





An integrated model for production planning and class based storage location assignment problem in order picking systems

Mehmet Akif Yerlikaya^{1*} , Feyzan Arıkan² 

¹Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering and Architecture, Bitlis Eren University, Bitlis, 13000, Turkey

²Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Gazi University, Ankara, 06570, Turkey

Highlights:

- A mixed integer nonlinear mathematical model proposal for storage location assignment problem
- Formulation of the integrated storage location assignment and production planning problem with class-based policy
- Comparative analysis of the solution results of the proposed model and the dedicated policy model

Keywords:

- Class-based storage location assignment
- Production planning
- MINLP
- Order picking

Article Info:

Research Article
Received: 24.04.2021
Accepted: 03.11.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.927184

Correspondence:

Author: Mehmet Akif Yerlikaya
e-mail: mayerlikaya@beu.edu.tr
phone: +90 434 222 0030

Graphical/Tabular Abstract

This study concentrates on the storage location assignment problem which is effective in the operation of order picking systems in warehouse management. A new mathematical model is proposed by regarding the class-based storage policy for the integrated problem involving the assignment of products to storage locations and production quantity (lot size) of each product, which is faced in the operation of order picking systems within warehouse management. In order to test the effectiveness of the proposed model, the solution is made using the data set available in the literature and the results obtained are compared with the solution results of the dedicated policy model. As a result of the solution, it is determined that the proposed model saves space cost compared to the dedicated policy model.

	Small sample problem		Medium sample problem	
	Dedicated model Zhang et al. (2017)	Proposed Class based model	Dedicated model Zhang et al. (2017)	Proposed Class based model
Solver type	Optimal solution		Optimal solution	
GAMS solver	CPLEX	BARON	CPLEX	BARON
Object function value	1192,89 \$	1185,37 \$	3484,94 \$	2354,84 \$
Solution time (s)	0,48 s	0,63 s	693 s	1705 s
The number of Storage locations	10	10	40	25

Figure A. The comparison table for different storage assignment policies

Purpose: The aim of this study is to assign the products in the most suitable locations in classes by making the best production plan to minimize the space, distance and production planning costs

Theory and Methods: We formulate the class-based storage location assignment and production planning problem as a Mixed Integer Nonlinear Program (MINLP).

Results: The solution results of the two models show that the proposed model is more effective than the solution results in the literature. It is observed that using a class-based policy provides an improvement of \$ 27.44 in the small sample problem and \$ 1130.10 in the medium sample problem. In addition, location saving is achieved for the medium sample problem

Conclusion: The proposed model capable to obtain optimal solution for multi-product capacitated lot sizing problem and the dynamic storage location assignment problem simultaneously to minimize the total cost of production and warehouse operations. Therefore, this model comes handy for warehouse managers who faced the difficulty in finding available space during periods when the products are transferred from production area to the warehouse.



Sipariş toplama sistemlerinde üretim planlama ve sınıf temelli depo ürün atama problemi için bütünleşik model önerisi

Mehmet Akif Yerlikaya^{1*}, Feyzan Arıkan²

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 13000 Bitlis, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06570 Maltepe Ankara, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Depo ürün atama problemi için karışık tamsayı doğrusal olmayan bir matematiksel model önerisi
- Sınıf temelli politikaya göre bütünleşik depo ürün atama ve üretim planlama probleminin formüle edilmesi
- Önerilen model ile sabit politikalı modelin çözüm sonuçlarının karşılaştırmalı analizi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi
Geliş: 24.04.2021
Kabul: 03.11.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.927184

Anahtar Kelimeler:

Sınıf temelli depo ürün atama,
üretim planlama,
MINLP,
sipariş toplama

ÖZ

Bu çalışma, depo yönetiminde sipariş toplama sistemlerinin işleyişinde etkili olan depo yeri atama problemine odaklanmaktadır. Depo 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 üretim planlamayı içeren bütünleşik problem için sınıf temelli depolama politikasını dikkate alan karışık tam sayılı doğrusal olmayan (MINLP) bir matematiksel model önerilmiştir. Önerilen modelin etkinliğini test etmek amacıyla Turner [5]’ne ait veri seti kullanılarak çözümü yapılmış ve elde edilen sonuçlar sabit politikalı modelin çözüm sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Çözüm sonucunda, önerilen modelin sabit politikalı modele göre alan maliyetinden tasarruf ettiği tespit edilmiştir.

An integrated model for production planning and class based storage location assignment problem in order picking systems

H I G H L I G H T S

- A mixed integer nonlinear mathematical model proposal for storage location assignment problem
- Formulation of the integrated storage location assignment and production planning problem with class-based policy
- Comparative analysis of the solution results of the proposed model and the dedicated policy model

Article Info

Research Article
Received: 24.04.2021
Accepted: 03.11.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.927184

Keywords:

Class-based storage location assignment,
production planning,
MINLP,
order picking

