EŞZAMANLI DAĞITIMLI VE TOPLAMALI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİNİN BAKTERİYEL BESİN ARAMA OPTİMİZASYONU ALGORİTMASI İLE ÇÖZÜMÜ

Seda HEZER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ağustos, 2010

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

EŞZAMANLI DAĞITIMLI VE TOPLAMALI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİNİN BAKTERİYEL BESİN ARAMA OPTİMİZASYONU ALGORİTMASI İLE ÇÖZÜMÜ

Seda HEZER

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Yakup KARA

2010, 42+ x sayfa

Jüri: Doç. Dr. Yakup KARA
Doç. Dr. Turan PAKSOY
Yrd. Doç. Dr. Ömer Kaan BAYKAN

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

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

ABSTRACT

Master Thesis

SOLVING VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH SIMULTANEOUS DELIVERY AND PICK-UP BY BACTERIAL FORAGING OPTIMIZATION ALGORITHM

Seda HEZER

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Industrial Engineering Branch

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Yakup KARA

2010, 42 + x pages

Jury: Assoc. Prof. Dr. Yakup KARA

Assoc. Prof. Dr. Turan PAKSOY

Assist. Prof. Dr. Ömer Kaan BAYKAN

Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-up, each customer has both delivery and pick-up demand simultaneously. Vehicle Routing Problem with Simultaneous delivery and pick-up is very difficult combinatorial optimization problems to solve. 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 has been improved and its performance has been evaluated. In the scope of this study Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-up 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 literature. Bacterial Foraging Optimization Algorithm obtained good solutions about 24 problems of 40 test problems.

Keywords: Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-up, Bacterial Foraging Optimization Algorithm

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez sürecimde gerekli olan her türlü fiziksel imkanı ve huzurlu ortamı sağlayan, değerli katkılarını ve desteklerini benden esirgemeyen Endüstri Mühendisliği Bölümü Başkanı Sayın Prof. Dr. Ahmet PEKER'e, gösterdiği sabır ve özveri ile hiç bir zaman desteğini ve engin bilgilerini benden eksik etmeyen, çalışmalarımın her aşamasında önerileri ile beni yönlendiren, bana hayata karşı farklı ve geniş ufuklu bir bakış açısı kazandıran değerli hocam ve danışmanım Sayın Doç. Dr. Yakup KARA'ya, önerilerini ve bilgilerini benimle paylaşan ve model oluşturma aşamasında emeği geçen değerli meslektaşım Arş. Gör. Yakup Atasagun'a, çalışmamın özellikle son zamanlarında yardımları ile destek olan, her türlü imkanı ve anlayışı benden esirgemeyen değerli meslektaşlarım Arş. Gör. Ebru Turanoğlu ve Arş. Gör. Eren Özceylan'a, değerli bilgileri ve yardımlarıyla bana destek olan Sayın Arş. Gör. Dr. İsmail Karaoğlan'a, yüksek lisans eğitimim boyunca sağladığı maddi destekten dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'a ve beni büyüten ve bugüne kadar bıkmadan usanmadan her daim yanımda olan canım aileme özellikle sevgili ablam Gülçin Hezer'e sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Seda HEZER

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ... iii
ABSTRACT ... iv
ÖNSÖZ ... v
İÇİNDEKİLER ... vi
ŞEKİL LİSTESİ ... vii
TABLO LİSTESİ ... viii
KISALTMALAR VE SİMGELER ... ix
1.GİRİŞ ... 1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI ... 3
2.1. Eşzamanlı Dağıtımlı ve Toplamalı Araç Rotalama Problemi ... 3
2.2. Bakteriyel Besin Arama Optimizasyonu Algoritması ... 5
3. MATERYAL ve METOT ... 6
3.1. Materyal ... 6
3.1.1. Araç rotalama problemleri ... 6
3.1.2. Eşzamanlı dağıtımlı ve toplamalı araç rotalama problemleri ... 8
3.1.3. Deneylerde kullanılan test problemi ... 12
3.2. Metot ... 12
3.2.1. Bakteriyel besin arama optimizasyonu algoritması ... 12
3.2.1.1. Algoritmanın biyolojik temelleri ... 12
3.2.1.2. Çözüm kodlama metodu ... 19
3.2.1.3. Başlangıç çözümü ... 20
3.2.1.4. Kemotaksis ... 21
3.2.1.5. Üreme ... 21
3.2.1.6. Eliminasyon ve dağılma ... 24
3.2.1.7. Açıklayıcı bir örnek ... 25
3.2.2. Deney tasarımı ... 29
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA ... 31
4.1. En Uygun Parametre Seviyeleri ... 31
4.2. Deney Sonuçları ve Tartışma ... 34
5. SONUÇ VE ÖNERİLER ... 37
6. KAYNAKLAR ... 39

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3. 1 ARP'nin temel bileşenleri (Ai ve Kachitvichyanukul 2009)..... 6
Şekil 3. 2 EDT_ARP için temsili bir örnek (Zachariadis ve ark. 2009) 9
Şekil 3. 3 BBAOA'nın akış diyagramı (Başbuğ 2008)..... 18
Şekil 3. 4 Örnek bir kodlanmış çözüm ve ilgili kodun çözümü 19
Şekil 3. 5 Örnek bir ters çevirme yöntemi 22
Şekil 3. 6 Hafıza tablosuna göre üretilen çözüm 25
Şekil 3. 7 Örnek problem için dokuzuncu bakteriye ilişkin başlangıç çözümü..... 27
Şekil 3. 8 Bakterinin yön vektörü değerleri 27
Şekil 3. 9 Elde edilen beş parça ve parçalara ilişkin müşteriler..... 27
Şekil 3. 10 Seçilen parçaya uygulanan yön vektörü sonucu elde edilen yeni konumun müşteri sırası 28
Şekil 3. 11 Örnek problem için kemotaksis sürecinde elde edilen çözüm 28

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3. 1 Hafıza Tablosu 24
Tablo 3. 2 Müşterilere ilişkin dağıtım ve toplama talebi miktarları 25
Tablo 3. 3 Müşterilerin depoya ve birbirlerine göre olan mesafe değerleri matrisi .. 26
Tablo 3. 4 10 bakteri için kodlanmış başlangıç çözümleri 26
Tablo 3. 5 Test edilen parametre seviyeleri 29
Tablo 4. 1 Varyans analizi sonuçları 31
Tablo 4. 2 *S* için Duncan testi sonuçları 32
Tablo 4. 3 N_c için Duncan testi sonuçları 32
Tablo 4. 4 N_{re} için Duncan testi sonuçları 33
Tablo 4. 5 N_{ed} için Duncan testi sonuçları 33
Tablo 4. 6 *ÜM* için Duncan testi sonuçları 34
Tablo 4. 7 Önerilen BBAOA ve Dethloff (2001)'e ilişkin test sonuçları 35

KISALTMALAR VE SİMGELER

Kısaltmalar

ARP	Araç Rotalama Problemi
BBAOA	Bakteriyel Besin Arama Optimizasyonu Algoritması
DKA	Değişken Komşuluk Azalması
DT_ARP	Dağıtımlı ve Toplamalı Araç Rotalama Problemi
EDT	Eşzamanlı Dağıtımlı ve Toplamalı
EDT_ARP	Eşzamanlı Dağıtımlı ve Toplamalı Araç Rotalama Problemi
GA	Genetik Algoritma
KDT	Karışık Dağıtımlı ve Toplamalı
KDT_ARP	Karışık Dağıtımlı ve Toplamalı Araç Rotalama Problemi
KOA	Karınca Kolonisi Optimizasyonu Algoritması
ÖDST	Önce Dağıtımlı Sonra Toplamalı
ÖDST_ARP	Önce Dağıtımlı Sonra Toplamalı Araç Rotalama Problemi
RC	Residual Capacity
RS	Radial Surcharge
RCRS	Dethloff (2001) ekleme tabanlı sezgisel yaklaşımı
TA	Tabu Arama
TB	Tavlama Benzetimi
TD	Travel Distance
TL	Tersine Lojistik
ÜM	Üreme Metodu
ZPEDT_ARP	Zaman Pencereli Eşzamanlı Dağıtımlı ve Toplamalı Araç Rotalama Problemi

Simgeler

a	Düğüm indeksi
A	Düğümler arasında tanımlanan ayrıt kümesi
AK	Araç kapasitesi
b	Düğüm indeksi
c_{ab}	(a,b) Ayrıtının uzaklık değeri
$d_{attract}$	Hücreden hücreye çekici sinyal katsayısı
d_a	a müşterisinin dağıtım talebi miktarı
C	Adım uzunluğu
DK	Düğümler kümesi
$G(DK,A)$	Tam bağlı bir serim
$h_{repellant}$	Hücreden hücreye itici etkinin katsayısı
i	Seçilen bakterinin indeksi
j	Kemotaktik adım sayacı
J_{last}	Kemotaktik adımda elde edilen en küçük j değeri
J_{health}	Bakterinin sağlık durum değeri
J	Besin konsantrasyon değeri fonksiyonu
J_{cc}	Hücreden hücreye çekici sinyallerin toplam değeri
k	Üreme adımı sayacı
l	Eliminasyon ve dağılma adımı sayacı
m	Boyut sayacı
m_s	Yüzme uzunluğu sayacı
M	Rota sayısı
MK	Müşteriler kümesi
n	Müşteri sayısı
N	Her üreme yöntemi için üretilen çözüm sayısı
N_c	Kemotaktik adım sayısı
N_s	Yüzme adım sayısı
N_{re}	Üreme adım sayısı
N_{ed}	Eliminasyon ve dağılma adım sayısı
P_{ed}	Eliminasyon ve dağılma olasılığı
bs	Çözüm uzayının boyut sayısı
p_a	a müşterisinin toplama talebi miktarı
S	Bakteri popülasyonundaki bakteri sayısı
S_r	Bakteri popülasyonundaki bakteri sayısının yarısı
U_a	Dağıtılacak ürün miktarı
V_a	Toplanan ürün miktarı
$w_{attract}$	Hücreden hücreye çekici sinyalin yayılma hızı
$w_{repellant}$	Hücreden hücreye itici etkinin yayılma hızı
x_{ab}	Karar değişkeni
θ	Bakterinin konumu
$\phi(j)$	Yuvarlanma açısı

1.GİRİŞ

Son yıllarda, önemi giderek artan ekonomik ve ekolojik sebepler, hükümetlerin koydukları kanunlar, sosyal sorumluluklar gibi nedenlerden dolayı (Demirel ve Gökçen 2008) işletmeler dağıtım süreçlerinin yanısıra geri dönüşüm veya yeniden üretimi kapsayan geri kazanım süreçlerini de lojistik süreçlerine dahil etmektedirler. Bu gelişmeler, ürünün tüketiciden üreticiye akışını tetiklemekte ve bu akış Tersine Lojistik (TL) olarak adlandırılmaktadır (Dethloff 2001).

Tersine Lojistik Uygulama Konseyi TL'yi; hammaddelerin, halen süreçte bulunan envanterlerin, bitmiş malların ve bunlar hakkındaki bilginin tüketim noktasından üretim noktasına tekrar değer elde etme veya düzgün bir şekilde elden çıkarma amacıyla verimli ve maliyet avantajlı akışını planlama, yürütme ve kontrol etme sürecidir olarak tanımlamaktadır (Erbao ve ark. 2008) .

