

KAPASİTE KISITLI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN METASEZGİSEL YÖNTEMLER: BİLİMSEL YAZIN TARAMASI*

METAHEURISTIC METHODS FOR CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM: LITERATURE REVIEW

Yusuf ŞAHİN¹
Prof. Dr. Abdullah EROĞLU²

ÖZET

Araç rotalama problemi popüler bir NP-Zor sınıfı bütünlük optimizasyon problemidir. Problemin gerçek yaşam ile uyumlu hale gelmesi için kapasite ve zaman gibi kısıtlar probleme eklenebilir. Büyük boyutlu gerçek yaşam veri setleri için kesin çözüm yöntemleri kullanılarak bu problemin polinom zamanda çözümü oldukça zordur. Kesin çözüm yöntemleri problemin sadece küçük boyutlu örneklerini çözebilir. Bu özelliği nedeniyle, optimale yakın çözümlerin kabul edilebilir bir hesap süresinde sağlanabilmesi için sezgisel ve metasezgisel yöntemler son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bugüne kadar kapasiteli araç rotalama probleminin çözümü yönelik olarak literatürde çok sayıda çözüm yöntemi önerilmiştir. Bu çalışmada, metasezgisel yöntemler ve bunların kapasiteli araç rotalama problemine uygulanışı hakkında bir literatür araştırması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kapasiteli Araç Rotalama, Sezgisel Yöntemler.

Jel Kodları: M11, R4.

ABSTRACT

The vehicle routing problem is a popular NP-Hard class combinatorial optimization problem. Some constraints as capacity and time can be added to the problem to make it compatible with the real life application. It is very difficult to solve this problem for large real-life data sets in polynomial time using exact solution methods. The exact solution methods can solve only small instances of the problem. Because of this feature, to get near optimal solutions in acceptable CPU times, heuristics and metaheuristics methods are widely used in recent years. A great many of heuristics methods have been proposed in the literature for solving Capacitated Vehicle Routing Problem by this time. In this paper, we have conducted a literature review about metaheuristics and their application to the capacitated vehicle routing problem.

Key Words: Capacitated Vehicle Routing, Heuristic Methods.

Jel Codes: M11, R4.

1. GİRİŞ

İlk defa Dantzig ve Ramser (1959) tarafından tanımlanan Araç Rotalama Problemi (ARP), merkezi bir depoda yerleşmiş bulunan ve aynı veya farklı kapasiteye sahip olan araç filosunun, her biri farklı bir yerleşime ve bilinen talebe sahip olan bir müşteriler kümesine

* Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 3486-D1-13 nolu proje kapsamında desteklenmektedir.

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Doktora Öğrencisi, yusuf.sahin.sdu@sdu.edu.tr

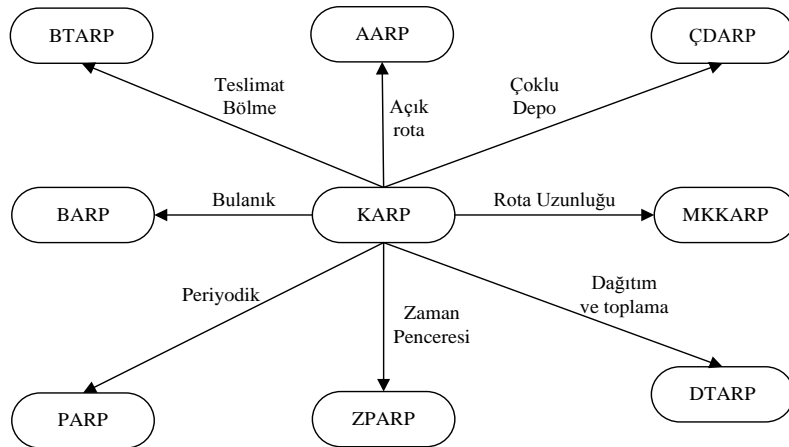
² Süleyman Demirel Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, aroglu@sdu.edu.tr

toplam seyahat mesafesini veya süresini en küçükleyecek şekilde hizmet sunarak depoya geri dönmesi için gerekli rotaların belirlenmesi problemini ifade etmektedir (Çetin ve Gencer, 2010: 579). 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 Tasarruf (savings) adını verdiği bir yöntem 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.

Çözümü için kesin çözüm yöntemi ve birçok genel sezgisel yöntem kullanılan ARP popüler bir bütünlük optimizasyon problemidir. Bir dizi kısıta bağlı olarak, bir depodan coğrafi bakımdan ayrı noktalarda bulunan müşterilere yapılacak gönderiler için en düşük maliyetli rotaların belirlenmesi problemi şeklinde tanımlanan ve gezgin satıcı probleminin genelleştirilmiş hali olan bu problem NP-Zor sınıfında yer alan bir problem türüdür. ARP genellikle araç kapasitesi veya rota mesafesi kısıtlamaları ile tanımlanır. Sadece kapasite ile ilgili kısıtların tanımlanması durumunda problem Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KARP) olarak adlandırılır. Bu problemin çözümü için geliştirilen kesin çözüm yöntemleri ile sezgisel çözüm yöntemlerinin gerekli değişiklikler yapılarak mesafe kısıtını da dikkate aldıkları görülmektedir. (Cordeau vd., 2007: 368).

ARP'nin temel bileşenleri yol ağı, depolar ve araçlardır. ARP'nin farklı türlerini elde etmek için her bir bileşene farklı kısıt ve durumlar ilave edilebileceği gibi her birinin belirli amaçları başarması da sağlanabilir. ARP'nin başlıca türleri: kapasite kısıtlı (KARP), mesafe ve kapasite kısıtlı (MKARP), zaman pencere (ZPARP), geri toplamalı (GTARP), dağıtım ve toplamalı (DTARP) araç rotalama ve bu varyantların birleşiminden oluşan diğer kombinasyonlardır. Son zamanlarda literatürde yoğun olarak çalışılan ARP türlerinin ise; açık (AARP), çoklu depo (ÇDARP), bölünmüş teslimatlı (BTARP), periyodik (PARP), heterojen filolu (HFARP) ve bulanık araç rotalama problemi (BARP) olduğu gözlemlenmiştir (Daneshzand, 2011: 127-128). Araç rotalama probleminin türleri ve birbiri ile ilişkisi Şekil 1.1'de gösterilmiştir.

Şekil 1.1 Araç rotalama problemi türleri ve birbiri ile ilişkisi



Kaynak: (Toth ve Vigo, 2002a: 6)

Dağıtım probleminin çözümüne yönelik yapılan tüm çalışmalar sadece araç rotalama problemi olarak değerlendirilmiştir. Her bir aracın sınırlı kapasitesini dikkate alan araç rotalama (Braysy ve Gendreau, 2005; Mazzeo vd., 2004; Ralphs T.K., 2003), müşteri

siparişlerinin belirli bir zaman dilimi içinde karşılanmasına yönelik araç rotalama (Alveranga vd., 2007; Azi vd., 2007; Calvetea vd., 2007), dağıtımla birlikte eş zamanlı olarak toplama işlemlerinin dikkate alındığı araç rotalama (Ganesh vd., 2007; Mosheiova, 1998; Katoh ve Yano, 2006), talep, seyahat zamanı, müşteri sayısı gibi araç rotalamayı etkileyen parametrelerin dikkate alındığı stokastik araç rotalama (Swihart ve Papastavrou, 1999; Shangyao vd., 2006, Swihart ve Papastavrou, 1999) ve müşteri siparişinin farklı araçlarla karşılandığı araç rotalama (Dror vd.,1994; Frizzelle ve Giffin,1995; Ho ve Haugland, 2004) gibi problem türleri için geliştirilen birçok yöntem literatürde mevcuttur.

