

AMBAR DEPOLAMA MAKSİMİZASYONU

Gizem GÜL¹, Begüm EROL¹, Gözde ÖNGELEN^{1*}, Sedat ESER², Çağdaş ÇETİNKAYA², Hüseyin Cenk ÖZMUTLU¹, Seda ÖZMUTLU¹,
Mehmet GÖKÇEDAĞLIOĞLU², Cemil Günhan ERHUY²

¹Uludağ Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa

²Ermetal AR-GE Merkezi, Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi, Bursa

gizemgul06@gmail.com, begum.erol5@gmail.com, ongelengozde@gmail.com, sedat.eser@ermetal.com,
cagdas.cetinkaya@ermetal.com, hco@uludag.edu.tr, seda@uludag.edu.tr, mehmet.g@ermetal.com, cemil.erhuy@ermetal.com

Geliş Tarihi: 24.10.2016; Kabul Ediliş Tarihi: 21.12.2016

ÖZ

Bu çalışmada, zaman içinde değişiklik gösteren müşteri talepleri karşısında etkin depolamanın sağlanabilmesi amacıyla mamul ambarında maksimum depolama alanı ve hacmi sağlayacak şekilde, kasa tipleri ve hacimlerine göre ambar içinde ayrılacak alanların hesaplanması amaçlanmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda, problemin değişik versiyonlarını çözmek üzere adet matematiksel model geliştirilmiştir. Bu modeller ihtiyaca göre tekil olarak ele alınabileceği gibi, bu çalışmada ardışık şekilde çözülmektedir; bir modelin sonucu ardışık modellerde girdi olarak kullanılmaktadır. Problemin NP-Zor sınıfına dahil olması sonucu, son model çıktılarının kabul edilebilir zamanda elde edilememesinden dolayı sezgisel bir algoritma geliştirilmiştir. Sezgisel algoritmanın firmada faal olarak kullanılabilmesi için kodlama faaliyetleri ile bir araç geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda, işçilik maliyetlerinden ve depolama alanında kazanç elde edilerek, yıllık olarak 74.340,79 TL tasarruf hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İki boyutlu tamsayı doğrusal programlama, depo yönetimi, ürün yerleştirme, ambar optimizasyonu

MAXIMIZATION OF WAREHOUSE STORAGE

ABSTRACT

The objective of this study is to ensure effective warehouse storage in face of ever changing customer demands, through providing maximum storage space and volume by calculating the space to be allocated in the warehouse, with respect to box sizes and volumes. In accordance with this purpose, three mathematical models have been developed to solve different versions of the problem. Although these models can be handled individually as required, they are used sequentially in this study; the result of a model is used as an input for subsequent models. A heuristic was developed, since the last problem is of Np-hard nature, and the results could not be attained in feasible time. The heuristic is coded to be used as a tool for daily storage activities. As a result of the study, 74.340,79 TL savings in personnel costs and storage area costs is calculated.

Keywords: Two dimensional integer linear programming, warehouse management, product placement, warehouse optimization

* İletişim yazarı

36. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi Öğrenci Proje Yarışması'nda üçüncülük ödülü kazanan çalışmanın ilgili öğretim üyelerinin katkılarıyla düzenlenmiş halini EM Dergisi yayı politikası doğrultusunda yayımlıyoruz.

1. GİRİŞ

Ülkemizde ihracat ve AR-GE potansiyeli açısından çok önemli bir yere sahip olan otomotiv sektöründe, model geliştirici ve konfor arttırıcı AR-GE faaliyetlerinin yanı sıra, maliyet düşürmeye yardımcı, kalite iyileştirmeye destek olan süreç iyileştirme faaliyetleri, sektörün dünyaya karşı rekabet gücünü koruması için özel önem arz etmektedir. Ayrıca otomotiv yan sanayi ile ana sanayi arasındaki tedarik akışının da problemsiz ve ana sanayi isteklerine uygun şekilde işlemesi gerekmektedir. Uluslararası pazarlarda da yoğun rekabetle birlikte, işletme tedarik zinciri stratejisi içerisinde lojistik yetenekler ve depolama faaliyetleri daha fazla önemsenebilir. Müşteri ihtiyaçlarının tam zamanında karşılanması, operasyonların hızlandırılması ve depolama gereksinimi bir arada değerlendirilmektedir.

Çalışmamızı işbirliği içerisinde geliştirdiğimiz firma, bir otomotiv yan sanayi firması olup, ana sanayi tarafından istenen stok bulundurma zorunluluğu ve buna karşılık kısıtlı depo alanına sahip olma durumu ile karşı karşıyadır. Bunun sonucunda ortaya çıkan bir durum olarak, zorlaşmış olan depo yönetiminin akıllı ve kolay hale getirilmesi ve etkin depolamanın sağlanması projenin başlangıç gerekçesidir. Çalışmayla ilgili firma beklentileri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

- Stok maliyetlerinin düşürülmesi; etkin stok depo yönetimi sağlanması için farklı raf ölçüleri ve farklı kasa tiplerinin var olduğu ambarlarda istiflemenin doluluk oranının görülmesi ve verimliliğin artırılması
- Elde edilen darboğaz raf ve kasa tipleri hacimlerinden yola çıkarak, raf dışında stoklanan parça bulunuyorsa rafli ambara alınması
- Taşıma sürelerinin ve buna bağlı olarak taşıma maliyetlerinin azaltılması
- İleriye yönelik var olan kasa tiplerine en uygun raf hacim ölçülerinin önerilmesi ve yeni alınacak proje, mevcut modellerin artışı veya azalışı durumlarında mevcut kapasitenin yeterliliğini gösteren bir modelleme yapılması

Bu çalışma kapsamında, yukarıdaki beklentileri gerçekleştirecek şekilde geliştirilen tamsayıli matematiksel

modellerin uygulanması sonucunda, kullanılmayan alanın minimize edilmesi sayesinde kazanılan boş alan daha fazla depolama olanağı sağlarken; sanayi alanlarının günden güne artan kira ücretleri göz önüne alındığında, firmaları büyük bir mali yükün altından kaldıracaktır. Ayrıca geliştirilen model, hangi kasa ve ürünün hangi alana yerleştireceğini, üretimden gelen ürün miktarını ve ambarın dolu alanlarını dikkate alarak bir liste şeklinde gösterdiğinden, günlük kullanıma uygun bir forma da getirilmiştir. Bu özelliğinden dolayı yapılan çalışma, operatörün ürünleri yerleştirmek için alan aramakta kullandığı zamanı da ortadan kaldırarak operatörlerin de daha etkin kullanılmasını ve işçilik maliyetlerinin azalmasını sağlamaktadır. Çalışmanın sağladığı faydalar ele alındığı zaman, sadece otomotiv sektöründe değil, kutu veya kasa istiflemesinin yapıldığı tekstil, gıda, ilaç vb. gibi sektörlerde, işletmenin boyutuna ve diğer birçok faktörüne bağlı olmaksızın uygulanmaya müsaittir; projenin yaygın etkisinin geniş olabilmesi olasılığı mevcuttur.