ABSTRACT

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 mixed-integer nonlinear programming (MINLP) mathematical model is proposed by regarding the class-based storage policy for the integrated problem involving the assignment of products to storage locations and production quantity of each product, which is faced in the operation of order picking systems within warehouse management. In order to test the effectiveness of the proposed model, the solution is made using the data set available in the literature and the solution results are compared with the solution results of the dedicated policy model. As a result of the solution, it is determined that the proposed model saves space cost compared to the dedicated policy model.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Depo yöneticileri, sipariş geldiğinde en kısa çevrim süresiyle müşteri taleplerini karşılamak amacıyla karşılanacak siparişlerin en ekonomik yolunu bulmayla ilgilendirler. Çünkü, depolama sistemlerinin müşteri taleplerine hızlı yanıt verebilmesi tedarik zincirinin başarısında da önemli bir rol oynamaktadır [1]. Dolayısıyla, etkin bir depo kullanımı özellikle; stok yönetimi, depolama/boşaltma/taşıma, ulaşım mesafesi, kullanım alanı, teslimat-bekleme süreleri ve bunlardan doğacak maliyetin minimize edilmesi açısından birden çok kriteri dikkate almayı gerektirir. Bu yüzden, depo konumu veya ürün atama problemi için çözüm bulmadaki amaçlar, depolama süreci boyunca toplam ulaştırma zamanı veya mesafesini minimize etmek ve ihtiyaç duyulan alanı azaltmaktır [2].

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 [3].

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 bölgelere ayırmaktır. Böylece sipariş toplayıcılar sadece atandıkları bölgede bulunan siparişleri toplayacaklardır. Üçüncü unsur, ürünlerin depo yerlerine (konum) atanmasıdır. Bu yöntemde depo konuları, 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 kümelenebilir ve aynı kümeye atanan siparişlerin tek seferde toplanması yoluyla gidilen ulaşım mesafesi azaltılmaktadır [3].

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. Depo ürün atama da, depo operasyon yönetiminde önemli bir karar problemidir [2]. Çünkü, depo ürün atama sisteminin veya kombinasyonunun temel amacı, depodaki ürünlerin teşhisi ve konumlanmasını kolaylaştırmak için çeşitli parametreler oluşturmaktır.

Yapılan literatür araştırmasında, sipariş toplama sistemlerinde depo ürün atama probleminin ve seçilen sipariş politikasının önemi ortaya çıkmıştır. En yaygın kullanılan sipariş toplama politikaları; sınıf temelli politika, sabit politika, rastgele politika, tam devir politikası, veri madenciliği temelli politika, hacme dayalı politika, paylaşılan konum politikası, kalış süresi politikası ve korelasyona dayalı politikadır [4, 5]. Bu politikalardan sınıf temelli politikanın diğer politikalar içerisindeki yeri, çeşitli kriterlere bağlı sınıf oluşturma yöntemi ve gerçek yaşamda kullanıma uygunluğu konusunda değerlendirmelere olanak tanımıştır. Ayrıca, literatür araştırması, depo ürün atama problemi ile ilgili çalışmaların sadece depo yönetimi kapsamında ele alındığını göstermiştir [5]. 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.

Bu çalışmada, sipariş toplama sistemlerinde depo 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 içeren bütünleşik problem için sınıf temelli depolama politikasını dikkate alan yeni bir karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlama (MINLP) modeli önerilmiştir. Modelin etkinliğini test etmek amacıyla Turner [5]’ne ait veri seti kullanılarak çözümü yapılmış ve elde edilen sonuçlar Zhang vd. [6]’nin önerdikleri sabit politikaya dayalı modelin çözüm sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE RESEARCH)

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. Depo ürün atama, birçok yeni araştırmanın yapıldığı alanlardan biridir. Çünkü ulaşım mesafesi ve alan maliyeti gibi sipariş toplamaya ait performans ölçülerini optimize etmek çok yaygındır [7].

Literatür araştırması, sınıf temelli politikayı kullanan depo ürün atama çalışmaları ve üretim planlama veya stok modelini dikkate alan depo ürün atama çalışmaları çalışmalar olmak üzere iki başlık altında incelenmiştir.

