
KARŞILANAMAYAN TALEPLİ ÇOKLU ÜRÜN ENVANTER YERLEŞİM VE ROTALAMA PROBLEMİ

*Özge ŞATIR AKPUNAR**
*Şener AKPINAR***

Alınma:27.08.2018; düzeltme: 24.11.2018; kabul:21.12.2018

Öz: Şirketler, değişen market koşullarına adapte olmak ve rekabet içinde kalmak için lojistik faaliyetlerini de üretim faaliyetleri gibi iyi bir şekilde yönetmelidir. Lojistik maliyetleri, şirket maliyetlerinin büyük bir kısmını oluşturduğu için etkin bir şekilde yönetilmelidir. Etkin bir lojistik ağı oluşturulurken üretim birimlerinin yerleşimi ve bu birimlerden talep noktalarına giden araç rotalarına karar verilmesi karşılaşılan ve çözülmesi gereken optimizasyon problemleridir. Bu çalışma kapsamında envanter, yerleşim ve rotalama ile ilgili kararlar göz önüne alınarak bir yerleşim-envanter-rotalama probleminin çözülmesi amaçlanmıştır. Yerleşim-rotalama problemi ile karşılanamayan talepli ekonomik üretim miktarı modeli entegre edilerek problemin formülasyonu oluşturulmuştur. Problemin çözümü için bir büyük komşuluk arama algoritması geliştirilmiştir. Algoritmanın değerlendirilmesi, literatürden alınan yerleşim-rotalama problem veri setleri ile yapılan karşılaştırmalı sonuçlar aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Literatürde her iki problem veri seti için de bilinen en iyi sonuçlar bulunmuş veya en iyi sonuçlara yaklaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Büyük komşuluk arama algoritması, Envanter yerleşim ve rotalama problemi, Hatalı ürünler, Karşılanamayan talep

Multi-Product Inventory Location-Routing Problem with Shortages

Abstract: The companies, who wants to adapt to the changed market conditions and remain competitive, have to manage their storage and distribution processes in a cost effective manner as well as their production processes. The logistic costs consume a significant part of the budget of the companies and therefore these processes must be managed as efficiently as possible. The design of such an effective logistic network contains two hard combinatorial optimization problems, to locate facilities, and to determine vehicle routes supplying demand points from these locations. Within the context of this study, we deal with the Location Inventory Routing Problem (LIRP), which is an enriched Location Routing Problem (LRP) with the inventory related issues and determines inventory, location and transportation related decisions at the strategic, tactical and operational levels. A mathematical model, a combination of a location-routing problem and a joint replenishment economic order quantity (EOQ) model with backorders, is developed to formally describe the problem. Large neighborhood search algorithm is developed to solve the problem. Comparative results with the location-routing problem data sets from the literature is used in order to evaluate solution method. The best known results in the literature have been found or the best results have been approached for both problem dataset.

* Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Yağcılar Mahallesi, 45110 Yunusemre/Manisa

** Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Kuruçeşme Mahallesi, DEÜ Kaynaklar Yerleşkesi, 35390 Buca/İzmir

İletişim Yazarı: Özge ŞATIR AKPUNAR (ozge.satir@cbu.edu.tr)

Keywords: Large neighborhood search algorithm, Location inventory and routing problem, Defective items, Shortages

1. GİRİŞ

Firmalar, küreselleşme ile değişen pazar koşullarına adapte olmak ve rekabetçi yapılarını koruyabilmek için lojistik faaliyetlerini de üretim faaliyetleri gibi verimlilik temelinde tasarlamalıdır. Lojistik maliyetleri de firma giderlerinin önemli bir kısmını oluşturduğu için etkin bir şekilde yönetilmelidir. Bu kapsamda, lojistik ağlarının tasarımında üretim ve depolama birimlerinin yerleşim yerlerinin seçimi ve bu birimler ile talep noktalarını birbirine bağlayacak rotaların oluşturulması tedarik zinciri yönetiminde karşılaşılan önemli optimizasyon problemlerinden biridir. Etkin bir lojistik ağının tasarımı, yerleşim yeri belirleme ve belirlenen yerleşimlerden talep noktalarına taşımayı gerçekleştiren araçların rotalarına karar vermeyi içeren iki kombinatorik optimizasyon probleminden oluşur (Prodhon ve Prins, 2014). Bu iki optimizasyon probleminin birleşimi yerleşim-rotalama problemi olarak bilinir (Laporte, 1988; Salhi ve Rand, 1989). Literatürde gezgin satıcı probleminin çeşitli kısıtlar ve araçlar eklenerek geliştirilmiş hali olarak bilinen yerleşim rotalama problemi tipik olarak üç karardan oluşur. Bunlar; tesislerin sayısının ve konumlarının belirlenmesi, tesislere talep noktalarının atanması ve araç rotalarının tasarımıdır (Lopes ve diğ., 2013). Liu ve Lee (2003) tek ürün ve çoklu depo için bir yerleşim envanter modeli önermiştir. Önerilen modelin amacı depo kurulum maliyeti ve sipariş, elde bulundurma ve karşılanamayan talep maliyetlerinin en küçüklenmesidir. Modelde ulaşım kararlarına yer verilmemiştir. Ambrosino ve Scutellà (2005) homojen olmayan araçlar için envanter, tesis ve ulaşım kararlarını veren yerleşim-envanter-rotalama problemi konusunda çalışmıştır. Bu çalışmada ele alınan problemde araçların kapasite kısıtları aynıdır. Javid ve Azad (2010), yerleşim envanter rotalama problemi için tabu arama ve tavlama benzetimi algoritmalarını birlikte kullanan melez bir algoritma önermiştir. Huang ve Lin (2010) çoklu ürün envanter yönetimi ve araç rotalama problemleri için karınca koloni optimizasyonu meta sezgiselini geliştirmiştir. Sajjadi ve Cheraghi (2011) çoklu ürün envanter problemi için yerleşim-envanter-rotalama modelinin genişletilmiş versiyonu ile çalışmıştır. Guerrero ve diğ. (2015) depo açma, dağıtım ve envanter maliyetlerini aynı anda dikkate alarak maliyetleri en küçükleyen bir model geliştirmiştir. Modelde tedarik zincirinin üç aşaması ele alınmıştır. Ürünün fabrikada üretimi, merkez depoda depolanması ve müşterilere dağıtım aşamaları yer almıştır. Gholamian ve Heydari (2017) envanter-rotalama modeli önermiştir. Envanter problemini çözmek için genetik algoritma ve yerleşim-rotalama problemini çözmek için tavlama benzetimi yöntemlerini içeren melez bir çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Rayat ve diğ. (2017) iki amacı olan bir yerleşim envanter rotalama problemi (YERP) modelini önermiştir. Birinci amaç, toplam tedarik zinciri ağ maliyetini en aza indirmek ve ikincisi ise beklenen hata maliyetini en aza indirmektir. Çalışmada çoklu-ürün, çoklu-dönem, kısmi karşılanamayan talep ve bozulma riski ele alınmıştır. Modelin çözümü için arşivlenmiş çok amaçlı tavlama benzetimi (AMOSA) meta-sezgiseli uygulanmıştır.

