

# Endüstri Mühendisliği

Cilt: 27 Sayı: 4 Aralık 2016

ISSN 1300-3410



tmmob makina mühendisleri odası yayınıdır

[www.mmo.org.tr/endustri](http://www.mmo.org.tr/endustri)

## 36. YA/EM ULUSAL KONGRESİ ÖĞRENCİ PROJE YARIŞMASI ÖZEL SAYISI

3-14

### LİDER BİR DONDURMA FABRİKASINDA WCM METODOLOJİSİYLE ÜRETİM ALANLARINDA LOJİSTİK OPTİMİZASYONU

Elif Nur DEMİRPOLAT, Zeynep Şeyma ÖZTÜRK, Nilda UZGÖREN, Ceren VERGİLİ,  
Ceren YILMAZ, Salih TEKİN

15-25

### TEKNİK BALANS FİRMASINDA ÜRETİM HATTI TASARIMI VE DİNAMİK KONTROLÜ

Ayşe DOĞAN, Ayşe Melis GÖKKAN, Ceren YENİ, Aslıgül BÖRÜHAN, Yazgül YURĞUN,  
Murat FADİLOĞLU, Sinem ÖZKAN

26-38

### AMBAR DEPOLAMA MAKSİMİZASYONU

Gizem GÜL, Begüm EROL, Gözde ÖNGELEN, Sedat ESER, Çağdaş ÇETİNKAYA,  
Hüseyin Cenk ÖZMUTLU, Seda ÖZMUTLU, Mehmet GÖKÇEDAĞLIOĞLU, Cemil Günhan ERHUY

## ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

### TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI YAYINIDIR

3 Ayda Bir Yayınlanır  
Yerel Süreli Yayın  
Hakemli Bir Dergidir

**EKİM/KASIM/ARALIK 2016**  
October/November/December

**Cilt / Vol: 27 Sayı / No: 4**

**Makina Mühendisleri Odası**  
**Adına Sahibi**  
Publisher  
Ali Ekber ÇAKAR

**Sorumlu Yazı İşleri Müdürü**  
Executive Editor  
Yunus YENER

**Yayın Sekreteri**  
Editorial Secretary  
Aylin Sila AYTEMİZ

**Yayın Kurulu**  
Editorial Board  
Ferda Can ÇETİNKAYA  
Özgür YALÇINKAYA  
Güzin ÖZDAĞOĞLU  
Aydın KAYNARCA

**Redaksiyon**  
Redaction  
Tarık ÖZBEK

**Teknik Sorumlu**  
Technical Manager  
Mehmet AYDIN

**Sayfa Tasarımı**  
Page Design  
Münevver POLAT

**Baskı**  
Printed By  
Ankamat Matbaacılık Sanayi Ltd. Şti.  
30. Cadde 538. Sokak No:60  
İvedik Organize Sanayi - ANKARA  
Tel: (0 312) 394 54 94

**Baskı Sayısı**  
Circulation  
5500

**Baskı Tarihi**  
Publishing Date  
19 Ocak 2017

**Yönetim Yeri**  
Head Office  
TMMOB Makina Mühendisleri Odası  
Meşrutiyet Cad. 19/6.Kat  
Kızılay-ANKARA  
Tel: (0312) 425 21 41  
0 850 495 0 666 (06)  
Fax: (0312) 417 86 21  
e-posta: yayin@mmo.org.tr  
http://www.mmo.org.tr/endustri



Endüstri Mühendisliği dergisi EBSCO Veri Tabanında ve ayrıca  
International Abstracts in Operations Research tarafından taranmaktadır.

## S U N U Ş

Değerli Okuyucularımız,

Bu sene 36.sı gerçekleştirilen Yöneyem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 36. Ulusal Kongresi (YA/EM 2016), “Tarım ve Gıda Değer Zincirlerinde YAEM” temasıyla Yaşar Üniversitesi’nin ev sahipliğinde Yöneyem Araştırması Derneği ile işbirliği yapılarak 13-15 Temmuz 2016 tarihleri arasında İzmir’de düzenlendi. Yaşar Üniversitesi’nde düzenlenen Kongre kapsamında, her yıl olduğu gibi, üniversitelerin son sınıf öğrencileri tarafından öğretim üyeleri ve iş dünyası temsilcilerinin danışmanlığında YA/EM teknikleri kullanılarak gerçekleştirilen projelerin tanıtılması ve ödüllendirilmesi amacıyla YA/EM 2016 Öğrenci Proje Yarışması gerçekleştirilmiştir. Yarışmada dereceye giren öğrenci gruplarının danışman öğretim üyeleriyle birlikte üzerinde çalıştıkları projelerden hazırladıkları makalelere bu Özel Sayımızda yer vermekten büyük mutluluk duyuyoruz.

YA/EM 2016 Öğrenci Proje Yarışması süreci ile bu Özel Sayıda yayımlanan makalelerin içeriklerine ilişkin açıklamaları, Özel Sayı editörlüğünü üstlenen Yayın Kurulu Üyemiz Özgür Yalçinkaya’nın sunuş yazısından okuyabilirsiniz. Bu vesileyle, Özgür Yalçinkaya’ya katkıları için teşekkür ederiz. Dergimizin bu Özel Sayısında çalışmalarına yer verdiğimiz öğrenciler ve danışman öğretim üyelerini tebrik eder, Kongre esnasında öğrenci projelerinin değerlendirme sürecine titiz çalışmalarıyla katkı sağlayan jüri üyelerine ve bu sayımızı yayına hazırlayan çalışanlarımıza teşekkür ederiz.

YA/EM Kongresi Öğrenci Proje Yarışması’ndan oluşturulan özel sayılarımıza önümüzdeki yıllarda da devam edeceğiz. “Afet ve Kriz Yönetiminde YAEM’in Rolü” temasıyla İstanbul’da Yıldız Teknik Üniversitesi’nin tarihi Beşiktaş yerleşkesinde 5-7 Temmuz 2017 tarihleri arasında gerçekleştirilecek olan 37. YA/EM 2017 Ulusal Kongresi’nde yapılacak YA/EM Öğrenci Proje Yarışması’nda dereceye girecek olan çalışmalardan derlenecek makalelerin yer aldığı bir Özel Sayı hazırlayacağız.

Ayrıca dergimizde, 2016 yılı içinde yayımlanan makalelerin konu başlıkları-yazarlarının ve makaleleri büyük bir özveriyle değerlendiren hakemlerimiz isimlerine ulaşabilirsiniz.

Dergimizin bu sayısında ve daha önceki sayılarında yayımlanan makalelere <http://www.mmo.org.tr/endustri> adresinden de erişebileceğinizi hatırlatır; okuyucularına katkı sağlamasını dileriz. 2017 yılının siz değerli okuyucularımıza sağlık ve başarı getirmesi dileklerimizle yeni yılınızı kutlarız.

Saygılarımızla,

**TMMOB Makina Mühendisleri Odası**  
**Yönetim Kurulu**

# Özel Sayı Sunuşu: 36. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi Öğrenci Projeleri Yarışması

Özgür YALÇINKAYA

YA/EM 2016 Öğrenci Proje Yarışması Özel Sayısı Editörü

YA/EM 2016 Kongre Program Kurulu Üyesi



13-15 TEMMUZ 2016 Yaşar Üniversitesi, İZMİR

YÖNEYLEM ARAŞTIRMASI VE ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ 36. ULUSAL KONGRESİ  
TARIM VE GIDA DEĞER ZİNCİRLERİNDE YAEM



Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 36. Ulusal Kongresi YA/EM 2016, Yöneylem Araştırması Derneği ve Yaşar Üniversitesi işbirliğiyle, Yaşar Üniversitesi ev sahipliğinde, “Tarım ve Gıda Değer Zincirlerinde YAEM” ana temasıyla 13-15 Temmuz 2016 tarihleri arasında İzmir’de gerçekleştirilmiştir.

Kongre kapsamında düzenlenen paneller, özel oturumlar ve bildiri sunumlarının yanı sıra, her yıl olduğu gibi, üniversitelerin lisans öğrencileri tarafından öğretim üyeleri danışmanlığında YA/EM teknikleri kullanılarak gerçekleştirilen projelerin tanıtılması ve ödüllendirilmesi amacıyla Öğrenci Projeleri Yarışması da gerçekleştirilmiştir. Yarışmaya toplam 48 proje başvurmuştur.

Yarışma sonucunda birincilik ödülüne layık görülen ve akademik danışmanlığı Salih TEKİN (TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü) tarafından yürütülen proje ekibinin hazırladığı makale, “Lider Bir Dondurma Fabrikasında WCM Metodolojisiyle Üretim Alanlarında Lojistik Optimizasyonu” başlığıyla bu özel sayımızda yer almaktadır. Bu çalışmada, planlaması yapılamadığından kullanılamayan üç vagonlu tren sistemi için malzemelerin hat başlarına ne miktarda, nasıl ve hangi rotada taşınmasına karar veren kapsamlı bir milk run taşıma sistemi oluşturmak amaçlanmıştır.

Akademik danışmanlığı Murat FADİLOĞLU ve Sinem ÖZKAN (Yaşar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği

Bölümü) tarafından yürütülen makale, “Teknik Balans Firmasında Üretim Hattı Tasarımı ve Dinamik Kontrolü” başlığıyla özel sayımızda yer alan proje ikincilik ödülüne layık görülmüştür. Projede, artan müşteri talebini karşılayabilmek için dört farklı balans makinası modelini üretebilecek bir hat tasarımı yapmak amaçlanmıştır.

Üçüncülük ödülüne layık görülen akademik danışmanlığı Hüseyin Cenk ÖZMUTLU ve Seda ÖZMUTLU (Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü) tarafından yürütülen proje ekibinin hazırladığı makale ise özel sayımızda “Ambar Depolama Maksimizasyonu” başlığıyla yer almaktadır. Proje kapsamında, 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.

Yarışmaya katılan tüm öğrencileri ve projelerin yürütülmesinde ve makalelere dönüştürülmesinde emeği geçen danışman öğretim üyelerini tebrik eder, özel sayının hazırlanması sürecinde paylaştığı bilgiler ve dokümanlar için Kongre Program Kurulu Üyesi Erdiç Öner’e ve elinize ulaştırılması sürecinde emeği geçen Oda’mız çalışanlarına teşekkür eder, önümüzdeki yıllarda yarışmaya ilginin artarak devam etmesini temenni ederim.

Saygılarımla.

## LİDER BİR DONDURMA FABRİKASINDA WCM METODOLOJİSİYLE ÜRETİM ALANLARINDA LOJİSTİK OPTİMİZASYONU

Elif Nur DEMİRPOLAT, Zeynep Şeyma ÖZTÜRK, Nilda UZGÖREN, Ceren VERGİLİ, Ceren YILMAZ, Salih TEKİN\*

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara  
elifnurdemirpolat@gmail.com, zeynepseymaozturk@gmail.com, nildauzgorenn@gmail.com, cerenvergili@gmail.com, cerenyilmaz93@gmail.com, stekin@etu.edu.tr

Geliş Tarihi: 24.10.2016; Kabul Ediliş Tarihi: 21.12.2016

### ÖZ

Üretim hatlarının paletlerle beslendiği bir dondurma fabrikasındaki mevcut sistem, değer katmayan aktiviteler oluşturarak hat başlarında yığılmalara sebep olmaktadır. Bu çalışmada, periyodik araç rotalama yöntemi kullanımı ve üretim alanında yapılan iyileştirmelere değinilmiştir. Projenin amacı, planlaması yapılamadığından kullanılamayan üç vagonlu tren sistemi için malzemelerin hat başlarına ne miktarda, nasıl ve hangi rotada taşınmasına karar veren kapsamlı bir Milk Run taşıma sistemi oluşturmaktır. Bunun yanında, hat başlarında malzemelerin stoklanması için yeni taşıma sistemi ile uyumlu tasarımlar geliştirmektir. Çalışmada, günlük üretim planını girdi olarak alan ve taşıma planı oluşturan matematiksel model geliştirilmiş ve örnek problemlerde optimal sonuca ulaşılmıştır. Programın makul bir sürede sonuç verememesinden dolayı sezgisel metotlara başvurulmuştur. İnşa sezgiseliyle başlangıç çözümü alınmış, sonrasında, benzetilmiş tavlama meta sezgisel algoritması kullanılarak elde edilen çözüm iyileştirilmiştir. Kullanıcı dostu bir arayüz ile oluşturulan ZNEC Karar Destek Sistemi, iç lojistik aktivitelerine dair birçok işlemi gerçekleştirmektedir. Golden Zone iyileştirmeleri için çizilen tasarımlardan bir kısmı firmada uygulamaya geçirilmiştir. Milk Run sistemiyle, hat başlarındaki malzeme yığılmaları %78 azaltılmış ve transpalet kullanımı ortadan kaldırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Milk Run sistemi, periyodik araç rotalama, benzetilmiş tavlama

### PRODUCTION LOGISTIC OPTIMIZATION WITH WCM METHODOLOGY AT A LEADING ICE CREAM MANUFACTURER

#### ABSTRACT

In the current system of a leading ice cream manufacturer, the production lines are fed by transpallets and this causes overstocks at the production stations with non-value added activities. The aim of the project is to develop an extensive Milk Run distribution system for an idle three-wagon train. This system for the train decides on the when, how much and in which route to feed the production stations so that right amount of good is delivered on time. Another objective of study is to design new systems for stocking raw materials at the productions sites. A mathematical model that takes the daily production schedule as input and determines the optimal transportation plan is developed. Heuristic methods are developed to solve the mathematical model since the optimal solution can not be obtained within reasonable time limits. For this, an initial solution is obtained with a constructive heuristic, and then simulated annealing heuristic is used to improve the solution. ZNEC Decision Support System with a user-friendly interface is developed for the operation of internal logistic activities. Some sketched designs for Golden Zone improvements are put into practice by the Company. Material stocks at the stations are decreased by 78% with Milk Run system and the use of transpallets is eliminated.

**Keywords:** Milk Run system, periodic vehicle routing, simulated annealing

\* İletişim yazarı

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

## 1. GİRİŞ

Projede birlikte çalışılan firma, dondurma sektöründe lider bir markadır ve 1930'lu yıllarda kurulmuştur. Türkiye'ye ilk olarak 1990 yılında giriş yapmış ve Türkiye'nin en çok satan dondurma markalarından olmayı başarmıştır. 80 milyon litre dondurma kapasitesine sahip olan fabrika ilerleyen yıllarda 200 milyon litreyi hedeflemektedir. Fabrikanın üretim planı ülke içi ve ülke dışı satış temsilcilerinden gelen talepler doğrultusunda belirlenmektedir. Fabrikada 5 tane üretim hattı bulunmaktadır.

Rekabet ortamının giderek arttığı günümüzde, gerek üretim gerekse de hizmet sektörüne yönelik tüm israflardan arınmayı hedefleyen yalın üretim yaklaşımı yaygın olarak kullanılmaya başlanılmıştır. Özünde israflardan arınmayı amaçlayan bu yaklaşımda, malzeme taşıma sürecinde oluşan israflar önemli bir yer almaktadır. Bu kapsamda öne çıkan önemli konulardan biri, yalın üretim ortamında lojistik sisteminin nasıl olması gerektiğidir. Çalışma kapsamında tesis içi lojistik ele alınmıştır. Yalın üretim ortamına uygun olarak tasarlanmış tekrarlı üretim yapılan bir ortamda depoların nasıl olması gerektiği, hangi tür araçlarla, hangi rotalarda, hangi periyotlarda hücrelere hangi malzemelerin ne kadar taşınması gerektiği, istasyonların hat kenarında hangi stoklama şeklinde beslenmesi gerektiği gibi daha birçok soruna çözüm getirilmiştir.

## 2. MEVCUT SİSTEM

### 2.1 Sistemin Analizi

Firmada mevcut durumda, fabrikaya gelen malzemeler süpermarketten transpaletler ile tek tek üretim alanındaki hat besleme noktalarına gerekli malzemeler taşınmaktadır. Dondurmanın ana karışımı, Mix bölümünden borular aracılığıyla hatları beslemektedir. Külahlar ise külâh departmanında üretilip, yarı mamül şeklinde süpermarkette stoklanmaktadır.

Fabrikanın üretim alanında 5 tane hat bulunmaktadır. Bu hatlar sırasıyla 1, 2, 3, 4 ve 5 numaralı hatlardır. 5 numaralı hat, 5.1, 5.2 ve 5.3 olmak üzere 3'e ayrılmaktadır. 5.1 ve 5.2 hatları çalışırken 5.3 hattı çalışmamaktadır; ayrıca, 5.3 hattında 750 ml'lik veya 1,5 litrelik ürünler farklı zamanlarda üretilebilmektedir.

Üretim alanında her hattın besleme noktalarına yakın

konumlarda palet koyma yerleri mevcuttur. Operatörler paketlenmiş paletlerden malzeme kutularını almakta ve beslenme noktalarına daha yakın yerlere koymaktadır. Ardından, makineye malzemeyi yükleyecek olan operatör, kutuyu almakta ve hattı beslemektedir. Boşalan kutular ise yine başka bir plastik palet üzerine üst üste dizilmektedir. Bu şekilde, üretim alanında yığılmalar oluşmakta ve fazladan stoklar bulunmaktadır.

Fabrikada her vardiyada çalışan 2 adet malzemeci bulunmaktadır. Malzemeciler, hat besleme noktalarına ve süpermarkete malzemeleri tecrübelerine dayanarak paletle taşımaktadır. Ancak fazladan malzeme taşındığı için ürün değişimleri yapıldığında malzemeciye fazla stokları toplama iş yükü çıkmaktadır. Ayrıca malzemeler süpermarkete rastgele yerleştirilmekte, bu durum da karmaşaya sebep olmakta ve yeni ürün üretimine başlanacağı zaman yeni ürün malzemelerinin konması için yer bulunamamaktadır. Fazla stokların oluşması değer katmayan aktiviteler sonucu olduğu açıktır.

