

KAPASİTE KISITLI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİNDE BAŞLANGIÇ ROTALARININ KURULMASI İÇİN YENİ BİR ALGORİTMA

Kenan KARAGUL^{1*}, Sezai TOKAT², Erdal AYDEMİR³

¹ Pamukkale Üniversitesi, Honaz MYO, Lojistik Yönetimi Bölümü, Denizli, Türkiye

² Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye

³ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Özet
<i>Kapasiteli Araç Rotalama, Sezgisel Arama, Yapay Fizik Temelli Optimizasyon, Genetik Algoritmalar</i>	Kapasiteli araç rotalama problemi NP-Zor problem sınıfında yer alır ve gerçek hayat uygulamalarında kesin yöntemlerle çözümün bulunması genellikle olurlu değildir. Bundan dolayı, sezgisel veya stokastik yöntemler seçeneği çözüm aracı olarak kullanılır. Bu tür algoritmaların ise çözüm kaliteleri ise doğrudan başlangıç çözümü uzayı ile ilgilidir. Genetik algoritmalar uyarlamalı, stokastik ve evrim kuramındaki doğal seçim ve genetik bilgiden ilham alan sezgisel bir arama algoritmasıdır. Bu çalışmada, Newton'un çekim yasası esaslı bir algoritma önerilmiştir ve GA başlangıç popülasyonunu elde etmek ve başarımını iyileştirmek amacı ile kullanılmıştır. Önerilen algoritma araç rotalama problemleri için başlangıç çözümleri üretmektedir. Augerat vd. (1995) tarafından geliştirilen A, B ve P grupları olarak ifade edilen 74 adet kapasiteli araç rotalama test problemi üzerinde önerilen algoritma koşturulmuştur. Sırasıyla A, B ve P grupları için bilinen en iyi sonuçlardan, grupların ortalama sapmaları %37.95, %32.10 ve %31.45 olarak elde edilmiştir. Daha sonra, permütasyon kodlamalı genetik algoritma, sırasıyla 0.9 ve 0.1 olasılığına sahip tek nokta çaprazlama, mutasyon, 1000 nesil ve 10 kez çalıştırılmak üzere tasarlanmış ve permütasyon kodlamalı genetik algoritma için başlangıç uzayı olarak önerilen yöntemin ürettiği çözümler kullanılmıştır. Genetik algoritma ile elde edilen sonuçların gruplar için bilinen en iyi çözümlerin ortalamalarından ortalama sapma seviyeleri sırasıyla %7.15, %4.33 ve %6.33 olarak elde edilmiştir.

A NEW ALGORITHM TO THE CONSTRUCTION OF THE INITIAL ROUTES FOR THE CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM*

Keywords	Abstract
<i>Capacitated Vehicle Routing, Heuristic Search, Artificial-Physics Optimization, Genetic Algorithms</i>	Capacitated vehicle routing problem (CVRP) is NP-Hard and computing exact solutions in real life situations is mostly infeasible. Therefore, heuristic or stochastic methods are used as an alternative. In these methods, the quality of the final solution is directly related with the initial solution space. Genetic Algorithms (GA) are adaptive, stochastic and heuristic search algorithm based on the evolutionary ideas of natural selection and genetics. In this study, artificial physics based optimization algorithm is applied to CVRP in order to obtain the initial population pool and to improve the performance of a GA. The A, B and P group 74 test instances of Augerat et al (1995) are considered. The group average deviations of the initial solutions from best known solutions are calculated as 37.95%, 32.10% and 31.45% for A, B and P groups, respectively. Then, a permutation coded genetic algorithm (GA) with one-point crossover and mutation is chosen as a heuristic search algorithm and the initial solutions obtained are used for the first generation of the GA. The GA is executed 1000 generations with crossover and mutation rates as 0.9 and 0.1, respectively. For each problem, GA is executed 10 times and best output is recorded. As a result, 7.15%, 4.37% and 6.33% group average deviations are obtained after heuristic search.

*İletişim yazarı / Corresponding author: kkaragul@pau.edu.tr

** This study is presented as an abstract in The 3rd meeting of the EURO Working Group on Vehicle Routing and Logistics Optimization (VeRoLog) in Georg Sverdrup's Hus at University of Oslo, Norway, 22-25 June 2014.

1. Giriş

Dağıtım, depolama ve taşıma sistemlerinin önemi arttıkça lojistik sistemlerin tasarım ve optimizasyonu konusunda endüstride ve akademik ortamlarda yapılan çalışmalarda çeşitlenmekte ve artmaktadır. Son dönemde, bu sistemlerin optimizasyon çalışmalarında çevre kavramının da son dönemde önemi hızla artan bir şekilde dikkate alındığı görülmektedir. Çevre faktörlerinin eklenmesi ile dağıtım, depolama ve taşıma sistemleri daha da önemli ve zor bir karar problemi haline almıştır. Tüm bu ana faktörlere ek olarak artan küresel rekabet koşullarında hızlı ve güvenilir teslimat, hızla değişen müşteri istekleri de göz önüne alınacak olursa stok kontrolü, ürün tasarımı, üretim süreçleri, dağıtım merkezleri ve müşteriler arasındaki ilişkiler konularında ana faktör olarak taşıma ön plana çıkmaktadır.

Bir tedarik zinciri içerisinde dağıtım planlama sürecinin ana bileşenini araç rotalama problemi (ARP) oluşturur. ARP, bir veya daha fazla depodan çıkan araçların, talep noktalarına (müşterilere) ait talep miktarlarının karşılanmasını, depo ve araç kapasitesi kısıtları altında araçların tekrar depoya dönmesi ile elde edilen rotaların mümkün olan en küçük değerininin sağlanmasını amaçlayan bir optimizasyon problemidir (Tan, 2001). Dantzig ve Ramser (1959), akaryakıt istasyonlarına benzin dağıtım problemini ARP olarak ele almış ve ilk defa matematiksel model olarak tanımlamışlar. Önerdikleri model, müşteri ihtiyaçlarını karşılayan, her bir araç için taşıma maliyetlerini veya başka bir deyişle alınan yolu enküçükleme çalışan (başlama noktasına geri dönen) rotaları elde etmeyi amaçlamıştır. Gezgin satıcı problemine kapasite kısıtı eklenmesiyle elde edilebilen ARP, belirli sayıyı aşan müşteriler için polinom zamanda kesin matematiksel yöntemler ile çözülememesinden dolayı NP-Zor problemler kümesinde yer almaktadır (Cordeau vd., 2004).

