

**KAPASİTESİZ TESİS YERİ SEÇİMİ PROBLEMİ İÇİN
KARINCA KOLONİSİ EN İYİLEMESİ ALGORİTMASINA DAYALI
SEZGİSEL BİR YAKLAŞIM**

Emre ÇALIŞKAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2008
ANKARA**

Emre ÇALIŞKAN tarafından hazırlanan KAPASİTESİZ TESİS YERİ SEÇİMİ PROBLEMİ İÇİN KARINCA KOLONİSİ EN İYİLEMESİ ALGORİTMASINA DAYALI SEZGİSEL BİR YAKLAŞIM adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Fulya ALTIPARMAK
Tez Danışmanı,
Endüstri Mühendisliği A.B.D, G.Ü.

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Berna DENGİZ (Başkan)
Endüstri Mühendisliği A.B.D., B.Ü.

Prof. Dr. Fulya ALTIPARMAK
Endüstri Mühendisliği A.B.D., G.Ü.

Prof. Dr. Zülal GÜNGÖR
Endüstri Mühendisliği A.B.D., G.Ü.

Tarih :18/06/2008

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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 bildiririm.

Emre ÇALIŞKAN

**KAPASİTESİZ TESİS YERİ SEÇİMİ PROBLEMİ İÇİN
KARINCA KOLONİSİ EN İYİLEMESİ ALGORİTMASINA DAYALI
SEZGİSEL BİR YAKLAŞIM
(Yüksek Lisans Tezi)**

Emre ÇALIŞKAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2008**

ÖZET

Kapasitesiz tesis yeri seçimi problemi (KTYP), üzerinde en çok çalışılan tesis yeri seçimi problemlerinden birisidir. KTYP, aday tesisler arasından tesis açma sabit maliyeti ve açılan tesislerden müşteri taleplerini karşılama maliyeti toplamını en azlayacak şekilde açılacak olan tesislerin bir kümesinin belirlenmesi problemidir. KTYP, NP-zor problemler sınıfında yer aldığından dolayı bu problemin çözümü için literatürde genel amaçlı sezgisellere dayalı çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Bu tezde, KTYP için karınca kolonisi eniyilemesine dayalı bir sezgisel algoritma önerilmiştir. Önerilen algoritmanın performansı, test problemleri kullanılarak literatürdeki diğer sezgisel algoritmalar ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Deneysel analiz, bu tezde önerilen algoritmanın literatürdeki diğer sezgisel algoritmalar kadar etkin ve hızlı bir algoritma olduğunu göstermiştir.

Bilim Kodu : 906.1.141
Anahtar Kelimeler : Kapasitesiz Tesis Yeri Seçimi Problemi, Karınca Kolonisi En İyilemesi, Yerel Arama
Sayfa Adedi : 72
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Fulya ALTIPARMAK

**A HEURISTIC APPROACH BASED ON ANT COLONY OPTIMIZATION
ALGORITHM FOR SOLVING UNCAPACITATED FACILITY LOCATION
PROBLEM
(M.Sc. Thesis)**

Emre ÇALIŞKAN

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
June 2008**

ABSTRACT

The uncapacitated Facility location problem (UFLP) is one of the most widely studied location problems in combinatorial optimization. The UFLP seeks to determine a set of facilities to open such that all customers are serviced by a Facility and the sum of the fixed costs of opening and operating the facilities and the variable costs of supplying the customers from the opened facilities is minimized. Since UFLP is NP-hard problem, various algorithms based on meta-heuristics have been proposed to solve this problem in the literature. In this thesis, a heuristic algorithm based on ant colony optimization for the UFLP is proposed. The performance of the proposed heuristic algorithm, which is the first application of ACO to the UFLP, is investigated using benchmark problems and compared with other heuristic algorithms in the literature. The experimental analysis indicates that the proposed algorithm is an effective and efficient as well as other heuristic algorithms in the literature.

Science Code : 906.1.141
Keywords : Uncapacitated Facility location problem, Ant colony optimization, Local search
Page number : 72
Adviser : Prof. Dr. Fulya ALTIPARMAK

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren sayın hocam Prof. Dr. Fulya ALTIPARMAK'a, yine çalıőmam boyunca kıymetli bilgisinden yararlandığım Arő. Gör. İsmail KARAOğLAN'a ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme, ayrıca yüksek lisans eğitimim ve tez çalıőmalarım süresince maddi desteğinden dolayı TÜBİTAK'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. TESİS YER SEÇİMİ PROBLEMLERİ.....	5
2.1. Tesis Yer Seçimi Problemlerinin Sınıflandırılması	5
2.2. Kapasitesiz Tesis Yer Seçimi Problemi	7
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	10
3.1. Kesin Algoritmalar.....	11
3.2. Sezgisel Algoritmalar.....	12
4. KARINCA KOLONİSİ ENİYİLEME ALGORİTMASI	18
4.1. Gerçek Karınca Kolonisinin Yiyecek Bulmadaki Tavrı	18
4.2. KKE Algoritmasının Temel Yapısı.....	19
4.2.1. Problem gösterimi	20
4.2.2. Karıncaların davranışları	20
4.2.3. KKE algoritması	22
4.3. KKE Algoritmaları.....	23
4.3.1. Karınca sistemi.....	23

	Sayfa
4.3.2. MAX-MIN karınca sistemi	26
4.3.3. Karınca kolonisi sistemi	28
4.3.4. İkili düzende KKE.....	30
5. KTYP İÇİN GELİŞTİRİLEN ALGORİTMA	32
5.1. Çözüm Gösterimi ve Kurulması	32
5.2. Başlangıç Feromen Değerlerinin Belirlenmesi	34
5.3. Amaç Fonksiyonu Değerinin Hesaplanması.....	36
5.3.1. Net maliyet değişim hesabı için örnek.....	39
5.4. Yol Kurma.....	42
5.5. Yerel Arama Algoritması.....	43
5.6. Feromen Değerlerinin Güncellenmesi	45
5.7. Durdurma Koşulu.....	47
5.8. KTY_KKA Algoritması.....	47
6. DENEYSEL ÇALIŞMA	49
6.1. Test Problemleri.....	49
6.2. KTY_KKA Algoritması Parametre Değerlerinin Belirlenmesi.....	51
6.3. KTY_KKA için Performans Analizi.....	54
6.3.1. Performans ölçütleri.....	55
6.3.2. KTY_KKA ile GA ve KSE'nin karşılaştırılması.....	55
6.3.3. KTY_KKA ile ÇBKS'nin karşılaştırılması	56
7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	65
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	72

