

Araştırma Makalesi/Research Article

AKARYAKIT DAĞITIMINDA ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN BİR BAŞLANGIÇ ÇÖZÜMÜ

A CONSTRUCTION HEURISTICS FOR VEHICLE ROUTING PROBLEM IN FUEL DISTRIBUTION

Onur ÇETİN*, **Necdet ÖZÇAKAR****

Geliş Tarihi: 15.10.2018
(Received)

Kabul Tarihi: 27.11.2019
(Accepted)

ÖZ: Araç Rotalama Problemi (ARP) dağıtım alanındaki en bilinen problemlerden birisidir. Problemde bir merkez depodan turlarına başlayan araçlar, müşterileri ziyaret edip tekrar depoya dönmektedirler. ARP'nin pek çok çeşidi bulunmaktadır. Akaryakıt dağıtımını da Kompartımanlı Araç Rotalama Problemi (KARP) adı verilen ARP'nin farklı bir versiyonunu sunmaktadır. KARP'de karışmaması gereken akaryakıt ürünleri farklı kompartımanlarda taşınmaktadır. ARP'de olduğu gibi KARP için çözüm yöntemleri de genelde rota oluşturma sezgiselleri ve iyileştirme sezgiselleri olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Her iki sezgisel kategorisi ile ilgili ARP ile ilgili geniş bir literatür olmasına rağmen, KARP için literatür sınırlıdır. Bu çalışmanın amacı Türkiye'de akaryakıt dağıtım problemi için bir başlangıç çözümü önermektir. Problemi KARP haline getiren, her müşteriye birden fazla kez uğrama, kompartıman, tolerans gibi değişkenler bulunmaktadır. Tasarruf Algoritması (TA) bir yükleme algoritması ile entegre edilerek problem için bir başlangıç çözümü önerilmiştir. Önerilen yöntem test problemleri üzerinde test edilmiş ve literatürle kıyaslandığında kabul edilebilir sonuçlar vermiştir. Önerilen yöntemle gerçek hayat akaryakıt dağıtım problemi çözülmüştür ve önemli maliyet iyileştirmesi gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntem hem KARP problemlerinde başlangıç çözümü olarak, hem de pratik uygulama olarak Türkiye'de akaryakıt dağıtımında kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Lojistik, akaryakıt dağıtımını, araç rotalama problemi.

ABSTRACT: One of the well known problems in distribution is the Vehicle Routing Problem (VRP). In this problem, vehicles start their tours from a depot, they visit the customers and finish their tours in the depot again. There are several variants of VRP. Fuel distribution provides a different kind of VRP which is called as Multi Compartment Vehicle Routing Problem (MCRVP). In MCRVP vehicles have compartments and incompatible petroleum products are delivered in different compartments of a vehicle. For both of the problems solution methods can be classified into two categories; route construction heuristics and improvement heuristics. While there is a significant literature on VRP regarding these heuristics, the literature on MCRVP is much more limited. The aim

* Dr. Öğr. Üyesi, Trakya Üniversitesi, onurcetin@trakya.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1835-3333

** Prof. Dr. İstanbul Üniversitesi, necdet@istanbul.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2829-2909

Bu çalışma Onur Çetin'in "Akaryakıt Dağıtımında Araç Rotalama Problemi" isimli doktora tez çalışmasından türetilmiştir.

of this study is to offer a construction heuristics for a fuel distribution problem in Turkey. The problem has some features such as compartments, visiting customers more than once and tolerance which turns it into a MCVRP problem. Savings Algorithm (SA) and a loading algorithm is integrated to develop a construction heuristics for the problem. Proposed heuristics is tested on test problems and acceptable results obtained when compared with the literature. A real life fuel distribution problem is solved with the proposed heuristics and significant cost reduction has been achieved. The proposed method can be used as a construction method in MCVRP and as a practical solution for real life problems in fuel distribution in Turkey.

Key Words: Logistics, fuel distribution, vehicle routing problem.

1.GİRİŞ

Araç Rotalama Problemi (ARP) ilk olarak Dantzig ve Ramser (1959)'in "Araç Sevkiyat Problemi" adlı çalışmaları ile Gezgin Satıcı Probleminin (GSP) geliştirilmiş hali olarak literatüre girdiğinden beri, gerek teorik gerekse pratik anlamda oldukça ilgi çekmiştir. Problem çok amaçlı lojistik ağı tasarımı problemleri içerisinde yer almaktadır (Current ve Marsh, 1993: 5). Problemde n tane istasyon noktasına ($i=1,2,3,...,n$), terminal noktası olarak adlandırılan 0 noktasından teslimat yapılmaktadır. Her i,j arasındaki uzaklığı veren bir maliyet matrisi tanımlanmıştır ($C=[c_{ij}]$). Maliyet matrisi simetriktir ($c_{ij}=c_{ji}$). Her i noktasına yapılması gereken miktardaki teslimatı gösteren bir talep vektörü tanımlanmıştır ($Q=[q_{ij}]$). Araç sayısı m ile gösterilmektedir. Problemde belirli bir depodan çıkan m adet araç bulunmaktadır. Bu araçlar, n sayıda müşteriye istenen miktarlarda teslimat yaparak sonunda tekrar depoya dönmektedir. Amaç tüm araçlar tarafından kat edilen toplam mesafeyi minimize etmektir. Problemin kısıtları arasında her müşteriye sadece bir defa uğranması, müşteri taleplerinin karşılanması ve araç kapasitesinin aşılmaması yer almaktadır. Problemin farklı varyasyonları bulunmaktadır ve farklı varyasyonlar için kısıtlar ve amaç fonksiyonu farklılaşabilmektedir (Toth ve Vigo, 2002).

