
	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		 SAKARYA UNIVERSITY
	e-ISSN: 2147-835X		
	Dergi sayfası: http://www.saujs.sakarya.edu.tr		
	<u>Geliş/Received</u> 17-05-2017		
	<u>Kabul/Accepted</u> 22-12-2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.314330	

Eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemine sezgisel bir çözüm yaklaşımı

Harun Reşit Yazgan^{*1}, Rabia Gökçen Büyükyılmaz²

ÖZ

Eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemi; müşterilerin dağıtım ve toplama taleplerinin eş zamanlı olarak karşılandığı bir araç rotalama problemidir. Bu çalışma kapsamında bir ana depo üzerinden 76 müşteriye hizmet sağlayacak bir firmanın araç rotalama problemi ele alınmıştır. Minimum sayıda araç kullanımı ile gidilen mesafeyi en küçükleyecek araç rotalarının oluşturulması hedeflenmiştir. Problem çözümü için literatürde yer alan karışık tamsayı matematiksel model kullanılmış ve sezgisel bir algoritma geliştirilmiştir. Farklı büyüklükteki veri setlerine algoritma uygulanmış elde edilen çözümler regresyon analizi ile değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemi, en kısa yol yöntemi, regresyon analizi

A solution approach for vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery

ABSTRACT

Simultaneously pickup and delivery problem is a vehicle routing problem that pickup and delivery demands of customers in each route are met simultaneously. The vehicle routing problem of a company provides delivery service to 76 customers from a depot is solved. The main objective is to create vehicle routes which minimize the distance travelled using the minimum number of vehicles. A MILP and a new heuristic algorithm are proposed to solve the problem. The algorithm was applied different data sets and results are evaluated with regression analysis.

Keywords: vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery, the shortest path algorithm, regression analysis

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Araç rotalama problemleri depolardan müşterilere, talep edilen ürünlerin araç filoları vasıtasıyla taşınması olarak düşünülebilir. Günümüzde;

üretim kaynaklarının azalması, müşterilerin bilinçlenmesi, geri dönüşüm faaliyetlerinin işletmeler üzerinde ekonomik getirisinin olması, yasal ve çevresel sorumluluk gibi birçok faktöre bağlı olarak araç rotalama faaliyetlerinde

¹ Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü email:yazgan@sakarya.edu.tr

² Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü email:gokcen.buyukyilmaz@ogr.sakarya.edu.tr

müşterilerden ürünlerin toplanması da söz konusu olmaktadır [1]. Bu problem literatürde Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi (TDARP) olarak adlandırılır. TDARP toplama ve dağıtım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesine göre üç sınıfa ayrılmaktadır. Bunlardan birisi Eşzamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama Problemidir (EZTDARP). Eş zamanlı dağıtım ve toplama yapılan araç rotalama problemleri, bir veya birden fazla depodan alınan müşteri taleplerinin, araçlara yüklenerek talep noktalarına ulaştırılmasını, müşteriden depoya geri gönderilecek malzemenin ise, araç müşteriye uğradığı anda aynı araca yüklenerek, araçların kat ettiği toplam yolu en küçükleyecek şekilde, depo/depolara gönderilmesini sağlayarak araç rotalarını oluşturan problemlerdir [2].

Çalışmada homojen filoya sahip EZTDARP için literatürde yer alan karışık tamsayı matematiksel model ele alınmıştır. Merkez bir depo üzerinden 76 adet müşteriye hizmet sağlanacak EZTDARP uygulamasının çözümü için en kısa yol yöntemini hedef alan algoritma geliştirilmiştir. Tüm müşterilerin dağıtım ve toplama taleplerini karşılayacak, en az sayıda araç kullanımıyla, kat edilen toplam mesafeyi minimize edecek araç rotalarının oluşturulması hedeflenmiştir. Aynı büyüklükteki müşteri kümesine farklı yükleme kapasitesindeki araçlar kullanıldığı durumda toplam gidilen mesafede oluşan değişkenliği ele alabilmek ve hizmet edilecek müşteri sayısı iki katına çıkarıldığı durumda geliştirilen algoritmanın performansını gösterebilmek için probleme yönelik olarak farklı senaryolar oluşturulmuştur. Toplam kat edilen mesafe üzerinde, hizmet edilecek müşteri sayısı ve araç kapasitesi faktörlerinin etkisinin istatistiksel olarak varlığını ve etki derecesini belirleyebilmek için hipotez kurulmuştur. Farklı büyüklükteki örnekler için algoritmanın sonuçları istatistiksel olarak analiz edilerek değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE RESEARCH)

Eş zamanlı topla-dağıt araç rotalama problemi ilk olarak 1989 yılında gerçek bir kütüphane sistemi ele alınarak Min (1989) tarafından tanımlanmış [3], çözüm için önce kümele sonra rotalama yöntemi uygulanmıştır. Dethloff (2001) düğüm tabanlı bir matematiksel model önermiş ve çözümü için farklı ölçütlere göre ekleme stratejileri uygulayan tur kurucu sezgisel algoritma

önermiştir [4]. Crispim ve Brandao (2005) çalışmalarında değişken komşu iniş ve tabu arama algoritmalarını birleştiren melez bir meta sezgisel algoritma geliştirmişlerdir [5]. Nagy ve Salhi (2005) sezgisel çözüm yaklaşımı geliştirmişlerdir [6]. Montane ve Galvao (2006) problem çözümü için tabu arama algoritması [7], Ropke ve Pisinger (2006) probleme zaman penceresi ekleyerek, çözüm için büyük komşuluk arama sezgiseli geliştirmişlerdir [8]. Chen (2006) tavlama benzetimi ve değişken komşu iniş algoritmalarından oluşan melez bir meta sezgisel algoritma [9], Bianchessi ve Righii (2007) yerel arama ve tabu arama algoritmaları geliştirmişlerdir [10]. Parrag ve ark. (2008a) dağıtım faaliyetlerinin depolar ve müşteriler arasında gerçekleştiği problem çeşitleri üzerine [11] Parrag ve ark. (2008b) ise dağıtım işlemlerinin toplama ve dağıtım birimleri arasında gerçekleştiği problem türleri olarak detaylı bir çalışma yapmışlardır [12]. Erbao ve ark. (2008) zaman penceresi ekleyerek problem çözümü için diferansiyel evrim algoritması ile genetik algoritmadan oluşan melez bir algoritma önermişlerdir [13]. Ai ve Kachitvichyanukul (2009) problem çözümü için kuş sürüsü en iyileme algoritması geliştirmişlerdir [14]. Karlaftis ve ark. (2009) zaman kısıtları altında özel bir konteynır filosunun rotalama problemini ele almışlar, çözümü için hibrid genetik algoritma geliştirmişlerdir [15]. Zachariadis ve ark. (2009) yerel arama ve tabu arama algoritmalarından oluşan melez meta sezgisel algoritma oluşturmuşlardır [16]. Gajpal ve Abad (2009) başlangıç çözümü en yakın yol metodu ile oluşturulan, yerel arama prosedürü her bir karınca çözümü üzerinde uygulanan karınca kolonisi algoritması geliştirmişlerdir [17]. Mingyong ve Erbao (2010) zaman penceresi ilave ederek problemi ele almışlar, çözüm için geliştirilmiş diferansiyel evrim algoritması önermişlerdir [18]. Zachariadis ve ark. (2010) adapte edilebilir hafıza metodolojisi çerçevesinde çözüme gitmişlerdir. [19]. Subramanian ve ark. (2010) değişken komşu iniş algoritması ile rastgele komşu sıralama algoritmalarını entegre ederek sezgisel algoritma geliştirmişlerdir [20]. Çatay (2010) başlangıç çözümünü en yakın komşu arama algoritmasıyla oluşturan karınca kolonisi algoritmasını geliştirmiştir [21]. Çetin ve Gencer (2010) probleme zaman penceresi ve heterojen filo ilave ederek çözüm için karar destek sistemi oluşturmuşlardır [22]. Fan (2011) zaman kısıtı ilave ederek, kat edilen toplam mesafeye bağlı maliyetin azaltılmasını ve toplam müşteri