Malzemecilerin günün farklı saatlerinde lazım olacak malzemeleri tek seferde taşımak istemeleri, hat başında çalışan operatörlerin hattın durmaması adına malzemecilerden plansız bir şekilde malzeme talep etmeleri ve üretilmesi planlanan ürünün hattının ani bozulmaları malzeme birikmelerinin diğer başlıca sebepleridir. Ayrıca bazı operatörlerin çalışma şekli ergonomik olmayıp Golden Zone konseptine aykırı olduğu da gözlemlenmiştir.

Fabrikanın ana deposunda tren mevcut olup henüz kullanılmaya başlanmamıştır. Kullanılmayan tren için aylık 430 € ödenmektedir ve firmanın projeden temel beklentisi de bu trenin optimal bir şekilde faaliyete geçirilmesidir.

### 2.2 Problem Tanımı

Firmanın şikâyetleri ve elde edilen gözlemlerle belirlenen problemler şu şekilde tanımlanabilir:

- *Transpalet hareketleri ile ilgili problem:* Fabrika içerisinde transpaletler itme sistemi ile belirli bir çizelge takip etmeksizin istasyonları beslediği için üretim hattında düzensiz transpalet hareketleri ve hat başlarında yığılmalar meydana gelmektedir. Transpaletle taşımının tamamen kaldırılması istenmektedir.

- *Hat başı stok birikmeleri ile ilgili problemler:* Malzemelerin plansız bir şekilde paletler halinde taşın-

ması, hatların ihtiyacı olan miktardan çok daha fazla ham madde ya da yarı mamül taşınmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, hat başlarında operatörlerin çalışmasını engelleyecek derecede stok birikmeleri olmaktadır.

- *Milk Run – malzeme eşleştirmeleri ile ilgili problem:* Malzemelerin tren vagonlarına atanması ayrı bir problem olarak karşımıza çıkmıştır. Milk Run aracının mümkün olduğunca doldurulup az tur yaparak hatları beslemesi istenmektedir. Ayrıca, vagonların değişik ebatlardaki ürünlerle yerleştirilmesi konusunda üç boyutlu kutu yükleme problemlerinin çözüm yöntemlerinden faydalanılmıştır.

- *Üretim alanındaki mevcut paletler ile ilgili problem:* Fabrikada üst düzey yöneticilerden gelen talep doğrultusunda palet kullanımı istenmemektedir. Hat başlarına malzeme yüklemek için dolap, raf vb. tasarımların kullanılması istenmektedir. Ayrıca tüketim hızı diğerlerine oranla fazla olan malzemelerin tren vagonlarına yüklenmesi uygun değildir. Bu malzemeler için elleçleme sistemine uygun tekerlekli tasarımlar dizayn edilmesi gerekmektedir.

## 3. KAYNAKÇA TARAMASI

Firmadaki iyileştirme çalışmalarında firmanın isteği üzerine Yamashina (2002) ders notlarında anlatılan WCM metodolojisi tekniklerinden faydalanılmıştır. Periyodik araç rotalaması konusunda Çay (2013), bir çamaşır makinesi fabrikasının iç lojistik aktivitelerinin optimizasyonunu hedeflemiştir. Ekmen ve arkadaşlarının (2014), tezlerine konu olan bir bulaşık makinesi fabrikasında gerçekleşen projede, hat başı stok miktarlarının iyileştirilmesini hedeflemişlerdir. Proje kapsamında montaj bandı malzemelerinin dağıtım sistemi ele alınmıştır. Bunlara ek olarak, Kılıç'ın (2011), İstanbul Teknik Üniversitesi'nde yalın üretim ortamında iç lojistik sistemleriyle ilgili hazırladığı doktora tezinden faydalanılmıştır.

Rotalama problemine çözüm teknikleri geliştirilirken, her bir vagonun ne kadar malzemeyi taşıyabileceğini belirlemek amacıyla ortaya çıkan üç boyutlu kutu yükleme probleminin de aynı anda ele alınması gerekmektedir. Konteyner yükleme problemi için analitik modelin teori ve metodolojisinin bahsedildiği Chen ve arkadaşlarının (1993) makalesinden faydalanılmıştır. Bu makalede üç boyutlu paletleme, stok azalımı, depo ve

matematiksel model üzerinde odaklanılmıştır. Paquay ve arkadaşlarının (2011) makalesinde de üç boyutlu yerleşim programı hava kargosuna uyarlanmıştır. Kurulan algoritma da vagon içi kullanım oranı en yüksek seviye de tutulacak şekilde formülasyon yapılmıştır. Bu yaklaşımdan Bortfeldt ve Goering'in (1997) yayınında da bahsedilmiştir. Özdamar'ın (2013) toplam örnek sayısının bilinmediği durumlarda kullandığı yaklaşımı dikkate alınmıştır.

Yanık (2011), yüksek lisans tezinde hareketli raf sistemlerinden bahsetmiş ve bu sistemlerin dondurma kaplarını taşıyacak aracın yapısına uygun olduğunu belirtmiştir.

Tavlama benzetim algoritması konusunda ise Karaboğa'nın (2011) çalışmalarından faydalanılmıştır. Başlangıç sıcaklığı, döngü sayısı gibi parametrelerin seçimi için doğru yöntem bulunmaya çalışılmıştır. Johnson ve arkadaşlarının (1989) makalesinden yararlanılarak da tavlama benzetim algoritmasının probleme olan uygunluğu araştırılmıştır.

## 4. ÖNERİLEN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

### 4.1 Matematiksel Model

İç lojistik aktivitelerinin iyileştirilmesi için ilk olarak matematiksel model yaklaşımına başvurulmuştur. Matematiksel model, 1 saatlik zaman dilimi içerisinde tüm istasyonlardaki malzeme ihtiyaçlarını karşılayacak bir Milk Run sistemi önermektedir. Model, genel olarak Milk Run araçlarını hazır rotalara atamakta ve taşınacak malzeme miktarlarını vermektedir. Fabrika yerleşkesinin kullanılabilirlik açısından çok çeşitli rotalara izin vermemesi nedeniyle hazır rotalar oluşturulmuştur. Milk Run araçlarının hazır rotalara atanmasıyla model, rota belirleme gibi karmaşık bir işlemde kurtarılmıştır. Araç rotalama problemine ek olarak, vagonlara yüklenecek malzeme kutularının farklı boyutlarda olması üç boyutlu kutu yükleme problemini de ortaya çıkartmıştır. Malzemeciye kullanım kolaylığı sağlamak için vagonlar, malzemelerin kullanım miktarları, boyutları, taşınacakları istasyonlar göz önüne alınarak gruplandırılmış ve Ek 1'de gösterilen destekleyici matematiksel model kurularak Cplex Studio IDE programı ile optimal çözüme ulaşılmıştır. Destekleyici modelin sonuç analizine göre istatistiksel tolerans hesaplamaları ana modele entegre edilmiştir.

Model indisleri şu şekildedir:

$\mathcal{A} = \{1, \dots, A\}$	Malzeme kümesi
$\mathcal{N} = \{1, \dots, N\}$	İstasyon kümesi
$\mathcal{R} = \{1, \dots, R\}$	Rota kümesi
$\mathcal{T} = \{0, \dots, T + 1\}$	Periyot kümesi
$\mathcal{E} = \{1, 2, 3, 4\}$	Tur kümesi
$\mathcal{V} = \{1, 2, 3\}$	Vagon kümesi

Model parametreleri şu şekilde belirlenmiştir:

$LT$	Malzemelerin süpermarketten vagona yüklenme süresi (sn)
$UT_m$	$m \in \mathcal{A}$ malzemesinin vagona istasyona yükleme süresi (sn)
$F_r$	$r \in \mathcal{R}$ rotasının toplam mesafesi (m)
$MAX_m$	$m \in \mathcal{A}$ malzemesinin maksimum stok değeri (kutu)
$V_m$	$\mathcal{A}$ malzemesinin hacmi ( $cm^3$ )
$\alpha_v$	$v \in \mathcal{V}$ vagonunun tolerans değeri (%)
$D_{mt}$	$m \in \mathcal{A}$ malzemesinin $t \in \mathcal{T}$ periyodundaki talebi (kutu)
$n_{mr} = \begin{cases} 1, & m \in \mathcal{A} \text{ malzemesi } r \in \mathcal{R} \text{ rotasında sağlanıyorsa} \\ 0, & \text{d. d.} \end{cases}$	
$d_{mv} = \begin{cases} 1, & m \in \mathcal{A} \text{ malzemesi } v \in \mathcal{V} \text{ vagonuna yükleniyorsa} \\ 0, & \text{d. d.} \end{cases}$	
$hiz$	Milk Run aracının hızı (m/sn)
$M$	Çok büyük bir sayı (Big – M)

Model parametreleri şu şekilde belirlenmiştir:

$x_{mt} = t \in \mathcal{T}$ periyodunda $m \in \mathcal{A}$ malzemesinden götürülen kutu miktarı
$Y_{mte} = t \in \mathcal{T}$ periyodunun $e \in \mathcal{E}$ turunda $m \in \mathcal{A}$ malzemesinden götürülen kutu miktarı
$S_{mt} = t \in \mathcal{T}$ periyodunun sonunda $m \in \mathcal{A}$ malzemesinden kalan stok miktarı (kutu)
$Sint_{mt} = t \in \mathcal{T}$ periyodunun sonunda $m \in \mathcal{A}$ malzemesinden kalan stoğun tamsayı değeri (kutu)
$I_t = t \in \mathcal{T}$ periyodunda malzemecinin boş zamanı (sn)
$timeLength_{te} = t \in \mathcal{T}$ periyodundaki $e \in \mathcal{E}$ turunun zamanı (sn)
$a_{ter} = \begin{cases} 1, & t \in \mathcal{T} \text{ periyodunun } e \in \mathcal{E} \text{ turunda } r \in \mathcal{R} \text{ rotası kullanıldıysa} \\ 0, & \text{d. d.} \end{cases}$

$$\text{En azla: } z = \sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{e \in \mathcal{E}} \sum_{r \in \mathcal{R}} (a_{ter} F_r)$$

Aşağıdaki kısıtları gözetererek;

$$S_{mt} \leq Sint_{mt} \quad \forall t \in \mathcal{T}, m \in \mathcal{A} \quad (1)$$

$$S_{mt} + 0.999 \geq Sint_{mt} \quad \forall t \in \mathcal{T}, m \in \mathcal{A} \quad (2)$$

$$S_{mt} \geq D_{m(t+1)} \quad \forall t \in \mathcal{T}/\{T+1\}, m \in \mathcal{A} \quad (3)$$

$$Sint_{mt} \leq MAX_m \quad \forall t \in \mathcal{T}, m \in \mathcal{A} \quad (4)$$

$$S_{m(t-1)} + x_{mt} - D_{mt} = S_{mt} \quad \forall t \in \mathcal{T}/\{0\}, m \in \mathcal{A} \quad (5)$$

$$\sum_{e \in \mathcal{E}} Y_{mte} = x_{mt} \quad \forall t \in \mathcal{T}, m \in \mathcal{A} \quad (6)$$

$$\sum_{r \in \mathcal{R}} a_{ter} \leq 1 \quad \forall t \in \mathcal{T}, e \in \mathcal{E} \quad (7)$$

$$Y_{mte} \leq M \sum_{r \in \mathcal{R}} (a_{ter} * n_{mr}) \quad \forall t \in \mathcal{T}, e \in \mathcal{E} \quad (8)$$

$$\sum_{m \in \mathcal{A}} Y_{mte} d_{mv} V_m \leq 1320000 \alpha_v \quad \forall v \in \mathcal{V}, t \in \mathcal{T}, e \in \mathcal{E} \quad (9)$$

$$a_{ter} \geq a_{tlr} \quad \forall t \in \mathcal{T}, r \in \mathcal{R}, e, l \in \mathcal{E}, l > e \quad (10)$$

$$\left( \sum_{m \in \mathcal{A}} x_{mt} * (LT + UT_m) \right) + \left( \frac{\sum_{e \in \mathcal{E}} \sum_{r \in \mathcal{R}} a_{ter} * F_r}{hiz} \right) + I_t \leq 3600 \quad \forall t \in \mathcal{T} \quad (11)$$

$$S_{mt}, x_{mt}, Y_{mte}, Sint_{mt}, I_t, timeLength_{te} \geq 0 \quad \forall t \in \mathcal{T}, e \in \mathcal{E}, m \in \mathcal{A} \quad (12)$$

• *Malzemelerin kalan stok miktarının tamsayı değerini belirleyen kısıtlar (1),(2):* Bu kısıtlara göre malzemelerin periyot sonunda hat başlarında kalan kutu miktarı için tamsayı değer atanmaktadır.

• *Malzeme talebinin karşılanmasını sağlayan kısıt (3):* Bu kısıta göre malzemelerin periyot sonunda kalan stok miktarı bir sonraki periyottaki talebi karşılamalıdır. Seri üretim olduğu için de tüketim hızları sabit alınmıştır.

• *Maksimum stok kısıtı (4):* Bu kısıta göre malzemelerin periyot sonunda kalan stok miktarlarının tamsayı değeri hat kenarlarındaki her malzemeye ait mümkün olan stok kapasitesini geçemez.

• *Taşınan kutu adedini belirleyen kısıt (5):* Bu kısıta göre malzemeler o periyottaki talebe ve bir önceki periyodun sonundaki stok miktarına göre taşınacaktır.

• *Taşınan malzeme değerlerini turlara atayan kısıt (6):* Bu kısıta göre bir periyotta taşınacak malzeme

miktarı o periyotta turlarda taşınacak olan malzeme, kutu miktarlarının toplamına eşittir.

• *Aynı periyottaki tüm turlara tek bir rota atama kısıt (7):* Bu kısıta göre her turda bir rota kullanılabilir.

• *Taşınan malzemelere göre rota belirleyen kısıt (8):* Bu kısıtta yapılan turda taşınacak malzemelerin gideceği istasyonları kapsayan rota seçilmesi sağlanmıştır.

• *Vagonların toleranslarına göre kutu yüklemesinin yapılmasını sağlayan kısıtlar (9):* Bu kısıta göre bir periyotta taşınan malzemelerin toplam hacmi, vagonların hacmini geçmeyecektir. Bunu sağlamak için tolerans değerine ihtiyaç duyulmuştur. Tolerans değerini elde etmek için üretim alanındaki kutuların hacmi ve vagonun hacmi hesaplanmış, kutulara rasgele örneklemeler seçilerek maksimum doluluk oranı oluşacak şekilde kutu yükleme problemi modeli aracılığı ile vagona yerleştirilmiştir. Doluluk oranları üzerinde istatistiksel

hesaplamalar yapılarak ortalama bir tolerans değerine ulaşılmıştır.

• *Tur sırasını belirleyen kısıt (10)*: Bu kısıt ile aynı periyot için bir tur gerçekleştirilmeden ikinci bir tur gerçekleştirilmesi önlenmiştir. Tur sayıları sıraya konulmuştur.

• *Periyotlardaki tur süreleri ve boş zamanların toplamı bir saati aşmamasını sağlayan kısıt (11)*: Bu kısıt ile toplam tur süresinin bir saati aşmaması sağlanmıştır.

#### 4.2 Sezgisel Model

Oluşturulan matematiksel model makul sürede sonuç vermemekte olup, ayrıca programın kullanımı için nitelikli personel ve ek maliyet ihtiyacı gerekmektedir. Bu nedenle, sezgisel model yaklaşımına ihtiyaç duyulmuştur. Sezgisel model iki aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak, başlangıç çözümü bulmak için inşa sezgiseli yönteminden faydalanılmıştır. Mümkün olan en kısa turla hatların beslenmesini amaçlayan algoritma, teslimat gecikmelerini önlemek için her bir istasyonun malzeme talebinin bir önceki saatte karşılanması şeklinde çalışmaktadır. Başlangıç çözümü bulma algoritma adımları Ek 3'te yer almaktadır. İkinci aşamada ise Milk Run aracının aldığı toplam yol üzerinde iyileştirme yapmak için metasezgisel geliştirici yöntem olan tavlama benzetimi algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmaya göre rastgele seçilen bir çözümle aramaya başlanır, komşu çözüm oluşturulur ve amaç fonksiyonundaki değişim hesaplanmaktadır. Eğer amaç fonksiyonunda azalma söz konusu ise komşu çözüm mevcut çözüm olarak kabul edilmekte ve algoritma durma kuralı sağlandığında algoritma sonlanmaktadır. Amaç fonksiyonunda kötüleşme olduğu durumlarda da komşu çözüm belirli bir olasılıkla kabul edilebilmektedir. Ana problemde komşu çözümler, her periyotta turlarda gönderilen malzeme miktarlarının yerlerinin kendi aralarında rastgele değiştirilmesi ile üretilmiştir. Benzetilmiş tavlama algoritmasını kurabilmek için başlangıç ısı, soğutma oranı, döngü sayısı ve durdurma kuralı gibi bazı parametreler gereklidir. Yapılan araştırmalar ve denemeler sonucunda başlangıç ısı ( $T_0$ ) 100, soğutma oranı aritmetik, döngü sayısı sabit 50, durdurma kuralı olarak ise sıcaklığın 0 olması kabul edilmiştir. Bu parametreler ile kısa sürede iyi çözümler elde edilmektedir.

