

PAPER DETAILS

TITLE: Eszamanli Dagitimli Ve Toplamali Araç Rotalama Problemlerinin Çözümü İçin Bakteriyel
Besin Arama Optimizasyonu Tabanlı Bir Algoritma

AUTHORS: Seda HEZER, Yakup KARA

PAGES: 0-0

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/76291>

EŞZAMANLI DAĞITIMLI VE TOPLAMALI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN BAKTERİYEL BESİN ARAMA OPTİMİZASYONU TABANLI BİR ALGORİTMA

Seda HEZER^a, Yakup KARA^b

^{a,b} Selçuk Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Türkiye
sedahezer@gmail.com, ykara@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 09.08.2012; Kabul/Accepted: 07.03.2013)

ÖZET

Eşzamanlı Dağıtım ve Toplamalı Araç Rotalama Probleminde (EDT_ARP), her müşteri dağıtım talebi ile birlikte aynı zamanda toplama talebinde bulunmaktadır ve müşterilere eşzamanlı olarak hizmet verilmektedir. EDT_ARP çözümü oldukça zor kombinatoriyal optimizasyon problemidir. Bu nedenle son yıllarda yapılan çalışmalarda metasezgisel metotlar üzerinde odaklanıldığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada oldukça yeni bir metasezgisel algoritma olan Bakteriyel Besin Arama Optimizasyonu Algoritması (BBAOA) tabanlı bir sezgisel çözüm yaklaşımı geliştirilmiş ve performansı değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında EDT_ARP katedilen toplam mesafe minimize edilerek çözülmüş ve sonuçlar literatürde bilinen ekleme tabanlı sezgisel bir algoritma ile karşılaştırılmıştır. Önerilen BBAOA ile göz önünde bulundurulmuş, toplam 40 test probleminden 24'ünde karşılaştırma yapılan algoritmaya göre daha iyi sonuçlara ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Eşzamanlı Dağıtım ve Toplamalı Araç Rotalama Problemi, Bakteriyel Besin Arama Optimizasyonu Algoritması

SOLVING VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH SIMULTANEOUS DELIVERY AND PICK-UP USING AN ALGORITHM BASED ON BACTERIAL FORAGING OPTIMIZATION

ABSTRACT

In Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-up (VRP_SDP), each customer has both delivery and pick-up demand simultaneously. VRP_SDP is very difficult combinatorial optimization problem. For this reason, in recent years, it is observed studies focused on metaheuristic methods. In this study, a heuristic solution approach based on Bacterial Foraging Optimization Algorithm (BFOA) has been improved and its performance has been evaluated. In the scope of this study VRP_SDP has been solved in order to minimize the total distanced travelled and the results have been tested with the insertion based heuristic that is known in the literature. BFOA obtained good solutions about 24 problems of 40 test problems.

Keywords: Vehicle Routing Problem With Simultaneous Delivery And Pick-Up, Bacterial Foraging Optimization Algorithm

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dağıtım ve toplama faaliyetlerinde kullanılan araçların izleyeceği güzergâhların belirlenmesi, lojistik maliyetlerinin minimize edilmesi hususunda karşımıza çıkan en önemli problemidir [1]. Literatürde Araç Rotalama Problemi (ARP) olarak adlandırılan bu problemin [2] ürünün tüketiciden üreticiye akışını

ifade eden tersine lojistik kapsamında incelenen sınıfına dağıtım ve toplamalı araç rotalama problemi (DT_ARP) adı verilmektedir [3]. DT_ARP'de amaç klasik ARP'de olduğu gibi maliyeti minimize etmektir ve bu amaca yönelik olarak yapılan çalışmalarda amaç fonksiyonu genel olarak düğümler arasındaki taşıma maliyeti veya mesafe üzerine odaklıdır. DT_ARP, önce dağıtım sona toplama

ARP (ÖDST_ARP), karışık dağıtım ve toplamalı ARP (KDT_ARP) ve eş zamanlı dağıtım ve toplamalı ARP (EDT_ARP) olmak üzere üç şekilde sınıflandırılmaktadır. ÖDST_ARP ve KDT_ARP’de dağıtım ve toplama müşterileri farklı müşterilerdir. Fakat ÖDST_ARP’de dağıtım taleplerinin tamamının toplama taleplerinden önce yerine getirilmesi söz konusu iken; KDT_ARP’de iki hizmet noktası arasında öncelik ilişkisi bulunmamaktadır[1]. EDT_ARP’de dağıtım ve toplama müşterileri aynı müşteriler olup bu müşterilere eşzamanlı olarak hizmet verilmektedir. Müşterilere uğranıldığında dağıtılacak ürün bırakılıp toplanılacak ürün alınmaktadır[4]. Gıda sektöründe, içecek endüstrisinde boş şişelerin taşınması, otomotiv sektöründe yedek parçaların geri dönüşüm için fabrikalara geri gönderilmesi EDT_ARP’ye örnek olarak verilebilir [5,6].

EDT_ARP, NP-zor problemleri sınıfına girmektedir [7]. Bu nedenle EDT_ARP’nin çözümünde kesin metotlara kıyasla metasezgisel metotlar daha fazla uygulama alanı bulmaktadır. Tavlama Benzetimi (TB), Tabu Arama (TA), Genetik Algoritma (GA) ve Karınca Kolonisi Optimizasyonu (KKO) Algoritması EDT_ARP problemlerinin çözümünde kullanılan metasezgisellerdir.

Oldukça yeni bir sezgisel yaklaşım olan BBAOA, bu problemlerin çözümünde henüz kullanılmamıştır ve bu problemlerin çözümündeki başarısı hakkında literatürde herhangi bir bilgi mevcut değildir. Bu çalışmanın amacı, EDT_ARP’nin çözümü için oldukça yeni bir optimizasyon algoritması olan BBAOA tabanlı sezgisel bir çözüm yaklaşımının geliştirilmesi ve performansının değerlendirilmesidir. Bu amaç doğrultusunda, BBAOA tabanlı bir algoritma önerilmiş ve önerilen algoritmanın çözüm başarısı literatürde yaygın olarak kullanılan çok sayıda test problemi kullanılarak gerçekleştirilen deneyler ile değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında, temel kısıtlar ve varsayımları kapsayan EDT_ARP çözümü ele alınmıştır. Mesafe kısıtı, zaman kısıtı vb. kısıtları kapsayan EDT_ARP çalışma kapsamına alınmamıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde EDT_ARP ve BBAOA ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar incelenmiştir. Üçüncü bölümde BBAOA kapsamlı bir şekilde açıklanmıştır. Dördüncü bölümde en uygun BBAOA parametre seviyeleri ve deney sonuçları açıklanmış ve deney sonuçları değerlendirilmiştir. Son bölümde ise araştırma sonuçlarının genel bir değerlendirmesi yapılarak, gelecekte yapılabilecek çalışmalara yönelik öneriler sunulmuştur.

