İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YERLEŞTİRME ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN BİR GENETİK ALGORİTMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatma AKPINAR

Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği

Programı : Endüstri Mühendisliği

HAZİRAN 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YERLEŞTİRME ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN BİR GENETİK ALGORİTMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Fatma AKPINAR
(507051116)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21 Nisan 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 22 Haziran 2009

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Cengiz GÜNGÖR (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ramazan EVREN (İTÜ)
Prof. Dr. E. Ertuğrul KARSAK (GÜ)

HAZİRAN 2009

Aileme,

ÖNSÖZ

Günümüz iş dünyasında rekabet sağlayabilmek için lojistik faaliyetler büyük önem kazanmıştır. Bu sebeple, tesislerin (fabrika, depo veya dağıtım merkezi) yerleşimi ve buradan müşterilere nasıl hizmet verileceği ile ilgili kararlar oldukça önem taşımaktadır. Yerleştirme-rotalama problemi bu önemli kararlar için ortaya konmuş bir problemdir. Bu çalışmada yerleştirme-rotalama probleminin genetik algoritma ile çözülmesi üzerine çalışılmıştır. Bu yaklaşımla çözümün daha kolay bulunması hedeflenmiştir.

Bu tez çalışmam sırasında beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım sayın Doç. Dr. Cengiz Güngör'e, destekleriyle hep yanımda olan ailem ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.Ayrıca yüksek lisans eğitimim süresinde bana maddi olarak destek olan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'a teşekkür ederim.

Haziran 2009

Fatma AKPINAR

Endüstri Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xiii**
ÖZET ..... **xv**
SUMMARY ..... **xvii**
1. GİRİŞ **1**
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **5**
2.1 Sınıflandırma 5
2.2 Kesin Çözüm Yaklaşımları 10
2.3 Sezgisel Çözüm Yaklaşımları 11
2.3.1 Genetik Algoritma Uygulamaları 12
3. GENETİK ALGORİTMA **15**
3.1 Tanım ve Temel Kavramlar 15
3.2 Genetik Algoritmanın Temel Bileşenleri 16
3.2.1 Kromozom Tasarımı 17
3.2.2 Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması 17
3.2.3 Uygunluk Fonksiyonu 17
3.2.4 Genetik Operatörler 18
3.2.5 Genetik Algoritmanın Parametreleri 19
3.3 Genetik Algoritmanın İşleyişi 20
3.4 Diğer Çözüm Yaklaşımlarından Farkı 21
4. PROBLEMİN MATEMATİKSEL MODELİ **23**
4.1 Problemin Tanımı 23
4.2 Varsayımlar 23
4.3 Amaç ve Kısıtlar 24
4.4 Model 25
5. GENETİK ALGORİTMA İLE ÇÖZÜM **29**
5.1 Çözüm Yaklaşımı 29
5.2 Kullanılan Parametreler 30
5.3 Çözümler ve Değerlendirme 31
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA **35**
KAYNAKLAR **37**
ÖZGEÇMİŞ **41**

KISALTMALAR

LTL **:** Less than truckload
NP **:** Non-deterministik polynomial
LRP **:** Location Routing Problem

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1 : Müşteriler ile ilgili veriler (Baretto, 2008)..... ...31
Çizelge 5.2 : Aday tesis yerleri ile ilgili veriler (Baretto, 2008) 32
Çizelge 5.3 : Çözülen problemler icin veriler (Baretto, 2008).. 33
Çizelge 5.4 : Sunulan yaklaşım ile bulunan çözümler ve iyileşme yüzdeleri.. 34

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Çaprazlama Operatörü……..19
Şekil 3.2 : Mutasyon Operatörü…….19
Şekil 5.1 : Aday tesis yerleri ve müşterilerin koordinat düzlemi üzerinde gösterimi……...……32
Şekil 5.2 : Çözümün kordinat düzleminde gösterimi……...…..33

YERLEŞTİRME ROTALAMA PROBLEMİ İCİN BİR GENETİK ALGORİTMA

ÖZET

Lojistik faaliyetler bugünün iş dünyasında rekabet avantajı sağlayacak anahtar faktörlerdendir. Dağıtım sistemi ile ilgili kararlar ise şirket ile müşterileri arasındaki ana etkileşim noktası olduğu için özellikle önemlidir. Tesislerin yerleri ve müşterilere uzaklığı dağıtım maliyetinin ana unsurulardır. Ayrıca, müşterilerin taleplerinin araç dolusundan daha az olması durumu çok duraklı dağıtım rotlarının hesaba katılmasını gerekli kılmıştır. İşte tam bu noktayla ilişkili olarak tanımlanmış olan yerleştirme rotalama problemi, tesis yerleştirme problemi ile araç rotalama problemilerini beraber çözmek üzere ortaya konmuştur. Yerleştirme – rotalama problemi büyük boyutlu, çözümü zor bir bütünleşik problemdir.

Bu tez çalışmasında, yerleştirme-rotlama problemini çözmek amacıyla genetik algoritma yaklaşımı kullanılmıştır. Tesislerden müşterilere hizmet verildiği iki seviyeli bir çevre ele alınmıştır. Tesisler kapasite kısıtsız kabul edilirken, araçlar kapasite kısıtlı olarak tanımlanmıştır. Araçlar bir tesisten çıkarak müşterilere hizmet verdikten sonra tekrar aynı tesise geri dönmektedir.

Çalışma kapsamında öncelikle problemin matematiksel modeli sunulmuş, ardından genetik algoritma yaklaşımına yer verilmiştir. Çözüm için iki aşamalı bir genetik algoritma modeli tanımlanmıştır. İlk aşamada tesis yerleştirme problemi kromozom olarak kodlanmış, ikinci aşamada ise her rota bir kromozom olarak değerlendirilmiştir. Hesaplama çalışmaları literatürde yer alan test problemleri için yapılmıştır. Kesin sonucu bilinen problemler algoritmayı doğrulama amaçlı kullanılmıştır. Kesin sonucu bilinmeyen problemler genetik algoritma ile çözüldüğünde ise yeterince iyi sonuçlar eldildiği gözlenmiştir.

A GENETIC ALGORITHM APPROACH FOR LOCATION ROUTING PROBLEM

SUMMARY

Logistic activities are the key factors of the competitive advantages in today's business environment. The decisions about distribution systems are especially important because distribution is the main interaction point between the company and its customers. The locations of the facilities and their distances to the customers are the key factors for the distribution costs. Also, less than truckload demands of the customers are needed to take into account multiple-stop delivery routes. In this point, location-routing problem is defined to solve facility locations and vehicle routing problem together. Location-routing problem is a large scale, difficultly solvable, integrated problem.

In this thesis, a genetic algorithm approach is used for solving location routing problem. A two-stage environment is considered in which the goods delivered from facilities to the customers. The facilities are defined uncapacitated and the vehicles are defined capacitated in the problem. A vehicle starts its tour from a facility and after serving to the customers it comes back to the same facility.

Both mathematical model and genetic algorithm solution approach is presented. Two-level genetic algorithm is defined. In the first level, the facility location problem is coded as chromosome, in the second level, every route evaluates as a chromosome. The computational studies are realized with test problems which are stated in the literature. The problems with known exact solutions are used for validation. When the problems with unknown solutions are solved with genetic algorithm, the results are founded satisfactory.

1.GİRİŞ

Lojistik yönetimi; tesis yeri seçiminden, üretim planlamaya, müşterilerin hangi depodan hizmet göreceğinden, bir depodan yola çıkan aracın hangi yolu izleyerek müşterilere hizmet vereceğine kadar stratejik, taktik ve operasyonel kararları içeren bir bütündür. Lojistik yönetiminin dağıtım yönetimi kısmı şirketin müşteriye doğrudan teması ile ilgili olduğunda özellikle önem arz etmektedir.

Dağıtım yönetimini ilgilendiren alınacak ilk karar tesislerin nereye kurulacağıdır. Tesisler dağıtım maliyetinin az olması için müşterilere yakın yerlere kurulmaya çalışılır. Bu şekilde her müşteri kendisine en yakın tesisten hizmet alabilir. Ancak dağıtım sistemlerinde bir araç dağıtım yaparken sadece bir tesisten çıkıp bir müşteriye hizmet verip tesise dönmesi her zaman ekonomik olmayabilir.

Gerçek hayatta genellikle müşterilerin talepleri bir araç dolusundan daha az (less than truckload – LTL) olmakta, bu sebeple bir tesisten yola çıkan araç birden fazla müşteriye hizmet vererek tesise dönmektedir. Bu durumda müşterinin tesise olan uzaklığından ziyade rotanın nasıl olduğu maliyeti etkilemektedir. Toplam maliyeti yerleştirme ve taşıma maliyeti olarak iki parça halinde ele almak yerine yerleştirme ve rotalama kararlarının etkileşimine izin veren bir karar mekanizmasına ihtiyaç vardır.

Yerleştirme-rotalama problemi (location-routing problem), bir aracın birden çok müşteriye hizmet vererek tesise geri dönmesi durumlarında, tesis yerinin belirlenmesinin rotalama kararlarını da dikkate alarak çözmek üzere tanımlanmış bütünleşik bir problemdir. Problemde sonuç olarak nerelere tesis kurulacağı, her müşterinin açık hangi tesisten hizmet alacağı ve dağıtım için yola çıkan aracın hangi müşterilere uğrayacağına karar verilir.

Yerleştirme-rotalama problemi, literatürde yer alan diğer iki önemli problem olan tesis yerleştirme (facility location) ve araç rotalama (vehicle routing) problerinin bütünleşmiş hali olarak düşünülebilir. İki problemi ayrı ayrı çözmek yerine iki kararın birbirine etkileşimi dikkate alınıp bütünleşik olarak çözülmeye çalışılır. Tesis

yerleştirme ve araç rotalama problemlerinin her ikisi de NP(nondeterministic polynomial time)-zor ismi verilen çözümü bilgisayarda problem boyutu büyüyünce etkin bir şekilde yapılamayan problemlerdir (Lenstra ve Kan, 1981; Owen ve Daskin 1998). Dolayısı ile yerleştirme-rotalama problemi de NP-zor problemler grubundadır. Problemin çözüm uzayı oldukça geniş olduğundan, en iyi çözümü bulmak zor olmaktadır.