Değişen pazar koşulları ile birlikte firmalar, atıklar, envanter yönetimi ve dinamik müşteri taleplerine kısa sürede uyum sağlama gibi sorunlarla da başa çıkmalıdır. Tedarik zinciri yönetimi açısından bakıldığında envanter yönetimi en önemli problemlerden biridir. Envanter yönetimini ele alan optimizasyon problemleri yerleşim-envanter problemi olarak anılmaktadır. Literatürde birçok çalışma yukarıda değinilen optimizasyon problemlerinin üçünü birlikte ele almak yerine ikili kombinasyonları için çözüm yöntemleri geliştirmeyi amaçlamıştır (Nagy ve Salhi, 2007; Moin ve Salhi, 2007; Daskin ve diğ., 2002; Diabat ve diğ., 2013). Bu modellere yerleşim-envanter, yerleşim-rotalama ve envanter-rotalama modelleri denir. Ele alınan problemlerin çoğu tek tip ürünün üretildiği süreçlerle ilgilidir. Bununla birlikte literatürde yerleşim ve ulaşım problemlerini birlikte değerlendiren araştırmalara ender rastlanmaktadır (Farahani ve diğ., 2015; Miranda ve Garrido, 2008; Mak ve Shen, 2009; Miranda ve Garrido, 2009; Gebennini ve diğ., 2009; Javid ve Azad, 2010; Jha ve diğ., 2012; Naseraldin ve Herer, 2011; Diabat ve diğ., 2013; Sajjadi ve Cheraghi, 2011).

Bu çalışmada envanter, yerleşim ve rotalama problemleri birlikte ele alınmış olup her müşterinin birden fazla ürün çeşidine talebi vardır ve bir müşteri tüm ürünlere olan talebini tek bir tesisten karşılamaktadır. Ayrıca tesisler potansiyel olarak belirli oranlarda hatalı üretim yapmaktadır ve dolayısıyla karşılanamayan talepler oluşabilmektedir ve bu durum ilave maliyetlere neden olmaktadır. Bu noktada, mevcut literatürde, yerleşim envanter rotalama problemleri için ürün çeşitliliği ve hatalı üretim süreci dikkate alınarak yapılan çalışmaların eksikliği dikkat çekmektedir. Problemden eş zamanlı olarak alınması gereken kararlar: 1) tesislerin konum kararları 2) tedarik zincirinin her iki kademesinde envanter kararları 3) müşterilerin tesislere atanma kararları 4) rota kararlarıdır. Çalışmanın amacı, karşılanamayan talepli çoklu ürün yerleşim envanter rotalama probleminin formal tanımını yapmak, çözüm yöntemi geliştirmek ve önerilen meta-sezgisel algoritmanın uygulanabilirliğini göstermektir.

Çalışmanın ilerleyen bölümleri şu şekilde tasarlanmıştır: Bölüm 2’de problem tanımlanmıştır. Çoklu ürünün karşılanamayan talebine izin verilip yerleşim envanter rotalama problemi ile ortak sipariş verme politikası birlikte ele alınmıştır. Karşılanamayan talepli ekonomik sipariş miktarı ve yerleşim rotalama problemi birleştirilerek geliştirilen matematiksel model ile problemin formal tanımı yapılmıştır. Bölüm 3’te problemin çözümü için geliştirilen büyük komşuluk arama algoritması anlatılmıştır. Geliştirilen algoritmanın sayısal bulgularına ve literatürdeki diğer algoritmalarla yapılan karşılaştırmalı sonuçlarına Bölüm 4’te yer verilmiştir. Çalışmanın sonuçları ve gelecekte yapılacak çalışmalar Bölüm 5’te anlatılmıştır.

2. PROBLEMİN TANIMI

Bu bölümde ele alınan problemin formal tanımını yapmak için geliştirilen matematiksel modele yer verilmektedir. Önerilen matematiksel model karşılanamayan talepli ekonomik üretim miktarı modeli ile yerleşim rotalama modelinin birleşiminden oluşmaktadır. Modelde kullanılan notasyonlar tanımları ile birlikte Tablo 1.’de gösterilmiştir.

2.1. Karşılanamayan Talepli Ekonomik Üretim Miktarı Modeli

Bu bölümde Hsu ve Hsu (2016) tarafından önerilen tek tip ürün için kusurlu bir üretim süreci altında, üreticinin en uygun üretim parti büyüklüğünü ve karşılanamayan talep miktarını belirleyen model yine kusurlu üretimlerin olabileceği çoklu ürün üretim süreçlerine uyarlanmıştır.

Tablo 1. Matematiksel Modelde Kullanılan Semboller ve Tanımları

Sembol	Tanım
Q	Üretim miktarı
DF	Yıllık talep
PR	Yıllık üretim oranı
B	Karşılanamayan talep miktarı
c	Üretim maliyeti
S	Üretim başına kurulum maliyeti
c_i	Üretim başına test maliyeti
c_h	Yıllık elde bulundurma maliyeti
c_b	Karşılanamayan talebin maliyeti
γ	Hurda oranı
TC	Yıllık toplam maliyet

Tablo 1. (devamı)

Matematiksel Model	İndeksler	
	f	Arz noktaları
	i, j, k, l	Talep noktaları
	p	Ürünler
	Parametreler	
	F	Potansiyel arz noktaları
	I	Hizmet bekleyen talep noktaları
	P	Ürünler
	O_f	f arz noktasını açma maliyeti
	D_{ip}	i talep noktasının p ürününe olan yıllık talebi
	C_{ij}	i . talep noktasından j . talep noktasına olan ulaşım maliyeti
	T_{if}	i . talep noktasından f . arz noktasına olan ulaşım maliyeti
	V	Araç kapasitesi
	α_p	Ürünün hacim / ebat birimi katsayısı
	c_{pf}	f arz noktasındaki p . ürünün birim üretim maliyeti
	c_i^{pf}	f arz noktasındaki p . ürünün birim test maliyeti
	c_h^{pf}	f arz noktasındaki p . ürünü yıllık elde bulundurma maliyeti
	c_b^{pf}	f arz noktasındaki p . ürünün talebinin yıllık karşılanamama maliyeti
	S_{pf}	f arz noktasındaki p . ürünün üretim başına kurulum maliyeti
	PR_{pf}	f arz noktasındaki p . ürünün yıllık üretim oranı
	γ_{pf}	f arz noktasındaki p . ürünün hurda oranı
	Karar Değişkenleri	
	$Z_f \in \{0, 1\}$	f . arz noktası açılıyorsa 1, aksi takdirde 0
	$X_{if} \in \{0, 1\}$	i müşterisi f arz noktasına atandıysa 1, aksi takdirde 0
	$Y_{ijf} \in \{0, 1\}$	f arz noktasının güzergahında i müşterisi j müşterisinden önce geliyorsa 1, aksi takdirde 0
	$E_{if} \in \{0, 1\}$	f arz noktasının güzergahında i müşterisi ilk sırada ziyaret ediliyorsa 1, aksi takdirde 0
	$L_{if} \in \{0, 1\}$	f arz noktasının güzergahında i müşterisi son sırada ziyaret ediliyorsa 1, aksi takdirde 0
	TC_{pf}	f arz noktasındaki p . ürünün yıllık toplam maliyeti
	DF_{pf}	f arz noktasından karşılanan p . ürünün toplam yıllık talebi
	Q_{pf}	f arz noktasında üretilen p ürününün üretim miktarı
	B_{pf}	f arz noktasındaki p ürününün karşılanamayan talep miktarı
	t_f	f arz noktasından talep noktalarına hizmet eden araç sayısı
Yardımcı Değişkenler		
$w_{ijf} \in \{0, 1\}$	Talep noktası i güzergah üzerindeki talep noktası j 'den daha önce ziyaret edilmişse 1, Aksi takdirde 0	