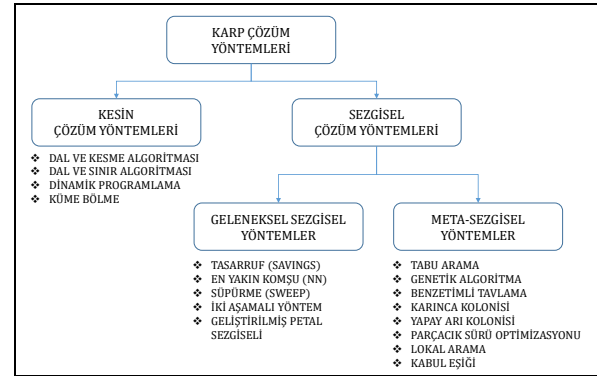
ARP, lojistik maliyetlerinin %50'sini oluşturan dağıtım faaliyeti içinde değerlendirilir (Rushton vd., 2006). Bu bağlamda ARP'nin analizi ve çözümler geliştirilmesi ile doğrudan işletmelerin lojistik maliyetlerinin düşürülmesine katkı sağlanır. ARP, tarihsel süreci içinde gerçek hayat uygulamaları ile birlikte farklı yapılar evrilmiş ve bu yapılar yeni araç rotalama problem türleri olarak literatürdeki yerlerini almışlardır. ARP'nin başlıca türleri: kapasite kısıtlı (KARP), mesafe ve kapasite kısıtlı (MKARP), zaman pencereli (ZPARP), geri toplamalı (GTARP), dağıtım ve toplamalı (DTARP), açık (AARP), çoklu depo (ÇDARP), bölünmüş teslimatlı (BTARP), periyodik (PARP), heterojen filolu (HFARP) ve bulanık araç rotalama problemi (BARP) olarak ifade edilebilirler (Şahin ve Eroğlu, 2014).

Bu çalışmanın da temel konusu olan KARP; merkezi bir depodan belirli coğrafi koordinatlara dağılmış,

deterministik taleplere sahip müşterilerin homojen kapasitelere sahip araçlarla doyurulmasını amaçlayan bir araştırma problemi olarak tanımlanabilir. Problemin olası çözüm uzayı, her bir araç için düşük maliyet ve kapasite kısıtlarını aşmayan rota kümelerinden oluşur. Rota ise, depodan başlayarak, müşteri ziyaret noktalarının bir araç tarafından ziyaret edilmesi ve tekrar başlangıç deposuna ulaşması ile elde edilen bir tur olarak tanımlanabilir. Bu turlarda her bir müşterinin gezgin satıcı probleminden gelen, yalnızca bir kez ziyaret edilmesi kısıtı da varlığını korur (Toth ve Vigo, 2002). KARP için genel çözüm yöntemleri Şekil 1'de verilmiştir.

Kesin çözüm yöntemleri, en iyi çözümü bulmayı garanti eder (Laporte, 1992). Ancak bu yöntemler genellikle çözüm süresi nedeniyle küçük ve orta boyutlu problemlerin çözümünde faydalı olabilmektedir. Ayrıca, her türlü ARP'yi çözebilen kesin bir çözüm yöntemi yoktur (Kumar, 2012). Bu nedenle literatürde kesin matematiksel çözüm yöntemlerine ilişkin çalışmalar daha dar bir kapsamda kalmaktadır.

ARP, yüksek zorluk derecesi ve gerçek hayatta sıklıkla karşılaşılan bir problemdir. ARP'nin çözümünde kısıtlı bir zaman diliminde yüksek kalitede çözümlerin elde edilmesinde, kesin matematiksel yöntemlerle kıyaslandığında sezgisel yöntemlerin daha yoğun olarak kullanıldığı görülmektedir (Şahin ve Eroğlu, 2014).



Şekil 1. KARP için çözüm yöntemleri (Şahin ve Eroğlu, 2014).

ARP'de, çözüme ulaşmada kullanılan geleneksel sezgisel algoritmalar vardır. Geleneksel sezgiseller tur kurucu, tur geliştirici ve iki aşamalı yöntemler olarak 3 gruba ayrılmaktadır (Keskintürk vd., 2015). Tur kurucu sezgiseller; tasarruf (Clark ve Wright, 1964), en yakın komşu (Bellmore and Nemhauser, 1966), ve süpürme (Gillett ve Miller, 1971) algoritmalarıdır. Ayrıca, petal algoritması (Renaud vd. 1996) hem tur kurucu hem de tur geliştirici bir sezgisel olarak sınıflandırılabilir. Tüm bu algoritmalarda ele alınan temel olgu başlangıç çözümlerinin oluşturulması sürecidir. Çünkü başlangıç çözümler problemi çözüm süresi üzerinde önemli etkilere sahiptir. Başlangıç

çözümlerinin kalitesi optimal/optimale yakın çözümlerin elde edilmesinde verimliliği artıran ve hesaplama karmaşıklığını düşüren önemli faktör olarak değerlendirilebilir.

Bu çalışmada, KARP için başlangıç çözümleri oluşturulmasını sağlayan bir tur kurucu yapısal algoritma önerilmiştir. Önerilen algoritma kütle çekim kanununa dayanan bir sezgiyle ortaya çıkarılmıştır. Bilimsel yazında iyi bilinen test problemleri ile önerilen başlangıç çözümler üreten algoritmanın başarısı analiz edilmiştir. Ayrıca önerilen algoritma ile elde edilen başlangıç çözümleri, permütasyon kodlamalı genetik algoritma için başlangıç popülasyonu olarak verilmiş ve elde edilen çözümlerin başarısı analiz edilmiştir.

2. Önerilen Yöntem

2.1. Metodoloji

Bu çalışma Newton'un çekim yasasını temel alan bir yaklaşımdır. Ancak literatürde yapay fiziksel eniyileme algoritması (artificial physics optimization algorithm) olarak ortaya konulmuş yaklaşımlar yer almaktadır. Bu çalışmalar ARP dışında farklı alanlardaki uygulamaları içermektedir. Yapay fiziksel eniyileme algoritması, üç bölümden oluşan bir küresel eniyileme algoritması olarak önerilmiştir. Birinci aşaması başlangıç kurulumu, ikinci aşaması kuvvetlerin hesaplanması ve son aşaması ise harekete dönüştürme şeklinde tasarlanmıştır. Yapay fizik algoritması kütle çekim kanunu temel alan bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım ile farklı problemlerde etkin çözümlere aşamalı yaklaşarak optimal/optimale yakın çözümlerin elde edilmesi amaçlanmıştır (Spears ve Spears, 1999; Xie vd., 2009a; Xie vd., 2009b; Xie ve Zeng, 2010; Gorbenko ve Popov, 2012).

