

İÇ LOJİSTİK SİSTEMİNDE MALZEME TEDARİĞİ İÇİN GELİŞTİRİLMİŞ MATEMATİKSEL MODELLEME YAKLAŞIMI: BİR UYGULAMA

*İlker KÜÇÜKOĞLU **

*Betül YAĞMAHAN **

*Müge Sinem ÇAĞLIYAN **

*Ayşen YILDIZ **

*Dilan AKTOKLUK **

Alınma:27.08.2018; düzeltme: 24.12.2018; kabul:24.12.2018

Öz: Bu çalışmada, bir otomotiv yan sanayi firmasına ait fabrika içi lojistiğindeki malzeme tedarigi problemi dikkate alınmıştır. Çalışmanın amacı, makinelere malzeme tedarigi yaparken hat yanı stok miktarını ve taşıma maliyetlerini en küçükleyerek katma değersiz işleri azaltmaktır. Firmaya ait malzeme tedarigi problemi için iki farklı senaryo dikkate alınmış ve her senaryo iki aşamalı olarak değerlendirilmiştir. Her senaryonun birinci aşamasında, malzeme tedarigi yapacak araç için toplam dolaşım mesafesini en aza indirecek araç rotası oluşturulmuştur. İkinci aşamada ise, birinci aşamada elde edilen rota kullanılarak hat yanı stok miktarları ve araç kapasite kısıtı dikkate alınarak malzeme tedarik planlaması gerçekleştirilmiştir. Her bir aşamanın çözümü için karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Yapılan sayısal çalışmalar sonucunda, geliştirilen çözüm yaklaşımının firmada kullanılması durumunda taşıma aracının etkinliğindeki artış ile stok maliyeti, taşıma maliyeti ve katma değersiz işlerden doğan maliyetlerdeki azalmalar ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Araç rotalama, Malzeme tedarigi, Lojistik, Matematiksel modelleme

Mathematical Model Approach for Material Supply in In-Plant Logistics System: A Case Study

Abstract: In this paper a material supply problem of an automotive subsidiary company is considered. The aim of the study is to reduce non-value-added works by minimizing the transportation cost and inventory amounts at the production area while delivering the materials to machines. Two cases are taken into account for the material supply problem of the company, and each case is examined in two stages. In the first stage of each case, a fixed route plan of the handling truck is formed to reduce total travelled distance. In the second stage, regarding the truck capacity and inventory amounts at the production area, the material supply planning is realized by using the route plan of the truck found in the first stage. To solve each stage, a mixed integer mathematical model is proposed. As a result of the computational studies, improvements on the truck utilization and reduction on the inventory cost, transportation cost, and cost of other non-value-added works are indicated in case of the application of the proposed solution approach in the company.

Keywords: Vehicle routing, Material supply, In-plant logistics, Mathematical modeling

1. GİRİŞ

Standart ve takip edilebilir olmayan bir iç lojistik sistemi, işletmelerde stok hareketlerinde dengesizliğe ve katma değersiz faaliyetlere sebep olmaktadır. Yüksek miktarda stok birikimi ya

* Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Görükle, 16059 Bursa, Türkiye
İletişim Yazarı: İlker Küçükoglu (ikucukoglu@uludag.edu.tr)

da malzemenin zamanında tedarik edilememesi, taşıma sistemindeki taşıma yapan aracın etkin kullanılmamasından dolayı operatörlerin katma değersiz işler yapması işletmeler için önemli bir maliyet unsurudur. İç lojistik faaliyetlerinin periyodik ve standart olması ile bu maliyet unsurlarının azalması hedeflenir. İstenilen malzemenin, istenilen yere istenilen zamanda ve miktarda götürülmesi süreçler arası stokları düşürürken, katma değersiz faaliyetleri ve maliyetleri en aza indirmektedir.

Döngüsel malzeme tedarik sistemi olarak milk-run, ilk olarak süt taşıma ve taşıma sorunlarının çözümü için oluşturulan bir çeşit ulaştırma ve dağıtım şekli olarak kullanılmıştır. Burada kamyonlar, önceden belirlenen rotalara uygun olarak sütle dolu şişeleri kapılara taşırlar ve süt tesisine geri götürmek için boş şişeleri toplarlar (You ve Jiao, 2014). Buradan esinlenerek kullanılan milk-run malzeme tedarik sistemi, bir taşıyıcı tarafından önceden belirlenen bir rotaya göre tedarikçilerden parça veya ürün toplama ve bunları ana firmaya taşıma yöntemidir (Brar ve Saini, 2011). Milk-run sistemi, iç ve dış lojistikte malzeme tedariği için sıklıkla kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, pompa üretimi yapan bir otomotiv yan sanayi firmasındaki malzeme tedariği problemi dikkate alınmıştır. Firmada periyodik malzeme tedariği yapan bir iç taşıma sistemi bulunmamaktadır. İstenilen miktarda malzemenin, zamanında üretim birimlerine gelmemesi ihtimaline önlem olarak yüksek miktarda stok tutulmaktadır. Operatörler, süreçler arası taşımaları ise el ile yapmakta ve bu katma değersiz faaliyetler nedeniyle zaman kaybetmektedirler. Çalışmanın amacı, makinelerin boş kalmayacak şekilde malzeme tedariği yaparken hat yanı stok miktarını ve taşıma maliyetlerini en küçükleyerek katma değersiz işleri azaltmak, azalan işleri standartlaştırarak takip edilebilir hale getirmektir. Problemlerin çözümü için bir ve birden fazla tur gerçekleştirilmesi durumunu dikkate alan iki farklı senaryo değerlendirilmiştir. Her senaryo iki aşamalı olarak ele alınmıştır. Her senaryonun birinci aşamasında, taşıma yapacak aracın toplam taşıma maliyetini en aza indirecek rota geliştirilmiştir. Gezgin satıcı problemi ve araç rotalama problemini temel alan model, teknolojik sınırlamalar nedeniyle aracın U-dönüşünü engelleyen kısıtlar ile genişletilmiştir. Her senaryonun ikinci aşamasında ise birinci aşamada elde edilen araç rotasına göre hat yanı stok maliyetlerini en aza indirecek bir malzeme atama modeli formüle edilmiştir. Ele alınan sistemde malzeme tedariği kanbanlarla yapılmamaktadır. Bu yönüyle tam zamanında üretim ortamları için kullanılan milk-run sistemlerine göre farklılık göstermektedir. Bununla birlikte sistemde döngüsel malzeme tedariğinin belirli periyotlarla yapılması sebebiyle milk-run sistemine benzemektedir. Diğer yandan, ilk aşama için geliştirilmiş olan matematiksel modelde yer alan U-dönüşü engelleme kısıtları ve ikinci aşama için geliştirilmiş olan ürün tedarik planı modeli, yapılan çalışmanın literatüre olan katkısını göstermektedir.

Bu kapsamda, konuya ait literatürdeki mevcut çalışmalar ikinci bölümde özetlenmiştir. Firmaya ait fabrika için malzeme tedariği problemi üçüncü bölümde detaylı olarak verilmiştir. Dördüncü bölümde, problemin çözümü için ele alınan senaryolar ve geliştirilmiş olan iki aşamalı yaklaşım tanımlanmıştır. Geliştirilen çözüm yaklaşımı kullanılarak elde edilen uygulama sonuçları ile firmanın mevcut durumu ile ilgili karşılaştırmalar beşinci bölümde verilmiştir. Altıncı bölümde ise elde edilen sonuçlar yer almaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Fabrika içi malzeme tedariği sistemlerinde ana problemlerden biri milk-run araç rotalarının ve buna ait tur periyotlarının belirlenmesidir. Bu amaçla süreç içi stok miktarları, araç kapasitesi gibi kısıtlar dikkate alınmalıdır.