#### 4.3 Karar Destek Sistemi

ZNEC karar destek sistemine sezgisel model entegre edilerek firmanın kullanım kolaylığı açısından Excel Visual Basic programında kodlanmıştır. Bu sistem, bir sonraki vardiyanın üretim planını girdi olarak taşınması gereken malzeme miktarını, malzeme besleme istasyonlarını, tur sürelerini ve rota uzunluklarını vermekte olup, istenirse rapor çıktısı alıp verileri yazdırabilmektedir. Ek 2'de vardiya planı çıktı arayüzü, verilen ZNEC'in tüm arayüzleri anlaşılır, kullanımı kolay ve estetik olacak şekilde tasarlanmıştır. Firmanın gelecekteki politikalarına uyumlu çalışabilen ZNEC, yeni ürün ekleme, ürün silme ve ürün güncelleme gibi faaliyetleri de uygulayabilmektedir.

#### 4.4 Hızlı Tüketilen ve Hacimce Büyük Malzemeler İçin Tasarımlar

Yapılan analizler sonucunda, kutu hacimleri büyük olan ve saatlik tüketimleri çok yüksek olan malzemelerin Milk Run aracı ile taşınmasının vagon kapasitesi yetersizliği nedeni ile mümkün olmayacağına karar verilmiştir. Bu nedenle firma, yüksek tüketim hızlı malzemelerin taşınması ve hat başlarında kullanımı için tasarım önerileri istemiştir. Operatörün çalışma şekli ve üretim alanındaki yer olanakları göz önüne alınarak Ek 4'te bulunan tasarımlar geliştirilip SketchUp programında çizilmiştir. Önerilen kap taşıma aracında makaslı lift, koli taşıma aracında ise menteşeli açılır kapanır mekanizma kullanılmıştır. Kūlah taşıma aracının tasarımında ise 2-Bin sisteminden esinlenilmiştir. Önerilen kap besleme aracı mekanizması firma tarafından kullanıma geçilmiştir. Tasarımın kullanılması ile birlikte operatörlerin ergonomisinde ve Golden Zone konseptinde iyileştirilme sağlanmıştır.

### 5. UYGULAMA

#### 5.1 Sistem Çıktılarının Doğrulanması ve Karşılaştırılması

Matematiksel model Cplex Studio IDE programında, sezgisel algoritma ise Excel Visual Basic programında kodlanmıştır. Tüm hatların çalıştığı senaryoya göre sezgisel model ve matematiksel model tur sayıları çıktıları Tablo 1'de yer almaktadır. Toplam tur sayısı iki model için de eşittir; fakat matematiksel model 6 saat gibi

**Tablo 1.** Matematiksel Model ve Sezgisel Modelin Çözümündeki Tur Sayıları

	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot	4. Periyot	5. Periyot	6. Periyot	7. Periyot	8. Periyot	Toplam
Matematiksel Model	3	3	3	3	3	3	3	3	24
Sezgisel Model	3	3	3	3	3	3	3	3	24

bir sürede sonuç verirken sezgisel model 35 saniyede sonuç vermektedir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, beklendiği gibi, periyotların tur sürelerinin toplamının 1 saati aşmadığı, malzemeciye boş zamanın kaldığı da görülmüştür.

Milk Run aracının aldığı toplam yol uzunlukları ise Tablo 2'de karşılaştırılmıştır. Sezgisel model sonuçları matematiksel model sonuçlarından %9 sapmaktadır. Sezgiselin başlangıç aşamasında alınan yolu minimize etmek amacı yoktur. Benzetilmiş tavlama yöntemiyle gerçekleştirilen bu amaç, sezgisel modelin başlangıç çözümünde %5 iyileştirme sağlamıştır.

Farklı üretim planlarında senaryolar geliştirilmiştir. Bu senaryoların matematiksel modelinden, sezgisel başlangıç modelinden ve tavllanmış sezgisel modelin-

den elde edilen sonuçları Tablo 3'te karşılaştırılmıştır. Başlangıç çözümü ile tavllanmış çözüm karşılaştırılmış olup, %1,13 ile %6,65 arası iyileştirme sağlanmıştır. Sezgisel metodun optimal sonuca uzaklığı %1,84 ile %15,64 arasında değişmektedir. Yapılan analizlerin de gösterdiği gibi, sezgisel algoritma sonuçlarının, matematiksel model sonuçlarına iyi ve hızlı bir alternatif olarak kullanılabileceği görülmüştür.

#### 5.2 Önerilen Sistemin Sağladığı Kazanımlar

Projenin uygulamaya geçirilmesi ile birlikte malzemeci tecrübesine dayalı hat besleme yerini, planlı ve düzenli bir Milk Run sistemine bırakacaktır. Hat başı malzeme yığılmaları ve transpalet kullanımı ortadan kaldırılacak; malzemecilerin planlama için ayırdıkları süre elimine edilecek; eksik, geç veya yanlış malzeme

**Tablo 2.** Matematiksel Model ve Aşamalarının Çözümündeki Rota Uzunlukları (m)

	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot	4. Periyot	5. Periyot	6. Periyot	7. Periyot	8. Periyot	Toplam
Matematiksel Model	898	898	898	898	898	898	898	898	7184
Başlangıç Çözümü	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	8320
Tavllanmış Model	1040	931	1040	916	1070	931	1040	931	7899

**Tablo 3.** Farklı Yöntemlerle Elde Edilen Toplam Mesafelerin Karşılaştırılması

Senaryoların Çözümü (m)	Başlangıç Çözümü (m)	Tavllanmış Model (m)	Optimal Sonuç (m)	Tavlama Yöntemiyle Yapılan İyileştirme	Sezgisel Modelin Optimallikten Uzaklığı
Senaryo 1	7250	7098	6768	%2,10	%4,65
Senaryo 2	7400	7316	7184	%1,13	%1,84
Senaryo 3	9536	8902	7510	%6,65	%15,64
Senaryo 4	8320	7899	7184	%5,06	%9,05

**Tablo 4.** Mevcut Durum, Matematiksel ve Sezgisel Model Çözümündeki Ortalama Stok Hacimleri

	Mevcut Durum	Matematiksel Model	Sezgisel Model
Ortalama Stok Hacmi (m <sup>3</sup> )	1,554837	0,265441	0,338388

tedariği nedeniyle hat duruşları önlenecektir. Bu model üzerinde yapılacak çalışmalar ile markanın diğer fabrikalarına uygulanabilir bir çözüm getirilebilecektir.

Mevcut sistemde palet ile taşıma yapıldığından hat başlarındaki stok birikimleri oldukça fazladır. Milk Run sistemine geçildiğinde malzemelerin mevcut durumdaki stok miktarları, hat başlarındaki malzeme oranları göz önüne alınarak bulunmuştur. Milk Run uygulaması ile hem matematiksel model için hem sezgisel model için ortalama stok hacimleri yeniden hesaplanmış ve iyileştirme yüzdeleri elde edilmiştir. Tablo 4'te de görüldüğü gibi, matematiksel model ile yaklaşık %82, sezgisel model ile %78 iyileşme sağlanmıştır.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Lider bir dondurma fabrikası için yapılan bu projede firmanın taleplerini en kapsamlı şekilde karşılayan bir iç lojistik sistemi kurulmuştur. Bu sistem, problem belirtisi olarak göze çarpan malzeme yığılmalarına uygulanabilir çözümler getirmektedir. Bu doğrultuda geliştirilen ZNEC Karar Destek Sistemi, özgün ve yenilikçi bir yapıya sahiptir. Operatörlerin kolayca anlayabileceği kullanım kılavuzu hazırlanıp firmaya sunulmuştur. Projenin uygulanması için gerekli altyapının firmada bulunması projenin uygulanabilirliğini büyük ölçüde artırmıştır. Ayrıca ergonomik çalışma ortamları için Golden Zone konseptine uygun tasarımlar geliştirilmiştir.

İç lojistik operasyonlarında temel performans göstergeleri adam-saat ve elleçleme miktarı olarak gösterilebilir. Fabrikanın kabul ettiği standart saatlik iş gücü maliyeti üzerinden yapılan hesaplamalarda, tren kirası ve stok maliyetleri göz önüne alınmıştır. Sonuçta, projenin uygulamaya geçmesiyle firmanın günlük 594 ₺, yıllık 216.883 ₺ kâr sağlayacağı öngörülmektedir.

Verileri oluşturulan her bir malzemenin kutu hacimleri, kutu içi malzeme miktarları, kullanıldıkları istasyon-

lar, saatlik talepleri ve mevcut rota bilgilerinin düzenli olarak güncellenmesi için, belirli periyotlarla çalışma yapılması gerektiği düşünülmektedir. Bu güncellemeler için malzemecilerin de bulunduğu Üretim Planlama Mühendisleri ile ortak bir çalışma yürütülmesi önerilmiştir.

## KAYNAKÇA

1. **Bortfeldt, A., Goering, H.** 1997. "A Genetic Algorithm for Solving the Container Loading Problem," International Transactions in Operational Research, vol. 4, p. 340-354.
2. **Chen, C. S., Lee, S. M., Shen, Q. S.** 1993. "An Analytical Model for the Container Loading Problem," European Journal of Operational Research, vol. 80, p. 68-76.
3. **Çay, S. B.** 2013. "Çamaşır Makinesi Fabrikası İç Lojistik Aktivitelerinin Optimize Edilmesi," Endüstri Mühendisliği Dergisi, sayı 21, s. 25-28.
4. **Ekmen, M., Eren, O., Göksu, S. H., Kızılyıldırım, R., Özdemir, G.** 2014. "Montaj Bandı Malzemeleri Dağıtım Sistemi İyileştirilmesi," Endüstri Mühendisliği Bitirme Projesi Raporu, TOBB ETÜ, Ankara.
5. **Johnson, D. S., Aragon, C. R., McGeoch, L. A., Schevon, C.** 1989. "Optimization by Simulated Annealing: An Experimental Evaluation; Part 1, Graph Partitioning," Operations Research, vol. 37, p. 865-892.
6. **Karaboğa, D.** 2011. Yapay Zekâ Optimizasyon Algoritmaları, Genişletilmiş 2. Basım, Nobel Yayın Dağıtım, İstanbul.
7. **Kılıç, H. S.** 2011. "Yalın Üretim Ortamında İç Lojistik Sisteminin Tasarımı," Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul.
8. **Özdamar, K.** 2003. "Modern Bilimsel Araştırma Yöntemleri," Kaan Kitabevi, Eskişehir, s.116-118.
9. **Paquay, C., Schyns, M., Limbourg,** 2012. "Three dimensional Bin Packing Problem applied to air transport," 26th Annual Conference of the Belgian Operations Research Society. 2-3 February 2012, Liege Belgium.
10. **Yamashina, H.** 2002. "World Class Manufacturing," <http://wenku.baidu.com/view/07c001d2240c844769eaea2.html>, son erişim tarihi: 28.02.2016.
11. **Yanık, Ö.** 2011. "Konveksiyonel Fırında Hareketli Raf Konstrüksiyonu," Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.

## EKLER

### Ek 1. Destekleyici Model

#### Destekleyici Model Parametreleri

$$N = \{1, \dots, n_N\} \quad \text{Malzeme kutularının kümesi}$$

$$A_i \quad i \in N \text{ malzemesinin kutusunun boyu (cm)}$$

$$B_i \quad i \in N \text{ malzemesinin kutusunun eni (cm)}$$

$$C_i \quad i \in N \text{ malzemesinin kutusunun yüksekliği (cm)}$$

#### Destekleyici Model Karar Değişkenleri

$$s_i = \begin{cases} 1, & i \in N \text{ malzemesinin kutusu vagona yüklenirse} \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

$$x_i = i \in N \text{ malzemesinin kutusunun ön - sol - alt köşesinin } x \text{ koordinatı}$$

$$y_i = i \in N \text{ malzemesinin kutusunun ön - sol - alt köşesinin } y \text{ koordinatı}$$

$$z_i = i \in N \text{ malzemesinin kutusunun ön - sol - alt köşesinin } z \text{ koordinatı}$$

$$ax_i = \begin{cases} 1, & i \in N \text{ malzemesinin kutusunun boyu } x \text{ eksenine paralelse} \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

$$ay_i = \begin{cases} 1, & i \in N \text{ malzemesinin kutusunun boyu } y \text{ eksenine paralelse} \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

$$az_i = \begin{cases} 1, & i \in N \text{ malzemesinin kutusunun boyu } z \text{ eksenine paralelse} \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

$$bx_i = \begin{cases} 1, & i \in N \text{ malzemesinin kutusunun eni } x \text{ eksenine paralelse} \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

$$by_i = \begin{cases} 1, & i \in N \text{ malzemesinin kutusunun eni } y \text{ eksenine paralelse} \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

$$bz_i = \begin{cases} 1, & i \in N \text{ malzemesinin kutusunun eni } z \text{ eksenine paralelse} \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

$$cx_i = \begin{cases} 1, & i \in N \text{ malzemesinin kutusunun yüksekliği } x \text{ eksenine paralelse} \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

$$cy_i = \begin{cases} 1, & i \in N \text{ malzemesinin kutusunun yüksekliği } y \text{ eksenine paralelse} \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

$$cz_i = \begin{cases} 1, & i \in N \text{ malzemesinin kutusunun yüksekliği } z \text{ eksenine paralelse} \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

$$l_{ik} = \begin{cases} 1, & i \in N \text{ malzemesinin kutusu } k \in N \text{ malzemesinin kutusunun solunda ise} \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

$$r_{ik} = \begin{cases} 1, & i \in N \text{ malzemesinin kutusu } k \in N \text{ malzemesinin kutusunun sağında ise} \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

$$f_{ik} = \begin{cases} 1, & i \in N \text{ malzemesinin kutusu } k \in N \text{ malzemesinin kutusunun önünde ise} \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

$$b_{ik} = \begin{cases} 1, & i \in N \text{ malzemesinin kutusu } k \in N \text{ malzemesinin kutusunun arkasında ise} \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

$$u_{ik} = \begin{cases} 1, & i \in N \text{ malzemesinin kutusu } k \in N \text{ malzemesinin kutusunun altında ise} \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

$$t_{ik} = \begin{cases} 1, & i \in N \text{ malzemesinin kutusu } k \in N \text{ malzemesinin kutusunun üstünde ise} \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

$$\text{En azla: } z = VbVeVy - \sum_{i \in N} s_i A_i B_i C_i$$

Aşağıdaki kısıtları gözleterek;

$$\sum_{i \in N} x_i + A_i a x_i + B_i b x_i + C_i c x_i \leq \sum_{i \in N} \sum_{k \in N} x_k + M(1 - l_{ik}) \quad \forall i, k \in N, i < k \quad (1)$$

$$\forall i, k \in N, i < k \quad (2)$$

$$\sum_{k \in N} x_k + A_k a x_k + B_k b x_k + C_k c x_k \leq \sum_{i \in N} \sum_{k \in N} x_i + M(1 - r_{ik})$$

$$\sum_{i \in N} y_i + A_i a y_i + B_i b y_i + C_i c y_i \leq \sum_{i \in N} \sum_{k \in N} y_k + M(1 - f_{ik}) \quad \forall i, k \in N, i < k \quad (3)$$

$$\forall i, k \in N, i < k \quad (4)$$

$$\sum_{k \in N} y_k + A_k a y_k + B_k b y_k + C_k c y_k \leq \sum_{i \in N} \sum_{k \in N} y_i + M(1 - b_{ik})$$

$$\sum_{i \in N} z_i + A_i a z_i + B_i b z_i + C_i c z_i \leq \sum_{i \in N} \sum_{k \in N} z_k + M(1 - u_{ik}) \quad \forall i, k \in N, i < k \quad (5)$$

$$\forall i, k \in N, i < k \quad (6)$$

$$\sum_{k \in N} z_k + A_k a z_k + B_k b z_k + C_k c z_k \leq \sum_{i \in N} \sum_{k \in N} z_i + M(1 - t_{ik})$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in N} l_{ik} + r_{ik} + f_{ik} + b_{ik} + u_{ik} + t_{ik} \geq \sum_{k \in N} d_k + \sum_{i \in N} d_i - 1 \quad \forall i, k \in N, i < k \quad (7)$$

$$Vb \geq \sum_{i \in N} x_{i+} A_i a x_i + B_i b x_i + C_i c x_i \quad \forall i \in N \quad (8)$$

$$Ve \geq \sum_{i \in N} y_{i+} A_i a y_i + B_i b y_i + C_i c y_i \quad \forall i \in N \quad (9)$$

$$Vy \geq \sum_{i \in N} z_{i+} A_i a z_i + B_i b z_i + C_i c z_i \quad \forall i \in N \quad (10)$$

$$\sum_{i \in N} a x_i + a y_i + a z_i = \sum_{i \in N} d_i \quad \forall i \in N \quad (11)$$

$$\sum_{i \in N} b x_i + b y_i + b z_i = \sum_{i \in N} d_i \quad \forall i \in N \quad (12)$$

$$\sum_{i \in N} c x_i + c y_i + c z_i = \sum_{i \in N} d_i \quad \forall i \in N \quad (13)$$

