



Journal of Management, Marketing and Logistics

Year: 2017 Volume: 4 Issue: 2



INTELLIGENT ROUTING APPROACH FOR THE DISTRIBUTIONS REGARDING TO THE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT OF AGRICULTURAL PRODUCTS AND FOODS

DOI: 10.17261/Pressacademia.2017.461

JMML- V.4-ISS.2-2017(10)-p.168-177

Mehmet Karakoc

AKEV University, Department of Software Engineering, Antalya, Turkey. pamukkaleli@gmail.com

To cite this document

Karakoc, M , (2017). Intelligent routing approach for the distributions regarding to the supply chain management of agricultural products and foods. Journal of Management, Marketing and Logistics (JMML), V.4, Iss.2, p.168-177.

Permament link to this document: <http://doi.org/10.17261/Pressacademia.2017.461>

Copyright: Published by PressAcademia and limited licenced re-use rights only.

ABSTRACT

Purpose- In this study, to effectively manage the supply chain intended for the storage, transportation and distribution of agricultural products and foods, an intelligent routing approach is proposed for accomplishing this distribution at low cost.

Methodology- As an activity in logistics, the demands related to the exportation of various foods/goods in agricultural production are considered. It is assumed that a vehicle fleet, each vehicle with a certain load capacity, starts at a depot with the loads, visits a set of points using the shortest paths while accomplishing the related distributions and returns back to the depot. It is aimed to find the route set with the minimum cost so that all customers are to be visited.

Findings- The main contribution of this study in which the Capacitated Vehicle Routing Problem has been addressed is to find the route set to service all the customers in a region while considering the points to be serviced globally; or for each sub-region, the separated tours to service the related customer group while considering them as subsets.

Conclusion- Using the hybrid meta-heuristic algorithm including Genetic Algorithms and Local Search developed for the solution, low costly route sets with separated/global tours may be generated within very short periods of time.

Keywords: Genetic algorithms, capacitated vehicle routing problem, logistics, supply chain, local search

JEL Codes: C61, C63, C88

TARIM ÜRÜNLERİ VE GIDALARIN TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNE İLİŞKİN DAĞITIM İŞLEMLERİ İÇİN ZEKİ BİR ROTALAMA YAKLAŞIMI

ÖZET

Amaç- Bu çalışmada, tarım ürünlerinin ve gıdaların depolanması, taşınması ve dağıtılmasına yönelik Tedarik Zincirinin etkili bir biçimde yönetilebilmesi için söz konusu dağıtımın düşük maliyetle gerçekleştirilebileceği zeki bir rotalama yaklaşımı önerilmektedir.

Yöntem- Lojistik bir etkinlik olarak, tarımsal üretimde çeşitli gıdaların/ürünlerin ihracatına ilişkin talepler dikkate alınmaktadır. Her biri belirli bir yükleme kapasitesine sahip bir araç filosunun, bir depodan talepleri yüklenip hareket ettiği, en kısa güzergâhları kullanarak bir dizi noktayı ziyaret edip ilgili dağıtımları gerçekleştirdiği ve depoya geri döndüğü varsayılmaktadır. Tüm müşteriler ziyaret edilecek şekilde, en az maliyetli rota kümesini belirlemek amaçlanır.

Bulgular- Kapasiteli Araç Rotalama Probleminin ele alındığı bu çalışmanın temel katkısı, hizmet verilecek noktaların, bütünsel olarak değerlendirilip bir bölgedeki tüm müşterilere hizmet verecek rota kümesinin veya alt-küme olarak değerlendirilip her alt-bölge için ilgili müşteri grubuna hizmet verecek ayrı turların belirlenebilmesidir.

Sonuç- Çözüm için geliştirilen Genetik Algoritmalar ve Yerel Arama içeren melez meta-sezgisel algoritma aracılığıyla, ayrı/bütünsel turlar içeren düşük maliyetli rota kümeleri çok kısa sürelerde oluşturulabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Genetik algoritmalar, kapasiteli araç rotalama problemi, lojistik, tedarik zinciri, yerel arama

JEL Kodları: C61, C63, C88

1. GİRİŞ

Lojistik, ürünlerin ve hizmetlerin tedarik edilmesine yönelik tüm etkinliklerin planlanması ve yönetilmesine ilişkin bir kavramdır. Bu kapsamda, modern yaklaşımlar takip edilerek ve teknolojik araçlar kullanılarak *geri hizmetin* verimli bir biçimde yerine getirilmesi amaçlanır. Ürünün ve hizmetin etkili ve verimli bir biçimde sağlanabilmesine yönelik etkinliklerin düşük maliyetlerle gerçekleştirilmesi ise *Tedarik Zinciri Yönetimine* karşılık gelmektedir. *Tedarik Zinciri Yönetimine* ilişkin olarak, ele alınan pek çok konu ve uygulanan pek çok etkinlik söz konusudur: (i) çizelgeleme, dağıtım, planlama, sevkiyat, tahmin vb. uygulamaları. (ii) depo, döküm/stok, sipariş, talep vb. yönetimi. (iii) tedarik döngü süresini kısaltma ve teslimat sürelerini iyileştirme (taleplere hızlı geri dönüş). (iv) üretimin sürekliliğini sağlama.

Rotalama, gezgin/mobil robotlar, gezgin satıcılar, insanlar, insansız hava araçları, postacılar, sualtı araçları ve taşıtlar (örneğin ambulans, helikopter, kamyon, taksi veya tır) için en kısa yolu bulma, gezinim, yol planlama ve yönlendirme gibi problemlerde; hareket planlama, yol ağı izleme ve yol bakımı gibi etkinliklerde söz konusudur. Dağıtım, lojistik, nakliye ve ulaştırma gibi amaçlarla, bilgisayar ağlarında, talebe duyarlı ulaştırma sistemlerinde ve özellikle *Tedarik Zinciri Yönetiminde* çözüm gerektirir. Dantzig ve Ramser (1959) tarafından önerilen bu kombinasyonel eniyileme ve doğrusal programlama problemi, literatürde *Araç Rotalama/Yönlendirme Problemi* (ARP) olarak çalışılmaktadır. ARP, hesaplama olarak karmaşık ve zor bir gerçek-dünya problemi olup, pek çok problem için çözümün bir parçasıdır: (i) ambulansların hastanın bulunduğu nokta ve hastane arasında kullanacakları en uygun rotaları belirleme. (ii) arazi/yerleşke alanlarında, fabrika ortamlarında ve limanlarda dağıtım-toplama işleri. (iii) askerî alanlarda keşif, patlayıcıların tespit ve imhası. (iv) binaların temizlik işleri, çöp/nesne toplama, sokak temizliği. (v) insansız araçlar, okul otobüsleri, personel servisleri ve satış elemanları için güzergâh belirleme. (vi) posta/süt/yakıt dağıtımı, koli/paket alım ve teslimatı. (vii) üretilen araçların çeşitli bölgelerdeki bayilere bir tır filosu aracılığıyla ulaştırılması.