2. EDT_ARP’YE VE BBAOA’YA İLİŞKİN LİTERATÜR İNCELEMESİ (LITERATURE REVIEW OF THE VRP_SDP AND THE BFOA)

EDT_ARP ile ilgili ilk çalışma Min [8] tarafından bir depo, iki araç ve 22 müşteriden oluşan kütüphaneler arası kitap taşımacılığı problemi üzerinde yapılmıştır. Dethloff [6], en ucuz ekleme tabanlı sezgisel bir algoritma ve matematiksel bir model önermiştir. Müşterileri rotalara eklerken seyahat mesafesi, kalan kapasite ve depoya olan uzaklık olmak üzere üç kriter uygulamıştır. Çalışma, tersine lojistik kavramının EDT_ARP ile ilişkilendirildiği ilk çalışmadır. Crispim ve Brandao [9], TA ve Değişken Komşuluk Azalması metasezgisel metotlarını içeren, melez bir algoritma önermişlerdir ve çalışmaları EDT_ARP konusunda metasezgisel metot uygulanması bakımından yapılan ilk çalışmadır. Dell’Amico vd.[10], EDT_ARP’ye yönelik ilk kesin yaklaşımı uygulayarak dallandır ve fiyatlandır algoritmasını önermişlerdir. Montané ve Galvão [11], mesafe kısıtlı ilk matematiksel modeli ve TA tabanlı bir algoritma önermişlerdir. Bu çalışmalara ilaveten sezgisel ve metasezgisel metotların önerildiği çalışmalardan bazıları Chen ve Wu [1], Bianchessi and Righini [12], Wassan vd. [3], Gajpal ve Abad [13], Ai ve Kachitvichyanukul [4], Zachariadis vd. [7], Subramanian vd. [14] dir. EDT_ARP ile ilgili daha detaylı literatür incelemesi konusunda Subramanian vd.[14]’nın çalışması incelenebilir.

Mevcut EDT_ARP literatürü incelendiğinde BBAOA ile ilgili bir çalışmanın yapılmadığı gözlemlenmiştir. BBAOA ile ilgili mevcut literatür incelendiğinde bakterilerin zengin besin alanlarını arama yolunun optimizasyon süreci olarak değerlendirilebileceğini belirten ilk çalışma Bremermann [15]’a ait çalışmadır. Bakterilerin besin arama stratejilerini algoritma olarak ilk uygulayan ise Passino [16]’dir. Passino [16] çalışmasında bakterilerin besin arama davranışlarının biyolojik özelliklerini açıkladıktan sonra dağıtım optimizasyonu ve kontrolüne yönelik olarak BBAOA’yı uygulamıştır. BBAOA, bugüne kadar optimal kontrol (Kim ve Cho [17]), makine öğrenmesi (Kim ve Cho [18]), harmonik tahmin (Mishra [19]), tahmin (Majhi vd. [20]), iletim kaybının azaltılması (Tripathy vd. [21]), doğrusal olmayan sistemlerin tanımlanması (Majhi ve Panda [22]), çizelgeleme (Wu vd. [23]) gibi mühendislik problemlerinde başarıyla uygulanmıştır. BBAOA, diğer metasezgisel yaklaşımlar ile birleştirilerek de optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılmıştır. Kim vd. [24] GA ile BBAOA’yı, Biswas vd. [25] PSO ile BBAOA’yı, Biswas vd. [26] BBAOA ile diferansiyel evrim algoritmasını birleştirerek melez metotlar önermişlerdir.

3. BAKTERİYEL BESİN ARAMA OPTİMİZASYONU ALGORİTMASI (BACTERIAL FORAGING OPTIMIZATION ALGORITHM)

3.1. Algoritmanın Biyolojik Temelleri (The Biological Characteristics of the Algorithm)

BBAOA'nın temeli *Escherichia Coli* (E. Coli) bakterilerinin besin arama sürecine dayanmaktadır. BBAOA'da ilk adım, problemi algoritmaya uygun şekilde kodlamaktır. Sonrasında sürü bilgilerine göre bakterileri ayarlamak ve son olarak optimal çözümü aramaktır. BBAOA'nın bir optimizasyon döngüsü üç olaydan meydana gelir. Bunlar kemotaksis olayı, üreme olayı ve eliminasyon ve dağılma olayıdır. Bu üç olay aşağıda açıklanmıştır [16]:

Kemotaksis olayı (Chemotaxis event): E. Coli bakterileri kamçılarıyla hareket etmektedirler. Bakterinin besin arama sürecinde, kamçıların dönmesi bakterinin şu anki ortamının değerlendirilmesine göre olur ve sonrasında şu anki pozisyonun değiştirilip değiştirilmeyeceğine ve bazı parametreler ışığında (bir sonraki hareketin yönü ve adım uzunluğu) nasıl değiştirileceğine karar verilir. BBAOA'da yön değiştirmenin formülü şu şekildedir:

$$\theta^i(j+1, k, l) = \theta^i(j, k, l) + C(i)\phi(j) \quad (1)$$

Burada $\theta^i(j, k, l)$ i. bakterinin, şu anki pozisyonunu göstermektedir. j , k ve l , kemotaksis, üreme, eliminasyon ve dağılma olaylarının indislerini göstermektedir. $\phi(j)$ kamçı hareketine bağlı olan hareket yönünü ifade ederken, $C(i)$ adım uzunluğuna karşılık gelmektedir.

Üreme olayı (Reproduction event): Üreme olayı şu şekilde uygulanır: Popülasyondaki bakteri sayısı S ise, $S/2$ sayıda bakteri popülasyondan çıkarılır. Öncelikle her bir bakteri, konumlarındaki değerlendirme kriterine göre sıralanır. Sonrasında, sıralamanın son yarısındaki bakteriler popülasyondan çıkarılarak ilk yarısındakilerin her birinin aynı konumda yer alacak şekilde bir kopyası alınır.

Eliminasyon ve dağılma olayı (Elimination and dispersal event): Eliminasyon ve dağılma olasılığına (P_{ed}) bağlı olarak gerçekleştirilir. Belirli bir bakteri dağılma olayına maruz kalırsa, o bakteri yok edilir ve yeni bir bakteri üretilir.