TL uygulamaları ile birlikte, işletmelerin en önemli maliyet unsurlarından biri olan dağıtımdan kaynaklanan taşıma maliyetlerine, toplama maliyetleri de eklenmektedir. Ürünlerin müşterilere dağıtımı ve bu ürünlerden kaynaklanan bazı unsurların (arızalı ürün, ambalaj, atık, vb) müşterilerden toplanması değişik kapasitelerde, tiplerde ve miktarlarda araçlarla gerçekleştirilmektedir. Dağıtım ve toplama faaliyetlerinde kullanılan araçların izleyeceği güzergâhların belirlenmesi, lojistik maliyetlerinin minimize edilmesi hususunda karşımıza çıkan en önemli problemdir (Chen ve Wu 2006). Literatürde Araç Rotalama Problemi (ARP) olarak adlandırılan bu problem, TL uygulamalarının kapsamında Dağıtımlı ve Toplamalı Araç Rotalama Problemi (DT_ARP) olarak adlandırılmaktadır (Wassan ve ark.2008b).

DT_ARP; Önce Dağıtımlı Sonra Toplamalı (ÖDST), Eşzamanlı Dağıtımlı ve Toplamalı (EDT) ve Karışık Dağıtımlı ve Toplamalı (KDT) olmak üzere üç temel sınıfta incelenmektedir (Nagy ve Salhi 2005).

EDT_ARP, NP-zor problemleri sınıfına girmektedir (Zachariadis ve ark. 2009). Çözüm uzayı problemde yer alan müşterilerin sayısı ile üstel olarak genişlemektedir. Bu nedenle EDT_ARP'nin çözümünde kesin yöntemlere kıyasla metasezgisel yöntemler daha fazla uygulama alanı bulmaktadır. Tavlama Benzetimi (TB), Tabu Arama (TA), Genetik Algoritma (GA) ve Karınca Kolonisi Optimizasyonu

Algoritması (KOA) EDT_ARP problemlerinin çözümünde kullanılan metasezgisellerdir. Oldukça yeni bir sezgisel yaklaşım olan Bakteriyel Besin Arama Optimizasyonu Algoritması (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 ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar incelenmiştir. Üçüncü bölümde ARP, EDT_ARP ve deneylerde kullanılan test problemlerine ilişkin bilgilerin yanı sıra 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. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Eşzamanlı Dağıtımlı ve Toplamalı Araç Rotalama Problemi

EDT_ARP ile ilgili ilk çalışma Min (1989) tarafından bir depo, iki araç ve 22 müşteriden oluşan kütüphaneler arası kitap taşımacılığı problemi üzerinde yapılmıştır. Min (1989), her bir grubu gezgin satıcı problemi ile çözerek mümkün olmayan yolların uzunluklarını sonsuza dönüştürerek cezalandırmış, gezgin satıcı problemlerini yeniden çözmüştür (Gencer ve Yaşa 2007).

Salhi ve Nagy (1999), Golden ve ark. (1985) ve Casco ve ark. (1988)'nın önerdikleri 1-eklemeli sezgisel yöntemi geliştirerek bir defada birden fazla müşterinin eklenmesine yönelik küme ekleme tabanlı sezgisel bir algoritma önermişlerdir. Çalışmalarını, tek depolu ve çok depolu KDT_ARP'nin yanısıra tek ve çok depolu EDT'ye de uygulamışlar ve çalışmalarının bu konuda ilk olduğunu belirtmişlerdir.

Dethloff (2001), 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, TL kavramının EDT_ARP ile ilişkilendirildiği ilk çalışmadır.

Angelelli ve Mansini (2003) zaman penceresi kısıtını ekleyerek problemin çözümü için dallandır ve fiyatlandır yaklaşımını önermişlerdir. Önerdikleri çalışma zaman pencereli EDT_ARP (ZPEDT_ARP)'nin çözümünde kesin yaklaşımın uygulanması bakımından alanında ilktir.

Nagy ve Salhi (2005), tek depolu EDT ile birlikte aynı zamanda çok depolu EDT için de uygulanabilecek mevcut iyileştirme sezgisellerinden oluşan bir yaklaşım önermişlerdir.

Crispim ve Brandao (2005), TA ve Değişken Komşuluk Azalması (DKA) metasezgisel metotlarını içeren, melez bir algoritma önermişlerdir ve çalışmaları EDT_ARP konusunda metasezgisel metot uygulanması bakımından yapılan ilk çalışmadır. İki önemli metasezgiselin olası birleştirilme yolunu tanımlamış olması bakımından çalışmaları ile literatüre önemli katkıda bulunduklarını belirtmişlerdir.

Dell'Amico ve ark. (2006), EDT_ARP'ye yönelik ilk kesin yaklaşımı uygulayarak dallandır ve fiyatlandır algoritmasını önermişlerdir.

Montané ve Galvão (2006), mesafe kısıtlı ilk matematiksel modeli ve TA tabanlı bir algoritma önermişlerdir. Önerdikleri algoritmada, rotalar arası komşuluk çözümleri için, nokta atama, değiştirme ve çaprazlama yöntemlerini; rota içi hareket için ise 2-OPT yöntemini kullanmışlardır. Yaklaşımı mesafe kısıtlı ve mesafe kısıtı olmadan çözerek literatürde bilinen yöntemlerle karşılaştırmışlardır.

Chen ve Wu (2006) iyi bir başlangıç çözümü elde etmek için mesafe ve yük tabanlı ekleme sezgiseli ve çözümü iyileştirmeye yönelik olarak rota geliştirme, tabu listesi, kayıt-kayıt tabanlı melez bir algoritma önermişlerdir.

Chen ve Chia (2006), paralel ekleme tabanlı bir prosedür ve elde edilen çözümü geliştirmek amacıyla rota geliştirme, tabu listesi ve TB tabanlı melez bir algoritma geliştirmişlerdir. Her iki yöntem ile etkili çözümler elde edilebildiği sonucuna varmışlardır.

Bianchessi ve Righini (2007), ark değişimi ve düğüm değişimi tabanlı komşuluk yöntemlerini kapsayan TA, yerel arama ve çözüm kurucu metasezgisel metotları önermişler ve ilgili metotların performanslarını değerlendirmişlerdir.

Erbao ve ark. (2008) ZPEDT_ARP'ye yönelik diferansiyel gelişim algoritmasını ve GA'yı kapsayan melez bir algoritma önermişlerdir.

Wassan ve ark. (2008a) reaktif TA, Tao ve ark(2008), karma tamsayılı matematiksel bir model ve KOA yaklaşımı önermişlerdir.

Gajpal ve Abad (2009) KOA, Zachariadis ve ark. (2009) TA ve kılavuzlu yerel arama sezgisellerini temel alan melez bir yaklaşım önermişlerdir. Önerilen iki metasezgisel ile de etkin çözümler elde edilmiştir.

Ai ve Kachitvichyanukul (2009), literatürde mevcut olan üç genel matematiksel modeli düzenleyerek yeni bir matematiksel model ve çözüm yöntemi olarak Parçacık Sürüsü Optimizasyon (PSO) yaklaşımını önermişlerdir.

Subramanian ve ark. (2010), DKA prosedürünü kapsayan bir sezgisel ve yinelemeli yerel arama ile ilişkilendirilmiş rastsal komşuluk sıralaması yaklaşımlarından oluşan melez bir algoritma önermişlerdir.

Zachariadis ve ark. (2010), uyarlamalı hafıza algoritmasını önermişlerdir. Yaptıkları karşılaştırmalar sonucunda kabul edilebilir sürede birkaç en iyi çözümü de geliştirerek oldukça başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

Mingyong ve Erbao (2010), ZPEDT_ARP'ye yönelik geliştirilmiş diferansiyel gelişim algoritmasını önermişlerdir.

2.2. Bakteriyel Besin Arama Optimizasyonu Algoritması

BBAOA, bakterilerin besin arama davranışlarından esinlenilerek geliştirilen popülasyon tabanlı yeni bir metasezgisel algoritmadır. Karmaşık mühendislik problemlerini çözmek için geliştirilmiş bir hesaplama tekniğidir. Yerel minimumdan kurtulabilme, çok parametreli optimizasyon problemleri ile rahatlıkla çalışabilme, uygulanması basit ve anlaşılması kolay olma özellikleri ile son yıllarda mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılmaya başlayan ve dikkat çeken metasezgisellerden biridir.

Bremermann (1974), bakterilerin zengin besin alanlarını arama yolunun optimizasyon süreci olarak değerlendirilebileceğini belirtmiştir. Bakterilerin besin arama stratejilerini algoritma olarak ilk uygulayan Passino (2002)'dir. Passino (2002) 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 2005a), harmonik tahmin (Mishra 2005), makine öğrenmesi (Kim ve Cho 2005b), tahmin (Majhi ve ark. 2007), iletim kaybının azaltılması (Tripathy ve ark. 2006), doğrusal olmayan sistemlerin tanımlanması (Majhi ve Panda 2007), çizelgeleme (Wu ve ark. 2007) gibi mühendislik problemlerinde başarıyla uygulanmıştır. BBAOA, diğer metasezgisel yaklaşımlar ile birleştirilerek de optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılmıştır. Kim ve ark. (2007) GA ile BBAOA'yı, Biswas ve ark. (2007a) PSO ile BBAOA'yı, Biswas ve ark. (2007b) BBAOA ile diferansiyel evrim algoritmasını birleştirerek melez yöntemler uygulamışlardır.

3. MATERYAL VE METOT

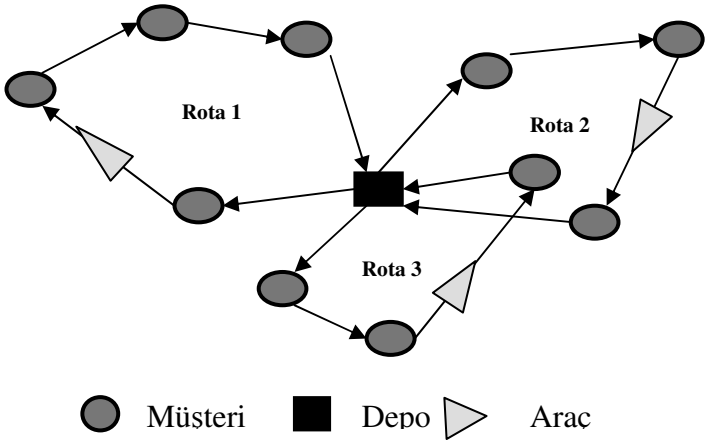
3.1. Materyal

3.1.1. Araç rotalama problemleri

ARP, literatürde çok iyi bilinen NP-zor yapıda problemlerdendir ve yöneylem araştırmasının halen en çok ilgi çeken konularından biridir. İlk defa Dantzig ve Ramster (1959) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Dantzig ve Ramster (1959) çalışmalarında benzin istasyonlarına benzin dağıtımı problemi üzerinde durmuşlar ve problemin çözümü için ilk matematiksel programlama modelini önermişlerdir. Clarke ve Wright (1964) sezgisel bir yöntem önermişlerdir. 1980'li yıllarda ortaya çıkan ulaştırma türleri ve işletmeleri arasında giderek artan rekabete bağlı olarak, ARP'ye yönelik bilimsel araştırmalar önem kazanmaya başlamıştır (Erol 2006).