2.1. Sınıf temelli depo ürün atama çalışmaları (Studies on class-based storage location assignment)

Hausman vd. [8], otomatik depolama sistemlerinde paletlerin yerleştirilmesi ve alınması için ihtiyaç duyulan vinç ulaşım zamanını en aza indirmek için raflı 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. Van Den Berg [9], tek komutlu depolama ve boşaltma sistemlerinde sınıf-temelli depo ürün atama problemini ele almıştır. Ortalama tek komutlu devir süresini en aza indiren sınıf tahsisini bulan etkili bir dinamik programlama algoritması önermiştir. Le-Duc ve De Koster [10], bir toplama turunun ortalama ulaşım mesafesini tahmin etmek için sınıf temelli olasılıklı bir model önermişlerdir. Muppani ve Adil [11], ürünlerin depo konumlarına atanmasında ürün sınıflarını COI (Sipariş başına küp endeksi) 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. Li vd. [12], depo ürün atama sorunu için çok amaçlı matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Sınıflandırma stratejisine göre sipariş frekansı ve raf dengesini de dikkate almışlardır. Meghelli ve Sari [13], talebe göre oluşturulan sınıf temelli depo ürün atamanın olduğu bir depo düzeni önermişlerdir. Sınıf oluşturmada tek bir kriter olarak talebi kullanmışlardır. Kovacs [7], toplayıcıların planlanmış rotayı izlediği, fazla sayıda rotanın bulunduğu, döngüsel sefer (Milk-run) sistemiyle ürünlerin çok komutla toplandığı bir depoda sınıf temelli depo ürün atama problemini çözmek için matematiksel karışık tam sayılı programlama modeli geliştirmiştir. Ayrıca, geliştirdiği modeli COI yöntemiyle kıyaslamıştır. Ene ve Öztürk [14], stokastik optimizasyon ve matematiksel model yöntemleriyle ürün atama ve sipariş toplama sistem tasarımını geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Depo ürün atama probleminde taşıma mesafesini minimize etmek için sınıf temelli tam sayılı lineer programlama modeli önermişlerdir. Fontana ve Calvante [2], optimal pareto analizi yöntemini kullanarak sipariş toplama mesafesini ve depo alanını çözümlen COI-sınıf temelli depo ürün atama problemi geliştirmişlerdir. Yang ve Nguyen [15], sıkışmış operasyonun kısıtlamalarını ve özel ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak sınıf tabanlı bir depo için sıkışmış öğeleri gruplamak için kısıtlı bir kümeleme yöntemi önermiştir. Fontana ve Nepomuceno [16], ürünleri yüksek seviyeli bir depolama sisteminde (çok katmanlı depo-3D gibi) sınıflandırmak ve depo ürün atama problemini çözmek için çok kriterli bir karar modeli önermiştir. Zhou vd. [17], sipariş toplama verimliliğini artırmak için veri toplama, küme analizi ve ilişkilendirme analizi dahil olmak üzere büyük bir veri teknolojisi ile bir depolama konumu stratejisinin iyileştirilmesini inceledi. Bunun için, sınıf tabanlı depolama stratejisini geliştirmek için bir yöntem önerdiler.

2.2. Üretim planlama veya stok modelini dikkate alan depo ürün atama çalışmaları (Studies on integrated storage location assignment and production planning)

Wilson [18], 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. Ayrıca, taşıma maliyetlerinin yanı sıra üretim, stok ve hazırlık maliyetlerini de göz önünde bulundurmanın önemine vurgu yapmıştır. Daellenbach [19], stok planlama ve bir yenileme politikasını dikkate alan depo ürün atama problemine odaklanmıştır. Hodgson ve Lowe [20] bütünlük ürün atama ve yeniden sipariş miktarı problemini ele almışlardır. Malmberg ve Deutsch [21], 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 [22], sipariş toplama maliyetlerine dayanarak alternatif depolama politikalarını değerlendirmek için başarıyla uygulanan bir model geliştirmiştir. Modelde, ürün stok politikaları, toplam alan tahsisi ve depolama konumu ile ilgili maliyet ilişkilerini tanımlamıştır. Kültürel vd. [23], sürekli gözden geçirmeli stok kontrol modeli (Q, r) ile ürün atama problemini kombine etmişlerdir. Burada, Q sipariş miktarını ve r emniyet stoğunu ifade eder. Hassini [24], ürün sayısının depolama alan sayısından daha az olduğu durumlara odaklanarak depolama alanı tahsisini ve yenileme zamanlarını incelemiştir. Kullanılan yenileme politikası, mevcut alanı ve bu alana sığabilecek ürün miktarını inceleyen bir politikadır. Bu politikada yenileme, ürün stoğu tükenir tükenmez gerçekleşmektedir. Zhang vd. [6], depo ürün atama problemi ile literatürde yaygın olarak kullanılan kısıtlandırılmış parti büyüklüğü problemini birlikte ele alan bütünlük 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 önermişlerdir.

Bütünlük modelin olduğu çalışmalar incelendiğinde depo ürün atama ile birlikte stok veya üretim planlama modellerinin bir bütün olarak değerlendirildiği tespit edilmiştir. Bu çalışmalar içerisinde Zhang vd. [6]'nin çalışması en önemlisidir. Bunun sebebi, depo ürün atama problemini üretim planını dikkate alarak modelleyen tek çalışma olmasıdır. Bu çalışmada, Zhang vd. [6]'nin önermiş oldukları model geliştirilerek üretim planlamasının da olduğu depo ürün atama probleminin sınıf temelli politika ile modellenmesi önerilmiştir. Yapılan literatür taramasında üretim planını dikkate alan sınıf temelli depo ürün atama ile ilgili çalışma mevcut değildir. Önerilen model, üretim planlamasının da olduğu sipariş toplama sistemlerinde ürünleri sınıflar halinde depo konumlarına atayarak alan maliyetlerinde tasarruf sağlaması açısından literatüre katkı sunmuştur. Önerilen model üretim planını dikkate alan diğer çalışmalarla kıyaslandığında kullanılan politika ile alan

Tablo 1. Üretim planlama veya stok modelini dikkate alan depo ürün atama çalışmaları
(Storgae location assignment studies with production planning or inventory model)