Geleneksel ARP de bir araç tarafından teslim edilecek taleplerin tek tür olduğu var sayılır. Belirli bir kapasite birimi (çoğu zaman ağırlık ya da hacim) belirlenerek aracın teslim edeceği talep toplamının araç kapasitesini aşmaması istenmektedir. Başka bir deyişle ürünler genellikle koliler ve paletler halinde taşınmaktadır ve ürünlerin birbiri ile karışması gibi bir problem yoktur. Petrol ürünleri gibi dökme ürünlerin taşınmasında ise benzin ve dizel gibi farklı ürünlerin birbirine karışması problem yaratabilmektedir. Bu nedenle birbirine karışması istenmeyen ürünlerin birlikte taşınmasında ise araçlarda kompartımanlar bulunmaktadır. Birbirine karışması istenmeyen bu ürünler kompartımanlarda taşınmaktadır. Kompartımanlı araçların yer aldığı bu problem türü Çok Kompartımanlı Araç Rotalama Problemi veya Kompartımanlı Araç Rotalam

Problemi (KARP) olarak isimlendirilmektedir. Bu problem türünde her aracın kapasitesinin yanında, her araçtaki her kompartımanın kapasitesi de önem kazanmaktadır. Bazı araçlarda ayırıcılar vasıtası ile kompartıman sayıları ve kapasiteleri değiştirilebilir iken bazı araçlarda kompartıman sayıları ve kapasiteleri sabittir. Kompartıman sayıları ve kapasiteleri değiştirilebilir olanlar esnek kompartımanlı olarak tanımlanırken, sabit olanlar sabit kompartımanlı olarak tanımlanabilir. KARP bu iki çeşidi de içinde barındırmaktadır (Derigs, Gottlieb, Kalkoff, Piesche, Rothlauf ve Vogel, 2011: 885-886).

2. LİTERATÜR

ARP için geniş bir literatür bulunmakla birlikte, KARP türleri için literatür çok daha sınırlıdır (Derigs vd., 2011; Reed, Yiannakou ve Evering, 2014). KARP'ye ait ilk çalışmalardan biri Brown, Ellis, Graves ve Ronen'e (1987) aittir. Problemden birden fazla depodan farklı çeşitlerde petrol ürünlerini kompartımanlı araçlarla dağıtılmaktadır. Problem iki aşamada çözülmüştür. İlk aşamada araçlara ve kompartımanlara ürünler atanmış ikinci aşamada GSP çözümler rotalar belirlenmiştir.

Abdelaziz, Roucairol ve Bacha'nın (2002) inceledikleri problemde ise müşterilere üç farklı çeşitte akaryakıt ürünü dağıtılmaktadır, araç filosu heterojendir ve kompartımanlı araçlardan oluşmaktadır. Her müşteri tüm siparişlerini sadece bir araçtan almaktadır. Problemden siparişleri araçlara atamak, sipariş miktarlarını kompartımanlara sığacak şekilde ayarlamak ve araçlara atanan müşterilere hangi sırada uğranacağını belirlemek gerekmektedir. Yazarlar, kesin çözüm yöntemlerinin bu tarz büyük problemler için yeterli olamayacağını belirterek, problemi değişken komşuluk arama yaklaşımı ile çözmeye çalışmışlardır. Komşuluk tabanlı bir başlangıç çözümü kullanmışlardır.

Avella, Boccia ve Sforza (2004) bir depodan müşterilere farklı akaryakıt ürünlerinin dağıtımını problemini ele almıştır. Sevkiyatta kompartımanlı ve heterojen bir araç filosu kullanılmaktadır. Kompartıman kapasiteleri ve talepler 1000'in katlarından oluşmaktadır. Bir kompartımanın ya tamamen dolu ya da tamamen boş olma kısıtının da olduğu problemin çözümü için, Tasarruf Algoritması (TA) temelli paketleme algoritması ve kesin çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Sezgisel yöntemin kesin yöntemle göre daha iyi sonuç verdiği saptanmıştır.

Cornillier vd. (2008a) bir ana merkezden petrol istasyonlarına homojen olmayan, kompartımanlı araçlarla çok periyotta akaryakıt dağıtımını yapılan problemi incelemişlerdir. Her kompartıman bir müşterinin bir ürün tipine ayrılmıştır. Geliştirdikleri sezgisel yöntemi bu problem için oluşturdukları test verisinde denemişler ve aynı tür problem için daha önce oluşturulmuş bir algoritma ile kıyaslamışlardır.

Cornillier vd. (2008b) petrol istasyonu yenileme problemi olarak tanımladıkları problemde bir kompartımana sadece bir müşterinin bir ürünü yüklenmektedir. Bunun yanında bir müşterinin bir üründen talebi birden fazla kompartımana da yüklenebilmektedir. Her müşteriye sadece bir araç hizmet vermektedir. Problem yükleme ve rotalama olmak üzere iki aşamada çözülmüştür.