2. KAPASİTE KISITLI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

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 bağlantılar kümesidir (Toth ve Vigo, 2002a: 6). I' 'den n' 'ye kadar olan düğümlerin her biri negatif olmayan talep (q_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 köprünün (d_{ij}) ile ifade edilen bir uzunluğu vardır. 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: 345-346). Bu kısıt ve kabuller altında problemin matematiksel modeli aşağıda gösterilmektedir (El Hassani vd., 2008: 59-60).

$$V = \{v_0, v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\} \quad v_0: \text{Depo,}$$

$$q_i: i \text{ düğümünün talep miktarı, } d_{ij}: i \text{ ve } j \text{ düğümleri arasındaki mesafe}$$

$$K = \{k_1, k_2, \dots, k_m\} \text{ araç filosu}$$

$$Q: \text{ Araçların kapasitesi (araç kapasiteleri homojen) } k_i \in K$$

$$d_{ij}: i \text{ ve } j \text{ düğümleri arası mesafe}$$

Karar değişkenleri:

$$X_{i,j}^k \begin{cases} 1, \text{ eğer } k \text{ aracı } i \text{ düğümünden sonra } j \text{ düğümünü ziyaret ederse} \\ 0, \text{ aksi taktirde} \end{cases}$$

$$y_i^k \begin{cases} 1, \text{ eğer } i \text{ düğümüne } k \text{ aracı hizmet verirse} \\ 0, \text{ aksi taktirde} \end{cases}$$

$$\text{Min} \sum_{k \in K} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} d_{ij} x_{i,j}^k \quad (2.1)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N} x_{i,j}^k = 1 \quad \forall i \in V \quad (2.2)$$

$$\sum_{j \in V} x_{i,j}^k + \sum_{j \in V} x_{j,i}^k = 1 \quad \forall i \in V, k \in K \quad (2.3)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^N x_{0,j}^k = K \quad (2.4)$$

$$\sum_{j \in V} x_{0,j}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (2.5)$$

$$\sum_{j \in V} x_{j,n+1}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (2.6)$$

$$x_{i,j}^k = 1 \Rightarrow y_i - q_j = y_j, \quad \forall i, j \in V, \forall k \in K \quad (2.7)$$

$$y_0 = Q, 0 \leq y_i \quad \forall i \in V \quad (2.8)$$

$$\sum_{i=1}^N q_i \sum_{j=0, j \neq i}^N x_{i,j}^k \leq Q \quad k \in \{1, \dots, m\} \quad (2.9)$$

$$x_{i,j}^k \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V, \forall k \in K \quad (2.10)$$

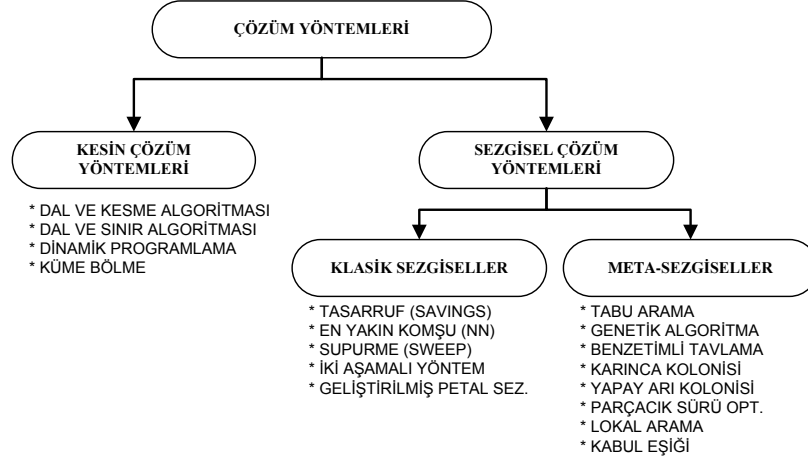
Araç rotalama probleminde, toplama araçlarının dolaşacağı toplam mesafenin minimizasyonu için Denklem (2.1)'de gösterilen amaç fonksiyonu kullanılır. Kısıt (2.2) herbir i - j bağlantısına bir aracın hizmet vermesi, kısıt (2.3) ise geri dönüşlerin engellenmesi ile ilgili kısıttır. Kısıt (2.4) depodan çıkan araç sayısı ile toplam araç sayısının eşit olacağını göstermektedir. Kısıt (2.5) ve (2.6) aracın depodan ve j . düğümünden bir defa çıkacağını ifade eder. Kısıt (2.7) aracın i - j düğümüne atanması halinde i düğümünden j düğümüne geldiğinde kalacak kapasiteyi göstermektedir. Kısıt (2.8)'e göre aracın başlangıç kapasitesi Q olacak, kısıt (2.9)'a göre ise bir araca atanan müşterilerin toplam talebi aracın kapasitesini aşamayacaktır. Kısıt (2.10) ise $x_{i,j}^k$ değişkeni ile ilgili tam sayı kısıtıdır.

3. KARP İÇİN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

KARP'nin çözümü için günümüze kadar birçok yöntem geliştirilmiştir. Optimal çözümü sağlayan yöntemler kesin çözüm yöntemi, optimale yakın sonuçlar veren yöntemler ise sezgisel çözüm yöntemi olarak sınıflandırılır. Literatür incelendiğinde kesin çözüm yöntemi olarak dal ve kesme, dal ve sınır algoritmaları ile dinamik programlama ve küme bölme algoritmalarının sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Nihai çözüm için de kullanılmakla birlikte, genellikle çözüm kurucu olarak tercih edilen tasarruf, en yakın komşu, iki aşamalı yöntem ve petal sezgisel klasik sezgiseller içerisinde yer alır. Bunun yanı sıra, üçüncü ve son grupta ise tabu, genetik, benzetimli tavlama, karınca kolonisi, yapay arı kolonisi, parçacık sürüsü, lokal arama ve kabul eşiği gibi metasezgiseller de yine KARP'nin çözümü için kullanılan diğer yöntemlerdir. Çözüm yöntemleri için yapılan sınıflandırma Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi ile ilgili çeşitli zamanlarda literatür araştırmaları yapılmıştır. Toth ve Vigo (2002b) dal ve sınır, Naddef ve Rinaldi (2002) dal ve kesme ve Bramel ve Simchi-Levi (2002)'de küme kapsama yöntemleri ile ilgili olarak literatür araştırması yapmıştır. Laporte ve Nobert (1987), Cordeau vd. (2007) ve Baldacci vd. (2007, 2010) analitik yöntemlerle ilgili olarak yapılan diğer çalışmalardır. Laporte ve Semet (2002) ve Laporte (2007, 2009) klasik sezgisel yöntemler, Gendreau vd. (2002, 2008), Cordeau vd. (2004, 2005) meta sezgisel yöntemlerle ilgili literatür araştırması yapmıştır.

Şekil 3.1 KARP çözüm yöntemleri



Kaynak: (Düzakın ve Demircioğlu, 2009: 73 – Düzenleme yapılarak alınmıştır)

Sezgisel ve meta sezgiseller ile ilgili olarak yapılan bu literatür araştırmalarının listesi araştırma başlığı ve yayın yılına göre Tablo 3.1'de gösterilmektedir.

Tablo 3.1 KARP İle İlgili Literatür Araştırmaları

YAZARLAR	YAYIN YILI	ARAŞTIRMANIN KONUSU
Laporte ve Nobert	1987	Kesin çözüm yöntemleri
Toth ve Vigo	2002b	Dal ve sınır algoritması
Naddef ve Rinaldi	2002	Dal ve kesme algoritması
Bramel ve Simchi-Levi	2002	Küme kapsama esaslı algoritmalar
Laporte ve Semet	2002	Klasik sezgiseller
Gendreau vd.	2002	Meta sezgiseller
Cordeau vd.	2004	Tabu Arama
Cordeau vd.	2005	Meta-sezgiseller
Cordeau vd.	2007	Kesin ve sezgisel yöntemler
Laporte	2007	Kesin ve sezgisel yöntemler
Baldacci vd.	2007	Kesin çözüm yöntemleri
Gendreau vd.	2008	Meta sezgiseller
Laporte	2009	Kesin ve sezgisel yöntemler
Baldacci vd.	2010	Kesin çözüm yöntemleri

Kaynak: (Subramanian, 2012: 11)

3.1. Sezgisel Yöntemler

Araç rotalama probleminin kesin çözümünün matematiksel olarak belirlenmesi oldukça karmaşık bir iştir. Yüksek zorluk derecesi ve gerçek hayatta sıklıkla karşılaşılan bir problem olması nedeniyle kısıtlı bir zaman diliminde yüksek kalitede çözümlerin ortaya konabilmesi için sezgisel yöntemler ARP'nin çözümünde yoğun olarak kullanılmaktadır. Geçmişten günümüze ARP'nin çözümü için birçok sezgisel yöntem geliştirmiştir. Geliştirilen bu sezgiseller, yoğunlukla 1960 - 1990 yılları arasında geliştirilen klasik sezgiseller ile son yıllarda büyük gelişim gösteren meta sezgiseller olarak sınıflandırılabilir (Laporte ve Semet, 2002: 109). Yakın zamanlarda yapılan çalışmalar incelendiğinde,

çalışmaların büyük bölümünde KARP'nin çözümü için daha çok sezgisel ve meta sezgisel yöntemlerin tercih edildiği görülmektedir. Bu çalışma kapsamında literatürde yer alan metasezgisel yöntemler incelenmiştir.