2. SİSTEM ANALİZİ

Firmada merkez ve yeni ambar olmak üzere iki ana mamul ambarı ve bir raf dışı mamul ambarı bulunmaktadır. Bu ambarlar arasında parça akışı bulunmamaktadır. Merkez mamul ambarda müşteri bazlı üç adet sevkiyat hazırlık alanı ve bir adet paketleme alanı bulunmaktadır. Merkez ambarda istiflenen parça dolu kasaların ambara giriş ve çıkışı rafların bir ucunun duvara dayalı olmasından dolayı rafların aynı tarafından yapılmaktadır. Merkez mamul ambarında on altı sıra raf bulunmaktadır. Her raf sırası kendi içerisinde katlara ve tanımlı hücelere ayrılmaktadır. Örneğin AB1, A rafının B bölümünün 1. katındaki tanımlı hücredir. Raf dışı mamul ambarda tanımlı hücelere yerine tanımlı stok alanları ve bir adet paketleme alanı bulunmaktadır. Ambara gelen parçalar tanımlı alanlarda üst üste istiflenmektedir. Yeni mamul ambarında müşteri bazlı iki adet sevkiyat hazırlık alanı bulunmaktadır. Yeni mamul ambarında istiflenen parça dolu kasaların ambara giriş ve çıkışı rafların farklı tarafından yapılmaktadır. Yeni mamul ambarında on bir sıra raf bulunmaktadır. Bu raflar merkez mamul ambarındaki gibi tanımlı hücelere ayrılmaktadır. Üretimden gelen parçalar tüm kontrol noktalarından geçtikten sonra, parça

raflı ambar parçası ilgili raf başına, raf dışı parçası ise tanımlı stok alanına bırakılmaktadır. Raf başına bırakılan parça kasaları dar koridor forklift operatörü tarafından göz kontrolü yapılarak ilgili boş lokasyona taşınmaktadır ve ilgili lokasyonu el terminali ile kayıt altına almaktadır. Sevkiyat operatöründen gelen sevkiyat emri ile dar koridor forklift operatörü istenen parça kasalarını ilgili depo bölümlerinden FIFO'ya uygun olarak seçip raf başına bırakmaktadır. Dizel forklift operatörü, raf başındaki ve raf dışı ambardaki parça kasalarını sevkiyat hazırlık alanına bırakmaktadır. Gerekli sevkiyat kontrollerinden sonra parça kasaları müşteriye sevk edilmektedir.

2.1 Sistemin Çevresinin Belirlenmesi

Sistemin Girdileri: Üretimden gelen parçalar, forklift, dar koridor forkliftleri ve transpaletlerdir.

Sistemin Çıktıları: Sevk edilen parçalardır.

Sistemin Temel Bileşenleri: Barkod sistemi ve taşıma sistemidir.

3. PROBLEMİN BELİRLENMESİ VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Problemin Tanımı: Çalışmada göz önüne alınan problem, ana sanayi tarafından istenen stok bulundurma zorunluluğu ve buna karşılık yan sanayinin kısıtlı depo alanına sahip olması sonucu, zorlaşmış depo yönetiminin akıllı hale getirilmesi ve etkin depolamanın sağlanması için, değişen müşteri talepleri karşısında ambarda maksimum depolama alanı ve hacmi sağlayacak şekilde, kasa tipleri ve hacimlerine göre ambar içinde ayrılacak alanların hesaplanması ve kullanılmayan alanın minimize edilmesidir. Kullanılmayan alanın minimize edilmesi ve değişen müşteri talepleri karşısında ambar

Tablo 1. Projede Çözülen Problemlerle İlgili Olarak Literatürde Yapılan Çalışmalar ve Kapsamları

Yazar	Yıl	Problem	Yöntem
Christofides ve Whitlock	1977	Giyotin Kesme	Dal-Sınır Algoritması
Studel	1979	2-Boyutlu Yükleme	Sezgisel Algoritma
Hodgson	1982	2-Boyutlu Yükleme	Sezgisel Algoritma
Beasley	1985	2-Boyutlu Yükleme	Tamsayılı Programlama Modeli
Dowland	1987	2-Boyutlu Yükleme	Sezgisel Algoritma
Vasko	1989	Giyotin Kesme	Spam Algoritması
Chen vd.	1991	2-Boyutlu Yükleme	Doğrusal Programlama Modeli
Chen vd.	1993	3d Konteyner Yükleme	0-1 Karışık Tamsayılı Model
Kröger vd.	1993	2-Boyutlu Yükleme	Genetik Algoritma
Bischoff vd.	1995	2-Boyutlu Yükleme	Sezgisel Algoritma
Bortfeldt	1997	Konteyner Yükleme	Genetik Algoritma
Scheithauer vd.	1998	2-Boyutlu Yükleme	G4 Sezgisel Algoritma
Jain ve Gea	1998	2-Boyutlu Yükleme	Hybrid Yaklaşım
Terno vd.	2000	2-Boyutlu Yükleme	Dal-Sınır Algoritması
Gademann vd.	2001	Sipariş Düzenleme (Order Batching Prob.)	Dal-Sınır Algoritması
Pisinger	2002	Konteyner Yükleme	Wall-Building Yaklaşımına Dayalı Sezgisel Algoritma
Lodi vd.	2002	2-Boyutlu Kesme	Matematiksel Modeller, Sınır Alg., Yaklaşım Alg., Sezgisel ve Meta Sezgisel Yöntemler
Muppani vd.	2008	Depolama Tahsisi (Storage Allocation)	Tavlama Benzetimi Algoritması
Huang ve He	2009	Konteyner Yükleme	Sezgisel Algoritma
Dereli ve Daş	2010	Konteyner Yükleme	Karınca Kolonisi Optimizasyonu Yaklaşımı
Wisittipanich vd.	2015	Depolama Tahsisi	Meta Sezgisel Algoritma

alanı ihtiyacının karşılanması doğrultusunda, birbirine bağlı üç adet tamsayı matematiksel model ardışık olarak çözülmekte ve birinin çıktısı sabitlenerek ardındaki problemler bu değerlere göre çözülmektedir. Ancak ihtiyaca göre problemler bağımsız olarak da çözülebilir. Geliştirilen modeller literatürde Kesme ve Paketleme, Paketleme (Bin-Packing), Depolama Tahsisi (Storage Allocation) ve Yükleme Problemleri ile yakınlık göstermektedir. Ancak bu problemlerden çeşitli kısıtlar açısından farklılaşmaktadır. Ele alınan probleme yönelik geliştirilen bir matematiksel model, ulusal ve uluslararası literatürde bilindiği kadarıyla henüz yoktur. Bu durum da çalışmanın akademik anlamda yenilikçi yönünü oluşturmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar ve kapsamaları Tablo 1’de gösterilmektedir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Ambar depolama problemi bu projede üç alt problem bölümlenerek çözülmüştür. Müşterilerin çeşitli kasa tipleri içerisinde yalnız aynı tiplerin üst üste istiflenebildiği durumlar için geliştirilen modellerin genel varsayımı, ambarın boş olmasıdır.

4.1 İki Boyutlu Kasa Tipi Yerleştirme Modeli

Üretimden gelen kasaların optimum şekilde yerleştirilememesi, kasalar için raflı ambar dışarısında yer ayrılacağı veya raf önünde bekleyeceği bir durum oluşturmaktadır. Raf önünde kasaların bekletilmesi, operatörün gelen kasa ve çıkan kasa ayırmasını zorlaştırır; firmalar tarafından istenilen bir durum değildir. Raf dışında istifleme alanlarının kiralama maliyetleri

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min } Z = \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^I \text{Eksik}_{mi} \quad (1.1)$$

Kısıtlar

$$RG_{kj} - \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^I KG_{mi} * X_{mikj} \geq 0; \forall k, j \quad (1.2)$$

$$Y_{mikj} * M \geq X_{mikj}, \forall_{m,i,k,j} \quad (1.3)$$

$$X_{mikj} * M \geq Y_{mikj}, \forall_{m,i,k,j} \quad (1.4)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J (C_{mikj} * X_{mikj}) - \text{Fazla}_{mi} + \text{Eksik}_{mi} \leq KS_{mi}, \forall_{m,i} \quad (1.5)$$

firmaların sabit giderlerini arttırmaktadır. Kasaların ambar raf ölçüleri göz önünde bulundurularak optimum sayıda yerleşimini hedefleyen tamsayı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen İki Boyutlu Kasa Tipi Yerleştirme Modeli ile her kasa tipi için elde edilen maksimum kasa sayısı, Müşteri Bazlı Kasa-Koridor Yerleştirme Modelinde veri olarak kullanılmaktadır.

