

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

İŞLETME ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİNE GENETİK ALGORİTMA
YAKLAŞIMI: BİR GIDA DAĞITIM FİRMASI UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burcu KEMER

HAZİRAN-2010

TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

İŞLETME ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİNE GENETİK ALGORİTMA
YAKLAŞIMI: BİR GIDA DAĞITIM FİRMASI UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burcu KEMER

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Birdoğan BAKİ

HAZİRAN-2010

TRABZON

BİLDİRİM

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını, aksinin ortaya çıkması durumunda her tür yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ediyorum.



Burcu KEMER

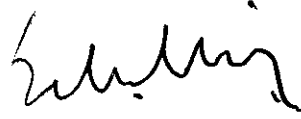
26.05.2010

ONAY

Burcu KEMER tarafından hazırlanan Araç Rotalama Problemlerine Genetik Algoritma Yaklaşımı: Gıda Dağıtım Firması Uygulaması adlı bu çalışma 16.06.2010 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oybirliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından İşletme Anabilim dalında **yüksek lisans tezi** olarak kabul edilmiştir.



Doç. Dr. Birdoğan BAKİ (Danışman)



Doç. Dr. Selçuk PERÇİN (Üye)



Yrd. Doç. Tuba YAKICI AYAN (Üye)

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduklarını onaylarım. .../.../.....

Doç. Dr. Yusuf ŞAHİN
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Küreselleşen dünyada müşterilere etkili ve hızlı hizmet vermek firmalar için zorunlu hale gelmiştir. Dağıtımın önemli rol oynadığı işletmelerde araçların doğru rotalanması büyük önem taşımaktadır. Geniş müşteri ağına hizmet veren bu işletmeler için araçlarını en uygun biçimde rotalamak çok ciddi bir problemdir. Kombinatoryal problemler olarak da adlandırılan bu problem türlerinin çözümü için birçok farklı teknik kullanılmaktadır. Meta sezgisel yöntemler olarak isimlendirilen bu tekniklerden biri de Genetik Algoritmadır.

Çalışmalarım boyunca engin fikir ve becerilerini benimle paylaşan, bilimsel hayatıma yön veren ve desteklerini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Birdoğan BAKI'ye, tezimin bütün aşamaları boyunca her türlü yardım ve desteğini benden esirgemeyen ve çok değerli vakitlerini ayıran KTÜ TEKMER Müdürü Sayın Dr. Mehmet TURHAL'a ve Uzman Dr. Kemal ÇAKAR'a, çalışma boyunca gösterdikleri hassasiyet ve verilerin elde edilmesindeki desteklerinden ötürü ONURLAR Kollektif Şirketinden Sayın Orhan USTAÖMEROĞLU'na, Sayın Levent GÜNEY'e ve tüm çalışanlarına teşekkür ederim. Ayrıca, tezime yaptıkları katkılardan dolayı Gümüşhane Üniversitesi İşletme Bölümünde görevli olan Arş. Gör. İskender PEKER'e, canım arkadaşım Pelin ÇELİK'e, Karadeniz Teknik Üniversitesi İç Mimarlık Bölümünde çalışan arkadaşım Arş. Gör. Elif SÖNMEZ'e ve değerli arkadaşım Ali HIDIMOĞLU'na, tez çalışmam boyunca gösterdikleri hassasiyet ve manevi desteklerinden dolayı Rize Üniversitesi İ.İ.B.F Dekanı Sayın Prof. Dr. Osman KARAMUSTAFA ve Arş. Gör. Harun SARAÇ başta olmak üzere tüm akademik ve idari personele, çalışmamın öncesinde ve sonrasında desteklerini benden esirgemeyen ağabeylerim Dr. Barış KEMER ve Gökhan KEMER olmak üzere aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans tezimi, Yurt İçi Yüksek Lisans Bursu ile maddi olarak destekleyen TÜBİTAK Bilim Adamı Yetiştirme Grubuna teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET	VIII
ABSTRACT	IX
TABLolar LİSTESİ	X
ŞEKİLLER LİSTESİ	XI
KISALTMALAR LİSTESİ	XII
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

1. METASEZGİSEL YÖNTEMLER	3-35
1.1. Genel Bilgiler.....	3
1.2. Tabu Arama	4
1.3. Tavlama Benzetimi	6
1.4. Karınca Kolonisi Algoritması	8
1.5. Genetik Algoritma.....	11
1.5.1. Genel Bilgiler	11
1.5.2. Genetik Algoritmanın Avantajları ve Dezavantajları	13
1.5.3. Genetik Algoritmanın Çalışma Mekanizması	15
1.5.4. Genetik Algoritmanın Kullandığı Terimler	16
1.5.5. Kodlama	18
1.5.6. Genetik Operatörler	23
1.5.6.1. Seçim	23
1.5.6.2. Çaprazlama	26
1.5.6.3. Mutasyon	29
1.5.7. Arama Sonlandırma	31

1.5.8. Genetik Algoritmalarda Parametre Seçimi	31
1.5.8.1. Popülasyon Büyüklüğü	32
1.5.8.2. Üreme Parametresi	33
1.5.8.3. Çaprazlama Olasılığı	33
1.5.8.4. Mutasyon Olasılığı	34
1.5.8.5. Kuşak Aralığı	34
1.5.8.6. Seçim Stratejisi	34
1.5.8.7. Fonksiyon Ölçeklemesi	35
1.5.9. Genetik Algoritmaların Uygulama Alanları	35

İKİNCİ BÖLÜM

2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ	36-64
2.1. Genel Bilgiler.....	36
2.2. Araç Rotalama Probleminin Çeşitleri	37
2.2.1. Klasik Araç Rotalama Problemi.....	37
2.2.2. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi.....	37
2.2.3. Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi.....	39
2.2.4. Geri Dönüşümlü Araç Rotalama Problemi.....	41
2.2.5. Topla-Dağıt Tipi Araç Rotalama Problemi.....	44
2.3. Literatür Araştırması	47
2.3.1. Klasik Yöntemlerle İlgili Literatür Araştırması.....	48
2.3.2. Sezgisel Yöntemlerle İlgili Literatür Araştırması	52
2.3.3. Meta Sezgisel Yöntemlerle İlgili Literatür Araştırması	54

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. BİR GIDA DAĞITIM FİRMASININ GENETİK ALGORİTMA YÖNTEMİYLE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ.....	65-77
3.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi	65
3.2. Problemin Tanımı.....	67
3.3. Problemin Varsayımları ve Genetik Algoritma ile Çözümü	68

SONUÇ ve ÖNERİLER	78
YARARLANILAN KAYNAKLAR	80
EKLER	92
ÖZGEÇMİŞ	102

ÖZET

Firmaların küresel pazar koşullarında rakipleriyle rekabetinde en önemli rolü müşteri memnuniyeti oynamaktadır. Firmalar müşterilerini memnun edebilmek için etkili ve hızlı servis yapmak zorundadırlar. Lojistik kavramının en önemli parçası olan araç rotalama problemi firmaların en çok sorun yaşadığı problemlerden biridir. Öte yandan, literatürde genişçe yer alan Araç Rotalama Problemlerinin (ARP) çözümünde son yıllarda sezgisel ve meta sezgisel yöntemlere başvurulmaktadır. Müşteri sayısının artmasıyla karmaşıklaşan problemlere en iyi ya da yakın çözümü en kısa zamanda bu yöntemler bulmaktadır. Evrim teorisinden esinlenilerek geliştirilen Genetik Algoritma (GA), uygulamasının kolay ve karmaşık matematiksel formüller içermemesinden dolayı tercih edilen yöntemlerden biridir.

Bu çalışmada Trabzon'da faaliyet gösteren gıda sektöründeki bir dağıtıcı işletmenin, müşteri grubunda yer alan büyük marketlere ürün dağıtımı için araç filolarının kullandıkları en uygun rotanın belirlenmesi ve önerilen rotanın maliyetinin en küçüklenmesi amaçlanmıştır. Problemin çözümde, meta sezgisel çözüm yöntemlerinden olan genetik algoritma tekniği kullanılmıştır. Söz konusu işletmenin, hizmet ettikleri müşterilerinin konumları, dijital ortamda belirlenip birbirleriyle olan uzaklıkları hesaplanmıştır. Daha sonra geliştirilen genetik algoritma modelinin önerdiği çözümle araç filolarının izledikleri rotalar bir haftalık verilerle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarla mevcut sistem karşılaştırılmış ve önerilen modelin firmanın bir haftalık toplam yol mesafesini % 14,5 oranında iyileştirdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Araç Rotalama Problemi, Genetik Algoritma, Gıda Sektörü, Rota Belirleme

ABSTRACT

Customer satisfaction plays the leading role while companies are competing with the global market conditions. To satisfy their customers, companies have to serve in a fast and efficient way. Vehicle Routing Problem (VRP), which is the most important part of logistics concept, is one of the problems that companies come across. On the other hand, taking place widely in the literature, for the solution of Vehicle Routing Problem, heuristic and meta heuristic methods are used. Being complicated with the increasing number of customers, these methods give the best or the nearest results to the problems. Genetic Algorithms, inspired by evolution theory, is preferred because of being simple in application and not including complex mathematical formulas.

The aim of this study is to determine the suitable route for the vehicle fleets which serve to the big markets and minimize the cost of the recommended route of a distributor company, which takes place in food sector in Trabzon. In the solution of the problem, genetic algorithms, a meta heuristic method, is used. The locations of customers, who are served by the company, are defined and the distances are calculated in digital environment. Subsequently, the weekly data are compared with the routes of the vehicle fleets that are suggested by newly developed genetic algorithm model. The present system is compared with the developed solution and the recommended model is ascertained to better the total weekly distance in the ratio of 14.5%.

Key Words: Vehicle Routing Problem, Genetic Algorithms, Food Sector, Routing Assignment

TABLolar LİSTESİ

<u>Tablo Nr.</u>	<u>Tablonun Adı</u>	<u>Sayfa Nr.</u>
1.	Tabu Aramanın İşleyiş Adımları	5
2.	Doğal ve Genetik Algoritma Kavramlarının Karşılaştırılması.....	17
3.	İkili ve Gri Kodlama Gösterimi	22
4.	Bazı Üreme Operatörlerinin Seçim Basınçları	33
5.	Bazı Çaprazlama Operatörlerinin Arama Güçleri	34
6.	Araç Rotalama Problemi ile İlgili Bazı Gerçek Yaşam Uygulamaları	66
7.	Pazartesi Günü Hizmet Gören Müşteri Bilgileri.....	69
8.	Pazartesi Günü için Farklı Çaprazlama ve Mutasyon Oranlarının Karşılaştırılması	70
9.	Pazartesi Günü için Rotaların Karşılaştırılması.....	70
10.	Salı Günü Hizmet Gören Müşteri Bilgileri	71
11.	Salı Günü Araç 1 için Farklı Çaprazlama ve Mutasyon Oranlarının Karşılaştırılması ..	71
12.	Salı Günü Araç 2 için Farklı Çaprazlama ve Mutasyon Oranlarının Karşılaştırılması ..	72
13.	Salı Günü için Rotaların Karşılaştırılması.....	72
14.	Çarşamba Günü Hizmet Gören Müşteri Bilgileri	73
15.	Çarşamba Günü için Farklı Çaprazlama ve Mutasyon Oranlarının Karşılaştırılması ...	73
16.	Çarşamba Günü için Rotaların Karşılaştırılması	73
17.	Perşembe Günü Hizmet Gören Müşteri Bilgileri	74
18.	Perşembe Günü için Farklı Çaprazlama ve Mutasyon Oranlarının Karşılaştırılması	74
19.	Perşembe Günü için Rotaların Karşılaştırılması.....	74
20.	Cuma Günü Hizmet Gören Müşteri Bilgileri	75
21.	Cuma Günü için Farklı Çaprazlama ve Mutasyon Oranlarının Karşılaştırılması	75
22.	Cuma Günü için Rotaların Karşılaştırılması	75
23.	Cumartesi Günü Hizmet Gören Müşteri Bilgileri.....	76
24.	Cumartesi Günü için Farklı Çaprazlama ve Mutasyon Oranlarının Karşılaştırılması ...	76
25.	Cumartesi Günü için Rotaların Karşılaştırılması.....	76

ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Şekil Nr.</u>	<u>Şekil Adı</u>	<u>Sayfa Nr.</u>
1	Sezgisel Arama İçin Temel Sınıf Diyagramı.....	4
2	Karıncaların En Kısa Yolu Bulmalarının Gösterimi.....	10
3	Genetik Algoritmanın Yapısı	16
4	İkili Kodlama Gösterimi.....	19
5	Permütasyon Kodlama Gösterimi	20
6	Değer Kodlama Gösterimi	21
7	Ağaç Kodlama Gösterimi	21
8	Tek Noktalı Çaprazlama	27
9	İki Noktalı Çaprazlama	28
10	Uniform Çaprazlama	28
11	Dairesel Çaprazlama	29
12	Mutasyon Operatöründe Döndürme İşlemi.....	30
13	Mutasyon Operatöründe Değiş-Tokuş İşlemi	30
14	Bazı Araç Rotalama Problemi Çeşitleri	39
15	Geri Dönüşümlü Araç Rotalama Probleminin Akış Çizelgesi	42
16	Topla-Dağıt Tipi Araç Rotalama Problemi Çeşitleri	46

KISALTMALAR LİSTESİ

ARP	: Araç Rotalama Problemi
AARP	: Açık Araç Rotalama Problemi
ATARP	: Ayrık Teslimatlı Araç Rotalama Problemi
ATDARP	: Aynı Anda Topla Dağıt Tipi Araç Rotalama Problemi
ÇDARP	: Birden Çok Depolu Araç Rotalama Problemi
ÇPP	: Çinli Postacı Problemi
DNA	: Deoksiribonükleik Asit
GA	: Genetik Algoritma
GDARP	: Geri Dönüşümlü Araç Rotalama Problemi
GSP	: Gezgin Satıcı Problemi
KARP	: Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
KDS	: Karar Destek Sistemleri
KKA	: Karınca Kolonisi Algoritması
KTDARP	: Karışık Topla Dağıt Tipi Araç Rotalama Problemi
PARP	: Periyodik Araç Rotalama Problemi
SARP	: Stokastik Araç Rotalama Problemi
TA	: Tabu Arama
TB	: Tavlama Benzetimi
TDARP	: Topla Dağıt Tipi Araç Rotalama Problemi
VRP	: Vehicle Routing Problem
ZARP	: Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi

GİRİŞ

Firmaların global pazar koşullarında rakiplerinden önde olabilmeleri için müşterilerine hızlı ve etkin servis yapmaları gerekmektedir. Gelişen teknolojiyle birlikte firmalar dünyanın dört bir yanındaki müşterilerine kolaylıkla hizmet sunabilmektedirler. Geniş müşteri yelpazesine sahip firmalar için lojistik ve dağıtım kavramı gün geçtikçe gelişmekte ve önem kazanmaktadır. Lojistik kavramının belirgin bir tanımı olmamasına karşın Lojistik Yönetimi Konseyine göre lojistik; müşterilerin ihtiyaçlarını karşılamak için hammaddeden ürünün tüketildiği noktaya kadar olan süreç içerisinde malzemelerin, servis hizmetlerinin ve bilgi akışının etkili ve verimli bir şekilde yönetilmesidir (<http://escmp.org>). Lojistiğin müşteriye uzanan kısmı olan dağıtım lojistiğinde; araç güzergahlarının belirlenmesi, taşıma yapacak araç tiplerinin seçimi, araç kapasitelerinin düzenlenmesi ve ürünlerin yerlerine ulaşımının takip edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Günümüzde önemini arttıran dağıtım sektöründe, rakiplerle rekabet edebilmek için müşterilere hızlı ve kaliteli hizmet vermek zorunlu olmuştur. Etkin bir rotalama ve çizelgeleme ile kısa zamanda daha çok müşteriye hizmet verip daha fazla müşteri memnuniyeti sağlanacaktır. Literatürde kapsamlı bir şekilde incelenen Araç Rotalama Probleminin (ARP) çözülmesi ile şirketler gerçek hayatta dağıtım ağlarını iyileştirme yoluna gitmektedirler. ARP, bir veya birkaç depoya sahip ve belirli sayıda müşterilere sahip firmaların, ürün dağıtımını yaparken seyahat mesafesini minimize etmeye çalışan problemdir. Genellikle bu probleme araç kapasitesi, yol uzunluğu, belirli bir zaman periyodunda hizmet verilmesi gereken müşteriler gibi bazı kısıtlar eklenir.

ARP çözümünde klasik, sezgisel ve son yıllarda sık rastlanılan meta sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Müşteri sayısının artmasıyla klasik yöntemlerle çözümün zorlaştığı bu problem tipinin farklı kısıtlara sahip çeşitleri bulunmaktadır. Kapasite kısıtlı ve zaman pencereli ARP, sıklıkla kullanılan ve gerçek yaşam problemlerine de uyum sağlayan türleridir. Kapasite kısıtlı ARP'de taleplerin kontrol edilmesi söz konusuysen zaman pencereli ARP'de müşterilere belirli zaman aralıklarında hizmet verilmektedir.

Meta sezgisel yöntemler kullanılarak büyük boyutlu problemler olarak da bilinen kombinasyonel problemler için kabul edilebilir sürede iyi çözümler elde etmek mümkün olabilmektedir. Gereksiz çözümlerle uğraşmayıp kısa zamanda etkin ve doğru çözümler sunan meta sezgisel yöntemlerden birisi de Genetik Algoritma (GA) yöntemidir. GA, en iyi bireyin hayatta kalma sürecini bilgisayar ortamında taklit ederek ARP'lerine en iyi çözümü ya da yakın çözümü sunmaktadır.

Trabzon'da faaliyet gösteren bir gıda dağıtım firmasının günlük müşteri taleplerine göre araç rotalarının belirlenmesi ve maliyetlerin en küçüklenmesi amaçlanan bu çalışmadaki problem, zaman pencereli araç rotalama problemi sınıfına girmektedir. Yapılan bu çalışmada zaman pencereli araç rotalama problemine GA ile çözüm aranmıştır. Yöntemin probleme uyarlanmasının kolay oluşu ve karmaşık matematiksel formüller içermemesi en önemli özelliklerindedir. Ayrıca, çözüm uzayının birden çok noktasından arama yapmaya başlayan GA, bu sayede klasik yöntemlere göre daha hızlı çözüm bulabilmektedir.

Çalışmanın birinci bölümünde meta sezgisel yöntemler hakkında genel bilgiler verildikten sonra ARP problemlerinde sıklıkla kullanılan Tabu Arama, Tavlama Benzetimi, Karınca Kolonisi Algoritması ve Genetik Algoritma yöntemleri açıklanmıştır.

İkinci bölümde, ilk olarak araç rotalama problemlerinin tanımı, genel bilgiler ve çeşitleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Daha sonra ARP ve çeşitlerinin çözümünde kullanılmış yöntemler, klasik, sezgisel ve meta sezgisel olarak gruplandırılarak kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır.

Uygulama kısmının anlatıldığı üçüncü bölümde ise, problem tanımlandıktan sonra uygulamanın genetik algoritma yöntemiyle çözümü anlatılmıştır. Son bölümde ise, tez çalışması özetlenerek sonuç ve değerlendirme yapılmıştır. Ayrıca, gelecek çalışmalara yönelik çeşitli önerilere de yer verilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

1. META SEZGİSEL YÖNTEMLER

1.1. Genel Bilgiler

Meta sezgisel kelimesi, en üst seviye, en modern anlamına gelen *meta* ve bulmak anlamına gelen *sezgisel* kelimelerinin birleşiminden oluşmaktadır (Blum, 2005: 355). Meta sezgisel yöntemler, farklı yapıların zekice birleştirilerek alt kademedeki sezgisellere rehberlik eden ve çözüm uzayında etkili bir şekilde arama yapmak için oluşturulmuş adımsal (iteratif) problem çözme süreçleridir (Erol, 2006: 44). Temel amaçları, arama uzayını araştırarak ve keşfederek, en umut verici noktalarda arama yapıp yerel optimuma takılmadan optimal sonuca yakın çözümler üretmesidir (Erol, 2006: 44; Osman ve Laporte, 1996: 514). Birçok alana uygulanabilen meta sezgisel yöntemler (Osman ve Laporte, 1996), her adımda bir çözümden veya çözüm kümesinden yola çıkarak yeni çözümler üretirler (Luke, 2009: 7). Bir meta sezgisel algoritmanın iyi sonuçlar üretmesi için yöntemin temel kavramlarının probleme iyi bir şekilde uyarlanması gerekir (Erol, 2006: 44).

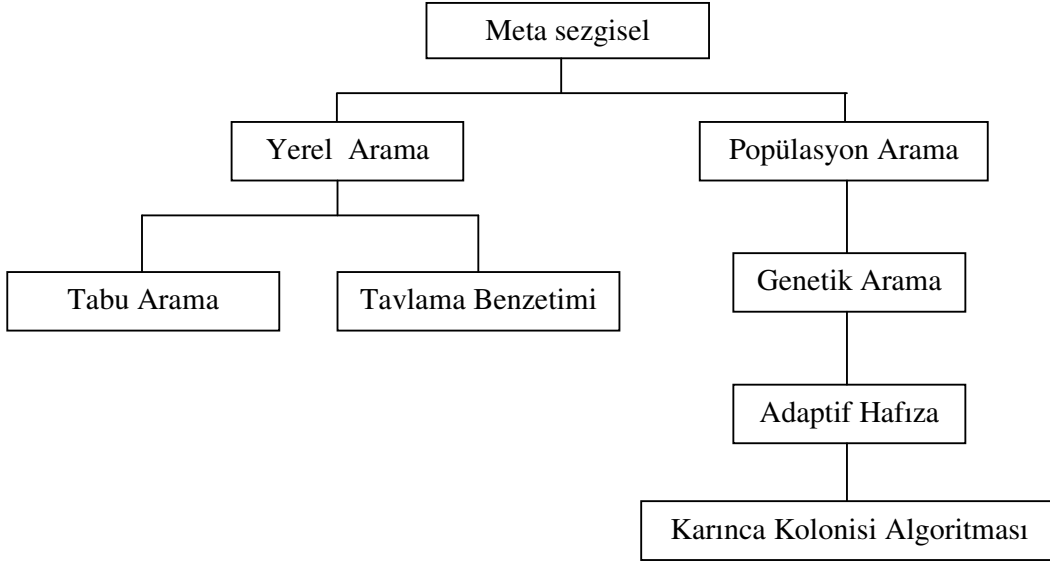
Yerel minimum noktalarından kurtulmak için daha kötü çözümlerin de kabul edildiği global optimizasyon yöntemleri olan meta sezgisel yöntemlerin dezavantajı, algoritma içinde bir durdurma kriterinin bulunmaması, yani algoritmanın ne zaman duracağını bilmemesidir (Breedam, 2001: 290).

Uzun süredir araştırmacılar, temel olarak *yerel arama* ve *popülasyon arama* olarak bilinen iki prensibi kullanan meta sezgisel algoritmaları geliştirmeye çalışmışlardır. *Yerel arama metotlarında*, var olan çözümden komşudan elde edilecek çözüme giderken her adımda çözüm uzayı yoğun bir şekilde incelenir. Bu prensibe örnek olarak Tavlama Benzetimi ve Tabu Arama verilebilir. *Popülasyon arama metotları* ise iyi ebeveyn kümesi oluşturmayı ve yeni bireyler elde etmek için bu ebeveynlerin birleştirilmesini içerir. Bu

prensibe verilecek en klasik örnek, yavru birey üretmek için iki bireyi birleştiren Genetik Arama'dır. Birçok yavru birey üretmek için birçok ebeveynin kullanıldığı genetik aramanın genişletilmiş şekline ise *Adaptif Hafıza prosedürü* denir. Karınca kolonisi algoritması bu prosedüre örnek olarak verilebilir (Cordeau ve diğerleri, 2002: 512).

Şekil 1'de sezgisel arama için temel sınıf diyagramı gösterilmiştir.

Şekil 1: Sezgisel Arama İçin Temel Sınıf Diyagramı



1.2. Tabu Arama

İlk defa Glover (1986) tarafından önerilen Tabu Arama (Tabu Search, TA); yerel optimalliğin ötesinde, çözüm uzayını araştırmak için yerel bir araştırma sürecine rehberlik eden bir algoritmadır (İmamoğlu, 2005: 41). TA, var olan çözüm uzayını inceleyerek en iyi çözümü araştırır ve yeni çözüm olarak sunar. Tabu aramanın seçtiği çözüm var olan çözümden daha kötü olsa bile komşularından yeni çözümler seçmeye devam eder. Bu yaklaşım tabu aramanın, arama uzayının büyük bölümünü araştırmasına ve yerel minimum noktasına takılmamasına imkân sağlar (Potvin, 1996: 159).

Yerel arama algoritmaları, verilen bir çözümün komşuluklarının arandığı kombinatoryal problemlerde en iyi/en iyiye yakın çözümleri bulabilmektedir. Fakat bu

algoritmalarındaki en basit problem yerel minimuma düşmenin önlenmesindeki zorluklardır (İmamoğlu, 2005: 43). Arama sırasında yerel optimum noktalara takılmaktan kurtulmak için daha önceki aramalarda elde edilen bilgilerden yararlanılmaktadır. Kısa dönemli hafıza denilen bu yapıdaki arama sırasında ziyaret edilmiş olan çözümler bir tabu listesinde tutulmakta ve algoritma süresince bu çözümlerin tekrar ele alınması engellenmektedir (Erol, 2006: 50).

TA'nın işleyiş adımları Tablo 1'de görülebilir:

Tablo 1: Tabu Aramanın İşleyiş Adımları

Adımlar	Açıklaması
Başlangıç Çözümünün Oluşturulması	En genel şekilde başlangıç çözümü rastgele olarak elde edilir. Ancak, farklı problemler için geliştirilmiş olan bir sezgisel algorithmadan yararlanarak da başlangıç çözümünün elde edilmesi mümkündür.
Hareket Mekanizması	Mevcut çözümde yapılan bir değişiklik ile yeni çözümün elde edilmesi hareket mekanizmasıyla gerçekleştirilir. Hareket mekanizmasındaki olası hareketler, mevcut çözümün komşularını oluşturur. Hareket mekanizması algoritmanın etkinliği açısından önemli olduğu için problemin yapısına bağlı olarak uygun bir şekilde seçilmelidir.
Aday Liste Stratejileri	TA algoritması, yapılması mümkün olan, tabu olmayan ve amaç fonksiyonunun değeri açısından en iyi sonucu veren hareketlerin seçilmesi kuralına dayalı olarak çalışır. Aday liste stratejileri mümkün hareket listeleridir. Hareketler bu listelerden belirli stratejilere göre seçilir.
Hafıza	TA algoritmasının temel elemanlarından birisi de hafızadır. Arama boyunca ortaya çıkan durumlar H hafızasına kaydedilir. Bu hafıza kısa dönemli hafıza olarak adlandırılır. Yapılmasına izin verilmeyen hareketler "tabu" olarak adlandırılır ve esnek hafıza içinde "tabu listesi" adı altında kaydedilirler. Bu hareketler belli bir süre sonra tabu listesinden çıkarılır ve yapılmasına izin verilir.
Tabu Yıkma Kriterleri	Tabu yıkma kriterleri, tabunun ortadan kalkabileceği durumları ifade etmektedir. En genel tabu yıkma kriteri, mevcut durumdan daha iyi bir sonuç verecek tabu hareketinin yapılmasına izin verilmesidir. Bu kriterin kullanılması TA algoritmasının etkinliğini arttırmaktadır. Eğer tüm mümkün hareketler tabu ise bu hareketlerden tabu süresinin bitmesine en yakın olan bir tabu hareketine izin verilir.
Durdurma Koşulu	TA algoritması, bir veya birden fazla durdurma koşulunu sağlayıncaya kadar aramasını sürdürmektedir.

Kaynak: Güden ve diğerleri, 2005: 8-9

TA tekniği, yapay zekâyı kullanan problem tekniklerine sahiptir ve zekice problem çözüme prensiplerini ortaya çıkarmaya çalışır. Dolayısıyla TA'nın yapay zekâ ve optimizasyon alanlarını birleştiren kavramlara dayandığı söylenebilir. TA yerel optimalliğin ötesindeki çözüm uzayını keşfetmek için yerel bir sezgisel arama prosedürüne kılavuzluk eden bir meta sezgiseldir. TA bu kılavuzluğu, hafızasında aramanın geçmişini tutarak, yani bazı adaylara "yasak" koyarak, aramayı sınırlandırması ve yerel optimallikten kurtarmasıyla yapmaktadır (Şeker, 2007: 73).