memnuniyetinin artırılmasını hedefleyen yeni bir model önermiş, çözümü en ucuz ekleme metodu ve tabu arama algoritması kullanarak elde etmiştir [23]. Subramanian ve ark. (2011) dal-kesme algoritması geliştirerek kesin çözüm yaklaşımı önermişlerdir [24]. Zachariadis ve Kiranoudis (2011) özel tabu arama kriterleri kullanılarak yerel arama algoritması geliştirmişlerdir [25]. Tasan ve Gen (2012) genetik algoritma yaklaşımı önermişlerdir [26]. Zhang ve ark. (2012) stokastik seyahat süresine dayalı problem için dağıtım arama metodu ve genetik algoritma geliştirmişlerdir [27]. Wang ve Chen (2012) probleme zaman penceresi kısıtı eklemişler, çözüm için en ucuz ekleme ve genetik algoritma yaklaşımını önermişlerdir [28]. Cruz ve ark. (2012) en ucuz yerleştirme, çok yönlü en ucuz yerleştirme, değişken komşu arama, değişken komşu iniş ve yeniden yol arama ve tabu arama algoritmalarından oluşan sezgisel algoritma geliştirmişlerdir [29]. Goksal ve ark. (2013) parçacık sürü optimizasyonu temelli sezgisel çözüm yaklaşımı sunmuşlardır [2]. Liu ve ark. (2013) evde sağlık bakımını sağlayan bir işletme için çeşitli kısıtlar ekleyerek yeni bir matematiksel model geliştirmişler, çözüm için genetik algoritma ve tabu arama algoritması kullanmışlardır [30]. Günther ve ark. (2015) zaman kısıtı ilave ederek, çözüm için değişken komşu arama algoritması önermişlerdir [31]. Wang ve ark. (2015) probleme zaman penceresi ekleyerek çözüm için paralel tavlama benzetimi algoritmasını önermişlerdir [32]. Avcı ve Topaloglu (2016) heterojen filoya sahip problem için tabu araması ve yerel arama algoritmalarından oluşan melez meta sezgisel algoritma geliştirmişlerdir [33]. Kalaycı ve Kaya (2016) karınca kolonisi algoritmasına dayalı değişken komşu arama algoritmasını geliştirmişlerdir [34].

3. TOPLA DAĞIT ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ (VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH PICK UP AND DELIVERY)

Topla dağıtım araç rotalama problemi, bir merkezden müşterilere yapılacak dağıtım faaliyeti ile müşterilerden merkezi birime taşınacak toplama faaliyetlerinin aynı araçlarla yapıldığı problem türüdür [35]. TDARP kendi içerisinde alt türlere ayrılmaktadır:

- ✓ Önce dağıtım sonra topla araç rotalama problemi
- ✓ Karma topla dağıtım araç rotalama problemi

- ✓ Eş zamanlı topla dağıtım araç rotalama problemi

Önce dağıtım sonra topla araç rotalama problem; müşterilerin dağıtım ve toplama müşterileri olmak üzere iki gruba ayrıldığı, aracın izlediği rotada dağıtım müşterilerine toplama müşterilerinden önce hizmet verildiği problem türüdür [36]

Karma topla dağıtım araç rotalama problemi; müşteri önceliklerinin kaldırıldığı, araçların rota üzerindeki toplama ve dağıtım müşterilerine karışık sırada hizmet verebildiği problem türüdür [35].

Eş zamanlı topla dağıtım araç rotalama probleminde; depodan ya da dağıtım merkezinden hareket eden araç, rotası üzerinde yer alan her müşteriye talep ettiği miktarda ürünü teslim ettikten sonra aynı araç eş zamanlı olarak müşteriden arz edilen miktarı toplayarak depoya geri döner. Müşteriye önce verilecek ürün bırakılmakta sonra müşteriden toplanacak ürün alınmaktadır. Her müşteri herhangi bir ayrıma tabi tutulmaksızın yalnızca bir kez hizmet görmektedir. Gıda sektöründe, marketlere içeceklerin dağıtıldıktan sonra aynı marketlerden boş şişelerin geri dönüşüm amaçlı toplanması, otomobil, bilgisayar parçaları, elektronik cihazlar, endüstri ekipmanlarının teslimatı ve yeniden üretim veya geri dönüşüm amaçlı olarak toplanması bu problem tipine örnek olarak verilebilir [16].

3.1. EZTDARP Matematiksel Modeli (SPDVRP Mathematical Model)

EZTDARP'nin literatürde yer alan matematiksel tanımı ve modeli aşağıda verilmiştir.

$G(N,A)$ yönlü bir serim olsun. Burada N düğüm kümesi ($N=\{0,..,n\}$) ve A ayrıt kümesidir. ($A=\{(i, j) : i, j \in N, i \neq j\}$). N düğüm kümesinde 0 ile gösterilen düğüm, her biri Q kapasiteye sahip ve aynı özellikteki araçların bulunduğu merkezi bir depoyu temsil etmektedir. N düğüm kümesinde tanımlı, kalan düğümler ise müşterileri temsil etmektedir. Her i müşterisinin d_i kadar dağıtım talebi ve p_i kadar ise toplama talebi vardır. c_{ij} , $(i, j) \in A$ ayrıtının serim üzerindeki ağırlığını temsil etmektedir ve i düğümünden j düğümüne geçiş olması halinde i ile j düğümleri arasındaki mesafe, zaman, maliyet anlamında da kullanılmaktadır [16]. EZTDARP çözümü için önerilen modelde c_{ij} , i ile j düğümleri arasındaki mesafeyi temsil etmektedir. ($V=\{1,2,..,m\}$), $k \in V$ olmak üzere her biri aynı özellikte, aynı sabit (F) ve değişken (v) maliyete sahip olan araç filosunu göstermektedir.

Araçlar parçalı dağıt-topla yapmamaktadırlar. Buna göre ele alınan problemin amacı, aşağıdaki kısıtlar sağlanacak şekilde, tüm müşterilere yalnızca bir kere hizmet yapıldığı minimum maliyetli rotaları planlamaktır. Bu da gerekli olan araç sayısına ve müşterilere hizmet sağlayan araç rotalarının kümesine karar vermeyi içerir.