4.1.1 İki Boyutlu Kasa Tipi Yerleştirme Problemi Matematiksel Modeli

İndeksler

m = Müşteriler (1..M)

k = Koridorlar (1..K)

i = Kasalar (1..I)

j = Raflar (1..J)

Parametreler

RG_{kj} = k . koridorun j . rafının genişliği

RY_{kj} = k . koridorun j . rafının yüksekliği

KG_{mi} = m . müşterinin i . tip kasasının genişliği

KY_{mi} = m . müşterinin i . tip kasasının yüksekliği

C_{mikj} = m . müşterinin i . tip kasasının k . koridorun j . rafına üst üste yerleştirilme sayısı

KS_{mi} = m . müşterinin i . tip kasasından depolanması gereken miktar (adet)

M = Çok büyük bir sayı

Karar Değişkenleri

İkili (Binary) Değişken

$$Y_{mikj} = \begin{cases} 1, & m. \text{ müşterinin } i. \text{ tip kasası } k. \text{ koridorun } j. \\ & \text{rafına yerleştiriliyorsa,} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

Tam Sayılı Değişken

$X_{mikj} = m$. müşterinin i . tip kasasının k . koridorun j . rafına yan yana yerleştirilme adedi

$Fazla_{mi} = m$. müşterinin i . tip kasasının fazladan yerleştirilen miktarı

$Eksik_{mi} = m$. müşterinin i . tip kasasından yerleştirelemeyen miktar

Geliştirilen matematiksel modelde amaç, mevcut raflara ürün dolu kasalardan yerleştirelemeyen kasa sayısını minimize etmektir (1.1). Bu modelin (1.2) kısıtı, her bir rafa yerleştirilecek olan her tip kasanın toplam genişliğinin rafın genişliğini aşamayacağını ifade etmektedir. (1.3) kısıtı, eğer bir tip kasadan bir rafa yerleştirme yapılmışsa üst üste yerleştirilmesi gerektiğini ifade etmektedir. (1.4) kısıtı ise eğer bir tip kasadan bir rafa üst üste yerleştirilme yapılmışsa, o kasa tipinin o rafa yerleştirilmesi gerektiğini ifade eden kısıttır. (1.5) kısıtı, depoya atanması gereken kasa adet hedefinin tutturulmasını sağlayan kısıttır.

4.2 Müşteri Bazlı Kasa-Koridor Yerleştirme Modeli

Raflara optimum sayıda kasa yerleştirmenin yanı sıra, operatörlerin ambarlarda etkin çalışması ve forklift hareketlerinin minimizasyonu da sağlanmalıdır. Doğru ürünün doğru müşteriye gönderilmesi tedarikçi firmalar için önemlidir. Müşteri çeşitliliği karşısında operatör hatalarını engellemek, müşterilere ait kasalara kolay erişilebilirliği sağlamak ve sevkiyat sürecinde oluşabilecek hatalı ürün gönderimini engelleme amaçları

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min } Z = \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K MK_{mk} \quad (2.1)$$

Kısıtlar

$$RG_{kj} - \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^I KG_{mi} * X_{mikj} \geq 0, \forall k, j \quad (2.2)$$

$$MK_{mk} * M \geq \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J X_{mikj}, \forall m, k \quad (2.3)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J (C_{mikj} * X_{mikj}) \geq KS_{mi}, \forall m, i \quad (2.4)$$

doğrultusunda Müşteri Bazlı Kasa-Koridor Yerleştirme Problemi çözülmüştür. Probleme yönelik geliştirilen modelin genel yaklaşımı, İki Boyutlu Kasa Tipi Yerleştirme Modelinde belirlenen atanabilir optimum kasa sayısını göz önünde bulundurarak koridorlarda minimum müşteri çeşitliliğini sağlamaktır.

4.2.1 Müşteri Bazlı Kasa-Koridor Yerleştirme Problemi Matematiksel Modeli

İndeksler - Parametreler

Bir önceki kullanılan indeks ve parametreler bu model içinde birebir geçerlidir.

Karar Değişkenleri

İkili (Binary) Değişken

$$MK_{mk} = \begin{cases} 1, & m. \text{ müşteri } k. \text{ koridora yerleştiriliyorsa,} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

Tam Sayılı Değişken

$X_{mikj} = m$. müşterinin i . tip kasasının k . koridorun j . rafına yan yana yerleştirilme adedi

Geliştirilen modelde amaç, her bir müşterinin yerleştirileceği koridor sayısının minimizasyonudur (2.1). Bu modelin (2.2) kısıtı, her bir rafa yerleştirilecek olan her tip kasanın toplam genişliğinin rafın genişliğini aşamayacağını ifade etmektedir. (2.3) kısıtı, eğer bir tip müşteriye ait bir kasa bir rafa yerleştiriliyorsa, o rafın ait olduğu koridorda o müşterinin bulunduğunu ifade etmektedir. (2.4) kısıtı ise depoya atanması gereken kasa adet hedefinin tutturulmasını sağlamaktadır.

4.3. Yakınlık Esasına Dayalı Ürün Yerleştirme Modeli

Sipariş toplama depoda en sık tekrarlanan süreçtir. Depolama süreçleri arasında en büyük maliyet unsuru sipariş toplama sürecinde gerçekleşmektedir. Bir kasa tipinin birden fazla ürün tipine sahip olduğu durumlarda, kasaları yerleştirme kararı alınırken operatörlerin sevkiyat sırasında en kısa zamanda sevk ürününe ulaşması ve tekrar eden hareketlerin optimum seviyede tutulması da göz önüne alınmalıdır. Ürünlerin dağınık yerleştirilmesi sonucu artan işçilik ve taşıma maliyetlerini azaltmak amacıyla Yakınlık Esasına Dayalı Ürün Yerleştirme Modeli geliştirilmiştir. Müşteri Bazlı Kasa-Koridor Yerleştirme Modelinde kasa tiplerine göre belirlenen koridor rafları Yakınlık Esasına Dayalı Ürün Yerleştirme Modelinde veri olarak kullanılmaktadır. Modelin genel yaklaşımında, aynı kasa tipine ait aynı ürünlerin mümkün mertebede bir arada yerleşimini sağlamak için raflar içerisindeki toplam ürün tipi minimizasyonu amaçlanmıştır.

4.3.1 Yakınlık Esasına Dayalı Ürün Yerleştirme Problemi Matematiksel Modeli

Yukardaki modellerde geçerli olan varsayımların yanı sıra, bu modelde mevcut durumda raflara yerleştirilen kasaların hepsinin boş olduğu varsayımı da eklenmiştir.