Fallahi, Prins ve Calvo (2008) KARP üzerinde çalıştıkları problemde her kompartımana aynı ürün tipinden birden fazla müşterinin siparişi konabilmektedir. Her kompartıman sadece bir ürün tipine ayrılmıştır. İki stratejiyi karşılaştırmıştır. İlk stratejiye göre her müşteri ancak bir araçtan hizmet alabilmektedir. İkinci stratejiye göre her müşteri sipariş ettiği birkaç farklı üründen aynı ürünü bir araçtan alırken farklı ürünleri farklı araçlardan alabilmektedir. Problemin çözümünde başlangıç çözümü olarak TA'ni kullanmışlardır. Ürün çeşidi birden fazla olduğundan TA'ni kullanabilmek için problemi ürün bazında parçalara bölmüşler ve her ürün tipi için ayrı ayrı TA çözümlerini elde ederek başlangıç çözümü olarak kullanmışlardır. Memetik Algoritma ve Tabu Arama Algoritması geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri algoritmaların test edilmesi için literatürde KARP için test problemi olmadığından yazarlar ARP için mevcut olan test problemlerini dönüştürerek, KARP için test problemleri elde etmişlerdir. Bunu yaparken araçları iki kompartımanlı hale getirmişler, bunun yanında her müşterinin talebini ikiye bölmüşlerdir. Böylece yeni problemlerinin optimum çözümlerinin aynı kalacağı belirtilmiştir. Oluşturulan yeni test verileri önerilen algoritmalar ile çözülmüştür.

Muyldermans ve Pang (2010) atık toplama problemini KARP şeklinde ele almışlardır. Problemde homojen araç filosu kullanılmıştır. Problemin çözümünde bir müşteriden farklı araçların toplama yapabileceği, fakat bir noktadan aynı ürün çeşidini sadece bir aracın toplayabileceği belirtilmiştir. Çözüm yöntemi üç aşamalıdır. İlk aşamada TA ile başlangıç çözümü elde edilmiştir. Bu çözüm önce yerel arama ile sonra yönlendirilmiş yerel arama metasezgiseli ile geliştirilmiştir.

Mendoza vd. (2010) müşteri taleplerinin stokastik olduğu ARP üzerine çalışmışlardır. Problemde filo homojen ve tüm kompartıman kapasiteleri eşittir. Her müşteri sadece bir araçtan hizmet alabilmektedir. Problemin başlangıç çözümü için Stokastik En İyi Ekleme Sezgiseli kullanılırken, problemin çözümünde Memetik Algoritma kullanılmıştır.

Derigs vd. (2011) KARP'ye çözüm yöntemi önermişlerdir. Problemde bir kompartımana birden fazla ürün yüklenebilmektedir. Fakat belirli ürünler aynı kompartımanda yer alamamakta, bunun yanında belirli ürünler belirli kompartımanlara yüklenememektedir. Yazarlar öncelikle problemin modelini oluşturmuşlardır. Daha sonra rota oluşturma sezgisellerinden TA ve Süpürme Algoritması ile (Gillet ve Miller, 1974) bir başlangıç çözümleri oluşturulmuştur.

Probleme yerel arama, değişken komşuluk arama ve meta-sezgisel yöntem ile çözüm aramışlardır.

Uzar ve Çatay (2012) akaryakıt ürünleri dağıtım operasyonunu iyileştirmeye çalışmışlardır. Probleme her kompartımana yalnızca bir müşterinin bir üründen olan siparişi yüklenebilmektedir. Yazarlar probleme farklı kısıtlar daha ekleyerek, çok periyotlu olarak modellemişler ve iki farklı yöntem ile çözüm aramışlardır.

Reed vd.'nin (2014) incelediği problemde atık toplama kompartımanlı araçlarla gerçekleştirilmektedir. Problem k-ortalama kümeleme analizi ve Karınca Kolonisi Optimizasyonu yöntemleri ile çözümlenmeye çalışılmıştır.

Pena, Pinto ve Carvalho (2017) çok kompartımanlı araçların kullanıldığı akaryakıt dağıtım problemini için bir TA temelli bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir.

Henke'nin probleminde (2018) çok kompartımanlı araçlar farklı renlerdeki cam atıkları toplanmaktadır. Her kompartımana birden fazla yüklemenin yapılabildiği problem değişken komşuluk arama metodu ile çözülmüştür.

Deng Liang, Che, Zhang ve Sun (2018) akaryakıt dağıtımını çok kompartımanlı araçlarla gerçekleştirdiği problemi Benzetimli Tavlama ve Tabu Arama yöntemleri ile çözmüşlerdir.

Literatür incelendiğinde, problemlerin yükleme sayısına göre bir kompartımana tek yükleme yapılan Tek Yüklemeli Kompartımanlı Araç Rotalama Problemi (TYKARP) (Abdelaziz vd., 2002; Avella vd., 2004; Uzar ve Çatay, 2002) ve bir kompartımana birden fazla yükleme yapılabilen yükleme yapılan Çok Yüklemeli Kompartımanlı Araç Rotalama Problemi (CYKARP) (Cornillier vd., 2008b; Fallahi vd., 2008; Mendoza vd., 2010; Muyltermans ve Pang, 2010; Derigs vd., 2011; Pena vd., 2017) diye ayrılabilirliği görülmektedir.

Literatürdeki çalışmalar başlangıç çözümlerinde kullandıkları sezgisellere göre incelendiğinde, CYKARP için TA (Fallahi vd., 2008; Muyltermans ve Pang, 2010; Derigs vd., 2011; Pena vd., 2017), Süpürme Algoritması (Derigs vd., 2011), En İyi Ekleme Sezgiseli (Mendoza vd., 2010); TYARP için ise TA (Avella vd., 2004) ve komşuluk tabanlı sezgiselin (Abdelaziz vd., 2002) kullanıldığı görülmektedir.