BBAOA'nın temel adımları şu şekildedir [16]: **Adım 1:** Popülasyonu oluştur **Adım 2:** Bakterileri değerlendirme fonksiyonuna göre değerlendir **Adım 3:** Optimizasyon için üç döngü: *İç döngü:* Kemotaksis olayı, *Orta döngü:* Üreme olayı, *Dış döngü:* Eliminasyon ve dağılma olayı **Adım 4:** Son çözümü belirlemek için optimal bakterinin kodunu çöz. BBAOA ile ilgili daha detaylı bilgi konusunda Passino [16] çalışması incelenebilir. BBAOA'nın akış diyagramı Şekil 1'de verilmiştir [27].

3.2. Çözüm Kodlama Metodu (Solution Representation)

Her bir problem için, ilgili problemdeki müşteri sayısı adedince elemana sahip müşteri sıraları

oluşturulmuştur ve bir sıradaki her bir pozisyon müşteri numarası ile ifade edilmiştir. Her sıra bir bakterinin bulunduğu konumu ifade etmektedir. Her sıra öncelik ilişkilerini sağlamak şartı ile oluşturulmaktadır. İstenilen koşulların sağlanması ile her bir müşteri sırasından rota veya rotaların oluşturulmasıyla alternatif çözüm elde edilmektedir. Buna bağlı olarak, sıradaki her bir pozisyona karşılık, ilgili pozisyondaki müşterinin atandığı rota bilgisi de hafızada tutulmaktadır. Şekil 2.a'da, 10 müşterili bir problem için kodlanmış bir çözüm verilmiştir. Her bir pozisyondaki rakam müşteri numarasını ifade etmektedir. Oluşturulan müşteri sırasına göre problem gerekli kısıtları sağlayacak şekilde çözülmekte, müşteriler rotalara atanmaktadır. Şekil 2.b'de, Şekil 2.a'da gösterilen kodun çözümünü oluşturan müşterilerin rotalara atanma bilgileri verilmiştir ve her bir pozisyon için ilk kısım müşteri numarasını, ikinci kısım ise bu müşterinin atandığı rotayı göstermektedir. Şekil 2.c'de ise Şekil 2.b'de verilen bilgilere göre deponun da müşteri sırasına eklenmesi ile oluşan alternatif çözüm verilmiştir.

Örneğin, Şekil 2.a'da beşinci hücrede bulunan 9 numaralı müşteri atama sonucu 1 numaralı rotaya atanmış, bu da Şekil 2.b'de beşinci hücrede "9-1" şeklinde gösterilmiştir. Şekil 2.c'de ise deponun müşteri sırasına eklenmesi ile 9 numaralı müşteri 1 numaralı rotada oluşturulan müşteri sırasında yer almaktadır. Şekil 2.c'de Şekil 2.b'deki müşterilerin rotaya atanma bilgilerine göre oluşturulan rotalara depolar eklenerek Eşitlik 2'de verilen formüle göre katedilen mesafe hesaplanmaktadır.

$$J = \sum_{a=0}^n c_{ab} \quad (2)$$

Bu ifadedeki J ; çözümün katedilen toplam mesafesini (amaç fonksiyonu değeri), n ; müşteri sayısını, c_{ab} ; a ve b düğümleri arasındaki mesafeyi ifade etmektedir. a ve b düğümleri Şekil 2.c'de verilen örnekte 1. rotayı oluşturan 0 ve 3, 3 ve 2 gibi birbiri ardına gelen düğümleri (müşterileri) ifade etmektedirler. Algoritmada çözüm iyileştiği sürece ilgili çözümde birbiri ardına gelen müşteri çiftleri için, satır ve sütunlarında düğümler bulunan ve hafıza tablosu adı verilen bir tabloda, ilgili müşteri çiftine karşılık gelen değer 1 artırılır. Bu durumda ilgili tablodaki veriler eliminasyon ve dağılma işleminde kullanılarak en uygun çözüme ulaşma olasılığı yükseltilmektedir.

3.3. Başlangıç Çözümü (The Initial Solution)

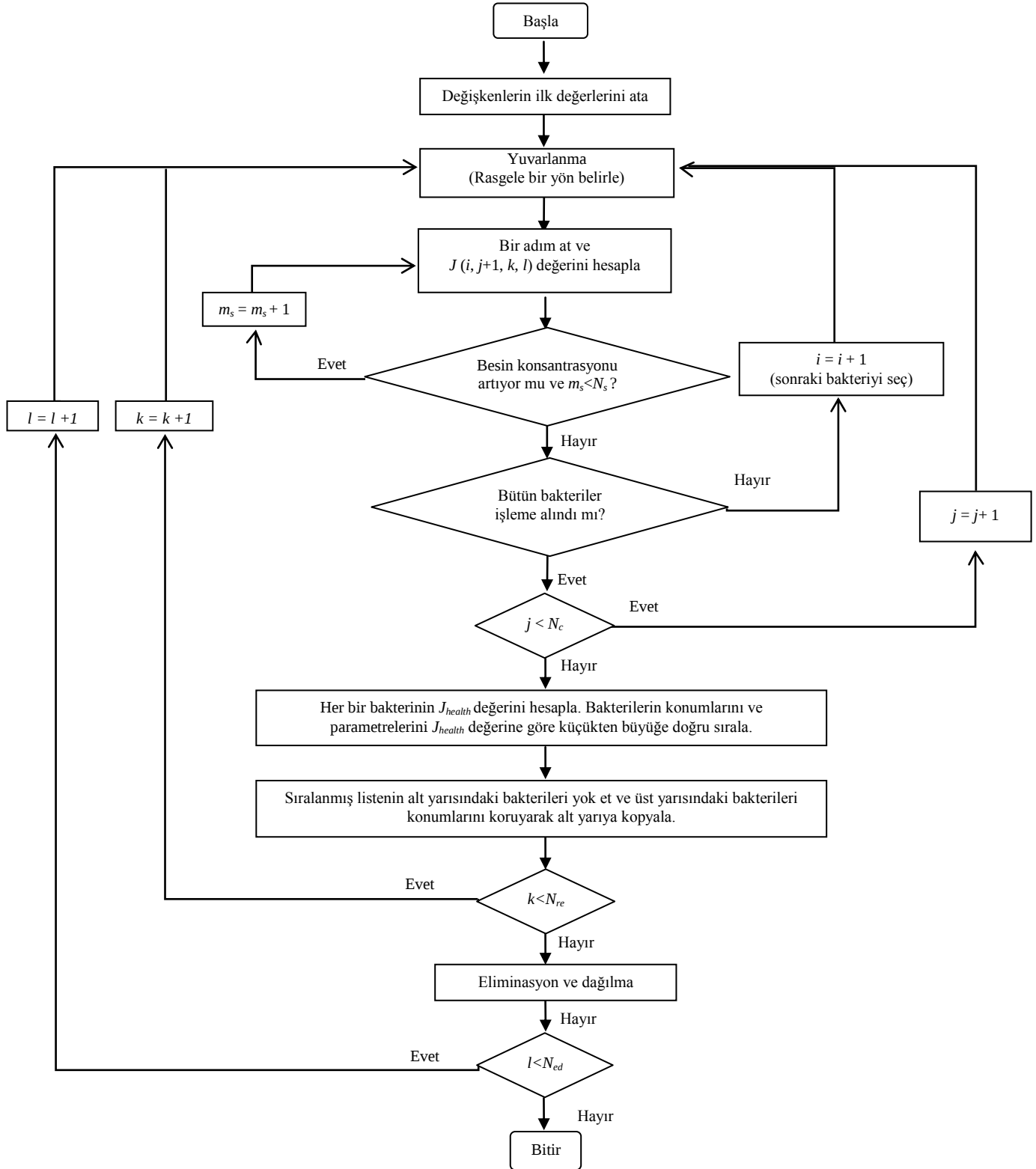
Önerilen BBAOA'da başlangıç çözümleri için literatürde bilinen başlangıç çözümü metotlarından En Yakın Komşuluk (EYK) metodu kullanılmıştır [13]. Bu çalışmada klasik EYK'den farklı olarak başlangıç müşterileri rasgele seçilmemektedir. Her bir bakteriyi temsil eden müşteri sırasının başına, ilgili

