



**SİPARİŞ TOPLAMA SİSTEMLERİNDE ÜRETİM PLANLAMA VE SINIF  
TEMELLİ ÜRÜN ATAMA PROBLEMİ İÇİN BÜTÜNLEŞİK MODEL  
ÖNERİSİ**

**Mehmet Akif YERLİKAYA**

**DOKTORA TEZİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ARALIK 2019**

Mehmet Akif YERLİKAYA tarafından hazırlanan “ SİPARİŞ TOPLAMA SİSTEMLERİNDE ÜRETİM PLANLAMA VE SINIF TEMELLİ ÜRÜN ATAMA PROBLEMİ İÇİN BÜTÜNLEŞİK MODEL ÖNERİSİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Doç. Dr. Feyzan ARIKAN ÖKTEMER

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum. ....

**Başkan:** Prof. Dr. Metin DAĞDEVİREN

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum. ....

**Üye:** Prof. Dr. Mehmet KABAK

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum. ....

**Üye:** Doç. Dr. Turan Erman ERKAN

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Atılım Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum. ....

**Üye:** Dr. Öğr. Üyesi Haluk AYGÜNEŞ

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Çankaya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum. ....

Tez Savunma Tarihi: 05/12/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
  - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
  - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
  - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
  - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mehmet Akif YERLİKAYA

05/12/2019

# SİPARİŞ TOPLAMA SİSTEMLERİNDE ÜRETİM PLANLAMA VE SINIF TEMELLİ ÜRÜN ATAMA PROBLEMİ İÇİN BÜTÜNLEŞİK MODEL ÖNERİSİ

(Doktora Tezi)

Mehmet Akif YERLİKAYA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2019

## ÖZET

Günümüzde, depo noktalarının etkinliği, tedarik zinciri içerisindeki lojistik zinciri için hayati önem taşıyor hale gelmiştir. Depolama; geleneksel koruma ve saklama işlevlerinin yanı sıra; sınıflandırma, kalite kontrol, stok kaydı, barkod ve etiketleme, stok hareketlerinin kaydını tutma, haberleşmeyi sağlayarak uygun zamanlama ile siparişleri alma, sipariş toplama, ambalajlama, sevkiyata hazır hâle getirme sevkiyat operasyonlarını içerir. Sipariş toplama operasyonuna ait maliyet, toplam operasyonel depo maliyetleri içerisinde en yüksek orana sahiptir. Bu nedenle verimliliğin artırılmasında en öncelikli depo operasyonu olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, depo yönetimi içerisinde sipariş toplama sistemlerinin işleyişinde etkili “ürünlerin depo alanlarına atanması problemi” ile ilgilenilmiştir. Ürün atama problemi, gerçek yaşamda üretim planlama faaliyetleri ile eş zamanlı olarak gerçekleşir ve birden çok kriterin dikkate alınmasını gerektirir. Problem için elde edilecek çözümlerin uygulanabilir ve etkin olması ancak problemin bu özelliklerini bir arada dikkate alarak sağlanabilir. Bu amaçla depo yönetimi içerisinde sipariş toplama sistemlerinin işleyişinde etkili “ürünlerin depo alanlarına atanması ve kısıtlandırılmış parti büyüklüğünü içeren bütünleşik problem için sınıf temelli depolama politikasını dikkate alan yeni bir matematiksel model önerilmiştir. Ayrıca, Çok Ölçütlü Karar Verme temelli sınıf oluşturma politikası kullanılarak ürün sınıflarını belirleyen bir yaklaşım önerilmiş ve matematiksel modelin bu yeni politikaya adapte edilmesiyle yeni bir varyasyonu geliştirilmiştir. Önerilen temel matematiksel modelin ve varyasyonunun çözüm etkinliği rassal veri setleri kullanılarak GAMS paket programı ile test edilmiştir. Ayrıca, geliştirilen modellerin; tek kriteri, çok kriteri ve sipariş başına küp indeksi kriterini dikkate alan farklı ürün atama politikalarıyla entegrasyonunu sağlayan bir karar destek sistemi akışı önerilmiştir. Detaylı literatür araştırması; çalışma ile önerilen matematiksel modellerin ve karar destek sistemi akışının bilime birer katkı niteliğinde olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca ürün sınıflarının birden çok kriteri dikkate alarak belirlendiği yaklaşım, bilimin mevcut bir alanının yeni bir probleme uygulanması özelliği taşımaktadır.

Bilim Kodu : 90602  
Anahtar Kelimeler : Sınıf-temelli ürün atama, üretim planlama, sipariş toplama, çok kriterli karar verme  
Sayfa Adedi : 93  
Danışman : Doç. Dr. Feyzan ARIKAN ÖKTEMER

AN INTEGRATED MODEL PROPOSAL FOR PRODUCTION PLANNING AND  
CLASS BASED STORAGE LOCATION ASSIGNMENT PROBLEM IN ORDER  
PICKING SYSTEMS

(Ph. D. Thesis)

Mehmet Akif YERLİKAYA

GAZİ UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2019

ABSTRACT

In today, the effectiveness of warehouse points has become vital for the logistics chain within the supply chain. The operations associated with a warehouse process include not only traditional conservation and storage functions but also classification, quality control, stock counting, barcode and labeling, keeping records of stock movements, and providing communications to collect orders at the appropriate time, order picking, packing, making ready for shipment and shipment operations. Among these operations, order picking has the largest cost amount in total warehouse operating expense. Hence, order picking has identified as the highest priority warehouse operation to improve productivity. This study concentrates on the storage location assignment problem which is effective in the operation of order picking systems in warehouse management. The problem of storage location assignment occurs simultaneously with production planning activities in real life and requires multiple criteria to be considered. The effective implementation of the problem solution can only be achieved by taking into account these features of the problem together. For this purpose, a novel mathematical model is proposed by regarding the class-based storage policy for the integrated problem involving the allocation of items to storages and production quantity (lot size) of each item, which is faced in the operation of order picking systems within warehouse management. Furthermore, a multiple criteria decision making based assignment policy that determines classes of items is proposed and the mathematical model is adapted for the new policy. The solution efficiencies of the proposed base-model and its variation are tested by utilizing GAMS package program with random data sets. Also a novel decision-support system flow is proposed which provides an integration of the developed mathematical models and the different assignment policies where the storages are assigned based on single criterion case, multiple criteria case and cupe per order index criterion case. The detailed literature survey revealed that the mathematical models and the decision support system flow proposed by the study are contributing to science. Furthermore, the approach in which product classes are determined by considering multiple criteria is the application of a current field of science to a new problem.

Science Code : 90602  
Key Words : Class-based storage location assignment, production planning, order picking, multiple criteria decision making  
Page Number : 93  
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Feyzan ARIKAN ÖKTEMER

## TEŞEKKÜR

Doktora tez alıőmam boyunca her tŸrlŸ katkı ve yardımıyla beni yŸnlendiren, Ÿğrenciliğim ve asistanlığım sırasında gerek akademik gerekse manevi anlamda her zaman destek olan akademik ve insani yŸnden ok Şey Ÿğrendiğim danışman hocam Do. Dr. Feyzan ARIKAN'a, tez alıőmamda bilgilerinden istifade ettiğim ve her tŸrlŸ katkıyı sağlayan tez jŸri Ÿyesi hocalarım Prof. Dr. Metin DAĞDEVİREN'e ve Do. Dr. Turan Erman ERKAN'a, tez savunma jŸrimde yer alan gŸrŸő ve bilgileriyle katkı sağlayan hocalarım Prof. Dr. Mehmet KABAK ve Dr. Ŗğr. Ÿyesi Haluk AYGŸNEŐ'e, modelin özŸmŸnde yardımını hi esirgemeyen değerli dostum Arő. GŸr. Murat ŐAHİN'e, bu gŸnlere gelmemde bŸyŸk emekleri olan anneme ve babama, varlığı ile hayatıma renk katan, bu sŸrete desteğini esirgemeyen sevgili eőime ve oğluma ok teőekkŸr ederim.

**İÇİNDEKİLER**

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. TEMEL KAVRAMLAR .....	5
2.1. Depolama .....	5
2.1.1. Depolama sistemlerinin özellikleri .....	6
2.1.2. Depolama sistemlerinin optimizasyonu .....	7
2.1.3. Depo yönetimi .....	8
2.1.4. Depolama işlemleri (Operasyonları) .....	8
2.1.5. Depolama sistemleri.....	9
2.1.6. Depolama yerleşim planı tasarımı.....	9
2.2. Sipariş Toplama .....	10
2.2.1. Toplayıcı-parçalara sistemi .....	12
2.2.2. Parçalar-toplayıcıya sistemi .....	13
2.2.3. Koyma sistemleri .....	13
2.2.4. Sipariş toplama süreçlerinin denetlenmesi ve planlanmasında fonksiyonel kararlar .....	14
2.3. Ürün Atama Problemi .....	16



	<b>Sayfa</b>
2.4. Üretim Planlama.....	20
2.4.1. Kısıtlandırılmış parti büyüklüğü problemi .....	21
2.4.2. Kısıtlandırılmamış parti büyüklüğü problemi .....	22
2.5. Çok Ölçütlü Karar Verme .....	23
2.5.1. ÇÖKV yöntemleri ve sınıflandırmalar .....	24
2.5.2. TOPSİS yöntemi .....	26
<b>3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>29</b>
3.1. Sipariş Başına Küp Endeksi (COI) .....	29
3.2. Sınıf-Temelli Ürün Atama Politikası (Class-Based) .....	31
3.2.1. Referans sınıf oluşturma ve atama modeli .....	34
3.3. Diğer Ürün Atama Politikalarını Dikkate Alan Çalışmalar .....	36
3.4. Üretim Planlama veya Stok Modelini Dikkate Alan Ürün Atama Problemi ....	40
3.4.1. Referans üretim planlama ve ürün atama modeli.....	42
3.5. Önerilen Modelin Literatüre Katkısı .....	46
<b>4. ÖNERİLEN BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLANLAMA VE SINIF TEMELLİ ÜRÜN ATAMA MODELİ .....</b>	<b>49</b>
4.1. Problemin Tanımı.....	49
4.2. Tekli Kritere Göre Sınıf Oluşturan Model .....	51
4.2.1. Matematiksel modelin çözümü .....	54
4.3. Çoklu Kritere Göre Sınıf Oluşturan Model.....	59
4.3.1. Matematiksel modelin çözümü .....	63
4.4. Önerilen Karar Destek Sistemi Akışı .....	65
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>69</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>73</b>

	<b>Sayfa</b>
EKLER.....	79
EK-1. Literatür çalışmasının özeti .....	80
EK-2. 15 ürün-6 dönem-40 konumlu örnek problem veri seti.....	82
EK-3. 15 ürün-6 dönem-40 konumlu örnek problem çözüm sonuçları.....	85
EK-4. Neos Server sistem yanıtı.....	87
EK-4. Çoklu kritere göre sınıf oluşturan model örnek problem veri seti .....	88
EK-5. Çoklu kritere göre sınıf oluşturan model örnek problem çözüm sonuçları.....	90
ÖZGEÇMİŞ .....	92

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Tesis tasarımı ve operasyonel problemler .....	15
Çizelge 2.2. Ürün atama politikalarının avantaj ve dezavantajları .....	18
Çizelge 4.1. 3 ürün-2 dönem-10 konumlu örnek problem test parametreleri .....	55
Çizelge 4.2. 3 ürün-2 dönem-10 konumlu örnek problem çözüm sonuçları .....	56
Çizelge 4.3. Karşılaştırmalı çözüm sonuçları .....	58
Çizelge 4.4. Karar matrisi .....	64
Çizelge 4.5. Pozitif, negatif ve ideal uzaklık değerleri .....	64

**ŞEKİLLERİN LİSTESİ**

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Depo yerleşim planı örneği .....	10
Şekil 2.2. Sipariş toplayıcının harcadığı zamanın dağılımı .....	11
Şekil 2.3. Sipariş toplama sistemlerinin sınıflandırılması .....	12
Şekil 2.4. Sipariş toplama sistemlerinin karmaşıklığı .....	16
Şekil 2.5. Sınıfları yerleştirmede yaygın kullanılan iki örnek .....	18
Şekil 4.1. Probleme ait örnek bir depo yapısı .....	50
Şekil 4.2. Önerilen karar destek sistemine ait akış diyagramı .....	67

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

### Açıklamalar

$A^*$	Pozitif İdeal Çözüm
$A^-$	Negatif İdeal Çözüm
$A_{ij}$	Karar Matrisi
$C^*$	Her alternatifin ideal çözüme görelî yakınlık değeri
I/O	Depo Giriş-Çıkış Noktası
$R_{ij}$	Standart Karar Matrisi
$S^*$	Pozitif İdeal Ayırım
$S^-$	Negatif İdeal Ayırım
$V_{ij}$	Ağırlıklandırılmış Standart Karar Matrisinin

### Kısaltmalar

### Açıklamalar

BOM	Ürün malzeme listesi
CLSP	Kısıtlandırılmış parti büyüklüğü problemi
COI	Sipariş başına küp indeksi
ÇAKV	Çok amaçlı karar verme
ÇKKV	Çok kriterli karar verme
ÇÖKV	Çok ölçütlü karar verme
DYS	Depo yönetimi sistemi
SKU	Stokta tutma birimi
UCLSP	Kısıtlandırılmamış parti büyüklüğü problemi

## 1. GİRİŞ

Etkin bir tedarik zincirinde depo yönetimi çok önemli bir işleve sahiptir. Tedarik zinciri gelişimiyle birlikte depo yönetiminin stratejik görevi değişmiştir. Bu değişimle, tedarik zinciri ve yönetiminde her faaliyet ve unsur ayrı ayrı önem kazanmıştır. Depolama faaliyeti de, lojistik zincirinin en önemli fonksiyonlarından biridir. İyi bir depolama sistemi fiziksel malzemelerin teşhisini ve böylece stokların yönetimi kolaylaşacağından, verimlilik artar ve işgücü azalır. Günümüzde, depo içi siparişlerin işlenmesi ve süreci ilgili faaliyetler giderek daha hızlı bir şekilde yürütülmektedir. Depoların düşük işlem maliyetlerini ve verim oranlarını aynı anda arttırmak için büyük bir baskı söz konusudur. Gerek yeni tasarlanan bir sistemde gerekse talepteki değişiklikleri karşılamak üzere mevcut bir sistemde verimlilik oranını iyileştirmenin bir yolu, uygun depolama ve geri-besleme politikalarını kullanmaktır (Daniels, 1998).

Depo yöneticileri, sipariş geldiğinde en kısa zamanda müşteri isteklerini karşılamak amacıyla siparişlerin işlenmesiyle ilgili en ekonomik yolu bulmayla çalışırlar. Dolayısıyla, verimli ve daha etkin bir depo kullanmak için stok yönetimi, depolama/boşaltma/taşıma, ulaşım mesafesi, kullanım alanı, teslimat-bekleme süreleri ve bunlardan doğacak maliyetleri en azlamak açısından birden çok kriter göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle, ürün veya konum atama sorununda çözüm aramadaki amaçlar, depolama süresince toplam dolaşım mesafesini en aza indirmek ve ürün atamada gerekli olan alanı azaltmaktır (Fontana ve Calvante, 2014).

Geleneksel anlamda depolama, sadece ürünü koruma ve saklama işlevlerini içermekte idi. Günümüzde ise bu işlevlerin yanı sıra, malı özelliklerine, müşteri tiplerine ve sözleşme esaslarına göre sınıflandırmak, bilgisayar ortamında stok kaydı tutmak, ambalajlama, barkod ve etiketleme yaparak sevkiyata uygun duruma getirmek, kalite kontrol ve ilgili taraflar (gönderen, müşteri, üretici, alıcı vs.) ile haberleşmeyi sağlayarak uygun zamanda siparişleri toplama ve sevkiyat operasyonlarını da içermektedir. Böylece, depolar, tedarik zinciri içerisindeki lojistik zinciri için hayati önem taşıyan noktalar haline gelmişlerdir.

Depo içerisinde gerçekleştirilen başlıca operasyonlardan biri sipariş toplama operasyonudur. Sipariş toplama operasyonu, müşteriden gelen siparişe göre ilgili ürünlerin

depodaki raftan alınarak siparişin hazırlanması işlemidir ve en önemli operasyonlar arasında yer almaktadır. Gün içerisinde binlerce sipariş toplama işlemi gerçekleştirildiği için sipariş toplama performansının artırılması ve maliyetlerin düşürülebilmesi amacıyla depo tasarımı ve operasyon kriterleri en baştan doğru bir şekilde belirlenmelidir. Bu sebeplerden dolayı depo yönetimi üzerine yapılan çalışmaların çok büyük bir kısmı sipariş toplama alanında yapılan çalışmaları içermektedir. Sipariş toplama işlemi sırasıyla; siparişlerin belirlenmesi, ürünlerin toplanması, toplanan ürünlerin siparişlere göre sınıflandırılması ve paketlenerek müşteriye gönderilmesi işlemlerini içermektedir (De Koster, 2007).

Sipariş toplama sürecinin verimliliği, depolama sistemleri, yerleşim, kontrol gibi etkenlere bağlıdır. Sipariş toplama sürecinin verimliliğini arttırmak; ulaşım süresini azaltmak veya ulaşım mesafelerini minimize etmek için dört unsur mevcuttur. Birinci unsur ulaşım mesafesini minimize etmek için sipariş toplama rotasını planlamaktır. İkinci unsur, depoyu bölgelerine ayırmaktır. Böylece sipariş toplayıcılar sadece atandıkları bölgede bulunan siparişleri toplayacaklardır. Üçüncü unsur, ürünlerin depo yerlerine (konum) atanmasıdır. Bu yöntemde depo konumları, rafların en iyi kullanımına göre belirlenmektedir. Burada, depo yerlerine ürün atama kuralı ve rotalama yöntemi arasındaki ilişki önemlidir. Son unsur ise sipariş kümeleme yaklaşımıdır. Sipariş kümeleme yaklaşımında, bazı siparişler kümelenmekte ve aynı kümeye atanan siparişlerin tek seferde toplanması yoluyla gidilen ulaşım mesafesi azaltılmaktadır (Roodbergen ve De Koster, 2001).

Depo yöneticileri, toplama-sınıflandırma işlemlerinin kapasitesi ve kullanılan sipariş toplama politikası gibi bir takım kontrollerle sistemlerinin yanıt verme durumunu etkileyebilir. Bu yüzden, sipariş toplama yönteminin/politikasının seçimi stratejik bir karardır. Çünkü bu seçim, depo tasarımı ve işletmede diğer kararlara göre büyük bir etkiye sahiptir. Ürün atama da, depo operasyon yönetiminde önemli bir karar problemidir. Çünkü, ürün atama sisteminin veya kombinasyonunun temel amacı, depodaki ürünlerin teşhisi ve konumlanmasını kolaylaştırmak için çeşitli parametreler oluşturmaktır.

Bu tez çalışmasında hedeflenen bilime katkı, sipariş toplama sistemlerinde ürün atama probleminin üretim planını dikkate alarak, literatürde daha önce beraberce değerlendirilmemiş sınıf temelli sipariş toplama politikası ile modellenmesidir. Bunun için, depo yönetimi içerisinde sipariş toplama sistemlerinin işleyişinde etkili “ürünlerin depo

alanlarına atanması ve üretim planını (kısıtlandırılmış parti büyüklüğü) içeren bütünleşik problem için sınıf temelli depolama politikasını dikkate alan yeni bir matematiksel model önerilmiştir.

Bu hedef doğrultusunda çalışmanın birinci bölümünde genel bir giriş yapılmıştır. İkinci bölümde doktora tez çalışmasında dikkate alınan problem ile ilgili temel kavramlara yer verilmiştir. Bunlar sırasıyla; depolama, sipariş toplama, depo ürün atama, üretim planlama ve çok ölçütlü karar verme ile ilgili temel kavramlardır. Üçüncü bölümde, literatür araştırması dört ana başlıkta yapılmıştır. Bunlar sırasıyla; COI (Cupe Per Order Index - Sipariş Başına Küp İndeksi) atama politikası, sınıf temelli ürün atama politikası (Class-Based), diğer ürün atama politikaları ve üretim planlama veya stok modellerinin de olduğu ürün atama çalışmalarından oluşmaktadır. Ayrıca, tezin bundan sonraki bölümlerinde sipariş başına küp indeksi "COI" kısaltması ile anılmıştır.

Literatür araştırması, sipariş toplama sistemlerinde ürün atama probleminin (storage location assignment) ve seçilen sipariş politikasının önemini ortaya koymuştur. Sipariş toplama politikalarından, sınıf temelli politikanın diğer politikalar içerisindeki yeri ve gerçek yaşamda kullanıma uygunluğu konusunda değerlendirmelere olanak tanımıştır. Ayrıca, literatür araştırması, ürün atama problemi ile ilgili çalışmaların sadece depo yönetimi kapsamında ele alındığını göstermiştir. Oysa gerçek yaşamda, işletmelerin depolarında ürün atama faaliyetleri üretim planlama faaliyetleri ile eş zamanlı olarak gerçekleşmektedir. Problemin gerçekçi ve uygulanabilir çözümlere kavuşabilmesi ancak gerçek yaşama uygun şekilde modellenmesi ile mümkündür.

Dördüncü bölümde, üretim planı dikkate alınarak ürünlerin sınıflandırılması ve depo yerlerine atanması ile ilgili yeni bir model önerilmiştir. Önerilen matematiksel model, tek kritere göre sınıf oluşturan model ve çok kritere göre sınıf oluşturan model olmak üzere iki farklı şekilde olarak ele alınmıştır. Önerilen yaklaşım, model içerisinde yer alan tek kritere göre sınıf oluşturan model, çok kritere göre sınıf oluşturan model ve bu iki model ile birlikte COI kriterine göre sınıf oluşturan modeli bir arada gösteren kara destek sistemi akışı olmak üzere model üç başlık altında incelenmiştir.

Dördüncü bölümün ilk kısmında, tek kritere göre sınıf oluşturan bütünleşik üretim planlama ve sınıf temelli ürün atama modeli önerisi yapılmıştır. Bu model aynı zamanda



temel bir modeldir. Modelin etkinliğini test etmek amacıyla literatürde mevcut olan Turner, (2009)'a ait farklı iki veri seti kullanılarak çözümleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Zhang, (2017)'nin önerdikleri modelin çözümleriyle karşılaştırılmıştır.

Dördüncü bölümün ikinci kısmında, bütünleşik üretim planlama ve çok kritere göre sınıf temelli ürün atama modeli önerisi yapılmıştır. Çoklu kritere göre sınıf oluşturmada öncelik kısıtı olarak kullanılacak değerlerin elde edilebilmesi için çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden olan TOPSİS yöntemi kullanılmıştır. TOPSİS yöntemi ile her bir ürünün kriterler bazında ideal uzaklık değerleri hesaplanmıştır. Modelin etkinliğini test etmek amacıyla rassal üretilen veri setleri kullanılarak çözümleri yapılmıştır.

Dördüncü bölümün üçüncü kısmında, önerilen modelde sınıf oluşturma için literatürde sıkça kullanılan maliyet, talep, alan, döngü oranı, COI gibi bir veya iki ölçütün dikkate alındığı yaklaşımların yanı sıra çoklu kriterin önemli olduğu sipariş toplama sistemlerin de varlığı söz konusu olduğunda karar vericiye yol gösterecek ve çözümleri üretecek bir karar destek sistemi akışı önerisi yapılmıştır.

Çalışmanın 5. Bölümünde elde edilen sonuçlar, yorumlar ve ileriye yönelik çalışmalara yer verilmiştir.

## 2. TEMEL KAVRAMLAR

Bu çalışmada sipariş toplama sistemlerinde üretim planını dikkate alan ürün atama problemi ve bu problem içerisinde bir ve çoklu kritere göre sınıf oluşturma yöntemleri ele alındığı için depolama, sipariş toplama, ürün atama problemi, üretim planlama ve çok ölçütlü karar verme ile ilgili temel kavramlara yer verilmiştir.

### 2.1. Depolama

Depolar, ürünlerin hammaddeden üretim sürecine, üretim sürecinden de nihai tüketim merkezlerine ulaştırılmasına kadar bir dizi faaliyetler gerçekleştirilmesinde stratejik rol oynayan ara noktalardır. Kavram olarak depolama “ihtiyaçları karşılamak amacıyla yeri geldiğinde kullanılmak üzere, belirli esaslara göre bulundurulmasıdır. Depoların, şirketlerin amaçlarına yaptığı katkılar aşağıdaki gibi özetlenebilir (De Koster, 2007):

- Nakliye tasarrufları sağlamak
- Üretim tasarrufları sağlamak
- Vadeli alımlarda ve satın alma indirimlerinde kalite avantajı sağlamak
- Müşteri servis politikalarını desteklemek
- Değişen pazar şartlarını ve belirsizlikleri karşılayabilmek
- Üreticiler ve müşteriler arasında oluşan zaman ve alan farklılıklarının üstesinden gelmek
- İstenen seviyede müşteri hizmetiyle en düşük toplam maliyetle lojistik faaliyetlerini tamamlamak
- Müşteri ve tedarikçilerin tam zamanında üretim politikalarını desteklemek
- Müşterilere, her talepte tek bir çeşit yerine ürün karması sağlamak
- Bertaraf edilecek ya da geri dönüştürülecek malzemelerin geçici stoklanmasını sağlamak (Tersine lojistik)
- Aktarmalar için tampon konum görevi görmek (Çapraz sevkiyat)

Depolama terimi yüksek maliyetler ve katma değer vermeyen zamanlar gibi olumsuzluklar meydana getirmesine rağmen, pratikte birçok firma çeşitli nedenlerle mallarını depolamak zorundadır. Depolamanın lojistik açıdan ayırdedici bir özelliği, zaman ve statüyü

köprölemek için planlanan bir süreç olmasıdır. Çok aşamalı tedarik zincirleri boyunca depo ve dağıtım sistemlerini uygulamak ve işletmek için bazı önemli nedenler şunlardır:

- Lojistik performansın optimizasyonu
- Üretkenliğin sağlanması
- Ek hizmetlerin sağlanması
- Taşıma maliyetlerinin azaltılması
- İhtiyaç duyulan miktarlar ile teslim edilen miktarların dengelenmesi
- Piyasa pozisyonunun kullanılması
- Bir işlem adımı olarak depolama.

Bu listeye göre, üretim lot boyutlarının optimizasyonu veya satın alma miktarlarında indirime gidilmesi stok tutmanın tek nedenleri değildir. Ancak, tamponlara ve değişen mal akışlarına ihtiyaç duyan çeşitli bağlantılı süreçler optimize edilmelidir. Dolayısıyla, stok tutma yalnızca depolamanın bir biçimi değildir. Daha da belirleyici olan şey, gerekli mal akışlarının optimal ve verimli bir şekilde ele alınması ve ideal kombinasyonu, hacmi ve biçimi olmasıdır.

### **2.1.1. Depolama sistemlerinin özellikleri**

Bir ürün dağıtım merkezinde temel süreçler basit olduğu kadar önemsizdir. Teslim edilen bir nesne bir kerede kullanılmaz ve bundan dolayı bir müşteri tarafından talep edilinceye kadar bekletilir. Daha sonra bu nesne alınır ve aktarılır. Bu, malların alınması, depolanması ve nakliyesine yönelik ana adımları azaltır.