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5. 1. EKLE, ÇIKAR ve EKLE/ÇIKAR ile elde edilen komşu çözümler	35
Çizelge 5. 2. Örnek problem için maliyet verileri.....	40
Çizelge 5. 3. Talep noktalarına en yakın 1., 2. ve 3. tesislerin kümesi	40
Çizelge 5. 4. Yol Kurma Algoritması ile çözümlerin elde edilmesi	43
Çizelge 5. 5. Feromen değerlerinin güncellenmesinde kullanılan	47
Çizelge 6. 1. KTY_KKA, GA ve KSE için OES değerleri.....	56
Çizelge 6. 2. ORLIB test setinde KTY_KKA ve ÇBKS için OÇS değerleri.....	58
Çizelge 6. 3. BK test setinde KTY_KKA ve ÇBKS için OES ve OÇS değerleri.....	59
Çizelge 6. 4. M* test setinde KTY_KKA ve ÇBKS için OÇS değerleri.....	60
Çizelge 6. 5. FPP test setinde KTY_KKA ve ÇBKS için OES ve OÇS değerleri	60
Çizelge 6. 6. GAP test setinde KTY_KKA ve ÇBKS için OES ve OÇS değerleri ...	61
Çizelge 6. 7. GHOSH test setinde KTY_KKA ve ÇBKS için ortalama maliyet ve OÇS değerleri.....	62
Çizelge 6. 8. Bilinen en iyi maliyeti iyileştirilen problemler ve yeni en iyi maliyet değerleri	63
Çizelge 6. 9. MED test setinde KTY_KKA ve ÇBKS için OES ve OÇS değerleri ..	64

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4. 1. Karınca deneyinde kullanılan köprü	18
Şekil 4. 2. KKE algoritmasının temel yapısı.....	22
Şekil 5. 1. KTY_KKA'de Karıncalar için ağırlıklı graf.....	33
Şekil 5. 2. Başlangıç feromen değerlerinin elde edilmesi için algoritma.....	36
Şekil 5. 3. Yol kurma algoritması	44
Şekil 5. 4. Yerel arama algoritması.....	45
Şekil 5. 5. KTY_KKA Algoritması	48
Şekil 6. 1. Karınca sayısının çözüm kalitesi üzerindeki etkisi.....	52
Şekil 6. 2. Buharlaştırma oranının çözüm kalitesi üzerindeki etkisi.....	53
Şekil 6. 3. Başlangıç feromen değerlerini atama yöntemlerinin KTY_KKA'nin performansındaki etkisi.....	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simge ve kısaltmalar açıklamaları ile aşağıda verilmiştir.

Simgeler	Açıklama
I	Müşterilerin kümesi
J	Aday tesis yerlerinin kümesi
f_j	j . aday yere tesis açmanın sabit maliyeti, $j \in J$
h_i	i müşterisinin talebi, $i \in I$
c_{ij}	j aday tesis yerinden i müşteri arasında birim taşıma maliyeti
X_j	Karar değişkeni 1, j aday tesis yerine tesis açılırsa; 0, diğer durumda
Y_{ij}	j aday tesis yerinden i müşterisinin talebinin karşılanma oranı
$G = (V, E)$	$ V $ düğüme ve $ E $ hatta sahip bir graf
τ	Feromen değeri
τ_i	Düğüm için feromen değeri
τ_{ij}	Hatlar için feromen değeri
η	Sezgisel değer
η_i	Düğüm için sezgisel değer
η_{ij}	Hatlar için sezgisel değer
M^k	Karınca k 'nin hafızası
X_s^k	Karınca k için başlangıç durumu
b^k	Bitiş koşulu
$N^k(x_r)$	x_r durumunun komşusu
m	Karınca sayısı
C^{nn}	Sezgisel çözümün amaç fonksiyonu değeri
τ_0	Feromen başlangıç değeri
p^k_{ij}	Karınca k 'nin i düğümünden j düğümüne geçiş olasılığı

Simgeler	Açıklama
α	Feromen değerlerinin görelî etkisi
β	Sezgisel bilginin görelî etkisi
N_i^k	i düğümünde bulunan karınca k için henüz ziyaret etmediği düğümlerin kümesi
ρ	Feromen buharlaşma oranı
$\Delta\tau_{ij}$	Karınca k 'nin çözüm kurarken (i, j) hattına bıraktığı feromen değer
S^k	Karınca k 'nin kurduğu çözüm
C^k	S^k 'nin amaç fonksiyonu değeri
τ_{\min}	En küçük feromen değeri
τ_{\max}	En büyük feromen değeri
$\Delta\tau_{ij}^{\max}$	İyi çözüme göre (i, j) hattına bırakılan feromen değeri
S^{iyi}	İyi çözüm
C^{iyi}	İyi çözümün amaç fonksiyonu değeri
C^{bas}	Başlangıç çözümünün amaç fonksiyonu değeri
q	Düzgün dağılıma sahip rassal değişken
q_0	0 ile 1 arasında değer alan parametre
Γ	Elemanları τ_{j0} ve τ_{j1} olan feromen değerleri kümesi
S_{ekle}	Ekle algoritması ile elde edilen çözüm
$S_{cıkıar}$	Çıkar algoritması ile elde edilen çözüm
$S^{gıyi}$	Bulunan global en iyi çözüm
K	Tüm başlangıç çözümlerinin oluşturduğu küme
$D1$	En yakın tesisi içeren küme
$D2$	En yakın ikinci tesisleri içeren küme
$D3$	En yakın üçüncü tesisleri içeren küme
Z_{yeni}	Güncellenmiş amaç fonksiyonu değeri
Z_{mevcut}	Mevcut çözümün amaç fonksiyonu değeri
$J1$	Çözüme giren tesis
$J2$	Çözümünden çıkan tesis