3.2. Metasezgisel Yöntemler

Metasezgisel yöntemler, kesin çözüm yöntemleri ile makul bir sürede çözülemeyen karmaşık optimizasyon problemlerinin çözümü için genellikle doğadaki olaylardan esinlenerek tasarlanmış algoritmalarıdır. Arama prosesine rehberlik eden stratejiler kullanan metasezgiseller, özellikle büyük boyutlu ve bütünleşik yapıdaki gerçek yaşam problemlerinin çözümünde en pratik yol olarak kabul edilir. Bu yöntemlerin amacı, çözüm uzayını etkili bir şekilde araştırmak ve optimale yakın çözümleri hızlı bir şekilde sağlamaktır. Kolay anlaşılır ve uygulanabilir olması, farklı problem türlerinin çözümünde ufak değişikliklerle kullanılabilir olması gibi sebeplerden dolayı günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Metasezgisel yöntemler, esin kaynağı (doğal veya yapay), kullandığı başlangıç çözümü (popülasyon veya tek çözüm), kullanılan amaç fonksiyonu (dinamik, statik), komşuluk yapısı (tekli, çoklu) ve hafıza durumu (hafızalı, hafızasız) gibi kriterlere sınıflandırmaya tabi tutulabilir (Blum ve Roli, 2003: 270-272).

Son otuz yıllık zaman diliminde literatürde oldukça yoğun ilgi gören yöntemlerden Benzetimli Tavlama (Kirkpatrick vd., 1983), Tabu Arama (Glover, 1986), Yapay Bağışıklık Sistemi (Farmer vd., 1986), Genetik Algoritmalar (Holland, 1975), Karınca Kolonisi (Dorigo vd., 1991), Yapay Arı Kolonisi (Karaboğa, 2005), Parçacık Sürüsü Optimizasyon Algoritması (Kennedy ve Eberhart, 1995) bütünleşik optimizasyon problemlerinin çözümünde en çok kullanılan meta sezgisel yöntemlerdir. Takip eden bölümlerde kapasiteli araç rotalama probleminin çözümünde bu yöntemlerin kullanıldığı çalışmalarla ilgili literatür araştırması sunulmuştur.

3.2.1. Karınca Koloni Algoritması

Dorigo vd. (1991) tarafından geliştirilen karınca kolonisi optimizasyon algoritması, gerçek karınca kolonilerinin davranışlarının matematiksel modelleri üzerine dayanan bir algoritmadır. Dorigo vd. (1991) kendi sistemlerini karınca sistemi, ortaya çıkan algoritmayı ise Karınca Kolonisi Algoritması (KKA) olarak tanımlamışlardır. Karınca kolonilerinin davranışlarının tam olarak modellenmesi yerine yapay karınca kolonilerinin bir optimizasyon aracı olarak değerlendirilmesinden dolayı, önerilen algoritmalar gerçek karınca davranışlarından biraz farklı yapıdadır (Akdağlı vd., 2002: 176). Bu algorithmada, karıncalar yuva ile yiyecek arasındaki en kısa yolu keşfetmek için kendilerine haberleşme imkânı sağlayan feromon maddesinden yararlanırlar. Feromon maddesi karıncalar tarafından yola koku bırakmak için kullanılır. Yiyecek ile yuva arasında kısa olan yollarda bu maddenin bıraktığı koku miktarı daha fazladır. Arkadan gelen karıncalar kokunun yoğun olduğu yolu tercih etme eğilimindedir. Feromon miktarının daha az olduğu yolların da karıncalar tarafından seçilme ihtimali bulunmasına rağmen, koku yoğunluğunun fazla olduğu yolun seçim ihtimali daha yüksektir. Koku yoğunluğunun az olduğu yolların seçimi bütün karıncaların aynı yolu kullanmasını engelleyerek yeni ve öncekilere göre daha kısa yolların keşfedilmesine olanak sağlamaktadır.

Gezgin satıcı (Dorigo vd., 1992; Gambardella ve Dorigo, 1995; Gambardella ve Dorigo, 1996, Stützle ve Dorigo, 1999a), karesel atama (Coloni vd., 1994; Gambardella vd., 1999; Stützle ve Hoss, 1998, 2000; Stützle ve Dorigo, 1999b; Maniezzo ve Coloni, 1999, Maniezzo, 1998), ve çizelgeleme (Coloni vd., 1994; Den Besten vd., 1999) gibi bütünleşik optimizasyon problemlerine başarılı bir şekilde uygulanan Karınca Koloni Algoritması KARP'nin çözümü için de kullanılmaktadır.

Son yıllarda KARP'nin çözümü için önerilen Karınca Kolonisi Algoritmaları esaslı yöntemlere baktığımızda, farkı müşteri ve dağıtım aracı sayısı ile kapasite miktarının tanımlandığı problemlerin rota oluşturma ve geliştirme sezgiselleri ile kullanılan karınca kolonisi algoritmaları ile çözüldüğü görülmektedir (Bell ve McMullen, 2004; Reimann vd., 2004; Mazzeo ve Loiseau, 2004). Doerner vd. (2004), Reimann vd. (2004) tarafından geliştirilen D-Ant algoritmasının paralel bir uygulamasını yapmıştır. Aramayı hızlandırmak için karıncaların bütün problem değil alt problemleri çözmesine izin verilmiştir. Bin vd. (2009), KARP'nin çözümü için artan feromon miktarını güncellemede kullanılan karınca-ağırlık stratejisinin karınca kolonisi algoritmasına eklenmesiyle gelişmiş bir karınca kolonisi algoritması önermişlerdir. Fuellerer vd. (2009), iki boyutlu yükleme ve araç rotalama problemlerinin birlikte çözümünde karınca kolonisi algoritmasını kullanmıştır. Tan vd. (2012), KARP için buharlaşma oranlarının yapay karıncalar tarafından bulunan çözümlere bağlı olarak açıklanması için standart karınca algoritmasının feromon buharlaşma prosedürünü kullanmıştır. Bu çalışmada, karınca kolonisi algoritmasının ikili yer değiştirme (swap) ve 3-opt sezgiselleri ile birlikte kullanıldığında iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Xiao ve Jiang-qing (2012), karınca kolonisi algoritmasının hesaplama süresi ve yerel optimumda kalma durumlarının aşılması için en yakın komşu algoritmasının eklendiği melez bir karınca kolonisi algoritmasını KARP'nin çözümü için önermiştir. Benslimane ve Benadada (2013), heterojen filolu ve çok depolu bir sistemde araç rotalarının belirlenmesi için KKA esaslı bir çözüm yöntemi geliştirmiştir.

3.2.2. Genetik Algoritmalar

Genetik algoritmalar diğer klasik arama tekniklerinden farklı olarak, popülasyon olarak adlandırılan başlangıç rastsal çözümler kümesi ile çözüme başlarlar. Tek bir nokta yerine, genetik algoritmalar bir popülasyon olarak noktalar kümesini muhafaza eder. Mevcut problem için bir çözümü temsil eden topluluktaki her bir birey *kromozom* olarak adlandırılır. Kromozomlar bir dizi kısımlardan oluşur ve her bir kısım *gen* olarak ifade edilmektedir. Kromozomlar başarılı *iterasyonlar* vasıtası ile evrim geçirirler ve yeni nesiller oluştururlar. Her bir nesil ya da iterasyon için, topluluktaki her bir kromozom *uygunluk fonksiyonu* (fitness function) ile değerlendirilir. *Çocuk* (offspring) olarak adlandırılan yeni kromozomlar hem *çaprazlama* (crossover) operatörü kullanılarak mevcut nesildeki iki kromozomun eşleştirilmesi, hem de *mutasyon* (mutation) kullanılarak bir kromozomun modifikasyonu ile ortaya çıkarılırlar. *Aile* (parent) kromozomlarının ve oluşturulan çocukların bir kısmı uygunluk değerlerine göre seçilir. Geri kalanlar topluluk hacminin sabit tutulması için elenir. Bu uygulama sonucunda yeni bir nesil oluşturulur. Belli bir iterasyon sonucunda ilgili probleme en iyi çözüm üreten kromozom ortaya çıkmaktadır (Gen ve Cheng, 1997; Kulak vd, 2005: 123; Şahin ve Kulak, 2013: 145)

