KAPASİTE KISITLI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN SEZGİSEL YÖNTEMLER: E-TİCARET TEDARİKÇİLERİNE YÖNELİK BİR UYGULAMA

Burak YILDIRIM[1], Selçuk ÇEBİ[2]

Öz

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte birçok üründe arz, ürüne olan talebi geçmiş bu da işletmeler arasındaki rekabeti arttırmıştır. İşletmeler bu ortamda ayakta kalabilmek için ürünlerinde müşteri isteklerini dikkate almalı, daha düşük maliyetlerde istenen kalitede ürünü üretmeli ve müşteriye ulaşabilmelidirler. İşletmelerin üretim/hizmet maliyetlerini arttıran en önemli unsurlardan biri lojistik faaliyetleridir. Araç Rotalama Problemi lojistik yönetiminin ilgilendiği konulardan biridir. Bu çalışmada İstanbul'da bulunan e-ticaret sitelerinden gelen kargo taleplerini toplayan ve istenilen lokasyona gönderimini sağlayan bir aracı şirketin araç rotalama problemine yönelik çözüm önerileri geliştirilmesi amaçlanmıştır. Şirketin uzun dönemli planları içerisinde toplama maliyetlerini azaltmak amacıyla işletme kısıtlarına özgü bir araç rotalama modülü entegrasyonu da yer almaktadır. İşletmenin çeşitli pazaryerlerine hizmet vermesi*(i)* ve bu pazaryerlerinde satılan ürün gamının çeşitliliği*(ii)*, bu ürünleri sağlayan işletmelerin sayısı*(iii)* dikkate alındığında çalışmada ele alınan problem, polinomsal zamanda çözüm elde edilemeyen (NP-Zor) problem sınıfındadır. Bu tür problemlerin çözümünde literatürde deterministik modellerden ziyade sezgisel ya da meta sezgisel yöntemler tercih edilmektedir. Çalışma kapsamında, işletme kısıtlarına yönelik birçok sezgisel algoritma denenmesine rağmen en iyi çözümü veren *Süpürme algoritmalı 2-Opt tur geliştirici* sezgiseli ve Google OR çözüm araçlarından *Guided Local Search* sezgiselinden elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Algoritmalar *Python* dilinde kodlanmıştır ve çözümler *Windows 8.1, i7 4710MQ, 8 Gb Ram* özelliklerine sahip bilgisayar kullanılarak elde edilmiştir. Guided Local Search gerek toplama süresinde gerekse de ihtiyaç duyulan araç sayısı bakımından en iyi sonucu vermiştir. Her iki sezgisel, şirketin araç filosundaki araç sayının yarıya indirebileceği sonucunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: *Araç Rotalama Problemi, Süpürme Sezgiseli, 2-Opt Tur Sezgiseli, Guided Local Search*
JEL Kodları: *C61, C80, D39*

HEURISTIC METHODS FOR THE CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM: AN APPLICATION OF E-COMMERCE SUPPLIERS

Abstract

Nowadays, with the development of technology, supply of many products has exceeded the demand, and this has increased the competition among the business enterprises. In order to survive in a competitive environment, business enterprises should take into account customers' requirements, produce products of the desired quality at lower costs and reach the customers. One of the most important factors that increase the production/service costs of enterprises is logistics activity. Vehicle Routing Problem is also one of the most important issues in logistics management. Within the scope of this study, it has been aimed to develop solutions for the vehicle routing problem of a brokerage company that collects the cargo demands of the e-commerce sites located in Istanbul and sends them to the desired location. In a long term, the company desires to integrate a vehicle routing module which considers the company's constraints in order to reduce service costs. Since *(i.)*the company provides services to various marketplaces, *(ii.)*the variety of products sold in these marketplaces has been large, and *(iii.)*the number of supplier enterprises providing these products is enormous, the problem considered within the scope of the study is NP-Hard problem class. In this study, although many heuristic algorithms have been utilized for the constraints of the company, the best results obtained from the *Sweep algorithm with 2-Opt heuristic* and *Guided Local Search heuristic* from Google OR solution tools are presented. Algorithms are coded in Python and solutions are obtained by using computer with Windows 8.1, i7 4710MQ, 8 Gb Ram. Furthermore, Guided Local Search produced the best results in terms of total pickup time and the number of the required vehicles. Both heuristics prove that vehicle fleet should be halved.

Keywords: *Vehicle Routing Problem, Sweep Algorithm, 2-Opt Algorithm, Guided Local Search, e-Commerce*
JEL Classification: *C61, C80, D39*

[1] *Yıldız Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yıldız, Beşiktaş, İstanbul, 0000-0003-2846-0757*
[2] *Yıldız Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yıldız, Beşiktaş, İstanbul: scebi@yildiz.edu.tr; ORCID ID:0000-0001-9318-1135*

DOI: 10.18092/ulikidince.581841
Makalenin Geliş Tarihi (Recieved Date): 04.04.2019
Yayına Kabul Tarihi (Acceptance Date): 16.08.2019

1.Giriş

İlk sanayi devriminden günümüze kadar geçen sürede teknolojinin gelişmesine paralel olarak pazara sunulan arz miktarı artmıştır. Arzın artması zamanla talebin önüne geçmiş bu da pazarda daha fazla pay sahibi olmak isteyen işletmeler arasındaki rekabeti tetiklemiştir. Rekabet ortamında işletmeler pazar paylarını arttırmak için üretim/hizmet maliyetlerini düşürme, müşteri memnuniyetini arttırma ve müşteriye ulaşma/tanıtım olarak ifade edebileceğimiz temelde üç stratejiye yönelik faaliyetleri ön planda tutmaktadır. İşletmeler üretim maliyetlerini düşürmek amacıyla malzeme israfını azaltmadan, taşıma, bekleme, üretim gibi çok geniş alanda yürütülen faaliyetlerin her birini ele alarak süreçlerini optimize ederler. Müşteri beklentilerini yakalama konusunda da pazar analizleri, odak grup çalışmaları, tüketici şikayetleri gibi çeşitli kanallardan toplanan verileri analiz ederek müşteriyi yakalayacak ve rakibe fark katacak ürünü ortaya koymaya çalışırlar. Üçüncü stratejide ise daha ziyade firmanın ürünü müşteriye anlatabileceği uygun kanalın tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Burada da televizyon, radyo, gazete, reklam panosu gibi araçlarda reklam verme gibi klasik araçlardan internet ya da mobil ağlar üzerinden doğru müşteriyi yakalayan nokta atışı çağdaş reklamcılık çalışmaları yürütülmektedir.

Ürünün hammaddeden müşteriye ulaştırılmasına kadar olan planlama, tedarik, üretim ve lojistik süreçlerini kapsayan tedarik zinciri yönetimi hem maliyetlerin azaltılmasına hem de müşteri memnuniyetine değinen bir süreçtir. Üretim kısmını dışarıda tutarsak tedarikçiden toplama ve müşteriye dağıtım faaliyetlerini içeren lojistik yönetimi de hem maliyetlerin minimize edilmesi hem de müşteri memnuniyetini arttıran alt süreçtir. Burada kısa sürede ürün toplama ve dağıtım faaliyetlerinin yürütülmesi hem maliyetleri azaltır hem de müşterinin kısa sürede ürüne kavuşması sağlandığı için müşteri memnuniyetini arttırır. Günümüzde özellikle e-ticaret faaliyetlerinin artması, lojistik süreçlerini zenginleştirmiş ve eskiden daha çok uygulamasını gördüğümüz işletmeden işletmeye (B2B) olan hizmet türünün günümüzde işletmeden son kullanıcı (B2C) yapısına dönüşmesine neden olmuş ve yaygınlaşmasına katkı sağlamıştır.

Bu çalışma kapsamında e-ticaret sitelerinden gerçekleşen satışla birlikte gelen kargo taleplerini toplayarak istenilen lokasyona gönderimini sağlayan bir aracı şirket için paket toplama faaliyetlerine yönelik araç rotalama problemine (ARP) ilişkin çözüm önerileri geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında ele alınan işletmenin ana fonksiyonu, yurt dışına ürün satışı gerçekleştiren işletmelerin paketlerinin tedarikçiden alınmasını ve yurt dışında bulunan nihai kullanıcıya teslim edilmesini sağlamaktır. Mevcut yapıda, firma depoları daha çok transfer merkezi olarak kullanılmaktadır. Bu süreçte, tedarikçiden gelen ürünleri depolamadan son kullanıcıya ulaştıracak şekilde doğrudan doğruya veya zaman zaman kısa süre bekletmek koşuluyla araçlara aktarılması ve malların talep noktalarına ulaştırılması sağlanmaktadır. Bu nedenle, işletme çeşitli tedarikçiler adına son kullanıcıya hizmet verdiği için süreç içerisinde elleçlenen paket sayısı ve ürün çeşitliliği oldukça yüksektir. İşletmenin karşılaştığı ana sorunlardan biri rotalama problemidir. Her geçen gün artan tedarikçi işletme sayısı ve her bir işletmenin sahip olduğu ürün sayısı dikkate alındığında son kullanıcının tek bir ürüne olan ortalama talep düzeyi azalmakta ve talep değişkenliği artmaktadır. Buradan kaynaklanan çeşitlilik nedeniyle gün içerisinde tedarikçiden ürünlerin toplanması ve son kullanıcıya ulaştırmak üzere planlanması oldukça karmaşık bir problemdir. Mevcut yapıda az tedarikçiden çoklu müşteriye sevkiyat gerçekleştirilirken yakın gelecekte çoklu tedarikçiden çoklu müşteriye sevkiyat gerçekleştirilecektir. Halihazırda, rotalama faaliyetleri ve yol seçimi tamamen manuel ve operasyon yöneticisinin sezgisine ya da şoför inisiyatifinde bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. Bu durum, *(i) siparişin depoya girişini dolayısıyla transfer merkezi işlemleri sonrası müşteriye ulaşmasını geciktirmekte, (ii) ön seziye dayalı sipariş toplama faaliyetleri yakıt tüketimini arttırmakta ve (iii) operasyon sırasında gerçekleşen işçilik maliyetlerini arttırmaktadır*.

İşletme kaynaklarının verimli kullanılması, sunulan hizmet maliyetlerinin düşürülmesi ve tedarikçi firmaya yurt dışı pazarlarında rekabet avantajı sağlanabilmesi için toplama maliyetlerini en düşük şekilde gerçekleştirmesi gerekmektedir. Sunulan çalışma kapsamında taktiksel bir karar olan ve ulaştırma maliyetlerini minimize edecek olan rotalama problemi modellenecektir. Rotalama

problemi literatürde matematiksel ve sezgisel yöntemlerle çözülen bir problemdir. Ancak çalışmada gerçek bir problemin ele alınıyor olması, çoklu tedarikçiden çoklu ürünün toplanacak olması dikkate alınırsa problemin NP-zor sınıfında olduğu açıktır ve bu nedenle çalışmada problemin çözümü için sezgisel ve meta-sezgisel yöntemlerin kullanılması hedeflenmektedir. Literatürde çeşitli uygulamaların olmasına rağmen, işletme problemine özgü kısıtları dikkate alan ve ulusal pazarda ürüne dönüşmüş bir ürün toplama ve dağıtımı için rotalama yapan bir uygulama mevcut değildir. Bu çalışma kapsamında çeşitli sezgisel algoritmalar denenmiş ve en iyi çözümü veren Süpürme algoritmalı 2-Opt tur geliştirici sezgiseli ve Google OR çözüm araçlarından Guided Local Search sezgiselinden elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Çalışmanın organizasyonu şu şekildedir; Bölüm 2, araç rotalama problemi ve uygulama alanlarına yönelik literatüre önerilmiş yenilikçi yaklaşımları içeren akademik çalışmaları özetlemektedir. Bölüm 3'de çalışmada kullanılan yöntemler özetlenmekte ve Bölüm 4'de ise çalışmanın yapıldığı işletmeye özgü probleme ilişkin çözümler sunulmaktadır. Çalışmada elde edilen sonuçlar ise Bölüm 5'de verilmektedir.