Gezgin satıcı problemi (GSP), araç rotalama problemlerinin özel bir durumu olarak görülmektedir (Eksioglu ve diğ., 2009). GSP, depoda tek bir aracın olduğu ve ek kısıtların olmadığı bir araç rotalama problemi olarak görülmektedir (Toth ve Vigo, 2002). Problem, m şehirden oluşan ve her şehre bir kez uğranılacak şekilde tekrar başlangıç şehrine dönüldüğü

rotanın bulunmasıdır. Amaç minimum maliyetli rotanın elde edilmesidir (Hoffmann ve diğ., 2013). Bu problem, NP-tam problem sınıfında yer almaktadır (Rego ve diğ., 2011). Bu problem ilk olarak 1930 yılında Menger tarafından tanımlanmış (Gutin ve Punnen, 2006) ve ilk formülasyonlardan biri olan Dantzig ve diğ. (1954) çalışmalarından bugüne çözümü için çok sayıda kesin çözüm ve yaklaşık çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Konu ile ilgili daha kapsamlı araştırmalara Laporte (1992), Reinelt (1994), Gutin ve Punnen (2006) ve Matai ve diğ. (2010) tarafından yapılan çalışmalarda bulunabilir. Araç Rotalama Probleminin (ARP), sahip oldukları özelliklere ve kısıtlara göre kapasite kısıtlı, önce dağıtmalı sonra toplamalı, eş zamanlı dağıtmalı toplamalı, zaman pencereli gibi farklı tipleri bulunmaktadır (Toth ve Vigo, 2002).

Bilici ve diğ. (2007) çekme sistemine dayalı milk-run rotası ve bu rotaya ait iş atamalarını belirleyen bir uygulama çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla toplam çevrim süresi minimizasyonunu gerçekleştiren bir matematiksel model formüle etmişlerdir. Kiliç ve diğ. (2012) fabrika içi milk-run sistemlerini sınıflandırarak açıklamışlardır. Ayrıca kullanılan araç sayısının ve taşıma mesafesinin minimizasyonunu sağlayan bir matematiksel modelleme önermişlerdir. Bu şekilde belirli bir zaman periyodunda gerekli araç sayısı ve bu araçlara ait rotalar belirlenmiştir. Kiliç ve Durmusoglu (2013) sabit çevrim zamanlı milk-run sisteminde süreç içi stok ve taşıma maliyetlerini minimizasyonunu amaçlayan bir karışık tamsayılı matematiksel programlama modeli ve sezgisel yaklaşım önermişlerdir. Satoglu ve Sahin (2013) tam zamanında üretim ortamındaki milk-run sistemi için rota oluşturulması ve servis periyodunun belirlenmesi amacıyla bir matematiksel model ve sezgisel yaklaşım önermişlerdir. Toplam malzeme taşıma ve envanter tutma maliyetini minimizasyonu amacıyla gerçekleştirilen modeller bir gerçek üretim ortamında uygulanmıştır. Gyulai ve diğ. (2013) fabrika içi milk-run sistemine ait rotaları belirlemek için bir sezgisel yaklaşım önermişlerdir. Alnahhal ve diğ. (2014) fabrika içi milk-run sisteminde ortaya çıkan karar problemlerini özetlemişler ve bununla ilgili yapılmış geniş kapsamlı bir literatür araştırması sunmuşlardır. Klenk ve diğ. (2015) fabrika içi milk-run sistemlerinde değişken talep ile başa çıkabilmek için kullanılacak stratejileri önermişlerdir. Bu stratejileri gerçek hayat verileri kullanarak dağıtım maliyeti, teslim süresi ve servis düzeyi açısından değerlendirmişlerdir. Staab ve diğ. (2016) fabrika içi milk-run sisteminde trafik faktörünü dikkate alarak bunun sistem etkinliği üzerindeki etkilerini analiz etmişlerdir. Bu amaçla bir simülasyon modeli geliştirmişlerdir. Emde ve diğ. (2018) elektrikli araçlarla yapılan fabrika içi milk-run taşıma sistemindeki çizelgeleme problemini ele almışlardır. Elektrikli araç sayısının en aza indirilmesi ve tüm araçların eşit yük dağılımına sahip olması amacıyla araç filosunun ve şarj çizelgesini geliştiren bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Büyük problemlerin çözümü için ise, bir sezgisel ve tabu arama meta-sezgisel yaklaşımlarını önermişlerdir.

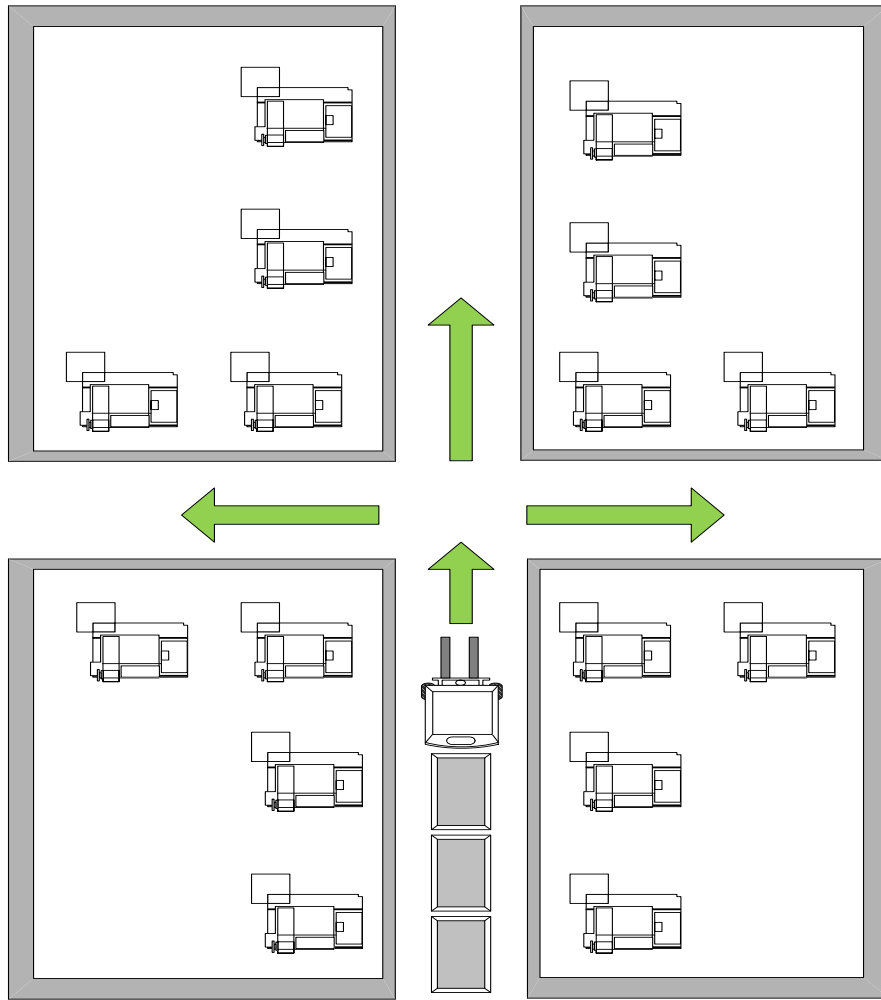
Fabrika içi malzeme tedariki sistemlerinin tasarımında diğer bir önemli konu ise, malzeme/parça besleme planının geliştirilmesidir. Boysen ve diğ. (2015) parça lojistiği ile ilgili karar problemlerini sınıflandırmışlar ve bunlarla ilgili literatürdeki çalışmalarını incelemişlerdir. Böhle ve diğ. (2009) parça besleme ve araç rotalama problemlerini aynı anda ele almışlar ve çözümü için bir matematiksel formülasyon ve sezgisel yaklaşım önermişlerdir.