Genel bir ARP, depolardan çıkan araçlar aracılığıyla farklı noktalarda bulunan müşterilerin taleplerinin araç kapasitesi aşılmadan mümkün olan en az maliyetle karşılanmasını sağlayan rotanın belirlenmesi problemidir. Müşterileri ve depoyu ifade eden düğümler, araçlar ve düğümler arası mesafeleri gösteren oklar veya çizgilerden oluşan şebekeler ARP'nin temel bileşenleridir (Toth ve Vigo 2002).

Şekil 3.1 ARP'nin temel bileşenlerini göstermektedir.



Şekil 3. 1 ARP'nin temel bileşenleri (Ai ve Kachitvichyanukul 2009)

ARP'ye günümüzün organizasyonlarında sıkça rastlanmaktadır. Firmalarda lojistik ve dağıtım planlarının yapılması, satış personelinin saha dağıtımı, bölge bayi kontrolü uygulaması, belediyeler için çöp toplama ve sokak temizlik planları, benzin istasyonlarına akaryakıt dağıtımı, kargo dağıtımı, okul servis araçlarının rotalanması ARP'ye örnek olarak gösterilebilir (Erol 2006).

ARP'de ulaşılmak istenen en temel amaç, taşıma maliyetinin minimize edilmesidir. Bu amaca yönelik olarak da farklı amaç fonksiyonları uygulanmaktadır.

Bunlar;

- Araçların gideceği toplam mesafenin minimize edilmesi,
- Tüm müşterilerin taleplerini karşılamak koşuluyla şebekedeki araç sayısının minimize edilmesi,
- Toplam taşıma maliyetinin minimize edilmesi ve
- Toplam taşıma süresinin minimize edilmesidir (Toth ve Vigo 2002).

Uygulanan probleme göre farklılık göstermekle birlikte ARP'de genel olarak aşağıdaki kısıtlar kullanılmaktadır:

- Her rotaya atanan aracın gidebileceği yol kapasitesi kısıtı (*Mesafe Kısıtı*),
- Şebekedeki her varış noktasının tek bir araç tarafından sadece bir defa ziyaret edilmesi kısıtları (*Genel Atama Kısıtı*),
- Bir aracın, bütün müşterilerin taleplerini yerine getirdikten sonra başladığı noktaya (depo, dağıtım merkez vb.) tekrar geri dönmesi kısıtı (*Kapalı Döngü Kısıtı*)
- Rota üzerinde bulunan müşterilerin toplam dağıtım ve toplama talepleri miktarının aracın toplam kapasitesini aşmaması kısıtı (*Araç kapasitesi kısıtı*),
- Araç sayısının belirli bir sayıya eşit veya sayıdan küçük olması kısıtı (Araç *sayısı kısıtı/Rota sayısı kısıtı*) (Montane ve Galvao 2006),
- Her bir aracın sadece bir rota üzerinde faaliyet göstermesi kısıtı (*Araç Atama Kısıtı*),
- Müşteriye servis (araç yükleme, boşaltma zamanları) süresi kısıtı (*Servis Süresi Kısıtı*),
- Müşteriye belirli zaman aralıklarında ulaşma kısıtı (*Zaman Penceresi Kısıtı*)

- İki düğüm arasında geçen taşıma süresi kısıtı (*Taşıma Süresi Kısıtı*)
- Depo sayısının bir veya birden fazla olması kısıtı (*Depo sayısı kısıtı*)
- Depodan bağımsız turların oluşmasını engelleyen kısıtlardır (*Alt Tur Kısıtı*) (Ai ve Kachitvichyanukul 2009).

ARP, depo sayısı, araç kapasitesi ve sayısı, mesafe kısıtı, zaman penceresi, rotaların durumu, dağıtım ve toplama faaliyetleri gibi birçok kısıta ve varsayıma göre farklı sınıflara ayrılmaktadır. Dağıtım ve toplama faaliyetlerine göre ARP'nin TL kapsamında incelenen sınıfına DT_ARP adı verilmektedir.

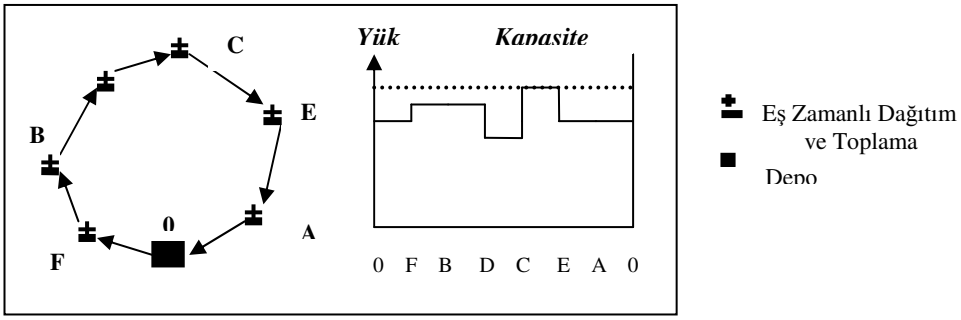
DT_ARP'de amaç klasik ARP'de olduğu gibi maliyeti minimize etmektir ve bu amaca yönelik olarak yapılan çalışmalarda amaç fonksiyonu genel olarak düğümler arasındaki taşıma maliyeti veya mesafe üzerine odaklıdır. Fakat bazı çalışmalarda amaç, minimum araç sayısı veya minimum taşıma süresi de olabilmektedir. ÖDTS_ARP, KDT_ARP ve 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 (Chen ve Wu 2006).

3.1.2. Eşzamanlı dağıtımlı ve toplamalı araç rotalama problemleri

EDT_ARP'de dağıtım ve toplama müşterileri aynı müşteriler olup bu müşterilere eşzamanlı olarak hizmet verilmektedir. Müşterilere uğranıldığında dağıtılacak ürün bırakılıp toplanılacak ürün alınmaktadır (Ai ve Kachitvichyanukul 2009). Gıda sektöründe, içecek endüstrisinde boş şişelerin taşınması, otomotiv sektöründe yedek parçaların geri dönüşüm için fabrikalara geri gönderilmesi EDT_ARP'ye örnek olarak verilebilir (Altıparmak ve ark. 2008; Dethloff 2001).

Şekil 3.2' de EDT_ARP için temsili bir örnek verilmiştir.



Şekil 3. 2 EDT_ARP için temsili bir örnek (Zachariadis ve ark. 2009)

EDT_ARP en genel hali ile şu şekilde tanımlanabilir: $G(DK, A)$ tam bağlı (bütün düğümler arasında doğrudan bir ayrıtın mevcut olduğu durum) bir serim olsun. $DK=\{0,\ldots,n\}$ düğüm kümesi ve A ise bu düğümler arasında tanımlanan ayrıt kümesidir. ($A= \{(a,b)|\ a \neq b$ ve $a,b \in DK\}$). Düğüm kümesinde '0' düğümü depoyu, '1,…,n' düğümleri ise müşterileri temsil etmektedir (Altıparmak ve ark. 2008). Bu serimde;

- "c_{ab}", (a,b ayrıtının maliyetini veya uzunluğunu temsil etmektedir ve simetriktir ($c_{ab}= c_{ba}$),
- Taşımayı gerçekleştirecek araçlar depoda hazır olarak beklemektedir,
- Araç kapasiteleri özdeştir,
- a müşterisinin dağıtım talebi miktarı "d_a" ve toplama talebi miktarı "p_a" olmak üzere her iki talebe ilişkin miktarlar önceden bilinmektedir,
- Müşteriler dağıtımın ve talebin kesinlikle tek bir ziyarette yerine getirilmesini istemektedirler. Yani dağıtım ve toplama talepleri bölünemez.

EDT_ARP'de amaç, genel bir takım kısıtların sağlanması koşulu ile katedilen toplam mesafenin minimize edilmesidir. Bu kısıtlar aşağıda verilmiştir (Zachariadis ve ark. 2009):

- Her rota bir depodan başlamalı ve yine aynı depoda son bulmalıdır,
- Her müşteriye kesinlikle bir defa sadece bir araç tarafından uğranılmalıdır,
- Araçların rota boyunca taşıdıkları toplam ürün miktarı araç kapasitesini aşmamalıdır ve
- Alt tur kısıtları sağlanmalıdır.

EDT_ARP' ye yönelik olarak uygulanan matematiksel bir formulasyon (Altıparmak ve ark. 2008) aşağıda verilmiştir.

Matematiksel Formulasyon

İndisler

a,b : düğüm

Kümeler ve parametreler

DK : düğümler kümesi $DK= 0,\ldots,n_a$

MK : müşteriler kümesi $MK = 1,\ldots, n_a$

c_{ab} : i müşterisi ile j müşterisi arasındaki mesafe değeri

d_a :i müşterisinin dağıtım talebi miktarı

p_a : i müşterisinin toplama talebi miktarı

AK : araç kapasitesi

Formulasyonda araç sayısından bağımsız (iki indisli) 0–1 karar değişkenleri kullanılmıştır.

Karar Değişkenleri:

x_{ab}; $\begin{cases} 1 & \text{a düğümü b düğümünden hemen önce geliyorsa } (\forall a,b \in DK) \\ 0 & aksi\,halde \end{cases}$

U_a; rota üzerinde a düğümünden sonra (a düğümü de dâhil olmak üzere) dağıtılacak ürün miktarı ($\forall a \in MK$)

V_a; rota üzerinde a düğümüne kadar (a düğümü de dâhil olmak üzere) toplanan ürün miktarı ($\forall a \in MK$)

M; rota sayısı,

Amaç Fonksiyonu:

$$Min \sum_{a \in DK} \sum_{b \in DK} c_{ab} x_{ab}$$

Kısıtlar

$$\sum_{a \in DK} x_{ab} = 1 \qquad \forall b \in MK \qquad (1)$$

$$\sum_{b \in DK} x_{ab} = 1 \qquad \forall a \in MK \qquad (2)$$

$$\sum_{a \in DK} x_{a0} = M \qquad (3)$$

$$\sum_{b \in DK} x_{0b} = M \qquad (4)$$

$$U_b - U_a + AKx_{ab} \leq AK - d_a \qquad \forall a,b \in MK \qquad (5)$$

$$V_a - V_b + AKx_{ab} \leq AK - p_b \qquad \forall a,b \in MK \qquad (6)$$

$$U_a + V_a - d_a \leq AK \qquad \forall a \in MK \qquad (7)$$

$$d_a \leq U_a \leq AK \qquad \forall a \in MK \qquad (8)$$

$$p_b \leq V_b \leq AK \qquad \forall a \in MK \qquad (9)$$

$$x_{ab} \in \{0-1 \qquad \forall a,b \in MK \qquad (10)$$

$$U_a \geq 0 \qquad \forall a \in MK \qquad (11)$$

$$V_a \geq 0 \qquad \forall a \in MK \qquad (12)$$

$$M \geq 0, tms \qquad (13)$$

Amaç fonksiyonu katedilen toplam mesafenin minimize edilmesidir. (1) ve (2) kısıtları genel atama kısıtlarıdır ve her müşteriye mutlaka 1 kez uğranılması gerektiğini ifade etmektedir. (3) ve (4) kısıtları düğümlerin girdi çıktı dengesini sağlamaktadır. (5) ve (6) numaralı kısıtlar ise sırasıyla bir rota üzerinde dağıtım ve toplama taleplerinin toplamlarının ayrı ayrı olarak kapasiteyi geçmemesini sağlamakla beraber, alt turların oluşmasını da engellemektedir. (7) numaralı kısıt ise her düğümden çıkıştan sonra aracın yükünün toplam kapasiteyi geçmemesini sağlamaktadır. (8) ve (9) numaralı kısıtları dağıtım ve toplama taleplerinin rota boyunca bulunmaları gereken değer aralığını göstermektedir. (10-13) numaralı kısıtlar ise tamamlayıcı kısıtlardır.