ARP, konum verisi (depo ve talep noktaları), talep miktarları ve araç kapasitesi (maksimum depolama/yükleme) gibi çok sayıda değişken içerir ve ARP'de üç temel bileşen söz konusudur: (1) çalışma uzayında homojen/heterojen olarak dağılmış, kümelenmiş/kümelenmemiş, karesel/konik olarak konumlandırılmış *konumlar* (depo, merkezî veya merkezî olmayan bir biçimde). (2) sıralı/rasgele gelen homojen veya heterojen *talepler*. (3) özdeş veya heterojen *araçlar*. Tüm işlemsel kısıtlar sağlanacak şekilde, müşteri taleplerinin en az maliyetle karşılanması amaçlanır. Maliyet ise toplam rota uzunluğu (tüm rotaların uzunlukları toplamı), tamamlanma zamanı veya toplam bekleme süresi olarak ele alınabilir.

Bu çalışmada, tarım ürünlerinin ve gıdaların depolanması, taşınması ve dağıtılmasına yönelik *Tedarik Zincirinin* etkili bir biçimde yönetilebilmesi için söz konusu dağıtımın düşük maliyetle gerçekleştirilebileceği zeki bir rotalama yaklaşımı önerilmektedir. *Lojistik* bir etkinlik olarak, tarımsal üretimde çeşitli gıdaların/ürünlerin ihracatına ilişkin talepler/dağıtımlar dikkate alınmaktadır. Her biri belirli bir yüklem kapasitesine sahip bir araç filosunun, belirli bir noktadan (depo) talepleri yüklenip hareket ettiği, en kısa güzergâhları kullanarak bir dizi noktayı (alıcılar/müşteriler) ziyaret edip ilgili dağıtımları gerçekleştirdiği ve depoya geri döndüğü varsayılmaktadır. Tüm müşteriler ziyaret edilecek (hizmet alacak) şekilde, araçlar tarafından kullanılacak en az maliyetli en uygun rota kümesini belirlemek amaçlanır. Bu amaçla, hem akademik olarak hem de sektörde çalışılan önemli bir gerçek-dünya problemi olan *Kapasiteli ARP* (KARP) ele alındı. Bu problem ayrıca, kapasite sınırı olmadan ve ayrıklıklar içerecek şekilde çoklu *Gezgin Satıcı Problemi* (GSP) olarak modellendi. Çözüm için *Genetik Algoritmalar* (GA) ve *Yerel Arama* içeren melez meta-sezgisel (*meta-heuristic*) bir algoritma geliştirildi.

Çalışmanın geri kalan kısmı şu şekilde düzenlenmiştir. İkinci bölümde, *Araç Rotalama Problemleri* vb. problemler ile ilgili literatür taraması sunulmuştur. Üçüncü bölümde, ilk olarak çalışma kapsamında ele alınan probleme ve daha sonra çözüm için geliştirilen melez meta-sezgisel algoritmaya ilişkin ayrıntılar verilmiştir. Dördüncü bölümde, bu kapsamda yapılan deneysel çalışmalar ve elde edilen test bulguları sunulmuştur. Son bölümde ise sonuçlar sunulmuş ve konuyla ilgili yapılabilecek çalışmalar belirtilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

ARP'nin çeşitli varyasyonları ve özel türleri mevcuttur: (1) teslimatların içinde yapılması gerektiği zaman aralıkları olan ve her müşterinin talebinin gerekli zamanda karşılandığı zaman pencereli ARP. (2) araçların bir rotadan fazla yapabildiği çok turlu ARP. (3) bir dizi malın belirli toplama noktalarından diğer teslimat noktalarına ulaştırılmasını gerektiren dağıtım-toplamalı ARP. (4) herhangi bir teslim konumunda teslim edilmekte olan öğenin en son alınan öğe olduğu son giren ilk çıkar ARP. Ayrıca, bölge-kısıtlı, çok-depolu, kümülatif/periodyk kapasiteli vb. pek çok ARP türü de mevcuttur. Öte yandan, araçlar heterojen, teslimatlar ayrıklıklar olabilir ve belli başlama/bitiş zamanları, hizmet türü, öncelik kuralı, rotaların maksimum uzunluk sınırları veya teslimat zamanı kısıtları dikkate alınabilir.

GSP'de, gezgin satıcı tüm talepleri taşıyabilecek kapasitede ise tek turda tüm şehirleri ziyaret edebilir. Bu durumda, bu problem tek rota içeren KARP olarak düşünülebilir ve tek araçla tüm talepler karşılanır. Çoklu GSP'de, kapasite sınırı olmadan çok sayıda gezgin satıcı ile birden fazla tur yapmak söz konusudur. *Ark/Ayrıt Rotalama Probleminde*, bir postacı bir

şehrin tüm yollarını bir kez ziyaret eder ve başlangıç konumuna geri döner. *Konum Rotalama Probleminde* ise ARP'ye ek olarak depo konumlarına karar verilir. ARP, hem rotalama hem de araçlara atama gerektirir.

Luo ve Chen (2014), çok-depolu ARP'yi (ayrıca zaman aralıkları ile) çözecek iyileştirilmiş bir çözüm yöntemini ve çok-aşamalı modelini sunmuşlardır. Bu problemde depolar, müşteri kümelerinin ağırlık merkezleri (tüm müşteriler için) olarak değerlendirilirler. Bir önceki süreç ile ulaşılan en iyi çözüme göre, yeni kümeler üretecek kümeleme analizleri gerçekleştirilir. İyileştirilen yol bilgisi yeni kümelere aktarılır. Çok-depolu araç rotalama problemlerini çözmek için Yücenur ve Demirel (2011), genetik algoritma ve karınca kolonisi eniyilemesi içeren melez bir algoritma kullanmışlardır. Ho vd. (2008) ise çok-depolu ARP'nin verimliliği için iki melez genetik algoritma kullanmışlardır. Onlara göre, başlangıç için melezleştirilmiş sezgisel yöntemler çözümlerin kalitesine büyük ölçüde yön vermektedir.