Problemde; Mosheiov (1998) [37] modeline dayalı Montane ve Galvao (2006) ve Ai ve Kachitvichyanukul (2009)'un önerdikleri matematiksel model esas alınmıştır. Eş zamanlı dağıt topla probleminin matematiksel modeli aşağıda yer almaktadır:

Dizin Kümeleri ve Parametreler

- N :Müşteriler kümesi, $\{1,2,3, \dots, n\}$
 N_0 : Depo ve müşterilerden oluşan düğümler kümesi, $N_0 = N \cup \{0\}$
 V : Araçlar kümesi, $\{1,2,3, \dots, m\}$
 Q_k :Araç kapasitesi, $k \in V$
 F_k :Her aracın sabit maliyeti, $k \in V$
 v_k : Her aracın değişken maliyeti, $k \in V$
 c_{ij} : i ve j düğümleri arasındaki uzaklık, $i \in N_0, j \in N_0$
 d_j :j müşterisinin dağıtım talebi, $j \in N$
 p_j : j müşterisinin toplama talebi, $j \in N$

Karar Değişkenleri

$$X_{ijk} : \begin{cases} 1, k \text{ nolu araç } i \text{ düğümünden } j \text{ düğümüne giderse} \\ 0, \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

y_{ijk} : k nolu araç i düğümünden j düğümüne gittiğinde, j. düğüme gelene kadar toplanan kümülatif yük miktarını gösterir.

z_{ijk} : k nolu araç i düğümünden j düğümüne gittiğinde, j. düğüme gelene kadar araçta dağıtılacak yük miktarını gösterir.

Amaç Fonksiyonu

$$MinZ = \sum_{k \in V} \sum_{j \in N} F_k X_{0jk} + \sum_{k \in V} \sum_{i \in N_0} \sum_{k \in V} v_k X_{ijk} C_{ij} \quad (1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{k \in V} \sum_{i \in N_0} X_{ijk} = 1 \quad \forall j \in N \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N_0} X_{ipk} - \sum_{j \in N_0} X_{pjk} = 0, \quad \forall p \in N_0, \forall k \in V \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} X_{0jk} \leq 1, \quad \forall k \in V \quad (4)$$

$$y_{0ik} = 0, \quad \forall i \in N, \forall k \in V \quad (5)$$

$$z_{i0k} = 0, \quad \forall i \in N, \forall k \in V \quad (6)$$

$$\sum_{i \in N_0} \sum_{k \in V} y_{jik} - \sum_{i \in N_0} \sum_{k \in V} y_{ijk} = p_j, \quad \forall j \in N \quad (7)$$

$$\sum_{i \in N_0} \sum_{k \in V} z_{ijk} - \sum_{i \in N_0} \sum_{k \in V} z_{jik} = d_j, \quad \forall j \in N \quad (8)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in V} y_{i0k} = \sum_{i \in N} p_i \quad (9)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in V} z_{0ik} = \sum_{i \in N} d_i \quad (10)$$

$$y_{ijk} + z_{ijk} = Q_k X_{ijk}, \quad \forall i \in N_0, \forall j \in N_0, \forall k \in V \quad (11)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in N_0, \forall j \in N_0, \forall k \in V \quad (12)$$

$$y_{ijk} \geq 0, \quad \forall i \in N_0, \forall j \in N_0, \forall k \in V \quad (13)$$

$$z_{ijk} \geq 0, \quad \forall i \in N_0, \forall j \in N_0, \forall k \in V \quad (14)$$

Modeldeki (1) numaralı eşitlik araç kullanım maliyeti ve taşıma maliyeti toplamını en küçüklemeyi hedefleyen amaç fonksiyonudur. (2) numaralı kısıt bütün düğümlerin yalnız bir kez ziyaret edilmesini, (3) numaralı kısıt hizmeti sağlanan düğümü aynı araç ile terk etmeyi sağlar. (4) numaralı kısıt her bir aracın yalnızca bir rota için kullanılmasını sağlar. (5) numaralı kısıt aracın topladığı yükü tur başında sıfıra eşitlemektedir. (6) numaralı kısıt aracın dağıtım yükünü tur sonunda sıfıra eşitler. (7) numaralı kısıt aracın topladığı yükün araç rotası boyunca artarak izlemesini, (8) numaralı kısıt aracın dağıtım yükünün araç rotası boyunca azalarak izlemesini sağlar. (9) numaralı kısıt aracın başlangıç noktasına dönüşte tur içinde topladığı yük miktar akışını; tur içinde yer alan düğümlerin toplam toplama taleplerine eşit olmasını sağlar. (10) numaralı kısıt aracın başlangıç noktasından itibaren tur içinde dağıtılacak yük miktar akışını; tur içinde yer alan düğümlerin toplam dağıtım taleplerine eşit olmasını sağlar. (11) numaralı kısıt rota içindeki herhangi bir müşteride aracın kapasitesinin aşılmasını engellemektedir. (12) numaralı kısıt değişkene 0-1 tamsayı değerini atar. (13) ve (14) numaralı kısıtlar işaret kısıtlarıdır.

4. ÖNERİLEN ÇÖZÜM AŞAMALARI (PROPOSED SOLUTION STEPS)

EZTDARP için önerilen çözüm aşamaları Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo1. Önerilen çözüm aşamaları (Proposed solution steps)

Aşama	Yapılan İşlemler
1	Verilerin toplanması
2	Geliştirilen sezgisel algoritma
3	İstatistiksel analiz

1.Aşama:

Problemin çözümü için ihtiyaç duyulan veriler toplanmıştır. Gerekli olan veriler aşağıdaki gibidir:

- ✓ Hizmet edilecek müşteri bilgisi
- ✓ Müşterilerin depoya ve birbirlerine olan uzaklıklarını gösteren mesafe matrisi
- ✓ Her bir müşteriye dağıtılacak ve müşterilerden toplanacak yük miktarı verisi

2. Aşama:

Problem çözümü için geliştirilen yöntem detaylı anlatılmıştır. Çözüm için klasik (kurucu) sezgisel algoritma sınıfında yer alan en kısa yol yöntemi ele alınmıştır. Algoritma adımlarının anlaşılabilirliğinin yüksek olması, problem için olurlu çözümü kısa bir süre içinde ürettiği için çalışmada bu yöntem tercih edilmiştir. Geliştirilen yöntemin işlem adımları Tablo 2’de, yöntemle ilişkin akış diyagramı da Şekil 1’de verilmiştir.