1.3. Tavlama Benzetimi

İlk kez 1983'de Kirkpatrick tarafından önerilen Tavlama Benzetimi (Simulated Annealing, TB), katı hal fiziğinin temel disiplini ve katı veya sıvı haldeki maddelerin atom özelliklerinin analizinde kullanılan metot olan istatistiksel mekanik (Kirkpatrick ve diğerleri, 1983: 672) temellerine dayanan stokastik bir tekniktir ve katıların tavlama sürecine benzerliğinden dolayı bu ismi almıştır (Tavakkoli-Moghaddam ve diğerleri, 2006b: 448). Tavlama benzetimi, yerel arama meta sezgisellerinin en popüler olanlarından biridir ve en önemli özelliği, global optimum noktayı bulabilmek için tepe tırmanma hareketine izin vererek yerel optimum noktasına takılmamasıdır (Henderson ve diğerleri, 2003: 287). TB algoritması, tüm mümkün çözüm noktalarının bir alt kümesinde (S) tanımlanmış bir $f(x)$ fonksiyonunu eniyileyecek bir x çözümü bulmayı amaçlamaktadır (Güden ve diğerleri, 2003: 7).

Tavlama benzetiminin özelliklerini şu şekilde özetlemek mümkündür (Başkent, 2004: 446):

- Stokastik arama tekniğidir,
- Çok sayıda karar seçeneklerini değerlendirir,
- Çok amaçlı ve doğrusal olmayan kısıtları içerir,
- Optimal çözüme yakın çözümler üretir,
- Gereksiz kısıtlayıcı varsayımları içermez.

Tavlama sürecinde, katı maddeler çok yüksek sıcaklıklara çıkarılır ve kristalleşmeleri için sıcaklıkları kademeli olarak yavaş yavaş düşürülür (Tavakkoli-

Moghaddam ve diğeri, 2006b: 448). Katı madde sıvı hale geçince tüm parçacıklar gelişigüzel hareket ederler. Katı halde ise atomlar birbirlerine yakın olduklarından kafes şeklinde görülürler. Bu durumda sistemin enerjisi en azdır ve bu duruma atomların minimum enerji durumu bir başka deyişle durağan durum denir (Henderson ve diğeri, 2003: 288). Bir katının durağan durumu, sıcaklığı yeteri kadar yükseltip soğutma işlemi yeteri kadar yavaş yapılırsa elde edilir. Aksi halde bu duruma yarı kararlı durum adı verilir (Güden ve diğeri, 2003: 6). Bu yönüyle TB, optimizasyon problemleri için global minimum noktasını bulmak ile termodinamik davranışlar arasında bir ilişki kurmaktadır (Henderson ve diğeri, 2003: 288). Tavlama benzetimi ayrıca çözüm kalitesine neden olan yerel optimumlardan kaçınmayı sağlayan bir tırmanma işleminin temel dinamiklerine izin vermeye çalışan bir yöntem olarak da algılanabilir (Şeker, 2007: 77).

Eniyileme problemleriyle TB arasındaki benzerlikler aşağıdaki gibi gösterilebilir (Güden ve diğeri, 2003: 7):

- Katının farklı fiziksel durumları; problemdeki mümkün çözümlere,
- Sistemin enerjisi; amaç fonksiyonuna,
- Bir durumun enerjisi; bir çözümün amaç fonksiyonu değerine,
- Yarı kararlı durum; yerel en iyi çözüme,
- Yer durumu; genel en iyi çözüme karşılık gelir.

TB, 1980'li yıllarda birçok araştırmacı tarafından geliştirilmiş fakat TB'nin kökeni oluşturan algoritma, 1953'de Nicholas Metropolis ve arkadaşları tarafından ortaya atılan ve katıların tavlama sürecinde geçirdiği durumlara benzetilen metropolis algoritmasıdır. Bu algoritma tepe tırmanma algoritmasından türetilmiştir (Luke, 2009: 23). Bu algoritmada i durumunda bulunan katının enerjisi E_i iken, bir sonraki j durumuna geçen katının enerjisi E_j olarak kabul edilir. Eğer j durumundaki enerji, i durumundaki enerjiden küçük veya eşit olduğu durumda yeni çözüm, j durumundaki çözüm olarak kabul edilecektir. Aksi halde j durumu, Boltzman sabiti adı verilen formülle elde edilen olasılık değeri kabul edilir. Bu değere Metropolis Kriteri de denir. Amaç fonksiyonunda ters yönde bir değişim yaratan bir çözümün belli olasılık değeri ile kabulü, TB algoritmasının yerel en iyi noktalardan kurtulmasını sağlamaktadır (Güden ve diğeri, 2003: 7).

Breedam (2001: 295), standart bir TB algoritmasının temel adımlarını şöyle özetlemiştir:

Adım 1: Rastgele olarak bir başlangıç çözümü üret ve en iyi çözümü S olarak ata. Ayrıca t iterasyon indeksini 0 olarak ata.

Adım 2: Bir başlangıç sıcaklık değeri T_B belirle ve mevcut sıcaklık değeri $T_0=T_B$ olarak ata.

Adım 3: En iyi çözümden hareketle rastgele komşu bir çözüm $s' \in N(S)$ oluştur.

Adım 4: Üretilen s' çözümüyle S çözümünün amaç fonksiyonu değerleri arasındaki farkı hesapla ($\delta = C(s') - C(S)$)

Adım 5: Eğer s' , S'den daha iyi ($\delta < 0$) ise S çözümüne s' çözümünü ata. s' , S'den daha kötü fakat mevcut T_t sıcaklığında ($e^{-\frac{\delta}{T}} > \theta$) sağlanıyorsa (θ , 0 ile 1 arasında rastgele üretilmiş bir sayıdır) S çözümü ile s' çözümünü yer değiştir. Yoksa S'i mevcut çözüm olarak muhafaza et.

Adım 6: T sıcaklığını (1) veya (2)'deki formüle göre değiştir.

$$T_t = R \cdot T_{t-1} \quad (0 < R < 1) \quad (1)$$

$$T_t = t / (1 + \beta t) \quad (\beta \text{ uygun küçük bir değerdir}) \quad (2)$$

Adım 7: Durdurma kriteri sağlanıyorsa araştırmayı durdur, aksi halde iterasyon indeksi t'yi bir artırarak üçüncü adıma git.

Algoritmanın hesaplama zamanı, yukarıda verilen genel adımlara değişik fikirler ilave etmek suretiyle hızlandırılabilir. Bu fikirlere örnek olarak amaç fonksiyonundaki değişimin yaklaşık olarak hesaplanması, alternatif metotların kullanılması, araştırma yapmak için iyi çözümlerin bulunduğu ümit verici araştırma bölgelerinin tanımlanması ve komşuluk büyüklüğünün belirlenmesi verilebilir (Karaboğa, 2004: 37).

1.4. Karınca Kolonisi Algoritması

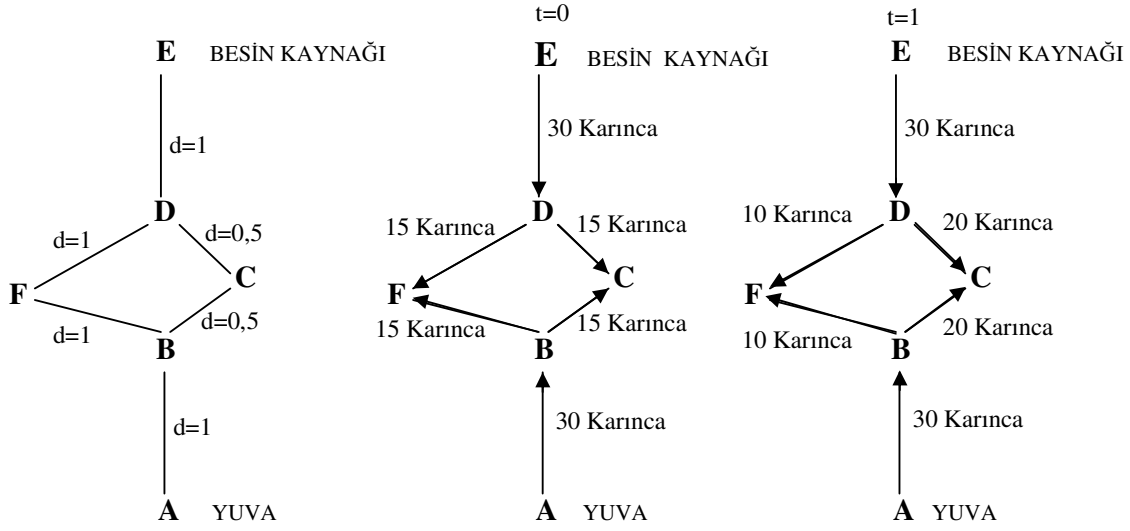
Doğadaki bazı sosyal sistemler, sınırlı yeteneklere sahip basit bireyler tarafından oluşturulmalarına rağmen kolektif yani ortaklaşa zekâ davranışı gösterirler. Bu bireylerin kendi aralarındaki organizasyonları ve birbirlerini dolaylı yollardan etkilemeleri,

problemlere zeki çözümler sunmalarını sağlar (Nabiyev, 2003: 628). Sosyal bir canlı olan karıncalar (Blum, 2005: 355), tek başlarına etkili bir avlanma yapamazken ve diğer karıncalarla iletişim kuramazken, grup halindeyken karışık problemleri çözme ve başarılı bir şekilde yiyecek bulma ve toplama yeteneğine sahiptirler (Bell ve McMullen, 2004: 42). Bir başka ifadeyle genellikle kör olan karıncalar grup halindeyken verilen görevleri başarılı bir şekilde yaparlarken, bireysel olarak başarısız olurlar (Bullheimer ve diğerleri, 1997: 2).

Koloniler halinde yaşayan karıncalar, bireysel olarak hayatta kalmaktan ziyade grup olarak hayatta kalmayı amaçlarlar ve hareketlerini bu amaç doğrultusunda yönetirler. Örneğin; bir karınca yemek ararken, rastgele hareketlerle besinini çevreleyen bölgeyi araştırır. Hareket ederken feromen adı verilen bir kimyasal salgı salgılar. Bunu hisseden diğer karıncalar, feromen salgı miktarının çok olduğu yolu tercih ederler. Karınca besine ulaştığında, besinin kalitesini ve miktarını belirler. Yuvaya besini taşımaya başlayan karıncanın yola bırakacağı feromen miktarı, besinin kalitesine ve miktarına bağlıdır. Feromen sayesinde karınca, diğer karıncalara besin kaynağının yerini bildirir ve yuva ile besin arasındaki en kısa yolun bulunmasını sağlar. Böylece karıncalar feromen salgısı sayesinde birbirlerini dolaylı olarak etkilerler. Karıncaların bu davranışları en kısa yolu nasıl bulduklarını açıklamaktadır (Zhang ve Tang, 2009: 849). Bu hareketin temeli, feromen adı verilen kimyasal salgı vasıtasıyla karıncaların arasındaki dolaylı iletişimidir (Blum, 2005: 354).

Karıncalar, yuvalarından bir gıda kaynağına giden en kısa yolu, herhangi görsel ipucu kullanmadan bulma yeteneğine sahiptirler ve çevrelerindeki değişikliklere çok kısa sürede uyum sağlayabilirler (Dalkılıç ve Türkmen, 2003: 1). Bu bilgiler ışığında Şekil 2'de; karıncaların A ile gösterilen yuvalarından E ile gösterilen besin kaynağına giderken izledikleri yol gösterilmektedir. 30 karıncanın olduğu bir yuvada besin kaynağına ulaşabilmek için farklı uzunlukta alternatif iki yol vardır. Besin kaynağına ilk gidişte feromen maddesi olmadığından karıncaların yarısı uzun yolu, diğer yarısı da kısa yolu tercih ederler. Belirli bir zaman periyodu geçtikten sonra feromen salgısının etkisiyle 5 karınca daha kısa yolu tercih etmiştir. Her zaman periyodu geçtikçe kısa yoldaki feromen miktarı artacak ve karıncalar tamamen bu yolu tercih etmeye başlayacaklardır (Bullheimer ve diğerleri, 1997: 2-3).

Şekil 2: Karıncaların En Kısa Yolu Bulmalarının Gösterimi



Kaynak: Bullheimer ve diğerleri, 1997: 3

İlk defa 1992 yılında Dorigo tarafından önerilen (Dorigo ve diğerleri, 1999: 137) Karınca Kolonisi Algoritması (Ant Colony Algorithm, KKA), gerçek karınca kolonisi davranışının matematiksel modelleri üzerine dayalı bir algoritmadır. KKA'da, gerçek karınca hareketlerinin tamamının modellenmesi yerine sadece en kısa yolu bulma davranışları modellenmiştir. Bu yüzden gerçek karıncalar ile yapay karıncalar arasında bazı yapısal farklılıklar vardır (Karaboğa, 2004: 117).

Yapay karıncaların özellikleri ve doğal karıncalar arasındaki farkları aşağıda açıklanmaktadır (Dorigo ve diğerleri, 1999: 142; Mullen ve diğerleri, 2009: 9609-9610):

- Yapay karıncalar, ayırık bir dünyada yaşarlar ve hareketleri durumdan duruma farklılık göstermektedir,
 - Yapay karıncalar, daha önce gittiği yolların geçmişini tutan özel bir iç hafızaya sahiptirler,
 - Yapay karıncalar, bulunan çözümün kalitesine göre artan miktarda feromon salgırlar,
 - Yapay karıncaların feromon salgılaması, çözüm üretildikten sonra yapılmaktadır.
- Bu davranış, gerçek karıncaların davranışı ile farklılık göstermektedir,

- Tüm sistemin etkinliğini artırmak için KKA'ya ek olarak görünürlük derecesi, yerel optimizasyon, geri besleme gibi özellikler ilave edilebilmektedir. Bu özellik gerçek karıncalarda bulunmamaktadır,

- Her yapay karınca, arama uzayında adım adım hareket ederek verilen probleme uygun çözümler bulmaya çalışır,

- Rehberlik faktörü, bir yerden bir yere hareket etmeden önce uygulanan geçiş kurallarını kullanan karınca hareketlerini içerir. Bu geçiş kuralları, probleme özel kısıtların ve karınca iç hafızasını içerebilir.

Doğal karınca kolonisinden yapay karınca kolonisine geçiş, yapay feromen yolları boyunca iletişim kurarak işbirliği içinde çalışan basit sayısal işlemlerin kullanımını içerir. Her karıncanın i noktasından j noktasına hareket etmesine aşağıdaki iki neden rehberlik etmektedir (Mullen, 2009: 9609):

- *Sezgisel Bilgi:* Öncelik olarak bilinen bilgidir ve i noktasında j noktasına hareket için sezgisel tercih ölçüsüdür,
- *Yapay feromen yolları:* i noktasından j noktasına gidilmeden önce karıncalar tarafından bırakılan feromen miktarıdır.

1.5. Genetik Algoritma

1.5.1. Genel Bilgiler

Algoritma, bir problemi çözebilmek için uyulması gereken mantıksal adımların bütünüdür. Evrimsel programlamanın bir üyesi olan ve son zamanlarda kullanılan en popüler teknik olan Genetik Algoritma (GA), biyoloji alanındaki evrim teorisinden ilham alınarak türetilmiştir (Çakar, 2009: 39). Doğada bulunan tüm bireyler kısıtlı olan yiyecek, barınak vb. ihtiyaçlarını karşılayabilmek için birbirleriyle rekabet içindedirler. Bu rekabet aynı türdeki bireylerin eş seçiminde de bulunmaktadır. Bu seçim sürecinde zayıf performans gösteren bireylerin yaşamlarını sürdürebilme şansı daha düşük olurken, nispeten daha uygun yapıdaki bireyler daha fazla yavru üretebilmektedir (Sivanandam ve Deepa, 2008: 15). Eşleşme sırasında her bir ebeveynin iyi özelliklerinin birleşimi, uygunluğu atasından daha iyi olan yavrular ortaya çıkarabilir. GA, çevrenin uygunluğunu

kontrol ederek problemin çözümü için kromozomları geliştirir (Pelikan ve diğerleri, 2006: 40). Kısaca GA'nın temeli, en iyinin hayatta kalmasına ve adaptasyonuna dayanır (İmamoğlu, 2005: 30).

İlk olarak 1960'larda Holland tarafından ortaya atılan GA tekniği, 1970'li yıllarda Holland, meslektaşları ve öğrencileri tarafından geliştirilmiştir. 1975'de ise Holland, orijinal GA çalışmasını anlattığı "Doğal ve Yapay Sistemlerin Uygulanması" adlı kitabını yayınlamıştır (Haupt ve Haupt, 2004: 22; Mitchell, 1999: 3). Evrimsel strateji ve evrimsel programlamadan farklı olarak Holland'ın amacı; bir probleme özellikli çözümler üretmektense, doğada var olan adaptasyonu esas alan bir sistem kurup bilgisayar sisteminde uygulanabilecek metotlar oluşturmaktır (Çakar, 2009: 39). Holland'ın doktora öğrencisi olan David Goldberg'in 1989 yılında yayınladığı "Araştırma Optimizasyon ve Makine Öğrenmesinde Genetik Optimizasyon (Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning)" adlı kitap ile GA'nın önemi artmıştır (İşçi ve Korukoğlu, 2003: 192).

Doğal seleksiyon ve doğal genetik mekanizması (Sakawa, 2002: 11) kavramlarıyla yakından ilişkili olan GA'nın en önemli özelliği; yeni üretilecek çözümlerin, var olan çözümlerin uygunluk değerine (amaç fonksiyonu değerine) göre olasılıksal bir şekilde seçilmesidir. Buna göre uygunluk değeri, diğerlerine göre yüksek olan bireyin seçilme olasılığı daha fazla olacaktır (Erol, 2006: 55)

GA'nın kesin bir tanımı olmamasına rağmen Mitchell (1999: 2), çaprazlama, mutasyon ve ters çevirme operatörlerinden esinlenen genetiklerle "doğal seleksiyonun" birlikte kullanılarak bir kromozom popülasyonundan yeni bir popülasyona geçişi sağlayan bir metot olduğunu; Nabiyev (2003: 606), en iyinin korunumu ve doğal seçim ilkesinin benzetilmesiyle oluşturulan ve bilgisayar uygulamasıyla elde edilen bir arama yöntemi olduğunu söylemişlerdir.

Holland tarafından formüle edilen şema teoremi, GA'nın arama mantığını belirtir. Şema, diziler arasındaki belirli kısımların benzerliklerini gösteren alt dizileri tanımlayan sabit bir şablondur (Coley, 1999: 46). Şema, 0,1 ve * sembollerinden oluşur. Belirli uzunluktaki diziler arasındaki olabilecek tüm benzerlikleri göstermeye yarayan '**

sembolü, duruma göre 0 veya 1 değerini alabilir. Teorem, en fazla şema içeren dizinin bir sonraki toplumda da hayatını devam ettireceği mantığına dayalıdır. GA, en iyi şemanın bulunmasıyla en iyi kromozoma yaklaşır (Banzhaf ve diğerleri, 1998: 96-97; Spall, 2003: 263).

GA'nın kromozom popülasyonu, uygunluğa göre seçim, yeni bir yavru elde etmek için çaprazlama ve rastgele mutasyon olarak sıralanan bileşenleri diğer evrimsel algoritmalarda bulunmamaktadır (Mitchell, 1999: 7). Genetik algoritmalar rastsal arama yöntemleri olmalarına rağmen klasik rastsal yöntemlerden farklıdırlar. Bu temel farklılıklar şöyle sıralanmaktadır (Sakawa, 2002: 15):

- GA, çözümün kendisi yerine çözümün kodlanmış biçimi ile çalışır,
- GA, tek çözümde değil, çözüm kümesinde arama yapar,
- GA, amaç fonksiyonunun türevi ve benzeri yardımcı bilgilerini değil amaç fonksiyonu bilgisini kullanır,
- GA, deterministik değil stokastik kuralları kullanır.

1.5.2. Genetik Algoritmanın Avantajları ve Dezavantajları

GA'ların geleneksel yaklaşımların başarısız olduğu durumlarda çarpıcı sonuçlar ortaya çıkarmasını sağlayan diğer bazı farkları ve avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Haupt ve Haupt, 2004: 23; Sumathi ve diğerleri, 2008: 122):

- Aynı anda çözüm uzayında çok geniş yerleri arayabilir,
- Sürekli ve kesikli değişken ayırımı yapmaksızın tüm değişkenleri optimize edebilir,
- Çok sayıda değişken ile çalışabilir,
- Paralel bilgisayarlarda çözüm üretebilir,
- Yerel minimum noktasına takılmadan karmaşık çözüm uzayındaki değişkenleri optimize edebilir,
- Tek bir çözüm yerine birden fazla optimum çözüm verebilir,
- Sayısal olarak oluşturulan veriler, deneysel veriler ve analitik fonksiyonlar gibi farklı tipteki verilerle çalışabilir,

- Kendi kurallarına göre çalıştığı için problemin kurallarını bilmeye ihtiyaç duymaz,
- Problemin doğrusal olması gerekmez,
- Amaç fonksiyonunun türevini hesaplamakla uğraşmaz.

Avantajlarının yanında GA'ların bazı dezavantajları da vardır. GA'nın dezavantajları aşağıda listelenmiştir (Sivanandam ve Deepa, 2008: 34):

- Uygunluk fonksiyonunun tanımlanmasındaki problemler,
- Problemin temsil şeklinin tanımlanması,
- Erken yakınsamanın oluşması,
- GA parametrelerinin belirlenmesindeki problemler,
- Probleme özel bilgilerin kolaylıkla dâhil edilememesi,
- Yerel optimumları tanımlamada iyi bir metot olmayışı,
- Kendi kendini sonlandırmadığı için harici yardım gerektirmesi,
- Kesin optimal çözümü bulmada sorun yaşanması,
- Yerel arama teknikleri ile eşleştirilmeye ihtiyaç duyması,
- Çok sayıda uygunluk fonksiyonunu değerlendirmesi,
- Yapılandırmanın kolay ve açık olmamasıdır.

Stokastik algoritma olan GA'da olasılık temel role sahiptir. Başlangıç popülasyonunun oluşturulmasında, genetik operasyonlar için popülasyondan bireylerin seçilmesinde ve çaprazlama veya mutasyon gibi genetik operatörleri uygulamak için seçilen birey üzerindeki noktaların belirlenmesinde olasılık içeren metotlar kullanılmaktadır (Kinneer, 1994: 22-23). GA, her zaman bir çözüm popülasyonunu dikkate alır ve farklı çözümleri bir araya getirerek popülasyonun çeşitlenmesini sağlar. Özel gereksinimlere ihtiyaç duymayan GA, her türlü probleme uygulanabilir (Çakar, 2009: 41).

GA'lar global optimal çözümü garanti edemez ama probleme kabul edilebilir bir çözüm önerebilir (Sivanandam ve Deepa, 2008: 20). GA, popülasyon tabanlı algoritma olduğundan özellikle gerçek hayat problemlerine uygulandığında önemli bir dezavantaja sahiptir. Bir algoritmanın belirli süre içerisinde çözüm geliştirme işlemini tamamlamış

olması gerekir. Bu işlem, yerel arama algoritmalarına kıyasla popülasyon tabanlı algoritmalarda daha uzun sürede olmaktadır. Süreyi kısaltmak için az popülasyonla çalışabilen GA'ların, iyi performansla sahip olması önemli hale gelmiştir. Diğer bir dezavantajı ise global minimuma yakınsama hızının çok iyi olmamasıdır (Karaboğa, 2004: 89).

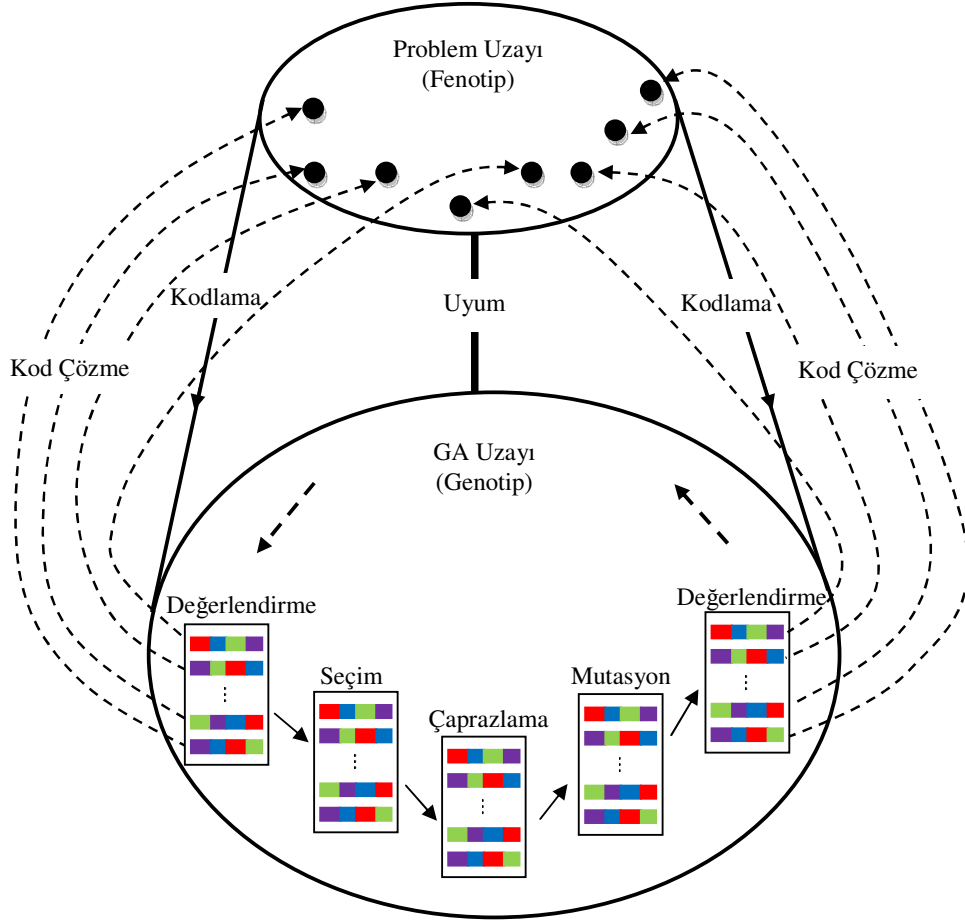
1.5.3. Genetik Algoritmanın Çalışma Mekanizması

Standart bir GA'nin adımları aşağıdaki gibi verilebilir (Negnevitsky, 2005: 222):

1. *Adım:* Problem değişkenlerini, sabit uzunluktaki kromozomlar olarak tanımla; popülasyon büyüklüğünü (N), çaprazlama olasılığını (p_c) ve mutasyon olasılığını (p_m) seç,
2. *Adım:* Problemdaki bireylerin performansını (uygunluğunu) değerlendirecek bir amaç (uygunluk) fonksiyonu belirle. Bu uygunluk fonksiyonu, yeniden üretim boyunca eşleşecek kromozomların seçimi için bir temel oluşturur,
3. *Adım:* N boyutlu ilk başlangıç popülasyonunu rastgele olarak oluştur,
 x_1, x_2, \dots, x_N
4. *Adım:* Her bireyin uygunluğunu hesapla,
 $f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_N)$
5. *Adım:* Var olan popülasyondan eşleme için iki tane kromozom seç. Ebeveyn kromozomlar, uygunluklarıyla ilişkili olasılıklar ile seçilir. Yüksek uygunluğa sahip birey (kromozom), eşleşme için seçilmesinde daha az uygunluğa sahip bireyden daha yüksek olasılığa sahiptir.
6. *Adım:* Çaprazlama ve mutasyon operatörlerini kullanarak yavru kromozom çifti elde et,
7. *Adım:* Yavru bireyleri yeni popülasyona ekle,
8. *Adım:* Yeni popülasyonun büyüklüğü, ilk popülasyon büyüklüğüne (N) eşit olana kadar 5. Adımı tekrar et,
9. *Adım:* Yavru kromozomlarla ebeveyn kromozomları yer değiştir,
10. *Adım:* 4. Adıma git ve durdurma kriteri sağlanana kadar süreç devam ettir.

Şekil 3'de yukarıda anlatılan GA'nın yapısal şekli gösterilmiştir.

Şekil 3: Genetik Algoritmanın Yapısı



Kaynak: Sakawa, 2002: 15

1.5.4. Genetik Algoritmanın Kullandığı Terimler

GA'nın kullanmış olduğu terimler, isimlerini doğal genetikten almaktadır. Bu açıdan bu terimlerin kısaca açıklanmasının yararlı olacağı düşünülmüştür.