Simgeler	Açıklama
S^{yb}	Yeniden başlangıç çözümü
w_{giyi}	Global en iyi çözüme uygulanan ağırlık değeri
w_{iyi}	En iyi çözüme uygulanan ağırlık değeri
w_{yb}	Yeniden başlangıç çözümüne uygulanan ağırlık değeri
cf	Kontrol faktörü
Kısaltmalar	Açıklama
TZY	Tedarik Zinciri Yönetimi
TYP	Tesis Yer Seçimi Problemi
KTYP	Kapasitesiz Tesis Yer Seçimi Problemi
KKE	Karınca Kolonisi Eniyileme
GA	Genetik Algoritmalar
TB	Tavlama Benzetimi
TA	Tabu Arama
EA	Evrimsel Algoritmalar
KSE	Kuş Sürüsü Eniyilemesi
KS	Karınca Sistemi
MMKS	MAX-MIN Karınca Sistemi
KKS	Karınca Kolonisi Sistemi
I_KKE	İkili Düzendeki KKE
KTY_KKA	Kapasitesiz tesis yer seçimi problemi için KKE algoritması
YAA	Yerel Arama Algoritması
ES	En iyi değerden yüzde sapma değeri
SEC	Sezgisel algoritma ile elde edilen değer
EC	En iyi çözüm değeri (ya da bilinen en iyi üst sınır değeri)
ÇBKS	Çok başlangıçlı karma sezgisel
OES	Ortalama en iyi değerden yüzde sapma değeri
OÇS	Ortalama çözüm süresi

Kısaltmalar**Açıklama****OY**

Önerilen yaklaşım

BY

Basit yaklaşım

1. GİRİŞ

Günümüzde hemen her konuda, gerek ulusal gerekse uluslararası platformda çok yoğun bir rekabet yaşanmaktadır. Bu nedenle işletmeler, ürettikleri ürünlerin kalitesinden ödün vermeden maliyetleri düşürmeye ve müşteri memnuniyetini artırmaya çalışarak yoğun rekabet yaşanan pazarlarda varlıklarını sürdürmeye çalışmaktadırlar. Böyle bir ekonomik yapı içinde de şirketler sürekli olarak yaratıcı olmak ve yeni alternatifler bulmak zorundadırlar.

Bu yeni ekonomik yapı içinde işletmelerin, maliyetlerin azaltılması ve müşteri memnuniyetinin sağlanması konularına odaklanmalarına paralel olarak tedarik zincirinin önemi de artmıştır. Lojistik Yönetimi Konseyi tarafından verilen tedarik zinciri yönetiminin (TZY) tanımı şöyledir;

“Malzemelerin, hizmetlerin ve/veya bilginin oluşan talep doğrultusunda bir kaynak (üretim) noktasından, talep (tüketim) merkezlerine etkin bir şekilde akışının ve bu malzemelerin stok işlemlerinin planlanması, gerçekleştirilmesi ve kontrol edilmesi işlevidir.”

Dolayısıyla TZY, bir ürün veya hizmetin başlangıç noktasından müşteriye ulaşıncaya kadar olan hareketi sırasında yarar sağlayan çeşitli faaliyetlerin sistematik yönetimi olarak da tanımlanabilir. Bu tanımlamadaki “yarar” kelimesi, imal edilmesi ve kullanıcısına ulaştırılması gereken elle tutulabilir bir madde (ürün) anlamına gelmektedir. TZY, her sektörde uygulanabilmektedir. Hizmet sektöründe hizmetin üretilmesi ve nihai tüketiciye sunulması söz konusu olduğundan dolayı “yarar” kelimesi bu sektörde hizmet anlamına gelmektedir.

TZY’ de ürün ve malzeme hareketleri için verilen kararların yanı sıra; (1) ne üretilmeli, nerede üretilmeli ve her bir fabrikada ne kadar üretilmeli, (2) zincirin her bir aşamasında ne miktarda ürün ve malzeme stokta tutulmalı, (3) zincir içerisinde bilgiler ne şekilde paylaşılmalı ve (4) tesisler ve dağıtım merkezleri nerelere kurulmalı gibi kararların da verilmesi gerekmektedir. TZY’nde verilmesi gereken

kararlar, kısa dönem, orta dönem ve uzun dönemli kararlar olmak üzere uç sınıfa ayrılabilir.

Yer seçimi kararları, tedarik zincirinin etkili bir şekilde çalışması için verilmesi gerekli olan en kritik ve en zor kararlar arasında yer almaktadır. Ulaştırma ve stok kararları; hammadde, işçi maliyetleri, bileşen parça fiyatları, ulaştırma maliyetleri, stokta tutma maliyetleri, kur oranları ve vergilere göre sık sık değişiklik gösterebilir. Bilgi paylaşımı kararları da nispeten esnektir. İşletme stratejilerine ve ortakların ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde değişebilmektedir. Dolayısıyla, tedarik zincirindeki değişimlere paralel olarak ulaştırma, stok ve bilgi paylaşımı kararlarında kolayca değişikliğin yapılması mümkündür. Üretim maliyetlerinin birçoğu kısa dönem için belirlenmesine rağmen üretim miktarı ve tesislerin yer seçimi konularındaki kararların çok sık değiştirilmesi söz konusu değildir. Örneğin; işçi ücretleri ile ilgili kontratlar genellikle uzun dönem için geçerlidir. Diğer bir örnek fabrika kapasitesi ile ilgili verilir. Genellikle, fabrika kapasitesi kısa dönem için sabit olarak dikkate alınır. Ancak, üretim miktarları ile ilgili kararlar orta dönemli kararlardır ve malzeme maliyetleri ile müşteri taleplerindeki değişikliklere dayalı olarak orta dönemde bu kararların değiştirilmesi söz konusudur.

Tesis yer seçimi kararları ise uzun dönemli kararlardır. Örneğin, müşteri taleplerine, ulaştırma maliyetleri veya bileşen fiyatlarındaki değişimlere paralel olarak orta dönemde fabrika yerinin değiştirilmesi söz konusu değildir. aynı şekilde, büyük yatırımlar yapılarak kurulan ve modern malzeme taşıma ekipmanlarının kullanıldığı dağıtım merkezlerinin yerleri kısa ya da orta dönemde değiştirilmesi çok zordur. Bunun yanı sıra, değişen koşullara dayalı olarak üretim planı, dağıtım, stok yönetimi ve bilgi paylaşımı kararları ne kadar iyi verilirse verilsin, tedarik zincirinde fabrikalar ve dağıtım merkezleri için uygun yerlerin seçilmemesi maliyetlerin artmasına sebep olacaktır. Dolayısıyla, TZY'nin etkin bir şekilde gerçekleştirilmesinde fabrika ve dağıtım merkezlerinin yer seçimi kararları çok önemlidir. .