Bu çalışmada önerilen fizik temelli çözüm yaklaşımının ilham kaynağı Newton'un çekim kanunudur. Newton çekim kanununa ilişkin formül temel fizik derslerinde öğretilmektedir ve denklem (1)'de gösterilmiştir.

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Newton denklemine ilişkin terimlerin tanımları çok yaygın bir formül olması nedeni ile verilmemiştir. Ancak literatürde yer alan fizik temelli çalışmaların tamamında Newton çekim kanunu ya da diğer fizik kanunları tam anlamıyla matematiksel denklemleri ile olduğu gibi ya da küçük farklarla uygulanmıştır. Bu çalışmayı diğer fizik temelli çalışmalardan ayıran iki temel özelliği vardır. Birincisi fizik yasalarından ilham almıştır ancak çekim kanunu aynı şekli ile alınmamıştır. Çünkü başlangıç noktası çekim kanunu da olsa, yapılan deneysel çalışmalar ve en iyileştirme uygulama süreçlerinde formüller farklılaşmış ve

ilgilenilen optimizasyon problemlerine özgü bir şekle ulaşmıştır. Burada Newton çekim kanunundan ilham alan ve KARP için kullanılan bir sezgisel yaklaşım elde edilmiştir. İkincisi bu yaklaşımın tamamıyla araç rotalama problemleri temel alınarak geliştirilmiş olmasıdır. Bu çalışmada yaklaşım, iki farklı sezgisel çıkarımı ifade eden (2)-(3) denklemlerine dayanmaktadır. Depo - Müşteri Ağırlık Merkezi'ni veren

$$X_i^c = \frac{q_i \cdot d_i}{\sum q_j} \quad i = 2, \dots, n \quad (2)$$

denkleminde depo ile müşteri koordinatları arasındaki ilişkiler incelenmiş ve depo ile müşteri koordinatları arasındaki kuvvet hesapları türetilmiştir. Burada X_i^c depo ve i .inci müşteri koordinatı kütle çekim kuvvetini, q_i i . müşterinin talep miktarını, ($i=1$ depoyu tanımlar), d_i ise i . müşterinin depoya olan uzaklığını (uzaklık matrisinin 1. satırı) ve $n-1$ müşteri sayısını tanımlamaktadır. Müşteri - Müşteri Ağırlık Merkezi'ni ifade eden

$$X_{ij} = \frac{q_i \cdot d_i + q_j \cdot d_j}{(q_i + q_j) \cdot d_{ij}} \quad i = 2, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n \quad (3)$$

denkleminde ise müşteri koordinatları arasındaki kütle kuvvet ilişkileri depo ile müşteri koordinatları arasındaki etkileşim göz önüne alınarak geliştirilmiş yeni bir sezgisel hesaplama olarak yer almaktadır. Burada X_{ij} ifadesi i . ve j . müşteri koordinatları kütle çekim kuvvetini, d_{ij} ise i . ve j . müşteri arasındaki uzaklığı tanımlar. Denklem (2)'ye göre elde edilen değerler ne kadar küçük ise depo ve müşteri koordinatları arası ilişki o kadar güçlüdür. Denklem (3)'ten elde edilen değerler için ise tam tersi söylenebilir: Hesaplanan kuvvet değerleri ne kadar büyük ise depoyu da göz önüne alacak şekilde iki müşteri koordinatı arasındaki kütle-kuvvet ilişkisi o kadar büyüktür denilebilir.

Ağırlık merkezlerine ilişkin hesaplamalar yapıldıktan sonra, ağırlık matrisi oluşturulur. Ağırlık matrisinde, hesaplanan ağırlıkların matrise nasıl yerleştirileceği Tablo 1'de gösterilmiştir.

Önerilen yaklaşım, başlangıç çözümü üreten Karagül-Tokat-Aydemir (KTA) Algoritmasıdır. Algoritma adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Depo-müşteri kütle merkezleri, matriste sonsuz (-) ve sıfır olarak ifade edilen yerlere atanır.

Adım 2: Birinci satırdaki en küçük değerli müşteri, başlangıç noktası olarak seçilir; çünkü depo-müşteri ağırlık merkezi görelisi olarak küçüldükçe depo ile o müşteri birbirlerine yakın hale gelirler. Seçim yapıldıktan sonra ilgili sütun ve 1. satır kapatılır. İki değer birbirine eşit olması durumunda depoya en yakın mesafesi olan alınır.

Tablo 1. Ağırlık Matrisinin Oluşturulması

Talep (q_i)	1	2	3	4	5	6	
Müşteriler	Depo	C1	C2	C3	C4	C5	C6
1 Depo	-	X_2^c	X_3^c	X_4^c	X_5^c	X_6^c	X_7^c
2 C1		-	X_{23}	X_{24}	X_{25}	X_{26}	X_{27}
3 C2			-	X_{34}	X_{35}	X_{36}	X_{37}
4 C3				-	X_{45}	X_{46}	X_{47}
5 C4					-	X_{56}	X_{57}
6 C5						-	X_{67}
7 C6							-

Tablo 2. Kütle Çekim Kuvveti Matris Çözüm Gösterimi

Talep (q_i)	1	2	3	4	5	6	
Müşteriler	Depo	C1	C2	C3	C4	C5	C6
1 Depo	-	X_2^c	X_3^c	X_4^c	X_5^c	X_6^c	X_7^c
2 C1	X_2^c	X_2^c	X_{23}	X_{24}	X_{25}	X_{26}	X_{27}
3 C2	X_3^c	X_{23}	X_3^c	X_{34}	X_{35}	X_{36}	X_{37}
4 C3	X_4^c	X_{24}	X_{34}	X_4^c	X_{45}	X_{46}	X_{47}
5 C4	X_5^c	X_{25}	X_{35}	X_{45}	X_5^c	X_{56}	X_{57}
6 C5	X_6^c	X_{26}	X_{36}	X_{46}	X_{56}	X_6^c	X_{67}
7 C6	X_7^c	X_{27}	X_{37}	X_{47}	X_{57}	X_{67}	X_7^c

Adım 3: Satır taramaları (müşteri – müşteri ağırlık merkezleri) yapılır. Burada değer büyüdükçe iki müşteri birbirine yaklaşır. Bu nedenle ilgili satırdaki en büyük değer alınır. Bu işlemde köşegen hücreler ($i=j$) dikkate alınmaz. İlgili en büyük ağırlıklı nokta rotaya eklendiğinde, o noktaya ait sütun kapatılır, ilgili satıra gidilir. Burada bulunan her yeni değer ilgili sütunu kapatır ve yeni bir satıra yönlendirir.