Canlı varlıkların tümü hücrelerden oluşmaktadır. Bu hücrelerin her birinin içinde hücreyi tanımlayan DNA dizilerinden oluşan aynı kromozom setinden bir ya da daha fazla bulunmaktadır (Mitchell, 1999: 5). Bireylerin genetik yapılarında kodlanmış halde bulunan ve birey hakkında bilgi içeren bu yapılara *kromozom* adı verilmektedir (İmamoğlu, 2005: 31). Kromozomlar, kavramsal olarak boy uzunluğu, göz rengi gibi özellikleri içeren belirli

proteinleri kodlayan *genlere* ayrılmaktadırlar. Farklı özelliklerin (göz renginin ela olması gibi) her birine *alel* adı verilmektedir. Bir bit dizisinde bir alel 0 ve 1 olarak ifade edilmektedir. Alellerin kromozom üzerindeki genlerin içinde buldukları belirli yerlere *lokus* adı verilmektedir. (Mitchell, 1999: 5). Bir organizmada bulunan genlerin ve dolayısıyla kromozomların bütününe *genom* adı verilmektedir. *Genotip*, bu genomların içindeki belirli gen setini ifade ederken (Haupt ve Haupt, 2004: 22), fenotip ise canlıların çevresel ve genetiksel olarak belirlenen boy, saç rengi ya da zekâ gibi gözlemlenebilir özelliklerini ifade etmektedir (Mitchell, 1999: 5). Doğal genetik sistemdeki terimlerin yapay genetik algoritmadaki karşılıkları Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 2: Doğal ve Genetik Algoritma Kavramlarının Karşılaştırılması

Doğal	Genetik Algoritma
Kromozom	Dizi
Gen	Nitelik, özellik
Alel	Nitelik değeri
Lokus	Dizi konumu
Genotip	Yapı
Fenotip	Parametre kümesi, alternatif çözüm, deşifre edilmiş yapı

Kaynak: Taşkın ve Emel, 2009: 27.

Yapay sistemde diziler kromozomlara karşılık gelmektedir ve her biri olası bir çözüme ait kodlanmış bilgiyi içermektedir. Herhangi bir andaki çözüm kümesi bir *kuşağı* (generation) oluşturmaktadır (Taşkın ve Emel, 2009: 26). Bir çözüm kümesindeki olası tüm çözümlere *popülasyon* denilmektedir ve popülasyonlar bir grup *bireyin* bir araya gelmesi ile oluşur (İmamoğlu, 2005: 31).

Popülasyon, test edilen bireyler, bireyleri tanımlayan fenotip parametreleri ve araştırma alanı ile ilgili bazı bilgilerden oluşur. GA’da kullanılan popülasyonun ilk popülasyonun oluşumu ve popülasyon büyüklüğü olmak üzere iki önemli yönü vardır (Sivanandam ve Deepa, 2008: 41-42):

- *İlk popülasyonun belirlenmesinde*; bu popülasyonun, çözümü yapılacak problemi çok iyi bir şekilde temsil etmesi gerekmektedir. Bu işlem genellikle rastgele olarak yapıldığı gibi bazı sezgisel yöntemlerle yapıp daha kısa sürede çözüm üretilebilir.

- *Popülasyon büyüklüğünün belirlenmesi* ise tamamıyla problemin tipine göre değişmektedir. Burada önemli olan araştırma alanının iyi bir şekilde taranmasını sağlayacak uygun popülasyon büyüklüğünü bulmaktır. Goldberg çalışmalarında global minimum noktasına ulaşma etkinliğinin popülasyon büyüklüğüne bağlı olduğunu göstererek bu konunun önemini vurgulamıştır. Fakat geniş bir popülasyona sahip bir GA, daha fazla maliyete, hafızaya ve zamana gereksinim duymaktadır. Problem yapısına bağlı olarak genellikle popülasyon büyüklüğü 100 civarında belirlenmektedir.

Dizilerde saklı olan bilgiye göre dizinin çevreye uyum sağlayabilme gücü belirlenir. Bu güce *uygunluk değeri* denir. Dizinin uyum gücünü ölçen ilişkiye ise *uyum fonksiyonu* denir (Taşkın ve Emel, 2009: 26). Yeni popülasyona taşınacak bireyler uygunluk değeri aracılığıyla belirlenir (Dengiz ve Altıparmak, 1998: 4). Uygunluk fonksiyonu çözülen problemin türüne bağlı olarak değişir. Uygunluk, çözümün ne kadar iyi olduğunu göstermesinin yanında kromozomun optimale ne kadar yakın olduğunu da belirtir (Sivanandam ve Deepa, 2008: 41).

Son olarak, olası tüm çözümlerin bulunduğu ve en optimal çözümün araştırıldığı yere *arama uzayı* adı verilmektedir (Çakar, 2009: 48).

1.5.5. Kodlama

Bir problemin çözümünde GA'nın uygulanabilmesi için yapılacak ilk iş değişkenlerin kodlanmasıdır. Kodlama, probleme özgü bilgilerin GA'nın anlayacağı dile çevrilme şeklidir (Taşkın ve Emel, 2009: 33). Kodlama ayrı ayrı genleri simgeleme sürecidir ve bu süreçte bitler, sayılar, ağaçlar, listeler ve başka objeler kullanılarak genler temsil edilir (Sivanandam ve Deepa, 2008: 43). Günümüzde henüz tüm problem çeşitleri için tek bir kodlama çeşidi olmadığından her problem kendine özgü bir kodlamaya ihtiyaç duyar (İmamoğlu, 2005: 32).

Paksoy (2004: 151-152), kodlamanın özellikleri aşağıdaki gibi tanımlamışlardır:

Özellik 1. Gereksiz olmama: Kodlar ve çözümler arasındaki eşleme bire bir olmalıdır.

Özellik 2. Yasallık: Herhangi bir kodlama permütasyonu bir çözüme karşılık gelmelidir.

Özellik 3. Eksiksizlik: Her çözüm bir koda karşılık gelmelidir. Bu özellik çözüm uzayındaki herhangi bir noktaya genetik bir arama ile erişebilmesini garanti eder.

Özellik 4. Lamarck özelliği: Bir gen için alellerin anlamı içeriğe bağlı değildir.

Özellik 5. Nedensellik: Gen uzayında mutasyon ile oluşan küçük değişimler, olay uzayında küçük değişimlere neden olur.

GA'da kullanılan bazı kodlama çeşitleri aşağıda açıklanacaktır.

İkili Kodlama

Bu yöntem ilk GA uygulamalarında kullanıldığı için çok yaygın olarak kullanılan yöntemlerdendir (İmamoğlu, 2005: 32). İkili kodlamada her bir kromozom, kullanıcı tarafından belirlenen l uzunluğuna sahip ikili (binary) $\{0,1\}$ bir bit dizisi olarak kodlanır. Her bir değişken kodlandıktan sonra peş peşe sıralanarak bir dizi haline getirilir. Dizinin uzunluğu hassasiyetine bağlıdır. Hassasiyeti yüksek olan değişkenler daha uzun dizilerde temsil edilir (Bäck ve diğerleri, 2000(b): 4-5). Bu hassasiyet, çözüm için gerekli zamanı ve çözümlerin sağlığını etkilemektedir. Bu yüzden problemin özelliğine göre hassasiyetler önceden belirlenmelidir (Haupt ve Haupt, 2004: 107). Bu kodlamada tam sayılar, tam olarak gösterilir, sonlu sayıda reel sayı gösterilebilir ve gerçek sayıların numaralarının sunumu dizi uzunluğunu artırır (Sivanandam ve Deepa, 2008: 43). Şekil 4'de ikili kodlama gösterimine bir örnek verilmiştir.

Şekil 4: İkili Kodlama Gösterimi

Kromozom A	101100101100101011100101
Kromozom B	111111100000110000011111

Bu kodlama türü çok değişkenli bir fonksiyonun optimizasyonda ve gezgin satıcı, çizelgeleme, araç rotalama vb. problem türlerinde kullanışlı değildir. Çünkü bu kodlama ile tüm olası çözümler temsil edilemez (Dengiz ve Altıparmak, 1998: 4).

Permütasyon Kodlama

Permütasyon kodlama, gezgin satıcı problemi, görev sıralama, araç rotalama gibi kombinatoriyal problemler için uygun kodlama türüdür. Çünkü kombinatoriyal problemler gen değerlerinin yanında genlerin sıralanışını da dikkate alır ki permütasyon kodlama da aynı düzene dikkat eder (Taşkın ve Emel, 2009: 34). Her bir kromozom rakamların art arda sıralandığı gerçek tamsayıları içerir. Permütasyon kodlama yalnızca problemleri sıralamada işe yarar. Bu durumda bile bazen kromozomların birbirine uyumluluğundan kaçmak için çaprazlama ve mutasyon işlemlerine ihtiyaç duyulabilir (Sivanandam ve Deepa, 2008: 45). Şekil 5’de permütasyon kodlamanın gösterimine bir örnek verilmiştir.

Şekil 5: Permütasyon Kodlama Gösterimi

Kromozom A	1 5 3 2 6 4 7 9 8
Kromozom B	8 5 6 7 2 3 1 4 9

Değer Kodlama

Değer kodlama karmaşık değerlerin, örneğin gerçek sayıların kullanıldığı problemler için uygun bir kodlama türüdür. Her kromozom bu kodlamada, problem ile bağlantılı rakamlar, semboller, reel sayılar ile ifade edilebilir. Bazı problemler için en iyi sonuçlar ortaya çıkaran bu kodlama türü, probleme özgü genetik operatörler geliştirmeyi gerekli kılmaktadır. Bu tür problemlerde ikili kodlama kullanımı oldukça zordur. (Sivanandam ve Deepa, 2008: 45; Taşkın ve Emel, 2009: 35-36). Değer kodlama örneği Şekil 6’de gösterilmiştir.

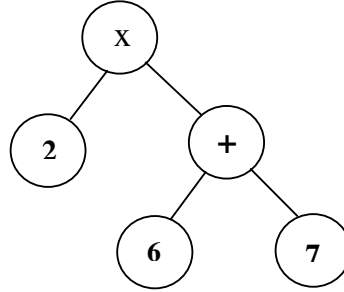
Şekil 6: Değer Kodlama Gösterimi

Kromozom A	1.2324 5.3243 0.4556 2.3293 2.4545
Kromozom B	ABDJEIFJDHDIERJFDLDFLFEGT
Kromozom C	(geri), (geri), (sağ), (ileri), (sol)

Ağaç Kodlama

Ağaç kodlama, özellikle genetik programlamada kullanılan bir yöntemdir. Genetik algoritmanın program ifadelerini dönüştürmede kullanılır. Burada ifadeler kök ve dalları şeklinde ağaca benzetilerek kodlanır (Sivanandam ve Deepa, 2008: 45). Bu yöntem verilen değerlere göre uygun bir fonksiyon bulmak için kullanılabilir (Şeker, 2007: 82). Özellikle LISP ve Prolog gibi programlama dillerinde yapısal olarak kullanılmaktadır. Ayrıca ağaç kodlamada çaprazlama ve mutasyon çok kolay bir şekilde uygulanabilir. Ağaç kodlama evrimleşen programlar veya ağaç şeklinde kodlanabilecek herhangi diğer yapılar için uygundur (Nabiyev, 2003: 610). Ağaç kodlamaya örnek Şekil 7’de verilmektedir.

Şekil 7: Ağaç Kodlama Gösterimi



Gri Kodlama

Gri kodlama, ikili kodlama ile benzerlik gösterse de değişkenleri elde edebilmek için kodlama ve ters kodlama (kod çözme) süreçleri farklıdır. Gri kodlama da ilk önce değişkenler ikili olarak kodlanır daha sonra gri koda dönüştürülür. $(b_1, b_2, b_3, \dots, b_n)$ $b_i \in \{0, 1\}$ ikili dizisinin gri koduna dönüştürülmüş şekli olan $(a_1, a_2, a_3, \dots, a_n)$ (3) numaralı formülde gösterilmektedir (Bäck ve diğerleri, 2000(b): 6):

$$a_i = \begin{cases} b_i & i = 1 \\ b_{i-1} \oplus b_i & \text{dd} \end{cases} \quad (3)$$

Burada \oplus işlemi, ikili tabanda toplama işlemini ifade etmektedir. Aşağıdaki Tablo 3'de 0-9 arasındaki sayıların ikili kodlama ve gri kodlama gösterimleri gösterilmiştir.

Tablo 3: İkili ve Gri Kodlama Gösterimi

Sayı	İkili Kodlama	Gri Kodlama	Sayı	İkili Kodlama	Gri Kodlama
0	0000	0000	5	0101	0111
1	0001	0001	6	0110	0101
2	0010	0011	7	0111	0100
3	0011	0010	8	1000	1100
4	0100	0110	9	1001	1101

Kaynak: Spall, 2003:241.

Gri kodlamada yeni neslin değerinin önceki iyi nesilden çok da uzak olmaması sağlanmaktadır. Bu yüzden gri kodlama ile yapılan genetik algoritma işlemlerinin sonuçlarında zaman tasarrufu olarak % 10-20 arasında bir iyileşme görülmüştür (Çakar, 2009: 53).

Bu kodlama türlerinden başka Sekizli (octal) Kodlama, Hekzadesimal Kodlama ve Dağınık (messy) Kodlamada bulunmaktadır.

Genetik algortmada çözümü bulunacak problemin kodlama işlemi tamamlandıktan sonra ilk popülasyonun oluşturulması işlemine geçilir. Kodlama işlemine bağlı olarak ilk popülasyonun oluşturulması da farklılaşır. Örneğin; ikili kodlamaya göre kodlama yapılmışsa rastgele sayılar çekilir. Çekilen sayı daha önceden belirlenen bir sayının altındaysa 0 değerini üstündeyse 1 değerini alarak popülasyon oluşturulabilir (Emel ve Taşkın, 2002: 133). Eğer permütasyon kodlama yapılmışsa müşterilerin her birine bir sayı değeri atayarak yine rastgele olarak art arda yazılıp bir kromozom oradan da popülasyon oluşturulabilir. Başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra problemin amacına göre belirlenen amaç fonksiyonu yardımıyla uygunluk değerleri hesaplanır. Bu işlemden sonra popülasyon genetik operatörler tarafından çeşitli amaçlar için bazı işlemlere tabi tutulurlar.

1.5.6. Genetik Operatörler

Genetik algoritmalar yeni nesil üretebilmek için yeniden üretme/seçim, çaprazlama ve mutasyon olmak üzere üç ana genetik operatör kullanır (Sakawa, 2002: 13).

1.5.6.1. Seçim

GA uygulamalarının temelini oluşturan doğal seleksiyon, yeni bireylerin oluşturulmasının ilk adımı olan seçim aşamasında önemli yere sahiptir. En yüksek uygunluğa sahip bireylerin daha fazla çoğalabilmesine imkan tanıyan seçim aşaması, uygun bireylerin popülasyondan nasıl seçileceğiyle ve seçilen bireylerden ne kadar yeni birey oluşturulabileceğiyle ilgilenir (Sakawa, 2002: 19).

Genetik algoritmalarda üreme süreci üç aşamadan oluşmaktadır (Şekil 11) (Sivanandam ve Deepa, 2008: 46):

- ✓ Ebeveynlerin seçimi,
- ✓ Yeni bireyler oluşturulması için ebeveynlerin çiftlendirilmesi ve dönüştürülmesi,
- ✓ Popülasyondaki eski bireylerle yeni bireylerin yer değiştirmesi,

Başlangıç popülasyonundan seçilecek ebeveynler, uygunluk fonksiyonuna göre değerlendirilerek popülasyondan ayrılırlar (Sivanandam ve Deepa, 2008: 46). Seçimin amacı, popülasyondaki bireylerden daha iyi yavrular elde etmek umudu ile popülasyondaki nispeten daha uygun bireyleri ortaya çıkarmaktır (Bäck ve diğerleri, 2000a: 56). Genetik algoritma, arama performansının en iyi olması için seçim baskısı ve popülasyon çeşitliliğinin ayarlanabildiği bir seçim yönteminin bulunması gerekir (Mitchell, 1999: 127).

En iyi kromozomları seçmenin birçok yolu vardır. Rulet Çemberi Seçimi, Sıralama Seçimi, Sabit Durum seçimi, Turnuva Seçimi ve Rastgele Seçim bunlardan en çok kullanılanlarıdır (İmamoğlu, 2005: 38).

Rulet Çemberi Seçimi

Holland tarafından önerilen bu seçim yönteminin temelinde ebeveynlerin uygunluklarına göre seçim vardır. Bunun için uygunluk değeri yüksek olan bireyin seçilme şansı daha fazladır (Kalaycı, 2006: 75). Olasılığa dayalı rulet çemberi seçim yönteminde her bir dizinin seçilme olasılığı (beklenen değeri) (4) numaralı formülde gösterilmektedir (Taşkın ve Emel, 2009: 46).

$$f(i)/\sum_{j=1}^N f(j) \quad (4)$$

(4) numaralı formül ile hesaplanan her bir dizinin beklenen değeri, rulet çemberindeki dilimin ne kadar olacağını belirler. N'nin popülasyondaki birey sayısını gösterdiği düşünülürse rulet çemberi N kere döndürülerek seçim yapılır. Bu metot aşağıdaki biçimde uygulanır (Çakar, 2009: 56):

1. Popülasyondaki bireylerin beklenen değerlerinin toplamı (T) alınır.
2. Burada N adet tekrarlanacak iterasyona başlanır.
 - 0 ve T arasında rastgele sayı üretilir ve seçilir. Seçilen sayı r olsun.
 - Popülasyondaki bireyler döndürülmeye başlanır. Toplam r'ye eşit ya da bu değeri geçinceye kadar beklenen değerleri toplanır. Limiti geçen beklenen değere sahip birey seçilir.

Sıralama Seçimi

Rulet çemberi seçimi, uygunluklar birbirlerinden çok farklıysa seçim esnasında sürekli aynı bireyin seçilmesine yol açacaktır (Sakawa, 2002: 21). Bunun için ölçeklemeye ihtiyaç duymayan ve aynı bireyin seçilmesi sorununu bertaraf edebilen yöntem olan sıralama seçimi kullanılabilir (Taşkın ve Emel, 2009: 48). Sıralama seçimi önce popülasyonu sıralamakta ve ardından her kromozomun bu sıralamada uygunluğunu aramaktadır. En kötüsü 1 uygunlukta, ikinci kötüsü 2 uygunlukta vb., en iyisi ise N uygunlukta olacaktır (Nabiyev, 2003: 616). Sıralama, amaç fonksiyonunun tam olarak tanımlanamadığı problemler için iyi bir seçim yöntemi olabilir (Bäck ve diğerleri, 2000a: 188).

Bu yöntemin uygulanışında birçok yol vardır. Bunlardan ikisi aşağıda sıralanmaktadır (Sivanandam ve Deepa, 2008: 47):

1. Birey çiftlerini rastgele seçilir. 0 ile 1 arasında 'R' rassal sayısı üretilir. Eğer $R < r$ ise ilk birey ebeveyn olarak seçilirken $R \geq r$ ise ikinci birey seçilir. Bu ikinci ebeveynin seçimi için de aynı işlemler tekrarlanır. 'r' değeri bu metot için bir parametredir.

2. Rastgele iki farklı birey seçilir. Daha yüksek uygunluk değeri olan birey ebeveyn için seçilir. İkinci ebeveyni bulmak için de bu işlemler tekrar edilir.

Sabit Durum Seçimi

Sabit durum seçimi yöntemi, yalnızca sınırlı sayıda dizinin yerini değiştiren bir seçim yöntemidir. Temel olarak iki yöntemin birleşiminden oluşur. Bunlar seçim yöntemi ve yer değiştirme yöntemidir. Seçim yönteminde üreme işlemine tabi tutulacak bireyler seçilir ki bunlar yüksek uygunluğa sahip bireylerdir. Sonuç olarak oluşan yeni bireyler popülasyona eklenecektir. Popülasyon büyüklüğünün sabit kalma zorunluluğundan dolayı yeni bireyler eski bireylerle yer değiştirir (Taşkın ve Emel, 2009: 47). Özel bir ata seçme yöntemi olmayan sabit durum yönteminin ana fikri, toplumun var olan kromozomlarının büyük bir kısmının yeni nesle aktarılmasıdır (Kalaycı, 2006: 77).

Turnuva Seçimi

Turnuva seçim yöntemi; seçim baskısı açısından sıralama seçim yöntemi ile benzerlik gösterirken, hesaplama bakımından daha etkin, paralel uygulamalar için ise daha uygundur (Mitchell, 1999: 127). En basit biçimiyle iki dizinin rastgele olarak popülasyondan seçilip bir turnuvaya sokulmasıdır. Turnuva iki birey arasındaki en yüksek uygunluğa sahip bireyin seçilmesiyle kazanılır. İki defa tekrarlanan bu turnuvada iyi olanın eşleşme havuzunda iki defa bulunması anlamına gelmektedir. Böylelikle ortalama uygunluk değeri artırılmış olmaktadır (Taşkın ve Emel, 2009: 47). Turnuva iki bireyle yapılabildiği gibi daha fazla bireylerle de yapılabilir fakat önerilen grup sayısı 6-10 arasındadır. Grup sayısı arttıkça seçim baskısı da artmaktadır (Bäck ve diğerleri, 2000a: 181). Ayrıca, turnuvaya seçilen bireyler ortalama uygunluk değerini arttırdığından seçim baskısını da artırır. Artan seçim baskısı, genetik algoritmadaki başarılı genlerinin

uygunluklarının, yüksek uygunlukta kalmaları için zorlayacaktır (Sivanandam ve Deepa, 2008: 49).

Rastgele Seçim

Bu teknik yeni bireyleri, popülasyondan rastgele bireyler seçerek oluşturur ve tamamen rastlantısaldır (Çakar, 2009: 56).

Seçkinlik

Seçkinlik (Elitizm), mevcut topluluktaki uygunluk değeri en iyi olan bireyin doğrudan yeni topluluk havuzuna aktarılmasıdır. Bir jenerasyondaki en iyi birey çaprazlama ve mutasyon gibi operatörlerle bozularak kaybolabilir. Bu işlem, en iyi bireyin kaybolmaması için kullanılır. Seçkinlik uygulanan birey, hiçbir işleme tabi tutulmadan diğer jenerasyona aktarılır, böylelikle en iyi birey korunmuş olur. (Özdağlar ve diğerleri, 2006: 3856). Kısaca seçkinlik, popülasyonun maksimum uygunluk değerinin azalmasını engelleyen bir yöntemdir (Bäck ve diğerleri, 2000b: xxv).

1.5.6.2. Çaprazlama

Çaprazlama operatörü, mevcut gen havuzunda bulunan yüksek uygunlukta bireyleri başka bir deyişle bir önceki kuşaktaki nitelikli bireyleri elde etmek için kullanılır (Taşkın ve Emel, 2009: 49). Genetik algoritmadaki metotlardan en dikkat çekici ve en önemlisidir. Çaprazlama operatörü; en iyi bireyler arasında değişim yaparak arama uzayında ulaşılmamış yerlerde arama yapmamızı sağlar (Gen ve Cheng, 2000: 8). Seçim evresinde popülasyondaki en iyi bireyleri seçerek eşleme havuzundaki ortalama uygunluk değeri artırılırken yeni bireyler üretilemez sadece seçilen en iyi bireyler klonlanmış olur. Çaprazlama evresinde ise çaprazlama eşleme havuzuna uygulanarak ebeveyninden farklı yeni bireyler elde edilir (Çakar, 2009: 59).

Çaprazlama süreci genel olarak üç adımdan oluşur (Sivanandam ve Deepa, 2008: 50):

1. Yeniden üreme operatörü eşleşme için rassal olarak bir çift birey dizisi seçer,
2. Dizi boyunca rassal olarak bir çaprazlama alanı belirlenir,
3. Bu kısımdaki değerler karşı dizidekilerle yer değiştirerek işlem tamamlanır.

Popülasyonda ne oranda bir çaprazlamaya izin verildiği 0 ile 1 arasında değer alabilen çaprazlama oranı (P_c) ile gösterilir (Sakawa, 2002: 22). Literatürde çeşitli çaprazlama operatörleri önerilmiştir. Bunlardan en yaygın kullanılanları tek noktalı ve çok noktalı çaprazlamadır (Şeker, 2007: 87).

Çeşitli çaprazlama teknikleri aşağıda sıralanmaktadır:

Tek Noktalı Çaprazlama

Basit çaprazlama olarak da adlandırılan tek noktalı çaprazlama, GA'nın çok kullandığı bir tekniktir (Çakar, 2009: 60). Tek nokta çaprazlamada rassal olarak seçilen L uzunluğuna sahip iki genin yerleri karşılıklı olarak değiştirilir. Bu yöntemde, $1 \leq k \leq L-1$ aralığında rassal olarak bir k kesme noktası seçilip kromozom o nokta üzerinden ikiye ayrılır. Eşleme bölümü adı da verilen bu bölümlerin yerleri değiştirilerek iki yeni birey oluşturulur (Kaya, 2006: 438). Tek noktalı çaprazlama örneği Şekil 8'de gösterilmektedir.

Şekil 8: Tek Noktalı Çaprazlama

Ebeveyn 1					Çocuk 1				
0	0	1	1	0	0	0	1	0	1
Ebeveyn 2					Çocuk 2				
1	1	0	0	1	1	1	0	1	0

Eğer uygun bir noktadan seçim yapılabilmişse oluşan yeni birey daha sağlıklı olacaktır, aksi durumda ise kromozomun kalitesi düşük olacaktır (Sivanandam ve Deepa, 2008: 51).

İki Noktalı Çaprazlama

Tek noktalı çaprazlamadan farklı olarak iki noktalı çaprazlamada keyfi olarak iki nokta seçilir. Bu iki nokta arasında kalan genler karşılıklı olarak yer değiştirir (Taşkın ve Emel, 2009: 51). Şekil 9’de iki noktalı çaprazlama örneği gösterilmektedir.

Şekil 9: İki Noktalı Çaprazlama

Ebeveyn 1						Çocuk 1					
0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1
Ebeveyn 2						Çocuk 2					
1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1

İki noktalı çaprazlama, ilk ve son kısmı iyi genetik bilgiye sahip bir kromozomun uygunluğunu kaybetmemesi açısından tek noktalı çaprazlamaya göre daha avantajlıdır. Çünkü tek noktalı çaprazlama da kromozomun ilk ve son kısmı aynı anda yavruya aktarılamaz (Sivanandam ve Deepa, 2008: 51).

Uniform Çaprazlama

Uniform çaprazlamada, 0 ve 1’lerden oluşan kromozomlarla aynı uzunlukta rastgele bir maske dizisi tanımlanır. Yavru kromozom bu maskeye göre oluşturulur. Maske dizisi ilk yavru için; 1 olduğu zaman 1. Ebeveynin, 0 olduğu zaman 2. ebeveynin biti yavruya aktarılır. İkinci yavru için bu işlemin tersi uygulanır. Her bir ebeveyn çifti için yeni bir maske dizi oluşturulur. Şekil 10’de uniform çaprazlama örneği gösterilmektedir (Sakawa, 2002: 24).

Şekil 10: Uniform Çaprazlama

Ebeveyn 1	1 0 1 1 0 0 1 1 0 1
Ebeveyn 2	0 0 1 1 1 0 0 1 0 1
Maske	1 0 1 0 0 1 1 0 1 0
Çocuk 1	1 0 1 1 1 0 1 1 0 1
Çocuk 2	0 0 1 1 0 0 0 1 0 1

Dairesel Çaprazlama

Sıra temelli çaprazlama yöntemi olan dairesel çaprazlama, Oliver adlı araştırmacı tarafından önerilmiş (Taşkın ve Emel, 2009: 54), Davis, Goldberg ve Lingle tarafından geliştirilmiştir (Engin ve Fırlı, 2002: 31). Bu yöntemde ilk kromozomun ilk biti seçilip birinci yavrunun ilk bitine yerleştirilir. Bu bite karşılık gelen ikinci kromozomdaki bitin değeri belirlenir ve bu değer de ikinci yavrunun ilk bitine yerleştirilerek ilk aşama tamamlanır. İkinci kromozomda belirlenen bitin değerinin yeri, birinci kromozomda araştırılarak belirlenir ve birinci yavruya aynı sırada yerleştirilir. Bu işlem birinci kromozomun ilk bit değerini bulana kadar dairesel bir şekilde devam eder. Son olarak kromozomda boş kalan yerler karşılıklı olarak değiştirilir (Taşkın ve Emel, 2009: 54-55). Şekil 11’de dairesel çaprazlama örneği gösterilmektedir.

Şekil 11: Dairesel Çaprazlama

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

Bu çaprazlama yöntemleri dışında; Kısmi Eşleşmiş Çaprazlama, Sıralı Çaprazlama, Üstünlük Korumalı Çaprazlama, Doğrusal Sıralı Çaprazlama ve Ağaç Çaprazlama yöntemleri de vardır (Sivanandam ve Deepa, 2008: 54; Taşkın ve Emel, 2009: 52-56).

1.5.6.3. Mutasyon

Kromozomlar belirli bir zaman sonra aynı bit dizilimini tekrarlayabilirler. Bu da arama uzayında sürekli aynı yeri taramak anlamına gelir. Bu yüzden yeni kromozomlar üretmek için mutasyon operatörüne ihtiyaç duyulur. Mutasyon, mevcut bireylerden yeni genetik malzemeler ortaya çıkarmak ve popülasyona çeşitlilik kazandırmak amacıyla kullanılır (Çakar, 2009: 63). GA uygulamalarında ikinci dereceden rol oynayan mutasyon,

küçük olasılıkla bir dizideki bir ya da birkaç tane değerin rastgele olarak değiştirilmesiyle arama uzayında yeni çözümler elde etmemizi sağlar (Dengiz ve Altıparmak, 1998: 6).