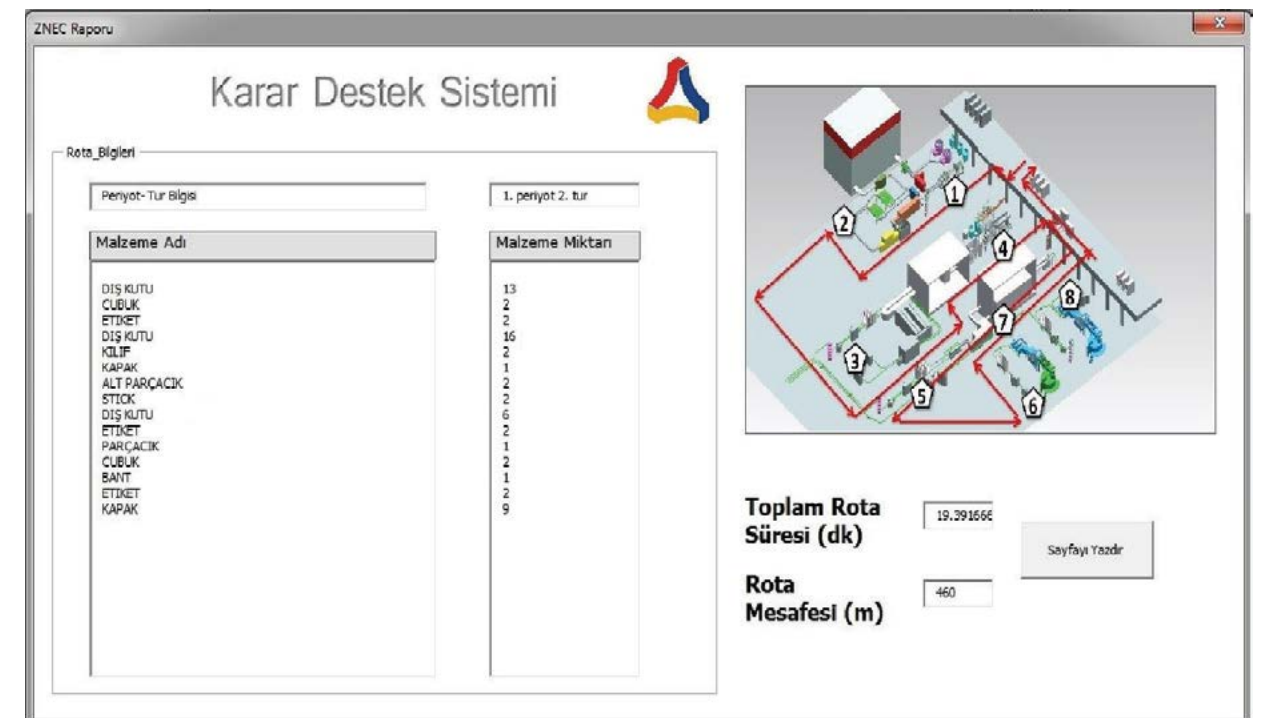
$$\sum_{i \in N} a x_i + b x_i + c x_i = \sum_{i \in N} d_i \quad \forall i \in N \quad (14)$$

$$\sum_{i \in N} a y_i + b y_i + c y_i = \sum_{i \in N} d_i \quad \forall i \in N \quad (15)$$

$$\sum_{i \in N} a z_i + b z_i + c z_i = \sum_{i \in N} d_i \quad \forall i \in N \quad (16)$$

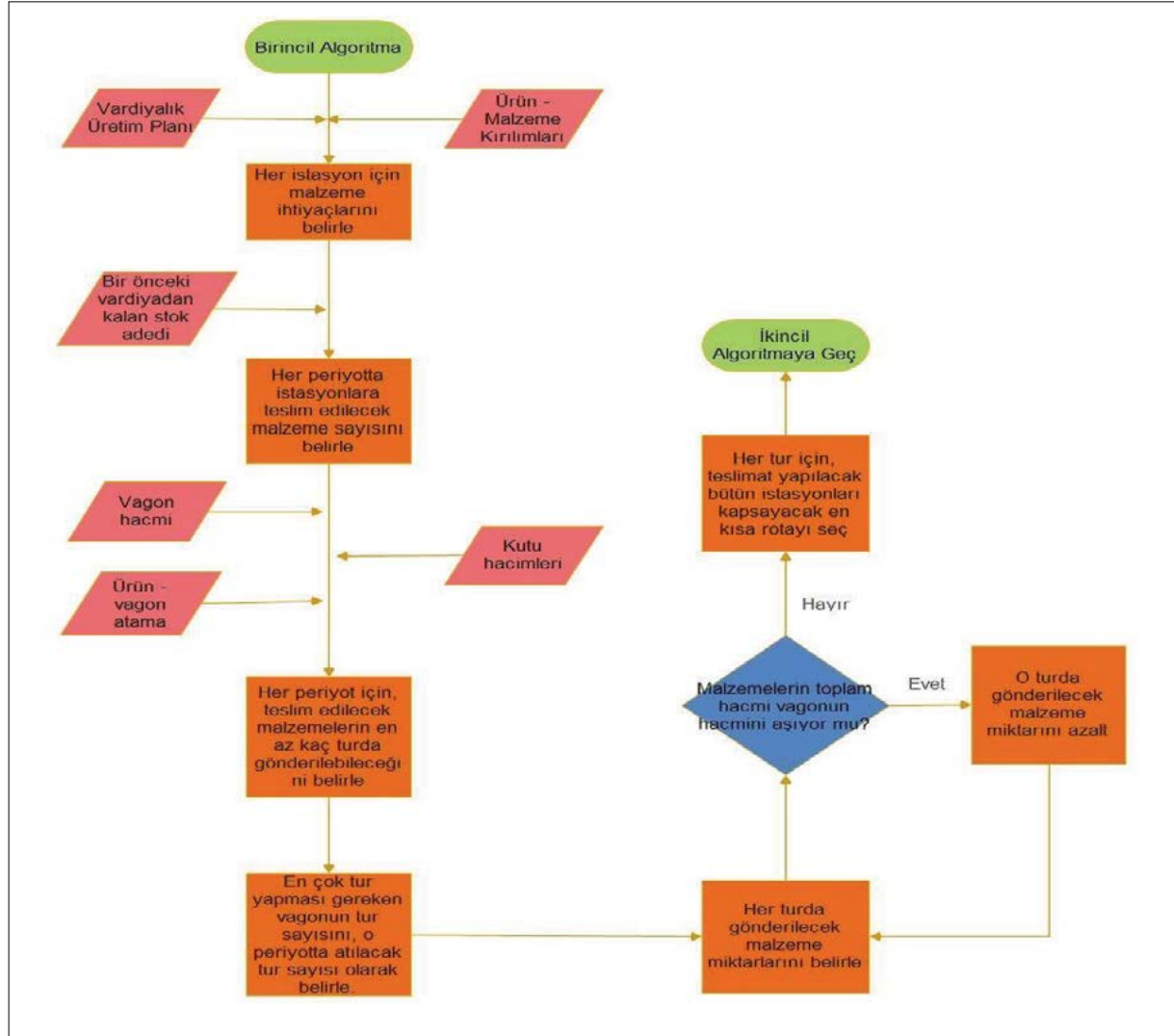
$$\sum_{i \in N} x_i + y_i + z_i \leq \sum_{i \in N} M d_i \quad \forall i \in N \quad (17)$$

Ek 2. Vardiya Planı Çıktı Arayüzü





Ek 3. Sezgisel Algoritma Başlangıç Çözümü Bulma



## TEKNİK BALANS FİRMASINDA ÜRETİM HATTI TASARIMI VE DİNAMİK KONTROLÜ

Ayşe DOĞAN, Ayşe Melis GÖKKAN, Ceren YENİ\*, Aslıgül BÖRÜHAN, Yazgül YURĞUN, Murat FADİLOĞLU, Sinem ÖZKAN

Yaşar Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İzmir  
dgnayse5@gmail.com, meliisgokkan@gmail.com, cerenyeni@gmail.com, asligulboruhan@gmail.com, yazgul2107@gmail.com, murat.fadiloglu@yasar.edu.tr, sinem.ozkan@yasar.edu.tr

Geliş Tarihi: 24.10.2016; Kabul Ediliş Tarihi: 21.12.2016

### ÖZ

Bu çalışmanın amacı, artan müşteri talebini karşılayabilmek için dört farklı balans makinası modelini üretebilecek bir hat tasarımı yapmaktır. Bu doğrultuda, firmadaki işleyiş ile üretim sürecinin tam olarak anlaşılabilmesi amacıyla gözlem ve analizler yapılmış, üretim hattında bulunacak olan ürünlerin operasyon tanımı ve işlem süreleri için ayrıntılı bir zaman etüdü çalışması gerçekleştirilmiştir. Ardından, hattın bulunacağı bölgenin belirlenebilmesi için operasyon ilişkilerine bakılarak oluşturulan yerleşim planı firmaya onaylatılmıştır. Daha sonra da istasyon sayısının belirlenmesi ve hattın dengelenmesi için tüm modellerin operasyonlarının, belirlenen istasyon sayısına göre atanmasını sağlayacak olan matematiksel modeller oluşturulmuştur. Öncelikle, problemin çözümüne yönelik sezgisel bir yöntem geliştirilmiş ve optimizasyon programı kullanılarak matematiksel modelin çözümleri ile benzerlik gösterdiği ispatlanmıştır. Metodun gerçek hayata uygulanabilirliği simülasyon modeli oluşturularak test edilmiştir. Hattın verimli bir şekilde çalışabilmesi için ise en iyi ürün sıralama yöntemi oluşturulmuştur. Geliştirilen karar destek sistemi sayesinde günlük en iyi üretim planı elde edilerek en kısa sürede en fazla ürün üretilmesi sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Hat dengeleme, karışık model, kapasite artırımı, ürün sıralama

### DESIGN AND DYNAMIC CONTROL OF PRODUCTION LINE AT TEKNİK BALANS COMPANY ABSTRACT

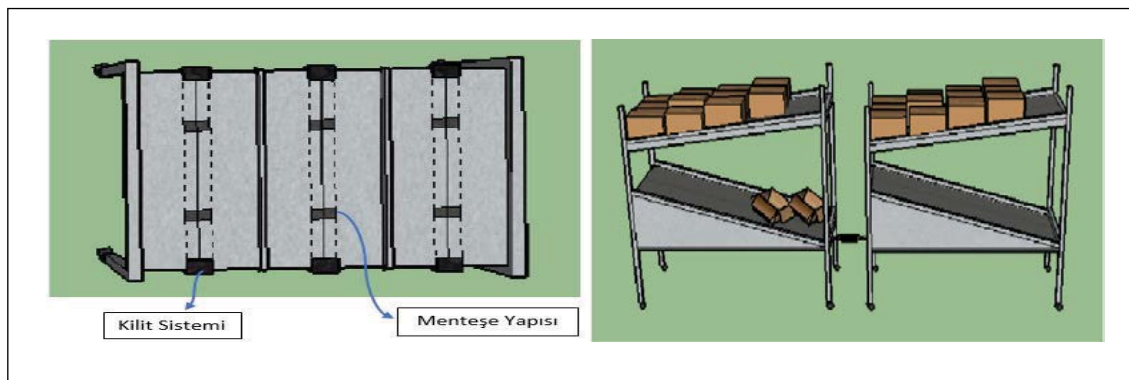
The purpose of the study is designing a production line that can produce four different models of balancing machines to keep with the increasing customer demand. To be able to fully understand the company's operational processes, observations and analyses have been made, detailed time study has been performed for operation descriptions and processing times of the products. In order to determine the area where the line will be located, a new layout has been generated by observing relations between consecutive operations and confirmed by the company. For determining the number of stations and balancing the line, mathematical models have been generated. First, the problem was solved by a heuristic method and then optimization software was used to solve the mathematical models optimally and results between two solutions were proved to be similar. Applicability of the method in real life was tested by a simulation model. For the line to function efficiently, best product sequencing is generated. Through a decision support system, best daily production plan was obtained and maximum throughput was reached with the minimum cycle time.

**Keywords:** Line balancing, mixed model, capacity increase, product sequencing

\* İletişim yazarı

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

Ek 4. Geliştirilen Tasarımlar



## 1. GİRİŞ

Bu çalışma, otomotiv servis ekipmanları ve endüstriyel balans makinaları üreten Teknik Balans Makina ve Sanayi A.Ş. ile birlikte yürütülmüştür. Artan müşteri talebini karşılayabilmek amacıyla dört farklı balans makinası modelini üretebilecek bir hat tasarlanması amaçlanmıştır. Proje başlangıcında firma ile yapılan toplantılar sonucunda, yürütülecek olan projenin firma düzeyinde verimliğin ve üretimin artmasını sağlayacağı ön görülmüştür. Gerekli incelemeler yapıldıktan ve semptomlar belirlendikten sonra uygun çözüm önerisi için gerekli literatür araştırmaları yapılmıştır. Ancak, araştırmalar sonucunda görülmüştür ki firmanın üretim sistemi ve ihtiyaçları ile birebir eşleşen herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bunun için proje, karışık modelli seri üretim hatları tasarımında, modeller arasındaki üretim süresi varyasyonuna çözüm olarak ara stok tutmayı önermesi açısından öncül niteliktedir. Projenin başarıyla hayata geçirilmesi için izlenen adımlar şu şekildedir; firmadaki işleyiş ile üretim sürecinin tam olarak anlaşılabilmesi amacıyla gözlem ve analizler yapılmış, hatta bulunacak olan ürünlerin operasyon tanımı ve işlem süreleri için ayrıntılı bir zaman etüdü çalışması gerçekleştirilmiştir. Ardından, hattın bulunacağı bölgenin belirlenebilmesi için operasyon ilişkilerine bakılarak oluşturulan yerleşim planı firmaya onaylatılmıştır. Çalışmalar sırasında üretimde belirgin verimsizlik ve kapasite sorunları görülmüştür. Ayrıntılı bir literatür araştırmasının ardından öncelikle, üretim hattının kurulması için istasyon sayısının belirlenmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. İkinci aşamada ise hattın dengelenmesi için tüm modellerin operasyonlarının, belirlenen istasyon sayısına göre atanması gerekmektedir. İşlerin dengeli bir şekilde atanması için Kilbridge-Wester Algoritması ve son atama ayarlarını yapmak için LINGO optimizasyon programı kullanılmıştır. Bu sonuçlara göre, hattın fiziksel ve ergonomik tasarımı yapıp firma tarafından onaylandıktan sonra mekaniği ve otomasyonu için çalışmalara başlanmıştır. Tasarlanan yapının uygulanabilirliğini test etmek için Arena Simülasyon Programı kullanılmış ve önerilen tasarımla istenilen kapasiteye erişilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca simülasyon programında geliştirilen model yardımıyla farklı ürün sıralama politikaları denenerek, en fazla ürünü en kısa sürede üretebilecek ve işçi kapasitesinden en iyi şekilde

yararlanılmasını sağlayacak politika seçilmiştir. Daha sonra, her istasyon ve her model için özel olarak Standart İş Tanımı Formları hazırlanmıştır. Çözümün etkin bir biçimde uygulanabilmesi için şirketin istekleri ile hattın çalışma biçimine uygun Microsoft Excel tabanlı bir Karar Destek Sistemi geliştirilmiştir. Karar Destek Sistemi firmaya günlük planı en uygun şekilde yapma ve takip etme imkânı sağlamıştır.

## 2. GENEL SİSTEM ANALİZİ

1978 yılında İzmir’de kurulan Teknik Balans Makina Sanayi A.Ş. otomotiv servis ekipmanları ve endüstriyel balans makinaları üretmektedir. Firma bünyesinde, imalat ve montaj, bilgisayar yazılımı, araştırma-geliştirme, kalite güvence, satış ve pazarlama ve ihracat olmak üzere altı adet bölüm barındırmaktadır. Şirketin genel işleyişi şu şekildedir; pazarlama uzmanı ürünlerin satışını gerçekleştirir, daha sonra bu satış şirketin sistemine düşer ve finans departmanı müşterinin meşruluğunu kontrol eder. Daha sonra talep, üretim planlama departmanına gönderilir. Burada hazırlanan üretim planına göre üretilen ürünün müşteriye sevkiyatı yapılır. Teknik Balans, kuruluşundan günümüze kadar sürekli gelişip büyümekte ve ürün yelpazesini geliştirmektedir. Otomotiv servis ve garaj ekipmanları konusunda dünyaca bilinen Amerikan markası John Bean’in altı yıldır Türkiye ve bazı Türkiye ülkelerindeki tek distribütörüdür. Aynı zamanda ünlü bir İtalyan markası olan Space’in de 12 yıldır Türkiye temsilcisidir. Yakın zamanda uluslararası pazarda da faaliyet göstermeye başlayan firma, ürünlerini 35 farklı ülkeye ihraç etmektedir.

## 3. PROBLEMİN BELİRLENMESİ

Firma genelindeki problemin belirlenmesi için mevcut durumdaki sistemin detaylı analizi yapılarak semptomlar belirlenmiştir.

### 3.1 Mevcut Sistem Analizi

Mevcut sistemde fabrikada hiçbir üretim hattı bulunmamaktadır. Tüm işlemler birbirlerine uzak belirli bölgelerde manuel olarak gerçekleştirilmektedir. Üretim planı, çalışanların tecrübelerine dayanılarak herhangi bir matematiksel yöntem kullanılmadan gerçekleştirilmektedir. Verimsiz bir şekilde oluşan üretim planından

dolayı gelen müşteri taleplerini karşılamakta gecikmeler olmakta, hatta bazen karşılanamamakta ve bu da müşteri kayıplarına sebep olmaktadır.

### 3.2 Sistemde Gözlenen Semptomlar

Yapılan gözlemler sonucunda fabrikada üretkenliğin azalmasına neden olacak birçok problemin olduğu tespit edilmiştir. Aşağıdaki semptomlar ise ana nedenler olarak kabul edilmiştir.

#### 3.2.1 Yerleşim Planı Problemleri

Makinelerin ve donanımların konumu açısından tesisin düzeni zayıf tasarlanmıştır. Birbirini takip eden iki operasyon arası uzaklık fazladır. Bu nedenle, ürün taşıma süresi gerekenden daha yüksektir. Bu durum göz önüne alındığında, yerleşim planı tüm operasyonları ve ürünün akışını etkilemektedir. Uygun yerleşim planının olması bu nedenle önem taşımaktadır.