Yerleştirme-rotalama probleminin amacı genel olarak sabit tesis kuruluş maliyeti ve taşıma maliyeti toplamını en küçüklemek olarak tanımlanır. Problemin yapısı hangi seviyede müşteri ve tesislerin ele alınacağı, araç ve tesislerde kapasite kısıtı olup olmaması, taşımalar için zaman kısıtı olup olmamasına göre çeşitlenmektedir.

Problemin kısıtları ikiye ayrılabilir. Birinci grup, alt iki problemin tanımından gelen bazı kısıtlardır. Bunlardan bir müşterinin sadece bir tesisten hizmet alması, her rotanın sadece bir depodan geçmesi, sadece depolar ya da sadece tesislerden oluşan rotalara izin verilmemesi gibi kısıtlar sayılabilir. İkinci grup kısıtlar ise araç ve tesis kapasitesi ile araç rotası için zaman kısıtı gibi problemin çeşitlerinin oluşmasını sağlamış kısıtlardır. Bu kısıtlara göre problemin çok sayıda çeşidi oluşmuştur, dolayısı ile literatürde çözülen tek tip bir problemden bahsetmek mümkün olmamaktadır.

Problemi 0-1 tam sayılı programlama ile tanımlamak mümkündür. Karar değişkenleri olası her iki karar noktasından bir araçla gidiş olup olmamasıdır. Bu sebeple problemdeki aday tesis yeri, müşteri ve araç sayısı arttıkça problemin boyutu hızlı bir şekilde büyür. Böylece problemi matematiksel programlama ile çözmek oldukça zorlaşır.

Literatürde yerleştirme-rotalama problemi için kesin ve yaklaşık çözümler sunan çalışmalar yer almaktadır. Bu çalışmada ise yerleştirme rotalama problemine metasezgisel bir yöntem olan genetik algoritma ile bir çözüm önerisi sunulmuştur. Bu şekilde daha iyi bir çözüme daha çabuk ulaşıldığı gözlenmiştir.

Problemin ana hatları hakkında bilgi veren bu giriş bölümünün ardından ikinci bölümde konu ile ilgili literatür araştırmasına yer verilmiştir. Yerleştirme – rotalama problemi için yapılmış sınıflandırma çalışmaları gözden geçirilerek, incelediği problem açısından bu çalışmaya yakın bazı çalışmalar hakkında ayrıntılı bilgi

verilmiştir. Çalışmalar kesin ve yaklaşık çözüm sunanlar olarak ele alınmış, genetik algoritma ile çözüm sunan diğer çalışmalar ayrı bir başlık altında ele alınmıştır.

Üçüncü bölümde kullanılan çözüm yöntemi olan genetik algoritma hakkında genel bilgi verilmektedir. Genetik algoritmanın elemanları, işleyişi ve diğer çözüm yöntemlerinden farklılıkları üzerinde durulmuştur.

Dördüncü bölümde, problemin matematiksel modeli sunulmuştur. Problemin varsayımları, kullanılan parametreler, değişkenler açıklandıktan sonra problemin matematiksel formülasyonu ve modelin sözel ifadesine yer verilmiştir.

Beşinci bölümde, probleme sunulan çözüm yaklaşımı tanıtılmıştır. Sunulan yaklaşım literatürde bulunan örnek problemler için test edilmiştir. Bulunan çözümler ve literatürde yer alan önceki çözümler karşılaştırılmıştır.

Son bölüm olan sonuçlar ve tartışma bölümünde ise çalışmada gelinen nokta tekrar gözden geçirilmiştir. Ayrıca daha sonra yapılabilecek çalışmalar için fikirlere yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde, kullanılan çözüm yöntemi olan genetik algoritma hakkında genel bilgi verilmiştir. Genetik algoritmanın elemanları, işleyişi ve diğer çözüm yöntemlerinden farklılıkları üzerinde durulmuştur.

Beşinci bölümde, probleme sunulan çözüm yaklaşımı tanıtılmıştır. Sunulan yaklaşım literatürde bulunan örnek problemler için test edilmiştir. Bulunan çözümler ve literatürde yer alan önceki çözümler karşılaştırılmıştır.

Son bölüm olan sonuçlar ve tartışma bölümünde ise çalışmada gelinen nokta tekrar gözden geçirilmiştir. Ayrıca daha sonra yapılabilecek çalışmalar için fikirlere yer verilmiştir.

2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tesis yerleştirme ve araç rotalama problemleri son 50 yıldır üzerinde oldukça geniş bir literatür oluşmuş, çeşitli açılardan oldukça geniş araştırmaların ortaya konduğu problemlerdir. Bu iki problemin bütünleşik hali olan yerleştirme-rotalama problemi o kadar geniş bir alana sahip değildir. Bunun sebeplerinden bazıları şöyle sıralanabilir:

- Yerleştirme rotalama problemi yapısal olarak karmaşıktır. Problemin modellenmesi ve çözülmesi zordur.
- Bazı durumlarda yerleştirme ile birlikte rotalamaya ihtiyaç olmamaktadır.
- Yerleştirme stratejik, rotalama ise taktik seviyede bir karar olduğundan bu iki kararın pratikte beraber alınması zordur. Bir işletmede, tesis ve depo yerleri başlangıçta belirlenmekte iken, çoğunlukla müşterileri başta belirlemek ve taleplerini tahmin etmek zordur. Ayrıca çeşitli planlama zamanlarına göre müşteriler oldukça farklılaşabilmekte bu sebepte yerleştirme kararları alınırken rotalamanın hesaba katılması her zaman mümkün değildir.

Bu sebeplerle, yerleştirme rotalama probleminin gelişmesi daha yavaş olmuştur.

Bu bölümde yerleştirme-rotalama problemi ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar incelenecektir. İlk olarak yapılmış literatür araştırması ve sınıflandırma çalışmaları hakkında bilgi verilecek, daha ayrıntılı bilgiler problemi çözüm yaklaşımlarına göre sınıflandırılmış olarak sunulacaktır.

2.1 Sınıflandırma

Literatürdeki yerleştirme rotalama problemi ile ilgili çalışmalar gerek problemin tanımlanışı, gerek sunulan çözüm yöntemleri açısından oldukça çeşitlilik göstermektedir. Bu sebeple yapılan çalışmaları incelemek için bir sınıflandırmaya tabi tutma ihtiyacı doğmuştur. Literatürde yerleştirme ve rotalama problemini sınıflandırmaya tabi tutan ve literatür özeti sunan çalışmalar bulunmaktadır. (Balakrishnan ve diğ., 1987; Laporte,1988; Berman ve diğ.,1995; Min ve diğ., 1998; Nagy ve Salhi, 2007; Lopes ve diğ.,2008a).

Bu bölümde yapılan sınıflandırma çalışmaları ele alınacak, tez kapsamında ele alınan problem bu sınıflandırmalar açısından tanımlanacaktır. Çalışmalar arasında ayrıntılı bir sınıflandırma sunanların yanısıra, literatürdeki eksiklikleri ortaya koyan ve çalışılabilecek yeni alanları ifade etmeyi daha ön planda tutan çalışmalar daha çok dikkati çekmektedir.

Min ve diğ. (1998) yerleştirme problemin yapısı ve çözüm yöntemlerine göre ayrıntılı bir sınıflandırma çalışması yapmışken, Nagy ve Salhi(2007) daha az sayıda kriter ile sunduğu sınıflandırmada daha genel bir bakış açısı sunmaktadır. Lopes ve diğ.(2008) iki aşamada yaptıkları sınıflandırmada yapılan çalışmaları önce yapısal sonra çözüm yaklaşımı açısından incelemişlerdir.

Min ve diğ. (1998) 1976'dan itibaren yayınlanmış 33 yayını inceleyen çalışmalarında yerleştirme–rotalama probleminin yapısını ve çeşitliliğini ortaya koyan bir sınıflandırma ortaya koymuştur. Farklı 17 dergide yer alan bu çalışmalar yerleştirme-rotalama probleminin disiplinlerarası yapısına dikkat çekmektedir. Problemin yapısı ve çözüm yöntemlerini temel alan sınıflandırma kriterleri aşağıda sıralanmıştır:

I. Problemin yapısına göre sınıflandırma

1. Hiyerarşik seviye
    a) Tek seviyeli
    b) İki seviyeli
2. Talep/ tedarik yapısı
    a) Deterministik
    b) Stokastik
3. Tesis sayısı
    a) Tek tesis
    b) Çok tesis
4. Araç filosunun büyüklüğü
    a) Tek araç
    b) Çok araç
5. Araç kapasitesi kısıtı

a) Kapasite kısıtlı

b)Kapasite kısıtsız

6. Tesis kapasite kısıtı

a) Kapasite kısıtlı

b) Kapasite kısıtsız

7. Tesis Seviyesi

a) Birinci seviye

b) İkinci / ara seviye

8. Planlama Ufku

a) Tek periyot (statik)

b) Çoklu periyot (dinamik)

9. Zaman kısıtı

a) Zaman kısıtı tanımlanmamış, son teslim tarihi yok

b) Yumuşak zaman penceresi, gevşek son teslim tarihi

c) Sıkı Zaman penceresi, kesin son teslim tarihi

10. Amaç Fonksiyonu

a) Tek amaçlı fonksiyon

b) Çoklu amaç fonksiyonu

11. Model Verileri

a) Hipotetik veri

b) Gerçek-hayat verisi

II. Çözüm yöntemine göre sınıflandırma

1. Kesin çözüm algoritmaları

a) Direkt ağaç araması / Dal sınır algoritması

b) Dinamik programlama

c) Tamsayılı programlama

d) Doğrusal olmayan programlama

2. Sezgisel Algoritmalar

a) Yerleştirme atama önce, rotalama sonra

b) Rotalama önce, yerleştirme sonra

c) Kazanç/ ekleme yöntemi

d) Geliştirme / değiştirme çözümü

Bu tez kapsamında sunulan çalışma yukarıdaki sınıflandırmaya göre *tek seviyeli, deterministik veriler* kullanan, birden çok tesis ve her tesiste bir araç bulunacak şekilde tanımlanmıştır. *Araçlar kapasite kısıtlı, tesislere kapasite kısıtsız* kabul edilmiştir. Problem tek periyot için statik olarak çözülmüş, *zaman kısıtı* dikkate alınmamıştır. *Tek amaç fonksiyonu* tanımlanmış, literatürde yer alan *hipotetik veriler* için çözüm yapılmıştır.

