmesini mümkün kılmaktadır. Ancak depodaki tüm ürünlere aynı itina göstermek mümkün değildir. Bu noktada envanter sınıflandırma devreye girmektedir. Envanteri sınıflandırarak ürünlere gerektiği kadar zaman ve dikkat ayırarak tüm envanteri etkin bir şekilde yürütmek mümkündür.

Envanter sınıflandırma ve ürün yerleşimi iki farklı karar alanı gibi görünse de esasen bir arada yürütülmesi gereken karar alanlarıdır. Ürünlerin belirlenen envanter sınıflarına göre yerleştirilmeleri hem ürün depolama/toplama faaliyetleri açısından

hem de envanter yönetimi açısından işletmeye ivme kazandırabilecek karar alanlarıdır.

Günümüzde işletmelerin büyük çeşitliliğe ve miktarlara sahip envanterleri yönettikleri düşünüldüğünde envanter sınıflandırma ve ürün yerleşimi konusunda verilecek kararların hesaplanması güçleşmektedir. Karar vericiler ve çalışanların belirledikleri kriterlerin yapılacak sınıflandırmaya doğru oranda etkilerinin olması ve aynı zamanda ürün depolama ve toplama faaliyetlerinin en az maliyete indirgenmesi birlikte en iyi seviyeye çekilmesi gereken bir dengeyi oluşturmaktadır. Bu kapsamda literatürde R-modeli ile sunulan yaklaşım her ne kadar anlaşılması ve uygulanması kolay olsa da kriterlerin doğru şekilde sınıflandırmaya etki etmeleri hususu modelin yapısı gereği muallaktır. R-modeli geliştirilerek sunulan birçok yaklaşımdan biri olan çapraz değerlendirme tabanlı ağırlıklı doğrusal optimizasyon yaklaşımı ise anlaşılabilirlik olarak basit olmasına karşın işlem kalabalığı nedeniyle uzun hesaplama süresi gerektirmekte ve hata ihtimali yüksektir. Bu tez çalışmasında DEMATEL metodu yardımıyla geliştirilen yöntemde ise çapraz değerlendirme tabanlı ağırlıklı doğrusal optimizasyon yaklaşımı ile bulunan sonuçla aynı veya daha iyi bir sonucun daha kısa sürede ve daha az işlem sayesinde daha az hata ihtimaliyle hesaplanabileceği belirtilmiştir. Geliştirilen yaklaşımda önemli olan nokta eşik değerin belirlenmesi hususu olup bu noktada herhangi bir kural bulunmamaktadır. DEMATEL metodunun kullanımında genel olarak bu konudaki tek yaklaşım toplam hesaplanacak alanın üçte birinin elenmesidir. Buradan hareketle yapılan çalışmada söz konusu eleme oranını verecek yakın değerler denenerek çözüm aranmıştır. Geliştirilen yöntem, yalnız verilen örnekteki depo ve ürün grubuna has bir durum olmayıp farklı kriterler ve ürün grupları için değişik depolarda kullanıma müsaittir.

KAYNAKLAR

- [1] **R. H. Ballou**, *Business Logistics Management.*, 3rd ed. New Jersey: Prentice-Hall Inc., 1992.
- [2] **J. P. Van Den Berg ve W. H. M. Zijm**, “Models For Warehouse Management: Classification And Examples.,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 59, pp. 519–528, 1999.
- [3] **R. de Koster, T. Le-Duc, ve K. J. Roodbergen**, “Design And Control Of Warehouse Order Picking: A Literature Review.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 182, pp. 481–501, 2007.
- [4] **J. P. van den Berg**, “A Literature Survey On Planning And Control Of Warehousing Systems.,” *IIE Trans. (Institute Ind. Eng.)*, vol. 31, pp. 751–762, 1999.
- [5] **E. H. Frazelle**, *World-Class Warehousing And Material Handling.*, 2002 Editi. New York: McGraw-Hill, 2002.
- [6] **B. Rouwenhorst, B. Reuter, V. Stockrahm, G. J. van Houtum, R. J. Mantel, ve W. H. M. Zijm**, “Warehouse Design And Control: Framework And Literature Review.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 122, pp. 515–533, 2000.
- [7] **J. Gu, M. Goetschalckx, ve L. F. McGinnis**, “Research On Warehouse Operation: A Comprehensive Review.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 177, pp. 1–21, 2007.
- [8] **I. Tezcan**, “SEKTÖREL LOJİSTİK YÖNETİMİ SİSTEMLERİNDE DEPO TASARIM METODOLOJİSİ.,” YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ, 2007.
- [9] **F. Hopbağlu**, “Tedarik Zincirinde Ve Lojistik Süreçlerde Depo Tasarımı Ve Depo Yönetimi: Kozmetik Sektöründe Bir Uygulama.,” İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ, 2009.
- [10] **Ü. Süer**, “Çağdaş Depo Tasarımı Kırtasiye Sektöründe Bir Uygulama.,” Maltepe Üniversitesi, 2012.
- [11] **A. Ölçer**, “Erzak İkmal Sisteminde Tedarik Zinciri Yönetimi Ve Bir Uygulama.,” İstanbul Ticaret Üniversitesi, 2008.

- [12] **A. Rushton, P. Croucher, ve P. Baker**, *The Handbook Of Logistics And Distribution Management: Understanding The Supply Chain.*, 4th ed. London: Kogan Page Limited, 2010.
- [13] **A. Langevin ve D. Riopel**, *Logistics Systems - Design and Optimization*. New York: Springer Science+Business Media, Inc., 2005.
- [14] **R. Manzini, R. Accorsi, L. Pattitoni, ve A. Regattieri**, “A Supporting Decisions Platform For The Design And Optimization Of A Storage Industrial System.,” in *Efficient Decision Support Systems - Practice and Challenges in Multidisciplinary Domains*, C. Jao, Ed. Rijeka: InTech, 2011, pp. 437–459.
- [15] **G. D. Taylor**, *Logistics Engineering Handbook*. Boca Raton: CRC Press, 2008.
- [16] **G. Ghiani, G. Laporte, ve R. Musmanno**, *Introduction To Logistics Sytems Planning And Control*. Chichester: JohnWiley & Sons Ltd, 2004.
- [17] **M. Lahmar**, *FACILITY LOGISTICS*. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2008.
- [18] **J. Bartholdi III ve S. Hackman**, *Warehouse & Distribution Science*. Atlanta, 2011.
- [19] **J. A. Tompkins ve D. Harmelink**, *The Distribution Management Handbook*. New York: McGraw-Hill, 1994.
- [20] **R. G. Askin ve C. R. Standridge**, *Modeling And Analysis Of Manufacturing Systems*. New York: JohnWiley & Sons Ltd, 1993.
- [21] **P. Baker ve M. Canessa**, “Warehouse Design: A Structured Approach.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 193, no. 2, pp. 425–436, 2009.
- [22] **J. Gu, M. Goetschalckx, ve L. F. McGinnis**, “Research On Warehouse Design And Performance Evaluation: A Comprehensive Review.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 203, no. 3, pp. 539–549, 2010.
- [23] **F. Caron, G. Marchet, ve A. Perego**, “Optimal Layout In Low-Level Picker-To-Part Systems.,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 38, no. 1, pp. 101–117, 2000.
- [24] **Y. H. Park ve D. B. Webster**, “Modelling Of Three-Dimensional Warehouse Systems.,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 27, no. 6, pp. 985–1003, 1989.
- [25] **M. J. Rosenblatt ve Y. Roll**, “Warehouse Design With Storage Policy Considerations.,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 22, no. 5, pp. 809–821, 1984.
- [26] **K. J. Roodbergen ve I. F. A. Vis**, “A model for warehouse layout,” *IIE Trans. (Institute Ind. Eng.)*, vol. 38, no. 10, pp. 799–811, 2006.

- [27] **A. M. Perlmann ve M. Bailey**, “Warehouse Logistic Systems — A CAD Model,” *Eng. Costs Prod. Econ.*, vol. 13, no. 3, pp. 229–237, Mar. 1988.
- [28] **R. Accorsi, R. Manzini, ve F. Maranesi**, “A Decision-Support System For The Design And Management Of Warehousing Systems,” *Comput. Ind.*, vol. 65, no. 1, pp. 175–186, 2014.
- [29] **S. Y. Sohn, H. K. Han, ve H. J. Jeon**, “Development Of An Air Force Warehouse Logistics Index To Continuously Improve Logistics Capabilities,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 183, pp. 148–161, 2007.
- [30] **E. Cakmak, N. S. Gunay, G. Aybakan, ve M. Tanyas**, “Determining the Size and Design of Flow Type and U-Type Warehouses,” *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 58, pp. 1425–1433, 2012.
- [31] **A. K. Rao ve M. R. Rao**, “Solution Procedures For Sizing Of Warehouses,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 108, no. 97, pp. 16–25, 1998.
- [32] **G. Cormier ve E. A. Gunn**, “On Coordinating Warehouse Sizing, Leasing and Inventory Policy,” *IIE Trans. (Institute Ind. Eng.)*, vol. 28, pp. 149–154, 1996.
- [33] **C. J. Malmberg ve K. Bhaskaran**, “Economic Tradeoffs In Sizing Warehouse Reserve Storage Area,” *Appl. Math. Model.*, vol. 14, pp. 381–385, 1990.
- [34] **R. Walter, N. Boysen, ve A. Scholl**, “The Discrete Forward-Reserve Problem - Allocating Space, Selecting Products, And Area Sizing In Forward Order Picking,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 229, no. 3, pp. 585–594, 2013.
- [35] **S. S. Heragu, L. Du, R. J. Mantel, ve P. C. Schuur**, “Mathematical Model For Warehouse Design And Product Allocation,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 43, no. 2, pp. 327–338, 2005.
- [36] **J. P. van den Berg, G. P. Sharp, A. J. R. M. (Noud. Gademann, and Y. Pochet**, “Forward-Reserve Allocation In A Warehouse With Unit-Load Replenishments,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 111, no. 97, pp. 98–113, 1998.
- [37] **B. C. Park, R. D. Foley, J. A. White, ve E. Frazelle**, “Dual Command Travel Times And Miniload System Throughput With Turnover-Based Storage,” *IIE Trans. (Institute Ind. Eng.)*, vol. 35, no. 4, pp. 343–355, 2003.
- [38] **N. Yamaguchi ve K. Shimoda**, “An Operation Analysis Of Movable Rack Type AS/RS By Use Of System Simulator,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 33, no. 3–4, pp. 677–680, 1997.