3. Aşama:

Bağımlı değişken üzerinde birden fazla bağımsız değişkenin etkisini ölçmek için, problem çözüm sonuçlarına regresyon analizi uygulanmıştır. Sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

5. UYGULAMA (APPLICATION)

Çalışma kapsamında ele alınan problem, merkezi bir depodan günlük şişe süt sevkiyatı yapacak olan bir işletmenin müşterilerine talepleri doğrultusunda sevkiyatın yapılmasını, müşterilerden eş zamanlı toplama işlemini yaparak depoya sevkiyatın gerçekleştirilmesini içermektedir. Merkez depodan 76 müşteriye hizmet sağlanacaktır. Ele alınan problemde, müşteriler hem dağıtım hem de toplama müşterisidir. Bu durum klasik kapasite kısıtlı araç rotalama probleminin aksine, kapasite kontrolünü sağlamayı oldukça zorlaştırmaktadır. Araç kapasitelerinin verimli kullanıldığı bir rotalama sistemine ihtiyaç vardır. Araç yükleme

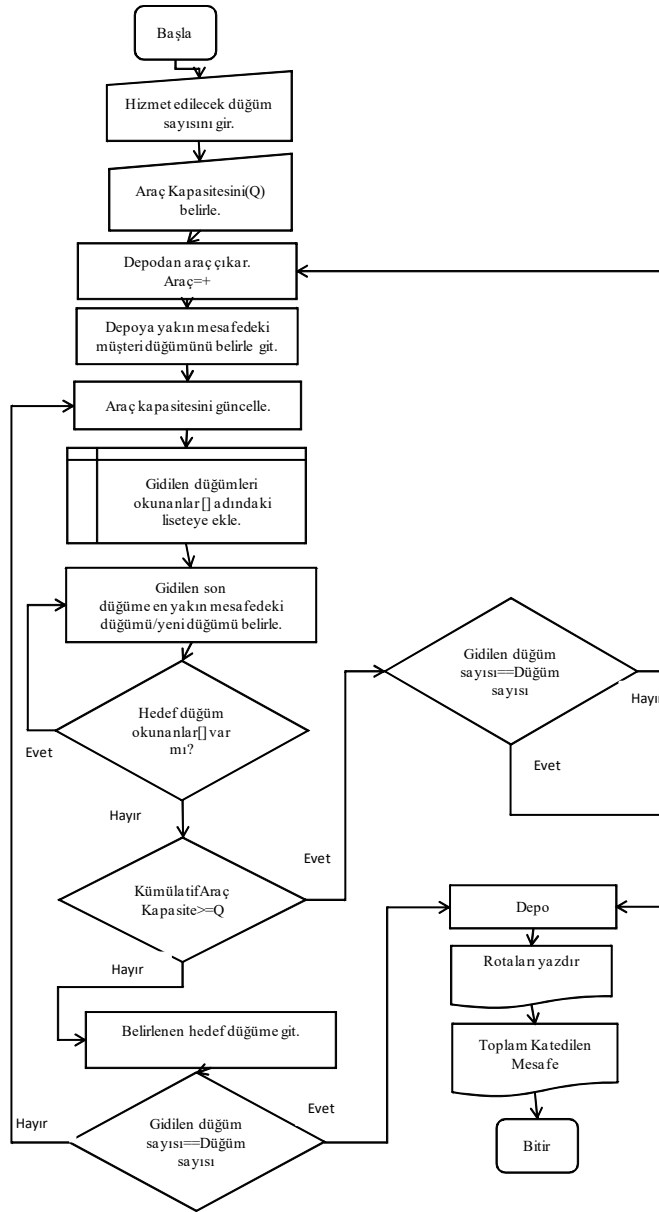
kapasitelerinin verimli kullanılması, toplamda kullanılacak araç sayısının azaltılmasında önemli bir etkidir. Uygulamada, depoda yer alan her bir aracın kapasitesi aşılmadan minimum sayıda araç kullanımı ile tüm müşterilerin hizmetini karşılayarak kat edilen mesafeyi minimize edecek şekilde araç rotalarının oluşturulması hedeflenmiştir. Yapılan çalışmada işletmenin maksimum verimli araç kullanımı ile müşteri taleplerini karşılayacak dağıtım ve toplama rotalarının oluşturulması problemine çözüm getirilecektir. Bu şekilde dağıtım maliyeti de minimuma indirgenmiş olacaktır.

Buna göre:

- Her aracın rotası, merkezi depodan başlayıp, merkezi depoda sonlanmalıdır.
- Her bir araç sadece bir rota üzerinden faaliyet göstermelidir. Her müşteri yalnız bir tur üzerinde sadece bir defa ziyaret edilmelidir.
- Her müşteri hem ürün talebinde, hem de ürün arzında bulunur ve araç müşteriye uğradığında bu işlemler eş zamanlı olarak yapılır.
- Her rotada müşterilerden toplanacak toplam yük miktarı, müşterilere dağıtılacak yük miktarı, her müşteride yapılan dağıtım-toplama sonrasında aracın fiili yükü aracın kapasitesini aşmamalıdır.
- Her bir rotada gidilecek olan müşterilerin, dağıtım talepleri ile merkezi depoya sevk edilecek toplama talepleri tamamıyla karşılanmalıdır.
- Müşterilere teslim edilecek ve müşteriden toplanacak ürünler, aynı birim cinsinden ifade edilebilecek aynı tip ürünlerdir.

Tablo 2. Geliştirilen sezgisel algoritmanın adımları (The steps of the developed heuristic algorithm)

Adım	Yapılan işlemler
1	Gidilecek müşteri sayısı ve araç kapasitesi değişkenleri belirlenir.
2	Her müşterinin merkez depoya olan uzaklıkları değerlendirilir. Merkez depoya en yakın mesafedeki müşteri tespit edilerek, aracın rotasına müşteri atanır.
3	Araç kapasitesi güncellenir.
4	Dağıtım ve toplama talebi karşılanan müşteri bir listeye kaydedilir.
5	Gidilen son müşteriye en yakın mesafedeki müşteri/yeni müşteri, müşterilerin birbirlerine göre uzaklıklarından tespit edilir.
6	Tespit edilen müşteri daha önce ziyaret edilmiş müşterilerin kaydedildiği liste içerisinde olup olmadığı sorgulanır.
7	Liste içerisinde yer almıyorsa, hedef müşterinin dağıtım ve toplama yüküyle birlikte aracın toplam yükünün, araç kapasite koşulunu sağlayıp sağlamadığı sorgulanır.
8	Kapasite koşulu sağlanıyor ise Adım 5'te tespit edilen müşteri aracın rotasına atanır. Adım 3'e gidilerek işlem basamakları izlenir.
9	Araç kapasite koşulu sağlanmıyorsa depodan yeni araç çıkarılır. Adım 2'ye gidilerek işlem basamakları tekrarlanır.
10	Tespit edilen müşteri, daha önce ziyaret edilmiş müşterilerin kaydedildiği liste içerisinde yer alıyorsa Adım 5'e gidilir. İşlem basamakları izlenir.
11	Gidilen müşteri sayısı, müşteri sayısı değişkenine eşit ise algoritma sonlanır. Her aracın izlediği rota, kat ettiği mesafe ve toplam gidilen mesafe bilgisi rapor edilir.