problemdaki her bir müşteri ayrı ayrı atanarak diğer müşteriler için EYK metodu uygulanmıştır.

3.4. Kemotaksis (Chemotaxis)

Bakteriler kemotaksis döngüsüne başlangıç konumları ve bu konumlarının çözümü ile elde edilen amaç

fonksiyonu (J) değerleri ile başlamaktadırlar. Orijinal BBAOA'da $[-1, +1]$ aralığında rassal olarak belirlenen bakteri yönü ($\phi(j)$), problemin yapısından dolayı $\{-1, 0, +1\}$ kesikli değerler kümesinden her pozisyon için rassal olarak seçilen değerlere göre belirlenmektedir.



Şekil 1. BBAOA'nın akış diyagramı (Flowchart of the BFAOA) [27]

3	2	1	4	9	10	8	5	7	6
a) Kodlanmış çözüm (Encoded Solution)									
3-1	2-1	1-1	4-1	9-1	10-2	8-2	5-2	7-2	6-2
b) Kodlanmış çözümü oluşturan müşterilerin rotaya atanma bilgileri									
(The Information About Customer Assignments to Routes)									
1.Rota: 0-3-2-1-4-9-0					2.Rota: 0-10-8-5-7-6-0				
c) Kodun Çözümü (Solution of the Code)									

Şekil 2. Örnek kodlanmış çözüm ve ilgili kodun çözümü
(An Example of Encoded Solution and the Solution of the Code)

“-1” ilgili müşterinin belirlenen adım uzunluğu (C) değeri kadar ilgili çözümde kendisinden önce gelen müşteri ile yer değiştirmesini, “0” ilgili müşterinin aynı konumda kalmasını, “+1” ise müşterinin (C) değeri kadar kendisinden sonra gelen müşteri ile yer değiştirmesini ifade etmektedir. Bakteriye temsil eden müşteri sırası eşit uzunlukta beş parçaya bölünmekte, daha önce belirlenmiş olan bakteri yönü bu parçalardan rassal olarak seçilen bir parçaya uygulanmaktadır. Belirlenen yöne bağlı olarak ilgili müşterilerin pozisyonu değiştirilmektedir. Böylece bakteri belirlenen yönde adım uzunluğu kadar ilerlemiş olup çözümün iyileşmesi durumunda aynı yönde ilerlemeye devam etmektedir ve her adımda J mesafe fonksiyonu değeri atılan adıma karşılık gelen çözüm değerini almaktadır. Daha iyi bir çözüm elde edilmesi durumunda ilgili bakterideki müşteri sırasına göre hafıza tablosundaki ilgili müşteri çiftine karşılık gelen değer 1 birim artırılmaktadır. Bu durum, ilgili bakteri iyileşmeyinceye veya maksimum yüzme adım sayısı sınırına (N_s) ulaşıncaya kadar tekrarlanmaktadır. Bu iki kriterden birinin sağlanması ilgili bakterinin bir kemotaktik adımının sona ermesi anlamına gelmektedir. Kemotaktik adım sonlandığında bakteriye atanan J mesafe fonksiyonu değeri ilgili bakterinin elde ettiği en iyi değerdir ve her kemotaktik adım sonunda bakterinin elde ettiği J değerleri üreme işleminde kullanılmak üzere saklanır.

Belirlenen kemotaktik adım sayısı (N_c) tamamlanıncaya kadar her bir kemotaktik adım bütün bakteriler için tekrarlanmaktadır. Bakteriye temsil eden müşteri sırasının eşit uzunlukta beş parçaya bölünmesinin nedeni üç ve dört parçaya bölünmesine göre elde edilen sonuçlardan daha iyi sonuçların elde edilmesidir.

3.5. Üreme (Reproduction)

Önerilen BBAOA’da *kopyalama* (K), *ters çevirme* (TC) ve *çaprazlama* ($Ç$) olarak adlandırılan üç alternatif üreme metodu (Reproduction Method, RM) kullanılmıştır.

Kopyalama metodunda orijinal BBAOA’da olduğu gibi, her bakterinin kemotaksis işleminde meydana gelen her bir kemotaktik adım sonunda elde ettiği amaç fonksiyonu değerleri toplanmaktadır ve ilgili değer J_{health} olarak ifade edilmektedir. Popülasyonu oluşturan bütün bakteriler için aynı işlem gerçekleştirildikten sonra bakteriler J_{health} değerine göre sıralanarak, sıralamanın kötü yarısı popülasyondan atılarak, iyi yarısı kopyalanmaktadır.

Ters çevirme metodunda, ilk olarak kopyalama metodunda olduğu gibi bakteriler yaşam süreleri boyunca elde ettikleri amaç fonksiyonu değerleri toplamalarına (J_{health}) göre sıralanarak kötü yarısı popülasyondan çıkarılmaktadır. Çıkan bakterilerin yerine gelecek şekilde, popülasyonun iyi yarısındaki her bir bakterinin müşterilerden oluşan çözüm sıraları sondan başa doğru sıralanarak gerekli kısıtlar göz önünde bulundurulmak üzere yeni bakteriler elde edilmektedir.