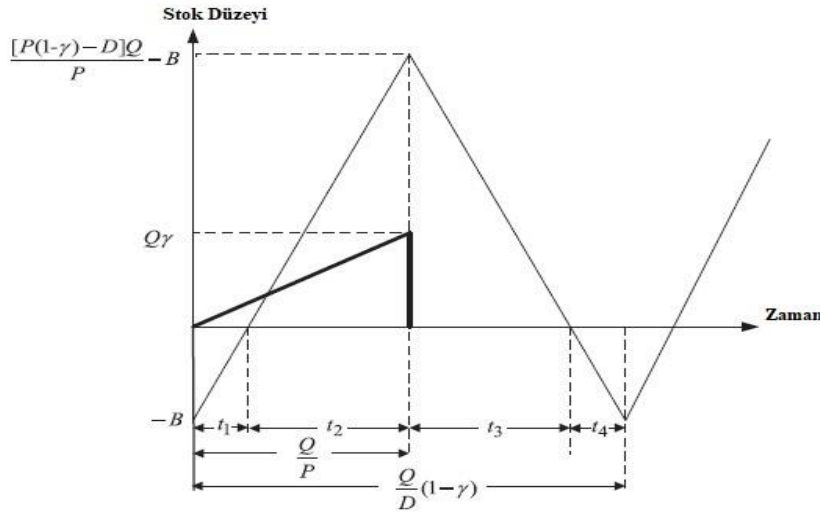
Hsu ve Hsu (2016) tarafından önerilen modelin amaç fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$TC(Q, B) = c \frac{DF}{(1-\gamma)} + c_i \frac{DF}{(1-\gamma)} + S \frac{DF}{Q(1-\gamma)} + \frac{1}{2} c_h \frac{\left(Q \left(1-\gamma - \frac{DF}{PR}\right) - B\right)^2}{Q \left(1-\gamma - \frac{DF}{PR}\right)} + \frac{1}{2} c_b \frac{B^2}{Q \left(1-\gamma - \frac{DF}{PR}\right)} + \frac{1}{2} c_h \frac{Q\gamma DF}{PR(1-\gamma)} \quad (1)$$

Amaç fonksiyonunun 1. dereceden türevi alınarak aşağıdaki eşitliklerde sırasıyla optimal üretim parti büyüklüğü Q (2.eşitlik) ve karşılanamayan talep miktarı B (3.eşitlik) elde edilir.

$$Q = \sqrt{\frac{2DFS}{c_h} \frac{c_h + c_b}{\left(c_b(1-\gamma) \left(1-\gamma - \frac{DF}{PR}\right) + (c_h + c_b)\gamma \frac{DF}{PR}\right)}} \quad (2)$$

$$B = Q \left(1-\gamma - \frac{DF}{PR}\right) \frac{c_h}{(c_h + c_b)} \quad (3)$$



Şekil 1:
Stok Düzeyi Davranışı (Hsu ve Hsu, 2014)

Yukarıda bahsedilen ekonomik üretim miktarı modeli, bir fabrikanın bir ürün ürettiğini varsayar; Bununla birlikte, bu çalışma bağlamında çok fabrikalı, çok müşterili ve çoklu ürün vakaları ele alınmıştır. Her bir tedarik noktası, kendi ekonomik üretim miktarı modeliyle bir talep noktaları kümesine hizmet eder. Bu nedenle her tedarik noktasının toplam yıllık maliyet fonksiyonu, özel üretim parti büyüklüğü ve karşılanamayan talebin maksimum miktar seviyesi bulunmaktadır. Dolayısıyla, yukarıda verilen envanter modeli, çok fabrikalı, çok müşterili ve çoklu ürün vakalarına uygun olması için bazı değişiklikler gerektirmiştir. Sonuç olarak, eşitlikler (1), (2) ve (3) sırasıyla eşitlikler (4), (5) ve (6) olarak yeniden düzenlenmiştir.

$$\begin{aligned}
 TC_{pf}(Q_{pf}, B_{pf}) = & c_{pf} \frac{DF_{pf}}{(1 - \gamma_{pf})} + c_i^{pf} \frac{DF_{pf}}{(1 - \gamma_{pf})} + S_{pf} \frac{DF_{pf}}{Q_{pf}(1 - \gamma_{pf})} \\
 & + \frac{1}{2} c_h^{pf} \frac{\left(Q_{pf} \left(1 - \gamma_{pf} - \frac{DF_{pf}}{PR_{pf}}\right) - B_{pf}\right)^2}{Q_{pf} \left(1 - \gamma_{pf} - \frac{DF_{pf}}{PR_{pf}}\right)} \\
 & + \frac{1}{2} c_b^{pf} \frac{(B_{pf})^2}{Q_{pf} \left(1 - \gamma_{pf} - \frac{DF_{pf}}{PR_{pf}}\right)} + \frac{1}{2} c_h^{pf} \frac{Q_{pf} \gamma_{pf} DF_{pf}}{PR_{pf}(1 - \gamma_{pf})}
 \end{aligned} \tag{4}$$

$$Q_{pf} = \sqrt{\frac{2DF_{pf}S_{pf}}{c_h^{pf}} \frac{c_h^{pf} + c_b^{pf}}{\left(c_b^{pf}(1 - \gamma_{pf}) \left(1 - \gamma_{pf} - \frac{DF_{pf}}{PR_{pf}}\right) + (c_h^{pf} + c_b^{pf})\gamma_{pf} \frac{DF_{pf}}{PR_{pf}}\right)}}} \tag{5}$$

$$B_{pf} = Q_{pf} \left(1 - \gamma_{pf} - \frac{DF_{pf}}{PR_{pf}}\right) \frac{c_h^{pf}}{(c_h^{pf} + c_b^{pf})} \tag{6}$$

4. eşitlik, ilgili tedarik zincirinin toplam yıllık maliyetini, 5. eşitlik her bir tedarik noktasında üretilen her bir p ürünü için üretim parti büyüklüğünü ve son olarak 6. eşitlik her bir tedarik noktasındaki her bir ürünün karşılanamayan talep miktarını belirler.