Şekil 1. Geliştirilen sezgisel algoritmanın akış diyagramı (Flow diagram of the developed heuristic algorithm)

Problemin varsayımları:

- Hizmet tek bir merkezi depodan sağlanmaktadır.
- Araçlar rotalara başlamadan önce müşterilere dağıtılacak ve müşterilerden toplanacak miktarlar bilinmektedir.
- Araçlar depoda park halindedir. Özdeş kapasitede, aynı tip araçlar kullanılmaktadır. Taşıma işlemlerini yapacak yeterli sayıda araç depoda yer almaktadır.
- Yükleme ve dağıtım yapılan yükler istiflenme sırasında araç kapasitesini tam verimle kullanmaya engel teşkil etmemektedir.
- Trafik durumu, yol koşulları, araç arızası, sürücülerden kaynaklanabilecek olumsuz durumların olmadığı varsayılmaktadır.

Uygulama, önerilen çözüm yönteminin 3 aşamasına göre aşağıda anlatılmıştır:

1. Aşama:

Problemde kullanılacak müşterilere ait uzaklık verisi EK 1'deki tabloda kısmen gösterilmiştir. Burada algoritmanın içerisinde işlem kolaylığı olması açısından işletmeden başlanarak müşterilere 1-77 arası sıra numaraları verilmiştir. Uygulamada müşterilere tamsayı olarak 3-9 koli arasında değişen toplamda 428 koli ürün dağıtımını ve müşterilerden tamsayı olarak 1-8 koli arasında değişen toplamda 296 koli ürün toplama işlemi gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, oluşturulan problem senaryosu için kullanılacak 152 müşteriye ait uzaklık verisi EK 2'deki tabloda kısmen gösterilmiştir.

2. Aşama:

Problem oluşturulan farklı senaryolara göre geliştirilen yöntemin işlem adımlarına göre çözülmüştür. Uygulamada araç yükleme kapasitesine göre toplam gidilen mesafede oluşan değişkenlik ele alınmıştır. Bunun için özdeş özelliklere sahip farklı taşıma kapasitelerindeki araçlar kullanıldığı durumlar için senaryolar oluşturulmuştur. Senaryolar Tablo 3'te yer almaktadır. Araç kapasitesi 50, 80 ve 100 koli olan araçlar kullanıldığında oluşan rota bilgisi ve kat edilen mesafe verileri elde edilmiştir.

Tablo 3. Senaryolar (Scenarios)

Senaryolar	Müşteri sayısı	Kapasite
Problem 1	76	50
Problem 2	76	80
Problem 3	76	100
Problem 4	152	50

Problem 1:

76 müşterinin dağıtım ve toplama taleplerini karşılayarak, minimum sayıda araç kullanımı ile kat edilen toplam mesafeyi en küçükleyecek araç rotalarının oluşturulması hedeflenmiştir. Aynı tip ve özellikte kapasiteleri 50 koli olan araçlar kullanılmıştır.

Tablo 4. Kapasite 50 birim için problem çözümü (Problem solution for 50 units of capacity)

Kapasite: 50 koli; müşteri sayısı:76

Araç No	Araç Rota Bilgisi	Kat edilen Mesafe(m)
1	Depo-3-36-23-46-20-17-18-45-Depo	6579
2	Depo-64-58-61-59-62-63-60-Depo	11344
3	Depo-65-49-50-51-53-54-52-Depo	8840
4	Depo-69-71-67-73-76-31-33-19-Depo	9890
5	Depo-5-4-6-2-1-55-30-56-Depo	9307
6	Depo-70-11-10-12-66-68-28-39-25-38-Depo	11450
7	Depo-57-22-42-41-44-21-16-48-27-40-15-Depo	9759
8	Depo-74-14-13-24-47-43-26-29-34-37-Depo	10799
9	Depo-32-35-72-75-8-9-7-Depo	13460
Toplam kat edilen mesafe:		91428

Araç kapasitesi 50 iken 76 müşteriye hizmetin sağlanabilmesi için 9 adet araca ihtiyaç vardır. Araçlar toplam 91428 metre mesafe gitmişlerdir. Problem 1'e ait çözüm sonuçları Tablo 4'te yer almaktadır.

Problem 2:

76 müşteriye hizmet sağlayarak, toplam mesafeyi en küçükleyecek araç rotalarının oluşturulması için aynı tip ve özellikte kapasitesi 80 koli olan araçlar kullanılmıştır. Problem 2'ye ait çözüm sonuçları Tablo 5'te yer almaktadır.

Tablo 5. Kapasite 80 birim için problem çözümü (Problem solution for 80 units of capacity)

Kapasite: 80 koli; müşteri sayısı:76		
Araç No	Araç Rota Bilgisi	Katedilen Mesafe(m)
1	Depo-3-36-23-46-20-17-18-45-42-22-41-44-38-25-28-39-Depo	6949
2	Depo-64-58-61-59-62-63-60-65-49-50-51-53-Depo	12260
3	Depo-69-71-67-73-76-31-33-19-29-26-15-47-43-48-27-40-Depo	10790
4	Depo-5-4-6-2-1-55-30-56-52-57-54-21-16-Depo	11598
5	Depo-70-11-10-12-66-68-14-74-13-24-34-37-32-35-72-75-Depo	12530
6	Depo-8-9-7-Depo	11770
Toplam kat edilen mesafe:		65897

Problem 3:

76 müşteriye hizmet sağlayarak, toplam mesafeyi en küçükleyecek araç rotalarının oluşturulması için aynı tip ve özellikte kapasitesi 100 koli olan araçlar kullanılmıştır. Problem 3'e ait çözüm sonuçları Tablo 6'da yer almaktadır.

Tablo 6. Kapasite 100 birim için problem çözümü (Problem solution for 100 units of capacity)

Kapasite: 100 koli; müşteri sayısı:76		
Araç No	Araç Rota Bilgisi	Katedilen Mesafe (m)
1	Depo-3-36-23-46-20-17-18-45-42-22-41-44-38-25-28-39-31-33-19-Depo	7729
2	Depo-64-58-61-59-62-63-60-65-49-50-51-53-54-52-Depo	12880
3	Depo-69-71-67-73-76-74-14-13-24-47-15-43-48-27-40-16-30-56-Depo	10259
4	Depo-5-4-6-2-1-55-57-21-26-29-34-37-32-35-72-75-8-9-Depo	14997
5	Depo-70-11-10-12-66-68-7-Depo	12450
Toplam kat edilen mesafe:		58315

Taşımayı gerçekleştirecek araçların kapasite miktarlarının en iyi şekilde belirlenmesi, mesafenin en küçüklenmesinde son derece önemlidir. 50, 80 ve 100 birimlik araçlar kullanıldığında, kapasiteye bağlı kullanılan araç sayısı ve araçların kat ettikleri toplam mesafelerde oluşan farklılık Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'da görülmektedir. Algoritmadaki karar verici diğer unsurlara bağlı, araç kapasitesi aşıldığı durumda hizmet edilen son müşteriden araç depoya gönderilmektedir. Kalan müşterilere hizmet sağlamak için depodan gidilecek hedef müşteriler için yeni bir araç yola çıkmaktadır. Araçların

kapasitesinin yetersiz kaldığı durumda mevcut aracın depoya dönmesi ve yeni bir aracın depodan çıkmasından oluşan mesafeler toplam kat edilen mesafe miktarının artmasına neden olmaktadır. Araç kapasitesi ile toplam mesafe arasındaki ilişki 3. aşamada ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Problem 4:

Geliştirilen algoritmanın performansını daha iyi test edebilmek için 152 müşteriden oluşan, problem ele alınmıştır. Müşterilere tamsayı olarak 3-9 koli arasında değişen, varyansı 3,064 olan toplamda 850 koli ürün dağıtımı yapılmıştır ve müşterilerden tamsayı olarak 1-8 koli arasında değişen, varyansı 3,189 olan toplamda 585 koli ürün toplanmıştır. Aynı tip ve özellikte kapasitesi 50 koli olan araçlar kullanılmıştır. Problem 4'e ait çözüm sonuçları Tablo 7 ve Tablo 8'de yer almaktadır.

