

SİPARİŞ TOPLAMA VE KAPASİTE KISITLI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİNİN HİYERARŞİK ÇÖZÜMÜ

Yusuf ŞAHİN^{1*}, Abdullah EROĞLU²

¹ Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, İ.İ.B.F., İşletme Bölümü, Burdur, Türkiye

² Süleyman Demirel Üniversitesi, İ.İ.B.F., İşletme Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Sipariş Toplama
Araç Rotalama
Genetik Algoritma
Tasarruf
En Yakın Komşu

Özet

Depolar lojistik yönetim sisteminde çok yönlü bir rol oynar. Depolama fonksiyonunun amacı, talep ile tedarik arasında bir tampon sağlamaktır. Depoların birçoğunda sipariş toplama ana faaliyettir ve ürünlerin müşteri taleplerine göre depolardaki konumlarından toplanmasını içerir. Diğer taraftan, siparişlerin dış dağıtımının da planlanması gerekir. Bir veya daha fazla depodan coğrafi olarak dağılmış olan müşterilere yapılacak olan dağıtım için uygun rotanın belirlenmesi literatürde araç rotalama problemi olarak adlandırılır. Sipariş toplama ve araç rotalama problemleri birbiri ile ilişkili problemler olmasına rağmen bugüne kadar ayrı ayrı ele alınmışlardır. Bu çalışmada, sipariş toplama ve araç rotalama problemlerini hem klasik hem de çapraz geçitli depo sistemlerinde birbirine bağlı bir yapıda hiyerarşik olarak çözebilen genetik algoritma esaslı yöntemler önerilmektedir. Müşteri ve sipariş grupları genetik algoritma ile belirlenirken, araç rotaları tasarruf ve en yakın komşu sezgiselleri yardımıyla belirlenmiştir. Önerilen yöntemlerin etkinliğini araştırmak için bilinen 24 test problemi ile deneyler yapılmış ve sonuçları önceki çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, geliştirilen genetik algoritma esaslı çözüm yöntemleri bilinen en iyi çözümlere yakın çözümler sağlamıştır.

HIERARCHICAL SOLUTION OF ORDER PICKING AND CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEMS

Keywords

Order picking
Vehicle routing
Genetic Algorithm
Savings
Nearest Neighbour

Abstract

The warehouses play a versatile role in the logistics management system. The objective of the warehousing function is to provide a buffer between supply and demand. In most warehouses, order picking is the major activity and involves collecting of products according to customer orders. On the other hand, it is necessary to plan the outside distribution of the orders. Determining the suitable distribution routes from one or more warehouses to a number of geographically separated customers is called vehicle routing problem in the literature. Although the order picking and vehicle routing problems are related to each other, they have been handled separately by this time. In this study, genetic algorithm based approaches which solve order picking and vehicle routing problems connected to each other in a hierarchical manner for both conventional and multiple cross aisles warehouse systems are proposed. While the groups of the orders and customers are determined using Genetic Algorithms, the routes of the vehicles are determined with the help of Savings and Nearest Neighbor Heuristics. In order to investigate the effectiveness of proposed methods, 24 well-known test problems are conducted and the obtained results are compared with previous researches. In conclusion, the improved genetic algorithm based solution approaches provided very close results to the known best results.

* İlgili yazar: yshahin@mehmetakif.edu.tr, +90-248-213-2557

1. Giriş

Depolar işletmelerin lojistik sisteminde önemli bir rol oynar. Gerçekleştirilen diğer faaliyetlerle birlikte müşteriler açısından kabul edilir bir servis düzeyi sağlayan depolarda, hareket, depolama ve bilgi transferi olmak üzere üç önemli fonksiyon söz konusudur. Hareket fonksiyonu; teslim alma, transfer ve bir yerlere koyma, sipariş toplama, seçme, biriktirme, sınıflandırma, ara depolama ve sevkiyat gibi alt işlemlerden oluşur. Teslim alma işleminde, depoya gelen ürün taşıma aracından indirilir, envanter kayıtları güncellenir, kalite veya sayı olarak herhangi bir tutarsızlığın olup olmadığı kontrol edilir. Transfer ve yerleştirme işleminde, gelen ürün ilgili depo alanına yerleştirilir. Bu işlem paketlerin açılması ve fiziki transfer gibi adımları da içerir. Sipariş toplama ve seçimi, müşteri siparişinin karşılanması için doğru üründen doğru miktarda elde edilmesi faaliyettir. Bu faaliyet birçok depoda en çok yürütülen faaliyet olarak ortaya çıkmaktadır. Toplanan siparişleri biriktirme/sınıflandırma işlemi, sipariş toplama işlemi gruplama suretiyle yapıldı ise gerçekleştirilmesi gereken bir faaliyettir. Çapraz sevkiyat, teslim alınan ürünlerin direkt olarak sevkiyat noktasına transfer edilmesi işlemidir. Bu işlemde kısa bekleme süreleri veya servislere ihtiyaç duyulabilmesine karşın sipariş toplama işlemi gerçekleştirilmez (Lambert vd., 1998).

Planlama ve depo kontrolü sipariş hazırlama süreci için kritik öneme sahip olan faaliyetlerin başında gelmektedir. Manüel sipariş toplama sistemlerinde depo alanı atama, alanlara ayırma, sipariş birleştirme, envanter yönetimi gibi konular planlama başlığı altında değerlendirilirken, gruplama ve toplayıcı rotalama gibi günlük faaliyetler kontrol konuları arasında yer alır. Deponun etkili planlama ve kontrolü yapılmaksızın sipariş toplama sisteminin verimliliğinden bahsetmek mümkün değildir. Sipariş toplama faaliyeti özellikle manüel sipariş toplama sistemleri için işgücünün en yoğun kullanıldığı bir faaliyettir. Bu faaliyetin toplam depolama maliyetinin %55-65 arasında bir kısmına karşılık geldiği tahmin edilmektedir (Roodbergen ve De Koster, 2001; Henn vd., 2010; Coyle vd., 1996). Dolayısıyla maliyetleri düşürmek isteyen depo yöneticileri ve depo konusunda çalışmalar yapan akademisyenler açısından sipariş toplama faaliyeti dikkat çekici bir çalışma alanıdır (Şahin ve Kulak, 2013).

Siparişlerin depo içerisinde toplanıp birleştirilmesinin ardından sevkiyat işlemi gerçekleştirilir. Bir veya daha fazla depodan yapılacak sevkiyat sırasında dağıtım araçlarının dolaşacağı rotanın belirlenmesi için bir dağıtım planı hazırlanır. Bu plan kapsamında, dağıtım için ne kadar araca ihtiyaç duyulduğu, hangi müşteriye hangi araç ile taşıma yapılacağı gibi konular planlanır. Bu planlama, dağıtım araçlarının dolaştıkları toplam

mesafenin belirli kısıtlar altında minimizasyonu için en uygun rotaların belirlenmesi ile ilgili bir konudur ve literatürde Araç Rotalama Problemi (ARP) olarak ele alınmaktadır. En uygun rotanın belirlenmesiyle sağlanacak tasarruf araç rotalamayı önemli bir karar problemi haline getirmektedir. Sağlanabilecek tasarrufun büyüklüğü araç rotalama konusuna araştırmacıların ve profesyonel yöneticilerin gösterdikleri ilginin artmasına neden olmuştur.

Bugüne kadar yapılan çalışmalar incelendiğinde, yukarıda bahsedilen iki karar probleminin birbirinden bağımsız olarak ele alındığı görülmektedir. Dağıtım için kullanılacak olan rota dikkate alınmadan yapılan sipariş toplama faaliyetinin ardından siparişlerin sevkiyata hazırlanması için ekstra iş yükü ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma kapsamında, müşteri siparişlerinin depo içerisinde hazırlanması ve depo dışında dağıtım ile ilgili faaliyetinin verimliliğini arttırmak için sipariş toplama ve araç rotalama problemlerine birbirine bağlı olarak hiyerarşik çözümler üreten Genetik Algoritma esaslı bütünsel yöntemler önerilmiştir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Geleneksel çözüm yöntemleri ile polinomial zamanda optimal olarak çözülemeyen problemler NP-zor problem olarak sınıflandırılır. Gezin satıcı, sırt çantası, kutu paketleme problemleri bu sınıfta yer alan problemlere örnek olarak verilebilir. Bunların yanı sıra, problemin çözüm kümesi müşteri sayısına bağlı olarak üstel bir şekilde büyüyen sipariş toplama (De Koster, 2007) ve araç rotalama (Kumar ve Panneerselvan, 2012) problemleri de yine uygulamada çözümü zor olan NP-Zor sınıfı problemler olup, çözümlerinin matematiksel olarak belirlenmesi bir hayli güçtür. Bu nedenle, gerçek yaşamda çok sık karşılaşılan bu problemlere, kabul edilebilir bir sürede yüksek kalitede çözümlerin bulunabilmesi için yapılan çalışmalarda sezgisel ve meta-sezgisel yöntemler yoğun olarak kullanılmaktadır.

Son yıllarda sipariş gruplama ve grup rotalarının belirlenmesi için farklı meta-sezgiseller geliştirilmiştir. Hsu vd., (2005), klasik depo sistemleri için sipariş gruplarını oluşturan ve dolaşım mesafesi ölçütünü kullanan genetik algoritma (GA) esaslı bir çözüm yöntemi (GABM) önermiştir. Bu çalışmada gruplara ait rotalama S-şekilli rotalama yöntemi ile sağlandığı için etkin olmayan rotalar oluşturulmaktadır. Tsai vd., (2008), depo içi operasyonlarının optimizasyonu ile ilgili GA esaslı bir yöntem önermiştir. Sipariş grupları ve bu gruplara ait depo içi rotaların belirlenmesi için birbiri ile ilişkili iki farklı GA ile geliştirilmiştir. Rotaların belirlenmesi için de GA uygulanması nedeniyle zaman performansını düşük çözümler elde edilmiş, bunu tolare etmek için çok büyük problem kümeleri için dahi popülasyon

hacmini 20 kromozom olarak belirlemiştir. Zhang ve Liu (2009), düzensiz depo yerleşiminde sipariş toplama probleminin çözümü için Genetik Algoritma esaslı bir yöntem önermiştir. Geliştirdikleri yöntemi diğer bir genetik algoritma esaslı yöntem ile karşılaştırmış ve daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Bottani ve diğerleri (2012), sipariş toplayıcının seyahat süresini düşürerek sipariş toplama verimliliğini artırmak için depo içerisine parça atamalarını yapmak için GA esaslı bir yöntem önermişlerdir.