2.2. Problem Formülasyonu

Bu bölümde ele alınan yerleşim-envanter-rotalama probleminin formal tanımının yapılması amacı ile geliştirilen matematiksel model açıklanmıştır. Önerilen doğrusal olmayan karışık tamsayı programlama modeli ile ilgili varsayımlar aşağıda maddeler halinde sıralanmış ve sonrasında modelin kısıtları açıklamaları ile birlikte verilmiştir.

- Açılan her tesis için bir araç vardır. Her araç birden fazla tur yapabilir.
- Bir araç tarafından karşılanan toplam müşteri talebi, bir aracın kapasite kısıtını aşamaz.
- Her müşteri, sadece kendisine atanan tek bir araç tarafından ziyaret edilebilir.
- Bir tesise atanan müşterilerin toplam talebi, tesisin kapasite kısıtını aşamaz.
- Bir rota tesisten başlayıp bir dizi müşteri ziyaretinden sonra aynı tesiste son bulur.

Aşağıda ele alınan problem için matematiksel model açıklanmıştır.

$$\begin{aligned}
 \text{Min} \quad & \sum_{f=1}^F (O_f Z_f) + \sum_{f=1}^F \left(t_f \left(\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^I (C_{ij} Y_{ijf}) + \sum_{i=1}^I (T_{if} E_{if} + T_{if} L_{if}) \right) \right) \\
 & + \sum_{f=1}^F \sum_{p=1}^P \left(c_{pf} \frac{DF_{pf}}{(1-\gamma_{pf})} \right) + \sum_{f=1}^F \sum_{p=1}^P \left(c_i^{pf} \frac{DF_{pf}}{(1-\gamma_{pf})} \right) \\
 & + \sum_{f=1}^F \sum_{p=1}^P \left(S_{pf} \frac{DF_{pf}}{Q_{pf}(1-\gamma_{pf})} \right) \\
 & + \frac{1}{2} \sum_{f=1}^F \sum_{p=1}^P \left(c_h^{pf} \frac{\left(Q_{pf} \left(1 - \gamma_{pf} - \frac{DF_{pf}}{PR_{pf}} \right) - B_{pf} \right)^2}{Q_{pf} \left(1 - \gamma_{pf} - \frac{DF_{pf}}{PR_{pf}} \right)} \right) \\
 & + \frac{1}{2} \sum_{f=1}^F \sum_{p=1}^P \left(c_b^{pf} \frac{(B_{pf})^2}{Q_{pf} \left(1 - \gamma_{pf} - \frac{DF_{pf}}{PR_{pf}} \right)} \right) + \frac{1}{2} \sum_{f=1}^F \sum_{p=1}^P \left(c_h^{pf} \frac{Q_p \gamma_{pf} DF_{pf}}{PR_{pf} (1-\gamma_{pf})} \right)
 \end{aligned} \tag{7}$$

$$\sum_{i=1}^I X_{if} = 1 \quad f \in \{1, \dots, F\} \tag{8}$$

$$Z_f - \frac{\sum_{i=1}^I X_{if}}{I} \geq 0 \quad f \in \{1, \dots, F\} \tag{9}$$

$$w_{iif} = 0 \quad f \in \{1, \dots, F\}; i \in \{1, \dots, I\} \tag{10}$$

$$w_{ijf} + w_{jif} \leq (1 - X_{if} + X_{jf}) \quad i, j \in \{1, \dots, I\} | j \neq i; f \in \{1, \dots, F\} \tag{11}$$

$$w_{ijf} + w_{jif} \leq X_{if} + X_{jf} \quad i, j \in \{1, \dots, I\} | j \neq i; f \in \{1, \dots, F\} \tag{12}$$

$$w_{ijf} + w_{jif} \leq (1 + X_{if} - X_{jf}) \quad i, j \in \{1, \dots, I\} | j \neq i; f \in \{1, \dots, F\} \tag{13}$$

$$w_{ijf} \geq w_{ikf} + w_{kif} - 1 \quad i, j, k \in \{1, \dots, I\}; f \in \{1, \dots, F\} \tag{14}$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^I w_{ijf} = \sum_{i|(i < \sum_{k=1}^I X_{kf})}^I i \quad f \in \{1, \dots, F\} \tag{15}$$

$$\sum_{j=1}^I \sum_{f=1}^F Y_{ijf} \leq 1 \quad i \in \{1, \dots, I\} \tag{16}$$

$$Y_{ijf} + Y_{jif} \leq 1 \quad i, j \in \{1, \dots, I\}; f \in \{1, \dots, F\} \tag{17}$$

$$\sum_{f=1}^F Y_{iif} = 0 \quad i \in \{1, \dots, I\} \tag{18}$$

$$|X_{if} + X_{jf} - 1| - \left| \sum_{k=1}^I (w_{ikf}) - \sum_{l=1}^I (w_{jlf}) - 1 \right| \leq Y_{ijf} \quad i, j \in \{1, \dots, I\}; f \in \{1, \dots, F\} \tag{19}$$

$$X_{if} - \left(\sum_{j=1}^I w_{ijf} \right) \leq L_{if} \quad i \in \{1, \dots, I\}; f \in \{1, \dots, F\} \tag{20}$$

$$X_{if} - \left(\sum_{j=1}^I w_{jif} \right) \leq E_{if} \quad i \in \{1, \dots, I\}; m \in \{1, \dots, M\} \quad (21)$$

$$\frac{(\sum_{i=1}^I \sum_{p=1}^P (\alpha_p D_{ip} X_{if}))}{V_f} \leq t_f \quad f \in \{1, \dots, F\} \quad (22)$$

$$\sum_{i=1}^I (D_{ip} X_{if}) - PR_{pf}(1 - \gamma_{pf}) \leq 0 \quad f \in \{1, \dots, F\}; p \in \{1, \dots, P\} \quad (23)$$

$$PR_{pf} - Q_{pf} \geq 0 \quad f \in \{1, \dots, F\}; p \in \{1, \dots, P\} \quad (24)$$

$$DF_{pf} = \sum_{i=1}^I (D_{ip} X_{if}) \quad f \in \{1, \dots, F\}; p \in \{1, \dots, P\} \quad (25)$$

$$Q_{pf} = \sqrt{\frac{2DF_{pf}S_{pf}}{c_h^{pf}} \frac{c_h^{pf} + c_b^{pf}}{\left(c_b^{pf} (1 - \gamma_{pf}) \left(1 - \gamma_{pf} - \frac{DF_{pf}}{PR_{pf}} \right) + (c_h^{pf} + c_b^{pf}) \gamma_{pf} \frac{DF_{pf}}{PR_{pf}} \right)}}} \quad f \in \{1, \dots, F\}; p \in \{1, \dots, P\} \quad (26)$$

$$B_{pf} = Q_{pf} \left(1 - \gamma_{pf} - \frac{DF_{pf}}{PR_{pf}} \right) \frac{c_h^{pf}}{(c_h^{pf} + c_b^{pf})} \quad f \in \{1, \dots, F\}; p \in \{1, \dots, P\} \quad (27)$$