3.1.3 Deneylerde kullanılan test problemi

Önerilen BBAOA'nın etkinliğini araştırmak amacıyla Dethloff (2001) tarafından EDT_ARP için oluşturulan veri setinden faydalanılmıştır. Bu veri setindeki test problemlerinin tamamı 50 müşteriden oluşmaktadır. Bu müşterilerin test yüzeyi üzerinde yerleştirilmesinde iki coğrafik senaryo kullanılmıştır. Birincisinde müşteriler [100x100]'lük ızgara yüzey üzerinde tamamen rastsal olarak yerleştirilmiştir (SCA tipi). Diğer senaryoda ise müşterilerin yarısı tamamen rassal diğer yarısı ise [100/3x200/3]'lük ızgara yüzey üzerinde yerleştirilerek müşterilerin bir kısmının yerleşim bölgesinin bir bölümünde yoğunlaşması sağlanmıştır (CON tipi). Müşterilerin dağıtım talepleri [0,100] aralığında rastsal olarak geliştirilmiştir. Toplama talepleri ise dağıtım taleplerine bağlı olarak $p_a = d_a$ *(0.5+ r_a) şeklinde belirlenmiştir. Burada; r_a, [0,1] aralığında rastsal bir sayıdır. Müşteriler arasındaki öklit uzaklıklar 10^{-6}'ya kadar duyarlı olup, hiçbir yuvarlama işlemi yapılmamıştır. AK ise müşteri taleplerine bağlı olarak ihtiyaç duyulan en az sayıda araç sayısına göre belirlenmiştir.

$$AK = \sum_{a \in MK} d_a / \mu \tag{14}$$

Üretilen test problemlerinde μ değeri 3 ve 8 olarak kabul edilmiştir. Her bir yerleşim senaryosu (SCA ve CON) için 10 adet, her büyüklük için ise 2 farklı araç kapasitesi (μ=3 ve 8) olmak üzere toplamda 40 test problemi üretilmiştir.

3.2. Metot

3.2.1. Bakteriyel besin arama optimizasyonu algoritması

3.2.1.1. Algoritmanın biyolojik temelleri

Escherichia Coli (E. Coli) bakterisi, dünyadaki birçok canlının bağırsaklarında yaşayan bir bakteridir. E. Coli bakterilerinin besin arama sürecindeki davranışlarına

yön veren bir kontrol mekanizması bulunmaktadır. Besin arama süreci, besin kaynaklarına doğru gerçekleştirilen bir dizi hareketten oluşmaktadır. Kontrol mekanizması, E. Coli bakterisinin bir sonraki konum değiştirme hareketine referans oluşturacak şekilde bir konumdan diğer konumlara ortaya çıkan değişikliklerin değerlendirilmesi prensibine dayanmaktadır. İki konum arasındaki yer değiştirme bir "hareket" olarak adlandırılır ve her bir hareketin belirli bir yönü ve adım uzunluğu vardır. E. Coli bakterileri, kontrol mekanizmalarına bağlı olarak besin kaynaklarına adım adım yaklaşırlar. E. Coli bakterileri üzerinde yapılan biyolojik çalışmalar, besin arama süreçlerinin dört adımdan oluştuğunu göstermektedir. Bu adımlar şunlardır (Passino 2002):

(1) Makul bir besin bölgesi aramak,

(2) Bulunan makul besin bölgesine girip girmemeye karar vermek,

(3) Yeni bir besin bölgesine girilmişse titiz bir besin araması yapmak ve

(4) Şu an içinde bulunulan besin bölgesindeki besinlerin bir kısmı tüketildikten sonra, yeni ve daha iyi bir besin bölgesine göç etmek veya aynı besin bölgesinde kalmak arasında karar vermektir.

Bakteriler yetersiz besin bulunan bir bölgede kalmışlarsa, önceki tecrübelerine bağlı olarak, genellikle diğer bölgelerin besince zengin olduğu sonucuna varırlar. Bu sonuca bağlı olarak bölgelerini değiştirme eğilimindedirler. Bununla birlikte, her bir konum değiştirme kararı, asıl amaç olan birim zamanda alınan enerjiyi maksimize etmek doğrultusunda, psikolojik ve çevresel kısıtlar altında verilir. E. Coli bakterilerinin yukarıda bahsedilen besin arama prensiplerini taklit etmek amacıyla Passino (2002) dağıtım optimizasyonu ve kontrolü için BBAOA'yı geliştirmiştir. Birçok sürü zekâsına bağlı rastsal arama algoritmasında olduğu gibi, BBAOA'da 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 (Passino 2002):

Kemotaksis olayı: Mikrobiyolojik çalışmalar, E. Coli bakterilerinin kamçılarıyla hareket ettiklerini göstermektedir. Bütün kamçılar saat yönünün tersine dönerse bakteri ileriye doğru hareket ederken, kamçılar saat yönünde döndüğünde

bakteri yavaşlamakta ve bulunduğu yerde salınmaktadır. E. Coli bakterisinin besin araması son iki davranış arasındaki değişimlere bağlıdır ve bu iki davranış sonucunda bakteri kemotaktik adı verilen adımı atmış olmaktadır.

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:

$$\theta^i(j+1,k,l) = \theta^i(j,k,l)+C(i)\varphi(j) \tag{15}$$

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

Üreme olayı: Bir besin arama periyodundan sonra, bazı bakterilerin besin arama stratejilerinin açıkça başarısız olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu bakteriler, yeterli besin bulma ihtimallerinin az olması nedeniyle popülasyondan çıkarılmaktadır. Popülasyon sayısını sabit tutmak için, çıkarılanların yerini almak üzere arama stratejisi iyi olan bakteriler, aynı miktarda kopyalanmaktadır. 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. Bu işlem bir nevi bakterilerin bölünerek çoğalmalarının taklit edilmesidir.

Eliminasyon ve dağılma olayı: Bakterilerin yaşadığı ortamdaki, aşırı derecede ısı artışı, hızlı su akıntıları ve bunun gibi diğer etkenler, bakterilerin davranışlarını büyük ölçüde etkilemektedir. Bütün bu etkenler, popülasyonda ani veya yavaş değişikliklere neden olabilir. Bu değişiklikler, o bölgedeki bütün bakterilerin ölümü veya bir kısmının başka bir bölgeye sürüklenmesi veya göç etmesi şeklinde olabilir. Eliminasyon ve dağılma olayı, bu biyolojik süreçleri taklit etmek amacıyla

uygulanmaktadır. Bu uygulama, kemotaksis olayının performansına olumsuz etki edebileceği gibi, bakterileri daha iyi bir besin bölgesinin yakınına sürükleyerek olumlu da etki edebilmektedir. Eliminasyon ve dağılma olayı, 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. Bu uygulama, o bakterinin yeni bir konuma hareket etmesi manasına gelmektedir.

E. coli bakterisi besin maddesine ulaştığında diğer bakterileri uyarıcı etkiye sahip kimyasal bir madde salgılamaktadır. Bu madde, diğer E. coli bakterilerinin besini bulan bakterinin bulunduğu yere doğru hareket etmesini sağlamaktadır. Bu olaya sürü zekası veya sürü davranışı adı verilmektedir.

BBAOA'nın temel adımları aşağıda verilmiştir (Passino 2002):

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.

İç döngü olan kemotaksis olayı, üç döngünün çekirdeği niteliğindedir. Bir canlı için besin arama, yeni bir bölgeye girip girmemeye karar verme, şu anki bölgede kalma süresi, bir sonraki adımda seçilecek yön gibi kararların verilmesini sağlamaktadır. Bu nedenle, kemotaksis olayı algoritmanın çözüme yaklaşması konusunda çok önemli bir etkiye sahiptir.

Algoritmanın başlangıç değerlerini belirlemek için, p, S, N_c, N_s, N_{re}, N_{ed}, P_{ed} ve c(i), i = 1,2,…..,S değişkenlerinin değerlerinin atanması gerekir. Eğer sürü davranışı adımı da kullanılacaksa $d_{attract}$, $w_{attract}$, $h_{repellant}$, $w_{repellant}$ hücreden hücreye çekim fonksiyonu değerleri de belirlenmelidir. Aynı zamanda θ^i için başlangıç değerleri seçilmelidir, i = 1,2,…..,S. Bu değerler optimum değerin olduğu alanlardan seçilebileceği gibi optimizasyon alanına çözüm uzayı boyunca rasgele dağıtılabilir. Bakteri popülasyonunun kemotaksis, üreme, eliminasyon-dağılma olaylarının modellendiği algoritma aşağıdaki gibidir (başlangıç olarak, $j = k = l = 0$ olarak alınır) (Passino 2002):

1) Eliminasyon ve dağılma döngüsü: $l = l + 1$

2) Üreme döngüsü: $k = k + 1$

3) Kemotaksis döngüsü: $j = j + 1$

a) $i = 1,2,....,S$, için i. Bakteri için bir kemotaktik adım başlat.

b) $J(i, j, k, l)$)'yi hesapla.

$$J(i, j, k, l) = J(i, j, k, l) + J_{cc}(\theta^i(j, k, l), P(j, k, l)) \tag{16}$$

hücreden hücreye çekici etkisini besin konsantrasyon değerine ekle.

c) $J_{last} = J(i, j, k, l)$ atamasını gerçekleştir ve yüzme işlemi aracılığı ile daha iyi bir sonuç elde edinceye kadar bu değeri sakla.

d) *Yuvarlanma*: $\Delta_m(i)$, $m = 1, 2, \ldots, bs$ olmak üzere [-1, 1] aralığında rasgele bir

$\Delta(i) \in \Re^{bs}$ vektörü oluştur.

e) *Hareket etme*:

$$\theta^i(j+1, k, l) = \theta^i(j, k, l) + C(i)\frac{\Delta(i)}{\sqrt{\Delta^T(i)\Delta(i)}} \tag{17}$$

atamasını gerçekleştir. Bu sonuç, i. Bakteri için $C(i)$ adım büyüklüğü kadar ve yuvarlanma yönünde olacaktır.

f) $J(i, j+1, k, l)$'yi hesapla.

$$J(i, j+1, k, l) = J(i, j+1, k, l) + J_{cc}(\theta^i(j+1, k, l), P(j+1, k, l)) \tag{18}$$

g) *Yüzme*:

i) Yüzme uzunluğunun sayacı olmak üzere $m_s = 0$ ilk değerini ata.

ii) $m_s < N_s$ olduğu sürece;

- $m_s = m_s + 1$ atamasını gerçekleştir.
- Eğer $J(i, j+1, k, l) < J_{last}$ ise, yani daha iyi bir sonuç ise,

  $J_{last} = J(i, j+1, k, l)$ ve

$$\theta^i(j+1, k, l) = \theta^i(j+1, k, l) + C(i)\frac{\Delta(i)}{\sqrt{\Delta^T(i)\Delta(i)}} \tag{19}$$

atamalarını gerçekleştir. Yeni $J(i, j+1, k, l)$ değerini hesaplamak için

bu $\theta^i\left(j+1,k,l\right)$ değerini kullan.