İndeksler

- p = Ürünler (1..P)
 k = Koridorlar (1..K)
 j = Raflar (1..J)

Parametreler

- RK_{kj} = k . koridorun j . rafının kapasitesi
 PS_p = p . tip üründen depolanması gereken miktar (adet)
 M = Çok büyük bir sayı

Karar Değişkenleri İkili (Binary) Değişken

- T_{pkj} = $\begin{cases} 1, & p. \text{ tip ürün } k. \text{ koridorun } j. \text{ rafına yerleştiriliyorsa,} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$
 C = ikili değişken

Tam Sayılı Değişken

X_{pkj} = p . tip ürünün k . koridorun j . rafına yerleştirilme adedi

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min } Z = \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J T_{pkj} \quad (3.1)$$

Kısıtlar

$$T_{pkj} * M \geq X_{pkj}, \forall p, k, j \quad (3.2)$$

$$\sum_{p=1}^P X_{pkj} \leq RK_{kj}, \forall k, j \quad (3.3)$$

$$\left(\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J X_{pkj} \right) - PS_p \leq 0, \forall p \quad (3.4)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J X_{pkj} \geq \left(\sum_{j=1}^J HK_j \right) - M * (1 - C) \quad (3.5)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J X_{pkj} \geq \left(\sum_{p=1}^P PS_p \right) - M * C \quad (3.6)$$

Yakınlık Esasına Dayalı Ürün Yerleştirme Modeli, Müşteri Bazlı Kasa-Koridor Yerleştirme Modelindeki yerleştirme sonuçları kullanılarak ürün tiplerinin mümkün olan en yakın şekilde konumlandırılmalarını, her bir koridordaki her bir rafın toplam ürün tipi sayısını minimize etmeyi amaçlamaktadır (3.1). Bu modelde yer alan (3.2) kısıtı, eğer bir rafa bir tip üründen en az bir tane yerleştiriliyorsa, o rafta o tip üründen bulunduğunu gösteren kısıttır. (3.3) kısıtı, ürün yerleştirilmesi yapılırken raf kapasitesinin aşılmamasını sağlamaktadır. (3.4) kısıtı, hücrelere yerleştirilmesi gereken ürün adet hedefinin tutturulmasını sağlayan kısıttır. (3.5) ve (3.6) kısıtları ise maksimum sayıda ürün yerleştirilmesini sağlayan kısıtlardır.

4.4 Sezgisel Algoritmanın Kurulması

Ambar depolama optimizasyonu için geliştirilen üç adet ardışık model, optimum sonuç vermektedir. Ancak NP-Zor problem sınıfına ait olduğu için Yakınlık Esasına Dayalı Ürün Yerleştirme Modeli yan sanayiden alınan gerçek verilerle çalıştırıldığında, optimal sonucu yaklaşık 20 saatte vermekte ve bu süre firma tarafından kabul edilebilir süre limitleri dışında kalmaktadır. Firmanın dinamik bir yapıda olması nedeniyle bu model, her parça giriş çıkışında yeniden çalıştırılmalıdır, dolayısıyla 20 saatlik çözüm süresi kabul edilebilir değildir.

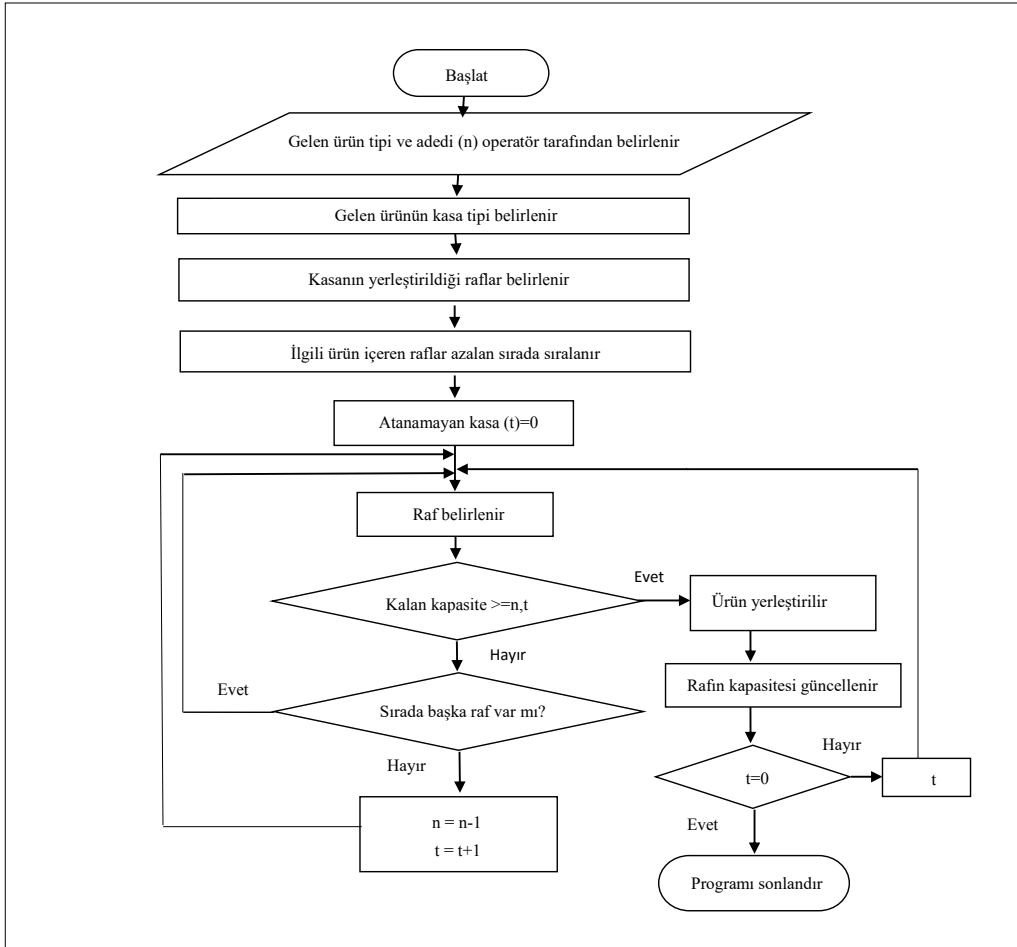
Uzun dönemdeki müşteri taleplerinin ani değişimi,

firmanın yeni bir proje kabul etmesi, müşteri kasalarında meydana gelen değişiklik durumlarında, İki Boyutlu Kasa Tipi Yerleştirme Modeli ve Müşteri Bazlı Kasa-Koridor Yerleştirme Modeli tekrar çözülerek ambar içerisindeki konumlar yeniden belirlenmelidir. Yakınlık Esasına Dayalı Ürün Yerleştirme Modeli anlık olarak çalıştırılıp üretimden ya da tedarikçiden gelen ürün kasaları raflı ambara yerleştirilmelidir. Mevcut durumda ambarın boş olması varsayımı modelin yeniden çalıştırılması durumlarında geçerli olduğundan dinamik sistem göz ardı edilmektedir. Küçük problemde (4 müşteri tipi, 11 kasa tipi, 4 koridor, 28 raf, 15 ürün tipi için) hızlı cevap veren bu model ile firmanın gerçek verileri (2 müşteri tipi, 12 kasa tipi, 13 koridor, 385 raf, 32 ürün