Amaç, sekiz terimden oluşan toplam maliyet değerini en küçükleme (7). Birinci terim, tesislerin sabit açma maliyetidir. Sırasıyla, ikinci terim tedarikçiden müşteriye taşıma maliyetinin, üçüncü terim yıllık toplam üretim maliyetini, dördüncü terim yıllık toplam test maliyetini, beşinci terim yıllık toplam kurulum maliyetini, altıncı terim yıllık toplam elde bulundurma maliyetini, yedinci terim karşılanamayan talebin toplam maliyetini ve sekizinci terim her tesis ve ürün için hasarlı ürünlerin yıllık elde bulundurma maliyetini ifade etmektedir. Yıllık üretim ve test maliyeti, üretim parti büyüklüğü ile karşılanamayan talebin miktarından bağımsızdır. Atama kısıtı (8), her bir müşterinin bir tesise atanmasını garanti eder. Kısıt (9), en az bir tane müşteri atanmış tesisin açılmasını sağlar. Kısıt (10), müşterinin kendisi için bir öncelik atanmasını yapmamasını sağlar. 11, 12, 13, 17 ve 19. kısıtlar iki müşterinin aynı tesise atanması durumunda, ikisinin öncelik sırasına göre sıralanmasını sağlar. Kısıt (14), hepsi aynı tesise atanmışsa, üç müşterinin sıralanmasını garanti eder. Müşteri i , müşteri j 'den önce gelirse ve müşteri j ile k arasında aynı ilişki varsa, müşteri i , müşteri k 'den önce gelir. Kısıt (15), alt turların oluşmasını engellerken Kısıt (16), i . müşteriden sonra en fazla bir müşterinin ziyaret edilmesini sağlar. (20) ve (21) numaralı kısıtlar sırasıyla oluşan her rota için ilk ve son sırada ziyaret edilecek müşterileri belirler. Kısıt (22), müşteri talebinin araç kapasitesini aştığı durumlarda aracın birden fazla tur yapabileceğini gösterir. Kısıt (23), bir tesise atanan müşterilerin her bir ürüne olan talepleri toplamının o ürün için tesisin üretim kapasite kısıtını aşmamasını sağlar. Kısıt (24), bir tesiste üretilen ürünün miktarının ilgili tesisin o ürün için var olan kapasite kısıtını aşmamasını sağlar. Kısıt (25), bir tesise atanan müşterilerin toplam talebinin tesisin toplam yıllık üretim kapasitesi kadar olmasını sağlar. Kısıt (26) her bir tedarik noktasındaki her bir ürün için üretim parti büyüklüğünü gösterir. Kısıt (27) her bir tedarik noktasındaki her bir ürün için karşılanamayan talep miktarını gösterir.

3. BÜYÜK KOMŞULUK ARAMA ALGORİTMASI

Bu bölümde problemin çözümü için geliştirilen Büyük Komşuluk Arama (BKA) Algoritması açıklanmaktadır (Shaw, 1998). Komşuluk aramalarına dayanan sezgisel yaklaşımlar ulaşım ve çözelgeleme problemlerinin çözümünde etkin bir performansa sahiptir. Büyük komşuluk arama yöntemleri, sezgisel yöntemleri kullanarak karmaşık bir komşuluğu keşfetmektedir. Büyük komşulukları kullanmak her tekrarda daha iyi aday çözümler bulmayı ve dolayısıyla daha umut verici bir arama yolunu bulmayı mümkün kılmaktadır. Algoritmanın iki temel operatörü bulunmaktadır. Bu operatörler yok etme ve onarım operatörleridir. Bir yok etme operatörü, mevcut çözümün bir parçasını yok ederken, bir onarım operatörü yıkılan çözümü yeniden oluşturmaktadır. Her tekrarda çözümün, algoritma tarafından karar verilen bir bölümü mevcut durumdan çıkarılıp bir olursuz çözüm elde edilir. Çıkarılan bölümün her elemanı daha iyi sonuç bulmak amacıyla tekrar eklenir ve olurlu çözüm elde edilir. Büyük komşuluk arama algoritmasının sözde kodu Şekil 2’de gösterilmiştir.

ALGORİTMA 1: BKA Meta-sezgiseli

```
1 Fonksiyon BKA (  $x \in \{\text{çözüm}\}, q \in \mathbb{N}$  )
2   çözüm  $x_{eniye} = x$ ;
3   tekrarla
4      $x' = x$ ;
5      $x'$  den  $q$  adet isteği çıkar;
6      $x'$  e çıkarılan istekleri tekrar ekle;
7     eğer (  $c(x') < c(x_{eniye})$  ) ise
8        $x_{eniye} = x'$ ;
9     eğer kabul (  $x', x$  ) ise
10       $x = x'$ ;
11   durdurma kriteri sağlanana kadar
12 geriye dön  $x_{eniye}$ ;
```

Şekil 2:

Büyük Komşuluk Arama Algoritması

3.1. Çözüm Gösterimi

Yirmi müşteri ve beş depodan oluşan bir problem için çözüm gösterimi Şekil 3’de verilmiştir. Yerleşim envanter rotalama problemi için x çözümü, $D = s \times (m + 5)$ boyutlu bir matriste gösterilmiştir. M toplam müşteri sayısını ve s toplam depo sayısını gösterir. Sütun sayısının müşteri sayısından fazla olma nedeni bir depoda bulunan farklı rotaların 0 ile ayrılarak gösterilmesidir.

Çözüme göre 23 ve 24 numara ile gösterilen üçüncü ve dördüncü depolar müşterilere hizmet vermek üzere açılmıştır. Üçüncü depoda iki ayrı rota bulunur. İlk rota depodan başlar ve sırasıyla 20, 7, 15, 16, 10, 2, 18, 1 ve 17 numaralı müşterilere hizmet eder ve başlangıç noktasına geri döner. Aynı şekilde, ikinci rota depodan başlayarak 8, 19 ve 3 numaralı müşterilere hizmet eder ve depoya geri döner. Dördüncü depoda tek rota bulunur. Araç tura depodan başlar ve 12, 13, 5, 14, 11, 4, 9 ve 6 numaralı müşterileri ziyaret ederek depoya geri döner.

parametresi, müşterilerin en fazla %30'u çıkarılacak şekilde her tekrarda [15 30] aralığından rasgele belirlenmiştir. Sezgisel olarak sözde kod Şekil 4'de gösterilmiştir.