Tablo 7. 152 müşteri için problem çözümü (Problem solution for 152 costumers)

Kapasite: 50 koli; müşteri sayısı:152		
Araç No	Araç Rota Bilgisi	Katedilen Mesafe(m)
1	Depo-3-36-23-46-20-17-18-45-Depo	6579
2	Depo-64-58-83-120-1-4-5-2-Depo	7859
3	Depo-60-63-82-149-129-25-28-39-31-33-Depo	8743
4	Depo-65-119-121-91-132-10-11-66-Depo	9439
5	Depo-140-146-142-137-103-48-27-40-16-Depo	10356
6	Depo-134-12-130-117-80-110-98-84-Depo	10775
7	Depo-59-61-62-118-92-73-67-71-Depo	9249
8	Depo-135-97-72-75-14-74-Depo	9147
9	Depo-138-126-131-124-100-99-81-128-Depo	10892
10	Depo-141-6-69-70-68-125-87-148-86-Depo	11266
11	Depo-49-50-51-53-54-52-Depo	8470
12	Depo-139-108-113-22-42-41-44-38-21-43-Depo	10727
13	Depo-136-123-56-30-57-55-19-29-26-Depo	10606
14	Depo-145-88-127-101-93-94-104-32-Depo	12484
15	Depo-147-112-102-78-152-37-34-47-15-24-Depo	11986
16	Depo-77-8-9-144-151-111-89-35-13-Depo	13176
17	Depo-133-107-122-150-115-79-76-109-105-85-Depo	15624

Tablo 8. devam (continue)

Kapasite: 50 koli; müşteri sayısı:152		
Araç No	Araç Rota Bilgisi	Katedilen Mesafe(m)
18	Depo-106-114-95-116-96-90-143-7-Depo	16697
Toplam katedilen mesafe:		194075

faktörlerine bağlı olarak şekillendiği anlaşılmaktadır.

Regresyon analizi sonuç tablosunda yer alan verilerden toplam mesafenin alabileceği değer aşağıdaki şekilde formüle edilir:

Toplam mesafe = $41339,921 + 824,107 * \text{müşteri sayısı} - 484,679 * \text{kapasite}$

Oluşan denklem değerlendirilen iki parametreye göre, problemin çözümü olan en kısa mesafe değişkeninin değerini nasıl etkilediğini (değişkenler arasındaki ilişkiyi) matematiksel olarak göstermektedir.

3. Aşama:

Toplam gidilen mesafeyi en küçükleyecek olan araç rotalarının oluşturulması, hizmet edilen müşteri sayısı ve kullanılan aracın kapasitesine göre değişkenlik göstermektedir. Regresyon analizi ile taşıma maliyetinin oluşmasında en belirleyici unsur olan toplam kat edilen mesafe üzerinde, hizmet edilecek müşteri sayısı ve araç kapasitesi faktörlerinin etkisi ölçülmüştür. Regresyon analizine yönelik kurulan hipotez ise şu şekildedir:

- ✓ H_0 : Müşteri sayısı ile araç kapasitesi bağımsız değişkenlerinin, toplam mesafe bağımlı değişkeni üzerinde etkisi yoktur.
- ✓ H_a : En az bir bağımsız değişkenin, bağımlı değişken üzerinde etkisi vardır.

Regresyon analizi Tablo 9'daki çözüm sonuçlarına uygulanmıştır. Tablo 9'da yer alan N, hizmet sağlanacak müşteri sayısını; Q, homojen filo içerisindeki her aracın kapasitesini; k, toplam kullanılan araç sayısını; $\sum d_i$, müşterilere dağıtılacak toplam yük miktarını; $\sum p_i$, müşterilerden alınacak olan toplam yük miktarını göstermektedir.

Tablo 10 regresyon denklemi için kullanılan regresyon katsayılarını ve bunların anlamlılık düzeylerini vermektedir. Toplam mesafe ile müşteri sayısı ve kapasite arasındaki ilişki t istatistiği anlamlılık değeri $p < 0,0001$ olduğundan istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Beta değeri (standardize edilmiş regresyon katsayısı), her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerinde tekil etkisini gösterir. Müşteri sayısı değişkeninin, toplam mesafe üzerinde en fazla etkiye sahip faktör olduğu görülmektedir. Toplam mesafe bağımlı değişkeniyle müşteri sayısı bağımsız değişkeninin arasında pozitif yönlü bir ilişki olduğu, araç kapasitesi ile negatif yönlü bir ilişki olduğu katsayılarından anlaşılmaktadır. R^2 değeri bağımlı değişkendeki varyansın (değişimin) % kaçının bağımsız değişken/değişkenler tarafından açıklandığını ifade etmektedir. Araçların toplam gittikleri mesafenin %89'unun, hizmet edilecek müşteri sayısı ile kullanılan aracın yükleme kapasitesi

Tablo 9. Çözüm sonuçları (Solutions)