2. Literatür Özeti

Araç rotalama problemi literatüre ilk kez 60 yıl önce önerilmiş olup önerildiği tarihten günümüze kadar yaygın olarak çalışılan bir konudur. Literatürde farklı türlerdeki ARP'lerinin çözümü için deterministik modeller, stokastik modeller, klasik sezgisel yöntemler, meta-sezgisel yöntemler ve bunların birleşimiyle oluşturulan hibrit yöntemler gibi çeşitli modeller kullanılarak çözüm aranmıştır. Literatürde yer alan ARP çalışmalarından göze çarpanlar şunlardır;

Taillard ve diğ. (1997) esnek zaman pencereli ARP için tabu arama algoritmasını geliştirerek ARP için farklı çözüm yöntemleri aramışlardır. Ralphs ve diğ. (2003) kapasite kısıtlı ARP için dal-sınır algoritmasını kullanmışlardır. Bell ve McMullen (2004) yaptıkları çalışmada kapasite, mesafe ve zaman kısıtlı ARP için karınca kolonisi optimizasyonu çalışmışlardır. Montemanni ve diğ. (2005) çalışmalarında bir şirketin kapasite, mesafe ve zaman kısıtlı dinamik araç rotalama problemi için karınca kolonisi algoritmasını kullanmışlardır. Pisinger ve Ropke (2005; 2007) çalışmalarında kesin zaman pencereli topla dağıt araç rotalama probleminin çözümü için literatüre *"Adaptive Large Neighborhood Search"* yöntemini önermişlerdir. Nakao ve Nagamochi (2007) çalışmalarında kesikli bölünmüş teslimatlı kapasite kısıtlı ARP için kesin çözüm yöntemi olan dinamik programlama kullanmışlardır. Yu ve diğ. (2009) *karınca kolonisi yöntemini* kullanarak elde ettikleri sonuçları mevcut çalışmalarda kullanılan çeşitli yöntemlerle karşılaştırmışlardır. Erdoğan ve Miller-Hooks (2012) çalışmalarında yeşil ARP'nin çözümü için DBSCAN algoritmasını ve tasarruf algoritmasını kullanmışlardır. Yousefikhoshbakhti ve Khorram (2012) çalışmalarında gerçek bir işletmenin klasik ARP problemi için klasik sezgisel yöntem olan Süpürme ve meta-sezgisel yöntemlerden Karınca Kolonisi Algoritmalarını sırayla kullanarak hibrit bir yöntem kullanmışlardır. Liu ve diğ. (2014) genetik algoritma yöntemini kullanarak karbon ayak izinin azaltılmasına yönelik çalışmada bulunmuşlardır. Cacchiani ve diğ. (2014) çalışmalarında periyodik araç rotalama problemi için lineer programlama ve meta-sezgisel lokal arama yöntemlerini kullanmışlardır. Korablev ve diğ. (2016) kesin zaman pencereli araç rotalama problemi için genetik algoritma ve karınca kolonisi optimizasyonunu birlikte kullanarak hibrit bir meta-sezgisel yöntem önermişlerdir. Zhang ve diğ. (2017) çalışmalarında kesin zaman pencereli araç rotalama problemi için *Parçacık Sürü Optimizasyonu* yöntemiyle lojistik firmasının problemi için çözüm aramışlardır. Novoa-Flores ve diğ. (2018) çalışmalarında çoklu depo kesin zaman pencereli araç rotalama problemi için klasik sezgisel olan iki aşamalı yöntemi kullanarak 'Lazy Strategy' ve 'Minimum-k' algoritmalarıyla bir işletmenin problemine çözüm aramışlardır. Puspita ve diğ. (2018) çalışmalarında karma tamsayılı doğrusal matematiksel modelde değişken sayısının azaltılarak geliştirdikleri yöntem ile atık toplama problemini incelemişlerdir. González ve diğ. (2018) çalışmalarında kesin zaman pencereli araç rotalama problemi için *genetik algoritmanın* bir uzantısı meta-sezgisel çözüm yöntemi olan yeni bir algoritma kullanmışlar ve yöntemi Solomon veri seti üzerinde de denemişlerdir. Xia ve diğ. (2018) çalışmalarında kesikli bölünmüş teslimatlı kapasite kısıtlı araç rotalama problemi için tabu arama yöntemini kullanmışlardır.

Literatürde yayımlanan ARP çözüm yöntemlerine ve çalışmalarda kullanılan parametrelere ilişkin özet tablolar aşağıda verilmiştir. Tablo 1'de ARP çözümü için deterministik model kullanan çalışmalar, Tablo 2'de sezgisel yöntem kullanan çalışmalar ve Tablo 3'de de Meta-Sezgisel Yöntemleri kullanılan çalışmalar için örnekler sunulmaktadır.

Tablo 1. **Deterministik model kullanılan çalışmalar**

Çalışma	Dal ve Kesme Algoritması	Dal ve Sınır Algoritması	Dinamik Programlama	Sütun Yaratma Yaklaşımı	Kesme Düzlemi Algoritması
Christofides ve diğ.(1981)		✓			
Yano ve diğ.(1987)		✓			
Laporte ve diğ. (1992)	✓				
Ralphs ve diğ. (2003)	✓				
Lysgaard ve diğ. (2004)	✓				
Baldacci ve diğ. (2004)	✓				✓
Kallehauge ve diğ. (2006)					✓
Nakao ve Nagamochi (2007)			✓		
Choi ve diğ. (2007)				✓	
Cornillier ve diğ. (2008)				✓	
Qureshi ve diğ. (2009)				✓	
Archetti ve diğ.(2011)				✓	
Subramanian ve diğ. (2011)	✓				
Tricoire ve diğ. (2011)	✓				
Baldacci ve diğ. (2013)			✓		
Archetti ve diğ.(2014)	✓				
Battarra ve diğ. (2014)	✓				

Tablo 2. **Sezgisel yöntemleri kullanılan çalışmalar**

Çalışma	Tasarruf (Savings)	Komşu Arama	Süpürme (Sweep)	İki Aşamalı Yöntem	Geliştirilmiş Petal Sezgisel	Diğer
Gillett ve Miller (1974)			✓	✓		
Renaud ve diğ. (1996)					✓	
Sariklis ve Powell (2000)				✓		
Nurcahyo ve diğ. (2002)			✓			
Pisinger ve Ropke (2007)						ALNS
Hemmelmayr ve diğ. (2009)		✓				
Parragh ve diğ. (2010)		✓				
Gajpal ve Abad (2010)	✓					
Eryavuz ve Gencer (2011)	✓					
Yousefikhoshbakhti ve Khorram (2012)			✓			
Erdoğan ve Miller-Hooks (2012)	✓					DBSCAN
Kosif ve Ekmekçi (2012)	✓					
Pichpibul ve Kawtummachai (2012)	✓					
Bozyer ve diğ. (2014)				✓		
Polat ve diğ. (2015)		✓				
Wei ve diğ. (2015)		✓				
Keskintürk ve diğ. (2015)	✓		✓			
Novoa-Flores ve diğ. (2018)				✓		

ALNS:Adaptive Large Neighborhood Search; DBSCAN:Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise

Tablo 3. **Meta sezgisel yöntemleri kullanılan çalışmalar**

Çalışma	Meta-Sezgisel Çözüm Yöntemleri						
	TA	GA	BT	KKO	PSO	LA	MA
Osman (1993)			✓				
Gendreau ve diğ. (1994)	✓						
Taillard ve diğ. (1997)	✓						
Bullnheimer ve diğ. (1999)				✓			
Bell ve McMullen (2004)				✓			
Montemanni ve diğ. (2005)				✓			
Crispim ve Brandão (2005)	✓						
Yu ve diğ. (2009)				✓			
Kachitvichyanukul (2009)					✓		
Barthélemy ve diğ. (2010)			✓				
Yücenur ve Demirel (2011)		✓		✓			
Yousefikhoshbakhti ve Khorram (2012)				✓			
Tasan ve Gen (2012)		✓					
Cacchiani ve diğ. (2014)						✓	
Liu ve diğ. (2014)		✓					
Li ve diğ. (2015)						✓	
Korablev ve diğ. (2016)		✓		✓			
Zhang ve diğ. (2017)					✓		
Demirtaş ve Özdemir (2017)					✓		
González ve diğ. (2018)							✓
Xia ve diğ. (2018)	✓						

TA = Tabu Arama, GA = Genetik Algoritma, BT = Benzetilmiş Tavlama, KKO = Karınca Kolonisi Optimizasyonu, PSO = Parçacık Sürü Optimizasyonu, LA = Lokal Arama, MA = Memetik Algoritma

Literatürde yayımlanan çalışmalar incelendiğinde, ARP'nin genel olarak araç sayısının azaltılması, müşteri servis oranının azaltılması, seyahat sürelerinin azaltılması, ulaşım mesafelerinin kısaltılması, kapasite kullanım oranlarının artırılması ve yakıt tasarrufu sağlama gibi çeşitli amaçlara yönelik uygulandığı görülmektedir. Çalışmalarda kullanılan temel ARP parametreleri de Tablo 4'de sunulmuştur. Araç sayısı, müşteri sayısı, taşıma maliyeti, talep, araç kapasitesi en yaygın kullanılan tasarım parametrelerinin başında gelmektedir. Problemlerin çözümünde ise deterministik modellerden ziyade, sezgisel ve meta sezgisel yöntemlerin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Ayrıca bazı çalışmalarda, problemlerin çözümü için bu yöntemlerin birlikte ele alındığı hibrit çözüm algoritmaları da kullanılmaktadır. Deterministik çözüm yöntemlerinden en çok dal ve kesme algoritması kullanılmıştır. Ancak bu çözüm yöntemleri kullanılırken, graf üzerindeki düğüm sayısının artmasıyla birlikte (problemde oluşacak kombinasyon sayısı arttığı için) yöntemlerin çözüm üretme süresi uzamakta ve bazı durumlarda ise olurlu bir özüm elde edilememektedir. Bu tür problemlerin çözümünde literatürde daha ziyade sezgisel ve meta-sezgisel yöntemler tercih edilmektedir. Sezgisel yöntemler arasında tasarruf, süpürme, iki aşamalı yöntem ve komşu arama algoritmaları daha fazla kullanılmakla birlikte farklı algoritmaların da kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Süpürme algoritması iki aşamalı bir yöntem olmasına rağmen çalışmalarda oldukça yaygın olarak tercih edilmektedir. Problemin çözümü için yaygın olarak kullanılan meta-sezgisel algoritmalar arasında ise genetik algoritma ve karınca kolonisi yöntemleri önde gelmektedir. Sonuç olarak araç rotalama problemlerinin çözümünde parametre sayısının az olması durumunda deterministik modellerin kullanımı tercih edilirken problemlerin parametre ve kısıt sayısının artmasıyla birlikte sezgisel tekniklerin tercih edildiği görülmektedir.