Geçmişten günümüze ARP'nin çözümü için birçok sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sezgiseller, yoğunlukla 1960-1990 yılları arasında geliştirilen klasik sezgiseller ile son yıllarda büyük gelişim gösteren meta-sezgisel yöntemler olarak sınıflandırılabilir (Laporte ve Semet, 2002; Şahin ve Eroğlu, 2014). Son yıllarda yapılan çalışmalara bakıldığında, daha çok sezgisel ve meta-sezgisel yöntemlerin tercih edildiği görülmektedir. Tasarruf (saving), süpürme (sweep), iki aşamalı yöntem ve geliştirilmiş petal sezgisel kullanılan klasik sezgisel yöntemler arasında yer alırken; Tabu Arama, Genetik, Benzetimli Tavlama, Karınca Kolonisi, Yapay Arı Kolonisi, Parçacık Sürüsü, Lokal Arama ve Kabul Eşiği Algoritmaları meta-sezgisel yöntemler arasında yer almaktadır. (Şahin ve Eroğlu, 2014).

Baker ve Ayechev (2003), müşteri siparişlerinin tek bir depodan karşılandığı KARP'nin çözümü için komşu arama algoritması ile birlikte kullanılan melez bir genetik algoritma geliştirmiştir. Jaszkiwicz ve Kominek (2003), kaliteli çözümler üretmek için çözüm özelliklerinin belirlenmesinde küresel konvekslik testlerinin kullanıldığı genetik algoritma esaslı bir yöntem önermiştir. Alba ve Dorronsoro (2006), literatürde bulunan en iyi sonuçların geliştirilmesi için hücreli genetik algoritma esaslı bir yöntem geliştirmiştir. Mester ve Bräysy (2007), KARP'nin çözümü için yönlendirilmiş yerel arama (guided local search) ve genetik algoritmadan oluşan iki aşamalı iteratif bir yöntem kullanmıştır. Wang ve Lu (2009), başlangıç çözümün süpürme (sweep) ve en yakın ekleme yöntemlerinin kombinasyonunda oluşan yöntem ile belirlendiği bir genetik algoritma uygulamıştır. Jaszkiwicz vd. (2012), melez parçacık sürü optimizasyon algoritmasını (PSO) genetik algoritma ile birlikte bulanık talepli KARP'nin çözümü için kullanmıştır. Nazif ve Lee (2012), tam yönsüz ikili grafik kullanılarak oluşturulan optimize edilmiş bir çaprazlama operatörünün kullanıldığı genetik algoritma esaslı bir yöntem geliştirmiştir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, mevcut çalışmalarda sipariş toplama ve araç rotalama problemlerinin birbirinden ayrı olarak ele alındığı görülmektedir. Bu çalışma ile literatürde ilk defa sipariş toplama ve araç rotalama problemlerinin etkin bir şekilde birlikte çözümü için yeni yöntemler geliştirilmiştir.

3. Materyal ve Yöntem

3.1. Sipariş Toplama Problemi

Sipariş toplama problemi, bir tur veya grup içerisinde siparişlere ait parçaların depolandığı noktalardan alınırken izlenecek olan ziyaret sırasını belirleme problemidir. Bu özelliği nedeniyle Gezgin Satıcı Problemi olarak ele alınan sipariş toplama problemi, "sipariş toplayıcı veya toplama aracının, tur veya grupta yer alan siparişlere ait ürünleri ilgili alanlardan toplaması" şeklinde de ifade edilebilir. Sipariş toplama probleminde sipariş toplayıcı, deponun giriş noktasından başlayarak özel bir sıraya göre listede yer alan siparişleri topladıktan sonra çıkış noktasına gelir. Depo içerisinde gerçekleştirilen bir tur sırasında toplanan siparişlerin tamamına "sipariş grubu" adı verilir.

Won ve Olafson (2005), kapasiteyi aşmayacak şekilde siparişlerin gruplara atanması problemini kutu paketleme problemi, gruplarda yer alan parçaların toplama sırasının belirlenmesini problemini ise gezgin satıcı problemi ile eşdeğer olarak değerlendirmiş ve bir matematiksel model önermiştir. Önerdikleri bu model, Kulak vd., (2012) tarafından geliştirilmiş ve bütünleşik sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama problemlerinin çözümü için aşağıdaki matematiksel model önerilmiştir.

Karar değişkenleri ve parametreler:

$$x_k^b = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } k \text{ siparişi } b \text{ grubuna atanırsa,} \\ 0, & \text{Aksi takdirde,} \end{cases}$$

$$y_{ij}^b = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } b \text{ grubunda } i \text{ konumu } j \text{ konumundan} \\ & \text{hemen sonra ziyaret edilirse,} \\ 0, & \text{Aksi takdirde,} \end{cases}$$

C : Araç kapasitesi

w_k : k siparişinin ağırlığı

P_k : k siparişindeki parça sayısı (Her sipariş en az bir adet olmak üzere birden fazla parça içerebilir)

u_i, u_j : Bir turdaki i ve j konumları için oluşturulmuş geliş ve gidiş sayıları

d_{ij}^b : b grubunda i ve j konumları arasındaki mesafe,

n : Sipariş sayısı

b : Oluşturulan grup sayısı

$$\min Z = \sum_{b=1}^B \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m d_{ij}^b x_{ij}^b y_{ij}^b \quad (3.1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^m y_{ij}^b = 1 \quad \forall j, \forall b \quad (3.2)$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m y_{ij}^b = 1 \quad \forall i, \forall b \quad (3.3)$$

$$u_i - u_j + n \cdot y_{ij}^b \leq m - 1 \quad 2 \leq p \neq 1 \leq m, \forall b \quad (3.4)$$

$$\sum_{k=1}^n w_k x_k^b \leq C \quad \forall b \quad (3.5)$$

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^m \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m y_{ij}^b = \sum_{k=1}^n P_k x_k^b, \quad \forall b \quad (3.6)$$

$$\sum_{b=1}^B X_k^b = 1 \quad \forall k \quad (3.7)$$

$$y_{ij}^b, X_k^b = 0 \text{ veya } 1 \quad (3.8)$$

Yukarıda belirtilen modelde, amaç fonksiyonu (3.1) siparişlerin toplanması için depo içerisinde dolaşılacak toplam mesafenin en az olmasını ifade etmektedir. (3.2) ve (3.3) numaralı kısıtlar her turdaki depo konumları için bir gelişin ve bir gidişin olduğunu göstermektedir. (3.4) numaralı kısıt ise oluşturulan bir grup içinde sadece tek bir turun olmasını garanti etmektedir. (3.5) numaralı kısıt ile gruba atanan siparişlerin toplam ağırlığının araç kapasitesini aşamayacağı ifade edilmektedir. Matematiksel modeldeki (3.6) numaralı kısıt ise bir sipariş grubu için turdaki toplam ziyaret sayısının o sipariş grubundaki toplam parça sayısına eşit olmasını göstermektedir. Sipariş toplama problemlerinde her sipariş en az bir adet olmak üzere birden fazla parça içerebilir. Depoda tanımlı konumlar her parça için olup, sipariş gruplama sırasında hiçbir sipariş bölünemez. Dolayısı ile toplayıcı rotalaması gerçekleşirken gruplanan siparişlere ait tüm parçalar için depodaki konumları ziyaret edilir. Modelde her bir siparişin mutlaka bir gruba atanması koşulunu (3.7) numaralı kısıt sağlar. Son olarak (3.8) numaralı kısıt ile tüm değişkenlerin 0 ya da 1 tamsayı değerini alacağı garanti edilmektedir.

3.2. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KARP)

Literatürde ilk defa Dantzig ve Ramser (1959) tarafından tanımlanan ARP, taşıma, dağıtım ve lojistik alanında sıklıkla karşılaşılan bütünleşik bir optimizasyon problemidir. ARP, bir veya daha fazla depodan, coğrafi olarak farklı noktalarda bulunan müşterilere aynı ya da farklı kapasiteye sahip araçlarla yapılacak dağıtım için kullanılacak olan en kısa rotanın belirlenmesi problemidir. Tedarik zinciri yönteminde ürün veya hizmetin fiziksel olarak iletilmesi süreci ile alakalı olan bu problem için Clarke ve Wright (1964), Dantzig ve Ramser (1959) tarafından önerilen yöntemi geliştirerek bu çalışma kapsamında da kullanılan tasarruf metodunu önermiştir. Bu tarihten itibaren araç rotalama

problemine yeni kısıtlar eklenmek suretiyle birçok farklı türü ortaya konmuş ve bu problem türleri için de birçok model ve algoritma geliştirilmiştir (Şahin ve Eroğlu, 2014).

Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi, yönlendirilmemiş çizgiler kümesi $\{G=(V, E)\}$ üzerinde tanımlanır. Burada $V=\{0,1,\dots,n\}$ şeklinde tanımlanan köşe noktaları ve $E=\{(i,j): i,j \in V, i < j\}$ şeklinde tanımlanan ve köşe noktalarının birbirine bağlantısını sağlayan köprüler kümesidir (Toth ve Vigo, 2002). 1'den n'ye kadar olan düğümlerin her biri negatif olmayan talep (d_i) ve servis süresine (s_i) sahip müşterileri ifade eder. Düğüm 0 homojen Q kapasiteli K adet taşıma aracına sahip depoyu ifade etmektedir. Filo büyüklüğü bir karar değişkeni olarak kullanılır. Her bir köprü negatif olmayan seyahat maliyeti veya seyahat süresine (c_{ij}) sahiptir. KARP'de K adet aracın rotasının toplam maliyetini şu kısıtlar altında minimize edilir: i) rota üzerindeki her bir şehir sadece bir araç tarafından ziyaret edilir, ii) her bir rotanın depodan başlayıp depoda sona erer, iii) kapasite, zaman penceresi, toplam süre kısıtı, bir rotadaki toplam şehir sayısı sınırlıdır (Laporte, 1992). Bu kısıt ve kabuller altında, El Hassani vd., (2008)'de yer alan model notasyonları düzenlenerek çalışmaya uyarlanmıştır. Buna göre;

$V = \{v_0, v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$ (Bağlantı noktaları)

v_0 : Depo

$B = \{b_0, b_1, b_2, \dots, b_n\} \rightarrow$ araç kümesi

N : Depo dışında kalan noktaların sayısı,

w_i : i. müşteri düğümünün talep miktarı,

d_{ij}^b : i ve j müşterileri arasındaki mesafe

C : Araç kapasitesi (araç kapasiteleri homojen) $b_i \in B$

Karar değişkenleri:

$$y_{ij}^b \begin{cases} 1, \text{ eğer } b \text{ aracı } i. \text{ müşteri } \text{den sonra} \\ j. \text{ müşteri } \text{yi ziyaret ederse} \\ 0, \text{ aksi takdirde} \end{cases}$$

$$x_i^b \begin{cases} 1, \text{ eğer } i. \text{ müşteri } \text{ye } b \text{ aracı } \text{ hizmet verirse} \\ 0, \text{ aksi takdirde} \end{cases}$$

$$\text{Min} \sum_{b \in B} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} d_{ij}^b y_{ij}^b \quad (3.9)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N} y_{ij}^b = 1 \quad \forall i \in V \quad (3.10)$$

$$\sum_{j \in V} y_{ij}^b + \sum_{j \in V} y_{ji}^b = 1 \quad \forall i \in V, b \in B \quad (3.11)$$

$$\sum_{b=1}^B \sum_{j=1}^N y_{0j}^b = |B| \quad (3.12)$$

$$\sum_{j \in V} y_{0j}^b = 1 \quad \forall b \in B \quad (3.13)$$

$$\sum_{j \in V} y_{j(n+1)}^b = 1 \quad \forall b \in B \quad (3.14)$$

$$y_{ij}^b = 1 \Rightarrow x_i - w_j = x_j, \quad \forall i, j \in V, \forall b \in B \quad (3.15)$$

$$x_0 = C, 0 \leq x_i \quad \forall i \in V \quad (3.16)$$

$$\sum_{i=1}^N w_i \sum_{j=0, j \neq i}^N y_{ij}^b \leq C \quad k \in \{1, \dots, m\} \quad (3.17)$$

$$y_{ij}^b \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V, \forall k \in K \quad (3.18)$$

KARP'de, toplama ve dağıtım araçlarının dolaşacağı toplam mesafenin minimizasyonu için Denklem (3.9)'da gösterilen amaç fonksiyonu kullanılır. (3.10) nolu kısıt ağda bulunan her bir i - j bağlantısına sadece bir aracın hizmet vermesi, (3.11) nolu kısıt ise geri dönüşlerin engellenmesi ile ilgili kısıttır. Kısıt (3.12) depodan çıkan araç sayısının toplam araç sayısına eşit olması gerektiğini gösteren kısıttır. Kısıt (3.13) ve (3.14) aracın depodan ve j düğümünden bir defa çıkacağını ifade eder. Kısıt (3.15) aracın i - j düğümüne atanması halinde i düğümünden j düğümüne geldiğinde kalacak kapasiteyi göstermektedir. Kısıt (3.16)'ya göre aracın başlangıç kapasitesi C olacak, kısıt (3.17)'ye göre ise bir araca atanan müşterilerin toplam talebi aracın kapasitesini aşamayacaktır. Kısıt (3.18) ise y_{ij}^k değişkeninin tam sayı kısıtıdır.

3.3. Geliştirilen Genetik Algoritma Esaslı Yöntemler

Çalışmanın bu kısmında, sipariş toplama ve kapasite kısıtlı araç rotalama problemlerinin çözümü için geliştirilen genetik algoritma esaslı yöntemler açıklanmaktadır.

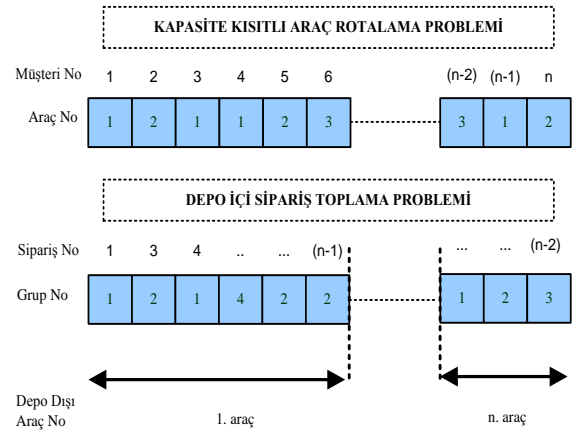
3.3.1. Genetik Algoritmalar

Problem çözümü için evrimsel süreci bilgisayar ortamında taklit eden genetik algoritma, klasik arama yöntemlerinden farklı olarak, popülasyon adı verilen başlangıç çözüm kümesi ile çözüme başlar. Başlangıç çözüm kümesini oluşturan toplulukta yer alan her bir birey kromozom olarak adlandırılır. Bu kromozomlar gen adı verilen bir dizi kısımdan oluşur. Kromozomlar başarılı yinelemeler vasıtası ile değişime uğrar ve bu sayede yeni nesiller meydana getirilir. Her bir nesil ya da yineleme için, toplulukta yer alan kromozomlar uygunluk fonksiyonu adı verilen bir fonksiyon yardımıyla değerlendirilmeye tabi tutulur. Her yinelemede, yeni bireylerin

oluşturulması için iki kromozomun eşleştirilmesine karşılık gelen çaprazlama operatörü ile kromozom modifikasyonuna karşılık gelen mutasyon operatörü kullanılır. Aile kromozomlar ile operatörler vasıtasıyla elde edilen yeni bireyler arasından uygunluk değerleri dikkate alınarak seçim işlemi gerçekleştirilir. Geri kalan kromozomlar ise topluluk hacminin sabit tutulması için elenir. Bu uygulama sonucunda yeni bir nesil oluşturulur. Belli bir yineleme sonunda ilgili probleme en iyi çözüm üreten kromozomun ortaya çıkması sağlanır (Gen ve Cheng, 1997).

3.3.1.1. Çözümün Kodlanması

Çözümün kodlanması GA'nın en önemli kısmıdır. GA uygulamasına geçilmeden önce probleme uygun kodlama yapısının belirlenmesi gerekir. Geliştirilen modelin doğru ve hızlı sonuçlar vermesi kullanılan kodlama yapısı ile doğrudan bağlantılıdır. Sipariş toplama ve kapasite kısıtlı araç rotalama problemlerinin çözümü için grup ve araç numarası esaslı kromozom yapıları kullanılmıştır. Depo içerisinde sipariş toplama problemi için siparişlerin toplandığı grupların numarası ile ifade edilen bir kromozom yapısı tercih edilirken, depo dışı kapasite kısıtlı araç rotalama probleminin çözümü için araç numarası esaslı bir kromozom yapısı tercih edilmiştir. Depo dışı araç rotaları belirlendikten sonra, bu rotalara uygun olarak depo içi çözüm gösterimi oluşturulmaktadır. Çalışmada önerilen grup ve araç esaslı kromozom yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Grup ve araç numarası dayalı kromozom yapısı

KARP'nin çözümüne yönelik olarak geliştirilen kromozom yapısında, 1'den n'ye kadar olan siparişler k adet araca paylaşılır. Şekil 1'de gösterilen kromozomda $\{1, 3, 4, \dots, (n-1)\}$, $\{2, 5, \dots, n\}$, $\{6, \dots, (n-2)\}$ nolu müşteriler sırasıyla 1, 2 ve 3 numaralı dağıtım araçlarına atanmıştır. Belirlenen bu rotaya bağlı olarak depo içi sipariş toplama probleminin çözümünde kullanılacak kromozom gösterimi de yine Şekil 1'de yer almaktadır. Bu noktada her bir aracın dağıtacağı siparişler kromozom üzerinde ayrı bir bölmede gösterilmektedir. Örneğin, $\{1, 3, 4, \dots, (n-1)\}$ nolu müşteriler 1 numaralı dağıtım aracına atanmış

ve kromozom üzerinde birbirinden ayrılmayacak şekilde yerleştirilmiştir.

3.3.1.2. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması

Genetik algoritma kullanılarak yapılan çalışmalarda, çok sayıda kromozomdan meydana gelen ve rastsal olarak oluşturulan başlangıç topluluğu ile çözüme başlanır. Oluşturulan başlangıç çözümü genetik algoritmanın çözüme ulaşma performansını doğrudan etkileyen bir etmendir. Bu sebeple uygun bir başlangıç popülasyonu oluşturma yöntemi seçilmelidir. Rastsallıktan dolayı, sonuca hızlı bir şekilde ulaştırabilecek çözümlerin başlangıç topluluğu içerisinde yer alması zordur. Bu durumun ortadan kaldırılabilmesi için başlangıç popülasyonunun %25'lik kısmı Rota Benzerlik Yöntemiyle (Şahin, 2009; Kulak vd., 2012, Şahin ve Kulak, 2013), kalan %75'lik kısmı ise rastgele şekilde oluşturulduğu GARB ve başlangıç popülasyonun tamamının rastgele oluşturulduğu GAS isimli iki yöntem geliştirilmiştir.