#### 3.2.2 Çalışma Alanının Karışıklığı

Fabrikadaki çalışma alanlarının sağlıklı bir ortam olarak görülmesi zordur. Bitmiş ürünleri depolamak için yeterli depo alanı yoktur. Çalışma alanları çok kalabalık ve düzensizdir. Dolaplar ve raflar çok dağınık olduğu için operasyonlarda kullanılacak malzemelerin aranması çok vakit kaybına sebep olmaktadır.

#### 3.2.3 Malzeme Taşıma Ekipmanları Eksikliği

Yeterli malzeme taşıma ekipmanları olmadığından, çalışanlar çoğu zaman ürünleri hareket ettirmek ve taşımak için kas güçlerini kullanmaktadır. Bu sorun iki önemli şekilde kendini göstermektedir. Ürünü sürüklemek hem ürünlere zarar verebilir hem de çalışanların kaslarına onarılamayacak zararlar verebilir. Bu durum çalışanları ve şirketi zor duruma sokmaktadır.

#### 3.2.4 Çalışanlara Bağlı Problemler

Önceki operasyonlarda işçiler tarafından yapılan hatalardan dolayı, bundan sonraki işlemler problemin belirlenip çözülmesine ve yanlış kısımlar düzeltilene kadar geçen sürede gecikmiş olacaktır. Ayrıca operasyonlar arası dengenin olmadığı düşünüldüğünde, bu durum bazı çalışanların boşta kalmasına ve boş zamanlarını verimsiz geçirmelerine neden olmaktadır.

## 3.3 Problem Tanımı

Teknik Balans, artmakta olan müşteri talebini kapasite problemlerinden dolayı zamanında karşılayamamaktadır. Özellikle, fabrikada üretilen ve dört modeli olan sabit balans makinaları yüksek talebe sahiptir. Gizlilik açısından modeller Model 1, Model 2, Model 3, Model 4 şeklinde adlandırılacaktır. Bu modellerin operasyon detayları çok fazla, üretilme süreleri uzun ve süreler arasındaki varyasyon çok fazladır. Ayrıca fabrikadaki üretim alanı çok düzensiz olduğundan ve stok tutulmadığından ürünlerin siparişlerinde gecikmeler olmaktadır. Bu gecikmeler de müşteri kayıplarına neden olmaktadır. Bu problemleri çözmek amacıyla, bir üretim hattı tasarımı yapılması kararlaştırılmıştır. Bu karar doğrultusunda firmadaki işleyiş ile üretim sürecinin tam olarak anlaşılabilmesi için tedarikçiden hammaddenin gelmesiyle başlayan üretim aşamaları teker teker analiz edilmiştir. Hattın verimli çalışması için dikkat edilmesi gereken hat dengeleme probleminde amaç; işçilerin boş zamanını azaltmak, çevrim zamanını ve iş istasyonlarını en aza indirmek, düzenli materyal akışını sağlamak, insan gücü ve makine kapasitesinin maksimum düzeyde kullanılmasını sağlamak ve üretim maliyetini düşürmektir. Hat dengeleme probleminin yanı sıra oluşan bir diğer problem ise ürünlerin üretim hattına giriş sırasıdır. Sıralama problemlerinde amaç; ürün geçişleri arasında süre varyasyonundan doğacak etkiyi en aza indirmek ve sıralamayı en kısa sürede en fazla ürün üretilen şekilde yapmaktır.

## 4. LİTERATÜR TARAMASI

Montaj hatları günümüzdeki anlamıyla literatürde ilk kez 1913 yılında Ford Motor Fabrikaları’nda kullanılmıştır. Gelişen endüstri ve üretim miktarının artmasıyla beraber montaj hatlarının dengelenmesi problemi ortaya çıkmıştır. İlk çalışmalar tek ürünli montaj hattı dengeleme problemi üzerine yoğunlaşmıştır. Tüketicilerin tercih ve beklentilerindeki değişime bağlı olarak üretilen ürünlerin çeşidinin artması ile birlikte, bir ürünün değişik modelleri veya üretim süreçleri benzerlikler gösteren farklı ürünlerin aynı montaj hatlarında üretimini sağlayabilen daha esnek üretim sistemleri de kullanılmaya başlanmıştır. Böylece, tek ürünli hatların yerini karma modelli üretim hatları almış ve bu hatlarla ilgili denge-

leme problemleri üzerinde çalışmalar başlamıştır. Karma model montaj hattı dengeleme problemleri ile öncelikle, verilen çevrim süresinde iş istasyonu sayısının en küçüklenmesi ve daha sonra ise iş istasyonları arasındaki iş yükünün dengelenmesi hedeflenmiştir (Mendes ve arkadaşları, 2005). Bu amaçla, işlerin montaj hattına yerleştirilmesi, hattın dengesi ve işlerin sıralanmasına dayalı hat dengeleme yaklaşımları geliştirilmiştir.

Montaj Hattı Dengeleme; atıl zamanlarını en küçüklemek için, birbirini izleyen görevlerin çeşitli teknikler kullanılarak mümkün olduğunca eşit zamanlı iş istasyonları şeklinde gruplandırılmasıdır. Bu sistemde kullanılan bazı tanımlar şu şekildedir:

- *İş İstasyonu*: Montaj hattı üzerinde verilen bir işin, işçi ya da işçiler tarafından yapıldığı alandır.
- *İş İstasyonu Süresi*: Bir iş istasyonunda tamamlanması gerekli olan iş öğelerinin standart süreleri toplamıdır.
- *Toplam İş Süresi*: Montaj hattı üzerinde üretilecek bir ürünün montajı için gerekli olan süre veya işi oluşturan tüm iş öğelerinin standart süreleri toplamıdır.
- *Çevrim Süresi*: Montaj hattında, ürünün bir istasyonda kalabileceği en büyük süre veya bir iş istasyonundaki işçinin o istasyonda yapılması gerekli işleri tamamlaması için gerekli süredir.

## 4. PROBLEM FORMÜLASYONU

### 4.1 Kısıtlar ve Varsayımlar

Problemin çözümü için oluşturulan montaj hattı dengeleme matematiksel modellerinde üç temel kısıt vardır:

- Her iş tam olarak 1 istasyona atanmalıdır.
- İşlerin arasındaki öncelik ilişkileri sağlanmalıdır.
- Hiçbir istasyonun çevrim zamanı, model için belirlenen çevrim zamanını aşmamalıdır.

Modeller oluşturulurken kabul edilen varsayımlar şu şekildedir:

- Operasyonların süreleri deterministiktir.
- İlk istasyon hiçbir zaman aç kalmamaktadır, sonsuz kaynak vardır.

### 4.2 Matematiksel Model

Bu bölümde, kurulacak olan hattın istasyon sayı-

sının belirlenmesi için ve hattın dengelenmesi için iki tane matematiksel model oluşturulmuştur (Bricker ve Juang, 1993).

Oluşturulan modellerden ilki, Tip 1 Montaj Hattı Dengeleme Problemini temsil etmektedir ve istasyon sayısının en küçüklenmesi amaçlanmıştır. İkinci model ise Tip 2 Montaj Hattı Dengeleme Problemini temsil etmektedir ve her model için çevrim zamanının en küçüklenmesi amaçlanmıştır.

#### Parametreler:

$N$  = Problemdeki işlerin toplam sayısı

$S$  = Toplam istasyon sayısı

$PR_k$  =  $k$  işinin öncülleri olan işlerin kümesi  $k=1, \dots, N$

$D_k$  =  $k$  işinin performans süresi,  $k=1, \dots, N$

#### Karar Değişkenleri:

$V_{ks}$  = 1 eğer  $k$  işi istasyonlara atandıysa 0, aksi halde

$A_s$  = 1 eğer  $s$  istasyonu kullanılıyorsa 0, aksi halde

**Amaç Fonksiyonu:** (1)

Min  $\sum_{s=1}^S A_s$

**Kısıtlar:** (2)

$\sum_{s=1}^S V_{ks} = 1; \forall k = 1, \dots, N$  (3)

$\sum_{s=1}^S s \cdot V_{ls} \leq \sum_{s=1}^S s \cdot V_{ks}; \forall k = 1, \dots, N$  ve  $l \in PR_k$  (4)

$\sum_{k=1}^N D_k \cdot V_{ks} \leq A_s \cdot \text{ÇevrimSüresi}; \forall s = 1, \dots, S$  (5)

$V_{ks} \in \{0,1\}; A_s \in \{0,1\}$

Yukarıda gösterilen modelde Tip 1 problemi ele alınmış, çevrim süresi verilerek (1) numaralı amaç fonksiyonu ile istasyon sayısı en küçüklenmiştir. Model, ikili değişkene sahiptir ve değerleri (5) numaralı kısıtla sağlanmıştır.  $V_{ks}$ ; eğer  $k$  işi  $s$  istasyonuna atanıyorsa bir, diğer durumlarda sıfıra eşittir. Diğer değişken olan  $A_s$ ; eğer  $s$  istasyonu kullanılıyorsa bir, diğer durumlarda sıfıra eşittir. Modelde üç temel kısıt vardır. İlk kısıt, (2) numaralı atama kısıtı olmak üzere, her işin tam olarak bir istasyona atanması gerektiğini temsil eder. İkinci kısıt, (3) numaralı öncelik kısıtı olmak üzere, işlerin arasındaki öncelik ilişkilerinin sağlanması gerektiğini belirtmektedir. Üçüncü kısıt, (4) numaralı çevrim zamanı kısıtı olmak üzere, her istasyonun toplam çevrim

zamanının model için belirlenen çevrim zamanı aşamayacağını belirtir.

#### Parametreler:

$N$  = Problemdeki işlerin toplam sayısı

$S$  = Toplam istasyon sayısı

$PR_k$  =  $k$  işinin öncülleri olan işlerin kümesi  $k=1, \dots, N$

$D_k$  =  $k$  işinin performans süresi,  $k=1, \dots, N$

#### Karar Değişkenleri:

$V_{ks}$  = 1 eğer  $k$  işi istasyonlara atandı ise; 0 aksi halde

#### Amaç Fonksiyonu:

Min *ÇevrimSüresi* (1)

#### Kısıtlar:

$\sum_{s=1}^S V_{ks} = 1 \forall k = 1, \dots, N$  (2)

$\sum_{s=1}^S s \cdot V_{ls} \leq \sum_{s=1}^S s \cdot V_{ks} \forall k = 1, \dots, N$  ve  $l \in PR_k$  (3)

$\sum_{k=1}^N D_k \cdot V_{ks} \leq \text{ÇevrimSüresi} \forall s = 1, \dots, S$  (4)

$V_{ks} \in \{0,1\}$  (5)

Yukarıda gösterilen modelde ise Tip 2 problemi ele alınmış, istasyon sayısı verilerek çevrim süresi en küçüklenmiştir. İkinci modeldeki kısıtlar ilki ile aynı prensiplere sahiptir. Sadece (1) numaralı amaç fonksiyonu ve (4) numaralı çevrim zamanı kısıtında farklılıklar bulunmaktadır. (4) numaralı kısıtta istasyon sayısı sisteme parametre olarak verildiği için ikili değişken ile çevrim zamanı çarpılmamıştır.

## 5. PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ VE KULLANILAN YÖNTEMLER

### 5.1 Sezgisel Yöntem

Üretim hattı dengeleme problemlerinin karmaşık ve çözüm uzaylarının büyük oluşu, bu tür problemlerin çözümünde sezgisel tekniklerin diğer tekniklere göre daha fazla kullanılmasına neden olmuştur. Üretim hattını kurabilmek için hem istasyon sayısını hem de kullanılacak dört farklı ürün için çevrim zamanını tespit etmek amacıyla iki aşamalı sezgisel metot kullanılmıştır.

**Birinci Aşama:** İstasyon sayısını belirlemek amacıyla fabrika ile yapılan çeşitli görüşmeler sonucunda, sipariş miktarlarına bağlı olarak en hızlı ürün olan Model

1'den günde 14 adet üretilmesi gerektiğine karar verilmiştir. Fabrikada çalışma süresi sekiz saattir. Ayrıca, iki mola ve öğle yemeğinin toplamda bir saat olduğu hesaplanmıştır. Toplam çalışma süresinden bu bir saatlik kayıp çıkarılınca, kullanılabilir çalışma saati yedi saat olarak bulunmuştur. Bu süre, istenen hedef olan 14'e bölününce, bir ürünün üretilmesi için gereken süre, yani takt zamanı  $7/14=0.5$  saat bulunmaktadır. Bu sonuca göre, her 30 dakikada bir ürün üretilmelidir. İstasyon sayısı en hızlı ürün olan Model 1'e göre belirlendiğinden, yapılan zaman etütleri sonucunda, bu ürünün toplam süresi 134 dakika olarak hesaplanmış ve 30 dakikaya bölündükten sonra istasyon sayısı beş olarak bulunmuştur.

**İkinci Aşama:** İstasyon sayısı belirlendikten sonra, hattaki diğer ürünler için de çevrim zamanı hesaplanmıştır. Bu hesaplama yapılırken bütün ürünler için toplam üretim süresi, istasyon sayısı olan beşe bölünmüştür. Daha sonra, her ürün için operasyonların istasyonlara atanması aşamasına geçilmiştir (Das ve arkadaşları 2013). Bunu yapabilmek için Kilbridge-Wester Algoritması kullanılmıştır (Kilbridge ve Wester, 1961). Bu algoritmaya göre, yapılan bütün işler öncelik sıraları göz önüne alınarak düzenlenmiş ve her istasyon çevrim zamanına ulaşana kadar atamalar yapılmıştır. İşlerin süresi çevrim zamanını aştığında diğer istasyona geçilmiştir. Ayrıca, tüm bu atamalar yapılırken, işler ön tarafta ve arka tarafta yapılabilecek işler olmak üzere gruplandırılmış ve çalışanlar ona göre hatta konumlandırılmıştır.

### 5.2 Matematiksel Programlama Yöntemi

Kullanılan sezgisel yöntemi doğrulamak ve optimal bir sonuca ulaşabilmek için LINGO optimizasyon programı kullanılmıştır. 4.2 Matematiksel Model kısmında belirlenen modellere göre, kısıtlar LINGO optimizasyon diline uygun yazılmış ve program çalıştırılmıştır. Montaj Hattı Dengeleme Problemi Tip 1 için istasyon sayısı en küçüklenmiş ve sonucun kullanılan sezgisel yöntemle aynı olduğu gözlemlenmiştir. Montaj Hattı Dengeleme Problemi Tip 2 için ise çevrim zamanı en küçüklenmiş ve her model için optimal çevrim zamanları bulunmuştur.

LINGO optimizasyon programı kullanılarak elde edilen veriler şu şekildedir: Montaj Hattı Dengeleme Problemi Tip 1 için istasyon sayısı en küçüklenmiş olup istasyon sayısı beş bulunmuştur. Montaj Hattı Dengeleme Problemi Tip 2 için çevrim zamanı en küçüklenmiş

ve Model 1 için 23,75 dakika, Model 2 için 25,64 dakika, Model 3 için 31,65 dakika ve son olarak da en uzun süreli ürün olan Model 4 için 41,77 dakika bulunmuştur. Bulunan optimal sonuçlar kullanılan sezgisel yöntem ile oldukça benzerdir.

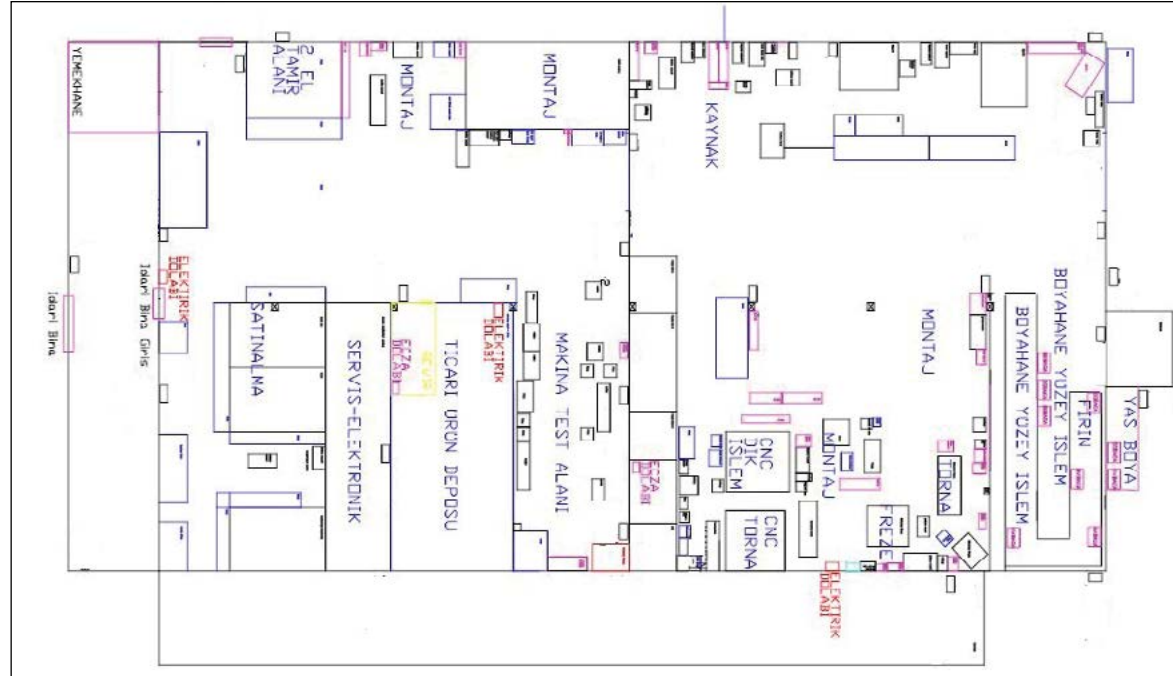
### 5.3 Modeller Arası Varyasyon Etkisinin Azaltılması