Tablo 4. **Çalışmalarda kullanılan temel ARP parametreleri**

Çalışma	K	N	*Cij*	*Mi*	*qk*	$[a_i,b_i]$	*fi*	d_{ij}	*dmax*	*nr*	*P*	*tmax*	*T*
Gillett ve Miller (1974)	✓	✓		✓	✓			✓	✓	✓			
Christofides ve diğ.(1981)	✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓			
Laporte ve diğ. (1992)	✓	✓	✓	✓			✓	✓					
Osman (1993)	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓				
Gendreau ve diğ. (1994)	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓				
Taillard ve diğ. (1997)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓		
Ralphs ve diğ. (2003)	✓	✓	✓	✓	✓			✓					
Bell ve McMullen (2004)	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓				
Montemanni ve diğ. (2005)	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓				
Pisinger ve Ropke (2007)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
Nakao ve Nagamochi (2007)	✓	✓	✓	✓	✓			✓					
Yu ve diğ. (2009)	✓	✓	✓	✓	✓			✓					
Parragh ve diğ. (2010)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	
Yousefikhoshbakhti ve Khorram (2012)	✓	✓	✓	✓	✓			✓					
Erdoğan ve Miller-Hooks (2012)	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓				
Cacchiani ve diğ. (2014)	✓	✓	✓	✓	✓			✓					✓
Korablev ve diğ.(2016)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
Zhang ve diğ. (2017)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓		
Novoa-Flores ve diğ. (2018)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓	✓
González ve diğ. (2018)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓			
Xia ve diğ. (2018)	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓				

K = Toplam araç sayısı, N = Toplam müşteri sayısı, Cij = i noktasından j noktasına taşıma maliyeti, Mi = i. müşteri noktasındaki talep, qk = k aracının kapasitesi, xij = eğer k aracı i noktasından j noktasına giderse 1, aksi halde 0, [ai, bi] = i. müşteri için zaman penceresi (a : en erken servis zamanı, b: en geç servis zamanı), fi = i. müşteri için servis zamanı, dij = i ve j müşterileri arasındaki uzaklık, dmax = Bir aracın bir rota üzerinde gidebileceği maksimum yol, nr = Oluşması istenen rota sayısı, P = Gecikme durumunda ceza maliyeti, tmax = Sürücünün yasal sürüş saat limiti, T = Planlanan periyottaki gün sayısı

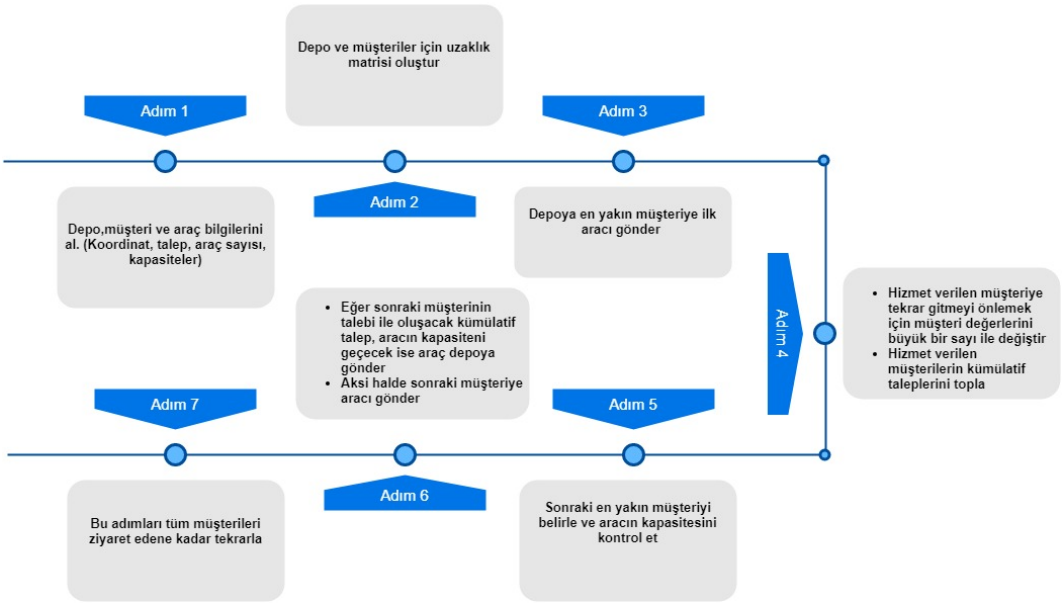
3. Yöntem

Araç rotalama problemlerinin kesin çözümü için *GAMS, Gurobi, IBM Cplex* gibi araçlar kullanılmaktadır. Bu programlar küçük boyutlu problemler için çözüm bulabilmekteyken büyük boyutlu problemlerde değişkenlerin artması nedeniyle yetersiz kalmaktadır. Çalışma kapsamında ele alınan problemin NP-Zor problem sınıfında olması nedeniyle çalışmada problemin çözümü için sezgisel algoritmalar kullanılacaktır. Çalışma kapsamında ele alınan problemin çözümü için şirketten elde edilen verilere çeşitli yöntemler uygulanmış ve en iyi çözüm veren iki yönteme ait sonuçlar çalışmada sunulmuştur. Bu nedenle bu bölümde problemin çözümünde en iyi sonucu veren süpürme algoritması-2-Opt tur geliştirici sezgiseli ve Google OR çözüm yaklaşımlarından Guided Local Search yöntemlerine değinilmiştir.

3.1. Süpürme Algoritması Tur Geliştirici Sezgiseli

Süpürme Algoritması Gillett ve Miller (1974) tarafından 1974 yılında ARP problemlerinin çözümü için literatüre sunulan bir algoritmadır. Yöntemin temel prensibi depoyu *x-y* ekseninde orijine alır ve müşterileri düzlemde konumlandırır. Genellikle *+x* ekseninden başlamak üzere saat yönünde veya saat yönünün tersi yönde *+x* ekseniyle müşterilerin arasındaki açılara göre en küçük açıya sahip depo-müşteri çiftinden başlanarak depodan müşterilere doğru ilerlenir. Depodan ilk müşteriye bu şekilde gidildikten sonra yine aynı yönde bir sonraki en küçük açıya sahip olan müşteri belirlenir ve gidilir. Sırayla müşterilere gidilirken müşterilerin kapasiteleri de toplanır ve aracın kapasitesiyle karşılaştırılır. Eğer bir sonraki müşteri aracın kümülatif kapasitesini aşacak ise araç depoya geri döndürülür ve rota tamamlanır. Henüz hizmet verilememiş olan müşteriler için sıradaki müşteriye farklı bir araç gönderilir ve tüm müşteriler hizmet görünceye kadar bu işlem devam eder. Oluşan araç rotalarının her biri gezgin satıcı problemi olarak değerlendirilir ve bu şekilde rotalar geliştirilmeye çalışılır. Bu nedenle yöntem iki aşamalı olarak kabul edilmektedir. Süpürme algoritmasının uygu-

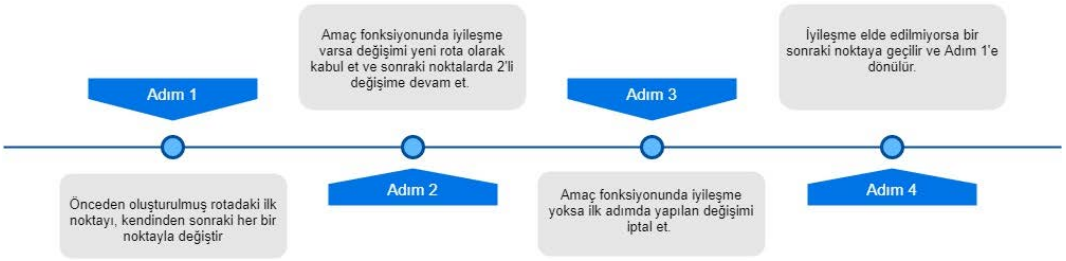
lama adımları Şekil 1'de verilmektedir. Bu yöntem saat yönünde veya saat yönünün tersinde çalıştırıldığında farklı sonuçlar sunar ve başlangıç ekseni genellikle *+x* olarak kabul edilir. Ancak bu eksen her bir komşu müşteri çiftinin arasında olacak şekilde de alınabilir.



Şekil 1. **Süpürme algoritması tur geliştirici sezgiseli**

3.2.2-Opt Tur Geliştirici Sezgiseli

Croes (1958) tarafından gezgin satıcı problemlerinin çözümü için 1958 yılında geliştirilen yöntem süpürme ya da en yakın komşu gibi algoritmalarla oluşturulan rotaların iyileştirilmesi amacıyla da kullanılmaktadır. Yöntemin temeli, noktaların ikili olarak yer değiştirmesi sonucunda amaç fonksiyonunda sağlanan iyileşmeye dayanmaktadır. Bu yöntem kesin çözüm getirmekten ziyade mevcut turları iyileştiren bir sezgiseldir. Yöntemin bilinen tek dezavantajı; deneme sayısının az olmasından dolayı denenmemiş rotalardaki daha iyi sonuçları atlama ihtimalinin olmasıdır. Algoritmaya ait akış diyagramı Şekil 2'de verilmiştir. Bu yöntem kendi içinde değişimi yapılacak nokta sayısına bağlı olarak 3-opt ve n-opt olarak çeşitlenmektedir.



Şekil 2. **2-opt algoritması**

3.3. Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi İçin Google-OR Yöneylem Araştırması Aracı

Araç rotalama problemleri gibi çeşitli optimizasyon problemlerin çözümüne yönelik Google tarafından sezgisel ve meta-sezgisel yöntemlerin kullanılması için 'OR-Tools' isimli yöneylem araştırması araçları geliştirilmiştir (URL1). Tablo 5'de Google tarafından geliştirilen OR-Tools yöntemleri özetlenmiştir.

Tablo 5. **ARP İçin Google-OR çözümleri**

	Yöntem	**Açıklama**
SEZGİSEL	Path Cheapest Arc (En Ucuz Yay)	Bir rota "başlangıç" düğümünden başlayarak, en ucuz rota parçasını üreten düğüme bağlayın, ardından rotaya eklenen son düğümü yineleyerek rotayı uzatın.
	Path Most Constrained Arc (En Kısıtlı Yay)	Path Cheapest Arc'a benzer, ancak yaylar ilk önce en kısıtlı yayı tercih edecek olan karşılaştırma tabanlı bir seçiciyle değerlendirilir. Yönlendirme modeline bir seçici atamak için *ArcIsMoreConstrainedThanArc* yöntemini kullanır.
	Savings (Tasarruf)	Clarke & Wright(1964) tarafından geliştirilen algoritmadır
	Christofides	Christofides algoritması üzerine düğüm eklenemeyene kadar bir rota genişleterek genel araç rota modelleri üzerinde çalışır.
	Parallel Cheapest Insertion (Paralel En Ucuz Ekleme)	En ucuz düğümü en ucuz konumuna yerleştirerek sırayla bir çözüm oluşturur; ekleme maliyeti yayın maliyetine dayanır.
	Local Cheapest Insertion (Yerel En Ucuz Ekleme)	Her düğümü en ucuz konumuna yerleştirerek yinelemeli bir çözüm oluşturur; ekleme maliyeti yayın maliyetine dayanır. *Parallel Cheapest Insertion* ile yerleştirme için seçilen düğüm tarafından farklılık gösterir; burada düğümler yaratılış sırasına göre değerlendirilir.
	Global Cheapest Arc (Global En Ucuz Yay)	En ucuz rota parçasını üreten iki düğümü tekrar tekrar bağlar.
	Local Cheapest Arc (Yerel En Ucuz Yay)	Bağlantısız halefi olan ilk düğümü seçer ve en ucuz rota bölümünü üreten düğüme bağlar.
	First Unbound Min Value (İlk Sınırsız Min Değeri)	Bağlı olmayan halefi olan ilk düğümü seçer ve ilk kullanılabilir düğüme bağlar.
META SEZGİSEL	Greedy Descent (Açgözlü İniş)	Yerel asgari seviyeye ulaşana kadar iyileştirme (maliyet düşürücü) yerel arama komşularını kabul eder.
	Guided Local Search (Rehberli Yerel Arama)	Yerel minimumdan kaçmak için rehberli yerel arama kullanır; bu genellikle araç rotalaması için en verimli meta-sezgiseldir.
	Simulated Annealing (Benzetimli Tavlama)	Yerel minimumdan kaçmak için benzetilmiş tavlama kullanır.
	Tabu Search (Tabu Arama)	Yerel minimumdan kaçmak için tabu aramayı kullanır
	Objective Tabu Search (Amaç Tabu Arama)	Yerel minimumdan kaçmak için çözümün nesnel değeri üzerinde tabu araştırmasını kullanır.

4. Uygulama

Uygulama çalışmasında E-ticaret sitelerinde bireysel müşteriler tarafından satın alınan ürünlerin toplanarak yurtdışına gönderimini sağlayan bir lojistik işletmesinin verileri kullanılmıştır. İşletme, e-ticaret sitesiyle anlaşması olan ve ürünü sağlayan tedarikçi işletmenin depolarına giderek paketleri alır ve kendi deposuna getirerek ihracat için gerekli yurtdışı kargolama işlemleri tamamlandıktan sonra paketlerin gönderimini sağlar. İşletme uluslararası birçok pazaryerine lojistik hizmeti sunması nedeniyle siparişlerin talep yapısı belirsizdir. Pazaryerinde satışın gerçekleşmesiyle birlikte sipariş detayları lojistik firmasına elektronik ortamda iletilir. Ardından ürün bilgisi lojistik firma tarafından tedarikçi işletmeye iletilir. Tedarikçi firma tarafından hazırlanan perakende ürünler tedarikçi depolarından alınarak lojistik işletmesinin depolarına taşınır. Burada farklı tedarikçilerden gelen ürünler birleştirilerek farklı ülkelere gidecek ana paketler oluşturulur. Lojistik firmasının en kısa sürede ve en düşük maliyette tedarikçilerden ürünleri toplaması gerekmektedir. Ayrıca işletme bu işlemleri gerçekleştirirken en az sayıda araç kullanması gerekmektedir. Çalışma kapsamında işletmeden, lojistik faaliyetine ilişkin son iki aya ait (61 günlük) veri seti alınmıştır. İşletmeden alınan veri setine ilişkin örnek Tablo 6'da verilmiştir. İşletmeden alınan veri setinde boş satır ve hücreler temizlenerek 137866 satır veri seti elde edilmiştir. Daha sonra, elde edilen veri seti talep oluşma tarihine göre gruplandırılmıştır. Tablo 7'de işletmeden alınan verilerin düzenlenmiş hali örneklendirilmiştir.