- $m_s = N_s$ ise bu bakteri için yüzme sürecini durdur.

h) Son bakteri değilse ($i \neq S$) bir sonraki bakteriyi seç ($i = i + 1$) ve "b" maddesine git.

4) Eğer $j < N_c$ ise bakterilerin yaşam süresi bitmemiştir. 3. adıma tekrar dön ve kemotaktik adımlara devam et.

5) Üreme İşlemi:

a) Hali hazırdaki k ve l değerleri ve her bir i = 1, 2, …, S, değeri için,

$$J_{health} = \sum_{j=1}^{N_c+1} J\left(i,j,k,l\right) \tag{20}$$

bir bakterinin yaşadığı sürece ne kadar besin aldığını ve zararlı maddelerden uzak durmada ne kadar başarılı olduğunu ifade eden fonksiyondur. Bir başka deyişle i bakterisinin sağlık durumunu ifade etmektedir. Sonuçta elde edilen J_{health} değerlerine göre bakterileri ve kemotaktik parametrelerini küçükten büyüğe doğru sırala.

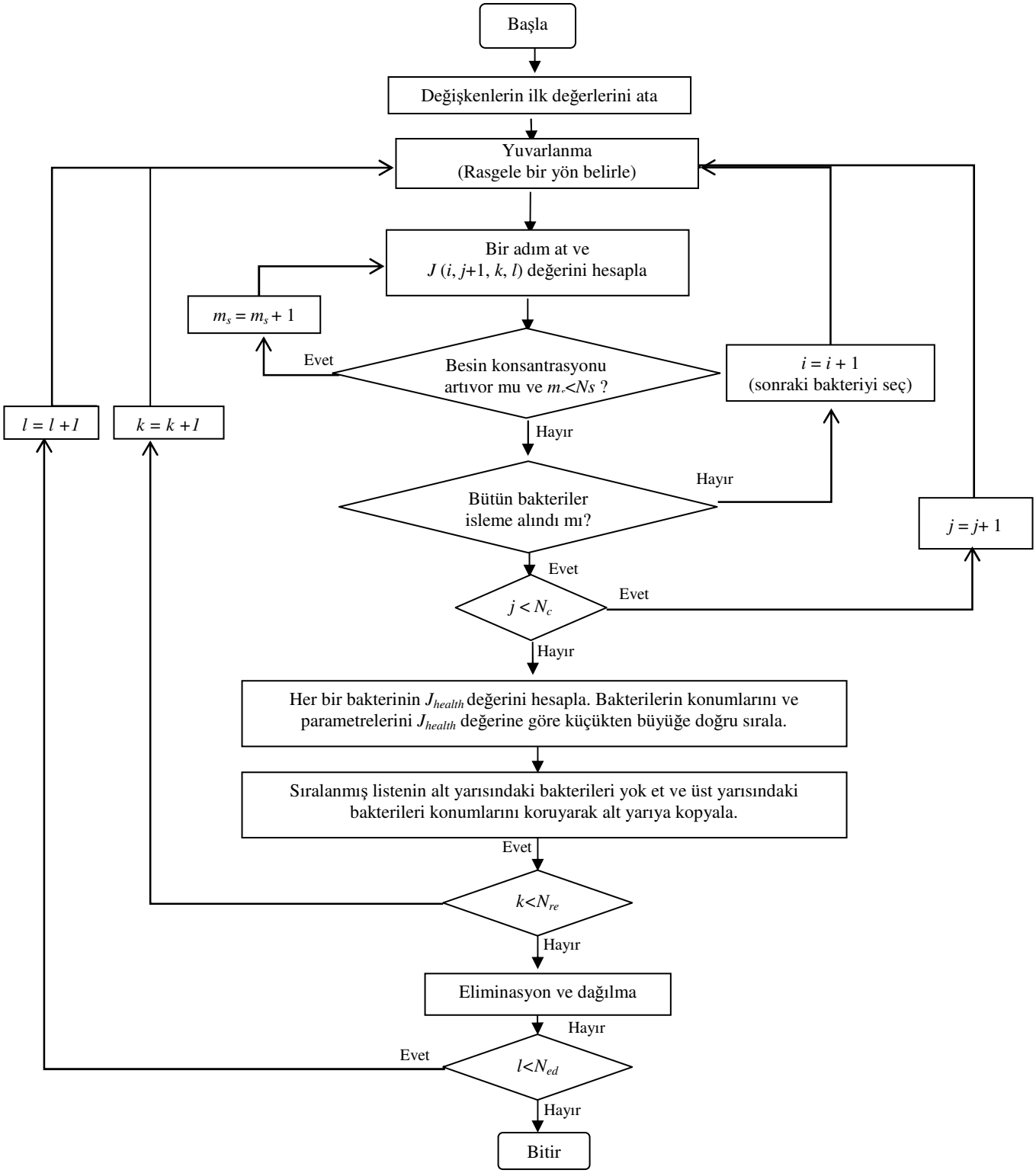
b) Sıralamanın alt yarısındaki sağlık durumları diğerlerine göre daha kötü olan $S_r = S/2$ adet bakteri ölmüş olarak kabul edilir. Bu durumda sağlık durumu daha iyi olan ve sıralamanın üst kısmında kalan Sr adet bakteri bölünerek üretilir. Ebeveynleri ile aynı konumlara yerleştirilecek şekilde, yeni nesil bakteri çiftlerinden her bir tanesi listenin alt kısmındaki ölen bakterilerin yerine geçirilir.

6) Eğer $k < N_{re}$ ise belirlenen üreme üst sınırına ulaşılmamış demektir, 2. adıma geri dön ve sonraki nesil ile kemotaktik adımları yerine getir.

7) Eliminasyon ve dağılma: i = 1, 2, ….., S, dizisi içerisindeki bütün bakterileri P_{ed} olasılığına bağlı kalarak eliminasyon ve dağılma işlemine tabi tut. Bu işlem, popülasyon adedini sabit tutmak şartıyla bir bakterinin basit bir şekilde bulunduğu yerden rasgele yeni bir yere atılması ile gerçekleştirilir.

8) Eğer $l < N_{ed}$ ise 1.adıma git, aksi takdirde programı sonlandır (Passino 2002, Başbuğ 2008).

BBAOA'nın akış diyagramı Şekil 3.3'te verilmiştir (Başbuğ 2008).



Şekil 3. 3 BBAOA'nın akış diyagramı (Başbuğ 2008)

3.2.1.2. Çözüm kodlama metodu

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. İstenilen koşulların sağlanması şartı 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 3.4a'da, 10 müşterili bir problem için kodlanmış bir çözüm verilmiştir. Her bir pozisyondaki rakam müşteri numarasını ifade etmektedir. Şekil 3.4b'de, Şekil 3.4a'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 3.4c'de ise Şekil 3.4b'de verilen bilgilere göre depoların da müşteri sırasına eklenmesi ile oluşan alternatif çözüm verilmiştir.

3	2	1	4	9	10	8	5	7	6

a) Kodlanmış bir çözüm

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

Rota 1: 0-3-2-1-4-9-0	Rota 2: 0-10-8-5-7-6-0

c) Kodun Çözümü

Şekil 3. 4 Örnek bir kodlanmış çözüm ve ilgili kodun çözümü

Şekil 3.4a'daki çözümü oluşturan müşteri sırası göz önünde bulundurularak açılan ilk rotaya müşteriler atanır. Kapasite kısıtı aşıldığı takdirde yeni bir rota açılarak atanmayan müşterilerin çözüm sırasına göre ilgili rotaya atanma işlemi sürdürülür. Şekil 3.4c'de Şekil 3.4b'deki müşterilerin rotaya atanma bilgilerine göre oluşturulan rotalara depolar eklenerek Eşitlik 21'de verilen formüle göre katedilen mesafe hesaplanmaktadır.

$$J = \sum_{a=0}^{n} c_{ab} \tag{21}$$

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 3.4c'de verilen örnekte 1. rotayı oluşturan 0 ve 3, 3 ve 2 gibi birbiri ardına gelen düğümleri 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.

3.2.1.3. Başlangıç çözümü

Önerilen BBAOA'da başlangıç çözümleri için literatürde bilinen başlangıç çözümü yöntemlerinden En Yakın Komşuluk (EYK) yöntemi kullanılmıştır.

Bu yöntemin literatürde bilinen haliyle genel adımları aşağıda verilmiştir (Gajpal ve Abad 2009):

1. Rasgele bir müşteri seç ve bu müşteriyi eklenmesi mümkün olan ona en yakın müşteri ile birleştirerek rota oluşturmaya başla.
2. Eğer kısıtlar sağlanıyorsa; en son eklediğin müşteriye eklenmesi mümkün olan en yakın ve daha önce eklenmemiş müşterilerden birini ekleyerek rota oluşturmaya devam et. Güzergah tamamlanana kadar 1. ve 2. maddeleri sürdür.
3. Aksi takdirde; 1. ve 2. maddeye göre yeni rotalar oluştur.
4. Madde 1, 2 ve 3'ü rotalara atanmayan müşteri kalmayıncaya kadar sürdür.

Bu çalışmada bakteri sayısının birden fazla olması nedeniyle klasik EYK'den farklı olarak başlangıç müşterileri rasgele seçilmemektedir. Her bir bakteriyi temsil eden müşteri sırasının başına, ilgili problemdeki her bir müşteri ayrı ayrı atanarak diğer müşteriler için EYK yöntemi uygulanmıştır.

3.2.1.4. Kemotaksis

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. "-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.

Bakteriyi 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) ulaşılıncaya 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.

3.2.1.5. Üreme

Önerilen BBAOA'da *kopyalama*, *ters çevirme* ve *çaprazlama* olarak adlandırılan üç alternatif üreme yöntemi kullanılmıştır.

Kopyalama yönteminde 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 yönteminde, ilk olarak kopyalama yönteminde olduğu gibi bakteriler yaşam süreleri boyunca elde ettikleri amaç fonksiyonu değerleri toplamlarına (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.