Bu tez çalışmasında, TZY'deki en önemli problemlerden birisi olan tesis yer seçimi problemi (TYP) dikkate alınmıştır. TYP, belirlenen amaç ya da amaçları en iyileyecek şekilde bilinen sınırlı sayıdaki mümkün aday yerlerden veya koordinatlar halinde verilen yerlerden nerelere tesislerin kurulacağı ve bu tesislere müşterilerin nasıl atanacağına belirlenmesi problemi olarak tanımlanabilir. TYP, stratejik öneminden dolayı yıllardır araştırmacılar ve uygulamacılar tarafından üzerinde en çok çalışılan bir problem olmuştur. TYP'nin farklı kabuller ve farklı amaç fonksiyonları dikkate alınarak çeşitli matematiksel modeller literatürde önerilmiştir. Bu problemlerin çoğu kombinatoriyal en iyileme problemleri arasında yer almaktadır. Dolayısıyla, çoğu problem NP-zor problemler sınıfında yer almaktadır. Bu nedenle, TYP için en iyi çözümü veren algoritmalar sadece küçük boyutlu problemler için kullanılabilirken pratikte karşılaşılan büyük boyutlu problemlerin çözümü için sezgisel algoritmalar kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında, kapasitesiz TYP (KTYP) dikkate alınmış ve problemin çözümü için genel amaçlı sezgiseller sınıfında yer alan Karınca Kolonisi En iyileme (KKE) sezgiseline dayalı bir algoritma önerilmiştir. Algoritmanın etkinliği, literatürdeki test problemleri kullanılarak bu problem için önerilmiş diğer sezgisel algoritmalar ile karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.

İkinci bölümde, TYP'nin genel tanımı ve sınıflandırılması verildikten sonra KTYP için matematiksel model verilmektedir.

Üçüncü bölümde, KTYP'nin çözümü için literatürde önerilen çözüm yaklaşımları detaylı olarak incelenmektedir.

Dördüncü bölümde, bu tezde KTYP için sezgisel algoritmanın geliştirilmesinde kullanılan ve genel amaçlı sezgisel yöntemler arasında KKE algoritması hakkında genel bir bilgi verilmektedir.

Beşinci bölümde, KTYP için KKE'ye dayalı olarak geliştirilen sezgisel algoritmada, çözümlerin kurulması, başlangıç yığınının oluşturulması ve durdurma koşulu gibi özellikler detaylı olarak incelenmektedir.

Altıncı bölümde, geliştirilen algoritmanın karşılaştırılmasında kullanılan test problemleri, geliştirilen algoritmanın parametrelerinin belirlenmesi ve literatürdeki diğer sezgisel algoritmalar ile geliştirilen algoritmanın çözüm kalitesi ve çözüm zamanı açısından karşılaştırıldığı deneysel analiz yer almaktadır.

Son olarak, sonuç bölümünde, çalışmadan elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ve gelecek çalışmalar için öneriler verilecektir.

2. TESİS YER SEÇİMİ PROBLEMLERİ

TYP, üzerinde çok çalışılan kombinatoriyal en iyileme problemlerinden birisidir [Mirchandi and Francis, 1990]. En basit tanımı ile TYP, tesislerin kurulacağı alternatif yerlerin bir kümesi ve kurulacak tesislerden ihtiyaçları karşılanacak müşterilerin bir kümesi verildiğinde, en az maliyet ile müşteri ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde tesislerin kurulacağı yerlerin seçimi problemidir. TYP için önerilen matematiksel modelleri çeşitli kriterlere göre sınıflandırmak mümkündür. Literatürde, Hamacher ve Nickel (1998), Owen ve Daskin (1998), Klose ve Drexel (2005), Revelle ve Eiselt (2005) ve Revelle ve ark. (2008) tarafından bu modellerin sınıflandırılması yapılmıştır [Hamacher ve Nickel, 1998; Owen ve Daskin, 1998; Klose ve Drexel, 2005; Revelle ve Eiselt, 2005; Revelle ve ark., 2008].

2.1. Tesis Yer Seçimi Problemlerinin Sınıflandırılması

Klose ve Drexel (2005)'in sınıflandırılması dikkate alınarak tesis yer seçimi modelleri aşağıdaki sınıflandırılabilir [Klose ve Drexel, 2005].

1. Tesis yerlerinin tanımlı olduğu kümenin yapısına göre: Modeller, sürekli yer seçimi (continuous location) modelleri, şebeke yer seçimi (network location) modelleri ve kesikli yer seçimi (discrete location) ya da karma tamsayı programlama modelleri olmak üzere 3 sınıf altında toplanmaktadır.
2. Amaca göre: Bu sınıflandırmada modeller amaç fonksiyonuna göre toplamın en azlanması (minsum) ya da en büyüğün en azlanması (minmax) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Toplamın en azlanmasına çalışan modeller, ortalama uzaklığın ya da maliyetin en azlanmasını sağlamak amacıyla tasarlanmışlardır. En büyüğün en azlanmasına çalışan modeller ise en büyük uzaklığın en azlanması için sunulan modellerdir. Birinci tip modeller genellikle ticari amaçlı işletmelerde karşılaşılan yer seçimi problemini çözmek için kullanılırken, ikinci tip modeller kar amacı gütmeyen işletmelerdeki (hastane, okul, ambulans vb.) yer seçimi problemini çözmek amacıyla kullanılmaktadır.