Her model için detaylı zaman etüdü çalışması yapıldıktan ve LINGO optimizasyon programı yardımıyla optimal çevrim zamanları elde edildikten sonra, üretim hattında çalışan işçiler %100 verimle çalışamayacağından, firmayla görüşülüp işçilere verilecek tolerans payı belirlenmiş ve buna bağlı olarak her ürünün çevrim süresi bu tolerans payı eklenerek hesaplanmıştır. Bu süreler; Model 1 için 27 dakika, Model 2 için 28 dakika, Model 3 için 35 dakika ve Model 4 için 46 dakikadır. Çevrim sürelerine bakıldığında, en uzun süreli ürün ile en kısa süreli ürün arasında neredeyse iki kat fark olduğu görülmektedir. Üretimin herhangi bir aşamasında bu iki model arka arkaya geldiğinde, istasyonlar arasında aç kalma veya tıkama durumlarının oluşacağı ön görülebilmektedir. Bu durumda oluşacak zararı azaltmak ve üretimin devamlılığını sağlayabilmek için belirli istasyonlardan sonra ara stok tutma çözümü ortaya atılmıştır. Hatta

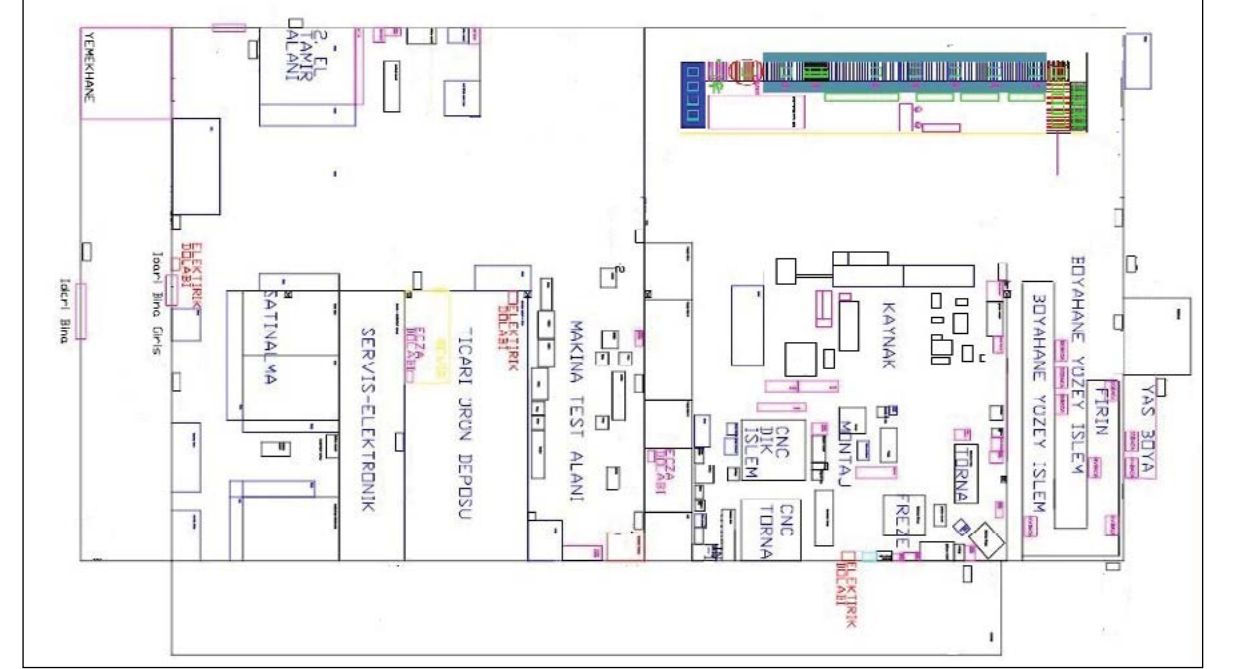
bulunacak olan beş istasyondan 2 ve 4. istasyonlardan sonra her biri iki ürün kapasiteli iki tane ara stok alanı tasarlanmıştır. En yavaş model ile en hızlı model arasındaki farkın neredeyse iki kat olmasından dolayı, belirlenen ara stokların kapasitesinin iki olması kararı daha sonra Arena simülasyon programı ile doğrulanmıştır. Bu ara stokun kullanımının anlatılabilmesi için örnek bir senaryo geliştirilmiştir. Senaryo şu şekildedir: 2. istasyondaki işçinin en uzun süreli ürün olan Model 4 ile; 3 ve 4. istasyondaki işçilerin ise en hızlı ürün olan Model 1 ile çalıştığını düşünelim. Model 1'in çevrim zamanı 27 dakika olduğundan, 3 ve 4. istasyonlar işlerini bitirecek ve hat hareket edecektir. Ancak Model 4'ün çevrim süresi 46 olduğundan, o modeldeki işin tamamlanması daha uzun süreceğinden işçiler ara stoktaki modelleri kullanacaktır. Böylece, olası bir açlık durumunun önüne geçilmiş olacak ve üretimin akışı sağlanmış olacaktır.

## 6. YENİ YERLEŞİM PLANININ OLUŞTURULMASI

Mevcut sistemdeki yerleşim planı ürün akışı açısından verimsiz durumdadır ve zaman kayıplarının yaşanmasına sebep olmaktadır. Şekil 1'de görülen teknik çizim firmanın mevcut yerleşim planını göstermektedir.



Şekil 1. Mevcut Sistemdeki Yerleşim Planı



Şekil 2. Yeni Yerleşim Planı

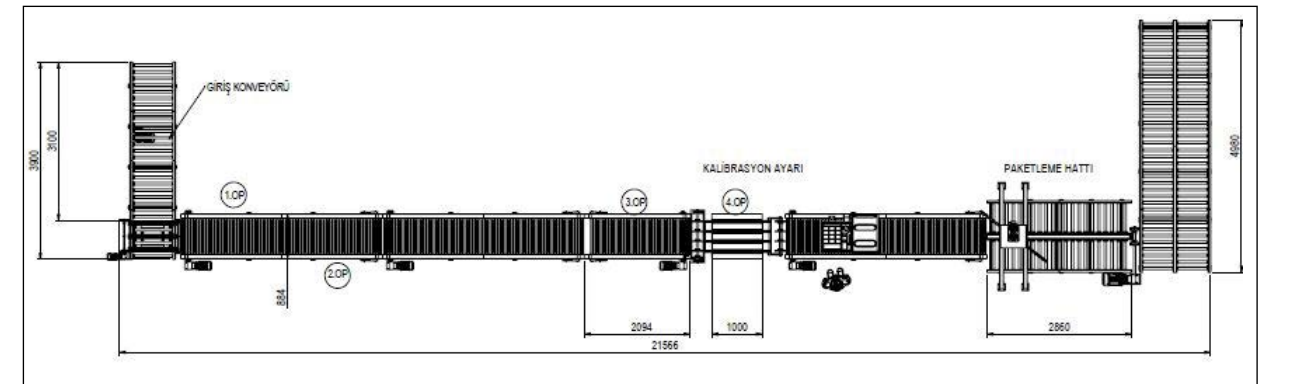
Sabit balans makinalarının sırasıyla beş aşaması olan kaynak, boyama, ön montaj, sabit montaj ve paketleme işlemleri görüldüğü üzere birbirlerinden çok uzak mesafede bulunmaktadır ve işlem sıraları göz önünde bulundurulduğunda çok verimsiz bir dağılıma sahiptirler.

Mevcut sistemdeki verimsizliğin yok edilmesi, akışın yeniden düzenlenmesi ve kurulacak hattın yerinin belirlenmesi için yeni yerleşim planı oluşturulmuştur. Yeni yerleşim planı oluşturulurken işlemlerin sırası, bölümlerin birbiriyle ilişkileri göz önünde bulundurulmuştur. Hazırlanan ve firma tarafından onaylanan yerleşim planı

Şekil 2'de görülmektedir. Yeni planda kaynak işlemi tamamlanan ürün, boyama için hemen yanında bulunan alana ve daha sonra karşıdaki üretim hattına girer. Geriye kalan tüm işlemler sırasıyla hat üzerinde tamamlanır. Bu şekilde, yerleşim planı ile ilgili verimsizlikler ortadan kaldırılmış olur.

## 7. HAT TASARIMI

Elde edilen verilere ve bulunan sonuçlara göre tasarlanan üretim hattı Şekil 3'te görüldüğü gibidir. Üretim hattında beş işçi bulunmaktadır ve her işçiye bir

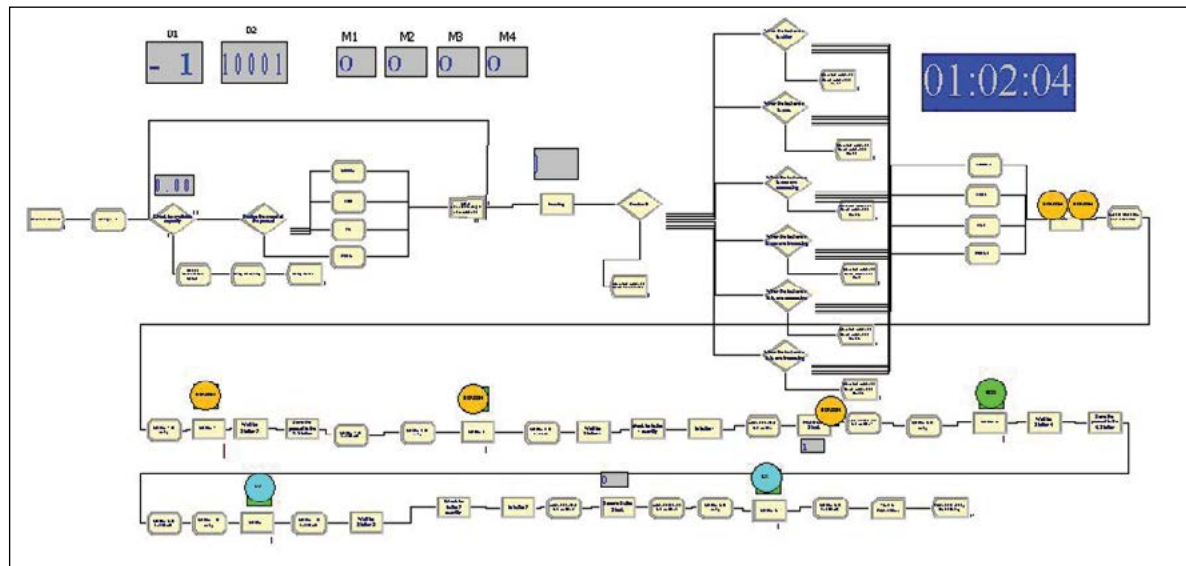


Şekil 3. Sabit Balans Makinası Üretim Hattı

istasyon atanmıştır. Böylece, hatta beş istasyon ve iki ürün kapasiteli iki adet ara stok bulunmaktadır. Tasarım yapıldıktan sonra fabrikaya sunulmuş ve firma tarafından onaylanmıştır. Onaylanan hattın üzerindeki mekanik ve otomasyon çalışmaları fabrika ile birlikte yürütülmektedir. Giriş mekanizması rulolardan oluşacak şekilde, asansörlü sistem olarak tasarlanıp, dördüncü ve beşinci istasyonlar hariç geri kalan istasyonlar ve ara stoklar sac tava olacaktır. Tüm modeller için kalibrasyon ayarının yapıldığı dördüncü istasyon, operasyonları gereği sert ve sabit bir zemine ihtiyaç duymaktadır. Bunu sağlamak için asansörlü bir sistemle gerektiğinde bu zemin geçişi sağlanacaktır. Paketleme istasyonu olan beşinci istasyonda ise operasyonlarından ve uzunluğundan dolayı, yine rulolu bir sistem yapılacaktır. Hattın hızı, hat hareket ederken ürünün düşmesini engellemek amacıyla, 0,2 m/sn olarak belirlenmiştir. Hattın genişliği, ürünlerin genişliğine göre belirlenmiş olup 85 cm'dir. Hattın yüksekliği ise işçilerin rahat koşullar altında çalışabilmeleri için ergonomiye uygun 42 cm olarak hesaplanmıştır. Gerekli olacak ekstra yükseklikler için platform yapılmasına karar verilmiştir.

## 8. GERÇEKLEME, GEÇERLEME VE SIRALAMA PROBLEMİ

Geliştirilen çözüm metodunun gerçek hayata uygulanabilirliğini kontrol etmek ve doğrulamak için bir Arena Simülasyon Modeli geliştirilmiştir ve Şekil 4'te görüldüğü gibidir.

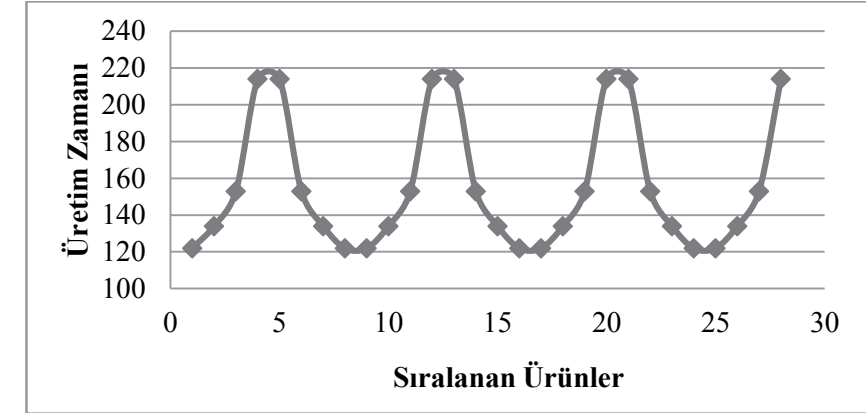


Şekil 4. Arena Simülasyon Modeli

Geliştirilen modelin üç ana kısmı bulunmaktadır:

İlk kısım, taleplerin oluştuğu kısımdır. Taleplerin önceden kesin olarak bilinmesi mümkün olmadığından, gelişleri stokastik olarak ele alınmıştır. Taleplerin ürün modellerine göre dağılımları geçen yılın üretim adetleri temel alınarak oluşturulmuştur.

İkinci kısım ise ürün sıralamasının yapıldığı kısımdır. Üretim hattının verimli olarak çalışabilmesi için işlerin dengeli dağılımı ve doğru istasyon sayısının belirlenmesi kadar en iyi ürün sıralaması da çok önemlidir. Bu noktada, üretim planının nasıl yapılacağı, hangi modelin hatta hangi sırada gireceği hususunda en iyi sonucu elde etmek için çizelgeleme yöntemleri denenmiştir. Bu yöntemlerin içinden varyasyonun etkisini en aza indiren ve çalışanların kapasitelerini en iyi şekilde kullanan sıralama oluşturulmuştur. Seçilen sıralama metodu şu şekildedir: İlk gün hat boş olduğundan, işçilerin beklemesini en aza indirmek için en hızlı model olan Model 1 ile üretime başlanır ve üretim hızı en yavaş olan modele doğru devam edilir. En yavaş model olan Model 4'e ulaşıldığında artık en yavaştan en hızlı ürüne doğru üretim yapılır. Ürün geçişlerini en az sayıda tutmak için ise gelen taleplere göre aynı modeller arka arkaya üretime girmektedir. Şekil 5, sıralaması yapılan ürünlerin üretim zamanlarına göre izlediği düzeni göstermektedir. Bu düzen hem ara stokların verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır hem de hattın bütününde ürünlerin



Şekil 5. Üretim Zamanına Göre Model Sıralama Düzeni

bekleme sürelerini en aza indirmektedir. Belirlenen sıralama metodunun Arena simülasyon modelinde uygulanabilmesi için bir algoritma geliştirilerek iki boyutlu durum değişkenleri oluşturulması sağlanmıştır. Durum değişkenlerinin birinci boyutu, yavaşlayan ve hızlanan olmak üzere üretimin akış yönünü kontrol etmektedir. Değişkenin ikinci boyutu ise bir sonraki gün için hatta en son hangi ürünün girdiğini tutmaktadır. Durum değişkenlerinin dinamik olarak kontrolü yapılarak simülasyon modelinin belirtilen düzeni takip etmesi sağlanmıştır.

Modelin üçüncü kısmı ise ürünlerin hatta girişinden tamamlanana kadar geçen tüm işlemleri ele almaktadır ve gerçek zamanlı otomasyon sistemini içermektedir. Hattın tasarımına göre 1 ve 2. istasyonlar ile 3 ve 4. istasyonlar birbirlerine bağlı olduğundan, operasyonunu bitiren işçilerin birbirini beklemesi sağlanmıştır. Ara stok kapasitesinin kontrolü sağlanmış, hattın akışı ona göre düzenlenmiştir. Sırasıyla tüm istasyonlarda işlem gören ürünler müşteriye gönderilmek üzere hazır hale gelmektedir.

Simülasyon modeli, başlangıçta hattın boş ve pasif durumda olmasının etkisini azaltmak için uzun süreli, 100 gün boyunca çalıştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda üretilen ürün sayısı 1309 olarak gözlenmiştir. Bu sonuç, günde ortalama 13 tane ürün üretildiğini göstermektedir. Bu ürünlerin modeller arası dağılımı ise gelen taleplere göre değişiklik göstermektedir. Gelen taleplerin %100'ünü Model 1'den gelecek şekilde ayarlayıp, simülasyon modeli çalıştırıldığında ortalama 17 tane Model 1 üretildiği gözlemlenmiştir. Yani, hattın kapasitesi ile

ilk baştaki 14 tane Model 1 hedefine fazlasıyla ulaşıldığı görülmektedir.