3.3.1.3. Uygunluk Fonksiyonu

Depo dışı dağıtım faaliyetleri maliyet olarak daha fazla ağırlığa sahip olduğu için ilk adımda, depo dışı dağıtım faaliyetleri için kapasite kısıtlı araç rotalama problemi çözülmektedir. GA esaslı çözüm yöntemlerinde Şekil 1'de gösterilen grup ve araç numarası gösterimine dayalı kromozom yapısı kullanılmaktadır. Bu çözüm sonucunda dış dağıtım rotası, sipariş grupları ve bu gruplara ait sipariş toplama rotaları belirlenir. Dağıtım ve toplama araçların rotaları tasarruf ve en yakın komşu sezgiselleri ile belirlenmektedir. Uygunluk fonksiyonu, depo içerisinde sipariş toplama ve depo dışında sipariş dağıtım için dolaşılacak toplam mesafe şeklinde ifade edilmiştir. Bu aşamada kullanılan uygunluk fonksiyonu aşağıda gösterilmektedir;

$$F_i = \sum_{j=1}^k D_j + P \quad (3.19)$$

F_i : i çözümünün uygunluk değeri

D_j : Oluşturulan sipariş grupları için toplam dolaşım mesafesi ($j=1,2,3,\dots,k$)

P : Ceza değeri

3.3.2. Tasarruf (Savings) Algoritması

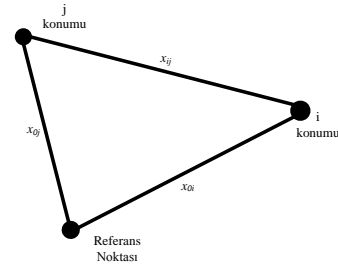
Clarke ve Wright (1964) tarafından geliştirilen Tasarruf Sezgiseli ARP'nin çözümünde en çok kullanılan çözüm yöntemlerinden biridir. Farklı uygulama alanına kolayca adapte edilebilen bir yöntem olan tasarruf sezgiseli, dağıtım aracının her seferinde tek bir müşteriye hizmet etmesi yerine bir turda birden fazla müşteriye teslimat yapması fikri üzerine inşa edilmiş bir sezgisel yöntemdir. Tasarruf değeri her bir müşteri çifti için seyahat zamanındaki azalmayı ifade eder ve dağıtım aracının turlarını bir tek turda birleştirmek suretiyle elde edilen tasarruf miktarına göre değerlendirme yapılır. Tasarruf

değeri, tura çıkacak olan belli bir kapasitedeki taşıma aracı için sipariş öncelik indeksini oluşturulmasında kullanılır. $(0, \dots, i, 0)$ ve $(0, \dots, j, 0)$ şeklindeki iki rota $(0, \dots, i, j, \dots, 0)$ olarak uygun bir çözümde birleştirildiğinde dolaşım mesafesinden $s_{ij} = c_{i0} + c_{0j} - c_{ij}$ kadarlık bir kazanç elde edilir. Tasarruf algoritmasının paralel ve sıralı olmak üzere iki versiyonu vardır. Çalışma kapsamında kullanılan paralel versiyonun adımları aşağıda sunulmuştur (Laporte ve Semet, 2002);

Adım 1 (tasarruf hesabı): $j=1, \dots, n$ ve $i \neq j$ için $s_{ij} = c_{i0} + c_{0j} - c_{ij}$ formülünü kullanarak tasarruf değerlerini hesapla. $i=1, \dots, n$ için n tane araç rotası $(0, i, 0)$ oluştur. Tasarruf değerlerini azalan şekilde sırala.

Adım 2 (en uygun birleşim): Tasarruf listesinin en üstünden başlayarak aşağıdaki işlemleri yap. s_{ij} tasarrufu göz önüne alındığında, biri $(0, j)$ başlayan ve diğeri $(i, 0)$ ile biten uygun bir şekilde birleştirilebilecek iki rotanın olup olmadığını kontrol et. Bu rotada $(0, j)$ ve $(i, 0)$ bağlantılarını silerek iki rotayı birleştir.

Algoritmanın konum esaslı gösterimi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Tasarruf sezgiselinin konum esaslı gösterimi

3.3.3. En Yakın Komşu Algoritması

En yakın komşu algoritması, araç rotalarının belirlenmesi için konumsal verilerin kullanıldığı sezgisel bir yöntemdir. Bu yöntemde, belirli bir konuma en yakın konumun rotaya eklenmesi suretiyle aracın genel rotası belirlenir. Bu algoritma, tasarruf algoritması gibi hızlı ve etkili sonuçlar üretmesi sebebiyle uygunluk fonksiyonu hesabının bir parçası olarak çalışma kapsamında kullanılmıştır. Genel işleyişi beş adımdan oluşan bu algoritmanın uygulama prosedürü aşağıda sunulmaktadır.

Adım 1: Başlangıç konumundan en kısa mesafeli parça konumunu belirle.

Adım 2: İlk parça konumundan diğer parça konumlarına olan mesafeyi belirle.

Adım 3: Mevcut mesafeler arasında en kısa olanı seç ve ikinci parça konumunu belirle.

Adım 4: Gruptaki tüm parça konumları tamamlanana kadar Adım 2 ve 3 ü tekrar et.

Adım 5: Parça konumlarının belirlenme sırasına göre parça konumlarını birleştir ve rotayı göster.

3.3.4. 2-opt Sezgiseli

Yukarıda bahsedilen algoritmalar ile elde edilen rotaların geliştirilmesi için 2-opt (Croes,1958) ve Or-opt (Or,1976) rota geliştirici algoritmaları çalışma kapsamında kullanılmıştır. 2-opt algoritmasının işleyişi şu şekildedir (Eryavuz ve Gencer, 2001);

Adım 1: Rastsal olarak turdaki parça çiftlerini belirle.

Adım 2: Tur bozulmayacak şekilde, parça çiftlerinin yerini değiştir.

Adım 3: Yeni oluşan tur önceki tura göre bir gelişme sağlamış ise parça çiftleri yeni yerlerinde kalır, gelişme sağlanmamış ise eski yerine iade edilir.

3.3.5. Or-opt Sezgiseli

Çalışma kapsamında kullanılan rota geliştirici sezgisellerinin ikincisi Or-opt algoritmasıdır. Or-opt algoritmasında $h=3$ 'ten 1'e kadar aşağıdaki işlemler yürütülür (Eryavuz ve Gencer, 2001).

Adım 1: Turda arka arkaya gelen h sayıda düğüm alınır.

Adım 2: Düğümler mevcut yerlerinden kaldırılıp, deneme yoluyla turun kalan kısmında en uygun yerlere yerleştirilir.

Adım 3: Yeni yerleşim sonucu turda bir gelişme sağlanır ise kaydırma işlemi kabul edilir. Aksi durumda düğümler orijinal yerlerine iade edilir. h - sayısı düşürülmeden önce mümkün bütün h sayıda arka arkaya gelen düğüm kümesi için aynı işlem yürütülür.

3.3.6. Kromozomların Eşleştirme Havuzuna Alınması

Genetik algoritmanın kullanıldığı uygulamalarda, seçilen kromozomlardan bir veya daha fazla çocuğun üretilmesi amacıyla eşleştirme havuzu oluşturulur. Eşleştirme havuzuna seçilecek bireylerin tespiti algoritmanın performansını etkileyen oldukça önemli bir diğer süreçtir. Çalışma kapsamında eşleştirme havuzuna seçilecek bireylerin belirlenmesi için σ -truncation (Goldberg, 1989) yöntemi kromozom uygunluklarının derecelendirilmesi için kullanılmıştır. Seçim için rulet tekeri, sıralama ve turnuva seçimi yöntemleri kullanılmıştır.

3.3.7. Genetik Operatörler

Genetik algortmada çeşitli operatörler kullanılarak uygunluk değeri bakımından daha iyi çözümlere karşılık gelen yeni oğul kromozomların oluşturulması amaçlanır. Yeni bireyler oluşturmak için kullanılan operatörler çaprazlama ve mutasyon operatörleridir. Sipariş toplama ve araç rotalama problemlerinin birlikte çözümü için çaprazlama operatörü olarak uniform ve enjeksiyon çaprazlama yöntemleri, mutasyon operatörü olarak da ikili değiştirme

(swap), yerine koyma (replacement) ve tersine çevirme mutasyon yöntemleri kullanılmıştır. kullanılmıştır. KARP'nin çözümünde kullanılan uniform çaprazlama yöntemi Şekil 3'te, tersine çevirme mutasyon yöntemi ise Şekil 4'te gösterilmektedir.

Mevcut popülasyon içerisinde yüksek uygunluk değerine sahip bireylerin kaybolmasını önleyerek algoritmanın daha hızlı çözüm vermesini sağlamak için elitizm stratejisi çalışma kapsamında kullanılmıştır.

Bazı durumlarda, çaprazlama ve mutasyon operatörünün uygulanmasından sonra kısıtları sağlayamayan çözümler ortaya çıktığı görülmektedir. Kromozomun oluşumundan sonra uygun bir çözüm sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Uygun olmayan çözümlerin popülasyon dışında bırakılması için ceza değeri eklenen bir uygunluk fonksiyonu kullanılabilceği gibi bir tamir stratejisi de devreye girebilir. Çalışma kapsamında tamir stratejisi uygulanmıştır.