Basit bir arama operatörü olarak tanımlanabilen mutasyon operatörü, tüm arama uzayını keşfetmek için yardımcı olabilir. En önemli özelliklerinden biri ise popülasyonda yok olmuş bir bireyi tekrar bulmamızı sağlayarak popülasyondaki çeşitliliği korumasıdır (Sivanandam ve Deepa, 2008: 56). Mutasyon yöntemlerinin bazıları aşağıdaki gibidir:

Döndürme

Döndürme işlemi oluşturulan bir mutasyon kromozomuna göre 0'ı 1'e, 1'i 0'a çevirme işlemidir (Şekil 12). İlk olarak rastgele bir kromozom seçilir ve daha önceden oluşturulan mutasyon kromozomunun 1'e karşılık gelen bitler değiştirilerek yeni birey oluşturulur (Sivanandam ve Deepa, 2008: 57).

Şekil 12: Mutasyon Operatöründe Döndürme İşlemi

Birey	1 0 0 1 0 1 1 1 0 0 0 1
Mutasyon Kromozomu	1 0 0 0 1 1 0 1 1 0 0 1
Yeni Birey	0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 0

Değiş-Tokuş

Kromozom üzerinde rastgele olarak iki farklı nokta belirlenir ve bu noktalar kendi aralarında yer değiştirirler (Sivanandam ve Deepa, 2008: 57). Şekil 13'de değiş-tokuş örneği görülmektedir.

Şekil 13: Mutasyon Operatöründe Değiş-Tokuş İşlemi

Birey	1 0 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1
Yeni Birey	1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1

Yenileme/ Yer Değiştirme

Üreme döngüsünün son aşamasıdır. Üreme aşamasında iki ebeveynden oluşan iki çocuk popülasyon sayısını arttırmaktadır. Popülasyon sayısının sabit kalması için üretilen kadar birey popülasyondan çıkarılır. Bu noktada popülasyondan hangi bireylerin çıkacağına karar vermek gerekir. Bunun için üretilen çocukların popülasyona girmesine izin veren kuşaksal güncelleme metodu ile turnuva seçimine benzeyen turnuva yenilemesi metodu kullanılabilir (Çakar, 2009: 65).

Genetik operatörlerin uygulanmasından sonra popülasyonda bozulmalar oluşabilir. Uygun olmayan kromozomlar *tamir operatörü (düzenleyici algoritma)* adı verilen ve başlangıç popülasyonunun bilgilerini esas alarak geliştirilen bir algoritma yardımıyla tamir edilir. Kromozomlar, tamir edildikten sonra bir sonraki nesle aktarılarak GA çalışmasına devam eder (Elmas, 2007: 398).

1.5.7. Arama Sonlandırma

GA, herhangi bir sonlandırma kriteri bulunmazsa sonsuza kadar devam eder. Problemin çözümüne ulaşabilmek için bazı kısıtlar koyarak aramayı sonlandırabilir (Taşkın ve Emel, 2009: 63). Çeşitli durdurma koşulları aşağıda sıralanmaktadır (Çakar, 2009: 66):

- *Maksimum Nesil:* Tanımlanan sayıda nesil üretildiği durumda GA durdurulur.
- *Geçen Zaman:* Önceden tanımlanan süre dolduğunda genetik süreç sonlandırılır. Nesil sayısı kriteri ile birlikte kullanıldığında önceden tanımlanan nesil sayısına süreden önce ulaşırsa algoritma durdurulur.
- *Değişmeyen uygunluk:* Tanımlanan sayıdaki nesil için popülasyonun en uygun değeri değişmiyorsa GA durdurulur.

1.5.8. Genetik Algoritmalarda Parametre Seçimi

Parametreler, genetik algoritmanın performansı üzerinde önemli etkiye sahip olduklarından parametre seçimi GA'daki diğer önemli bir adımdır. Kontrol parametreleri

olarak da adlandırılan bu parametrelere ilişkin birçok çalışma yapılmıştır (Dengiz ve Altıparmak, 1998: 8). GA'nın başarısı veya başarısızlığı bu parametre değerlerinin seçimine bağlıdır (Mitchell, 1999, 131). GA parametreleri ile ilgili genel kurallar aşağıda açıklanmıştır (Taşkın ve Emel, 2009: 71):

- Problem tipine uygun bir kodlama tasarlanmalıdır.
- Popülasyon, yapı bloklarının yani uyum değeri ortalamanın üzerinde olan dizilerin rekabet etmesine olanak tanıyacak büyüklükte olmalıdır.
- Üreme operatörü, yapı bloklarının artmasına imkan verecek biçimde tasarlanmalıdır.
- Arama operatörleri (çaprazlama, mutasyon ve diğer operatörler), yapı bloklarının uygun birleşimlerine olanak taşıyacak biçimde tasarlanmalıdır.

1.5.8.1. Popülasyon Büyüklüğü

Genetik algoritma kullanıcısı tarafından verilen en önemli kararlardan birisidir. Bu değer çok küçük olduğunda, genetik algoritma yerel bir optimuma takılabilmektedir. Popülasyonun çok büyük olması ise çözüme ulaşma zamanını arttırmaktadır (Emel ve Taşkın, 2002: 135). Önemli bir role sahip popülasyon büyüklüğü; hesaplama etkinliği, yeterli örnekleme sağlayabilme durumu, popülasyonun çeşitliliği, çaprazlama ve seçim baskısı gibi parametreler arasında dengeyi kurmada yardımcıdır (Bäck ve diğerleri, 2000b: 134). Bir optimizasyon problemine GA ile çözüm bulunmak istenirse yapılacak ilk iş adım popülasyon büyüklüğünü saptamaktır. Bunun için Goldberg 1985'de l dizi uzunluğu olmak üzere, yalnızca dizi uzunluğuna bağlı olan Formül 5'i önermiştir (Taşkın ve Emel, 2009: 72).

$$N = 1,65 * 2^{0,21 * l} \quad (5)$$

Bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar sonucunda kısıt içeren problemlerde popülasyon büyüklüğünün dizi uzunluğuna yakın bir değer seçilmesi gerektiğini belirtmişlerdir (Taşkın ve Emel, 2009: 72).

1.5.8.2. Üreme Parametresi

GA'nın arama işleminin yönlendirilmesinden üreme parametresi birinci derecede sorumludur. Üreme işlemi sonucunda en iyi çözümün sahip olduğu kopya sayısını gösteren seçim basıncı, üreme sonrası uyum değeri düşük olan bireylerin elenmesini sağlayan parametrelerden biridir. Bazı üreme operatörlerinin seçim basıncı Tablo 4'de gösterilmektedir.

Tablo 4: Bazı Üreme Operatörlerinin Seçim Basıncı

Üreme Operatörleri	Seçim Basıncı
Oransal Operatör (Rulet Tekerleği Yöntemi)	F_{maks}/f_{ort}
Turnuva Seçimi	2

Kaynak: Taşkın ve Emel, 2009: 73

1.5.8.3. Çaprazlama Olasılığı

Yeni kromozomların eskilerin iyi özellikli parçalarını taşıyacağı umuduyla yapılan çaprazlama operatörünün temel parametresi çaprazlama olasılığıdır. P_c ile gösterilen çaprazlama olasılığı, çaprazlamanın ne kadar sıklıkta olacağını (Sivanandam ve Deepa, 2008: 56) bir başka deyişle eşleşme havuzuna girecek kromozomların sayısını belirler. Bu oranın yüksek olması; iyi özellikteki bireylerin yeni popülasyonda bulunma olasılığını azaltırken, düşük olması; yeterli sayıda yeni bireyin oluşmasını engeller (Haupt ve Haupt, 2004: 117).

Çaprazlama operatörleri "arama gücü" ile gösterilmektedir. Her çaprazlama operatörünün farklı bir arama gücü vardır. Arama gücü, çaprazlama operatörünün bir ebeveyn diziyeye uygulandığı zaman erişilebilen arama uzayı oranıdır. l dizi uzunluğu olmak üzere farklı çaprazlama operatörlerinin arama güçleri Tablo 5'de gösterilmektedir.

Tablo 5: Bazı Çaprazlama Operatörlerinin Arama Güçleri

Çaprazlama Operatörü	Arama Gücü
Tek noktalı Çaprazlama Operatörü	$(l - 1)/2^{l-1}$
İki noktalı Çaprazlama Operatörü	$((l - 1)/2)/2^{l-1}$
Uniform Çaprazlama Operatörü	1,00

Kaynak: Taşkın ve Emel, 2009: 74

1.5.8.4. Mutasyon Olasılığı

Popülasyondaki genetik çeşitliliği koruyan mutasyonun en önemli parametresi kromozomda ne kadar bir değişim olacağını gösteren mutasyon olasılığıdır. P_m ile gösterilen mutasyon olasılığı sıfır olursa yeni birey mutasyona uğramadan oluşurken, %100 olursa kromozom tamamen değişir (Sivanandam ve Deepa, 2008: 57). Yapılan çalışmalar sonucunda popülasyon büyüklüğü 20'den büyükken $P_m > 0,05$ olarak seçildiği durumda veya popülasyon büyüklüğü 20'den küçükken $P_m < 0,002$ olduğu durumda performansın arttığı gözlenmiştir (Bäck, 1996: 123).

1.5.8.5. Kuşak Aralığı

Her nesilde oluşan yeni kromozom oranına kuşak aralığı adı verilmektedir. Genetik operatörler için kaç tane kromozomun seçildiğini gösterir. Yüksek bir değer birçok kromozomun yer değiştirdiği anlamına gelmektedir (Emel ve Taşkın, 2002: 136).

1.5.8.6. Seçim Stratejisi

Eski kuşağı yenilemenin çeşitli yöntemleri mevcuttur. *Kuşaksal stratejide*, mevcut popülasyondaki kromozomlar tamamen yavrular ile yer değiştirir. Popülasyonun en iyi kromozomu da yenilediğinden dolayı bir sonraki kuşağa aktarılamaz. En iyi kromozomu geri kazanmak için bu strateji elitizm (en uygun) stratejisiyle beraber kullanılmaktadır. *Elitizm stratejisinde*, popülasyondaki en iyi kromozomlar hiçbir zaman yenilenmemektedir, bundan dolayı üreme için en iyi çözüm her zaman elverişlidir. *Denge durumu stratejisinde* ise, her kuşakta yalnızca birkaç kromozom yenilenmektedir.

Genellikle, yeni kromozomlar popülasyona katıldığında en kötü kromozomlar yenilenir (Çakar, 2009: 69; Emel ve Taşkın, 2002: 136).

1.5.8.7. Fonksiyon Ölçeklemesi

Doğrusal ölçekleme, üstsel ölçekleme gibi yöntemler mevcuttur. Probleme göre en uygun ölçekleme yönteminin seçilmesi genetik algoritmanın etkin işlemesi açısından önem taşımaktadır (Taşkın ve Emel, 2009: 80). Kompleks yapıya sahip uygunluk fonksiyonunun değerlendirilmesinin zorlaştığı problemlerde, uygunluk fonksiyonunu ölçeklendirerek yani basitleştirerek daha kolay çözüm bulabiliriz.

1.5.9. Genetik Algoritmaların Uygulama Alanları

Bir sistemin performansını eniyilemek için parametre seçiminde veya sayısal modelleri test edip uygunluğunu tespit etmek için kullanılan genetik algoritmalar her çeşit probleme çözüm aramaktadır. Uygulama alanlarından bazıları aşağıda sıralanmaktadır (Çakar, 2009: 72-73):

- Kombinatorial problemleri (ARP, GSP, ÇPP, iş çizelgeleme... vb),
- Bilgisayar ağları tasarımı,
- Görüntü işleme,
- Stratejik planlama,
- İmalat planlama, yerleşim planlama ve kaynak planlama,
- Montaj hattı dengeleme problemleri,
- Taşıma problemleri.

İKİNCİ BÖLÜM

2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ

2.1. Genel Bilgiler

Araç Rotalama Problemleri (ARP), yönelem araştırmalarında kullanılan en önemli konulardan (Vacic ve Sobh, 2002: 2) ve kombinatoryal problemlerinden birisidir (Díaz, 2007). Başka bir ifadeyle coğrafik olarak dağılmış müşterilere veya şehirlere, bir ya da daha fazla sayıda depodan servis yapan bir ya da daha fazla sayıdaki araçların belirli kısıtlar altında rotalarının belirlenmesi problemlerine verilen isimdir (Rego, 2001: 201).

ARP, temel olarak talep yapısı, malzeme tipi, dağıtım/toplama noktaları ve araç filoları bileşenlerine sahiptir. Talep yapısı; talebin dinamik mi yoksa statik mi olduğunu, malzeme tipi; hangi tür malzemenin taşınacağını, dağıtım/toplama noktaları; müşterilerin ve depoların yerlerinin bilinip bilinmediğini, araç filosu ise; araçların homojen mi yoksa heterojen mi olduğunu belirtir (Şeker, 2007: 33-34). Araç rotalama problemlerinde kullanılan amaç fonksiyonları aşağıdaki gibidir (Toth ve Vigo, 2002: 4):

- Kullanılan araçların sabit maliyetini ve gidilecek yolu veya toplam süreyi içeren taşıma maliyetlerini en küçükleme,
- Bütün müşterilere servis yapmak için gereken araç sayısını en küçükleme,
- Araç yükü ve seyahat zamanı açısından rotaları dengeleme,
- Müşterileri servisleri ile birleştirilmiş ceza maliyetlerini en küçükleme.

2.2. Araç Rotalama Probleminin Çeşitleri

2.2.1. Klasik Araç Rotalama Problemi

Klasik Araç Rotalama Problemi (ARP), belirli sayıdaki müşteri grubuna hizmet veren araç/araçların izleyecekleri rotanın belirlenmesi olarak tanımlanan problem tipidir (Breedam, 2001: 289). Klasik ARP'de, birinci şehir depo olmak üzere n adet şehir, i müşterisinden j müşterisine olan mesafe c_{ij} ve Q kapasitesine sahip m adet araç vardır (Eryavuz ve Gencer, 2001: 139). Bu bilgiler ışığında temel bir araç rotalama problemi aşağıdaki kısıtlara sahiptir (Baker ve Ayechev, 2003: 787; Canen ve Pizzolato, 1994: 11):

- Bir aracın servisi depoda başlar ve depoda biter.
- Tek depodan servis yapılmaktadır.
- Tüm araçların kapasiteleri homojendir.
- Araçların her biri belirli kapasiteye ve gidebilecekleri maksimum rota uzunluğuna sahiptir.
- Bir müşteriye tek bir araç hizmet edebilir.

Bu kısıtlara sahip bir araç rotalama problemi ile tüm gereksinimleri karşılayarak toplam seyahat uzunluğu, gerekli olabilecek minimum araç sayısı veya minimum araç sayısı için toplam seyahat uzunluğu bulunabilir (Baker ve Ayechev, 2003: 787).

2.2.2. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi

Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KARP), aynı kapasiteye sahip sabit sayıdaki araçların, minimum maliyetle ortak bir depodan, talepleri belli olan müşterilere servis yapmak için izlemesi gereken rotaların belirlendiği problemlerdir (A_i ve Kachitvichyanukul, 2009: 380). ARP ile aynı olması yanında tek farklı kısıtı rota üzerindeki müşterilerin tüm taleplerinin toplamı araç kapasitesinden fazla olamamasıdır (Lysgaard ve diğerleri, 2004: 423). ARP ailesinin en iyi bilinen ve üzerinde en çok çalışılan üyesi olan KARP'nin (Miller, 1995: 1) amacı; toplam rota uzunluğunu (Achuthan, 2003: 153), araç sayısını ve toplam seyahat zamanını (Díaz, 2007) minimize etmektir. KARP'nin matematiksel modeli aşağıdaki gibidir (Wang ve Lu, 2009: 2924):

$$\text{Minimum} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \text{dist}_{ij} x_{ij} \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n q_i y_{ik} \leq Q, \quad k = 1, \dots, m \quad (7)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1, \quad S \subseteq \{2, \dots, n\} \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^m y_{ik} = \begin{cases} m, & i = 1 \\ 1, & i \neq 1 \end{cases} \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = \sum_{i=1}^n x_{ji} = \begin{cases} m, & j = 1 \\ 1, & j \neq 1 \end{cases} \quad (10)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n \quad (11)$$

$$y_{ik} \in \{0,1\}, \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, m \quad (12)$$

dist_{ij} : i dağıtım merkezi ile j dağıtım merkezi arasındaki uzaklık

x_{ij} : i dağıtım noktasından j dağıtım noktasına gidiş durumu (gidiyorsa değeri 1, gitmiyorsa değeri 0)

y_{ik} : k . aracın i dağıtım noktasına servis durumu (servis varsa değeri 1, yoksa değeri 0)

q_i : i dağıtım noktasının talep miktarı

Q : araçların toplam kapasitesi

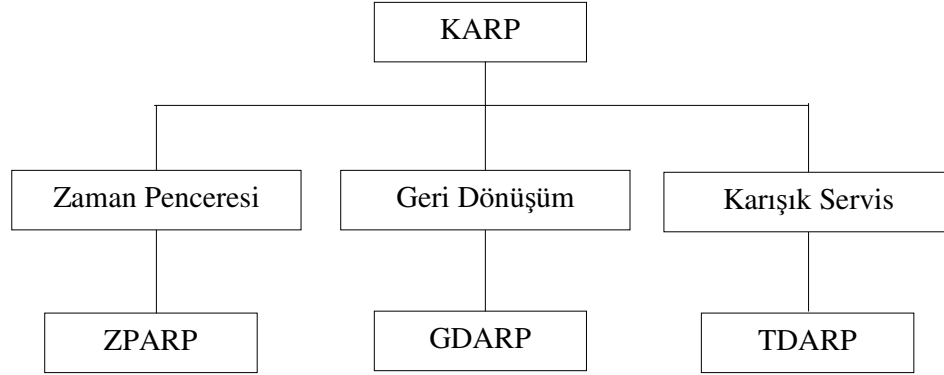
S : düğümler setinin alt seti

$|S|$: S alt setindeki düğüm sayısı

m : araç sayısı

Şekil 14’de, KARP’nin kısıtlarına ek kısıtlar eklenerek elde edilen diğer ARP çeşitleri gösterilmektedir:

Şekil 14: Bazı Araç Rotalama Problemi Çeşitleri



Kaynak: Toth ve Vigo, 2002: 6

2.2.3. Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi

Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemleri (ZPARP), $[a_i, b_i]$ olarak belirlenen zaman aralığı arasında her bir i müşterisine servis yapmayı sağlayan, klasik araç rotalama probleminin önemli bir türüdür (Cordeau ve diğerleri, 2007a: 385). ZPARP; en erken, en geç ve servis zaman aralığına sahip müşterilere servis yapan araçların yol haritalarını belirlemeyi amaçlayan bir problemdir (Thangiah, 1999: 347).

Belirlenen zaman dilimi içinde tüm müşterilere servis yapmak için gerekli bekleme süresini, toplam seyahat zamanını ve araç sayısını en küçüklemeyi amaçlayan (Czech ve Czarnas, 2002: 377) ZPARP’nin kısıtları; bekleme süresi, servis süresi ve kat edilen yolun toplamını kapsayan araç rota zamanı ile araç kapasitesinin aşılmasıdır (Thangiah, 1999: 347). Ayrıca, her müşteriye yalnız bir araç ziyaret ederken ayrık teslimat ve birden çok ziyaret önlenmelidir. Eğer ilgili araç istenilen saatten önce müşteriye ulaşırsa hiçbir ceza verilmeden bekletilmektedir, fakat istenilen saatten sonra gelirse servis yapmaya izin verilmemektedir (Bräysy ve Gendreau, 2001a: 4).

ZPARP'ler günümüzde yaygın olarak, yiyecek, içecek ve gazete teslimatında, ticari ve endüstriyel atık toplamasında (Cordeau ve diğerleri, 2007a: 385), perakende dağıtımda, okul servisi, havaalanı ve demiryolu filo rotalama ve zamanlamasında (Thangiah, 1999: 347) kullanılır.

Bräysy ve Gendreau (2001b: 4-5), bu kısıtlara sahip araç rotalama probleminin matematiksel modelini aşağıdaki gibi formüle etmişlerdir:

$$\text{Minimum} \quad \sum_{k \in V} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} X_{ij}^k \quad (13)$$

$$\sum_{k \in V} \sum_{j \in N} X_{ij}^k = 1 \quad \forall i \in C \quad (14)$$

$$\sum_{i \in C} d_i \sum_{j \in N} X_{ij}^k \leq q, \quad \forall k \in V \quad (15)$$

$$\sum_{j \in N} X_{0j}^k = 1 \quad \forall k \in V \quad (16)$$

$$\sum_{i \in N} X_{ih}^k - \sum_{j \in N} X_{hj}^k = 0, \quad \forall h \in C, \forall k \in V \quad (17)$$

$$\sum_{i \in N} X_{i,n+1}^k = 1, \quad \forall k \in V \quad (18)$$

$$\sum_{ij}^k (S_i^k + t_{ij} - S_j^k) \leq 0, \quad \forall (i,j) \in A, \forall k \in V \quad (19)$$

$$a_i \leq S_i^k \leq b_i, \quad \forall i \in N, \forall k \in V \quad (20)$$

$$X_{ij}^k \in \{0,1\}, \quad \forall (i,j) \in A, \forall k \in V \quad (21)$$

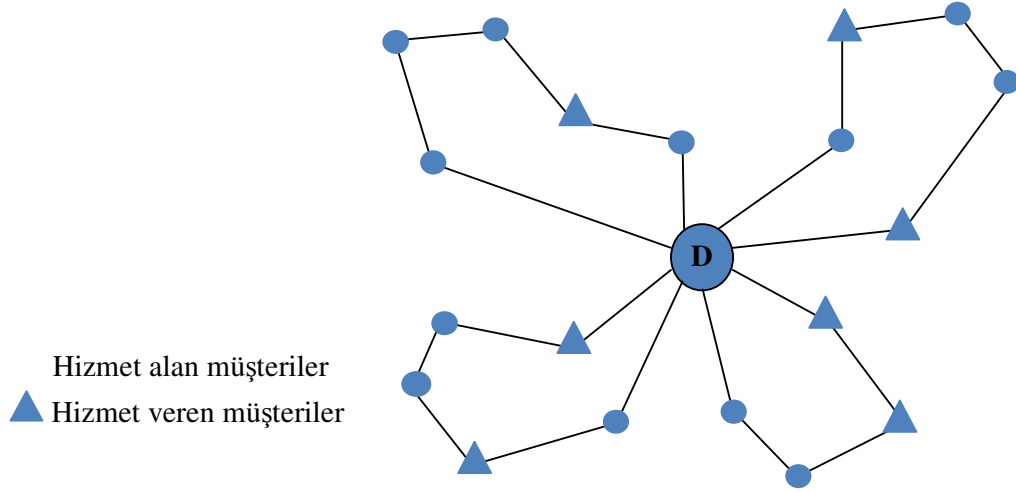
Bu model iki karar değişkeni içerir. X_{ij}^k karar değişkeni, k aracı i. noktadan j. noktaya gidiyorsa 1 değerini, aksi durumda 0 değerini alır. S_i^k karar değişkeni, k aracının i. müşteriye servis yapmaya başladığı zamanı gösterir. Eğer k aracı i. müşteriye servis yapmıyorsa S_i^k bir anlam ifade etmez.

Amaç fonksiyonu (13), maliyetlerin en küçüklemesidir. (14), her müşterinin yalnızca bir araç tarafından ziyaret edilmesi gerektiğini ifade eder. (15), bir aracın kapasitesinden fazla müşteriye servis yapamayacağını belirtir. (16), (17) ve (18), her bir aracın servise depoda başlayıp, müşterilerine yalnız bir kere uğrayarak tekrar depoya dönmesini ifade eder. (19), eğer araç i. müşteriden j. müşteriye gidiyorsa, aracın $S_i^k + t_{ij}$ 'den önce j. müşteriye gelemeyeceğini; (20), zaman aralıklarını; (21), X_{ij}^k 'in 0 ve 1 değerlerini alabileceğini ifade eder.

2.2.4. Geri Dönüşümlü Araç Rotalama Problemi

KARP'nin genişletilmiş hali olan Geri Dönüşümlü Araç Rotalama Problemi (GDARP) (Toth ve Vigo, 1997: 372), hem teslimat hem de dağıtım noktalarına sahip araç rotalama problemdir (Jacobs-Blecha ve Goetschalckx, 1998: 1). Servis veren ve servis alan müşterilere sahip GDARP'de, servis veren müşteriler depoya ürün gönderirken, servis alan müşterilere depodan teslimat yapılır (Duhamel ve diğerleri, 1997: 49). Şekil 15'da GDARP akış çizelgesi gösterilmiştir.

Şekil 15: Geri Dönüşümlü Araç Rotalama Probleminin Akış Çizelgesi



Kaynak: Geloğulları, 2001: 8

Toplam maliyeti en küçüklemeyi amaçlayan GDARP'nin kısıtları aşağıda özetlenmiştir (Toth ve Vigo, 1999: 529):

- Her araç bir rotaya servis yapar,
- Servis alan ve servis veren müşterilerin toplam talebi, araç kapasitesini aşmamalıdır,
- Servis alan müşterilere teslimat yapıldıktan sonra servis veren müşterilerden ürün alınır,
- Araçlar tarafından kat edilen toplam seyahat uzunluğunu en küçüklemelidir,
- En önemli kısıt ise servis alan müşteri, servis veren müşteriden daha önceliklidir.

Tavakkoli-Moghaddam ve diğerleri (2006a: 1051-1052), GDARP'nin karışık tamsayıli modelini aşağıdaki gibi matematikselleştirmiştir:

$$\text{Minimum } z = \sum_{i=0, \dots, n+m} \sum_{j=0, \dots, n+m} \sum_{k=1, \dots, M} C_{ijk} x_{ijk} \quad (22)$$

$$\sum_{j=0, \dots, n+m} \sum_{k=0, \dots, M} x_{ijk} = 1, \quad i = 1, \dots, n+m \quad i \neq j \quad (23)$$

$$\sum_{i=0, \dots, n+m} \sum_{k=0, \dots, M} x_{ijk} = 1, \quad j = 1, \dots, n+m \quad j \neq i \quad (24)$$

$$\sum_{j=0, \dots, n+m} \sum_{k=0, \dots, M} x_{0jk} = M \quad (25)$$

$$\sum_{i=0, \dots, n+m} \sum_{k=0, \dots, M} x_{i0k} = M \quad (26)$$

$$\sum_{i=1, \dots, n} \sum_{j=1, \dots, n+m} d_i x_{ijk} \leq Q_k, \quad k = 1, \dots, M; \quad j = 0, 1, \dots, n+m \quad (27)$$

$$\sum_{i=n+1, \dots, n+m} \sum_{j=1, \dots, n+m} f_i x_{ijk} \leq Q_k, \quad k = 1, \dots, M; \quad j = 0, 1, \dots, n+m \quad (28)$$

$$\sum_{i=0, 1, \dots, n+m} x_{ijk} - \sum_{l=0, 1, \dots, n+m} x_{jlk} = 0, \quad j = 1, \dots, n+m; \quad k = 1, \dots, M \quad (29)$$

$$\sum_{j=0, 1, \dots, n+m} x_{ijk} - \sum_{l=0, 1, \dots, n+m} x_{lik} = 0, \quad i = 0, 1, \dots, n+m; \quad k = 1, \dots, M \quad (30)$$

$$\sum x_{ijk} \leq |S| - 1, \quad S \subseteq \{2, 3, \dots, n+m\} \quad (31)$$

$$\sum_{i=n+1, \dots, n+m} \sum_{j=1, \dots, n} \sum_{k=1, \dots, M} x_{ijk} = 0 \quad (32)$$

$$x_{ijk} = \{0, 1\}, \quad i = 0, 1, \dots, n+m; \quad k = 1, \dots, M \quad (33)$$

- C_{ijk} : k aracının i düğümünden j düğümüne gitmesi için gereken uzunluk
 n : servis alan düğüm sayısı
 m : servis gören düğüm sayısı
 M : araç sayısı
 Q_k : k aracının kapasitesi
 f_i : servis alan i düğümünün talebi
 d_i : servis gören i. düğümünün talebi
 x_{ijk} : k aracının i düğümünden j düğümüne gidiş durumunu (gidiş varsa değeri 1 aksi durumda 0)

Amaç fonksiyonu (22), minimum seyahat maliyetini hesaplamaktadır. (23) ve (24), depo dışındaki her düğümünden bir rotanın geçmesini sağlamaktadır. (25) ve (26), depodan çıkan araç sayısının depoya dönen araç sayısına eşit olması gerektiğini gösterir. (27) ve (28), servis alan ve servis gören düğümlerin toplam taleplerinin araç kapasitesini aşamayacağını belirtir. Rotanın devamlılığı, (29) ve (30) tarafından uygulanır. Her rotada sadece bir araç servis yapmalıdır. (31), alt rotaların oluşmasını engeller. Servis gören düğümlerin, servis veren düğümler üzerindeki öncelikleri (32) ile sağlanmaktadır.