Genetik algoritma çeşitli araç rotalama problemlerinin çözümünde sık kullanılan bir yöntemdir. Baker ve Ayechev (2003), tek bir depodan müşterilerin siparişlerinin karşılandığı temel araç rotalama probleminin çözümü için komşu arama algoritmasının da kullanıldığı melez bir genetik algoritma kullanmışlardır. Jaszkiwicz ve Kominek (2003), kaliteli çözümler üretmek için çözüm özelliklerinin belirlenmesinde küresel konvekslik testlerinin kullanıldığı bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Alba ve Dorronsoro (2006), literatürde bulunan en iyi sonuçların geliştirilmesi için hücresele genetik algoritma esaslı bir yöntem önermiştir. Mester ve Bräysy (2007), kapasite kısıtlı araç rotalama problemi için yönlendirilmiş yerel arama (guided local search) ve genetik algoritmadan oluşan iki aşamalı iteratif bir yöntem geliştirmiştir. Wang ve Lu (2009), başlangıç çözümün süpürme (sweep) ve en yakın ekleme yöntemlerinin kombinasyonunda oluşan yöntem ile birleştirilmiş 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), KARP'nin çözümüne yönelik olarak için tam yönsüz ikili grafik kullanılarak oluşturulan optimize edilmiş bir çaprazlama operatörünün kullanıldığı genetik algoritma esaslı bir yöntem geliştirmiştir.

3.2.3. Yerel Arama

NP-zor sınıftaki problemlerin çözümünde kullanılan meta-sezgisel yöntemlerden bir tanesi de yerel aramadır. Yerel arama, aday çözümler arasında bölgesel değişiklikleri kullanarak bir çözümden diğer bir çözüme giderek belirli bir süre içerisinde optimum çözümü bulmaya çalışır. Yapay zekâ uygulamaları, yönelem araştırması, mühendislik ve bio-enformatik alanlarında yaygın olarak kullanılan yerel arama sezgiseli ARP'nin çözümünde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

Baker ve Carreto (2003), araç rotalama problemi için aç gözlü rastgele uyarlamalı arama prosedürü geliştirmiştir. Kytöjoki vd. (2007), KARP'nin çözümü için rota geliştirme sezgiselleri ile birlikte kullanılan değişken komşuluk arama sezgiseli önermiştir. Tutuncu vd. (2009), toplama işlemi sırasında geri iadelerin de olduğu bir dağıtım ağında araç rotalama problem için aç gözlü rastgele uyarlamalı arama prosedürü geliştirmiştir. Chen vd., (2010), yerel minimum takılmamak için çapraz değişim operatörü ile birlikte kullanılan iteratif değişken komşuluk azaltma algoritması geliştirmiştir. Uslu ve Dengiz (2011), parametre optimizasyonunun zorluğunu aşmak için sadece kabul parametresi (acceptance parameter) olarak adlandırılan bir parametrenin kullanıldığı yerel arama algoritmasını klasik araç rotalama probleminin çözümünde kullanmıştır. Geliştirilen yöntemin araç rotalama probleminin farklı türleri için kullanılabilmesi ifade edilmektedir. Kuo ve Wang (2012), başlangıç çözümünün stokastik bir model ile oluşturulduğu, komşulukların belirlenmesinin ardından benzetimli tavlamanı uygulandığı bir yöntem geliştirmiştir. Ke ve Feng (2013), özellikle afet sonrası insanı yar dım çalışmalarında kullanım alanı bulan kümülatif kapasiteli araç rotalama problemi için tek bir çözüm ile başlayan, iki bağımsız parça ile yerel arama operatörleri ile çözümün geliştirildiği bir yöntem geliştirmiştir.

3.2.4. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)

PSO, Kennedy ve Eberhart (1995) tarafından kuş sürülerinin davranışlarından esinlenilerek geliştirilmiş popülasyon tabanlı stokastik optimizasyon tekniğidir (Çevik ve Koçer, 2013: 41). Bu algoritma rastgele olarak üretilmiş belirli sayıda çözümle (parçacıkla) çözüme başlar ve her bir iterasyonda parçacıklar güncellenerek mevcut en iyi çözümler takip edilerek problem uzayında arama yapılır ve uygun çözüm araştırılır. Bu algoritmada kullanılan parçacıklar kuş sürülerinin uçuşlarını yönlendiren hız bilgisine benzer bir bilgiyi kullanırlar. Her iterasyonda, parçacık konumları, iki en iyi parçacığa göre güncellenir. İlki; o ana kadar kullanılan aynı numaralı parçacıklar arasındaki en iyi uygunluk değerine sahip olan parçacıktır. Bu parçacık yerel en iyi (p_{best}) olarak adlandırılır ve hafızada saklanmalıdır. Diğeri ise, popülasyonda o ana kadar tüm parçacıklar arasında elde edilen en iyi uygunluk değerini sağlayan parçacıktır. Bu parçacık global en iyidir ve " g_{best} " ile gösterilir (Çavuşoğlu vd., 2010: 85). Bulunan bu değerler hafızada saklanır.

Araç rotalama problemlerinin çözümünde çok sık olarak kullanılsa da literatürde bu yöntem kullanılarak yapılan çalışmalar mevcuttur. KARP ile ilgili olarak Marinakis ve Marinaki (2010), parçacık sürü optimizasyon algoritması, çok parçalı komşuluk arama - aç gözlü rastgele adaptif arama prosedürü, genişleyen komşuluk arama stratejisi ve rota birleştirme (path-relink) stratejisinin entegre edilmesiyle oluşan hibrid bir algoritma önerilmiştir. Qi (2011), iteratif yerel arama metodu ile birleştirilmiş bir parçacık sürüsü optimizasyon algoritmasını kapasiteli araç rotalama probleminin çözümü için kullanmıştır.

3.2.5. Benzetilmiş Tavlama Algoritması

KARP'nin çözümünde kullanılan bir diğer meta sezgisel de benzetilmiş tavlama algoritmasıdır. İsmi metalürji biliminde alan ve metallerin tavlama işleminden esinlenerek ortaya konan yöntem, genellikle ayrık optimizasyon problemleri için kullanılır. Algoritmanın temel prensibi, iyi çözümü feda ederek yerine kötü çözümü kabul etme olasılığı olan p değerinin dinamik bir şekilde ilerleyen iterasyonlarda azalmasıdır. Bu şekilde bir düzenleme yapıldığında, problem çözümünün ilk kısımlarında çözüm bölgeleri arasında çok fazla sıçrayış olurken iterasyon sayımız artıp elde ettiğimiz çözümler oldukça iyi bir düzeye geldiğinde 0 'a yaklaşır ve böylece arama bölgemiz daralır. Tavlama benzetimi algoritmasının temel prensibi tam olarak budur. Kötü çözümü seçme olasılığı sistemli bir şekilde sıcaklıkla azaltılır. Sıcaklık iterasyona bağlı (genellikle düzgün veya logaritmik azalan) bir ifadedir.

Osman (1993) KARP'nin çözümüne yönelik olarak, hesap süresinin azaltılması için özel bir veri yapısının entegre edildiği tabu arama algoritması ile hibrid benzetimli tavlama algoritması geliştirmiştir. Zeng vd. (2005), benzetimli tavlama ile birlikte kullanılan atama esaslı bir yerel arama algoritması önermiştir. Moghaddam vd., (2007), bir müşteri talebinin birden fazla araca bölünebileceği KARP için karma tamsayılı lineer bir model geliştirmiş ve benzetimli tavlama ile probleme çözüm aramıştır. Leung vd., (2010), dağıtım lojistiğinin iki önemli problemi olan araç yükleme ve rotalama problemlerinin bütünleşik çözümü için iki boyutlu yükleme kısıtlarını dikkate alan benzetimli tavlama esaslı bir çözüm yöntemi geliştirmiştir.