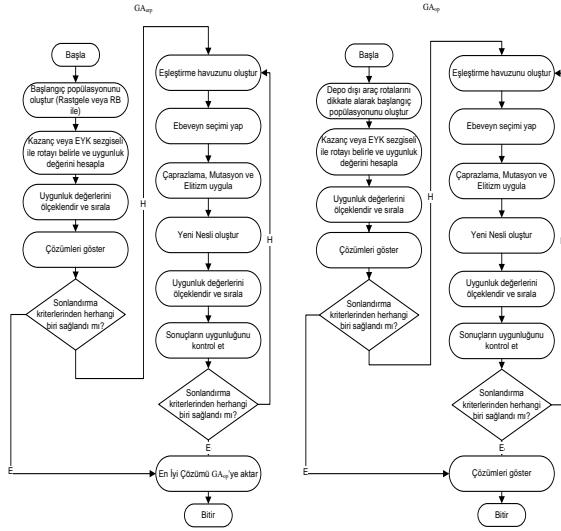
Rastgele Sayı	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1
Müşteri No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Araç No	1	3	1	4	2	2	1	4	3	4	2	3
Müşteri No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Araç No	2	1	4	3	2	1	3	4	2	3	1	4
Müşteri No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Araç No	1	1	4	4	2	2	3	4	3	3	1	3
Müşteri No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Araç No	2	3	1	3	2	1	1	4	2	4	2	4

Şekil 3. Üniform çaprazlama

Müşteri No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Araç No	1	3	1	4	2	2	1	4	3	4	2	3
Müşteri No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Araç No	1	3	1	3	4	1	2	2	4	4	2	3

Şekil 4. Tersine çevirme yöntemi

Geliştirilen GA esaslı çözüm yöntemlerin şeması Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. Geliştirilen GA esaslı yöntemlerin akışı

4. Araştırma Bulguları

4.1. Uygun Parametre Setinin Belirlenmesi

Daha önceki bölümlerde detayları verilen yöntemlerle ilgili program için akademik çalışmalarda sağladığı maliyet avantajı nedeniyle Java programlama dili tercih edilmiştir. Tasarlanan ara yüz ile GA parametreleri ve depo özellikleri programa tanıtılmaktadır. Deneyler 8 GB Ram ve 2,4 Ghz işlemciye sahip bir bilgisayarda gerçekleştirilmiştir.

Farklı problem türlerinde kullanılacak en uygun parametre setinin belirlenmesi için bir dizi çalışma yapılmasına karşın, parametrelerin belirlenmesinde uygulanacak en kullanışlı yöntem varyans analizidir. Bir dizi tekrarlı deney neticesinde elde edilen uygunluk değerlerinin ortalamaları arasında anlamlı bir farkın olup olmadığı yapılacak Varyans Analizi (ANOVA) testleri ile belirlenebilir. ANOVA testlerinde kullanılacak verilerin elde edilebilmesi için yapılacak olan deneylerin tasarımı tam faktöriyel, kesirli faktöriyel ve TAGUCHI yöntemi gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında ele alınan problemlerin bütünleşik yapısı, yapılması gereken deney sayısını arttırdığı için tam faktöriyel deney yapmak yerine TAGUCHI deney tasarımı yöntemi kullanılmıştır. Tasarım için TAGUCHI L32 ortogonal dizisi kullanılmış ve toplam 32 deney ile ANOVA testleri için gerekli olan deneyler gerçekleştirilmiştir.

Bir bağımsız değişkenin birden fazla bağımlı değişkeni etkilemesi ve varsayımların sağlanması durumunda grup ortalamaları arasında bir fark olup olmadığı Tek Yönlü Çok Değişkenli Varyans Analizi (TMANOVA) testi ile belirlenir. TMANOVA analiz yönteminin; verilerin normal dağıldığı, grup varyansının eşit olduğu ve bağımsız değişkenlerdeki gruplar boyunca bağımlı değişkenler arasındaki korelasyonun aynı olduğu gibi varsayımları vardır. Eğer bu varsayımlardan biri veya birkaçı sağlanmıyorsa analiz için parametrik olmayan

yöntemler tercih edilmelidir. TMANOVA'nın varsayımları karşılanmadığı için analiz için TMANOVA'nın parametrik olmayan karşılığı Kruskal-Wallis testi kullanılmış ve sonuç olarak Tablo 1 ve Tablo 2'de verilen parametre değerlerinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Tablo 1. GA_VP için en uygun parametre seti

PARAMETRE	DEĞERİ	PARAMETRE	DEĞERİ
Rot. Yön.	EYK	Mut. Yön.	Değiştirme
Pop. Büy.	Sip.Say. x 10	Mut. Oran	%5
Elitizm Or.	%5	Mut. Az. Or.	0
Çap. Yön.	Uniform	Sapma (c)	2
Çaprazlama	%90	Rota İyileş.	Or-opt
Aile Seçim	Turnuva		

Tablo 2. GA_OP için en uygun parametre seti

PARAMETRE	DEĞERİ	PARAMETRE	DEĞERİ
Rot. Yön.	EYK	Mut. Yön.	Değiştirme
Pop. Büy.	Sip.Say. x 10	Mut. Oran	%5
Elitizm Or.	%5	Mut. Az. Or.	%50
Çap. Yön.	Uniform	Sapma (c)	2
Çaprazlama	%90	Rota İyileş.	2-opt
Aile Seçim	Turnuva		

4.2. Klasik ARP Test Problemlerinin Çözümü

Çalışma kapsamında önerilen GA esaslı yöntemler literatürde ilk defa sipariş toplama ve kapasite kısıtlı araç rotalama problemlerinin eş zamanlı çözümünü sağlamaktadır. Daha önce bu yönde yapılan bir çalışma bulunmadığı için önerilen yöntemlerin etkinliği klasik araç rotalama problemi veri setleri kullanılarak test edilmiştir. Karşılaştırma için Augerat vd., (1995) tarafından kullanılan test problemlerinden 24 tanesi programda kullanılan sipariş listesi formatına dönüştürülerek test edilmiştir. Kullanılan veri setlerinin detayları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Kullanılan Klasik Test Problemleri

Veri	Talep	Kap.	Grup Sayısı	Veri	Talep	Kap.	Grup Sayısı
A-n32-k5	410	100	5	B-n34-k5	457	100	5
A-n33-k5	446	100	5	B-n35-k5	437	100	5
A-n33-k6	541	100	6	B-n38-k6	512	100	6
A-n34-k5	460	100	5	B-n39-k5	440	100	5
A-n36-k5	442	100	5	B-n41-k6	567	100	6
A-n37-k5	407	100	5	B-n43-k6	521	100	6
A-n37-k6	570	100	6	B-n44-k7	641	100	7
A-n38-k5	467	100	5	B-n45-k5	486	100	5
A-n39-k5	475	100	5	B-n45-k6	592	100	6
A-n39-k6	526	100	6	B-n50-k7	609	100	7
A-n44-k6	570	100	6	B-n50-k8	735	100	8
B-n31-k5	412	100	5	B-n52-k7	606	100	7

Geliştirilen yöntemlerin etkinliğinin gösterilebilmesi için Tablo 3'te detayları verilen klasik test

problemleri Tablo 1 ve Tablo 2’de verilen parametre değerleri kullanılarak GARB (Genetik Algoritma – Rota Benzerlik) yöntemi ile çözülmüş ve elde edilen sonuçlar daha önce yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılan yöntemler Tablo 4’te ve bu yöntemler ile bulunan en iyi çözüm değerleri Tablo 5’te gösterilmektedir.

Tablo 4. Karşılaştırma Yapılan Yöntemler

SİMGE	YIL	YAZARLAR	ALGORİTMA
CW	1964	Clarke ve Wright	Tasarruf Algoritması
AÖ	2005	Altinel ve Özcan	Geliştirilmiş Tasarruf Algoritması
H	2010	Hinton	Yeni Yöntemler
NJK	2011	Na vd.,	Geliştirilmiş süpürme algoritması

Tablo 5. Klasik test problemlerinin çözümü

Veri Seti	CW	AÖ	H	NJK	F _{best} *	GARB	Fark (%)
A-n32-k5	842	827	787	810	784	809	3,19
A-n33-k5	713	700	662	686	661	692	4,69
A-n33-k6	775	743	742	743	742	757	2,02
A-n34-k5	810	793	780	785	778	800	2,83
A-n36-k5	826	806	802	826	799	824	3,13
A-n37-k5	705	708	672	670	669	686	2,54
A-n37-k6	975	974	951	962	949	959	1,05
A-n38-k5	765	751	733	749	730	762	4,38
A-n39-k5	898	894	828	-	822	855	4,01
A-n39-k6	861	848	835	856	831	857	3,13
A-n44-k6	974	985	938	957	937	967	3,20
B-n31-k5	677	673	676	677	672	680	1,19
B-n34-k5	794	788	789	802	788	794	0,76
B-n35-k5	978	975	956	962	955	965	1,05
B-n38-k6	837	820	807	817	805	820	1,86
B-n39-k5	564	552	553	575	549	558	1,64
B-n41-k6	896	869	834	843	829	854	3,02
B-n43-k6	777	752	746	746	742	762	2,70
B-n44-k7	936	932	914	942	909	936	2,97
B-n45-k5	754	751	753	797	751	782	4,13
B-n45-k6	723	742	681	732	678	706	4,13
B-n50-k7	745	746	744	779	741	762	2,83
B-n50-k8	1356	1381	1317	1349	1313	1340	2,06
B-n52-k7	761	754	749	758	747	774	3,61

Kaynak : (Pichpibula ve Kawtummachai, 2012)

*F_{best}: Bilinen en iyi çözüm

Tabloda gösterilen veri setleri ile bilinen en iyi çözüme GARB yöntemi ile % 0.76 ile % 4.69 arasında değişen oranlarda yakın çözümler elde edilmiş ve

birçok veri setinde karşılaştırılan diğer yöntemlerden daha iyi sonuçlar ortaya konmuştur.