Çaprazlama metodunda ise öncelikle kopyalama işlemi gerçekleştirilmekte daha sonra popülasyonun ilk yarısından, amaç fonksiyonu değerlerine göre rulet çemberi metoduyla seçilmiş iki bakteri çaprazlanmaktadır. Çaprazlama sonucu elde edilen yeni bakteriler çaprazlamaya giren bakterilerin, popülasyonun ikinci yarısındaki kopyalarının yerine geçirilmektedir. Bu işlem, bakteri sayısının yarısı kadar tekrar edilmektedir.

Önerilen BBAOA’da GA’da yaygın olarak kullanılan iki noktalı çaprazlama [28] metodu kullanılmıştır.

3.6. Eliminasyon ve Dağılma (Elimination and Dispersal)

Eliminasyon ve dağılma işleminde, her bir bakteri için (0-1) aralığında rassal bir sayı geliştirilmekte ve bu sayı daha önceden belirlenen P_{ed} ’den küçükse, bakteri eliminasyona uğratılmaktadır. Eliminasyona uğrayan bir bakteri için, hafıza tablosuna gidilerek hafıza değerleri yüksek olan düğüm çiftleri birleştirilerek yeni bir müşteri sırası bir başka ifadeyle yeni bir bakteri oluşturulmaktadır ve en uygun bakteriye

ulaşma olasılığı yükseltilmeye çalışılmaktadır. Tablo 1’de önerilen BBAOA’da kullanılan hafıza tablosuna ilişkin bir örnek verilerek, ilgili tabloya göre çözümün nasıl elde edildiği açıklanmıştır. İlgili tablonun oluşturulması için izlenen metot KKO’da karıncaların feromonun daha yoğun olduğu yerleri öncelikli olarak tercih etmesi özelliğinden yararlanılarak oluşturulmuştur.

Tablo 1. Hafıza tablosu (Memory table)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	20	8	6	15	19	24	14	10	11	5
1	10	0	19	45	1	0	7	11	37	2	0
2	4	37	0	28	2	11	0	0	15	33	2
3	13	14	52	0	12	3	7	3	15	11	12
4	46	2	1	3	0	33	29	8	3	1	6
5	6	3	5	0	42	0	4	0	0	24	48
6	28	5	3	7	36	1	0	43	9	0	0
7	6	15	1	12	3	2	50	0	43	0	0
8	1	30	6	29	0	1	11	53	0	1	0
9	15	5	26	2	3	12	0	0	0	0	69
10	3	1	11	0	18	50	0	0	0	49	0

Tablo 1 incelendiğinde hafıza tablosu depo ile başlamakta ve 10. müşteri ile sonlanmaktadır. Müşterilerin daha önce atanmamış olması göz önünde bulundurularak her satırda en büyük değeri alan müşteri çiftleri birleştirilerek yeni müşteri sıraları oluşturulmaktadır. Her bir müşteri çiftine karşılık gelen değerlere bakılmaya 0 (depo)’ın olduğu satırdan başlanır. Tablo 1’de verilen hafıza tablosunda ilgili satırda 0-6 düğüm çifti en büyük değeri (24) almıştır. Buna bağlı olarak depodan sonra 6. müşteri eklenerek rotalar oluşturulmaya başlanır. Bu işlemin ardından 6. müşterinin olduğu satıra bakılır. Bu satırda ise 6-7 müşteri çifti en büyük değeri almıştır ve rotaya 6. müşteriden sonra 7. müşteri eklenir. Bu işlem atanmayan müşteri kalmayıncaya kadar sürdürülür. Tablo 1’de dikkate alınan değerler koyu renkle belirtilmiştir. Hafıza tablosuna göre oluşan çözüme ilişkin müşteri sırası: 6-7-8-1-3-2-9-10-5-4 şeklinde olacaktır.

Eliminasyon ve dağılmaya uğrayan bakteriler aynı hafıza tablosunu kullandıkları için aynı özellikleri taşımaktadırlar. Bir başka ifadeyle aynı çözüm sırasında kodlanmışlardır.

4. DENEY TASARIMI (EXPERIMENTAL DESIGN)

Önerilen BBAOA’nın etkinliğini araştırmak amacıyla Dethloff [6] tarafından EDT_AMP için oluşturulan veri setinden faydalanılmıştır. Bu veri setindeki test problemlerinin tamamı 50 müşteriden oluşmaktadır. Bu müşterilerin test yüzeyi üzerinde yerleştirilmesinde SCA ve CON tipi olmak üzere [6] iki coğrafik senaryo kullanılmıştır. Her bir yerleşim senaryosu için 10 adet, her büyüklük için ise 2 farklı araç kapasitesi ($\mu=3$ ve 8) olmak üzere toplamda 40 test problemi kullanılmıştır.

Önerilen algoritma için en uygun parametre seviyelerinin belirlenmesi ve alternatif üreme metotlarının amaç fonksiyonu üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla bir deney tasarımı gerçekleştirilmiştir. Algoritmanın parametreleri ve deneylerde test edilen seviyeleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Test edilen parametre seviyeleri (Levels of the tested parameters)

Parametre	Seviyeler
S	50, 100, 150
N_{ed}	1, 2, 3
N_{re}	1, 2, 3
N_c	50, 100, 150
$\bar{UM}$	K, TÇ, Ç

Bütün çözümlerde $N_s = 100$, $C = 1$ ve $P_{ed} = \%10$ olarak alınmıştır. Seçilen test problemi Tablo 2’de verilen parametre seviyeleri ve üreme metotlarının tüm kombinasyonları için üçer defa (üç tekrar) çözülmüştür. Bu durumda, $3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 = 729$ çözüm elde edilmiştir. Araştırma kapsamında önerilen BBAOA, Visual Basic 6.0 programında kodlanmış ve test problemleri Intel Core 2 Duo E7600 3,06 GHz işlemci, 3 Gb RAM’e sahip bir bilgisayarda çözülmüştür.