Günümüze daha yakın bir literatür çalışması, Nagy ve Salhi (2007) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada ise yerleştirme – rotalama problemi hiyerarşik yapı, girdi verilerinin yapısı (deterministik- stokastik), planlama peryodu (planlama ufku) ve çözüm yöntemleri (kesin- sezgisel) olmak üzere 4 temel kritere göre incelemiştir. Ayrıca amaç fonksiyonunun yapısı (tek amaç- çok amaç), çözüm uzayının yapısı (kesikli- sürekli- network), tesis sayısı (bir veya birden çok), araç çeşitleri ve yapısı(bir veya birden çok, homojen- heterojen büyüklük) ve araç rotalarının yapısına (depoya geri dönen- dönmeyen, birden fazla tur yapma) göre de değerlendirme sunulmuştur.

Nagy ve Salhi (2007) çok ayrıntılı bir sınıflandırmanın yerleştirme-rotalama problemi için çok sayıda grup ve her grupta az sayıda çalışmanın yer aldığı bir yapı oluşturacağından çok faydalı olmadığını ifade etmiştir. Çalışmada daha çok çapraz referanslama tekniği kullanılarak problemin çeşitli yönleri incelenmiştir. Deterministik problemler çözüm yöntemleri açısından incelenirken, alışılmış yapıya uymayan problemler de gözden geçirilmiştir.

Lopes ve diğ.(2008) ise litratürdeki problemleri önce yapısal açıdan sınıflandırmıştır. Bu sınıflandırmaya göre gruplar aşağıda verilmiştir.

1.Standart hiyerarşik yapıdaki modeler

1.1.Belililik altındaki modeler

1.1.1.Tam tur yerleştirme problemi (Round-trip location problem)

1.1.2.Planar yerleştirme- rotalama problemi (Planar Location Routing Problem(LRP))

1.1.3.Hamilton p- medyan problemi (Hamiltonian p-median problem)

1.1.4.Yerleştirme- çemberi yerleştirme problemi (Plant-cycle location Problem)

1.1.5.Ark tabanlı yerleştirme- rotalama problemi (Arc oriented LRP)

1.1.6.Genel yerleştirme- rotalama problemi (General LRP)

1.2.Belirsizlik içeren modeller

1.2.1.Gezgin satıcı yerleştirme problemi

1.2.2.Stokastik yerleştirme- rotalama problemi

1.2.3.Dinamik yerleştirme-rotalama problemi

2.Standart yapıya uymayan problemler

2.1.Taşıma- yerleştirme problemi

2.2.Çoktan çoğa (many-to-many) yerleştirme- rotalama problemi

2.3.Araç rotalama ve tahsis etme problemi

2.4.Çok seviyeli yerleştirme-rotalama problemi

Lopes ve diğ.(2008) bu gruplamanın ardından her grupta yer alan problemleri önce tek veya çoklu amaç fonksiyonu içerme, ardından uygulanan çözüm yönteminin kesin ya da sezgisel çözüm olmasına göre sınıflandırılmıştır. Yüz adetten fazla yayının analiz edildiği bu çalışma yerleştirme rotalama problemi ve literatürde genel tanıma yakın olarak yer alan benzer problemleri bir sınıflandırma altında değerlendirmeye yardım sağlamaktadır.

Devam eden bölümde yukarıdaki sınıflandırmaya göre belirlilik altındaki rotalama problemleri ele alınacaktır. Bu problem için kesin ve sezgisel çözüm veren çalışmalar hakkında bilgi verilecektir.

2.2 Kesin Çözüm Yaklaşımları

Özellikle küçük boyutlu problemler için yerleştirme- rotalama probleminin en iyi çözümünü kesin olarak bulan çalışmalar literatürde yer almaktadır. Bu konuda yapılmış ilk çalışma Laporte ve diğ.(1981) tarafından tek depo ve sabit sayıda araç için yapılmıştır. Dal-sınır algoritması kullanılan çalışmada, en iyi depo yerinin nadiren bütün müşterilerin yerleşim olarak ortasında bir yere düştüğüne dikkat çekilmiştir. Laporte ve diğ.(1983)nin çalısmasında ise birden çok-tesisli yerleştirme-rotlama problemine en fazla açılacak tesis sayısı belirli olması ve olmaması durumlarına göre Gomory kesmeleri kullanılarak kesin çözüm bulunmuştur. Bu çalışmada en fazla 7 aday tesis yeri ve 40 müşteriye kadar çözüm yer almaktadır.

Laporte ve diğ.(1986) araçların kapasite kısıtını da probleme katmıştır. Tamsayılı programlama ile tanımlanmış problem, kısıt gevşetmesi ile çözümlenmiş, 8 depo ve 20 müşteriye kadar etkin bir şekilde kesin çözüm bulunmuştur. Laporte ve diğ.(1988) ise maliyet kısıtlı yerleştirme-rotalama problemini ele almıştır. Çok – tesisli asimetrik problem için 3 tesis yeri 80 müşteriye kadar kesin çözüm bulunmuştur. Dal sınır algoritması, her alt problemin kısıtlandırılmış bir atama problemi olarak çözüldüğü özelleştirilmiş bir şekliyle kullanılmıştır.

Laporte (1988) özelikle yukarıdaki çalışmalar için tanımlamış olduğu 3 indexli gösterim yapısına göre yerleştirme- rotalama probleminde karar degiskenleri(x_{ijk}), herhangi bir aracın, sistemdeki herhangi iki nokta arasında yönlü olarak gidip gitmediği şeklinde bir 0-1 tamsayılı değişken olarak tanımlanır. Bu gösterimde problemin boyutu çok hızlı büyümekle birlikte, eklenecek kısıtlarda birçok özelliği problem eklemek böylece mümkün olmaktadır. Berger (1997) ise yerleştirme-rotalama problemi için yeni bir formülasyon sunmuştur. Yerleştirme-rotalama problemi yerleştirme problemi temel alarak tanımlanmış olup, herhangi iki nokta araşındaki gidişler yerine her tesis yeri için olası bütün rotalar kümesi tanımlanır. Bu rotalar kümesinin her elemanının o depodan hareket edip etmeyeceğını temel alarak değişkenler tanımlanır.

Berger(1997) yeni bir formülasyonla tanımladığı modelde, son müşteriden başlanılan tesise geri dönüş hesaba katılmamaktadır. Bu sistem özellikle bozulabilir ürünlerin dağıtımı ve kargo sistemi için uygun olup, genel yerleştirme-rotalama problemlerinden farklılaşmaktadır. Berger (1997) problemi dal-ve-fiyat (branch-

and-price) algoritmasına göre çözmüş; dal-sınır ağacının her düğümünde kolon üretme (column –generation) yöntemi kullanırken, fiyatlandırma problemi ise kaynak kısıtlı en kısa yol problemi şeklinde ele alınmıştır. Berger ve diğ. (2007) ise benzer formülasyonu kullandığı çalışmada, bu şekilde problemin kısıt sayısının ciddi bir sekilde azaldığını ve yapılan gevşetmelerin daha iyi sonuç verdiğini ortaya koymuştur. Mesafe kısıtlı yerleştirme-rotalama probleminin ele alındığı çalışmada dal-ve-fiyat algoritmasıyla 10 aday tesis yeri, 100 müşteri ve çeşitli mesafe kısıtlarına göre kesin çözüm etkin bir şekilde bulunmuştur.

2.3 Sezgisel Çözüm Yaklaşımları

Yerleştirme-rotalama problemi diğer NP-zor problemlerde olduğu gibi geniş bir çözüm uzayına sahiptir. Böyle durumlarda kesin çözüm yaklaşımlarıyla çözüm bulmak çok zaman almaktadır. Sezgisel yöntemler bu çözüm uzayında çözümü hızlı bir şekilde bulmak için bir takım "işe yarar" kurallar ile ilerlememize yardımcı olur.

Yerleştirme- rotalama problemi için literatürde yer alan çalışmalar, iki farklı açıdan sezgisel bir yaklaşım sunmuşlardır. Bazı çalışmalar problemin çözümü için kullandıkları yöntemi sezgisel bir şekilde problemin yapısına uygulamakta, ikinci grup ise bilinen sezgisel yaklaşımları yerleştirme-rotalama problemine uygulamaktadır (Lopes ve diğ., 2008b).

Sezgisel bir yapı yaklaşımı ile yerleştirme- rotalama problemini çözen çalışmalar şu şekilde sınıflanabilir: ardışık yaklaşım, kümeleme yaklaşımı, iteratif yaklaşım, hiyerarşik yaklaşım (Nagy ve Salhi, 2007). Ardışık yaklaşımda yerleştirme ve rotalama problemi ard arda çözülür. Bir aşamadan diğerine bilgi aktarımı olmamaktadır. İlk aşamada yerleştirme problemi çözülürken müşterilerin tesislere olan mesafeleri alınır, ikinci aşamada rotalamanın etkisi hesaba katılır.

Perl ve Daskin (1985) çalışmalarında üç katmanlı bir karışık-tamsayılı programlama modeli sunmuştur. Perl ve Daskin (1985) üç aşamalı bir sezgisel metodla problemi çözmüştür. İlk aşamada depo maliyetleri hiç hesaba katılmadan en düşük maliyetli rotalar bulunmuş, ikinci aşamada bu rotalar için tesis yerleştirme ve müşteri atama problemi çözülmüştür. Üçüncü aşamada tesisler sabit olmak üzere müşteriler bir tesisten diğerine ataması değiştirilerek problemin yeni çözülmesi ile iyileştirme yapılmaya çalışılmıştır.

Wu ve diğ.(2002) ise yerleştirme- rotalama problemini yerleştirme- atama problemi ve araç rotalama problemi olarak ikiye bölerek çözmüştür. Her alt problem ise benzetimli tavlama sezgiseli ile uygulanmıştır. Homojen ve heterojen yapıdaki araç gruplarının ele alındığı çalışmada 150 noktaya kadar çözüm sunulmuştur.