Tablo 6. **Şirketten temin edilen veri setine ilişkin örnek tablo**

Müş-teri Adı	Şehir	Ülke	Teslimat Kodu	Ödeme Kodu	Durum	Ana Tip	Talep Olu-şum Tarihi	Depoya Geliş Tarihi
1	Izhevsk	Ruya	PUDO	PREPAID	Inbound	E-İhracat	1/27/2019 12:09 AM	1/29/2019 3:22 PM
2	Sankt-Peter-burg	Rusya	PUDO	PREPAID	Inbound	E-İhracat	1/27/2019 12:09 AM	1/29/2019 2:19 PM
3	Novosibirsk	Rusya	PUDO	PREPAID	Inbound	E-İhracat	1/27/2019 1:08 AM	1/29/2019 2:44 PM
4	Penza	Rusya	PUDO	PREPAID	Inbound	E-İhracat	1/27/2019 1:39 AM	1/29/2019 2:20 PM
5	Berlin	Almanya	ECOEXP	PREPAID	Inbound	E-İhracat	1/27/2019 2:18 AM	1/30/2019 12:47 PM
6	Berlin	Almanya	ECOEXP	PREPAID	Inbound	E-İhracat	1/27/2019 4:02 AM	1/30/2019 12:48 PM
7	Berlin	Almanya	ECOEXP	PREPAID	Inbound	E-İhracat	1/27/2019 4:16 AM	1/30/2019 12:51 PM

Tablo 7. **Şirket verilerinden elde edilen pivot tablo örneği**

Creation Date	Toplam Talep	Toplam Talep Sayısı	Müşteri Sayısı
1/27/2019	**6362**	**870**	**9**
1	8	1	1
4	209	57	1
5	93	7	1
12	34	2	1
13	9	3	1
22	22	3	1
23	4339	331	1
25	68	9	1
26	1580	457	1
1/28/2019	**8573**	**744**	**16**
1/29/2019	**9546**	**1414**	**15**
1/30/2019	**11591**	**1252**	**16**
1/31/2019	**14726**	**1500**	**16**
2/1/2019	**11039**	**1097**	**14**
2/2/2019	**7961**	**878**	**12**
2/3/2019	**4064**	**374**	**8**
2/4/2019	**21886**	**2513**	**15**

Şirketin sahip olduğu talep yapısı ve talebi karşılamak için sahip olduğu kapasite ve kısıtlar şu şekildedir;

- Şirketin veri setinin alındığı tarih aralığında toplamda yirmi yedi adet farklı müşterisi vardır.
- Müşterilerin talepleri kargoların şekli nedeniyle önceden kesin olarak bilinememektedir. Ancak geçmiş işlemler incelendiğinde tedarikçinin ürün gamına bağlı olarak her müşterinin minimum ve maksimum talep aralığı belirlenebilmektedir.
- Şirket 10'ar adet 4334 (Tip 1) ve 3757 (Tip 2) desi hacmine sahip toplamda 20 ticari araca sahiptir ve her bir aracın yaklaşık olarak aylık sabit maliyeti 7000 TL'dir.
- Şirkette mevcut durumda rotalama işlemleri için herhangi bir yazılım veya algoritma kullanılmamaktadır. Gün içinde yapılması gereken teslimatlar belirlenerek hangi saat

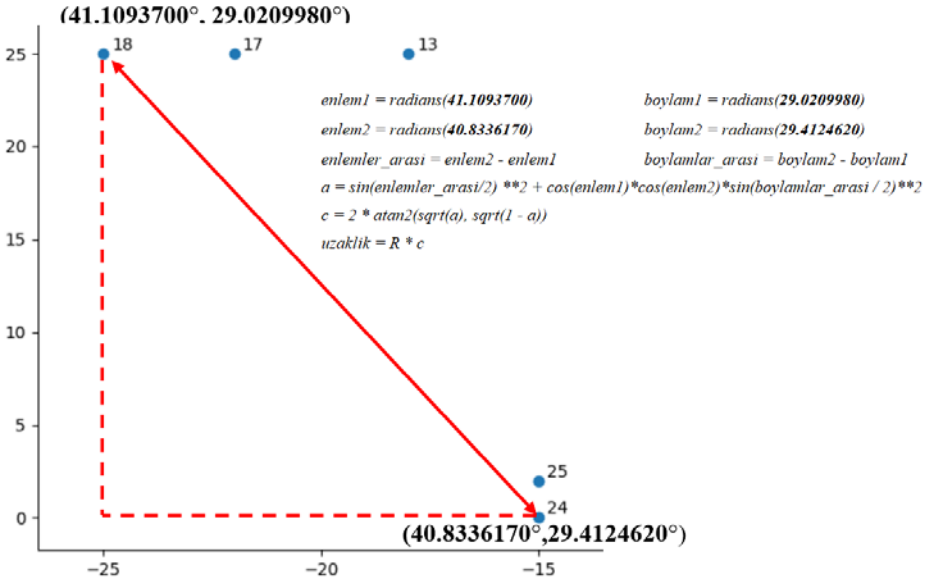
aralıklarında hangi müşteriye gidileceği, yükleme boşaltma süreleri tahmini olarak yapılarak günlük planlar oluşturulmaktadır.

- Çalışanların öğlen ve akşam birer saat mola süresi vardır.
- Her araçta minimum 2 personel çalışmaktadır ve her personelin aylık maliyeti yaklaşık 4000 TL'dir.
- Alınan veri seti için günlük maksimum toplam 76773 desi/kg; minimum 2155 desi/kg talep gelmiştir. Ortalama olarak bir günde 13775 desi/kg talep gelmektedir.
- Müşteriler ve depolar İstanbul ve çevresinde yer almaktadır. Müşteriler Gebze, Tuzla, Pendik; Avrupa yakasında ise Küçükcekmece, Avcılar, Levent, Kağıthane gibi birçok farklı lokasyonlarda yer almaktadır. Bu lokasyonların enlem ve boylamları Google Haritalar üzerinden belirlenerek Şekil 3'de yaklaşık olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. **Şirketin depo ve müşteri koordinatlarının temsili gösterimi(0:Depo)**

Depo-müşteri, müşteri-müşteri arasındaki uzaklıklar kodun içinde yazılan bir fonksiyon ile koordinat bilgileri kullanılarak mesafeyi kilometre olarak hesaplamaktadır. İlgili fonksiyona ilişkin Python kodu Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. **Koordinatlar arası mesafe hesaplama**

Tablo 8. **Süpürme algoritması ve 2-Opt tur geliştirici sezgiselin elde edilen rotalar (İlk 30 gün)**

Rota (Müşteri Numaraları)	Rota Uzun. (km)	Araç Kullanımı	İşlem Süresi(Sn)	Rota (Müşteri Numaraları)	Rota Uzun. (km)	Araç Kullanımı	İşlem Süresi(Sn)
0-25-26-12-4-23-0	141.92	%43.75		0-12-4-23-5-22-0	149.45	%49.72	0.14
0-23-0	87.29	100%	0.23	0-2-12-19-26-8-25-0	74.78	%94.07	
0-1-13-5-22-0	89.61	%3.05		0-27-9-11-24-4-0	47.17	%72.08	0.68
0-25-8-26-12-27-24-21-4-9-0	127.78	%87.91		0-23-0	87.29	%90.31	
0-23-0	87.29	%98.5	0.42	0-14-1-23-13-5-22-10-0	94.74	%36.18	
0-14-1-13-5-22-10-0	89.69	%11.4		0-15-19-26-16-8-9-24-4-0	102.76	%91.23	
0-8-19-12-27-9-24-4-0	104.69	%48.36	0.28	0-14-1-23-13-5-22-0	94.66	%98.13	0.39
0-14-1-23-5-22-10-0	91.48	%73.21		0-10-0	39.08	%4.18	
0-25-12-19-26-8-17-0	80.92	%96.98		0-25-15-19-26-16-8-11-27-0	84.48	%96.38	
0-27-9-24-4-0	38.82	%81.7	0.42	0-9-4-1-23-24-0	90.33	%97.67	0.5
0-14-1-23-5-22-10-0	91.48	%88.76		0-14-5-22-10-0	79.15	%33.66	
0-25-8-19-0	67.8	%87.29		0-25-8-19-18-15-26-16-24-9-0	103.88	%95.02	
0-26-12-27-0	67.03	%100.0	0.57	0-4-14-1-123-13-5-22-0	94.95	%98.94	0.48
0-27-9-24-4-0	38.82	%75.36		0-10-0	39.08	%2.54	
0-14-1-23-13-5-22-10-0	94.74	%77.13		0-25-8-16-26-15-27-0	49.46	%97.81	0.37
0-25-8-26-12-27-0	67.74	%76.05		0-9-4-24-21-1-23-5-22-14-10-0	95.22	%67.26	
0-27-0	Ağu.48	%100.0	0.44	0-25-8-16-26-1-9-0	67.58	%94.79	0.28
0-27-9-1-24-14-23-13-5-22-10-0	101.22	%78.66		0-14-23-13-5-22-10-0	94.03	%67.79	
0-25-8-12-27-0	67.74	%87.01	0.29	0-25-16-15-4-0	68.87	%24.46	
0-27-4-24-14-23-13-5-22-10-0	100.86	%96.68		0-1-13-23-0	93.26	%91.07	0.26
0-25-12-4-1-23-13-5-22-0	154.99	%93.77	0.16	0-5-22-0	78.99	%21.11	
0-25-0	Eyl.24	%51.73		0-25-8-16-0	36.78	%54.13	
0-8-0	26.93	%58.21		0-9-1-4-24-26-0	66.85	%86.46	0.42
0-26-12-0	66.76	%81.59		0-23-6-0	91.54	80390%	
0-27-0	Ağu.48	%94.05	0.82	0-14-13-5-22-10-0	89.68	%40.96	
0-27-0	Ağu.48	%100.0		0-25-2-12-19-15-26-16-8-17-9-0	88.51	%99.93	0.56
0-9-24-4-0	34.64	%10.22		0-4-24-21-1-23-13-5-22-14-10-0	97.39	%91.46	
0-23-1-0	88.56	%94.62		0-25-8-16-0	36.78	%33.76	
0-14-13-5-22-10-0	89.68	%14.56		0-26-12-15-27-9-0	69.27	%96.75	0.59
0-2-12-19-26-8-25-0	74.78	%94.16		0-4-1-23-24-0	89.24	%65.67	
0-27-0	Ağu.48	%10.15	0.57	0-14-13-5-22-10-0	89.68	%72.13	
0-27-9-24-0	38.27	%97.21		0-25-8-19-16-0	67.81	%43.54	
0-4-14-23-13-5-22-10-0	94.32	%75.38		0-26-12-0	66.76	%97.74	0.66
0-25-3-0	Eyl.25	%63.34		0-27-9-15-4-1-23-24-0	133.49	%99.56	
0-8-19-0	67.6	%39.41		0-14-13-5-22-10-0	89.68	%66.01	
0-26-0	38.01	%87.03		0-25-8-16-0	36.78	%24.39	
0-26-0	38.01	%63.29	0.98	0-26-12-15-24-9-0	91.45	%95.02	0.47
0-27-0	Ağu.48	%63.5		0-4-14-5-13-23-0	93.74	%84.01	
0-27-0	Ağu.48	%100.0		0-22-10-0	75.67	%30.57	
0-9-4-24-14-1-22-5-23-0	94.26	%98.4		0-25-8-16-26-12-15-11-27-9-24-4-0	103.43	%89.82	
0-10-0	39.08	%5.21		0-14-5-13-23-0	93.46	%77.37	0.51
0-25-8-26-19-12-18-0	74.98	%99.75		0-22-10-0	75.67	%42.99	
0-27-0	Ağu.48	%100.0	0.59	0-25-16-26-12-4-0	87.57	%29.37	
0-27-9-4-24-21-1-23-13-5-22-14-10-0	102.66	%78.17		0-23-13-5-0	93.38	%87.98	0.24
0-25-12-19-26-8-0	75.33	%79.16		0-22-0	75.59	%26.88	
0-27-0	Ağu.48	%85.67		0-25-8-16-26-12-15-27-0	68.05	%98.78	
0-27-0	Ağu.48	%100.0	0.66	0-4-23-24-9-0	88.5	%72.57	0.43
0-9-4-1-23-24-0	90.33	%90.84		0-14-13-5-22-10-0	89.68	%74.27	
0-14-13-5-22-10-0	89.68	%15.69					
0-25-8-12-27-0	67.74	%64.95					
0-27-0	Ağu.48	%100.0	0.32				
0-27-9-4-24-14-22-5-23-0	97.43	%95.36					