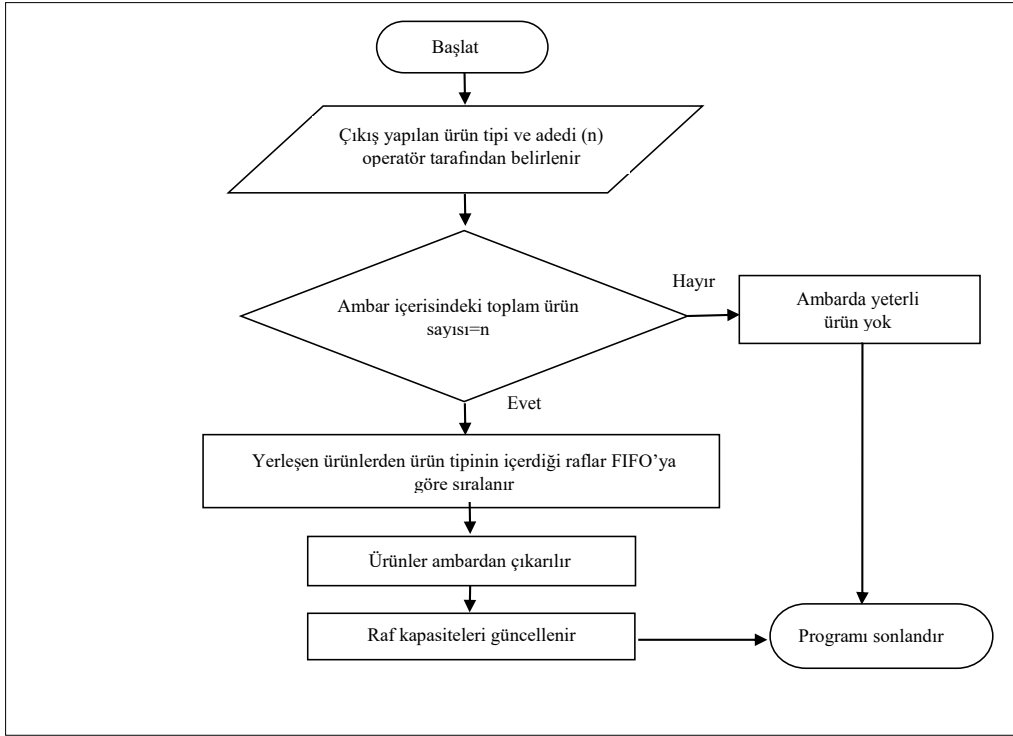
tipi) kullanıldığında kabul edilebilir bir çözüm süresi elde edilememiştir. Bu noktada, modelin iyileştirilmesi ile süre en fazla 20 saate kadar kısaltılabilmıştır. Ancak çözüm süresinin kabul edilebilir olmaması sebebiyle, hem çözüm süresinin kısaltılması ve hem de dinamik sistemin uygulanabilmesi için probleme özgü sezgisel bir algoritma geliştirilmiştir. Algoritmanın detayları ve akış şeması aşağıdadır.

4.5 Basit Sezgisel Algoritma ile Yakınlık Esasına Dayalı Ürün Yerleştirme

Çalışma için geliştirilen sezgisel algoritmanın akış diyagramları Şekil 1’de gösterilmektedir.



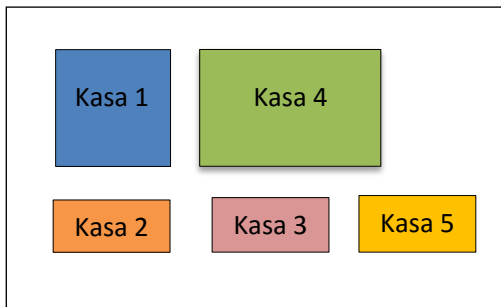
Şekil 1a. Ürün Girişi Sezgisel Algoritma Akışı



Şekil 1b. Ürün Çıkışı Sezgisel Algoritma Akışı

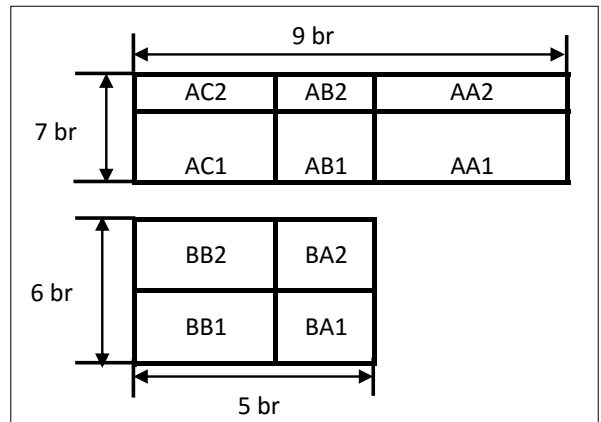
5. MODELİN ÖRNEKLERLE DOĞRULANMASI

Çalışmanın hedefi daha önceden de belirtildiği gibi depolama optimizasyonudur. Bu optimizasyon çalışmasının ilk aşamasında, ambara gelen kasaların tamamının yerleştirilmesi; bir diğer ifadeyle, atanamayan kasaların minimizasyonunun yapılmasıdır. Örnek uygulama için farklı genişlik ve yüksekliğe sahip kasalar Şekil 2 ve Tablo 2’de ele alınmıştır. Tablo 2’de, adetleri verilen kasaların optimum şekilde belirli ölçülere sahip raflara yerleştirilmesi hedeflenmektedir.



Şekil 2. Yerleştirilecek Kasalar

Raf yerleşimi ve raf bilgileri sırasıyla Şekil 3 ve Tablo 3’te görülmektedir. Model de raf-kasa yükseklik kısıtı kullanılmamıştır. Bu kısıt, Tablo 4’te verilen her kasa tipi için hazırlanmış matris ile sağlanmaktadır. Raflara yerleştirilecek kasalar matriste yer alan üst üste yerleştirme adedi kadar yerleştirilmektedir. İki Boyutlu Kasa Tipi Yerleştirme Modeli MPL’de Cplex çözücüsü kullanılarak çözülmüştür. Tablo 5’te görüldüğü gibi,



Şekil 3. Raf Yerleşimi

Tablo 2. Kasa Bilgileri

Kasa Adı	Müşteri Tipi (m)	Kasa Tipi (i)	Kasa Adedi	Genişlik (br)	Yükseklik (br)
Kasa 1	1	1	4	1	3
Kasa 2	1	2	35	1	1
Kasa 3	1	3	16	1	1
Kasa 4	2	1	2	2	3
Kasa 5	2	2	18	1	1

Tablo 3. Raf Bilgileri

Raf Adı	Koridor No (k)	Raf No (j)	Genişlik (br)	Yükseklik (br)
AA1	1	1	4	4
AA2	1	2	4	3
AB1	1	3	2	4
AB2	1	4	2	3
AC1	1	5	3	4
AC2	1	6	3	3
BA1	2	1	2	3
BA2	2	2	2	3
BB1	2	3	3	3
BB2	2	4	3	3

Tablo 4. Üst Üste Yerleştirme Merkezi

RAF	m	i	k	j	C_{mikj}
KASA1					
AA1	1	1	1	1	1
AA2	1	1	1	2	1
AB1	1	1	1	3	1
AB2	1	1	1	4	1
AC1	1	1	1	5	1
AC2	1	1	1	6	1
BA1	1	1	2	1	1
BA2	1	1	2	2	1
BB1	1	1	2	3	1
BB2	1	1	2	4	1
KASA2					
AA1	1	2	1	1	4
AA2	1	2	1	2	3
AB1	1	2	1	3	4
AB2	1	2	1	4	3
AC1	1	2	1	5	4
AC2	1	2	1	6	3
BA1	1	2	2	1	3
BA2	1	2	2	2	3
BB1	1	2	2	3	3
BB2	1	2	2	4	3
KASA3					
AA1	1	3	1	1	4
AA2	1	3	1	2	3
AB1	1	3	1	3	4
AB2	1	3	1	4	3
AC1	1	3	1	5	4
AC2	1	3	1	6	3
BA1	1	3	2	1	3
BA2	1	3	2	2	3
BB1	1	3	2	3	3
BB2	1	3	2	4	3

modelin çıktısı olarak hangi kasa tipinden ne kadar eksik ve fazla atandığı sonucuna ulaşılmıştır.