3. PROBLEM TANIMI

Bu çalışma, hidrolik ve pnömatik pompa üretimi yapan bir otomotiv yan sanayi firmasında gerçekleştirilmiştir. Firmada hücresel üretim yapılmaktadır. Tesis içinde dört farklı ana ürün üreten dört farklı bölüm vardır. Bunlar A2, A6, A10 ve MC Üretim ve Montaj birimleridir. A2 bölgesi, fabrikadaki sistemin karakteristik özelliklerini en iyi yansıtan ve bitmiş ürün olarak en çok ciro yapan bölüm olduğu için pilot bölge olarak seçilmiştir ve analizler bu bölgede yapılmıştır.

Pilot bölgede, A2 tip pompa bileşenlerinin üretimi ve montajı yapılmaktadır. Bu bölgede, altı üretim ve iki montaj hücresi bulunmaktadır. Bu üretim hücrelerine ait hammadde tedarik

edilmesini sağlayan duraklar mevcuttur. Üretim süreci bitmiş pompa bileşenlerinin montajının yapıldığı ana montaj hücrelerine, iki hafta önceden bitmiş pompa siparişleri gelmektedir. Bu gelen siparişe göre, ana montaj hücrelerinden üretim hücrelerine en az 10 gün önceden iş emri açılır. Üretim hücreleri, ana montajdan gelen bu iş emrine karşılık ilgili siparişi karşılayacak şekilde üretime başlamadan en az üç saat önce ambara hammadde talebinde bulunmaktadır. Gelen taleplerin ambara hazırlanıp üretim hücrelerine tedarik edilmesi, taleplerin ambara geliş süresine göre FIFO prensibiyle gerçekleşmektedir. Taşıma aracı bir tur için en fazla beş adet kasa taşıyabilir. Ambarda taşıma aracına yüklenen hammaddeler ilgili dağıtım noktalarına ulaştırıldıktan sonra, taşıma aracı ambara geri döner ve bir sonraki turun taleplerini karşılamak üzere hazırlanır. Bu nedenle aracın standart bir rotası yoktur ve sadece talebin olduğu duraklara uğramaktadır. Fabrikanın yerleşim düzeni ve kullanılan taşıma aracının boyutlarından dolayı aracın dolaşım planında U-dönüşü yapması mümkün değildir. Bu durum Şekil 1’de temsili olarak gösterilmiştir. Üretim sürecinde boşalan kasalar ise üretim hücrelerinde çalışan operatörler tarafından boş kasaların toplandığı durakta götürülmektedir. Boş kasalar bu durakta paketleme bölümünden başka bir operatör tarafından ambara geri götürülünceye kadar beklemektedir.



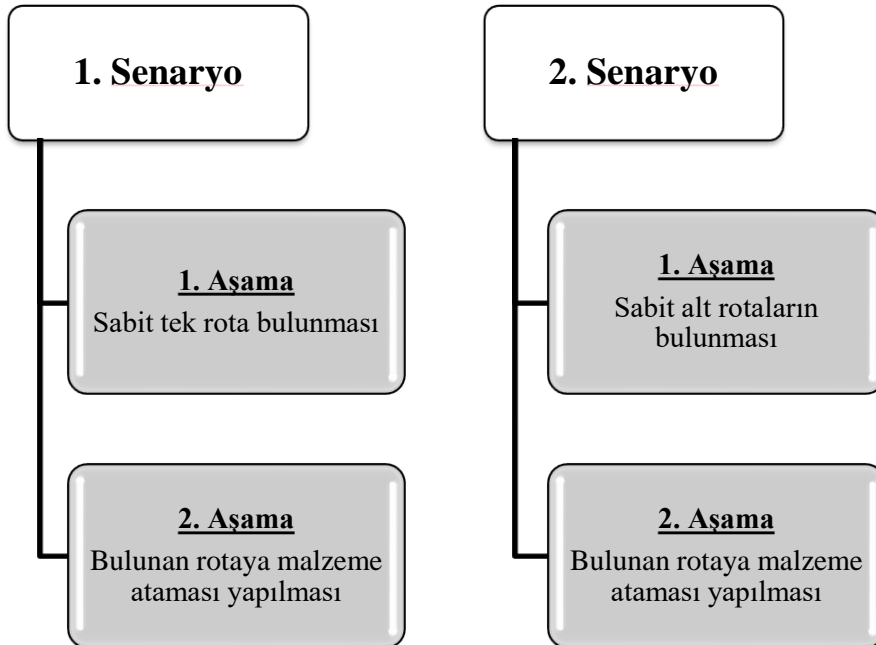
Şekil 1:
Taşıma Aracı İçin Olası Dönüş Yönleri

Firmada periyodik malzeme tedarikini olmamasından dolayı istenilen zamanda istenilen miktarda malzeme gelmemesi ihtimaline önlem olarak yüksek miktarda stok tutulmaktadır. Bu

durum hammaddelerde kalite problemine ve malzemenin hat yanında beklerken organizasyonel düzensizliğe yol açmasıyla sonuçlanmaktadır. Yalın üretim bakış açısıyla ele alınan bir diğer problem ise mevcut taşıma sisteminde kullanılan aracın etkin kullanılmamasıdır. Mevcut sistemde hammadde tedariki yapan vagonlu bir taşıma aracı bulunmaktadır, fakat bu araç boş kasaları ve ara taşımaları yapmamaktadır. Firmada boş kasalar operatörler tarafından önceden belirlenen bir durağa bırakılmakta, paketleme biriminden başka bir işçi kasaları ambara götürmektedir. Operatörler sorumlu oldukları üretim biriminden ayrılarak çeşitli taşıma araçlarıyla (el arabası, forklift, elle) boş kasa taşıma işlemini kendileri yapmaktadırlar. Bu durum katma değersiz işlere neden olmaktadır. Tüm sorunlar ele alındığında fabrikada üretim birimlerine periyodik olarak malzeme tedarikini sağlamak için bir sisteminin kurulması hedeflenmiştir.

4. ÖNERİLEN ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

Firmada hammadde tedarikini sağlayacak standart bir taşıma sisteminin oluşturulması için, araç rotasının belirlenmesi ve bu rota kullanılarak optimum malzeme tedarik planının üretilmesini sağlayan iki aşamalı bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir (Şekil 2). Çözüm yaklaşımın ilk aşamasında taşıma aracının rotasını belirleyecek bir matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin amacı, malzeme tedariki yapılacak tüm duraklara hizmet verecek en düşük maliyetli rotanın tespit edilmesidir. İkinci aşamada ise, birinci aşamada elde edilen rota bilgisi dahilinde toplam taşıma ve hat yanı stok maliyetlerini minimize edecek şekilde optimum malzeme tedarik planını oluşturabilen bir matematiksel model formüle edilmiştir. Geliştirilmiş olan iki aşamalı modelin uygulaması için iki farklı senaryo dikkate alınmıştır. Birinci senaryoda, malzeme tedariki yapacak aracın her çevrim tek tur ile tüm durakları ziyaret etmesi planlanmıştır. İkinci senaryoda ise aracın her çevrim içinde birden fazla tur yaparak bütün durakları ziyaret etmesi planlanmıştır. Geliştirilmiş olan iki aşamalı matematiksel model senaryolar bazında bir sonraki bölümlerde detaylı olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2:
Önerilen Yaklaşım

4.1. Birinci Senaryo: Taşıma Aracının Tek Tur Gerçekleştirilmesi

Birinci senaryo için geliştirilmiş olan iki aşamalı model yaklaşımında malzeme tedariği yapacak aracın rotası, gezgin satıcı problemi şeklinde uyarlanarak oluşturulmuştur. Elde edilen araç rotasına göre ikinci aşamada, en düşük maliyetle malzeme tedarik planı sağlayan matematiksel model formüle edilmiştir.