ALGORİTMA 2: En kötüyü yok etme operatörü

- 1 **Fonksiyon** EnKötüyüYokEtme
($x \in \{\text{çözüm}\}$, $q \in \mathbb{N}$, $p \in \mathbb{R}_+$)
- 2 **eğer** $q > 0$ ise devam et
- 3 $L =$ Tüm isteklerin(i) azalan maliyete göre sıralandığı küme, $\text{maliyet}(i,s)$;
- 4 $[0,1)$ arasında rasgele y sayısı üret;
- 5 istek: $r = L[y^p | L]$;
- 6 x çözümünden r isteğini çıkar;
- 7 $q = q-1$;
- 8 **dur**

Şekil 4:
Yok etme Sezgiseli

3.3. Onarım Operatörü

Yok etme sezgisellerine benzer şekilde, literatürde çok basit aynı zamanda etkili onarım sezgiselleri bulunmaktadır. Basit ağgözlü onarım sezgiseli, yok etme listesinde bulunan tüm talepler için en ucuz ekleme maliyetini hesaplar. Ekleme maliyeti, çözümde talep olmadan elde edilen toplam maliyet ile çözüme talep eklendikten sonra elde edilen maliyet arasındaki farktır. En küçük maliyet farkına sahip talep, çözüme tekrar eklenir. Bu süreç, tüm talepler çözüme ekleninceye kadar devam eder. Bu sezgiselde dikkate alınması gereken önemli nokta, her tekrarda tüm rotalardaki maliyetlerin yeniden hesaplanmasına gerek olmamasıdır. Talebin eklendiği rota için maliyet hesabı yapmak yeterlidir. Bu özellik onarım sezgiselini hızlandırmak için kullanılır. Bir diğer onarım sezgiseli olan pişmanlık sezgiselinde, müşteriler pişmanlık değerlerine göre çözüme eklenir. Pişmanlık değeri, en iyi ekleme pozisyonu ile ikinci en iyi arasındaki farktır. Buna göre öncelikle yüksek pişmanlık değeri olan müşteriler çözüme eklenir. Pişmanlık sezgiseli, basit ağgözlü sezgiselden farklı olarak yalnızca en küçük ekleme maliyetini dikkate almak yerine ikinci en ucuz, üçüncü en ucuz ve t . en ucuz maliyetleri de hesaba katar. Δf_i^t , i . müşterinin t . en ucuz pozisyonunun maliyeti olmak üzere, pişmanlık- k sezgiseli, eklenecek müşteriyi S müşteri havuzundan $\text{maks } i \in S (\sum_{t=2}^k \Delta f_i^t - \Delta f_i^1)$ göre seçer. Pişmanlık sezgiselinin en önemli avantajı, ileriye dönük bilgileri kullanıp daha iyi konumlar artık mevcut olmadığından, bir müşteriyi zayıf bir konuma yerleştirmemiz gereken durumları önlemesidir.

3.4. Çözüm Kabulü

Mevcut çözümden daha iyi olan çözümün kabulü basit bir kabul kıstası olup çözümün yerel minimumda sıkışmasına neden olabilir. Bu nedenle, mevcut çözümden daha kötü olan çözümleri kabul etmek bu durumu aşmaya yardımcı olabilir. Bunun için, bu çalışmada kabul kıstası olarak tavlama benzetimi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde göre, sıcaklık $T > 0$ olmak üzere, mevcut çözüm x in $e^{-(f(x')-f(x))/T}$ olasılığıyla birlikte bulunan x' yeni çözümü kabul edilir.

Sıcaklık değeri T_{ilk} ile başlar ve her tekrarda $T = T \times \alpha$ eşitliği kullanılarak güncellenir, burada $0 < \alpha < 1$ soğutma oranıdır. Literatürde bulunan çalışmalar esas alınarak problem tipleri için $T_{ilk} = 1000$ ve $\alpha = 0,5$ olarak kabul edilmiştir.

Algoritma, başlangıçta belirlenen en büyük tekrar sayısına ulaştığında durur.

4. SAYISAL BULGULAR

Önerilen meta sezgisel algoritma MATLAB R2016a paket programında kodlanmıştır. Program, Intel (R) Core i5 CPU 2.50 Ghz and 8.00 GB RAM özellikli bir bilgisayarda çalıştırılmıştır.

Literatürde çoklu ürün yerleşim-envanter-rotalama problemleri için karşılaştırmalı değerlendirme bulunmayıp modelin doğrulanması için URL1 kaynağından edinilen klasik yerleşim-rotalama örnekleri, test problem setleri olarak kullanılmıştır.

Karşılaştırma için ilk veri seti Barreto (2004)'nin çalışmasından alınmıştır. Bu veri setindeki örnekler ya literatürden ya da mevcut klasik VRP örneklerine depolar eklenerek elde edilmiştir. Bu veri setindeki tüm güzergâhlar kapasite kısıtlıdır ve birkaç örnek dışında depolar da kapasite kısıtlıdır. Depolara ilişkin değişken maliyetler bulunmamaktadır. Tüm müşterilerin tek bir ürün için talebi bulunmaktadır ve taleplerin hepsi karşılanmaktadır.

İkinci veri seti için ise Prins ve diğ. (2004)'nin çalışmasından yararlanılmıştır. Depolar kapasite kısıtlı olup depo sayısı 5 veya 10, müşteri sayısı 20 veya 50, araç kapasitesi de 70 ya da 150 olacak şekilde ayarlanmıştır. Karşılaştırma 20-50 müşteri ve 5 depo sayısı üzerinden yapılmıştır. Her talep, [11, 20] 'de uniform bir dağılım izlemektedir. Rota maliyetleri için Öklid uzaklıkları hesaplanmış, 100 ile çarpılmış ve sonraki tam sayıya yuvarlanmıştır.

Tablo 2: Problem Setlerinin Karşılaştırmalı Sonuçları

Prob ID	s	m	V	BEİS	GRASP	MA PM	LRGTS	GAHLS	BKA*
P1	20	5	70	54,793	55,021	54,793	55,131	54,793	54,793
P2	20	5	150	39,104	39,104	39,104	39,104	39,104	39,104
P3	20	5	70	48,908	48,908	48,908	48,908	48,908	48,908
P4	20	5	150	37,542	37,542	37,542	37,542	37,542	37,542
P5	50	5	70	90,111	90,632	90,160	90,160	90,111	90,389
P6	50	5	150	63,242	64,761	63,242	63,256	63,469	63,242
P7	50	5	70	88,298	88,786	88,298	88,715	88,709	88,298
P8	50	5	150	67,308	68,042	67,893	67,698	67,353	67,340
P9	50	5	70	84,055	84,055	84,055	84,181	84,409	84,055
P10	50	5	150	51,822	52,059	51,822	51,992	51,902	51,851
P11	50	5	70	86,203	87,380	86,203	86,203	86,203	86,660
P12	50	5	150	61,830	61,890	61,830	61,83	62,763	62,153
B1	21	5	6000	424,9	424,9	424,9	424,9	424,9	425,7
B2	22	5	4500	585,1	585,1	611,8	587,4	585,1	596,8
B3	27	5	2500	3062	3062	3062	3065,2	3062	3062
B4	29	5	4500	512,1	515,1	512,1	512,1	512,1	534,8
B5	32	5	8000	562,2	571,9	571,9	587,4	562,2	579,6

BKA*: Önerilen büyük komşuluk arama algoritması

P: Prins vd. (2004) 'nin problem seti

B: Barreto (2004) 'nin problem seti

Tablo 2, problem seti bilgisini ve önerilen Büyük Komşuluk Arama Algoritması ile literatürdeki diğer algoritmalar ile elde edilen çözümlerin karşılaştırmasını göstermektedir. 2'den 5'e kadar olan sütunlarda sırasıyla müşteri sayısı (*s*), aday tesislerin sayısı (*m*), araç kapasiteleri (*V*) ve literatürde bilinen en iyi sonuçlar (BEİS) verilmiştir. 6'dan 9'a kadar olan sütunlarda ise sırasıyla, literatürde GRASP (Prins ve diğ., 2006b), MA|PM (Prins ve diğ., 2006a), LRGTS (Prins ve diğ., 2007) ve GAHLS (Duhamel ve diğ., 2008) şeklinde önerilen

algoritmaların en iyi çözümleri verilmiştir. Son sütunda ise bu çalışmada önerilen Büyük Komşuluk Arama (BKA) algoritmasının her veri seti için bulunan en iyi çözümleri verilmiştir.