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA (COMPUTATIONAL RESULTS AND DISCUSSIONS)

5.1. En Uygun Parametre Seviyeleri (The Best Feasible Levels of the Parameters)

Önerilen BBAOA için etkin parametre seviyelerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen tam faktöriyel denemeler sonucunda elde edilen sonuçlar Çok Yönlü Varyans Analizine tabi tutulmuştur. Çözüm kalitesi üzerinde anlamlı düzeyde etkili olduğu tespit edilen parametreler için ise Duncan gruplandırma testleri gerçekleştirilmiştir. Tam faktöriyel denemeler sonucunda elde edilen amaç fonksiyonu değerlerine ilişkin Varyans Analizi sonuçları Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3’e göre Varyans analizi sonuçları incelendiğinde, deneylerde dikkate alınan tüm BBAOA parametrelerinin amaç fonksiyonu üzerinde etkili olduğu görülmektedir ($p < 0,05$). Parametreler arası etkileşimler ise istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda S, N_c , N_{re} , N_{ed} , $\bar{UM}$ grupları arası farklılıkları incelemek amacıyla Duncan testi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4’e göre, S, N_c , N_{re} , N_{ed} değerlerindeki artışa paralel olarak amaç fonksiyonu değerleri azalmıştır. Her bir S, N_c , N_{re} , N_{ed} seviyesi için ortalama amaç fonksiyonu değeri diğer seviyelerden istatistiksel

olarak anlamlı düzeyde farklıdır. Tablo 4'deki sonuçlara göre, en düşük amaç fonksiyonu değerleri S , N_c , N_{re} , N_{ed} değerlerinin sırasıyla 150,150, 3 ve 3 olarak seçildiği durumlarda elde edilmiştir. Tablo 4'e göre üç farklı üreme metodu ile elde edilen amaç fonksiyonu değerlerinin ortalamalarının istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklı olduğu görülmektedir. Buna göre, çaprazlama yapılarak üreme gerçekleştirilmesi durumunda elde edilen amaç fonksiyonu değerlerinin ortalaması diğer iki üreme metoduna göre anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur.

Varyans analizi ve Duncan testi sonuçları doğrultusunda, deney problemlerinin çözümünde kullanılması en uygun parametre seviyelerinin sırasıyla $S = 150$, $N_c = 150$, $N_{re} = 3$ ve $N_{ed} = 3$ olduğu ve üreme metodu olarak çaprazlamanın kullanılması gerektiği söylenebilir.

5.2. Deney Sonuçları ve Tartışma (Experimental Results and Discussions)

Belirlenen en uygun parametre seviyesi kombinasyonu ve üreme metodu olarak çaprazlama kullanılarak tüm test problemleri üçer defa çözülmüş ve elde edilen sonuçlar Dethloff [6] sonuçları ile karşılaştırılmıştır. BBAOA ile elde edilen sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir. Tablo 5 incelendiğinde boş kapasiteleri dikkate alan RC'nin ve depoya uzakta

olan bir noktanın rotaya eklenmesinin ödüllendirilmesini dikkate alan RS'nin ekleme kriterlerinin rota uzunluğunu en az arttıran noktanın rotaya eklenmesini sağlayan TD'ye göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Bunun nedeni TD'de ekleme yapılırken, sonraki eklemeler düşünülerek aracın boş kapasitesinin dikkate alınmaması ve depoya uzak mesafeli noktaların sonradan eklenmesinden dolayı kat edilmek zorunda kalınan fazla mesafenin engellenememesidir[29]. Üç kriterin zayıf yönlerini engelleyen RCRS'nin ise hepsinden daha iyi sonuçlara ulaştığı görülmektedir. Önerilen BBAOA ile TD ve RC ile elde edilen sonuçların tamamında, RS'den elde edilen sonuçlara göre 40 adet test probleminin 26'sında ve RCRS'de 24'ünde daha iyi çözümlerin elde edildiği görülmektedir.

Önerilen BBAOA'nın araç kapasitesinin küçük olduğu SCA_8 ve CON_8 veri setlerinde SCA_3 ve CON_3 veri setlerinden elde edilen çözümlere göre daha iyi çözümlere ulaştığı görülmektedir. SCA_3 ve CON_3'de çözümlerde %25 iyileştirme sağlanırken, SCA_8 ve CON_8'de ise %95 oranında çözümlerde iyileştirme olduğu gözlemlenmiştir. ARP ve farklı sınıflarına ilişkin yapılan literatür incelemesinde BBAOA'ya yönelik yapılmış bir çalışma ile karşılaşılmamıştır. Bu duruma bağlı olarak yeni bir metod olmasına rağmen BBAOA ile elde edilen sonuçların oldukça başarılı olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Varyans analizi sonuçları (The results of Variance analyze)

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	s.d.	Kareler Ortalaması	F	p	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	s.d.	Kareler Ortalaması	F	p
Sabit	411105928,4	1	411105928,4	3666755,2	,000	$N_{re} * S * N_c * N_{ed}$	1083,0	16	67,7	,6	,882
N_{re}	25575,3	2	12787,6	114,0	,000	$N_{re} * \bar{U}M$	972,0	4	243,0	2,2	,072
S	8140,0	2	4070,0	36,3	,000	$S * \bar{U}M$	521,7	4	130,4	1,2	,326
N_c	9508,8	2	4754,4	42,4	,000	$N_{re} * S * \bar{U}M$	954,9	8	119,4	1,1	,387
N_{ed}	6487,2	2	3243,6	28,9	,000	$N_c * \bar{U}M$	480,9	4	120,2	1,1	,369
$\bar{U}M$	12732,9	2	6366,4	56,8	,000	$N_{re} * N_c * \bar{U}M$	1044,9	8	130,6	1,2	,319
$N_{re} * S$	419,0	4	104,8	,9	,444	$S * N_c * \bar{U}M$	985,1	8	123,1	1,1	,363
$N_{re} * N_c$	547,5	4	136,9	1,2	,301	$N_{re} * S * N_c * \bar{U}M$	1485,4	16	92,8	,8	,654
$S * N_c$	739,5	4	184,9	1,6	,161	$N_{ed} * \bar{U}M$	391,5	4	97,9	,9	,480
$N_{re} * S * N_c$	217,1	8	27,1	,2	,983	$N_{re} * N_{ed} * \bar{U}M$	1875,9	8	234,5	2,0	,035
$N_{re} * N_{ed}$	133,5	4	33,4	,3	,880	$S * N_{ed} * \bar{U}M$	1206,9	8	150,9	1,3	,219
$S * N_{ed}$	513,8	4	128,4	1,1	,334	$N_{re} * S * N_{ed} * \bar{U}M$	2602,7	16	162,7	1,4	,114
$N_{re} * S * N_{ed}$	245,9	8	30,7	,3	,974	$N_c * N_{ed} * \bar{U}M$	1144,1	8	143,0	1,3	,254
$N_c * N_{ed}$	582,6	4	145,6	1,3	,269	$N_{re} * N_c * N_{ed} * \bar{U}M$	2015,7	16	125,9	1,1	,329
$N_{re} * N_c * N_{ed}$	574,8	8	71,8	,6	,743	$S * N_c * N_{ed} * \bar{U}M$	2158,3	16	134,9	1,2	,261
$S * N_c * N_{ed}$	332,2	8	41,5	,4	,936	$N_{re} * S * N_c * N_{ed}$	2079,7	32	64,9	,6	,970
						Hata	54488,9	486	112,2		
						Toplam Hata	41124817	729			