Adım 4: Tüm satırlar aynı şekilde taranarak, başlangıç için uygun bir TSP çözümü elde edilir.

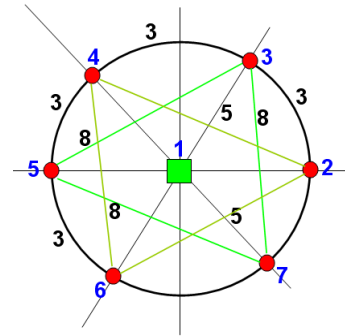
Adım 5: Geriye kalan uygun TSP çözümleri için 1. sütun kapatılır ve her bir satır büyükten küçüğe sıralanarak müşteri sayısı kadar uygun TSP çözümü bulunur.

Adım 6: Tüm uygun TSP çözümleri araç kapasitesi (Q) dikkate alınarak, rotalara dönüştürülür ve her bir rotanın maliyetleri, arkasından da toplam maliyetler hesaplanır.

Adım 7: Tüm uygun rotalanmış çözümler içinden en küçük maliyetli çözüm, yaklaşımın çözümü olarak kabul edilir.

2.2. Örnek Uygulama

Algoritmanın anlaşılması için Şekil 3'te verilen örnek bir problem üzerinde uygulama gösterilmiştir.



Şekil 1. Örnek Problem temsili graf gösterimi

Tablo 3'te altı müşterili ve $Q = 12$ olan bir araç rotalama problemi için müşterilerin talepleri (q_i) ve uzaklık matrisi verilmiştir. Tablo 3'te maliyetleri ifade eden uzaklık matrisi simetriktir ve 1 no'lu düğüm, depoyu ifade etmektedir. Depo talep miktarı sıfır olarak alınır. 2-3-4-5-6-7 no'lu müşteriler sırası ile C1, C2, C3, C4, C5, C6 olarak kullanılmaktadır.

Tablo 3. Örnek Problem Uzaklık Matrisi ve Müşteri Talepleri

Talep (q_i)	1	2	3	4	5	6
Müşteriler	C1	C2	C3	C4	C5	C6
1 Depo	5	5	5	5	5	5
2 C1	-	3	8	10	8	3
3 C2		-	3	8	10	8
4 C3			-	3	8	10
5 C4				-	3	8
6 C5					-	3
7 C6						-

Ağırlık Merkezlerine İlişkin Hesaplar

Tablo 4. Depo-Müşteri Ağırlık Merkezlerinin belirlenmesi

$X_2^c = \frac{1 \cdot 5}{21} = 0.238$	$X_5^c = \frac{4 \cdot 5}{21} = 0.952$
$X_3^c = \frac{2 \cdot 5}{21} = 0.476$	$X_6^c = \frac{5 \cdot 5}{21} = 1.19$
$X_4^c = \frac{3 \cdot 5}{21} = 0.714$	$X_7^c = \frac{6 \cdot 5}{21} = 1.42$

Tablo 5. Müşteri - Müşteri Ağırlık Merkezleri

$X_{23} = \frac{1 \cdot 5 + 2 \cdot 5}{(1+2) \cdot 3} = \frac{15}{9} = 1.667$	$X_{26} = \frac{1 \cdot 5 + 5 \cdot 5}{(1+5) \cdot 8} = \frac{30}{48} = 0.625$
$X_{24} = \frac{1 \cdot 5 + 3 \cdot 5}{(1+3) \cdot 8} = \frac{20}{32} = 0.625$	$X_{27} = \frac{1 \cdot 5 + 6 \cdot 5}{(1+6) \cdot 3} = \frac{35}{21} = 1.667$
$X_{25} = \frac{1 \cdot 5 + 4 \cdot 5}{(1+4) \cdot 10} = \frac{25}{50} = 0.500$	

Yapısal KTA Çözüm Yaklaşımı: Algoritma Adımlarının Uygulanması

Araç kapasitesi Q=12 olarak alınır.

Adım 1: Problemin çözümüne 1. satırdan (depo-müşteri ağırlıkları satırı) başlanır. Buradaki en küçük

$X_{34} = \frac{2 \cdot 5 + 3 \cdot 5}{(2+3) \cdot 3} = \frac{25}{15} = 1.666$	$X_{36} = \frac{2 \cdot 5 + 5 \cdot 5}{(2+5) \cdot 10} = \frac{35}{70} = 0.500$
$X_{35} = \frac{2 \cdot 5 + 4 \cdot 5}{(2+4) \cdot 8} = \frac{30}{48} = 0.625$	$X_{37} = \frac{2 \cdot 5 + 6 \cdot 5}{(2+6) \cdot 8} = \frac{40}{64} = 0.625$
$X_{45} = \frac{3 \cdot 5 + 4 \cdot 5}{(3+4) \cdot 3} = \frac{35}{27} = 1.296$	$X_{47} = \frac{3 \cdot 5 + 6 \cdot 5}{(3+6) \cdot 10} = \frac{45}{90} = 0.500$
$X_{46} = \frac{3 \cdot 5 + 5 \cdot 5}{(3+5) \cdot 8} = \frac{40}{64} = 0.625$	
$X_{56} = \frac{4 \cdot 5 + 5 \cdot 5}{(4+5) \cdot 3} = \frac{45}{27} = 1.666$	$X_{57} = \frac{4 \cdot 5 + 6 \cdot 5}{(4+6) \cdot 8} = \frac{50}{80} = 0.625$
$X_{67} = \frac{5 \cdot 5 + 6 \cdot 5}{(5+6) \cdot 3} = \frac{55}{33} = 1.666$	

değer 2 no'lu noktaya (müşteriye) aittir. TSP rotası 2 ile başlar. Böylece 2 no'lu sütun, 1 no'lu satır ve sütun ağırlık matrisinden çıkartılır. 2 no'lu satıra gidilir.

Adım 2: Satır 2'de yer alan en büyük değerli nokta (müşteri), 1.667 ile 3 no'lu noktadır. Böylece 2 no'lu satır ve 3 no'lu sütun kapatılır ve 3 no'lu satıra gidilir. Yeni TSP rotası 2-3 olmuştur.