4.1.1. Birinci Aşama: Araç Rotasının Belirlenmesi

Birinci senaryonun ilk aşaması için gezgin satıcı problemi şeklinde uyarlanarak geliştirilmiş olan matematiksel modele ait varsayımlar;

- Aracın hizmet vereceği duraklar ve duraklar arasındaki mesafeler bilinmekte ve sabittir.
- Araç, rotası içerisindeki duraklara sadece bir defa hizmet vermektedir.
- Aracın teknik özelliklerinden dolayı rotası içerisinde U-dönüşü yapabilmesi mümkün değildir. Bu nedenle geriye dönüş yapılan bir rotaya izin verilmemektedir.
- Sistemde tek araç vardır ve bu aracın hızı sabittir. Aracın hareketi sırasında trafik sorunu yoktur.
- Taşıma maliyeti, aracın dolaşım mesafesi üzerinden dikkate alınmaktadır ve elektrikli aracın şarj olma maliyeti üzerinden hesaplanmaktadır.

Tanımlanan varsayımlara göre oluşturulan karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli aşağıda verilmiştir.

Parametreler

- I Toplam durak sayısı
 D Taşıma aracının gidebileceği yön sayısı
 CC Aracın saatlik şarj maliyeti
 T Aracın bir metre yol gidebilmesi için ihtiyaç duyulan şarj süresi
 m_{ijdf} i . durağının d yönünden j . durağının f yönüne olan uzaklık, $i, j = 1, \dots, I$; $d, f = 1, \dots, D$

Karar Değişkenleri

- x_{ijdf} Taşıma aracı i durağından d yönünde çıkıp j durağına f yönünde geliyorsa 1, aksi halde 0 değerini almaktadır, $i, j = 1, \dots, I$; $i \neq j$; $d, f = 1, \dots, D$
 U_i Alt tur engellemek amacıyla kullanılan yardımcı değişken, $i = 1, \dots, I$

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min } Z_1 = T \cdot CC \cdot \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^I \sum_{d=1}^D \sum_{f=1}^D (m_{ijdf} x_{ijdf}) \quad (1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{j=1}^I \sum_{d=1}^D \sum_{f=1}^D x_{ijdf} = 1 \quad i = 1, \dots, I \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{d=1}^D \sum_{f=1}^D x_{ijdf} = 1 \quad j = 1, \dots, I \quad (3)$$

$$U_i + 1 \leq U_j + I \cdot \left(1 - \sum_{d=1}^D \sum_{f=1}^D x_{ijdf} \right) \quad i = 1, \dots, I \quad j = 2, \dots, I \quad (4)$$

$$1 \leq U_i \leq I \quad i = 1, \dots, I \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{d=1}^D x_{ijdf} + \sum_{i=1}^I \sum_{d=1}^D x_{jifd} \leq 1 \quad j = 2, \dots, I \quad f = 1, \dots, D \quad (6)$$

$$x_{ijdf} \in \{0,1\} \quad i, j = 1, \dots, I \quad i \neq j \quad d, f = 1, \dots, D \quad (7)$$

$$U_i \geq 0 \text{ ve Tamsayı} \quad i = 1, \dots, I \quad (8)$$

Amaç fonksiyonunu tanımlayan (1) no.lu ifade taşıma aracına ait toplam dolaşım maliyetini en küçüklemeyi amaçlamaktadır. (2) ve (3) no.lu kısıtlar aracın rotasını oluşturan temel kısıtlardır. Bu kısıtlar, her bir durağa sadece bir noktadan gelinmesini ve ilgili duraktan sonra sadece bir noktaya gidilmesini sağlamaktadır. (4) ve (5) no.lu kısıtlar alt tur elimine etmeyi sağlamaktadır. (6) no.lu kısıt aracın rotasında U-dönüşü yapmasını engellemektedir. (7) ve (8) no.lu ifadeler modele ait karar değişkenlerinin işaretlerini tanımlamaktadır.

4.1.2. İkinci Aşama: Malzeme Tedarik Planı Oluşturma

Birinci senaryo için geliştirilmiş olan çözüm yönteminin ikinci aşamasında, ilk aşamada önerilen matematiksel modelin oluşturduğu tek turluk optimum rota için hat yanı stok miktarını ve maliyeti en küçükleyecek bir malzeme tedarik planı sağlayan matematiksel model formüle edilmiştir. Oluşturulan bu modelin varsayımları;

- Gün içerisinde aracın toplam yapacağı çevrim sayısı ve süresi bilinmektedir ve sabittir.
- Gün içerisinde dağıtım yapılacak kasa adeti ve bu kasaların hangi zaman aralığında duraklara teslim edileceği bilinmektedir.
- Gün başlangıcında hat yanında bulunan kasa adetleri bilinmektedir.
- Bir durağa teslim edilen dolu kutu, durağın işlem süresine bağlı olarak belirli bir süre sonra boş kutu olarak sisteme geri dönmektedir.
- Araç, dinamik doluluğuna göre dolu kutu dağıtım ve boş kutu toplama işlemini eş zamanlı yapabilmektedir.
- Araç her çevrimde, birinci aşamada elde edilen rotayı takip etmektedir.
- Taşıma yapacak aracın belirli bir kapasitesi vardır ve araçta bulunan toplam kasa adeti bu kapasiteyi aşamaz.
- Her durağın belirli bir stok kapasitesi vardır ve duraklara ait bu kapasite aşılamaz.
- Aracın bir çevrim içerisinde gerçekleştirdiği toplam operasyonların süresi çevrim süresini aşamaz.
- Hat yanında üretim hızından kaynaklı malzeme yetersizliği durumu dikkate alınmamaktadır.

İkinci aşama için bu varsayımlara göre oluşturulan karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli aşağıda verilmiştir.

Parametreler

I	Taşıma aracının uğrayacağı toplam durak sayısı
T	Gün içerisinde gerçekleştirilecek toplam çevrim sayısı
K	Gün içerisinde dağıtım yapılacak toplam dolu kasa sayısı
H_i	i durağına ait hat yanı kasa kapasitesi, $i = 1, \dots, I$
KT_i	i durağının bir dolu kasayı çevrim cinsinden bitirme süresi, $i = 1, \dots, I$
BS_i	i durağına ait gün başında hat yanı stok miktarı, $i = 1, \dots, I$
HD_k	k kasanın bırakılacağı/alınacağı durak, $k = 1, \dots, K$
RS_i	Araç rotasına ait i . sıradaki durak, $i = 1, \dots, I$
AK	Taşıma aracının taşıyabileceği en fazla vagon adedi
CH	Hat yanında bir kasa bulundurma maliyeti
CW	Aracın kullanımında bir çevrim için ihtiyaç duyulan işçilik maliyeti
CS	Bir çevrim için izin verilen maksimum süre
TL	Bir kasanın yükleme/boşaltma süresi
TS	Aracın bir tur için duraklar arası toplam dolaşım süresi
EE_k	k kasanın durağa bırakılması gereken en erken çevrim, $k = 1, \dots, K$
EG_k	k kasanın durağa bırakılması gereken en geç çevrim, $k = 1, \dots, K$
Z_1	Birinci aşamada elde edilen amaç fonksiyonu değeri