Bu sonuçlara göre, Tablo 6'da görüldüğü gibi, Müşteri Bazlı Kasa-Koridor Yerleştirme Modelinde veri olarak kullanılan kasa sayıları güncellenmiştir.

Tablo 5. İki Boyutlu Kasa Tipi Yerleştirme Model Sonucu

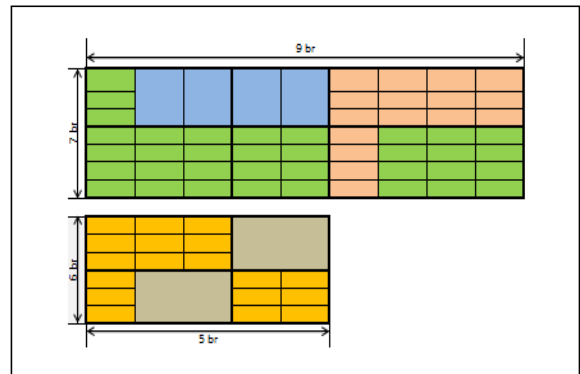
	m	i	Eksik $_{mi}$	Fazla $_{mi}$
Kasa 1	1	1	0	0
Kasa 2	1	2	0	0
Kasa 3	1	3	0	0
Kasa 4	2	1	0	0
Kasa 5	2	2	0	0

Tablo 6. Müşteri Bazlı Kasa-Koridor Yerleştirme Modeli Veri Seti

	Kasa Adedi	Eksik $_{mi}$	Fazla $_{mi}$	Yeni Kasa Adedi
Kasa 1	4	0	0	4
Kasa 2	35	0	0	35
Kasa 3	16	0	0	16
Kasa 4	2	0	0	2
Kasa 5	18	0	0	18

Tablo 7. Müşteri Bazlı Kasa-Koridor Yerleştirme Modeli Sonucu

	m	i	k	j	X_{mikj}	Raf
Kasa 1						
	1	1	1	4	2	AB2
	1	1	1	6	2	AC2
Kasa 2						
	1	2	1	1	3	AA1
	1	2	1	3	2	AB1
	1	2	1	5	3	AC1
	1	2	1	6	1	AC2
Kasa 3						
	1	3	1	1	1	AA1
	1	3	1	2	4	AA2
Kasa 4						
	2	1	2	2	1	BA2
	2	1	2	3	1	BB1
Kasa 5						
	2	2	2	1	2	BA1
	2	2	2	3	1	BB1
	2	2	2	4	3	BB2



Şekil 4. Müşteri Bazlı Kasa-Koridor Yerleştirme Modeline Göre Kasa Yerleşimi

Kasa 2 Ürün Tipleri	Ürün Adedi
x	10
y	15
z	10

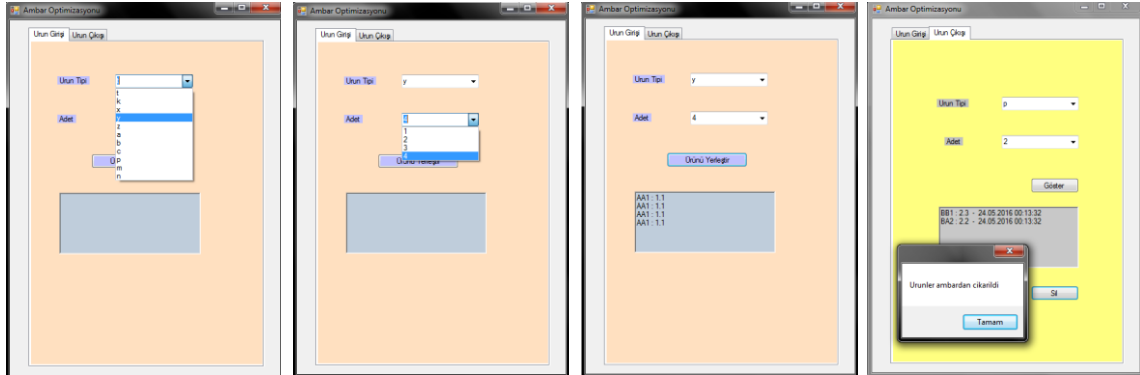
Şekil 5. Kasa 2 Ürün Bilgileri

Tablo 8. Kasa 2 İçin Müşteri Bazlı Kasa-Koridor Yerleştirme Modeli Sonucu

Raf Adı	Koridor No (k)	Raf No (j)	Raf Kapasitesi (RK_{ki})	X_{mikj}	C_{mikj}
AA1	1	1	12	3	4
AA2	1	2	0	0	3
AB1	1	3	8	2	4
AB2	1	4	0	0	3
AC1	1	5	12	3	4
AC2	1	6	3	1	3
BA1	2	1	0	0	3
BA2	2	2	0	0	3
BB1	2	3	0	0	3
BB2	2	4	0	0	3

y								
y								
y								
z	z	z	x	x		y	y	y
z	z	z	x	x		y	y	y
z	z	x	x	x		y	y	y
z	z	x	x	x		y	y	y

Şekil 6. Kasa 2 İçin Yakınlık Esasına Dayalı Ürün Yerleştirme Modeline Göre Ürün Yerleşimi



Şekil 7. Sezgisel Algoritma Ürün Giriş ve Çıkış Arayüzleri

Tablo 9. Sezgisel Algoritma ile Çözülen Örnekler

Örnek Problemler	Müşteri Sayısı	Kasa Sayısı	Koridor Sayısı	Raf Sayısı	Toplam Ürün Sayısı	MIP	SEZGİSEL	ADOP
1	3	7	3	12	12	17	18	%1
2	2	6	2	16	10	19	19	%0
3	4	11	4	28	15	33	36	%3
4	3	7	4	24	14	25	29	%4
5	3	13	3	20	21	28	28	%0
6	2	5	2	10	12	16	20	%4
ORTALAMA %2								

Yerleşebilecek optimum kasa adedi belirlendikten sonra, Müşteri Bazlı Kasa-Koridor Yerleştirme Modeli MPL’de Cplex çözücüsü ile çözülmüştür. İki farklı müşteriye ait kasalar, müşteri çeşitliliğinin minimizasyonunu sağlayan amaç fonksiyonu doğrultusunda raflara yerleştirilmiştir. Müşteri Bazlı Kasa-Koridor Yerleştirme Modeli sonuçları ve sonuçların görsel yerleşimi Tablo 7 ve Şekil 4’te görülmektedir. Raf yerleşimi yapılırken tüm kasaların yerleştirilmesini sağlayan kısıt, optimum kasa sayısının korunmasını sağlamaktadır. Çalışmanın son aşaması olan bu model, MPL’de Cplex çözücüsü ile kasa bazlı çalıştırılmıştır. Yakınlık Esasına Dayalı Ürün Yerleştirme Modeli bu örnek uygulama için üç ürün tipinden oluşan Kasa 2 için Şekil 5’te ele alınmıştır. Ürünler raf kapasiteleri dikkate alınarak Şekil 6’daki gibi yerleştirilmiştir.