3.2.6. Tabu Arama Algoritması

Tabu arama algoritması, Glover (1989) tarafından geliştirilen ve özellikle gezgin satıcı problemi gibi bütünleşik optimizasyon problemlerinin çözümünde sık kullanılan bir metasezgisel yerel arama algoritmasıdır. Algoritmada, arama prosedürü boyunca potansiyel bir çözümden komşu çözümler arasında bulunan ve daha yüksek uygunluğa sahip çözümlere belirli durdurma kriterleri sağlanıncaya kadar hareket sağlanır. Yerel arama prosedürleri çözüm prosesi sırasında genellikle düşük puanlı veya çözümde ilerleme sağlanamayan alanlara takılırlar. Arama süreci ilerledikçe, bu alanlara takılmamak ve diğer yerel arama prosedürleri tarafından keşfedilmemiş alanları keşfetmek için tabu arama algoritması her çözümün bulunduğu alanı araştırmaya tabi tutar.

Çözüm kalitesi ve süresi bakımından kaliteli sonuçlar verdiği için ARP'nin bütün türleri için en çok kullanılan yöntem tabu arama algoritmasıdır. Taillard (1993), araç rotalama problemini, tek bir problem olarak çözmek yerine alt problemlere ayırarak birbirinden bağımsız problemler halinde çözen Tabu arama esaslı bir çözüm yöntemi önermiştir. Gendreau vd. (1994), kapasite ve mesafe kısıtlı araç rotalama probleminin çözümü için uygunsuz çözümlere izin verilen, çözümde arka arkaya gelen köşe noktaların kaldırılıp başka bir rotaya eklenmesiyle elde edilen komşu çözümlerin dikkate alındığı tabu arama algoritması esaslı *TABUROUTE* isimli bir sezgisel önermişlerdir. Rochat ve Taillard (1995), araç rotalama ve zaman pencereli araç rotalama problemlerinin çözümüne yönelik olarak olasılıklı çeşitlendirme ve yoğunlaştırma yöntemlerini tabu arama algoritması ile birlikte kullanmıştır. Barbarosoğlu ve Özgür (1999), Türkiye'de faaliyet gösteren elektronik ev eşyası dağıtıcı tanımlı bir firmanın çeşitli fabrikalardan geniş bir dağıtım ağına yaptığı sevkiyatlarda karşılaştığı araç rotalama probleminin çözümü için Tabu Arama Algoritma esaslı sezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir.

Tarantilis ve Kiranoudis (2002) ve Tarantilis (2005) KARP'nin çözümü için adaptif hafızanın kullanıldığı (adaptive memory-based) *BoneRoute* ve *Elite Parts Search* (SEPAS)

isimli yöntemleri önermiştir. Bu yöntemlerde, bir adaptif hafıza programlama yöntemi ile bulunan çözümler tabu arama algoritması ile geliştirilmiştir. Wassan (2006), arama süreci boyunca dengeli bir yoğunlaşma ve çeşitlendirme sağlamak için yeni bir kaçış mekanizması kullanan tepkisel tabu arama algoritmasını araç rotalama probleminin çözümü için kullanmıştır. Archetti vd., (2006), müşteri siparişinin bölünebildiği araç rotalama problemi için tabu arama algoritmasının kullanıldığı bir yöntem geliştirmiştir. Derigs ve Kaiser (2007), genel tabu arama algoritmasının bir türü olan özellik esaslı tepe tırmanma (The attribute based hill climber - ABHC) algoritmasını araç rotalama problemine uygulanmıştır. Jin vd., (2012), birçok farklı komşuluk yapısı kullanan paralel tabu arama algoritması önermiştir. Du ve He (2012), büyük çaplı araç rotalama probleminin çözümüne yönelik olarak en yakın komşu ve tabu arama algoritmalarının birleşiminden oluşan iki aşamalı hibrid bir yöntem geliştirmiştir. Tabu arama algoritmasının başlangıç çözümü en yakın komşu ile elde edildikten sonra bulunan bu rotalar tabu arama ile geliştirilmiştir.

Araç rotalama probleminin 2 ve 3 boyutlu yükleme problemleri ile birlikte ele alındığı ve çözümü için tabu arama algoritmasının kullanıldığı çalışmalar da literatürde yer almaktadır. Gendreau vd. (2006) ve Bortfeldt (2012) kapasite kısıtlı araç rotalama ve üç boyutlu yükleme problemlerinin çözümünde tabu aramanın kullanıldığı çalışmalardır. Gendreau vd. (2008) araç rotalama problemini 2 boyutlu yükleme kısıtları ile birlikte ele almıştır. Yükleme problemi sezgiseller, kısaltılmış dal ve sınır prosedürleri ile çözümlenirken rotalama için Tabu Arama algoritması kullanılmıştır. Araç rotalamasının 2 boyutlu yükleme kısıtı ile ele alındığı bir diğer çalışmada ise Zachariadis vd. (2009), tabu arama ve yönlendirilmiş yerel arama yöntemleri mantıksal çerçevede birleştirildiği bir çözüm yöntemi önermiştir.

3.2.7. Kabul Eşiği Algoritması

Rastgele bir başlangıç çözüm ile arama prosedürüne başlayan kabul eşiği algoritması, mevcut en iyi çözümün komşularını araştırdıktan sonra amaç fonksiyonunda iyileşme sağlayan çözümü yeni çözüm olarak kabul eder. Algoritma lokal minimuma takılmamak için yukarı yönlü hareketlere izin verir ve eğer yeni bir çözüm amaç fonksiyonunda yükselme sağlıyorsa kabul eder. Araç rotalama problemlerinde farklı algoritmalara başlangıç çözüm bulmak için kullanılan yöntem, tek başına fazla kullanılmamıştır. Tarantilis ve Kiranoudis (2002), araç rotalama problemi için liste tabanlı kabul eşiği algoritmasını kullanırken, Tarantilis vd. (2005) açık araç rotalama problem için arama prosesinde uygun olmayan bir çözüme rastlandığında kabul değerinin geriye dönüş politikasını kullanan kabul eşiği esaslı bir yöntem geliştirmişlerdir.

3.2.8. Yapay Arı Kolonisi Algoritması

ABC algoritması (Karaboğa, 2005) gerçek hayatta arıların yiyecek arama gösterdikleri davranışlarını modellendiği bir optimizasyon algoritmasıdır. Algoritma görevli ve görevsiz arılar ile yiyecek kaynakları ve geri besleme mekanizmasından oluşur. *Görevli işçi arılar*, nektarın, önceden keşfedilmiş olan belli kaynaklardan kovana getirilmesinden sorumludurlar ve gittikleri kaynağın kalitesi ve yeriyile ilgili bilgileri kovadaki diğer arılarla paylaşırlar. *Görevsiz işçi arılar* ise nektarı toplanabilecek yeni yiyecek kaynaklarını aramaktadırlar. Görevsiz arılar içerisinde kaşif ve gözcü arılar olmak üzere görevi belirsiz iki tür arı vardır. Kaşif arıların sayısının kovadaki diğer arılara oranı %5-10 arasındadır. Yiyecek kaynağının yeri ve kalitesi hakkındaki bilgi paylaşımı kovadaki dans alanında olmaktadır. Dans eden arıya diğer arılar antenleri aracılığıyla dokunarak kaynağın tadı ve kokusu hakkında da bilgi alırlar (Karaboğa, 2011, s.201-202). Bu algoritma kullanılarak KARP için yapılan tek çalışma Szeto vd. (2011) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada standart ABC ve geliştirilmiş ABC olmak üzere iki yöntem önerilmiş ve geliştirilmiş ABC yönteminin daha iyi sonuçlar sağladığı belirlenmiştir. KARP'nin

çözümünde metasezgisel yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar Tablo 3.2'de sınıflandırılmıştır.