Karar Değişkenleri

D_{kt}	k . kasa t . çevrimde bırakılırsa 1, aksi halde 0 değerini almaktadır, $k = 1, \dots, K$; $t = EE_k, \dots, EG_k$
B_{kt}	k . kasa t . çevrimde alınırsa 1, aksi halde 0 değerini almaktadır, $k = 1, \dots, K$; $t = EE_k, \dots, T + 1$
A_t	t . çevrimde araç tura çıkarsa 1, aksi halde 0 değerini almaktadır, $t = 1, \dots, T$
TD_{it}	i . durağa t . çevrimde bırakılacak kasa adedi, $i = 1, \dots, I$; $t = 1, \dots, T + 1$
TB_{it}	i . duraktan t . çevrimde alınacak kasa adedi, $i = 1, \dots, I$; $t = 1, \dots, T + 1$
Y_{it}	t . çevrimde i . duraktan geçerken araçtaki kasa adedi, $i = 1, \dots, I$; $t = 1, \dots, T$
S_{it}	i . durakta t . çevrimde hat yanında bulunan kasa adedi, $i = 1, \dots, I$; $t = 0, \dots, T + 1$
TZ_t	t . çevrimde aracın turu tamamlama süresi, $t = 1, \dots, T$

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min } Z_2 = \sum_{t=1}^T CW * A_t + \sum_{t=1}^T Z_1 * A_t + \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^{T+1} CH * S_{it} \quad (9)$$

Kısıtlar

$$\sum_{i=2}^I TD_{it} = Y_{1t} \quad t = 1, \dots, T \quad (10)$$

$$Y_{it} \leq AK * A_t \quad i = 1, \dots, I \quad t = 1, \dots, T \quad (11)$$

$$S_{it} \leq H_i \quad i = 2, \dots, I \quad t = 1, \dots, T + 1 \quad (12)$$

$$S_{it} = S_{it-1} + TD_{it} - TB_{it} \quad i = 2, \dots, I \quad t = 1, \dots, T + 1 \quad (13)$$

$$S_{i0} = BS_i \quad i = 2, \dots, I \quad (14)$$

$$\sum_{t=EE_k}^{EG_k} D_{kt} = 1 \quad k = 1, \dots, K \quad (15)$$

$$D_{kt} \leq \sum_{h=t+KT_{HD_k}}^{T+1} B_{kh} \quad k = 1, \dots, K \quad t = EE_k, \dots, EG_k \quad t + KT_{HD_k} \leq T \quad (16)$$

$$D_{kt} \leq B_{k(T+1)} \quad k = 1, \dots, K \quad t = EE_k, \dots, EG_k \quad t + KT_{HD_k} = T + 1 \quad (17)$$

$$\sum_{i=2}^I (TD_{it} + TB_{it}) * TL + TS * A_t = TZ_t \quad t = 1, \dots, T \quad (18)$$

$$TZ_t \leq CS * A_t \quad t = 1, \dots, T \quad (19)$$

$$Y_{(RS_i)t} = Y_{(RS_{i-1})t} - TD_{(RS_i)t} + TB_{(RS_i)t} \quad i = 2, \dots, I \quad t = 1, \dots, T \quad (20)$$

$$TD_{it} = \sum_{\substack{k=1 \\ HD_k=i}}^K D_{kt} \quad i = 2, \dots, I \quad t = 1, \dots, T \quad (21)$$

$$TB_{it} = \sum_{\substack{k=1 \\ HD_k=i}}^K B_{kt} \quad i = 2, \dots, I \quad t = 1, \dots, T + 1 \quad (22)$$

$$A_t \in \{0,1\} \quad t = 1, \dots, T \quad (23)$$

$$B_{kt} \in \{0,1\} \quad k = 1, \dots, K \quad t = EE_k, \dots, T + 1 \quad (24)$$

$$D_{kt} \in \{0,1\} \quad k = 1, \dots, K \quad t = EE_k, \dots, EG_k \quad (25)$$

$$S_{it} \geq 0 \text{ ve Tamsayı} \quad i = 1, \dots, I \quad t = 0, \dots, T + 1 \quad (26)$$

$$TD_{it}, TB_{it} \geq 0 \text{ ve Tamsayı} \quad i = 1, \dots, I \quad t = 1, \dots, T + 1 \quad (27)$$

$$Y_{it} \geq 0 \text{ ve Tamsayı} \quad i = 1, \dots, I \quad t = 1, \dots, T \quad (28)$$

$$TZ_t \geq 0 \quad t = 1, \dots, T \quad (29)$$

Amaç fonksiyonunu tanımlayan (9) no.lu ifade toplam taşıma ve hat yanı stok maliyetini en küçüklemeyi amaçlamaktadır. (10) no.lu kısıt, aracın her çevrimde ambardan ayrılmadan önceki yük miktarını hesaplamaktadır. (11) no.lu kısıt, aracın içerisindeki yük miktarının aracın kapasitesini geçmemesini sağlamaktadır. (12) no.lu kısıt hat yanı kapasite kısıtıdır. (13) ve (14) no.lu kısıtlar hat yanı stok miktarını oluşturan kısıtlardır. (15) no.lu kısıt k . kasanın belirlenen zaman dilimi içerisinde rotaya atanmasını sağlayan kısıttır. (16) ve (17) no.lu kısıtlar kasanın belirlenen zaman diliminde toplanmasını sağlayan kısıtlardır. (18) no.lu kısıt aracın her çevrim için toplam dolaşım süresini hesaplamaktadır. (19) no.lu araca ait dolaşım süresinin belirlenen maksimum dolaşım süresini aşmamasını sağlamaktadır. (20) no.lu kısıt aracın içerisindeki yük miktarını hesaplamaktadır. (21) ve (22) no.lu kısıtlar her çevrim lokasyonlarda bulunan toplam dolu ve toplam boş kasaları hesaplamaktadır. (23)-(29) no.lu ifadeler modele ait karar değişkenlerinin işaretlerini tanımlamaktadır.

4.2. İkinci Senaryo: Taşıma Aracının Birden Fazla Tur Gerçekleştirilmesi

İkinci senaryo için geliştirilmiş olan iki aşamalı model yaklaşımında malzeme tedariği yapacak aracın rotası, araç rotalama problemi şeklinde uyarlanarak oluşturulmuştur. Bir çevrim içerisinde birden fazla tur yapacak optimum rota planına göre ikinci aşamada, en düşük maliyetle malzeme tedarik planı sağlayan matematiksel model formüle edilmiştir.

4.2.1. Birinci Aşama: Araç Rotasının Belirlenmesi

Birinci senaryonun ilk aşaması için geliştirilmiş matematiksel modelden farklı olarak ikinci senaryonun ilk aşamasında malzeme tedariği yapacak aracın bir çevrim içerisinde birden fazla tur yaparak bütün duraklara hizmet vereceği varsayılmıştır. Bu kapsamda, birinci senaryonun ilk aşaması için tanımlanan parametreler ikinci senaryo için de geçerli olurken, ek olarak aracın bir çevrim içerisinde kaç tur yapacağını ifade eden R parametresi tanımlanmıştır. Buna göre, aracın rotasını belirleyen x_{ijdf} karar değişkeni, x_{ijdf}^r ($i, j = 1, \dots, I; i \neq j; d, f = 1, \dots, D; r = 1, \dots, R$) olarak güncellenmiştir. Yapılan bu değişiklikler ile ikinci senaryonun ilk aşaması için geliştirilmiş olan matematiksel model aşağıda verilmiştir.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min } Z_1 = T \cdot CC \cdot \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^I \sum_{d=1}^D \sum_{f=1}^D \sum_{r=1}^R (m_{ijdf} x_{ijdf}^r) \quad (30)$$