Mevcut çalışmada, bu problem türü ise TYKARP'dir. Çalışmada incelenen problem TYKARP içinde yer alıp, problemin Türkiye akaryakıt dağıtım sistemine özgü özellikleri bulunmaktadır. Problemin tanımlanması bir sonraki bölümde yapılmıştır.

3. YÖNTEM

3.1. Problem Tanımı

İncelenen problem Türkiye’de akaryakıt sektöründe bir dağıtım problemidir. Bir merkez noktadan müşterilere birden farklı türde ve karışmaması gereken akaryakıt ürünlerinin dağıtımını yapılmaktadır. Dağıtımını üçüncü parti lojistik (3PL) firması yapmaktadır. Dolayısı ile problem hem akaryakıt dağıtım firmalarını hem de 3PL firmalarını ilgilendiren literatürde KARP içinde yer alan bir problem olarak tanımlanabilir.

Dağıtım sisteminde akaryakıt istasyonları müşteri konumunda olduğundan, bundan sonra akaryakıt istasyonu ve müşteri eşanlı olarak kullanılacaktır. Müşterilerin taleplerini toplayan akaryakıt firması, günlük sevkiyat programları oluşturmaktadır. Sevkiyat programı bir gün önceden belli olmaktadır. Sevkiyatı gerçekleştirecek araçlar 3PL firmasına ait olan kompartımanlı araçlardır. Kompartımanlı araçlarda farklı akaryakıt ürünleri aynı araçta farklı kompartımanlarda taşınmaktadır. Her kompartımana tek yükleme yapılmaktadır. Bir müşteri siparişi en büyük kompartıman kapasitesinden büyük olabilir. Bu durumda bir sipariş birden fazla sayıda kompartımana yüklenebilir. Araçlar sevkiyat programlarına göre bir ana merkezden aldığı akaryakıtı müşterilere taşımakta ve ertesi günkü teslimatları yapmak üzere tekrar ana merkeze dönmektedir. Bu süreç her gün aynı şekilde tekrarlanmaktadır. Müşterilere sevkiyat programında belirlenen gün içinde teslimat yapılırken, istasyonlar için herhangi bir zaman penceresi bulunmamaktadır. Müşteriler siparişlerine göre belirli bir limit dahilinde bir miktar daha az veya daha fazla teslimat yapılmasını kabul edilebilmektedir. İstasyonlardan geri toplama yapılmamaktadır. Her aracın taşıyabileceği belirli bir hacim ve ağırlık kapasitesi vardır. Genel olarak mevcut dağıtım sistemini TYKARP haline getiren özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Bir müşteri farklı ürünlerden siparişlerini farklı araçlardan alabilmektedir fakat bir müşterinin bir ürün türünden siparişi sadece bir araç tarafından karşılanmalıdır.
- Her kompartımana sadece bir müşterinin bir ürünü yüklenmelidir.
- Kompartıman kapasiteleri aşılmamalıdır. Bununla birlikte müşteriler belirli bir miktar az ve ya fazla teslimatı tolere edebilirler ya da etmeyebilirler.

3.2. Ürünler, Talepler ve Araçlar

Müşterilerin farklı ürün tiplerinden siparişleri olabilmektedir. p ürünleri temsil etmektedir ve dört tür ürün sev edilmektedir ($P=\{1,2,3,4\}$). Burada q_{ip} , i müşterisinin p ürünü ile ilgili talep miktarını göstermektedir. Hiçbir müşterinin talep toplamı araç kapasitesinden yüksek değildir. Akaryakıt dağıtım firması müşterileri ile ek bir anlaşma yapmıştır. Bu anlaşmaya göre her ürün için müşteri

taleplerinin belirli bir miktar eksikliği ya da fazlası yüklenebilmektedir. Bu miktara tolerans denmektedir. Buna göre talep ile yüklenen miktar arasında tolerans kadar fark olabilmektedir. Tolerans miktarı T_{ip} ile gösterilmiştir ve T_{ip} i müşterisinin, p ürünü ile ilgili tolerans miktarını gösterir. T_{ip} müşteriler ile yapılan sözleşme sonucu belirlenmektedir ve her müşteri için farklı bir tolerans miktarı belirlenebilir. Bu durum sadece incelenen dağıtım sistemine özgü değildir. Ronen (1995) de benzer şekilde, akaryakıt dağıtımında kompartımanları tam doldurmak amacı ile müşteri siparişlerinde müşterilerin kabulü ölçüsünde, ufak ayarlamalar yapılabildiğini belirtmektedir. İncelenen dağıtım sisteminde de bu ayarlamalar yapılmakta ve müşteriye belirli bir tolerans miktarına kadar eksik veya fazla teslimat yapılabilmektedir.

Araç filosunda m adet araç bulunmaktadır ve her araçta kompartıman sayıları aynıdır ve 10 adettir. Araçların istiap hadleri eşittir ve 27.000 kg'dır. Araçların kompartıman kapasiteleri ve toplam taşıma hacimleri arasında ise ihmal edilebilir ufak farklılıklar bulunmaktadır. Araç kapasitelerinin ortalaması ile en düşük hacimli araç kapasitesi arasında %3 düzeyinde bir farklılık bulunmaktadır. Her aracın kompartıman hacimleri sıralandığında kompartıman hacimleri açısından en küçük kompartıman hacmine sahip bir araç varmış gibi düşünülüp, bu araç referans araç olarak alınmıştır. Referans araç için kompartıman kümesi $K=\{k_1, k_2, \dots, k_n\}$ şeklindedir ve k_n n . kompartımanın kapasitesini göstermektedir. Bu araca sığacak talepler diğer araçlara da kesin olarak sığacaktır. Böylece araçlara yüklenen ürünlerin ağırlık olarak istiap haddini aşma ihtimali de kalmamaktadır çünkü referans aracın kompartıman hacimleri toplamı 32300 litre olmaktadır ve bu araca en yüksek yoğunluklu akaryakıt taşınsa bile araçların toplam istiap haddi aşılmamaktadır.