Ara stok kapasitesi olan 2 ürünün yeterli olup olmadığını görebilmek amacıyla ara stoklar için farklı kapasitelerle çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların sonucunda ara stok kapasitesi artsa dahi çıkan ürün sayısının değişmediği görülmüştür. Böylece, 2 tane ürün kapasiteli ara stokların yeterliliği kanıtlanmıştır. Ara stoklarda bekleyen ortalama ürün sayısına baktığımızda ise tutulan yarı mamul sayısının ve sıralama metodunun varyasyon etkisini gidermekte başarılı olduğu açıkça görülmektedir. Hattın verimliliğinin göstergesi olan başka önemli bir husus ise işçilerin kapasitesinin kullanımınıdır. Çıkan raporlardaki işçi kapasitesi kullanımına bakıldığında sonuçlar şu şekildedir; 1. istasyon için %98, 2. istasyon için %99, 3. istasyon için %98, 4. istasyon için %99 ve 5. istasyon için %87. Bu sonuçlar çözüm metodolojisinin gerçek hayata uygulanabilirliğini desteklemekte ve hattın verimli çalışacağını göstermektedir.

## 9. KARŞILAŞTIRMA VE UYGULAMA: İYİLEŞTİRME VE KARAR DESTEK SİSTEMİ

Mevcut sistemde günlük üretim kapasitesi, ortalama 7 tane karışık modelli ürün üretebilecek durumdadır. Kurulan yeni sistem ise geliştirilen çözüm metodu ve yapılan iyileştirmeler sayesinde ortalama 13 tane karışık modelli ürün üretebilecek kapasiteye sahiptir. Bu sayı, simülasyon modeli ile gerçekleşmiştir. Böylece, kurulan yeni sistem sayesinde üretim kapasitesinde %85

**Tablo 1.** Mevcut Sistem ile Geliştirilmiş Sistem Üretim Süreleri

	Mevcut Sistem Üretim Süreleri	Yeni Sistem Üretim Süreleri
Model 1	230 dk.	125 dk.
Model 2	255 dk.	134 dk.
Model 3	296 dk.	153 dk.
Model 4	386 dk.	214 dk.

artış sağlanmış ve bu artış işçi, sayısını arttırmadan elde edilmiştir. Tablo 1’de mevcut sistem ile yeni sistemin üretim süreleri arasındaki iyileştirmeler gösterilmektedir.

Yukarıda belirtilen gelişmeyi ve kapasite artırımını başarabilmek için;

- Tüm süreçteki kayıplar (hata ve ürünlerin tekrar işlem görmesi, sırada bekleme, geç teslim, malzeme arama vb.) azaltılmıştır.
- Operasyonlarda çeşitli iyileştirmeler yapılarak süreleri kısaltılmıştır
- Kapasitenin verimli kullanımı arttırılmıştır.
- Yeni yerleşim planı sayesinde daha iyi materyal akışı sağlanmıştır.

- Dinamik bir şekilde kontrol edilen üretim ile en iyi ürün sıralaması yapılmıştır.
- Ara stoklar yardımıyla model geçişlerinde oluşacak vakit kayıplarının etkisi giderilmiştir.

Geliştirilen çözüm metodunun firmaya entegrasyonu ve kullanım kolaylığını sağlamak için fabrikanın ihtiyaçlarına ve üretime uygun olarak bir Karar Destek Sistemi (KDS) geliştirilmiştir. KDS’nin ana amacı en iyi günlük üretim planını oluşturmakla beraber, gün başında girilecek taleplere göre üretim sırası ve her istasyonda her model için yapılacak operasyonları göstermektir. Üretim planının yapılabilmesi için ise Arena sonuçları yardımıyla geliştirilen ve durum değişkenlerini kullanan bir algoritma oluşturulmuştur. Şekil 6, taleplerin girildiği kullanıcı arayüzünün ana sayfasını göstermektedir. Ayrıca, KDS haftalık sevkiyat planının oluşturulabilmesi için her gün hattan çıkacak ürünleri ürün stoku başlığı altında göstermektedir. Oluşturulan hata ve çözüm öneri formu sayesinde yapılan hataların analizleri için gerekli verileri toplayarak ve bir veri tabanı oluşturularak verilerin saklanması sağlanmaktadır. Gerekli olan esnekliği sisteme vermek amacıyla, yapılan iyileştirmeler sonucunda süresi ve/veya tanımı değişen operasyonları düzenleme seçenekleri bulunmakta ve eklenen yeni operasyonları öncül ilişkilerine göre uygun yerlere yerleştirmektedir.

## 10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu projede, Teknik Balans firmasının artan müşteri talebini karşılayabilmesi için, balans makinalarının dört modelini üretebilecek bir hat tasarlanmış ve model sıralamasının en iyi şekilde yapılabilmesi için bir yöntem geliştirilmiştir. Proje ile fabrika genelindeki verimsizliğin nedenleri bulunarak her birinin giderilmesi için çalışmalar yapılmıştır.

Planlanan çözüm yöntemi ışığında hattın ayrıntılı fiziksel tasarımı yapılarak imalatına başlanmıştır. Yeni hat sayesinde üretilen dört ürün modelinin işlem süreleri ve hattın çevrim zamanı en küçüklenmiş, üretim kapasitesi arttırılarak teslimatı geciken müşteri sayısı ve karşılanamayan talep en aza indirilmiştir.

Karar destek sistemi ve arkasındaki sıralama algoritması sayesinde günlük üretim planı elde edilerek en kısa sürede en fazla ürün üretilmesi sağlanmıştır. Standart iş formları yardımıyla, operasyonlar ve üretim akışı standartlaştırılarak yalın felsefeye uygun bir akış yaratılmış ve operasyon kaynaklı olası hataların önüne geçilmiştir.

Geliştirilen çözüm yönteminin sadece geleneksel hat tipi değil tüm hat tiplerine uygulanabilir olması ve varyasyonu fazla olan çeşitli ürünleri tek hat üzerinde üretmek isteyen firmalarda uygulanabilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Üretimdeki artış sonrasında doğru pazarlamayla artacak olan kazanç ve çevrim süresinin kısılması sayesinde azalan işçi maliyetleri firmanın sektördeki diğer kurumlarla rekabet edebilirliğini büyük ölçüde arttıracaktır. Projenin öncül niteliğinde olduğu çok modelli seri üretim hatlarındaki yüksek varyasyonu

engelleme yönetimi olan ara stok tutmak, aynı sorun ile karşı karşıya olan herhangi bir sektördeki kurum tarafından kullanılıp adapte edilebilir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından 2209-B (2241-A) Sanayi Odaklı Lisans Bitirme Tezi Destekleme Programı kapsamında destek almaya hak kazanmıştır. Projenin firmalarında gerçekleştirilmesi için gösterdikleri ilgiden dolayı Bora Konuk, Seçkin Menteş ve diğer tüm Teknik Balans çalışanlarına teşekkür ederiz.

## KAYNAKÇA

1. Bricker, D. L., Juang, S. H. 1993. “A Mathematical Programming Model of the Assembly Line Balancing Problem”. Department of Industrial Engineering the University of Iowa, Working Paper, <http://user.engineering.uiowa.edu/>, son erişim tarihi: 15.05.2016.
2. Das, S. K., Jaturanonda C. ve Nanthavanij S. 2013. “Heuristic Procedure for the Assembly Line Balancing Problem with Postural Load Smoothness”, International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 19,531–541.
3. Kilbridge, M. D. ve Wester, L. 1961. “A Heuristic Method of Assembly Line Balancing”, The Journal of Industrial Engineering, 12(4), 292-298.
4. Mendes, A.R., Ramos, A.L., Simaria, A.S. ve Vilarinho, P.M. 2005. “Combining Heuristic Procedures and Simulation Models for Balancing A PC Camera Assembly Line”, Computers & Industrial Engineering, 49, 413-431.

Teknik Balans Makine Sanayi ve Ticaret A.Ş.						
	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi
Model 1						
Model 2						
Model 3						
Model 4						
Notlar:						

**Şekil 6.** Karar Destek Sistemi Kullanıcı Arayüzü Ana Sayfası

# AMBAR DEPOLAMA MAKSİMİZASYONU

Gizem GÜL<sup>1</sup>, Begüm EROL<sup>1</sup>, Gözde ÖNGELEN<sup>1\*</sup>, Sedat ESER<sup>2</sup>, Çağdaş ÇETİNKAYA<sup>2</sup>, Hüseyin Cenk ÖZMUTLU<sup>1</sup>, Seda ÖZMUTLU<sup>1</sup>,  
Mehmet GÖKÇEDAĞLIOĞLU<sup>2</sup>, Cemil Günhan ERHUY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Uludağ Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa

<sup>2</sup>Ermatal AR-GE Merkezi, Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi, Bursa

gizemgul06@gmail.com, begum.erol5@gmail.com, ongelengozde@gmail.com, sedat.eser@ermatal.com,

cagdas.cetinkaya@ermatal.com, hco@uludag.edu.tr, seda@uludag.edu.tr, mehmet.g@ermatal.com, cemil.erhuy@ermatal.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 yayın politikası doğrultusunda yayımlıyoruz.

## 1. GİRİŞ

Ülkemizde ihracat ve AR-GE potansiyeli açısından çok önemli bir yere sahip olan otomotiv sektöründe, model geliştirici ve konfor artırıcı 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 önemsenmeye başlanmıştır. 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 raflı 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 tamsayı 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 yerleştirileceğini, 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, kumaş 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 hücrelere ayrılmaktadır. Örneğin AB1, A rafının B bölmesinin 1. katındaki tanımlı hücredir. Raf dışı mamul ambarda tanımlı hücreler 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 hücrelere 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 bırakılmaktadır. Dizel forklift operatörü, raf başındaki ve raf dışı ambardaki parça kasalarını sevkiyat hazırlık alanına bırakılmaktadır. 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

**Problem 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 ambar 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

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 probleme bölünerek 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 ayrımını 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 bulundurulmuş 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 kasanın  $k$ . koridorun  $j$ . rafına yan yana yerleştirilme adedi

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

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

Geliştirilen matematiksel modelde amaç, mevcut raflara ürün dolu kasalardan yerleştirilemeyen 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 kasanın  $k$ . 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, hücelere 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.

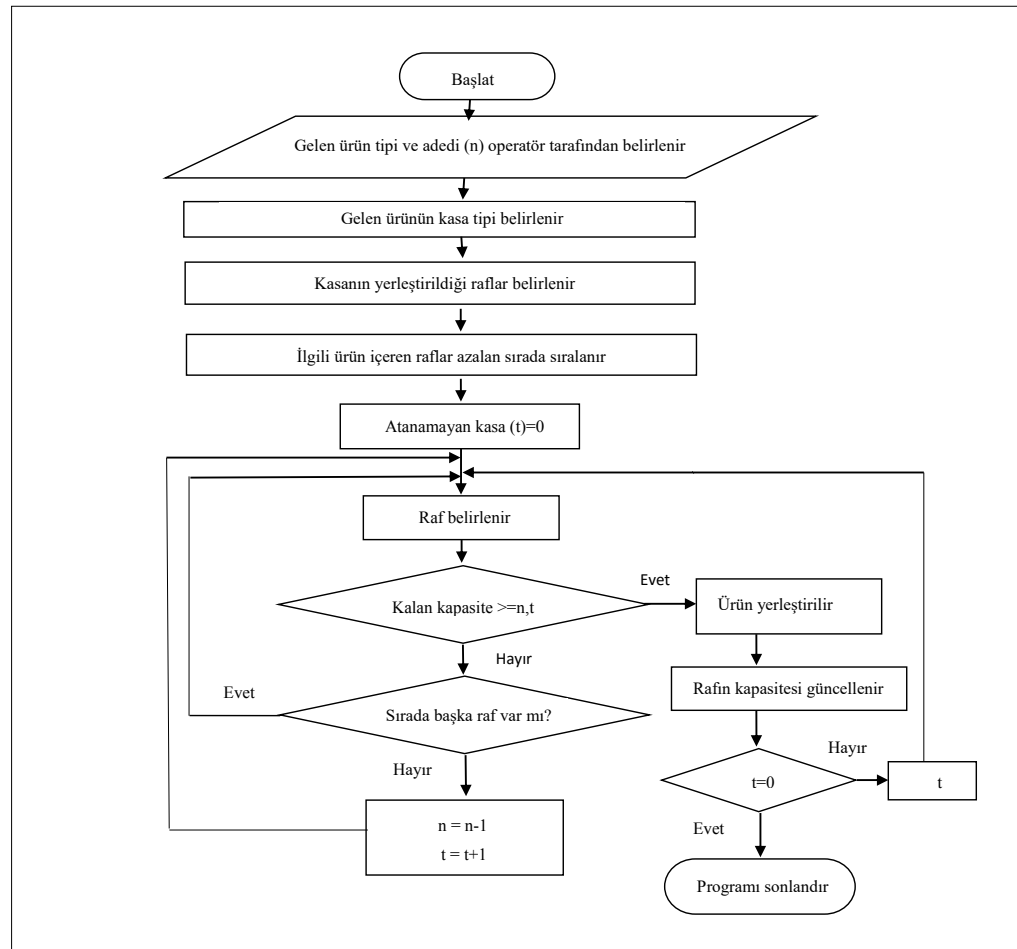
Uzun dönemdeki müşteri taleplerinin ani değişimi,

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 rafı 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

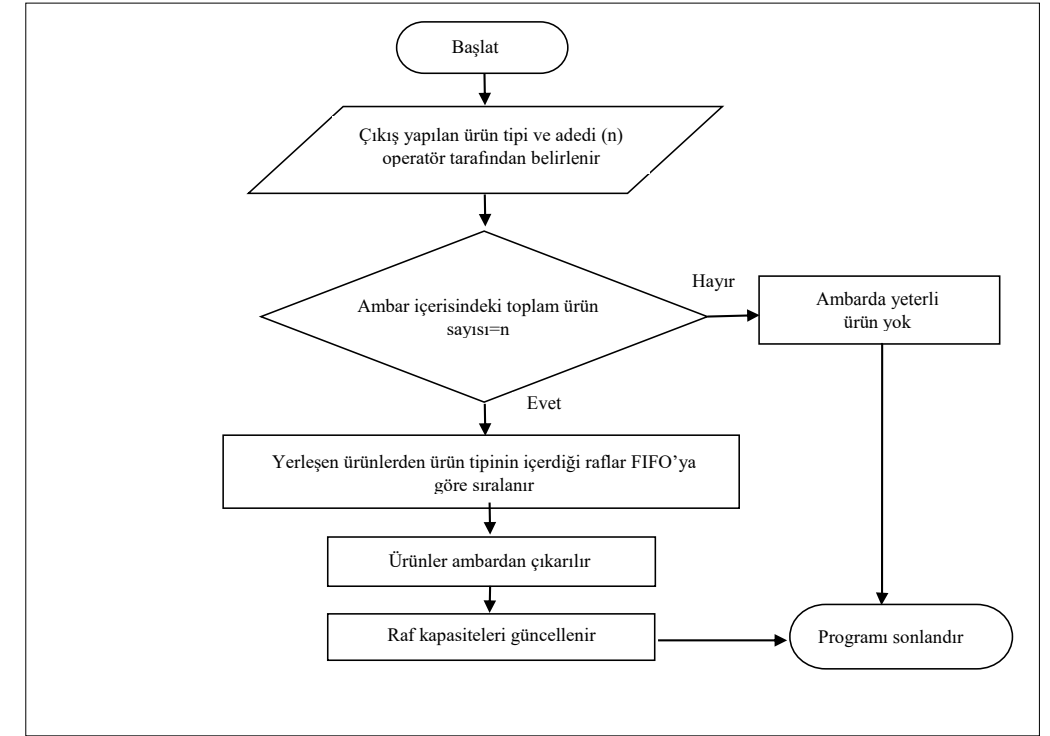
tipi) kullanıldığında kabul edilebilir bir çözüm süresi elde edilememiştir. Bu noktada, modelin iyileştirilmesi ile süre en fazla 20 saate kadar kısaltılabilmektedir. Ancak çözüm süresinin kabul edilebilir olmaması sebebiyle, hem çözüm süresinin kısaltılması ve hem de dinamik sistemin uygulanabilmesi 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.