Kısıtlar

$$\sum_{j=1}^I \sum_{d=1}^D \sum_{f=1}^D \sum_{r=1}^R x_{ijdf}^r = 1 \quad i = 1, \dots, I \quad (31)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{d=1}^D \sum_{f=1}^D \sum_{r=1}^R x_{ijdf}^r = 1 \quad j = 1, \dots, I \quad (32)$$

$$\sum_{j=2}^I \sum_{d=1}^D \sum_{f=1}^D x_{1jdf}^r \leq 1 \quad r = 1, \dots, R \quad (33)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{d=1}^D \sum_{f=1}^D x_{ijdf}^r = \sum_{i=1}^I \sum_{d=1}^D \sum_{f=1}^D x_{jidf}^r \quad j = 2, \dots, I \quad r = 1, \dots, R \quad (34)$$

$$U_i + 1 \leq U_j + I \cdot \left(1 - \sum_{d=1}^D \sum_{f=1}^D \sum_{r=1}^R x_{ijdf}^r \right) \quad i = 1, \dots, I \quad j = 2, \dots, I \quad (35)$$

$$1 \leq U_i \leq I \quad i = 1, \dots, I \quad (36)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{d=1}^D \sum_{r=1}^R x_{ijdf}^r + \sum_{i=1}^I \sum_{d=1}^D \sum_{r=1}^R x_{jifd}^r \leq 1 \quad j = 2, \dots, I \quad f = 1, \dots, D \quad (37)$$

$$x_{ijdf}^r \in \{0,1\} \quad i, j = 1, \dots, I \quad i \neq j \quad d, f = 1, \dots, D \quad r = 1, \dots, R \quad (38)$$

$$U_i \geq 0 \text{ ve Tamsayı} \quad i = 1, \dots, I \quad (39)$$

(30) no.lu ifade birinci senaryoda olduğu gibi aracın toplam dolaşım maliyetini en küçüklemeyi hedefleyen amaç fonksiyonunu tanımlamaktadır. (31)-(33) no.lu kısıtlar aracın çevrim içerisindeki tur sayısını dikkate alarak rotasını oluşturmaktadır. (34) no.lu kısıt ise araç rotasının sürekliliğini sağlamaktadır. (35)-(36) no.lu kısıtlar alt tur elimine etmeyi sağlamaktadır. (37) no.lu kısıt aracın rotasında U-dönüşü yapmasını engellemektedir. (38) ve (39) no.lu ifadeler modele ait karar değişkenlerinin işaretlerini tanımlamaktadır.

4.2.2. İkinci Aşama: Malzeme Tedarik Planı Oluşturma

İkinci senaryonun birinci aşamasında elde edilen R adet tur için ikinci aşama modeli aşağıda tanımlanan yeni veya güncellenmiş parametre ve karar değişkenlerine göre oluşturulmuştur. Bu kapsamda birinci senaryonun ikinci aşaması için tanımlanan (12)-(17), (21)-(24) no.lu kısıtlar ikinci senaryonun ikinci aşaması için de geçerli olurken, (9) no.lu amaç fonksiyonu, (10)-(11), (18)-(20) ve (28)-(29) no.lu ifadeler (40)-(49) no.lu ifadeler ile güncellenmiştir.

Parametreler

R Taşıma aracının bir çevrimde yapacağı tur sayısı

RD_i i durağının ziyaret edileceği rota, $i = 1, \dots, I$

RS_i^r Taşıma aracının r . turunda rotasına ait i . sıradaki durak, $i = 1, \dots, I$; $r = 1, \dots, R$

TS^r Aracın r . turuna ait duraklar arası toplam dolaşım süresi, $r = 1, \dots, R$

CR^r Aracın r . turuna ait dolaşım maliyeti (Z_1 amaç fonksiyonu değerine göre hesaplanmaktadır), $r = 1, \dots, R$

Karar Değişkenleri

A_t t . çevrimde araç herhangi bir tur için kullanılırsa 1, aksi halde 0 değerini almaktadır, $t = 1, \dots, T$

AR_t^r t . çevrimde araç r turuna çıkarsa 1, aksi halde 0 değerini almaktadır, $t = 1, \dots, T$; $r = 1, \dots, R$

Y_{it}^r t . çevrimin r . turunda i . duraktan geçerken araçtaki kasa adedi, $i = 1, \dots, I$; $t = 1, \dots, T$; $r = 1, \dots, R$

TZ_t^r t . çevrimde aracın r . turu tamamlama süresi, $t = 1, \dots, T$; $r = 1, \dots, R$

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min } Z_2 = \sum_{t=1}^T CW * A_t + \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R CR^r * AR_t^r + \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^{T+1} CH * S_{it} \quad (40)$$

Kısıtlar

$$\sum_{\substack{i=2 \\ RD_i=r}}^I TD_{it} = Y_{1t}^r \quad t = 1, \dots, T \quad r = 1, \dots, R \quad (41)$$

$$Y_{it}^r \leq AK * AR_t^r \quad i = 1, \dots, I \quad t = 1, \dots, T \quad r = 1, \dots, R \quad (42)$$

$$\sum_{i=2}^I (TD_{it} + TB_{it}) * TL + TS^r * AR_t^r = TZ_t^r \quad t = 1, \dots, T \quad r = 1, \dots, R \quad (43)$$

$$\sum_{r=1}^R AR_t^r \leq R * A_t \quad t = 1, \dots, T \quad (44)$$

$$\sum_{r=1}^R TZ_t^r \leq CS * A_t \quad t = 1, \dots, T \quad (45)$$

$$Y_{(RS_i)t}^r = Y_{(RS_{i-1})t}^r - TD_{(RS_i)t} + TB_{(RS_i)t} \quad i = 2, \dots, I \quad t = 1, \dots, T \quad r = 1, \dots, R \quad (46)$$

$$AR_t^r \in \{0,1\} \quad t = 1, \dots, T \quad r = 1, \dots, R \quad (47)$$

$$Y_{it}^r \geq 0 \text{ ve Tamsayı} \quad i = 1, \dots, I \quad t = 1, \dots, T \quad r = 1, \dots, R \quad (48)$$

$$TZ_t^r \geq 0 \quad t = 1, \dots, T \quad r = 1, \dots, R \quad (49)$$

5. UYGULAMA

Geliştirilmiş olan iki aşamalı çözüm yaklaşımı, firmanın A2 bölgesine ait bir günlük üretim verileri kullanılarak test edilmiş ve mevcut sistem ile karşılaştırmalar yapılarak yaklaşımın etkinliği analiz edilmiştir. Dikkate alınan gün için 11 durağa 67 adet kutunun dağıtımının planlanması gerekmektedir. Bu analizler için firmanın uygulamış olduğu maksimum 30 dakikalık sabit çevrim stratejisine ek olarak 45 ve 60 dakikalık maksimum çevrim süreleri de dikkate alınarak önerilmiş olan her iki senaryo için çözümler elde edilmiştir. Sayısal uygulamalarda çözüm yaklaşımına her senaryoya ait birinci ve ikinci aşamada önerilen matematiksel modeller MPL 5.0 matematiksel modelleme yazılımı (Maximal Software, Inc., 2017) ve Gurobi 7.5.1 çözücü (Gurobi Optimization, Inc., 2017) kullanılarak çözdürülmüştür.