3. Kapasite kısıtına göre: Tesislerde kapasite kısıtının olup olmadığına göre modeller iki sınıf altında toplanmaktadır. Kapasite kısıtının söz konusu olmadığı modeller kapasitesiz tesis yer seçimi modelleri olarak adlandırılırken, kısıtın söz konusu olduğu modeller kapasite kısıtı tesis yer seçimi modelleri olarak adlandırılmaktadır. Kapasiteli tesis yer seçimi modelleri ise kendi arasında müşteri talebinin bir tesisten ya da birden fazla tesisten karşılanmasına dayalı olarak tek-kaynaklı (single-source) ve çok-kaynaklı (multi-source) modeller olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır.
4. Aşama sayısına göre: Tesis yer seçimi modelleri aşama sayısına göre tek aşamalı ya da çok aşamalı olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Tek aşamalı modeller, tedarik zincirindeki sadece bir aşamayı dikkate alırken, çok aşamalı modeller birden fazla aşamada ürün akışını dikkate alınarak her aşamadaki yer seçimi problemi aynı anda çözülür.
5. Ürün sayısına göre: Modeller, tek ürünlü ve çok ürünlü tesis yer seçimi modelleri olmak üzere ikiye ayrılır. Tek ürünlü modeller, birkaç homojen ürün için maliyet, kapasite ve talep tek bir ürün olarak birleştiriliyorsa söz konusudur. Homojen olmayan ürünler söz konusu olduğunda çok ürünlü modeller ile ilgilenilir.
6. Talep esnekliğine göre: Literatürdeki çoğu tesis yer seçimi modelinde talep esnekliği olmadığı yani talebin uzaklığa bağlı olarak değişmediği kabul edilir. Talep uzaklıktan etkileniyorsa, model içerisinde bu durum dikkate alınarak amaç fonksiyonu maliyetin en azlanması yerine karın en çoklanması olarak değiştirilmektedir.
7. Periyot sayısına göre: Modeller, statik ve dinamik olmak üzere iki sınıf altında toplanmaktadır. Statik modellerde, sistem performansının tanımlanan bir periyot için en iyilenmesidir. Planlama dönemi içerisinde talep, maliyet ve kapasite gibi bir takım faktörler değişiklik gösterdiği durumlarda kullanılan tesis yer seçimi modelleri dinamik modeller olarak adlandırılmaktadır.

8. Girdi yapısına göre: Modelde tüm girdiler kesin olarak biliniyorsa ya da bilindiği varsayılıyorsa, tesis yer seçimi modeli deterministik model olarak adlandırılır. Genellikle veriler tahminlere dayalı olarak elde edildiğinden dolayı belirsizlik söz konusudur. Verilerdeki belirsizliğin dikkate alındığı modeller, stokastik modeller olarak adlandırılır.
9. Müşterilere hizmet şekline göre: Klasik tesis yer seçimi modellerinde her bir müşterinin talebinin bir ya da birden fazla tesisten direkt olarak karşılandığı kabul edilmektedir. Ancak, bazı durumlarda (özellikle müşteri talebinin aracın kapasitesinden küçük olduğu ve bir araçla birden fazla hizmet vermenin söz konusu olduğu) müşteri talepleri bir rota ile karşılanmaktadır. Bu durumda model, yerleşim-rotalama modeli olarak adlandırılır.

Bu sınıflandırmaya göre bu tezde dikkate alınan kapasitesiz tesis yer seçimi problemi (KTYP), tek aşamalı, tek-kaynaklı, deterministik, statik, tek ürünlü (homojen ürünlerin tek bir ürün altında toplandığı), maliyetin en azlanmasının hedeflendiği kesikli yer seçimi modeli olarak tanımlanabilir. Bu bölümün devamında KTYP için matematiksel model verilecektir.

2.2. Kapasitesiz Tesis Yer Seçimi Problemi

Literatürde, basit yer seçimi problemi (simple Facility location problem), sabit maliyetli yer seçimi problemi (fixed charge Facility location problem) gibi farklı isimler ile de tanımlanan KTYP, en temel ve klasik tesis yer seçimi problemi olup tedarik zinciri tasarımında kullanılan çoğu yer seçimi modelinin de temelini oluşturmaktadır. KTYP’de, talepleri ve yerleri bilinen müşterilerin kümesi, tesisler için aday yerlerin kümesi, tesis açma maliyeti ve her müşteri ile her tesis arasında birim ulaştırma maliyeti bilinmektedir. Problem, tesis açma ve müşteri taleplerini taşıma maliyetlerinin toplamını en azlayacak şekilde tesislerin açılacağı yerlerin ve müşterilerin tesislere atanması problemi olarak tanımlanabilir.

KTYP'nin matematiksel modelinde kullanılan girdiler ve karar değişkenleri aşağıda verilmektedir [Balinski, 1965].

Girdiler ve Kümeler:

I müşterilerin kümesi

J aday tesis yerlerinin kümesi

f_j j aday yere tesis açmanın sabit maliyeti, $j \in J$

h_i i müşterisinin talebi, $i \in I$

c_{ij} j aday tesis yerinden i müşteri arasında birim taşıma maliyeti

Karar Değişkenleri:

$$x_j = \begin{cases} 1 & j \text{ aday yerine tesis acılırsa} \\ 0 & d.d \end{cases}$$

$y_{ij} = j$ aday tesis yerinden i müşterisinin talebinin karşılanma oranı

Matematiksel Model:

$$\text{Minimum} \quad \sum_{j \in J} f_j x_j + \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} h_i c_{ij} y_{ij} \quad (2.1)$$

$$\sum_{j \in J} y_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (2.2)$$

$$y_{ij} \leq x_j \quad \forall i \in I; \quad \forall j \in J \quad (2.3)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (2.4)$$

$$y_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I; \quad \forall j \in J \quad (2.5)$$

Matematiksel modelde, amaç fonksiyonu olan Eş. 2.1, tesis açma sabit maliyeti ve taşıma maliyetlerinden oluşan toplam maliyeti en küçükmektir. Eş. 2.2 kısıtı her bir müşterinin mutlaka hizmet almasını sağlamaktadır. Eş. 2.3 kısıtı ise bir müşterinin

açılmayan bir tesise atanmasını engellemektedir. Eş. 2.4 ve Eş. 2.5 kısıtları ise işaret kısıtlarıdır [Daskin,1995].

Bu matematiksel model, hem kesikli (ikili) hem de sürekli karar değişkenlerini içerdiğinden dolayı karma tamsayılı programlama modelidir. Bu problemin en iyi çözümü, müşterilerin açılan en yakın tesislere atanması ile elde edilmektedir. Diğer bir anlatımla, atama değişkenleri olan Y_{ij} 'ler çözümde tamsayı değerler almak yani her müşteri sadece bir tesisten hizmet almaktadır. Çoğu işletme, tedarik zinciri yönetimini kolaylaştırdığından dolayı her müşterinin bir tesise atanmasını tercih etmektedir [Daskin ve ark., 2003].