Subramanian vd. (2013), homojen-filolu ARP sınıfı için melez bir algoritma önermişlerdir. Algoritmalarını, KARP, asimetrik ARP, açık ARP, eş-zamanlı dağıtım-toplamalı ARP, karışık dağıtım-toplamalı (çok-depolu) ARP ve çok-depolu ARP örnekleri üzerinde kapsamlı bir şekilde test etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar, sezgisel yöntemlerle bulunan ilgili türevlere göre oldukça rekabetçidir. Ayrıca bir dizi yeni en iyi çözüm elde etmişlerdir.

KARP için Stanojević vd. (2013), daha iyi rotalar üretmek amacıyla rotaları birleştiren yeni bir sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. Wang ve Lu (2009) ise çaprazlama ve mutasyon olasılıklarının en uygun birleşimi ile yeni bir melez genetik algoritma önermişlerdir. Lin vd. (2009), melez meta-sezgisel yöntemler uygulamışlar; Berger ve Barkaoui (2003) ise melez bir genetik algoritma önermişlerdir. Yurtkuran ve Emel (2010) ise nüfus tabanlı melez bir yöntem kullanmışlar, yeni bir yerel arama stratejisi olan *yinelemeli takas* yaklaşımıyla, elde edilen çözümleri iyileştirmişlerdir. Yaklaşım, seçili ebeveynin konum vektöründen rasgele iki bileşen seçer ve değerleri takas eder. Bu bileşenlerin komşuları değiştirilerek dört çocuk daha oluşturulur ve en iyi çocuk, ebeveyninden daha iyi ise ebeveynle değiştirilir.

Du ve He (2012), büyük ölçekli ARP için yeni ve etkili bir melez meta-sezgisel algoritma sunmuşlardır. Algoritma, iki-aşamalı bir yaklaşım içermektedir: (1) başlangıç rotalar oluşturmak için en yakın komşuluk arama kullanılır ve (2) rotaları rota-ıçi ve rotalar-arası takas ile iyileştirmek için tabu aramadan yararlanır.

Genelleştirilmiş ARP, klasik ARP'nin doğal bir uzantısıdır (Pop vd., 2013). Bu problemde, müşteriler bölümlere (grup/küme) ayrılır ve araç filoları için minimum uzunlukta rota kümeleri tasarlanır. Kapasite kısıtlarına bağlı olarak, depodan hareket edilir, her gruptan tam olarak bir müşteri ziyaret edilir ve depoya geri dönlür. Yerel-bütünsel bir yaklaşımla, GA ve güçlü bir yerel arama yaklaşımı birleştirilerek, verimli bir melez sezgisel algoritma sunulmuştur.

Leung vd. (2013), müşterilerin, iki-boyutlu yüklemeye ve farklı kapasitedeki araç filosu kullanılarak hizmet aldığı problem için sezgisel yerel arama ve tavlama benzetimi önermişlerdir. Her yeni çözüm için yüklemenin yapılabilirliğini kontrol edecek sezgisel yöntemler ve arama sürecini hızlandırmak için yüklemenin yapılabilirliği ile ilgili bilgiyi kaydedecek bir veri yapısı kullanmışlardır. Onlara göre, belirsiz bir rota incelendiğinde, depolanmış bilgiyi getirmek kolaydır. Bu rota mevcut değilse, bilgi kaydedilir.

Bortfeldt (2012), KARP'yi üç-boyutlu yükleme ve ek kutulama kısıtlarıyla ele almıştır. KARP genelleştirmesi olan bu problemde, müşteri taleplerinin üç-boyutlu, dikey ve yığılanabilir kutulardan oluştuğu varsayılmaktadır. Bortfeldt (2012), rotalama için tabu arama ve araçlara atama için ağaç arama algoritmalarını içeren verimli bir melez algoritma tanıtmıştır. Rotalama yaklaşımındaki hareketler, kutulama açısından uygunluğu kontrol edilmeden önce değerlendirilir. Böylece, iyi çözüm kalitesi için gerekli kutulama çabası önemli ölçüde azalır. Ruan vd. (2013), üç-boyutlu yükleme KARP'yi ele almışlardır. Tüm araçların merkezî bir depoyu temel aldıkları bu problem, araçlar için uygun yükleme ve başarılı rotalamayı eniyilemeyi gerektirir. Bal arısı çiftleşme eniyilemesi ve altı yükleme sezgisini birleştiren melez bir yöntem sunulmuştur. Bütünlük problemi çözmede, biri araç rotalama ve diğerleri üç-boyutlu yükleme için kullanılmıştır. Üç-boyutlu yükleme ve araç rotalamanın önemli bir birleşimi olan bu problem, Fuellerer vd. (2010) tarafından da çalışılmıştır. Onlar, yükün araçlara yüklenmesi ve yol ağı üzerinde araç rotalamanın birleşiminin eniyilemesini amaçlamışlardır. Onlara göre, yüksek karmaşıklık nedeniyle, bu problem üzerinde literatür çok sınırlıdır. Problem, yükleme için hızlı kutulama sezgilerini kullanan karınca kolonisi eniyilemesi kullanılarak çözülmüştür. Algoritma, rotalama ve kutulama olarak iki farklı sezgi bilgisini birleştirmektedir.

Cacchiani vd. (2014), bir ARP genelleştirmesi olarak, periyodik ARP'yi ele almışlardır. Bu problem, verilen planlama diliminin her günü için minimum maliyetli rota kümesini belirlemeyi içermektedir. Her müşteri, gereken sayıda ziyaret edilmeli ve gerekli ürün miktarını her seferinde almalıdır. Ayrıca, gün başına düşen rota sayısı toplam kullanılabilir araç sayısını geçmemektedir. Rotalama problemleri için birkaç günlük planlanmalar hesaba katılmaktadır. Hà vd. (2014), araç sayısı bir karar değişkeni olacak şekilde, esnek filo büyüklüklü genelleştirilmiş ARP'yi ele almışlardır. Uygun filo büyüklüğü, günlük rotalama maliyetini en aza indirmek amacıyla belirlenebilmektedir.

Tlili vd. (2014), araçların belirlenen maksimum uzunluğa kadar seyahat edebileceği mesafe-kısıtlı KARP için parçacık sürüsü eniyilemesi ile değişken komşuluk aramayı bütünlükten melez meta-sezgisel bir yöntem önermişlerdir.