Şirketin mevcut durumda ARP türü *Heterojen Filolu Kapasite Kısıtlı ARP* olarak değerlendirilmektedir. Yapılacak çalışmada müşteri talepleri günlük olarak karşılanacaktır. Bazı müşterilerin talepleri araçların kapasitesini geçtiği için problem *Bölünmüş Dağıtımlı Araç Rotalama Problemi* olarak da değerlendirilebilir. Ancak bu durum, çalışmamızda araç kapasitesinden yüksek talebe sahip müşterilerin taleplerinin araç kapasitelerine eşit olacak şekilde parçalayarak çözülmeye çalışılmıştır. Örneğin 10000desi talebe sahip bir müşterinin talebi 4334 desi, 4334 desi ve 1332 desi gibi 3 ayrı talep olarak düzenlenmiştir. Araç kullanımı, daha yüksek kapasiteli araçların öncelikli olarak kullanılacağı şekilde rotalar oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında, inceleme yapılan işletmenin kapasite kısıtlı araç rotalama problemi için birçok yöntem denenmiş ve en iyi sonucu veren yöntemlere ait çıktılar bu bölümde sunulmuştur. Problemin çözümü için algoritmalar *Python* dilinde kodlanmıştır ve çözümler *Windows 8.1, i7 4710MQ, 8 Gb Ram* özelliklerine sahip bilgisayar kullanılarak

elde edilmiştir. Tablo 8 ve Tablo 10'da Süpürme algoritması ve 2-Opt tur geliştirici sezgiselinin ürettiği sonuçlar verilmiştir. Süpürme işlemi, çalışmada saat yönünde yapılmıştır. Burada ayrıca Google OR-Tools kullanarak elde edilen sonuçlar da sunulmuştur. Tablo 9 ve Tablo 11'de 'Guided Local Search' yöntemiyle elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. Tabloda koyu olarak sınırlandırılmış her satır (işlem süresi verilen) her bir gün için yapılan atama sonucunu göstermektedir. Yine tablolarda verilmiş kırmızı renkli atamalar TİP2 aracın kullanıldığını diğer durumlarda ise TİP 1 aracın kullanıldığını göstermektedir.

Tablo 9. ***Guided Local Search*** **yöntemiyle elde edilen sonuçlar (İlk 30 gün)**

Rota (Müşteri Numaraları)	Rota Uzun. (km)	Araç Kullanımı	İşlem Süresi (Sn)	Rota (Müşteri Numaraları)	Rota Uzun. (km)	Araç Kullanımı	İşlem Süresi (Sn)
0-7-0	87.29	%100.0	30.19	0-10-22-5-13-23-24-0	93.9	%99.1	
0-8-9-4-7-5-3-6-1-2-0	149.38	%46.79		0-27-11-23-1-14-4-9-0	98.94	%99.47	30.18
0-9-4-14-22-5-1-12-26-8-25-27-0	141.89	%98.11	30.23	0-25-26-19-12-8-2-0	76.41	%94.07	
0-10-13-23-21-24-0	93.87	%99.7		0-1-23-13-5-22-14-24-0	96.14	%98.45	30.16
0-9-4-24-1-23-5-22-14-10-0	94.57	%77.76	30.21	0-8-16-26-19-15-4-10-9-0	106.05	%95.09	
0-27-12-19-8-0	74.35	%43.82		0-10-22-5-23-1-14-4-0	91.77	%98.92	
0-25-8-26-19-12-17-0	75.46	%96.98		0-27-11-15-19-26-16-8-25-0	76.6	%96.38	30.17
0-10-14-1-22-5-23-24-4-9-0	93.59	%92.36	30.24	0-24-9-0	34.09	%32.42	
0-27-0	Ağu.48	%78.1		0-4-15-18-19-26-16-8-25-0	92.83	%99.33	30.17
0-4-24-1-23-13-5-22-14-10-0	96.74	%91.49		0-10-14-1-22-5-13-23-24-9-0	95.96	%97.16	
0-25-0	Eyl.24	%50.74		0-25-8-16-26-15-27-0	49.46	%97.81	30.22
0-9-12-19-26-8-0	76.49	%52.93	30.22	0-9-4-24-21-23-5-22-1-14-10-0	93.61	%67.26	
0-27-0	Ağu.48	%84.36		0-10-14-22-5-13-23-24-4-9-0	95.84	%82.72	30.19
0-27-0	Ağu.48	%60.27		0-8-16-26-25-0	39.0	%79.86	
0-27-0	Ağu.48	%100.0		0-4-13-23-0	93.5	%98.52	30.17
0-10-14-22-5-13-23-24-4-9-27-0	100.02	%82.37	30.16	0-25-16-15-1-5-22-0	118.74	%38.12	
0-8-12-26-25-0	68.3	%72.34		0-22-5-13-6-23-10-0	94.35	%96.89	
0-4-10-14-22-5-13-23-24-12-8-25-0	153.32	%87.26	30.17	0-25-16-26-24-14-4-0	96.15	%97.14	30.21
0-27-0	Ağu.48	%96.42		0-9-8-0	30.Haz	%67.9	
0-4-1-22-5-13-23-12-25-0	149.14	%93.77	30.13	0-25-2-8-16-26-19-12-15-17-0	77.1	%95.55	30.19
0-27-0	Ağu.48	%100.0		0-9-4-24-21-23-13-5-22-1-14-10-0	96.87	%95.85	
0-25-0	Eki.43	%99.38		0-27-15-12-26-16-25-0	67.85	%95.78	
0-25-0	Eyl.24	%51.73	30.17	0-10-14-4-9-8-0	87.55	%95.87	30.19
0-10-23-13-5-22-1-24-0	96.39	%99.35		0-24-1-23-13-5-22-0	95.81	%76.65	
0-4-14-12-26-0	120.15	%96.31		0-27-16-26-25-0	39.31	%96.98	
0-8-0	26.93	%58.21		0-9-4-14-10-0	63.74	%74.32	30.22
0-27-0	Ağu.48	%94.16		0-24-23-13-5-22-1-0	94.95	%80.0	
0-25-2-12-19-26-8-0	75.48	%94.16	30.17	0-15-12-19-8-0	74.51	%55.56	
0-10-14-22-5-13-23-24-4-9-27-0	100.02	%88.58		0-22-5-13-23-24-0	93.82	%69.43	
0-19-26-0	67.54	%87.43		0-25-16-26-12-15-0	67.71	%92.36	30.23
0-10-14-1-22-5-23-24-0	91.95	%97.46		0-10-14-4-9-8-0	87.55	%72.2	
0-27-0	Ağu.48	%100.0		0-22-5-13-23-24-0	93.82	%91.49	
0-4-9-26-3-0	62.59	%69.54	30.16	0-9-4-14-10-0	63.74	%48.64	30.25
0-27-0	Ağu.48	%63.5		0-25-8-16-26-12-15-11-27-0	73.08	%70.05	
0-8-0	26.93	%39.02		0-23-13-5-0	93.38	%87.98	30.17
0-25-0	Eyl.24	%63.29		0-25-16-26-12-22-4-0	134.01	%56.25	
0-25-18-12-19-26-8-0	75.74	%99.75		0-22-5-13-23-24-0	93.82	%86.41	
0-27-0	Ağu.48	%100.0	30.2	0-25-8-16-26-12-15-27-0	68.05	%98.78	30.19
0-27-09-4-24-21-23-13-5-22-1-14-10-0	101.06	%78.17		0-10-14-4-9-0	63.74	%60.43	
0-10-14-1-22-5-13-23-24-0	95.21	%99.75					
0-27-0	Ağu.48	%100.0	30.16				
0-27-0	Ağu.48	%85.67					
0-25-8-26-19-12-4-9-0	96.11	%85.95					
0-27-0	Ağu.48	%100.0					
0-9-4-24-14-22-5-23-12-8-0	147.92	%78.63	30.16				
0-27-25-0	Ara.68	%81.68					
0-4-22-5-23-12-0	144.1	%49.72	30.16				

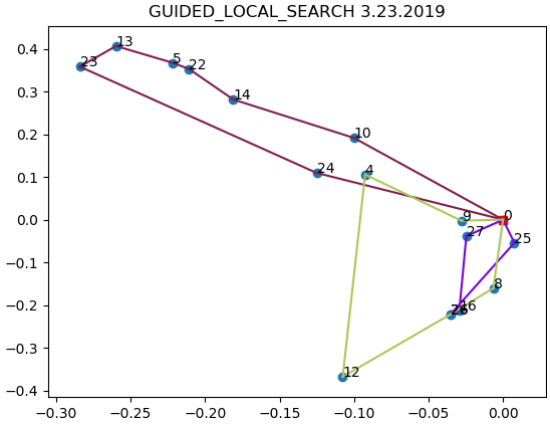
Tablo 10. **Süpürme algoritması ve 2-Opt tur geliştirici sezgiselin elde edilen rotalar (Son 31 gün)**