Yazar, Yıl	Ürün Atama Politikası	Amaç	Stok Modeli	Talep	Çözüm Yöntemi
Daellenbach H., (1977)	-	Kurulum, depolama ve stokta tutma maliyetlerini en aza indirmektir.	(S, s)	Statik	Matematiksel Model
Wilson H.G., (1977)	Sabit	Sipariş toplama ve stok maliyetlerini minimize etmektir.	EOQ	Statik	Matematiksel Model
Hodgson T.J., (1982)	-	Taşıma maliyetlerini en aza indirmektir.	EOQ	Statik	Matematiksel Model
Malmborg C.J., Deutsch S.J., (1988)	Sabit	Alternatifleri temsil eden depo yerleşimlerinin sipariş toplama ve stok maliyet etkilerini ölçerek ulaştırma maliyetlerini azaltmaktır.	EOQ	Statik	Matematiksel Model
Malmborg C.J., (1996)	Rassal	Ürün stoğu politikaları, toplam alan tahsisi ve depolama düzeni ile ilgili maliyeti minimize etmektir.	(S, s)	Statik	Matematiksel Model
Kültürel S., Ozdemirel N.E., Sepil C., Bozkurt Z., (1999)	Döngü temelli ve kalış süresi	Stok kontrol politikaları ile birlikte ürün atama politikalarının etkinliğini belirlemektir.	(S, s)	-	Simülasyon
Hassini E., (2008)	-	Beklenen yenilenme sürelerini en üst düzeye çıkaracak optimum alan tahsisini bulmaktır.	(S, s)	-	Matematiksel Model
Zhang vd. (2017)	Sabit	Depolama işlemleri ve toplam üretim maliyetlerini minimize etmektir.	CLSP	Dinamik	Matematiksel Model
<i>Önerilen Model</i>	<i>Sınıf temelli</i>	<i>Taşıma, mesafe ve üretim planlama maliyetlerinin minimize edilmesi</i>	<i>CLSP</i>	<i>Dinamik</i>	<i>Matematiksel Model</i>

kazanımı sağlaması açısından farklıdır. Tablo 1’de önerilen model ile üretim planlama veya stok modelini dikkate alan diğer depo ürün atama çalışmalarının karşılaştırılması verilmiştir.

(S, s) : Yenilemeli Stok Politikası Modeli
S : Maksimum stok düzeyi
s : Minimum stok düzeyi
EOQ : Ekonomik Sipariş Miktarı Modeli
CLSP : Kısıtlandırılmış Parti Büyüklüğü

3. PROBLEM FORMÜLASYONU (PROBLEM FORMULATION)

Önerilen model, üretim deposundaki düzene odaklanarak taşıma, depolama ve üretim işlemlerini ele almıştır. Üretim merkezinde üretilen ürünler depoya taşınarak en uygun konumlara 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).

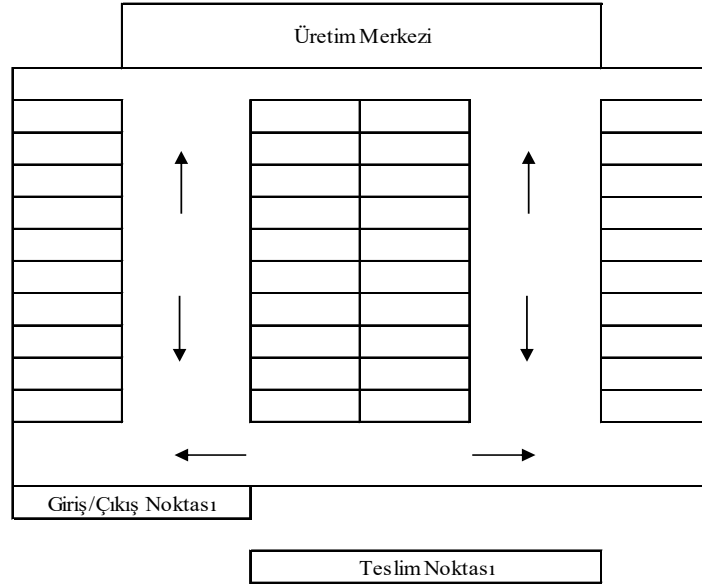
- Bu depo konumlarından ürünleri giriş-çıkış (I/O) noktasına taşımak için bir forklift aracı kullanılır.

Problem için örnek bir depo yerleşimi Şekil 1’de verilmiştir. Örnekte ele alınan depo sistemi; üretim merkezi, müşteriye teslim noktası, paletli raflar ve giriş-çıkış (I/O) kapısından oluşmaktadır.

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 taşımının maliyeti mesafe farklılığından dolayı aynı değildir.

Problemin varsayımları şöyledir:

- Tüm ürünler palet olarak taşınmış ve depolanmıştır.
- Paletler aynı boyut ve ağırlıkta olup taşıma maliyetleri üzerinde herhangi bir etkisi yoktur.
- Ayrık 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.



Şekil 1. Probleme ait örnek bir depo yapısı (A sample warehouse layout for the problem)

- Talep miktarları bilinmekte olup yok satmaya izin verilmemektedir.
- Hazırlık maliyetleri, operatörün bir ürünün üretimi için tesis içerisinde harcadığı zaman ile doğru orantılıdır.

Bu çalışma, depo yönetimi içerisinde sipariş toplama sistemlerinin işleyişinde etkili “ürünlerin depo alanlarına atanması ve üretim planlamayı içeren bütünleşik problem için sınıf temelli bir matematiksel model önerilmiştir. Bu model, ürünlerin sınıflar halinde gruplandırılmasını ve bu grupların depo konumlarına atanmasını içeren bir karışık tamsayılı doğrusal olmayan (MINLP) bir modeldir. Her ürün için atanan konum, sabit politikali modelde sabit olduğundan, bu konum boş olsa bile farklı bir ürün için kullanılamaz. Önerilen model, sabit politikali modelin dezavantajlarını ortadan kaldırma ve alan maliyetlerinden tasarruf etme fırsatı sağlar.