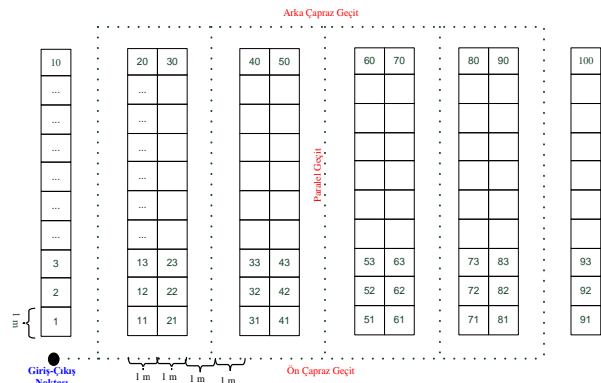
4.3. Önerilen Yöntemler İle Problemlerin Çözümü

Bölüm 4.2’de verilen klasik ARP test verileri kullanılarak yapılan karşılaştırmaların ardından, bütünleşik yöntemlerin performanslarını değerlendirmek için 8 adet sipariş listesi rastgele olarak oluşturulmuş ve bu veri setleri ile deneyler yapılarak yöntemler kendi arasında karşılaştırmaya tabi tutulmuştur. Rastgele olarak üretilen sipariş listelerine ait bilgiler Tablo 6’da gösterilmektedir. Bir numaralı deney setinde, dış dağıtım için kullanılan aracın kapasitesi 150 kg, sipariş toplama için kullanılan aracın kapasitesi ise 75 kg’dır. Sipariş listesinde toplam 46 adet parça yer almakta ve toplamda 419 kg gelmektedir. Bu siparişlerin depo dışında dağıtımını için 3 adet, depo içerisinde toplanması için ise 6 adet rota belirlenmesi gerekmektedir. Rota sayısı araç sayısı olarak da kullanılabilir.

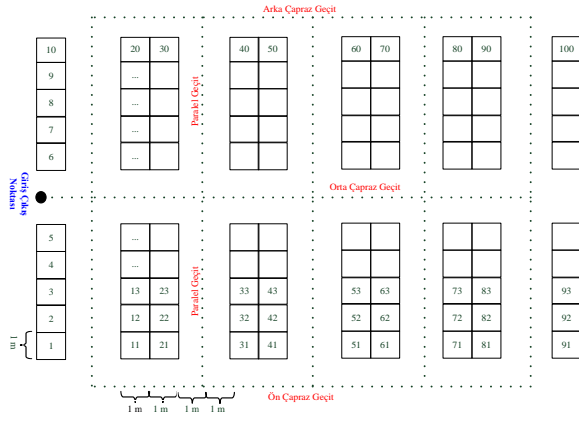
Tablo 6. Rastgele üretilen sipariş listelerine ait bilgiler

	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)
Deney Seti	C _{dış} (kg)	C _{iç} (kg)	Parça	Toplam Ağırlık (kg)	Araç Sayısı _{dış} (D/A)	Araç Sayısı _{iç} (D/B)
Set 1	150	75	46	419	3	6
Set 2	150	100	64	720	5	8
Set 3	160	80	70	761	5	10
Set 4	100	60	48	642	7	11
Set 5	200	100	110	875	5	9
Set 6	200	120	127	1355	7	12
Set 7	200	100	113	895	5	9
Set 8	200	100	138	1364	7	14

DeneySEL çalışmalarda, bu sipariş listelerin test edilmesi için iki farklı depo yerleşimi kullanılmıştır. Klasik ve çapraz geçitli depo yerleşimi olarak ifade edilen bu yerleşimler sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6’da gösterilmektedir.

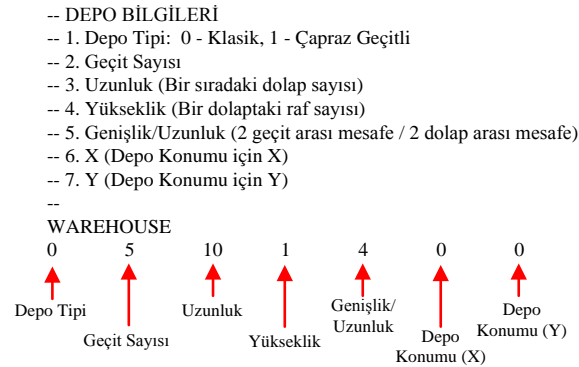


Şekil 6. Klasik depo yerleşimi



Şekil 7. Çapraz geçitli depo yerleşimi

Şekil 5'te gösterilen klasik depo yerleşiminde, birbirine paralel geçitler ve bu geçitler arası geçişi sağlayan ön ve arka çapraz geçitler bulunmaktadır. Bu depo yerleşiminde giriş-çıkış noktası deponun sol alt köşesinde yer almaktadır. Çalışma kapsamında kullanılan diğer depo yerleşimi olan çapraz geçitli depo yerleşiminde ise klasik yerleşimde bulunan ön ve arka çapraz geçitlerin yanı sıra alternatif geçişlere olanak sağlayan bir adet orta çapraz geçit yer almaktadır. Ayrıca, bu deponun giriş çıkış noktası diğer yerleşime göre farkı bir yerde bulunmaktadır. Depoda bulunan raf ve geçitlere ilişkin ölçüler ile depo türü gibi bilgiler sipariş listeleri vasıtasıyla programa tanıtılmaktadır. Depo ölçüleri yukarıdaki şekillerde her iki depo gösterimi içinde aynı alınmış olmasına rağmen, istenildiği takdirde hazırlanan programa sipariş listeleri aracılığıyla farklı yerleşim özellikleri tanımlanabilmektedir. Depoya ait özelliklerin tanımlandığı kısım Şekil 7'de görülmektedir. Depo tipi, geçit sayısı, uzunluk, yükseklik, genişlik/uzunluk (iki geçit arası mesafe), deponun X ve Y koordinatlarına ilişkin bilgiler sipariş listeleri aracılığıyla programa tanıtılabilmektedir.



Şekil 8. Depo özelliklerinin programa tanıtılması

Depo içerisinde ve dışında kullanılan araçlara ilişkin bilgiler, ürünlerin depo içerisindeki konumları ve ağırlıkları, müşteri koordinatları ve müşteri siparişlerinin içeriği de yine sipariş listesi aracılığıyla programa tanıtılmaktadır. Çalışma kapsamında ele alınan problemlerin çözümü için yapılan varsayımlar şu şekildedir:

1. Sistem içerisinde tek bir merkezi depo vardır ve müşterilerin talebi bilinmektedir (deterministiktir).
2. Bir müşteriye ait sipariş birden fazla dağıtım aracına bölünemez.
3. Araçların belirli bir kapasiteleri vardır ve homojendir.
4. Bir siparişe ait parçaların depo içerisinde birden fazla gruba bölünemez.
5. Giriş noktası klasik depo yerleşimi için sol alt köşede, çapraz geçitli depo yerleşimi için sol tarafta orta bölümde yer almaktadır.
6. Sipariş toplayıcı geçit içerisindeki bir noktaya geldiğinde hem sağ hem de sol taraftan önemli siparişleri toplayabilmektedir.
7. Sipariş toplayıcılar geçit içerisinde her iki yönde de hareket edebilmektedirler.
8. Araçlar toplama ve dağıtım işlemi tamamlandıktan sonra başlangıç noktasına dönmektedir.

4.4. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

4.4.1. Klasik Depo Yerleşimi İçin Sonuçların Karşılaştırılması

Her bir problem için önerilen iki yöntem (GAS, GARB) kullanılarak deneyler 10 defa tekrarlanmıştır. Klasik ve çapraz geçitli depo yerleşimi için elde edilen uygunluk değerleri ve çözüm süreleri minimum ve maksimum ([min, max]) değerler şeklinde sırasıyla Tablo 7 ve Tablo 8'de gösterilmektedir.

Tablo 7. Klasik Depo Yerleşimi İçin Sonuçlar

Deney Seti	GAS			
	F _{vrp} ¹	T _{vrp} ²	F _{op} ³	T _{op} ⁴
Set 1	[520,80, 530,80]	[4,92, 24,24]	[498 - 506]	[2,69, 6,28]
Set 2	[754,83, 771,07]	[8,74, 29,88]	[746, 776]	[2,82, 3,37]
Set 3	[976,24, 993,09]	[29,34, 43,89]	[960-992]	[20,11, 13,79]
Set 4	[852,96, 903,23]	[18,26, 27,19]	[1056, 1104]	[0,45, 0,61]
Set 5	[987,53, 1043,78]	[17,37, 20,85]	[1008, 1048]	[7,79, 10,07]
Set 6	[1367,96, 1395,48]	[96,12, 147,97]	[1194, 1246]	[1,28, 1,66]
Set 7	[936,94, 1004,87]	[53,8, 91,46]	[912, 930]	[12,61, 15,22]
Set 8	[874,29, 943,95]	[532,35, 600,88]	[1408, 1482]	[29,62, 47,009]
Deney Seti	GARB			
	F _{vrp}	T _{vrp}	F _{op}	T _{op}
Set 1	[520,80, 523,84]	[2,11, 5,48]	[498, 500]	[2,00, 2,88]
Set 2	[732,98, 769,23]	[6,27, 9,31]	[756, 780]	[2,61, 3,79]
Set 3	[971,38, 991,57]	[14,13, 46,88]	[936, 970]	[10,49, 15,74]
Set 4	[845,71, 914,63]	[11,81, 32,40]	[1036, 1048]	[0,41, 0,65]
Set 5	[982,68, 1021,64]	[15,65, 25,11]	[970, 1018]	[5,77, 14,90]
Set 6	[1316,52, 1371,57]	[73,85, 143,18]	[1182, 1218]	[1,31, 1,83]
Set 7	[919,22, 897,23]	[23,33, 77,29]	[906, 944]	[9,07, 16,22]
Set 8	[874,29, 943,95]	[492,02, 600,43]	[1398, 1498]	[18,77, 21,13]

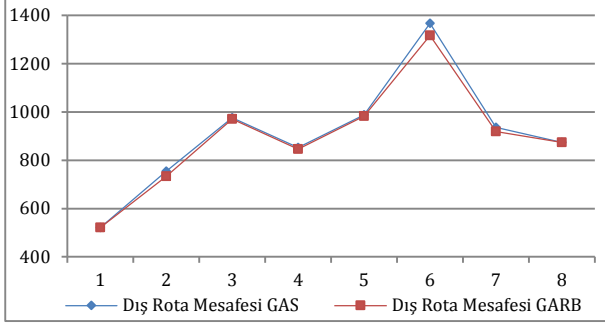
¹F_{vrp}: Dış rota mesafesi

²T_{vrp}: Dış Rota Hesap Süresi

³F_{op}: İç rota mesafesi

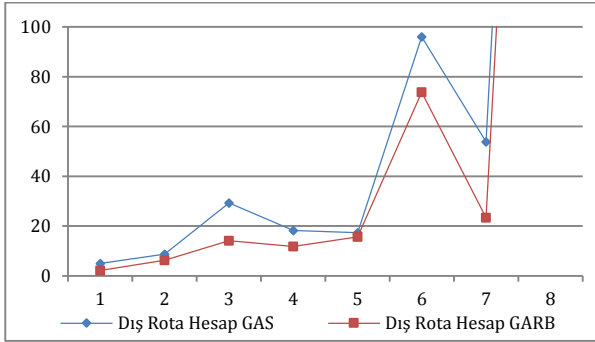
⁴T_{op}: İç rota hesap süresi

Klasik depo yerleşimi için GAS ve GARB yöntemlerinin hesapladığı dış rota mesafesine bakıldığında, GARB yönteminin 8 veri setinden 6'sı için daha iyi sonuç ürettiği görülmektedir. Dış rota mesafesi için elde edilen en iyi sonuçlara ait grafik Şekil 8'de gösterilmiştir.