Şekil 3.5a'da bir popülasyonun iyi yarısındaki çözümlerden birine ilişkin çözüm sırası ve Şekil 3.5b'de ters çevirme sonrasında oluşan ve alt yarıya eklenecek yeni çözüm sırası verilmiştir.

1	4	5	3	8	9	10	6	7	2

a) Popülasyonun ilk yarısında yer alan bir bakteriye ilişkin çözüm sırası

2	7	6	10	9	8	3	5	4	1

b) Ters çevirme işleminden sonra elde edilen yeni çözüm sırası

Şekil 3. 5 Örnek bir ters çevirme yöntemi

Çaprazlama yönteminde ise öncelikle kopyalama işlemi gerçekleştirilmekte daha sonra popülasyonun ilk yarısından, amaç fonksiyonu değerlerine göre rulet çemberi yöntemiyle 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.

İki bakterinin seçim işleminin gerçekleştirildiği rulet çemberi yönteminde tüm bakterilerin uygunluk değerleri hesaplanarak toplandıktan sonra tüm bakterilerin uygunluk değerleri toplama bölünerek (0,1) aralığında sayılar elde edilir ve sayıların hepsi bir çemberde toplanır. Çemberdeki sayılar birbirine eklenerek rastgele olarak

belirlenen bir sayıya kadar çember üzerinde ilerlenir ve bu sayıya ulaşıldığında son eklenen sayının ait olduğu çözüm seçilmiş olur. Bu yöntemde uygunluk değeri yüksek olan bakterinin seçilme şansı daha yüksektir.

Önerilen BBAOA'da GA'da yaygın olarak kullanılan iki noktalı çaprazlama yöntemi kullanılmıştır. Bu durumda çaprazlama yapılacak iki bakteriyi oluşturan müşteri sırası üzerinde rassal iki nokta seçilerek bu iki nokta arasında kalan alanlar değiştirilmektedir ve bu şekilde yeni bakteriler oluşturulmaktadır (Baker ve Ayechew 2003). İki noktalı çaprazlama bir örnek verilerek aşağıda açıklanmıştır.

Çaprazlanmak üzere seçilen 1 ve 2 nolu bakterilere ilişkin müşteri sıraları aşağıdaki gibi verilsin.

1 3 5 10 8 2 9 6 7 4---------**1**

2 9 6 8 10 5 3 1 7 4---------**2**

10 elemanlı bu sıralar için rastgele seçilen iki nokta 4 ve 7 olarak belirlensin. Bu durumda, müşteri sırasında 4. ve 7. noktalar arasında kalan alan çaprazlanıp diğer kısımları sabit tutulur.

1 3 5	**10 8 2 9**	6 7 4 ---------**1**
2 9 6	**8 10 5 3**	1 7 4 ---------**2**

Koyu renk ile belirtilen alanlar çaprazlama yapılacak alanları ifade etmektedir. 1. bakteride çaprazlanacak alanda bulunan müşteriler 2. bakteride hangi sırada yer alıyorlarsa bu sıraya göre yeniden dizilmektedirler. Yani 1. bakterideki 10 8 2 9 no'lu müşteriler 2. bakteride 2 9 8 10 sırasında, 2. bakterideki 8 10 5 3 no'lu müşteriler 1. bakteride 3 5 10 8 sırasına göre dizilmişlerdir. Çaprazlama sonucu oluşan yeni bakteriler aşağıda verilmiştir.

1 3 5 **2 9 8 10** 6 7 4

2 9 6 **3 5 10 8** 1 7 4

Üretilen yeni bakteriler çaprazlamaya giren 1. ve 2. bakterilerin popülasyonun ikinci yarısındaki kopyalarının yerine geçirilmektedirler.

3.2.1.6. Eliminasyon ve dağılma

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 3.1'de önerilen BBAOA'da kullanılan hafıza tablosuna ilişkin bir örnek verilerek, ilgili tabloya göre çözümün nasıl elde edildiği açıklanmıştır.

Tablo 3. 1 Hafıza Tablosu

	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 3.1 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 3.1'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. 7. müşterinin olduğu satırda ise en büyük değer 7-6 müşteri çiftine aittir fakat 6. müşteri daha önce rotaya atandığı için ikinci en büyük değere sahip 7-8 müşteri çifti dikkate alınır ve 8.

müşteri rotaya eklenir. Bu işlem atanmayan müşteri kalmayıncaya kadar sürdürülür. Tablo 3.1'de dikkate alınan değerler koyu renkle belirtilmiştir. Hafıza tablosuna göre oluşan çözüme ilişkin müşteri sırası Şekil 3.6'da verilmiştir.

6	7	8	1	3	2	9	10	5	4

Şekil 3. 6 Hafıza tablosuna göre üretilen çözüm

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

Önerilen BBAOA'da bakteriler arası çekici ve itici etkiler (sürü davranışı) dikkate alınmamıştır.

3.2.1.7. Açıklayıcı bir örnek

Açıklayıcı bir örnek verilerek algoritmanın daha iyi anlaşılması hedeflenmiştir. İlgili örnek Dethloff (2001) veri setinden rassal olarak seçilen SCA3-6 olarak belirlenmiştir. 50 müşteriyi kapsayan problemin ilk 10 müşterisi dikkate alınmıştır. Müşterilere ilişkin dağıtım ve toplama miktarları ile müşterilerin depoya ve birbirlerine göre olan mesafe değerleri en yakın tamsayıya çevrilmiştir. Popülasyonu oluşturan bakteri sayısının (S) 10 olduğu varsayılmıştır. Örnek için kullanılan diğer parametre değerleri aşağıda verilmiştir.

$$AK = 300,\ N_c = 2,\ \mathrm{N_s} = 2,\ N_{re} = 1,\ N_{ed} = 1,\ C = 1,\ P_{ed} = 0.1$$

olduğu varsayılmıştır. Tablo 3.2'de müşterilere ilişkin talep miktarları, Tablo 3.3'de mesafe matrisi verilmiştir.

Tablo 3. 2 Müşterilere ilişkin dağıtım ve toplama talebi miktarları

Müşteri No	Dağıtım	Toplama	Müşteri No	Dağıtım	Toplama
1	68	97	**6**	94	109
2	7	5	**7**	27	36
3	5	7	**8**	64	70
4	78	98	**9**	24	13
5	44	55	**10**	45	29

Tablo 3. 3 Müşterilerin depoya ve birbirlerine göre olan mesafe değerleri matrisi

	0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
0	0	49	44	44	41	30	45	25	24	41	44
1	49	0	85	24	85	39	85	72	42	88	43
2	44	85	0	87	57	50	32	42	44	21	55
3	44	24	87	0	71	50	88	63	50	85	59
4	41	85	57	71	0	71	60	18	64	38	84
5	30	39	50	50	71	0	49	54	77	59	13
6	45	85	32	88	60	49	0	45	44	24	54
7	25	72	42	63	18	54	45	0	46	28	66
8	24	42	44	50	64	77	44	46	0	51	20
9	41	88	21	85	38	59	24	28	51	0	68
10	44	43	55	59	84	13	54	66	20	68	0

Her bir bakteride çözümü temsil eden müşteri sırasının başına, ilgili problemdeki her bir müşteri ayrı ayrı konularak EYK yöntemi uygulanmıştır. İlgili başlangıç çözümleri Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3. 4 10 bakteri için kodlanmış başlangıç çözümleri

Bakteri No	**Başlangıç Çözümleri**	**Katedilen Toplam Mesafe**
1	1-3-5-10-8-2-9-6-7-4	411
2	2-9-6-8-10-5-3-1-7-4	440
3	3-1-5-10-8-2-9-6-7-4	395
4	4-7-9-2-6-3-8-10-5-1	417
5	5-10-8-1-3-7-4-9-2-6	394
6	6-9-2-7-4-3-8-10-5-1	410
7	7-4-9-2-6-3 -8-10-5-1	411
8	8-10-5-1-3-7-4-9-2-6	385
9	9-2-6-8-10-5-3-1-7-4	445
10	10-5-1-3-8-2-5-6-7-4	425

Önerilen BBAOA on bakteri arasından rassal olarak seçilen dokuzuncu bakteri üzerinden açıklanmıştır. Şekil 3. 7'de ilgili bakteriye ilişkin kodlanmış başlangıç çözümü ve kodun çözümü verilmiştir.

9	2	6	8	10	5	3	1	7	4

a) Kodlanmış başlangıç çözümü

9-1	2-1	6-1	8-1	10-1	5-1	3-1	1-2	7-2	4-2

b)Kodlanmış çözümü oluşturan müşterilerin rotaya atanma bilgileri

Rota 1: 0-9-2-6-8-10-5-3-0	Rota 2: 0-1-7-4-0

c) Kodun Çözümü

Şekil 3. 7 Örnek problem için dokuzuncu bakteriye ilişkin başlangıç çözümü

Elde edilen başlangıç çözümünün amaç fonksiyonu değeri Eşitlik 21'e göre hesaplandığında J = 445'dir. Başlangıç çözümü oluşturulduktan ve amaç fonksiyonu değeri hesaplandıktan sonra, parametreler başlangıç değerlerine getirilir ve BBAOA başlar. Algoritmanın başlamasını takip eden kemotaksis sürecinde, öncelikli olarak yön belirleme, ardından ise belirlenen yönde bir adım atma işlemi gerçekleştirilir.

Yön belirlemede müşteri sırasına {-1, 0, +1} kesikli değerler kümesinden her pozisyon için rassal olarak seçilen değerler atanır. Şekil 3.8'de bakterinin yön vektörü değerleri verilmiştir.

Müşteri Sırası	9	2	6	8	10	5	3	1	7	4
Yön Vektörü	0	-1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1

Şekil 3. 8 Bakterinin yön vektörü değerleri

Müşteri sırası beş eşit parçaya bölünür. Beş parçadan rassal bir parça seçilir. İlgili örnekte birinci parça rassal olarak seçilmiştir. Şekil 3.9'da Belirlenen beş parça ve bu parçalara ilişkin müşteriler verilmiştir.

Parça No	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Müşteri Çifti	9 - 2	6 - 8	10 - 5	3 - 1	7 - 4

Şekil 3. 9 Elde edilen beş parça ve parçalara ilişkin müşteriler

Bakteri belirlenen yön doğrultusunda yüzmeye başlarken belirlenen yön vektörüne göre müşterilerin yer değiştirmesi sadece seçilen parça için geçerlidir.

Şekil 3. 8 incelendiğinde rassal olarak seçilen birinci parçaya uygulanan yön vektörü {0, -1}'dir. 9 no'lu müşteriye "0", 2 no'lu müşteriye ise "-1" değeri atanmıştır. Bu durumda, 2 no'lu müşteri $C = 1$ olması nedeniyle sırada kendinden bir önce gelen 9 no'lu müşteri ile yer değiştirmekte, 9 no'lu müşteri ise "0" değerini aldığı için 2 no'lo müşteri ile yer değiştirdikten sonra yeni pozisyonunda konumunu korumaktadır. Şekil 3.10'da bakterinin eski konumuna ve seçilen parçaya uygulanan yön vektörü sonucu elde edilen yeni konumuna ilişkin müşteri sırası verilmiştir.