3.1. Notasyon (Notation)

Önerilen modelin parametreleri; depo konumlarının sayısı, ürünler, tahmini talep, dönem, ayrıca mesafe, alan, üretim, stokta tutma maliyetlerinden oluşur. Önerilen model için notasyonlar aşağıda açıklanmıştır.

İndis Kümesi:

- i : ürün $i = 1, 2, \dots, N$.
 c : sınıf $C = N$.
 t : dönem $t = 1, 2, \dots, T$.
 l : konum $l = 1, 2, \dots, L$

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_i : Üretimle ilgili önemli bir kaynak kısıtı (Üretim merkezi hazırlık zamanı kapasitesi).
 M : Üretimde herhangi bir önemli kısıtlayıcı faktör için skaler bir değer.

3.2. Matematiksel model (Mathematical model)

Önerilen bütünleşik üretim planlama ve sınıf temelli ürün atama modeli karışık tam sayılı programlama modeli olarak şöyle formüle edilmiştir:

Amaç fonksiyonu:

$$Z_{\min} = \sum_c \sum_l R_l \cdot z_{lc} + \sum_c \sum_t \left(\frac{1}{\sum_l z_{lc}} \right) \cdot \sum_i x_{it} \cdot q_{ic} + \sum_c \sum_t \left(\frac{1}{\sum_l z_{lc}} \right) \cdot \sum_i d_{it} \cdot q_{ic} + \sum_i \sum_t (c_{it} \cdot x_{it} + u_{it} \cdot y_{it} + h_{it} \cdot s_{it}) \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_c z_{lc} \leq 1 \quad \forall l, \quad (2)$$

$$\sum_c q_{ic} = 1 \quad \forall it, \quad (3)$$

$$d_{it} \leq x_{it} + s_{it-1} \quad \forall it, \quad (4)$$

$$s_{it} = x_{it} - d_{it} + s_{it-1} \quad \forall it, \quad (5)$$

$$\sum_i (x_{it} + s_{it-1}) \cdot q_{ic} \leq \sum_l z_{lc} \quad \forall ct, \quad (6)$$

$$x_{it} \leq y_{it} \cdot M \quad \forall it, \quad (7)$$

$$\sum_i x_{it} \cdot v_{it} \leq f_t \quad \forall t, \quad (8)$$

$$z_{lc} \in \{0,1\} \quad \forall lc, \quad (9)$$

$$q_{ic} \in \{0,1\} \quad \forall ic, \quad (10)$$

$$x_{it} \geq 0 \quad \forall it, \quad (11)$$

$$s_{it} \geq 0 \quad \forall it, \quad (12)$$

$$y_{it} \geq 0 \quad \forall it, \quad (13)$$

Modelde amaç fonksiyonu Eş. 1; dört maliyet kaleminden oluşmaktadır. İlki, sınıf-temelli politika kapsamında ürün sınıfları için yer ayırmanın (alan) maliyetidir. İkincisi, ürün 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 taşıma maliyetidir (bu belirli bir zaman aralığında bir ürün talep edildiğinde gerçekleşir). Dördüncü maliyet kalemi ise üretim maliyeti, hazırlık ve stok tutma ile ilişkili tüm maliyetlerdir. Amaç, bu maliyetleri en aza indirmek için en iyi şekilde üretim planı yaparak ürünleri sınıflar halinde en uygun konumlara yerleştirmektir. Eş. 2 kısıtı, bir konuma atanabilecek sınıf sayısının en fazla bir olabileceğini, Eş. 3 kısıtı, her bir ürün sadece ve sadece bir sınıfa atanmasını, Eş. 4 kısıtı, belirli t dönemi boyunca bir ürünün üretim miktarı ile stok miktarı toplamının en az o ürünün talep miktarı kadar olabileceğini, Eş. 5 kısıtı, *stok denge kısıtını*, Eş. 6 kısıtı, c sınıfına ait ürünlerin üretim miktarı ile stok miktarı toplamının en fazla o sınıf için ayrılmış konum sayısı kadar

olabileceğini, Eş. 7 kısıtı, 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. Eş. 8 kısıtı, üretim kapasite sınırını, Eş. 9, Eş. 10 kısıtları, 0-1 tam sayı ve değişken kısıtını, Eş. 11, Eş. 12, Eş. 13 kısıtları ise pozitif değişken kısıtını ifade eder.

4. ÇÖZÜM YAKLAŞIMI (SOLUTION APPROACH)

Bu bölümde önerilen matematiksel modelin geçerliliğini ve çözülebilirliğini test etmek amacıyla GAMS/BARON optimizasyon yazılımı kullanılarak çözümü yapılmıştır. Bunun için, Turner [5]’a ait veri setleri (i -ürün, t -periyot, l -lokasyon, c -sınıf) kullanılmıştır. Turner [5], veri setleri için pirinç üreten bir gıda firmasından yararlanmıştır. Model çözümü için 5 ürün-5 dönem-10 konumlu ve 15 ürün-6 dönem-40 konumlu iki örnek problem ele alınmıştır.

5 ürün-5 dönem-10 konumlu örnek problemin parametreleri [5] tablo 2’de, 15 ürün-6 dönem-40 konumlu örnek problemin parametreleri [5] ise tablo 3’de özet olarak verilmiştir. Her iki örnek problem için GAMS/BARON optimizasyon yazılımı kullanılarak optimal sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 4 iki örnek probleme ait hesaplama sonuçlarını göstermektedir.