Rota (Müşteri Numaraları)	Rota Uzun. (km)	Araç Kullanımı	İşlem Süresi (Sn)	Rota (Müşteri Numaraları)	Rota Uzun. (km)	Araç Kullanımı	İşlem Süresi (Sn)
0-26-19-12-15-16-8-27-9-24-4-0	109.3	%84.49		0-25-16-26-19-8-0	68.19	%60.11	
0-14-13-23-0	93.26	%95.89	0.57	0-26-0	38.01	%54.68	
0-5-22-10-0	79.07	%26.44		0-26-0	38.01	%100.0	0.97
0-8-16-26-0	38.55	%100.0		0-12-15-27-24-21-4-9-0	126.79	%22.2	
0-26-0	38.01	%100.0		0-23-1-0	88.56	%99.93	
0-26-0	38.01	%4.75	0.98	0-14-13-5-22-0	89.61	%48.34	
0-26-0	38.01	%100.0		0-25-8-16-26-0	38.74	%100.0	
0-27-12-15-11-9-4-6-23-24-0	158.54	%92.16		0-26-12-18-15-17-27-24-23-4-9-0	152.22	%88.95	
0-14-13-5-22-10-0	89.68	%77.09		0-23-0	87.29	%100.0	1.08
0-25-16-26-19-8-0	68.19	%74.09		0-14-1-5-13-23-0	93.74	%85.56	
0-26-12-18-15-27-24-21-4-9-0	127.37	%95.45	0.82	0-22-10-0	75.67	%25.82	
0-23-6-0	91.54	%51.94		0-25-8-16-26-0	38.74	%40.93	
0-14-13-5-22-10-0	89.68	%88.72		0-26-0	38.01	%68.14	
0-25-8-16-26-0	38.74	%67.19		0-26-0	38.01	%100.0	0.84
0-26-12-18-15-24-4-9-0	92.36	%99.28		0-12-15-27-09-4-24-23-6-1-0	156.28	%94.16	
0-23-0	87.29	%17.6		0-14-13-5-22-10-0	89.68	%77.3	
0-23-0	87.29	%100.0					
0-23-0	87.29	%100.0	45292,00	0-25-8-16-26-0	38.74	%100.0	
0-14-0	62.1	%91.16		0-24-12-26-27-0	91.1	%92.52	0.38
0-14-0	62.1	%100.0		0-4-14-23-13-5-22-10-0	94.32	%80.6	
0-13-5-22-10-0	89.68	%30.09		0-25-16-26-0	38.54	% 100.0	
0-12-3-13-0	38.73	%100.0		0-27-26-12-23-4-0	142.11	%98.25	0.29
0-13-5-8-10-11-1-14-0	148.57	%34.89	0.55	0-14-13-5-22-0	89.61	%51.82	
0-10-0	87.29	%100.0					
0-7-10-6-2-9-4-0	94.03	%96.19		0-25-8-16-26-0	38.74	%100.0	
0-12-23-4-0	140.9	%34.68		0-27-26-12-24-4-0	91.65	%72.43	
0-23-0	87.29	%100.0	0.27	0-23-0	87.29	%99.42	1.06
0-23-14-0	87.86	%100.0		0-23-0	87.29	%100.0	
0-13-5-22-0	89.6	%18.27		0-23-0	87.29	%100.0	
0-25-8-0	27.Ara	%42.57		0-14-1-23-6-13-5-22-10-0	94.98	%76.19	
0-26-0	38.01	%72.59		0-25-8-16-26-0	38.74	%100.0	
0-26-12-15-24-9-0	91.45	%91.69	0.75	0-26-12-18-0	67.0	%85.97	
0-4-23-0	87.32	%53.44		0-27-9-4-24-15-0	74.97	%46.72	0.98
0-23-1-0	88.56	%87.1		0-23-6-0	91.54	%97.14	
0-14-13-5-22-10-0	89.68	%76.63		0-14-1-13-5-22-10-0	89.69	%59.74	
0-25-8-16-26-0	38.74	%100.0		0-25-8-16-26-0	38.74	%100.0	
0-26-12-15-24-4-9-0	92.34	%97.07		0-26-12-15-27-9-24-4-0	97.66	%68.44	0.56
0-23-0	87.29	%60.8	0.8	0-23-0	87.29	%93.79	
0-23-6-0	91.54	%97.92		0-14-13-5-22-10-0	89.68	%45.64	
0-14-13-5-22-10-0	89.68	%65.97		0-25-8-16-0	36.78	%25.1	
0-25-8-16-26-0	38.74	%100.0		0-26-0	38.01	%98.36	0.57
0-26-12-15-24-4-9-0	92.34	%90.1		0-9-27-12-4-24-23-6-1-0	154.24	%70.97	
0-23-0	87.29	%87.49	0.88	0-14-13-5-22-10-0	89.68	%46.52	
0-23-6-1-0	91.75	%60.43		0-25-8-16-0	36.78	%25.8	
0-14-13-5-22-10-0	89.68	%62.76		0-26-12-0	66.76	%99.72	
0-25-26-19-12-15-16-8-27-9-24-0	109.21	%81.86		0-27-9-4-24-15-0	74.97	%26.03	0.76
0-4-0	27.18	%21.34		0-23-1-0	88.56	%78.13	
0-23-0	87.29	%81.15	0.82	0-14-13-5-22-20-10-0	89.77	%57.91	
0-23-1-0	88.56	%81.52		0-25-8-16-26-0	38.74	%100.0	
0-14-13-5-22-10-0	89.68	%52.91		0-26-12-27-24-23-4-9-0	151.66	%80.6	0.48
0-25-8-16-0	36.78	%38.6		0-14-13-5-22-10-0	89.68	%58.08	
0-26-0	38.01	%75.77		0-25-16-26-0	38.54	%100.0	
0-26-12-15-24-4-9-0	92.34	%88.23	0.6	0-26-12-23-4-0	141.47	%78.96	0.31
0-23-6-0	91.54	%34.98		0-14-13-5-22-0	89.61	%43.17	
0-14-5-22-10-0	79.15	%88.88		0-25-8-16-0	36.78	%37.61	
0-25-8-16-26-0	38.74	%47.49		0-26-0	38.01	%94.85	
0-26-12-0	66.76	%95.82	0.54	0-27-9-4-24-15-0	74.97	%27.46	0.65
0-27-9-15-23-24-4-0	127.98	%47.62		0-23-0	87.29	%91.02	
0-14-5-22-10-0	79.15	%96.7		0-14-13-5-22-20-10-0	89.77	%45.69	
0-25-16-12-23-4-0	141.99	%54.68		0-25-8-16-26-0	38.74	%100.0	
0-23-0	87.29	%85.72	0.25	0-26-12-7-27-24-21-4-9-0	128.99	%83.5	0.63
0-14-13-5-22-0	89.61	%93.52		0-14-1-23-13-5-22-10-0	94.74	%74.5	
0-25-8-16-26-0	38.74	%100.0		0-25-8-16-0	36.78	%38.19	
0-26-0	38.01	%100.0		0-26-12-15-7-27-9-0	70.98	%98.78	0.84
0-26-0	38.01	%100.0		0-4-1-23-24-0	89.24	%62.09	
0-26-0	38.01	%100.0		0-14-13-5-22-10-0	89.68	%73.44	
0-26-0	38.01	%100.0		0-25-8-16-26-0	38.74	%100.0	
0-26-0	38.01	%100.0		0-26-12-18-27-9-24-4-0	97.55	%64.88	0.77
0-26-0	38.01	%100.0		0-23-6-1-0	91.75	%70.77	
0-26-0	38.01	%100.0		0-14-13-5-22-10-0	89.68	%74.27	
0-26-0	38.01	%100.0		0-25-8-16-0	36.78	%86.69	
0-26-0	38.01	%100.0	8.3	0-26-0	38.01	%90.42	
0-26-0	38.01	%100.0		0-26-0	38.01	%100.0	
0-26-0	38.01	%100.0		0-26-0	38.01	%100.0	
0-26-0	38.01	%100.0		0-26-0	38.01	%100.0	1.7
0-26-0	38.01	%100.0		0-12-15-27-24-23-4-9-0	151.39	%100.0	
0-26-0	38.01	%100.0		0-23-0	87.29	%5.26	
0-26-0	38.01	%100.0		0-23-0	87.29	%100.0	
0-26-0	38.01	%100.0		0-14-1-6-5-22-0	91.02	%75.73	
0-26-0	92.34	%57.81					
0-26-12-15-24-4-9-0	87.29	%63.56					
0-23-0	79.15	%68.51					

Tablo 11. ***Guided Local Search*** **yöntemiyle elde edilen sonuçlar (Son 31 gün)**

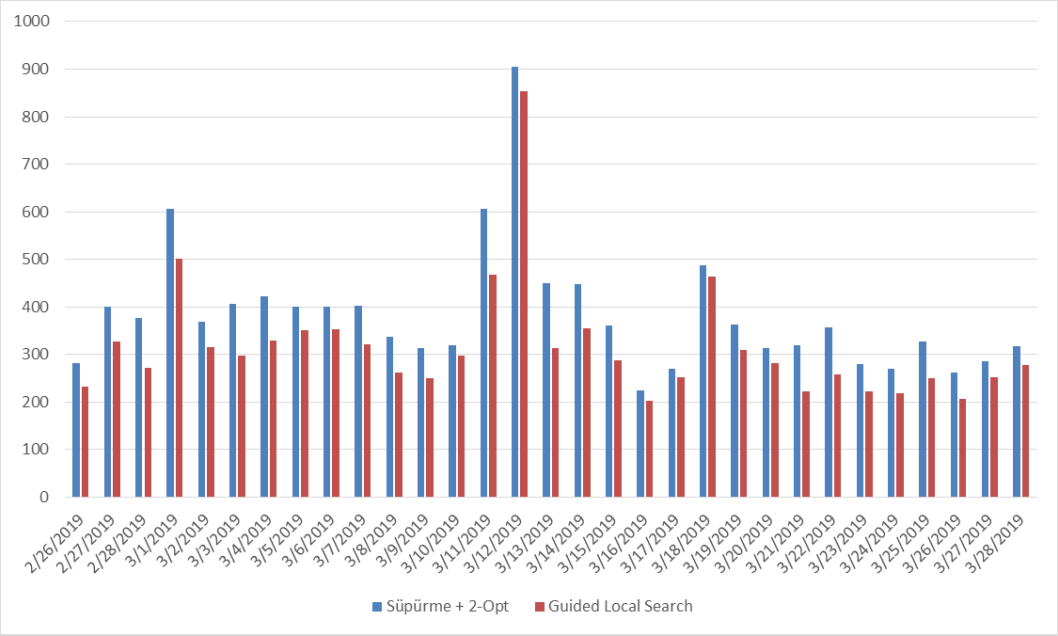
Rota (Müşteri Numaraları)	Rota Uzun. (km)	Araç Kullanımı	İşlem Süresi (Sn)	Rota (Müşteri Numaraları)	Rota Uzun. (km)	Araç Kullanımı	İşlem Süresi (Sn)
0-9-24-23-13-5-22-0	94.57	%78.38		0-8-27-24-1-5-22-14-4-0	104.82	%98.48	
0-10-14-4-0	62.64	%71.32	30.14	0-9-15-12-19-26-16-25-0	76.67	%86.99	30.15
0-8-16-26-19-12-15-27-0	75.11	%57.13		0-26-0	38.01	%100.0	
0-10-14-24-4-9-0	65.36	%87.61		0-13-23-21-0	93.29	%99.79	
0-27-16-26-12-15-0	68.03	%90.47		0-23-0	87.29	%100.0	
0-22-5-13-6-23-11-8-0	117.28	%95.92	30.18	0-24-1-23-13-5-22-0	95.81	%75.52	
0-26-0	38.01	%100.0		0-27-16-26-12-18-15-17-0	68.42	%79.42	30.15
0-26-0	38.01	%100.0		0-8-26-25-0	38.99	%84.24	
0-9-4-14-10-0	63.74	%94.58		0-9-4-14-10-0	63.74	%61.14	
0-27-26-25-0	39.11	%68.8	30.17	0-10-14-4-8-0	86.81	%97.23	
0-22-5-13-6-23-21-24-0	94.09	%68.27		0-25-16-26-12-15-27-0	67.85	%88.12	30.15
0-8-16-26-19-12-18-15-0	75.0	%78.54		0-1-22-5-13-6-23-24-9-0	95.94	%95.18	
0-23-0	87.29	%100.0		0-26-0	38.01	%100.0	
0-14-0	62.1	%100.0		0-16-12-26-8-0	67.96	%99.72	
0-23-0	87.29	%100.0		0-27-26-25-0	39.11	%90.29	30.14
0-10-14-0	62.36	%98.41	30.18	0-10-14-22-5-13-23-24-4-0	94.74	%83.11	
0-26-25-0	38.47	%60.13		0-27-26-0	38.66	%98.04	
0-24-23-13-5-22-4-9-0	95.3	%69.22		0-22-5-13-23-0	93.39	%81.68	30.16
0-8-16-26-12-18-15-0	67.74	%77.57		0-25-16-26-12-14-4-0	120.68	%70.35	
0-10-4-8-0	64.54	%40.66		0-27-26-25-0	39.11	%56.78	
0-27-15-12-26-25-0	67.77	%94.0	30.16	0-8-16-26-12-0	67.29	%99.19	
0-23-0	87.29	%100.0		0-23-0	87.29	%99.42	30.18
0-24-14-22-5-13-23-0	94.87	%96.42		0-23-0	87.29	%100.0	
0-23-0	87.29	%100.0		0-23-0	87.29	%100.0	
0-22-5-13-23-12-0	146.98	%69.87	30.16	0-10-14-1-22-5-13-6-23-24-4-0	96.0	%92.64	
0-4-14-0	62.39	%83.09		0-10-13-6-23-0	93.65	%99.72	
0-26-8-0	38.54	%98.75		0-25-26-0	38.47	%84.56	
0-23-1-14-0	88.56	%100.0		0-8-0	26.93	%33.66	30.Nis
0-22-5-13-23-24-0	93.82	%98.62	30.27	0-6-14-22-5-1-24-9-0	81.66	%85.99	
0-15-12-26-25-0	67.64	%85.56		0-27-16-26-12-18-15-0	68.05	%85.63	
0-9-4-10-0	41.47	%41.09		0-10-13-23-24-0	93.84	%97.58	
0-9-24-23-6-13-5-22-0	94.81	%97.25		0-27-26-25-0	39.11	%72.52	30.17
0-25-26-16-0	38.59	%75.7		0-9-4-14-22-5-0	80.49	%57.11	
0-10-14-4-0	62.64	%59.85	30.16	0-8-16-26-12-15-0	67.72	%80.66	
0-8-26-12-15-0	67.71	%91.46		0-24-23-6-13-5-22-1-14-10-0	95.45	%99.31	
0-23-0	87.29	%97.49		0-27-26-25-0	39.11	%99.19	30.14
0-24-23-6-13-5-22-0	94.06	%81.91		0-8-16-12-4-9-0	88.66	%42.46	
0-9-23-1-0	89.63	%93.82		0-8-16-12-15-14-20-10-4-0	122.48	%89.5	
0-25-16-26-8-0	39.06	%100.0	30.16	0-9-24-1-23-13-5-22-0	96.56	%99.45	30.16
0-4-14-10-0	62.64	%60.31		0-27-26-25-0	39.11	%98.64	
0-15-12-26-0	67.19	%64.74		0-24-23-13-5-22-14-10-0	94.2	%90.72	
0-9-1-123-13-5-22-0	95.99	%93.15		0-27-16-26-25-0	39.31	%86.25	30.14
0-4-14-10-0	62.64	%64.74	30.15	0-9-4-12-26-8-0	88.65	%61.7	
0-24-23-0	87.72	%99.31		0-14-22-5-13-23-0	93.51	%99.33	
0-25-8-16-26-19-12-15-27-0	75.31	%61.58		0-16-26-0	38.14	%99.77	30.15
0-25-16-26-8-0	39.06	%100.0		0-25-26-12-4-0	87.49	%23.03	
0-15-12-26-0	67.19	%84.36	30.15	0-27-16-26-25-0	39.31	%97.51	
0-10-14-4-0	62.64	%84.66		0-8-15-24-22-14-20-10-4-9-0	118.18	%99.61	30.15
0-22-5-6-23-24-9-0	93.6	%57.45		0-5-13-23-0	93.38	%99.52	
0-9-24-14-4-0	64.5	%93.79		0-10-14-1-22-5-13-23-21-24-4-9-0	96.87	%88.14	
0-27-16-26-12-15-23-5-22-10-0	146.44	%95.69	30.15	0-7-12-26-8-0	69.46	%99.93	30.16
0-8-26-25-0	38.99	%98.15		0-27-16-26-25-0	39.31	%69.94	
0-4-14-0	62.39	%89.18		0-7-15-12-26-16-25-0	69.55	%99.82	
0-22-5-13-23-12-16-25-0	148.06	%59.02	30.14	0-8-27-24-1-23-13-5-22-0	119.72	%96.89	30.15
0-23-0	87.29	%85.72		0-9-4-14-10-0	63.74	%75.8	
0-25-16-26-12-15-0	67.71	%98.11		0-9-24-23-6-13-5-1-0	95.16	%99.54	
0-26-0	38.01	%100.0		0-4-14-22-10-0	76.07	%56.14	30.18
0-26-0	38.01	%100.0		0-27-18-12-26-25-0	67.66	%69.84	
0-26-0	38.01	%100.0		0-8-16-26-0	38.55	%84.4	
0-26-0	38.01	%100.0		0-22-5-23-23-6-1-0	94.59	%99.42	
0-26-0	38.01	%100.0		0-9-24-14-4-0	64.5	%66.82	
0-26-0	38.01	%100.0		0-26-0	38.01	%100.0	
0-26-0	38.01	%100.0		0-23-0	87.29	%100.0	30.18
0-26-0	38.01	%100.0		0-15-12-8-0	67.71	%97.55	
0-26-0	38.01	%100.0	30.29	0-26-0	38.01	%100.0	
0-26-0	38.01	%100.0		0-26-0	38.01	%100.0	
0-26-0	38.01	%100.0		0-27-16-26-25-0	39.31	%94.3	
0-26-0	38.01	%100.0					
0-26-0	38.01	%100.0					
0-26-0	38.01	%100.0					
0-26-0	38.01	%100.0					
0-26-0	38.01	%100.0					
0-4-22-5-23-24-9-0	91.7	%97.36					
0-8-14-10-0	86.64	%94.7					