Berger (1997) küme bölme tabanlı bir (set-partitioning-based) algoritma ile iki aşamalı yerleştirme – rotalama problemini çözmüştür. Modelde bir tesisisin servis verebileceği bütün olası rotalar tanmlanarak çözüm aranmıştır ve bir aracın son teslimattan sonra depoya dönme zorunluluğu yoktur. Taşıma işleminin dışardan bir kaynakla yapıldığı veya bozulabilir ürünlerin taşındığı sistemler için bu varsayım uygundur. Tanımlanan model klasik sabit kuruluş maliyetli tesis yerleştirme modeli ile benzerdir. Doğrusal programlama gevşetmesi zayıf bir alt sınır verdiğinden ve herhangi bir aday tesis için tanımlanabilecek olası yolların sayısı üssel olarak arttığından problemin çözümü daha zordur. Berger dal ve fiyat (branch-and-price) algoritması kullanmış, çözümünde dal sinir ağacındaki her düğüm için kolon üretimi (column genereation) yöntemi kullanılmıştır.

Chien (1993) yerleştirme- rotalama problemi için iki aşamalı bir sezgisel sunmuştur. Çözüm prosedürünün iki aşaması bulunmaktadır. Önce problem çatısı oluşturulmuş ardından çözüm iyileştirilmeye çalışılmıştır.

Tüzün ve Burke (1999) araçların kapasite kısıtlı olduğu durumda kapasite kısıtı olmayan birden çok depo için yerleştirme- rotalama problemini ele almıştır. İki aşama olarak ele alınan problemde her aşama için tabu araması yaklaşımı ile çözüm bulunmuştur. Bu iki aşama arasında çözüm geri besleme ile daha iyi bir çözüme yaklaştırılmıştır.

Albaredo-Sambola diğ. (2005) ise yerleştirme- rotalama problemine iki aşamalı bir tabu arama algoritması ile çözüm sunmuştur. İlk aşamada doğrusal gevşetmeden ya da özel amaçlı sırt çantası ile simetrik olmayan gezgin satıcı probleminden bulduğu çözümle tabu araması sezgiseli için bir alt sınır oluşturmuştur. Kapasite sınırı olan ve her tesisten tek bir rota ile servis yapıldığını kabul eden yaklaşımla 30 müşteri için problem çözülmüştür.

2.3.1 Genetik Algoritma Uygulamaları

Yerleştirme ve rotalama problemlerine genetik algoritma uygulamaları için literatürde çalışmalar daha fazladır. Ancak genetik algoritmanın doğrudan

yerleştirme-rotalama problemine uygulandığı iki çalışmaya ulaşılmıştır. Bu çalışmalar hakkında bilgiler aşağıda kronolojik olarak verilmiştir.

Özgönenç (2006) yaptığı çalışmada zaman kısıtlı yerleştirme-rotalama problemi için genetik algoritma ile çözüm bulmaya çalışmıştır. Deterministik problem için uygulama yapılmış ve test sonuçları sunulmuştur.

Yıldız (2008), evlere yemek dağıtımı yapan bir gönüllü uygulama için yerleştirme-rotalama problemini çözmüştür. Yemek dağıtımı yapılırken bütün ihtiyaç sahiplerine hizmet verme zorunluluğu yoktur. Bunun yerine hizmet verilen ev sayısının fazla olması amaçlardan biridir. Tek periyotlu bir model üzerinde çalışılmıştır. İki diziden oluşan bir genetik kod dizimi kullanılmıştır. Önerilen yöntemle literatürde yer alan örnekler için çözümler sunulmuş ayrıca bir gerçek hayat uygulaması yapılmıştır.

3.GENETİK ALGORİTMA

Bu bölümde tez kapsamında yerleştirme–rotalama probleminin çözümü için kullanılan yöntem olan genetik algoritma hakkında bilgi verilecek, algoritmanın işleyişi açıklanarak diğer çözüm yaklaşımları ile farklılıkları ortaya konacaktır.

3.1 Tanım ve Temel Kavramlar

Genetik algoritma temelleri 1970'lerde Holland tarafından atılmış canlılardaki genetik süreçlerin modellenmesi üzerine kurulu olasılıklı bir arama algoritmasıdır. Birçok bileşi eniyileme (combinatorial optimization) problemine başarıyla uygulanmış olan genetik algoritmalar bir takım varsayımlar üzerine çalışır (Goldberg, 1989). Bunlar;

- Bireyler yaşamlarını sürdürmek için mücadele halindedir. Bunlardan bir kısmı daha sonraki nesilde varlıklarını sürdürebilir.
- Varlığını sürdürebilmiş yapıların daha sonraki nesillere aktarım ihtimali daha yüksektir.
- Bir başlangıç popülasyonu tanımlanır ve bu popülasyon daha sonraki nesillerin devamlılığı için bir temel sağlar.

Genetik algoritmanın işleyişinde genetik biliminden esinlenmiştir. Genetik biliminde tanımlanmış bazı kavramlar, genetik algoritmada modellenerek kullanılmaktadır. Bu kavramlardan aşağıda bahsedilmektedir:

Gen: Anlamlı genetik bilgi taşıyan en küçük birimdir (Gen ve Cheng, 1997). Genetik algoritmada bit olarak tanımlanır, çözümün bir özelliğini ifade eder.

Kromozom (Birey): Genlerin birleşimi ile oluşur. Problemin olası çözümlerinden birini ifade eder. Genetik algoritmada bir dizi olarak tanımlanır. (Gen ve Cheng, 1997).

Popülasyon (Nesil): Popülasyon kromozomlar kümesidir. Problemin olası çözümlerinden belli bir kısmını ifade eder. Popülasyonun birey sayısı algoritmanın başında belirlenir ve sabit kalır (Çınar, 2007).

Seçim: Genetik algoritma iteratif bir çözüm yöntemidir. Seçim işlemi, belli sayıda çözümü içeren poplasyonun bir sonraki iterasyona geçerken bireylerin nasıl seçileceğini tanımlar.

Çaprazlama: Popülasyondan seçilen iki bireyin kromozomlarının bir bölümünün yer değiştirmesi ile iki yeni bireyin oluşmasıdır. Çaprazlama sonucu popülasyonda olmayan yeni bireyler oluşur (Çınar, 2007).

Mutasyon : Bir bireyin bir veya birkaç geninin değişerek farklı bir birey haline gelmesidir. Mutasyon popülasyonda çeşitliliğin oluşmasını sağlayan operatörlerden biridir (Deb, 2001).

Uygunluk fonksiyonu: Problemin amaç fonksiyonudur. Bireylerin bit değerlerine göre hesaplanır. Uygunluk fonksiyonu değeri bireyin çözüm kalitesini gösterir (Engin, 2001). Bir sonraki nesle aktarılacak bireyler uygunluk fonksiyonu değerlerine göre belirlenir.

3.2 Genetik Algoritmanın Temel Bileşenleri

Herhangi bir problem için tanımlanmış bir genetik algoritma şu beş bileşeni içermelidir (Michalewicz, 1996):

- Problemin potansiyel çözümlerini ifade edecek bir genetik gösterim,
- Potansiyel çözümlerin bir başlangıç popülasyonunu oluşturacak bir yöntem,
- Çözümlerin "uygunluk" değerlerini ölçmeyi sağlayabilecek bir değerlendirme fonksiyonu,
- Çözümlerde çeşitlilik sağlayacak genetik operatörler,
- Genetik algoritmada kullanılacak çeşitli parametrelerin (popülasyon büyüklüğü, genetik operatörlerin uygulanma olasılığı vb.) değerleri

Aşağıda bu bileşenler hakkında daha ayrıntılı bilgiler yer almaktadır.

3.2.1 Kromozom Tasarımı

Genetik algoritma ile problem çözülürken olası her bir çözümü ifade edecek bir dizi kodlaması kullanılır. Kodlamının nasıl yapıldığı iyi bir çözüme ulaşılmasını etkileyen başlıca kriterlerden biridir. İki kodlama (0-1), tam sayılı kodlama, ondalık sayılarla kodlama, permütasyon kodlama, harflerle kodlama şeklinde çeşitli kodlama teknikleri vardir. Kromozum tasarımında kodlamanın anlamlı, problem yapısına uygun olması önemlidir. Problemin olası bütün çözümleri bu kodlama yapısı içinde ifade edilebilmelidir.

3.2.2 Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması

Genetik algoritma tek bir çözüm yerine bir çözümler kümesi ile çalışır. Başlangıçta nasıl bir çözüm kümesinin seçileceği tanımlanmalıdır. Genelde rassal olarak belirlenir. İki kodlamada genelde eşit sayıda 0 ve 1 bulunacak şekilde düzenleme yapılırken diğer kodlamalarda düzgün veya normal dağılıma göre belirleme yapılmaktadır.

3.2.3 Uygunluk Fonksiyonu

Problemin amaç fonksiyonu değeri olan ulaşılmak istenen değer genetik algoritmada uygunluk fonksiyonu değeridir. Kromozom tasarımından amaç fonksiyonu değerinin nasıl bulunacağı algoritmanın başında tanımlanır. Belli bir değer en küçükleme ya da en büyükleme ulaşılmak istenen amaç olmaktadır. Bunun yanında popülasyondaki çözümlerin olası çözüm kümesi dışına çıkması durumunda bir ceza değerinin uyguluk fonksiyonuna eklenerek çözümün kalitesinin ifade edildiği çalışmalar da yapılmıştır.

Popülasyonda yer alan bireylerin uygunluk değerleri hesaplanır, en iyi uygunluk değerini (en küçükleme problemlerinde en küçük, en büyükleme problemlerinde en büyük değer) veren o iterasyondaki çözümdür. Devam eden iterasyonlarda daha iyi çözümlere ulaşılabilir. En son iterasyondaki en iyi çözüm genetik algoritma ile probleme bulunan çözümdür. Bu çözüm her zaman arama uzayındaki en iyi çözüm olmayabilir ama genellikle kabul edilebilecek kadar iyi bir çözüm olması ümit edilir.