Tablo 4. S , N_c , N_{re} , N_{ed} , $\bar{U}M$ değerleri için Duncan testi sonuçları (The results of Duncan tests for values of S , N_c , N_{re} , N_{ed} , RM)

S	N	Alt grup			N_c	N	Alt grup			N_{re}	N	Alt grup		
		1	2	3			1	2	3			1	2	3
150	243	746,9			150	243	746,8			3	243	744,2		
100	243		750,8		100	243		750,4		2	243		750,1	
50	243			755,1	50	243			755,6	1	243			758,6
p		1,0	1,0	1,0	p		1,0	1,0	1,0	p		1,0	1,0	1,0

N_{ed}	N	Alt grup			$\bar{U}M$	N	Alt grup		
		1	2	3			1	2	3
3	243	747,8			$\bar{C}$	243	746,6		
2	243		750,1		$\bar{K}$	243		749,6	
1	243			754,9	$\bar{T\bar{C}}$	243			756,6
p		1,0	1,0	1,0	p		1,0	1,0	1,0

Tablo 5. Önerilen BBAOA ve Dethloff [6]’a ilişkin test sonuçları (Results of the proposed BFOA and the Dethloff [6])

Test Problemi	Dethloff (2001) Sonuçları				Önerilen BBAOA Sonucu	Test Problemi	Dethloff (2001) Sonuçları				Önerilen BBAOA Sonucu
	TD	RC	RS	RCRS			TD	RC	RS	RCRS	
SCA3-0	830,8	752,5	689,0	689,0	691,8	CON3-0	787,9	755,4	690,2	672,4	682,9
SCA3-1	906,3	830,9	785,9	765,6	812,4	CON3-1	698,2	680,4	590,7	570,6	624,2
SCA3-2	834,2	794,0	742,8	742,8	750,5	CON3-2	707,4	675,0	550,3	534,8	547,8
SCA3-3	958,2	894,5	753,4	737,2	757,2	CON3-3	745,4	738,8	658,1	656,9	654,2
SCA3-4	867,4	867,4	752,0	747,1	756,2	CON3-4	743,5	702,3	640,2	640,2	651,7
SCA3-5	929,7	902,4	805,5	784,4	723,8	CON3-5	748,3	723,2	604,7	604,7	610,2
SCA3-6	809,4	769,3	720,4	720,4	742,5	CON3-6	666,4	622,7	535,9	521,3	558,5
SCA3-7	878,0	809,1	739,5	707,9	802,2	CON3-7	824,3	801,4	607,6	602,8	665,2
SCA3-8	981,9	933,1	840,4	807,2	759,4	CON3-8	682,8	657,6	562,6	556,2	556,7
SCA3-9	882,2	852,9	773,7	764,1	741,9	CON3-9	776,1	737,3	636,5	612,8	626,5
SCA8-0	1227,6	1227,6	1137,2	1132,9	1021,1	CON8-0	1196,9	1086,9	967,3	967,3	910,5
SCA8-1	1370,9	1284,6	1197,3	1150,9	1156,1	CON8-1	956,4	956,4	837,0	828,7	800,6
SCA8-2	1213,9	1213,9	1100,8	1100,8	1075,3	CON8-2	941,0	941,0	791,1	770,2	727,3
SCA8-3	1347,8	1320,6	1115,6	1115,6	1069,3	CON8-3	1094,9	1061,0	906,7	906,7	856,9
SCA8-4	1392,7	1295,8	1235,4	1235,4	1146,3	CON8-4	1033,8	1001,5	876,8	876,8	794,6
SCA8-5	1377,6	1354,4	1231,6	1231,6	1097,51	CON8-5	1081,8	1081,8	925,9	866,9	786,7
SCA8-6	1176,7	1176,7	1089,0	1062,5	1030,4	CON8-6	983,1	983,1	783,0	749,1	707,2
SCA8-7	1371,2	1357,6	1257,5	1217,4	1122,9	CON8-7	1150,8	1098,8	929,8	929,8	868,5
SCA8-8	1430,4	1430,4	1239,4	1231,6	1103,7	CON8-8	1054,9	1011,2	891,2	833,1	803,4
SCA8-9	1432,8	1316,0	1185,6	1185,6	1132,8	CON8-9	1038,4	1038,4	918,5	877,3	847,6

6. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND FURTHER STUDY)

Bu çalışmada tersine lojistikte yaşanan rotalama sorunlarına cevap veren EDT_ARP tanımlanmış ve bu problemin çözülebilmesi için yeni bir metasezgisel algoritma önerilmiştir. Önerilen algoritma E.coli bakterisinin besin arama davranışlarından esinlenilerek geliştirilen popülasyon tabanlı BBAOA’dır. Önerilen algoritma ile Dethloff [6] veri seti kullanılarak Dethloff [6]’in önerdiği “RCRS” sezgiseli ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar BBAOA ile 40 problemde 24 problemde daha iyi çözümlere ulaşıldığını göstermektedir. EDT_ARP konusunda BBAOA’nın uygulandığı bir çalışma ile karşılaştırılması nedeniyle çalışmada hedeflenen

BBAOA’nın çalışma prensibi ve performans kriterlerinin sonucu nasıl etkilediğini ortaya koymak ve gelecekte bu konuda yapılacak çalışmalar için bir başlangıç teşkil etmektir. Ancak BBAOA sezgisel bir yapıya sahip olduğu için çalışma sırasında örnek probleme bağlı olarak bazı zayıf yönlerinin olduğu sonucuna varılmıştır. BBAOA sürekli optimizasyon problemleri için geliştirilmiştir ve bu nedenle kesikli yapıda olan ARP’ye uygulanma aşamasında bazı düzenlemeler yapılmıştır. Örneğin, orijinal BBAOA’da $[-1, +1]$ aralığında rassal olarak belirlenen bakteri yönü problemin yapısından dolayı $\{-1, 0, +1\}$ kesikli değerler kümesinden her pozisyon için rassal olarak seçilen değerlere göre belirlenmiştir. Yine her müşteri sırası beş parçaya bölünerek bakterinin yön değişim süreci güncellenmiştir.