2.2.5. Topla Dağıt Tipi Araç Rotalama Problemi

Topla dağıt tipi araç rotalama problemi (TDARP), toplama ve dağıtım problemlerini kapsayan klasik araç rotalama probleminin genişletilmiş halidir (Cordeau ve diğerleri, 2007b: 431). Başka bir ifadeyle aynı müşteriler üzerinde önce dağıtımın daha sonra da toplama işleminin yapıldığı araç rotalama türüdür (Hoff ve diğerleri, 2009, 755). TDARP, araç kapasitesini aşmama koşulu altında araç sayısını ve seyahat zamanını en küçüklemeyi amaçlar (Diaz, 2007). Diğer ARP çeşitlerinde olduğu gibi TDARP'nin de bazı kısıtları vardır. Bunlar (Toth ve Vigo, 2002: 225; Katoh ve Yano, 2006: 2335):

- Her toplama ve dağıtım noktası sadece bir kere ziyaret edilir,
- Depodan başlayan servis depoda son bulur,
- Araç kapasitesi aşılmamalıdır,
- Toplama noktası ve eşleştiği dağıtım noktasına aynı araç hizmet verebilir,

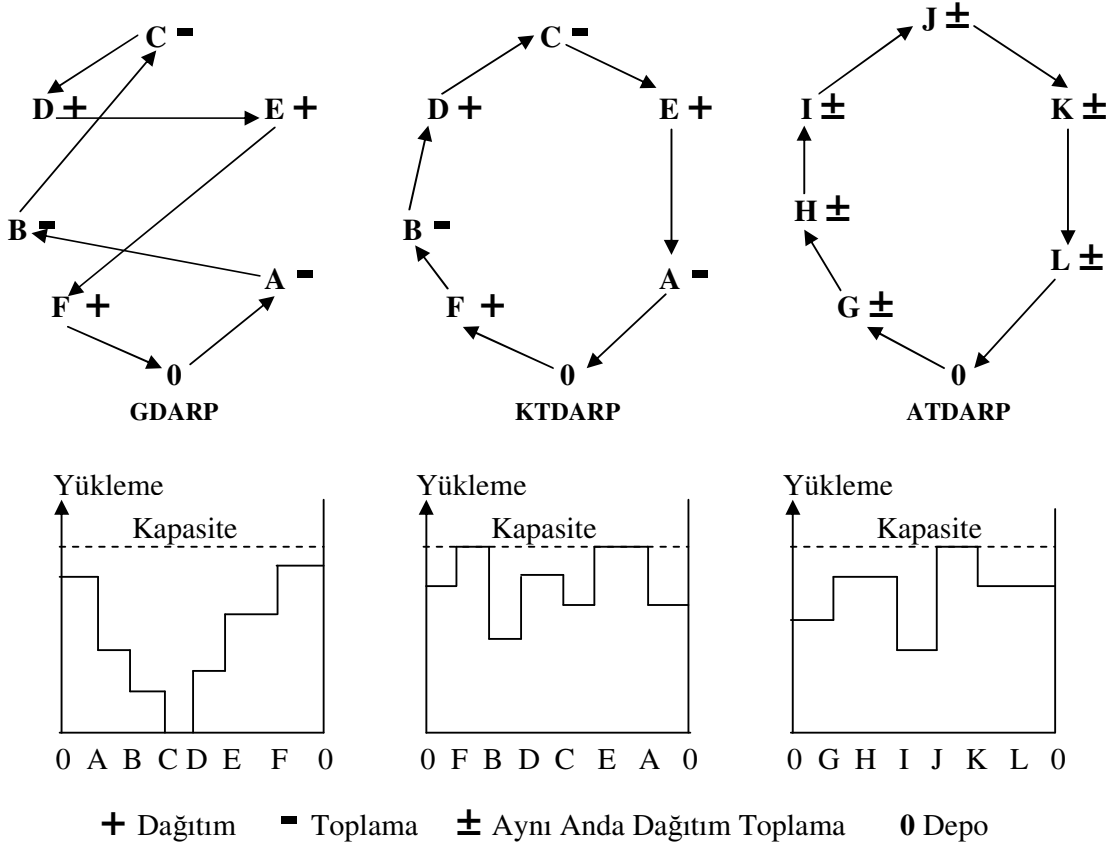
- Toplama noktaları ve birleştirilmiş dağıtım noktaları arasındaki ziyaret öncelikleri uygulanmalıdır,
- Araçların uygun terminallere dönmesini sağlayan depo kısıtı ile araç tipi ve şoför sayısı kısıtını belirten kaynak kısıtı vardır.

Birçok çeşitleri olan TDARP'nin bazıları aşağıda gösterilmiştir (Ganesh ve Narendran, 2007: 700):

- *Geri dönüşümlü araç rotalama problemi (GDARP)*: Toplamaya başlamadan önce tüm teslimatların yapıldığı bir topla-dağıt durumuna sahiptir.
- *Karışık topla-dağıt tipi araç rotalama problemi (KTDARP)*: Bir düğüme birden fazla ziyaretin ya da sıra kısıtının olmadığı, bazı düğümlere sadece teslimat yapılırken, bazı düğümlere ise sadece toplamanın yapıldığı araç rotalama türüdür.
- *Aynı anda topla-dağıt tipi araç rotalama problemi (ATDARP)*: Ziyaret edilen her düğümden teslimat ve dağıtım yapılan problem türüdür.

Şekil 16’de topla-dağıt tipi araç rotalama problemi çeşitleri gösterilmektedir.

Şekil 16: Topla- Dağıt Tipi Araç Rotalama Problemi Çeşitleri



Kaynak: Zachariadis ve diğerleri, 2009:1072

ARP'nin yaygın olarak kullanılan çeşitlerini inceledikten sonra diğer çeşitlerine kısaca değinecek olursak;

Periyodik Araç Rotalama Problemi (PARP): Belirli günlerde müşterilere teslimatın yapıldığı araç rotalama problemidir. PARP; her düğüm için müşterilerin önceden belirledikleri planlardan birine, her gün için araçlar tarafından ziyaret edilecek düğümlerin seçimine ve planlanmış periyotlar için araçların seçimine karar vermelidir (Francis ve diğerleri, 2008: 74).

Birden Çok Depolu Araç Rotalama Problemi (ÇDARP): Birden fazla deponun bulunduğu araç rotalama problemidir. ÇDARP'nin çözümünde öncelikle aynı depodan servis görecektir müşteriler gruplandırılır, sonra depolara müşteriler atanır ve son olarak da her bir rotanın teslimat sırasına karar verilir (Ho ve diğerleri, 2008: 549-550).

Stokastik Araç Rotalama Problemi (SARP): Müşterilerin, seyahat zamanlarının ve müşteri taleplerinin belirli olmadığı durumlarda kullanılan araç rotalama problemidir. (Novoa ve Storer, 2009: 509).

Ayrık Teslimatlı Araç Rotalama Problemi (ATARP): Müşterilere birden fazla aracın hizmet verdiği araç rotalama türüdür. Klasik ARP'nin aksine ATARP'nde müşteri talebi, araç kapasitesinden fazla olabilir ve müşterilere parçalı teslimat yapılabilir (Archetti ve Speranza, 2006: 64).

2.3. Literatür Araştırması

Araç rotalama problemleri ilk defa Dantzig ve Ramser tarafından 1959'da yayınlanan "The Truck Dispatching Problem" adlı makalede açıklanmıştır (Cordeau ve diğerleri, 2007a: 367). Günümüzde çok dikkat çekici bir konu olan ARP hakkında Laporte ve Osman (1995), Gendreau ve diğerleri (2008), Arıburnu ve Bulkan (2009) ve Ekşioğlu ve diğerleri (2009) literatür çalışmaları yapmışlardır.

Laporte ve Osman (1995), dört temel rotalama problemleri olan gezgin satıcı problemleri, araç rotalama problemleri, Çinli postacı problemleri ve kırsal postacı problemlerini, genel bakış çalışmaları, uygulama çalışmaları ve çeşitlerinin çözümünde kullanılmış olan klasik, sezgisel ve meta sezgisel yöntemlerle yapılmış çalışmalar olarak sınıflandırıp, bu konularla ilgili yapılmış olan 500 makaleyi listelemişlerdir.

Gendreau ve diğerleri (2008), ARP çeşitlerinin çözümünde, karınca kolonisi optimizasyonu, genetik algoritma, açgözlü rassal uyarlamalı arama yöntemi, tavlama benzetimi, tabu arama, değişken komşu arama veya bu meta sezgisel yöntemlerin bir arada kullanılmasıyla elde edilen hibrit yöntemleri kullanmış olan yazarların kronolojik sırayla çalışmalarını listelemişlerdir.

Arıburnu ve Bulkan (2009), 2007 ve daha sonrasında yayımlanan çok amaçlı araç rotalama problemlerini ve çözüm yöntemlerini incelemişlerdir. Makaleleri kısıt, amaç ve yöntem olarak üçe ayırarak tablo halinde göstermişler.

Ekşioğlu ve diğerleri (2009), ARP'yi kısıtlarına göre sınıflandırarak bilinen üç veritabanından konu, başlık ve özet alanlarına “araç rotalama” yazarak elde ettiği toplam 1494 makale, bildiri, teknik rapor, kitap ve kitap özetini incelemiştir. Bu sınıflandırma doğrultusunda yazarların yaptığı çalışmalarını bir tablo halinde göstermişlerdir. Ayrıca yayıncı dergilere göre de bir istatistik oluşturarak ARP ile ilgili yayınların dünü ve bugünü özetlemişlerdir.

Genel amaçlı yapılmış literatür çalışmalarına örnek verildikten sonra bir sonraki aşamada ARP'lerinin çözümü için önerilen yöntemler, klasik, sezgisel ve meta sezgisel yöntemler başlıkları altında incelenmiştir.

2.3.1. Klasik Yöntemlerle İlgili Literatür Araştırması

Miller (1995), kapasite kısıtlı araç rotalama probleminin çözümünde dal-sınır algoritmasını kullanmıştır. Probleminde araç kapasite kısıtının yanında uzaklık ve birçok depodan hizmet kısıtları da vardır. İyi bir b-eşleme (b-matching) problemi üretmeyi sağlayabilecek simetrik KARP için yeni bir algoritma önermiştir. TSPLIB'den aldığı verilerle yaptığı çalışmalar sonucunda önerdiği algoritmanın, 51 ya da daha az düğüme sahip araç rotalama örnekleri için çözüm bulduğunu göstermiştir.

Toth ve Vigo (1997), kapasite kısıtlı araç rotalama probleminin bir uzantısı olan önce dağıt sonra topla tipi araç rotalama problemini ele almışlardır. Bu problemin hem simetrik hem de asimetrik versiyonları üzerinde durmuşlardır. Toplam rota uzunluğunu en küçüklemeyi amaçlayan problemlerine, kesme düzlemi üzerine geçerli eşitsizlikler ekleyerek güçlendirilen Langrangian alt sınırını kullanan yeni bir algoritma ile çözüm bulmuşlardır. 100 ve daha fazla sayıda müşteri içeren problemler üzerinde yaptıkları çalışmalar sonucunda, önerdikleri modelin etkililiğini göstermişlerdir. Ayrıca, bu algoritmanın önce dağıt sonra topla tipi araç rotalama problemlerinin çözümü için önerilen ilk tam sayılı algoritma olduğunu belirtmişlerdir.

Mingozzi ve diğeri (1999), topla dağıtım tipi araç rotalama problemine tamsayı programlama temelli bir çözüm sunmuşlardır. Tek depoya sahip problemlerinde, önce bazı müşterilerden mal alınıp daha sonra diğer müşterilere servis yapılmaktadır. Doğrusal programlama gevşetmesi yönteminin dualinin çözümü için, farklı sezgisel metotları birleştirerek optimal çözüm için gerekli olan alt sınırları hesaplayan bir prosedür geliştirmişlerdir. Önceki çalışmalarda önerilen problemler üzerinde yaptıkları çalışmalar sonucunda, önerdikleri modelin 100 ve üzeri müşteri grubuna sahip problemlerin çözümündeki etkililiğini göstermişlerdir.

Bard ve diğeri (2002), tüm düğümlerin ziyaret edilmesi için gerekli olan minimum araç sayısını bulmayı amaçlayan zaman ve kapasite kısıtlı araç rotalama problemlerine Dal-kesme algoritması ile çözüm aramışlardır. Uygun çözümler ve en üst sınır için açgözlü rassal uyarlamalı arama yönteminden yararlanmışlardır. 50 ve 100 düğümlü problemler üzerinde yaptıkları çalışmalar sonucunda 50 müşterili problemlerin kolaylıkla çözülebildiğini ortaya koymuşlardır. Önerdikleri yöntemin, diğer rotalama problemlerinin çözümü için de kullanılabileceğini söylemişlerdir.

Achuthan ve diğeri (2003), tüm araçların toplam yol mesafelerini en küçüklemeyi amaçlayan kapasite kısıtlı araç rotalama problemlerini, sabit ya da değişken araç sayısı ve bilinen araç kapasitesi kısıtlarıyla incelemişlerdir. Bu problem için birçok kesme alanı geliştirmişler ve dal-kesme algoritmasına eklemişlerdir. Çeşitli yazarların daha önceki çalışmalarıyla karşılaştırmalar yaparak önerilen metodun fayda sağladığını göstermişlerdir.

Lysgaard ve diğeri (2004), kapasite kısıtlı araç rotalama problemi için yeni bir dal-kesme algoritması önermişlerdir. Problemlerinde çok çeşitli kesme düzlemleri kullanırken önerdikleri dal-kesme algoritması için önemli bileşenler tanımlamışlardır. Önerdikleri modeli; üç örnek üzerinde test ederek diğerleriyle rekabet edebileceği sonucuna varmışlardır. Ayrıca, diğer araştırmacılar tarafından kullanılacak her test örneği için bilinen en iyi üst sınırları önermişlerdir.

Güler ve diğeri (2004), gıda sektöründe hizmet veren bir firmanın tedarik zinciri üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Fabrikalardan distribütörlere olan dağıtımın zamanında

ve eksiksiz yapılmasıyla hizmet seviyesini arttırmayı ve bu işlemi en düşük maliyetle yapmayı amaçladıkları problemlerine karışık tamsayılı matematiksel bir model önermişlerdir. Yaptıkları çalışmalar sonucunda fayda-maliyet analizleri yaparak, farklı servis düzeyleri için tedarik zinciri tasarım seçenekleri önermişlerdir.

Güngör ve Ergülen (2006), araç rotalama problemlerindeki taleplerin belirli olması varsayımının gerçek yaşamı desteklemediğini ve bu yüzden bu tür problemlerin çözümünde taleplerin bulanık olarak düşünülmesinin mantıklı olabileceğini savunmuşlardır. Karışık tamsayılı doğrusal programlama yöntemini kullanarak bir gıda işletmesi üzerinde yaptığı deneyler sonucunda önerilen modelin, bulanık mantığı dikkate almayan modellerden daha iyi ve mantıklı sonuçlar ürettiğini ve toplam taşıma maliyetlerini % 15 oranında azalttığını bulmuşlardır.

Dell'Amico ve diğerleri (2006), dal ağırlıklandırma tekniğinin, aynı anda dağıt-topla tipi araç rotalama problemlerine nasıl uygulanabildiğinin ve özellikle ağırlıklandırma alt probleminin çözümünde iki farklı yol olan dinamik programlama ve durum uzay gevşetmesi yöntemlerinin karşılaştırılması üzerinde çalışmışlardır. Bu tür problemlerin tam olarak çözümü için kullanılan ilk dal ağırlıklandırma algoritmalarını önermişlerdir. Ağırlıklandırmada kullanılan dinamik programlama tekniğinin performansını arttırmak için yeni fikirler öne sürmüşlerdir. 20 müşterili bir örneklem üzerinde yaptıkları çalışma sonucunda dinamik programlamayı içeren dal ağırlıklandırma algoritması (EXACT), durum uzayını içeren dal ağırlıklandırma algoritmasına (RELAX) göre daha güçlü alt sınır elde etmesine rağmen, bu yöntemin RELAX tekniği ile rekabet edemeyeceğini söylemişlerdir. Yapılan karşılaştırmalı analizler sonucunda; RELAX tekniğinin, küçük ve orta ölçekli örneklerde aynı anda dağıt-topla problemi için uygun bir yaklaşım olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Lee ve diğerleri (2006), araç sayısına ve rotalarına bağlı olarak toplam seyahat maliyetini en küçüklemeyi amaçlayan tek depolu ayırık dağıtımli çoklu araç rotalama problemleri için yeni bir dinamik programlama tekniği önermişlerdir. Farklı coğrafik bölgelerde ve farklı taleplere sahip az müşterili bir örneklem üretmişlerdir. Bu örneklem üzerinde yaptıkları çalışmalar sonucunda, basit, uygulanması kolay ve en kısa yol arama

algoritmasını içeren yöntemin, ayrık dağıtımli çoklu araç rotalama probleminin optimal sonuçlarını değerlendirmek için yeni bir yol oluşturduğunu söylemişlerdir.

Calvete ve diğerleri (2007), araç kapasitesini ve işgücünü tam olarak kullanırken, gün içinde müşterilerin önceliklerine göre servis yapan; toplam dağıtım ve seyahat maliyetini en küçükmeyi amaçlayan esnek zaman pencerele araç rotalama problemlerine amaç programlama yöntemi ile çözüm aramışlardır. Problemin çözümü için önce uygun rotaları birleştiren daha sonra en iyisini seçen numaralama yaklaşımını önermişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda orta ölçekli teslimat problemleri için bu yaklaşımın kullanılabilir olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Tang ve diğerleri (2009), makalelerinde bulanık zaman pencerele araç rotalama problemi üzerinde durmuşlardır. Tek depo ve homojen filo kısıtlarına sahip problemlerinde kesme yüzeyi algoritması ve subgradient algoritmasını kullanmışlardır. Çok amaçlı model olarak ifade ettikleri bulanık zaman pencerele araç rotalama problemlerinde, toplam mesafeyi azaltmayı ve servis kalitesini arttırmayı amaçlamışlardır. Yapılan analizler sonucunda önerilen modelin, uygun servis kalitesinin sağlandığı durumlarda kabul edilebilir maliyet tasarrufu sağladığını göstermişlerdir.

Novoa ve Storer (2009), stokastik talepli tek araçlı araç rotalama problemleri için roll-out algoritmasını incelemişlerdir. Bu çalışmada maliyetin hesaplanmasında Monte Carlo Simülasyonunu dikkate almışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda iki aşamalı roll-out algoritmasının, tek aşamalı roll-out algoritmasına göre % 1,6 daha ucuz çözümler sağladığını, ayrıca Monte Carlo Simülasyonunun geniş örnekler için sonuca ulaşma süresini % 65 azalttığını bulmuşlardır.

Fügenschuh (2009), okul başlama saatleri ile belediye otobüs saatlerinin koordinasyonu için bir tamsayılı programlama modeli önermiştir. Yazar, dal kesme algoritması ile birleştirilen kesim düzlemi, modelin yeniden formüle edilmesi ve daha önceki teknikler üzerinde durmuştur. Probleminde araç sayısını ve toplam seyahat süresini minimize etmeyi hedeflemiştir. Yaptığı gerçek zamanlı deneyler sonucunda, örneklem olarak seçtiği kasabalarda eğer okul başlama saatleri farklı olursa, daha az sayıdaki

otobüsün çözüm için yeterli olduğunu göstermiştir. Böylelikle otobüs şirketinin maliyetlerini azaltabileceğini savunmuştur.

Azi ve diğerleri (2010), zaman pencereli ve birden çok rotaya giden araçlara sahip araç rotalama problemi üzerinde durmuşlardır. Daha önceden bu tarz bir problemi çözmekte kullanılmayan dal ağırlıklandırma tekniğini içeren bir model sunmuşlardır. İyi bilinen zaman pencereli araç rotalama örneklerinden türetilen Öklid uzaklığına sahip veriler üzerinde analizler yapmışlardır. Sonuç olarak bazı varsayımlar altında 25 müşterili ve birkaç tane 50 müşterili problemleri çözebildiğini belirtmişlerdir.

2.3.2. Sezgisel Yöntemlerle İlgili Literatür Araştırması

Toth ve Vigo (1999), kapasite kısıtlı araç rotalama probleminin bir uzantısı olan önce dağıt sonra topla tipi araç rotalama problemleri üzerinde durmuşlardır. Makalelerinde, asimetrik uzaklık matrisli problemleri çözebilen ve yeni bir kümeleme metodunu kullanan önce kümele sonra rotala sezgiselini kullanmışlardır. Önceki çalışmalarda kullanılan bazı simetrik ve asimetrik örnekler üzerinde yapılan analizler sonucunda önerilen modelin, kabul edilebilir zaman aralığı içinde literatürdeki diğer algoritmalarından her zaman daha iyi sonuç verdiğini kanıtlayarak etkililiğini göstermişlerdir.

Eryavuz ve Gencer (2001), Balıkesir Ordu Donatım Okulu personel servis araçlarının rotalanması üzerine bir çalışma yürütmüşlerdir. Sezgisel algoritmalarından tasarruf algoritması ile rassal tasarruf algoritmasını kullanmışlardır. Buldukları çözümler üzerinde tur geliştirme algoritmalarıyla iyileştirmeler yaparak mevcut durumla karşılaştırmalar yapmışlardır. Var olan sistemden daha az maliyetli yeni bir rota önermişlerdir.

Emel ve diğerleri (2004), otomotiv sektöründeki bir üretici firmanın tedarik zincirinin yönetim maliyetlerini azaltmayı amaçlayan bir çalışma yapmışlardır. İlgili firmanın mevcut lojistik sistemini inceleyip sorunları tespit etmişlerdir. Araç rotalama problemlerinin çözümünde kullanılan yöntemlerden biri olan kazanç algoritmasını kullanarak, taşıma filosu için daha düşük taşıma maliyetine sahip yeni rotalar bulmuşlardır.

Chu (2005), taleplerin araç kapasitelerini aştığı zamanlarda maliyeti fazla artırmayan taşıyon firmalardan araç temininin fayda olacağını savunarak, toplam maliyet fonksiyonunu en küçükleme amacına sahip taşıyon araç miktarını ve araçları rotalayan kapasite kısıtlı araç rotalama problemi için sezgisel bir algoritma önermiştir. Makalesinde ek olarak sunduğu 5 örnek üzerinde önerdiği sezgisel algoritmayı test etmiştir. Matematiksel metot ile de çözdüğü probleminin sonuçlarını karşılaştırarak 1. ve 3. örnekler için önerdiği sezgisel yöntemin optimum sonuçlar verdiğini, matematiksel model ile aynı maliyetlere sahip olduğunu ve sadece 3. örnekte her bir modelin farklı rotalar ve müşteri öncelikleri ile çözüm yaptıklarını belirtmişlerdir.

Mourgaya ve Vanderbeck (2007), periyodik araç rotalama probleminin çözümü için yuvarlama sezgiseli temelli kesik kolon üretme prosedürünü önermişlerdir. Problemleri; tek depo, homojen filo ve çoklu periyot varsayımlarına sahiptir. Çalışmalarının, standart modellerin ihmal ettiği ve uygulamacıların önem verdikleri kriterleri (bölgeselleşme ve iş yükü dengeleme) ele alması ve yuvarlama sezgiselinin nasıl kolon üretme prosedürüne uygulanması konularını ele aldığından diğer araştırmacılara katkı sağladığını belirtmişlerdir. 5 çalışma günü içinde 50-80 arasında değişen müşterilere sahip bir örneklem üzerinde çeşitli testler yapıp literatürdeki verilerle karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, önerdikleri modelin bölgeselleşme kriterini ortalama % 16 iyileştirdiğini, iş yükü kriterini ortalama % 77 iyileştirdiğini, fakat uzaklık kriterini % 20 arttırdığını bulmuşlardır.

Park ve diğerleri (2007), gerçek zamanlı araç rotalamada oluşabilecek kontrol edilemeyen yolların, yönetilebilir hale gelmesi için etkili bir algoritma geliştirmeyi amaçlamışlardır. İlk adımda birçok rota belirleyip daha sonra en yakın optimal yolu seçen iki aşamalı sezgisellerin, etkili ve uygulanabilir olabileceğini söylemişlerdir. Kontrol edilemeyen yolların birçoğundan kurtulmak için dal-sınır algoritmasını önermişlerdir. Gerçek zamanlı büyük bir trafik ağının üzerinde yaptıkları çalışmalarında, önerilen algoritmanın olabilecek alternatif yolları belirlerken, hesaplama karmaşıklığını azalttığını göstermişlerdir.

Pisinger ve Ropke (2007), zaman pencereli araç rotalama, kapasite kısıtlı araç rotalama, çok depolu araç rotalama, yere bağımlı araç rotalama ve açık araç rotalama problemlerini çözebilecek birleştirilmiş bir sezgisel önermişlerdir. Bütün problem

seçeneklerini topla ve dağıt modeline dönüştürüp, daha önceki bir çalışmalarında belirttikleri modele uyarlanabilen geniş komşuluk aramasını kullanıp çözmüşlerdir. Önerdikleri yaklaşımın, daha etkili çözümler sağladığını ve çok güçlü bir algoritma olduğunu söylemişlerdir.

Kang ve diğerleri (2008), tam zamanında araç rotalama problemi üzerinde durmuşlardır. Problemlerinde ağırlıklı toplam seyahat zamanını ve müşterilere yapılan servisteki gecikmeleri minimize etmeyi amaçlamışlardır. Zamanında servis yapamayan araçların ceza maliyetine katlanmalarını sağlamışlardır. Bu tür problemlerde karışık tamsayılı programlama ve tabu arama tabanlı sezgisellerin başarılı olduğunu söylemişlerdir. Komşu nesiller için rota-yok etme ve rota-geliştirme metodlarını önermişlerdir. Önerilen metodun performansı ile bu modele uyan veri setlerini kullanan literatürdeki diğer sezgisellerle karşılaştırma yapmışlardır. Bu başarılı sezgisellerin, kısa hesaplama zamanı içinde iyi sonuçlar sunduğunu göstermişlerdir.

2.3.3. Meta Sezgisel Yöntemlerle İlgili Literatür Araştırması

Xu ve Kelly (1996), birçok müşterinin giriş-çıkış hareketlerini aynı anda değerlendirmede kullanılan ağ akışı modelini içeren yeni bir yerel arama metodu yaklaşımı geliştirmişlerdir. İyi bilinen araç rotalama probleminin çözümünde bu yaklaşımı ve direk müşteri değiş-tokuş prosedürünü kullanmışlardır. Yerel en iyiliğin üstesinden gelebilmek için bu prosedür ile tabu aramayı birleştirmişlerdir. Yapılan çalışmalar sonunda ortaya çıkan en ilginç sonucun, ağ akış modelinin etkililiği ve geçerliliği olduğunu ifade etmişlerdir.

Badeau ve diğerleri (1997), banka, postane veya okul servisi dağıtımları gibi gerçek zaman uygulamalarında öne çıkan zaman pencereci araç rotalama probleminin çözümünde paralel tabu arama sezgiselini uygulamışlardır. Solomon'un 1987'de ZPARP için hazırladığı bilinen en iyi veriler üzerinde yaptığı çalışmalar sonucunda, ardışık algoritmaların paralelleştirilmesi, çözüm kalitesini düşürmemesinin yanında aynı sayıdaki hesaplamalar pratikte ardışık hızlandırmayı geliştirdiğini savunmuşlardır. Her hızlanmanın, çözümü bulma zamanı azaldığı zaman yüksek kalitede çözümler üretmek için veya yeni

gereksinimleri kabul ederek servis kalitesini artırmak için kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Chiang ve Russell (1997), zaman pencereli araç rotalama problemi için tabu arama modeli geliştirmişlerdir. Çözüm kalitesini arttırmak için kuvvetlendirme ve çeşitlendirme stratejilerini incelemişlerdir. Solomon'un bazı örnek veri setleri üzerinde yaptığı analizler sonucunda önerdikleri modelin uygun hesaplama zamanı içinde etkili çözümler sunduğunu göstermişlerdir.

Kelly ve Xu (1999), araç rotalama problemi için Küme Bölümleme (set-partitioning) temelli bir tabu arama sezgiseli geliştirmişlerdir. Bu algoritma ile karışık meta sezgisellerin yanında, geliştirilen sezgisellerin ve basit yerel aramanın avantajlarını da açıklamışlardır. Sezgiseller tarafından elde edilen sonuçlar, küme bölümleme modeli ile birleştirilerek daha iyi sonuçlar üretmişlerdir. Literatürden aldıkları ve rota uzunluğu kısıtını içermeyen 7 temel ARP çeşidini ele alan 14 problem verileri üzerinde testler yapmışlardır. Ağırlıklandırılmış Tasarruf ve Xu-Kelly Algoritması üreticilerini kullanan yazarlar, çözümlerini en iyi sonuçlarla karşılaştırarak 14 problemin 10'una Xu-Kelly algoritması üreticinin, 5'ine Ağırlıklandırılmış Tasarruf üreticinin en iyi sonuçları verdiğini tespit etmişlerdir.