N	Q	k	Toplam Mesafe	$\sum d_i$	$\sum p_i$	N	Q	k	Toplam Mesafe	$\sum d_i$	$\sum p_i$
20	50	3	31040	114	73	50	50	6	58866	256	161
20	80	2	21919	114	73	50	80	4	42486	256	161
20	100	2	25679	114	73	50	100	3	33377	256	161
22	50	3	31728	124	76	52	50	6	58757	270	173
22	80	2	21069	124	76	52	80	4	40487	270	173
22	100	2	22209	124	76	52	100	3	35107	270	173
24	50	3	32118	138	86	54	50	6	59026	284	184
24	80	2	21290	138	86	54	80	4	42886	284	184
24	100	2	20749	138	86	54	100	3	35186	284	184
26	50	4	32938	146	91	56	50	7	67338	298	194
26	80	2	21898	146	91	56	80	4	42207	298	194
26	100	2	21428	146	91	56	100	3	34627	298	194
28	50	4	42588	156	94	58	50	7	67305	308	202
28	80	2	22977	156	94	58	80	4	43536	308	202
28	100	2	21838	156	94	58	100	4	43807	308	202
30	50	4	40867	164	100	60	50	7	67374	320	211
30	80	3	34057	164	100	60	80	5	43375	320	211
30	100	2	23628	164	100	60	100	4	43947	320	211
32	50	4	40087	172	105	62	50	7	67606	334	222
32	80	3	32997	172	105	62	80	5	52627	334	222
32	100	2	22488	172	105	62	100	4	43238	334	222
34	50	4	40076	182	111	64	50	8	74726	346	231
34	80	3	34028	182	111	64	80	5	52435	346	231
34	100	2	24988	182	111	64	100	4	43857	346	231
36	50	4	40046	190	114	66	50	8	78618	360	243
36	80	3	33568	190	114	66	80	5	52938	360	243
36	100	2	25198	190	114	66	100	4	45417	360	243
38	50	5	50586	198	117	68	50	8	81039	370	250
38	80	3	32836	198	117	68	80	5	55585	370	250
38	100	2	25066	198	117	68	100	4	47047	370	250
40	50	5	50216	208	123	70	50	8	81768	384	261
40	80	3	32935	208	123	70	80	5	57716	384	261
40	100	3	25546	208	123	70	100	4	48916	384	261
42	50	5	49997	216	130	72	50	9	88220	396	271
42	80	3	33027	216	130	72	80	5	58216	396	271
42	100	3	35246	216	130	72	100	4	49257	396	271
44	50	5	49175	224	136	74	50	9	91598	404	276
44	80	3	32737	224	136	74	80	6	55798	404	276
44	100	3	33377	224	136	74	100	5	57797	404	276
46	50	5	48886	234	144	76	50	9	91179	414	284
46	80	3	32557	234	144	76	80	6	68037	414	284
46	100	3	3927	234	144	76	100	5	56906	414	284
48	50	6	48945	242	150	78	50	9	91428	428	296
48	80	4	32476	242	150	78	80	6	65897	428	296
48	100	3	33717	242	150	78	100	5	58315	428	296

Tablo 10. Regresyon analizi sonuç tablosu (Solution table of regression analysis)

Katsayılar					
Model	Standart olmayan katsayılar		Standardize edilmiş katsayılar		Anlamlılık (p)
	B	Standart hata	Beta	t	
1 (Sabit)	41339,921	3058,583		13,516	,000
musteri sayısı	824,107	36,895	,776	22,337	,000
kapasite	-484,679	31,083	-,542	-15,593	,000
a. Bağımlı değişken: toplam_mesafe					
Standart hata: 6059,103		R kare: 0,895		Düzeltilmiş R kare: 0,893	

6. SONUÇ (CONCLUSION)

İşletmelerin rekabet avantajı sağlayabilmesi için işletme içerisinde önemli bir yüzdeye sahip dağıtım maliyetlerinde iyileştirme sağlamaları gerekmektedir. Dolayısıyla işletme ve müşteri ihtiyaçlarına yanıt verecek dağıtım ağının tasarlanması, işletme karlılığı ve kaynaklarının verimli kullanımı açısından büyük önem arz etmektedir. Ele alınan işletmenin müşterilerinin hem dağıtım hem de toplama müşterisi olması nedeniyle hizmet vermek için kullanılan araçların kapasitelerinde dalgalanmaya sebep olmaktadır ve araçların kapasite kontrolünü sağlamayı zorlaştırmaktadır. Yapılan çalışmada işletmenin maksimum verimli araç kullanımı ile müşteri taleplerini karşılayacak dağıtım ve toplama rotalarının oluşturulması problemine çözüm getirilmiştir. Bu kapsamda işletmenin hizmet sağlayacağı 76 müşterisi için gidilen mesafeyi en küçükleyecek araçların günlük rotalama planları oluşturulmuştur. Probleme uygun çözüm üretebilmek için en kısa yol algoritması kullanılarak sezgisel bir yöntemle çözüm üretilmiştir. Oluşturulan farklı problem senaryoları geliştirilen yöntem ile çözülmüş, araçların izledikleri rotalar oluşturulmuş ve mesafe bilgileri hesaplanmıştır. Geliştirilen algoritma sonuçlarına göre; 76 müşteri için, yükleme kapasitesi 50 birimden (koli) oluşan özdeş araçlar kullanıldığında toplamda 9 araç kullanılarak toplam gidilen mesafe 91428 metre, 80 birimden (koli) oluşan özdeş araçlar kullanıldığında toplamda 6 araç kullanılarak toplam gidilen mesafe 65897 metre, 100 birimden (koli) oluşan özdeş araçlar kullanıldığında toplamda 5 araç kullanılarak toplam gidilen

mesafe 58315 metre olarak elde edilmiştir. Farklı yükleme kapasitelerine sahip araçların kullanılmasında; kullanılan araç sayısı ve araçların toplam gittikleri mesafelerdeki değişkenlik ele alınmıştır; taşımayı gerçekleştirecek araçların kapasite miktarlarının en iyi şekilde belirlenmesi, mesafenin en küçüklenmesinde son derece etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Regresyon analizi ile taşıma maliyetinin oluşmasında en belirleyici unsur olan toplam kat edilen mesafe üzerinde, hizmet verilecek müşteri sayısı ve araç kapasitesinin etkisi ölçülmüştür. Böylece amaç fonksiyonu çözüm değeri, parametrelere bağlı olarak kolayca tahmin edilebilecektir. Pratik hayatta da farklı senaryolar ele alınarak, değerlendirilen değişkenlere göre kolaylıkla karşılaştırma yapılabilir. Böylece problemi etkileyen bütün alternatif faktörlerin sonuçları, rasyonel çerçevede tahmin etmek mümkün olur. Bu da karar vermede büyük kolaylık sağlar.

EKLER (APPENDIX)

EK 1. Uzaklık matrisi 76 müşteri için-metre (Distance matrix for 76 customers)

Depo	1	2	.	74	75	76	
Depo 0	3750	3810	.	4550	4730	4520	
1	3750	0	509	.	930	1330	700
2	3810	509	0	.	890	1090	660
3	1200	480	440	.	459	869	240
4	3670	290	290	.	1140	1540	900
.	.	.	.	.	990	1490	760
74	4550	930	890	1370	0	430	350
75	4730	1330	1090	1600	430	0	1050
76	4520	700	660	1140	350	1050	0

EK 2. Uzaklık matrisi 152 müşteri için-metre (Distance
matrix for 152 customers-meter)

Depo	1	2	.	150	151	152	
0	3750	3810	.	4552	4736	4528	
1	3750	0	509	.	1340	750	850
2	3810	509	0	.	670	885	750
3	1200	480	440	.	350	460	764
4	3670	290	290	.	876	750	652
.	.	.	.	.	1621	2269	1548
150	4552	1340	670	1621	0	1300	2500
151	4736	750	885	2269	1300	0	2586
152	4528	850	750	1548	2500	2586	0