Aşağıda verilen değerlendirme sonuçlarına göre her iki veri setinde de en iyi sonuçlar bulunmuş ya da en iyi sonuçlara yaklaşılmıştır.

Tablo 3: Problem Setlerinin Karşılaştırmalı Sonuçları

Prob ID	GRASP		MA PM		LRGTS		GAHLS		BKA*	
	E(%)	CPU(s)	E(%)	CPU(s)	E(%)	CPU(s)	E(%)	CPU(s)	E(%)	CPU(s)
P1	0,42	0,2	0,00	0,3	0,62	0,4	0,00	0	0,00	13,6
P2	0,00	0,2	0,00	0,3	0,00	0,2	0,00	0	0,00	63,1
P3	0,00	0,1	0,00	0,4	0,00	0,5	0,00	0	0,00	19,7
P4	0,00	0,2	0,00	0,3	0,00	0,1	0,00	0	0,00	189,1
P5	0,58	1,8	0,05	2,6	0,05	0,3	0,00	6	0,00	9383
P6	2,40	1,8	0,00	3,2	0,02	1	0,36	58	0,00	1209
P7	0,55	2,4	0,00	3,4	0,47	1,8	0,47	35	0,00	264
P8	1,09	2,5	0,87	2,9	0,58	1,8	0,07	65	0,00	5681
P9	0,00	1,7	0,00	3,2	0,15	2	0,42	28	0,00	5387
P10	0,46	2,6	0,00	4,2	0,33	0,9	0,15	27	0,00	1018
P11	1,37	2,3	0,00	3,1	0,00	0,3	0,00	39	0,01	2193
P12	0,10	2	0,00	4,9	0,00	0,5	1,51	17	0,01	8485
B1	0,00	0,2	0,00	0	0,00	0,2	0,00	0	1,88	37,6
B2	0,00	0,2	4,56	4,56	0,39	0,2	0,00	0	1,99	26,3
B3	0,00	0,4	0,00	0	0,10	0,3	0,00	10	0,00	40,7
B4	0,59	0,4	0,00	0	0,10	0,4	0,00	1	4,43	69,5
B5	1,73	0,6	1,73	1,73	4,48	0,6	0,00	1	3,09	63,5

BKA*: Önerilen büyük komşuluk arama algoritması

E: Görelî yüzdellik etkinlik ($(\text{Algoritmanın çözüm sonucu} - \text{BKS}) / \text{BKS}$)

CPU: Algoritmaların çözüm süreleri (saniye)

Tablo 3, literatürde önerilen çözüm yöntemlerinin problem veri setleri için performans değerlerini göstermektedir. Performans değeri E, her bir çözüm yönteminden elde edilen sonuç değerleri ile literatürde bulunan en iyi sonuç değeri arasındaki farkın, en iyi sonuç değerine bölünmesi ile bulunmaktadır. Bu değer, çözüm algoritmalarının yüzdellik performanslarını hesaplamaktadır. CPU değerleri ise algoritmaların çözüm sürelerini göstermektedir. Çözüm süreleri, algoritmaların çalıştırıldığı bilgisayar ve program performans özelliklerine göre değişkenlik gösterebilmektedir. Aynı zamanda algoritma yapısının da bu süreleri etkilediği bilinmektedir. BKA'nın, dal-sınır tabanlı bir algoritma olması nedeniyle diğer çözüm algoritmalarına göre uzun süre çalıştığı gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada önerilen BKA algoritmasının çözüm süreleri diğer algoritmaların sürelerine göre daha uzun bulunmuş olup bu durum algoritmanın karmaşık kodlama yapısı ile ilişkilendirilebilir. Algoritma en iyi sonucu bulurken her tekrarda çözümden çıkarılan her bir talep noktasını tüm olası pozisyonlara ekleyerek performansa diğer bir deyişle toplam maliyete olan etkilerini kıyaslar. Bunun sonucunda talep noktasını maliyeti en küçüklediği pozisyonuna ekler. Ek olarak donanım özelliklerinin etkisi de çözüm sürelerinin kritik bir karşılaştırma ölçütü olmadığını gösterir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada kullanılan envanter modeli karşılanamayan talebi olan bir ekonomik üretim miktarı modelinden uyarlanmış ve çok üreticili çok ürünlü durum için ekonomik üretim miktarı modeli elde edilmiştir. Üretim sürecini ve dağıtım sürecini uygun maliyetli bir şekilde optimize eden yerleşim-envanter-rotalama probleminin formal tanımını geliştirilen matematiksel model, ekonomik üretim miktarı ve yerleşim-rotalama modellerinin entegrasyonu ile elde edilmiştir. Envanter-yerleşim-rotalama probleminin çözümü için bir büyük komşuluk arama algoritması geliştirilmiş ve algoritmanın performansı literatürden alınan 17 adet problem seti üzerinde test edilmiştir. Literatürdeki en iyi sonuçlar bulunmuştur veya en iyi sonuçlara yaklaşılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre önerilen meta sezgisel algoritmanın performansı umut verici olup literatürde bulunan diğer çok aşamalı karar verme kombinatorik optimizasyon problemlerine uygulanabilir. Gelecek çalışmalarda veri seti sayısının artırılması ve önerilen algoritmanın daha büyük ölçekli problemlere (müşteri sayısı 100 ve tesis sayısı 10) uygulanması hedeflenmektedir. Ayrıca, önerilen algoritmanın performans düzeyini artırabilmek için algoritmanın farklı versiyonlarının geliştirilmesi gelecek çalışmaların konusu olarak ele alınmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Ambrosino, D. and Scutellà, M. G. (2005) Distribution network design: new problems and related models, *European Journal of Operational Research*, 165, 610-624. doi: 10.1016/j.ejor.2003.04.009
2. Barreto, S. S. (2004), *Análise e Modelização de Problemas de localização e distribuição* [Analysis and modelling of location-routing problems], Ph.D.Thesis, University of Aveiro, Aveiro, Portugal.
3. Daskin, M.S., Coullard, C.R. and Shen, Z.J.M. (2002) An inventory location model: formulation, solution algorithm and computational results, *Annals of Operations Research*, 110, 83-106. doi: 10.1023/A:1020763400324
4. Diabat, A., Richard, J. P. and Codrington, C. W. (2013) A Lagrangian relaxation approach to simultaneous strategic and tactical planning in supply chain design, *Annals of Operations Research*, 203, 55-80. doi: 10.1007/s10479-011-0915-2
5. Duhamel, C., Lacomme, P., Prins, C. and Prodhon, C. (2008) A memetic approach for the capacitated location routing problem, *In Proceedings of the EU/meeting 2008 Workshop on Metaheuristics for Logistics and Vehicle Routing*, University of Technology of Troyes, France.
6. Farahani, R. Z., Rashidi Bajgan, H., Fahimnia, B. and Kaviani, M. (2015) Location-inventory problem in supply chains: a modelling review, *International Journal of Production Research*, 53, 3769-3788. doi: 10.1080/00207543.2014.988889
7. Gebennini, E., Gamberini, R. and Manzini, R. (2009) An integrated production–distribution model for the dynamic location and allocation problem with safety stock optimization, *International Journal of Production Economics*, 122, 286-304. doi: 10.1016/j.ijpe.2009.06.027
8. Gholamian, M.R. and Heydari, M. (2017) An inventory model with METRIC approach in location-routing-inventory problem, *Advances in Production Engineering and Management*, 12(2), 115-126. doi: 10.14743/apem2017.2.244