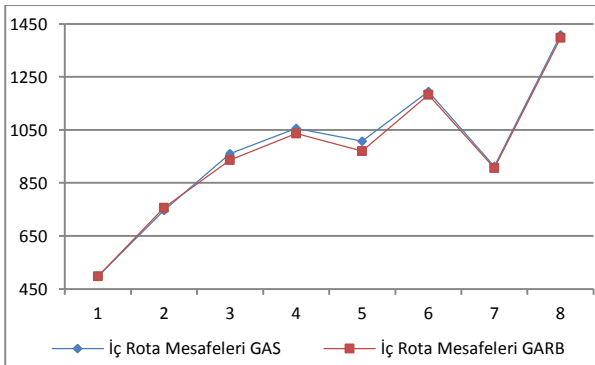
Şekil 9. Klasik Depo Dış Rota Mesafeleri

Tablo 7'de gösterilen çözüm süreleri incelendiğinde, GARB yönteminin GAS yöntemine göre %7,57-57,11 arasında değişen oranlarda daha hızlı çözüm sağladığı görülmektedir. Klasik depo yerleşiminin kullanıldığı sistemde dış rota hesap süreleri Şekil 9'da gösterilmektedir.



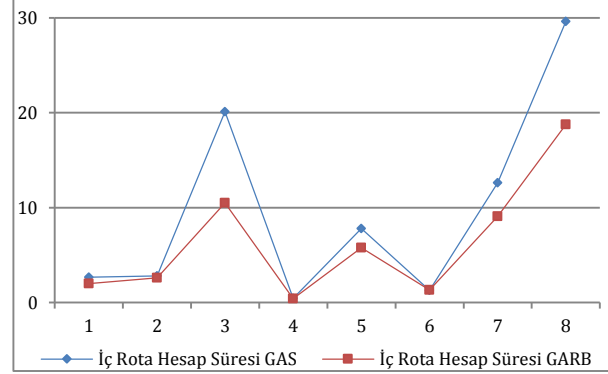
Şekil 10. Klasik Depo Dış Rota Hesap Süresi

Geliştirilen yöntemlerin iç rota mesafesi hesap performansları da dolaşım mesafesine ve hesap süresine göre değerlendirilmiştir. Kullanılan veri setlerinden 1 tanesinde aynı sonuç bulunmuş, 1 veri setinde GAS yöntemi, 6 veri setinde ise GARB yöntemi daha iyi sonuçlar üretmiştir. Her bir veri seti için elde edilen en iyi sonuçlar grafik olarak Şekil 10'da gösterilmektedir.



Şekil 11. Klasik Depo İç Rota Mesafeleri

İç rota hesaplama süresi bakımından 6 numaralı veri seti dışında kalan veri setleri için GARB yöntemi %7,45-47,84 arasında değişen oranlarda daha hızlı hesaplama performansı göstermiştir. En iyi hesaplama sürelerinin yer aldığı grafik Şekil 11'de gösterilmektedir.



Şekil 12. Klasik Depo İç Rota Hesap Süreleri

4.4.2. Çapraz Geçitli Depo Yerleşimi İçin Sonuçların Karşılaştırılması

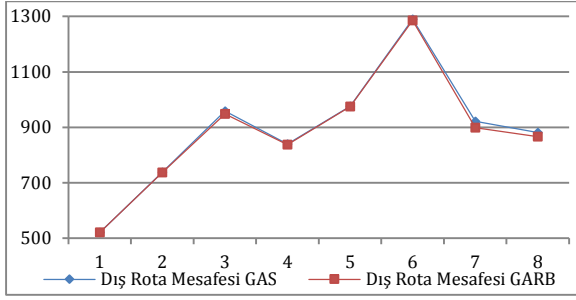
Bir diğer karşılaştırma ise çapraz geçitli depo sisteminin kullanıldığı durum için yapılmıştır. Şekil 6'da gösterilen çapraz geçitli depo sisteminde, klasik depo yerleşiminden farklı olarak paralel geçitleri dik bir şekilde bölen bir adet çapraz geçit kullanılmıştır. Bu depo yerleşimi kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 8'de gösterilmektedir.

Tablo 8. Çapraz Geçitli Depo Yerleşimi İçin Sonuçlar

Deney Seti	GAS			
	F _{vrp}	T _{vrp}	F _{op}	T _{op}
Set 1	[520.80, 541.76]	[3.74, 8.16]	[436, 484]	[0.66, 1.87]
Set 2	[738.41, 757.66]	[8.41, 25.45]	[688, 716]	[1.13, 1.78]
Set 3	[958.30, 973.25]	[26.76, 29.96]	[858, 912]	[3.17, 4.67]
Set 4	[840.45, 947.17]	[13.81, 38.15]	[950, 972]	[1.14, 1.50]
Set 5	[976.57, 1030.68]	[25.85, 32.29]	[928, 946]	[4.70, 7.00]
Set 6	[1290.07, 1391.25]	[218.53, 286.40]	[1112, 1146]	[3.93, 4.45]
Set 7	[922.18, 978.27]	[60.08, 78.13]	[820, 888]	[9.41, 10.97]
Set 8	[881.53, 941.25]	[476.89, 600.34]	[1214, 1288]	[9.68, 13.20]
Deney Seti	GARB			
	F _{vrp}	T _{vrp}	F _{op}	T _{op}
Set 1	[520.80, 549.81]	[2.79, 4.12]	[436, 492]	[0.67, 1.59]
Set 2	[737.08, 773.90]	[5.45, 8.25]	[684, 714]	[1.01, 1.30]
Set 3	[948.60, 977.57]	[22.10, 27.89]	[842, 886]	[3.46, 5.33]
Set 4	[838.01, 930.55]	[32.31, 64.42]	[934, 964]	[1.20, 1.40]
Set 5	[975.32, 1005.47]	[19.49, 45.12]	[892, 954]	[4.22, 6.76]
Set 6	[1286.09, 1326.91]	[102.81, 291.24]	[1112, 1138]	[2.98, 4.58]
Set 7	[898.61, 945.15]	[48.21, 64.78]	[802, 874]	[6.18, 10.52]
Set 8	[866.27, 938.91]	[240.57, 600.87]	[1214, 1272]	[9.46, 19.07]

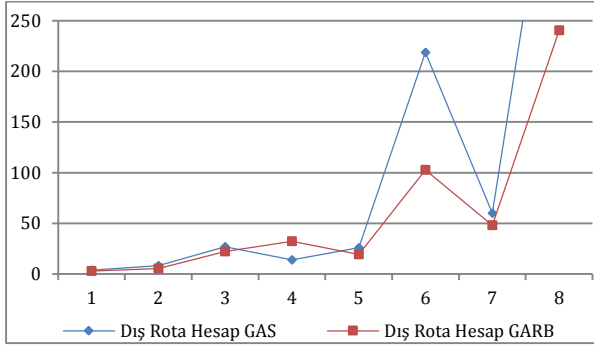
Yöntemlerin dış rota hesap performansları birbirine yakın olmakla birlikte GARB yöntemi GAS yöntemine

göre %0-2,56 arasında değişen oranlarda daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Dış rota için her iki yöntem ile bulunan en iyi uygunluk değerlerinin grafiği Şekil 12'de gösterilmektedir.



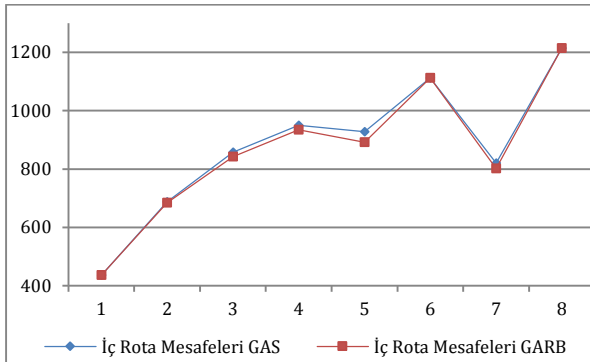
Şekil 13. Çapraz Geçitli Depo Dış Rota Mesafeleri

Çapraz geçitli depo sisteminin kullanıldığı deneylerde dış rota hesap süresi incelendiğinde, 4 numaralı veri seti dışında kalan veri setleri için GARB yönteminin GAS yöntemine göre %17,41-52,95 arasında değişen oranlarda daha iyi hızlı sonuçlar verdiği görülmektedir. En iyi hesap sürelerinin gösterildiği grafik Şekil 13'te gösterilmektedir.