3.3. Mevcut Durumun Maliyetinin Hesaplanması

Öncelikle mesafelerin tespit edilmesi için müşteri koordinatları ve araçların günlük sevkiyat planları elde edilmiştir. İncelenen günde merkez depodan 55 adet müşteriye 9 araçla sevkiyat yapılmaktadır. 55 müşteri ve 1 depo olmak üzere 56 adet nokta arasındaki gidiş ve dönüş mesafeleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olup olmadığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Bunun için tesadüfi örneklem alınmıştır. Örneklem sayısı belirlenirken aşağıdaki (1) nolu formül kullanılmıştır. Formülde n örnek büyüklüğünü, belirlenen güven aralığı için Z değerini, e ; kabul edilebilir hata oranını, P ; ana kütlede beklenen durumun gerçekleşme olasılığını, Q ise gerçekleşmeme olasılığını belirtmektedir (Hair, Bush ve Ortinau, 2003: 345). Analizde % 95 güven oranı ve % 10 hata payı ile çalışılmıştır. Örneklem büyüklüğü 97 olarak elde edilmiştir.

$$n = (Z_{B,C,L}^2) \frac{P.Q}{e^2} \quad (1)$$

Buna göre 97 adet müşteri çifti için gidiş dönüş mesafeleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olup olmadığı araştırılmış ve anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ($p=0,845$). Dolayısı ile gidiş mesafeleri ile dönüş mesafeleri arasında anlamlı bir farklılık olmadığından gidiş dönüş mesafeleri eşit olarak alınmıştır. Gidiş ve dönüş mesafelerinin eşit alındığı durumda, koordinatları bilinen noktalar arasındaki mesafeleri elde etmenin yollarından biri de Geographic Distance Matrix Generator (GDMG) programını kullanmaktır. GDMG programına n adet noktanın koordinatları girilip program çalıştırıldıktan sonra, programın çıktısı olarak, bu noktalar arasındaki uzaklıkları veren ($n \times n$)'lik bir matris elde edilmektedir. İncelenen problemde müşterilerin ve deponun koordinatlarına göre mesafeler elde edilmiştir.

Tablo 1. Mevcut Durumda GSP'lerin Çözümü

Araç	En Yakın Komşuluk Algoritması (metre)	Evrimsel Hesaplama (metre)
Araç 1	542.865	537.069
Araç 2	411.374	408.038
Araç 3	265.311	242.119
Araç 4	500.370	497.744
Araç 5	665.267	521.611
Araç 6	358.933	334.686
Araç 7	139.996	123.514
Araç 8	488.761	484.571
Araç 9	134.325	134.325
Toplam	3.507.202	3.283.677

Problemde her araç için o aracın teslimat yapacağı müşteriler belli ama hangi sırada teslimat yapacağı belli değildir. Dolayısı ile her araca atanmış olan müşteriler bellidir ama araçların rotaları belli değildir. Mevcut durumda referans alınacak maliyetin belirlenmesi için her araç için GSP'nin çözülmesi gerekmektedir. Her araç için GSP iki ayrı algoritma ve iki ayrı program ile çözülmüştür. WINQSB programı ile En Yakın Komşuluk Algoritması kullanılarak ve Excel ile Evrimsel Hesaplama kullanılarak (Esen, 2008: 275) elde edilen GSP çözümleri Tablo 1.'de yer almaktadır. Buna göre evrimsel algoritmanın daha iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Evrimsel algoritmanın verdiği değerler referans değer olarak alınmıştır, dolayısı ile toplam kat edilen mesafe 3.283.677 olarak alınmıştır.

3.4. Problem için Başlangıç Sezgiseli Önerisi

İncelenen problemin çözümü için başlangıç çözümünü veren bir yöntem oluşturulacaktır. Bu yöntem, Rotalama - Yükleme Algoritması (RYA) olarak adlandırılmıştır. RYA içinde, TA ve ileriki bölümde açıklanacak olan Yükleme Algoritması (YA) birlikte kullanılmaktadır. Literatürde TYKARP için başlangıç çözümü olarak veya rota oluşturma sezgiseli olarak TA temelli sezgisel kullanılmıştır (Avella, 2004). RYA, Clarke ve Wright'a (1964) ait TA'nın probleme uygun hale getirilerek, geliştirilen yükleme algoritması ile birleştirilmesi sonucu oluşturulmuştur. RYA'da rotaların oluşturulması kısmı TA bazlı bir algoritma ile rotalara atanacak müşterilerin taleplerinin araca sığıp sığmadığı ise yükleme algoritması ile belirlenmektedir. Burada amaçlanan daha çok ürün taşımaktan ziyade kat edilen mesafenin minimizasyonu olduğundan, toleranslar sadece ürün kompartımanına sığmadı ise sığmayan kısmı elimine etmek için kullanılmıştır.