- [39] **Y. H. Lee, M. Hwan Lee, ve S. Hur**, “Optimal Design Of Rack Structure With Modular Cell In AS/RS.,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 98, pp. 172–178, 2005.
- [40] **D. L. VAN OUDHEUSDEN ve W. ZHU**, “Storage Layout Of AS/RS Racks Based On Recurrent Orders.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 58, no. 1, pp. 48–56.
- [41] **T. N. Larson, H. March, ve A. Kusiak**, “A Heuristic Approach To Warehouse Layout With Class-Based Storage.,” *IIE Trans. (Institute Ind. Eng.)*, vol. 29, pp. 337–348, 1997.
- [42] **D. Roy, A. Krishnamurthy, S. Heragu, ve C. Malmborg**, “Queuing Models To Analyze Dwell-Point And Cross-Aisle Location In Autonomous Vehicle-Based Warehouse Systems.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 242, no. 1, pp. 72–87, 2015.
- [43] **J. S. Pliskin ve D. Dori**, “Ranking Alternative Warehouse Area Assignments: A Multiattribute Approach.,” *IIE Trans. (Institute Ind. Eng.)*, vol. 14, no. 1, pp. 19–26, 1982.
- [44] **C. J. Malmborg ve K. Bhaskaran**, “A Revised Proof Of Optimality For The Cube-Per-Order Index Rule For Stored Item Location.,” *Appl. Math. Model.*, vol. 14, no. 2, pp. 87–95, 1990.
- [45] **C. J. Malmborg ve B. Krishnakumar**, “Optimal Storage Assignment Policies For Multiaddress Warehousing Systems.,” *IIE Trans. (Institute Ind. Eng.)*, vol. 19, no. 1, pp. 197–204, 1989.
- [46] **H. G. Wilson**, “Order Quantity, Product Popularity, And The Location Of Stock In A Warehouse.,” *AIIE Trans.*, vol. 9, no. 3, pp. 230–237, 1977.
- [47] **A. J. Mallette ve R. L. Francis**, “A Generalized Assignment Approach To Optimal Facility Layout.,” *AIIE Trans.*, vol. 4, no. 2, pp. 144–147, 1972.
- [48] **J. Kallina, C., Lynn**, “Application Of The Cube-Per-Order Index Rule For Stock Location In A Distribution Warehouse.,” *Interfaces (Providence)*, vol. 7, no. 1, pp. 37–46, 1976.
- [49] **J. Heskett**, “Cube-Per-Order Index – A Key To Warehouse Stock Location.,” *Transp. Distrib. Manag.*, vol. 3, pp. 27–31, 1963.
- [50] **D. J. Harmatuck**, “A Comparison Of Two Approaches To Stock Location.,” *Logist. Transp. Rev.*, vol. 12, no. 4, pp. 282–284, 1976.
- [51] **P. Wutthisirisart, J. S. Noble, ve C. A. Chang**, “A Two-Phased Heuristic For Relation-Based Item Location.,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 82, pp. 94–102, 2015.

- [52] **C. J. Malmborg, S. Balachandran, ve D. M. Kyle**, “A Model Based Evaluation Of A Commonly Used Rule Of Thumb For Warehouse Layout.,” *Appl. Math. Model.*, vol. 10, pp. 133–138, 1986.
- [53] **K. H. Kim ve K. T. Park**, “A Note On A Dynamic Space-Allocation Method For Outbound Containers.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 148, pp. 92–101, 2003.
- [54] **C. J. Malmborg ve S. J. Deutsch**, “A Stock Location Model For Dual Address Order Picking Systems.,” *IIE Trans. (Institute Ind. Eng.)*, vol. 20, no. 1, pp. 44–52, 1998.
- [55] **J. C.-H. Pan ve M.-H. Wu**, “A Study Of Storage Assignment Problem For An Order Picking Line In A Pick-And-Pass Warehousing System.,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 57, no. 1, pp. 261–268, Aug. 2009.
- [56] **G. Bengu**, “An Optimal Storage Assignment For Automated Rotating Carousels.,” *IIE Trans. (Institute Ind. Eng.)*, vol. 27, no. 105–107, 1995.
- [57] **C. Battista, A. Fumi, L. Laura, ve M. M. Schiraldi**, “Multiproduct Slot Allocation Heuristic To Minimize Storage Space.,” *Int. J. Retail Distrib. Manag.*, vol. 42, no. 3, pp. 172–186, 2013.
- [58] **R. G. Vickson ve X. Lu**, “Optimal Product And Server Locations In One-Dimensional Storage Racks.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 105, pp. 18–28, 1998.
- [59] **J. M. Jarvis ve E. D. McDowell**, “Optimal Product Layout In An Order Picking Warehouse.,” *IIE Trans. (Institute Ind. Eng.)*, vol. 23, no. 1, pp. 93–102, 1991.
- [60] **R. G. Vickson ve A. Fujimoto**, “Optimal Storage Locations In A Carousel Storage And Retrieval System.,” *Locat. Sci.*, vol. 4, no. 4, pp. 237–245, 1996.
- [61] **J. P. Gagliardi, A. Ruiz, ve J. Renaud**, “Space Allocation And Stock Replenishment Synchronization In A Distribution Center.,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 115, pp. 19–27, 2008.
- [62] **J. C. H. Pan, P. H. Shih, ve M. H. Wu**, “Storage Assignment Problem With Travel Distance And Blocking Considerations For A Picker-To-Part Order Picking System.,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 62, no. 2, pp. 527–535, 2012.
- [63] **H. Brynzér ve M. I. Johansson**, “Storage Location Assignment: Using The Product Structure To Reduce Order Picking Times.,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 46–47, pp. 595–603, 1996.

- [64] **C. C. Jane**, “Storage Location Assignment In A Distribution Center.,” *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag.*, vol. 30, no. 1, pp. 55–71, 2000.
- [65] **S. S. Ho ve S. Sarma**, “The Fragmented Warehouse: Location Assignment for Multi-Item Picking.,” *Logist. Ind. Informatics*, vol. 2nd Intern, pp. 1–6, 2009.
- [66] **M. Sadiq, T. L. Landers, ve G. D. Taylor**, “An Assignment Algorithm For Dynamic Picking Systems.,” *IIE Trans. (Institute Ind. Eng.)*, vol. 28, pp. 607–616, 1996.
- [67] **O. Sanei, V. Nasiri, M. R. Marjani, ve S. M. Moattar Husseini**, “A Heuristic Algorithm For The Warehouse Space Assignment Problem Considering Operational Constraints : With Application In A Case Study.,” in *Proceedings of the 2011 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 2011, pp. 258–264.
- [68] **J. C.-H. Pan, P.-H. Shih, M.-H. Wu, ve J.-H. Lin**, “A Storage Assignment Heuristic Method Based On Genetic Algorithm For A Pick-And-Pass Warehousing System.,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 81, pp. 1–13, 2015.
- [69] **E. Jewkes, C. Lee, ve R. Vickson**, “Product Location, Allocation And Server Home Base Location For An Order Picking Line With Multiple Servers.,” *Comput. Oper. Res.*, vol. 31, pp. 623–636, 2004.
- [70] **N. Boysen ve K. Stephan**, “The Deterministic Product Location Problem Under A Pick-By-Order Policy.,” *Discret. Appl. Math.*, vol. 161, no. 18, pp. 2862–2875, 2013.
- [71] **N. Christofides ve I. Colloff**, “The Rearrangement Of Items In A Warehouse.,” *Oper. Res.*, vol. 21, pp. 577–589, 1972.
- [72] **R. Accorsi, R. Manzini, ve M. Bortolini**, “A Hierarchical Procedure For Storage Allocation And Assignment Within An Order-Picking System: A Case Study.,” *Int. J. Logist.*, vol. 15, no. 6, pp. 351–364, 2012.
- [73] **Y. C. Chou, Y. H. Chen, ve H. M. Chen**, “Recency-Based Storage Assignment And Warehouse Configuration For Recurrent Demands.,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 62, no. 4, pp. 880–889, 2012.
- [74] **C. Hwang, H., Yong, H.O., Cha**, “A Stock Location Rule For A Low Level Picker-To-Part System.,” *Eng. Optim.*, vol. 35, no. 3, pp. 285–295, 2003.
- [75] **F. Guerriero, R. Musmanno, O. Pisacane, ve F. Rende**, “A Mathematical Model For The Multi-Levels Product Allocation Problem In A Warehouse With Compatibility Constraints.,” *Appl. Math. Model.*, vol. 37, no. 6, pp. 4385–4398, 2013.

- [76] **C. J. Malmborg ve K. Al-Tassan**, “Analysis Of Storage Assignment Policies In Less Than Unit Load Warehousing Systems.,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 36, no. 12, pp. 3459–3475, 1998.
- [77] **W. H. Hausman, L. B. Schwarz, ve S. C. Graves**, “Optimal Storage Assignment in Automatic Warehousing Systems.,” *Management Science*, vol. 22, pp. 629–638, 1976.
- [78] **A. Fumi, L. Scarabotti, ve M. M. Schiraldi**, “Minimizing Warehouse Space With A Dedicated Storage Policy.,” *Int. J. Eng. Bus. Manag.*, vol. 5, pp. 1–8, 2013.
- [79] **J.-W. Ha ve H. Hwang**, “Class-Based Storage Assignment Policy In Carousel System.,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 26, no. 3, pp. 489–499, 1994.
- [80] **V. R. Muppani (Muppant) ve G. K. Adil**, “Efficient Formation Of Storage Classes For Warehouse Storage Location Assignment: A Simulated Annealing Approach.,” *Omega Int. J. Manag. Sci.*, vol. 36, pp. 609–618, 2008.
- [81] **V. R. Muppani (Muppant) V.R. ve G. K. Adil**, “A Branch And Bound Algorithm For Class Based Storage Location Assignment.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 189, pp. 492–507, 2008.
- [82] **B. E. Flores, D. L. Olson, ve V. K. Dorai**, “Management Of Multicriteria Inventory Classification.,” *Math. Comput. Model.*, vol. 16, no. 12, pp. 71–82, 1992.
- [83] **B. E. Flores ve D. C. Whybark**, “Multiple Criteria ABC Analysis.,” *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 6, no. 3, pp. 38–46, 1986.
- [84] **B. E. Flores ve D. C. Whybark**, “Implementing Multiple Criteria ABC Analysis.,” *J. Oper. Manag.*, vol. 7, no. 1–2, pp. 79–85, Oct. 1987.
- [85] **W. L. Ng**, “A Simple Classifier For Multiple Criteria ABC Analysis.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 177, pp. 344–353, 2007.
- [86] **A. Hadi-Vencheh**, “An Improvement To Multiple Criteria ABC Inventory Classification.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 201, no. 3, pp. 962–965, 2010.
- [87] **C. W. Chu, G. S. Liang, ve C. T. Liao**, “Controlling Inventory By Combining ABC Analysis And Fuzzy Classification.,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 55, no. 4, pp. 841–851, 2008.
- [88] **H. A. Guvenir ve E. Erel**, “Multicriteria Inventory Classification Using A Genetic Algorithm.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 105, no. 97, pp. 29–37, 1998.