Çeşitli dış etkenlerin yanı sıra zaman, kalite ve maliyet ile ilgili gerekliliklerden dolayı bu basit gözükten işlemler gittikçe karmaşık bir hale geldiği için aşağıdaki durumlar göz önüne alınarak kontrollü bir şekilde optimize edilmelidir (Hompel ve Schmidt, 2007):

- Ürün girişleri planlanamaz veya ürünler düzensiz aralıklarla gelir.
- Ürünlerin boyut, ağırlık ve belirli sıcaklık değerlerinden dolayı ürün yelpazesi her zaman kullanılabilen çeşitli nakliye, depolama ve taşıma teknolojilerini gerektirir.
- Bazı ürünlerin işleyişi genellikle farklıdır ve zaman dalgalanmalarına tabidir.

- Müşteriler, yalnızca kısa sürede konsolide edilen küçük miktarları sipariş etmekte ve tek bir nakliye birimi oluşturmak üzere nakliye departmanına eş zamanlı olarak ulaşmaktadır.
- Aynı zamanda, yüzlerce siparişin ürün, siparişin türü-gönderimi, olası zaman aralıkları-mevcut personel ve teknik kapasitelere göre optimize edilmek üzere ele alınması gerekir.
- Sistem parametreleri sabit değildir, ancak sürekli değişen malzeme akışlarına, sipariş yapılarına, ürünlerin form ve çeşitliliğine tabidir.
- Ve daha fazlası.

Bu tür sistemlerin karmaşıklığı esasen sistemin büyüklüğü, mal miktarı-gerekli tepki süresi ve dinamiklerinden kaynaklanmaktadır.

### **2.1.2. Depolama sistemlerinin optimizasyonu**

Depolama ve ürün dağıtım sistemleri için stok tutma stoklama, teknoloji ve işletme maliyetleri gibi depolama ve yönetim maliyetlerine ek olarak özel sorunlara ve dolaylı maliyetlere de neden olabilir. Karmaşık sistemler çeşitli paralel işlemler ve süreçler içerdiği için şeffaflığın önüne geçmektedir. Dolayısıyla, plansız stoklama verimsiz süreç ve yapılar oluşturmaktadır. Bununla birlikte, merkezileştirme yoluyla depoların ve sitelerin sayısını azaltmak ya da tek depo düzeylerini ortadan kaldırmak konusundaki kararlılık şeffaf süreçler, stoklar ve siparişler için gereksinimi arttırmaktadır. En aza indirgenmiş stoklar ve optimize edilmiş maliyetler doğrultusunda hızlı ve lojistik olarak verimli mal dağıtım sistemleri için sistem ihtiyaçlarının karşılanmasında bir taraftan şeffaf süreçler ve diğer taraftan birçok görevin disiplinli performansına ihtiyaç vardır. Çoğu durumda, bu hedeflere bir depo yönetimi sistemi (DYS) olmadan ulaşılamaz.

Bu bağlamda, etkili bir DYS'nin temel unsuru, yönetim ve kontrol sistemi ile ilgili bir güven oluşturmaktır. Emniyet stokları fazlalığının ana nedenlerinden biri de depo yöneticilerinin kararsızlığıdır. Bu belirsizlik genellikle stoklar, depolama alanları veya belirli bir sipariş durumları için eksik veri tabanları veya zaman alıcı aramalar gibi durumlarda ortaya çıkar. Dolayısıyla, şeffaf bir sistem, veri güvenliğini geliştirmeye başlar ve böylece veri tabanını daha kabul edilebilir ve gizlenmiş güvenlik stoklarını azaltarak daha sürdürülebilir hale getirir. Bu yüzden her DYS'nin amacı güvenli ve hassas veri

kullanımı olmalıdır. Aynı zamanda, şeffaf süreçler, sürekli bir sistem optimizasyonunun temelini oluşturmaktadır.

Süreçlerin kontrol edilebilirliğini ve yönetilebilirliğini artırmanın yanı sıra, yanıt süresi ve esnekliği de artırılmaktadır. Ürünlerin hemen bulunması ve erişilmesi, sistemi hızla değişen alt yapılara uyarılmanın ön şartlarıdır. Alt sistemlere ait ara birimler değişebilirliği sağlar ve sistemin bu durumu benimsemesiyle değişikliklere kısa bir sürede uyum sağlanabilir.

### **2.1.3. Depo yönetimi**

Literatürde, “stok yönetimi” terimi yerine depo yönetim süreçlerini ve teknolojilerini tanımlamak için daha çok “depo yönetimi” terimi kullanılmaktadır. Yapılan incelemelerde stok yönetimi ve depolama yönetimi terimlerinin pek uyumlu olmadığı ortaya çıkmıştır.

Temel olarak stok yönetimi sistemi, miktar, konum (depolama konumları) ve birbirleriyle olan ilişkilerinin yönetimi için tasarlanmış bir sistemdir. Böyle bir sistem de manuel olarak çalışabilir. Ancak, günümüzde yönetim sistemlerinin çoğu taşıma sistemlerinin yönetimi gibi ek fonksiyonlarla birlikte bilgisayar kontrollüdür.

Depo yönetimi genellikle karmaşık depo ve dağıtım sistemlerinin kontrolü ve optimizasyonu anlamına gelmektedir. Bu prensibe göre depo yönetimi, miktarların ve depolama yerlerinin yönetimi gibi bir envanter yönetiminin temel işlevselliğine ek olarak nakliye araçlarının kontrolü ve planlanması, sistem durumunu kontrol etmek ve bir işletim-optimizasyon stratejisi seçmek için yöntem ve araçlar da içerir. Bu nedenle, sistem tercihen malzeme akışlarının kontrolü ve optimizasyonu için iç sistem veya iç malzeme akışının kontrolü ve optimizasyonu için sistem olarak adlandırılmalıdır.

### **2.1.4. Depo işlemleri (Operasyonları)**

Depolarda gerçekleştirilen ana işlevler; kabul, transfer etme ve yerleştirme, sipariş toplama/seçme, biriktirme/sınıflandırma, çapraz sevkiyat ve sevkiyattır.

Kabul işlemi, ürünlerin yük araçlarından boşaltılması, stok kayıtlarının güncellenmesi, kalite ya da miktar tutarsızlıklarının denetlenmesini kapsamaktadır. Transfer etme ve yerleştirme, gelen ürünlerin depo konumlarına transferini içermektedir. Sipariş toplama/seçme, belirli bir müşteri talebi için, doğru parçaların doğru miktarda toplanmasını gerektirmektedir. Eğer siparişler sınıflar halinde toplanıyorsa, toplanmış siparişlerin müşteri isteklerine göre biriktirilmesi/sınıflandırılması gerekmektedir. Böyle bir durumda, toplama sürecinin ardından taleplerin, müşteri isteklerine göre gruplanması gerekmektedir. Toplamanın ardından, taleplerin doğru yerde paketlenip istif edilmesi gerekmektedir. Çapraz sevkiyat ise gelen parçaların direkt olarak sevkiyat noktalarına transfer edilmesi durumunda gerçekleştirilmektedir. Kısa beklemler ya da servisler gerektirse de sipariş toplamaya ihtiyaç duyulmamaktadır (De Koster, 2007).

### **2.1.5. Depolama sistemleri**

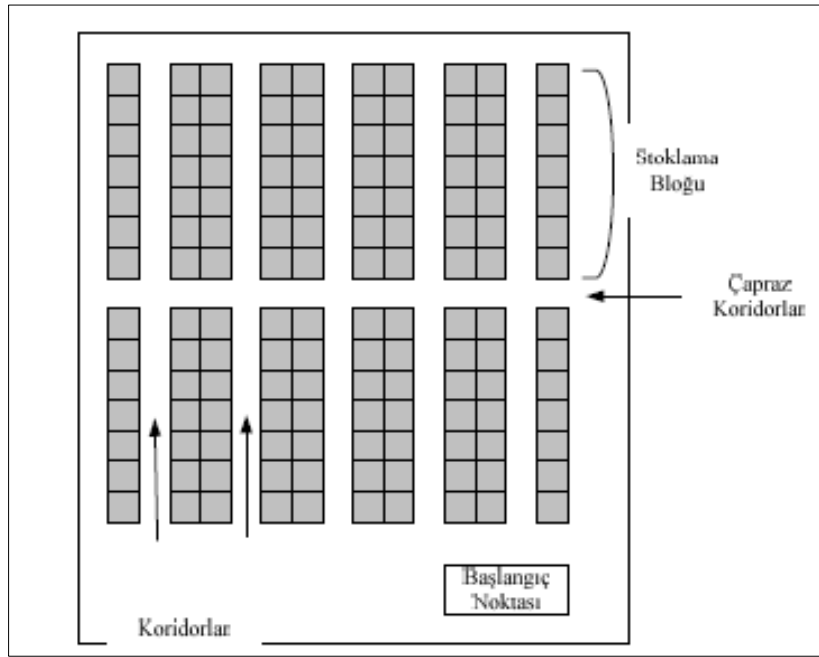
Bir depo, genellikle, yanlarında ürünlerin stoklandığı pek çok koridordan oluşmaktadır. Kullanılan stoklama donanımları ve yöntemlerinde geniş bir çeşitlilik mevcuttur. Depolama sistemi ise, parça toplama veya stoklama ortamında kullanılan donanım ve işletme talimatlarının bileşimini ifade etmektedir. Otomasyon seviyesine göre üç tip depolama sistemi tanımlanmaktadır (Berg ve Zijm, 1999):

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

### **2.1.6. Depo yerleşim planı tasarımı**

Depolar genellikle, kullanılmayan alanın olmadığı, pek çok toplama koridorunun bulunduğu dikdörtgen bir biçime sahiptirler. Blok terimi, çok sayıdaki toplama koridorlarının oluşturduğu yapıya verilen isimdir. Bloklar arasında ve deponun ön ve arka kısımlarında çapraz koridorlar bulunmaktadır. Çapraz koridorlarda, stoklama konumları bulunmamaktadır (Roodbergen ve De Koster, 2001). Şekil 2.1'de gösterilen dikdörtgen

depo iki bloğa bölünmüştür ve pek çok paralel toplama koridoru bulunmaktadır. Çapraz koridorlarda toplama konumu bulunmamaktadır. Depo yerleşim planlarını tasarlarken, depo içi hareket sürelerini minimize etmek hedefiyle, kaç adet stoklama bloğunun bulunacağına, koridorların sayısına ve uzunluğuna, çapraz koridorların bulunup bulunmayacağına, bulunacak ise konumlarına ve sayısına, başlangıç noktasının yerine karar verilmesi gerekmektedir (Ene, 2010).



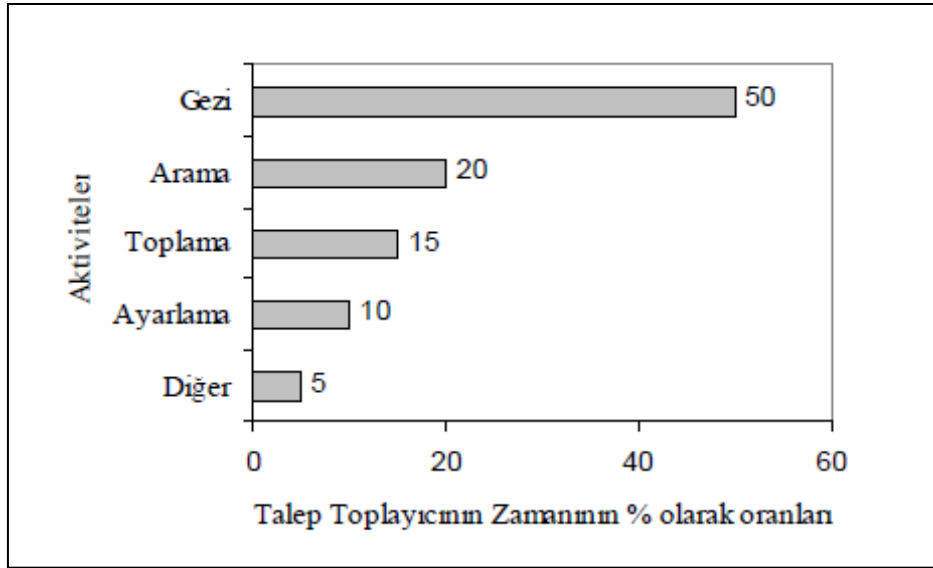
Şekil 2.1. Depo yerleşim planı örneği (Ene, 2010:6)

## 2.2. Sipariş Toplama

Sipariş toplama, müşteri talebine göre stok alanlarından veya depo konumlarından ürünlerin toplanması sürecidir. Sipariş toplama; siparişleri planlama, gruplama, depo konumlarına atama/depo konumlarından toplama ve müşteriye teslim edilmesi süreçlerinden oluşmaktadır.

Sipariş toplama sistemlerinde en önemli hedefler; sermaye, makine, insan gücü sınırları altında servis düzeyini maksimum yapmaktır (De Koster, 2007). Bu yüzden, siparişlerin mümkün olduğu kadar en kısa zamanda belirlenmesi ve toplanması kritik bir öneme sahiptir. Şekil.2.2'de sipariş toplayıcının sarf ettiği sürenin ana bileşenleri verilmiştir. Sipariş toplayıcının sipariş toplama zamanı içerisinde yolda harcanan süre toplam sürenin

büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Ancak, bu geçen süre sipariş toplama sistemlerine herhangi bir değer katmamaktadır. Bu nedenle, depo içerisinde sipariş toplamak için katedilen mesafe en aza düşürülmelidir. En önemli amaçlardan biri de sipariş toplamadan kaynaklanan toplam maliyeti en küçükmektir.



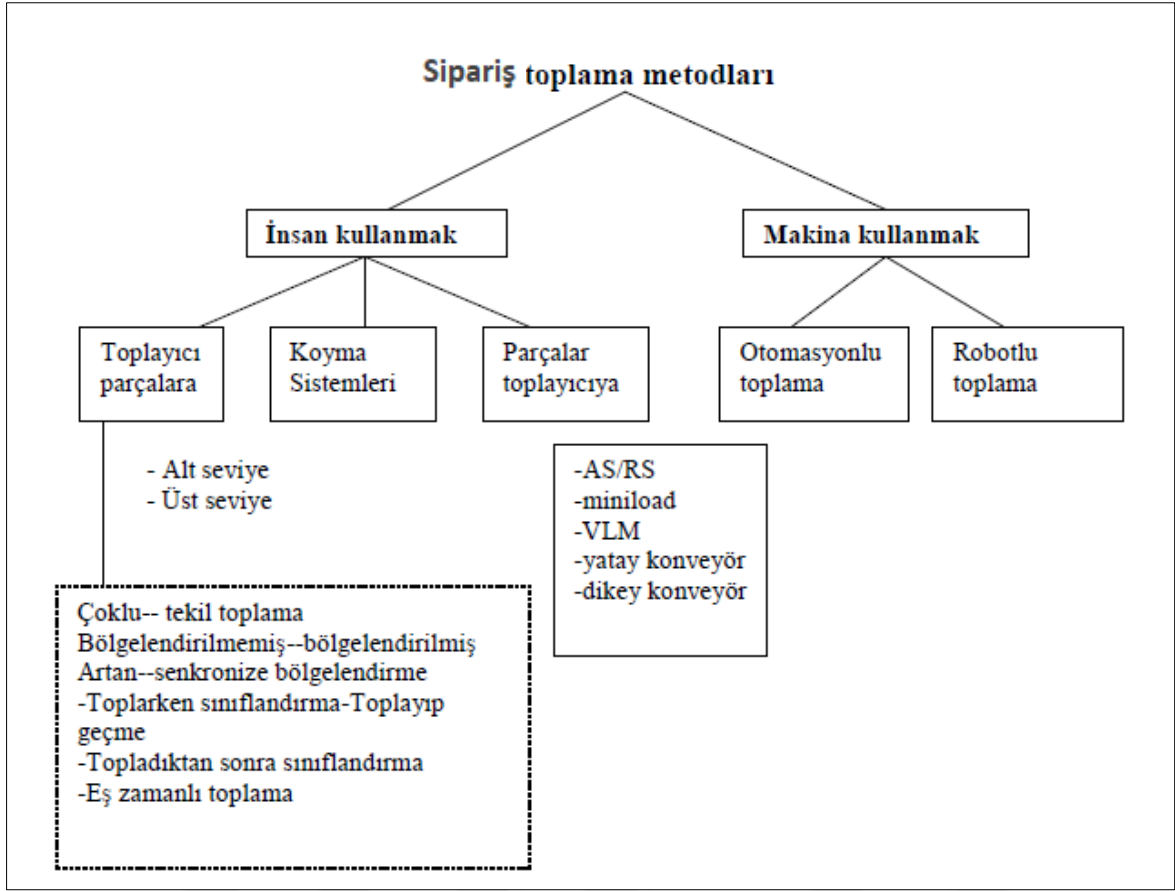
Şekil 2.2. Sipariş toplayıcının harcadığı zamanın dağılımı (Ene, 2010:7)

Sipariş toplama sistemlerinde dikkate alınan diğer hedefler aşağıdaki gibi sıralanmıştır (Ene, 2010):

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

Depolarda birçok farklı sipariş toplama sistemi türü bulunur (genellikle bir depoda birden fazla sipariş toplama sistemi kullanılır). Şekil 2.3, sipariş toplama sistemlerini, insanların veya otomatik makinelerin kullanılıp kullanılmadığına göre ayırır. Depoların çoğu sipariş toplama için insan gücünü kullanmaktadır. Bunların arasında, sipariş toplayıcısının ürünleri seçmek için koridor boyunca yürüdüğü veya sürdüğü toplayıcı-parçalara sistemi en yaygın olanıdır.





Şekil 2.3. Sipariş toplama sistemlerinin sınıflandırılması (Ene, 2010:8)

### 2.2.1. Toplayıcı-parçalara sistemi

Bu sistemde sipariş toplayıcılar koridorlar boyunca parçalara doğru yürümekte ya da araçlarını sürmektedir. Yaygın olarak bu sistem kullanılmaktadır. İki tipi vardır: Düşük seviyede toplama ve Yüksek seviyede toplama. Düşük seviyede toplamada, sipariş toplayıcı, istenen parçaları depo raflarından toplamaktadır. Bu, bir arabayı bir veya daha fazla ürünle doldurmak için bir markette yukarı ve aşağı giden müşterinin durumuna benzemektedir. İş yoğunluğundan dolayı, düşük seviye sipariş toplama sistemleri bazen elle “seçim sipariş toplama sistemleri” olarak adlandırılır. Üst seviyede toplamada ise toplayıcılar, kaldırmalı (asansörlü) kamyon ya da vinç gibi sipariş toplayıcı aracın üzerinde toplama noktalarına ulaşmaktadır. Araç, uygun toplama noktasının önünde otomatik olarak durur ve sipariş toplayıcının seçme işlemini gerçekleştirmesini bekler (Le-duc ve De Koster, 2005).

Toplayıcı-Parçalara Sistemi, en yaygın kullanılan sistemlerdir. De Koster, (2007)'ne göre bu sistemin uygulanmasında karşılaşılan çeşitli varyasyonlar şöyledir (Ene, 2010):

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

### 2.2.2. Parçalar-toplayıcıya sistemi

Bu sistemde otomatik depolama ve toplama sistemleri bulunmaktadır. Sistemde kullanılan cihazlar daha çok ilgili koridorlarda sınırlıdır ve bir ya da daha fazla sayıda birim yükü toplama noktasına bırakılmaktadır. Bu pozisyonda, sipariş toplayıcı müşteri siparişinin gerektirdiği parça sayısını alır ve daha sonra kalan yük tekrar depolanır. Bu sistemde kullanılan otomatik araçlar (depolama ve toplama (S/R) makinesi) farklı modlarda çalışabilir: tek, çift ve çoklu komut çevrimi. *Tek komutlu çevrimde* operatörler sadece tek bir depolama-boşaltma aktivitesi gerçekleştirir. *Çift komutlu çevrimde*, önce bir yük giriş/çıkış noktasından raf konumuna taşınır ve sonra bir başka yük raftan alınır. *Çoklu komutlu çevrimde ise, otomatik araçlar* (depolama ve toplama (S/R) makineleri) birden fazla mekik ağzına sahiptir ve dolayısıyla bir döngüde giriş/çıkış noktasında veya raf (depo) konumlarından birkaç yük alabilir (Le-Duc ve De Koster, 2005).

### 2.2.3. Koyma sistemleri

Bu sistemde parçalar öncelikle toplayıcı parçalara ya da parçalar toplayıcıya sistemlerinden biriyle toplanmaktadır. Toplanan birimler sipariş toplayıcı tarafından müşteri kartonlarına

yerleştirilmektedir. Bu sistem daha çok, çok sayıda müşteri talebinin kısa zamanda toplanması gerektiği durumlarda tercih edilmektedir (Ene, 2010).

#### **2.2.4. Sipariş toplama süreçlerinin denetlenmesi ve planlamasında fonksiyonel kararlar**

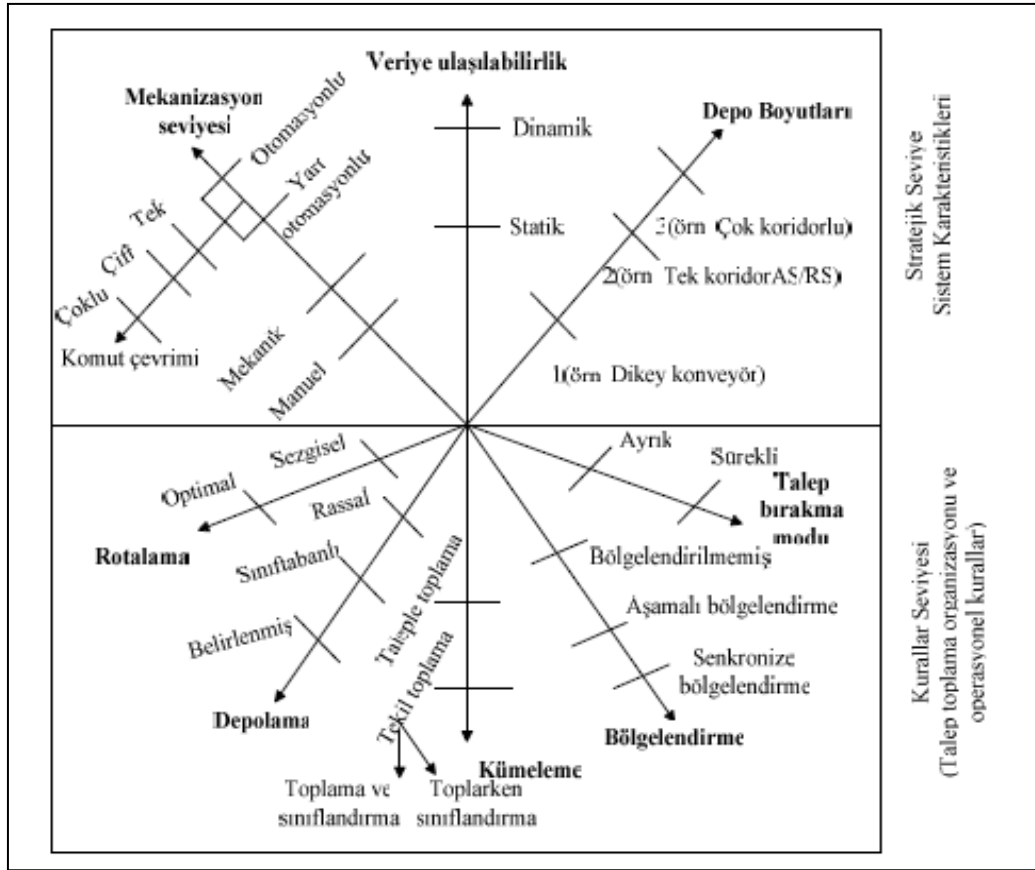
Sipariş toplama sistemlerinin tam tasarımı, tasarım alternatiflerini etkileyen büyük yelpazedeki iç-dış etkilerden dolayı kompleksir. Sipariş toplama alternatiflerini etkileyen iç etkiler, sipariş toplama modellerinin sistem özellikleri, organizasyonu ve fonksiyonel politikalarından oluşur. Sistem özellikleri; depo nitelikleri, bilginin kullanılabilirliği ve mekanik düzen seviyelerinden ibarettir. Dış etkiler ise pazarlama yolları, müşterinin talep durumu, stok düzeyleri, tedarikçiden tedarik etme biçimi, bir ürün için ortalama talep miktarı ve ekonomik şartlardır. Bu etkilere yönelik karar problemleri çoğu kez tasarım aşamasıyla alakalıdır. Şekil 2.4’de, sipariş toplama sistemlerinin karmaşıklığı, başlangıç noktasına olan uzaklık gösterimi ile verilmiştir. Başlangıç noktasından uzaklaştıkça, sistemin karmaşıklığı artmaktadır. Bir sipariş toplama prosesinin (süreç) denetlenmesi ve planlanmasında göz önünde bulundurulması gereken fonksiyonel kararlar aşağıda sıralanmıştır (De Koster, 2007):

- Bölgelere ayırma (Zoning)
- Gruplama (Batching)
- Yerleşim düzeni (Layout)
- Depo tahsisi (Storage assignment)
- Rotalama (Routing)
- Sipariş toplama ve ayırıştırma-sınıflandırma (Order accumulation and sorting)
- Yoğunluk-Tıkanıklık (Congestion)

Depolarda daha etkin kontrol mekanizmaları vasıtasıyla ulaşım sürelerini-mesafeleri ve maliyetleri azaltmak için sipariş toplama sürecinde genellikle bu kararlar kullanılır. Ayrıca, Yukarıda sıralanan kararların her biri ayrı bir problem tipi ve çalışma alanı olarak literatürde yerini almaktadır. Bu kararların daha detaylı bir tanımı Çizelge 2.1’ deki gibi gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Tesis tasarımı ve operasyonel problemler (Ene, 2010:12)

Tasarım ve Operasyonel Problemler		Kararlar	
Depo Tasarımı	Genel Yapı	-Malzeme akışı  -Departman tanımlama -İlişkili departmanların yerleşimi	
	Ölçülendirme ve Boyutlandırma	-Deponun boyutu  -Departmanların boyutu ve ölçüsü	
	Departman yerleşimi	-Palet bloğu modeli  -Koridor yönelimi -Koridorların sayısı uzunluğu genişliği -Kapıların yeri	
	Ekipman seçimi	-Otomasyon seviyesi -Depolama ekipman seçimi -Malzeme elleçleme ekipman seçimi	
	Operasyon stratejisi	-Otomasyon stratejisi seçimi -Talep toplama metodu seçimi	
Depo Operasyonları	Kabul ve sevkiyat	-Kamyon-dok ataması  -Talep-kamyon ataması -Kamyon çizelgeleme	
	Stoklama	SKU-departman ataması	-Farklı depo departmanlarına parçaların atanması -Alan tahsisatı
		Bölgelendirme	-SKU' ların bölgelere atanması -Toplayıcıların bölgelere Atanması
		Depoya atama	-Depoya atama -Depo sınıflarının belirlenmesi
	Talep toplama	Kümeleme	-Küme boyutu -Küme-talep ataması
		Rotalama ve sıralama	-Talep toplama turlarının rotalanması ve sıralanması -Yerleşim noktası seçimi(AS/RS için)
		Sınıflandırma	-Talep-rota ataması



Şekil 2.4. Sipariş toplama sistemlerinin karmaşıklığı (Ene, 2010:11)

### 2.3. Ürün Atama Problemi

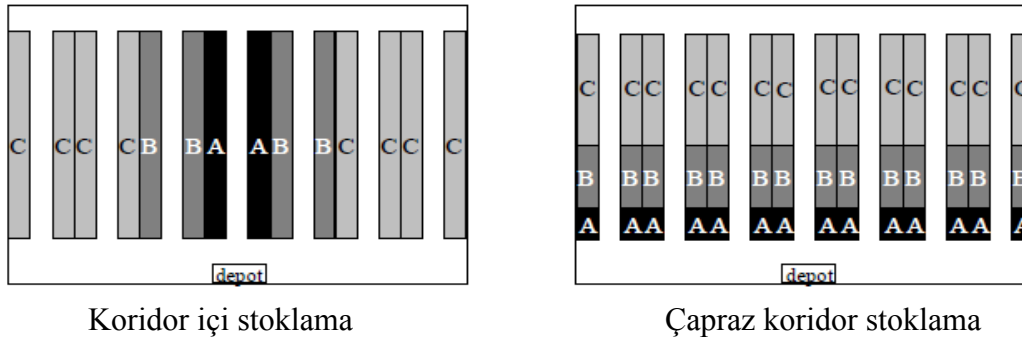
Depo yönetimi ve depolama ile ilgili kararlar depolama alanı, işgücü maliyeti, sipariş toplama zamanı gibi bir deponun tüm kritik performans belirtilerini etkilemektedir. Depolama sistemlerinde süreçlerin planlanması stok yönetimi ve depo konumlarına ürün atama ile alakalıdır. Stok yönetiminin en iyi şekilde yapılması depolama maliyetlerini azaltmaya neden olabilir. Bununla birlikte, ürün atamada etkin bir sipariş toplama politikası depolama aktiviteleri için geçen ortalama zamanı düşürebilir.