Çeşitliliğin az olduğu durumlarda hızlı çözüm veren Yakınlık Esasına Dayalı Ürün Yerleştirme Modelinde çözüm süresi, çeşitliliğin artması ile birlikte uzamaktadır. Bu süreyi kısaltmak ve dinamik yapıyı korumak için oluşturulan sezgisel algoritmada Yakınlık Esasına Dayalı Ürün Yerleştirme Modelinde olduğu gibi, Müşteri Bazlı Kasa-Koridor Yerleştirme Modeli sonuçları kullanılmıştır. Bu örnek için oluşturulan veri tabanında müşteri, kasa, ürün ilişkilerini gösteren tablolar oluşturulmuştur. Örnek uygulama için SQL Server’da veritabanı oluşturulmuştur. Veritabanında her kasa tipine ait ürün tipleri kaydedilmiştir. Gelen ürün tipinin ve adedinin operatör tarafından belirlenmesiyle birlikte ürüne ait kasa tipi ve kasa tipinin yerleştirildiği raf, veri tabanı üzerinden geliştirilen algoritma ile bulunmaktadır. Algoritma, ambara gelen ürün çeşidi adedine bağlı olarak anlık karar vererek yerleştirme yapmaktadır.

Ürüne ait kasa tipinin yerleştirildiği tüm raflardaki maksimum sayıda ilgili ürünü içeren raf bulunmaktadır. Raf kapasitesi yeterli ise ürün oraya yerleştirilmekte ve operatöre ürünü yerleştireceği raflar Şekil 7’de resmedilen ürün girişi arayüzünde gösterilmektedir. Ürün çıkışı yapılırken dikkat edilen unsur, ürünlerin ambara yerleştirildikleri zamanın referans alınmasıdır. Şekil 7’de resmedilen ürün çıkışı arayüzünde, ürün çıkışının yapıldığı raflar listelenmekte ve veri tabanındaki kapasiteler güncellenmektedir. Sezgisel algoritma ile çözülen örnek problemlerin boyutu ve sonuçları Tablo

9’da verilmiştir. Yakınlık Esasına Dayalı Ürün Yerleştirme Modeli sonuçları ile sezgisel algoritma sonuçları karşılaştırıldığı zaman, sezgisel algoritmanın modelden sadece %2 oranında uzaklaştığı görülmüştür.

6. SİSTEMİN KARŞILAŞTIRILMASI VE İYİLEŞTİRİLMESİ

6.1 Kazanılan Alan Maliyeti

Proje başlangıcında yapılan sistem analizi çalışmaları sonucunda, raflı ambarın doluluk oranı %94 olarak tespit edilmiştir. Proje kapsamında elde edilen çözüm ile ambar içinde ekstra %6.49 oranında boş alan elde edilmiştir. Elde edilen bu boş alana raf dışı ambarda bulunan M048 kasalarının raflı ambara alınması firma tarafından uygun görülmüştür.

- Firma 1 m^2 ’lik alan için aylık 5 € kira bedeli ödemektedir.
- M048 kasası raf dışı ambarda üç kasa üst üste yerleştirilerek depolanmaktadır.
- 0,15 m iki kasa arasında bırakılması gereken zorunlu mesafedir.
- İki boyutlu şekil yerleştirme modeli sonuçlarına göre 45 adet M048 kasası raflı ambara alınmıştır.

$$M0048 \text{ kasalarından kazanılan alan} = \left(\frac{\text{Atanan kasa adedi}}{\text{Üst üste yerleştirilen adet}} * \text{Kasa genişliği} * \text{Kasa boyu} \right) + (\text{Tolerans}) + (\text{Dar koridor forkliftinin hareket alanı})$$

Sonuç olarak, firmanın dar koridor düzeninde yerleşim yapması ve dinamik adresleme sistemi kullanmasından dolayı, geleneksel ambar yöntemi kullanan firmalarda geliştirilen modeller ile kazanılan depolama alanının daha da fazla olması beklenir. Ayrıca firmaların depolama maliyetleri kazanılan alanla doğru orantılı olarak azalacaktır.

6.2 İşçilik Maliyetleri

Mevcut durumda operatör, üretimden gelen kasaları yerleştirmek için ambar içerisinde kasanın sığabileceği bir raf alanını gözle kontrol etmektedir. Bu durum, operatörün ürün yerleşimi sırasında fazladan zaman harcamasına neden olmaktadır.

Bir kasayı yerleştirmek için operatörün, koridorlar arasında bir ile üç tur arasında dolaşmakta olduğu tespit edilmiş ve ortalama tur sayısı 1.8 olarak hesaplanmıştır.

- İki günlük stok miktarıyla çalışan firmada haftalık 5529 adet kasa üretimden ambara gelmektedir.
- Operatör, belirlenen firma kararlarına göre, kasaları raf başı hazırlık alanında istenilen taşıma sayısı elde edilene kadar beklettikten sonra rafı ambara yerleştirmektedir. Operatörler tarafından haftalık olarak 2320 tur kasa yerleşimi yapılmaktadır.
- Operatörün ortalama bir tur için taşıma süresi, zaman etüdü çalışmalarıyla 146 sn (2,26 dk) olarak bulunmuştur.

Yukarıdaki hesaplamalar dikkate alınarak;

$$\text{Toplam haftalık taşıma süresi} = \text{Ortalama taşıma süresi} * (\text{Giriş tur sayısı} + \text{Çıkış tur sayısı}) * \text{Verimlilik}$$

$$\text{Toplam haftalık taşıma süresi} = 2,26 * (4176+2320)*0,8 = 11744,77 \text{ dk} = +195,75 \text{ saat}$$

Üç vardiya çalışma düzeninde depolamanın zamanında gerçekleştirilebilmesi için gereken işçi sayısı aşağıdaki gibidir:

$$\text{İşçi sayısı} = \frac{\text{Toplam taşıma zamanı}}{\text{Bir işçinin haftalık çalışma zamanı}} = \frac{195,75}{40} = 4,9 = 5 \text{ işçi}$$

Geliştirilen müşteri bazlı kasa-koridor tipi yerleştirme modeli ile operatörün raf aramak için harcadığı zaman ortadan kaldırılmıştır. Operatör, raf başı hazırlık alanında hazırladığı kasaları tek turda model tarafından önceden belirlenmiş kasa tipine uygun rafa yerleştirmektedir. Aynı zamanda ambardan kasa çıkışı tek turda gerçekleşmektedir. İhtiyaç duyulan işçi sayısı;

$$\text{Toplam haftalık taşıma süresi} = 2,26 * (2320 + 2320) * 0,8 = 139,82 \text{ saat}$$

$$\text{İşçi sayısı} = \frac{\text{Toplam taşıma zamanı}}{\text{Bir işçinin haftalık çalışma zamanı}} = \frac{139,82}{40} = 3,5 \text{ işçi}$$

$$\text{Yıllık işçilik maliyeti kazancı} = ((\text{Mevcut işçi sayısı} - \text{Yeni işçi sayısı}) * \text{Aylık ücret} * 12)$$

$$\text{Yıllık işçilik maliyeti kazancı} = (5-3,5) * 3500 * 12 = 63000 \text{ TL}$$

Rakam, 4 işçiye yuvarlanmamıştır; çalışma sonucundaki net işçilik tasarrufu hesaplanmıştır. 0,5 adam/ay kadar işçilik, başka operasyonlarda kullanılabilir. Ayrıca mevcut durumda ambarda bulunan üst üste yerleştirilen

kasalara ait ürünlerin en az birinin farklı olması oranı %10'dur.