- [89] **F. Y. Partovi ve M. Anandarajan**, “Classifying Inventory Using An Artificial Neural Network Approach,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 41, no. 4, pp. 389–404, 2002.
- [90] **S. Önüt, U. R. Tuzkaya, ve B. Doğaç**, “A Particle Swarm Optimization Algorithm For The Multiple-Level Warehouse Layout Design Problem,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 54, pp. 783–799, 2008.
- [91] **F. Y. Partovi ve W. E. Hopton**, “The Analytic Hierarchy Process As Applied To Two Types Of Inventory Problems,” *Prod. Invent. Manag. J.*, vol. 35, no. 1, pp. 13–19, 1994.
- [92] **P. P. Gajpal, L. S. Ganesh, ve C. Rajendran**, “Criticality analysis of spare parts using the analytic hierarchy process,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 35, no. 1–3, pp. 293–297, Jun. 1994.
- [93] **A. Bhattacharya, B. Sarkar, ve S. K. Mukherjee**, “Distance-Based Consensus Method For ABC Analysis,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 45, no. November 2014, pp. 3405–3420, 2007.
- [94] **J.-X. Chen**, “Multiple Criteria ABC Inventory Classification Using Two Virtual Items,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 50, no. 6, pp. 1702–1713, Jun. 2012.
- [95] **R. Ramanathan**, “ABC Inventory Classification With Multiple-Criteria Using Weighted Linear Optimization,” *Comput. Oper. Res.*, vol. 33, pp. 695–700, 2006.
- [96] **P. Zhou ve L. Fan**, “A Note On Multi-Criteria ABC Inventory Classification Using Weighted Linear Optimization,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 182, pp. 1488–1491, 2007.
- [97] **S. M. Hatefi ve S. A. Torabi**, “A Common Weight MCDA-DEA Approach To Construct Composite Indicators,” *Ecol. Econ.*, vol. 70, no. 1, pp. 114–120, 2010.
- [98] **S. A. Torabi, S. M. Hatefi, ve B. Saleck Pay**, “ABC Inventory Classification In The Presence Of Both Quantitative And Qualitative Criteria,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 63, no. 2, pp. 530–537, 2012.
- [99] **B. Soylu ve B. Akyol**, “Multi-Criteria Inventory Classification With Reference Items,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 69, pp. 12–20, 2014.
- [100] **J. X. Chen**, “Peer-Estimation For Multiple Criteria ABC Inventory Classification,” *Comput. Oper. Res.*, vol. 38, no. 12, pp. 1784–1791, 2011.
- [101] **J. Park, H. Bae, ve J. Bae**, “Cross-Evaluation-Based Weighted Linear Optimization For Multi-Criteria ABC Inventory Classification,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 76, pp. 40–48, 2014.

- [102] **C. H. Lin ve I. Y. Lu**, “Procedure Of Determining The Order Picking Strategies In Distribution Center.,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 60, pp. 301–307, 1999.
- [103] **J. C. H. Pan ve M. H. Wu**, “Throughput Analysis For Order Picking System With Multiple Pickers And Aisle Congestion Considerations.,” *Comput. Oper. Res.*, vol. 39, no. 7, pp. 1661–1672, 2012.
- [104] **C. G. Petersen ve G. Aase**, “A Comparison Of Picking, Storage, And Routing Policies In Manual Order Picking.,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 92, no. 1, pp. 11–19, 2004.
- [105] **R. L. Daniels, J. L. Rummel, ve R. Schantz**, “A Model For Warehouse Order Picking.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 105, pp. 1–17, 1998.
- [106] **J. C. H. Pan, M. H. Wu, ve W. L. Chang**, “A Travel Time Estimation Model For A High-Level Picker-To-Part System With Class-Based Storage Policies.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 237, no. 3, pp. 1054–1066, 2014.
- [107] **P. J. Parikh ve R. D. Meller**, “A Travel-Time Model For A Person-Onboard Order Picking System.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 200, no. 2, pp. 385–394, 2010.
- [108] **S. G. Koh, H. M. Kwon, ve Y. J. Kim**, “An Analysis Of The End-Of-Aisle Order Picking System: Multi-Aisle Served By A Single Order Picker.,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 98, pp. 162–171, 2005.
- [109] **F. Chen, H. Wang, C. Qi, ve Y. Xie**, “An Ant Colony Optimization Routing Algorithm For Two Order Pickers With Congestion Consideration.,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 66, no. 1, pp. 77–85, 2013.
- [110] **T.-L. Chen, C.-Y. Cheng, Y.-Y. Chen, ve L.-K. Chan**, “An Efficient Hybrid Algorithm For Integrated Order Batching, Sequencing And Routing Problem.,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 159, pp. 158–167, 2015.
- [111] **H. Brynzer ve M. I. Johansson**, “Design And Performance Of Kitting And Order Picking Systems.,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 41, pp. 115–125, 1995.
- [112] **F. T. S. Chan ve 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.,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 38, no. 3, pp. 2686–2700, 2011.
- [113] **K. Moeller**, “Increasing Warehouse Order Picking Performance By Sequence Optimization.,” *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 20, pp. 177–185, 2011.

- [114] **C. H. Mowrey ve P. J. Parikh**, “Mixed-Width Aisle Configurations For Order Picking In Distribution Centers.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 232, no. 1, pp. 87–97, 2014.
- [115] **C. Liu**, “Optimal Storage Layout And Order Picking For Warehousing.,” *Oper. Res.*, vol. 1, no. 1, pp. 37–46, 2004.
- [116] **Y. Bukchin, E. Khmelnitsky, ve P. Yakuel**, “Optimizing a Dynamic Order-Picking Process.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 219, no. 2, pp. 335–346, 2012.
- [117] **E. H. Grosse, C. H. Glock, ve M. Y. Jaber**, “The Effect Of Worker Learning And Forgetting On Storage Reassignment Decisions In Order Picking Systems.,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 66, no. 4, pp. 653–662, 2013.
- [118] **E. H. Grosse ve C. H. Glock**, “The Effect Of Worker Learning On Manual Order Picking Processes.,” *Int. J. Prod. Econ.*, Dec. 2014.
- [119] **E. P. Chew ve L. C. Tang**, “Travel Time Analysis For General Item Location Assignment In A Rectangular Warehouse.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 112, pp. 582–597, 1999.
- [120] **C. Theys, O. Bräysy, W. Dullaert, ve B. Raa**, “Using A TSP Heuristic For Routing Order Pickers In Warehouses.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 200, no. 3, pp. 755–763, 2010.
- [121] **F. Caron, G. Marchet, ve A. Perego**, “Routing Policies And COI-Based Storage Policies In Picker-To-Part Systems.,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 36, no. 3, pp. 713–732, 1998.
- [122] **R. de Koster**, “Performance Approximation Of Pick-To-Belt Order picking Systems.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 72, no. 3, pp. 558–573, Feb. 1994.
- [123] **C. G. Petersen**, “The Impact Of Routing And Storage Policies On Warehouse Efficiency.,” *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 19, no. 10, pp. 1053–1064, 1999.
- [124] **F. R. Ruben, R.A., Jacobs**, “Batch Construction Heuristics And Storage Assignment Strategies For Walk/Ride And Pick Systems.,” *Manage. Sci.*, vol. 45, no. 4, pp. 575–596, 1999.
- [125] **C. M. Hsu, K. Y. Chen, ve M. C. Chen**, “Batching Orders In Warehouses By Minimizing Travel Distance With Genetic Algorithms.,” *Comput. Ind.*, vol. 56, pp. 169–178, 2005.
- [126] **L. F. Hsieh ve Y. C. Huang**, “New Batch Construction Heuristics To Optimise The Performance Of Order Picking Systems.,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 131, no. 2, pp. 618–630, 2011.

- [127] **C. Pan ve S.-Y. Liu**, “A Comparative Study Of Order Batching Algorithms.,” *Omega Int. J. Manag. Sci.*, vol. 23, no. 6, pp. 691–700, 1995.
- [128] **M. C. Chen, C. L. Huang, K. Y. Chen, ve H. P. Wu**, “Aggregation Of Orders In Distribution Centers Using Data Mining.,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 28, pp. 453–460, 2005.
- [129] **S. Henn**, “Algorithms For On-Line Order Batching In An Order Picking Warehouse.,” *Comput. Oper. Res.*, vol. 39, no. 11, pp. 2549–2563, 2012.
- [130] **S. Henn ve G. Wäscher**, “Tabu Search Heuristics For The Order Batching Problem In Manual Order Picking Systems.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 222, no. 3, pp. 484–494, 2012.
- [131] **M. C. Chen ve H. P. Wu**, “An Association-Based Clustering Approach To Order Batching Considering Customer Demand Patterns.,” *Omega*, vol. 33, pp. 333–343, 2005.
- [132] **A. J. R. M. Gademann, J. P. Van Den Berg, ve H. H. Van Der Hoff**, “An Order Batching Algorithm For Wave Picking In A Parallel-Aisle Warehouse.,” *IIE Trans. (Institute Ind. Eng.)*, vol. 33, pp. 385–398, 2001.
- [133] **S. Hong, A. L. Johnson, ve B. A. Peters**, “Batch Picking In Narrow-Aisle Order Picking Systems With Consideration For Picker Blocking.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 221, no. 3, pp. 557–570, 2012.
- [134] **L. C. Tang ve E.-P. Chew**, “Order Picking Systems: Batching And Storage Assignment Strategies.,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 33, no. 2, pp. 817–820, 1997.
- [135] **Y. C. Ho, T. S. Su, ve Z. B. Shi**, “Order-Batching Methods For An Order-Picking Warehouse With Two Cross Aisles.,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 55, pp. 321–347, 2008.
- [136] **P. J. Parikh ve R. D. Meller**, “Selecting Between Batch And Zone Order Picking Strategies In A Distribution Center.,” *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 44, pp. 696–719, 2008.
- [137] **T. Le-Duc ve R. M. B. M. de Koster**, “Travel Time Estimation And Order Batching In A 2-Block Warehouse.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 176, pp. 374–388, 2007.
- [138] **R. D. Armstrong, W. D. Cook, ve A. L. Saibe**, “Optimal Batching In A Semi-Automated Order Picking System.,” *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 30, no. 8, pp. 711–720, 1979.
- [139] **G. Cormier**, “On The Scheduling Of Order-Picking Operations In Single-Aisle Automated Storage And Retrieval Systems.,” in *Modern*

Production Management Systems, A. (Ed. . Kusiak, Ed. Elsevier Science Publishers, 1987, pp. 75–87.