Çözüm yaklaşımının ilk aşamasında A2 bölgesinde yer alan 11 durağa malzeme tedariki yapacak aracın rotası iki farklı senaryo için belirlenmiştir. Bu aşamada ikinci senaryo için aracın bir çevrim içerisinde yapacağı tur sayısı, firma ile yapılan görüşmeler neticesinde, $R = 2$ ve $R = 3$ olarak belirlenmiştir. Modellerin çözümü için gerekli olan mesafe matrisi, A2 bölgesinin

yerleşim planına göre oluşturulmuştur. Her bir senaryo için malzeme tedariki yapacak elektrikli aracın optimum rotası, geliştirilen matematiksel modeller ile bir saniyeden daha kısa sürede (birinci senaryo için 0,22 sn, ikinci senaryoda $R = 2$ ve $R = 3$ için sırasıyla 0,39 sn ve 0,07 sn) elde edilmiştir. Elde edilen rotalar ile firmanın örnek alınan gün için uygulamış olduğu rota karşılaştırması Tablo 1’de verilmiştir. Birinci senaryo için elde edilen rota, firma tarafından kullanılan rota ile kıyaslandığında yaklaşık %30 daha az dolaşım mesafesi ile bir sonuç elde edildiği görülmektedir. İkinci senaryoda ise aracın bir çevrim içerisinde iki tur yapması durumunda elde edilen optimum rota uzunluğu, firmanın mevcut kullandığı rota uzunluğuna göre yaklaşık %3 tasarruf sağlamaktadır.

Tablo 1: Senaryo bazında birinci aşamada elde edilen rotaların mevcut sistem ile karşılaştırması

Performans Kriteri	Mevcut Rota	Birinci Senaryo	İkinci Senaryo	
			İki Alt Tur	Üç Alt Tur
Rota Uzunluğu (m)	924,0	643,5	892,9	1151,4
Rotaya Ait Enerji Maliyeti (TL)	0,0865	0,0602	0,0836	0,1078

Sayısal analizlerin ikinci aşamasında, her bir senaryo için birinci aşamada elde edilen sabit rota bilgileri kullanılarak CS için 30, 45 ve 60 dakikalık maksimum sabit çevrim süresine sahip üç farklı durum için malzeme tedariki planı oluşturulmuştur. Birinci aşamada elde edilen rota uzunluğuna göre aracın bir turu dolaşım süresi, aracın hızı 7 km/s olarak varsayılarak tespit edilmiştir. Birden fazla turun dikkate alındığı ikinci senaryoda, aracın turlara göre maliyetleri ise birinci aşamada elde edilen optimum sonuçlar üzerinden hesaplanmıştır. Benzer şekilde dolu/boş kutuların elektrikli araca yükleme/boşaltma işlemleri için dikkate alınan süre 2 dk olarak sabit kabul edilmiştir. Bu varsayımlar altında 30, 45 ve 60 dakikalık maksimum izin verilen çevrim süreleri için elde edilen ikinci aşama sonuçları Tablo 2’de gösterilmektedir. Her bir satırda, dikkate alınan senaryoya ait maliyet kalemleri, gün içerisinde gerçekleşen toplam çevrim sayısı, aracın ortalama çevrimleri tamamlama zamanı, ortalama hat yanı stok miktarı ve aracın ortalama doluluk miktarı verilmiştir. Ayrıca Tablo 2’de her bir sonuca ait çözüm zamanı gösterilmektedir. Buna göre ikinci senaryoda 30 dakikalık maksimum çevrim süresiyle üç tur için elde edilen çözüm iki saatlik zaman kısıtı sonunda %0,50 optimalite aralığı ile bulunurken, diğer sonuçlar beş dakikadan daha kısa bir sürede elde edilmiştir.

Elde edilen senaryo maliyetleri karşılaştırıldığında, malzeme tedariki için gün içerisinde maksimum 30 dakika ile sınırlı 20 çevrimden oluşan tek turluk tedarik planı en düşük maliyetli plan olarak tespit edilmiştir. Bu senaryoya ait sonuçlar mevcut durum ile karşılaştırıldığında toplam tedarik ve hat yanı stok maliyetlerinde %60’ın üzerinde tasarruf sağlanabileceği görülmüştür. Ayrıca dağıtım aracının gün içerisinde yapacağı tur sayısında %15’in üzerinde, ortalama hat yanı stok miktarında %60’ın üzerinde ve aracın doluluk oranlarında %30’ın üzerinde önemli iyileşmeler sağlanabileceği tespit edilmiştir. Bu çözüm, maksimum 30 dakikalık çevrim süresi ile birden fazla turun gerçekleştiği ikinci senaryo çözümleri ile karşılaştırıldığında, birinci senaryoda aracın daha kısa sürelerde çevrimi tamamladığı görülmektedir. Bunun nedeni ise iki veya üç turluk rota planında aracın duraklar arası toplam dolaşım zamanının bir turluk araç rotasına göre daha uzun olmasıdır. Aracın gerçekleştireceği çevrim sayısı açısından ise ikinci senaryoda maksimum 60 dakikalık çevrim süresi ve çevrim başına iki turluk plan ile en iyi sonuç elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar hat yanı stok miktarları açısından değerlendirildiğinde, en iyi sonuç maksimum 45 dakikalık çevrim süresi ve tek turluk rota planı ile bulunmuştur. Son olarak, araç doluluk oranları incelendiğinde birinci senaryo kapsamında bulunan sonuçların %60’ın üzerinde araç doluluğu sağladığı görülmüştür.

Tablo 2: İkinci aşamada elde edilen sonuçlar ve mevcut durum ile karşılaştırması

Senaryo	Araç Tur Sayısı	Maksimum Çevrim Süresi CS (dk)	Çözüm Zamanı (sn)	Toplam Maliyet (TL)	Araç Dolaşım ve İşçilik Maliyeti (TL)	Stokta Tutma Maliyeti (TL)	Gün İçerisinde Gerçekleşen Çevrim Sayısı	Ortalama Aracın Çevrimi Tamamlama Süresi TZ_i^r (dk)	Gün İçerisinde Ortalama Hat Yanı Stok Miktarı	Aracın Ortalama Doluluğu (%)
Mevcut Durum				3299,00			24	15,0	3,62	25,83
1	1	30	180,00	1225,10	126,20	1098,90	20	18,4	1,27	64,60
		45	64,00	1236,54	179,27	1057,27	19	19,3	1,21	69,20
		60	28,16	1402,68	226,08	1176,60	18	19,9	1,26	72,20
2	2	30	273,00	1241,21	145,09	1096,12	23	27,74	1,21	51,00
		45	49,43	1236,55	179,27	1057,28	19	33,13	1,25	40,80
		60	20,71	1377,57	200,97	1176,60	16	37,55	1,34	51,20
2	3	30	7200,00	1320,20	226,85	1093,35	36	26,03	1,20	35,80
		45	29,74	1261,10	207,99	1053,11	22	41,06	1,19	36,00
		60	45,56	1397,36	226,31	1171,05	18	49,33	1,37	40,60