Homberger ve Gehring (1999), zaman pencereli araç rotalama probleminin çözümü için iki evrimsel algoritma önermişlerdir. Problemlerinde öncelikle tüm kısıtları sağlayan minimum rota sayısını bulmayı, sonra da bu rotalardaki mesafeyi en küçükmeyi amaçlamışlardır. ES1 ve ES2 ile ifade ettikleri iki evrimsel algoritmayı, Solomon'un 58 probleminin örneklerinin her biri ile 10 defa test etmişlerdir. Yapılan testler sonucunda, her iki algoritmanın hem araç sayısını hem de toplam mesafeyi azaltmakta etkili birer yöntem olduklarını göstermişlerdir.

Bräysy (2001), zaman pencereli araç rotalama probleminin genetik algoritma ile çözümünden bahsetmiştir. Genetik algoritma yöntemiyle elde ettikleri verileri literatürdeki diğer meta sezgisel yöntemlerle yapılmış en iyi çözümlerle karşılaştırmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda genetik algoritma ile bulunan sonuçların, diğer yöntemlerin sonuçlarıyla rekabet edemeyeceğini öne sürmüştür. Ayrıca, Homberger ve Gehring (1999)

tarafından yapılan çalışmanın zaman pencereli araç rotalama probleminin çözümü için en etkili sonuçları verdiğini savunmuştur.

Montemanni ve diğerleri (2002), dinamik araç rotalama probleminin çözümü için karınca kolonisini esas olan bir algoritma önermişlerdir. Yaptıkları çalışmalar önerilen algoritmanın etkililiğini doğrulamış ve gerçek zamanlı örneklere uygulanabileceğini göstermiştir.

Gupta (2002), bir noktadan emir alan mühendislerin ve coğrafik olarak dağıtılan işlerin ve servislerin ayarlanmasını içeren araç rotalama problemi üzerinde durmuştur. Mühendislerin toplam gittikleri mesafeyi azaltmayı ve tamamlanan iş sayısına bağlı olarak yapılan işin kalitesini arttırmayı amaçlamışlardır. Aynı türdeki araç rotalama problemlerini çözmek için kullanılan tepe tırmanma algoritması ile tabu arama algoritmasını karşılaştırmışlardır. Tamamına yakın örneklerde tabu arama algoritmasının, tepe tırmanma algoritmasına göre daha iyi bir performans sergilediği vurgulanmıştır.

Vacic ve Sobh (2002), zaman pencereli araç rotalama probleminin çözümünde genetik algoritma yaklaşımını incelemişlerdir. Makalelerinde, genel gezgin satıcı problemleri ve araç rotalama problemlerine değinmişlerdir. Bu tarz problemlerin çözümünde kullanılan yöntemlerden olan TA, TB, KKA ve GA yöntemi ile Solomon'un 25 müşterili 6 örneği üzerinde testler yapmışlardır. Yaptıkları çalışmalar sonucunda diğer yöntemlere göre TA'yı içeren birçok ARP örneği bulunduğundan dolayı TA yönteminin ARP için en iyi performansı gösterdiğini ve sürekli geliştiğini söylemişlerdir. Diğer yöntemlerle birleştirilerek elde edilen hibrit GA'nın, GA'dan daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Zhu tarafından tasarlanan ve bu çalışmada da kullandıkları katı kurallara sahip GA'nın, TA ve TB yöntemleriyle rekabet edebilecek sonuçlar ürettiğini ve Solomon'un sunduğu en iyi çözümlere yakın çözümler verdiğini savunmuştur.

Baker ve Ayechev (2003), temel araç rotalama problemleri için bir genetik algoritma uygulaması üzerinde durmuşlardır. Tabu arama ve tavlama benzetimi yöntemleri kullanılarak yapılmış olan çalışmalar ile genetik algoritma ve çeşitleri karşılaştırılmıştır. Literatürde bulunan 14 araç rotalama problemi veri seti üzerinde elde ettikleri sonuçlar

doğrultusunda önerilen algoritmanın, çözüm zamanı ve kalitesi açısından tabu arama ve tavlama benzetimi yöntemleriyle rekabet edebileceğini söylemişlerdir.

Gupta (2003), çok sayıda görev için kısıtlı sayıda kaynak kullanmayı amaçlayan kaynak yönetimi problemlerini içeren araç rotalama problemi üzerinde durmuştur. Çalışmasında tamamlanan toplam görev sayısı açısından ayarlanan iş miktarını maksimize etmeyi ve ziyaret edilen toplam yol uzunluğunu minimize etmeyi amaçlamıştır. Var olan benzetilmiş tavlama algoritmasına ek bir metot önererek yeni bir yöntem önermiştir. Aşırı kaynaklı, az kaynaklı ve kritik kaynaklı olmak üzere üç tür araç rotalama problemi üzerinde yaptığı çalışmalar sonucunda önerdiği algoritmanın, bu tip araç rotalama problemleri için daha önceden belirlenen yöntemlerden daha iyi sonuçlar ürettiğini savunmuştur.

Gökçe (2004), çeşitli araç rotalama problemleri için karınca kolonisi optimizasyonuna dayanan bir sezgisel önermiştir. Önerdiği yaklaşımı, zaman kısıtlı araç rotalama ve eş zamanlı araç rotalama problemlerine uygulamıştır. Elde edilen sonuçları literatürdeki en iyi sonuçlar ile karşılaştırıp, önerilen algoritmanın iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Bell ve McMullen (2004), belirlenmiş araç rotalama setleri üzerinde karınca kolonisinin meta sezgisel metodunu uygulamışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda bu algoritmanın, bilinen optimal çözümlerin %1'i için bulunan çözümlerde başarılı olduğunu ve özellikle büyük ölçekli problemler için çoklu karınca kolonisi sisteminin uygun olduğunu söylemişlerdir. Ek olarak algoritma içinde kullanılan aday listesinin büyüklüğünün, çözüm bulmada önemli bir faktör olduğunu ve hesaplama zamanının diğer çözüm teknikleriyle karşılaştırıldığını belirtmişlerdir.

Alabaş ve Dengiz (2004), araç rotalama problemlerinde yerel aramaya dayalı yöntemlerden olan tabu arama ve tavlama benzetimi algoritmalarını kullanmışlardır. Bu algoritmaların, araç rotalama problemlerinin çözümündeki performansa katkısını araştırmışlardır. Daha önceden belirledikleri 5 hareket tiplerine göre iki yöntemi şekillendirerek her bir hareket tipinin 32 kombinasyonu için analizler yapmışlardır. Birlikte kullanılan hareket tipi sayısı arttıkça bu iki yöntemin performans kriterlerini belirleyen en

iyi çözümden sapmanın azaldığını ve en iyi çözümü buluna kadar aradığı çözüm sayısında artma olduğunu gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak, bu algoritmaların arama uzayını çok detaylı bir şekilde incelediğini ve böylece kaliteli çözümler sunduğunu söylemişlerdir.

Tokaylı (2005), yüksek lisans tezinde zaman pencereli araç rotalama problemleri için çözüm algoritmalarını kullanan Karar Destek Sistemini (KDS) ilk olarak tasarlamış, uygulamış ve yapısını anlatmıştır. Önerdikleri modelde ilk önce rotalar oluşturup daha sonra Karınca Kolonisi Algoritması ile rotaları geliştirmişlerdir. Yöneylem araştırması bilgisi az, orta ya da hiç bulunmayan kullanıcılar için var olan sistemlerin kullanıcı dostu olmadığını ve bu yüzden bu tür gerçek zamanlı problemler için KDS'nin gerekliliğinden bahsetmiştir. Yaptığı tasarımla, lojistik ve dağıtım şirketlerinin rota planlarını yaparken harcadığı zamanı azaltmayı, bu planları uygulanmasında gereken araç yatırım ve işletme maliyetlerini en aza indirmeyi amaçlamış ve verilecek kararlar için kullanıcıya bazı işaret ve öngörüler sunmuştur.

Tavakkoli-Moghaddam ve diğerleri (2006b), kapasite kullanımının sınırsız olduğu ve heterojen filoların yol maliyetlerini en küçükleyen yol uzunluğunun kullanıldığı kapasite kısıtlı araç rotalama problemine doğrusal tamsayı modeli ile çözüm aramışlardır. Önerilen modeli, en yakın komşuluğu esas olan melez tavlama benzetimi ile çözmüşlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda önerilen modelin, araç sayısını minimum ve kullanılan kapasiteyi maksimum yaparak tüm müşterilere servis sağlayan rotaları kurmayı başardığını; makul zaman içinde iyi çözümler ürettiğini göstermişlerdir.

Archetti ve diğerleri (2006), ayırık teslimatlı araç rotalama problemlerine tabu arama ile çözüm bulmaya çalışmışlardır. SPLITABU olarak adlandırılan bir tabu arama algoritmasının birçok seçenekleri üzerinde durmuşlardır. Yaptığı çalışmalar sonucunda 15'den fazla müşteriye sahip küçük örnekler için optimal çözümler sağlayabildiğini doğrulamışlardır. Sadece ayırık teslimatlı araç rotalama probleminin çözümünde kullanılan Dror ve Trudeau'nun algoritması ile karşılaştırıldığında test edilen örnekler için her zaman en iyi sonucu verdiğini göstermişlerdir.

Şeker (2007), yüksek lisans tezinde stokastik araç rotalama problemini çözmek için genetik algoritma yöntemini kullanmıştır. Küçük boyutlu bir örnek üzerinde yaptığı

çalışmalar sonucunda optimum çözümün bulunabilmesi için genetik algoritma parametrelerinin iyi belirlenmesi gerektiğini savunmuştur. 10'lu, 20'li ve 30'lu popülasyon büyüklüğünde yaptığı testler sonucunda en optimal sonucu veren çözümün popülasyon büyüklüğünün 10, çaprazlama oranının 0,8 ve mutasyon oranının 0,1 olduğunu belirtmiştir.

Teodoroviç ve Lucic (2007), talebin müşteriyi ziyaret etmesinden sonra bilindiği araç rotalama problemi türü geliştirmişlerdir. Modeli kurarken, bulanık aritmetik kurallar, bulanık mantık ve karınca kolonisinden yararlanmışlardır. Yapılan analizler sonucunda kurulan modelin kullanılabilir bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir.

Wang ve Shen (2007), zaman ve benzin kısıtlarının bulunduğu elektrikli otobüslerin rotalanması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Farklı kapasiteli duraklara hizmet etmek, benzinin belirli alt limite düşmesini engellemek için birkaç turdan sonra benzin almak ve benzin alım işleminden sonra yeni bir rotaya atanmak gibi kısıtları içeren problemlerinde araç sayılarını ve turlar arasında oluşan ölü zamanları en küçüklemeyi amaçlamışlardır. Problemin çözümünde temel karınca kolonisi algoritmasını esas olan çoklu karınca kolonisi algoritmasını, ikili (bipartite) grafik yöntemi ve ikili grafik yöntemine yardımcı algoritma olan Ford-Fulkerson algoritmasını kullanmışlardır. Önerdikleri modeli bir örnek üzerinde uygulayarak doğruluğunu analiz etmişler ve problemin çözümünde etkili ve güçlü olduğunu kanıtlamışlardır. Ayrıca önerdikleri modelin, çoklu amaç fonksiyonlarını optimize etmek için yeni bir yaklaşım olduğunu belirtmişlerdir.

Osvald ve Stirn (2008), kolay bozulabilen sebzelerin dağıtımının yapıldığı bir algoritma geliştirmişlerdir. Tek depolu, homojen filolu, müşteriler için esnek zaman pencereli ve depo için sıkı zaman penceresi kısıtları içeren bir problem kurmuşlardır. Problemin çözümü için tabu arama yaklaşımını kullanmışlardır. Önerdikleri yaklaşımının performansını, literatürde kabul görmüş bir örnek üzerinde doğrulamışlardır. Yaptıkları analizler sonucunda, bozulan yiyeceklerde % 47'den fazla azalma sağlayarak modeli iyileştirmeyi başarmışlardır.

Yıldırım (2008), yüksek lisans tezinde zaman-bağımlı ve zaman-bağımsız sıkı zaman kısıtlı araç rotalama problemin çözümünde karınca kolonisi algoritması yaklaşımını

incelemiştir. Kat edilen mesafenin en küçüklemesini amaçlayan problemde ayrıca araç sayısını azaltmayı da amaçlamıştır. Literatürdeki bazı örneklerle önerdiği algoritmayı test etmiştir. Yaptığı çalışmalar sonucunda önerdiği modelin hesaplama zamanının uzun olmasına rağmen kaliteli sonuç verdiğini belirtmiştir. Yerel arama sürecinin, KKA'nın çözüm kalitesini arttırdığını bunun yanında hesaplama zamanının büyük bir bölümünü yerel arama sürecinin kapsadığını vurgulamıştır.

Zhao ve diğerleri (2008), bir gün içindeki trafik sıkışıklığından dolayı sürekli değişen seyahat sürelerini dikkate alan araç rotalama problemi üzerinde durmuştur. Seyahat zamanını ve müşteri gecikmelerini minimum yapmayı amaçlayan problemlerinde genetik algoritma yaklaşımını kullanmışlardır. Önceden oluşturduğu farklı hız modeli senaryolarını, Solomon'un verileri üzerinde test etmişlerdir. Sonuç olarak; değişken hız modelinin, sabit hız modeline göre daha iyi sonuçlar verdiğini vurgulamışlardır.

Kovács (2008), çok kısıtlı optimizasyon problemini ele almıştır. Meta sezgisel yöntemlerden olan genetik algoritma ve tavlama benzetimi ile çözüm aramıştır. Bu iki yöntemi, Balázs Nagy'in veri setlerinde test etmiştir. Sonuç olarak, genetik algoritmanın geniş ölçekli verilerde ve güçlü bilgisayarlarda daha iyi sonuç verebileceğini fakat kesin olarak bir ayırımı yapılamayacağını belirtmiştir. Karşılaşılan problemlere göre dikkatli bir seçim yapılması gerektiğini mümkünse tavlama benzetimi ile sonuçlar üretip genetik algoritma yardımıyla sonuçların iyileştirilebileceğini savunmuştur.

Donati ve diğerleri (2008), zamana bağlı araç rotalama problemi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Tek depo, homojen filo ve sıkı zaman penceresi kısıtlarına sahip problemin çözümünde çoklu karınca algoritmasını kullanmışlardır. Toplam seyahat süresini ve araç sayısını en küçüklemeyi amaçlayan problemlerine gerçek zamanlı bir örnek üzerinde çözüm aramışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda değişken trafik durumlarının olduğu örneklerde, zamana bağlı kurulan modelin iyi bir yol gösterici olduğunu belirtmişlerdir.

Kalyoncu (2008), yüksek lisans tezinde zaman kısıtlı dağıtım ve toplama servis güzergahının belirlenmesinde tamsayılı bir model kurup tavlama benzetimi yöntemiyle çözüm aramıştır. Boğaziçi Üniversitesinin personel servisini modelleyerek önerdiği model ile çözümlerini CPLEX adlı programın çıktılarıyla karşılaştırmıştır. Yaptığı testler

sonucunda önerdiği modelin, program çıktısından daha kısa sürede ve daha fazla örneklem için çözüm ürettiğini belirtmiştir. Mevcut servis güzergâhından farklı sonuçlar veren modelin çok etkili sonuç vermediğini belirtmiştir. Gelecek çalışmalar için bu tür problemlerde daha etkili olan Tabu Arama yöntemi ile modelin çözülmesini önermiştir.

Jozefowicz ve diğerleri (2009), en uzun mesafe ile en kısa mesafe arasındaki farkı ve toplam seyahat süresini minimize etmeyi amaçlayan iki amaçlı araç rotalama problemi üzerinde durmuşlardır. Problemin çözümü için klasik çok amaçlı operatörleri içeren evrimsel bir algoritma önermişlerdir. Etkinliği geliştirmek için bu algoritma içine, iki mekanizma eklemiştir. Birincisi klasik çeşitlendirme ile birleşimde kullanılan seçkinlik çeşitlendirmesi, ikincisi ise önerilen bu çeşitlendirmeyi hesaba katmak için bir paralel model dizayn edilmesidir. Metotlarını standart veriler üzerinde test etmişlerdir. Mekanizmaların katkısını, farklı performans ölçekleri ile değerlendirmişlerdir. Yapılan ilk denemeler sonucunda klasik çeşitlendirme içeren çok amaçlı evrimsel algoritmanın yol uzunluğunu en küçükleme konusunda iyi sonuçlar vermediğini, bunun için iki mekanizma eklenerek elde edilen yeni evrimsel algoritmanın ilerleyen deneylerde her iki amaç içinde iyiye yakın sonuçlar ürettiğini belirtmişlerdir.

Ai ve Kachitvichyanukul (2009), kısmi küme optimizasyonunu kullanarak kapasite kısıtlı araç rotalama probleminin çözümü için Parçalı Yığın Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization) algoritmasını kullanarak iki çözüm yolu ve onlarla alakalı çözüm sunmuşlardır. Önerilen iki çözüm yolu (SR-1) ve (SR-2)'dir. (SR-1), müşteri öncelik listelerini ve araç öncelik matrislerini esas olan bir yöntem, (SR-2) ise araç yönlendirme noktaları ve kapsam alanlarını esas olan bir yöntemdir. Analizler sonucunda (SR-2)'nin, (SR-1)'den daha iyi olduğunu ve kapasite kısıtlı araç rotalama problemlerinin çözümü için kullanılan diğer yöntemlerle rekabet edebileceğini savunmuşlardır.

Lau ve diğerleri (2009), birçok ürünü, müşteriyi ve depoyu içeren bir araç rotalama problemi üzerinde çalışmışlardır. Sadece toplam yol uzunluğunun minimize edilmesi ile değil aynı zamanda toplam seyahat zamanının da minimize edilmesini amaçlamışlardır. Mutasyon ve çaprazlama oranlarını dinamik olarak belirlemek için kullandıkları bulanık mantık kavramını, genetik algoritma mantığıyla birleştirip yeni bir çözüm yolu sunmuşlardır. Önerdikleri FL-NSGA2 (Bulanık mantık rehberli) algoritmasını; NSGA2

(Bulanık mantık rehberli olmayan), SPEA2 (Bulanık mantık rehberli olan ve olmayan) ve MICROGA (Bulanık mantık rehberli olan ve olmayan) algoritmalarıyla 10 veri setine uygulayarak karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak FL-NSGA2'nın diğer yöntemlerden daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Wang ve Lu (2009), kapasite kısıtlı araç rotalama problemleri için üç aşamalı melez bir yöntem önermişlerdir. Birinci aşamada depo ile dağıtım noktaları arasındaki ilişkiyi eksensel ve açısal olarak ele alan süpürme algoritması ile en yakın olanı ekleme metodunu birleştirmişlerdir. İkinci aşamada çaprazlama ve mutasyon olasılıklarını optimize eden Tepki Yüzeyi Metodolojisini (Response Surface Methodology) kullanılmışlardır. Son olarak da GA ile geliştirilen süpürme algoritmasını birleştirmişlerdir. Önerdikleri modeli Tayvan Ordusunun yerel dağıtım ağı üzerinde test etmişlerdir. Sonuç olarak önerilen modelin, araç yükleme oranını % 57,1 artırırken, toplam mesafeyi % 56, 24 azalttığını belirtmişlerdir.

Côté ve Potvin (2009), talebin, kamyon kapasitesini aştığı durumlarda seçilebilecek alternatif bir yol olan talebin bir kısmının, taşıyon dağıtım firmalarına aktarılmasını konu alan bir araç rotalama problemi üzerinde durmuşlardır. Çalışmalarında; sabit araç maliyetlerini, seyahat maliyetlerini ve taşıyon firma maliyetlerini minimize etmeyi amaçlamışlardır. Üzerinde çalıştıkları konuya yeni bir tabu arama algoritması önererek çözüm aramışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda önerilen modelin, birkaç dakika içinde literatürdeki en iyi sonuçlardan daha iyi bir çözüm bulduğunu savunmuşlardır.

Zhang ve Tang (2009), araç rotalama probleminin çözümü için dağınık arama (scatter search) teorisini kullanan melez bir karınca kolonisi algoritması önermişlerdir. Tek depo ve homojen filo kısıtlarına sahip problemleri, toplam mesafeyi ve araç sayısını en küçüklemeyi amaçlamaktadır. Araştırmacılar, Christofides ve arkadaşlarının veri setleri üzerinde önerdikleri modeli test etmişlerdir. Sonuçta önerilen modelin çözüm kalitesi açısından diğer modellerle rekabet edebilir olduğu ileri sürülmüştür.

Erbao ve Mingyong (2009), makalelerinde bulanık talepli araç rotalama problemi konusunu ele almışlardır. Bu problemin çözümü için bulanık güvenilirlik analizini (Fuzzy Credibility Theory) esas alan bulanık şans kısıtlı programlama modeli (Fuzzy Chance

Constrained Program Model) kurmuşlardır. Bu modelin çözümü için ise stokastik simülasyon ve diferansiyel evrimsel algoritmanın birleşiminden oluşan melez bir algoritma kullanmışlardır. Üzerinde çalıştıkları problem tek depolu, homojen araçlı ve bulanık taleplere sahiptir. Çalışmalarında, toplam mesafeyi ve müşterilerden kaynaklanan ek seyahat mesafesini minimize etmeyi amaçlamışlardır. Analizler sonucunda, planlanan rota uzunluğu ile hatalardan kaynaklanan ek mesafesinin toplamının en azını veren dağıtıcı önceliği indeksinin 0,6 olduğunu bulmuşlardır. Bu değerin düşük olmasının, müşteriye gidip servis yapmasına gerek olmayan araç sayısını artırarak toplam mesafeyi arttırdığını, yüksek olması ise araç kapasitelerin tam olarak kullanımını azalttığını belirterek buldukları değerin en iyisi olduğunu belirtmişlerdir.

Ferrer ve diğerleri (2009), bir DVD dağıtım şirketinin satış elemanlarının bir aylık rotalarının belirlenmesini konu alan gerçek zamanlı bir çalışma yürütmüşlerdir. Çok depolu ve birden fazla müşteri ziyareti kısıtlarının olduğu probleme, tabu arama temelli bir çözüm önermişlerdir. Amaç fonksiyonunu, fazla mesai cezalarını da içeren ağırlıklandırılmış toplam seyahat süresini en küçüklemek olarak belirlemişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda yazarlar, firmaya kabul edilebilir rotalar sunmuşlardır. Ayrıca, geliştirilen algoritmanın lojistik sektöründeki bu tarz problemlere sahip firmaların yararlanabileceği bir kaynak olduğunu belirtmişlerdir.

Bin ve diğerleri (2009), araç rotalama probleminin çözümü için karınca kolonisi algoritması üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Bireylerin birbirini tanımasını sağlayan feromen maddesini arttıran ve yeni bir mutasyon operatörüne sahip modellerini, on dört örnek üzerinde test etmişlerdir. Diğer yöntemlerin sonuçlarıyla karşılaştırdıkları modelin iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Repoussis ve diğerleri (2010), depoya dönüşün zorunlu olmadığı mesafe kısıtlı araçların bir grup müşteriye servis yaptığı açık araç rotalama problemini çözmek için evrim stratejisini (evolution strategy) kullanmışlardır. Evrim stratejisi, karar değişkenlerinin gerçek değerlerle kodlandığı, her bir karar değişkeninin kendine özgü mutasyon stratejisinin olduğu evrimsel algoritmaların bir türüdür. Makalelerinde toplam araç sayısını ve rota uzunluğunu minimize etmeyi amaçlamışlardır. Literatürdeki bilinen

farklı araştırmalar tarafından önerilen veriler üzerinde yapılan testler sonucunda, önerilen popülasyon tabanlı modelin doğruluğu ve rekabet gücü gösterilmiştir.

Marinakis ve Marinaki (2010), klasik araç rotalama probleminin çözümü için genetik algoritma, MPNS-GRASP (Çok Amaçlı Komşuluk Arama (Multiple Phase Neighborhood Search) – Açgözlü Rassal Uyarlamalı Arama Yöntemi (Greedy Randomized Adaptive Search Algorithm)) algoritması, Genişletilmiş Komşuluk Arama Stratejisi (Expanding Neighborhood Search Strategy) ve Parçalı Yığın Optimizasyonu algoritmasını (Particle Swarm Optimization Algorithm) içeren melez bir model önermişlerdir. Çalışmalarında kromozomların uygunluk değerlerinin artırılması ve zayıf uygunluğa sahip bireylerin kendilerini geliştirmesini amaçlayan bir yöntem önermişlerdir. Model, iki ayrı veri seti üzerinde (Christofides ve arkadaşları, Golden ve arkadaşları) test edilmiştir. Sonuç olarak, önerilen modelin diğer çalışmalardaki sonuçlara yakın sonuçlar ürettiği, Christofides ve arkadaşlarının veri setleri üzerinde ortalama kalitenin % 0,046, Golden ve arkadaşlarının veri setleri üzerindeki ortalama kalitenin % 0,6 olduğu belirtilmiştir. Bu sonuçların da uygun sonuçlar olduğunu karşılaştırmalarla göstermişlerdir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. BİR GIDA DAĞITIM FİRMASININ GENETİK ALGORİTMA YÖNTEMİYLE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

Bu çalışmada, Trabzon'da faaliyet gösteren gıda sektöründeki bir dağıtım işletmesinin, müşteri grubunda yer alan büyük marketlere ürün dağıtımında kullandığı araç/araçlar için en uygun rotanın belirlenmesi ve önerilen rota mesafesinin en küçüklenmesi amaçlanmıştır. Firmanın servis ağı incelendiğinde ikinci bölümde detaylı bir şekilde incelenen zaman kısıtlı araç rotalama problemine uygun olduğu tespit edilmiştir. Son zamanların popüler meta sezgisel yöntemi olan genetik algoritma tekniğiyle probleme çözüm aranmıştır.

Bu bölümde ilk olarak araştırmanın önemi ve amacından, ikinci olarak firma hakkında kısa bilgi verilerek problemin tanıtımından, üçüncü olarak da problemin varsayımları ile problemin genetik algoritmayla çözümünden bahsedilecektir.

3.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi

Dağıtım yapan firmalar, araçlarının hangi müşterilere hangi sırada gitmesi gerektiğinin kararını vermekte zorlanmaktadır. Hızlı bir şekilde etkin çözümü bilgisayar yardımı olmadan bulmak çoğu firma için mümkün olmamaktadır. Firmaların geçmiş deneyimlerden yararlanarak herhangi bir matematiksel yöntem kullanmadan elde ettikleri rotalar yüksek dağıtım maliyetlerini ortaya çıkarmaktadır. Bu maliyetleri düşürmek ve etkin rotalar oluşturmak için uzmanlar çeşitli yöntemler ortaya koymuşlardır. Geliştirilen bu yöntemlerle firmaların problemlerine hem hızlı çözüm bulunmuş hem de maliyetleri azaltılabilmektedir.

Bu çalışmada, Trabzon'da faaliyet gösteren bir gıda dağıtım firmasının günlük müşteri talep ve zaman kısıtlarına göre toplam mesafe maliyetlerini azaltacak uygun araç

rotalarının belirlenmesi amaçlanmıştır ve firmanın zaman pencereli araç rotalama problemine GA ile çözüm aranmıştır.

