

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 kullanılmış ve üretim alanında yapılan iyileştirmelere değinilmiştir. Projenin amacı, planlaması yapılamadığından kullanılmayan 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 süpermarkette transpaletler ile tek tek üretim alanındaki hat besleme noktalarına gerekli malzemeler taşınmaktadır. Dondurmanın ana karışımı, Mix bölümünden borular aracılığıyla hatları beslemektedir. Külahlar ise külah 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 taşımanın 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 rotalama 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 işlemden 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 vagonan 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)
α_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 kısıta 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 alarak, 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. Külah 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 metoduyla 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 kullanabileceği 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 ³)	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 birikmeleri 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 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 gözeterek;

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

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

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

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

$$\sum_{k \in N} y_k + A_k a y_k + B_k b y_k + C_k c y_k \leq \sum_{i \in N} \sum_{k \in N} y_i + M(1 - b_{ik}) \quad \forall i, k \in N, i < k \quad (4)$$

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

$$\sum_{k \in N} z_k + A_k a z_k + B_k b z_k + C_k c z_k \leq \sum_{i \in N} \sum_{k \in N} z_i + M(1 - t_{ik}) \quad \forall i, k \in N, i < k \quad (6)$$

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

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

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

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

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

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

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

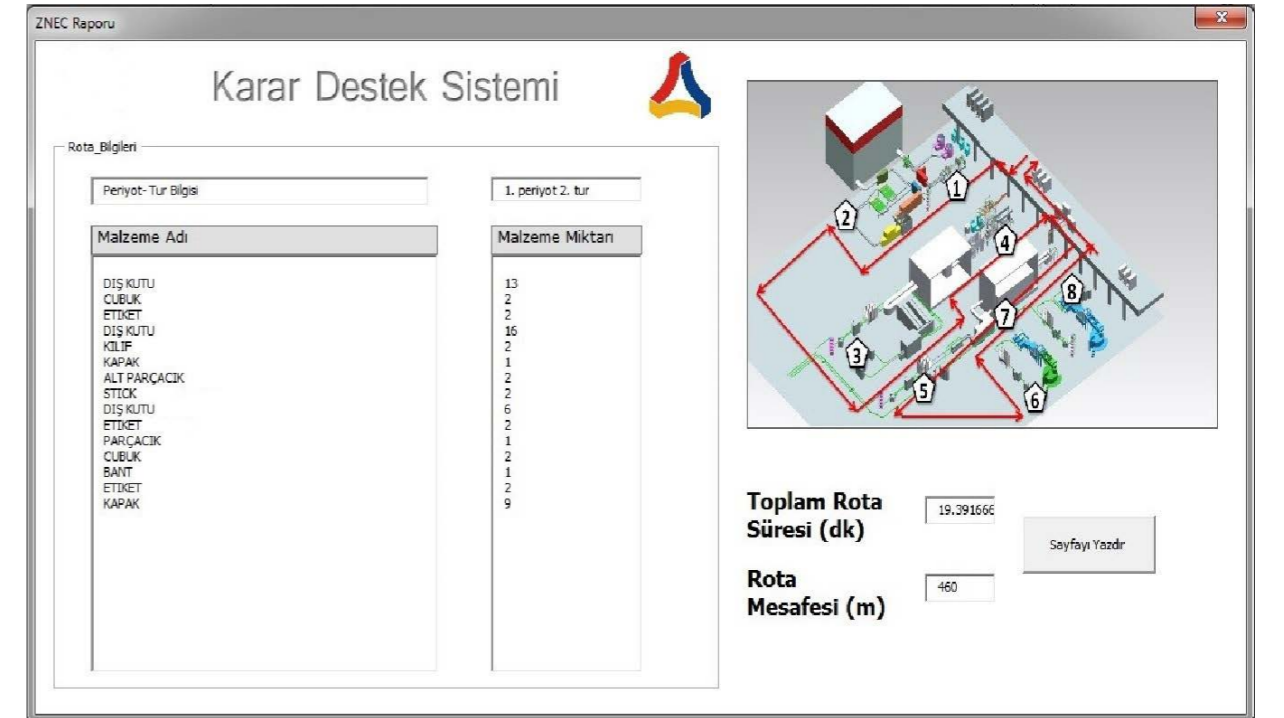
$$\sum_{i \in N} a x_i + b x_i + c x_i = \sum_{i \in N} d_i \quad \forall i \in N \quad (14)$$