Tablo 3.2 Kullanılan yöntemlere göre sınıflandırılan çalışmalar³

Sıra	Yazar	Yıl	KK	GA	YA	PSO	BT	TA	KE	YAK
1	Osman	1993					√			
2	Taillard	1993						√		
3	Gendreau vd.	1994						√		
4	Rochat ve Taillard	1995						√		
5	Barbarosoğlu ve Özgür	1999						√		
6	Tarantilis ve Kiranoudis	2002						√		
7	Tarantilis ve Kiranoudis	2002							√	
8	Baker ve Ayechev	2003		√						
9	Jaszkiewicz ve Kominek	2003		√						
10	Baker ve Carreto	2003			√					
11	Reimann vd.	2004	√							
12	Doerner vd.	2004	√							
13	Brandão	2004						√		
14	Tarantilis vd.	2004							√	
15	Zeng vd.	2005					√			
16	Tarantilis	2005						√		
17	Alba ve Dorronsoro	2006		√						
18	Wassan	2006						√		
19	Gendreau vd.	2006						√		
20	Archetti vd.	2006						√		
21	Mester ve Bräysy	2007		√						
22	Kytöjoki vd.	2007			√					
23	TMoghaddam vd.	2007					√			
24	Derigs ve Kaiser	2007						√		
25	Bin vd.,	2009	√							
26	Fuellerer vd.	2009	√							
27	Wang ve Lu	2009		√						
28	Tutuncu vd.	2009			√					
29	Zachariadis vd.	2009						√		
30	Chen vd.	2010			√					
31	Marinakis ve Marinaki	2010				√				
32	Leung vd.	2010					√			
33	Uslu ve Dengiz	2011			√					
34	Qi	2011				√				
35	Szeto vd.	2011								√
36	Tan vd.	2012	√							
37	Xiao ve Jiang-qing	2012	√							
38	Jaszkiewicz vd.	2012		√						
39	Nazif ve Lee	2012		√						
40	Kuo ve Wang	2012			√					
41	Bortfeldt	2012						√		
42	Jin vd.	2012						√		
43	Du ve He	2012						√		
44	Ke ve Feng	2013			√					

³ KK=Karınca Kolonisi, GA=Genetik Algoritma, YA=Yerel Arama, PSO=Parçacık Sürü Optimizasyon, BT=Benzetilmiş Tavlama, TA=Tabu Arama, KE=Kabul Eşiği, YAK=Yapay Arı Kolonisi

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, KARP'nin çözümü için geliştirilmiş olan meta sezgisel yöntemler ile ilgili literatür araştırması sunulmuştur. Kesin çözüm yöntemleri ile karşılaştırıldığında oldukça büyük gerçek yaşam problemlerinin çözümünde kullanılabilen bu yöntemler, 90'lı yılların başından itibaren oldukça yüksek bir ivme kazanmış ve ARP başta olmak üzere birçok bütünlük optimizasyon probleminin çözümünde yaygın olarak kullanılır hale gelmiştir. Literatür incelendiğinde bu yöntemlerin gerek tek başlarına, gerekse diğer sezgisel yöntemler ile bütünlük olarak oldukça başarılı sonuçlar ortaya koyduğu görülmektedir. Özellikle rastgele başlangıç çözümleri ile çözüme başlayan yöntemlerin basit ve hızlı çözüm sağlayan sezgiseller yardımıyla başlangıç çözümlerinin sağlanması, kalite ve zaman açısından yöntemlerin etkinliklerini önemli ölçüde arttırmaktadır. Başlangıç çözümlerinin yanı sıra, 2-opt, ve Or-opt gibi rota geliştirici sezgisellerin nihai rota üzerinde iyileştirme yapacak şekilde sezgisel ve meta sezgisel yöntemler ile bütünlük edilmesi yaygın olarak yapılan bir işlemdir. Yakın zamanda geliştirilen meta sezgisel yöntemlerin farklı bütünlük optimizasyon problemlerine çözüm kurucu ve çözüm iyileştirici sezgiseller yardımıyla başarıyla uygulanabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- AKDAĞLI, A., GÜNEY, K., KARABOĞA, D. (2002). "Karınca Koloni Optimizasyon Algoritması Kullanarak Faz Kontrolü ile Doğrusal Anten Dizi Diyagramında Sıfırların Üretilmesi.", Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO'2002), 175-180, Bursa.
- ALABAS USLU, Ç., DENGİZ, B., (2011). "A self-adaptive local search algorithm for the classical vehicle routing problem.", Expert System Application, 38 (7): 8990-8998.
- ALBA, E., DORRONSORO, B., (2005). "The Exploration/Exploitation Tradeoff in Dynamic Cellular Genetic Algorithms.", IEEE, Transactions on Evolutionary Computation, 9, 26-142.
- ALVARENGA, G. B., MATEUS, G. R., DE TOMÍ, G., (2007). "A genetic and set partitioning two-phase approach for the vehicle routing problem with time windows.", Computers and Operations Research, 34: 1561–1584, 2007.
- ARCHETTÍ, C., SAVELSBERGH, M., SPERANZA, M., (2006). "Worst-case analysis for split delivery vehicle routing problems", Transportation Science, 40 (2), 226–234.
- AZÍ, N., GENDREAU, M., POTVÍN, J.Y., (2007). "An exact algorithm for a single-vehicle routing problem with time windows and multiple routes.", European Journal of Operational Research 178 (3): 755–766.
- BAKER B.M., AYECHHEW M.A. (2003). "A genetic algorithm for the vehicle routing problem.", Computers & Operations Research 30: 787–800.
- BAKER, B.M., CARRETO, C.A.C., (2003). "A visual interactive approach to vehicle routing problem", Computers & Operational Research, 30: 321-337.
- BALDACCÍ, R.; TOTH, P.; VÍGO, D., (2007). "Recent advances in vehicle routing exact algorithms". 4OR, 5, (4): 269-298.

- BALDACCÌ, R.; TOTH, P.; VÍGO, D., (2010). "Exact algorithms for routing problems under vehicle capacity constraints.", *Annals of Operations Research* 175 (1): 213-245.
- BARBAROSOGLU, G., OZGUR, D., (1999). " A tabu search algorithm for the vehicle routing problem", *Computers and Operations Research*, 26 (3): 255-270.
- BELL, J.E., MCMULLEN, P.R., (2004). "Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem", *Advanced Engineering Informatics*, 18, 41–48.
- BENSLIMANE, M.T., BENADADA, Y., (2013). "Ant colony algorithm for the multi-depot vehicle routing problem in large quantities by a heterogeneous fleet of vehicles", *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 51 (1): 31-40.
- BIN, Y., ZHONG-ZHENA, Y., BAOZHEN, Y., (2009). " An improved ant colony optimization for vehicle routing problem.", *European Journal of Operational Research*, 196, 171–176.
- BLUM, C., ROLI, A., (2003). "Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison.", *ACM Computing Surveys*, 35 (3): 268–308.
- BORTFELDT, A., (2012). "A hybrid algorithm for the capacitated vehicle routing problem with three-dimensional loading constraints.", *Computers & Operations Research*, 39, 2248-2257.
- BRANDÃO, J., (2004). "A tabu search heuristic algorithm for open vehicle routing problem.", *European Journal of Operational Research*, 157: 552–564.
- BRAYSY, O., GENDREAU, M., (2005). "Vehicle routing problem with time windows, part I: Route construction and local search algorithms", *Transportation Science*, 39 (1): 104 – 118.
- CALVETEA, H.I., GALÉB, C., OLÍVEROSC, M.J., SÁNCHEZ-VALVERDEB, B., (2007). "A goal programming approach to vehicle routing problems with soft time windows.", *European Journal of Operational Research*, 177 (3): 1720–1733.
- CHEN, P., HUANG, H.K., DONG, X.Y., (2010). " Iterated variable neighborhood descent algorithm for the capacitated vehicle routing problem", *Expert Systems with Applications: An International Journal*, 37 (2): 1620-1627.
- CHRISTOFIDES, N., MINGOZZI, A., AND TOTH, P. (1979), "The vehicle routing problem", (Edt) N. Christofides, A. Mingozzi, P. Toth and C. Sandi, *Combinatorial Optimization*, Wiley, Chichester, 315-338.
- CLARKE, G. & WRIGHT, J.W., (1964)."Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points", *Operations Research*, 12, 568-581.
- COLORNI A., DORIGO M., MANIEZZO V., MUZIO L., (1994). Il sistema formiche applicato al problema dell'assegnamento quadratico. Technical Report No. 34-058, Politecnico di Milano, Italy.
- CORDEAU, J.F., GENDREAU, M., HERTZ, A., LAPORTE, G., SORMANY, J.S., (2004). "New heuristics for the vehicle routing problem.", Technical Report G-2004-33, GERAD, Montreal, Canada.
- CORDEAU, J.-F.; LAPORTE, G. (2005). *Metaheuristic Optimization via Memory and Evolution: Tabu Search and Scatter Search*, Kluwer, Boston, 2005, ch. New heuristics for the Vehicle Routing Problem, pp. 145-163.