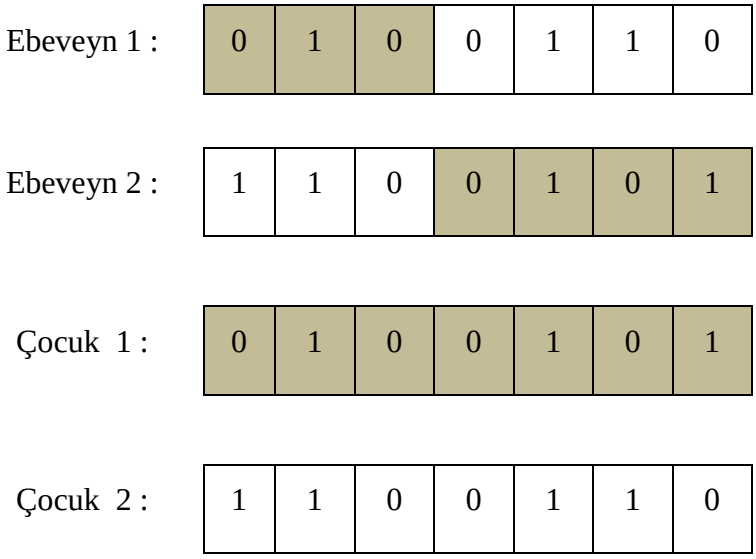
3.2.4 Genetik Operatörler

İteratif bir çözüm yöntemi olan genetik algoritmada bir nesilden bir sonraki nesil oluşturulurken bazı işlemler yapılmaktadır. Genetik algoritmada seçim, çaprazlama ve mutasyon olmak üzere 3 temel operatör bulunmaktadır:

Seçim: Bir önceki popülasyondan hangi bireylerin sonraki popülasyona aktarılacağını belirlemeye yarayan operatördür. Seçme uygunluk fonksiyonu değerine göre yapılır. Uygunluk fonksiyonu değeri daha iyi olan bireylerin bir sonraki nesilde varlıklarını sürdürebilme ihtimali daha yüksektir. Bu operatör Darwin'in doğal seçim operatörünün yapay bir modelidir (Goldberg, 1989). Genetik algoritma içinde seçim işleminin nasıl yapılacağı tanımlanmalıdır. Bunun için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. En yaygın olan uygulamalardan biri Rulet çemberidir. Popülasyonda var olan birey çeşitleri bir rulet üzerine yerleştirilir. Rulet üzerinde alacakları genişlik uygunluk fonksiyonu değeriyle orantılı olarak belirlenir. Dolayısı ile uygunluk değeri yüksek olan bireyin seçilme olasılığı daha yüksektir. Rassal sayı atanarak rulet üzerinde seçim yapılır (Goldberg, 1989). Bunun dışında rassal üreme, beklenen değer yöntemi, Boltzmann yöntemi, sıralı seçim yöntemi, turnuva yöntemi, elitisizm yöntemi, denge durumu seçim yöntemi gibi çeşitli yöntemler vardır (Altay, 2007).

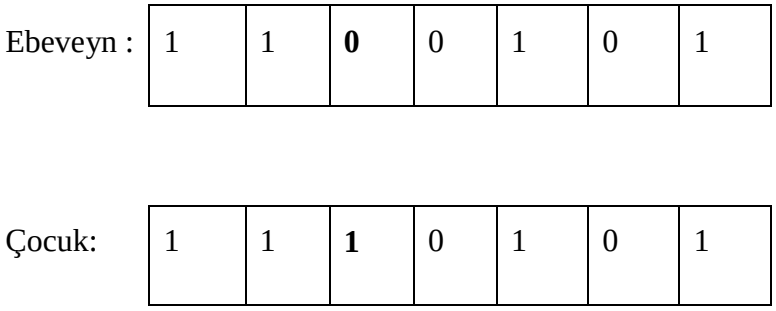
Çaprazlama: Genetik algoritmada ilk aşamada seçilen bireyler rastgele olarak eşleştirilir. Ardından çaprazlama işlemine tabi tutulur. Çaprazlama sırasında iki bireyin kromozomları kullanılanılarak yeni bireyler elde edilir. Bu sayede popülasyonda bulunmayan yeni bireyler de sonraki nesle aktarılarak çeşitlilik sağlanabilir. Çaprazlamanın en basit halinde, kromozom üzerinde rassal bir nokta seçilir, bu noktadan itibaren iki kromozomun parçaları yer değiştirilir (Şekil 4.1).

Çaprazlama kuralları belirlenirken oluşan sıkıntılardan biri, yeni bireylerin problem için geçerli bir çözüm ifade etmiyor olma durumudur. Böyle durumlarda bazen olası bir çözüm ifade etmeyen bu bireyler yeni popülasyona alınmazken, bazen bir ceza değeri daha düşük bir uygunluk değerine sahip olarak popülasyonun içinde kalabilir. Ancak bu durumu da önlemek için literatürde problem tiplerine uygun çeşitli çaprazlama yöntemleri tanımlanmıştır. Uniform çaprazlama, kısmi planlı çaprazlama, pozisyon tabanlı çaprazlama, permütasyon çaprazlama, sıralı çaprazlama bunlardan bazılarıdır (Engin, 2001).



Şekil 3.1 : Çaprazlama Operatörü

Mutasyon: Popülasyonlarda çeşitliliği sağlayan yöntemlerden biridir. İkinci bir birey olmadan rassal olarak kromozom üzerinde değişim gerçekleşir. Yine problemin yapısına göre mutasyon sonucu oluşan bireyler olabilir bir çözümü ifade etmelidir. Çeşitli mutasyon şekilleri olmakla beraber en basit ifadesiyle kromozomun üzerinde rastgele olarak seçilen bir gen değişmektedir (Şekil 4.2).



Şekil 3.2 : Mutasyon Operatörü

3.2.5 Genetik Algoritmanın Parametreleri

Algoritma işletilmeye başlamadan önce belirlenmesi gereken parametrelerdir. Bu parametrelerin uygun seçilmesi genetik algoritmanın problem çözmedeki başarısını belirler.

Çaprazlama olasılığı : Popülasyondaki herhangi bir bireyin çaprazlama işlemine tabi tutulması olasılığına çaprazlanma olasılığı denir. Genellikle 0.6 ile 1 arasında bir

sayıdir. Küçük bir oran çözüme ulaştırılmasını geciktirirken büyük oranların kullanılması en iyi çözümün gözden kaçırılmasına sebep olabilir (Vural, 2005).

Mutasyon olasılığı : Popülasyondaki herhangi bir bireyin çaprazlama işlemine tabi tutulması olasılığına çaprazlanma olasılığı denir. Mutasyon, scaprazlamaya gore daha az siklikla gerceklesen bir operatordur. Genellikle 0.5 den kucuk bir sayidir.

Popülasyon büyüklüğü : Problemin yapısına göre 10 ile 100 arasında belirlenir (Engin, 2001). Kromozom dizisinin uzun olduğu durumlarda popülasyonun büyük olması çözümü güçleştirir. Ancak belli bir büyüklük de aramanın kalitesi açısından gereklidir.

Durma kriteri: Genetik algoritma çözüm bulmaya çalışırken her zaman en iyi çözüme ulaşamayabilir, ancak yine de algoritmanın durması için bir kriter belirlenmelidir. Bu kriter popülasyondaki en iyi çözümün sabit bir değere ulaşması, çözüm için belirli bir değere yaklaşılması, belirli bir iterasyon sayısına ulaşılması problemin durma kriteri olabilir.

3.3 Genetik Algoritmanın İşleyişi

Genetik algoritmalar temelde problemi çözerken tek bir çözüm değil bir çözüm kümesi ile çalışıyor olması ile diğer çözüm algoritmalarından ayrılır. Bu sebeple algoritmanın bir çalışması ile diğeri arasında bulunacak çözümler birbirinden farklı olabilir. Birisi en iyi çözüm olabilirken, birisi sadece iyiye yakın bir çözüm ifade edebilir. Popülasyon dediğimiz bu çözüm kümesi başlangıçta rassal olarak oluşturulur. Popülasyonun içindeki bazı bireyler iyi bir çözümü ifade ederken bazıları diğerleri kadar iyi olmayabilir.

Genetik algoritmaların iteratif bir çalışma tarzı vardır. Bir popülasyondan diğerine geçilirken daha iyi çözümlerin bulunması hedeflenir. Kromozomlar bir sonraki popülasyona geçerken seçim, çaprazlama ve mutasyon operatörleri ile çeşitliliğe uğrar. Temelde yeni bireyler öncekilerden elde edilmekle birlikte, oluşan çeşitlilik ile algoritmanın arama uzayındaki birçok olası çözümü gözden geçirmesi sağlanır. Ayrıca iyi bireylerin seçme kriteri ile popülasyonda kalması sağlandığından çözümlerin daha iyiye doğru ilerlemesi sağlanmış olur.

Genetik algoritmaların işleme adımları şöyle açıklanabilir:

- Problemin olası çözümlerinin nasıl ifade edileceğinin belirlendiği kromozom tasarımı yapılır.
- Problemin uygunluk fonksiyonu belirlenir.
- Genetik algoritmanın parametreleri olan başlangıç popülasyonun büyüklüğü, çaprazlama olasılığı, mutasyon olasılığı ve durma kriteri belirlenir.
- Genellikle rassal olarak başlangıç popülasyonu oluşturulur.
- Başlangıç popülasyonundaki her birey için uygunluk fonksiyonu değeri hesaplanır.
- Üreme ya da seçim ile yeni popülasyonun bireyleri oluşturulur.
- Yeni bireyler çaprazalama ve mutasyon operatörlerine tabi tutulur.
- Yeni popülasyondaki bireylerin uygunluk değerleri hesaplanır.
- Algoritmanın durma kriterinin sağlandı ise durulur, sağlanmadı ise bir sonraki iterasyon için 6. Maddedeki işlemlere geri dönülür.
- En son popülasyondaki iyi uygunluk değerine sahip çözüm algoritmanın bulduğu çözümdür.

Genetik algoritma ile bulunan çözüm problemin global en iyi çözümü olmayabilir. Ama kabul edilebilir iyi bir çözüm olması beklenir. Mutasyon ve çaprazlamadan dolayı geniş bir arama bölgesini taradığı için local bir çözümde tıkanması olasılığı düşüktür. Aynı problem ve aynı genetik algoritma kodlaması için bile algoritmanın içindeki rassal öğelerden ötürü algoritma tekrar çalıştırıldığında tekrar aynı çözüme genellikle ulaşılmaz, bulunan çözüm daha iyi olabileceği gibi daha kötü de olabilir.