3.4.1. Rotalama – Yükleme Algoritması

Rotalama Yükleme Algoritmasında bir araca yüklenecek olan müşteri veya müşterilerin araca sığıp sığmama durumunun testinde Yükleme Algoritması kullanılmaktadır. Algoritmada her sipariş ayrı bir müşteri gibi ele alınmaktadır. P ürünleri, $P = \{1,2,3,4\}$, i ve j müşterileri, q_{ip} talep miktarlarını göstermektedir ve q_{ip} , i müşterisinin p ürünü ile ilgili talebini göstermektedir. Aynı müşterinin iki ayrı üründen siparişi, iki ayrı müşterinin siparişi gibi görülmektedir. Bu nedenle oluşturulan rotalarda bir müşteri iki ayrı ürünü iki ayrı rotadan yani iki ayrı araçtan alabilmektedir.

Tasarruf algoritmasında rotalar oluşturulurken, Yükleme Algoritmasında oluşturulan rotada yer alan müşteri taleplerinin araca sığıp sığmadığı test edilmektedir. Başka bir ifade ile TA'ya göre birleştirilecek rotalara ait müşterilerin taleplerinin kompartımanlı araca sığıp sığmayacağı yükleme algoritması ile test edilir. RYA Matlab 2012 programında kodlanmıştır ve adımları aşağıdadır.

3.5.1. Rotalama Yükleme Algoritmasının Adımları

1.adım: Depo olarak da ifade edilen merkez düğüm noktası 0 ile temsil edilmek üzere, toplam n tane düğüm yani müşteri vardır ($V = \{0,1,2,3,\dots,n\}$) Merkez düğüm ile diğer (n) adet düğüm arasında ($i \in V/0$) rotalar oluşturulur ve bu rotalar $(0, i, 0)$ olarak gösterilir. Toplam n adet rota oluşmuş olacaktır. N adet rotadan oluşan bir rota kümesi (R) tanımlanır.

2.adım: Her tur için, o turu diğer turlar ile birleştirmenin tasarruf değeri hesaplanır. Tasarruf değeri, iki turu ayrı ayrı gerçekleştirmenin maliyeti ile, bu iki turu birleştirerek tek bir tur halinde gerçekleştirmenin maliyeti arasındaki farka eşittir. İki turu birleştirmek, depo ile birleştirilecek düğümler arasındaki bağlantıları kesip, bu iki düğümü birleştirmek şeklinde olmaktadır. İki müşteri olan

i ve j müşterilerinin ayrı rotalarda olduğu durumda rotalar $(0,i,0)$ ve $(0,j,0)$ şeklindedir. Her iki (i,j) notası arasındaki maliyet c_{ij} olarak tanımlanır. Burada $(0,i,0)$ rotası için maliyet, $(c_{0i} + c_{i0})$ olurken, $(0,j,0)$ rotası için maliyet $(c_{0j} + c_{j0})$ olmaktadır. Bu iki rotayı $(0,i,j,0)$ olarak birleştirmenin maliyeti ise $(c_{0i} + c_{ij} + c_{j0})$ olmaktadır. İki rotayı ayrı ayrı gerçekleştirmenin maliyetinden $(c_{0i} + c_{i0} + c_{0j} + c_{j0})$ bu iki rotayı birleştirmenin maliyeti $(c_{0i} + c_{ij} + c_{j0})$ çıkarılırsa elde edilen sonuç bu iki rotayı birleştirmenin tasarruf değeridir ve $(S_{ij} = c_{0i} + c_{i0} + c_{0j} + c_{j0} - c_{0i} - c_{ij} - c_{j0} = c_{0j} - c_{ij})$ olarak hesaplanır. Tüm tasarruf değerleri hesaplandıktan sonra bir Tasarruf listesi (S) oluşturulur. Tasarruf değerlerinden pozitif olanları büyükten küçüğe sıralanır. En büyük tasarruf değeri S_1 son tasarruf değeri ise S_{son} olur. Herhangi bir iterasyondaki S 'in sırası S_o ile belirlenir. 3. adıma geçilir.

3.adım: En büyük tasarruf değerinden aramaya başlanır. Son tasarruf değerine geldiğinde algoritma sonlanır. Seçilen S_o 'daki i ve j müşteri çifti alınır. Seçilecek olan müşteri çifti, zaten aynı rotada yer alıyorsa veya farklı farklı rotalarda yer alıp ikisi de bulunduğu rotanın ucunda değilse bu durumda bu iki müşteri ile ilgili işlem yapılmaz sonucuna varılır. İşlem yapılmıyor ise S_o 'da o bir artırılır ve 3. adım tekrarlanır. Aksi halde 4. adıma geçilir.

4.adım: Rotaya her eklemede atanmayı bekleyen talepleri (q_{ip}) ve boş kompartımanları (k) sıralayarak en büyük talebi en büyük kompartımana atamaktadır. Eğer talep miktarı kompartıman kapasitesinden büyük ise, kompartımana sığmayan kısmı ($q_{ip} = q_{ip} - k_n$) atanmayı bekleyen taleplerin arasında kalmaktadır. Eğer tüm talepler atandı ise rotalar birleştirilir, S_o 'da o bir artırılır ve 3. adım tekrarlanır. Eğer boş kompartıman kalmadı ise, bu durumda atanmayı bekleyen her q_{ip} için $q_{ip} \leq T_{ip}$ ise rotalar birleştirilir, S_o 'da o bir artırılır ve 3. adım tekrarlanır, her q_{ip} için $q_{ip} \leq T_{ip}$ değilse rotalar birleştirilmez, S_o 'da o bir artırılır ve 3. adım tekrarlanır.