9 – 2 – 6 – 8 – 10 – 5 – 3 – 1 – 7 – 4	Bakterinin eski konumu
2 – 9 – 6 – 8 – 10 – 5 – 3 – 1 – 7 – 4	Bakterinin yeni konumu

Şekil 3. 10 Seçilen parçaya uygulanan yön vektörü sonucu elde edilen yeni konumun müşteri sırası

Kemotaksis sürecinde bir adım atıldıktan sonra elde edilen çözümün kodu ve bu kodun çözümü Şekil 3.11'de verilmiştir.

2	9	6	8	10	5	3	1	7	4

a) Kemotaksis sürecinde elde edilmiş çözümün kodu

2-1	9-1	6-1	8-1	10-1	5-1	3-1	1-2	7-2	4-2

b) Kodlanmış çözümü oluşturan müşterilerin rotaya atanma bilgileri

Rota 1: 0-2-9-6-8-10-5-30	Rota 2: 0-1-7-4-0

c) Kodun Çözümü

Şekil 3. 11 Örnek problem için kemotaksis sürecinde elde edilen çözüm

Müşterilerin yer değiştirmesi sonucu oluşan sıra göz önünde bulundurularak gerekli kısıtların sağlanması koşuluyla problem yeniden çözülür. Şekil 3.11b'de verilmiş olan, örnek problem için bir bakteriye ilişkin kemotaksis sürecinde elde edilmiş çözümün kodu incelendiğinde, toplam rota sayısının 2 olduğu görülmektedir. İlgili çözümün amaç fonksiyonu değeri ise Eşitlik 21'e göre $J = 440$'dır.

Bu amaç fonksiyonu değerinin, aynı bakterinin başlangıç çözümünde ulaştığı amaç fonksiyonu değeri olan 445'den daha küçük olduğu görülmektedir. Bu durumda yeni elde edilen çözümün kodu bakterinin mevcut çözümü, amaç fonksiyonu değeri bakterinin mevcut amaç fonksiyonu değeridir. Bakterinin aynı yönde bir adım daha atmasını sağlamak amacıyla aynı yön vektörleri tekrar

kullanılarak ve her seferinde rassal bir parça seçilerek yeni bir çözüm elde edilir. Bu işlem çözüm iyileştikçe devam eder. Yeni elde edilen çözüm, bakterinin mevcut çözümünden daha iyi değilse, bir sonraki bakteri ile işlemlere geçilir ve aynı bakteriye tekrar sıra geldiğinde yeni bir yön belirlemek amacıyla yeni yön vektörleri geliştirilir.

3.2.2. Deney tasarımı

Çözümlerde kullanılacak parametre seviyeleri ve kullanılacak üreme metodu, önerilen BBAOA'nın çözüm başarısını önemli düzeyde etkileyebilmektedir. Önerilen algoritma için en uygun parametre seviyelerinin belirlenmesi ve alternatif üreme metotlarının amaç fonksiyonu üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla bir deney tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla öncelikle, ön deneyler gerçekleştirilmiş ve algoritma parametreleri için genel aralıklar belirlenmiştir. Belirlenen bu parametre aralıkları doğrultusunda parametre seviyeleri oluşturulmuştur. Bu parametre seviyeleri doğrultusunda, tüm parametre kombinasyonları, deneylerde kullanılan test problemlerinden rasgele seçilen biri üzerinde uygulanmıştır. Algoritmanın parametreleri ve deneylerde test edilen seviyeleri Tablo 3.5.'de verilmiştir.

Tablo 3. 5 Test edilen parametre seviyeleri

Parametre	**Seviyeler**
Bakteri Sayısı (S)	50, 100, 150
Eliminasyon ve Dağılma Adım Sayısı (N_{ed})	1, 2, 3
Üreme Adım Sayısı (N_{re})	1, 2, 3
Kemotaksis Adım Sayısı (N_c)	50, 100, 150
Üreme Metodu (ÜM)	Kopyalama, Ters Çevirme, Çaprazlama,

Bütün çözümlerde N_s =100, C = 1 ve P_{ed} = %10 olarak alınmıştır. Seçilen test problemi Tablo 3.5.'de verilen parametre seviyeleri ve üreme metotlarının tüm kombinasyonları için üçer defa (üç tekrar) çözülmüştür. Bu durumda, 3×3×3×3×3×3 = 729 çözüm elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çok Yönlü Varyans Analizine tabi tutulmuştur. Varyans analizi sonucunda anlamlı farklılıklar tespit edilen parametreler için gruplar arası farklılıkları incelemek amacıyla Duncan testleri uygulanmıştır.

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.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. En Uygun Parametre Seviyeleri

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 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4. 1 Varyans analizi sonuçları

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} * ÜM	972,0	4	243,0	2,2	,072
S	8140,0	2	4070,0	36,3	,000	S * ÜM	521,7	4	130,4	1,2	,326
N_c	9508,8	2	4754,4	42,4	,000	N_{re} * S * ÜM	954,9	8	119,4	1,1	,387
N_{ed}	6487,2	2	3243,6	28,9	,000	N_c * ÜM	480,9	4	120,2	1,1	,369
ÜM	12732,9	2	6366,4	56,8	,000	N_{re} * N_c * ÜM	1044,9	8	130,6	1,2	,319
N_{re} * S	419,0	4	104,8	,9	,444	S * N_c * ÜM	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 * ÜM	1485,4	16	92,8	,8	,654
S * N_c	739,5	4	184,9	1,6	,161	N_{ed} * ÜM	391,5	4	97,9	,9	,480
N_{re} * S * N_c	217,1	8	27,1	,2	,983	N_{re} * N_{ed} * ÜM	1875,9	8	234,5	2,0	,035
N_{re} * N_{ed}	133,5	4	33,4	,3	,880	S * N_{ed} * ÜM	1206,9	8	150,9	1,3	,219
S * N_{ed}	513,8	4	128,4	1,1	,334	N_{re} * S * N_{ed} * ÜM	2602,7	16	162,7	1,4	,114
N_{re} * S * N_{ed}	245,9	8	30,7	,3	,974	N_c * N_{ed} * ÜM	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} * ÜM	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} * ÜM	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} * ÜM	2079,7	32	64,9	,6	,970
						Hata	54488,9	486	112,2		
						Toplam Hata	411248170,1	729			

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 öncelikle S grupları arası farklılıkları incelemek amacıyla Duncan testi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4. 2 *S* için Duncan testi sonuçları

		Alt grup		
S	**N**	**1**	**2**	**3**
150	243	746,9		
100	243		750,8	
50	243			755,1
p		1,0	1,0	1,0

Tablo 4.2'ye göre, bakteri sayısındaki artışa paralel olarak amaç fonksiyonu değerleri azalmıştır. Her bir *S* seviyesi için ortalama amaç fonksiyonu değeri diğer seviyelerden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklıdır. Tablo 4.2'deki sonuçlara göre, en düşük amaç fonksiyonu değerleri bakteri sayısının 150 olarak seçildiği durumda elde edilmiştir.

N_c grupları arası farklılıkları incelemek amacıyla Duncan testi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4. 3 N_c için Duncan testi sonuçları

		Alt grup		
N_c	**N**	**1**	**2**	**3**
150	243	746,8		
100	243		750,4	
50	243			755,6
p		1,0	1,0	1,0

Tablo 4.3'e göre, kemotaktik adım sayısındaki artışa paralel olarak amaç fonksiyonu değerleri azalmıştır. Her bir N_c seviyesi için ortalama amaç fonksiyonu değeri diğer seviyelerden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklıdır. Tablo

4.3'deki sonuçlara göre, en düşük amaç fonksiyonu değerleri kemotaktik adım sayısının 150 olarak seçildiği durumda elde edilmiştir.

N_{re} grupları arası farklılıkları incelemek amacıyla Duncan testi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4. 4 N_{re} için Duncan testi sonuçları

		Alt grup		
N_{re}	**N**	**1**	**2**	**3**
3	243	744,2		
2	243		750,1	
1	243			758,6
p		1,0	1,0	1,0

Tablo 4.4'e göre, üreme adım sayısındaki artışa paralel olarak amaç fonksiyonu değerleri azalmıştır. Her bir N_{re} seviyesi için ortalama amaç fonksiyonu değeri diğer seviyelerden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklıdır. Tablo 4.4'deki sonuçlara göre, en düşük amaç fonksiyonu değerleri üreme adım sayısının 3 olarak seçildiği durumda elde edilmiştir.

N_{ed} grupları arası farklılıkları incelemek amacıyla Duncan testi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 4.5'de verilmiştir.

Tablo 4. 5 N_{ed} için Duncan testi sonuçları

		Alt grup		
N_{ed}	**N**	**1**	**2**	**3**
3	243	747,8		
2	243		750,1	
1	243			754,9

Tablo 4.5'e göre, eliminasyon ve dağılma sayısındaki artışa paralel olarak amaç fonksiyonu değerleri azalmıştır. Her bir N_{ed} seviyesi için ortalama amaç fonksiyonu değeri diğer seviyelerden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklıdır. Tablo 4.5'deki sonuçlara göre, en düşük amaç fonksiyonu değerleri eliminasyon ve dağılma sayısının 3 olarak seçildiği durumda elde edilmiştir.

ÜM grupları arası farklılıkları incelemek amacıyla Duncan testi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 4.6'de verilmiştir.

Tablo 4. 6 *ÜM* için Duncan testi sonuçları

		Alt grup		
ÜM	**N**	**1**	**2**	**3**
Çaprazlama	243	746,6		
Bölünme	243		749,6	
Ters Çevirme	243			756,6
p		1,0	1,0	1,0

Tablo 4.6'ya 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.

4.2. Deney Sonuçları ve Tartışma

Belirlenen en uygun parametre seviyesi kombinasyonu ve üreme metodu olarak çaprazlama kullanılarak tüm test problemleri üçer defa çözülmüş ve elde edilen sonuçlar Dethloff (2001) sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Dethloff (2001), en ucuz ekleme tabanlı sezgisel bir yaklaşım önermiştir. Önerdiği yaklaşım (RCRS) müşterileri rotalara eklemek için kullandığı üç ekleme kriterini kapsamaktadır. Bu kriterler; seyahat mesafesi (Travel Distance, TD), kalan kapasite (Residual Capacity, RC) ve depoya olan uzaklık (Radial Surcharge, RS) tır.

Dethloff (2001) çalışmasında oluşturduğu 40 test problemini RCRS'de kullandığı üç kriter ve RCRS için ayrı ayrı çözmüştür.

BBAOA ile elde edilen sonuçlar Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4. 7 Önerilen BBAOA ve Dethloff (2001)'e ilişkin test sonuçları

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

İlk sütun test problemlerinin ismini, sonraki dört sütun sırasıyla problemlerin Dethloff (2001) tarafından önerilen TD, RC, RS ve RCRS ile çözümünden üretilen sonuçları göstermektedir. Beşinci sütunda ise önerilen BBAOA'nın çözümüyle elde edilen sonuçlar bulunmaktadır. Tablo 4.7'de, Dethloff (2001)'e göre daha iyi olan sonuçlar koyu renkle belirtilmiştir.