Sistemin dinamik bir sistem olması bu oran hakkında anlamlı bilgi vermektedir. Geliştiren sezgisel algoritma ile yukarıda bahsi geçen örnek uygulamalar çözülmüş ve atama sonuçlarına göre bu oran % 3,98'e düşmüştür. Fazladan işçilik gerektiren tur sayısı aşağıda hesaplanmıştır.

$$\text{Fazladan işçilik gerektiren tur sayısı} = \text{Haftalık toplam tur sayısı} * \text{İyileştirme miktarı}$$

$$\text{Fazladan işçilik gerektiren tur sayısı} = 2320 * (0,1 - 0,0398) = 139,664 = 140 \text{ tur}$$

- Üst üste yerleştirilen kasalara ait ürünlerin en az birinin farklı olması durumunda bir tur için işçilik maliyeti 0,45 TL artmaktadır.

$$\text{Yıllık fazladan işçilik maliyeti} = \text{Fazladan işçilik gerektiren tur sayısı} * 0,45 * 4 * 12$$

$$\text{Yıllık fazladan işçilik maliyeti} = 140 * 0,45 * 4 * 12 = 3024 \text{ TL}$$

Çalışma kapsamında yapılan tüm çalışmalarda firmada elde edilen yıllık kazanç:

$$\text{Yıllık toplam maliyet kazancı} = \text{Kazanılan alan maliyeti} + \text{İşçilik maliyeti} + \text{Yıllık fazladan işçilik maliyeti}$$

$$\text{Yıllık toplam maliyet kazancı} = 8316,79 + 63000 + 3024 = 74340,79 \text{ TL'dir.}$$

7. SONUÇ

Çalışma kapsamında, zaman içinde değişiklik gösteren müşteri talepleri karşısında mamul ambarında maksimum depolama alanı ve hacmi sağlayacak şekilde, kasa tipleri ve hacimlerine göre ambar içinde ayrılacak alanların hesaplanması amaçlanmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda, problemin değişik versiyonlarını çözecek şekilde, üç adet tamsayı matematiksel model geliştirilmiştir. Bu modeller ihtiyaca göre tekil olarak ele alınabilir; ancak bu çalışmada ardışık şekilde çözülmüştür; bir modelin sonucu ardışık modellerde girdi olarak kullanılmaktadır. Gerçek boyutlu problemi temsil eden bir pilot uygulama, geliştirilen modeller ile çözülmüş ve problemin NP-Zor sınıfına dahil olması sonucu son model çıktılarının kabul edilebilir zamanda elde edilememesinden dolayı sezgisel bir algoritma

geliştirilmiştir; bu sezgisel algoritma günlük bir araç şeklinde kullanılacak şekilde oluşturulmuş ve firmada uygulanmıştır. Uygulama sonucunda, taşıma maliyetlerinde ve depolama alanında yıllık olarak 74.340,79 TL tasarruf hesaplanmıştır. Depolama alanından ve işçilik maliyetlerinden tasarruf sağlanmış ve firmanın depolama süreci kolaylaştırılmıştır.

KAYNAKÇA

1. **Beasley, J. E.** 1985. "An Exact Two-Dimensional non-Guillotine Cutting Tree Search Procedure," *Operations Research*, vol. 33(1), p. 49-64.
2. **Bischoff, E. E., Janetz, F., Ratcliff, M. S. W.** 1995. Loading Pallets with non-Identical Items," *European journal of Operational Research*, vol. 84 (3), p. 681-692.
3. **Chen, C. S., Sarin, S., Ram, B.** 1991. "The Pallet Packing Problem for non-Uniform Box Sizes," *The International Journal of Production Research*, vol. 29 (10), p. 1963-1968.
4. **Chen, C. S., Lee, S. M., Shen, Q. S.** 1995. An Analytical Model for the Container Loading Problem," *European Journal of Operational Research*, vol. 80 (1), p. 68-76.
5. **Christofides, N., Whitlock, C.** 1977. "An Algorithm for Two-Dimensional Cutting Problems," *Operations Research*, vol. 25 (1), p. 30-44.
6. **Dereli, T., Daş, G. S.** 2010. "Development of a Decision Support System for Solving Container Loading Problems," *Transport*, vol. 25 (2), p. 138-147.
7. **Dowland, K. A.** 1987. "A Combined Data-Base and Algorithmic Approach to the Pallet-Loading Problem," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 38 (4), p. 341-345.
8. **Gademann, A. J. R. M., Van Den Berg, J. P., Van Der Hoff, H. H.** 2001. "An Order Batching Algorithm for Wave Picking in a Parallel-Aisle Warehouse," *International Transactions in Operational Research*, vol. 33 (5), p. 385-398.
9. **Gehring, H., Bortfeldt, A.** 1997. "A Genetic Algorithm for Solving the Container Loading Problem," *International Transactions in Operational Research*, vol. 4 (5-6), p. 401-418.
10. **Hodgson, T. J.** 1982. "A Combined Approach to the Pallet Loading Problem," *International Transactions in Operational Research*, vol. 14 (3), p. 175-182.
11. **Huang, W., He, K.** 2009. "A Caving Degree Approach for the Single Container Loading Problem," *European Journal of Operational Research*, vol. 196 (1), p. 93-101.
12. **Jain, S., Gea, H. C.** 1998. Two-Dimensional Packing Problems Using Genetic Algorithms," *Engineering with Computers*, vol. 14 (3), p. 206-213.
13. **Kröger, B., Schwenderling, P., Vornberger, O.** 1993. Parallel Genetic Packing on Transputers. *Parallel Genetic Algorithms: Theory and Applications*, J. Stender, IOS Press, Amsterdam, p.151-185.
14. **Muppani, V. R., Adil, G. K.** 2008. "A Branch and Bound Algorithm for Class Based Storage Location Assignment," *European Journal of Operational Research*, vol. 189 (2), p. 492-507.
15. **Pisinger, D.** 2002. "Heuristics for the Container Loading Problem," *European Journal of Operational Research*, vol. 141 (2), p. 382-392.
16. **Scheithauer, G., Sommerweiß, U.** 1998. "4-Block Heuristic for the Rectangle Packing Problem," *European Journal of Operational Research*, vol. 108 (3), p. 509-526.
17. **Stuedel, H. J.** 1979. "Generating Pallet Loading Patterns: A Special Case of the Two-Dimensional Cutting Stock Problem," *Management Science*, vol. 25 (10), p. 997-1004.
18. **Terno, J., Scheithauer, G., Sommerweiß, U., Riehme, J.** 2000. "An Efficient Approach for the Multi-Pallet Loading Problem," *European Journal of Operational Research*, vol. 123 (2), 372-381.
19. **Vasko, F. J.** 1989. "A Computational Improvement to Wang's Two-Dimensional Cutting Stock Algorithm," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 16 (1), p. 109-115.
20. **Wang, P. Y.** 1983. "Two Algorithms for Constrained Two-Dimensional Cutting Stock Problems," *Operations Research*, vol. 31 (3), p. 573-586.
21. **Wisittipanich, W., Meesuk, P.** 2015. Particle Swarm Optimization with Multiple Learning Terms for Storage Location Assignment Problems Considering Three-Axis Traveling Distance," *In Toward Sustainable Operations of Supply Chain and Logistics Systems*, V. Kachitvichynaukul, K.Sethanan, Kanchana, P.Golińska-Dawson (Eds.), Springer International Publishing, Switzerland, p. 435-443.