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Ü. Şengül, «Tersine lojistik kavramı ve tersine lojistik ağ tasarımı,» *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, no. 10, 2011.
- [2] F. P. Goksal, İ. Karaoglan ve F. Altıparmak, «A hybrid discrete particle swarm optimization for vehicle routing problem with simultaneous pick up and delivery,» *Computer Industrial Engineering*, no. 65, pp. 39-53, 2013.
- [3] H. Min, «The multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and Pick up points,» *Transportation Research*, pp. 377-386, 1989.
- [4] J. Dethloff, «Vehicle routing and reverse logistics: the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up,» *OR Spektrum*, vol. 23, no. 1, pp. 79-96, 2001.
- [5] J. Crispim ve J. Brandao, «Metaheuristics applied to mixed and simultaneous extensions of vehicle routing problems With backhauls,» *Journal of the Operational Research Society*, vol. 56, pp. 1296-1302, 2005.
- [6] G. Nagy ve S. Salhi, «Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickups and deliveries,» *European Journal of Operational Research*, no. 162, pp. 126-141, 2005.
- [7] F. A. T. Montane ve R. D. Galvao, «A tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery service,» *Computer Operations Research*, no. 33, pp. 595-619, 2006.
- [8] S. Ropke ve D. Pisinger, « A unified heuristic for a large class of vehicle routing problems with backhauls,» *European Journal of Operational Research*, vol. 171, pp. 750-775, 2006.
- [9] J. Chen, « Approaches for the vehicle routing problem with simultaneous deliveries and pick-ups,» *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, vol. 23, no. 2, pp. 141-150, 2006.
- [10] N. Bianchessi ve G. Righini, « heuristic algorithms for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery,» *Computers Operations Research*, no. 34, pp. 578-594, 2007.
- [11] S. N. Parrag, K. F. Doerner ve R. F. Hartl, « A survey on pick up and delivery problems part I: transportation between pickup and delivery locations,» vol. 58, no. 1, pp. 21-51, 2008a.
- [12] S. N. Parrag, K. F. Doerner ve R. F. Hartl, « A survey on pickup and delivery problems part II: transportation between pickup and delivery locations,» *Journal fur Betriebswirtschaft*, vol. 58, no. 1, pp. 81-117, 2008b.
- [13] C. Erbao, L. Minygyong ve N. Kai, « A differential evolution and genetic algorithm for vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery and time windows,» *Proceedings of the 17th World Congress the International Federation of Automatic Control*, Korea, 2008.
- [14] J. Ai ve V. Kachitvichyanukul, «A particle swarm optimization for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery,» *Computers & Operations Research*, cilt 36, no. 5, pp. 1693-1702, 2009.
- [15] M. G. Karlaftis, K. Kepaptsoglou ve E. Sambracos, « Containership routing with time deadlines and simultaneous deliveries and pick-ups,» *Transportation Research Part E*, no. 45, pp. 210-221, 2009.
- [16] E. E. Zachariadis, C. D. Tarantilis ve C. T. Kiranoudis, « A Hybrid Metaheuristic algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up service,» *Expert System With Applications*, no. 36, pp. 1070-1081, 2009.
- [17] Y. Gajpal ve P. Abad, « An ant colony system for vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up,»

- Computers Operations Research*, cilt 36, pp. 3215-3223, 2009.
- [18] L. Mingyong ve C. Erbao, « An improved differential evolution algorithm for vehicle routing problem with simultaneous pick-ups and deliveries and time windows,» *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, no. 23, pp. 188-195, 2010.
- [19] E. Zachariadis, C. D. Tarantilis ve C. T. Kiranoudis, «An Adaptive Memory Methodology For The Vehicle Routing Problem With Simultaneous Pick-ups And Deliveries,» *European Journal of Operational Research*, no. 202, pp. 401-411, 2010.
- [20] A. Subramanian, L. M. Drummond, C. Bentes, L. S. Ochi ve R. Farias, « A parallel heuristic for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery,» *Computers Operations Research*, no. 37, pp. 1899-1911, 2010.
- [21] B. Çatay, « A new saving-based ant algorithm for the vehicle routing problem,» *Expert Systems with Applications*, no. 37, pp. 6809-6817, 2010.
- [22] S. Çetin ve C. Gencer, « Kesin zaman pencereli eş zamanlı dağıtım toplamalı araç rotalama problemi,» *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, cilt 25, no. 3, pp. 579-585, 2010.
- [23] J. Fan, «The vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery Based on customer satisfaction,» *Advanced in Control Engineering and Information Science*, no. 15, pp. 5284-5289, 2011.
- [24] A. Subramanian, E. Uchoa, A. A. Pessoa ve L. S. Ochi, « Branch and cut with lazy separation for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery,» *Operations Research Letters*, no. 39, pp. 338-341, 2011.
- [25] E. E. Zachariadis ve C. T. Kiranoudis, « A local search metaheuristic algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick-ups and deliveries,» *Expert Systems with Applications*, no. 38, pp. 2717-2726, 2011.
- [26] S. Tasan ve M. Gen, «A genetic algorithm based approach to vehicle routing problem with simultaneous pick-up and deliveries,» *Computer Industrial Engineering*, no. 62, pp. 755-761, 2012.
- [27] T. Zhang, W. A. Chaovalitwongse ve Y. Zhang, «Scatter search for the stochastic travel time vehicle routing problem with simultaneous pick-ups and deliveries,» *Computer Operations Research*, vol. 39, pp. 2277-2290, 2012.
- [28] H. F. Wang ve Y. Y. Chen, « A genetic algorithm for the simultaneous delivery and pick-up problems with time windows,» *Computer Industrial Engineering*, no. 62, pp. 84-95, 2012.
- [29] R. C. Cruz, T. C. Silva, M. J. Souza, V. N. Coelho, M. T. Mine ve A. X. Martins, «Genvns-Ts-CI-Pr: A heuristic approach for solving the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery,» *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, no. 39, pp. 217-224, 2012.
- [30] R. Liu, X. Xie, V. Augusto ve C. Rodriguez, « Heuristic approaches for a special simultaneous pick-up and delivery problem with time windows in home health care industry,» *European Journal of Operational Research*, no. 230, pp. 475-486, 2013.
- [31] H. O. Günther, O. Kulak, C. B. Kalayci ve O. Polat, « A perturbation based variable neighborhood search heuristic for solving the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery,» *European Journal of Operational Research*, no. 242, pp. 369-382, 2015.
- [32] C. Wang, D. Mu, F. Zhao ve J. W. Sutherland, « A parallel simulated annealing method for the vehicle routing problem with simultaneous pickup-delivery and time windows,» *Computers Industrial Engineering*, no. 83, pp. 111-122, 2015.
- [33] M. Avci ve S. Topaloglu, « A particle swarm optimization for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery,» *Expert Systems With Applications*, no. 53, pp. 160-171, 2016.
- [34] C. B. Kalayci ve C. Kaya, «An ant colony system empowered variable neighborhood search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery,» *Expert Systems With Applications*, no. 66, pp. 163-175, 2016.
- [35] İ. Karaoğlan, Dağıtım ağları tasarımında yer seçimleri ve eş zamanlı toplama dağıtım araç rotalama problemleri, Gazi Üniversitesi, Fen

Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği
Bölümü, Doktora Tezi. Ankara, 2009.

- [36] G. Dinç Yalçın, Önce dağıt sonra topla araç rotalama problemi için bulanık ortamda çok amaçlı yaklaşım ve uygulama, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2012.
- [37] G. Mosheiov, «Vehicle routing with pick-up and delivery tour partitioning heuristics,» Computers Industrial Engineering, vol. 34, no. 3, pp. 669-684, 1998.