Tablo 6. Çözüm Ağırlık Merkezi Matrisi

[Talep] - q _i	-	1	2	3	4	5	6
Müşteriler i (Depo)	(Depo)	2	3	4	5	6	7
(Depo)	--	0.238	0.476	0.714	0.952	1.190	1.420
2	0.238	<u>0.238</u>	1.667	0.625	0.500	0.625	1.667
3	0.476	1.667	<u>0.476</u>	1.667	0.625	0.525	0.625
4	0.714	0.625	1.667	<u>0.714</u>	1.296	0.625	0.500
5	0.952	0.500	0.625	1.296	<u>0.952</u>	1.667	0.625
6	1.190	0.625	0.525	0.625	1.667	<u>1.19</u>	1.667
7	1.420	1.667	0.625	0.500	0.625	1.667	<u>1.42</u>

Tablo 7. Çözüm Ağırlık Merkezi Matrisi (Adım 1)

[Talep] - q _i	-	1	2	3	4	5	6
Müşteriler i (Depo)	(Depo)	2	3	4	5	6	7
(Depo)	--	0.238	0.476	0.714	0.952	1.190	1.420
2	0.238	0.238	1.667	0.625	0.500	0.625	1.667
3	0.476	1.667	0.476	1.666	0.625	0.525	0.625
4	0.714	0.625	1.666	0.714	1.296	0.625	0.500
5	0.952	0.500	0.625	1.296	0.952	1.666	0.625
6	1.190	0.625	0.525	0.625	1.666	1.19	1.666
7	--	0.238	0.476	0.714	0.952	1.190	1.420

Tablo 8. Çözüm Ağırlık Merkezi Matrisi (Adım 2)

[Talep] - q_i	-	1	2	3	4	5	6
Müşteriler i	(Depo)	2	3	4	5	6	7
(Depo)	--	0.238	0.476	0.714	0.952	1.190	1.420
2	0.238	0.238	1.667	0.625	0.500	0.625	1.667
3	0.476	1.667	0.476	1.666	0.625	0.525	0.625
4	0.714	0.625	1.666	0.714	1.296	0.625	0.500
5	0.952	0.500	0.625	1.296	0.952	1.666	0.625
6	1.190	0.625	0.525	0.625	1.666	1.19	1.666
7	--	0.238	0.476	0.714	0.952	1.190	1.420

Adım 3: Satır 3'deki en büyük değerli nokta 1.666 ile 4 no'lu noktadır. Böylece 3 no'lu satır ve 4 no'lu sütun kapatılır ve 4. satıra gidilir. Rota 2-3-4 olarak yapılandırılmıştır.

Adım 4: Satır 4'deki en büyük değerli nokta 1.296 ile 5 no'lu noktadır. Böylece 5 no'lu sütun kapatılır ve 5 no'lu satıra gidilir. Rotaya 5 noktasının eklenmesi ile 2-3-4-5 şeklini almıştır.

Adım 5: Satır 5'teki en büyük değerli nokta 1.666 ile 6 no'lu noktadır. Böylece 6 no'lu sütun kapatılır ve 6 no'lu satıra gidilir. Rotaya 6 noktasının eklenmesi ile 2-3-4-5-6 şeklini almıştır.

Adım 6: Satır 6'daki en büyük değerli nokta 1.666 ile 7 no'lu noktadır. Böylece 7 no'lu sütun kapatılır ve 7 no'lu satıra gidilir ancak çözüm için daha fazla ilerlenemez, çünkü çözüm tamamlanmıştır. Rotaya 7 noktasının eklenmesi ile 2-3-4-5-6-7 şeklini almıştır.

Bu şekilde **Min-Max Satır Taraması** ile elde edilen TSP dizilişi 0 ile gösterilir. Bu TSP dizilişine ilişkin rotalama yapılırsa araç kapasitesi dikkate alınarak Tablo 12'deki rotalar ve maliyetler elde edilir. Bu TSP dizilişine ait toplam maliyet 32 elde edilir. **Adım 7:** Satır 1'den satır 7'ye kadar tüm satırlar büyükten küçüğe sıralanarak, uygun TSP dizilişleri elde edilir. Bu çözümlerde 1'den 7'ye kadar numaralandırılır.

Tablo 13'teki çözüm aşamaları elde edilen diğer TSP dizilişleri ve bunlardan elde edilen rotalar için çözümler Tablo 14-20 arasında gösterilmiştir.

Hesaplama süreçlerinde farklı seçenek olacak rotalar oluşabilir. Ancak buradaki örnekte dikkate alınmamıştır. Maliyetlerin eşitliği durumunda seçilecek rota, düğüm sayısı yüksek olan kümedir.

Tablo 9. Çözüm Ağırlık Merkezi Matrisi (Adım 3)

[Talep] - q_i	-	1	2	3	4	5	6
Müşteriler i	(Depo)	2	3	4	5	6	7
(Depo)	--	0.238	0.476	0.714	0.952	1.190	1.420
2	0.238	0.238	1.667	0.625	0.500	0.625	1.667
3	0.476	1.667	0.476	1.666	0.625	0.525	0.625
4	0.714	0.625	1.666	0.714	1.296	0.625	0.500
5	0.952	0.500	0.625	1.296	0.952	1.666	0.625
6	1.190	0.625	0.525	0.625	1.666	1.19	1.666
7	--	0.238	0.476	0.714	0.952	1.190	1.420

Tablo 10. Çözüm Ağırlık Merkezi Matrisi (Adım 4)

[Talep] - q_i	-	1	2	3	4	5	6
Müşteriler i	(Depo)	2	3	4	5	6	7
(Depo)	--	0.238	0.476	0.714	0.952	1.190	1.420
2	0.238	0.238	1.667	0.625	0.500	0.625	1.667
3	0.476	1.667	0.476	1.666	0.625	0.525	0.625
4	0.714	0.625	1.666	0.714	1.296	0.625	0.500
5	0.952	0.500	0.625	1.296	0.952	1.666	0.625
6	1.190	0.625	0.525	0.625	1.666	1.19	1.666
7	--	0.238	0.476	0.714	0.952	1.190	1.420

Tablo 11. Çözüm Ağırlık Merkezi Matrisi (Adım 5)