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

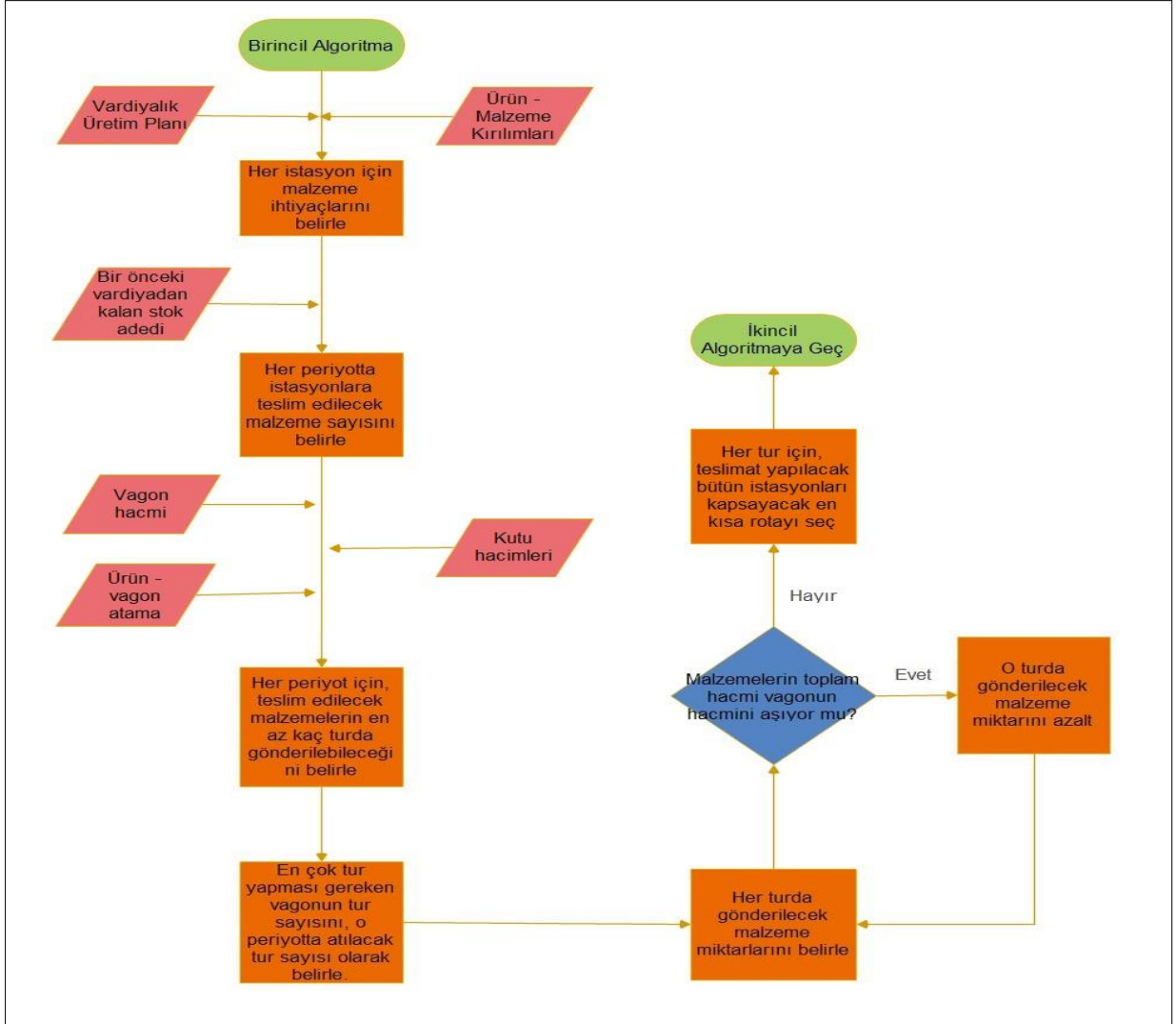
$$\sum_{i \in N} a z_i + b z_i + c z_i = \sum_{i \in N} d_i \quad \forall i \in N \quad (16)$$

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

Ek 2. Vardiya Planı Çıktı Arayüzü



Ek 3. Sezgisel Algoritma Başlangıç Çözümü Bulma



Ek 4. Geliştirilen Tasarımlar