- ÇAVUŞOĞLU, M.A., KARAKUZU, C., ŞAHİN, S., (2010). "Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması ile Yapay Sinir Ağı Eğitiminin FPGA Üzerinde Donanımsal Gerçeklenmesi", Politeknik Dergisi, 13 (2), 83-92.
- ÇETİN, S., GENCER, C., (2010). "Kesin zaman Pencere - Eş Zamanlı Dağıtım Toplamalı Araç Rotalama Problemi: Matematiksel Model", Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 25 (3): 579-585.
- ÇEVİK, K.K., KOÇER, H.E., (2013). Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Yapay Sinir Ağları Eğitime Dayalı Bir Esnek Hesaplama Uygulaması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 17 (2), 39-45.
- DANESHZAND, F. (2011). "The Vehicle-Routing Problem", (Ed.) R. Z. Farahani, S. Rezapour & Laleh Kardar, Logistics Operations and Management Concepts and Models (pp. 127-145), Elsevier Insights London, U.K.
- DANTZİG, G.B., RAMSER, J.M. (1959). "The truck dispatching problem", Management Science, 6, 81–91.
- DEN BESTEN, M. STÜTZLE, T., DORIGO, M., (1999). "Scheduling single machines by ants.", Technical Report IRIDIA/99-16, Université Libre de Bruxelles, Belgium.
- DERIGS, U., KAISER R., (2007). "Applying the attribute based hill climber heuristic to the vehicle routing problem.", Eur J Oper Res, 177 (2):719-732.
- DOERNER, K. F., HARTL, R. F., KIECHLE, G., LUCKA, M., REIMANN, M., (2004). "Parallel ant systems for the capacitated Vehicle Routing Problem", Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization, 3004, 72-83.
- DORİGO, M., (1992). "Optimization, Learning and Natural Algorithms", (in Italian). Ph.D. thesis, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, Italy.
- DORIGO, M., MANIEZZO, V., COLORNI, A., (1991). "Positive Feedback as a Search Strategy", Technical Report N. 91-016, Politecnico di Milano.
- DROR, M., LAPORTE, G., TRUDEAU, P., (1994). "Vehicle routing with split deliveries", Discrete Applied Mathematics, 50 (3): 2239-254.
- DU, L., HE, R., (2012). "Combining Nearest Neighbor Search with Tabu Search for Large-Scale Vehicle Routing Problem", Physics Procedia, 25, 1536–1546.
- DÜZAKIN, E., DEMİRCİOĞLU, M., (2009). " Araç Rotalama Problemleri ve Çözüm Yöntemleri", Ç.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 13, (1): 68-87.
- EL HASSANİ, 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", (Ed) Tonci Caric & Hrvoje Gold, Vehicle Routing Problem (pp. 59-70). I-Tech Education and Publishing KG, Vienna, Austria.
- FARMER, J.D., PACKARD, N.H., PERELSON, A.S., (1986). "The Immune System, Adaptation, and Machine Learning.", Physica, 22D, 187-204.
- FRIZZELL, P.W., GİFFİN, J.W., (1995). "The Split Delivery Vehicle Scheduling Problem with Time Windows and Grid Network Distance". Computers and Operations Research, 22, 655-667.

- FUELLERER, G., DOERNER, K.F., HARTL, R.F., (2009). "Ant colony optimization for the two-dimensional loading vehicle routing problem", *Computers and Operations Research*, 36 (3): 655-673.
- GAMBARDELLA L.M, DORÍGO M., (1995). "Ant-Q: A Reinforcement Learning Approach to the Traveling Salesman Problem", *Twelfth International Conference on Machine Learning*, (Ed) A. Prieditis and S. Russell, Morgan Kaufmann, 252-260.
- GAMBARDELLA L.M, DORÍGO M., (1996). "Solving Symmetric and Asymmetric TSPs by Ant Colonies.", *ICEC96, Proceedings of the IEEE Conference on Evolutionary Computation*, Nagoya, Japan, May 20-22.
- GAMBARDELLA, M., T AILLARD, E. D., DORÍGO, M., (1999). "Ant Colonies for the QAP. *Journal of the Operational Research Society (JORS)*, 50, 167-176.
- GANESH, K., NARENDRAN, T.T., (2007). " CLOVES: A cluster-and-search heuristic to solve the vehicle routing problem with delivery and pick-up", *European Journal of Operational Research*, 178 (3): 699–717.
- GEN, M., CHENG, R., (1997), "Genetic Algorithms and Engineering Design", John Wiley & Sons, Inc., USA.
- GENDERAU, M., GUERTIN, F., POTVIN, J.Y., SEGUIN, R., (2006). "Neighborhood Search heuristics for a dynamic vehicle dispatching problem with pick-ups and deliveries.", *Transport Research Part C*, 14, 157-174.
- GENDREAU, M., HERTZ, A., LAPORTE, G., (1994). "A Tabu Search Heuristics for the Vehicle Routing Problem", *Management Science*, 1276–11290.
- GENDREAU, M.; LAPORTE, G.; SEMET, J.-Y. (2002). "The Vehicle Routing Problem", (Ed) Toth, P., Vigo, D., *The Vehicle Routing Problem. SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications*. SIAM, Philadelphia, pp. 1–26.
- GENDREAU, M.; POTVIN, J.-Y.; BRÄYSY, O.; HASLE, G.; LØKKETANGEN, A. "The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges", Springer, 2008, ch. Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem and Its Extensions: A Categorized Bibliography, pp. 143-169.
- GILLETT, B., AND MILLER, L. (1974), "A heuristic algorithm for the vehicle dispatch problem", *Operations Research*, 22, 340-349.
- GLOVER F., MCMILLAN, C., (1986). "The General Employee Scheduling Problem: An Integration of Management Science and Artificial Intelligence", *Computers and Operations Research* 13 (5): 563-593.
- GLOVER, F., LAGUNA, M., (1989), "Tabu Search-Part I", *ORSA Journal on Computing*, 1 (3): 190-206.
- HAIMOVICH, M., RINNOOY KAN A. H. G., (1985). "Bounds and Heuristics for Capacitated Routing Problems", *Mathematics of Operations Research*, 10 (4): 527-542.
- HO, S.C., HAUGLAND, D., (2004). "A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with time windows and split deliveries", *Computers & Operations Research*, 31, 1947- 1964.

- HOLLAND, J.H., (1975). "Adaptation in Natural and Artificial Systems", University of Michigan Press, Ann Arbor, MI.
- JASZKIEWICZ, A., ISHIBUCHI, H., ZHANG, Q., (2012). "Multiobjective Memetic Algorithms", (Ed) F. Neri, C. Cotta, P. Moscato, Handbook of Memetic Algorithms, s. 201-217.
- JASZKIEWICZ, A., KOMINEK, P., (2003). "Genetic local search with distance preserving recombination operator for a vehicle routing problem", Meta-heuristics in combinatorial optimization, 151 (2): 352-364.
- JİN, J., CRAÏNIC, T.G., LØKKETANGEN, A., (2012). "A parallel multi-neighborhood cooperative tabu search for capacitated vehicle routing problems", European Journal of Operational Research, 222, 441–451.
- KARABOĞA, D., (2005). "An Idea Based on Honey Bee Swarm For Numerical Optimization", TR-06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Faculty.
- KARABOĞA, D., (2011). Yapay Zekâ Optimizasyon Algoritmaları, Genişletilmiş 2. Basım, Nobel Yayın Dağıtım, İSTANBUL.
- KATOH, N., YANO, T., (2006). " An approximation algorithm for the pickup and delivery vehicle routing problem on trees.", Discrete Applied Mathematics, 154 (16), 2335–2349.
- KE, L., FENG, Z., (2013). "A two-phase metaheuristic for the cumulative capacitated vehicle routing problem", Computers & Operations Research, 40, 633–638.
- KENNEDY, J., EBERHART, C., (1995). "Particle Swarm Optimization", Proc. of IEEE International Conference on Neural Network, Piscataway, NJ. s. 1942-1948
- KIRKPATRICK, S., GELATT C.D. JR., VECCHI, M.P., (1983). "Optimization by simulated annealing", Science, 220, (4598): 671–680.
- KULAK, O., YILMAZ, İ.O., GÜNTHER, H.O., (2005). "Genetik Algoritma Esaslı PCB Montajı Optimizasyonu", V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İstanbul Ticaret Üniversitesi, 25-27 Kasım 2005.
- KUO, Y., WANG, C.C., (2012). "A variable neighborhood search for the multidepot vehicle routing problem with loading cost", Expert Systems with Applications, 39, 6949-6954.
- KYTÖJOKI, J., NUORTIO, T., BRÄYSY, O., GENDREAU, M., (2007). "An efficient variable neighborhood search heuristic for very large scale vehicle routing problems", Operations Research and Computers, 34, 2743–2757.
- LAPORTE G., (1992). "The Vehicle Routing Problem: An overview of exact and approximate algorithms". European Journal of Operational Research, 59, 345 – 358.
- LAPORTE, G., (2007). "What you should know about the vehicle routing problem". Naval Research Logistics 54 (8): 811-819.
- LAPORTE, G., (2009). Fifty years of vehicle routing. Transportation Science 43 (4): 408-416.