Amaç fonksiyonu araçlar tarafından katedilen toplam mesafenin minimize edilmesidir. Bu amaca yönelik olarak üretilen çözümlerde gerekli bütün kısıtlar ve varsayımlar sağlanmıştır.

Tablo 4.7 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 (Gencer ve Yaşa 2007). 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 metot olmasına rağmen BBAOA ile elde sonuçların oldukça başarılı olduğu görülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ekonomik nedenler, çevresel sorunlar ve yasalar işletmelerin TL uygulamalarına yönelmelerine neden olmuştur. TL ile birlikte ileri lojistikte kullanılan ARP'ye verilen önem daha da artmıştır. ARP, araç/araçların depo/depolardan çıkarak müşterilerin taleplerini yerine getirerek tekrar depo/depolara dönmeleri sürecinde toplam kat edilen yolun en küçük yapılmasını sağlayacak şekilde araçların izleyecekleri rotaların bulunması problemleridir. Bu problemlerde, depodan müşterilere ve müşterilerden depoya malzeme gönderilmektedir. Dağıtım ve toplama taleplerinin yerine getirilmesi sürecinde izlenilecek rotaların belirlenmesi, lojistik maliyetleri bakımından oldukça önemlidir. Bu nedenle, araç rotalama dağıtım ve toplama yönetiminde ve lojistik alanında önemli bir rol oynamaktadır.

Bu çalışmada TL'de 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. BBAOA üç döngüyü kapsamaktadır: kemotaksis, üreme ve eliminasyon ve dağılma. Bakteriler besin ararken harcadıkları enerjiyi minimum düzeyde tutmaya çalışmaktadırlar. Bu amaca yönelik olarak hareketleri esnasında belli bir anda aldığı değeri bir müddet özel bir hafızada tutup, sonraki aldığı değer ile karşılaştırarak besince zengin alanlara doğru hareket etme eğilimindedirler. Bu durum kemotaksis olarak adlandırılmaktadır. Üreme olayında ise zengin besin alanına giren bakteriler belli bir büyüklüğe erişerek çoğalmaktadırlar. Eliminasyon ve dağılma-dağılma olayında ise bakteriler zaman zaman çevrelerinde ani değişikliklere uğrayarak bulundukları konumlarını korumaktadırlar veya başka alanlara dağılmaktadırlar. Önerilen algoritmada EDT_ARP'ye ilişkin genel kısıtlar ve varsayımlar doğrultusunda yukarıda adı geçen üç yaşam döngüsü de uygulanmıştır. Dethloff (2001) veri seti kullanılarak Dethloff (2001)'in önerdiği "RCRS" sezgiseli ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar BBAOA'nın kırk problemden yirmi dört problemde daha iyi çözümler üretildiğini göstermektedir.

EDT_ARP ve ARP'nin diğer sınıflarına yönelik yapılan literatür incelemesinde BBAOA'nın uygulandığı bir çalışma ile karşılaşılmamıştır. Bu nedenle bu çalışma,

BBAOA'nın EDT_ARP'ye nasıl uygulanacağının gösterilmesi açısından önemlidir. Çalışma ile hedeflenen BBAOA'nın çalışma prensibi ve performans kriterlerinin sonucu nasıl etkilediğini ortaya koymak ve gelecekte bu konuda yapılacak çalışmalara bir başlangıç teşkil etmektir.

İleriye dönük olarak yapılacak çalışmalarda, BBAOA ile yerel arama metotları ve diğer metasezgisel yöntemler birleştirilerek algoritmanın performansı ve etkinliği arttırılabilir. Ayrıca ÖDST_ARP ve KDT_ARP'de uygulanarak algoritmanın toplama ve dağıtım müşterilerinin farklı olduğu durumda ortaya koyacağı performans değerlendirilebilir.

6. KAYNAKLAR

Ai, J., Kachitvichyanukul, V., 2009 A particle swarm optimization for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. Computers & Operations Research 36: 5, 1693- 1702.

Altıparmak, F., Dengiz, B., Kara, İ., Karaoğlan İ. 2008. Eş zamanlı topla-dağıt araç rotalama problemi için yeni matematiksel formulasyonlar. Sayfa No. 130.YA/EM 2008-Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği XXVIII. Ulusal Kongresi Bildiri Özetleri Kitabı, Galatasaray Üniversitesi, İstanbul, 30 Haziran - 2 Temmuz.

Angelelli, E., Mansini R. 2003. A branch-and-price algorithm for a simultaneous pick-up and delivery problem. Working Paper, Article presented at the EURO/INFORMS Meeting.

Baker, B. M., Ayechew M.A., 2003 A genetic algorithm for the vehicle routing problem. Computers & Operations Research 30, 787–800.

Başbuğ S. 2008. Bakteriyel besin arama algoritması ile lineer anten dizilerinin diyagram sıfırlaması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Bianchessi, N., Righini, G., 2007 Heuristic algorithms for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery. Computers & Operations Research 34: 2, 578–594.

Biswas, A., Dasgupta, S., Das, S., Abraham A. 2007a. Synergy of pso and bacterial foraging optimization: a comparative study on numerical benchmarks. Second International Symposium on Hybrid Artificial Intelligent Systems.

Biswas, A., Dasgupta, S., Das, S., Abraham, A., 2007b 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, 17: 6, 607-626.

Bremermann, H., 1974 Chemotaxis and optimization. J. Franklin Inst., 297, 397–404.

Casco, D.O., Golden, B.L., Wasil, E.A., 1988 Vehicle routing with backhauls: models, algorithms and case studies. Elsevier, Amsterdam, 127–147.

Chen, J. F., Wu, T. H., 2006 Vehicle routing problem with simultaneous deliveries and pickups. Journal of the Operational Research Society 57, 579–587.

Chen, J. F., Chia, F., 2006 Approaches for the vehicle routing problem with simultaneous deliveries and pickups. Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers 23: 2, 141–150.

Crispim, J., Brandao, J., 2005 Metaheuristics applied to mixed and simultaneous extensions of vehicle routing problems with backhauls. Journal of the Operational Research Society 56, 1296–1302.

Dell'Amico, M., Righini, G., Salani, M., 2006 A branch-and-price approach to the vehicle routing problem with simultaneous distribution and collection. Transportation Science 40: 2, 235–247.

Demirel, Ö.N., Gökçen, H., 2008 Geri kazanımlı imalat sistemleri için lojistik ağı tasarımı: literatür araştırması. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 23: 4, 903–912.

Dethloff, J., 2001 Vehicle routing and reverse logistics: The vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up. OR Specktrum 23, 79–96.

Erbao. C., Mingyong, L., Kai N. 2008. A differential evolution &genetic algorithm for vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up and time Windows. Paper no. 10576-10581. Proceedings of the 17th World Congress. The International Federation of Automatic Control, Seoul, Korea, July 6-11.

Erol V. 2006. Araç rotalama problemleri için popülasyon ve komşuluk tabanlı metasezgisel bir algoritmanın tasarımı ve uygulaması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Gajpal, Y., Abad, P., 2009 An ant colony system (ACS) for vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup. Computers & Operations Research 36: 12, 3215–3223.

Gencer, C., Yaşa, Ö., 2007 Ulaştırma Komutanlığı Ring Seferlerinin Eş Zamanlı Dağıtım Toplama Karar Destek Sistemi. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 22: 3, 437–449.

Golden B., Baker, E., Alfaro, J., Schaffer J. 1985. The vehicle routing problem with backhauling: two approaches. Paper no. 90-92. Proceedings of the 21st Annual Meeting of S.E. TIMES, Myrtle Beach, SC, USA.

Kim, D. H., Cho, J. H. 2005a. 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. Lodz, Poland, Lecture Notes in Computer Science. 3528, 231–238.

Kim, D. H., Cho C. H. 2005b. Bacterial foraging based neural network fuzzy learning. Proceedings of 1st Indian International Conference on Artificial Intelligence. 2030-2036.

Kim, D. H., Abraham, A., Cho, J. H. 2007 A hybrid genetic algorithm and bacterial foraging approach for global optimization. Information Sciences 177:18, 3918-3937.

Majhi, B., Panda, G.. 2007 Bacteria foraging based identificacion of nonlinear dynamic system. In Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation, Singapore, IEEE Service Center, 1636–1641.

Majhi, B., Panda, G., Sahoo, G., Dash, P., Das D. 2007. 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, September: 2569–2575.

Min, H., 1989 The multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up points. Transportation Research 23: 5, 377–386.

Mingyong, L., Erbao, C., 2010 An improved differential evolution algorithm for vehicle routing problem with simultaneous pickups and deliveries and timewindows. Engineering Applications of Artificial Intelligence 23: 2, 188–195.

Mishra, S., 2005 A hybrid least square-fuzzy bacteria foraging strategy for harmonic estimation. IEEE Trans. Evol. Comput. 9: 1, 61–73.

Montané, T, F, A., Galvão, R, D., 2006 A tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery service. Computers & Operations Research 33: 3, 595–619.

Nagy, G., Salhi, S., 2005 Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickups and deliveries. European Journal of Operational Research 162: 1, 126–141.

Passino, K.M., 2002 Biomimicry of bacterial foraging for distributed optimization and control. IEEE Control Systems Magazine, 52–67.

Salhi, S., Nagy, G., 1999 A cluster insertion heuristic for single and multiple depot vehicle routing problems with backhauling. The Journal of The Operational Society 50: 10, 1034–1042.

Subramanian, A., Drummonda, L.M.A., Bentes, C., Ochi, L.S., Farias, R., 2010 A parallel heuristic for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. Computers & Operations Research 37: 11, 1899–1911.

Zhang,Tao., Tian, W., Zhang,Y., Liu, S., 2008 Improved ant colony system for VRPSPD with maximum distance constraint. Online English edition of the Chinese language Journal 28: 1, 132–140.

Toth, P., Vigo, D. 2002. The vehicle routing problem. Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia.

Tripathy, M., Mishra, S., Lai, L. L., Zhang,Q. P., 2006.Transmission loss reduction based on FACTS and Bacteria Foraging Algorithm. Proceedings of 9th International Conference on Parallel Problem Solving from Nature:. 222-231.

Zachariadis, E, E., Tarantilis, C, D., Kiranoudis, C, T., 2009 A hybrid metaheuristic algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up service. Expert Systems with Applications 36: 2, 1070–1081.

Zachariadis, E. E., Tarantilis, C. D., Kiranoudis, C. T., 2010 An adaptive memory methodology for the vehicle routing problem with simultaneous pick-ups and deliveries. European Journal of Operational Research 202, 401–411.

Wassan, N. A., · Wassan, A. H., Nagy, G., 2008a A reactive tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pickups and deliveries. J Comb Optim., 15, 368–386

Wassan, N. A., Nagy, G., Ahmadi, S., 2008b A heuristic method for the vehicle routing problem with mixed deliveries and pickups. J Sched 11, 149–161.

Wu, C., Zhang, N., Jiang, J., Yang, J., Liang, Y., 2007 Improved bacterial foraging algorithms and their applications to job shop scheduling problems. ICANNGA, Part I, LNCS 4431, 562 – 569.