Sipariş toplama ve servis seviyesi arasındaki en önemli bağ daha hızlı bir şekilde siparişin geri alınabilirliğidir. Ne kadar erken olursa o kadar müşteriye nakil için kullanılabilir. Dolayısıyla, sipariş toplama sürecinde, müşteri isteklerini zamanında yerine getirmek için ürünlerin atandıkları konumlardan toplanmadan önce depo konumlarına atanması gerekir. Depolama aktiviteleri için geçen süre, sipariş döngüleri içerisinde geçen toplam sürede önemli bir etkiye sahiptir. Bu yüzden, depolama aktiviteleri için geçen süreyi en aza

indirmek için sürdürülebilir, çözülebilir ve uygulanabilir yöntemleri ele almak gerekir (Fontana ve Calvante, 2014).

Sipariş toplama sistemlerinin verimliliğinde kullanılan ürün atama politikası veya politikaları yüksek oranda bir etkiye sahiptir (Muppani ve Adil, 2008). Sipariş toplama sistemlerinde en çok kullanılan ürün atama politikaları şunlardır (Turner, 2009):

- Rassal politika (Random): Bir depolama alanı içerisinde ürünlerin rastgele olarak bir konuma atanmasıdır.
- Sabit politika (Dedicated): Ürünler için önceden belirlenmiş (sabit) konumlara atama yapılmasıdır.
- Devir temelli politika (Turn Over): Devir (Döngü) durumlarına göre ürünlerin depo konumlarına atanmasıdır. Bu politikada, en yüksek satışa sahip ürünler en kolay erişilebilir yerlere konumlandırılır.
- Hacim temelli politika (Volume): Büyük hacimli ürünlerin çıkış yerine en yakın olacağı konumlara atanmasıdır.
- Paylaşımlı politika (Shared): Bir konumun birden fazla ürün için kullanılabilmesidir. Yani, ürünler kullanım durumlarına (bir ürün için belirlenen konumun boşalması gibi) göre birbirlerinin yerine kullanılabilir.
- Aktivite temelli politika (Activity): Ürünlerin herhangi bir faaliyet veya kriter ölçüsüne göre depo konumlarına atanmasıdır.
- Kalış süresi politikası: Ürünlerin son kullanma tarihi gibi kriterler esas alınarak belirli bir süreye göre depo yerlerine atanmasıdır.
- Sınıf-temelli politika: Belirli kriterlere göre benzer özellikler gösteren ürünlerin sınıflandırılması ve sınıf olarak depo konumlarına atanmasıdır. Öncelikle her ürün için bir veya daha fazla kriter için bir oran belirlenir ve bu oranlara göre sınıflara ayrılır. Daha sonra bu sınıflar depo içerisinde belirli konumlara atanır. Sınıfların depo konumlarına atanması rassal olarak yapılabildiği gibi ulaşım mesafesini en aza düşürecek şekilde de yapılabilir. Literatürde sınıf oluşturma için yaygın olarak kullanılan yöntemler; COI(Sipariş başına küp endeksi), talep sıklığı ve sipariş toplama hacmidir. Oluşturulan sınıfları yerleştirmede yaygın kullanılan iki örnek Şekil 2.5'deki gibi gösterilmiştir (De Koster, 2007).



Şekil 2.5. Sınıfları yerleştirmede yaygın kullanılan iki örnek (De Koster, 2007)

Depolar farklılaştıkça gerçekleştirdikleri işlemler de farklılaşır. Bir ürün atama politikası her depoya has amaç ve ihtiyaçlarına göre tek tek incelenerek belirlenir. Her ürün atama politikasının uygulama açısından sağladığı yarar nedeniyle bazı dezavantajları dikkate alınmaz. Çizelge 2.2’de ürün atama politikalarının avantaj ve dezavantajları verilmiştir.

Çizelge 2.2. Ürün atama politikalarının avantaj ve dezavantajları (Turner, 2009:17-18)

Depo Ürün Atama Politikaları	Avantajları	Dezavantajları
Rassal politika	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yüksek alan kullanımı (veya düşük alan gereksinimi) ile sonuçlanır.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diğer politikalardan daha fazla ulaşım mesafesi gerektirir.</li> <li>Sadece bilgisayar kontrollü bir ortamda çalışır.</li> <li>Malzeme taşıma maliyeti genellikle daha fazladır, çünkü daha hızlı hareket eden materyali en çok arzu edilen saklama yerlerinde depolamak için herhangi bir çaba yoktur.</li> </ul>
Sabit politika	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sipariş toplayıcılar ürün yerleri hakkında bilgi sahibi olurlar.</li> <li>Tipik olarak malzeme taşıma maliyetlerini düşürür.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Her bir ürün belirli veya sabit konumlara atandığı için stokta olmayan ürünlerin atandığı yerler boş bırakılmaktadır (rezerv).</li> <li>Her ürün için alan kullanımı en düşüktür. Maksimum stok seviyesinin depolanabileceği şekilde yeterli alan ayrılmalıdır.</li> </ul>
Sınıf temelli ve döngü temelli politika	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hem rastgele hem de sabit depolama politikasının avantajlarını kullanır.</li> <li>Rassal depolama politikasından daha az talep toplayıcı gezi sayısı gerektirmektedir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Talep oranları sürekli olarak farklılaşır ve ürün çeşitleri sık sık değişir; her değişiklik, depoda büyük miktarda stok değişimi ile sonuçlanan yeni bir ürün siparişi gerektirecektir.</li> <li>Daha fazla depolama alanına ihtiyaç duyar</li> </ul>
Hacim-temelli politika	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ulaşım süresi ve mesafedeki azalma</li> <li>Rastgele depolama politikasına kıyasla belirgin bir şekilde daha az sipariş toplayıcı seyahati</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Koridor tıkanıklığı</li> <li>Deponun dengesiz kullanımı</li> </ul>

Çizelge 2.2. (devam) Ürün atama politikalarının avantaj ve dezavantajları

Depo Ürün Atama Politikaları	Avantajları	Dezavantajları
Paylaşımlı politika	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ürünler depolama konumlarını paylaşabilir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toplam depolama gereksinimleri, malzeme giriş ve çıkışının zaman içindeki dağılımına bağlı olarak zamanla değişir.</li> </ul>
Kalış süresi politikası	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sınıf tabanlı depolama politikasından yararlanır; Sınıflar, kalış süresine göre belirlenir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sadece giriş ve çıkışların mükemmel dengede olduğu varsayımı altında optimaldir.</li> </ul>

Depo yerlerine ürün ya da sınıf atamada farklı ölçütler mevcuttur. Literatür çalışmalarında en yaygın kullanılan üç ölçüt şunlardır (Gu, 2007):

- Popülarite: Dönem başına depo konumlarına taşıma ve bu konumlardan siparişleri alma sayısıdır. Popülerlik politikasında, en popüler olan ürün ya da sınıflar toplama işleminin en yoğun olduğu bölgelere atanırlar.
- Maksimum stok: Bir ürün ya da sınıf için ayrılmış en yüksek seviyedeki depolama alanıdır. Maksimum stok politikası için, ürün sınıfları maksimum stok artışı ile sıralanır ve en düşük maksimum stoğa sahip sınıflara en çok arzu edilen konumlara atanır.
- COI (Sipariş başına alan indeksi): Hesket (1963), ürünlerin konumlandırılması veya sınıfların oluşumu için literatürde yaygın olarak kullanılan ve stokta tutma birimi (SKU) başına gerekli olan maksimum alanın stokta tutma biriminin sipariş frekansına olan oranını ve gösteren birim sipariş başına alan indeksi (COI) yöntemini önermiştir (2.1):

$$COI_i = \frac{f_i * [Maks I_i^t]}{D_i} \quad (2.1)$$

$COI_i \rightarrow i$  ürünü için sipariş başına alan indeksi.

$D_i \rightarrow t$  dönemi boyunca  $i$  ürünü toplam talep miktarı.

$f_i \rightarrow i$  ürününü stoklamak için gereken olan alan miktarı.

$I_i^t \rightarrow t$  döneminde  $i$  ürününe ait stok düzeyi.



Bu yöntemde, en küçük COI oranındaki ürün ya da sınıf, giriş çıkış (I/O) kapısına en yakın konumlandırılır ve diğer ürün ya da sınıflar artan sırada depo konumlarına atanırlar. Amaç, sipariş toplama maliyetini minimize etmektir.

#### 2.4. Üretim Planlama

Üretim planlama, belirli bir zaman diliminde bilinen bir talebi karşılamak ve belirli bir birikime maruz kalmadan kurulum(hazırlık), üretim ve stok maliyetlerinin toplamını en aza indirmek üzere, belirli bir süredeki üretimin miktarlarının düzeylerini, limitlerini ve zamanlamasını belirleyen fonksiyon olarak tanımlanabilir. Yani, ürünlerin ne kadar ve ne zaman üretilmesi gerektiği ve üretim kapasitesinin kullanımı ile çıktıların dengelenmesi konularını kapsamaktadır. Amaç, her periyotta bilinen talebi karşılamak ve üretim, stok ve kurulum maliyetlerinden oluşan toplam maliyeti minimize etmektir.

Üretim planlamasında stok kapasitesi limiti altında kontrol edilen müşteri talebini karşılarken, bu durumun sınırlı veya sınırlı stok kapasitesi olduğu söylenebilir. Üretim planlamasında iki ana sınırlayıcı faktör vardır; üretim kapasitesi ve stok kapasitesi (Liu ve Tu, 2008).

Üretim planlamasında karşılaşılan sorunlar üretim sisteminin özelliğine göre değişmektedir. Üretim sistemleri genel olarak kesikli üretim sistemi ve sürekli üretim sistemi olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Kesikli üretim sistemi, partiler halinde üretimin yapıldığı bir sistemdir. Bir ürünün üretiminden diğer bir ürünün üretimine geçildiği zaman makinaların yeniden ayarlanması, yeni ürüne ait iç çizelgelerinin yapılması, döneminden önce üretilen ürünlerin stoklarda bekletilmesi gibi çalışmaları içerir. Bu tür çalışmalar büyük hazırlık zamanları gerektirdiği için kesikli üretim sistemlerinde her dönemdeki parti büyüklüklerinin belirlenmesi çalışmaları hazırlık maliyetlerinin ve stokta tutma maliyetlerinin minimize edilmesi ile olur (Özyörük ve Erol, 2000). Kesikli üretim sistemlerinde parti büyüklüğü problemleri, kısıtlandırılmış ve kısıtlandırılmamış olmak üzere iki türdür.

En basit haliyle dinamik parti büyüklüğü problemi, deterministik talebi karşılayan ve çok dönemli bir ufukta bir kalem için toplam üretim maliyetini, kurulum ve envanteri en aza indiren bir üretim planı bulmaya çalışır (Jans ve Degraeve, 2006).

Doktora tez çalışmasında stok ve üretimin sınırlı olduğu üretim planlamasına odaklanan kısıtlandırılmış ve kısıtlandırılmamış parti büyüklüğü problemleri ele alınmıştır.

#### 2.4.1. Kısıtlandırılmamış parti büyüklüğü problemi (UCLSP)

Kısıtlandırılmamış parti büyüklüğü problemi (UCLSP), standart ekonomik sipariş modeline benzer ve çok dönemli planlama aralığında değişken talep altında üretim planlama problemini tanımlar. Problemden stokta taşıma maliyetleri ve hazırlık maliyetleri toplamı minimize edilmeye çalışılır. Her dönemdeki talep miktarının bilindiği, kapasite için herhangi bir kısıtlamanın olmadığı varsayımı altında modelleme yapılır (Özyörük ve Erol, 2000). Bu model matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir (Jans ve Degraeve, 2006):

Değişkenler:

$x_t$  :  $t$  periyodu boyunca üretilen miktar.

$s_t$  :  $t$  periyodu sonunda stok seviyesi

$y_t$  :  $t$  periyodu boyunca üretim varsa 1, değilse 0.

Parametreler:

$Z$  : Amaç fonksiyonu değeri (\$).

$h_t$  :  $t$  periyodunda birim stok maliyeti.

$c_t$  :  $t$  periyodunda değişken birim üretim maliyeti.

$u_t$  :  $t$  periyodunda birim hazırlık maliyeti.

$d_t$  :  $t$  periyodunda talep miktarı.

$M$  : Üretimde kısıtlayıcı faktör için skaler değer.

Amaç fonksiyonu:

$$Z_{\min} = \sum_i \sum_t (c_t \cdot x_t + u_t \cdot y_t + h_t \cdot s_t) \quad (2.2)$$

Kısıtlar:

$$s_t = x_t - d_t + s_{t-1} \quad \forall t, \quad (2.3)$$

$$x_t \leq M_t \cdot y_t \quad \forall t, \quad (2.4)$$

$$y_t \in \{0, 1\} \quad \forall t, \quad (2.5)$$

$$x_t, s_t \geq 0 \quad \forall t, \quad (2.6)$$

Modelde amaç fonksiyonu (2.2) toplam üretim, hazırlık ve stok maliyetini minimize eder. Kısıt (2.3), talep denge denklemini, kısıt (2.4), hazırlık kısıtını, kısıt (2.5), hazırlık olup olmama durumunu ve kısıt (2.6), pozitif değişken kısıtını ifade eder.

#### 2.4.2. Kısıtlandırılmış parti büyüklüğü problemi (CLSP)

Kısıtlandırılmış parti büyüklüğü problemi (CLSP), Kısıtlandırılmamış parti büyüklüğü (UCLSP) problemine benzer. Diğer modellerden farklı olarak ürün hazırlık zamanları dikkate alınmıştır ve üretim kapasitesi için bir kısıtlama getirilmiştir. CLSP, bir döngüde aynı makinede birçok farklı ürünün üretildiği bir modeldir. Üretilebilecek  $n$  farklı ürün vardır (Jans ve Degraeve, 2006). Problemden hazırlık maliyetleri, üretim maliyetleri ve stok maliyetleri toplamı minimize edilmeye çalışılır. Bu model matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir (Jans ve Degraeve, 2006):

Değişkenler:

$x_{it}$  :  $t$  periyodu boyunca üretilen  $i$  ürünü miktarı.

$s_{it}$  :  $t$  periyodu sonunda  $i$  ürünü için stok seviyesi.

$y_{it}$  :  $t$  periyodu boyunca  $i$  ürünü üretilmiş ise 1, değilse 0.

Parametreler:

$Z$  : Amaç fonksiyonu değeri (\$).

$h_{it}$  :  $t$  periyodunda  $i$  ürünü birim stok maliyeti.

$c_{it}$  :  $t$  periyodunda  $i$  ürünü değişken birim üretim maliyeti.

$u_{it}$  :  $t$  periyodunda  $i$  ürünü birim hazırlık maliyeti.

$d_{it}$  :  $t$  periyodunda  $i$  ürünü talep miktarı.

$M$  : Üretimde kısıtlayıcı faktör için skaler değer.

$v_{it}$  :  $t$  periyodunda  $i$  ürünü üretmek için gerekli olan süre.

$f_i$  :  $t$  periyodunda üretim için gerekli olan süre.

Amaç fonksiyonu:

$$Z_{\min} = \sum_i \sum_t (c_{it} \cdot x_{it} + u_{it} \cdot y_{it} + h_{it} \cdot s_{it}) \quad (2.7)$$

Kısıtlar:

$$s_{it} = x_{it} - d_{it} + s_{it-1} \quad \forall it, \quad (2.8)$$

$$\sum_i x_{it} \cdot v_{it} \leq f_t \quad \forall t, \quad (2.9)$$

$$x_{it} \leq M_{it} \cdot y_{it} \quad \forall it, \quad (2.10)$$

$$y_{it} \in \{0,1\} \quad \forall it, \quad (2.11)$$

$$x_{it}, s_{it} \geq 0 \quad \forall it, \quad (2.12)$$

Modelde amaç fonksiyonu (2.7) toplam üretim, hazırlık ve stok maliyetini minimize eder. Kısıt (2.8), talep denge denklemini, kısıt (2.9), üretim kapasite sınırını, kısıt (2.10), hazırlık kısıtını, kısıt (2.11), hazırlık olup olmama durumunu ve kısıt (2.12), pozitif değişken kısıtını ifade eder.

## 2.5. Çok Ölçütlü Karar Verme İle İlgili Temel Kavramlar

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri, çok amaçlı karar verme (ÇAKV) ve çok ölçütlü karar verme (ÇÖKV) olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır (Yerlikaya, 2014).

ÇAKV: Alternatiflerin bir matematiksel program yapısı içinde dolaylı olarak tanımlandığı modellerdir. Sonsuz sayıda alternatifin olduğu sürekli durumlarda karar vermeye dayanır.

ÇÖKV: Genelde çelişen, birden çok kriter aracılığıyla mevcut alternatifler arasında seçim(sınıflandırma, sıralama veya seçme) kararı almak için kullanılan yöntemlerdir.

ÇÖKV'nin amacı (Yerlikaya, 2014):

- Karmaşık ve bütünüyle algılaması güç konuları analiz etmek,
- Karar verme süreçlerini sistematik bir şekilde yürütmek,

- Şeffaf ve hesabı verilebilir bir yönetim sağlamak,
- Birden çok karar vericinin bulunduğu ortamlarda ortak bir platform yaratmak, iletişimi kolaylaştırmak, müzakereleri mümkün kılmak,
- Alternatiflerin kriter değerlendirmelerinde gereken uzman görüşleri ile karar vericilerin öznel değerlendirmeleri birleştirmek,
- Çok büyük miktarlardaki veya dağınık veriyi değerlendirmeye almaktır.

ÇÖKV tekniklerinin hemen hemen hepsi kriter seti temelinde alternatif setlerinin kriter puanları veya değerlendirmelerini kapsayan performans çizelgelerine gerek duymaktadır. Genellikle iki set birbirinden farklı olarak tanımlanmaktadır. Ancak karar probleminin etkin bir şekilde kavranması alternatifler ve kriter setinin birlikte tanımlanmasını gerektirmektedir. ÇÖKV’de ikinci adım spesifik bir sentezleme süreci (aggregation procedure) kullanarak ve karar vericinin tercihlerini dikkate alarak farklı kriterlere atanan puanları ya da ağırlıkları sentezlemektir. Kriter puanlarını sentezleme karar vericiye farklı kriterleri, kriter puanlarına göre karşılaştırma imkanı verir (Yerlikaya, 2014).

### **2.5.1. ÇÖKV yöntemleri ve sınıflandırmalar**

ÇÖKV metotları çeşitli bakımlardan sınıflandırılmaktadır. Verinin türüne göre yapılan sınıflandırmalarda ÇÖKV; deterministik, stokastik ve bulanık modeller olarak sınıflandırılırken, karar vericinin sayısına göre yapılan sınıflandırmalarda ÇÖKV; tekli karar verme ve grup karar verme olarak sınıflandırılmaktadır. Aşağıda Wang (1999) tarafından yapılmış sınıflandırma esas alınarak ÇÖKV yöntemleri açıklanacaktır.

ÇÖKV yöntemlerini Basit Yöntemler, Tekli Sentezleme Kriteri Kullanan Metotlar ve Üstünlüğe Dayanan Yöntemler (Outranking) olmak üzere üç ana başlık altında toplamıştır (Yerlikaya, 2014).

Basit Yöntemler:

- Maksimin (Maximin)
- Maksimaks (Maximax)
- Üstünlük (Dominance)
- Birleştiren (Conjunctive)

- Sözlüksel (Lexicographic)
- Bakış açısına göre eleme (Elimination by Aspects)
- Ayıran (Disjunctive)
- Doğrusal atama yöntemi (Linear Assignment Method)
- Toplamsal ağırlıklandırma (Additive Weighting)
- Ağırlıklandırılmış çarpım (Weighted Product)

Tekli Sentezleme Kriteri Kullanan Metotlar:

- Analitik Ağ Süreci (ANP)
- Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process - AHP)
- Veri Zarflama Analizi (VZA)
- VİKOR
- DEMATEL
- TOPSİS
- Gri-İlişkisel Analiz
- Çok Ölçütlü Değer Teorisi (ÇÖDT)
- Çok Ölçütlü Yarar Teorisi (ÇÖYT)
- Çok Ölçütlü Bulanık Tümlevler (ÇÖBT)
- SMART

Üstünlüğe Dayanan Yöntemler (Outranking):

- ELECTRE
- ELECTRE II
- ELECTRE III
- ELECTRE IV
- ORESTE I
- ORESTE II
- PROMETHEE
- PROMETHEE II

Bu çalışmada, sipariş toplama sistemlerinde birden çok kriterin dikkate alındığı ürün atama ve sınıflandırılmasında ürünlerin önceliklendirilmesi için TOPSİS yöntemi kullanılmıştır.

### 2.5.2.TOPSIS yöntemi

ELECTRE yönteminin temel yaklaşımlarını içeren TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) Yoon ve Hwang tarafından 1980 yılında önerilmiştir ve alternatiflerin en ideal çözüme olan yakınlığı ilkesine dayanır. TOPSIS yöntemi çözüm süreci 6 adımdan oluşmaktadır (Monjezi, 2012):

- 1) Karar Matrisinin ( $A_{ij}$ ) Oluşturulması: Karar matrisinin satırlarında alternatifler, sütunlarında ise karar vermede belirleyici olan kriterler yer alır. A matrisi karar vericinin oluşturduğu başlangıç matrisidir ve şöyledir:

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

$A_{ij}$  matrisinde m alternatif sayısı, n de kriter sayısıdır.

- 2) Standart Karar Matrisinin ( $R_{ij}$ ) Oluşturulması: Standart Karar Matrisi, karar matrisinin normalize edilmesiyle oluşturulur ve şu şekilde elde edilmektedir:

Fayda kriteri için;

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (2.14)$$

Maliyet kriteri için;

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (2.15)$$

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

3) Ağırlıklandırılmış Standart Karar Matrisinin ( $V_{ij}$ ) Oluşturulması: İlk olarak kriterlerin ağırlık değerleri ( $w_i$ ) belirlenir ( $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ ). Ardından  $R_{ij}$  matrisinin her bir ögesi o sütuna ait kriterin ağırlık değeriyle çarpılarak  $V_{ij}$  matrisi oluşturulur.  $V_{ij}$  matrisi şöyledir:

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

4) Pozitif İdeal ( $A^*$ ) ve Negatif İdeal ( $A^-$ ) Çözümlerin Oluşturulması: TOPSIS esas olarak seçilen alternatiflerin en yakın ve en uzak mesafeye sahip olması gerektiğini (Öklid ölçümü) ve dolayısıyla bir alternatifin optimal çözüme olan göreceli yakınlığını hesaplamının pozitif ideal çözüm ( $A^*$ ) ve negatif ideal çözüm ( $A^-$ ) üreteceğini belirler. Pozitif İdeal ( $A^*$ ) ve Negatif ideal ( $A^-$ ) çözümler şu şekilde gösterilmektedir (Ramasamy, 2019):

$$A^* = \left\{ (\max_i v_{ij} | j \in J), (\min_i v_{ij} | j \in J') \right\} \quad (2.18)$$

$$A^- = \left\{ (\min_i v_{ij} | j \in J), (\max_i v_{ij} | j \in J') \right\} \quad (2.19)$$

5) Ayırım Ölçülerinin Hesaplanması: TOPSIS yönteminde her bir alternatife ilişkin kriter değerinin pozitif ideal ve negatif ideal çözüm kümesinden sapmaların bulunabilmesi



için boyutsal öklid ölçümünden yararlanılır. Bu ölçüm sonucunda elde edilen sapma değerleri olan pozitif ideal ayırım ( $S_i^*$ ) ve negatif ideal ayırım ( $S_i^-$ ) ölçüsü şu şekilde formüle edilmektedir:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (2.20)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (2.21)$$

6) İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması: Her alternatifin ideal çözüme göreli yakınlık değeri ( $C_i^*$ ) pozitif ideal ve negatif ideal ayırım ölçüleri kullanılarak hesaplanır. İdeal çözüme göreli yakınlık değeri, negatif ideal ayırım ölçüsünün toplam ayırım ölçüsü içindeki oranıdır. İdeal çözüme göreli yakınlık değeri şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (2.22)$$

Burada  $C_i^*$  değeri  $0 \leq C_i^* \leq 1$  aralığındadır ve  $C_i^* = 1$  ise alternatifin pozitif ideal çözüme,  $C_i^* = 0$  ise ilgili alternatifin negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını ifade eder.

### 3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Depolama, depolama işlemleri, sipariş toplama, depo ürün atama ve üretim planlaması alanları ilgili günümüze kadar pek çok çalışma yapılmıştır. Sürekli değişen depo yönetimi, yeni teknolojilerin tanıtılması ve belirli depoların benzersiz depo operasyonları ile gerçek dünyadaki endüstriyel sorunlara uygulamak için yeni araştırma alanları açılmaktadır. Bu çalışmada, sipariş toplama sistemlerinde depo ürün atama üzerine yapılmış 50 adet çalışma; kullanılan yöntemler ve politikalar açısından incelenmiştir. Bu çalışmalar Gazi Üniversitesi veri tabanı arama sisteminden yararlanılarak dergiler, kongreler ve üniversite tezlerinde yer almış olan çalışmalardan derlenmiştir.

Tarama çalışması, EmeraldInsight, ScienceDirect, Taylor&Francis, Springer, Researchgate ve Web of Science veri tabanları kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca ulusal makaleler için farklı veri tabanlarından (GoogleScholar, YÖK tez tarama, ULAKBİM Sosyal Bilimler Veri Tabanı) faydalanılmıştır.