3.4 Diğer Çözüm Yaklaşımlarından Farkı

Genetik algoritmalarin probleme çözüm ararken diğer yöntemlerden farklılıkları çeşitlidir (Goldberg, 1989) Bunları şöyle sıralayabiliriz.

Genetik algoritma bir çözüm ile degil, çözüm kümesi ile çalışır. Olası çözümlerden oluşan bu küme iyi çözümler içerdiği gibi kötü çözümlerde içerebilir.

Klasik algoritmalarda, bir noktadan başlanılarak çözüm daha iyiye adım adım götürülür. Genetik algoritmada daha iyi çözüme gidileceğinin garantisi yoktur.

Çeşitlilik sağlayan genetik operatörler, iyi bireylerin popülasyonda kalmasını sağlayacak şekilde seçilen seçme kriteri iyi çözüme ulaşmayı sağlamaya yöneliktir. Buna rağmen ortalardaki bir iterasyonda iyi bir çözüm bulunurken sonlara doğru o çözüm kaybolabilir.

Klasik algoritmalar arama sırasında yerel bir en iyi çözümde takılabilir. Bunun yanısıra genetik algoritmada arama geniş bir çeşitlilik ortamında yapıldığı için bulunan yerel bir çözümden hızla uzaklaşma şansı vardır.

Genetik algoritmada problemin matematiksel yapısından uzak, çözümün kodlanmış hali üzerinde çalışılır. Türev alma; problemin kesikli veya sürekli bir yapıya sahip olması gibi durumlar algoritmanın yapısını etkilemez (Gen ve Cheng, 1997). Bilinmesi gereken sadece çözümün kodlanmış halı ve uygunluk fonksiyonunun hesaplanma şeklidir.

4.PROBLEMİN MATEMATİKSEL MODELİ

Yerleştirme- rotalama problemi, farklı çalışmalarda farklı kapsamlarda ele alınarak çeşitli şekillerde tanımlanmıştır. Ele alınan tesis seviyesi ana depoya geri dönüş olup olmaması gibi özelliklerden dolayı problemin matematiksel modeli farklılık göstermektedir.

Bu bölümde, bu tez kapsamında ele alınan problemin matematiksel modeli sunulacaktır. Yapılan varsayımlar açıklandıktan sonra, problemin değişken ve parametreleri verilecek; ardından matematiksel modele yer verilerek sözel olarak model açıklanacaktır.

4.1 Problemin Tanımı

Yerleştirme-rotalama problemi literatürde çok çeşitli şekillerde tanımlanmıştır. Bu tez kapsamında ele alınan problemin tanımı şu şekildedir: Yerleştirme -rotalama problemi çözülerek tesis kurulacak yerler ve bu tesislerden dağıtım yapacak olan araçların rotaları belirlenecektir. Aday tesisler ve müşterilerin yerleri bilinmektedir. Müşterilerin talepleri ve dağıtım araçlarının kapasiteleri de başlangıçta bilinmektedir. Problemin çözümü ile belirlenen değişkenlerle aday tesis yerlerine tesis kurulup kurulmayacağı ve sistem üzerindeki iki nokta arasında gidiş geliş yapılıp yapılmayacağı bulunacaktır.

4.2 Varsayımlar

Yerleştirme rotalama problemi, genel olarak şu şekilde tanımlanabilir. Aday tesis yerleri ve araç filosunun yapısı ile müşterilerin yerleri ve talep miktarları bilinmektedir. Problemde amaç olarak; hangi yerlerde tesis kurulacağı ile müşteriler arasında dağıtımın nasıl yapılacağı toplam maliyeti en küçüklemeye çalışarak bulunmaya çalışılır.

Problemin sınırlarını tanımlamak için belirli varsayımlar yapılmalıdır:

- İlk olarak problemin hangi seviyede ele alınacağının belirlenmesi gerekir. Bu çalışmada problem tek seviyeli olarak ele alınmış; tesisler ve hizmet vereceği müşteriler sistemde yer almaktadır. İki seviyeli olan modellerde ise üretim tesisi, dağıtım merkezi ve müşteriler modelde yer almaktadır.
- Problemin amacı toplam maliyetin en küçüklemesi olarak belirlenmiştir.
- Bütün müşterilerin yerleri belirlidir ve hepsine hizmet verilmelidir.
- Müşteri talepleri deterministiktir.
- Kurulacak tesis sayısında kısıtlama yoktur.
- Tesislerde kapasite kısıtı yoktur.
- Her araç müşterilere hizmet verdikten sonra ayrıldığı depoya geri dönmelidir.
- Araçlar birbirinin aynı ve kapasite kısıtları belirlenmiştir.
- Bir müşteri talebi araç kapasitesinden fazla olmadığı kabul edilmektedir.
- Bir müşterinin talebi tek bir tesisten karşılanır.
- Sistemde tek bir çeşit ürünün dağıtımının yapıldığı kabul edilmektedir.

4.3 Amaç ve Kısıtlar

Problemin matematiksel olarak ortaya konacak modelini sözel olarak şu şekilde ifade edebiliriz :

Amaç : Sistemdeki tesis yerleştirme, üretim ve araç rotalama maliyetlerinden oluşan toplam maliyeti en küçüklemektir.

Kısıtlar :

- Dağıtım araçlarının kapasite kısıtları aşılmamalıdır.
- Bir müşteri sadece bir araç tarafından hizmet verilmelidir.
- Bir araç bir tesisten çıkıp müşterileri dolaştıktan sonra aynı tesise geri dönmelidir.

Parametler :

- Aday tesis yerleri

- Müşteri yerleri
- Müşteri talep miktarları
- Tesis kuruluş maliyeti
- Tesisler için sabit maliyetler
- Tesisler için birim üretim maliyeti
- Araçlar için birim taşıma maliyeti

Kararlar :

- Nerelere tesis kurulacağı,
- Hangi müşterinin hangi tesisten servis alacağı,
- Her aracın hizmet vereceği güzergah.

4.4 Model

Problemin matematiksel modellenmesinde Perl ve Daskin (1985)'in modeli temel alınmıştır.

Kümeler:

I : Müşteriler kümesi

J : Aday tesisler kümesi

P : Sistemdeki tüm noktalar kümesi = $I \cup J$

K : Araçlar kümesi

Parametreler:

c_{ij} = i den j ye mesafe $i \in P, j \in P$

d_i = i müşterisinin talebi, $i \in I$

f_j = j tesisini kurmak için gerekli sabit maliyet, $j \in J$

v_j = j tesisininde bir ürünü üretmek için gerekli değişken maliyet, $j \in J$

W_k= k aracının kapasitesi $k \in K$

t_k= k aracı için bir birim yolun maliyeti

Karar değişkenleri:

$$X_j = \begin{cases} 1, & Eğer\ j\ de\ bir\ tesis\ kuralacaksa\ , j \in J \\ 0, & diğer\ durumlarda \end{cases} \quad \textbf{(3.1)}$$

$$Z_{ijk} = \begin{cases} 1, & Eğer\ k\ aracı\ i\ den\ j\ ye\ gidiyorsa\ , i,j \in P \\ 0, & diğer\ durumlarda \end{cases} \quad \textbf{(3.2)}$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1, & Eğer\ i\ tesisinin\ talebi\ j\ den\ karşılanıyorsa\ , j \in J, i \in I \\ 0, & diğer\ durumlarda \end{cases} \quad \textbf{(3.3)}$$

Model:

$$\min \quad \sum_{j \in J} f_j X_j + \sum_{j \in J} v_j \left\{ \sum_{i \in I} d_i Y_{ij} \right\} + \sum_{k \in k} t_k \left\{ \sum_{j \in P} \sum_{i \in P} c_{ij} Z_{ijk} \right\} \quad \textbf{(3.4)}$$

$$s.t. \quad \sum_{k \in K} \sum_{j \in P} Z_{ijk} = 1 \qquad \forall\, i \in I \quad \textbf{(3.5)}$$

$$\sum_{i \in I} d_i \sum_{j \in P} Z_{ijk} \leq W_k \qquad \forall k \in K \quad \textbf{(3.6)}$$

$$\sum_{j \in P} Z_{ijk} - \sum_{j \in P} Z_{jik} = 0 \qquad \forall\, i \in P, \quad \forall\, k \in K \quad \textbf{(3.7)}$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in V^c} \sum_{k \in K} Z_{ijk} \geq 1 \qquad \forall\, V \subset P: \quad J \subset V \quad \textbf{(3.8)}$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Z_{ijk} \leq 1 \qquad \forall\, k \in K \quad \textbf{(3.9)}$$

$$\sum_{m \in P} Z_{imk} + \sum_{h \in P} Z_{jhk} - Y_{ij} \leq 1 \qquad \forall i \in I;\ \forall j \in J;\ \forall k \in K \tag{3.10}$$

$$X_j \in \{0,1\} \qquad \forall j \in J \tag{3.11}$$

$$Y_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in I;\ \forall j \in J \tag{3.12}$$

$$Z_{ijk} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in I;\ \forall j \in J;\ \forall k \in K \tag{3.13}$$

Matematiksel modeli şu şekilde açıklayabiliriz:

- tesis kurma maliyeti, üretim için tesis içindeki değişken maliyet ve ulaştırma maliyetlerinden oluşan toplam maliyet, en küçüklenmeye çalışılmaktadır (3.4).

Problemin kısıtları ise şu şekilde sıralanabilir:

- her müşteri sadece bir rotadan hizmet alır (3.5),
- bir aracın rotası belirlenirken, araç kapasite kısıtının aşılmamasına dikkat edilmelidir (3.6).
- Bir rotanın tanımlanabilmesi için bir araç geldiği bir noktadan ayrılmalıdır (3.7).
- Her rota mutlaka bir tesisten geçmelidir (3.8), sadece müşterilerden oluşan bir rota geçerli olmayacaktır. Bütün aday tesisleri içeren her alt küme için müşterilere giden en az bir rota tanımlanması kısıtı ile sadece müşterilerden oluşan bir rotanın oluşması engellenmiş olur.
- Yine benzer şekilde her rota bir müşteri ile ilişkilidir(3.9), sadece tesislerden oluşan bir rota tanımlanamayacağı gibi, bir müşterinin herhangi bir rotaya bağlı olmama durumu da mümkün değildir.
- Bir yol hem i müşterisi hem de j tesisinden geçiyorsa i müşterisi j tesisinden hizmet alıyor olmalıdır(3.10).