6. SONUÇ

Yapılan bu çalışmada bir otomotiv yan sanayi firmasına ait fabrika içi malzeme tedariki problemi dikkate alınmıştır. Firmada gerçekleştirilen malzeme taşımalarını daha etkin hale getirebilmek ve üretim alanlarında bekleyen stok miktarlarını en aza indirebilmek amacıyla iki aşamalı bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Geliştirilen çözüm yaklaşımının ilk aşamasında malzeme tedariki yapacak aracın rotasını tespit edecek bir karışık tamsayı matematiksel model önerilmiştir. İkinci aşamada ise ilk aşamada elde edilen rota bilgisi ve diğer üretim kısıtları doğrultusunda hat yanı stok maliyetlerini minimize edecek bir ürün tedariki modeli formüle edilmiştir. Malzeme tedariki yapacak aracın bir çevrim içerisinde gerçekleştireceği tur sayısına göre iki farklı senaryo dikkate alınarak probleme ait matematiksel modeller formüle edilmiştir. Geliştirilen iki aşamalı modelin geçerliliği ve etkinliği, firmanın A2 bölgesinde gerçekleştirilmiş olan bir günlük üretim bilgisi kullanılarak test edilmiştir. Farklı CS değerleri üzerinden yapılan analizlerde en düşük maliyetli üretim tedariki planı, sabit tek tur ve maksimum 30 dakikalık çevrim süresinin dikkate alındığı senaryoda elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar firmanın mevcut durumu ile karşılaştırıldığında, toplam taşıma ve stok maliyetlerinde, gerçekleştirilen tur sayılarında, ortalama hat yanı stok miktarlarında ve dağıtım yapacak araç doluluklarında önemli iyileştirmeler gerçekleştirilebileceği tespit edilmiştir. Malzeme tedarik ve hat yanı stok maliyetlerine ek olarak gün içerisinde gerçekleştirilen çevrim sayısı veya araç doluluk oranları dikkate alındığında ikinci senaryo ile etkin sonuçlar elde edilebileceği görülmüştür. Ayrıca, A2 bölgesine ek olarak malzeme tedarik planına A6, A10 ve MC bölgelerinin de dahil edilmesi durumunda; araç kapasitesine bağlı olarak bir çevrim içerisinde birden fazla turun gerçekleştirildiği ikinci senaryonun daha uygulanabilir sonuçlar üretebileceği görülmüştür.

Yapılan çalışma sonucunda geliştirilmiş olan çözüm yaklaşımının, operasyonlar arası malzeme akışının fazla olduğu işletmelerde düzensiz taşımalarından ve yarı mamul stoklarından kaynaklı maliyetleri önemli ölçüde düşürebileceği öngörülmektedir. Uygulanabilirlik açısından U-dönüşü veya boş kasaların hat yanlarından toplanması gibi gerçek hayat kısıtlarının da dikkate alındığı iki aşamalı matematiksel model benzer sistemler için etkin bir çözüm yaklaşımı niteliği taşımaktadır. Diğer yandan yapılan çalışmanın ilettilmesi açısından, daha büyük boyutlu problemler için sezgisel veya meta-sezgisel bir çözüm yaklaşımının geliştirilmesi, problemin farklı varsayımlar ile diğer üretim sistemlerine adapte edilmesi veya iki aşamalı çözüm yaklaşımının bütünleşik olarak dikkate alınması gelecekte yapılabilecek potansiyel çalışma konuları olarak öngörülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın firmalarında gerçekleştirilmesi için gösterdikleri ilgi ve destekleri için başta Mehmet Onur TOPÇU ve Mustafa Kemal ALTAY olmak üzere tüm firma çalışanlarına teşekkürü borç biliriz.

KAYNAKLAR

1. Alnahhal M., Ridwan A. ve Noche B. (2014) In-plant milk run decision problems, *Proceedings of 2nd IEEE International Conference on Logistics Operations Management, GOL 2014*, 85-92. doi: 10.1109/GOL.2014.6887421
2. Bilici, G., Çolak, Ö., İnaltekin, F., Küçük, T.C., Yetimoğlu, S., Köksalan, M. ve Savaşaneril, S. (2007) Fabrika içi çekme esaslı taşıma sistemi tasarımı, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 18(3), 31-42.
3. Boysen, N., Emde, S., Hoeck, M. ve Kauderer, M. (2015) Part logistics in the automotive industry: Decision problems, literature review and research agenda, *European Journal of Operational Research*, 242(1), 107-120. doi: 10.1016/j.ejor.2014.09.065

4. Böhle, C., Dangelmaier, W. ve Hellingrath, B. (2009) A lot sizing model with integrated tour planning, *IFAC Proceedings Volumes*, 42(4), 588-593. doi: 10.3182/20090603-3-RU-2001.0383
5. Brar, G.S. ve Saini, G. (2011) Milk run logistics: Literature review and directions, *In Proceedings of the World Congress on Engineering, London, U.K.*, 1, 6-8.
6. Dantzig, G., Fulkerson, R. ve Johnson, S. (1954) Solution of a large-scale traveling-salesman problem, *Journal of the Operations Research Society of America*, 2(4), 393-410. doi: 10.1287/opre.2.4.393
7. Eksioğlu, B., Vural, A.V. ve Reisman, A. (2009) The vehicle routing problem: A taxonomic review, *Computers & Industrial Engineering*, 57(4), 1472-1483. doi: 10.1016/j.cie.2009.05.009
8. Emde, S., Abedinnia, H. ve Glock, C.H. (2018) Scheduling electric vehicles making milk-runs for just-in-time delivery, *IISE Transactions*, 50(11), 1013-1025. doi: 10.1080/24725854.2018.1479899
9. Gurobi Optimization, Inc. (2017) Gurobi Optimization. <http://www.gurobi.com/>, Erişim Tarihi: 25.06.2018.
10. Gutin, G. ve Punnen, A.P. (2006) *The traveling salesman problem and its variations*, Springer Science & Business Media.
11. Gyulai, D., Pfeiffer, A., Sobottka, T. ve Váncza, J. (2013) Milkrun vehicle routing approach for shop-floor logistics. *Procedia CIRP*, 7, 127-132. doi: 10.1016/j.procir.2013.05.022
12. Hoffman K.L., Padberg M. ve Rinaldi G. (2013) Traveling salesman problem, *Encyclopedia of Operations Research and Management Science*, 1573-1578, Springer, Boston, MA.
13. Kilic, H.S. ve Durmusoglu, M.B. (2013) A mathematical model and a heuristic approach for periodic material delivery in lean production environment, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 69(5-8), 977-992. doi: 10.1007/s00170-013-5082-y
14. Kilic, H.S., Durmusoglu, M.B. ve Baskak, M. (2012) Classification and modeling for in-plant milk-run distribution systems, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 62(9-12), 1135-1146. doi: 10.1007/s00170-011-3875-4
15. Klenk, E., Galka, S. ve Günthner, W.A. (2015) Operating strategies for in-plant milk-run systems. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 1882-1887. doi: 10.1016/j.ifacol.2015.06.361
16. Laporte, G. (1992) The traveling salesman problem: An overview of exact and approximate algorithms, *European Journal of Operational Research*, 59(2), 231-247. doi: 10.1016/0377-2217(92)90138-Y
17. Matai, R., Singh, S. ve Mittal, M.L. (2010) Traveling salesman problem: An overview of applications, formulations, and solution approaches, *Traveling Salesman Problem, Theory and Applications*, InTech.
18. Maximal Software, Inc. (2017) MPL Modeling System, Arlington, VA, USA. <http://www.maximalsoftware.com/mpl/>, Erişim Tarihi: 25.06.2018.
19. Rego, C., Gamboa, D., Glover, F. ve Osterman, C. (2011) Traveling salesman problem heuristics: Leading methods, implementations and latest advances, *European Journal of Operational Research*, 211(3), 427-441. doi: 10.1016/j.ejor.2010.09.010
20. Reinelt, G. (1994) *The traveling salesman: Computational solutions for TSP applications*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

21. Satoglu, S.I. ve Sahin, I.E. (2013) Design of a just-in-time periodic material supply system for the assembly lines and an application in electronics industry, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 65(1-4), 319-332. doi: 10.1007/s00170-012-4171-7
22. Staab, T., Klenk, E., Galka, S. ve Günthner, W.A. (2016) Efficiency in in-plant milk-run systems-the influence of routing strategies on system utilization and process stability, *Journal of Simulation*, 10(2), 137-143. doi: 10.1057/jos.2015.6
23. Toth, P. ve Vigo, D. (2002) *The vehicle routing problem*, Society for Industrial and Applied Mathematics.
24. You, Z. ve Jiao, Y. (2014) Development and application of milk-run distribution systems in the express industry based on saving algorithm, *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, 1-6. doi: 10.1155/2014/536459