İlgili çalışmalar taranırken kullanılan anahtar kelimeler, “order picking”, “warehousing”, “warehouse location”, “storage assignment”, “storage location assignment”, “depolama”, “sipariş toplama”, “ürün atama”, depo ürün atama, “depo konum atama”, “depo yeri atama”dır.

Literatür çalışması; sıklıkla kullanılan COI (Cube Per Order Index) atama politikası, sınıf temelli ürün atama politikası (Class-Based), diğer ürün atama politikaları ve üretim planlama veya stok modellerinin de olduğu ürün atama çalışmalarından oluşmaktadır.

#### 3.1. Sipariş Başına Küp Endeksi (COI)

Hesket (1963), ürünlerin konumlandırılması veya sınıfların oluşumu için literatürde yaygın olarak kullanılan ve stokta tutma birimi (SKU) başına gerekli olan maksimum alanın stokta tutma biriminin sipariş frekansına olan oranını ve gösteren birim sipariş başına alan endeksi (COI) yöntemini önermiştir. Bu yöntem, en düşük COI oranının olduğu ürün veya ürünlerin teslimat noktasına en yakın yerlere konumlandırmasını içermektedir. Amaç;

depoda, en iyi raf konumlarında düşük bir alan gereksinimi ile yüksek bir döngü sıklığını bir araya getiren ürünleri koymaktır.

Francis (1967), COI yönteminin bazı varsayımlar altında tek komutlu mesafeyi minimize eden bir kanıt sunmuştur. Harmatuck (1976), COI kuralını doğrusal bir program olarak modelledi ve makalede geliştirilen modelin COI kuralını ihlal etmediğini ispatlayan doğrusal programla karşılaştırmıştır. Her iki yazar Francis (1967) ve Harmatuck (1976), depolama/boşaltma esnasında ulaşım mesafesini minimize etmek için ürünlerin depolama yerlerine atanmasında COI kuralının optimaliyeti sağladığını kanıtlamışlardır.

Kallina ve Lynn (1976)'na göre, popüler ürünler, günlük ortalama toplama sayısı açısından sipariş taşıma alanına en yakın olacak şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir. Çünkü, bu ürünlerin konumlarına daha çok sayıda gidiş-geliş yapılıır. Yapmış oldukları çalışmanın temel problemi, sipariş seçiminde beklenen sipariş toplama maliyetlerini en aza indirmek amacıyla, aşamalandırma alanındaki ürünleri konumlandırmaktır. Problemin çözümü için COI tekniği ve gerçek bir hayat problemiyle COI tekniğinin en iyi sonucu verdiğini kanıtlamak için doğrusal bir programlama kullanılmıştır.

Malmberg ve Krishnakumar (1989), COI'yi çok komutlu depo çalışma ortamına genişletti ve Öklid mesafesi altında COI kuralının en kısa mesafe döngü süresini ürettiğini kanıtlamışlardır. COI kuralı, ulaşım maliyetlerini azaltmak için hedef belirlenen yerlere ürün atarken optimal bulunmuştur. Değişen koşullar altında, Lee (1992) ve Caron vd. (1998), COI kuralının her zaman avantaj sağlamadığını ve bazı eksiklerinin olduğunu tespit etmişlerdir.

Malmberg ve Bhaskaran (1990), çift adresli sipariş toplama disiplini (depolama ve boşaltma ile birlikte) için COI temelli atama politikasının optimalitesini belirlemişlerdir. Malmberg ve Bhaskaran (1990)'a göre yapılan son çalışmalar ve bu çalışmalar ile ilgili kanıtlar, COI tekniğinin amaca ulaşmadaki belirsizliğini ve geçerliliğini sorgulamaktadır. Çalışmalarında, Çift adresli sistemler için COI atama politikasının tamamen revize edilmiş bir uygunluk kanıtı, COI düzeninin belirsizliği dikkate alınarak sunmuşlardır. Bir dizi COI değerlerinden optimal COI düzenini teşhis etmek için sezgisel bir yöntem önermişlerdir.

Lee (1992), COI kuralının yalnızca bir ürünün talep sıklığı ve alan ihtiyacından ibaret olduğunu ve depoda bir ürünün yapısı ve ürün sipariş sıklığından faydalanmadığını belirtmektedir. Lee (1992); grup teknolojisi, benzer ürünlerin teşhisi ve müşteri siparişlerinde ürünlerin ne kadar sıklıkla talep edildiği göz önüne alınırsa, daha iyi bir düzenin kullanılabileceğini önermiştir. Depolama düzeni problemini çözmek için bir matematiksel model ve sezgisel yöntem geliştirilmiş ve sezgisel yöntem grup teknolojisi temel almıştır.

Bryzner ve Johansson (1995), ürün yapısına dayanan bir ürün atama stratejisi (Storage location assignment) önermişlerdir ve örnek olay probleminden elde edilen verileri kullanmışlardır. Ürün atama problemi için yapmış oldukları sınıflandırmayı, malzeme taşıyıcı/toplayıcıya yönelik bütünsel bir algılamayı destekleyecek şekilde dönüştürülen ürün yapılarından türetmişlerdir. Problemin çözümünde, sezgisel konum yönteminden yararlanmışlardır. Bryzner ve Johansson (1996)'a göre; aynı siparişte bulunan ürünler, büyük bir coğrafi alana yayılmış ürünlere yol açabilecek birçok farklı özelliğe sahip olabileceğinden COI yöntemi depo yeri ürün atama probleminde önemli bir etkiye sahiptir.

Caron (1998), parça sistemlerine toplayıcı olarak çapraz ve dönüş yönlendirme politikaları için beklenen ulaşım mesafesini değerlendirmiş ve karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada, depolama yerlerine COI'ne dayalı ürün ataması yapılmıştır. COI temelli politikanın, ihtiyaç duyulan alanın sipariş sıklığına olan oranına dayanarak tahsis edilen depolama yerlerinin kuralını korumak için ürün yerlerinin sürekli olarak gözden geçirilmesini gerektiğini öne sürmüşlerdir.

### **3.2. Sınıf Temelli Ürün Atama Politikası (Class-Based)**

Hausman (1976), otomatik depolama sistemlerinde paletlerin yerleştirilmesi ve alınması için ihtiyaç duyulan vinç ulaşım zamanını en aza indirmek için amacın raflara palet atamak olduğu bir depo incelemiştir. Yapmış oldukları çalışmanın sonuçları, sınıf-temelli depo atama politikasının yüzdeye dayalı olarak devirli depo atama ve rassal depo atama politikasından daha iyi bir politika olduğunu kanıtlamıştır. Bunlar, depo atamaları ve arabirim arasında araştırma yapılmadığı için ön sonuç olarak kabul edilmiştir. Ancak, incelenen durum için sonuçlar yine de tutulmaktadır.

Rosenblatt ve Eynan, (1989), sınıf-temelli depolama/boşaltma sistemleri için optimal sınırlar belirlemişler ve yalnızca bir boyutlu arama işlemi gerektiren çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. Beklenen tek yönlü ulaşım zamanındaki potansiyel iyileştirmelerin çoğu depo nispeten az sayıda bölgeye ayrıldığı zaman elde edilebileceği gösterilmiştir. Problemin çözümü için n-1 aşamalı bir dinamik programlamadan yararlanılmıştır.

Berg (1996), tek komutlu depolama ve boşaltma sistemlerinde sınıf-temelli ürün atama problemini ele almıştır. Ortalama tek komut devir süresini en aza indiren sınıf tahsisini bulan etkili bir dinamik programlama algoritması önermiştir. Önerdiği algoritma, stok taşması üzerinde bir risk düzeyi getirerek gerekli depolama alanını aynı anda belirler.

Hsieh ve Tsai (2001), bir otomatik depolama ve boşaltma sistemleri (AS/RS) için BOM yönelimli sınıf tabanlı ürün atama yöntemi önermişlerdir. Önerilen yöntem, yalnızca sınıf temelli depolama politikasının avantajına değil aynı zamanda bir CIM sistemine AS/RS sistemini entegre etme uygulanabilirliğine sahiptir. Bununla birlikte, örnek problemin çözümünü elde etmek için rassal depolama politikası da kullanılmıştır.

Le-Duc ve De Koster (2005), bir toplama turunun ortalama ulaşım mesafesini tahmin etmek için sınıf temelli olasılıksal bir model önermişlerdir. Simülasyondan elde edilen sonuçlar ile model arasındaki farkın az olduğunu tespit etmişlerdir. Ortalama hareket mesafesini objektif işlev olarak kullanarak, depolama bölgesi optimizasyon problemi için matematiksel bir formülasyon önermişlerdir. Önerdikleri formülasyonun amacı; sipariş toplama turunun ulaşım süresini en aza indirmek için en iyi depo düzeninin oluşturulmasıdır.

Muppani ve Adil (2008:1), ürünlerin depo konumlarına atanmasında ürün sınıflarını COI tekniği ile oluşturmuşlardır. Ayrıca, ulaşım maliyeti, depolama faaliyetleri ve alan kullanımını dikkate alarak sınıf oluşturma ve atama modeli önermişlerdir. Önerdikleri model, doğrusal olmayan tam sayılı programlama modelidir. Modelin çözümü için modeli dal sınır algoritmasından yararlanmışlardır.

Muppani ve Adil (2008:2), COI kriterine göre sınıfların oluşturulduğu ve taşıma ve alan maliyetlerini minimize eden matematiksel model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri matematiksel modelde bir sipariş kısıtı yoktur. Model çözümü için tavlama benzetimi

algoritması kullanmışlardır. Çözüm sonucunda elde ettikleri sonuçları dinamik programlama algoritması ile kıyaslamışlardır.

Li (2008), depo ürün atama sorunu için çok amaçlı matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Sınıflandırma stratejisine göre sipariş frekansı ve raf dengesini de dikkate almışlardır. Önerdikleri matematiksel modeli genetik algoritma ve pareto optimizasyonu ile çözmüşlerdir.

Meghelli ve Sari (2010), talebe göre oluşturulan sınıf temelli ürün atamanın olduğu bir depo düzeni önermişlerdir. Sınıf oluşturmada tek bir kriter olarak talebi kullanmışlardır. Depo konumları çok iyi belirlenirse sipariş toplama süresinin azaldığını ortaya çıkarmışlardır. Ayrıca, sınıf-temelli politika, rassal politika ve sezgisel bir politikayı kullanarak karşılaştırma yapmışlardır.

Kovacs (2011), toplayıcıların planlanmış rotayı izlediği, fazla sayıda rotanın bulunduğu, milk-run sistemiyle ürünlerin çok komutla toplandığı bir depoda ürün atama problemini çözmek için matematiksel karışık tam sayılı programlama modeli geliştirmiştir. Geliştirdiği matematiksel modelin amacı ortalama sipariş toplama çabasını ve zamanını en aza indirmektir. Ürün atama için sınıf temelli politikası kullanmıştır. Ayrıca, geliştirdiği modeli COI yöntemiyle kıyaslamıştır.

Ene ve Öztürk (2012), stokastik optimizasyon ve matematiksel model yöntemleriyle ürün atama ve sipariş toplama sistem tasarımını geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Ürün atama probleminde taşıma mesafesini minimize etmek için sınıf temelli tam sayılı lineer programlama modeli önermişlerdir.

Fontana ve Calvante (2013), ürünlerin fiziksel özellikleri ve stoklama için önemli olan kriterleri göz önünde bulundurarak ürün sıralaması yapmışlardır. Alternatif ürünlerin sıralanmasını ölçütlü karar verme yöntemlerinden olan ELECTRE yöntemi ile yapmışlardır. Sınıf temelli ürün atama politikası ve karar vericinin seçimine göre ürünleri optimal konumlara atanmasını hedeflemişlerdir.

Chiang (2014), her ne kadar taktiksel bir karar olsa da ürünlerin depo konumlarına atanmasının sipariş toplama prosesinin verimliliğini yüksek oranda etkilediğini

belirtmektedirler. Çalışmalarında, ürünler arasındaki ilişkiyi ölçmüşlerdir. Bu ilişkiyi ölçmek için sınıf temelli sezgisel yöntem kullanmışlardır. Amaç, etkin bir sipariş toplama için taşıma mesafesini en aza indirmektir.

Fontana ve Calvante (2014:1), optimal pareto analizi yöntemini kullanarak sipariş toplama mesafesini ve depo alanını çözümlen COI-sınıf temelli depo ürün atama problemi geliştirmişlerdir. En az alan kullanımı ve en kısa sipariş toplama mesafesinin bulunmasında pareto optimal hesapları yaparken sabit politika, rassal politika ve sınıf temelli politikayı beraber değerlendirmişlerdir.

Fontana ve Calvante (2014:2), ürün atama için çoklu kritere göre en iyi alternatif konumu PROMETHEE yöntemini kullanarak tespit etmişlerdir. Alternatif konumları Muppani ve Adil (2008)'in önerdiği sınıf oluşturma ve atama modelinden simülasyonla elde etmişlerdir.

Fontana ve Nepomuceno (2017), üst düzey bir depolama sisteminde (çok tabakalı depo-3D gibi) ürünleri sınıflandırmak ve ürün atama problemini çözmek için çok kriterli bir karar modeli önermişlerdir. Amaç, bir optimizasyon modeline gerek kalmadan karar vericinin tercihinine göre talep ve alanın yanı sıra karlılık, ABC eğrisi gibi kriterleri dikkate alarak ELECTRE yöntemiyle ürünleri sınıflandırmak ve depo konumlarına atamaktır.

### **3.2.1. Referans sınıf oluşturma ve atama modeli**

Doktora tez çalışmasında, sipariş toplama sistemlerinde ürün atama probleminin üretim planını dikkate alarak sınıf temelli sipariş toplama politikası ile modellenebilmesinde Muppani ve Adil (2008:2)'in önermiş oldukları sınıf oluşturma ve atama modeli referans alınmıştır. Muppani ve Adil (2008:2), COI kriterine göre sınıfların oluşturulduğu ve taşıma ve alan maliyetlerini minimize eden matematiksel model geliştirmişlerdir. Muppani ve Adil (2008:2)'in önermiş oldukları sınıf oluşturma ve atama modeli şöyledir:

Notasyon:

İndis:

$i, i'$  : ürün

$c, c'$ : sınıf

$l, l'$ : konum

$t$ : dönem

Değişken:

$X_{ic}$ :  $i$  ürünü  $c$  sınıfına atanmışsa 1, atanmamışsa 0.

$y_{lc}$ :  $c$  sınıfı  $l$  konumuna atanmışsa 1, atanmamışsa 0.

Parametre:

$Z$ : Amaç fonksiyonu.

$COI_i$ :  $i$  ürünü sipariş başına alan indeksi.

$a_l$ :  $l$  depo yerinin alanı.

$D_i$ : dönem boyunca  $i$  ürünü talep miktarı.

$d_l$ :  $l$  depo yerinden teslimat noktasına olan mesafe.

$f_i$ :  $i$  ürünün kapladığı alan miktarı.

$h$ : Bir birimlik mesafenin maliyeti.

$f$ : 1 metrekarelik alan maliyeti.

$I'_i$ :  $t$  döneminde  $i$  ürününe ait planlanan stok düzeyi.

Amaç fonksiyonu:

$$Z_{\min} = f \cdot \sum_c \sum_l (a_l \cdot y_{lc}) + 2 \cdot h \cdot \sum_c \left[ \left( \frac{\sum_l (a_l \cdot d_l \cdot y_{lc})}{\sum_l (a_l \cdot y_{lc})} \right) * \sum_p D_i \cdot x_{ic} \right] \quad (3.1)$$

Kısıtlar:

$$COI_i \cdot x_{ic} \leq COI_i \cdot x_{i'c'} \quad \forall i \neq i' \text{ ve } c < c', \quad (3.2)$$

$$l \cdot y_{lc} \leq l' \cdot y_{l'c'} \quad \forall l \neq l' \text{ ve } c < c', \quad (3.3)$$

$$\sum_i (I'_i \cdot f_i \cdot x_{ic}) \leq \sum_l (a_l \cdot y_{lc}) \quad \forall c, t, \quad (3.4)$$

$$\sum_c x_{ic} = 1 \quad \forall i, \quad (3.5)$$

$$\sum_c y_{lc} \leq 1 \quad \forall l, \quad (3.6)$$



$$x_{ic} \in \{0,1\}, \quad \forall i,c \quad (3.7)$$

$$y_{lc} \in \{0,1\}, \quad \forall l,c \quad (3.8)$$

İki maliyet kaleminden oluşan amaç fonksiyonu (3.1), bir minimizasyon problemidir. 1.maliyet kalemi dönem boyunca alan maliyeti ve 2. maliyet kalemi sipariş toplama maliyetidir. Modelin amacı, bu iki kalemden oluşan toplam maliyeti minimize etmek için ürünlerin COI kriterine göre sınıflandırılması ve bu sınıfların depo içerisinde en uygun konumlara atanmasıdır. Kısıt (3.2) ve kısıt (3.3), daha düşük COI oranına sahip ürünlerin öncelikli sınıflara atanmasını ve öncelikli sınıfların da giriş-çıkış(I/O) noktasına en yakın olan konumlara atanmasını sağlar. Kısıt (3.4),  $t$  dönemi boyunca  $c$  sınıfına atanan ürünler için gerekli olan toplam alan kısıtını ifade eder. Kısıt (3.5), her ürünün yalnızca bir sınıfa atanabileceğini, Kısıt (3.6) ise herhangi bir konuma birden fazla sınıfın atanamayacağını ifade eder. Kısıt (3.7)-(3.8) kısıtlar 0-1 karar değişkenlerini belirtir.

### 3.3. Diğer Ürün Atama Politikalarını Dikkate Alan Çalışmalar

Graves (1977), hem sürekli analitik modeller hem de ayırık değerlendirme prosedürleri kullanarak, birkaç ürün atama/araya sokma politikalarının işletim performanslarını karşılaştırmışlardır. Önerdikleri ürün atama/araya sokma politikaları yoluyla vinç ulaşım süresi veya mesafesinde önemli azalmalar olduğunu göstermişlerdir. Bu azalmaların mevcut sistemde artan üretim kapasitesine dönüştürebileceğini belirtmişlerdir.

Ashayeri (1985), deponun en önemli tasarım özelliklerinin belirlenmesine olanak sağlayan özel bir model önermişlerdir. Modelin amacı, proje ömrü boyunca yatırım ve işletim maliyetlerini en aza indirmektir. Modelin çözümü için, analitik yöntem ve simülasyon kullanmışlardır.

Han (1987)'nin yapmış oldukları çalışmada, çeşitli geri alım ihtiyaçları mevcut olduğunda ve çift komutlu devirler gerçekleştiğinde geleneksel birim yük otomatik depolama/boşaltma sistemlerinde sıralı alım ile verimliliğin düzeltilmesini ele almışlardır. Referans sıralama kuralı olarak ilk önce gelmiş olmak düşünülürse iyileştirme için potansiyel tanımlanır. Alternatif olarak "en yakın komşu" sıralama kuralı önerilmiştir. Beklenen performans için analitik bir model geliştirilmiş ve değerlendirme için Monte

Carlo simülasyonu kullanılmıştır. Buna ek olarak, çift komut devri sürelerinin alt sınırı geliştirilmiş ve iki sezgisel sıralama kurallarının dinamik davranışı tartışılmıştır.

Goetschalckx ve Ratliff (1990)'e, göre bir depo atama politikası, ihtiyaç duyulan ortalama ulaşım zamanını minimize etmede optimal konumları bulmak için farklı ürünlerin birim yüklerinin depoda nereye konumlandırılacağını belirleyen bir kurallar dizisidir. Depolama politikaları, sisteme getirilen çeşitli kısıtlamaları yerine getirirken bir birim yük depolamak ve boşaltmak için bir konum atar. Goetschalckx ve Ratliff (1990), çalışmalarında özel (dedicated), paylaşımlı (shared) ve kalış süresi (Duration of stay) olmak üzere 3 depolama politikası kullanmışlardır.

Hackman (1990)'ne göre, dağıtım merkezlerinin daha sonra otomatik depolama/boşaltma sistemlerine hangi ürünlerin atanacağına ve ne miktarda depolanacağına karar vermelidir. Hackman (1990), bu problemi modellemiş çözümü için sezgisel bir yöntem geliştirmişlerdir. Önerdikleri yöntemi, deniz ulaştırma merkezi tarafından toplanan verilere göre test etmişlerdir.

Tang ve Chew (1997), yüksek hacimli siparişleri işleyen küçük bölgelerin manuel sipariş toplama sisteminde gruplama(batching) ve ürün atama(storage assignment) stratejilerini araştırmışlardır. Siparişlerin gelişi bir Poisson sürecini takip ettiği ve bir siparişteki ürünlerin miktarı bağımsız ve eşit olarak negatif binom varyasyonlarına dağıtıldığı varsayılmıştır. Sipariş toplama sistemi iki aşamalı kuyruk sistemiyle modellenmiştir. Bir grup siparişin döngü süresinin ortalama ve varyansına (toplam hizmet süresi) ilişkin sınırlar ve yaklaşık tahminler çıkartılmıştır. Sonuçların kalitesi simülasyon yoluyla değerlendirilmiştir.

Malmberg ve Altassan (1998), birim yük depolama sistemlerinden daha azını incelemiş ve ürünleri yerleştirmek için COI kullanarak özel depolama ve en yakın açık konumu kullanarak rassal depolama politikalarını karşılaştırmak için modeller geliştirmişlerdir. Bu depolama politikaları, toplam ürün alan ihtiyacı, sipariş toplama döngü süresi ve sistem yanıt verme oranlarına göre karşılaştırılmıştır. Rassal depolama politikası, özel depolama politikasının %100'lük alan kullanımıyla karşılaştırıldığında yalnızca %65'lik bir alan kullanımına sahip olabilmıştır. Ancak, rassal depolamanın kullanılabilir alanın daha yüksek yüzdesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Çünkü, alanı doldurmak için ürün yoksa,

özel(dedicated) alanlar boş bırakılmıştır. Bu çalışmada, simülasyon tabanlı model kullanılmıştır.

Zeng (2002), müşteri siparişlerini karşılamada harcanan süreyi azaltmak amacıyla farklı alternatifler göstermek için kısa ve uzun vadeli bir planı incelemiştir. Kısa vadeli plan için faaliyet temelli depolama politikasını kullanmışlardır. Bir vaka analizinde endüstriyel bir distribütör problemi, ABC analizine dayanan hızlı hareket eden kalemlerin belirlenmesiyle ele alınmıştır. Bu, şirketin ürünleri uygun yerlerde stoklamasına ve stokları gruplar halinde ayırarak kullanılmasında (1-parça sayılarının yüzdesi, 2- stok değerlerinin yüzdesi: Bu değerler periyot başına talep miktarı ve birim başına maliyet tarafından belirlendi) yardımcı olmuştur. Zeng (2002), endüstriyel distribütörün kısa vadeli hedefini ve deponun özel ihtiyaçlarını ele almak için faaliyet temelli bir depolama politikasının en uygun seçim olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışma, hangi depolama politikalarının kullanıldığı konusunda bir projenin zaman çerçevesinin nasıl belirleyici bir faktör olduğunu kanıtlamıştır.

Petersen (2002), rastgele ya da hacim tabanlı depolama politikası kullanarak stokta tutma birimlerinin (SKUs) depo konumlarına atandığı yerlere sipariş toplayıcıların mesafelerini ölçmek amacıyla bir depo rafı simülasyonu ile toplama bölgelerinin konfigürasyonunu veya biçimini incelemiştir. Sonuç olarak, bölgenin depolama kapasitesi veya hacmi, toplama listesindeki ürünlerin sayısı ve depolama politikasının toplama bölgesi konfigürasyonu üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

Petersen ve Aase (2004), bir depo ortamında hacim temelli, sınıf temelli ve durgun rassal politikaları bir arada inceleyerek bu politikaları kıyaslayan bir simülasyon yöntemi geliştirmişlerdir. Sınıf temelli ve hacim temelli ürün atama politikalarının gözle görülür bir biçimde rassal ürün atama politikasından daha düşük sayıda sipariş toplayıcısına ihtiyaç duyduğunu, rassal ürün atama politikasının da depolama alanlarını genellikle eşit şekilde kullandığını ve işçi tıkanıklığını düşürdüğünü ortaya çıkarmışlardır. Önerdikleri yöntem, farklı politika kullanmanın avantaj ve dezavantajlarını tespit etmekle beraber sipariş toplama alanı değiştiğinde uygulanabilecek en iyi politikayı bulmaktadır.

Heragu (2005), depo ile ilgili işlevleri yerine getirmek için depolar; yedek depolama alanı, ileri (sipariş harmanlama) alanı ve çapraz yerleştirme gibi çeşitli işlevsel alanlara

ayrılmıştır. Çalışmalarında, bir depo yöneticisine kolaylıkla erişilebilen verileri kullanarak her bir alanın büyüklüğünün yanı sıra depodaki fonksiyonel alanlara ürün tahsisini birlikte belirleyen bir matematiksel model ve sezgisel bir algoritma önermişlerdir.

Hsieh ve Tsai (2006)'a göre; uygun rotalama planlaması, genel sipariş toplama maliyetini en aza indirebilir ve sonuçta, birim zamanda performans artırma hedefine ulaşılabilir. bir sipariş toplama sisteminde ürün atama politikası, koridor içi sipariş toplama frekansı, sipariş toplayıcının rotası ve çapraz olan koridor sayısı-biçimi gibi etmenlerin sistem performansına olan etkileri araştırmışlardır. Amaç, sipariş toplama verimliliğini arttırmak için toplam ulaşım mesafesini azaltılmaktır. Problem çözümü için bir simülasyon yöntemi geliştirmişlerdir.

De Koster (2007), el ile yapılan sipariş toplama prosesinin tasarımı ve denetlenmesinde karar problemleri üzerine literatür çalışması yapmışlardır. Literatür araştırmasında tanımladıkları ürün atama politikaları şöyledir: Sınıf politika, sabit politika, döngü temelli politika, paylaşımlı politika ve rassal politika.

Pan ve Wu (2009), e-ticaretin ve zamana dayalı rekabetin artması nedeniyle giderek önemli bir rol oynayan topla-geç depo sistemini ele almışlardır. Çalışmalarında, topla-geç sistemi için; sipariş toplama hattı boyunca toplayıcının beklenen ulaşım mesafesini analiz etmek amacıyla bir sipariş toplayıcının işlemlerini Markov zinciri gibi tanımlayarak analitik yeni bir model geliştirmişlerdir.

Xiao ve Zheng (2012), üretim hattında malzeme/parça toplarken bölge gidiş-gelişlerini minimize etmek için talep bağımlılıklarıyla birlikte ürünleri depolayarak ilişkili bir depo ürün atama (storage location assignment) sistemi tasarlamayı amaçlamışlardır. Talep bağımlılıklarını ürünlerin malzeme listesi (BOMs) ve üretim oranlarından elde etmişlerdir. Bir BOM'daki çok sayıda malzemedan dolayı toplama kapasitesi kısıtlamasını da düşünerek, bir matematiksel model oluşturmuşlar ve farklı çaprazlama mekanizmalarıyla iki sezgisel ve iki hibrid genetik algoritmayı içeren sezgisel algoritma önermişlerdir.