Marinakis vd. (2013), rasgele talepli ARP'yi başarılı bir biçimde çözmek için parçacık sürüsü eniyilemesi tabanlı yeni bir melez yöntem tanıtmışlardır. Bu problemde, sonlu kapasiteli bir araç, tam yüklemeye depodan ayrılır ve sadece onlara ulaştığında talepleri bilinecek bir dizi müşteriye hizmet vermek zorundadır. Lei vd. (2011) ise taleplerin rasgele olduğu ve her köşeye bir zaman penceresinin uygulandığı KARP'yi ele almışlardır. Gerçekleşen talep araç kapasitesini aştığı zaman, aynı rotadaki konumlarda başarısızlık olabilir. Problem, rasgele bir problem olarak modellenmiş ve çözüm için uyarlanabilir bir geniş çerçevede komşuluk arama önerilmiştir.

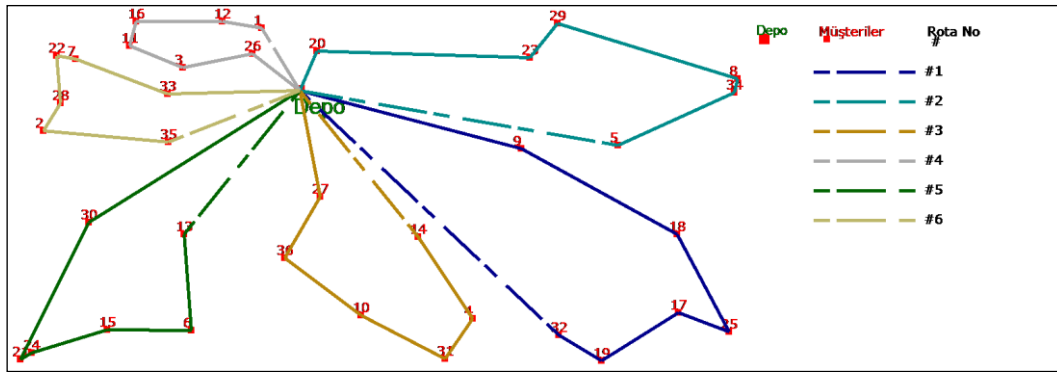
Mevcut çalışmalardan farklı olarak bu çalışmanın temel katkısı, hizmet verilecek noktaların, (1) bütünsel olarak değerlendirilip bir bölgedeki tüm müşterilere hizmet verecek rota kümesinin veya (2) alt-kümelere olarak değerlendirilip her alt-bölge için ilgili müşteri grubuna hizmet verecek ayrık turların belirlenebilmesidir.

3. VERİ VE YÖNTEM

3.1. Kapasiteli Araç Rotalama Problemi

ARP'nin en genel şekli, tüm müşterilerin taleplerinin bilindiği ve karşılandığı, tüm araçların özdeş ve sınırlı kapasiteli olduğu KARP'dir (Boonsam vd., 2011). KARP'de, merkezî bir depoda teslimat işini gerçekleştiren m adet q kapasiteli v hıza sahip aracın, bir coğrafi alanda farklı noktalara dağılmış n müşterinin taleplerini en az C maliyetle karşılamak için kullanacakları en uygun R rota kümesi belirlenir. KARP, yoğun bir biçimde çalışılan ve çok sayıda türü olan yaygın bir Yöneylem Araştırması (Operations Research) problemi olup, örnek bir çözüm Şekil 1'de verilmiştir.

Şekil 1: Örnek KARP Çözümü (36 müşteri konumu / her müşterinin talebi 10 ve araç kapasitesi 60)



Şekil 1'de resmedilen örnekteki kesikli çizgiler, her rotadaki son müşteriden depoya olan geçişleri ifade eder. Bu temel ARP modeline ilişkin çözümde, her biri 6 müşteri konumu içeren 6 rota mevcuttur. Her konum noktasal olup (x - y koordinatları ile), depo ve müşteriler sırasıyla, büyük bir kare ve daireler ile gösterilmiştir. Depo-müşteri konumları, talep miktarları ve araç kapasitesi önceden bilinir. Noktalar arasındaki bağlantıları ifade eden kenarlar üzerindeki ağırlıklar ise aralarındaki uzaklık/maliyet bilgisidir. Probleme ilişkin varsayımlar şunlardır:

- Her müşterinin bir talebi vardır ve depo tüm talepleri karşılayabilecek ürün stokuna sahiptir.
- Tüm talepleri karşılayabilecek yeterli sayıda araç mevcuttur.
- Talep miktarları ve araç kapasitesi *birim temelli* (tamsayı değerler) olduğu için araçları maksimum seviyede dolduran yüklemeler yapılabilir.

Probleme ilişkin keskin kısıtlar ise şunlardır:

- Her araç, depodan hareket eder, bir dizi müşteriye hizmet verir ve depoya geri döner.
- Her müşteri, tam olarak bir araç tarafından ve sadece bir kez ziyaret edilir.
- Herhangi bir rota üzerindeki talep miktarlarının toplamı araç kapasitesini geçemez.

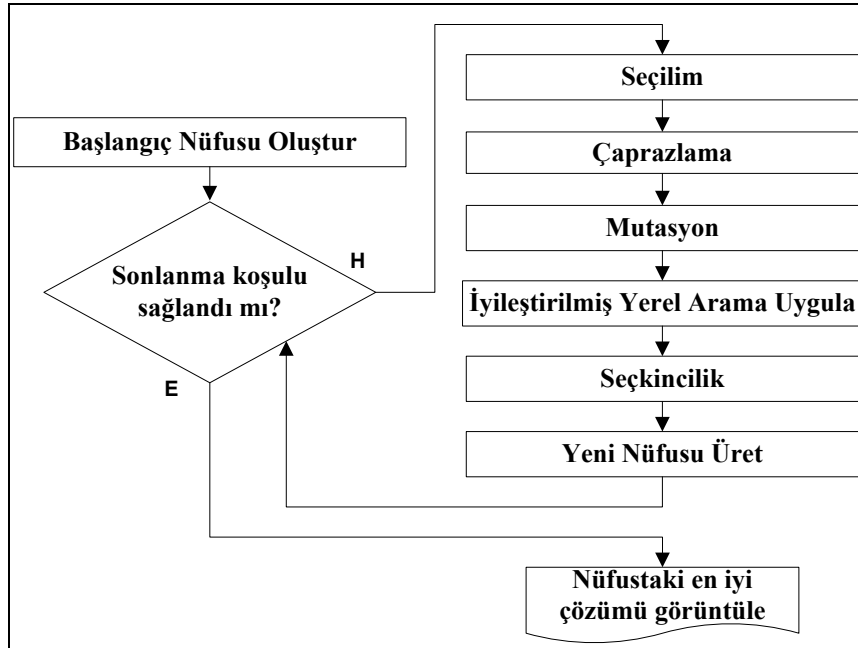
Rota sayısı (gerekli/kullanılacak araç sayısı) en az ve toplam rota uzunluğu en kısa olacak şekilde, en az maliyetli rota kümesi belirlenir. Çoğu çalışmada (Chand vd., 2010; Chand ve Mohanty, 2013) bu iki hedef üzerinde yoğunlaşmıştır.