Tablo 6: Araç Rotalama Problemi ile İlgili Bazı Gerçek Yaşam Uygulamaları

Yazar Adı	Uygulama Alanı	Varsayımlar	Amaçlar	Cözüm Yöntemi
Shafahi ve Khani (2010)	Mashhad şehir otobüsleri ağı	Tek depo Zaman pencereli	Transferler arası bekleme süresini azaltmak	Karışık tamsayı Programlama Genetik algoritma
Ferrer ve diğerleri (2009)	DVD dağıtım şirketi	Çok depo Birden fazla müşteri ziyareti Zaman pencereli	Toplam seyahat süresini en küçüklemek	Tabu arama
Bräysy ve diğerleri (2009)	Jyväskylä (Finlandiya)'da yaşayan yaşlı insanlar için sağlık, günlük iş ve yemek servisi ağı	Tek depo Birden çok ziyaret Esnek zaman pencereleri	Tur sayısını, seyahat süresini ve toplam maliyetleri azaltmak	Özel bir paket programı
Ismail ve Loh (2009)	Malezya hükümetinin kurduğu atık toplama işi yapan bir kuruluş	Tek depo Stokastik talep	Toplam maliyeti azaltmak, uygun rotayı belirlemek	Karınca kolonisi algoritması Tavlama Benzetimi
Suzuki (2009)	Birleşik Devletler ziraat kooperatifi (GROWMARK)	Tek depo Araçlara ait özel kurallar Zaman pencereli Stokastik filo	Müşteri memnuniyeti dikkate alan optimal filo büyüklüğünü bulmak	Tamsayı Programlama Monte Carlo simülasyonu
Fırıncı ve diğerleri (2009)	Göçmenköy'ün (Lefkoşa-Kıbrıs) atık toplama ağı	Tek depo Çalışanlar için sağlık koşulları Heterojen filo	Atık toplama maliyetini azaltmak, rota zamanını azaltmak	Greedy algoritması (Minimum örten ağaç)
Suthikarnnarunai ve Olinick (2009)	Thai Ticaret Odası Üniversitesinin personel servisi	Tek depo Zaman pencereli Ayrık teslimat Heterojen filo	Ulaşım maliyetlerini azaltmak	Tamsayı programlama Süpürme algoritması
Fügenschuh (2009)	Almanya'nın beş farklı bölgesindeki öğrenci servisi	Tek depo Zaman pencereli	Toplam yol maliyetini, araç sayısını azaltmak	Tamsayı programlama Dal kesme algoritması
Tabak (2008)	Eskişehir ETİ AŞ. personel servisi	Tek depo Kapasite kısıtlı Heterojen filo	Toplam maliyeti azaltmak Araç sayısını azaltmak	Genetik algoritma Kümeleme yöntemi
Zäpfel ve Bögl (2008)	Posta servisi ağı	Tek depo Zaman pencereli Topla ve dağıt tipi Heterojen filo	Personel ataması ve araç tipine bağlı maliyetleri azaltmak	Genetik algoritma Tabu arama
Lacomme ve diğerleri (2006)	Troyes (Fransa) kasabasının atık toplama ağı	Tek depo Zaman pencereli Homojen filo	Seyahatlerin toplam süresini ve en uzun seyahatin süresini azaltmak	Genetik algoritma Yerel arama

ZPARP'nin çözümü için Thangiah (1995), Berger ve diğerleri (1998), Homberger ve Gehring (1999) ve Bräysy (2001) GA yöntemini önermişlerdir. Bunlara ek olarak literatürde bu problem türü için GA yöntemini kullanan birçok çalışma vardır (Gendreau ve diğerleri, 2008). Ayrıca, gerçek yaşam problemlerinde de GA'nın kullanımının

bulunduğu Tablo 6’da gösterilmiştir. ZPARP’nin çözümünde GA’nın etkili oluşu sebebiyle bu çalışmada GA yöntemini kullanmak uygun görülmüştür.

3.2. Problemin Tanımı

Uygulama yapılan firma Trabzon’da faaliyet gösteren başta gıda olmak üzere tütün ürünleri dağıtımını yapan ONURLAR Kollektif Şirkettir. 1933’de bir müessese olarak kurulan firma 1977 yılında Pınar Grubu ile ticari anlaşma yaparak o günden bu yana gıda dağıtımını yapmaktadır. Firmada 64 kişi çalışmakta olup, başta Pınar Grubu olmak üzere birçok markanın dağıtımını yapılmaktadır (www.onurlar.com.tr).

Bu çalışmada söz konusu firmanın gıda dağıtımını yaptığı büyük marketler ele alınmıştır. Firmanın büyük marketler grubuna giren 60 müşterisi bulunmaktadır ve bu sayıya her geçen gün yenileri eklenmektedir. Trabzon ili ve ilçelerine dağıtım yapan firma, müşteri taleplerinin bir gün öncesinden bilindiği ön sipariş yöntemini kullanmaktadır. Haftada altı gün dağıtım yapan firma büyük marketlerin siparişlerini bir ya da iki araçla karşılamaktadır. Araçların kapasitesi eşit ve 1500 kg’dır. Bir gün öncesinden müşteri talebini bilen firma ona göre araç ya da araçlarını hazırlayıp sahaya çıkmaktadır. Çalışmada firmanın 22-27 Şubat 2010 tarihleri arasında hizmet verdiği büyük marketler ele alınmıştır. Bir sonraki bölümde günlere ait müşteri ve talepleri ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Dağıtım yapılacak müşteriler Trabzon ili merkezine dağılmış durumdadır. Uygulama bütünlüğü için firmanın deposu ve hizmet verdiği 60 müşterinin yerleri, Google Earth ve google.map aracılığıyla Trabzon haritası üzerinde işaretlenerek firmanın takip ettiği yollar esas alınarak gerçek uzunluklar hesaplanmıştır. Müşterilerin depoya olan uzaklıkları ile kendi aralarındaki uzaklıkları Ek-1’de verilmiştir. Müşterilerin seyahat zamanları ise mesafelerle aynı olduğu kabul edilip araca binme, çalıştırma ve inme işlemleri için ek olarak tüm zamanlara 5 dakika eklenmiştir. Müşterilere servis için gerekli olan zamanlar ise yetkili bir kişiyle karşılıklı görüşülerek geçmiş verilerin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Müşterilere en erken hizmete başlama ve en geç hizmete başlama zamanları güne göre değişen randevu saatleri yüzünden farklılık göstermektedir.

3.3. Problemin Varsayımları ve Genetik Algoritma ile Çözümü

Probleme çözüm bulmak için gerek duyulan varsayımlar aşağıda sıralanmaktadır.

- Araç depodan çıktıktan sonra başka bir sipariş alınmamaktadır.
- Araç müşteriye ulaştığında raf elemanı müşteride hazır bulunmaktadır. (Bazı müşteriler ürünü depoya değil direk raflara koymak istemektedir. Bunun için ya firmanın ya da müşterinin kendisinin çalıştırdığı raf elemanları vardır.)
- Araç, belirlenen saatte müşteride olmakta ve hizmet vermektedir, yol tıkanıklığı, kaza vb durumlardan etkilenmemektedir.
- Araç müşteriye ulaştığında bekleyeceği başka bir firmaya ait dağıtım aracı bulunmamaktadır.

Bu varsayımlar altında oluşturulan program (Ek-2) Matlab 7.0'da kodlanmış ve Intel(R) Pentium(R) Dual CPU T2370 1.73GHz işlemcili 2.00 GB RAM'a sahip bir dizüstü bilgisayarda test edilmiştir. Program hakkında bilgi verdikten sonra firmanın 22-27 Şubat 2010 tarihleri arasında firmanın uyguladığı rota ile genetik algoritma yönteminin önerdiği rota karşılaştırılmıştır.

Kullanıcıdan müşteri kodlarını ve taleplerini isteyerek işleme başlayan program iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada müşteriler araç/araçlara atanmakta, ikinci aşama da ise rota uzunluklarının minimizasyonunu sağlamak için genetik algoritma yöntemi kullanılmaktadır. Atama işlemine geçmeden önce taleplerin bir veya iki araca dağıtılacağına karar vermek için talepler toplanıp tüm araç kapasitesiyle karşılaştırılmaktadır. Araç sayısı belirlendikten sonra ilk araçtan başlamak üzere müşterilerin bulunduğu rastgele bir popülasyon oluşturulmaktadır. Bu popülasyonun büyüklüğü 1000 olarak belirlenmiştir. Buradaki popülasyon genetik algoritma ile ilişkili değildir. Sadece araç ya da araçlara atama yapmak için rastgele seçimde kullanılmak üzere oluşturulmuştur. Müşteriler, araç/araçlara talep ve zaman kısıtlarına göre yerleştirilmektedir. Kısıtlara uymayan rotalar cezalandırılmaktadırlar. Belirlenen rotalar genetik algoritma yöntemine tabi tutularak en küçüklenmeleri sağlanmaktadır. Genetik algoritma işleminde kullanılan amaç fonksiyonunda rota, zaman ve mesafe kısıtlarına göre tekrar değerlendirilmektedir. Kısıtlara uyulmazsa rota cezalandırılmaktadır. Genetik

algoritma 500 kere iterasyon yapılarak programa bir sonuç önermektedir. Program da ceza görmemiş rota bulana kadar devam etmektedir.

Firmanın, uygulamada kullanılan 6 günlük dağıtım işleyişi aşağıdaki adımlarla incelenecektir.

Adım 1: O gün hizmet görecek olan müşteriler ve uygulamada gerekli olan veriler tablolar halinde gösterilmesi (Söz konusu tabloda 0 ile gösterilen en erken hizmete başlama zamanı saat 8:00'ı, 600 (10 saat x 60dk) ile gösterilen en geç hizmete başlama zamanı ise saat 18:00'i göstermektedir),

Adım 2: Farklı çaprazlama ve mutasyon oranlarıyla uygun rotanın belirlenmesi ve en iyi çözümün tablo halinde gösterilmesi,

Adım 3: En iyi çözümü veren rota ile firmanın uyguladığı rotanın karşılaştırıp değerlendirme yapılması.

Pazartesi (22 Şubat 2010)

Tablo 7: Pazartesi Günü Hizmet Gören Müşteri Bilgileri

Müşteri Kodu	Müşterinin Adı	Talep	En erken hizmete başlama	Servis süresi	En geç hizmete başlama
52	Migros Forum	100	0	30	60
13	Aymar Maraş	200	0	40	180
17	Aymar Yenimahalle	150	0	30	600
15	Aymar Karşıyaka	50	0	20	600
16	Aymar Zeytinlik	300	0	30	600
18	Aymar Yenicuma	200	0	20	600
5	Kiler Yenicuma	50	240	40	600
14	Aymar Erdoğan	30	0	40	600
9	İpa Erdoğan	20	0	90	600

Tablo 8: Pazartesi Günü için Farklı Çaprazlama ve Mutasyon Oranlarının Karşılaştırılması

Çaprazlama Oranı	Mutasyon Oranı	Popülasyon Büyüklüğü	En İyi Çözüm	En Kötü Çözüm	En iyi çözüme ulaşma adımı
0,9	0,1	150	59,3	60,1	1
0,9	0,01	150	59,3	61,3	5
0,8	0,1	150	59,3	59,4	1
0,8	0,01	150	59,3	60,9	1
0,5	0,1	150	59,3	59,3	1
0,5	0,01	150	59,3	61,5	1
0,25	0,1	150	59,3	60,1	2
0,25	0,01	150	59,3	60,9	3

Tablo 9: Pazartesi Günü için Rotaların Karşılaştırılması

	İzlenen Rota	Mesafe
ONURLAR	0-52-13-17-15-16-18-5-14-9-0	69 km
Önerilen Rota	0-52-16-13-17-15-9-14-5-18-0	59,3 km

Pazartesi günü için toplam 9 müşteriye hizmet verilmiştir. Müşterilere ait bilgiler Tablo 7’de verilmektedir. Müşteri bilgileri, programa girildikten sonra program farklı çaprazlama ve mutasyon oranları için ayrı ayrı 10 defa koşturularak önerilen rota ve rotayı belirleyen çaprazlama ve mutasyon oranları belirlenmiştir (Tablo 8). En iyi sonuçların elde edildiği parametre değerleri; çaprazlama oranı 0,5, mutasyon oranları 0,1’dir. Programın önerdiği çözüm ile firmanın pazartesi günü izlediği rota karşılaştırıldığında % 14’lik bir iyileşme sağlanmıştır. Tablo 9’da programın önerdiği rota ile firmanın izlediği rota görülmektedir. Pazartesi günü için en uygun çözüm 59,3 km’dir. Önerilen model en iyi rotanın Migros Forum, Aymar Zeytinlik, Aymar Maraş, Aymar Yenimahalle, Aymar Karşıyaka, İpa Erdoğan, Aymar Erdoğan, Kiler Yenicuma, Aymar Yenicuma olduğunu göstermiştir.

Salı (23 Şubat 2010)

Tablo 10: Salı Günü Hizmet Gören Müşteri Bilgileri

Müşteri Kodu	Müşterinin Adı	Talep	En erken hizmete başlama	Servis süresi	En geç hizmete başlama
12	İpa Maraş	100	0	20	60
10	İpa Kemer kaya	600	0	30	120
44	İsaoğlu İskenderpaşa	50	0	30	60
43	İsaoğlu Gazipaşa	600	0	45	240
28	Tansa Pazarkapı	100	0	20	600
11	İpa Ayasofya	250	0	30	600
9	İpa Erdoğan	350	0	90	600
51	Migros Tanjant	150	0	40	600
26	Tansa Değirmendere	50	0	40	600
57	Carrefour Valilik	90	0	40	600
34	İsmar Fatih	40	0	60	600
35	İsmar Tanjant	40	0	40	600
41	İsmar Beşirli	35	0	20	600
40	İsmar Yeşiltepe	45	0	30	600
36	İsmar Erdoğan	40	0	30	600
38	İsmar Boztepe	30	0	40	600
42	İsmar Kalkınma	45	0	20	600
39	İsmar Maraş	50	0	30	240
37	İsmar Meydan	60	0	30	500

Tablo 11: Salı Günü Araç 1 için Farklı Çaprazlama ve Mutasyon Oranlarının Karşılaştırılması

Çaprazlama Oranı	Mutasyon Oranı	Popülasyon Büyüklüğü	En İyi Çözüm	En Kötü Çözüm	En iyi çözüme ulaşma adımı
0,9	0,1	150	67,6	67,9	1
0,9	0,01	150	67,6	67,9	3
0,8	0,1	150	67,6	67,9	1
0,8	0,01	150	67,6	68,6	6
0,5	0,1	150	67,6	67,6	1
0,5	0,01	150	67,6	68,9	3
0,25	0,1	150	67,6	67,9	1
0,25	0,01	150	67,6	67,9	1

Tablo 12: Salı Günü Araç 2 için Farklı Çaprazlama ve Mutasyon Oranlarının Karşılaştırılması

Çaprazlama Oranı	Mutasyon Oranı	Popülasyon Büyüklüğü	En İyi Çözüm	En Kötü Çözüm	En iyi çözüme ulaşma adımı
0,9	0,1	150	61,4	61,4	1
0,9	0,01	150	61,4	74,8	2
0,8	0,1	150	61,4	61,4	1
0,8	0,01	150	61,4	68	1
0,5	0,1	150	61,4	61,4	1
0,5	0,01	150	61,4	75,9	1
0,25	0,1	150	61,4	61,4	1
0,25	0,01	150	61,4	64,2	1

Tablo 13: Salı Günü için Rotaların Karşılaştırılması

	Araç	İzlenen Rota	Mesafe	Toplam Mesafe
ONURLAR	1	12-10-44-43-28-11-9-51-26	73 km	166 km
	2	57-34-35-41-40-36-38-42-39-37	93 km	
Önerilen Rota	1	43-39-28-11-35-41-40-9-38	67,6 km	129 km
	2	12-44-10-57-34-51-36-37-26-42	61,4 km	

Salı günü için toplam 19 müşteriye hizmet verilmekte olup, müşterilere ait bilgiler Tablo 10'de verilmektedir. Müşteri bilgileri girildikten sonra program farklı çaprazlama ve mutasyon oranları için ayrı ayrı 10 defa koşturularak önerilen rotaları belirleyen çaprazlama ve mutasyon oranları belirlenmiştir (Tablo 11-Tablo 12). En iyi sonuçların elde edildiği parametre değerleri; birinci araç için çaprazlama oranı 0,5, mutasyon oranları 0,1 iken ikinci araç için çaprazlama oranı 0,9, 0,8, 0,5 ve 0,25, mutasyon oranları 0,1'dir. Programın bize önerdiği en uygun çözümler ile firmanın salı günü izlediği rotalar karşılaştırıldığında % 22'lik bir iyileşme sağlanmıştır. Tablo 13'de programın önerdiği rota ile firmanın izlediği rota görülmektedir. 1. Araç için en uygun çözüm 67,6 km, ikinci araç için ise 61,4 km'dir. Önerilen model en iyi rotanın birinci araç için İsaoglu Gazipaşa, İsmar Maraş, Tansa Pazarkapı, İpa Ayasofya, İsmar Tanjant, İsmar Beşirli, İsmar Yeşiltepe, İpa Erdoğan, İsmar Boztepe; ikinci araç için İpa Maraş, İsaoglu İskenderpaşa, İpa Kemer kaya, Carrefour Valilik, İsmar Fatih, Migros Tanjant, İsmar Erdoğan, İsmar Meydan, Tansa Değirmendere, İsmar Kalkınma olduğunu göstermiştir.

Çarşamba (24 Şubat 2010)

Tablo 14: Çarşamba Günü Hizmet Gören Müşteri Bilgileri

Müşteri Kodu	Müşterinin Adı	Talep	En erken hizmete başlama	Servis süresi	En geç hizmete başlama
2	Kiler Beşirli	200	0	45	60
35	İsmar Tanjant	500	0	40	600
34	İsmar Fatih	300	0	60	600
36	İsmar Erdoğan	250	0	30	600
9	İpa Erdoğan	100	0	90	600

Tablo 15: Çarşamba Günü için Farklı Çaprazlama ve Mutasyon Oranlarının Karşılaştırılması

Çaprazlama Oranı	Mutasyon Oranı	Popülasyon Büyüklüğü	En İyi Çözüm	En Kötü Çözüm	En iyi çözüme ulaşma adımı
0,9	0,1	50	62,186	62,186	1
0,9	0,01	50	62,186	62,186	1
0,8	0,1	50	62,186	62,186	1
0,8	0,01	50	62,186	62,186	1
0,5	0,1	50	62,186	62,186	1
0,5	0,01	50	62,186	62,186	1
0,25	0,1	50	62,186	62,186	1
0,25	0,01	50	62,186	62,186	1

Tablo 16: Çarşamba Günü için Rotaların Karşılaştırılması

	İzlenen Rota	Mesafe
ONURLAR	2-35-34-36-9	65 km
Önerilen Rota	2-35-34-9-36	62,186 km

Tablo 14'te çarşamba günü hizmet gören 5 müşterinin bilgileri gösterilmiştir. Program, farklı çaprazlama ve mutasyon oranları için ayrı ayrı 10 defa koşturularak en uygun rota ve en uygun rotayı belirleyen çaprazlama ve mutasyon oranları belirlenmiştir (Tablo 15). En iyi sonuçların elde edildiği parametre değerleri; çaprazlama oranı 0,9, 0,8, 0,5 ve 0,25, mutasyon oranları 0,1 ve 0,01'dir. Programın önerdiği en uygun çözüm ile firmanın çarşamba günü izlediği rota karşılaştırıldığında % 4'lük bir iyileşme sağlanmıştır (Tablo 16). Çarşamba günü için en uygun çözüm 62,186 km olup önerilen rota Kiler Beşirli, İsmar Tanjant, İsmar Fatih, İpa Erdoğan, İsmar Erdoğan'dur.

Perşembe (25 Şubat 2010)

Tablo 17: Perşembe Günü Hizmet Gören Müşteri Bilgileri

Müşteri Kodu	Müşterinin Adı	Talep	En erken hizmete başlama	Servis süresi	En geç hizmete başlama
47	Bizmar Dereboyu	100	0	40	80
50	Bizmar Zeytinlik	150	0	30	150
39	İsmar Maraş	50	0	30	240
7	Kiler Fatih	200	0	45	240
37	İsmar Meydan	50	0	30	500
3	Kiler Meydan	100	0	30	100
24	Tansa İskenderpaşa	80	0	30	300
38	İsmar Çukurçayır	150	0	40	600
5	Kiler YeniCuma	100	240	40	600
49	Bizmar Kuruçeşme	100	0	30	600
40	İsmar Yeşiltepe	50	0	30	600
46	İsaoğlu Beşirli	50	0	20	600

Tablo 18: Perşembe Günü için Farklı Çaprazlama ve Mutasyon Oranlarının Karşılaştırılması

Çaprazlama Oranı	Mutasyon Oranı	Popülasyon Büyüklüğü	En İyi Çözüm	En Kötü Çözüm	En iyi çözüme ulaşma adımı
0,9	0,1	150	70,5	70,5	1
0,9	0,01	150	70,5	85,8	2
0,8	0,1	150	70,5	70,5	1
0,8	0,01	150	70,5	91,7	2
0,5	0,1	150	70,5	70,5	1
0,5	0,01	150	70,5	90,9	3
0,25	0,1	150	70,5	70,5	1
0,25	0,01	150	70,5	91,7	4

Tablo 19: Perşembe Günü için Rotaların Karşılaştırılması

	İzlenen Rota	Mesafe
ONURLAR	47-50-39-7-37-3-24-38-5-49-40-46	81 km
Önerilen Rota	47-3-24-50-39-7-46-40-49-37-5-38	70,5 km

Toplam 12 müşteriye hizmet verilen perşembe günü için gerekli bilgiler Tablo 17'de verilmiştir. Müşteri bilgileri girildikten sonra program farklı çaprazlama ve mutasyon oranları için ayrı ayrı 10 defa koşturularak en uygun rota ve en uygun rotayı

belirleyen çaprazlama ve mutasyon oranları Tablo 18’de gösterilmektedir. En iyi sonuçların elde edildiği parametre değerleri; çaprazlama oranı 0,9, 0,8, 0,5 ve 0,25, mutasyon oranları 0,1’dir. Programın önerdiği en uygun çözümle firmanın perşembe günü izlediği rota karşılaştırıldığında % 12,9’luk bir iyileşme sağlanmıştır. Perşembe günü için en uygun çözüm 70,5 km’dir (Tablo 19). Önerilen model en iyi rotanın Bizmar Dereboyu, Kiler Meydan, Tansa İskenderpaşa, Bizmar Zeytinlik, İsmar Maraş, Kiler Fatih, İsaoglu Beşirli, İsmar Yeşiltepe, Bizmar Kuruçeşme, İsmar Meydan, Kiler Yenicuma, İsmar Çukurçayır olduğunu göstermiştir.

Cuma (26 Şubat 2010)

Tablo 20: Cuma Günü Hizmet Gören Müşteri Bilgileri

Müşteri Kodu	Müşterinin Adı	Talep	En erken hizmete başlama	Servis süresi	En geç hizmete başlama
52	Migros Forum	50	0	30	60
10	İpa Kemer kaya	120	0	90	120
4	Kiler Gazipaşa	300	0	45	180
57	Carrefour Valilik	50	0	40	600
11	İpa Ayasofya	100	0	30	600
2	Kiler Beşirli	250	420	45	600

Tablo 21: Cuma Günü için Farklı Çaprazlama ve Mutasyon Oranlarının Karşılaştırılması

Çaprazlama Oranı	Mutasyon Oranı	Popülasyon Büyüklüğü	En İyi Çözüm	En Kötü Çözüm	En iyi çözüme ulaşma adımı
0,9	0,1	50	61,8	61,8	1
0,9	0,01	50	61,8	65,5	2
0,8	0,1	50	61,8	61,8	1
0,8	0,01	50	61,8	63,1	1
0,5	0,1	50	61,8	61,8	1
0,5	0,01	50	61,8	65,5	1
0,25	0,1	50	61,8	61,8	1
0,25	0,01	50	61,8	65,5	1

Tablo 22: Cuma Günü için Rotaların Karşılaştırılması

	İzlenen Rota	Mesafe
ONURLAR	52-10-4-57-11-2	71 km
Önerilen Rota	52-4-10-57-11-2	61,8 km

Cuma günü için hizmet verilen toplam 6 müşteriye ait bilgiler Tablo 20’de verilmektedir. Müşteri bilgileri girildikten sonra program farklı çaprazlama ve mutasyon oranları için ayrı ayrı 10 defa koşturularak en uygun rota ve en uygun rotayı belirleyen çaprazlama ve mutasyon oranları belirlenmiştir (Tablo 21). En iyi sonuçların elde edildiği parametre değerleri; çaprazlama oranı 0,9, 0,8, 0,5 ve 0,25, mutasyon oranları 0,1’dir. Programın önerdiği en uygun çözüm ile firmanın cuma günü izlediği rota karşılaştırıldığında % 13’lük bir iyileşme sağlanmıştır. Cuma günü için en uygun çözüm 61,8 km’dir (Tablo 22). Önerilen model en iyi rotanın Migros Forum, Kiler Gazipaşa, İpa Kemer kaya, Carrefour Valilik, İpa Ayasofya, Kiler Beşirli olduğunu göstermiştir.

Cumartesi (27 Şubat 2010)

Tablo 23: Cumartesi Günü Hizmet Gören Müşteri Bilgileri

Müşteri Kodu	Müşterinin Adı	Talep	En erken hizmete başlama	Servis süresi	En geç hizmete başlama
12	İpa Maraş	100	0	20	60
51	Migros Tanjant	150	0	40	600
30	Beymar Tanjant	200	0	30	600
31	Beymar Aydınevler	300	0	30	600
3	Kiler Meydan	400	360	30	600

Tablo 24: Cumartesi Günü için Farklı Çaprazlama ve Mutasyon Oranlarının Karşılaştırılması

Çaprazlama Oranı	Mutasyon Oranı	Popülasyon Büyüklüğü	En İyi Çözüm	En Kötü Çözüm	En iyi çözüme ulaşma adımı
0,9	0,1	50	57,9	57,9	1
0,9	0,01	50	57,9	58,3	1
0,8	0,1	50	57,9	57,9	1
0,8	0,01	50	57,9	57,9	1
0,5	0,1	50	57,9	57,9	1
0,5	0,01	50	57,9	58,3	1
0,25	0,1	50	57,9	57,9	1
0,25	0,01	50	57,9	57,9	1

Tablo 25: Cuma Günü için Rotaların Karşılaştırılması

	İzlenen Rota	Mesafe
ONURLAR	12-51-30-31-3	64 km
Önerilen Rota	12-30-31-51-3	57,9 km

Cumartesi günü için toplam 5 müşteriye hizmet verilmiştir (Tablo 23). Müşteriler programa girildikten sonra program farklı çaprazlama ve mutasyon oranları için ayrı ayrı 10 defa koşturularak en uygun rota ve en uygun rotayı belirleyen çaprazlama ve mutasyon oranları belirlenmiştir (Tablo 24). En iyi sonuçların elde edildiği parametre değerleri çaprazlama oranı 0,9, 0,8, 0,5 ve 0,25, mutasyon oranları 0,1 ve 0,01'dir. Programın bize önerdiği en uygun çözüm ile firmanın cumartesi günü izlediği rota karşılaştırıldığında % 9,5'luk bir iyileşme sağlanmıştır. Cumartesi günü için en uygun çözüm 57,9 km'dir (Tablo 25). Önerilen model en iyi rotanın İpa Maraş, Beymar Tanjant, Beymar Aydınlikevler, Migros Tanjant, Kiler Meydan olduğunu göstermiştir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Dağıtım sektöründe araç rotalama problemlerinin sıklıkla görülmesi bilim adamlarını bu alanda çalışmalar yapmaya sevk etmiştir. ARP üzerinde yapılan çalışmalarda en iyi/iyiye yakın çözüme hızlı ulaşan teknikler bulmak ve geliştirmek amaçlanmıştır. Bu tekniklerden biri de kesin olarak optimum çözümü garantilemeyen fakat hızlı çözüm veren Genetik Algoritmadır. Bu çalışmada da Trabzon ilinde faaliyet gösteren dağıtım firması ONURLAR Kollektif Şirketinin bir haftalık araç rotalama problemi genetik algoritma yardımıyla çözülmüş ve optimum çözümü bulmak hedeflenmiştir. Buradan hareketle ilk olarak ONURLAR Kollektif Şirketinden hizmet verdiği büyük marketler kapsamına giren müşteri bilgileri alınarak Google Earth ara yüzünde konumları işaretlenmiştir. Firma araçlarının daha önce izledikleri yollar esas alınarak müşteriler arasındaki gerçek uzaklıklar hesaplanmıştır.

Genetik algoritmayla oluşturan model ile firmanın bir haftalık rota planı oluşturulmuştur. Her gün kendi içerisinde çeşitli genetik parametrelerle test edilmiş ve en uygun rota ve mesafe bulunmuştur.