Guerriero (2013), ürün sınıfları arasındaki uyumu ölçen çok evreli bir ambarda ürün atama problemini incelemiştir. Amaç, sipariş toplama mesafelerini ve stok maliyetlerini minimize etmek ve müşteri memnuniyetini en yükse seviyeye çıkarmaktır. Problem

çözümü için, doğrusal bir matematiksel model önermişlerdir. Aynı zamanda, önerdikleri modeli gerçek bir depoya uygulamışlardır. Model çözümünü tekrarlı yerel arama tabanlı sezgisel yöntemiyle yapmışlardır.

Xie (2014), Genetik Programlama ile gruplama kısıtlamaları altında Gerçek Ürün atama(Storage assignment) problemini çözmek için bir yöntem önermişlerdir. Problemi tanımlamak için tam sayılı programlama modelini kullanmışlardır. Önerdikleri GP yöntemiyle, ürünlerin bir alt kümesini art arda seçip ve depodaki rafların mevcut en iyi konumuna tüm ürünler atanana kadar yerleştiren bir çözüm sunmuşlardır.

Silva (2015), önerdikleri çok kriterli bir karar modeliyle (SMARTER-Lexicographic bütünleşik yaklaşımı) ürünleri sıralayarak depo konumlarına atama yapmışlardır. Ürünlerin sıralanmasında ele alınan kriterler; ürün hacimlerini ve taleplerini dikkate almışlardır.

Zhang (2019), ürün atama problemi için ürün ilişkilerini tanımlayan talebe dayalı korelasyon analizi yöntemini önermişlerdir. Önerdikleri yöntemin, ikili korelasyon analizinden daha etkin olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Talebe dayalı korelasyon analizine bağlı matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Bu modelin çözümü için sezgisel bir yöntem kullanmışlardır.

### **3.4. Üretim Planlama Veya Stok Modelini Dikkate Alan Ürün Atama Problemi**

Wilson (1977), sipariş toplama maliyetlerini ve stok maliyetlerini en aza indirmek amacıyla, ürünlerin yeniden sipariş miktarını ve depo yerlerini matematiksel bir modelde bir araya getiren ilk akademik çalışmayı yapmıştır. Çalışmanın amacı, sipariş miktarlarını dikkate alarak siparişleri toplamak ve onları nakliye alanına taşımak için gerekli olan işçilik saatlerini en aza indirmektir. Wilson (1977), taşıma maliyetlerinin yanı sıra üretim, stok ve hazırlık maliyetlerini de göz önünde bulundurmanın önemine vurgu yapmıştır.

Daellenbach (1977), stok planlama ve bir yenileme politikasını dikkate alan ürün atama problemine odaklanmıştır. Ele aldığı problem, ürünlerin konumlardan daha fazla olduğu sistemlerde optimal atamanın bulunmasıdır. Çalışmanın amacı, üretim hazırlık maliyetleri,

stok maliyetleri, alan maliyetleri ve taşıma maliyetlerinden oluşan toplam maliyeti minimize etmektir.

Hodgson ve Lowe (1982) bütünleşik ürün atama ve yeniden sipariş miktarı problemini ele almışlardır. Çok sayıda ürünü olan problemleri, az miktarda hesaplama süresi içinde çözme yeteneğinden yararlanmak için, atama problemine sürekli bir yerleşim problemi olarak davranmışlardır. Yerel olarak en uygun çözümü bulmak için bir algoritma kullanılmıştır.

Malmberg ve Deutsch (1988), bir depo yerleşimi için stok ve sipariş toplama maliyetleri arasındaki ilişkiyi yakalayan bir maliyet modeli formüle etmişlerdir. Model, depolama konumlarından giriş-çıkış noktalarına olan taşıma maliyetleri ile stok maliyetlerinden oluşmaktadır. Malmberg ve Deutsch (1988), COI politikasını önermiş oldukları model içerisinde değil, modelin çözümü için geliştirmiş oldukları sezgisel yaklaşımda kullanmışlardır. Ayrıca, modeli tüm depo yerine bireysel palet konumlarının kapasitesi ile sınırlandırmışlardır.

Malmberg (1996), sipariş toplama maliyetlerine dayanarak alternatif depolama politikalarını değerlendirmek için başarıyla uygulanan bir model geliştirmiştir. Ancak, geliştirdiği modelde genellikle toplama alanındaki ürünler için sabit yenileme seviyeleri varsaymıştır. Modelde, ürün stok politikaları, toplam alan tahsisi ve depolama konumu ile ilgili maliyet ilişkilerini tanımlamıştır. Ayrıca, bir dağıtım sisteminde ürünlerin ekonomik parti büyüklüğündeki kalemlerde temin edildiğini, dağıtım noktasında depolandığını ve talebe bağlı olarak birim miktarlarda dağıtıldığını varsaymıştır. Önermiş olduğu model statik olmakla birlikte hazırlık maliyetlerini ve üretim ile ilgili kısıtları dikkate almamıştır.

Kültürel (1999), sürekli gözden geçirmeli stok kontrol modeli (Q, r) ile ürün atama problemini kombine etmişlerdir. Ürün atama için döngü ve kalış süresi politikasını kullanmışlardır. Yazarlar, (Q, r) stok politikasını kullanmanın, bireysel sipariş miktarları arasındaki farklılıkların göz ardı edildiği durumlarda bile rastgele sipariş miktarlarının kullanılmasından daha avantajlı olduğunu belirtmişlerdir. Stok politikasının yanı sıra her bir politikanın etkinliğini belirlemek için faktör ve performans ölçütünün olduğu bir model değerlendirmesi yapmışlardır. Değerlendirme işlemi için simülasyon çalışması yapmışlardır.

Hassini (2008), ürün sayısının depolama alan sayısından daha az olduğu durumlara odaklanarak depolama alanı tahsisini ve yeniden doldurma zamanlarını incelemiştir. Çalışmasında, zaman kısıtlı bir ortamda depolama alanı tahsis etmek için deterministik ve stokastik modeller sunmuştur. Kullanılan yenileme politikası, mevcut alanı ve bu alana sığabilecek ürün miktarını inceleyen bir politikadır. Bu politikada yenileme, ürün stoğu tükenir tükenmez gerçekleşmektedir. Önerilen modelin amacı yenileme nedeniyle sistem kesintilerini en aza indirmek ve yenileme süresini en üst seviyeye çıkarmak olduğunda etkili olduğunu kanıtlamıştır. Elde etmiş olduğu sonuçlar, bir ürüne atanan alan oranının, talep sıklığına eşit olmadığını göstermiştir.

Turner (2009); depo ürün atama (çok dönemli) problemi ile üretim planlama problemini bir arada değerlendiren karışık tam sayılı doğrusal bir matematiksel model önermiştir. Ele aldığı üretim planlama, dinamik çok ürünlü kısıtlandırılmış parti büyüklüğü problemidir. Önerdiği model, bir üründen ne kadar ve ne zaman üretileceğini ve ardından depo içerisinde hangi konumlara atanacağını teşhis eder. Bununla birlikte, yapmış olduğu literatür araştırmasında en yaygın kullanılan politikaların; sabit, döngü temelli, sınıf temelli, rassal, paylaşımlı, hacim temelli, kalış süresi ve aktivite temelli politikalar olduğunu ifade etmiştir. Turner (2009)'un bu çalışması, Kanada Windsor Üniversitesi'nde yapılmış bir yüksek lisans tez çalışmasıdır. Bu yüksek lisans tezinden, Zhang (2017) SCI bir makale yayınlamışlardır.

Zhang (2017), depo ürün atama problemi ile literatürde yaygın olarak kullanılan kısıtlandırılmış parti büyüklüğü problemini birlikte ele alan bütünleşik bir strateji önermişlerdir. Bunun için, üretim ve depo operasyonlarının toplam maliyetini en aza indirmek amacıyla çok ürünlü kısıtlandırılmış parti büyüklüğü problemi ile dinamik ürün atama problemini birleştiren karışık tam sayılı doğrusal bir programlama modeli geliştirmişlerdir. Bu model, bir üretim deposu üzerinde odaklanmış ve ulaşım atama/geri alma, alan tasarrufu, üretim, stoklama ve kurulum maliyetlerini minimize etmek için depolama konumlarına ürün atayan bir problemdir. Problemin çözümü için büyük çaplı gerçek verilerle problemi çözmek için önermiş oldukları Lagrangian Gevşetme ve sezgisel yaklaşım kullanmışlardır.

### 3.4.1. Referans üretim planlama ve ürün atama modeli

Zhang (2017)'nin önermiş oldukları bütünleşik ürün atama ve üretim planlama modelinde ürün atama politikası olarak sabit politikayı kullanmışlardır. Bununla birlikte, ele aldıkları problem ve önermiş oldukları model için sınıf temelli depolama politikasının en iyi seçenek olduğunu ancak modelin amacı ve basitliği için özel (sabit) bir ürün atama politikasının uygulandığını belirtmişlerdir. Doktora tez çalışmasında ise Zhang (2017)'nin önermiş oldukları modele sabit politika yerine sınıf temelli politika uygulanarak yeni bir model geliştirilmiştir. Zhang (2017)'nin önerdikleri çok ürünlü kısıtlandırılmış parti büyüklüğü belirleme ve dinamik ürün atama modeli şöyledir:

Notasyon:

İndis:

$i$  : Ürün (Modelin tanımı, değerlendirilmesi ve çözüm aşamasında “ürün” olarak ifade edilmiştir.

$t$  : Dönem

$l$  : Konum

Değişken:

$x_{it}$  :  $t$  periyodu boyunca üretilen  $i$  ürünü miktarı. Bu parametre her ürünün üretim miktarını belirtir. Bu değer, üründen ürüne ve farklı periyotlarda değişir.

$s_{it}$  :  $t$  periyodu sonunda  $i$  ürün için stok seviyesi

$y_{it}$  :  $t$  periyodu boyunca  $i$  ürünü üretilmişse 1, değilse 0.

$w_{ilt}$  :  $t$  periyodu boyunca  $i$  ürünü üretim alanından atandığı  $l$  konumuna taşınmışsa 1, değilse 0.

$q_{ilt}$  :  $t$  periyodu boyunca  $i$  ürününe  $l$  konumundan talep edilmişse 1, değilse 0.

$n_{ilt}$  :  $t$  periyodu boyunca  $i$  ürünü  $l$  konumunda stoklanmışsa 1, değilse 0.

$z_{il}$  : planlama ufku için  $i$  ürünü  $l$  konumuna atanmışsa 1, değilse 0.

Parametre:

$Z$  : Amaç fonksiyonu değeri (\$).

$R_l$  :  $l$  depolama konumu birim alan maliyeti



$O_l$  :  $l$  depolama konumundan çıkış noktasına herhangi bir ürünün bir sütunluk birim taşıma maliyeti.

$P_l$  : Üretim alanından  $l$  depolama konumuna herhangi bir ürünün bir sütunluk birim taşıma maliyeti.

$h_{it}$  :  $t$  periyodunda  $i$  ürünü için birim stok maliyeti.

$c_{it}$  :  $t$  periyodunda  $i$  ürünü için değişken birim üretim maliyeti.

$u_{it}$  :  $t$  periyodunda  $i$  ürünü için birim hazırlık maliyeti.

$d_{it}$  :  $t$  periyodunda  $i$  ürünü için talep miktarı. Bu parametre, üründen ürüne ve periyottan periyoda değişir.

$v_{it}$  :  $t$  periyodunda  $i$  ürününün değişken kapasitesi.

$f_i$  : Üretimle ilgili önemli bir kaynak kısıtı.

$M$  : Üretimde herhangi bir önemli kısıtlayıcı faktör için skaler değer.

Amaç fonksiyonu:

$$Z_{\min} = \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L R^l z^{il} + \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^T P^l w_t^{il} + \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^T O^l q_t^{il} + \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T (c_t^i x_t^i + u_t^i y_t^i + h_t^i s_t^i) \quad (3.9)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^I z^{il} \leq 1, \quad \forall l \quad (3.10)$$

$$\sum_{i=1}^I q_t^{il} \leq 1, \quad \forall lt, \quad (3.11)$$

$$\sum_{i=1}^I w_t^{il} \leq 1, \quad \forall lt \quad (3.12)$$

$$\sum_{i=1}^I n_t^{il} \leq 1, \quad \forall lt \quad (3.13)$$

$$\sum_{l=1}^L q_t^{il} \leq d_t^i, \quad \forall it \quad (3.14)$$

$$\sum_{l=1}^L w_t^{il} \leq x_t^i, \quad \forall it \quad (3.15)$$

$$\sum_{l=1}^L n_t^{il} \leq s_t^i, \quad \forall it \quad (3.16)$$

$$q_t^{il} \leq w_t^{il} + n_{t-1}^{il}, \quad \forall ilt \quad (3.17)$$

$$w_t^{il} + n_{t-1}^{il} \leq z^{il}, \quad \forall ilt \quad (3.18)$$

$$n_t^{il} = w_t^{il} - q_t^{il} + n_{t-1}^{il}, \quad \forall ilt \quad (3.19)$$

$$q_t^{il} \leq z^{il}, \quad \forall ilt \quad (3.20)$$

$$w_t^{il} \leq z^{il}, \quad \forall ilt \quad (3.21)$$

$$n_t^{il} \leq z^{il}, \quad \forall ilt \quad (3.22)$$

$$\sum_i^I \sum_l^L w_t^{il} \cdot v_t^i \leq f_t, \quad \forall t \quad (3.23)$$

$$\sum_{l=1}^L w_t^{il} \leq y_t^i \cdot M, \quad \forall it \quad (3.24)$$

$$q_t^{il}, z^{il}, w_t^{il}, n_t^{il}, y_t^i \in \{0,1\}, \quad \forall ilt \quad (3.25)$$

Modelde amaç fonksiyonu (3.9); dört maliyet kaleminden oluşmaktadır. İlki sabit politika kapsamında ürünler için yer ayırmanın maliyetidir. İkincisi ürünlerin üretim alanından atanmış depolama konumlarına taşıma maliyetidir. Üçüncüsü, depolama konumlarından çıkış noktasına kadar ürünlerin ulaşım maliyetidir (bu belirli bir zaman aralığında bir ürün talep edildiğinde gerçekleşir). Dördüncü maliyet kalemi ise, üretim planlaması, üretim maliyeti, hazırlık ve stok tutma ile ilişkili tüm maliyetlerdir. Amaç, bu dört maliyet toplamını minimize etmek için ürünleri en iyi yerlerde üretmek ve yerleştirmektir. Kısıt (3.10), bir konuma atanabilecek ürün sayısının en fazla bir olabileceğini, kısıt (3.11), belirli bir süre boyunca depolama konumu başına yalnızca bir ürün talep edilebileceğini, kısıt (3.12), tek bir depolama konumuna yerleştirilecek ürünlerin sayısının bir ile sınırlandırılabilirliğini, kısıt (3.13), depolama konumu başına yalnızca bir ürünün stoklanabileceğini, kısıt (3.14),  $t$  döneminde depolardan talep edilen ürün sayısının  $t$  döneminde o ürünün talebine eşit olduğunu, kısıt (3.15), bir dönemde üretim alanından depoya taşınan ürün sayısının o dönemde üretilen ile aynı olmasını, kısıt (3.16), tüm

konumlarda  $t$  zaman periyodunun sonunda kalan ürünler ile  $t$  zaman periyodunun sonundaki stok seviyesinin eşit olduğunu, kısıt (3.17); ürünlerin yalnızca daha önce yerleştirildikleri ya da stoklandıkları depolama konumlarından alınabileceğini, kısıt (3.18), bir ürünün bir önceki dönemde stoklandığı konum boş değilse o konuma atanamayacağını, kısıt (3.19), bir ürünün üretim alanından bir depolama konumuna ve depolama konumundan çıkış noktasına olan akışı dengelemeyi, kısıt (3.20), ürünlerin yalnızca kendileri için ayrılan konumlarından alınabileceğini, kısıt (3.21), ürünlerin yalnızca kendileri için ayrılan yerlere yerleştirilebileceğini, kısıt (3.22), ürünlerin yalnızca kendileri için ayrılan yerlerde stoklanabileceğini, kısıt (3.23), üretim kapasite sınırını, kısıt (3.24), hazırlık kısıtını ifade eder. Bu kısıt ile her bir dönem için üretim sınırlandırılmış olur. “ $M$ ” üretim kapasitesi ve ürün talebi cinsinden belirlenen çok büyük bir sayıdır. Kısıt (3.25), 0-1 tam sayı ve değişken kısıtını ifade eder.

### 3.5. Önerilen Modelin Literatüre Katkısı

Ürün atama problemleri ile ilgili literatür çalışmaları incelendiğinde, problem çözümü için kullanılan yöntemler tipik olarak; sipariş miktarı, sipariş sıklığı ve talepler arası ilişki ile ilgilidir. Bu çalışmalarda, ürünler depo içinde konumlandırılırken alan, mesafe, süre, sipariş toplama çabası ve bunlardan doğan maliyetler olmak üzere 5 temel kriterin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Bunu yaparken de, ağırlıklı olarak depolama politikasına göre oluşturulan modelleme ve simülasyona dayalı çözüm teknikleri geliştirilmiştir.

Bütünleşik modelin olduğu çalışmalar incelendiğinde ürün atama ile birlikte stok veya üretim planlama modellerinin bir bütün olarak değerlendirildiği tespit edilmiştir. Bu çalışmalar içerisinde, bütünleşik çok ürünlü kapasiteli parti büyüklüğü ve ürün atama modelini öneren Zhang (2017)’nin çalışması diğer çalışmalar içerisinde en önemlisidir. Bunun sebebi, ürün atama problemini üretim planını dikkate alarak modelleyen tek çalışma olmasıdır.

Doktora tez çalışmasında, sipariş toplama sistemlerinde üretim planlamanın da olduğu ürün atama probleminin literatürde daha önce beraberce değerlendirilmemiş sınıf temelli sipariş toplama politikası ile modellenmesi önerilmiştir. Yapılan literatür taramasında üretim planını dikkate alan sınıf temelli ürün atama ile ilgili çalışma bilginiz dahilinde mevcut değildir. Önerilen model, üretim planlamanın da olduğu sipariş toplama

sistemlerinde ürünleri sınıflandırarak depo alan maliyetlerinde tasarrufu sağlaması açısından literatüre katkı sunmuştur.

Önerilen ürün atama yaklaşımı ile ilgili ikinci önemli nokta, ürün atamada birden fazla kriterin önemli olduğu sipariş toplama sistemlerinde ürünlerin çoklu kriterlere göre değerlendirilerek, sınıflandırma için bir öncelik kısıtının önerilen modelde kullanılmasıdır. Ürünlerin çoklu kriterlere göre değerlendirilmesine olanak sağlayan ÇÖKV yöntemlerinden TOPSİS yöntemi kullanılmıştır. Literatürde, birden çok kriterlere göre ürün ataması ile ilgili iki çalışma (Silva, 2015; Fontana ve Nepomuceno, 2017) vardır. Fakat bu çalışmalar üretim planını dikkate almadıkları gibi kullandıkları yöntemler (ELECTRE, SMARTER) itibariyle önerilen ürün atama yaklaşımından farklıdırlar. Bununla birlikte, Silva (2015) ve Fontana ve Nepomuceno (2017) matematiksel model kullanmadan direkt olarak ele aldıkları ÇÖKV yöntemine (ELECTRE, SMARTER) göre ürün ataması yapmışlardır.

Önerilen ürün atama yaklaşımı ile ilgili üçüncü önemli nokta ise sınıf oluşturma için literatürde sıkça kullanılan maliyet, talep, alan, döngü oranı, COI gibi bir veya iki ölçütün dikkate alındığı yaklaşımların yanı sıra çoklu kriterin önemli olduğu sipariş toplama sistemlerinde varlığı söz konusu olduğunda karar vericiye yol gösterecek ve çözüm üretecek bir karar destek sistemi akışı önerilmesidir.

Literatürde önerilen yaklaşım ile ilgili en kritik husus; gerçek sistemlerde ürünlerin, farklılaşan özelliklerine göre birden çok kriteri dikkate alarak depo alanlarına atanmasında, sipariş toplama ve depo alanını verimli kullanma açısından, sistemin etkinliğini arttıracak pek çok fayda söz konusu olacaktır. Bu nedenle, önerilen modelde kullanılan sınıf-temelli politika, birden çok kriteri dikkate alarak ürünlerin sınıflandırılmasını ve bu sınıfların depo konumlarına atanmasını hedeflemesi sebebiyle, diğer politikaların içerisinde özel öneme sahiptir. Ele alınan problem ile ilgili literatür çalışmasının özeti EK-1'de verilmiştir.



## 4. ÖNERİLEN BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLANLAMA VE SINIF TEMELLİ ÜRÜN ATAMA MODELİ

### 4.1. Problemin Tanımı

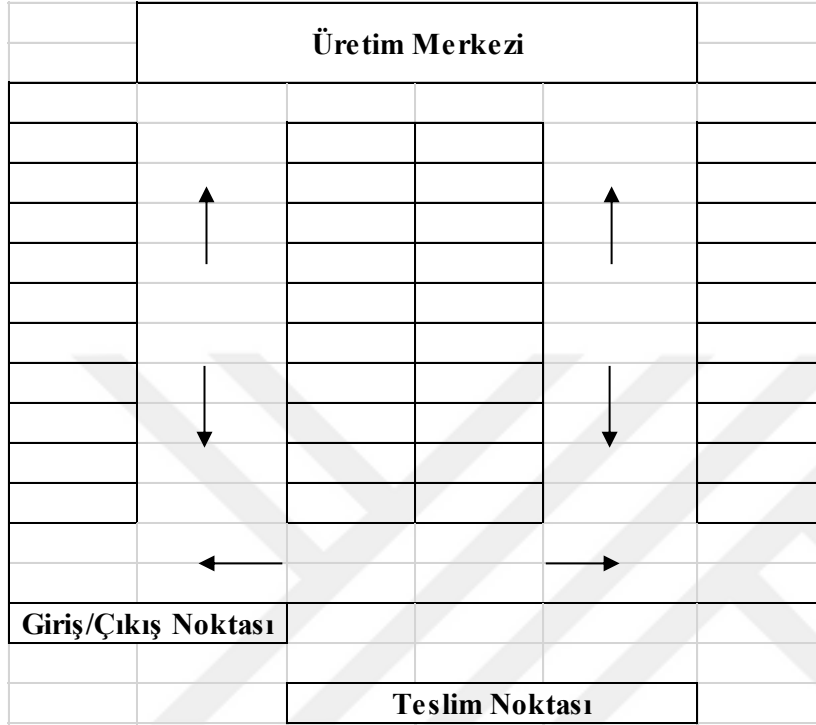
Doktora tez çalışmasında hedeflenen bilime katkı, sipariş toplama sistemlerinde üretim planlamanın da olduğu ürün atama probleminin literatürde daha önce beraberce değerlendirilmemiş sınıf temelli sipariş toplama politikası ile modellenmesidir. Bunun için, depo yönetimi içerisinde sipariş toplama sistemlerinin işleyişinde etkili “ürünlerin depo alanlarına atanması ve kısıtlandırılmış parti büyüklüğünü içeren bütünleşik problem için sınıf temelli yeni bir matematiksel model önerilmiştir. Önerilen model, Zhang (2017)’nin önermiş oldukları çok ürünlü kısıtlandırılmış parti büyüklüğü ve ürün atama modeli geliştirilerek ürünlerin sınıflar halinde gruplandırılmasını ve bu grupların depo yerlerine atanmasını içeren bir karışık tamsayılı doğrusal olmayan (MINLP) bir modeldir. Modelin, Zhang (2017)’nin önermiş oldukları modelden en büyük farkı, ürünlerin sabit ürün atama politikasına uygun olarak birebir atama-taşıması yerine gruplar halinde atama-taşıma yapmasıdır.

Önerilen model, üretim deposundaki düzene odaklanarak taşıma, depolama ve üretim işlemlerini ele almıştır. Üretim merkezinde üretilen ürünler depoya taşınarak en uygun yerlere sınıflar halinde konumlandırılacak ve daha sonra müşterilere teslimat için çıkış noktasına gönderilecektir. Amaç, taşıma, alan, üretim, stoklama ve hazırlık maliyetlerini en aza indirmek için ürünlerin sınıflar halinde en uygun depo konumlarına atanmasıdır.

Probleme ait depodaki ürün akış süreci şöyledir:

- Ürünler, tesis alanlarında üretilir.
- Ürünler, üretim alanından toplanarak konveyörler tarafından otomatik paletleyicilere gönderilir ve paletlere yerleştirilir.
- Ürünler daha sonra bu paletlerden forklift aracı kullanılarak toplanır ve depo konumlarına yerleştirilir (Ürünlerin 3 paletten oluşan istiflenmiş sütunlara taşınacağı varsayılmıştır).
- Bu depo konumlarından ürünleri giriş-çıkış (I/O) noktasına taşımak için bir forklift aracı kullanılır.

Problem için örnek bir depo yerleşimi Şekil 4.1’de verilmiştir. Örnekte ele alınan depo sistemi; üretim merkezi, müşteriye teslim noktası, paletli raflar ve giriş-çıkış (I/O) kapısından oluşmaktadır.



Şekil 4.1. Probleme ait örnek bir depo yapısı

Ürünlerin, üretim alanından depo konumlarına ve depo konumlarından çıkış noktalarına taşınması ile ilgili taşıma maliyetleri operatör hareketine göre belirlenmiştir. Tek giriş-çıkış noktasına sahip depolarda iki ayrı noktaya yapılan taşımanın maliyeti mesafe farklılığından dolayı aynı değildir.

Problemin varsayımları şöyledir:

- Tüm ürünler palet olarak taşınmış ve depolanmıştır.
- Tek kritere göre sınıf oluşturan modelde paletler aynı boyut ve ağırlıkta olup taşıma maliyetleri üzerinde herhangi bir etkisi yoktur.
- Çoklu kritere göre sınıf oluşturan modelde paletler farklı boyut ve ağırlıkta olup taşıma maliyetleri üzerinde herhangi bir etkisi yoktur
- Ayırık sayıda depolama yerleri kullanılmıştır.
- Ürünler, üretim merkezinden depolama yerlerine ve depolama yerlerinden teslim noktasına tek komutlu forklift kullanılarak taşınmıştır.

- Ürünlerin geldiği bir üretim alanı ve bir çıkış noktası vardır.
- Ürünlerin yerleştirilmesi ve alınmasıyla ilgili maliyetler, kat edilen mesafe ile doğrudan orantılıdır.
- Talep miktarları bilinmekte olup yok satmaya izin verilmemektedir.
- Hazırlık maliyetleri, operatörün bir ürünün üretimi için tesis içerisinde harcadığı zaman ile doğru orantılıdır.

#### 4.2. Tekli Kritere Göre Sınıf Oluşturan Matematiksel Model (Temel Model)

Bütünleşik üretim planlama ve tekli kritere göre sınıf oluşturan ürün atama modeli sınıf oluşturmak için herhangi bir önceliklendirme kısıtının olmadığı ve yalnızca sipariş toplamada alan maliyetine göre karar verildiği depo sistemleri için geçerli olan bir temel modeldir. Bu tarz depo sistemlerinde, ürün sınıfları oluşturulurken  $t$  dönemindeki üretim ve  $t+1$  dönemindeki talep miktarları en önemli faktörlerdir. Bu faktörlere göre aynı sınıftaki ürünler sonraki dönemlerde birbirleri yerine ne kadar çok kullanılırlarsa o kadar alan tasarrufu sağlanır. Bu yüzden, tekli kritere göre sınıf oluşturan modelde ürün sınıfları yalnızca toplam alan ve taşıma maliyetini minimize eden atamalara göre oluşur. Ayrıca, model çözümü sonucunda oluşturulacak sınıf sayıları en fazla ürün sayısı kadar olabilmektedir.