Model önerisini ve pratik durumlara sahip çözümleri doğrulamak için küçük ve orta ölçekli veriler kullanılmıştır. Çözümler, 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. Tablo 5, Tablo 6, Tablo 7’de 5 ürün-5 dönem-10 konumlu örnek problem için sırasıyla üretim planlama, ürün-sınıf atamaları ve atanan konumlar verilmiştir. Üretim miktarları incelendiğinde yalnızca ürün5 için ocak ve mart dönemi sonunda 1 birimlik stoklama söz konusudur. Talep miktarları tam karşılanmış, şubat-nisan-mayıs aylarında dönem sonu ürün stoklanmasına izin verilmemiştir. Ürün1 sınıf3’e, ürün2 sınıf4’e, ürün3-ürün5 sınıf2’ye ve ürün4 ise sınıf1’e atanmış olup bu dört sınıf için toplamda 10 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.

Tablo 2. 5 ürün-5 dönem-10 konumlu örnek problemin veri setleri [5]

(The parameters of the small sample)

R_L	10	h_{it}	2,94
P_L	8,14-9,06	d_{it}	1-3
O_L	3,51-5,51	v_{it}	1
c_{it}	5,82-6,73	f_t	10
u_{it}	4,5-15	M	5

Tablo 3. 15 ürün-6 dönem-40 konumlu örnek problemin veri setleri [5] (The parameters of the medium sample)

R_L	10	h_{it}	2,94
P_L	6,22-9,06	d_{it}	0-7
O_L	3,51-7,93	v_{it}	1
c_{it}	4,32-7,31	f_t	25
u_{it}	4,5-90	M	7

Tablo 4. İki örnek problemin (i,t,l) hesaplama sonuçları (The numerical results of two sample problems)

Veri Seti	Amaç Değeri	GAP [%]	Çözüm Zamanı (s)
(5,5,10)	1185,37	0	0,63
(15,6,40)	2354,84	0	1705

Tablo 5. Üretim miktarları $x(i,t)$ (Results for production planning)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs
Ürün1	3	3	3	3	3
Ürün2	2	2	2	2	2
Ürün3	1	2	1	2	1
Ürün4	2	2	2	2	2
Ürün5	2	-	2	-	1

Tablo 6. Ürün-sınıf atamaları $q(i,c)$ (Product-Class assignments)

	Sınıf1	Sınıf2	Sınıf3	Sınıf4	Sınıf5
Ürün1	-	-	1	-	-
Ürün2	-	-	-	1	-
Ürün3	-	1	-	-	-
Ürün4	1	-	-	-	-
Ürün5	-	1	-	-	-

Tablo 7. Depo Konumları $z(l,c)$ (The storage locations)

	Sınıf1	Sınıf2	Sınıf3	Sınıf4
Konum1	1	-	-	-
Konum2	-	-	1	-
Konum3	-	-	-	1
Konum4	-	-	1	-
Konum5	-	1	-	-
Konum6	-	-	1	-
Konum7	1	-	-	-
Konum8	-	-	-	1
Konum9	-	1	-	-
Konum10	-	1	-	-

Tablo 8. Karşılaştırmalı çözüm sonuçları (The comparison table for different storage assignment policies)

Çözüm tipi	$\{(i-t-l)=(5-5-10)\}$		$\{(i-t-l)=(15-6-40)\}$	
	Sabit politikalı model	Sınıf temelli model	Sabit politikalı model	Sınıf temelli model
GAMS Çözücü	CPLEX	BARON	CPLEX	BARON
Amaç Fonksiyonu Değeri	1192,89 \$	1185,37 \$	3484,94 \$	2354,84 \$
Süre (s)	0,48	0,63	693 sn	1705 sn
Atanan Konum Sayısı	10	10	40	25

Zhang vd. [6]'nin önermiş oldukları bütünlük 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 modelde ise ürünlerin sınıflandırılarak konumlara atanması esas alınmıştır. Ürün sınıflandırmada, benzer özellikler gösteren ürünler bir araya getirildiği için atandıkları konumlarda birbirlerinin yerine kullanılabilir [25]. Tablo 8'de önerilen sınıf temelli model ile sabit politikalı modelin iki örnek problem için çözüm sonuçları karşılaştırılmıştır.

Çözüm sonuçları karşılaştırıldığında önerilen modelin daha etkin sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Sınıf temelli politika kullanmanın, 5 ürünlü-5 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 kullanılmazken sınıf temelli politikada aynı sınıfa atanan ürünler birbirleri yerine kullanılabilir. Ayrıca, 15 ürün-6 dönem-40 konumlu 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 sabit politikalı modelin çözüm zamanından büyüktür.