3.2. Genetik Algoritmalar Tabanlı Çözüm

GA, evrimsel hesaplama (*evolutionary computing*) alanının arama yöntemlerinden biri olarak, karmaşık ve zor problemlerin çözümü için kullanılan gürbüz bir eniyileme tekniğidir. Darwin'in evrim teorisinden esinlenen ve evrimsel süreci temel alan bir teknik olup, en iyinin hayatta kalması prensibine dayanır. GA, her biri problem için bir aday çözümü temsil eden kromozom grubundan, her kromozom ise genellikle sayısal karakter dizilerinden oluşur. Başlangıç nüfus tamamen rasgele veya belli ölçüde müdahale ile oluşturulur. Her nesilde tüm kromozomlar değerlendirilir. Nüfustan seçilen kromozomlar çaprazlama işlemine tabi tutulurlar ve elde edilen çocuklara mutasyon işlemi uygulanır. Yeni nesil ise ebeveyn ve çocuk kromozomlardan seçim yapılarak oluşturulur. Nesiller devam ettikçe problem için en uygun çözümlere yakınsanır. Son nesildeki en iyi uygunluk değerlerine sahip kromozomlar çözüm olarak değerlendirilirler. Süreç, belirlenen maksimum nesil değerine ve/veya beklenen uygunluk değerine ulaşılması gibi durumlarda sonlandırılır. GA, problemlere en iyi çözümü garanti etmeseler de iyi bir çözüm kümesi sunarlar.

ARP, problem büyüklüğünün (müşteri sayısı) artmasıyla karmaşıklığın (çözüm zamanı / işlem sayısı) üstel olarak (*exponentially*) artmasına bağlı olarak, NP-zor problemler sınıfında yer almaktadır. Bu nedenle, bütünsel arama (*global search*) yaparak en uygun çözümleri sağlayabilmek için meta-sezgisel bir yöntem olarak GA tercih edilmiştir. Ayrıca, arama uzayını daha verimli bir biçimde taramak ve yerel en iyi noktalar (*local optimums*) takılma durumlarını en aza indirerek daha iyi sonuçlar ve daha iyi başarımlar elde edebilmek ve hatta bütünsel en iyi noktaya/çözüme (*global optimum*) ulaşabilmek için GA yerel arama ile melezleştirilmiştir. Geliştirilen bu melez algoritma, literatürde taklitçi (*memetic*) algoritma (Moscato ve Cotta, 2003) olarak bilinmektedir ve akış şeması Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 2: Geliştirilen GA ve Yerel Arama Tabanlı Melez Meta-Sezgisel Algoritmanın Akış Şeması



Şekil 2'deki melez algoritmanın temel bileşenlerine ilişkin ayrıntılar ilerleyen kısımdaki alt bölümlerde verilmektedir.

3.2.1. Kromozom Gösterimi

Rotalara ait müşteri gruplarının sıfır araç tanımlayıcısı (depo konumu) ile birbirinden ayrıldığı tek vektör içeren bir gösterim tercih edilmiştir. Her rota, güzergâhı üzerindeki müşterilerin bu rotayı kullanacak araç tarafından ziyaret edilme sırasını içerir ve her müşteri konumu, her gösterimde tam olarak bir kez yer alır. Örneğin "{0 1 3 5 0 4 2 0 6}" gösteriminde, müşteriler şu üç rotada kümelenebilirler: (i) Depo 1 3 5, (ii) Depo 4 2 ve (iii) Depo 6. Gösterimdeki konum sayısı, müşteri sayısı (n) ile rota/sıfır sayısının toplamıdır. Her aracın sadece tek müşterinin talebini karşılaması durumunda ise $2n$ olur. Uygun bir aday çözüme ilişkin gösterimdeki her rota, probleme özgü kısıtları sağlamalıdır.

3.2.2. Başlangıç Nüfusun Üretilmesi

Başlangıç nüfus tamamen rasgele olmayacak şekilde üretilir. Öncesinde, noktalar arasındaki mesafeler (*Öklid* karesel uzaklıkları) hesaplandıktan sonra, her konum için bu konuma en yakın uzaklıktaki belli sayıda konum belirlenir. Böylece,

birbirine daha/en yakın ardışık nokta çiftleri oluşturularak, daha iyi aday çözümler üretilmesi mümkün olur. Bu amaçla, en yakın komşuluk algoritması (*nearest neighbor algorithm*) kullanılmıştır.

3.2.3. Uygunluğun Değerlendirilmesi

Maliyeti hesaplamak için kullanılan çok-hedefli uygunluk fonksiyonu, rota sayısını ve toplam rota uzunluğunu en aza indirmeyi amaçlar. Nüfustaki i . kromozomun uygunluk değeri Denklem (1)'deki F fonksiyonu ile hesaplanır.

$$F(i)=(\alpha \times m_i)+(\beta \times C_i) \quad (1)$$

Denklem (1)'de α ve β sırasıyla, rota sayısı (m) ve toplam rota uzunluğu (C) için katsayı değerleridir (F fonksiyonu ve katsayı değerleri ile ilgili ayrıntılar için Bkz. Chand ve Mohanty, 2013).

3.2.4. Genetik İşlemler

Nüfustan seçilen ebeveyn çiftine tek-noktalı ve çift-noktalı permütasyon çaprazlama işlemleri uygulanarak elde edilen çocuklar, mutasyon işleci olarak yerel aramaya tabi tutulurlar.