Referans alınan Zhang (2017)'nin önerdikleri modelde her ürün için atanan konum sabit olduğundan o konum boşaldığında farklı bir ürün için kullanılamamaktadır. Bu bölümde önerilen bütünleşik üretim planlama ve tekli kritere göre sınıf oluşturan ürün atama modeli ise bu sorunu ortadan kaldırıp alan operasyonel depo maliyetlerinde tasarruf için imkân sunmuştur. Zhang (2017)'nin önerdikleri model, önerilen temel modelin çözüm sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Önerilen bütünleşik üretim planlama ve tekli kritere göre sınıf oluşturan ürün atama modeli aşağıda anlatılmaktadır:

Notasyonlar:

İndis Kümesi:



$i$  : ürün

$c$ : sınıf

$t$  : dönem

$l$  : konum

Değişkenler:

$x_{it}$  :  $t$  dönemi boyunca üretilen  $i$  ürünü miktarı. Bu parametre her ürünün üretim miktarını belirtir. Bu değer, üründen ürüne ve farklı periyotlarda değişir.

$s_{it}$  :  $t$  dönemi sonunda  $i$  ürün için stok seviyesi.

$y_{it}$  :  $t$  dönemi boyunca  $i$  ürünü üretilmişse 1, değilse 0.

$q_{ic}$  :  $i$  ürünü  $c$  sınıfına atanmışsa 1, değilse 0.

$z_{lc}$  : planlama ufku için  $c$  sınıfı  $l$  konumuna atanmışsa 1, değilse 0.

Parametreler:

$Z$  : Amaç fonksiyonu değeri (\$).

$R_l$  :  $l$  depolama konumu birim alan maliyeti

$O_l$  :  $l$  depolama konumundan çıkış noktasına herhangi bir ürünün bir sütunluk birim taşıma maliyeti.

$P_l$  : Üretim alanından  $l$  depolama konumuna herhangi bir ürünün bir sütunluk birim taşıma maliyeti.

$h_{it}$  :  $t$  periyodunda  $i$  ürünü için birim stok maliyeti.

$c_{it}$  :  $t$  periyodunda  $i$  ürünü için değişken birim üretim maliyeti.

$u_{it}$  :  $t$  periyodunda  $i$  ürünü için birim hazırlık maliyeti.

$d_{it}$  :  $t$  periyodunda  $i$  ürünü için talep miktarı.

$v_{it}$  :  $t$  periyodunda  $i$  ürününün değişken süre kapasitesi.

$f_t$  : Üretimle ilgili önemli bir kaynak kısıtı (Üretim merkezi hazırlık zamanı kapasitesi).

$M$  : Üretimde herhangi bir önemli kısıtlayıcı faktör için skaler bir değer.

Amaç fonksiyonu:

$$Z_{\min} = \sum_c \sum_l R_l \cdot z_{lc} + \sum_c \sum_t \left( \frac{\sum_l P_l \cdot z_{lc}}{\sum_l z_{lc}} \right) \cdot \sum_i x_{it} \cdot q_{ic} + \sum_c \sum_t \left( \frac{\sum_l O_l \cdot z_{lc}}{\sum_l z_{lc}} \right) \cdot \sum_i d_{it} \cdot q_{ic} + \sum_i \sum_t (c_{it} \cdot x_{it} + u_{it} \cdot y_{it} + h_{it} \cdot s_{it}) \quad (4.1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_c z_{lc} \leq 1 \quad \forall l, \quad (4.2)$$

$$\sum_c q_{ic} = 1 \quad \forall it, \quad (4.3)$$

$$d_{it} \leq x_{it} + s_{it-1} \quad \forall it, \quad (4.4)$$

$$s_{it} = x_{it} - d_{it} + s_{it-1} \quad \forall it, \quad (4.5)$$

$$\sum_i (x_{it} + s_{it-1}) \cdot q_{ic} \leq \sum_l z_{lc} \quad \forall ct, \quad (4.6)$$

$$x_{it} \leq y_{it} \cdot M \quad \forall it, \quad (4.7)$$

$$\sum_i x_{it} \cdot v_{it} \leq f_t \quad \forall t, \quad (4.8)$$

$$z_{lc} \in \{0,1\} \quad \forall lc, \quad (4.9)$$

$$q_{ic} \in \{0,1\} \quad \forall ic, \quad (4.10)$$

$$x_{it} \geq 0 \quad \forall it, \quad (4.11)$$

$$s_{it} \geq 0 \quad \forall it, \quad (4.12)$$

$$y_{it} \geq 0 \quad \forall it, \quad (4.13)$$

Modelde amaç fonksiyonu (4.1); dört maliyet kaleminden oluşmaktadır. İlki, sınıf-temelli politika kapsamında ürün sınıfları için yer ayırmanın maliyetidir. İkincisi, sınıfların üretim alanından atanmış depolama konumlarına o sınıflara atanmış ürünlerin toplam üretim miktarları kadar ortalama taşıma maliyetidir. Üçüncüsü, sınıfların depolama konumlarından çıkış noktasına kadar o sınıflara atanmış ürünlerin toplam talep miktarları kadar ortalama ulaşım maliyetidir (bu belirli bir zaman aralığında bir ürün talep edildiğinde gerçekleşir). Dördüncü maliyet kalemi ise, üretim planlaması, üretim maliyeti, hazırlık ve stok tutma ile ilişkili tüm maliyetlerdir. Amaç, bu dört maliyet toplamını en aza indirmek için ürünleri en iyi yerlerde üretmek ve bu ürünleri sınıflar halinde

yerleştirmektedir. Kısıt (4.2), bir konuma atanabilecek sınıf sayısının en fazla bir olabileceğini, kısıt (4.3), her bir ürün sadece ve sadece bir sınıfa atanmasını, kısıt (4.4), belirli  $t$  dönemi boyunca bir ürünün üretim miktarı ile stok miktarı toplamının en az o ürünün talep miktarı kadar olabileceğini, kısıt (4.5), *stok denge kısıtını*, kısıt (4.6),  $c$  sınıfına ait ürünlerin üretim miktarı ile stok miktarı toplamının en fazla o sınıf için ayrılmış konum sayısı kadar olabileceğini, kısıt (4.7), hazırlık kısıtını ifade eder. Bu kısıt ile her bir dönem için üretim sınırlandırılmış olur. “ $M$ ” üretim kapasitesi ve ürün talebi cinsinden belirlenen çok büyük bir sayıdır. Kısıt (4.8), üretim kapasite sınırını, kısıt (4.9)-kısıt (4.10), 0-1 tam sayı ve değişken kısıtını, kısıt (4.11)-kısıt (4.12)-kısıt (4.13) ise pozitif değişken kısıtını ifade eder.

#### 4.2.1. Matematiksel modelin çözümü

Matematiksel modelleri çözmek için yaygın olarak yapılan uygulama, optimizasyon yazılımlarının kullanılmasıdır. Optimizasyon yazılımlarının belirli dilleri ve çeşitli modelleri çözmek için kullanılabilir farklı çözücüleridir. Doktora çalışması için önerilen bütünleşik üretim planlama ve sınıf-temelli ürün atama modelini çözmek için GAMS yazılımını MINLP ile BARON çözücüsü (solver) birleştirilerek kullanılmıştır. Programın verilerle çalıştırılması sırasında, önerilen bütünleşik modelin amaç fonksiyonunda, 2. ve 3.maliyet kaleminde, paydadaki değişkene  $+0,000000000001$  değeri eklenerek (4.14) “division by zero”(0/0) hata komutu giderilmiştir. Paydadaki toplam değer 0 olduğunda paydaki toplam değer de 0 olmaktadır ( $\sum_l z_{lc} = 0$ ). Dolayısıyla yapılan değişiklik optimal atamayı etkilememektedir.

$$\sum_c \sum_t \left( \left\{ \frac{\sum_l P_l \cdot z_{lc}}{\sum_l z_{lc} + 0.000000000001} \right\} \cdot \sum_i x_{it} \cdot q_{ic} \right) + \sum_c \sum_t \left( \left\{ \frac{\sum_l O_l \cdot z_{lc}}{\sum_l z_{lc} + 0.000000000001} \right\} \cdot \sum_i d_{it} \cdot q_{ic} \right) \quad (4.14)$$

Bu bölümde önerilen matematiksel modelin geçerliliğini ve çözülebilirliğini test etmek amacıyla GAMS/BARON optimizasyon yazılımını kullanılarak çözümleri yapılmıştır. Bunun için, Turner (2009)’a ait veri setleri ( $i$ -ürün,  $t$ -periyot,  $l$ -lokasyon,  $c$ -sınıf) kullanılmıştır. Turner (2009), veri setleri için pirinç üreten bir gıda firmasından yararlanmıştır.

Model çözümü için 3 ürün-2 dönem-10 konumlu ve 15 ürün-6 dönem-40 konumlu iki örnek problem ele alınmıştır. Model, her bir üründen ne kadar üretileceğini, üretilecek farklı parti-ürün sayısına bağlı olarak kaç adet üretim hazırlığı yapılacağını, talebe göre ürünleri sınıflandırarak en uygun konumlara atamayı ve belirli zaman aralıklarında konumlardan sınıflar halinde geri alınan ürünleri belirler.

### 3 ürün-2 dönem-10 konumlu örnek problem ve çözümü

Örnek problemin test parametreleri çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. 3 ürün-2 dönem-10 konumlu örnek problem test parametreleri

f(t)	6
v(it)	1
M	3

	R(l)	O(l)	P(l)
konum1	10	1	2
konum2	10	3	4
konum3	10	5	6
konum4	10	7	8
konum5	10	9	10
konum6	10	11	12
konum7	10	13	14
konum8	10	15	16
konum9	10	17	18
konum10	10	19	20

c(i,t)	Ocak	Şubat	h(i,t)	Ocak	Şubat
ürün1	6,24	6,24	ürün1	2,94	2,94
ürün2	5,82	5,82	ürün2	2,94	2,94
ürün3	6,28	6,28	ürün3	2,94	2,94

u(i,t)	Ocak	Şubat	d(i,t)	Ocak	Şubat
ürün1	4,5	14,5	ürün1	1	2
ürün2	4,5	14,5	ürün2	1	3
ürün3	4,5	14,5	ürün3	2	1

3 ürün-2 dönem-10 konumlu örnek problemin GAMS/BARON yazılımı kullanılarak optimal çözümü elde edilmiştir. Çözüm sonucunda elde edilen amaç fonksiyonu değeri, atamalar ve üretim değişkenleri Çizelge 4.2’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.2. 3 ürün-2 dönem-10 konumlu örnek problem çözüm sonuçları

Model: 3 ürün, 10 konum, 2 dönem					
Amaç Fonksiyonu Değeri	292,28\$				
Çözüm süresi	0,2 sn				
İterasyon	251				
x(i,t)	Ocak	Şubat	y(i,t)	Ocak	Şubat
ürün1	1	2	ürün1	1	1
ürün2	1	3	ürün2	1	1
ürün3	3	-	ürün3	1	-
s(i,t)	Ocak	Şubat	q(i,c)	Sınıf1	Sınıf2
ürün1	-	-	ürün1	1	-
ürün2	-	-	ürün2	-	1
ürün3	1	-	ürün3	-	1
z(l,c)	Sınıf1	Sınıf2			
konum1	-	1			
konum2	-	1			
konum3	-	1			
konum4	-	1			
konum5	1	-			
konum6	1	-			
konum7	-	-			

Çözüm sonuçları (Çizelge 4.2) önerilen modele ait optimal atama, üretim ve stok miktarlarını vermektedir. Bu da, önerilen modelin etkin ve geçerli olduğunu göstermektedir. Üretim miktarları incelendiğinde yalnızca ürün3 için ocak dönemi sonunda 1 birimlik stoklama söz konusudur. Talep miktarları tam karşılanmış, şubat ayı dönem sonu ürün stoklanmasına izin verilmemiştir. Ürün1 sınıf1’e, ürün2-ürün3 ise sınıf2’ye atanmış olup her iki sınıf için toplamda 6 konum belirlenmiştir. Her sınıf için belirlenen konum sayıları toplam üretim miktarlarına göre değil kullanım durumlarına göre belirlendiği tespit edilmiştir. Yani, bir sınıftaki ürünler her dönem sonu talep miktarları

kadar taşındığı için boşalan depolama konumu bir sonraki dönem yine aynı sınıf ürünleri için kullanılmaktadır.

### 15 ürün-6 dönem-40 konumlu örnek problem ve çözümü

15 ürün-6 dönem-40 konumlu örnek problem ait veri setleri EK-2’de verilmiştir. Önceki örnek problemde olduğu gibi bu örnek problemin de GAMS/BARON yazılımı kullanılarak optimal çözümü elde edilmiştir. Çözüm sonucunda elde edilen amaç fonksiyonu değeri, atamalar ve üretim değişkenleri EK-3’de özetlenmiştir.

Çözüm sonuçları incelendiğinde daha büyük veri setleriyle çözüm zamanı artmasına karşın etkin sonuçlar elde edilmiştir. Talep miktarları tam karşılanmış, ocak ayı ürün2’den 1 birimlik ve mart ayı ürün2 ve ürün6’dan 1’er birimlik stoklamaya izin verilmiştir. 15 ürün için 5 sınıf belirlenmiş ve her sınıf toplamda 25 depo konumuna atanmıştır.

Bu tez kapsamındaki bütün örnek problemler 2.30 Ghz ve 2 GB RAM’ a sahip kişisel bilgisayarlarda çalıştırılmıştır. Küçük boyutlular (3,2,10) için optimal çözüm elde edilebilirken orta büyüklükte veri seti (15,6,40) için zaman ve iterasyon kısıtı olmaksızın kişisel bilgisayarda 24 saatlik çözüm süresine rağmen optimal çözüme erişilememiştir. Bu nedenle, orta büyüklükteki veri seti 3 GB RAM’ a sahip Neos Server servisi yardımıyla çalıştırılmıştır. Örnek problemlere ait Gams çözüm kodları bu yazılım servisinin web sitesine yüklenmiş ve çözüm sonuçları e-mail aracılığıyla alınmıştır. Fakat, serverin (<https://neos-server.org/neos/solvers/go:BARON/GAMS.html>) maksimum çalışma zamanı 8 saat ile kısıtlanmış olduğundan 8 saat sonunda orta ve daha büyük veri setleri ((16,6,45), (20,6,60)) için çözüme erişilememiştir. Neos Server’in örnek bir sistem yanıtı EK-4’de verilmiştir.

Önerilen modelin doğrusal olmayan karışık tam sayılı yapısı itibariyle, GAMS/BARON yazılımı kullanılarak orta büyüklükteki depo problemlerine uygulanabilir. Turner (2009)’ın yapmış olduğu uygulama verilerinden ilham alınarak yapılan depo incelemeleri neticesinde, önerilen modelin raf ömrü uzun olan gıda üreten KOBİ’lerin depo yapısına uygun olduğu tespit edilmiştir.

### Önerilen modelin Zhang vd. (2017)'nin modeliyle karşılaştırılması

Zhang (2017)'nin önermiş oldukları bütünleşik ürün atama ve üretim planlama modelinde ürün atama politikası olarak sabit politikayı kullanmışlardır. Sabit politikaya göre yapılan ürün atamalarında her bir ürün için önceden konum belirlenir. Dolayısıyla, bir ürün o dönem içerisinde üretilsin ya da üretilmesin atandığı konum sabittir ve başka bir ürün için kullanılmamaktadır. Önerilen temel modelde ise ürünlerin sınıflandırılarak konumlara atanması esas alınmıştır. Ürün sınıflandırmada, benzer özellikler gösteren ürünler bir araya getirildiği için atandıkları konumlarda birbirlerinin yerine kullanılabilir. 3 ürün-2 dönem-10 konumlu ve 15 ürün-6 dönem-40 konumlu iki örnek problemin karşılaştırmalı çözüm sonuçları çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Karşılaştırmalı çözüm sonuçları

	$\{(i-t-l)=(3-2-10)\}$		$\{(i-t-l)=(15-6-40)\}$	
	Zhang (2017)'nin önerdikleri model	Doktora tez çalışmasında önerilen temel model	Zhang (2017)'nin önerdikleri model	Doktora tez çalışmasında önerilen temel model
Çözüm tipi	Optimal Çözüm		Optimal Çözüm	
GAMS Solver	CPLEX	BARON	CPLEX	BARON
Ürün Atama Politikası	Sabit	Sınıf	Sabit	Sınıf
Amaç Fonksiyonu Değeri	319,72 \$	292,28\$	3484,94 \$	2354,84 \$
CPU Zamanı	0,1 sn	0,2 sn	693 sn	1705 sn
İterasyon Sayısı	189	251	16859	20000
Atanan Konum Sayısı	7	6	40	25

İki örnek problemin Zhang (2017) ve önerilen temel modele ait çözüm sonuçları karşılaştırıldığında önerilen temel modelin daha etkin sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Sınıf temelli politika kullanmanın, 3 ürünlü-2 dönemli-10 konumlu örnek problemde 27,44 \$ birimlik ve 15 ürünlü-6 dönemli-40 konumlu örnek problemde ise 1130,10 \$ birimlik iyileştirme sağladığı görülmektedir. Bunun en temel nedeni, sabit politikada herhangi bir ürün için belirlenen konum boşaldığında başka bir ürün için kullanılamazken sınıf temelli politikada aynı sınıfa atanan ürünler birbirleri yerine kullanılabilir. Çizelge 4.3'de

de görüldüğü gibi her iki örnek problem için alan tasarrufu sağlanmıştır. Ancak, önerilen model doğrusal olmayan bir model olduğu için daha büyük veri setleriyle çözmek giderek zorlaşmaktadır. Önerilen modelin çözüm zamanı Zhang (2017)'nin önerdikleri modelin çözüm zamanından büyüktür.

### 4.3. Çoklu Kriteria Göre Sınıf Oluşturan Matematiksel Model

Bir önceki bölümde talep, maliyet, alan gibi amaç fonksiyonunda yer alan tekli kriter (alan maliyeti) göre sınıfların oluşturulduğu bütünleşik sınıf temelli ürün atama ve üretim planlama modeli önerilmişti. Bu modelin geçerli olduğu depo sistemlerinde ürün sınıflarının oluşturulmasında ve depo konumlarına atanmasında öncelikli amaç maliyet tasarrufudur. Dolayısıyla, sınıf oluşturma ve atamalar bir önceliklendirme kısıtı olmadan yalnızca amaç fonksiyonuna bağlıdır. Ürün atama için, birden çok kriterin önemli olduğu depolama sistemlerinde sınıf oluşturma ve atama için birçok yöntem esas alınmaktadır. Bu yöntemlerden biri, literatürde en yaygın kullanılan yöntem COI tekniğidir (COI tekniği ile ilgili detaylı bilgi bölüm 2.3'de anlatılmıştır). COI tekniğinde alan ve talep olmak üzere iki kriter dikkate alınmaktadır (COI tekniği genellikle depo konum alanlarının özdeş olmadığı depolarda kullanılmaktadır). Ancak, alan, maliyet ve talep gibi kriterlerin yanı sıra farklı kriterlerin de dikkate alındığı depolama sistemlerinde bu durum değişmektedir. Örneğin, belirli bir kullanım ömrü olan ürünler son kullanma tarihi geçtiğinde talep olup olmamasına bakılmaksızın toplanır. Dolayısıyla, bu tarz ürünler yalnızca talep olduğunda değil farklı durumlarda da toplanabilmektedir. Bu çalışmada, ürünlerin çoklu kriterlere göre değerlendirilmesi ve sınıflandırılmasına olanak sağlayan ve literatürde ürün atama için daha önce kullanılmamış olan TOPSİS yöntemi tercih edilmiştir. TOPSİS yönteminin tercih edilmesinin nedeni, önerilen modele ait depo sisteminde ürünlerin (alternatifler) birbirlerinin yerine ikame edememeleridir. Yani alternatif ürünler birbirlerine yakın olmayıp dikkate alınan kriterler farklıdır. Ayrıca, TOPSİS yöntemi tüm kriter bazında en ideal noktaya olan uzaklığı esas almaktadır.

Literatürde, çok kriterlere göre ürün ataması yapan iki çalışma (Silva 2015; Fontana ve Nepomuceno, 2017) vardır. Fakat bu çalışmalar üretim planını dikkate almadıkları gibi kullandıkları yöntemler (ELECTRE, SMARTER) itibariyle önerilen ürün atama yaklaşımından farklıdırlar. SMARTER yöntemi, öznel değerlendirmenin (subjektif) olduğu problemler için kullanılır (Öztel, 2016). ELECTRE yönteminde her kriterde alternatiflerin



ikili karşılaştırması yapılarak üstünlük ilişkisi kurulur. Bu çalışmada ürün atama yaklaşımı için, alternatif ürünlerin seçimi nesnel değerlendirme ve önerilen modele kısıt girdisi olup ikili kıyaslama yerine çoklu kıyaslamaya göre yapılacağından TOPSİS yöntemi en uygun yöntemdir. Bununla birlikte, Silva (2015) ve Fontana ve Nepomuceno (2017) matematiksel model kullanmadan direkt olarak ele aldıkları ÇÖKV yöntemine (ELECTRE, SMARTER) göre ürün ataması yapmışlardır. Önerilen çok kritere göre sınıf oluşturma ve ürün ataması yaklaşımında (TOPSİS) ise elde edilen ideal uzaklık değerleri matematiksel modele kısıt girdisi olmuştur.

Çok kritere göre sınıf oluşturan matematiksel modelin uygulama adımları şöyledir:

1. Sınıflandırılacak olan ürünler için kriterlerin belirlenmesi,
2. Karar matrisinin oluşturulması,
3. Kriterlerin ağırlıklandırılması,
4. TOPSİS yöntemi ile her bir ürün için ideal uzaklık değerlerinin belirlenmesi,
5. İdeal uzaklık değerlerinin önerilen temel modele sınıf oluşturma öncelik kısıtı olarak eklenmesi,
6. Matematiksel modelin çözümü.

Önerilen bütünleşik üretim planlama ve çoklu kritere göre sınıf oluşturan ürün atama modeli aşağıda anlatılmaktadır:

Notasyonlar:

İndis:

$i, i'$  : ürün

$c, c'$  : sınıf

$t$  : dönem

$l, l'$  : konum

Değişkenler:

$x_{it}$  :  $t$  periyodu boyunca üretilen  $i$  ürünü miktarı. Bu değişken her ürünün üretim miktarını belirtir. Bu değer, üründen ürüne ve farklı periyotlarda değişir.

$s_{it}$  :  $t$  dönemi sonunda  $i$  ürün için stok seviyesi

$y_{it}$  :  $t$  dönemi boyunca  $i$  ürünü üretilmişse 1, değilse 0.

$q_{ic}$  :  $t$  dönemi boyunca  $i$  ürünü  $c$  sınıfına atanmışsa 1, değilse 0.

$z_{lc}$  : planlama ufku için  $c$  sınıfı  $l$  konumuna atanmışsa 1, değilse 0.

Parametreler:

$Z$  : Amaç fonksiyonu değeri (\$).

$R_l$  :  $l$  depolama konumu birim alan maliyeti

$O_l$  :  $l$  depolama konumundan çıkış noktasına herhangi bir ürünün bir sütunluk birim taşıma maliyeti.

$P_l$  : Üretim alanından  $l$  depolama konumuna herhangi bir ürünün bir sütunluk birim taşıma maliyeti.

$h_{it}$  :  $t$  periyodunda  $i$  ürünü için birim stok maliyeti.

$c_{it}$  :  $t$  periyodunda  $i$  ürünü için değişken birim üretim maliyeti.

$u_{it}$  :  $t$  periyodunda  $i$  ürünü için birim hazırlık maliyeti.

$d_{it}$  :  $t$  periyodunda  $i$  ürünü için talep miktarı. Bu parametre, üründen ürüne ve periyottan periyoda değişir.

$v_{it}$  :  $t$  periyodunda  $i$  ürününün değişken kapasitesi.

$f_t$  : Üretimle ilgili önemli bir kaynak kısıtı.

$M$  : Üretimde herhangi bir önemli kısıtlayıcı faktör için skaler bir değer.

$C_i^*$  : TOPSİS ideal çözüme görelî yakınlık değeri.

Amaç fonksiyonu:

$$Z_{\min} = \sum_c \sum_l R_l \cdot z_{lc} + \sum_c \sum_t \left( \left\{ \frac{\sum_l P_l \cdot z_{lc}}{\sum_l z_{lc}} \right\} \cdot \sum_i x_{it} \cdot q_{ic} \right) + \sum_c \sum_t \left( \left\{ \frac{\sum_l O_l \cdot z_{lc}}{\sum_l z_{lc}} \right\} \cdot \sum_i d_{it} \cdot q_{ic} \right) + \sum_i \sum_t (c_{it} \cdot x_{it} + u_{it} \cdot y_{it} + h_{it} \cdot s_{it}) \quad (4.15)$$

Kısıtlar:

$$\sum_c z_{lc} \leq 1 \quad \forall l, \quad (4.16)$$

$$\sum_c q_{ic} = 1 \quad \forall i, \quad (4.17)$$

$$d_{it} \leq x_{it} + s_{it-1} \quad \forall it, \quad (4.18)$$

$$s_{it} = x_{it} - d_{it} + s_{it-1} \quad \forall it, \quad (4.19)$$

$$\sum_i (x_{it} + s_{it-1}) \cdot q_{ic} \leq \sum_l z_{lc} \quad \forall ct, \quad (4.20)$$

$$x_{it} \leq y_{it} \cdot M \quad \forall it, \quad (4.21)$$

$$\sum_i x_{it} \cdot v_{it} \leq f_t \quad \forall t, \quad (4.22)$$

$$C_i^* \cdot q_{ic} \geq C_{i'}^* \cdot q_{i'c}, \quad \forall p \neq p', \forall c < c' \quad (4.23)$$

$$\frac{\sum_l (P_l + O_l) \cdot z_{lc}}{\sum_l z_{lc}} \leq \frac{\sum_l (P_{l'} + O_{l'}) \cdot z_{l'c}}{\sum_l z_{l'c}} \quad \forall l \neq l' \text{ ve } \forall c < c', \quad (4.24)$$

$$z_{lc} \in \{0, 1\} \quad \forall lc, \quad (4.25)$$

$$q_{ic} \in \{0, 1\} \quad \forall ict, \quad (4.26)$$

$$x_{it} \geq 0 \quad \forall it, \quad (4.27)$$

$$s_{it} \geq 0 \quad \forall it, \quad (4.28)$$

$$y_{it} \geq 0 \quad \forall it, \quad (4.29)$$

Modelde amaç fonksiyonu (4.15); dört maliyet kaleminden oluşmaktadır. İlki, sınıf-temelli politika kapsamında ürün sınıfları için yer ayırmanın maliyetidir. İkincisi, sınıfların üretim alanından atanmış depolama konumlarına o sınıflara atanmış ürünlerin toplam üretim miktarları kadar ortalama taşıma maliyetidir. Üçüncüsü, sınıfların depolama konumlarından çıkış noktasına kadar o sınıflara atanmış ürünlerin toplam talep miktarları kadar ortalama ulaşım maliyetidir (bu belirli bir zaman aralığında bir ürün talep edildiğinde gerçekleşir). Dördüncü maliyet kalemi ise, üretim planlaması, üretim maliyeti, hazırlık ve stok tutma ile ilişkili tüm maliyetlerdir. Amaç, bu dört maliyet toplamını en aza indirmek için ürünleri en iyi yerlerde üretmek ve bu ürünleri sınıflar halinde yerleştirmektir. Kısıt (4.16), bir konuma atanabilecek sınıf sayısının en fazla bir olabileceğini, kısıt (4.17), her bir ürün sadece ve sadece bir sınıfa atanmasını, kısıt (4.18),

belirli  $t$  dönemi boyunca bir ürünün üretim miktarı ile stok miktarı toplamının en az o ürünün talep miktarı kadar olabileceğini, kısıt (4.19), stok denge kısıtını, kısıt (4.20),  $c$  sınıfına ait ürünlerin üretim miktarı ile stok miktarı toplamının en fazla o sınıf için ayrılmış konum sayısı kadar olabileceğini, kısıt (4.21), hazırlık kısıtını ifade eder. Bu kısıt ile her bir dönem için üretim sınırlandırılmış olur. “ $M$ ” üretim kapasitesi ve ürün talebi cinsinden belirlenen çok büyük bir sayıdır. Kısıt (4.22), üretim kapasite sınırını, kısıt (4.23)-kısıt (4.24), yüksek ideal çözüme göreli yakınlık değerine sahip ürünler  $c$  sınıfına ve düşük ideal çözüme göreli yakınlık değerine sahip ürünlerin ise  $c^l$  sınıfına atanarak,  $c$ 'nin daha düşük maliyetli konumlara atanması gerektiğini, kısıt (4.25)-kısıt (4.26), 0-1 tam sayı ve değişken kısıtını, kısıt (4.27)-kısıt (4.28)-kısıt (4.29) ise pozitif değişken kısıtını ifade eder.