Tam sayılı programlamada doğrusal olmayan ilişkiler; parçalı doğrusal yaklaşımlarla veya doğrusal olmayan bir fonksiyonun 0-1 değişkenlerle tanımlı bir polinomsal fonksiyona dönüştürülmesi ile ve daha sonra bu polinomsal fonksiyonun 0-1 değişkenli doğrusal fonksiyona dönüşümü ile gerçekleştirilir. Ayrıca ayrılabilir fonksiyonlar içeren 0-1 tamsayı programlama problemleri için monotonluk özelliklerini kullanarak geliştirilen metotlar da mevcuttur [26]. Doğrusallaştırma yöntemlerine ilişkin son araştırmalar, ya daha özlü modeller sağlayarak ya da kısıtlama sınırlarını sıkılaştırarak doğrusallaştırılmış modellerin hesaplama performansını artırmaya adanmıştır [27]. Glover [26], doğrusallaştırma yöntemlerinin modellemede değişken ve kısıt sayılarında artışa neden olacağı için, işlemde elde edilecek kazanımların doğrusal fonksiyonlarla (tamsayı değişkenleri olsa da) artan problem boyutu tarafından geçersiz olmasının muhtemel olduğunu belirterek önemli bir

dezavantajı vurgulamıştır. Burada yer verilen çalışma kapsamında, önerilen modelin amaç fonksiyonu (2. ve 3. kalem) ve kısıt-6'da ele alınan doğrusal olmayan yapı için GAMS/BARON çözücüsü ile global optimal sonuca ulaşmak mümkün olmuştur. Dolayısıyla, Glover'in [26] vurguladığı dezavantaj sebebiyle ve optimal çözüme (Tablo 4, GAP = %0) erişilebildiğimiz için doğrusallaştırmaya gerek görülmemiştir. Ayrıca, BARON çözücü dal sınır tipi deterministik global optimal optimizasyon algoritmalarını kullanmaktadır. Yazılımın arka planında çalışan algoritmaların detayları için ilgili tüm referanslara Gams.com internet sayfasından erişmek mümkündür [28].

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada sipariş toplama sistemlerinde üretim planlamasının da olduğu ürün atama probleminin literatürde daha önce beraberce değerlendirilmemiş sınıf temelli sipariş toplama politikası ile modellenmesi önerilmiştir. Bu model, 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. Önerilen model, bir üretim deposuna odaklanarak taşıma, alan, üretim, stoklama ve hazırlık maliyetlerini en aza indirmek için ürünlerin sınıflar halinde depo konumlarına atanmasını içermektedir. Model, sabit politikaya göre ürünleri depo konumlarına atayan Zhang vd. [6]'ne ait modelin dezavantajlarını ele alır. Önerilen matematiksel modelin geçerliliğini ve çözülebilirliğini test etmek amacıyla GAMS/BARON optimizasyon yazılımı kullanılarak çözümü yapılmıştır. Bunun için, Turner [5]'in farklı iki veri seti kullanılmış ve Zhang vd. [6]'nin önerdikleri sabit politikalı modelin aynı veri setlerine ait çözüm sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Çözüm sonuçları karşılaştırıldığında önerilen modelin daha etkin sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Önerilen modelde daha düşük maliyetli sonuçlar elde edilmiş ve daha az depo alan kullanımı sağlanmıştır. Bunun en temel nedeni, sabit politikada herhangi bir ürün için belirlenen konum boşaldığında başka bir ürün için kullanılmazken sınıf temelli politikada aynı sınıfa atanan ürünler birbirleri yerine kullanılabilir. Önerilen modelin, bir üretim deposuna odaklanarak taşıma, alan, üretim, stoklama ve hazırlık maliyetlerini en aza indirmek için ürünlerin sınıflar halinde depo konumlarına atanmasını içermektedir. Model, sabit politikaya göre ürünleri depo konumlarına atayan Zhang vd. [6]'ne ait modelin dezavantajlarını ele alır. Önerilen matematiksel modelin geçerliliğini ve çözülebilirliğini test etmek amacıyla GAMS/BARON optimizasyon yazılımı kullanılarak çözümü yapılmıştır. Bunun için, Turner [5]'in farklı iki veri seti kullanılmış ve Zhang vd. [6]'nin önerdikleri sabit politikalı modelin aynı veri setlerine ait çözüm sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Çözüm sonuçları karşılaştırıldığında önerilen modelin daha etkin sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Önerilen modelde daha düşük maliyetli sonuçlar elde edilmiş ve daha az depo alan kullanımı sağlanmıştır. Bunun en temel nedeni, sabit politikada herhangi bir ürün için belirlenen konum boşaldığında başka bir ürün için kullanılmazken sınıf temelli politikada aynı sınıfa atanan ürünler birbirleri yerine kullanılabilir.

Karşılaştırmalar ve elde edilen sonuçlar, önerilen modelin, toplam üretim planlama ve sipariş toplama maliyetini en aza indirmek için en uygun çözümleri elde etme yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, önerilen model, ürünlerin üretim alanından depoya aktarıldığı dönemlerde mevcut alanı bulmakta güçlük çeken depo yöneticileri için kullanışlıdır. Ancak, önerilen model doğrusal olmayan bir model olduğu için daha büyük veri setleriyle çözmek giderek zorlaşmaktadır. Sonraki çalışmada, büyük ölçekli problemler için sezgisel bir yöntem geliştirilmesi planlanmaktadır.