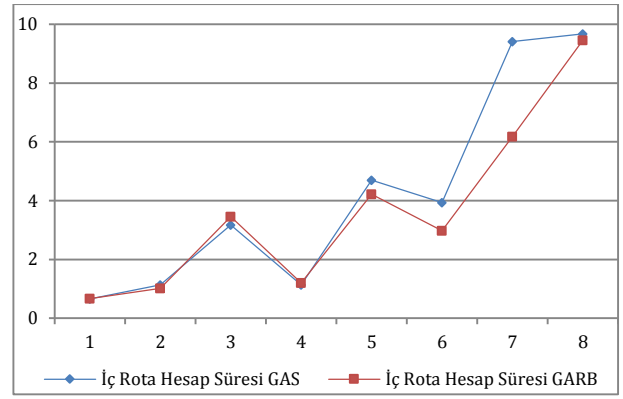


Şekil 14. Çapraz Geçitli Depo Dış Rota Hesap Süresi

Tablo 8'de yer alan sonuçlar incelendiğinde iç rota mesafesi hesabında GARB ve GAS yöntemlerinin yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. GARB bu depo sisteminde de %0-3,87 arasında değişen oranlarda daha iyi sonuç üretmiştir. Hesap süresine dikkate alındığında, 1, 3 ve 4 numaralı veri setleri için GAS yönteminin, diğerleri için ise GARB yönteminin daha hızlı sonuç verdiği görülmektedir. Her iki yöntem için bulunan en iyi iç rota mesafeleri ve hesap süreleri sırasıyla Şekil 14 ve Şekil 15'te gösterilmektedir.



Şekil 15. Çapraz Geçitli Depo İç Rota Mesafeleri



Şekil 16. Çapraz Geçitli Depo İç Rota Hesap Süreleri

5. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada, depo içerisindeki sipariş toplama ve depo dışı araç rotalama problemlerine hem klasik hem de çapraz geçitli depo sistemleri için birbirine bağlı olarak hiyerarşik bir yapıda çözüm aranmıştır. Bu iki problemin çözümü için Genetik Algoritma esaslı yöntemler araç rotalama problemlerinde sıklıkla kullanılan, basit ve hızlı çözümler sağlayan Tasarruf ve En Yakın Komşu sezgiselleri ile bütünleşik olarak kullanılmıştır. Tasarruf ve En Yakın Komşu yöntemleri ile belirlenen rota çözümlerinin kalitesini arttırılabilmek için 2-opt ve Or-opt sezgiselleri kullanılan rotalama sezgiselleri ile bütünleştirilmiştir.

Geliştirilen yöntemlerin kapasite kısıtlı araç rotalama problemine yönelik olarak etkinliğini araştırmak için Augerat vd. (1995), tarafından kullanılan 24 klasik test problemi kullanılmış ve elde edilen sonuçlar daha önce geliştirilen yöntemler ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar önerilen yöntemlerin karşılaştırılan diğer yöntemler kadar etkili sonuçlar üretebildiğini göstermiştir.

Klasik test problemleri ile yapılan değerlendirmenin ardından, yöntemlerin etkinliğinin sipariş toplama ve araç rotalama problemlerinin birlikte çözümüne yönelik olarak değerlendirilmesi için rastgele olarak üretilen 8 test problemi ile 10 tekrarlı deneyler yapılmış ve GAS ve GARB yöntemleri kendi arasında kıyaslanmıştır. Uygunluk değeri bakımından birbirine yakın performans gösteren yöntemlerden GARB yönteminin çözüm süresi bakımından test problemlerinin birçoğunda daha hızlı çözüm sağladığı görülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 3486-D1-13 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Sağladıkları destek için teşekkür ederiz.

Conflict Of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

- Alba, E., & Dorronsoro, B., 2005. The Exploration/Exploitation Tradeoff in Dynamic Cellular Genetic Algorithms. *IEEE, Transactions on Evolutionary Computation*, 9, 26-142.
- Altinel, İ.K., & Öncan, T., 2005. A New Enhancement of the Clarke and Wright Savings Heuristic for the Capacitated Vehicle Routing Problem. *Journal of the Operational Research Society*, 56 (8), 954-961.
- Augerat P., Belenguer J., Benavent E., Corbern A., Naddef D., & Rinaldi G., 1995 Computational results with a branch and cut code for the capacitated vehicle routing problem (Res. Raep. No. 949-M). Grenoble, France: Joseph Fourier Üniversitesi.
- Baker B.M., & Ayeche M.A., 2003. A genetic algorithm for the vehicle routing problem. *Computers & Operations Research* 30, 787-800.
- Bottani, E., Cecconi, M., Vignali, G., & Montanari, R., 2012. Optimisation of storage allocation in order picking operations through a genetic algorithm. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 15 (2), 127-146.
- Clarke, G. & Wright, J.W., 1964. Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, 12, 568-581.
- Coyle, J. J., Bardi, E. J., & Langley, C. J., 1996. *The Management of Business Logistics*. St Paul: West Publishing.
- Croes, G.A., 1958. A method for solving large scale symmetric traveling salesman problems to optimality. *Operations Research*, 6:791-812.
- Çetin, S., & Gencer, C., 2010. Kesin zaman Pencereli - Eş Zamanlı Dağıtım Toplamalı Araç Rotalama Problemi: Matematiksel Model. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25 (3): 579-585.
- Dantzig, G.B., Ramser, J.M. 1959. The truck dispatching problem. *Management Science*, 6, 81-91.
- El Hassani, A.J., Bouhafs, L., Koukam, A., 2008. A Hybrid Ant Colony System Approach for the Capacitated Vehicle Routing Problem and the Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Tonci Caric & Hrvoje Gold (Edt), Vehicle Routing Problem içinde (s. 59-70)*. Viyana, I-Tech Education and Publishing KG.
- Eryavuz, M., Gencer, C., 2001. Araç Rotalama Problemine Ait Bir Uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6 (1), 139-155.
- Gen, M., & Cheng, R., 1997, "Genetic Algorithms and Engineering Design", Amerika Birleşik Devletleri, John Wiley & Sons, Inc.
- Goldberg, D., 1989. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Reading, Boston: MA: Addison-Wesley Professional.
- Henn, S., Koch, S., Doerner, K., Strauss, C., & Wäscher, G., 2010. Metaheuristics for the Order Batching Problem in Manual Order Picking Systems. *BuR-Business Research*, 3 (1), 82-105.
- Hinton, T.G., 2010. *The Vehicle Routing Problem including a range of Novel Techniques for its Solution*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Bristol Üniversitesi, İngiltere.
- Hsu, C.M., Chen, K.Y., & Chen, M.C., 2005. Batching orders in warehouses by minimizing travel distance with genetic algorithms. *Computers in Industry*, 56 (2), 169-178.
- Jaszkiewicz, A., & Kominek, P., 2003. Genetic local search with distance preserving recombination operator for a vehicle routing problem. *Metaheuristics in combinatorial optimization*, 151 (2), 352-364.
- Jaszkiewicz, A., Ishibuchi, H., & Zhang, Q., 2012. Multiobjective Memetic Algorithms. F. Neri, C. Cotta, P. Moscato (Edt.), *Handbook of Memetic Algorithms*, içinde (s. 201-217). Berlin: Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Kulak, O., Şahin, Y., & Taner, M.E., 2012. Joint order batching and picker routing in single and multiple-cross-aisle warehouses using cluster-based tabu search algorithms. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 24 (1), 52-80.
- Lambert, D.M., Stock, J.R. & Ellram, L.M. 1998. *Fundamentals of logistics management*. Londra: McGraw-Hill.
- Laporte G., 1992. The Vehicle Routing Problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, 59, 345 - 358.
- Laporte, G., & Semet, F. 2002. Classical heuristics for the capacitated VRP. Toth, P., Vigo, D. (Edt.), *The Vehicle Routing Problem içinde (s. 109-128)*. Philadelphia: SIAM.
- Mester, D., & Braysy, O., 2007. Active-guided evolution strategies for large-scale capacitated vehicle routing problems. *Computers & operations Research*, 34 (10), 2964-2975.
- Na, B., Jun, Y., & Kim, B.I., 2011. Some extensions to the sweep algorithm. *Int J Adv Manuf Tech*, 56, 1057-67.

- Nazif, H., & Lee. L.S., 2012. Optimised crossover genetic algorithm for capacitated vehicle routing problem. *Applied Mathematical Modelling*, 36, 2110-2117.
- Or, I., 1976. Travelling Salesman-Type Combinatorial Problems and Their Relation to Logistics of Regional Blood Banking. *Yayınlanmamış Doktora Tezi*, Northwestern Üniversitesi, Evanston, III.
- Pichpibula, T., & Kawtummachai R., 2012. An improved Clarke and Wright savings algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *ScienceAsia*, 38, 307-318.
- Roodbergen, K.J., & De Koster, R. 2001. Routing order pickers in a warehouse with a middle aisle. *European Journal of Operational Research*, 133 (1), 32-43.
- Şahin, Y., & Kulak, O. 2013. Depo Operasyonlarının Planlanması İçin Genetik Algoritma Esaslı Modeller. *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 5 (3), 141-153.
- Şahin, Y., 2009. Depo Operasyonlarının Planlanması İçin Genetik Algoritma Esaslı Bir Model. *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Şahin, Y., Eroğlu, A., 2014, "Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi İçin Metasezgisel Yöntemler: Bilimsel Yazın Taraması", *Süleyman Demirel Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, 19 (4), 337-355.
- Toth, P., Vigo, D. 2002. An overview of vehicle routing problems. Toth, P., & Vigo, D. (Edt.), *The Vehicle Routing Problem içinde* (s. 1-26). Philadelphia: SIAM.
- Tsai, C.-Y., Liou, J.J.H., & Huang, T.-M. 2008. Using a multiple-GA method to solve the batch picking problem: considering travel distance and order due time. *International Journal of Production Research*, 46 (22), 6533-6555
- Wang, C.H. & Lu, J.Z., 2009. A hybrid genetic algorithm that optimizes capacitated vehicle routing problems. *J Expert Syst. Appl.*, 36 (2), 2921-2936.
- Won J., & Olafsson S., 2005. Joint order batching and order picking in warehouse operations. *International Journal Of Production Research*, 43 (7), 1427-1442.
- Zhang, H., & Liu, B., 2009. A New Genetic Algorithm for Order-Picking of Irregular Warehouse. *International Conference on Environmental Science and Information Application Technology*, 1, 121-124.