Çalışmada oluşturulan bir günlük rotaya ilişkin örnek Şekil 5'de sunulmuştur. Şekil 5'de sunulan rotaya ait graf 23/3/2019 tarihi için Guided Local Search kullanılarak oluşturulmuştur.



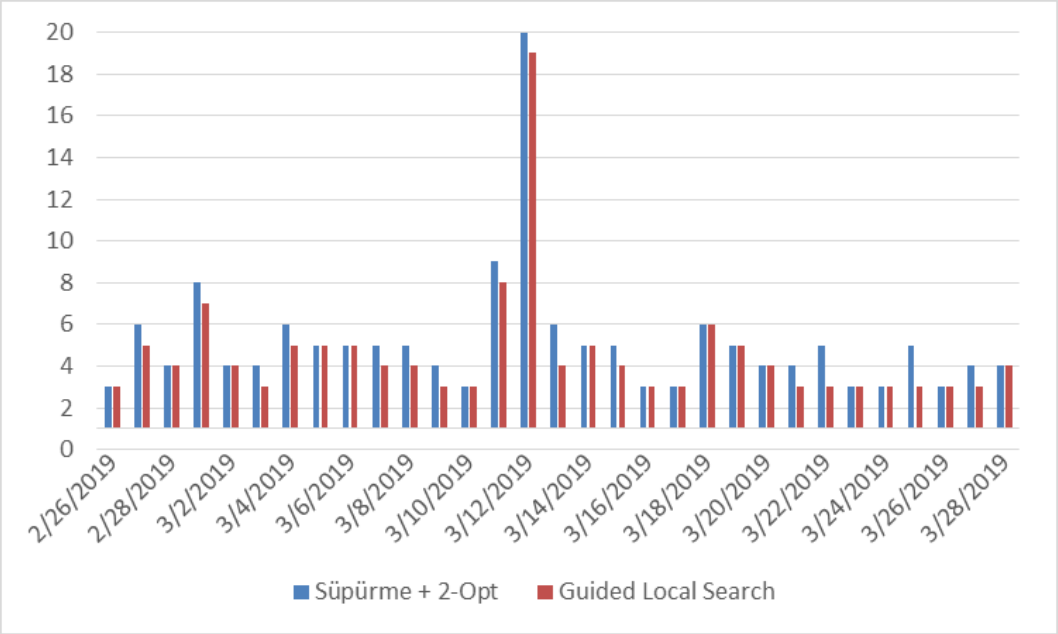
Şekil 5. **Guided Local Search ile 23/3/2019 tarihi için oluşturulan rota**

Bu çalışma kapsamında şirketin rotalama probleminin çözümü için Süpürme + 2-Opt yöntemi ve Guided Local Search yöntemleri kullanılmıştır. Yöntemlerden elde edilen sonuçlar sırasıyla Tablo 8-11 arasında verilmiştir. Elimizdeki veri setine bağlı olarak ikinci ay için yöntemlerden elde edilen ve Tablo 9, Tablo 11'de verilen toplama süresine ilişkin çıktılar Şekil 6'da karşılaştırılmıştır. Toplama süreleri incelendiğinde Guided Local Search yönteminin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.



Şekil 6. **Süpürme ve *Guided Local Search* yöntemleriyle elde edilen sonuçların karşılaştırması**

Yine ikinci ay için yöntemlerden elde edilen ve Tablo 9, Tablo 11'de verilen ihtiyaç duyulan toplam araç sayısına ilişkin çıktılar Şekil 7'de verilmiştir. Problemin başlangıç kısıtları nedeniyle ilk 10 aracın öncelikle Tip 1 olarak kullanılması, sonraki 10 aracın Tip 2 olarak tercih edilmesinden dolayı, sadece günlük 10'un üzerinde araç ihtiyacı olması durumunda Tip 2 türünde araç kullanılmasını gerektirmiştir. Algoritmaların araç kullanımına ilişkin verdiği sonuçlar incelendiğinde yalnızca bir gün için Tip 2 türünde araç ihtiyacı doğmuştur. Diğer günler ihtiyaç duyulan araç sayısı 10'un altında kalmıştır. Toplam araç sayısı açısından sonuçlar incelendiğinde Guided Local Search yönteminin yine daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.



Şekil 7. **Süpürme ve 'Guided Local Search' yöntemleriyle elde edilen son ay günlük araç kullanım sayısı**

5.Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, e-ticaret sitelerinden satılan ürünlerin tedarikçi depolarından teslim alan ve ihracat için gerekli işlemleri tamamlayarak paketlerin yurt dışına gönderimini sağlayan aracı bir lojistik firmasının araç rotalama problemi ele alınmıştır. İşletme paket toplama işlemini en kısa sürede ve en düşük maliyette gerçekleştirmeyi hedeflemektedir. Bu amaçla çalışma kapsamında işletmeden son iki aya ait yürüttüğü lojistik faaliyetine ilişkin veri seti alınmıştır. İşletmenin hizmet verdiği pazaryerlerinin çokluğu, pazaryerlerinde sunulan ürün gamının çeşitliliği ve tedarikçilerin farklılığı dikkate alındığında, problem polinomsal zamanda çözümü ele edemediğimiz NP-zor sınıfında bir problemdir. Bu nedenle çalışma kapsamında, problemin çözümü için deterministik çözüm tekniklerinden ziyade sezgisel algoritmalar tercih edilmiştir. Sonuç olarak, çalışmada çeşitli sezgisel algoritmaların denenmesine rağmen en iyi çözüm sunan Süpürme-2Opt sezgiselinden ve Guided Local Search algoritmasından elde edilen çıktılar sunulmuştur. Gerek toplam süre gerekse de ihtiyaç duyulan araç sayısı açısından sonuçlar kıyaslandığında en iyi çözümü Google OR araçlarından Guided Local Search algoritması vermiştir. İşletmenin mevcut durumda kullandığı iki farklı tipte toplamda 20 aracı olmasına rağmen her iki algoritmada da tüm araçlara ihtiyaç olan tek bir günün olduğu tespit edilmiştir. İşletmeden alınan veri seti için yapılan atamalarda 3/12/2019 tarihi hariç diğer günler için 10 aracın yeterli olduğu görülmüştür. Mevcut durumda işletmede ürün toplama işlemi tamamen uzman sezgisine bağlı olarak gerçekleştirildiğinden araçlar tam kapasite ile kullanılamamakta ve bu nedenle de toplama sürecindeki atıl kapasite görülememektedir. Çalışmada sunulan çözüm, araçların kullanımını optimize etmiş ve paket toplama maliyetlerinin yaklaşık olarak yarı yarıya düşürülebileceğini ortaya koymuştur.

Çalışmada literatürde yaygın olarak işlenen araç rotalama problemi, e-ticaret sitelerine yönelik hizmet veren bir lojistik firmasının paket toplama problemine uygulanmıştır. İşletmeye özgü kısıtlar dikkate alınarak çeşitli sezgisel algoritmalar denenmiştir. Bu çalışma kapsamında sunulan çözümde paketlerin toplanması esnasında İstanbul Trafiği dikkate alınmamıştır. Daha sonraki çalışmalarda İstanbul trafiğini de dikkate alacak bir araç rotalama algoritması geliştirilerek paket toplama işleminin daha gerçekçi olarak gerçekleştirilmesi sağlanabilir.

Kaynakça

Archetti, C., Bianchessi, N., & Speranza, M. G. (2014), Branch-and-cut Algorithms for The Split Delivery Vehicle Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, 238(3), 685-698.

Baldacci, R., Hadjiconstantinou, E., & Mingozzi, A. (2004), An Exact Algorithm for The Capacitated Vehicle Routing Problem Based on a Two-commodity Network Flow Formulation. *Operations Research*, 52(5), 723-738.

Baldacci, R., Mingozzi, A., Roberti, R., & Calvo, R. W. (2013), An Exact Algorithm for The Two-echelon Capacitated Vehicle Routing Problem. *Operations Research*, 61(2), 298-314.