Gelecekte, kısıtlandırılmamış parti büyüklüğü (UCLSP) ve stokta yok satmaya izin verilen depolama sistemleri için önerilen model geliştirilebilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Kıymetli kritikleri ile çalışmanın mevcut çalışmalardan farkını ortaya koymamızda bize yol gösteren ve geleceğe yönelik çalışmalar için ilham olan Hakemlere derin teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Öztürkoğlu Ö., Hoşer D., A New Warehouse Design Problem and A Proposed Polynomial-Time Optimal Order Picking Algorithm, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 33 (4), 1569-1588, 2018.
2. Fontana M., Calvante C., Using the Efficient Frontier to Obtain the Best Solution for the Storage Location Assignment Problem, Math. Probl. Eng., DOI: 10.1155/2014/745196, 2014.
3. De Koster T., Le-Duc T., Roodbergen KJ., Design and Control of Warehouse Order Picking: A Literature Review, Eur. J. Oper. Res., 182 (2), 481-501, 2007.
4. Li X., Hua G., Huang A., Sheu J.B., Cheng T.C.E., Huang F., Storage assignment policy with awareness of energy consumption in the Kiva mobile fulfilment system, Transp. Res. Part E: Logistics Transp., 144, 102158, 2020.
5. Turner S., Joint Multi-product Storage Konum Assignment Capacitated Lot Sizing Problem, Electronic Theses and Dissertations, University of Windsor, Canada, 2010.
6. Zhang G., Tatsushi N., Turner S., Oga K., Li X., An integrated strategy for a production planning and warehouse layout problem: Modeling and solution approaches, Omega, 68 (3), 85-94, 2017.
7. Kovacs A., Optimizing The Storage Assignment in A Warehouse Served By Milkrun Logistics, Int. J. Prod. Econ., 133 (1), 312-318, 2011.
8. Hausman WH., Schwarz LB., Graves SC., Optimal Storage Assignment in Automatic Warehousing Systems, Manage. Sci., 22 (6), 629-638, 1976.
9. Van Den Berg, J. P., Class-based storage allocation in a single command warehouse with space requirement constraints, International Journal of Industrial Engineering, 3 (1), 21-28, 1996.
10. Le-Duc T., De Koster R., Travel Distance Estimation And Storage Zone Optimization in A 2-Block Class-Based Storage Strategy Warehouse, Int. J. Prod. Res., 43 (17), 3561-3581, 2005.
11. Muppani V.R., Adil G.K., A branch and bound algorithm for Sınıf based storage Konum assignment, Eur. J. Oper. Res., 189 (2), 492-507, 2008.
12. Li M., Chen X., Liu C., Pareto and Niche Genetic Algorithm for Storage Location Assignment Optimization Problem, 3rd International Conference on Innovative Computing Information and Control, Dalian, China, 2008.
13. Meghelli N.G., Sari Z., Assessment of performance of a Sınıf-based storage in a flow-rack AS/RS, Journal of Studies on Manufacturing, 1 (2-3), 100-107, 2010.

14. Ene S., Ozturk N., Storage Location Assignment and Order Picking Optimization in The Automotive Industry, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 60 (5-8), 787–797, 2012.
15. Yang, C.L., Nguyen P.Q., Constrained clustering method for Sınıf-based storage Konum assignment in warehouse, *Industrial Management & Data Systems*, 116 (4), 667-689, 2016.
16. Fontana M., Nepomuceno V., Multi-Criteria Approach For Products Classification and Their Storage Location Assignment, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 88 (9-12), 3205-3216, 2017.
17. Zhou L., Sun L., Li Z., Weipeng L., Cao N., Study on a storage Konum strategy based on clustering and association algorithms, *Soft Computing*, 24, 5499–5516, 2020.
18. Wilson H.G., Order quantity, production popularity, and the Konum of stock in a warehouse, *AIIE Transaction*, 9 (3), 230-237, 1977.
19. Daellenbach H., A Model Of Multi-Product Two-Stage Inventory System With Limited Intermediate Bulk Storage Capacity, *Manage. Sci.*, 23 (12), 1314-1320, 1977.
20. Hodgson T.J., Lowe T.J., Production Lot Sizing With Material-Handling Cost Consideration, *IIE Transaction*, 14 (1), 44-51, 1982.
21. Malmborg C.J., Deutsch S.J., A stock Konum model for dual address order picking systems. *IIE Transactions*, 20 (1), 44-52, 1988.
22. Malmborg C.J., Storage assignment policy tradeoffs, *Int. J. Prod. Res.*, 34 (2), 363-378, 1996.
23. Kültürel S., Ozdemirel N.E., Sepil C., Experimental investigation of shared storage assignment policies in automated storage/retrieval systems, *IIE Transactions*, 31, 739–749, 1999.
24. Hassini E., Storage Space Allocation To Maximize Inter-Replenishment Times. *Computers and Operations Research*, 35 (7), 2162-2174, 2008.
25. Yerlikaya M.A., Sipariş Toplama Sistemlerinde Üretim Planlama Ve Sınıf Temelli Ürün Atama Problemi İçin Bütünleşik Model Önerisi, Doctorate Dissertation, Gazi University, Ankara, 2019.
26. Glover F., Improved linear integer programming formulations of nonlinear integer programs, *Management Science*, 22, 455–460, 1975.
27. He X., Chen A., Chaovaitwongse W.A., Liu H.X., An improved linearization technique for a class of quadratic 0-1 programming problems, *Optimization Letters*, 6, 31–41, 2012.
28. The General Algebraic Modeling System. https://www.gams.com/34/docs/S_BARON.html. Yayın tarihi Haziran 5, 2015. Erişim tarihi Eylül 14, 2021.