3.2.5. Yerel Arama

Yerel arama, mevcut çözümü çevresindeki komşu çözümlere bakarak yinelemeli bir biçimde iyileştiren etkili bir tekniktir. 2-opt algoritmasında, yerel en iyi noktalarda takılı kalmamak için kromozom, iki noktadan kırılır ve bu aralık ters yönde olacak şekilde yeniden oluşturulur. Rota-içi konum sırası değişikliği ve rotalar-arası konum sırası takasları ile rota sayısını düşürmek ve toplam rota uzunluğunu azaltmak amaçlanır ve bu süreç, yerel en iyi noktaya (*local minimum*) ulaşılan kadar devam eder. Değişiklikler sonrasında, aynı rota sayısı için rotalar arasındaki yüklemeler dengelenir veya ardışık iki sıfırın yer aldığı uygun/yeni bir çözüme ilişkin gösterimdeki mevcut rota sayısı bir azalır:

- Eski çözüm : 0 1 3 5 0 4 2 0 6 → 2-opt algoritması uygulanmadan önce (üç rota)
- Yeni çözüm : 0 1 3 5 0 2 4 6 → 0 1 3 5 0 2 4 6 (iki rota)

Her nesil sonunda ve sadece kromozomu iyileştirecek durumlarda uygulanan iyileştirilmiş yerel arama algoritmasının sözde kodu Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: GA Tabanlı Yöntem Kapsamında Uygulanan 2-opt Algoritmasının Sözde Kodu

Algoritma: applyImprovedLocalSearch(Kromozom birey)	
•	while "birey için yerel en iyi noktaya ulaşılmadı / iyileşme söz konusu" do
•	Kromozom gösterimindeki en iyi "i, i + 1" ve "j, j + 1" kenar çiftini belirle
•	if mesafe(i, i + 1) + mesafe(j, j + 1) > mesafe(i, j) + mesafe(i + 1, j + 1) then
•	Kenarları takas et ve kromozomun uygunluk değerini güncelle
•	end if
•	end while

Tablo 1'de, i ve j kromozomdaki genlere karşılık gelen değişkenler olup, *mesafe* ise nokta çiftleri arasındaki uzaklıkları içeren matristir.

3.2.6. Yeni Neslin Oluşturulması

Her nesilde, en iyi aday çözümleri muhafaza etmek için ilk olarak nüfustaki en iyi kromozom çifti doğrudan yeni nesle aktarılır (*elitism*). Daha sonra, nüfus büyüklüğünü (n) korumak için $n - 2$ kadar çocuk üretilir ve elde edilen çocuklar en kötüden başlayarak ebeveynler ile değiştirilir. Yeterince iyi olmayan aday çözümlerden de iyi çözümler elde edilebilir; ayrıca, bu durum çeşitlilik sağlamak ve yerel en iyi noktalarda takılı kalmamak için de yararlıdır. Bu nedenle, ebeveynlerinden daha iyi olmayan çocuklara da yaşama şansı verilir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Deneysel Çalışmalar

Geliştirilen melez meta-sezgisel algoritmanın başarısını test edebilmek için ilk olarak literatürden alınan (1) simetrik KARP ve (2) tek-depolu çoklu GSP örnekleri üzerinde iki ayrı *vaka çalışması* yapılmıştır. Daha sonra, rasgele müşteri konumu kurumları üzerinde de deneyler yapılmıştır.

4.1.1. Veri Kümesi Ve Deneysel Kurulum

Deneylerde, müşteri sayısının (GSP için şehir sayısı) değişiminin belirlenen güzergâhları ve toplam rota uzunluklarını nasıl etkilediği incelenmiştir. Talep miktarı, araç kapasitesi (GSP için söz konusu değil) ve çözüme ilişkin rota sayısı (GSP için gezgin satıcı sayısı) değişimleri ise dikkate alınmamıştır.

İlk deneylerde, literatürdeki *VRPLIB* kütüphanesinden birkaç KARP örneği için ilgili konum verisi, talep miktarları ve araç kapasitesi ve *TSPLIB* kütüphanesinden bir GSP örneği için ilgili konum verisi; diğer deneylerde ise talep miktarları ve araç kapasitesi sabit tutularak, rasgele nokta kümeleri kullanıldı. İkinci deneylerde, her müşterinin talebi 10 ve araç kapasitesi 250'dir. Örneğin bu durumda, 100 müşteri konumu içeren her probleme ilişkin çözüm dört ($10 \times 100 \div 250$) rota içermektedir. Çözüm yönteminin istatistiksel başarısını göstermek için ilk deneyler aynı nokta kümeleri ile yinelenirken, diğer deneyler ise farklı nokta kümeleri ile yinelenildi. Her başarımlı testi için ayrıca, en iyi değer bulunduğusu nesil değeri ve o ana kadar geçen çalışma süresi ve toplam çalışma süresi bilgileri kaydedildi. Tüm deneylerde kullanılan genetik algoritma değişkenleri ve ilgili değerler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: GA Tabanlı Yöntemin Değişkenleri ve Varsayılan Değerler

Değişken	Değer
Nüfus büyüklüğü ve maksimum nesil değeri	100 – 1000
Seçim yöntemi	Turnuva seçimi
Çaprazlama işleci ve yerel arama için olasılık değerleri	%80 – %5
α ve β değerleri (Chand ve Mohanty, 2013)	0.7 – 0.5

Genetik algoritma gerçekleştirilmesinde, başlangıç nüfusun üretilmesi için kullanılan *en yakın komşuluk algoritması* kapsamında, en yakın komşuluk değeri 5, bu algoritmanın uygulanma olasılığı ise %90 olarak belirlendi. Geliştirilen program (algoritmanın kodlanması ve konum ekleme ve ayarlar için arayüz tasarımı) için *Microsoft Visual Studio 2012* platformu üzerinde C# programlama dili, gerçekleştirilen deneyler için 3.20 GHz işlemciye ve 8GB ana belleğe sahip 64 bit Windows 7 işletim sistemi yüklü Intel(R) Core(TM) CPU bir masaüstü bilgisayar kullanıldı.

4.1.2. Mevcut müşteri/şehir konumu kurulumları ile gerçekleştirilen deneyler

GA tabanlı yöntemin başarımını göstermek için birkaç KARP örneği temel alınarak deneysel çalışma yapıldı. Geliştirilen algoritma her örnek için 10 kez işletilerek, rota sayıları, güzergâhlar ve minimum/maksimum toplam rota uzunlukları, ortalama uzaklık, standart sapma ve ortalama hata (en iyi değerden sapma) değerleri ve araç doluluk oranları (Denklemler (2)'deki formülle tanımlı) belirlendi. Deney sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

$$\text{Araç doluluk oranı} = Q \div (m \times q) \quad (2)$$

Denklemler (2)'de Q , m ve q sırasıyla, tüm müşterilerin toplam talebi, araç sayısı ve araç kapasitesi olup; " $m \times q$ " ise araçların toplam kapasitesine karşılık gelmektedir.