#### 4.3.1. Matematiksel modelin çözümü

Bu bölümde önerilen bütünleşik üretim planlama ve çoklu kritere göre sınıf oluşturan ürün atama matematiksel modelinin geçerliliğini ve çözülebilirliğini test etmek amacıyla GAMS/BARON optimizasyon yazılımı kullanılarak çözümleri yapılmıştır. Öncelikle, çoklu kriterlere göre ürünlerin sınıflandırılması için TOPSİS yöntemiyle her bir ürünün ideal uzaklık değerleri elde edilmiş ve matematiksel modele kısıt girdisi olmuştur. TOPSİS yöntemi ile çözüm Microsoft EXCEL programı kullanılarak yapılmıştır. Çözüm için, Turner (2009)'ın verileri referans alınarak Microsoft EXCEL programından üretilmiş rassal veri setleri (10-ürün, 3-dönem, 25-konum) kullanılmıştır.

##### TOPSİS yöntemi ile ürünlerin önceliklendirilmesi

Referans alınan Turner (2009)'un verileri kuru gıda üreten bir gıda firmasının deposuna ait olduğu için buna yönelik 4 kriter belirlenmiştir. Ürünlerin sıralanması için ele alınan bu kriterler eşit derecede önemli olup şöyledir: Alan ( $\text{dam}^2$ ), talep (3 dönemlik ortalama), ağırlık (kg) ve son kullanma tarihi (yıl)dir. Problemin çözümü için kullanılan veriler EXCEL programı yoluyla rassal üretilmiştir. Bu verilere göre oluşturulmuş 10 ürünlü karar matrisi Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Karar matrisine TOPSİS yöntemi işlem adımları uygulandıktan sonra her bir ürün için ideal uzaklık değerleri ( $C_i^*$ ) değerleri çizelge 4.5.'deki oluşmuştur. Bu değerlere göre giriş-çıkış noktasına en yakın konumlandırılması gereken ürünler sırasıyla; P5, P8, P3 ve

P6'dur. Her ürün için ideal uzaklık değerleri, bütünleşik üretim planlama ve çok kriterlere göre sınıf oluşturan ürün atama modeline kısıt girdisi olmuştur.

Çizelge 4.4. Karar matrisi

	MİN	MAKS	MAKS	MİN
KRİTER →	Alan(dam <sup>2</sup> )	Talep	Ağırlık(kg)	Bekleme Süresi(yıl)
ALTERNATİF↓				
ürün1	0,0795	2	15	1,333333334
ürün2	0,0531	1	11	0,833333334
ürün3	0,0779	1,33	18	0,416666667
ürün4	0,0818	0,67	18	1,75
ürün5	0,0347	2,67	18	0,5
ürün6	0,0962	2	10	0,75
ürün7	0,0439	0,33	17	1,166666667
ürün8	0,0165	0,33	16	1,416666667
ürün9	0,0349	1,67	15	1,833333334
ürün10	0,0554	1,67	16	1,916666667

Çizelge 4.5. Pozitif, negatif ve ideal uzaklık değerleri

	S+	S-	C*(i)
ürün1	0,180244	0,0881144	0,333
ürün2	0,170948	0,0599448	0,260
ürün3	0,156527	0,1350024	0,463
ürün4	0,209259	0,0442825	0,174
ürün5	0,097608	0,1638201	0,630
ürün6	0,171641	0,0974799	0,366
ürün7	0,188696	0,0552355	0,225
ürün8	0,158266	0,1524305	0,487
ürün9	0,159359	0,0894466	0,362
ürün10	0,176669	0,0911662	0,301

#### 10 ürün-3 dönem-25 konumlu örnek problem ve çözümü

10 ürün-3 dönem-25 konumlu örnek problemin verileri EK-5'de verilmiştir. Örnek problemin GAMS/BARON yazılımı kullanılarak optimal çözümü elde edilmiştir. Çözüm sonucunda elde edilen amaç fonksiyonu değeri, atamalar ve üretim değişkenleri EK-6'de özetlenmiştir.

Çözüm sonuçları, ürün atama ve sınıflandırmada maliyet ve üretim miktarları ile birlikte TOPSİS yöntemi ile elde edilmiş ideal uzaklık değerlerinin de etkili olduğunu göstermiştir. Her ne kadar amaç, üretim ve sipariş toplama maliyetlerini minimize etmek olsa da sipariş toplamada kayda değer olan birden çok kriter dikkate alınarak atama yapılmıştır. Önerilen modelde öncelik kısıtı olan TOPSİS ideal uzaklık değerleri, birbirine yakın veya benzer özellik gösteren ürünlerin aynı sınıfa olmasına imkan tanımaktadır. Bununla birlikte, 4 kriter bazında önemli olan ürünlerin daha az önemli olan ürünlerden konum olarak giriş-çıkış noktasına daha uzak yerlere atanmasının önüne geçilmiştir. Elde edilen atama sonuçlarına göre, 2 sınıflı ve 17 konumlu bir atama göze çarpmaktadır. En düşük ideal uzaklık değerine sahip olan ürün 2.sınıfa atanırken diğer tüm ürünler 1.sınıfa atanmıştır. 1.sınıfa atanan ürünler 1-15. konuma, 2.sınıfa atanan ürünler ise 16-17.konumlara atanmıştır. Bütünleşik üretim planlama ve sınıf temelli ürün atama modelinde olduğu gibi her bir sınıf için atanan konum sayısı o sınıfta yer alan ürünlerin toplanma durumlarına göre belirlenmiştir. 1.sınıfın ortalama ideal uzaklık değeri daha yüksek olduğundan daha düşük maliyetli konumlara atanmıştır. Üretim değişkenleri incelendiğinde, ağırlıklı olarak talebe göre üretim yapılmış ve ürün 2 için ocak ayında, ürün 3 ve ürün 9 için şubat ayında stok yapılmasına izin verilmiştir.

#### 4.4. Önerilen Karar Destek Sistemi Akışı

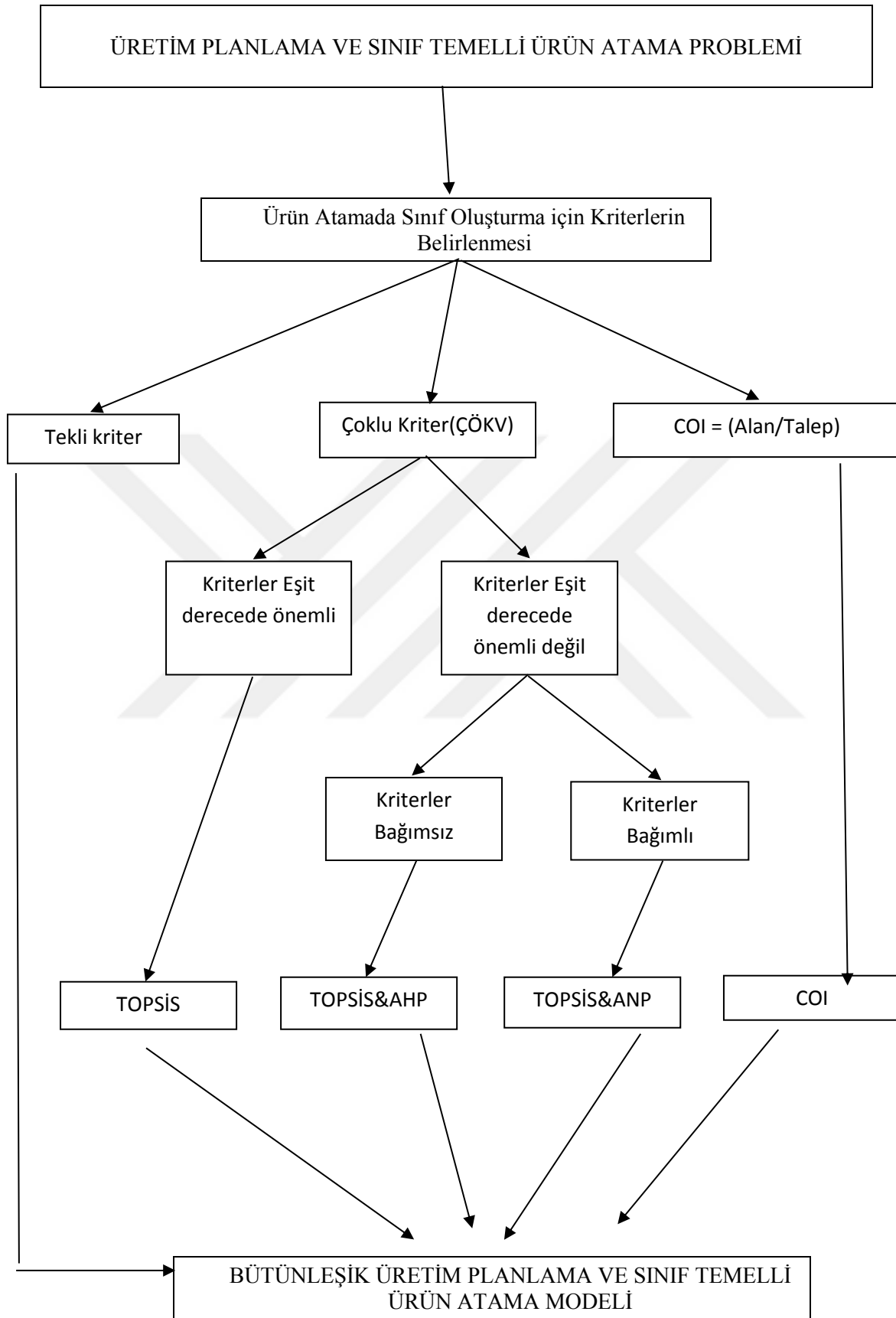
Önerilen bütünleşik üretim planlama ve sınıf temelli ürün atama probleminde modelin uygulanacağı depo yapısına göre farklı türlerde sınıf oluşturma yöntemleri mevcuttur (Bölüm 4.2 ve 4.3). Dolayısıyla, sınıf oluşturma için literatürde sıkça kullanılan maliyet, talep, alan, döngü oranı, COI gibi bir veya iki ölçütün dikkate alındığı yaklaşımların yanı sıra çoklu kriterin önemli olduğu sipariş toplama sistemlerin de varlığı söz konusu olduğunda karar vericiye yol gösterecek ve çözüm üretecek bir karar destek sistemi akışı (Şekil 4.2) yine bütünleşik probleme uygulanmak üzere planlanmıştır.

Önerilen karar destek sistemi akışında ürün sınıfının oluşturulması *tek bir kritere* bağlı ise herhangi bir önceliklendirme kısıtı içermeyen temel matematiksel model çözülür ve sipariş toplama maliyetini minimize eden atamalara göre ürünler sınıflandırılır. Burada tek kriter, amaç fonksiyonundaki alan maliyetidir. Ürün sınıfının oluşturulması birden *çok kritere* bağlı ise her bir ürün için TOPSİS yöntemi ile ideal uzaklık değerleri belirlenir bu ideal uzaklık değerleri temel matematiksel modele sınıf oluşturma öncelik kısıt olarak eklenir ve

önerilen temel matematiksel modelin öncelik kısıtları eklenmiş yeni bir varyasyonu olarak çözümler. Ürün sınıflarının oluşturulmasında çoklu kriteri dikkate alan durum için adapte edilen matematiksel modelde, kriterler eşit derecede öneme sahip değilse, kriter ağırlıkları; Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) veya kriterlerin bağımlılık durumlarına göre Analitik Network Prosesi (ANP) yöntemi yardımı ile belirlenir. Elde edilen kriter ağırlıkları, TOPSİS yöntemine girdi olarak kullanılır.

Literatürde ürün sınıfları oluşturma konusunda en sık kullanılan COI, tanım itibarıyla alan ve talep olmak üzere iki kriteri dikkate almakta ve alan kullanımının kritik olduğu depo sistemlerinde daha çok tercih edilmektedir. İlgilenilen sistemin ihtiyacına uygun olarak ürün sınıfının oluşturulması için COI tercih edildiği durumlarda her bir ürün için COI değeri belirlenerek, bu değerler matematiksel modele sınıf oluşturma öncelik kısıtı olarak eklenip, ürün sınıflarının oluşturulmasında çoklu kriteri dikkate alan durum için önerilen matematiksel modelin bir varyasyonu olarak çözümlenir. Bu durum, önerilen karar destek sistemi akışındaki en sağdaki alternatif durum olarak gösterilmiştir.

Karar destek sistemi akışında bütün oklar matematiksel model ifadesinde toplanmaktadır. Problem tanımına uygun olarak kurulacak matematiksel modelde, sınıf oluşturma için kriter kullanımı, depo alanlarının özdeş olup olmaması ve ürün özelliklerine göre farklılık arz edebilir. Her üç alternatif karar için oluşturulacak modellerin; amacı, üretim planlama kısıtları, ürün sınıfı ve konum kısıtları aynı olup, temel modelde öncelik kısıtı yoktur, çok kriterlere göre sınıf oluşturan model ve COI kriterini dikkate alan durumda ise sınıf oluşturma için öncelik kısıtları vardır ve birbirinden farklıdır. COI kriterini dikkate alan modelde depolama alanları özdeş olmayacağından, amaç fonksiyonundaki ikinci ve üçüncü maliyet kalemleri matematiksel olarak farklı tanımlanmalıdır.



Şekil 4.2. Önerilen karar destek sistemine ait akış diyagramı





## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sipariş toplama sürecinde, müşteri taleplerini zamanında yerine getirmek için ürünlerin atandıkları konumlardan toplanmadan önce depo konumlarına atanması gerekir. Depolama aktiviteleri için geçen zaman, sipariş toplama sistemi içerisinde geçen toplam sürede önemli bir etkiye sahiptir. Dolayısıyla, depolama faaliyetleri için geçen zamanı en aza düşürmek için sürdürülebilir, çözülebilir ve uygulanabilir yöntemleri ele almak gerekir. Bununla birlikte, sipariş toplama sistemlerinin verimliliğinde kullanılan ürün atama politikası önemli derecede bir etkiye sahiptir.

Doktora tez çalışmasının bilime katkısı, sipariş toplama sistemlerinde üretim planlamanın da olduğu ürün atama probleminin literatürde daha önce beraberce değerlendirilmemiş sınıf temelli sipariş toplama politikası ile modellenmesidir. Bununla birlikte, bilime katkıya ek olarak, sınıf oluşturma için literatürde sıkça kullanılan talep, alan, döngü oranı, COI gibi bir veya iki ölçütün dikkate alındığı yaklaşım yanı sıra çoklu kriterin önemli olduğu sipariş toplama sistemlerinin de varlığı söz konusu olduğunda karar vericiye yol gösterecek ve çözüm üretecek bir karar destek sistemi akışı, yine bütünlük probleme uygulanmak üzere planlanmış ve tez kapsamında sunulmuştur. Bu tez kapsamında, tekli kriterine göre sınıf oluşturan ve çoklu kriterine göre sınıf oluşturan bütünlük üretim planlama ve sınıf temelli ürün atama modeli olmak üzere iki matematiksel modele yer verilmiştir.

Önerilen tekli kriterine göre sınıf oluşturan ürün atama modeli (Bütünlük üretim planlama ve sınıf temelli ürün atama temel modeli), sipariş toplama sistemlerinde üretim ve depo işlemlerinden oluşan toplam maliyeti minimize etmek amacıyla üretim planlama problemi ile sınıf-temelli ürün atama problemini birleştiren karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlama modelidir. Bu modelin Zhang (2017)'nin önermiş oldukları çok ürünlü kısıtlandırılmış parti büyüklüğü ve ürün atama modelinden en büyük farkı, ürünlerin sabit ürün atama politikasına uygun olarak birebir atama-taşınması yerine gruplar halinde atama-taşıma yapmasıdır. Önerilen model, bir üretim deposuna odaklanarak taşıma, alan, üretim, stoklama ve hazırlık maliyetlerini en aza indirmek için ürünlerin sınıflar halinde depo konumlarına atanmasını içermektedir. Önerilen matematiksel modelin geçerliliğini ve çözülebilirliğini test etmek amacıyla GAMS/BARON optimizasyon yazılımı kullanılarak çözümlü yapılmıştır. Bunun için, Turner (2009)'in farklı iki veri seti kullanılmış ve Zhang

(2017)'nin önerdikleri modelin aynı veri setlerine ait çözüm sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Çözüm sonuçları karşılaştırıldığında önerilen modelin daha etkin sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Önerilen modelde, Zhang (2017)'nin modelinden daha düşük maliyetli sonuçlar elde edilmiş ve daha az depo alan kullanımı sağlamıştır. Bunun en temel nedeni, sabit politikada herhangi bir ürün için belirlenen konum boşaldığında başka bir ürün için kullanılamazken sınıf temelli politikada aynı sınıfa atanan ürünler birbirleri yerine kullanılabilir. Ancak, önerilen model doğrusal olmayan bir model olduğu için daha büyük veri setleriyle çözmek giderek zorlaşmaktadır.

Önerilen çoklu kritere göre sınıf oluşturan ürün atama modeli, çok ürünlü kısıtlandırılmış parti büyüklüğü ve sabit politikalı ürün atama modeli geliştirilerek TOPSİS kriteri altında ürünlerin sınıflar halinde gruplandırılmasını ve bu grupların depo yerlerine atanmasını içeren karışık tamsayı doğrusal olmayan (MINLP) bir modeldir. Önerilen modelin, Zhang (2017)'nin modelinden farkı, ürünlerin sabit ürün atama politikasına uygun olarak birebir atama-taşınması yerine birden fazla kritere göre TOPSİS yöntemi dikkate alınarak oluşturulmuş gruplar halinde atama-taşıma yapmasıdır. Önerilen çok kritere göre sınıf oluşturan modelin çözülebilirliğini test etmek amacıyla, Turner (2009)'a ait veri seti ilham alınarak EXCEL programı yoluyla üretilen rassal verilerle oluşturulmuş örnek bir problem, GAMS/BARON optimizasyon yazılımı ile çözülmüş ve optimum sonuçlara ulaşılmıştır. Bu modelin ilk aşaması olarak, çoklu kriterlere göre ürünlerin sınıflandırılması için TOPSİS yöntemiyle her bir ürünün ideal uzaklık değerleri elde edilmiş ve matematiksel modele kısıt girdisi olmuştur. ÇÖKV yöntemlerinden TOPSİS yönteminin seçilmesinin nedeni, önerilen modele ait depo sisteminde ürünler (alternatifler) birbirlerinin yerine ikame edememektedirler. Yani alternatif ürünler birbirlerine yakın olmayıp dikkate alınan kriterler farklıdır. Çözüm sonuçları, ürün atama ve sınıflandırmada maliyet ve üretim miktarları ile birlikte TOPSİS yöntemi ile elde edilmiş ideal uzaklık değerlerinin de etkili olduğunu göstermiştir. Her ne kadar amaç, üretim ve sipariş toplama maliyetlerini minimize etmek olsa da sipariş toplamada kayda değer olan birden çok kriter dikkate alınarak atama yapılmıştır. Önerilen modelde öncelik kısıtı olan TOPSİS ideal uzaklık değerleri, birbirine yakın veya benzer özellik gösteren ürünlerin aynı sınıfa olmasına imkan tanımaktadır. Böylece, önerilen bütünleşik modelin geçerli ve çözülebilir olduğu belirlenmiştir.

Önerilen model için geleceğe yönelik iki tür çalışma yapılabilir:

1. Gerçek endüstriyel veriler kullanılarak önerilen karar destek sistemi akışının uygulaması yapılabilir ve bu karar destek sisteminin farklı depolarda uygulanabilecek bir yazılımı geliştirilebilir.
2. Daha büyük veri setleriyle önerilen modelin çözümünü yapabilmek için sezgisel yöntemler kullanılabilir.





## KAYNAKLAR

- Accorsi, R., Manzini, R., Maranesi, F. (2014). A decision-support system for the design and management of warehousing systems. *Computers in Industry*, 65(1), 175–186.
- Ashayeri, J. and Gelders, L.F. (1985). Warehouse design optimization. *European Journal of Operational Research*, 21(3), 285-294.
- Berg, J., Zijm, W. (1999). Models for warehouse management: Classification and examples. *International Journal of Production Economics*, 59(1), 519-528.
- Bryzner, H., Johansson, M. (1995). Design and performance of kitting and order picking systems. *International Journal of Production Economics*, 41(1-3), 115–125.
- Caron, F., Marchet, G., Perego, A. (1998). Routing policies and COI-based storage policies in picker-to part systems. *International Journal of Production Research*, 36(3), 713-732.
- Chiang, D.M.H., Lin, C.P., Chen, M.C. (2014). Data Mining Based Storage Assignment Heuristics for Travel Distance Reduction. *Expert Systems*, 31(1), 81-90.
- Daellenbach, H. (1977). A model of multi-product two-stage inventory system with limited intermediate bulk storage capacity. *Management Science*, 23(12), 1314-1320.
- Daniels, R.L., Rummel, J.L., Schantz, R. (1998). Model for warehouse order picking. *European Journal of Operational Research*, 105(1), 1–17.
- De Koster, T., Le-Duc, T., Roodbergen, K.J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182 (2), 481-501.
- Ene, S. (2010). *Otomotiv endüstrisinde depo atama ve üretim taleplerini toplama optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Ene, S., Ozturk, N. (2012). Storage location assignment and order picking optimization in the automotive industry. *Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 60(5-8), 787–797.
- Fontana, M., Calvante, C. (2014). Using the Efficient Frontier to Obtain the Best Solution for the Storage Location Assignment Problem. *Mathematical Problems in Engineering*, DOI: 10.1155/2014/745196.
- Fontana, M., Nepomuceno, V. (2017). Multi-criteria approach for products classification and their storage location assignment. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 88(9-12), 3205-3216.
- Francis, R.L. (1967). *On Some Optimum Facility Design Problems*, Doctoral Dissertation, Northwestern University, Evanston, ABD.

- Goetschalckx, M., Ratliff, D. (1990). Shared storage policies based on the duration of stay of unit loads. *Management Science*, 36(9), 1120-1132.
- Goetschalckz, M., Ashayeri, J. (1989). Classification and design of order picking systems. *Logistics World*, 2(2), 99-106.
- Graves, S.C., Hausman, W.H., Schwarz, L.B. (1977). Storage-retrieval interleaving in automatic warehousing systems. *Management Science*, 23(9), 935-945.
- Gu, J., Goetschalckx, M., McGinnis, L.F. (2007). Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 177(1), 1-21.
- Guerriero, F., Musmanno, R., Pisacane, O., Rende, F. (2013). A Mathematical model for the multi-levels product allocation problem in a warehouse with compatibility constraints. *Applied Mathematical Modelling*, 37(6), 4385-4398.
- Hackman, S. T., Rosenblatt, M. J., Olin, J. M. (1990). Allocating items to an automated storage and retrieval system. *IIE Transactions*, 22(1), 7-14.
- Han, M.H., McGinnis, L.F., Shieh, J.S., White, J.A. (1987). On sequencing retrievals in an automated storage/retrieval system. *IIE Transactions*. 19 (1), 56-66.
- Harmatuck, D.J. (1976). A comparison of two approaches to stock location. *Logistics And Transportation review*, 12(4), 282-5.
- Hassini, E. (2008). Storage space allocation to maximize inter-replenishment times. *Computers and Operations Research*, 35(7), 2162-2174.
- Hausman, W.H., Schwarz, L.B., Graves, S.C. (1976). Optimal storage assignment in automatic warehousing systems. *Management Science*, 22(6), 629-638.
- Heragu, S.S., Du, L., Mantel, R.J., Schuur, P.C. (2005). Mathematical model for warehouse design and product allocation. *International Journal of Production Research*, 43(2), 327-338.
- Heskett JL. (1963). Cube-per-order index-a key to warehouse stock location. *Transportation and Distribution Management*, 3(1), 27-31.
- Hodgson, T. J., Lowe, T.J. (1982). Production lot sizing with material-handling cost consideration. *IIE Transaction*, 14(1), 44-51.
- Hompel, M., Schmidt, T. (2007). *Warehouse Management* (Birinci.Baskı). Almanya: Springer.
- Hsieh, S., Tsai, K.C. (2001). A BOM Oriented Class-Based Storage Assignment in an Automated Storage/Retrieval System. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 17(9), 683-691.