- [140] **M. B. M. de Koster, E. S. van der Poort, ve M. Wolters**, “Efficient Order Batching Methods In Warehouse.,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 37, no. 7, pp. 1479–1504, 1999.
- [141] **E. A. Elsayed**, “Algorithms For Optimal Material Handling In Automatic Warehousing Systems.,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 19, no. 5, pp. 525–535, 1981.
- [142] **E. A. Elsayed ve M.-K. Lee**, “Order Processing In Automated Storage/Retrieval Systems With Due Dates.,” *IIE Trans. (Institute Ind. Eng.*, vol. 28, no. 7, pp. 567–577, 1996.
- [143] **E. A. Elsayed, M.-K. Lee, S. Kim, ve E. Scherer**, “Sequencing And Batching Procedures For Minimizing Earliness And Tardiness Penalty Of Order Retrievals.,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 31, no. 3, pp. 727–738, 1993.
- [144] **E. A. Elsayed ve R. G. Stern**, “Computerized Algorithms For Order Processing In Automated Warehousing Systems.,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 21, no. 4, pp. 579–586, 1983.
- [145] **E. A. Elsayed ve O. I. Unal**, “Order Batching Algorithms And Travel-Time Estimation For Automated Storage/Retrieval Systems.,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 27, no. 7, pp. 1097–1114, 1989.
- [146] **N. Gademann ve S. van de Velde**, “Order Batching To Minimize Total Travel Time In A Parallel-Aisle Warehouse.,” *IIE Trans. (Institute Ind. Eng.*, vol. 37, no. 1, pp. 63–75, 2005.
- [147] **D. R. Gibson ve G. P. Sharp**, “Order Batching Procedures.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 58, no. 1, pp. 57–67, Apr. 1992.
- [148] **H. Hwang, W. Baek, ve M.-K. Lee**, “Clustering Algorithms For Order Picking In An Automated Storage And Retrieval System.,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 26, no. 2, pp. 189–201, 1988.
- [149] **H. Hwang ve M.-K. Lee**, “Order Batching Algorithms For A Man-On-Board Automated Storage And Retrieval System.,” *Eng. Costs Prod. Econ.*, vol. 13, no. 4, pp. 285–294, Apr. 1988.
- [150] **M. B. Rosenwein**, “A Comparison of Heuristics for the Problem of Batching Orders for Warehouse Selection.,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 34, no. 3, pp. 657–664, 1996.
- [151] **S. Won, J., Olafsson**, “Joint Order Batching And Order Picking In Warehouse Operations.,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 43, no. 7, pp. 1427–1442, 2005.

- [152] **T. Le-Duc ve R. De Koster**, “Determining Number of Zones In A Pick-And-Pack - Order Picking System.,” *ERIM Rep. Ser. Res. Manag.*, no. May 2005, 2005.
- [153] **R. B. M. de Koster, T. Le-Duc, ve N. Zaerpour**, “Determining The Number Of Zones In A Pick-And-Sort Order Picking System.,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 50, no. 3, pp. 757–771, 2012.
- [154] **P. M. Mellema ve C. A. Smith**, “Simulation Of Narrow-Aisle Order Selection Systems.,” in *Proceedings Of The 1988 Winter Simulation Conference*, 1988, pp. 597–602.
- [155] **A. Eynan ve M. J. Rosenblatt**, “Establishing Zones In Single-Command Class-Based Rectangular AS/RS.,” *IIE Trans. (Institute Ind. Eng.)*, vol. 26, no. 1, pp. 38–46, 1994.
- [156] **J. J. Bartholdi III ve D. Eisenstein**, “Bucket Brigades: A Self-organizing Order-Picking System For A Warehouse.,” Atlanta, 1996.
- [157] **J. J. Bartholdi III**, “Balancing Two-Sided Assembly Lines: A Case Study.,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 31, no. 10, pp. 2447–2461, 1993.
- [158] **C. J. Malmborg**, “Optimization Of Cube-Per-Order Index Warehouse Layouts With Zoning Constraints.,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 33, no. 2, pp. 465–482, 1995.
- [159] **C. G. Petersen**, “Considerations In Order Picking Zone Configuration.,” *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 22, no. 7, pp. 793–805, 2002.
- [160] **K. Choe, G. P. Sharp, ve R. S. Serfozo**, “Aisle-Based Order Pick Systems With Batching, Zoning And Sorting.,” in *Progress in Material Handling Research*, R. J. Graves, Ed. Charlotte, NC: The Material Handling Industry of America, 1993, pp. 245–276.
- [161] **Ho, Ying-Chin, ve C.-F. Liu**, “A Design Methodology For Converting A Regular Warehouse Into A Zone-Picking Warehouse.,” *J. Chinese Inst. Ind. Eng.*, vol. 22, no. 4, pp. 332–345, 2005.
- [162] **C. C. Jane ve Y. W. Lai**, “A Clustering Algorithm For Item Assignment In A Synchronized Zone Order Picking System.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 166, no. 2, pp. 489–496, 2005.
- [163] **M. Guenov ve R. Raeside**, “Zone Shapes In Class Based Storage And Multi-Command Order Picking When Storage/Retrieval Machines Are Used.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 58, no. 1, pp. 37–47, 1992.
- [164] **R. L. Speaker**, “Bulk Order Picking.,” *Ind. Eng.*, vol. 7, no. 12, pp. 14–18, 1975.

- [165] **K. J. Roodbergen ve R. De Koster**, “Routing Order Pickers In A Warehouse With A Middle Aisle.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 133, no. 1993, pp. 32–43, 2001.
- [166] **H. FELIX LEE ve S. K. SCHAEFER**, “Sequencing Methods For Automated Storage And Retrieval Systems With Dedicated Storage.,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 32, no. 2, pp. 351–362, 1997.
- [167] **J. J. Bartholdi III ve L. K. Platzman**, “Design Of Efficient Bin-Numbering Schemes For Warehouses,” *Mater. flow*, vol. 4, pp. 247–254, 1988.
- [168] **P. A. Makris ve I. G. Giakoumakis**, “k-Interchange heuristic as an optimization procedure for material handling applications,” *Appl. Math. Model.*, vol. 27, pp. 345–358, 2003.
- [169] **J. P. van den Berg**, “Mutiple Order Pick Sequencing In A Carousel System: A Solvable Case Of The Rural Postman Problem.,” *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 47, no. 12, pp. 1504–1515, 1996.
- [170] **J. B. Ghosh ve C. E. Wells**, “Optimal Retrieval Strategies For Carousel Conveyors.,” *Math. Comput. Model.*, vol. 16, no. 10, pp. 59–70, 1992.
- [171] **N. Ascheuer, M. Grötschel, ve A. Abdel-Hamid**, “Order Picking In An Automatic Warehouse : Solving Online Asymmetric TSPs.,” *Math. Methods Oper. Res.*, vol. 49, no. November 1998, pp. 501–515, 1999.
- [172] **J. Matthews ve S. Visagie**, “Order Sequencing On An Undirectional Cyclical Picking Line.,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 231, no. 1, pp. 79–87, 2013.
- [173] **H. D. Ratliff ve a. S. Rosenthal**, “Order-Picking In A Rectangular Warehouse: A Solvable Case Of The Traveling Salesman Problem.,” *Oper. Res.*, vol. 31, no. 3, pp. 507–521, 1983.
- [174] **K. J. Roodbergen ve R. De Koster**, “Routing Methods For Warehouses With Multiple Cross Aisles.,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 39, no. 9, pp. 1865–1883, 2001.
- [175] **R. Bachers, W. Dangelmaier, ve H. J. Warnecke**, “Selection And Use Of Order-Picking Strategies In A High-Bay Warehouse.,” *Mater. flow*, vol. 5, pp. 233–245, 1988.
- [176] **Y. A. Bozer, E. C. Schorn, ve G. P. Sharp**, “Geometric Approaches To Solve The Chebyshev Traveling Salesman Problem.,” *IIE Trans. (Institute Ind. Eng.)*, vol. 22, no. 3, pp. 238–254, 1990.
- [177] **R. de Koster ve E. S. van der Poort**, “Routing Order Pickers In A Warehouse: A Comparison Between Optimal And Heuristic Solutions.,” *IIE Trans. (Institute Ind. Eng.)*, vol. 30, pp. 469–480, 1998.