Tablo 3: Geliştirilen Yöntem ile KARP Çözümüne İlişkin Sonuçlar

Örnek (*)	Bilinen En İyi Değer (-)	n	m	q	Maksimum Uzaklık	Araç Doluluk Oranı
att-n48-k4	40002	47	4	15	40002	0,73
A-n34-k5	778	33	5	100	778	0,92
A-n80-k10	1763	79	10	100	1763	0,94
B-n39-k5	549	38	5	100	549	0,88
E-n22-k4	375	21	4	6000	375	0,94
E-n23-k3	569	22	3	4500	569	0,75
E-n30-k3	534	29	3	4500	534	0,94
E-n51-k5	521	50	5	160	521	0,97
E-n101-k8	815	100	8	200	815	0,91
F-n45-k4	724	44	4	2010	724	0,90
F-n72-k4	237	71	4	30000	237	0,96

Kaynak: <http://neo.lcc.uma.es/vrp/vrp-instances/capacitated-vrp-instances/> (*)
<https://www.coin-or.org/SYMPHONY/branchandcut/VRP/data/index.htm.old> (-)

Tablo 3'te n , m ve q sırasıyla, müşteri/araç sayıları ve araç kapasitesidir. Görüldüğü gibi, literatürde raporlanmış minimum rota sayıları ve en kısa toplam rota uzunlukları tüm örnekler için her çalıştırmada bulunmuştur. Standart sapmalar ve ortalama hatalar sıfır olup, mevcut durumda belirgin bir kararlılık vardır. Tam yakınsama ile elde edilen sonuçlar oldukça başarılıdır (en iyi değerler için Bkz. Lysgaard vd., 2004; Fukasawa vd., 2006; Stanojević vd., 2013).

GA tabanlı yöntemin başarımını gösterdikten sonra, *berlin52* GSP örneği temel alınarak çoklu GSP için de deneysel çalışma yapıldı. Şehir listesindeki ilk şehir depo (51 şehir konumu söz konusu) ve her talep miktarı "1" olacak şekilde, farklı sayılardaki gezgin satıcılar, depodan hareket eder, kapasite sınırı olmadan depo dışında en az iki şehri ziyaret eder ve depoya geri dönerler. Geliştirilen algoritma bu örnek için 100 kez işletilerek, güzergâhlar ve minimum/maksimum toplam rota uzunlukları ve ortalama uzaklık, standart sapma ve ortalama hata değerleri belirlendi. Deney sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4: Geliştirilen Yöntem ile Tek-Depolu Çoklu GSP (-) Çözümüne İlişkin Sonuçlar

Örnek (*)	m	q	Minimum Uzaklık	Araç Doluluk Oranı
berlin52	1	-	7542	-
berlin52-m2	2	26	7880	0,98
berlin52-m3	3	17	8497	1,00
berlin52-m5	5	11	9523	0,93
berlin52-m7	7	8	10746	0,91

Kaynak: <https://profs.info.uaic.ro/~mtsplib/> (-)

Kaynak: <https://profs.info.uaic.ro/~mtsplib/TSPLIB/berlin52.tsp> (*)

Tablo 4'te, m gezgin satıcı sayısı olup; aynı şehir konumu kurulumu için gezgin satıcı sayısı arttıkça maliyet de artar.

4.1.3. Rasgele Müşteri Konumu Kurulumları İle Gerçekleştirilen Deneyler

Depo-müşteri konumlarının rasgele oluşturulduğu bu deneylerde müşteri sayısı değiştirilir. İlk olarak, deney 100 müşteri konumu ile 10 kez yinelenir. Daha sonra, mevcut konum kümesinden rasgele 15 müşteri konumu çıkarılarak elde edilen yeni küme üzerinde gerçekleştirilir. Müşteri sayısı 10 olana kadar devam eden bu işlem, farklı müşteri yerleşimleri için yinelenmemiştir. Sonuçlar, Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5: Farklı Müşteri Sayıları İçin Toplam Rota Uzunlukları

Müşteri Sayısı (n)	100	85	70	55	40	25	10
Araç Sayısı (m)	4	4	3	3	2	1	1
Minimum Uzaklık	10432	9848	8971	8047	6589	4991	3932

Tablo 5'te, ortamdaki müşteri sayısının azalmasıyla maliyetin doğrusal bir biçimde azaldığı gözlemlenmiştir.

4.2. Test Bulguları

Farklı nokta kümeleri üzerinde gerçekleştirilen çeşitli deneylerde, başarılı şu sonuçlar elde edilmiştir: (i) başlangıç nüfusun üretilmesinde tamamen rasgele olan bir yöntem kullanılmaması ve yerel aramanın nesiller boyunca uygulanmasıyla, oldukça hızlı bir biçimde çözüme yakınsama sağlandığı gözlemlenmiştir. (ii) uygun çözümlere (en uygun rota kümeleri ile gerekli araç sayısı ve minimum maliyet) çok küçük nesil değerlerinde (100 nesil tekrarı yeterli olabilmektedir) ve kısa çalışma zamanlarında ulaşılabilmektedir. (iii) genel olarak müşteri sayısının artması, maliyeti (toplam rota uzunluğu) büyük ölçüde artırır. (iv) ortamdaki müşterilerin birbirlerine uzak olmalarıyla, daha uzun güzergâhlar ve daha yüksek maliyetler söz konusu olur.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, tarım ürünleri ve gıdaların *Tedarik Zinciri Yönetimine* ilişkin dağıtım işlemleri için zeki bir rotalama yaklaşımı ele alındı. Tüm talepleri en az maliyet ile karşılayabilmek için KARP ve çoklu GSP çalışıldı. Bir araç filosunun bir depodan hareket ettiği, bir dizi müşteriye hizmet verip depoya geri döndüğü en kısa rotalar belirlendi. Çözümün doğruluğunu ve uygulanabilirliğini test etmek için geliştirilen GA ve yerel arama tabanlı melez meta-sezgisel algoritma kullanılarak, deneysel çalışmalar yapıldı başarılı sonuçlar elde edildi. Deneylerde, bilinen en iyi değerler veya bu değerlere oldukça yakın değerler elde edilmiştir. Test bulguları, dağıtım işlemlerinin *Yerel Arama* ile iyileştirilmiş GA kullanılarak kayda-değer derecede kısa sürelerde gerçekleştirilebileceğini göstermiştir. Geliştirilen çözüm aracılığıyla, hem ayırık hem de bütünsel turlar içeren düşük maliyetli rota kümeleri dinamik olarak oluşturulabilecektir. Geliştirilen program, endüstriye yönelik pratik uygulamaların çözümü için uyarlanabilir.