- Hsieh, L.F., Tsai, L. (2006). The Optimum Design of a Warehouse System on Order Picking Efficiency. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28(5-6), 626-637.
- Jans, R., Degraeve, Z. (2006). Meta-heuristics for dynamic lot sizing: A review and comparison of solution approaches. *European Journal of Operational Research*, 177(3), 1855-1875.
- Kallina, C., Lynn, J. (1976). Application of the cube per order index rule for stock location in a distribution warehouse. *Interfaces*, 7(1), 37-45
- Kovacs, A. (2011). Optimizing the storage assignment in a warehouse served by milkrun logistics. *International Journal of Production Economics*, 133(1), 312–318.
- Le-Duc, T. De Koster, R. (2005). Travel distance estimation and storage zone optimisation in a 2-block class-based storage strategy warehouse. *International Journal of Production Research*, 43(17), 3561-3581.
- Lee, M.K. (1992). A storage assignment policy in a man-on-board automated storage/retrieval system. *International Journal of Production Research*, 30(10), 2281-2292.
- Liu, X., Tu, Y. (2008). Production planning with limited inventory capacity and allowed stockout. *International Journal of Production Economics*, 111(1), 180-191.
- Fontana, M.E., Cavalcante, C.A.V. (2013). Electre tri method used to storage location assignment into categories. *Pesquisa Operacional*, 33(2), 283–303.
- Fontana, M.E., Cavalcante, C.A.V. (2014). Use of Promethee method to determine the best alternative for warehouse storage location assignment. *International Journal of Advanced Manufacturing*, 70(9-12), 1615-1624.
- Malmberg, C. J., Krishnakumar, B. (1989). Optimal storage assignment policies for multi-address warehousing systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 19(2), 197-204.
- Malmberg, C. J., Bhaskaran, K. (1990). A revised proof of optimality for the cube-per-order index rule for stored item location. *Applied Mathematical Modelling*, 14(2), 87-95.
- Malmberg, C.J. (1996-a). Storage assignment policy tradeoffs. *International Journal of Production Research*, 34(2), 363-378.
- Malmberg, C.J., (1996-b), An integrated storage system evaluation model. *Applied Mathematical Modeling*, 20(5), 359-370.
- Malmberg, C.J., Altassan, K.M. (1998). Analysis of storage assignment policies in less than unit load warehousing systems. *International Journal of Production Research* 36(12), 3459-3475



- Malmberg, C.J., Deutsch, S.J. (1988). A stock location model for dual address order picking systems. *IIE Transactions*, 20 (1), 44-52.
- Monjezi, M., Dehghani, H., Singh, T.N., Sayadi, A.R., Gholinejad, A. (2012). Application of TOPSIS method for selecting the most appropriate blast design. *Arabian Journal of Geosciences*, 5(1), 95-101.
- Muppani, V.R., Adil, G.K. (2008:1). A branch and bound algorithm for class based storage location assignment. *European Journal of Operational Research*, 189(2), 492-507.
- Muppani, V.R, Adil, G.K. (2008:2). Efficient formation of storage classes for warehouse storage location assignment: a simulated annealing approach. *Omega*, 36(4), 609–618.
- Meghelli N.G., Sari, Z. (2010). Assessment of performance of a class-based storage in a flow-rack AS/RS. *Journal of Studies on Manufacturing*, 1(2-3), 100–107.
- Özgel, A. (2016). *Çok kriterli karar verme yöntemi seçiminde yeni bir yaklaşım*, Doktora tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özyörük, B., Erol, S. (2000). Parti büyüklüğü problemleri ile ilgili literatür araştırması. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(2), 105-119.
- Pan, J.C.H., Wu, M.H. (2009). A study of storage assignment problem for an order picking line in a pick-and-pass warehousing system. *Computers & Industrial Engineering*, 57(1), 261–268.
- Pan, J.C.H., Wu, M.H. (2012). Throughput Analysis for Order Picking System with Multiple Pickers and Aisle Congestion Considerations. *Computers & Operations Research*, 39(7), 1661–1672.
- Petersen, C.G. (2002). Considerations in Order Picking Zone Configuration. *International Journal of Operations & Production Management*, 22(7), 793-805.
- Petersen, C.G., Aase, G. (2004). A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking. *International Journal of Production Economics*, 92(1), 11-19.
- Ramasamy, V., Subramanian, Y., Varadarajan, S., Ramaswamy, K., Kaliappan, K., Arulmozhi, D., Srinivasan, G.R., Gubendiran, R.K. (2019). Influence of process parameters on the optimisation of crystalline phase, size and strain of multiferroic Bismuth Iron Tri Oxide (BiFeO<sub>3</sub>) nanoceramics: AMCDM based TOPSIS approach. *Ceramics International*, DOI: 10.1016/j.ceramint.2019.09.111.
- Roodbergen, K., De Koster, R.A. (2001). Routing Methods for Warehouses with Multiple Cross Aisles. *International Journal of Production Research*, 39(9), 1865-1883.
- Roodbergen, K., Vis, I. (2006). A model for warehouse layout. *IIE Transactions*, 38(10), 799–811.

- Rosenblatt, M.J., Eynan, A. (1989). Deriving the optimal boundaries for the class-based automatic storage/retrieval systems. *Management Science*, 35(12), 1519-1524.
- Silva, D.D., Vasconcelos, N.N., Cavalcante, C.A. (2015). Multicriteria Decision Model to Support the Assignment of Storage Location of Products in a Warehouse. *Mathematical Problems in Engineering*, DOI:10.1155/2015/481950.
- Tang, L.C., Chew, E.K. (1997). Order Picking Systems: Batching and Storage Assignment Strategies. *Computers & Industrial Engineering*, 33(3-4), 817-820.
- Turner, S. (2009). *Joint Multi-item Storage Location Assignment Capacitated Lot Sizing Problem*, Electronic Theses and Dissertations, University of Windsor, Canada.
- Wilson, H.G. (1977). Order quantity, production popularity, and the location of stock in a warehouse. *AIIE Transaction*, 9(3), 230-237.
- Xiao, J., Zheng, L. (2012). Correlated storage assignment to minimize zone visits for BOM picking. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 61(5-8), 797– 807.
- Xie, J., Mei, Y., Ernst, A., Li, X., Song, A. (2014). A Genetic Programming-based Hyper-heuristic Approach for Storage Location Assignment Problem. *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, Beijing, China.
- Van Den Berg, J. P. (1996). Class-based storage allocation in a single command warehouse with space requirement constraints. *International Journal of Industrial Engineering*, 3(1), 21–28.
- Yerlikaya, M.A. (2014). *KOBİ'lere sağlanan desteklerin KOBİ performansına etkisinin Çok Ölçütlü Karar Verme yöntemleri ile değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Zeng, A., Mahan, M., Fluet, N. (2002). Designing an efficient warehouse layout to facilitate the order-filling process: An industrial distributor's experience. *Production & Inventory Management Journal*, 43(3-4), 83-88.
- Zhang, G., Tatsushi, N., Turner, S., Oga, K., Li, X. (2017). An integrated strategy for a production planning and warehouse layout problem: Modeling and solution approaches. *Omega*, 68(3), 85-94.
- Zhang, R.Q., Wang, M., Pan, X. (2019). New model of the storage location assignment problem considering demand correlation pattern. *Computers & Industrial Engineering*, 129(3), 210–219.





**EKLER**

## EK-1. Literatür çalışmasının özeti

Çizelge 1.1. Literatür çalışmasının özeti

Yazar, Yıl	Ürün Atama Politikası	Amaç	ÜPK ve SK	Tek Dönemli	Çok Dönemli	Yöntem
Wilson H.G., (1977)	Sabit	Sipariş toplama ve stok maliyetlerini minimize etmektir.	EOQ	x		Matematiksel Model
Daellenbach, H., (1977)		Kurulum, depolama ve stokta tutma maliyetlerini en aza indirmektir.	(S,s)	x		Matematiksel Model
Hodgson, T.J., Lowe, T.J., (1982)		Taşıma maliyetlerini en aza indirmektir.	EOQ	x		Matematiksel Model
Malmberg, C.J., Deutsch, S.J., (1988)	Sabit	Alternatifleri temsil eden depo yerleşimlerinin ekonomik parti büyüklüğü ve COI ürün atamasının uygulanmasına ilişkin sipariş toplama ve envanter maliyet etkilerini ölçerek ulaştırma maliyetlerini azaltmaktır.	EOQ	x		Matematiksel Model
Malmberg, C.J., (1996)	Rassal	Ürün stoğu politikaları, toplam alan tahsisi ve depolama düzeni ile ilgili maliyeti minimize etmektir.	(S,s)	x		Matematiksel Model
Kulturel, S., Ozdemirel, N.E., Sepil, C., Bozkurt, Z. (1999)	Döngü temelli ve kalış süresi	Stok kontrol ile ürün atamayı bir arada değerlendirerek stok kontrol politikaları ile birlikte ürün atama politikalarının etkinliğini belirlemek	(S,s)			Simülasyon
Hassini, E., (2008)		Beklenen yenilenme sürelerini en üst düzeye çıkaracak optimum alan tahsisini bulmaktır	(S,s)			Matematiksel Model

## EK-1. (devam) Literatür çalışmasının özeti

## Çizelge 1.1. (devam) Literatür çalışmasının özeti

Yazar, Yıl	Ürün Atama Politikası	Amaç	ÜPK ve SK	Tek Dönemli	Çok Dönemli	Yöntem
Zhang vd. (2017)	Sabit	Depolama işlemleri ve toplam üretim maliyetlerini minimize etmektir.	CLSP		x	Matematiksel Model
<i>Doktora Tez Çalışması</i>	<i>Sınıf Temelli</i>	<i>Alan tahsisi, ulaştırma ve üretim maliyetlerinin minimize edilmesi</i>	<i>CLSP</i>		<i>x</i>	<i>Matematiksel Model</i>

EK-2. 15 ürün-6 dönem-40 konumlu örnek problem veri seti

Çizelge 2.1. 15 ürün-6 dönem-40 konumlu örnek problem veri seti

	f(t)	25	
	v(it)	1	
	M	7	
	r(l)	o(l)	p(l)
konum1	10	3,51	8,52
konum2	10	3,91	8,63
konum3	10	4,31	8,76
konum4	10	4,71	8,9
konum5	10	5,11	9,06
konum6	10	3,91	8,14
konum7	10	4,31	8,25
konum8	10	4,72	8,38
konum9	10	5,12	8,53
konum10	10	5,51	8,69
konum11	10	4,38	7,75
konum12	10	4,78	7,87
konum13	10	5,18	8,01
konum14	10	5,51	8,16
konum15	10	5,91	8,34
konum16	10	6,11	8,52
konum17	10	4,72	7,37
konum18	10	5,11	7,49
konum19	10	5,52	7,64
konum20	10	5,91	7,8
konum21	10	6,32	7,98
konum22	10	6,72	8,18
konum23	10	5,11	6,99
konum24	10	5,51	7,12
konum25	10	5,91	7,27
konum26	10	6,32	7,44
konum27	10	6,71	7,63
konum28	10	7,11	7,83
konum29	10	5,52	6,61
konum30	10	5,92	6,75
konum31	10	6,32	6,91
konum32	10	6,71	7,09
konum33	10	7,11	7,28
konum34	10	7,52	7,5
konum35	10	5,93	6,22
konum36	10	6,33	6,37
konum37	10	6,73	6,54
konum38	10	7,13	6,73
konum39	10	7,53	6,93
konum40	10	7,93	7,16

EK-2. (devam) 15 ürün-6 dönem-40 konumlu örnek problem veri seti

Çizelge 2.1. (devam) 15 ürün-6 dönem-40 konumlu örnek problem veri seti

c(i,t)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
ürün1	6,24	6,24	6,24	6,24	6,24	6,24
ürün2	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82
ürün3	6,28	6,28	6,28	6,28	6,28	6,28
ürün4	6,62	6,62	6,62	6,62	6,62	6,62
ürün5	6,73	6,73	6,73	6,73	6,73	6,73
ürün6	6,13	6,13	6,13	6,13	6,13	6,13
ürün7	6,11	6,11	6,11	6,11	6,11	6,11
ürün8	7,23	7,23	7,23	7,23	7,23	7,23
ürün9	6,02	6,02	6,02	6,02	6,02	6,02
ürün10	6,56	6,56	6,56	6,56	6,56	6,56
ürün11	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26
ürün12	7,31	7,31	7,31	7,31	7,31	7,31
ürün13	4,64	4,64	4,64	4,64	4,64	4,64
ürün14	5,06	5,06	5,06	5,06	5,06	5,06
ürün15	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32

h(i,t)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
ürün1	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94
ürün2	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94
ürün3	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94
ürün4	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94
ürün5	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94
ürün6	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94
ürün7	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94
ürün8	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94
ürün9	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94
ürün10	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94
ürün11	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94
ürün12	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94
ürün13	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94
ürün14	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94
ürün15	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94



EK-2. (devam) 15 ürün-6 dönem-40 konumlu örnek problem veri seti

Çizelge 2.1. (devam) 15 ürün-6 dönem-40 konumlu örnek problem veri seti

u(i,t)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
ürün1	15	15	15	15	15	15
ürün2	30	30	30	30	30	30
ürün3	15	15	15	15	15	15
ürün4	15	15	15	15	15	15
ürün5	15	15	15	15	15	15
ürün6	30	30	30	30	30	30
ürün7	15	15	15	15	15	15
ürün8	15	15	15	15	15	15
ürün9	15	15	15	15	15	15
ürün10	20	20	20	20	20	20
ürün11	90	90	90	90	90	90
ürün12	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
ürün13	60	60	60	60	60	60
ürün14	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
ürün15	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5

d(i,t)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
ürün1	1	4	2	1	1	1
ürün2	1	1	1	1	1	1
ürün3	2	0	1	0	0	1
ürün4	0	0	0	2	2	2
ürün5	1	5	6	7	6	5
ürün6	6	3	1	1	2	3
ürün7	0	1	0	0	1	0
ürün8	0	1	0	0	0	0
ürün9	1	0	1	0	1	1
ürün10	1	1	0	1	0	1
ürün11	0	1	0	2	0	0
ürün12	0	1	1	1	1	0
ürün13	0	0	1	0	0	0
ürün14	1	1	0	0	0	0
ürün15	3	5	1	3	6	6

## EK-3. 15 ürün-6 dönem-40 konumlu örnek problem çözüm sonuçları

Çizelge 3.1. 15 ürün-6 dönem-40 konumlu örnek problem çözüm sonuçları

Model: 15 ürün, 40 konum, 6 Dönem						
Amaç Fonksiyonu Değeri	2354,84\$					
Çözüm süresi	1705 sn					
İterasyon	20000					
x(i,t)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
ürün1	1	4	2	1	1	1
ürün2	2	-	2	-	1	1
ürün3	2	-	1	-	-	1
ürün4	-	-	-	2	2	2
ürün5	1	5	6	7	6	5
ürün6	6	3	2	-	2	3
ürün7	-	1	-	-	1	-
ürün8	-	1	-	-	-	-
ürün9	1	-	1	-	1	1
ürün10	1	1	-	1	-	1
ürün11	-	1	-	2	-	-
ürün12	-	1	1	1	1	-
ürün13	-	-	1	-	-	-
ürün14	1	1	-	-	-	-
ürün15	3	5	1	3	6	6
y(i,t)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
ürün1	1	1	1	1	1	1
ürün2	1	-	1	-	1	1
ürün3	1	-	1	-	-	1
ürün4	-	-	-	1	1	1
ürün5	1	1	1	1	1	1
ürün6	1	1	1	-	1	1
ürün7	-	1	-	-	1	-
ürün8	-	1	-	-	-	-
ürün9	1	-	1	-	1	1
ürün10	1	1	-	1	-	1
ürün11	-	1	-	1	-	-
ürün12	-	1	1	1	1	-
ürün13	-	-	1	-	-	-
ürün14	1	1	-	-	-	-
ürün15	1	1	1	1	1	1

EK-3. (devam) 15 ürün-6 dönem-40 konumlu örnek problem çözüm sonuçları

Çizelge 3.1. (devam) 15 ürün-6 dönem-40 konumlu örnek problem çözüm sonuçları

s(i,t)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
ürün2	1	-	1	-	-	-
ürün6	-	-	1	-	-	-

q(i,c)	Sınıf 1	Sınıf 2	Sınıf 3	Sınıf 4	Sınıf 5	z(l,c)	sınıf 1	sınıf 2	sınıf 3	sınıf 4	sınıf 5
ürün1	1	-	-	-	-	L1	-	1	-	-	-
ürün2	-	-	-	-	1	L2	-	1	-	-	-
ürün3	1	-	-	-	-	L3	-	1	-	-	-
ürün4	1	-	-	-	-	L4	-	-	-	-	1
ürün5	-	-	1	-	-	L5	-	1	-	-	-
ürün6	-	1	-	-	-	L6	-	1	-	-	-
ürün7	-	-	-	-	1	L7	-	-	-	1	-
ürün8	-	-	1	-	-	L8	-	1	-	-	-
ürün9	-	-	-	-	1	L9	-	1	-	-	-
ürün10	-	-	-	1	-	L10	-	-	-	-	1
ürün11	-	-	-	-	1	L11	-	-	1	-	-
ürün12	1	-	-	-	-	L12	-	1	-	-	-
ürün13	-	1	-	-	-	L13	-	-	1	-	-
ürün14	-	-	1	-	-	L14	-	-	-	-	1
ürün15	-	1	-	-	-	L15	1	-	-	-	-
						L16	1	-	-	-	-
						L17	-	-	1	-	-
						L18	-	1	-	-	-
						L19	-	-	-	-	1
						L20	1	-	-	-	-
						L21	-	-	-	-	-
						L22	-	-	-	-	-
						L23	-	-	1	-	-
						L24	-	-	1	-	-
						L25	1	-	-	-	-
						L26	1	-	-	-	-
						L27	-	-	-	-	-
						L28	-	-	-	-	-
						L29	-	-	1	-	-
						L30	-	-	-	-	-
						L31	-	-	-	-	-
						L32	-	-	-	-	-
						L33	-	-	-	-	-

## EK-4. Neos Server sistem yaniti

## MODEL STATISTICS

BLOCKS OF EQUATIONS	10	SINGLE EQUATIONS	4,254
BLOCKS OF VARIABLES	6	SINGLE VARIABLES	441
NON ZERO ELEMENTS	12,911	NON LINEAR N-Z	3,430
DERIVATIVE POOL	20	CONSTANT POOL	36
CODE LENGTH	11,408	DISCRETE VARIABLES	380

## S O L V E S U M M A R Y

MODEL	bupstuan	OBJECTIVE	z
TYPE	MINLP	DIRECTION	MINIMIZE
SOLVER	BARON	FROM LINE	128

\*\*\*\* SOLVER STATUS      3 Resource Interrupt  
 \*\*\*\* MODEL STATUS      14 No Solution Returned  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE      NA

GAMS/BARON      27.3.0 r58c491d Released Jul 04, 2019 LEG x86  
 64bit/Linux

BARON is a product of The Optimization Firm,  
 LLC. <http://www.minlp.com/>  
 Parts of the BARON software were created at the  
 University of Illinois at Urbana-Champaign.

\*\*\* Time or user interrupt, gap calculations  
 \*\*\* are invalid because of an incomplete solution.

=====

BARON version 19.3.24. Built: LNX-64 Sun Mar 24 16:34:40 EDT 2019

BARON is a product of The Optimization Firm.  
 For information on BARON, see <https://minlp.com/about-baron>

If you use this software, please cite publications from  
<https://minlp.com/baron-publications>, such as:

Kilinc, M. and N. V. Sahinidis, Exploiting integrality in the global  
 optimization of mixed-integer nonlinear programming problems in  
 BARON,

EK-5. Çoklu kritere göre sınıf oluşturan model örnek problem veri seti

Çizelge 5.1. Çoklu kritere göre sınıf oluşturan model örnek problem veri seti

	f(t)	25	
	v(it)	1	
	M	5	
	r(l)	o(l)	p(l)
konum1	10	0,5	1,5
konum2	10	0,5	1,5
konum3	10	0,5	1,5
konum4	10	0,5	1,5
konum5	10	0,5	1,5
konum6	10	1,5	2,5
konum7	10	1,5	2,5
konum8	10	1,5	2,5
konum9	10	1,5	2,5
konum10	10	1,5	2,5
konum11	10	2,5	3,5
konum12	10	2,5	3,5
konum13	10	2,5	3,5
konum14	10	2,5	3,5
konum15	10	2,5	3,5
konum16	10	3,5	4,5
konum17	10	3,5	4,5
konum18	10	3,5	4,5
konum19	10	3,5	4,5
konum20	10	3,5	4,5
konum21	10	4,5	5,5
konum22	10	4,5	5,5
konum23	10	4,5	5,5
konum24	10	4,5	5,5
konum25	10	4,5	5,5

c(i,t)	Ocak	Şubat	Mart
ürün1	6,24	6,24	6,24
ürün2	5,82	5,82	5,82
ürün3	6,28	6,28	6,28
ürün4	6,62	6,62	6,62
ürün5	6,73	6,73	6,73
ürün6	6,13	6,13	6,13
ürün7	6,11	6,11	6,11
ürün8	7,23	7,23	7,23
ürün9	6,02	6,02	6,02
ürün10	6,56	6,56	6,56

EK-5. (devam) Çoklu kritere göre sınıf oluşturan model örnek problem veri seti

Çizelge 5.1. (devam) Çoklu kritere göre sınıf oluşturan model örnek problem veri seti

$h(i,t)$	Ocak	Şubat	Mart
ürün1	3,02	3,02	3,02
ürün2	3,02	3,02	3,02
ürün3	3,02	3,02	3,02
ürün4	3,02	3,02	3,02
ürün5	3,02	3,02	3,02
ürün6	3,02	3,02	3,02
ürün7	3,02	3,02	3,02
ürün8	3,02	3,02	3,02
ürün9	3,02	3,02	3,02
ürün10	3,02	3,02	3,02

$u(i,t)$	Ocak	Şubat	Mart
ürün1	15	15	15
ürün2	30	30	30
ürün3	15	15	15
ürün4	15	15	15
ürün5	15	15	15
ürün6	30	30	30
ürün7	15	15	15
ürün8	15	15	15
ürün9	15	15	15
ürün10	20	20	20

$d(i,t)$	Ocak	Şubat	Mart
ürün1	3	2	1
ürün2	1	1	1
ürün3	2	1	1
ürün4	0	2	0
ürün5	1	3	4
ürün6	5	0	1
ürün7	0	1	0
ürün8	0	1	0
ürün9	1	3	1
ürün10	1	1	3

## EK-6. Çoklu kritere göre sınıf oluşturan model örnek problem çözüm sonuçları

Çizelge 6.1. Çoklu kritere göre sınıf oluşturan model örnek problem çözüm sonuçları

Model: 10 ürün, 25 konum, 3 Dönem							
Amaç Fonksiyonu Değeri				1066,18\$			
Çözüm süresi				2840 sn			
İterasyon				-			
$x(i,t)$	Ocak	Şubat	Mart	$s(i,t)$	Ocak	Şubat	Mart
ürün1	3	2	1	ürün2	1	-	-
ürün2	2	-	1	ürün3	-	1	-
ürün3	2	2	1	ürün9	-	1	-
ürün4	-	2	-				
ürün5	1	3	4				
ürün6	5	-	1				
ürün7	-	1	-				
ürün8	-	1	-				
ürün9	1	4	1				
ürün10	1	1	3				
$y(i,t)$	Ocak	Şubat	Mart				
ürün1	1	1	1				
ürün2	1	-	1				
ürün3	1	1	1				
ürün4	-	1	-				
ürün5	1	1	1				
ürün6	1	-	1				
ürün7	-	1	-				
ürün8	-	1	-				
ürün9	1	1	1				
ürün10	1	1	1				

EK-6. (devam) Çoklu kritere göre sınıf oluşturan model örnek problem çözüm sonuçları

Çizelge 6.1. (devam) Çoklu kritere göre sınıf oluşturan model örnek problem çözüm sonuçları

q(i,c)	Sınıf 1	Sınıf 2	Sınıf 3	Sınıf 4	Sınıf 5	z(l,c)	sınıf 1	sınıf 2	sınıf 3	sınıf 4	sınıf 5
ürün1	1	-	-	-	-	L1	1	-	-	-	-
ürün2	1	-	-	-	-	L2	1	-	-	-	-
ürün3	1	-	-	-	-	L3	1	-	-	-	-
ürün4	-	1	-	-	-	L4	1	-	-	-	-
ürün5	1	-	-	-	-	L5	1	-	-	-	-
ürün6	1	-	-	-	-	L6	1	-	-	-	-
ürün7	1	-	-	-	-	L7	1	-	-	-	-
ürün8	1	-	-	-	-	L8	1	-	-	-	-
ürün9	1	-	-	-	-	L9	1	-	-	-	-
ürün10	1	-	-	-	-	L10	1	-	-	-	-
						L11	1	-	-	-	-
						L12	1	-	-	-	-
						L13	1	-	-	-	-
						L14	1	-	-	-	-
						L15	1	-	-	-	-
						L16	-	1	-	-	-
						L17	-	1	-	-	-
						L18	-	-	-	-	-
						L19	-	-	-	-	-
						L20	-	-	-	-	-



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YERLİKAYA, Mehmet Akif  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 05.11.1987, KONYA  
 Medeni hali : Evli  
 Telefon : 0 (553) 608 26 91  
 e-mail : akif2705@gmail.com



### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi /End. Müh.	Devam ediyor
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi /End. Müh.	2014
Lisans	Kocaeli Üniversitesi/End. Müh.	2009
Lise	Orhan Şaik Gökyay Lisesi	2005

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2019-Halen	Bitlis Eren Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2012-2019	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2010-2012	Bitlis Eren Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

Efe, B., Yerlikaya, M.A., Efe, Ö.F. (2016). İş Güvenliğinde Bulanık Promethee Yöntemiyle Hata Türleri ve Etkilerinin Analizi: Bir İnşaat Firmasında Uygulama. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 126-137.

Yerlikaya, M.A., Arıkan, F. (2016). Constructing the performance effectiveness order of SME supports programmes via PROMETHEE and ORESTE techniques. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31(4), 1007-1016.

Yerlikaya, M.A., Arıkan, F. (2017). AHP-KRİTİK TOPSİS bütünleşik yaklaşımı ile akreditasyon-temelli tedarikçi seçimi. *The International New Issues in Social Sciences*, 5(5), 627-635.

Yerlikaya, M.A., Tabak, Ç., Yıldız, K. (2019). Logistic Location Selection with Critic-Ahp and Vikor Integrated Approach, *Data Science and Applications*, 2 (1), 21-25.

### **Bildiriler**

Aktaş, A., Yerlikaya, M.A., Ecer, B., Kabak, M. (2019). AHP–TOPSIS Hybrid Approach for Research Assistant Selection. *International Conference on Data Science, Machine Learning and Statistics*.

Efe, B., Yerlikaya, M.A., Efe, Ö.F. (2014). Hata Türleri ve Etkileri Analizinde Fuzzy Promethee ve Oreste Yöntemleriyle Risklerin Sıralanması. *20. Ulusal Ergonomi Kongresi*.

Efe, B., Yerlikaya, M.A., Efe, Ö.F. (2018). An Integrated Approach for Mobile Phone Selection. *New Challenges in Industrial Engineering and Operations Management*.

Yerlikaya, M.A., Arıkan, F. (2015). KOBİ'lere Sağlanan Desteklerin KOBİ Performansına Etkisinin İstatistiksel Analiz ile Değerlendirilmesi. *16. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması ve İstatistik Sempozyumu*.

Yerlikaya, M.A., Arıkan F. (2016). AHP-ORESTE-PROMETHEE Bütünleşik Yaklaşımı İle Çevresel Sürdürülebilirliği Destekleyen Tedarikçi Seçimi. *17. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması ve İstatistik Sempozyumu*.

Yerlikaya, M.A., Arıkan, F. (2016). Accreditation-based Supplier Selection by AHP-PROMETHEE Integrated Approach. *International Conference on Natural Science and Engineering*.

Yerlikaya, M.A., Arıkan, F. (2019). Sipariş Toplama Sistemlerinde TOPSIS Yöntemine Dayalı Sınıf Oluşturma ve Atama Modeli. *Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Kongresi*.

### **Hobiler**

Futbol, Satranç, Astronomi, Kitap Okuma



*GAZİ GELECEKTİR..*