- [178] **M. Eben-Chaime**, “Operations Sequencing In Automated Warehousing Systems.,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 30, no. 10, pp. 2401–2409, 1992.
- [179] **M. Goetschalckx ve H. D. Ratliff**, “Sequencing Picking Operations In A Man-Aboard Order Picking System.,” *Mater. flow*, vol. 4, pp. 255–263, 1988.
- [180] **M. Goetschalckx ve H. D. Ratliff**, “Order Picking In An Aisle.,” *IIE Trans. (Institute Ind. Eng.)*, vol. 20, no. 1, pp. 53–62, 1988.
- [181] **S. C. Graves, W. H. Hausman, ve L. B. Schwarz**, “Storage Retrieval Interleaving In Automatic Warehousing Systems.,” *Manage. Sci.*, vol. 23, no. 9, pp. 935–945, 1977.
- [182] **T. Gudehus**, “Principles of Order Picking,” in *Operations in Distribution and Warehousing Systems*, Essen: W. Girardet, 1973.
- [183] **R. W. Hall**, “Distance Approximation For Routing Manual Pickers In A Warehouse.,” *IIE Trans. (Institute Ind. Eng.)*, vol. 25, no. 4, pp. 76–87, 1993.
- [184] **M. H. Han, L. F. McGinnis, J. S. Shieh, ve J. A. White**, “On Sequencing Retrievals In An Automated Storage/Retrieval System.,” *IIE Trans. (Institute Ind. Eng.)*, vol. 19, no. 1, pp. 56–66, 1987.
- [185] **H. Hwang ve J. Y. Song**, “Sequencing Picking Operations And Travel Time Models For Man-On-Board Storage And Retrieval Warehousing System.,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 29, pp. 75–88, 1993.
- [186] **A. Keserla ve B. A. Peters**, “Analysis Of Dual-Shuttle Automated Storage/Retrieval Systems.,” *J. Manuf. Syst.*, vol. 13, no. 6, pp. 424–434, 1994.
- [187] **B.-I. Kim, S. S. Heragu, R. J. Graves, ve A. S. Onge**, “Clustering-Based Order-Picking Sequence Algorithm For An Automated Warehouse.,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 41, no. 15, pp. 3445–3460, 2005.
- [188] **H. S. Lee ve S. K. Schaefer**, “Retrieval Sequencing For Unit Load Automated Storage And Retrieval Systems With Multiple Openings.,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 34, no. 10, pp. 2943–2962, 1996.
- [189] **M.-K. Lee ve S.-Y. Kim**, “Scheduling Of Storage/Retrieval Orders Under A Just-In-Time Environment.,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 33, no. 12, pp. 3331–3348, 1995.
- [190] **R. J. Linn ve X. D. Xie**, “A Simulation Analysis Of Sequencing Rules For ASRS In A Pull-Based Assembly Facility.,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 31, no. 10, pp. 2355–2367, 1993.

- [191] **S. Mahajan, B. V. Rao, ve B. A. Peters**, “A Retrieval Sequencing Heuristic For Miniload End-Of-Aisle Automated Storage/ Retrieval Systems.,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 36, no. 6, pp. 1715–1731, 1998.
- [192] **C. G. Petersen**, “An Evaluation Of Order Picking Routing Policies.,” *Int. J. Oper. Manag. Sci.*, vol. 17, no. 11, pp. 1098–1111, 1997.
- [193] **C. G. Petersen ve R. W. Schmenner**, “An Evaluation Of Routing And Volume-Based Storage Policies In An Order Picking Operation.,” *Decis. Sci.*, vol. 30, no. 2, pp. 481–501, 1999.
- [194] **B. R. Sarker, L. Mann, ve J. D. Santos**, “Evaluation Of A Class Based Storage Scheduling Technique Applied To Dual-Shuttle Automated Storage And Retrieval Systems.,” *Prod. Plan. Control*, vol. 5, no. 5, pp. 442–449, 1994.
- [195] **B. R. Sarker, A. Sabapathy, A. M. Lal, ve M. Han**, “The Performance Evaluation Of A Double Shuttle Automated Storage Retrieval System.,” *Prod. Plan. Control*, vol. 2, no. 3, pp. 207–213, 1991.
- [196] **A. Seidmann**, “Intelligent Control Schemes For Automated Storage And Retrieval Systems.,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 26, no. 5, pp. 931–952, 1988.
- [197] **J. P. van den Berg ve A. J. R. M. N. Gademann**, “Optimal Routing In An Automated Storage/Retrieval System With Dedicated Storage.,” *IIE Trans. (Institute Ind. Eng.)*, vol. 31, pp. 407–415, 1999.
- [198] **T. S. Vaughan ve C. G. Petersen**, “The Effect Of Warehouse Cross Aisle On Order Picking Efficiency.,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 37, no. 4, pp. 881–897, 1999.
- [199] **U.-P. Wen ve D.-T. Chang**, “Picking Rules For A Carousel Conveyor In An Automated Warehouse.,” *Omega Int. J. Manag. Sci.*, vol. 16, no. 2, pp. 145–151, 1988.
- [200] **Y. A. BOZER, M. A. QUIROZ, ve G. P. SHARP**, “An Evaluation Of Alternative Control Strategies And Design Issues For Automated Order Accumulation And Sortation Systems.,” *Mater. flow*, vol. 4, no. 4, pp. 265–282, 1988.
- [201] **Y. A. BOZER ve G. P. SHARP**, “An Empirical Evaluation Of A General Purpose Automated Order Accumulation And Sortation System Used In Batch Picking.,” *Mater. flow*, vol. 2, no. 2–3, pp. 111–131, 1985.
- [202] **M. E. Johnson**, “The Impact Of Sorting Strategies On Automated Sortation System Performance.,” *IIE Trans. (Institute Ind. Eng.)*, vol. 30, pp. 67–77, 1998.

- [203] **R. D. Meller**, “Optimal Order-To-Lane Assignments In An Order Accumulation/Sortation System.,” *IIE Trans. (Institute Ind. Eng.,* vol. 29, pp. 293–301, 1997.
- [204] **E. AKSAKAL ve M. DAĞDEVİREN**, “ANP Ve DEMATEL Yöntemleri Ile Personel Seçimi Problemine Bütünleşik Bir Yaklaşım.,” *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.,* vol. 25, no. 4, pp. 905–913, 2010.
- [205] **H.-H. Wu ve S.-Y. Chang**, “A Case Study Of Using DEMATEL Method To Identify Critical Factors In Green Supply Chain Management.,” *Appl. Math. Comput.,* vol. 256, pp. 394–403, 2015.
- [206] **H. H. Wu ve Y. N. Tsai**, “A DEMATEL Method To Evaluate The Causal Relations Among The Criteria In Auto Spare Parts Industry.,” *Appl. Math. Comput.,* vol. 218, no. 5, pp. 2334–2342, 2011.
- [207] **S. J. Hung**, “Activity-Based Divergent Supply Chain Planning For Competitive Advantage In The Risky Global Environment: A DEMATEL-ANP Fuzzy Goal Programming Approach.,” *Expert Syst. Appl.,* vol. 38, no. 8, pp. 9053–9062, 2011.
- [208] **Y. Li, Y. Hu, X. Zhang, Y. Deng, ve S. Mahadevan**, “An Evidential DEMATEL Method To Identify Critical Success Factors In Emergency Management.,” *Appl. Soft Comput. J.,* vol. 22, pp. 504–510, 2014.
- [209] **A. Organ**, “Bulanık DEMATEL Yöntemiyle Makine Seçimini Etkileyen Kriterlerin Değerlendirilmesi.,” *Ç.Ü. Sos. Bilim. Enstitüsü Derg.,* vol. 22, no. 1, pp. 157–172, 2013.
- [210] **W. C. Wang, Y. H. Lin, C. L. Lin, C. H. Chung, ve M. T. Lee**, “DEMATEL-Based Model To Improve The Performance In A Matrix Organization.,” *Expert Syst. Appl.,* vol. 39, no. 5, pp. 4978–4986, 2012.
- [211] **Z. P. Fan, W. L. Suo, ve B. Feng**, “Identifying Risk Factors Of IT Outsourcing Using Interdependent Information: An Extended Dematel Method.,” *Expert Syst. Appl.,* vol. 39, no. 3, pp. 3832–3840, 2012.
- [212] **S. Dey, A. Kumar, A. Ray, ve B. B. Pradhan**, “Supplier Selection: Integrated Theory Using DEMATEL And Quality Function Deployment Methodology.,” *Procedia Eng.,* vol. 38, pp. 3560–3565, 2012.
- [213] **J. K. Chen ve I. S. Chen**, “Using A Novel Conjunctive MCDM Approach Based On DEMATEL, Fuzzy ANP, And TOPSIS As An Innovation Support System For Taiwanese Higher Education.,” *Expert Syst. Appl.,* vol. 37, no. 3, pp. 1981–1990, 2010.

- [214] **M. L. Tseng**, “Using The Extension Of DEMATEL To Integrate Hotel Service Quality Perceptions Into A Cause-Effect Model In Uncertainty.,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 36, no. 5, pp. 9015–9023, 2009.
- [215] **C.-W. Hsu, T.-C. Kuo, S.-H. Chen, ve A. H. Hu**, “Using DEMATEL To Develop A Carbon Management Model Of Supplier Selection In Green Supply Chain Management.,” *J. Clean. Prod.*, vol. 56, pp. 164–172, 2011.
- [216] **LODER**, *Lojistik Terimleri Sözlüğü*. İstanbul: Umar İletişim Hizmetleri, 2006.
- [217] **Ş. Serdar Asan**, “Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetimi.” İTÜ FBE, İstanbul, pp. 4–10, 2014.
- [218] **S. K. Aytulun**, “İleri Üretim Planlama ve Kontrol.” HUTEN, İstanbul, p. 222, 2014.
- [219] **J. Heskett, N. Glaskowsky, ve R. Ivie**, *Business Logistics, Physical Distribution and Materials Handling*, 2nd ed. New York: Ronald Press, 1973.
- [220] **J. Apple**, *Plant Layout and Material Handling*, 3rd ed. New York: JohnWiley & Sons Ltd, 1977.
- [221] **D. Firth, J. Apple, R. Denham, J. Hall, P. Inglis, ve A. Saip**, *Profitable Logistics Management*. Toronto: McGraw-Hill Ryerson., 1988.
- [222] **G. Hatton**, “Designing A Warehouse Or Distribution Centre.,” in *The Gower Handbook of Logistics and Distribution Management*, 4th ed., J. L. Gattorna, Ed. Aldershot: Gower Publishing, 1990, pp. 175–193.
- [223] **D. Mulcahy**, *Warehouse Distribution and Operations Handbook*. New York: McGraw-Hill, 1994.
- [224] **J. Oxley**, “Avoiding Inferior Design.,” *Storage Handl. Distrib.*, vol. 38, no. 2, pp. 28–30, 1994.
- [225] **D. Govindaraj, T. Blanco, E., Bodner, L. Goetschalckx, L. McGinnis, ve P. Sharp**, “Design Of Warehousing And Distribution Systems: An Object Model Of Facilities, Functions And Information.,” in *Design of warehousing and distribution systems: An object model of facilities, functions and information*, 2000, pp. 1099–1104.
- [226] **J. Rowley**, *The Principles Of Warehouse Design*, 2nd ed. Corby: The Institute of Logistics & Transport., 2000.
- [227] **A. Rushton, J. Oxley, ve P. Croucher**, *The Handbook of Logistics and Distribution Management*, 2nd ed. London: Kogan Page Limited, 2000.