KTYP, NP-zor problemler sınıfında yer almaktadır. Bu nedenle, küçük boyutlu problemler için en iyi çözümü bulmaya yönelik kesin algoritmaların geliştirilmesinin yanı sıra büyük boyutlu problemlerin çözümü için sezgisel algoritmaların çeşitli araştırmacılar tarafından önerildiği literatürde görülmektedir. Bir sonraki bölüm olan Literatür Araştırması bölümünde yapılan çalışmalar detaylı olarak incelenecektir.

Tesis yer seçimi literatüründe üzerinde en çok çalışılan problem olan KTYP, gerçek hayatta karşılaşılan kümeleme analizi, makine çizelgeleme, ekonomik parti büyüklüğü, portföy yönetimi ve bilgisayar şebekelerinin tasarımı gibi problemlerin modellenmesinde ve çözümünde de kullanılmaktadır [Sun, 2006].

Ayrıca, KTYP için geliştirilen algoritmalar çok aşamalı olan dağıtım ağları ve tedarik zinciri tasarımında kullanılabileceği gibi, çok daha karmaşık yer seçimi problemlerini çözmek amacıyla geliştirilen algoritmaların bir parçası olarak da kullanılabilir [Janacek ve Buzna, 2008]. Galvao (2004), p-medyan, kaplama ve p-merkez problemlerinin KTYP formunda yeniden modellenip KTYP için geliştirilen algoritmalar ile bu problemlere çözüm bulunabileceğini vurgulamaktadır [Galvao, 2004].

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yer seçimi teorisi ile ilgili ilk çalışma 1929 yılında Weber tarafından yapılmıştır [Owen ve Daskin, 1998]. Bu çalışmanın devamında birkaç araştırmacı farklı uygulama alanlarında karşılaşılan yer seçimi problemini çözmeye çalışmışlardır. Hakimi (1964)'nin haberleşme sistemlerine anahtarlama merkezlerini ve karayollarına polis istasyonlarını yerleştirmek amacıyla yaptığı çalışmalar, günümüzde yer seçimi teorisinde yapılan çalışmaların da başlangıcını oluşturmaktadır [Hakimi, 1964]. Hakimi (1964)'nin dikkate aldığı problemler kapasitesiz tesis yer seçimi ve merkez problemleridir [Hakimi, 1964]. Yer seçimi problemleri ve çözüm yaklaşımları ile ilgili sınıflandırmalar ve literatür araştırmaları Brandeau ve Chiu (1989), Labbe ve Louvenaux (1997), Owen ve Daskin (1998), Hale ve Moberg (2003), Klose ve Drexel (2005), Revelle ve Eiselt (2005) ve Revelle ve ark. (2008) tarafından yapılmıştır [Braneu ve Chiu, 1989; Labbe ve Louvenaux, 1997; Owen ve Daskin, 1998; Hale ve Moberg, 2003; Klose ve Drexel, 2005; Revelle ve Eiselt, 2005; Revelle ve ark., 2008].

Bu tezde KTYP dikkate alındığı için bu konuda yapılan çalışmalar bu bölümde incelenecektir. KTYP için literatür araştırmaları Krarup ve Pruzan (1983) ve Cournuejols ve ark. (1990) tarafından yapılmıştır [Krarup ve Pruzan, 1983; Cournuejols ve ark., 1990]. Bölüm 2'de de bahsedildiği gibi KTYP, NP-zor problemler sınıfında yer almaktadır. NP-zor problemlerde en iyi çözümün bulunma zamanı, problem boyutuna bağlı olarak üstel artış göstermektedir. Dolayısıyla, KTYP'nin çözümü için geliştirilen çözüm yaklaşımları, en iyi çözümü veren “kesin algoritmalar” ve en iyi çözümü ya da en iyiye yakın çözümler bulmak amacıyla geliştirilen “sezgisel algoritmalar” olmak üzere iki sınıf altında toplanmaktadır. İlgili çözüm yaklaşımlarının geliştirildiği çalışmalar bu bölümde detaylı olarak verilmektedir.

3.1. Kesin Algoritmalar

KTYP için ilk matematiksel model Balinski (1965) yılında önerilmiştir [Balinski, 1965]. Efrogmson ve Ray (1966), KTYP için önerilen matematiksel model üzerinde düzenlemeler yapmışlar ve problemin çözümü için dal-sınır algoritması geliştirmişlerdir [Efrogmson ve Ray, 1966].

Khumawala (1972) ise, yukarıda verilen dal-sınır algoritmasını iyileştirmek amacıyla bir çalışma yapmıştır [Khumawala, 1972].

Bilde ve Krarup (1977) ve Erlenkotter (1978), KTYP'nin çözümü için dual'e dayalı dal-sınır algoritması geliştirmişlerdir [Bilde ve Krarup, 1977]. Erlenkotter (1978) tarafından geliştirilen algoritma DUALOC olarak adlandırılmıştır ve KTYP için bilinen en hızlı algoritma olarak kabul görmüştür [Erlenkotter, 1978].

Galvao ve Raggi (1989), KTYP için dal-sınır algoritmasına dayalı bir algoritma geliştirmişlerdir [Galvao ve Raggi, 1989].

Koerkel (1989), Erlenkotter tarafından geliştirilen kesin algoritmanın primal-dual versiyonunu yeniden düzenlenmesi ile çözüm zamanı açısından daha etkin bir algoritma önermiştir [Koerkel, 1989].

Simao ve Thizy (1989) ise bu problemin temel matematiksel modeli için dual-simpleks'e dayalı bir kesin algoritma geliştirmişlerdir [Simao ve Thizy, 1989].

Conn ve Cornuejols (1990), KTYP için matematiksel modelin doğrusal programlama gevşetmesinin dualine dayalı bir kesin algoritma önermişlerdir [Conn ve Cournejols, 1990].

Gao ve ark. (1994), KTYP'de içeren kapasitesiz yer seçimi problemlerinin bir sınıfı için en iyi çözümleri bulmak amacıyla dual'e dayalı dal-sınır algoritması geliştirmişlerdir [Gao ve ark., 1994].