[Talep] - q_i	-	1	2	3	4	5	6
Müşteriler i (Depo)	(Depo)	2	3	4	5	6	7
(Depo)	--	0.238	0.476	0.714	0.952	1.190	1.420
2	0.238	0.238	1.667	0.625	0.500	0.625	1.667
3	0.476	1.667	0.476	1.666	0.625	0.525	0.625
4	0.714	0.625	1.666	0.714	1.296	0.625	0.500
5	0.952	0.500	0.625	1.296	0.952	1.666	0.625
6	1.190	0.625	0.525	0.625	1.666	1.19	1.666
7	--	0.238	0.476	0.714	0.952	1.190	1.420

Tablo 12. Rotalama çözümü ve maliyetler (TSP No 0)

TSP No	TSP Sıra					
0	2	3	4	5	6	7
Rota adı	Rota Dizilişi		Maliyet Oluşumu			Maliyet
R_1	1-2-3-4-5-1		[5+3+3+3+5]			19
R_2	1-6-7-1		[5+3+5]			13
Toplam Maliyet						32

Tablo 13. Rotalama çözümü ve maliyetler (TSP No 1)

TSP No	TSP Sıra					
1	7	6	5	4	3	2
Rota adı	Rota Dizilişi		Maliyet Oluşumu			Maliyet
R_1	1-7-6-2-1		[5+3+8+5]			21
R_2	1-5-4-3-1		[5+3+3+5]			16
Toplam Maliyet						37

Tablo 14. Rotalama çözümü ve maliyetler (TSP No 2)

TSP No	TSP Sıra					
2	3	7	4	6	5	2
Rota adı	Rota Dizilişi		Maliyet Oluşumu			Maliyet
R_1	1-3-7-4-2-1		[5+8+10+8+5]			36
R_2	1-6-5-1		[5+3+5]			13
Toplam Maliyet						49

Tablo 15. Rotalama çözümü ve maliyetler (TSP No 3)

TSP No	TSP Sıra					
3	2	4	7	5	6	3
Rota adı	Rota Dizilişi		Maliyet Oluşumu			Maliyet
R_1	1-2-4-7-3-1		[5+8+10+8+5]			36
R_2	1-5-6-1		[5+3+5]			13
Toplam Maliyet						49

Tablo 16. Rotalama çözümü ve maliyetler (TSP No 4)

TSP No	TSP Sıra					
4	3	5	4	6	2	7
Rota adı	Rota Dizilişi		Maliyet Oluşumu			Maliyet
R_1	1-3-5-4-2-1		[5+8+3+8+5]			29
R_2	1-6-7-1		[5+3+5]			13
Toplam Maliyet						42

Tablo 17. Rotalama çözümü ve maliyetler (TSP No 5)

TSP No	TSP Sıra					
5	6	4	5	7	3	2
Rota adı	Rota Dizilişi		Maliyet Oluşumu			Maliyet
R_1	1-6-4-5-1		[5+8+3+5]			21
R_2	1-7-3-2-1		[5+8+3+5]			21
Toplam Maliyet						42

Tablo 18. Rotalama çözümü ve maliyetler (TSP No 6)

TSP No	TSP Sıra					
6	5	7	6	4	2	3
Rota adı	Rota Dizilişi		Maliyet Oluşumu		Maliyet	
R_1	1-5-7-2-1		[5+8+3+5]		21	
R_2	1-6-4-3-1		[5+8+3+5]		21	
Toplam Maliyet					42	

Tablo 19. Rotalama çözümü ve maliyetler (TSP No 7)

TSP No	TSP Sıra					
7	6	2	7	5	3	4
Rota adı	Rota Dizilişi		Maliyet Oluşumu		Maliyet	
R_1	1-6-2-7-1		[5+8+3+5]		21	
R_2	1-5-3-4-1		[5+8+3+5]		21	
Toplam Maliyet					42	

En iyi çözümün belirlenmesi

Başlangıç çözümü KTA Çözüm yaklaşımına göre en düşük maliyetli çözüm 0 no'lu TSP dizilişinden elde edilmiştir. En iyi çözümün elde edildiği TSP dizilişi Tablo 20'de gösterilmiştir. Bu dizilişten elde edilen

araç rotalama çözümleri ise Tablo 20'de gösterilmektedir. ($R_1, [1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 1]$) ve ($R_2, [1 - 6 - 7 - 1]$) şeklinde iki rota elde edilmiştir ve sırasıyla bu rotalara ait maliyetler 19 ve 13 bulunmuş, toplam çözüm maliyeti 32 elde edilmiştir.

Tablo 20. En iyi rotalama çözümü ve maliyetler

[Talepler] - q_i	1	2	3	4	5	6
TSP No	TSP Sıra					
0	2	3	4	5	6	7
Rota adı	Rota Dizilişi		Maliyet Oluşumu		Maliyet	
R_1	1-2-3-4-5-1		[5+3+3+3+5]		19	
R_2	1-6-7-1		[5+3+5]		13	
Toplam Maliyet					32	

3. Sayısal Çözümler

Tur-kurucu (Yapısal) KTA algoritmasını test etmek için literatürde yaygın olarak kullanılan KARP test problemleri olarak A, B ve P grubu olmak üzere 74 adet problem seçilmiştir. Bu problemlere ait veriler Augerat vd. (1995)'ten elde edilmiştir.

Yapısal KTA algoritmasına ilişkin elde edilen çözümler herhangi bir ileri seviye algoritma için başlangıç çözümü olarak üretilebileceği düşüncesinden hareketle permütasyon kodlamalı GA için başlangıç popülasyonu olarak üretilmiştir. GA için çaprazlama olasılığı 0.9, mutasyon olasılığı 0.1 ve nesil sayısı 1000 alınmıştır. Her probleme göre başlangıç çözümlerine ilişkin boyut değişmiştir. Çünkü yapısal KTA algoritması düğüm sayısından 1 fazla çözüm üretmektedir. Bu nedenle her problemin düğüm sayısından bir fazla başlangıç popülasyonu büyüklüğü oluşmuştur.

Tablo 21'de A grubu problemler, Tablo 22'de B grubu problemler ve Tablo 23'te P grubu problemlerin yapısal KTA algoritması çözümleri ve GA çözümleri gösterilmiştir. Çözüm tablolarında problem türü için bilinen en iyi çözüm sonucu (BKS), önerilen yöntem ve genetik algoritma ile elde edilen çözüm sonuçları ve

bu sonuçların BKS'lerden yüzde sapma değerleri gösterilmiştir.