- [228] **D. Bodner, T. Govindaraj, K. N. Karathur, N. F. Zerangue, ve L. F. McGinnis**, “A Process Model And Support Tools For Warehouse Design.,” in *2002 NSF Design, Service and Manufacturing Grantees and Research Conference.*, 2002.
- [229] **M. Hassan**, “A Framework For The Design Of Warehouse Layout.,” *Facilities*, vol. 20, pp. 432–440, 2002.
- [230] **D. Waters**, *Logistics: An Introduction to Supply Chain Management*. New York: Palgrave Macmillan, 2003.
- [231] **Y. Bassan, Y. Roll, ve M. J. Rosenblatt**, “Internal Layout Design of a Warehouse,” *A I I E Trans.*, vol. 12, no. 4, pp. 317–322, Dec. 1980.

EKLER

EK A: Çizelgeler

EK B: Şekiller

EK A**Çizelge A.1: ÇDTADO sınıflandırması sonucu yerleşim.**

Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet
S1	G14	1,2	S29	G16	3,2	S59	G12	24,3	S122	G10	18,6
S25	G14	1,2	S57	G16	3,35	S83	G12	24,3	S68	G10	18,8
S9	G14	1,4	S81	G16	3,35	S52	G11	8,2	S92	G10	18,8
S33	G14	1,4	S50	G19	20,4	S76	G11	8,2	S61	G48	23,75
S2	G14	1,433333	S74	G19	20,4	S22	G46	8,3	S85	G48	23,75
S26	G14	1,433333	S20	G47	13,8	S46	G46	8,3	S54	G48	24
S17	G14	1,6	S44	G47	13,8	S15	G55	21	S78	G48	24
S41	G14	1,6	S13	G47	21	S39	G55	21	S24	G49	9,7
S10	G14	1,633333	S37	G47	21	S8	G55	38,25	S48	G49	9,7
S34	G14	1,633333	S6	G57	21,3	S32	G55	38,25	S113	G45	9,8
S3	G14	1,666667	S30	G57	21,3	S97	G56	25,8	S137	G45	9,8
S27	G14	1,666667	S65	G57	21,9	S121	G56	25,8	S106	G3	9,9
S18	G21	1,833333	S89	G57	21,9	S67	G56	26,1	S130	G3	9,9
S42	G21	1,833333	S58	G22	7,4	S91	G56	26,1	S99	G3	10
S11	G21	1,866667	S82	G22	7,4	S60	G5	8,8	S123	G3	10
S35	G21	1,866667	S51	G35	7,5	S84	G5	8,8	S69	G4	10,1
S4	G21	1,9	S75	G35	7,5	S53	G58	8,9	S93	G4	10,1
S28	G21	1,9	S21	G6	7,6	S77	G58	8,9	S62	G4	15,3
S49	G59	61	S45	G6	7,6	S23	G2	45	S86	G4	15,3
S73	G59	61	S14	G6	2,566667	S47	G2	45	S55	G20	41,2
S19	G18	62	S38	G6	2,566667	S16	G33	9,1	S79	G20	41,2
S43	G18	62	S7	G6	7,8	S40	G33	9,1	S114	G51	42
S12	G18	3,15	S31	G6	7,8	S105	G15	9,2	S138	G51	42
S36	G18	3,15	S66	G13	8	S129	G15	9,2	S107	G44	10,6
S5	G16	3,2	S90	G13	8	S98	G10	18,6	S131	G44	10,6
S100	G32	10,7	S170	G25	47,2	S155	G53	4,366667	S225	G9	28,4
S124	G32	10,7	S116	G17	3,966667	S179	G53	4,366667	S194	G9	14,3
S70	G50	10,8	S140	G17	3,966667	S148	G53	13,2	S218	G9	14,3
S94	G50	10,8	S109	G17	4	S172	G53	13,2	S164	G9	100,8
S63	G34	10,9	S133	G17	4	S118	G53	13,3	S188	G9	100,8
S87	G34	10,9	S102	G17	4,033333	S142	G53	13,3	S157	G9	2,416667
S56	G30	11	S126	G17	4,033333	S111	G42	13,4	S181	G9	2,416667

Çizelge A.1(devam): ÇDTADO sınıflandırması sonucu yerleşim.

Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet
S80	G30	11	S72	G7	12,2	S135	G42	13,4	S150	G28	58,4
S145	G31	44,4	S96	G7	12,2	S104	G60	13,5	S174	G28	58,4
S169	G31	44,4	S161	G43	12,3	S128	G60	13,5	S120	G24	14,7
S115	G29	11,2	S185	G43	12,3	S193	G41	13,6	S144	G24	14,7
S139	G29	11,2	S154	G52	12,4	S217	G41	13,6	S209	Boş	0
S108	G54	11,3	S178	G52	12,4	S163	G36	13,7	S233	Boş	0
S132	G54	11,3	S147	G40	37,5	S187	G36	13,7	S202	Boş	0
S101	G26	11,4	S171	G40	37,5	S156	G38	13,8	S226	Boş	0
S125	G26	11,4	S117	G39	12,6	S180	G38	13,8	S195	Boş	0
S71	G37	11,5	S141	G39	12,6	S149	G23	13,9	S219	Boş	0
S95	G37	11,5	S110	G1	12,7	S173	G23	13,9	S165	Boş	0
S64	G25	11,6	S134	G1	12,7	S119	G9	28	S189	Boş	0
S88	G25	11,6	S103	G8	64	S143	G9	28	S158	Boş	0
S153	G25	23,4	S127	G8	64	S112	G9	28,2	S182	Boş	0
S177	G25	23,4	S162	G27	13	S136	G9	28,2	S151	Boş	0
S146	G25	47,2	S186	G27	13	S201	G9	28,4	S175	Boş	0
S210	Boş	0	S211	Boş	0	S205	Boş	0	S214	Boş	0
S234	Boş	0	S235	Boş	0	S229	Boş	0	S238	Boş	0
S203	Boş	0	S204	Boş	0	S198	Boş	0	S207	Boş	0
S227	Boş	0	S228	Boş	0	S222	Boş	0	S231	Boş	0
S196	Boş	0	S197	Boş	0	S168	Boş	0	S200	Boş	0
S220	Boş	0	S221	Boş	0	S192	Boş	0	S224	Boş	0
S166	Boş	0	S167	Boş	0	S213	Boş	0	S215	Boş	0
S190	Boş	0	S191	Boş	0	S237	Boş	0	S239	Boş	0
S159	Boş	0	S160	Boş	0	S206	Boş	0	S208	Boş	0
S183	Boş	0	S184	Boş	0	S230	Boş	0	S232	Boş	0
S152	Boş	0	S212	Boş	0	S199	Boş	0	S216	Boş	0
S176	Boş	0	S236	Boş	0	S223	Boş	0	S240	Boş	0

Çizelge A.2: Entegre DEMATEL ve ÇDTADO sınıflandırması ile yerleşim (eşik değer = 0,2).

Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet
S1	G14	1,2	S81	G16	3,35	S22	G56	20,75	S78	G3	9,6
S25	G14	1,2	S50	G19	20,4	S46	G56	20,75	S24	G4	14,55
S9	G14	1,4	S74	G19	20,4	S15	G56	37,8	S48	G4	14,55
S33	G14	1,4	S20	G35	6,9	S39	G56	37,8	S113	G4	14,7
S2	G14	1,433333	S44	G35	6,9	S8	G6	2,833333	S137	G4	14,7

Çizelge A.2 (devam): Entegre DEMATEL ve ÇDTADO sınıflandırması ile yerleşim (eşik değeri=0,2).

Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet
S26	G14	1,433333	S13	G57	21	S32	G6	2,833333	S106	G20	39,6
S17	G14	1,6	S37	G57	21	S97	G6	8,6	S130	G20	39,6
S41	G14	1,6	S6	G57	21,3	S121	G6	8,6	S99	G48	25
S10	G14	1,633333	S30	G57	21,3	S67	G6	8,7	S123	G48	25
S34	G14	1,633333	S65	G47	21,9	S91	G6	8,7	S69	G48	25,25
S3	G14	1,666667	S89	G47	21,9	S60	G58	26,4	S93	G48	25,25
S27	G14	1,666667	S58	G47	14,8	S84	G58	26,4	S62	G45	10,2
S18	G21	1,833333	S82	G47	14,8	S53	G5	26,7	S86	G45	10,2
S42	G21	1,833333	S51	G22	15	S77	G5	26,7	S55	G49	10,3
S11	G21	1,866667	S75	G22	15	S23	G2	45	S79	G49	10,3
S35	G21	1,866667	S21	G46	7,6	S47	G2	45	S114	G37	21
S4	G21	1,9	S45	G46	7,6	S16	G15	9,1	S138	G37	21
S28	G21	1,9	S14	G13	7,7	S40	G15	9,1	S107	G51	42,4
S49	G18	3,05	S38	G13	7,7	S105	G33	9,2	S131	G51	42,4
S73	G18	3,05	S7	G12	7,8	S129	G33	9,2	S100	G17	3,566667
S19	G18	3,1	S31	G12	7,8	S98	G10	18,6	S124	G17	3,566667
S43	G18	3,1	S66	G11	8	S122	G10	18,6	S70	G17	3,6
S12	G59	63	S90	G11	8	S68	G10	18,8	S94	G17	3,6
S36	G59	63	S59	G55	24,3	S92	G10	18,8	S63	G17	3,633333
S5	G16	3,2	S83	G55	24,3	S61	G3	9,5	S87	G17	3,633333
S29	G16	3,2	S52	G55	8,2	S85	G3	9,5	S56	G44	11
S57	G16	3,35	S76	G55	8,2	S54	G3	9,6	S80	G44	11
S145	G32	11,1	S96	G43	12,2	S104	G53	67,5	S174	G28	58,4
S169	G32	11,1	S161	G40	36,9	S128	G53	67,5	S120	G24	14,7
S115	G50	11,2	S185	G40	36,9	S193	G8	68	S144	G24	14,7
S139	G50	11,2	S154	G39	12,4	S217	G8	68	S209	Boş	0
S108	G30	11,3	S178	G39	12,4	S163	G60	68,5	S233	Boş	0
S132	G30	11,3	S147	G52	12,5	S187	G60	68,5	S202	Boş	0
S101	G34	45,6	S171	G52	12,5	S156	G27	69	S226	Boş	0
S125	G34	45,6	S117	G42	12,6	S180	G27	69	S195	Boş	0
S71	G31	11,5	S141	G42	12,6	S149	G9	69,5	S219	Boş	0
S95	G31	11,5	S110	G41	12,7	S173	G9	69,5	S165	Boş	0
S64	G29	11,6	S134	G41	12,7	S119	G9	14	S189	Boş	0
S88	G29	11,6	S103	G36	25,6	S143	G9	14	S158	Boş	0
S153	G54	11,7	S127	G36	25,6	S112	G9	14,1	S182	Boş	0
S177	G54	11,7	S162	G38	13	S136	G9	14,1	S151	Boş	0

Çizelge A.2 (devam): Entegre DEMATEL ve ÇDTADO sınıflandırması ile yerleşim (eşik değer=0,2).

Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet
S146	G26	11,8	S186	G38	13	S201	G9	14,2	S175	Boş	0
S170	G26	11,8	S155	G7	13,1	S225	G9	14,2	S210	Boş	0
S116	G25	47,6	S179	G7	13,1	S194	G9	14,3	S234	Boş	0
S140	G25	47,6	S148	G1	13,2	S218	G9	14,3	S203	Boş	0
S109	G25	48	S172	G1	13,2	S164	G9	2,4	S227	Boş	0
S133	G25	48	S118	G53	4,433333	S188	G9	2,4	S196	Boş	0
S102	G25	48,4	S142	G53	4,433333	S157	G23	101,5	S220	Boş	0
S126	G25	48,4	S111	G53	67	S181	G23	101,5	S166	Boş	0
S72	G43	12,2	S135	G53	67	S150	G28	58,4	S190	Boş	0
S159	Boş	0	S167	Boş	0	S168	Boş	0	S207	Boş	0
S183	Boş	0	S191	Boş	0	S192	Boş	0	S231	Boş	0
S152	Boş	0	S160	Boş	0	S213	Boş	0	S200	Boş	0
S176	Boş	0	S184	Boş	0	S237	Boş	0	S224	Boş	0
S211	Boş	0	S212	Boş	0	S206	Boş	0	S215	Boş	0
S235	Boş	0	S236	Boş	0	S230	Boş	0	S239	Boş	0
S204	Boş	0	S205	Boş	0	S199	Boş	0	S208	Boş	0
S228	Boş	0	S229	Boş	0	S223	Boş	0	S232	Boş	0
S197	Boş	0	S198	Boş	0	S214	Boş	0	S216	Boş	0
S221	Boş	0	S222	Boş	0	S238	Boş	0	S240	Boş	0

Çizelge A.3: Entegre DEMATEL ve ÇDTADO sınıflandırması ile yerleşim (eşik değer = 0,22).

Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet
S1	G14	1,2	S44	G35	6,9	S67	G55	21,75	S86	G45	10,2
S25	G14	1,2	S13	G6	2,333333	S91	G55	21,75	S55	G49	10,3
S9	G14	1,4	S37	G6	2,333333	S60	G56	39,6	S79	G49	10,3
S33	G14	1,4	S6	G6	2,366667	S84	G56	39,6	S114	G37	21
S2	G14	1,433333	S30	G6	2,366667	S53	G56	40,05	S138	G37	21
S26	G14	1,433333	S65	G6	2,433333	S77	G56	40,05	S107	G51	42,4
S17	G14	1,6	S89	G6	2,433333	S23	G58	9	S131	G51	42,4
S41	G14	1,6	S58	G57	22,2	S47	G58	9	S100	G17	3,566667
S10	G14	1,633333	S82	G57	22,2	S16	G33	9,1	S124	G17	3,566667
S34	G14	1,633333	S51	G57	22,5	S40	G33	9,1	S70	G17	3,6
S3	G14	1,666667	S75	G57	22,5	S105	G15	9,2	S94	G17	3,6
S27	G14	1,666667	S21	G5	22,8	S129	G15	9,2	S63	G17	3,633333
S18	G21	1,833333	S45	G5	22,8	S98	G10	18,6	S87	G17	3,633333

Çizelge A.3(devam): Entegre DEMATEL ve ÇDTADO sınıflandırması ile yerleşim
(eşik değeri = 0,22).

Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet
S42	G21	1,833333	S14	G2	38,5	S122	G10	18,6	S56	G44	11
S11	G21	1,866667	S38	G2	38,5	S68	G10	18,8	S80	G44	11
S35	G21	1,866667	S7	G47	15,6	S92	G10	18,8	S145	G50	11,1
S4	G21	1,9	S31	G47	15,6	S61	G3	9,5	S169	G50	11,1
S28	G21	1,9	S66	G47	16	S85	G3	9,5	S115	G34	44,8
S49	G18	3,05	S90	G47	16	S54	G3	9,6	S139	G34	44,8
S73	G18	3,05	S59	G22	8,1	S78	G3	9,6	S108	G32	11,3
S19	G18	3,1	S83	G22	8,1	S24	G4	14,55	S132	G32	11,3
S43	G18	3,1	S52	G46	8,2	S48	G4	14,55	S101	G30	11,4
S12	G59	63	S76	G46	8,2	S113	G4	14,7	S125	G30	11,4
S36	G59	63	S22	G13	8,3	S137	G4	14,7	S71	G31	11,5
S5	G16	3,2	S46	G13	8,3	S106	G20	39,6	S95	G31	11,5
S29	G16	3,2	S15	G12	25,2	S130	G20	39,6	S64	G29	11,6
S57	G16	3,35	S39	G12	25,2	S99	G48	25	S88	G29	11,6
S81	G16	3,35	S8	G11	8,5	S123	G48	25	S153	G54	11,7
S50	G19	20,4	S32	G11	8,5	S69	G48	25,25	S177	G54	11,7
S74	G19	20,4	S97	G55	21,5	S93	G48	25,25	S146	G26	11,8
S20	G35	6,9	S121	G55	21,5	S62	G45	10,2	S170	G26	11,8
S116	G25	47,6	S179	G41	13,1	S194	G60	14,3	S234	Boş	0
S140	G25	47,6	S148	G36	26,4	S218	G60	14,3	S203	Boş	0
S109	G25	48	S172	G36	26,4	S164	G27	14,4	S227	Boş	0
S133	G25	48	S118	G38	13,3	S188	G27	14,4	S196	Boş	0
S102	G25	48,4	S142	G38	13,3	S157	G23	101,5	S220	Boş	0
S126	G25	48,4	S111	G9	2,233333	S181	G23	101,5	S166	Boş	0
S72	G7	12,2	S135	G9	2,233333	S150	G28	58,4	S190	Boş	0
S96	G7	12,2	S104	G9	2,25	S174	G28	58,4	S159	Boş	0
S161	G43	12,3	S128	G9	2,25	S120	G24	14,7	S183	Boş	0
S185	G43	12,3	S193	G9	2,266667	S144	G24	14,7	S152	Boş	0
S154	G40	37,2	S217	G9	2,266667	S209	Boş	0	S176	Boş	0
S178	G40	37,2	S163	G9	2,283333	S233	Boş	0	S211	Boş	0
S147	G39	12,5	S187	G9	2,283333	S202	Boş	0	S235	Boş	0
S171	G39	12,5	S156	G9	2,3	S226	Boş	0	S204	Boş	0
S117	G1	12,6	S180	G9	2,3	S195	Boş	0	S228	Boş	0
S141	G1	12,6	S149	G9	2,316667	S219	Boş	0	S197	Boş	0
S110	G8	63,5	S173	G9	2,316667	S165	Boş	0	S221	Boş	0
S134	G8	63,5	S119	G53	4,666667	S189	Boş	0	S167	Boş	0

Çizelge A.3(devam): Entegre DEMATEL ve ÇDTADO sınıflandırması ile yerleşim (eşik değer = 0,22).

Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet
S103	G52	12,8	S143	G53	4,666667	S158	Boş	0	S191	Boş	0
S127	G52	12,8	S112	G53	4,7	S182	Boş	0	S160	Boş	0
S162	G42	13	S136	G53	4,7	S151	Boş	0	S184	Boş	0
S186	G42	13	S201	G53	4,733333	S175	Boş	0	S212	Boş	0
S155	G41	13,1	S225	G53	4,733333	S210	Boş	0	S236	Boş	0
S205	Boş	0	S213	Boş	0	S214	Boş	0	S215	Boş	0
S229	Boş	0	S237	Boş	0	S238	Boş	0	S239	Boş	0
S198	Boş	0	S206	Boş	0	S207	Boş	0	S208	Boş	0
S222	Boş	0	S230	Boş	0	S231	Boş	0	S232	Boş	0
S168	Boş	0	S199	Boş	0	S200	Boş	0	S216	Boş	0
S192	Boş	0	S223	Boş	0	S224	Boş	0	S240	Boş	0

Çizelge A.4: Entegre DEMATEL ve ÇDTADO sınıflandırması ile yerleşim (eşik değer = 0,3).

Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet
S1	G14	1,2	S30	G19	21,3	S16	G11	9,1	S87	G25	43,6
S25	G14	1,2	S65	G55	21,9	S40	G11	9,1	S56	G43	11
S9	G14	1,4	S89	G55	21,9	S105	G3	9,2	S80	G43	11
S33	G14	1,4	S58	G55	18,5	S129	G3	9,2	S145	G54	11,1
S2	G14	1,433333	S82	G55	18,5	S98	G3	13,95	S169	G54	11,1
S26	G14	1,433333	S51	G33	18,75	S122	G3	13,95	S115	G17	3,733333
S17	G14	1,6	S75	G33	18,75	S68	G4	14,1	S139	G17	3,733333
S41	G14	1,6	S21	G56	7,6	S92	G4	14,1	S108	G17	45,2
S10	G14	1,633333	S45	G56	7,6	S61	G4	19	S132	G17	45,2
S34	G14	1,633333	S14	G56	34,65	S85	G4	19	S101	G17	11,4
S3	G14	1,666667	S38	G56	34,65	S54	G10	19,2	S125	G17	11,4
S27	G14	1,666667	S7	G58	7,8	S78	G10	19,2	S71	G51	34,5
S18	G21	1,833333	S31	G58	7,8	S24	G10	38,8	S95	G51	34,5
S42	G21	1,833333	S66	G47	8	S48	G10	38,8	S64	G39	11,6
S11	G21	1,866667	S90	G47	8	S113	G20	39,2	S88	G39	11,6
S35	G21	1,866667	S59	G47	16,2	S137	G20	39,2	S153	G40	11,7
S4	G21	1,9	S83	G47	16,2	S106	G15	9,9	S177	G40	11,7
S28	G21	1,9	S52	G46	8,2	S130	G15	9,9	S146	G44	11,8
S49	G59	61	S76	G46	8,2	S99	G48	25	S170	G44	11,8
S73	G59	61	S22	G2	41,5	S123	G48	25	S116	G50	11,9
S19	G35	62	S46	G2	41,5	S69	G48	25,25	S140	G50	11,9

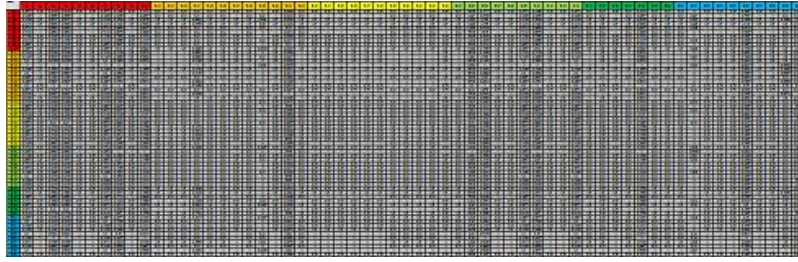
Çizelge A.4(devam): Entegre DEMATEL ve ÇDTADO sınıflandırması ile yerleşim
(eşik değer=0,3).

Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet
S43	G35	62	S15	G5	25,2	S93	G48	25,25	S109	G32	12
S12	G18	6,3	S39	G5	25,2	S62	G45	10,2	S133	G32	12
S36	G18	6,3	S8	G6	2,833333	S86	G45	10,2	S102	G30	12,1
S5	G18	3,2	S32	G6	2,833333	S55	G49	10,3	S126	G30	12,1
S29	G18	3,2	S97	G6	8,6	S79	G49	10,3	S72	G29	12,2
S57	G16	3,35	S121	G6	8,6	S114	G26	10,5	S96	G29	12,2
S81	G16	3,35	S67	G6	8,7	S138	G26	10,5	S161	G31	12,3
S50	G16	3,4	S91	G6	8,7	S107	G37	21,2	S185	G31	12,3
S74	G16	3,4	S60	G22	8,8	S131	G37	21,2	S154	G34	49,6
S20	G57	20,7	S84	G22	8,8	S100	G25	42,8	S178	G34	49,6
S44	G57	20,7	S53	G13	8,9	S124	G25	42,8	S147	G27	12,5
S13	G57	21	S77	G13	8,9	S70	G25	43,2	S171	G27	12,5
S37	G57	21	S23	G12	27	S94	G25	43,2	S117	G42	12,6
S6	G19	21,3	S47	G12	27	S63	G25	43,6	S141	G42	12,6
S110	G41	12,7	S173	G8	55,6	S165	Boş	0	S221	Boş	0
S134	G41	12,7	S119	G1	14	S189	Boş	0	S167	Boş	0
S103	G52	12,8	S143	G1	14	S158	Boş	0	S191	Boş	0
S127	G52	12,8	S112	G7	14,1	S182	Boş	0	S160	Boş	0
S162	G36	26	S136	G7	14,1	S151	Boş	0	S184	Boş	0
S186	G36	26	S201	G9	14,2	S175	Boş	0	S212	Boş	0
S155	G38	13,1	S225	G9	14,2	S210	Boş	0	S236	Boş	0
S179	G38	13,1	S194	G9	14,3	S234	Boş	0	S205	Boş	0
S148	G23	92,4	S218	G9	14,3	S203	Boş	0	S229	Boş	0
S172	G23	92,4	S164	G9	72	S227	Boş	0	S198	Boş	0
S118	G53	4,433333	S188	G9	72	S196	Boş	0	S222	Boş	0
S142	G53	4,433333	S157	G9	14,5	S220	Boş	0	S168	Boş	0
S111	G53	53,6	S181	G9	14,5	S166	Boş	0	S192	Boş	0
S135	G53	53,6	S150	G9	14,6	S190	Boş	0	S213	Boş	0
S104	G53	54	S174	G9	14,6	S159	Boş	0	S237	Boş	0
S128	G53	54	S120	G9	2,45	S183	Boş	0	S206	Boş	0
S193	G28	54,4	S144	G9	2,45	S152	Boş	0	S230	Boş	0
S217	G28	54,4	S209	Boş	0	S176	Boş	0	S199	Boş	0
S163	G24	54,8	S233	Boş	0	S211	Boş	0	S223	Boş	0
S187	G24	54,8	S202	Boş	0	S235	Boş	0	S214	Boş	0
S156	G60	55,2	S226	Boş	0	S204	Boş	0	S238	Boş	0
S180	G60	55,2	S195	Boş	0	S228	Boş	0	S207	Boş	0

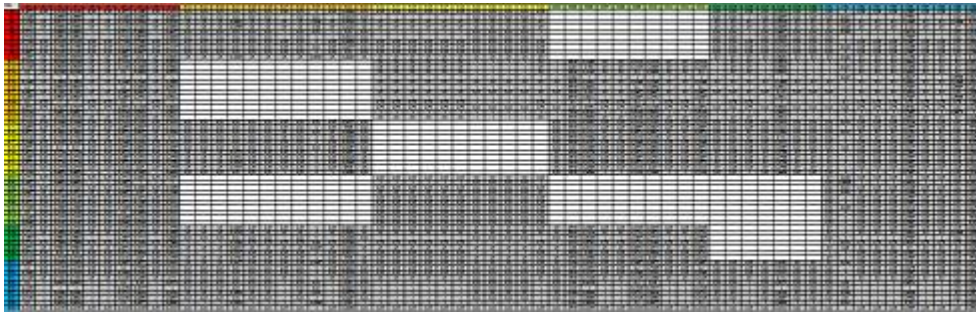
Çizelge A.4(devam): Entegre DEMATEL ve ÇDTADO sınıflandırması ile yerleşim
(eşik değer=0,3).

Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet	Depo yeri	Ürün Kodu	Maliyet
S149	G8	55,6	S219	Boş	0	S197	Boş	0	S231	Boş	0
S200	Boş	0	S215	Boş	0	S208	Boş	0	S216	Boş	0
S224	Boş	0	S239	Boş	0	S232	Boş	0	S240	Boş	0

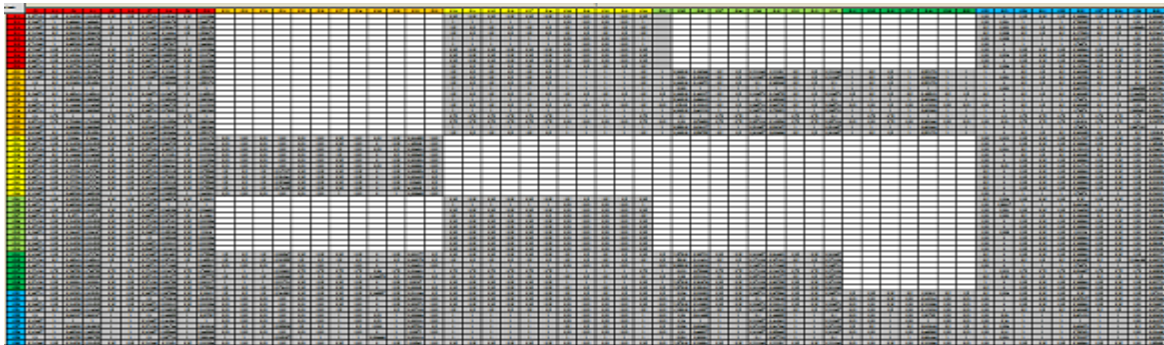
EK B



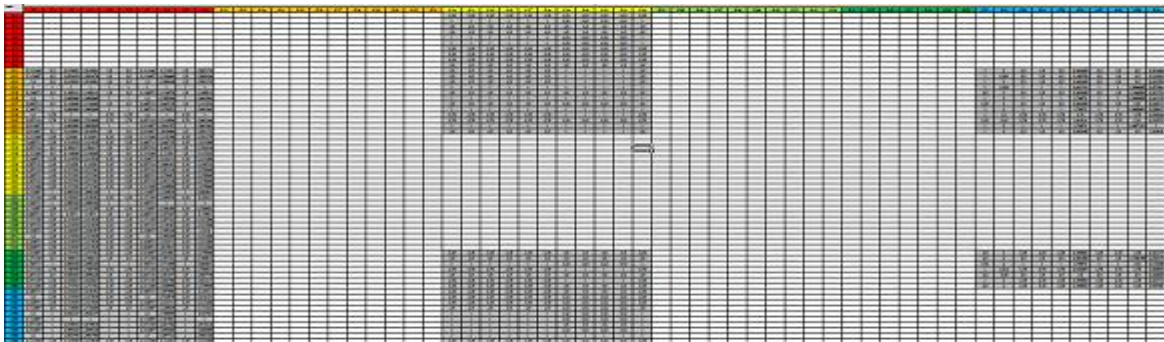
Şekil B.1: ÇDTADO hesaplaması ekran görüntüsü.



Şekil B.2: Entegre DEMATEL ve ÇDTADO hesaplaması ekran görüntüsü (eşik değer=0,2).



Şekil B.3: Entegre DEMATEL ve ÇDTADO hesaplaması ekran görüntüsü (eşik değer=0,22).



Şekil B.4: Entegre DEMATEL ve ÇDTADO hesaplaması ekran görüntüsü (eşik değer=0,3).

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Behlül ŞENER

Doğum Yeri ve Tarihi : Antalya/ 08.02.1986

E-Posta : behlulsener@gmail.com

Lisans : Hava Harp Okulu Endüstri Mühendisliği

Yayın ve Patent Listesi : G.R. Mukanbay, B. Şener, E. Yeşil, "Innovation On Logistics Processes Via Outsourcing." In Designing And Deploying Logistic Systems, (BASIM AŞAMASINDA).

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- U. R. Tuzkaya, B. Şener, 2015: Depo Yerleşimi İçin Çok Kriterli Envanter Sınıflandırması Ve Bir Uygulama. IV. Ulusal Lojistik Ve Tedarik Zinciri Kongresi. LODER, MAYIS 21-23, 2015 Gümüşhane, Türkiye.