3.5.2. Test Problemlerinin Çözümü

Fallahi vd. (2008), ÇYKARP için test problemleri oluşturmak amacı ile ARP'ye ait test problemlerini, ÇYKARP'ye uygun hale getirmişlerdir. Bunun için her araç iki kompartımana bölünmüş, her müşteri talebi de ikiye bölünmüştür. Böylece araçların 1. kompartımanına her müşterinin ilk ürünü, 2. kompartımanına ise her müşterinin ikinci ürünü yüklenecektir. Bu durumda, ARP için optimum olan çözüm, ÇYKARP için de optimum olacaktır.

Mevcut çalışmada da, benzer şekilde ARP için literatürde mevcut olan test problemleri TYKARP test problemleri haline dönüştürülmüştür. Test problemleri (http://neo.lcc.uma.es/radiaeb/WebVRP/index.html?/Problem_Instances/instances.html) web adresinden elde edilmiştir. Yeni test problemleri oluşturmak için, optimum çözümlerden yola çıkılarak, optimum çözüm sağlanabilecek şekilde

kompartımanlı araçlar oluşturulmuştur. Bunun için, müşteri talepleri aynı kalmak kaydı ile, optimum çözümdeki rotalar elde edilebilecek şekilde, her araç çok sayıda kompartımana bölünmüştür. Böylece optimum çözümler aynı kalacak şekilde, ARP için var olan test problemlerinden, TYKARP için test problemleri oluşturulmuştur. Seçilen her ARP test problemi için üç farklı TYKARP test problemi oluşturulmuştur. Problemlerin isimlerindeki son rakamlar problemin mevcut çalışma için modifiye edilmiş halinin numarasını göstermektedir. Örneğin, A-n32-k5-1 literatürdeki A-n32-k5 isimli problemden bu çalışma için üretilen 1 nolu test problemi olduğunu göstermektedir. Test problemlerinin orijinal yapısında tolerans bulunmadığından tolerans değeri "0" alınmıştır. Bunun yanında problemlerin orijinal yapısında her müşterinin tek talebi bulunmaktadır. Müşteri talepleri aynı şekilde bırakılmıştır, dolayısı ile hangi dağıtım stratejisi kullanılırsa kullanılsın, her müşteri sadece tek bir araçtan hizmet alabilecektir.

Tablo 2. Önerilen Yöntemin Test Problemlerine Uygulanması

		Opt	TA	RYA	RYA
Problem	M-A	Sonuç	Sonuç	Sonuç	Sapma
An32k5-1	32-5	784	842	842	7,40%
An32k5-2	32-5	784	842	842	7,40%
An32k5-3	32-5	784	842	842	7,40%
An33k5-1	33-5	661	713	716	8,30%
An33k5-2	33-5	661	713	716	8,30%
An33k5-3	33-5	661	713	716	8,30%
An48k7-1	48-7	1073	1010	1110	3,40%
An48k7-2	48-7	1073	1010	1133	5,60%
An48k7-3	48-7	1073	1010	1129	5,20%
An53k7-1	53-7	1010	1098	1098	8,70%
An53k7-2	53-7	1010	1098	1098	8,70%
An53k7-3	53-7	1010	1098	1121	11,00%
			6,80%	Ortalama	7,50%

Tablo 2.'deki ilk sütun problem ismini belirtmektedir. İkinci sütundaki ilk değer müşteri sayısını, ikinci değer ise araç sayısını belirtmektedir. Tablo 2.'nin üçüncü sütunu problemin ARP için bilinen en iyi çözümünü vermektedir. Dördüncü sütun literatürde TA ile elde edilen çözüm değerini (Pichpibul ve Kawtummachai, 2012), beşinci sütun ise önerilen RYA ile elde edilen çözüm değerini vermektedir. Son sütun önerilen RYA sonuçları ile optimum çözüm sonuçları arasındaki sapmayı vermektedir. Görüldüğü gibi önerilen algoritma ile

türetilen test problemlerinin çözümünde optimumdan sapma %7,50'dir. Önerilen RYA'nın orijinal problemler evrilerek oluşturulan kompartımanlı test problemlerindeki sonuçları, TA ile orijinal problem için elde edilen sonuçlara yakındır ve iki algoritma optimum çözüm değerlerine göre benzer sapmalar göstermektedir.

3.5.3. İncelenen Problemin Çözümü ile ilgili Bulgular

Öncelikle, mevcut durumda yapılan yükleme miktarlarının aynı kaldığı durum için yani, tolerans değeri "0" olarak alınarak problem RYA ile çözülmüştür. Başlangıç çözümü olan RYA'nın verdiği değer 3.024.291 metredir. Evrimsel hesaplamaya göre elde edilen GSP sonuçlarına göre mevcut durumda kat edilen toplam mesafe 3.283.677 metre mevcut durumun referans değeri olarak alındığında RYA'nın verdiği değer mevcut duruma göre % 7,9'luk bir iyileştirmeye tekabül etmektedir. Mevcut durum için referans değeri En Yakın Komşuluk Algoritması ile elde edilen GSP çözümü olan 3507202 metre olarak alınırsa ise iyileştirme oranı %13,7'ye çıkmaktadır. Tolerans 1000 lt alındığında RYA'nın verdiği değer 2.567.187 metredir ve böylece 710.190 metrelik bir iyileştirme sağlanmıştır ki bu da % 21'lik bir iyileştirmeye tekabül etmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada incelenen akaryakıt dağıtım sistemi ve KARP, ARP'ye benzemekle birlikte, pek çok açıdan farklıdır. Bu sistem genel olarak Türkiye'de tüm akaryakıt dağıtım firmalarının ve akaryakıt dağıtım yapan 3PL firmaların kullandığı sistemdir. Literatürde KARP nin iki çeşidi için de çeşitli rota oluşturma sezgiselleri bulunmaktadır. Bu çalışmada KARP için literatürde sıklıkla kullanılan rota oluşturma sezgiseli olan TA ile bir yükleme algoritması birleştirilerek TYARP için başlangıç çözümü veren sezgisel bir yöntem oluşturulmuştur.