Barthélemy, T., Rossi, A., Sevaux, M., & Sörensen, K. (2010), Metaheuristic Approach for The Clustered VRP. In EU/MEeting: 10th Anniversary of the Metaheuristics Community-Université de Bretagne Sud, France

Battarra, M., Erdoğan, G., & Vigo, D. (2014), Exact Algorithms for The Clustered Vehicle Routing Problem. *Operations Research*, 62(1), 58-71.

Bell, J. E., McMullen, P. R. (2004), Ant Colony Optimization Techniques for The Vehicle Routing Problem. Advanced Engineering Informatics, 18(1), 41-48.

Bozyer, Z., Alkan, A., & Fığlalı, A. (2014), Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Probleminin Çözümü İçin Önce Grupla Sonra Rotala Merkezli Sezgisel Algoritma Önerisi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 7(2), 29-37.

Bullnheimer, B., Hartl, R. F., Strauss, C. (1999), An Improved Ant System Algorithm for The Vehicle Routing Problem. *Annals of Operations Research*, 89, 319-328.

Cacchiani, V., Hemmelmayr, V. C., Tricoire, F. (2014), A Set-Covering Based Heuristic Algorithm For The Periodic Vehicle Routing Problem. *Discrete Applied Mathematics*, 163, 53-64.

Choi, E., & Tcha, D. W. (2007), A Column Generation Approach to The Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem. *Computers & Operations Research*, 34(7), 2080-2095.

Christofides, N., Mingozzi, A., Toth, P. (1981), Exact Algorithms for The Vehicle Routing Problem, Based on Spanning Tree and Shortest Path Relaxations. *Mathematical Programming*, 20(1), 255-282.

Clarke, G., & Wright, J. W. (1964), Scheduling of Vehicles From a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, 12(4), 568-581.

Cornillier, F., Boctor, F. F., Laporte, G., & Renaud, J. (2008), An Exact Algorithm for The Petrol Station Replenishment Problem. *Journal of the Operational Research Society*, 59(5), 607-615.

Crispim, J., & Brandão, J. (2005), Metaheuristics Applied to Mixed and Simultaneous Extensions of Vehicle Routing Problems with Backhauls. *Journal of the Operational Research Society*, 56(11), 1296-1302.

Croes, G.A., (1958), A Method for Solving Traveling-Salesman Problems. *Operations Research*, 6, 791-812.

Demirtaş, Y., & Özdemir, E. (2017), Dinamik Araç Rotalama Problemleri İçin Yeni Bir Çözüm Önerisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(3), 807-823.

Erdoğan, S., Miller-Hooks, E. (2012), A Green Vehicle Routing Problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(1), 100-114.

Eryavuz, M., & Gencer, C. (2001), Araç Rotalama Problemine Ait Bir Uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(1), 139-155.

Gajpal, Y., & Abad, P. (2010), Saving-based Algorithms for Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery. Journal of the Operational Research Society, 61(10), 1498-1509.

Gendreau, M., Hertz, A., & Laporte, G. (1994), A Tabu Search Heuristic for The Vehicle Routing Problem. *Management Science*, 40(10), 1276-1290.

Gillett, B. E., Miller, L. R. (1974), A Heuristic Algorithm for The Vehicle-Dispatch Problem. *Operations research*, 22(2), 340-349.

González, O. M., Segura, C., Peña, S. I. V. (2018) A Parallel Memetic Algorithm to Solve The Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows. *International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics*, 9(1), 35-45.

González, O. M., Segura, C., Peña, S. I. V. (2018), A Parallel Memetic Algorithm to Solve The Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows. *International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics*, 9(1), 35-45.

Hemmelmayr, V. C., Doerner, K. F., & Hartl, R. F. (2009)A Variable Neighborhood Search Heuristic for Periodic Routing Problems. *European Journal of Operational Research*, 195(3), 791-802.

Kachitvichyanukul, V. (2009)A Particle Swarm Optimization for Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Int. J. Oper. Res.,* 6(4), 519-537.

Kallehauge, B., Larsen, J., & Madsen, O. B. (2006) Lagrangian Duality Applied to The Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Computers & Operations Research*, 33(5), 1464-1487.

Keskintürk, T., Topuk, N., Özyeşil, O. (2015) Araç Rotalama Problemleri ile Çözüm Yöntemlerinin Sınıflandırılması ve Bir Uygulama, *İşletme Bilimi Dergisi.* 3(2)

Korablev, V., Makeev, I., Kharitonov, E., Tshukin, B., Romanov, I. (2016), Approaches to Solve The Vehicle Routing Problem in The Valuables Delivery Domain. *Procedia Computer Science*, 88, 487-492.

Kosif, B., & Ekmekçi, İ. (2012) Araç Rotalama Sistemleri ve Tasarruf Algoritması Uygulaması. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi.* 11 (21), 41-51.

Laporte, G., Louveaux, F., Mercure, H. (1992) The Vehicle Routing Problem with Stochastic Travel Times. Transportation Science, 26(3), 161-170.

Li, J., Pardalos, P. M., Sun, H., Pei, J., & Zhang, Y. (2015), Iterated Local Search Embedded Adaptive Neighborhood Selection Approach for The Multi-Depot Vehicle Routing Problem With Simultaneous Deliveries and Pickups. *Expert Systems with Applications*, 42(7), 3551-3561.

Liu, W., Lin, C., Chiu, C., Wang, Q. (2014), Minimizing the Carbon Footprint for The Time-Dependent Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Alternative Paths. *Sustainability*, 6, 4658-4684.

Lysgaard, J., Letchford, A. N., & Eglese, R. W. (2004), A New Branch-And-Cut Algorithm for The Capacitated Vehicle Routing Problem. *Mathematical Programming*, 100(2), 423-445.

Montemanni, R., Gambardella, L. M., Rizzoli, A. E., Donati, A. V. (2005), Ant Colony System for A Dynamic Vehicle Routing Problem. *Journal of Combinatorial Optimization*, 10(4), 327-343.

Nakao Y, Nagamochi H. (2007), A DP-Based Heuristic Algorithm for The Discrete Split Delivery Vehicle Routing Problem. *Journal of Advanced Mechanical Design Systems & Manufacturing*. 1(1): 217–226.

Novoa-Flores, G. I., Carpente, L., Lorenzo-Freire, S. (2018), A Vehicle Routing Problem with Periodic Replanning. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings*, 2(18), 1192.

Nurcahyo, G. W., Alias, R. A., Shamsuddin, S. M., & Sap, M. N. M. (2002), Sweep Algorithm in Vehicle Routing Problem for Public Transport. *Jurnal Antarabangsa Teknologi Maklumat*, 2, 51-64.

Osman, I. H. (1993), Metastrategy Simulated Annealing and Tabu Search Algorithms for The Vehicle Routing Problem. *Annals of Operations Research*, 41(4), 421-451.

Parragh, S. N., Doerner, K. F., & Hartl, R. F. (2010), Variable Neighborhood Search for The Dial-a-ride Problem. *Computers & Operations Research*, 37(6), 1129-1138.

Pichpibul, T., & Kawtummachai, R. (2012), An Improved Clarke and Wright Savings Algorithm for The Capacitated Vehicle Routing Problem. *ScienceAsia*, 38(3), 307-318.

Pisinger, D., Ropke, S. (2007), A General Heuristic for Vehicle Routing Problems. *Computers & Operations Research*, 34(8), 2403-2435.

Polat, O., Kalayci, C. B., Kulak, O., & Günther, H. O. (2015), A Perturbation Based Variable Neighborhood Search Heuristic for Solving The Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery with Time Limit. *European Journal of Operational Research*, 242(2), 369-382.

Puspita, F. M., Cahyono, E. S., Rahayu, S., Sintia, B. L. (2018) *Model of Demand Robust Counterpart Open Capacitated Vehicle Routing Problem (DRC-OCVRP) Simplification by Applying Preprocessing Techniques in Rubbish Controlling* in Sematang Borang District, Palembang. In E3S Web of Conferences (Vol. 68, p. 01025). EDP Sciences.

Qureshi, A. G., Taniguchi, E., & Yamada, T. (2009), An Exact Solution Approach for Vehicle Routing and Scheduling Problems with Soft Time Windows. *Transportation Research Part E: Logistics And Transportation Review*, 45(6), 960-977.

Ralphs, T. K., Kopman, L., Pulleyblank, W. R., & Trotter, L. E. (2003), On The Capacitated Vehicle Routing Problem. *Mathematical Programming*, 94(2-3), 343-359.

Renaud, J., Boctor, F. F., & Laporte, G. (1996), An Improved Petal Heuristic for The Vehicle Routing Problem. *Journal of The Operational Research Society*, 47(2), 329-336.

Sariklis, D., & Powell, S. (2000), A Heuristic Method for The Open Vehicle Routing Problem. *Journal of the Operational Research Society*, 51(5), 564-573.

Taillard, É., Badeau, P., Gendreau, M., Guertin, F., Potvin, J. Y. (1997), A Tabu Search Heuristic for The Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows. *Transportation Science*, 31(2), 170-186.

Tasan, A. S., & Gen, M. (2012), A Genetic Algorithm Based Approach to Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pick-Up and Deliveries. *Computers & Industrial Engineering*, 62(3), 755-761.

URL1. https://developers.google.com/optimization/routing/ (Erişim Tarihi 19.04.2019)

Wei, L., Zhang, Z., Zhang, D., & Lim, A. (2015), A variable neighborhood search for the capacitated vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints. *European Journal of Operational Research*, 243(3), 798-814.

Xia, Y., Fu, Z., Pan, L., Duan, F. (2018), Tabu Search Algorithm for The Distance-Constrained Vehicle Routing Problem with Split Deliveries by Order. *PloS One*, 13(5), doi: 10.1371/journal.pone.0195457.

Yano, C. A., Chan, T. J., Richter, L. K., Cutler, T., Murty, K. G., McGettigan, D. (1987), Vehicle Routing at Quality Stores. *Interfaces*, 17(2), 52-63.

Yousefikhoshbakht, M., Khorram, E. (2012), Solving the Vehicle Routing Problem by A Hybrid Meta-Heuristic Algorithm. *Journal of Industrial Engineering International*, 8(11), 1-9.

Yu, B., Yang, Z. Z., Yao, B. (2009), An Improved Ant Colony Optimization for Vehicle Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, 196(1), 171-176.

Yücenur, G. N., & Demirel, N. Ç. A (2011), Hybrid Algorithm with Genetic Algorithm and Ant Colony Optimization for Solving Multi-Depot Vehicle Routing Problems. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 29, 340-350.

Zhang, Y., Shi, L., Chen, J., Li, X. (2017), Analysis of an Automated Vehicle Routing Problem in Logistics Considering Path Interruption. *Journal of Advanced Transportation,*2,1-10.

HEURISTIC METHODS FOR THE CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM: AN APPLICATION OF E-COMMERCE SUPPLIERS

Extended Abstract

Aim: The main objective of this paper is to develop solutions for the vehicle routing problem of a brokerage company that collects the cargo demands of the e-commerce sites located in Istanbul and sends them to the desired location.

Method(s): Within the scope of the study, Sweep algorithm with 2-Opt heuristic and Guided Local Search heuristic from Google OR solution tools are presented in the study. Algorithms are coded in Python and solutions are obtained by using computer with Windows 8.1, i7 4710MQ, 8 Gb Ram.

Findings: Within the scope of the study, although many heuristic algorithms have been utilised for the constraints of the company, the best results obtained from the Sweep algorithm with 2-Opt heuristic and Guided Local Search heuristic from Google OR solution tools are presented. Furthermore, Guided Local Search produced the best results in terms of total pickup time and the number of required vehicles. Finally, both heuristics prove that vehicle fleet should be halved in order to decrease service cost.

Conclusion: In this study, vehicle routing problem of a brokerage company that collects the cargo demands of the e-commerce sites located in Istanbul has been considered. Several heuristic algorithms are utilised for the solution of the problem. Sweep algorithm with 2-Opt heuristic and Guided Local Search heuristic from Google OR solution tools are the methods that provides best results for the firm constraints. According to the obtained results, the number of the required vehicles should be decreased in order to decrease service cost. In the current situation, since the pickup process is carried out completely according to the expert intuition, the vehicles cannot be used at full capacity. Therefore, the idle capacity in the pickup process cannot be seen by the company. Hence, this study shows that the pickup cost of the company can be decreased drastically. For the further study, traffics on the route should be considered in order to obtain real time total pickup time.