Yapılan ilgili değişikliklerle BBAOA ile elde edilen çözümlerle en iyi çözümler geçilememiş olsa da kabul edilebilir bir süre içerisinde, tatmin edici sonuçlara ulaşılmıştır ve algoritma umut vericidir. İleriye dönük olarak yapılacak çalışmalarda, tez çalışmasında sunulan BBAOA ile yerel arama ve diğer metasezgisel metotlar birleştirilerek algoritmanın performansı ve etkinliği artırılabilir. Kemotaksis sürecinde başlangıç çözümlerinde yapılacak iyileştirmelerle algoritmanın daha hızlı çalışması sağlanabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Chen, J. F., Wu, T. H., "Vehicle routing problem with simultaneous deliveries and pickups", **Journal of the Operational Research Society**, Cilt 57, 579–587, 2006.
2. Toth, P., Vigo, D., **The vehicle routing problem**, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, 2002.
3. Wassan, N. A., Wassan, A. H., Nagy, G., "A reactive tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pickups and deliveries", **J Comb Optim.**, Cilt 15, 368–386, 2008.
4. Ai, J., Kachitvichyanukul, V., "A particle swarm optimization for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery", **Computers & Operations Research**, Cilt 36, No 5, 1693- 1702, 2009.
5. Altıparmak, F., Dengiz, B., Kara, İ., Karaoğlu İ., "Eş zamanlı topla-dağıt araç rotalama problemi için yeni matematiksel formülasyonlar". **YA/EM 2008-Yöneyem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği XXVIII. Ulusal Kongresi Bildiri Özetleri Kitabı**, Galatasaray Üniversitesi, İstanbul, Sayfa No. 130, 30 Haziran - 2 Temmuz 2008.
6. Dethloff, J., "Vehicle routing and reverse logistics: The vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up", **OR Spektrum**, Cilt 23, 79–96, 2001.
7. Zachariadis, E. E., Tarantilis, C. D., Kiranoudis, C. T., "A hybrid metaheuristic algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up service", **Expert Systems with Applications**, Cilt 36, No 2, 1070–1081, 2009.
8. Min, H., "The multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up points", **Transportation Research**, Cilt 23, No 5, 377–386, 1989.
9. Crispim, J., Brandao, J., "Metaheuristics applied to mixed and simultaneous extensions of vehicle routing problems with backhauls", **Journal of the Operational Research Society**, Cilt 56, 1296–1302, 2005.
10. Dell'Amico, M., Righini, G., Salani, M., "A branch-and-price approach to the vehicle routing problem with simultaneous distribution and collection", **Transportation Science**, Cilt 40: 2, 235–247, 2006.
11. Montané, T. F., Galvão, R. D., "A tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery service", **Computers & Operations Research**, Cilt 33, No 3, 595–619, 2006.
12. Bianchessi, N., Righini, G., "Heuristic algorithms for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery", **Computers & Operations Research**, Cilt 34, No 2, 578–594, 2007.
13. Gajpal, Y., Abad, P., "An ant colony system (ACS) for vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup", **Computers & Operations Research**, Cilt 36, No 12, 3215–3223, 2009.
14. Subramanian, A., Drummonda, L.M.A., Bentes, C., Ochi, L.S., Farias, R., "A parallel heuristic for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery", **Computers & Operations Research**, Cilt 37, No 11, 1899–1911, 2010.
15. Bremermann, H., "Chemotaxis and optimization", **J. Franklin Inst.**, Cilt 297, 397–404, 1974.
16. Passino, K.M., "Biomimicry of bacterial foraging for distributed optimization and control", **IEEE Control Systems Magazine**, 52–67, 2002.
17. D.H. Kim, J.H. Cho, "Adaptive tuning of PID controller for multivariable system using bacterial foraging based optimization", in: Piotr S. Szczepaniak, Janusz Kacprzyk, Adam Niewiadomski (Eds.), **Third International Atlantic Web Intelligence Conference, AWIC 2005**, Lodz, Poland, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3528, **Advance in Web Intelligence**, pp. 231–238, 2005a.
18. Kim, D. H., Cho C. H., "Bacterial foraging based neural network fuzzy learning", **Proceedings of 1st Indian International Conference on Artificial Intelligence**, 2030-2036, 2005b.
19. Mishra, S., "A hybrid least square-fuzzy bacteria foraging strategy for harmonic estimation", **IEEE Trans. Evol. Comput.**, Cilt 9, No 1, 61–73, 2005.
20. Majhi, B., Panda, G., Sahoo, G., Dash, P., Das D., "Stock market prediction of s&p 500 and djia using bacterial foraging optimization technique". **In Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC'2007)**, Singapore, IEEE Service Center, 2569–2575, September 2007.
21. Tripathy, M., Mishra, S., Lai, L. L., Zhang, Q. P., "Transmission loss reduction based on FACTS and Bacteria Foraging Algorithm", **Proceedings of 9th International Conference on Parallel Problem Solving from Nature**, 222-231, 2006.
22. Majhi, B., Panda, G., "Bacteria foraging based identification of nonlinear dynamic system", **In Proceedings of the IEEE Congress on**

- Evolutionary Computation**, Singapore, IEEE Service Center, 1636–1641, 2007.
23. Wu, C., Zhang, N., Jiang, J., Yang, J., Liang, Y., “Improved bacterial foraging algorithms and their applications to job shop scheduling problems”, **ICANNGA**, Part I, LNCS 4431, 562 – 569, 2007.
 24. Kim, D. H., Abraham, A., Cho, J. H., “A hybrid genetic algorithm and bacterial foraging approach for global optimization”, **Information Sciences**, Cilt 177, No 18, 3918-3937, 2007.
 25. Biswas, A., Dasgupta, S., Das, S., Abraham A., “Synergy of pso and bacterial foraging optimization: a comparative study on numerical benchmarks”, **Second International Symposium on Hybrid Artificial Intelligent Systems**, 2007a.
 26. Biswas, A., Dasgupta, S., Das, S., Abraham, A., “A synergy of differential evolution and bacterial foraging algorithm for global optimization”, **International Journal on Neural and Mass-Parallel Computing and Information Systems Neural Network World**, Cilt 17, No 6, 607-626, 2007b.
 27. Başbuğ S. **Bakteriyel besin arama algoritması ile lineer anten dizilerinin diyagram sıfırlaması**. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2008.
 28. Baker, B. M., Ayeche M.A., “A genetic algorithm for the vehicle routing problem”, **Computers & Operations Research**, Cilt 30, 787–800, 2003.
 29. Gencer, C., Yaşa, Ö., “Ulaştırma Komutanlığı Ring Seferlerinin Eş Zamanlı Dağıtım Toplama Karar Destek Sistemi (Simultaneous Pick-Up And Delivery Decision Support Systems Of Transportation Command Shuttle Tour's)", **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Cilt 22, No 3, 437–449, 2007.