Önerilen RYA'nın orijinal problemler evrilerek oluşturulan TYKARP test problemlerindeki sonuçları, TA ile orijinal problem için elde edilen sonuçlara yakındır ve iki algoritma optimum çözüm değerlerine göre benzer sapmalar göstermektedir. Dolayısı ile önerilen yöntem TYKARP için gerçekleştirilecek ileriki çalışmalarda da başlangıç çözümü olarak uygulanabilir. Bunun yanında yöntem her müşterinin her ürünü için ayrı ayrı tolerans değerleri vermesine müsaade etmektedir. Tolerans değerleri heterojen araç filolarındaki kompartıman kapasitelerindeki ufak farklılıkları tolere edeceği gibi, maliyet minimizasyonunda bir değişken olarak da kullanılabilir. Bu yöntem Türkiye'de akaryakıt dağıtım açısından pratik bir çözüm olarak kullanılabilir.

KAYNAKÇA

- Abdelaziz, F. B., Roucairol, C., & Bacha, C. (2002). Deliveries of liquid fuels to SNDP gas stations using vehicles with multiple compartments, In *Systems, Man and Cybernetics, 2002 IEEE International Conference*, 1, 478-483.
- Archetti, C., Speranza, M. G., & Hertz, A. (2006). A tabu search algorithm for the split delivery vehicle routing problem, *Transportation science*, 1, 64-73.
- Avella, P., Boccia, M., & Sforza, A. (2004). Solving a fuel delivery problem by heuristic and exact approaches, *European Journal of Operational Research*, 152, 170-179.
- Breedam, V. A. (2002). A parametric analysis of heuristics for the vehicle routing problem with side-constraints. *European Journal of Operational Research*, 137, 348-370.
- Brown, G. G., Ellis, C. J., Graves, G. W., & Ronen, D. (1987). Real-time, wide area dispatch of mobil tank trucks. *Interfaces*, 17, 107-120.
- Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations research*, 12(1), 568-581.
- Cordeau, J. F., Gendreau, M., Laporte, G., Potvin, J. Y., & Semet, F. (2002). A guide to vehicle routing heuristics, *Journal of the Operational Research society*, 53(5), 512-522.
- Cornillier, F., Boctor, F. F., Laporte, G., & Renaud, J. (2008a). A heuristic for the multi-period petrol station replenishment problem. *European Journal of Operational Research*, 191(2), 295-305.
- Cornillier, F., Boctor, F. F., Laporte, G., & Renaud, J. (2008b). An exact algorithm for the petrol station replenishment problem, *Journal of the Operational Research Society*, 59(5), 607-615.
- Current, J., & Marsh, M. (1993). Multiobjective transportation network design and routing problems: Taxonomy and annotation. *European Journal of Operational Research*, 65(1), 4-19.
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management science*, 6(1), 80-91.
- Deng, X., Liang, J., Che, L., Zhang, L., & Sun, R. (2018). Optimization of multi-compartment vehicle routing problem in delivery mode. In *Proceedings of the Fifth International Forum on Decision Sciences* (pp. 11-22). Springer, Singapore.
- Derigs, U., Gottlieb, J., Kalkoff, J., Piesche, M., Rothlauf, F., & Vogel, U. (2011). Vehicle routing with compartments: applications, modelling and heuristics. *OR spectrum*, 33(4), 885-914.

- Fallahi, A., Prins, C., & Calvo, R. W. (2008). A memetic algorithm and a tabu search for the multi-compartment vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 35(5), 1725-1741.
- Gillet, B. E. ve L. R. Miller, 1974, "A Heuristic algorithm for the vehicle dispatch problem", *Operations Research*, 22, 340-349.
- Henke, T. (2018). Multi-compartment vehicle routing problems in the context of glass waste collection.
- Mendoza, J. E., Castanier, B., Guéret, C., Medaglia, A. L., & Velasco, N. (2010). A memetic algorithm for the multi-compartment vehicle routing problem with stochastic demands. *Computers & Operations Research*, 37(11), 1886-1898.
- Muyldermans, L., & Pang, G. (2010). On the benefits of co-collection: experiments with a multi-compartment vehicle routing algorithm. *European Journal of Operational Research*, 206(1), 93-103.
- Reed, M., Yiannakou, A., & Evering, R. (2014). An ant colony algorithm for the multi-compartment vehicle routing problem. *Applied Soft Computing*, 15, 169-176.
- Ronen, D. (1995). Dispatching petroleum products. *Operations Research*, 43(3), 379-387.
- Pena, T. Pinto and M. Sameiro Carvalho (2017). A constructive heuristic for the multi-compartment vehicle routing problem: an approach for a fuel distribution company, CIE47 Proceedings, 11-13 October 2017, Lisbon.
- Pichpibul, T., Kawtummachai, R. (2012). An improved Clarke and Wright savings algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *ScienceAsia*, 38(3), 307-318.
- Toth, P., & Vigo, D. (Eds.). (2002). *The vehicle routing problem*. Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Uzar, M. F., Çatay, B. (2012). Distribution planning of bulk lubricants at BP Turkey. *Omega*, 40(6), 870-881.
- http://neo.lcc.uma.es/radiaeb/WebVRP/index.html?Problem_Instances/instances.html