- En son olarak da modelde 0-1 tamsayılı değişken olma kısıtları tanımlanmıştır (3.11-3.13).

5.GENETİK ALGORİTMA İLE ÇÖZÜM

Bu bölümde yerleştirme rotalama problemine genetik algoritma ile çözüm için önerilen yöntem açıklanacak, ardından literatürde yer alan örnek problemler için bu yaklaşımla elde edilen sonuçlara yer verilecektir.

5.1 Çözüm Yaklaşımı

Bu çalışmada yerleştirme-rotalama problemi için 3 aşamalı bir çözüm yaklaşımı sunulmuştur. İlk aşamada genetik 0-1 kodlama ile tesis yerleştirmesi ile ilgili bireyler oluşturulur. Dizide 1 değeri tesis kurulması, 0 değeri tesis kurulmaması kararını ifade etmektedir. Bu şekilde oluşturulan popülasyondaki her birey için tesis açılmaya karar verilen aday tesis yerlerine müşteriler atanır. Her tesiste atanan müşteriler en yakın olandan başlanılarak turlara atanmaktadır. Araç kapasitesi dolunca bir sonraki tura geçilir. Bir tura atanan müşteriler yine genetik algoritma ile gezgin satıcı problemi gibi düşünülerek çözülerek, en düşük maliyetli tur planlaması yapılır. Bu şekilde ilk aşamadaki her kurulacak tesis için ikinci bir kez genetik algoritma uygulanmış olmaktadır.

Uygulanan yaklaşım, olası birçok çözümü aşamalı bir yaklaşım içerisinde değerlendirmektedir. Genetik algoritma ile ilk aşamada yerleştirme ikinci aşamada rotalama için etkinlik sağlanması hedeflenmiştir.

Baretto (2008) literatürde yer alan kesin çözümü bilinen ya da bilinmeyen problemlerin veri setlerini bir araya getirerek yerleştirme-rotalama problemi için bir veritabanı oluşturmuştur. Bu veritabanının boyutu çok büyük değildir ancak kesin çözümü bilienen problemler oldukça kısıtlıdır. Bu tez kapsamında önerilen yaklaşım, Barreto (2008)'de veri setleri sunulmuş olan problemler için uygulanmıştır. Çözüm yaklaşımı, kesin çözümü bilinen problemlericin bilinen çözümu elde ederken, büyük örnekler için bulunan çözümler Çizelge 5.3'de sunulmuştur.

5.2 Kullanılan Parametreler

Çözüm için iki aşamalı bir genetik algoritma sunulmuştur. Bu bölümde uygulanan genetik algoritma için kullanılan parametreler yer almaktadır.

İlk aşama için yerleştirme problemi ele alınmış, aday tesis yerleri için kromozom yapısı 0-1 tamsayı kodlama ile kodlanmıştır.

İlk aşama için genetik algoritma parametreleri şöyledir:

- Çözümlerin kodlanması 0-1 kodlama ile yapılmıştır. "0" değeri o aday tesis yerinde tesis kurulmayacağını ifade ederken, "1" değeri tesis kurulacağını ifade etmektedir.
- Başlangıç popülasyonu rassal olarak oluşturulmuştur.
- Popülasyon büyüklüğü 20 olarak belirlenmiştir.
- Mutasyon işlemi tek noktada rassal olarak oluşturulmuştur.
- Mutasyon oranı 0.1 alınmıştır.
- Çaprazlama için tek noktalı çaprazlama yöntemi kullanılmıştır. Burada oluşan bütün çözümler olurlu bir çözümü ifade etmektedir.

İkinci aşamada bir turdaki müşteriler gezgin satıcı problemi gibi düşünülerek ele alınmıştır. Burada kodlama permütasyon kodlama olarak ele alınmıştır. Bir dizideki bütün numaralar uygulanan operatörlere rağmen yine bir sonraki aşamada yer almalıdır. Sırası değişik olabilir ancak hizmet verilmeyen müşteri olmamalıdır. Burada uygulanan operatörler bu sebeple ilk aşamadana farklı olmuştur.

İkinci aşama için,

- Çözümlerin kodlanması permütasyon kodlama ile yapılmıştır. Her aşamada atanan tesisler, tesis sayısına göre yeniden numaralandırılmış, böylece daha kolay kodlama sağlanmıştır.
- Başlangıç popülasyonu rassal olarak oluşturulmuştur.
- Popülasyon büyüklüğü 50 olarak belirlenmiştir.
- Kısmi planlı çaprazlama uygulanmıştır.

5.3 Çözümler ve Değerlendirme

Bu bölümde Barreto(2008)'de sunulan veri kümesi içinden biri ele alınarak çözüm yaklaşımı ayrıntılı olarak sunulacaktır. Ele alınan problem 12 müşteri 2 aday tesis yeri bulunan küçük bir örnektir.

Müşteriler ile ilgili veriler Çizelge 5.1'de, tesisler ile ilgili veriler Çizelge 5.2'de yer almaktadır. Ayrıca veri olarak araç kapasite kısıtı 140 olarak belirlenmiştir.

Tesis ve müşterilerin yerleşimi Şekil 5.1'de verilmiştir.

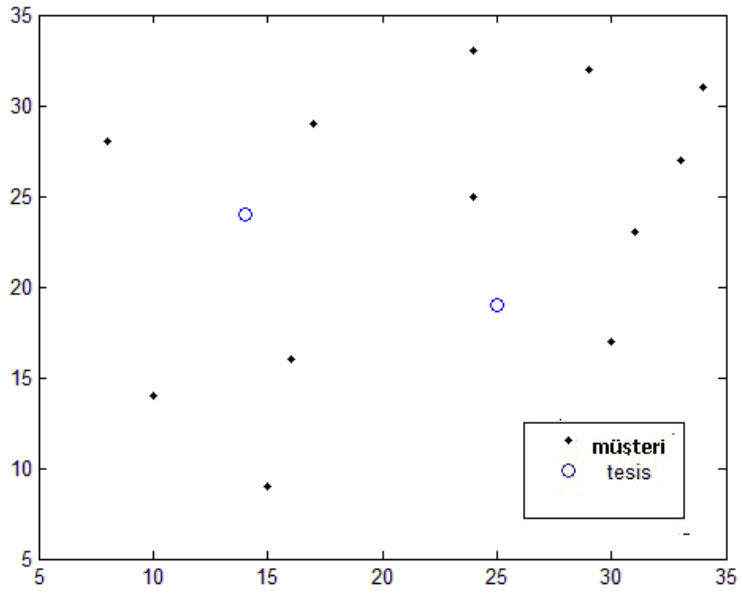
Çizelge 5.1 : Müşteriler ile ilgili veriler (Baretto, 2008)

Müşteri No	X - kordinat	Y-kordinat	Talep
1	34	31	20
2	29	32	20
3	24	33	20
4	17	29	20
5	8	28	20
6	33	27	20
7	24	25	20
8	31	23	20
9	30	17	20
10	16	16	20
11	10	14	20
12	15	9	20

Çizelge 5.2 : Aday tesis yerleri ile ilgili veriler (Baretto, 2008)

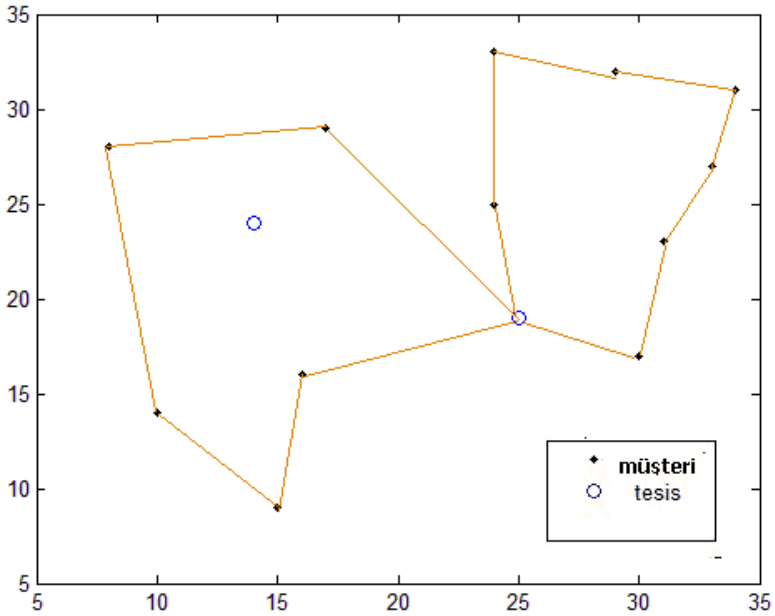
Tesis No	X - kordinat	Y-kordinat	Kuruluş Maliyeti	Değişken Maliyet
1	25	19	100	0.74
2	14	24	100	0.74

Bu örnekte iki tane aday tesis yeri olduğu için olası kromozom yapısı 00, 01, 10 ve 11 şeklinde olacaktır. Bu örnekte az sayıda tesis bulunduğu için bütün olası tesis açma durumları tek tek denenebilir. Her çözüm için müşteriler en yakın tesise atacak şekilde çözümler bulunmuş ve bunlar için kapasite sınırını göz önünde bulundurularak rota atamaları yapılmıştır. Bir rota içinde aracın seyahat güzergahı ise gezgin satıcı problemi olarak ele alınıp genetik algoritma ile bulunmuştur. Problemin çözümü Şekil 5.2'de verilmiştir. Bu problem için matemeatiksel programlama ile bulunacak kesin çözüm de bu çözüm olmaktadır.



Şekil 5.1 : Aday tesis yerleri ve müşterilerin koordinat düzlemi üzerinde gösterimi

Baretto (2008)'de yer alan diğer bazı problemler için de çözüm bulunmaya çalışılmıştır. Çözülen diğer problemler ile ilgili veriler Çizelge 5.3'de sunulmuştur. Bu daha büyük problemler için kesin çözüm bilinmemekle beraber, bilinen alt sınır ve üst sınır değerleri Çizelge 5.3'de verilmiştir.