Yapılan denemelerde önerilen model için:

- 500 iterasyon sayısı
- Probleme özgü tasarladığımız seçim yöntemi
- Dairesel çaprazlama
- 0,5 çaprazlama oranı ve
- 0,1 mutasyon oranının daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Firmanın haftalık müşteri listesi günlük olarak programda koşturularak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Pazartesi günü toplam 9 müşteriye hizmet verilmiş ve tek araç kullanılmıştır. Önerilen modelle mevcut durum üzerinde % 14'lük bir iyileşme sağlanmıştır. Salı günü toplam 19 müşteriye hizmet verilmiş ve iki araç kullanılmıştır. Önerilen GA yöntemi ile mevcut durum üzerinde toplam % 22'lik bir iyileşme sağlanmıştır. Çarşamba günü toplam 5 müşteriye hizmet verilmiş ve bir araç kullanılmıştır. Mevcut durum üzerinde % 4'lük bir iyileşme sağlanmıştır. Perşembe günü toplam 12 müşteriye hizmet verilmiş ve bir araç kullanılmıştır. Önerilen model, mevcut rotayı % 12,9 oranında iyileştirmiştir. Cuma günü toplam 6 müşteriye hizmet verilmiş ve bir araç kullanılmıştır. GA yöntemini içeren model, mevcut durumda % 13'lük bir iyileşme sağlanmıştır. Cumartesi günü toplam 5 müşteriye hizmet verilmiş ve bir araç kullanılmıştır. Mevcut rota üzerinde % 9,5'lük bir iyileşme sağlanmıştır. Firmanın bir haftalık toplam mesafesi, önerilen GA modeliyle % 14,5 oranında iyileştirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar ve tecrübeye göre gelecek çalışmalar için aşağıdaki çalışmaların yapılması mümkün görülmektedir:

- Firmanın büyük marketler dışındaki müşterileri için de bu program uygulanabilir.
- Müşteriler araçlara farklı teknikler kullanılarak da atanabilir ve önerilen GA yöntemi ile test edilebilir.
- Ani olarak ortaya çıkan siparişler rotaya dahil edilerek ve müşteriye hizmet süresinin belirlenmesinde istatistiksel yöntemler kullanılarak program geliştirilebilir.
- ARP çözümde kullanılan diğer meta sezgisel yöntemlerle uygulama yapılarak sonuçlar karşılaştırılabilir.
- Melez sistemler kullanılarak mevcut durum iyileştirilebilir.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Achuthan, N.R. ve diğlerleri (2003), "An Improved Branch-and-Cut Algorithm for The Capacitated Vehicle Routing Problem", **Transportation Science**, 37(2), 153-169.
- Ai, The Jin ve Kachitvichyanukul, Voratas (2009), "Particle Swarm Optimization and Two Solution Representations for Solving The Capacitated Vehicle Routing Problem", **Computers & Industrial Engineering**, 56, 380-387.
- Alabaş, Çiğdem ve Dengiz, Berna (2004), "Yerel Arama Yöntemlerinde Yöre Yapısı: Araç Rotalama Problemine Bir Uygulama", **YA/EM XXIV Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı**, (333-335), Gaziantep-Adana.
- Archetti, Claudia ve diğlerleri (2006), "A Tabu Search Algorithm for The Split Delivery Vehicle Routing Problem", **Transportation Science**, 40(1), 64-73.
- Arıburnu, Alp ve Bulkan, Serol (2009), "Çok Amaçlı Araç Rotalama Problemleri ve Çözüm Tekniklerinin İncelenmesi", **Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 29. Ulusal Kongresi**, Ankara.
- Azi, Nabila ve diğlerleri (2010), "An Exact Algorithm for a Vehicle Routing Problem with Time Windows and Multiple Use of Vehicles", **European Journal of Operational Research**, 202, 756-763.
- Bäck, Thomas (1996), **Evolutionary Algorithms in Theory and Practice**, First Edition, New York: Oxford University Press.
- Bäck, Thomas ve diğlerleri (2000a), **Evolutionary Computation 1 Basic Algorithms and Operators**, Bristol and Philadelphia: Institute of Physics Publishing.
- (2000b), **Evolutionary Computation 2 Advanced Algorithms and Operators**, Bristol and Philadelphia: Institute of Physics Publishing.
- Badeau, Philippe ve diğlerleri (1997), "A Parallel Tabu Search Heuristic for The Vehicle Routing Problem with Time Windows", **Transportation Research**, 5(2), 109-122.
- Baker, Barrie ve Ayechev, M.A. (2003), "A Genetic Algorithm for The Vehicle Routing Problem", **Computers & Operations Research**, 30, 787-800.
- Banzhaf, Wolfgang ve diğlerleri (1998), **Genetic Programming An Introduction**, San Francisco, California: Morgan Kaufman Publishers & dpunkt.Verlag.

- Bard, Jonathan ve diğerleri (2002), “A Branch-and-Cut Procedure for The Vehicle Routing Problem with Time Windows”, **Transportation Science**, 36(2), 250-269.
- Başkent, Emin Zeki (2004), **Yöneylem Araştırması Modelleme ve Doğal Kaynak Uygulamaları**, 1. Baskı, Trabzon: KTÜ Matbaası.
- Bell, John E. ve McMullen, Patrick R. (2004), “Ant Colony Optimization Techniques for The Vehicle Routing Problem”, **Advanced Engineering Informatics**, 18, 41-48.
- Berger, Jean ve diğerleri (1998), “A Hybrid Genetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows”, **Proceedings of the 12th Biennial Conference of the Canadian Society for Computational Studies of Intelligence**, 114-127, Berlin: Springer-Verlag.
- Bin, Yu ve diğerleri (2009), “An Improved Ant Colony Optimization for Vehicle Routing Problem”, **European Journal of Operational Research**, 196, 171–176.
- Blum, Christian (2005), “Ant Colony Optimization: Introduction and Recent Trends”, **Physics of Life Reviews**, 2, 353-373.
- Bräysy, Olli (2001), “Genetic Algorithms for the Vehicle Routing with Time Windows”, **Bioinformatics and Genetic Algorithms**, Arpakannus 1, 33-38. <http://osiris.tuwien.ac.at/~wgarn/VehicleRouting/Braysy.pdf> (20.05.2010).
- Bräysy, Olli ve diğerleri (2009), “The Potential of Optimization in Communal Routing Problems: Case Studies from Finland”, **Journal of Transport Geography**, 17, 484-490.
- Bräysy, Olli ve Gendreau, Michel (2001a), “Route Construction and Local Search Algorithms for The Vehicle Routing Problem with Time Windows”, Internal Report STF42 A01024, **SINTEF Applied Mathematics**, Research Council of Norway, 1-28.
- (2001b), “Tabu Search Heuristics for the Vehicle Routing Problem with Time Windows”, Internal Report STF42 A01022, **SINTEF Applied Mathematics**, Research Council of Norway, 1-20.
- Breedam, Alex Van (2001), “Comparing Descent Heuristics and Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem”, **Computers & Operations Research**, 28, 289-315.
- Bullnheimer, Bernd ve diğerleri (1997), “Applying The Ant System to The Vehicle Routing Problem”, **2nd International Conference on Metaheuristics – MIC97**, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.48.7946> (20.05.2010).

- Calvete, Herminia I. ve diğ erleri (2007), “A Goal Programming Approach to Vehicle Routing Problems with Soft Time Windows”, **European Journal of Operational Research**, 177, 1720-1733.
- Canen, Alberto ve Pizzolato, Nelio (1994), “The Vehicle Routing Problem”, **Logistics Information Management**, 7(1), 11-13.
- Chiang, Wen-Chyuan ve Russel, Robert A. (1997), “A Reactive Tabu Search Metaheuristic for The Vehicle Routing Problem with Time Windows”, **Journal on Computing**, 9(4), 417-430.
- Chu, Ching-Wu (2005), “A Heuristic Algorithm for The Truckload and Less-than-truckload Problem”, **European Journal of Operational Research**, 165, 657-667.
- Coley, David. A. (1999), **An Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers**, London: World Scientific Publishing.
- Cordeau, Jean-François ve diğ erleri (2002), “A Guide to Vehicle Routing Heuristics”, **Journal of the Operational Research Society**, 53, 512-522.
- (2007a), “Vehicle Routing”, Cynthia Barnhart ve Gilbert Laporte (Ed.), **Handbook in OR & MS**, Vol 14 içinde (367-428), Elsevier.
- (2007b), “Transportation on Demand”, Cynthia Barnhart ve Gilbert Laporte (Ed.), **Handbook in OR & MS**, Vol 14 içinde (429-466), Elsevier.
- Côté, Jean-François ve Potvin, Jean-Yves (2009), “A Tabu Search Heuristic for The Vehicle Routing Problem with Private Fleet and Common Carrier”, **European Journal of Operational Research**, 198, 464-469.
- Czech, Zbigniew J. ve Czarnas, Piotr (2002), “Parallel Simulated Annealing for The Vehicle Routing with Time Windows”, 10th Euromicro Workshop on Parallel, Distributed and Network-Based Processing (376-383), Canary Islands, Spain.
- Çakar, Kemal (2009), **Genetik Algoritmalar Yardımıyla Acil Servis İstasyonu Yerleşiminin Optimizasyonu**, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Fakültesi.
- Dalkılıç Gökhan ve Türkmen, Fatih (2003), Karınca Kolonisi Optimizasyonu, **1. Ulusal Yüksek Performanslı Bilişim Sempozyumu**, Kocaeli
- Dell’Amico, Mauro ve diğ erleri (2006), “A Branch-and-Price Approach to The Vehicle Routing Problem with Simultaneous Distribution and Collection”, **Transportation Science**, 40(2), 235-247.

- Dengiz, Berna ve Altıparmak, Fulya (1998), “Genetik Algoritmalara Genel Bir Bakış”, **Endüstri Mühendisliği Dergisi**, 9(3), 3-14.
- Díaz, Bernabé Dorronsoro (2007), <http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP/> (08.01.2010).
- Donati, Alberto V. ve diğerleri (2008), “Time Dependent Vehicle Routing Problem with A Multi Ant Colony System”, **European Journal of Operational Research**, 185, 1174-1191.
- Dorigo, Marco ve diğerleri (1999), Ant Algorithms for Discrete Optimization, **Artificial Life**, 5, 137-172.
- Duhamel, Christophe ve diğerleri (1997), “A Tabu Search Heuristic for The Vehicle Routing Problem with Backhauls and Time Windows”, **Transportation Science**, 31(1), 49-59.
- Ekşioğlu, Burak ve diğerleri (2009), “The Vehicle Routing Problem: A Taxonomic Review”, **Computers & Industrial Engineering**, 57(4), 1473-1483.
- Elmas, Çetin (2007), **Yapay Zeka Uygulamaları**, Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Emel, Gül Gökay ve Taşkın, Çağatan (2002), “Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları”, **Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, XXI(1), 129-152.
- Emel, Gül Gökay ve diğerleri (2004), “Tedarik Zinciri Yönetimi: Otomotiv Sektöründe Bir Araç Rotalama Uygulaması”, **Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, 6(21), 59-70.
- Engin, Orhan ve Fırlalı, Alpaslan (2002), “Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma Yardımı ile Çözümünde Uygun Çaprazlama Operatörünün Belirlenmesi”, **Doğuş Üniversitesi Dergisi**, 6, 27-35.
- Erbao, Cao ve Mingyong, Lai (2009), “A Hybrid Differential Evolution Algorithm to Vehicle Routing Problem with Fuzzy Demands”, **Journal of Computational and Applied Mathematics**, 231, 302-310.
- Erol, Vural (2006), **Araç Rotalama Problemleri İçin Popülasyon ve Komşuluk Tabanlı Metasezgisel Bir Algoritmanın Tasarımı ve Uygulaması**, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Eryavuz, Mehmet ve Gencer, Cevriye (2001), “Araç Rotalama Problemine Ait Bir Uygulama”, **Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi**, 6(1), 139-155.

- Ferrer, Laia ve diğerleri (2009), “Designing Salespeople’s Routes with Multiple Visits of Customers: A Case Study”, **International Journal of Production Economics**, 119, 46-54.
- Fırıncı, Nergiz ve diğerleri (2009), “A Pilot Study for the Optimization of Routes for Waste Collection Vehicles for the Göçmenköy District of Lefkoşa”, Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, 37, 2070-3740.
- Francis, Peter ve diğerleri (2008), “The Period Vehicle Routing Problem and Its Extensions”, Bruce Golden ve diğerleri (Ed.), **The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges**, 1. Baskı içinde (73-102), New York: Springer Science+Business Media.
- Fügenschuh, Armin (2009), “Solving A School Bus Scheduling Problem with Integer Programming”, **European Journal of Operational Research**, 193, 867-884.
- Ganesh, K. ve Narendran, T.T. (2007), “CLOVES: A Cluster-and-Search Heuristic to Solve The Vehicle Routing Problem with Delivery and Pick-up”, **European Journal of Operational Research**, 178, 699-717.
- Geloğulları, Cumhur Alper (2001), "Vehicle Routing Problem with Backhauls", Power Point Sunusu, neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP/data/articles/vrpb.ppt (01.02.2010).
- Gen, Mitsuo ve Cheng, Runwei (2000), **Genetic Algorithms and Engineering Optimization**, John Wiley & Sons, Inc.
- Gendreau, Michel ve diğerleri (2008), “Metaheuristics for The Vehicle Routing Problem and Its Extensions: A Categorized Bibliography”, Bruce Golden ve diğerleri (Ed.), **The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges içinde** (143-169), New York: Springer Science+Business Media, LLC.
- Gökçe, Elif İlke (2004), **A Revised Ant Colony System Approach to Vehicle Routing Problems**, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Sabancı Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gupta, Deepak Kumar (2002), “Tabu Search for Vehicle Routing Problems”, **International Journal of Computer Mathematics**, 79(6), 693-701.
- (2003), “A New Algorithm to Solve Vehicle Routing Problems (VRPs)”, **International Journal of Computer Mathematics**, 80(3), 267-274.

- Güden, Hüseyin ve diğerleri (2005), “Genel Amaçlı Arama Algoritmaları ile Benzetim En İyilemesi: En İyi Kanban Sayısının Bulunması”, **Endüstri Mühendisliği Dergisi**, 16(1), 2-15.
- Güler, Çiğdem ve diğerleri (2004), “Gıda Sektöründe Bir Firma İçin Tedarik Zinciri Ağı Tasarımı ve Araç Rotalama”, **Endüstri Mühendisliği Dergisi**, 15(4), 19-31.
- Güngör, İbrahim ve Ergülen, Ahmet (2006), “Bulanık Araç Rotalama Problemlerine Bir Model Önerisi ve Bir Uygulama”, **Yönetim ve Ekonomi Dergisi**, 13(1), 53-60.
- Haupt, Randy L. ve Haupt, Sue Ellen (2004), **Practical Genetic Algorithms**, Second Edition, New Jersey: Wiley-Interscience.
- Henderson, Darrall ve diğerleri (2003), “The Theory and Practice of Simulated Annealing”, Fred Glover ve Gary Kochenberger (Ed.), **Handbook of Metaheuristics içinde** (287-319), USA: Kluwer Academic Publishers.
- Ho, William ve diğerleri (2008), “A Hybrid Genetic Algorithm for The Multi-depot Vehicle Routing Problem”, **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, 21, 548-557.
- Hoff, Arild ve diğerleri (2009), “Lasso Solution Strategies for The Vehicle Routing Problem with Pickups and Deliveries”, **European Journal of Operational Research**, 192, 755-766.
- Homberger, J. ve Gehring, H. (1999), Two Evolutionary Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem with Time Windows. Appears in: Special issue of INFOR on "Metaheuristics for Location and Routing Problems", [http://scholar.google.com.tr/scholar?q=Homberger,+J.+ve+Gehr%C4%B1ng,+H.+\(1999\),+Two+Evolutionary+Metaheuristics+for+the+Vehicle+Routing+Problem+with+Time+Windows.+A&hl=tr&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart](http://scholar.google.com.tr/scholar?q=Homberger,+J.+ve+Gehr%C4%B1ng,+H.+(1999),+Two+Evolutionary+Metaheuristics+for+the+Vehicle+Routing+Problem+with+Time+Windows.+A&hl=tr&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart) (20.05.2010)
- Ismail, Z. ve Loh, S.L. (2009), “Ant Colony Optimization for Solving Solid Waste Collection Scheduling Problems”, **Journal of Mathematics and Statistics**, 5(3), 199-205.
- İmamoğlu, Mustafa Bilgehan (2005), **Sezgisel Fonksiyonlar Temelinde Tabu Arama ve Genetik Algoritmalarının Gezgin Satıcı Problemine Uygulanması**, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- İşçi, Öznur ve Korukoğlu, Serdar (2003), “Genetik Algoritma Yaklaşımı ve Yöneylem Araştırmasında Bir Uygulama”, **Yönetim ve Ekonomi**, 10(2), 191-208.

- Jacobs-Blecha, Charlotte ve Goetschalckx, Marc (1998), "The Vehicle Routing Problem with Backhauls: Properties and Solution Algorithms" Georgia Tech Research Corporation, Atlanta, Georgia, <http://www2.isye.gatech.edu/~mgoetsch/cali/Lineback/Vehicle%20Routing%20Problem%20with%20Backhauls.pdf> (20.05.2010).
- Jozefowicz, Nicolas ve diğeri (2009), "An Evolutionary Algorithm for The Vehicle Routing Problem with Route Balancing", **European Journal of Operational Research**, 195, 761-769.
- Kalaycı, Tahir Emre (2006), **Yapay Zeka Teknikleri Kullanan Üç Boyutlu Grafik Yazılımları İçin Extensible 3D (X3D) Altyapı Oluşturulması ve Gerçekleştirilmesi**, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi.
- Kalyoncu, Senem (2008), **Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery with Time Windows**, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Bogazici University.
- Kang, Kyung Hwan ve diğeri (2008), "A Heuristic for The Vehicle Routing Problem with Due Times", **Computers & Industrial Engineering**, 54, 421-431.
- Karaboğça, Derviş (2004), **Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları: Tabu Araştırma, İş İşlem, Genetik, Karınca Koloni, Bağışıklık ve Diferansiyel Gelişim Algoritmaları**, 1. Baskı, İstanbul: Atlas Yayın Dağıtım.
- Kato, Naoki ve Yano, Taihei (2006), "An Approximation Algorithm for The Pickup and Delivery Vehicle Routing Problem on Trees", **Discrete Applied Mathematics**, 154, 2335-2349.
- Kaya, İhsan (2006), "Çok Aşamalı Proseslerde Örnek Hacminin Belirlenmesi Üzerine Bir Model ve Genetik Algoritmalar Yardımıyla Çözüm Önerisi", 435-456, http://www.sosyalbil.selcuk.edu.tr/sos_mak/makaleler/%C4%B0hsan%20KAYA/KAYA,%20%C4%B0hsan.pdf (10.02.2010).
- Kelly, James P. ve Xu, Jiefeng (1999), "A Set-Partitioning-Based Heuristic for The Vehicle Routing Problem", **Journal on Computing**, 11(2), 161-172.
- Kinney, Kenneth E. (1994), **Advances in Genetic Programming**, MIT Press.
- Kirkpatrick, Scott ve diğeri (1983), Optimization by Simulated Annealing, **Science**, 220(4598), 671-680.
- Kovács, Ákos (2008), **Solving the Vehicle Routing Problem with Genetic Algorithm and Simulated Annealing**, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Höğskolan Dalarna.

- Lacomme, P. ve diğerleri (2006), “A Genetic Algorithm for a Bi-objective Capacitated Arc Routing Problem”, **Computers & Operations Research**, 33, 3473-3493.
- Laporte, Gilbert ve Osman, İbrahim (1995), “Routing Problems: A Bibliography”, **Annals of Operations Research**, 61, 227-262.
- Lau, Henry C.W. ve diğerleri (2009), “A Fuzzy Guided Multi-Objective Evolutionary Algorithm Model for Solving Transportation Problem”, **Expert Systems with Applications**, 36, 8255-8268.
- Lee, Chi-Guhn ve diğerleri (2006), “A Shortest Path Approach to The Multiple-Vehicle Routing Problem with Split Pick-ups”, **Transportation Research Part B**, 40, 265-284.
- Luke, Sean (2009), Essentials of Metaheuristics, Zeroth Edition, <http://cs.gmu.edu/~sean/book/metaheuristics/Essentials.pdf> (20.05.2010).
- Lysgaard, Jens ve diğerleri (2004), “A New Branch-and-Cut Algorithm for The Capacitated Vehicle Routing Problem”, **Math Programs, Series A**, 100(2), 423-445.
- Marinakis, Yannis ve Marinaki, Magdalene (2010), “A Hybrid Genetic–Particle Swarm Optimization Algorithm for The Vehicle Routing Problem”, **Expert Systems with Applications**, 37, 1446–1455.
- Montemanni, Roberto ve diğerleri (2002), “A New Algorithm for a Dynamic Vehicle Routing Problem based on Ant Colony System”, **Technical Report IDSIA-23-02**, IDSIA, <ftp://ftp.idsia.ch/pub/techrep/IDSIA-23-02.pdf.gz>
- Mourgaya, M. ve Vanderbeck, François (2007), “Column Generation Based Heuristic for Tactical Planning in Multi-period Vehicle Routing”, **European Journal of Operational Research**, 183, 1028-1041.
- Miller, Donald (1995), “A Matching Based Exact Algorithm for Capacitated Vehicle Routing Problems”, **ORSA Journal on Computing**, 7(1), 1-9.
- Mingozi, Aristide ve diğerleri (1999), “An Exact Method for The Vehicle Routing Problem with Backhauls”, **Transportation Science**, 33(3), 315-329.
- Mitchell, Melanie (1999), **An Introduction to Genetic Algorithms**, 5. Baskı, Massachusetts: A Bradford Book The MIT Press.
- Mullen, Robert ve diğerleri (2009), A Review of Ant Algorithms, **Expert Systems with Applications**, 36, 9608-9617.

- Nabiyev, Vasif Vagifoğlu (2003), **Yapay Zeka: Problemler Yöntemler Algoritmalar**, 1. Baskı, Ankara: Seçkin Yayınevi.
- Negnevitsky, Michael (2005), **Artificial Intelligence A guide to Intelligent Systems**, Second Edition, Addison-Wesley.
- Novoa, Clara ve Storer, Robert (2009), “An Approximate Dynamic Programming Approach for The Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands”, **European Journal of Operational Research**, 196, 509-515.
- Osman, İbrahim H. ve Laporte, Gilbert (1996), “Metaheuristics: A bibliography”, **Annals of Operations Research**, 63, 513–623.
- Osvald, Ana ve Stirn, Lidija Zadnik (2008), “A Vehicle Routing Algorithm for The Distribution of fresh Vegetables and Similar Perishable Food”, **Journal of Food Engineering**, 85, 285-295.
- Özdağlar, Davut ve diğerleri (2006), “Kompleks Su Dağıtım Şebekelerinin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu”, **İMO Teknik Dergi**, 253, 3851-3867.
- Paksoy, Turan (2004), **Tedarik Zinciri Yönetiminde Dağıtım Ağlarının Tasarımı ve Optimizasyonu: Bir Örnek Olay ve Genetik Algoritmalara Dayalı Deneysel Bir Çalışma**, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Park, Dongjoo ve diğerleri (2007), “A Class of Multicriteria Shortest Path Problems for Real-Time in Vehicle Routing”, **Canadian Journal of Civil Engineering**, 34, 1096-1109.
- Pelikan, Martin ve diğerleri (2006), **Scalable Optimization via Probabilistic Modeling**, Volume 33, Berlin: Springer-Verlag.
- Pisinger, David ve Ropke, Stefan (2007), “A General Heuristic for Vehicle Routing Problems”, **Computers & Operations Research**, 34, 2403-2435.
- Potvin, Jean-Yves ve diğerleri (1996), “The Vehicle Routing Problem with Time Windows Part 1: Tabu Search”, **INFORMS Journal on Computing**, 8(2), 158-164.
- Rego, César (2001), “Node Ejection Chains for The Vehicle Routing Problem: Sequential and Parallel Algorithms”, **Parallel-Computing**, 27, 201-222.
- Repoussis, P.P. ve diğerleri (2010), “A Hybrid Evolution Strategy for The Open Vehicle Routing Problem”, **Computers & Operations Research**, 37, 443-455.
- Sakawa, Masatoshi (2002), **Genetic Algorithms and Fuzzy Multiobjective Optimization**, Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.

- Shafahi, Yousef ve Khani, Alireza (2010), “A Practical Model for Transfer Optimization in a Transit Network: Model Formulations and Solutions”, **Transportation Research Part A**, xxx, xxx-xxx.
- Sivanandam, S.N. ve Deepa, S.N. (2008), **Introduction to Genetic Algorithm**, Berlin: Springer-Verlag.
- Spall, James C. (2003), **Introduction to Stochastic Search and Optimization Estimation, Simulation, and Control**, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Sumathi, S ve diğerleri (2008), **Evolutionary Intelligence**, India: Springer-Verlag.
- Suthikarnnarunai, N ve Olinick, E. (2009), “Improving Transportation Services for the University of the Thai Chamber of Commerce: A Case Study on Solving the Mixed-Fleet Vehicle Routing Problem with Split Deliveries”, **AIP Conference Proceedings**, 1089(1), 200-211.
- Suzuki, Yoshinori (2009), “Finding the Proper Fleet-Downsizing Strategies for U.S. Agricultural Cooperatives: A Case of GROWMARK, Inc”, **Transportation Journal**, 48(2), 24-39.
- Şeker, Şükran (2007), **Araç Rotalama Problemleri ve Zaman Pencere Stokastik Araç Rotalama Problemine Genetik Algoritma Yaklaşımı**, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tabak, Özlem (2008), **Genetik Algoritma ile Kapasiteli Servis Güzergahı Belirlenmesi ve Bir Uygulama**, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tang, Jiafu ve diğerleri (2009), “Vehicle Routing Problem with Fuzzy Time Windows”, **Fuzzy Sets and Systems**, 160, 683-695.
- Taşkın, Çağatan ve Emel, Gül Gökay (2009), **Sayısal Yöntemlerde Genetik Algoritmalar**, Bursa: Alfa Aktüel.
- Tavakkoli-Moghaddam, Reza ve diğerleri (2006a), A Memetic Algorithm for A Vehicle Routing Problem with Backhauls, **Applied Mathematics and Computation**, 181, 1049-1060.
- (2006b), A Hybrid Simulated Annealing for Capacitated Vehicle Routing Problems with the Independent Route Length, **Applied Mathematics and Computation**, 176, 445-454.

- Teodoroviç, Dusan ve Lucic, Panta (2007), “The Fuzzy Ant System for The Vehicle Routing Problem When Demand at Nodes Is Uncertain”, **International Journal on Artificial Intelligence Tools**, 16(5), 751-770.
- Thangiah, Sam (1995), “Vehicle Routing with Time Windows using Genetic Algorithms”, **Application Handbook of Genetic Algorithms: New Frontiers**, Volume II *içinde* (253–277), Boca Raton: CRC Press.
- (1999), “ A Hybrid Genetic Algorithm, Simulated Annealing and Tabu Search Heuristic for Vehicle Routing Problems with Time Windows”, Lance D. Chambers (Ed.), **Practical Handbook of Genetic Algorithms Complex Coding Systems**, Volume III *içinde* (347-384), USA: CRC Press LLC.
- Tokaylı, Mehmet Aydın (2005), **Zaman Pencereyi Araç Rotalama Problemi İçin Bir Karar Destek Sistemi**, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Toth, Paolo ve Vigo, Daniele (1997), “An Exact Algorithm for The Vehicle Routing Problem with Backhauls”, **Transportation Science**, 31(4), 372-385.
- (1999), “A Heuristic Algorithm for The Symmetric and Asymmetric Vehicle Routing Problems with Backhauls”, **European Journal of Operational Research**, 113, 528-543.
- (2002), **The Vehicle Routing Problem**, 1. Baskı, Philadelphia: SIAM.
- URL, Council of Supply Chain Management Professionals, <http://cscmp.org> (20.05.2010).
- URL, Onurlar, www.onurlar.com.tr (18.05.2010).
- Vacic, Vladimir ve Sobh, Tarek M. (2002), “Vehicle Routing Problem with Time Windows”, <http://www.vacic.org/lib/vrptw.pdf> (08.01.2010).
- Wang, Chung-Ho ve Lu, Jiu-Zhang (2009), “A Hybrid Genetic Algorithm That Optimizes Capacitated Vehicle Routing Problems”, **Expert Systems With Applications**, 36, 2921-2936.
- Wang, Haixing ve Shen, Jinsheng (2007), “Heuristic Approaches for Solving Transit Vehicle Scheduling Problem with Route and Fueling Time Constraints”, **Applied Mathematics and Computation**, 190, 1237-1249.

- Xu, Jiefeng ve Kelly, James Patrick (1996), “A Network Flow-Based Tabu Search Heuristic For The Vehicle Routing Problem”, **Transportation Science**, 30(4), 379-393.
- Yıldırım, Umman Mahir (2008), **An Ant Colony Algorithm for The Time-Independent and Time-Dependent Vehicle Routing Problem with Time Windows**, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Sabancı University.
- Zachariadis, Emmanouil E. ve diğerleri (2009), “A Hybrid Metaheuristic Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-up Service”, **Expert Systems with Applications**, 36, 1070-1081.
- Zäpfel, Günther ve Bögl, Michael (2008), “Multi-period Vehicle Routing and Crew Scheduling with Outsourcing Options”, **International Journal of Production Economics**, 113, 980-996.
- Zhang, Xiaoxia ve Tang, Lixin (2009), “A New Hybrid Ant Colony Optimization Algorithm for The Vehicle Routing Problem”, **Pattern Recognition Letters**, 30, 848-855.
- Zhao, Xin ve diğerleri (2008), “A Genetic Approach to Solving the Vehicle Routing Problem with Time-Dependent Travel Times”, 16th Mediterranean Conference on Control and Automation Congress Proceedings (413-418), Ajaccio, France.

ÖZGEÇMİŞ

Burcu KEMER, 1984 yılında Trabzon'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Trabzon'da tamamladı. 2006 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi İstatistik ve Bilgisayar Bilimleri ve çift ana dal yaptığı İktisadi ve İdari Bilimleri Fakültesi İşletme Bölümlerinden mezun olmuştur. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.

KEMER, 2009 yılından beri Rize Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü Sayısal Yöntemler Anabilim Dalında araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

Burcu KEMER İngilizce bilmektedir.