- LAPORTE, G., NOBERT, Y., (1987). "Exact algorithms for the vehicle routing problem", *Annals of Discrete Mathematics*, 31, 147-184.
- LAPORTE, G., SEMET, F. (2002). "Classical heuristics for the capacitated VRP", (Ed) Toth, P., Vigo, D., *The Vehicle Routing Problem. SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications*. SIAM, Philadelphia, pp. 109–128.
- LEUNG, S.C. H., ZHENG, J., ZHANG, D., ZHOU, X., (2010). "Simulated annealing for the vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints", *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 22 (1), 61-82.
- MANIEZZO, V., (1998). "Exact and Approximate Nondeterministic Tree-Search Procedures for the Quadratic Assignment Problem", Technical report, CSR 98-1. C. L. in Scienze dell'Informazione, Università di Bologna, Italy.
- MANIEZZO, V., COLORNI, A., (1999), "The Ant System Applied to the Quadratic Assignment Problem. *IEEE Trans. Knowledge and Data Engineering*, 11 (5): 769 - 778.
- MARINAKIS, Y., MARINAKI, M., (2010). "A Hybrid Genetic-Particle Swarm Optimization Algorithm for the Vehicle Routing Problem", *Expert Systems with Application*, 37, 1446-1455.
- MAZZEO, S., LOISEAU, I., (2004). "An Ant Colony Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing", *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 18, 181—186.
- MESTER, D., BRAYSY, O., (2007). "Active-guided evolution strategies for large-scale capacitated vehicle routing problems", *Computers & operations Research*, 34 (10): 2964-2975.
- MOGHADDAM, R. T., SAFAEİ, N., KAH, M. M. O., RABBANİ, M., (2007). "A new capacitated vehicle routing problem with split service for minimizing fleet cost by simulated annealing", *Journal of the Franklin Institute*, 344, (5): 406-425.
- MOSHEİOVA, G., (1998). "Vehicle routing with pick-up and delivery: tour-partitioning heuristics", *Computers & Industrial Engineering*, 34 (3): 669–684.
- NADDEF, D., RİNALDİ, G., (2002). "The Vehicle Routing Problem", *Monographs on Discrete Mathematics and Applications*. (Ed) Toth, P., Vigo, D., *The Vehicle Routing Problem. SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications*. SIAM, Philadelphia., pp. 53-84.
- NAZİF, H., LEE. L.S., (2012). "Optimized crossover genetic algorithm for capacitated vehicle routing problem", *Applied Mathematical Modeling*, 36, 2110–2117.
- OSMAN, I.H., (1993). "Metastrategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem", *Annals of Operations Research* 41, 421–451.
- QI, C., (2011). "Application of Improved Discrete Particle Swarm Optimization in Logistics Distribution Routing Problem", *Procedia Engineering*, 15, 3673-3677.
- RALPHS, T. K. (2003). "Parallel branch and cut for capacitated vehicle routing", *Parallel Computing*, 29, 607–629.
- REIMANN, M., DOERNER, K., AND HARTL, R.F. (2004). "D-Ants: Savings based ants divide and conquer the vehicle routing problem", *Computers & Operations Research*, 31, 563 – 591.

- ROCHAT Y., TAILLARD E., (1995). "Probabilistic Diversification and Intensification in Local Search for Vehicle Routing.", *Journal of Heuristics* 1, 147-167.
- SHANGYAO, Y., CHĪ, C.J., TANG, C.H. (2006), "Inter-city Bus Routing and Timetable Setting under Stochastic Demands," *Transportation Research*, 40A, 572-586.
- STÜTZLE, T., DORİGO, M., (1999a). "ACO Algorithms for the Traveling Salesman Problem.", (Ed) K. Miettinen, M.M. Makela, P. Neittaanmaki, & J. Periaux, *Evolutionary Algorithms in Engineering and Computer Science: Recent Advances in Genetic Algorithms, Evolution Strategies, Evolutionary Programming, Genetic Programming and Industrial Applications*. John Wiley & Sons.
- STUTZLE, T., DORİGO, M., (1999b). "ACO Algorithms for the Quadratic Assignment Problem.", (Ed) D. Corne, M. Dorigo, & F. Glover, *New Ideas in Optimization*. McGraw-Hill.
- STUTZLE, T., HOOS, H., (1998), "MAX –MIN Ant System and Local Search for Combinatorial Optimization Problems" Pages 313–329 of: S.Voß, S. Martello, I.H. Osman, & C. Roucairol, *Meta-Heuristics: Advances and Trends in Local Search Paradigms for Optimization*. Kluwer Academics, Boston.
- STUTZLE, T., HOOS, H., (2000), "MAX-MIN ant system", *Future Generation Computer Systems*, 16(8), 889-914.
- SWĪHART, M. R., PAPASTAVROU, J. D., (1999). "A stochastic and dynamic model for the single-vehicle pick-up and delivery problem", *European Journal of Operational Research*, 114: 447–464.
- SZETO, W., WU, Y., HO, S.C., (2011). "An artificial bee colony algorithm for the capacitated vehicle routing problem", *European Journal of Operational Research*, 215, 126–135.
- ŞAHİN, Y., KULAK, O., (2013). "Depo Operasyonlarının Planlanması İçin Genetik Algoritma Esaslı Modeller.", *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 5,3, 141-153.
- TAILLARD, É. D., (1993). "Parallel Iterative Search Methods for Vehicle Routing Problems", *Networks*, 23, 661-676.
- TAN, W.F., LEE, L.S., MAJİD, Z.A., SEOW, H.V., (2012). "Ant colony optimization for capacitated vehicle routing problem", *J. Comput. Sci.*, 8: 846-852.
- TARANTILIS, C.D., KIRANOUDIS, C.T., (2002). "Using a spatial decision support system for solving the vehicle routing problem", *Information & Management*, 39, 359–375.
- TARANTILIS C.D., IOANNOU, G., KIRANOUDIS, C.T., PRASDACOS, G.P., (2005). "Solving the open vehicle routing problem via single parameter meta-heuristic algorithm", *Journal of the Operational Research Society*: 1–9.
- TARANTILIS, C.D., (2005). "Solving the Vehicle Routing Problem with Adaptive Memory Programming Methodology." *Computers & Operations Research*, 32 (9): 2309–2327.
- TOTH, P., VIGO, D. (1998), "Exact algorithms for vehicle routing", (Ed) Crainic, T., Laporte, G., *Fleet Management and Logistics*. Kluwer Academic, Boston, pp. 1–31.

- TOTH, P., VIGO, D. (2002a), “An overview of vehicle routing problems”, (Ed) Toth, P., Vigo, D., *The Vehicle Routing Problem. SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications*. SIAM, Philadelphia, pp. 1–26.
- TOTH, P., VIGO, D. (2002b), “Branch-and-bound algorithms for the capacitated VRP” (Ed) Toth, P., Vigo, D., *The Vehicle Routing Problem. SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications*. SIAM, Philadelphia, pp. 29–51.
- TUTUNCU, G.Y., CARRETO, A.C., BAKER, M.B., (2009). “A Visual Interactive Approach to the Classical and Mixed Vehicle Routing Problems with Backhauls”, *Omega-International Journal Of Management Science* , 37 (1): 138-154.
- 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.
- WASSAN, N.A., (2006). “A reactive tabu search for the vehicle routing problem”, *Journal of the Operational Research Society*, 57, 111- 116.
- XIAO, Z.; JIANG-QING, W., (2012). “Hybrid Ant Algorithm and Applications for Vehicle Routing Problem”, *Physics Procedia*, 25, 1892-1899.
- ZACHARİADİS, E.E., TARANTİLİS, C.D., KİRANOUDİS, C.T., (2009), “A guided tabu search for the vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints”, *European Journal of Operational Research*, 195 (3): 729-743.
- ZENG, L., ONG, H.L., NG, K.M., (2005). “An assignment-based local search method for solving vehicle routing problems”, *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 22, 85–104.