9. Guerrero, W. J., Prodhon, C., Velasco, N. and Amaya, C. A. (2015) A relax and price heuristic for the inventory location routing problem, *International Transactions in Operational Research*, 22, 129-148. doi: 10.1111/itor.12091
10. Hsu, L. F. and Hsu, J. T. (2016) Economic production quantity (EPQ) models under an imperfect production process with shortages backordered, *International Journal of Systems Science*, 47, 852-867. doi: 10.1080/00207721.2014.906768
11. Huang, S. H. and Lin, P. C. (2010) A modified ant colony optimization algorithm for multi-item inventory routing problems with demand uncertainty, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46, 598-611. doi: 10.1016/j.tre.2010.01.006
12. Javid, A. A. and Azad, N. (2010) Incorporating location, routing and inventory decisions in supply chain network design, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46, 582-597. doi: 10.1016/j.tre.2009.06.005
13. Jha, A., Somani, K., Tiwari, M. K., Chan, F. T. and Fernandes, K. J. (2012) Minimizing transportation cost of a joint inventory location model using modified adaptive differential evolution algorithm, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 60, 329-341. doi: 10.1007/s00170-011-3595-9
14. Laporte, G., Nobert, Y. and Taillefer, S. (1988) Solving a family of multi-depot vehicle routing and location routing problems, *Transportation Science*, 22, 161-172. doi: 10.1287/trsc.22.3.161
15. Liu, S. C. and Lee, S. B. (2003) A two-phase heuristic method for the multi-depot location routing problem taking inventory control decisions into consideration, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 22, 941-950. doi: 10.1007/s00170-003-1639-5
16. Lopes, R. B., Ferreira, C., Santos, B. S. and Barreto, S. (2013) A taxonomical analysis, current methods and objectives on location routing problems, *International Transactions in Operational Research*, 20, 795-822. doi: 10.1111/itor.12032
17. Mak, H. Y. and Shen, Z. J. M. (2009) A two-echelon inventory location problem with service considerations, *Naval Research Logistics*, 56, 730-744. doi: 10.1002/nav.20376
18. Miranda, P. A. and Garrido, R. A. (2008) Valid inequalities for Lagrangian relaxation in an inventory location problem with stochastic capacity, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44, 47-65. doi: 10.1016/j.tre.2006.04.002
19. Miranda, P. A. and Garrido, R. A. (2009) Inventory service-level optimization within distribution network design problem, *International Journal of Production Economics*, 122, 276-285. doi: 10.1016/j.ijpe.2009.06.010
20. Moin, N.H. and Salhi, S. (2007) Inventory routing problems: a logistical overview, *Journal of the Operational Research Society*, 58, 1185-1194. doi: 10.1057/palgrave.jors.2602264
21. Nagy, G. and Salhi, S. (2007) Location-routing: issues, models and methods, *European Journal of Operational Research*, 177(2), 649-672. doi: 10.1016/j.ejor.2006.04.004
22. Naseraldin, H. and Herer, Y. T. (2011) A location inventory model with lateral transshipments, *Naval Research Logistics (NRL)*, 58, 437-456. doi: 10.1016/j.ejor.2006.04.004
23. Prins, C., Prodhon, C. and Wolfler Calvo, R. (2004) Nouveaux algorithmes pour le problème de localisation et routage sous contraintes de capacité, *In Proceedings of the MOSIM' 04*, 1115-1122.

24. Prins, C., Prodhon, C. and Wolfler Calvo, R. (2006a) A memetic algorithm with population management (MA|PM) for the capacitated location-routing problem, *Lecture Notes in Computer Science*, 3906, 183–194. doi: 10.1007/11730095_16
25. Prins, C., Prodhon, C. and Wolfler Calvo, R. (2006b) Solving the capacitated location routing problem by a GRASP complemented by a learning process and a path relinking, *4OR*, 4(3), 221–238. doi: 10.1007/s10288-006-0001-9
26. Prins, C., Prodhon, C., Ruiz, A., Soriano, P. and Wolfler Calvo, R. (2007) Solving the capacitated location-routing problem by a cooperative Lagrangean Relaxation-Granular tabu search heuristic, *Transportation Science*, 41(4), 470–483. doi: 10.1287/trsc.1060.0187
27. Prodhon, C. and Prins, C. (2014) A survey of recent research on location-routing problems, *European Journal of Operational Research*, 238, 1-17. doi: 10.1016/j.ejor.2014.01.005
28. Rayat, F., Musavi, M. and Bozorgi-Amiri, A. (2017) Bi-objective reliable location-inventory-routing problem with partial backordering under disruption risks: a modified AMOSA approach, *Applied Soft Computing*, 59, 622-643. doi: 10.1016/j.asoc.2017.06.036
29. Sajjadi, S. R. and Cheraghi, S. H. (2011) Multi-products location–routing problem integrated with inventory under stochastic demand, *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 7, 454-476. doi: 10.1504/IJISE.2011.039670
30. Salhi, S. and Rand, G. K. (1989) The effect of ignoring routes when locating depots, *European Journal of Operational Research*, 39, 150-156. doi: 10.1016/0377-2217(89)90188-4
31. Shaw, P., (1997) A new local search algorithm providing high quality solutions to vehicle routing problems, Technical Report, University of Strathclyde, Glasgow.
32. Shaw, P., (1998) Using constraint programming and local search methods to solve vehicle routing problems, *Fourth International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming*, 98, 417–431. doi: 10.1007/3-540-49481-2_30
33. Yerleşim Rotalama Problemleri için Klasik Örnekler. Erişim Adresi: http://prodhonc.free.fr/Instances/instances_us.htm (Erişim Tarihi: 10.04.2017)