KAYNAKLAR

- Berger, J. & Barkaoui, M. 2003, "A hybrid genetic algorithm for the capacitated vehicle routing problem", *Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO'03): Part I*, pp. 646-656, Lecture Notes in Computer Science, 2723.
- Boonsam, P., Suthikarnnarunai, N. & Chitphaiboon, W. 2011, "Assignment problem and vehicle routing problem for an improvement of cash distribution", *World Congress on Engineering and Computer Science (WCECS)*, vol. II, October 19-21, San Francisco, USA.
- Bortfeldt, A. 2012, "A hybrid algorithm for the capacitated vehicle routing problem with three-dimensional loading constraints", *Computers & Operations Research*, vol. 39, no. 9, pp. 2248-2257.
- Cacchiani, V., Hemmelmayr, V.C. & Tricoire, F. 2014, "A set-covering based heuristic algorithm for the periodic vehicle routing problem", *Discrete Applied Mathematics*, vol. 163, no. 1, pp. 53-64.
- Chand, P. & Mohanty, J.R. 2013, "Solving vehicle routing problem with proposed non-dominated sorting genetic algorithm and comparison with classical evolutionary algorithms", *International Journal of Computer Applications (IJCA)*, vol. 69, no. 26, pp. 34-41.
- Chand, P., Mishra, B.S.P. & Dehuri, S. 2010, "A multi objective genetic algorithm for solving vehicle routing problem", *International Journal of Information Technology and Knowledge Management*, vol. 2, no. 2, pp. 503-506.
- Dantzig, G.B. & Ramser, J.H. 1959, "The truck dispatching problem", *Management Science*, vol. 6, no. 1, pp. 80-91.
- Du, L. & He, R. 2012, "Combining nearest neighbor search with tabu search for large-scale vehicle routing problem", *Physics Procedia*, vol. 25, pp. 1536-1546, *International Conference on Solid State Devices and Materials Science*, April 1-2, Macao.
- Fuellerer, G., Doerner, K.F., Hartl, R.F. & Iori, M. 2010, "Metaheuristics for vehicle routing problems with three-dimensional loading constraints", *European Journal of Operational Research*, vol. 201, no. 3, pp. 751-759.
- Fukasawa, R., Lysgaard, J., de Aragão, M.P., Reis, M., Uchoa, E. & Werneck, R.F. 2006, "Robust branch-and-cut-and-price for the capacitated vehicle routing problem", *Mathematical Programming*, vol. 106, no. 3, pp. 491-511.
- Hà, M.H., Bostel, N., Langevin, A. & Rousseau, L.M. 2014, "An exact algorithm and a metaheuristic for the generalized vehicle routing problem with flexible fleet size", *Computers & Operations Research*, vol. 43, pp. 9-19.
- Ho, W., Ho, G.T.S., Ji, P. & Lau, H.C.W. 2008, "A hybrid genetic algorithm for the multi-depot vehicle routing problem", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 21, no. 4, pp. 548-557.
- Lei, H., Laporte, G. & Guo, B. 2011, "The capacitated vehicle routing problem with stochastic demands and time windows", *Computers & Operations Research*, vol. 38, no. 12, pp. 1775-1783.
- Leung, S.C.H., Zhang, Z., Zhang, D., Hua, X. & Lim, M.K. 2013, "A meta-heuristic algorithm for heterogeneous fleet vehicle routing problems with two-dimensional loading constraints", *European Journal of Operational Research*, vol. 225, no. 2, pp. 199-210.
- Lin, S.W., Lee, Z.J., Ying, K.C. & Lee, C.Y. 2009, "Applying hybrid meta-heuristics for capacitated vehicle routing problem", *Expert Systems with Applications*, vol. 36, no. 2, pp. 1505-1512.
- Luo, J. & Chen, M.R. 2014, "Improved shuffled frog leaping algorithm and its multi-phase model for multi-depot vehicle routing problem", *Expert Systems with Applications*, vol. 41, no. 5, pp. 2535-2545.
- Lysgaard, J., Letchford, A.N. & Eglese, R.W. 2004, "A new branch-and-cut algorithm for the capacitated vehicle routing problem", *Mathematical Programming*, vol. 100, no. 2, pp. 423-445.
- Marinakis, Y., Iordanidou, G.R. & Marinaki, M. 2013, "Particle swarm optimization for the vehicle routing problem with stochastic demands", *Applied Soft Computing*, vol. 13, no. 4, pp. 1693-1704.
- Moscato, P. & Cotta, C. 2003, "A gentle introduction to memetic algorithms", pp. 105-144 *Handbook of Metaheuristics*, Glover, F., Kochenberger, G.A. (Eds.), Springer US, 57, Boston MA, 560p.
- Pop, P.C., Matei, O. & Sitar, C.P. 2013, "An improved hybrid algorithm for solving the generalized vehicle routing problem", *Neurocomputing*, vol. 109, pp. 76-83, "New Trends on Soft Computing Models in Industrial and Environmental Applications" — A selection of extended and updated papers from the *SOCO 2011 International Conference*.
- Ruan, Q., Zhang, Z., Miao, L. & Shen, H. 2013, "A hybrid approach for the vehicle routing problem with three-dimensional loading constraints", *Computers & Operations Research*, vol. 40, no. 6, pp. 1579-1589.
- Stanojević, M., Stanojević, B. & Vujošević, M. 2013, "Enhanced savings calculation and its applications for solving capacitated vehicle routing problem", *Applied Mathematics and Computation*, vol. 219, no. 20, pp. 10302-10312.
- Subramanian, A., Uchoa, E. & Ochi, L.S. 2013, "A hybrid algorithm for a class of vehicle routing problems", *Computers & Operations Research*, vol. 40, no. 10, pp. 2519-2531.
- Yurtkuran, A. & Emel, E. 2010, "A new hybrid electromagnetism-like algorithm for capacitated vehicle routing problems", *Expert Systems with Applications*, vol. 37, no. 4, pp. 3427-3433.

Tlili, T., Faiz, S. & Krichen, S. 2014, "A hybrid metaheuristic for the distance-constrained capacitated vehicle routing problem", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 109, pp. 779-783, 2nd World Conference on Business, Economics and Management.

Wang, C.H. & Lu, J.Z. 2009, "A hybrid genetic algorithm that optimizes capacitated vehicle routing problems", *Expert Systems with Applications*, vol. 36, no. 2, pp. 2921-2936.

Yücenur, G.N. & Demirel, N.Ç. 2011, "A hybrid algorithm with genetic algorithm and ant colony optimization for solving multi-depot vehicle routing problems", *Journal of Engineering and Natural Sciences*, vol. Sigma 29, no. 3, pp. 340-350.