Şekil 5.2 : Çözümün kordinat düzleminde gösterimi

Sunulan çözüm yaklaşımı ile elde edilen sonuçlara Çizelge 5.4'de yer verilmiştir. Ayrıca bulunan sonuçların, bilenen sonuçlardan ne kadar gelişme sağladığı da Çizelge 5.4'de yer almaktadır.

Çizelge 5.3 : Çözülen problemler icin veriler (Baretto, 2008)

	n (Müşteri Sayısı)	m (Aday Tesis Sayısı)	Araç Kapasitesi	Alt sınır	Üst sınır
Christofides69-50x5	50	5	160	549.4	582.7
Christofides69-75x10	75	10	140	744.7	886.3
Christofides69-100x10	100	10	200	788.6	889.4
Daskin95-88x8	88	8	9000000	356.4	384.9
Daskin95-150x10	150	10	8000000	43406	46642.7
Gaskell67-32x5	32	5	8000	556.5	571.7
Perl83-55x15	55	15	120	1074.8	1136.2
Perl83-85x7	85	7	160	1568.1	1656.9
Or76-117x14	117	14	150	12048.4	12474.2
Min92-134x8	134	8	850		6238

Çözülen problemler için bilinen çözümlerden yüzde 2-7 araşı iyileşme sağlandığı gözlenmiştir. Bununla birlikte alınan örnek problemlerden birinde daha kötü bir sonuca gidilmiştir. Genel olarak çözümlerde iyileşme sağlandığı söylenebilir. Bu da başlangıçta genetik algoritma ile ulaşılmaya çalışılan hedefe varıldığını göstermektedir.

Çizelge 5.4 : Sunulan yaklaşım ile bulunan çözümler ve iyileşme yüzdeleri

	n	m	Bulunan çözüm	Gelişme (%)
Christofides69-50x5	50	5	570.7	2.1
Christofides69-75x10	75	10	845.3	4.6
Christofides69-100x10	100	10	870	2.2
Daskin95-88x8	88	8	370.5	3.7
Daskin95-150x10	150	10	43322.6	7.1
Gaskell67-32x5	32	5	560.6	1.9
Perl83-55x15	55	15	1081.6	4.8
Perl83-85x7	85	7	1609.3	2.9
Or76-117x14	117	14	12940.6	-3.7
Min92-134x8	134	8	5922.7	5.1

6.SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Küreselleşen dünyada lojistik faaliyetler rekabet için önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Lojistik faaliyetler değerlendirilirken maliyetin en küçüklenmesi için yerleştirme ve rotalama faaliyetlerinin iyi bir şekilde planlanması gerekmektedir. Bu iki süreç birbirini etkiyen bir yapıya sahiptir. Bu sebeple iki kararın etkileşimli olarak alınması önemlidir. Yerleştirme- rotalama problemi bu iki önemli kararı tek bir model içinde sunarak bu imkanı sağlamaktadır.

Tesis yerleştirme ve müşterileri o tesislere atama, dağıtım yönetimi için ilk başta yeterli görülmüştür. Ancak müşteri taleplerinin çoğu zaman araç dolusundan daha az olması rotalama kararlarının da ele alındığı yerleştirme-rotalama problemini incelemeyi gerekli kılmıştır.

Yerleştirme kararı daha stratejik, rotalama kararları taktik seviyede kararlar olmasından dolayı bu iki kararın aynı anda alınmasının mümkün olmadığı görüşü de sunulmuştur. Ancak henüz kurulmamış tesisler için gözden geçirme yapılması gerektiğinde bu problem tek basına yerleştirme– atama probleminden daha iyi çözüm verecektir.

Bu çalışmada yerleştirme rotalama problemi için genetik algoritma ile bir çözüm yaklaşımı sunulmuş, literatürde yer alan örnek problemler bu algoritma ile çözülmeye çalışılmıştır. Genel olarak iyi çözümler elde edilmiştir.

Bu çalışmada sunulan algoritma az sayıda örnek problem için test edilebilmiştir. Bunun sebebi literatürde karşılaştırma yapılabilecek örnek verilerin az sayıda olmasıdır. Daha fazla örnek için birkaç yöntemi kıyaslayacak çalışmalar yapılabilir.

Yerleştirme- rotalama problemi literatürde gerçek veriler ile de çalışılmış bir problemdir. Aynı uygulama genetik algoritma ile çözüm için de yapılabilir. Bunun için gerçek verinin yapısına uygun bir kromozom tasarımı yapılmalı, algoritmada problemin özelliğine göre değişiklikler yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

Albareda-Sambola, M., Díaz, J. A. ve Fernández, E., 2005. A compact model and tight bounds for a combined location-routing problem, Computer and Operations Research, 32(3), 407-428.

Altay, A., 2007. Genetik algoritma ve bir uygulama, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Balakrishnan, A., Ward, J.E. ve Wong, R.T., 1987. Integrated facility location and vehicle routing models: Recent work and future prospects, *American Journal of Mathematical and Management Sciences*, 7, 35–61.

Barreto, S., Ferreira C. ve Paixao, J., 2007. Using clustering analysis in a capacitated location-routing problem, *European Journal of Operational Research,* 179, 968–977.

Barreto, S.S., 2008. Location-Routing Problems (LRP), http://sweet.ua.pt/~ iscf143/ private/SergioBarretoHomePage.htm.

Berger, R. T., Coullard, C. R. ve Daskin, M. S., 2007. Location-Routing Problems with Distance Constraints, *Transportation Science*, 41, 29-43.

Berger, R., 1997. Location-Routing Models for Distribution System Design. *Ph.D. Dissertation,* Department of Industrial Engineering and Management Sciences, Northwestern University, Evanston, IL.

Berman, 0., Jaillet, P. ve Simchi-Levi, D., 1995. Location-routing problems with uncertainty. *In: Drezner, Z. (Ed.), Facility Location: A Survey of Applications and Methods,* Springer-Verlag, New York, NY, 427-453.

Chien, T.W., 1993. Heuristic Procedures for Practical Sized Uncapacitated Location-Capacitated Routing Problems, *Decision Sciences*, 24 (5), 995-1021.

Çınar, D., 2007. Hidroelektrik enerji üretiminin hibrid bir model ile tahmini, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Deb, K., 2001. Multiobjective optimizzation using Evalutionary Algorithms, John Wiley & Sons, England.

Engin, O., 2001. Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma İle Çözüm Performansının Arttırılmasında Parametre Optimizasyonu, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Gen, M. ve Cheng, R., 1997. Genetic Algorithms and Engineering Design, John Wiley & Sons, Inc, NY.

Goldberg, D.E., 1989. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley, Boston.

Laporte, G., 1988. Location Routing Problems in Vehicle Routing: Methods and Studies by Golden B.L., Assad A.A., North Holland Publishing, Amsterdam, 163-198.

Laporte, G., Nobert, Y. and Taillefeer, S., 1988. Solving a Family of Multi-DepotVehicle Routing and Location-Routing Problems, *Transportation Science*, 22, 161-172.

Laporte, G., Nobert, Y., Arpin, D., 1986. An exact algorithm for solving a capacitated location-routing problem, *Annals of Operations Research*, 6, 293-310.

Laporte, G., Nobert, Y., Pelletier, P., 1983. Hamiltonian location problems, *European Journal of Operational Research*, 12, 82-89.

Laporte, G., Nobert, Y., ve Taillefer, S., 1988. Solving a family of multi-depot vehicle routing and location-routing problems, *Transportation Science*, 22, 161–172.

Laporte, G. ve Nobert, Y., 1981. An exact algorithm for minimizing routing and operating costs in depot location, *European Journal of Operational Research*, 6, 224-226.

Lenstra, J.K. ve Rinnooy Kan, **A.H.G.,** 1981. Complexity of vehicle routing and scheduling problems, *Networks*, 11, 221-227.

Lopes, R. B., Barreto, S., Ferreira, C., and Santos, B. S., 2008b. A decision-support tool for a capacitated location-routing problem, *Decis. Support Syst.* 46, 366-375.

Lopes, R. B., Ferreira C., Santos B. S., Barreto S., 2008a. A taxonomical analysis, current methods and objectives on location-routing problems, XVII International Meeting on Locational Analysis, Elche, Spain.

Michalewicz, Z., 1996. Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs, Springer-Verlag, New York, NY.

Min, H., Jayaraman, V. and Srivastava, R., 1998. Combined Location-Routing Problems: A Synthesis and Future Research Directions, *European Journal of Operational Research*,108, 1-15.

Nagy G., Salhi S., 2007. Location-routing: Issues, models and methods, European Journal of Operational Research, 177, 649–672.

Owen, S.H. ve Daskin, M. S., 1998. Strategic facility location: A review, *European Journal of Operational Research*, 111(3), 423-447.

Özgönenç H., 2006, A Genetic Algorithm for the Location-Routing Problem with Time Windows, *M. Sc. Thesis*, Orta Dogu Teknik Universitesi, Ankara.

Perl, J. and M. S. Daskin, 1985. A Warehouse Location-Routing Problem, *Transportation Research*, 19B:5, 381-396.

Tüzün, D., and Burke, L.I., 1999. A Two-phase Tabu Search Approach to the Location Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, 116, 87-99.

Vural, M., 2005. Genetik Algoritma Yöntemi ile Toplu Üretim Planlama, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Webb, M. H. J., 1968. Cost Functions in the Location of Depots for Multiple-Delivery Journeys, *Operational Research Quarterly*, 19,311-320.

Wu, T.-H., C. Low, and J.-W. Bai, 2002. Heuristic Solutions to Multi-Depot Location-Routing Problems, *Computers and Operations Research*, 29, 1393-1415.

Yıldız, H., 2008. Methodologies and Applications forScheduling, Routing & Related Problems , *Ph.D. Dissertation*, Carnegie Mellon University, IL, USA.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Fatma AKPINAR

Doğum Yeri ve Tarihi: Kargı/Çorum – 27.07.1981

Adres: Eyüp/İstanbul

Lisans Üniversite ve Bölüm : Yıldız Teknik Üniversitesi - Endüstri Mühendisliği