3.2. Sezgisel Algoritmalar

KTYP için geliştirilen sezgisel algoritmaları iki sınıf altında toplamak mümkündür. Birinci sınıftaki sezgisel algoritmalar “klasik sezgisel” ya da “yerel arama algoritmaları” olarak adlandırılabilir. İkinci sınıfta yer alan sezgiseller ise tabu arama, genetik algoritmalar, tavlama benzetimi gibi “genel amaçlı sezgisel algoritmalar” dayalı algoritmalar.

KTYP için klasik sezgiseller sınıfında yer alan iki sezgisel algoritma “EKLE” ve “ÇIKAR” sezgiselidir. Her iki sezgisel algoritmada açgözlü (greedy) sezgisel olarak da adlandırılmaktadır. EKLE sezgiselinde başlangıçta tüm tesisler kapalı olarak dikkate alınır. Sezgiselin her iterasyonunda maliyette en büyük azalmayı sağlayan tesis açılır ve maliyette iyileşme dürüncaya kadar tesis eklemeye devam edilir. Maliyette iyileşme durduğu anda algoritma sonlanır. ÇIKAR sezgiselinde ise başlangıçta tüm tesisler açık olarak dikkate alınır. Her iterasyonda maliyette en büyük azalmayı sağlayan tesis kapatılır ve maliyette iyileşme dürüncaya kadar tesis kapatılmaya devam edilir. ÇIKAR sezgiseli, maliyette iyileşme durduğu anda sonlanmaktadır. Çok basit olan bu sezgisel yaklaşımlar, KTYP için çok daha etkin sezgisel yaklaşımların geliştirilmesinde, bu sezgisel yaklaşımlara ya da kesin algoritmalara başlangıç çözümünün elde edilmesinde kullanılmaktadır.

Kuehn ve Hamburger (1963), KTYP için sezgisel algoritmayı geliştiren ilk araştırmacılarıdır [Kuehn ve Hamburger, 1963]. Geliştirilen algoritma iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada “Ekleme” sezgiseli kullanılarak bir başlangıç çözümü elde edilmektedir. İkinci aşamada ise başlangıç çözümünü iyileştirmek amacıyla bir yerel arama algoritması ile çözüm iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Bu aşamada ise açık olan tesis kapatılıp, kapalı olan tesis açılarak maliyetteki azalmalar hesaplanmaktadır. Bu algoritma, literatürde Ekle / Çıkar (Add / Drop) algoritması olarak bilinmektedir. Ekle/Çıkar algoritması maliyette iyileşme dürüncaya kadar uygulanmaktadır.

Guignard ve Spielberg (1977), KTYP için lagrange gevşetmesine dayalı bir sezgisel algoritma geliştirmiştir [Guignard ve Spielberg, 1977].

Tcha ve ark. (1988) ise probleme sezgisel çözümü bulmak amacıyla Erlenkotter'in yaklaşımına benzer dual'e dayalı bir sezgisel algoritma önermişler ve bu algoritmanın dual'e dayalı artış sezgiseline göre çözüm kalitesinin çok daha iyi olduğunu göstermişlerdir [Tcha ve ark., 1988].

Beasley (1993), KTYP'de içeren çeşitli yer seçimi problemlerin çözümünde kullanılabilir lagrange gevşetmesine dayalı bir algoritma geliştirmiş ve deneysel çalışmalar ile algoritmanın çözüm kalitesinin iyi olduğunu göstermiştir [Beasley, 1993].

Galvao (1993) ve Daskin (1995), KTYP'nin çözümünde Lagrange gevşetmesine dayalı algoritmaların kullanımına ilişkin literatür araştırmalarını yapmışlardır [Galvao, 1993; Daskin, 1995].

KTYP için genel amaçlı sezgisellere dayalı ilk çalışma Vaithyanathan ve ark. (1996) tarafından yapılmıştır [Vaithyanathan ve ark., 1996]. Bu çalışmada, yapay sinir ağlarına ve tabu arama sezgiseline dayalı bir karma algoritma geliştirilmiştir. Tabu arama sezgiselinin kısa dönemli hafıza özelliği yapay sinir ağlarına eklenmiştir. Algoritmanın etkinliği çözüm kalitesi ve çözüm zamanı açısından incelenmiştir.

KTYP için Tabu Arama (TA) sezgiseline dayalı çalışmalar Al-Sultan ve Al-Fawzan, Laurent ve Hentenryck ve Sun tarafından yapılmıştır.

Al-Sultan ve Al-Fawzan (1999), KTYP için kısa dönemli TA sezgiseline dayalı bir algoritma geliştirmişler ve algoritmanın performansını literatürde CAP test problemleri olarak adlandırılan 12 test problemi üzerinde test etmişlerdir [Al-Sultan ve Al-Fawzan, 1999]. Al-Sultan ve Al-Fawzan'ın bu çalışması KTYP alanında ilk tabu arama kullanan çalışmadır.

Laurent ve Hentenryck (2004) 'de kısa dönemli TA sezgiseline dayalı bir algoritma geliştirmişlerdir [Laurent ve Hentenryck, 2004]. Algoritmanın performansını literatürde KTYP için üretilen tüm test problemlerinin yanı sıra araştırmacılar tarafından üretilen test problemleri üzerinde incelenmiştir. Burada yazarlar tesislerin yerlerini değiştirdiğinde amaç fonksiyonu değerini yeniden hesaplamak yerine değişimden kaynaklanan farkları bularak kısa zaman içinde amaç fonksiyonu değerinin güncelleme yoluna gitmişlerdir.

Sun (2006) tarafından kısa, orta ve uzun donem TA sezgiseline dayalı olarak bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir [Sun, 2006]. Kısa dönem TA'dan elde edilen hafıza bilgileri ve bulunan iyi çözümler orta donem ve uzun donem TA'nın çalıştırılmasında kullanılmaktadır. Ayrıca, orta donem TA'dan sonra bulunan en iyi çözüm bir yerel arama algoritması ile iyileştirilmektedir. Algoritma ardışık iterasyonlarda en iyi çözüm iyileşmediğinde durdurulmaktadır. Yazar, çözüm zamanını hızlandırmak amacıyla amaç fonksiyonu değerini hesaplamada net maliyet değişim hesaplama yaklaşımını kullanmıştır. Algoritmanın performansını, literatürde yer alan küçük ve büyük boyutlu test problemlerinin yanı sıra çalışmada üretilen test problemleri kullanılmıştır.