Tablo 21'de A grubu problem kümesi için sonuçlara baktığımızda tüm problemlerin çözümlerinin BKS değerlerinden sapmaların ortalaması, önerilen KTA için %37,95 iken, KTA ile elde edilen başlangıç rotalarının kullanıldığı genetik algoritma yöntemi uygulandığında ise ortalama sapma değeri %7.15'e kadar düşmektedir. Benzer şekilde B grubu problem kümesi için bu değerler sırasıyla %32.10 ve %4.37 ve C grubu problemler kümesi için bu %31.45 ve %6.33 olarak elde edilmiştir.

4. Sonuç ve Tartışma

KARP için başlangıç popülasyonu elde etmek amacıyla yapay fizik temeline dayalı bir eniyileme algoritmasının Augerat vd. (1995) tarafından geliştirilen A, B ve P grupları olmak üzere 74 test problemi üzerinde sırasıyla ortalama sapmaları %37.95, %32.10 ve %31.45 olarak elde edilmiştir.

Önerilen yöntem ile elde edilen başlangıç rotaları, sırasıyla 0.9 ve 0.1 olasılığına sahip tek nokta çaprazlama ve mutasyon içeren, 1000 nesil için 10 kez çalıştırılan bir permütasyon kodlamalı genetik algoritma için başlangıç popülasyonu olarak

alındığında grup ortalama sapma seviyeleri sırasıyla %7.15, %4.33 ve %6.33 olarak elde edilmiştir. Önerilen yapısal KTA algoritması ile başlangıç rotalarının oluşturulması sağlanmış ve elde edilen başlangıç çözümleri GA için girdi olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki başlangıç çözümlerinin sezgisellerde girdi olarak kullanılması, problemlerin çözüm verimliliği ve etkinliğini artırdığı yönündeki kanıyı güçlendirmektedir.

KARP ve diğer ARP türleri için aşağıdaki öneriler ileri sürülebilir: Önerilen yapısal algoritma, birçok başka algoritma için başlangıç çözümü olarak değerlendirilebilir. İleri yöntemlerle melez yöntemlerin geliştirilmesinde kullanılabilir. Önerilen yöntem evirilerek, ileri seviye hesaplama yaklaşımlarına dönüştürülebilir ve bu sayede daha etkin ve verimli çözümler elde edilebilir.

Tablo 21. A Grubu Test Problemleri için Çözümler

KARP Modeli		Tur Kurucu KTA			Genetik Algoritma (1000 Nesil)			
No	Adı	BKS	Çözüm	%Sapma	Çözüm	%Sapma	Zaman	İte No
1	A-n32-k5	784	1.021,50	-30,29	804,04	-2,56	80,38	2
2	A-n33-k5	661	969,34	-46,65	662,26	-0,19	83,68	10
3	A-n33-k6	742	1.021,60	-37,68	773,14	-4,20	94,61	8
4	A-n34-k5	778	1.016,10	-30,60	807,77	-3,83	85,58	10
5	A-n36-k5	799	1.032,80	-29,26	813,23	-1,78	90,63	5
6	A-n37-k5	669	942,26	-40,85	768,14	-14,82	92,88	9
7	A-n37-k6	949	1.133,90	-19,48	960,68	-1,23	104,82	2
8	A-n38-k5	730	913,16	-25,09	740,74	-1,47	96,05	8
9	A-n39-k5	822	1.212,30	-47,48	873,09	-6,21	98,66	2
10	A-n39-k6	831	1.266,50	-52,41	903,91	-8,77	110,76	5
11	A-n44-k6	937	1.295,80	-38,29	1011,68	-7,97	125,24	9
12	A-n45-k6	944	1.300,10	-37,72	1008,96	-6,88	128,46	7
13	A-n45-k7	1146	1.464,30	-27,77	1244,72	-8,61	142,65	3
14	A-n46-k7	914	1.331,50	-45,68	994,35	-8,79	146,04	9
15	A-n48-k7	1073	1.413,40	-31,72	1213,89	-13,13	152,34	6
16	A-n53-k7	1010	1.596,00	-58,02	1061,15	-5,06	206,02	10
17	A-n54-k7	1167	1.576,90	-35,12	1282,00	-9,85	209,32	10
18	A-n55-k9	1073	1.587,20	-47,92	1093,95	-1,95	234,20	5
19	A-n60-k9	1354	1.857,40	-37,18	1493,33	-10,29	265,41	10
20	A-n61-k9	1034	1.438,70	-39,14	1122,83	-8,59	268,51	10
21	A-n62-k8	1288	1.529,50	-18,75	1401,10	-8,78	251,95	7
22	A-n63-k9	1616	2.259,10	-39,80	1738,33	-7,57	287,25	4
23	A-n63-k10	1314	1.580,40	-20,27	1339,77	-1,96	288,30	5
24	A-n64-k9	1401	2.024,00	-44,47	1527,84	-8,98	274,03	4
25	A-n65-k9	1174	1.757,00	-49,66	1327,84	-12,82	278,85	10
26	A-n69-k9	1159	1.738,90	-50,03	1345,47	-15,19	308,21	2
27	A-n80-k10	1763	2.526,00	-43,28	1969,88	-11,67	387,23	2
		1041,93	1437,25	-37,95	1121,63	-7,15	181,19	