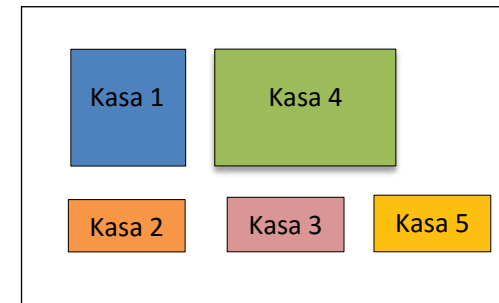
Şekil 1a. Ürün Girişi Sezgisel Algoritma Akışı



Şekil 1b. Ürün Çıkışı Sezgisel Algoritma Akışı

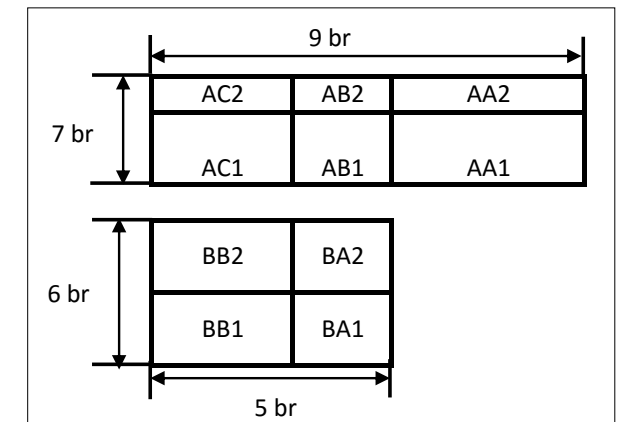
#### 5. MODELİN ÖRNEKLERLE DOĞRULANMASI

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 ( <i>m</i> )	Kasa Tipi ( <i>i</i> )	Kasa Adedi	Genişlik ( <i>br</i> )	Yükseklik ( <i>br</i> )
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 ( <i>k</i> )	Raf No ( <i>j</i> )	Genişlik ( <i>br</i> )	Yükseklik ( <i>br</i> )
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	<i>m</i>	<i>i</i>	<i>k</i>	<i>j</i>	$C_{mikj}$
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
AA1	1	2	1	1	4
AA2	1	2	1	2	3
AB1	1	2	1	3	1
AB2	1	2	1	4	3
AC1	1	2	1	5	1
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
AA1	1	3	1	1	1
AA2	1	3	1	2	3
AB1	1	3	1	3	4
AB2	1	3	1	4	4
AC1	1	3	1	5	4
AC2	1	3	1	6	3
BA1	1	3	2	1	4
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 atıldığı 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

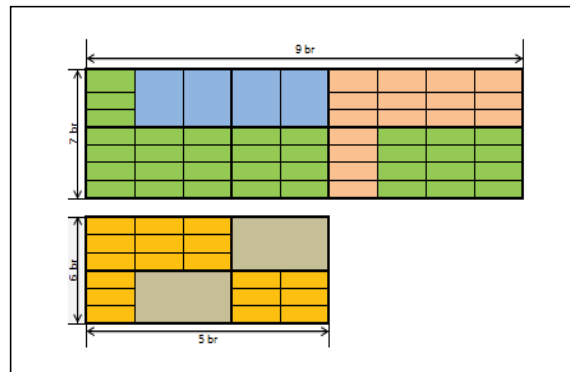
	<i>m</i>	<i>i</i>	Eksik <sub><i>mi</i></sub>	Fazla <sub><i>mi</i></sub>
Kasa 1	1	1	0	0
Kasa 2	1	2	0	0
Kasa 3	1	3	0	0
Kasa 4	2	1	0	0
Kasa 5	2	2	0	0

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

	Kasa Adedi	Eksik <sub><i>mi</i></sub>	Fazla <sub><i>mi</i></sub>	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

	<i>m</i>	<i>i</i>	<i>k</i>	<i>j</i>	$X_{mikj}$	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
Kasa 3	1	2	1	5	3	AC1
	1	2	1	6	1	AC2
Kasa 4	1	3	1	1	1	AA1
	1	3	1	2	4	AA2
Kasa 5	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
Kasa 5	2	2	2	4	3	BB2



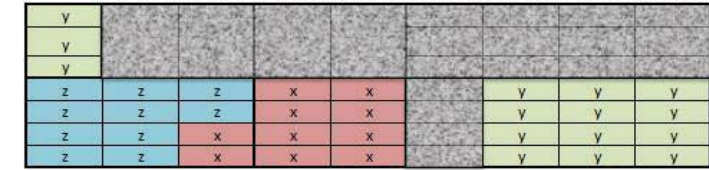
**Şekil 4.** Müşteri Bazlı Kasa-Koridor Yerleştirme Modeline Göre Kasa Yerleşimi

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

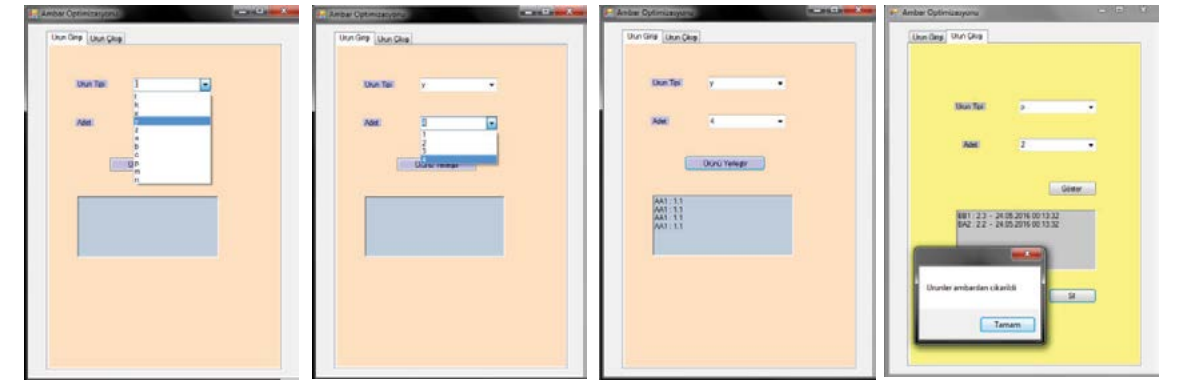
**Şekil 5.** Kasa 2 Ürün Bilgileri

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

Raf Adı	Koridor No ( <i>k</i> )	Raf No ( <i>j</i> )	Raf Kapasitesi ( $RK_{kj}$ )	$X_{mikj}$	$C_{mikj}$
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



**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<sup>2</sup>'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 raflı 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. **Steudel, 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.

## 27. CİLT YAZI DİZİNİ

### Sayı: 1 / Ocak-Şubat-Mart 2016

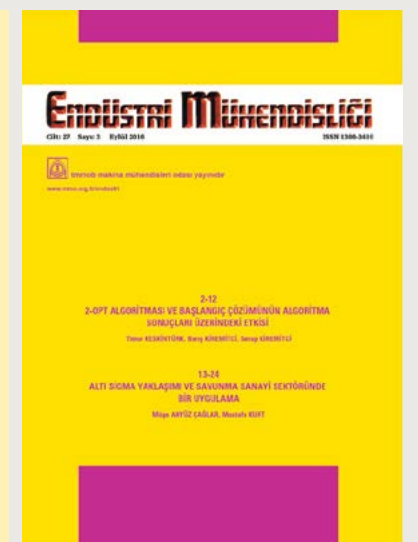
- Kullanıcı Tercihlerinin Dikkate Alınması Durumunda Üniversite Ders Çizelgeleme Problemi  
*Zehra Kamışlı Öztürk, Nergiz Kasımbeyli, Müjgan Sağır Özdemir, Müge Soyöz Acar, Erdener Özçetin, Mehmet Alegöz, Gürhan Ceylan (Sayfa 2-16)*
- Enerji Tasarrufu Sağlayan Bir Cihazın Etkili Ekonomik Faktörler ile Yatırım Analizi  
*Mehmet Rıza Adalı, Merve Cengiz Toklu, Alper Kiraz (Sayfa 17-24)*
- Türkiye’de Endüstri Mühendisliği Mesleğine Bilimsel Açıdan Bir Bakış  
*Nihal Erginel, Merve Tekçe, Gamze Küçük, Aybüke Alper (Sayfa 25-38)*

### Sayı: 2 / Nisan-Mayıs-Haziran 2016

- Mobilya Sektöründe Yaşanan Kas İskelet Sistemi Risklerinin Farklı Değerlendirme Metotları ile İncelenmesi ve Minimizasyonu  
*Selma Koç, Özlem Müge Testik (Sayfa 2-27)*
- Türkiye’deki İmalat Sanayi Sektörlerinin Promethee Multimoora ve Smaa-2 Yöntemleriyle Sıralanması  
*Ash Çalış, Gökhan Özçelik, Cevriye Gencer (Sayfa 28-44)*

### Sayı: 3 / Temmuz-Ağustos-Eylül 2016

- 2-opt Algoritması ve Başlangıç Çözümünün Algoritma Sonuçları Üzerindeki Etkisi  
*Timur Keskintürk, Barış Kiremitçi, Serap Kiremitçi (Sayfa 2-12)*
- Altı Sigma Yaklaşımı ve Savunma Sanayi Sektöründe Bir Uygulama  
*Müge Akyüz Çağlar, Mustafa Kurt (Sayfa 13-24)*



## Sayı: 4 / Ekim-Kasım-Aralık 2016

► Lider Bir Dondurma Fabrikasında WCM Metodolojisiyle Üretim Alanlarında Lojistik Optimizasyonu

*Elif Nur Demirpolat, Zeynep Şeyma Öztürk, Nilda Uzgören, Ceren Vergili, Ceren Yılmaz, Salih Tekin (Sayfa 3-14)*

► Teknik Balans Firmasında Üretim Hattı Tasarımı ve Dinamik Kontrolü

*Ayşe Doğan, Ayşe Melis Gökkan, Ceren Yeni, Aşlıgül Börühan, Yazgül Yurğun, Murat Fadiloğlu, Sinem Özkan (Sayfa 15-25)*

► Ambar Depolama Maksimizasyonu

*Gizem Gül, Begüm Erol, Gözde Öngelen, Sedat Eser, Çağdaş Çetinkaya, Hüseyin Cenk Özmütlu, Seda Özmütlu, Mehmet Gökçedağlıoğlu, Cemil Günhan Erhuy (Sayfa 26-38)*



## 2016 YILI EM DERGİSİ HAKEMLERİNE TEŞEKKÜR

Adil Baykasoğlu ..... Dokuz Eylül Üni.

Ayhan Özgür Toy..... Bilgi Üni.

Banu Artek ..... Dokuz Eylül Üni.

Buğra Şentürk ..... Kutlusan Kafesçilik  
Otomasyon Sistemleri Ltd. Şti.

Cevriye Gencer ..... Gazi Üni.

Diclehan Tezcaner Öztürk ..... TED Üni.

Emel Kızılkaya Aydoğan..... Erciyes Üni.

Emrah Edis ..... Celal Bayar Üni.

Ercüment Neşet Dizdar..... Karabük Üni.

Güzin Özdağoğlu..... Dokuz Eylül Üni.

Hakan Bütüner ..... IMECO

Hasan Hüseyin Önder ..... SDÜ

Murat Arıkan ..... Gazi Üni.

Özgen Karaer ..... ODTÜ

Özgür Eski ..... Celal Bayar Üni.

Özgür Özpeynirci ..... İzmir Ekonomi Üni.

Sabri Erdem ..... Dokuz Eylül Üni.

Semra Boran ..... Sakarya Üni.

Sinan Gürel ..... ODTÜ

Şeyda Topaloğlu..... Dokuz Eylül Üni.

Tayfun Çaylan ..... DYO A.Ş.

Ufuk Cebeci..... İTÜ

2016 yılında Endüstri Mühendisliği dergisine katkılarından dolayı hakemlerimize teşekkür ediyoruz.

## ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ YAYIN POLİTİKASI

Endüstri Mühendisliği Dergisi, TMMOB-MMO tarafından üç ayda bir yayımlanan süreli ve hakemli bir yayındır.

### Hedef Okuyucu Kitlesi

Endüstri Mühendisliği (EM) ve Yöneylem Araştırması (YA) konularında araştırma yapan, eğitim veren, eğitim gören ve bu alanlarda çalışanlardan oluşur.

### Yayın Amaçları

EM ve YA alanlarındaki gelişmeler, çalışmalar ve araçlarla ilgili akademik nitelikli yayın yapar.

EM ve YA alanlarındaki başarılı uygulamaların yaygınlaştırılması ve deneyimlerin paylaşılması için yayın yapar.

Meslek ile ilgili görüşlerin aktarılmasını ve tartışılmasını sağlar. EM ve YA alanlarında ortak bir dilin oluşmasına katkıda bulunur.

### Yayın İlkeleri

EM Dergisi, Yayın Kurulu (YK) tarafından yayına hazırlanır. YK yazıların seçimini hakem görüşlerini alarak yapar.

Yazarlara, okurlara ve kurumlara tarafsız yaklaşır.

Konu zenginliğinin korunup geliştirilmesini teşvik eder.

İçerik, dil ve biçim açısından nitelikli yayın yapar. Yayın dili Türkçe ve İngilizce'dir.

Yazının EM Dergisine gönderilmesi,

- yazının herhangi bir yayın organında yayımlanmamış olduğunu,
- EM Dergisindeki değerlendirme süreci boyunca başka bir yayının değerlendirme sürecinde yer almayacağını,
- yazı kabul edildiğinde yazının basım haklarının EM Dergisine geçtiğini ve başka bir dilde ve/veya ortamda, yayıncının onayı olmaksızın yayımlanamayacağını

gösterir.

### Yazı Türleri ve Değerlendirme

EM Dergisi, yayın amaçları ve ilkeleri doğrultusunda hedef okuyucu kitlesini ilgilendiren *Makale, Uygulama, Teknik Not, İletişim, Doktora Tez Özeti ve Ödül Almış Çalışma* gibi farklı türde yazılara yer verir.

Makale, literatüre katkı sağlayan özgün yazıdır.

Uygulama, mesleki pratiğe katkı sağlayan ve mesleki bir konuda tutarlı, rasyonel ve başarılı uygulamaları anlatan yazıdır.

Teknik Not, Makale'ye göre dar kapsamlı, literatüre katkı sağlayan özgün yazıdır.

İletişim, eğitime, mesleğin icrası ve uygulamalarına genel anlamda katkı sağlayan; mesleğe yönelik felsefi tartışmalar başlatma ve mesleğe yeni açılımlar kazandırma potansiyeli taşıyan yazıdır. Meslek ve alanla ilgili eser, kitap ve yazılımları tanıtan ve değerlendiren yazılar da bu kapsamdadır.

Doktora Tez Özeti, doktorasını son iki yıl içerisinde tamamlamış araştırmacıların doktora tez özetidir.

Ödül Almış Çalışma, (bilinen) bir ödül için jüri tarafından belirli ölçütlere göre değerlendirilmiş ve ödüle layık bulunmuş yazıdır.

Makale, Uygulama, Teknik Not ve İletişim yazıları EM Dergisi yayın amaçları ve ilkeleri ışığında YK tarafından ön değerlendirmeye alınır, hakemlik sürecinin başlatılmasına ya da yazının ret edilmesine karar verilir. Hakemlik sürecine alınan yazı en az iki hakem tarafından değerlendirilir. Bu süreçte adlar iki taraftan da gizlenir. YK, hakemlerin görüşleri doğrultusunda yazıyı kabul veya ret eder veya yazının revize edilmesini ister. Değerlendirme sırasında tüm haberleşme iletişim yazarı ile yapılır.

Doktora Tez Özeti ve Ödül Almış Çalışma türü yazılar YK tarafından değerlendirilir. Gerekirse hakem görüşü alınır.

Ayrıca, EM Dergisinde tanıtım yazısı, haber, söyleşi, anı ve çeviri gibi farklı yazı türleri YK değerlendirmesi ile yayımlanabilir.

### Yazı Gönderme

EM Dergisi Yazı Kuralları'na uygun bir şekilde yazılmış yazılar, elektronik ortamda <http://omys.mmo.org.tr/endustri/> adresinden gönderilir. İletişim yazarının e-posta ve posta adresleri, faks ve telefon numaraları açıkça belirtilmelidir.

## JOURNAL OF INDUSTRIAL ENGINEERING EDITORIAL POLICY

Journal of Industrial Engineering (EMD) is a refereed periodical which is published quarterly by TMMOB-MMO (Turkish Chamber of Mechanical Engineers).

### Target Audience

The targeted audience of the journal comprises researchers, educators and practitioners in the fields of Industrial Engineering (IE) and Operations Research (OR).

### Objectives of Publication

It publishes academic manuscripts on the developments, processes, and tools in the fields of IE and OR.

It publishes for the purpose of extending the successful practices in IE and OR and enabling the sharing of experiences.

It provides a ground to transfer different views on the profession and discuss these viewpoints.

It promotes the formation of a common professional language in the fields of IE and OR.

### Principles of Publication

EMD is prepared for publication by the Editorial Board. The Editorial Board selects the material to be published by consulting the referees.

It holds an objective attitude towards authors, readers, and institutions.

It ensures and encourages variety in topics.

It publishes manuscripts which are qualified in terms of content, language and form.

Publication language is Turkish and English.

The fact that a manuscript is sent to EMD indicates that:

- The relevant manuscript has not been published previously in another journal.
- It will not be under the editorial evaluation of another journal as long as the evaluation process in EMD continues.
- Once it has been approved for publication, EMD acquires the right to publish the manuscript and the manuscript cannot be published in a different language or domain without the approval of the publisher.

### Types of Publication and Evaluation

In accordance with its publication objectives and principles, EMD gives place to a diversity of studies that are of interest to its readers such as manuscripts, applications, technical notes, communication articles, dissertation abstracts, and works which have received an award.

A manuscript is an original work which contributes to the relevant literature.

An application is an article that describes the consistent, rational and successful applications related with a professional topic, and thus, contributes to the practice of the profession.

A technical note is an original article which contributes to the relevant literature but which is limited in scope compared to a manuscript.

A communication article is an article which contributes to the practice and applications of the profession and which has a potential to initiate philosophical discussions and bring in new developments regarding the profession. Reviews of an article, a book or software related with the field are treated in this category.

A dissertation abstracts is the summary of the dissertations of the researchers who completed their PhD within last 2 years.

A prize-awarded work is an article which has been evaluated according to certain criteria by a jury and deemed worthy for a prize (that is acknowledged).

Manuscripts, applications, technical notes, and communication articles are first taken under pre-evaluation by the Editorial Board in accordance with the EMD objectives and principles of publication and a decision is made whether to initiate the process of referee evaluation or to reject the work. In the process of referee evaluation, the work is evaluated by at least two referees. The names of the both parties are kept anonymous in this process. The Editorial Board approves or rejects the articles in accordance with the comments of the referees or it asks for further revision of the articles. Throughout the evaluation process, all the communication is carried out with the contact author.

Dissertation summary and prize-awarded articles are evaluated by the Editorial Board. If needed, referee opinion can be asked.

In addition, works as diverse as reviews, news, interviews, and memoirs can be published in EMD as long as they are evaluated by the Editorial Board.

### Manuscript Submission

The manuscripts complying with the norms of publication in EMD are sent electronically to <http://omys.mmo.org.tr/endustri/>. E-mail and postal addresses and fax and telephone numbers of the contact author should be clearly stated.