Tablo 22. B Grubu Test Problemleri için Çözümler

No	KARP Modeli		Tur Kurucu KTA		Genetik Algoritma (1000 Nesil)			Ite No
	Adı	BKS	Çözüm	%Değişim	Çözüm	%Değişim	Zaman	
1	B-n31-k5	672	763,84	-13,67	699,30	-4,06	75,08	4
2	B-n34-k5	788	1.022,70	-29,78	833,87	-5,82	82,90	10
3	B-n35-k5	955	1.166,00	-22,09	965,97	-1,15	85,22	1
4	B-n38-k6	805	974,89	-21,10	825,68	-2,57	104,05	4
5	B-n39-k5	549	734,06	-33,71	581,64	-5,94	95,29	4
6	B-n41-k6	829	1.006,00	-21,35	841,56	-1,52	112,98	8
7	B-n43-k6	742	854,68	-15,19	750,80	-1,19	119,09	9
8	B-n44-k7	909	1.109,40	-22,05	975,26	-7,29	136,94	7
9	B-n45-k5	751	848,77	-13,02	773,19	-2,95	112,74	7
10	B-n45-k6	678	878,40	-29,56	680,47	-0,36	126,52	2
11	B-n50-k7	741	1.065,10	-43,74	799,00	-7,83	157,03	3
12	B-n50-k8	1312	1.617,70	-23,30	1346,18	-2,61	173,38	4
13	B-n51-k7	1032	1.264,30	-22,51	1047,60	-1,51	161,04	5
14	B-n52-k7	747	1.209,30	-61,89	769,00	-2,95	163,91	4
15	B-n56-k7	707	1.063,90	-50,48	762,63	-7,87	178,11	6
16	B-n57-k7	1153	1.672,00	-45,01	1177,64	-2,14	189,06	8
17	B-n57-k9	1598	1.948,40	-21,93	1676,03	-4,88	249,59	5
18	B-n63-k10	1496	2.048,30	-36,92	1643,03	-9,83	300,75	5
19	B-n64-k9	861	1.201,60	-39,56	921,94	-7,08	279,54	7
20	B-n66-k9	1316	1.710,70	-29,99	1380,55	-0,48	284,76	6
21	B-n67-k10	1032	1.554,90	-50,67	1079,09	-4,56	318,17	9
22	B-n68-k9	1272	1.714,70	-34,80	1341,92	-5,50	301,73	9
23	B-n78-k10	1221	1.905,00	-56,02	1397,81	-10,41	340,87	1
		963,74	1275,42	-32,10	1011,75	-4,37	180,38	

Table 23. P Grubu Test Problemleri için Çözümler

No	KARP Modeli		Tur Kurucu KTA		Genetik Algoritma (1000 Nesil)			Ite No
	Adı	BKS	Çözüm	%Değişim	Çözüm	%Değişim	Zaman	
1	P-n16-k8	450	461,32	-2,52	451,34	-0,30	41,30	3
2	P-n19-k2	212	262,77	-23,95	212,66	-0,31	22,94	7
3	P-n20-k2	216	266,29	-23,28	217,42	-0,66	24,66	7
4	P-n21-k2	211	261,41	-23,89	219,09	-3,84	25,39	3
5	P-n22-k2	216	262,21	-21,39	217,87	-0,87	26,60	7
6	P-n22-k8	603	693,09	-14,94	595,81	1,19	58,96	6
7	P-n23-k8	529	579,62	-9,57	531,17	-0,41	61,66	1
8	P-n40-k5	458	525,80	-14,80	475,31	-3,78	79,63	3
9	P-n45-k5	510	688,95	-35,09	542,11	-6,30	91,80	5
10	P-n50-k7	554	813,93	-46,92	593,19	-7,07	129,46	10
11	P-n50-k8	631	814,03	-29,01	659,51	-4,52	141,89	9
12	P-n50-k10	696	958,15	-37,67	708,85	-1,85	168,79	8
13	P-n51-k10	741	961,51	-29,76	767,41	-3,56	169,65	4
14	P-n55-k7	568	850,60	-49,75	629,45	-10,82	140,85	3
15	P-n55-k8	588	805,67	-37,02	619,62	-5,38	140,47	4
16	P-n55-k10	694	865,45	-24,70	729,68	-5,14	181,95	2
17	P-n55-k15	989	1.262,80	-27,68	985,64	0,34	256,56	3
18	P-n60-k10	744	1.015,20	-36,45	820,50	-10,28	203,52	2
19	P-n60-k15	968	1.231,00	-27,17	1032,95	-6,71	360,50	8
20	P-n65-k10	792	1.140,90	-44,05	864,26	-9,12	280,13	10
21	P-n70-k10	827	1.019,20	-23,24	905,41	-9,48	306,09	8
22	P-n76-k4	593	952,07	-60,55	711,61	-20,00	181,50	2
23	P-n76-k5	627	929,96	-48,32	752,04	-19,94	204,16	6
24	P-n101-k4	681	1.110,40	-63,05	837,99	-23,05	261,78	7
		587,42	780,51	-31,45	628,37	-6,33	148,34	

Teşekkür

Bu çalışma, Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2013-BSP026 no'lu proje kapsamında desteklenmiştir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.
No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

A. Rushton, P. Croucher, P. Baker, 2006. The Handbook of Logistics and Distribution Management, 4rd ed., Kogan Page, London, UK.

Augerat, P., Belenguer, J., Benavent, E., Corber'an, A., Naddef, D., Rinaldi, G., 1995. Computational results with a branch and cut code for the capacitated vehicle routing problem. Tech. Rep. 949-M, Université Joseph Fourier, Grenoble, France.

Bellmore, M., Nemhauser G.L., 1966. The Travelling Salesman Problem: A Survey. Operations Research, 16(3), 538-558.

Clarke, G., Wright, J.W., 1964. Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. Operations Research, 12, 568-581.

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.

Dantzig, G.B., Ramser, J.H., 1959. The Truck Dispatching Problem. Management Science, 6, 80-91.

Gillett, B.E., Miller, L.R., 1971. A Heuristic Algorithm For the Vehicle Dispatch Problem. Operation Research, 22, 340-349.

Gorbenko A., Popov V., 2012. The Force Law Design of Artificial Physics Optimization for Robot Anticipation of Motion, Advanced Studies in Theoretical Physics, 6(13), 625-628.

Kumar S., Panneerselvam R., 2012. A Survey on the Vehicle Routing Problem and Its Variants. *Intelligent Information Management*, 4(3), 66-74.

Laporte, G., 1992. The Vehicle Routing Problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, 59, 345-358.

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

Spears W. M., Spears D. F., 1999. Using Artificial Physics to Control Agents, *IEEE International Conference on Information, Intelligence, and Systems*, 281-288.

Şahin Y., Eroğlu A., 2014. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi İçin Metasezgisel Yöntemler: Bilimsel Yazın Taraması, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 19(4), 337-355.

Tan K.C., 2001. A Framework of Supply Chain Management Literature. *European J. of Purchasing & Supply Management*, 7(1), 39-48.

Toth, P., Vigo, D. 2002. The Vehicle Routing Problem. *SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications*, SIAM, Philadelphia, USA, 1-26.

Xie L., Zeng J., 2010. The Performance Analysis of Artificial Physics Optimization Algorithm Driven by Different Virtual Forces, *ICIC Express Letters*, 4, 239-244.

Xie L., Zeng J., Cui Z., 2009a. On mass effects to artificial physics optimisation algorithm for global optimisation problems, *International Journal of Innovative Computing and Applications*, 2, 69-76.

Xie L., Zeng J., Cui Z., 2009b. General framework of Artificial Physics Optimization Algorithm. *2009 World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC)*, Coimbatore, 2009, 1321-1326.