KTYP için Genetik Algoritmalara (GA) dayalı sezgisel algoritmaların geliştirildiği çalışmalar Kratica ve ark. ile Jaramillo ve ark. tarafından yapılmıştır.

Kratica ve ark. (2001) tarafından GA' ya dayalı geliştirilen algoritmanın performansını test etmek amacıyla en iyi çözümü veren DUALOC algoritması kullanılmıştır [Kratica ve ark., 2001]. Yapılan çalışmada, geliştirilen algoritma ile 1000 tesisten daha büyük boyutlu problemlerin çözülebileceği belirtilmiştir. Çalışmada, literatürdeki test problemlerinin yanı sıra tesis yeri sayısı ve müşteri sayısının 100 ile 2000 arasında değiştiği rassal olarak üretilen 6 problem kullanılmıştır. Geliştirilen algoritmanın, 100x100 ve 500x500 boyutundaki problemlerde en iyi çözümün her zaman elde edilemediği gözlenilmiştir.

Jaramillo ve ark. (2002), KTYP'nde içinde olduğu tesis yer seçimi problemlerinin çözümü için geliştirdikleri GA' ya dayalı sezgisel algorithmada ikili düzende kodlama, ikili turnuva seçim mekanizması, ekle/çıkır mutasyon operatörünü kullanmışlardır [Jaramillo ve ark., 2002]. KTYP için algoritmanın performansı, Lagrange gevşetmesine dayalı sezgisel algoritma ile 15 test problemi üzerinde karşılaştırmalı olarak incelenmişlerdir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda, GA'nın her denemede her problem için en iyi çözüme ulaştığını ve küçük boyutlu test problemlerinde çözüm zamanının Lagrange gevşetmesine dayalı algorithmadan daha düşük olduğunu göstermişlerdir.

Genel amaçlı sezgisel yöntemlere dayalı bir diğer sezgisel algoritma Ghosh (2003) tarafından geliştirilmiştir [Ghosh, 2003]. Geliştirilen algoritma, hafızaya dayalı tüm yerel arama yöntemi (complete local search with memory) olarak adlandırılmıştır. Çalışmada, tesis yeri sayısı ve müşteri sayısının 75 ile 750 arasında değiştiği toplam 180 problem rassal olarak üretilmiş ve geliştirilen algoritmanın performansı tabu arama sezgiseli ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Müşteri ve tesis sayısı 150'den küçük olan problemler için en iyi çözümler elde edilerek algorithmaların sonuçları en iyi çözümlere göre karşılaştırılmış ve geliştirilen algoritmanın en iyi çözümden ortalama sapma oranının % 0,075 olduğu gösterilmiştir. Büyük boyutlu problemlerde ise geliştirilen algoritma ile elde edilen çözümlerin TA ile elde edilen çözümlerden ortalama sapma oranının % 0,0345 görülmüştür.

Resende ve Werneck (2006), KTYP için çok başlangıçlı sezgisel (multistart heuristic) bir karma algoritma önermişlerdir [Resende ve Werneck, 2006]. Algoritma, iki aşamadan oluşmaktadır. Algoritmanın her iterasyonun ilk aşamasında, arama sırasında elde edilen bilgiye dayalı olarak rassal bir çözüm üretilmekte ve bu çözüm ekle, çıkır ve ekle/çıkır hareketlerine dayalı bir yerel arama sezgiseli ile iyileştirilmektedir. Arama sırasında elde edilen ve birbirlerinden belirli uzaklığa sahip en iyi 10 çözüm bir havuzda tutulmaktadır. Yerel arama sonucunda bulunan çözüm bu havuzdan rassal olarak seçilen bir çözüm ile eşleştirilmektedir. Havuzdan seçilen çözümden bulunan çözüme ulaşmak amacıyla yol bulma (path relinking) yöntemi uygulanarak bu aşamada bulunan en iyi çözüm ilgili iterasyonun çözümü

olarak dikkate alınmakta ve havuza girecek özelliklere sahipse havuzdaki en kötü çözüm ile yer değiştirmektedir. İkinci aşamada ise havuzda bulunan iyi çözümler birbirleriyle eşleştirilerek, yol bulma yöntemi ile daha iyi çözümlere ulaşılmaya çalışılmaktadır. Daha iyi çözüme ulaşılmış ve havuza girme özelliğine sahip ise bu çözüm havuzdaki en kötü çözüm ile yer değiştirmektedir. Bu işlem, havuzda çözüm kalmayınca kadar devam etmektedir. Yazarlar, geliştirdikleri algoritmanın performansını literatürde KTYP için üretilmiş olan tüm test problemleri kullanarak incelemişler ve bu problem için geliştirilmiş olan sezgisellerden daha iyi bir performansa sahip olduğunu göstermişlerdir.

KTYP için bir diğer karma algoritma Yiğit (2004) ve Yiğit ve ark. (2006) tarafından önerilmiştir [Yiğit, 2004; Yiğit ve ark., 2006]. Bu algoritma, evrimsel algoritma (EA) ile tavlama benzetimi (TB) algoritmasından oluşmaktadır. Geliştirilen algoritmada, başlangıç yığını rassal olarak elde edilmekte ve her iterasyonda EA ile yeni yığındaki çözümler elde edilirken, bu çözümler TB ile iyileştirilmektedir. EA ile yeni çözümlerin elde edilmesinde sadece çaprazlama operatörü kullanılmıştır. TB ise bir mutasyon operatörü olarak kabul edilmiştir. Algoritmanın etkinliğinin araştırılmasında literatürdeki büyük boyutlu test problemlerinin yanı sıra araştırmacılar tarafından üretilen büyük boyutlu test problemleri kullanılmıştır.

Şevkli ve Güner (2008), KTYP için kuş sürüsü eniyileme (KSE) yaklaşımına dayalı bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir [Şevkli ve Güner, 2008]. Bu çalışmada kuş sürüsü en iyilemesi yaklaşımının sürekli versiyonu kullanılmıştır. Çözüm kalitesini artırmak amacıyla bu yaklaşıma yerel arama yöntemi eklenmiştir. Literatürdeki GA tabanlı algoritmalarla, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve sapma oranları diğer çalışmalarla aynı olarak bulunmasına rağmen çözüm süresinin kısaldığı gösterilmiştir.

Literatür araştırmasından, çeşitli araştırmacılar tarafından GA, TA ve TB gibi genel amaçlı sezgisel algoritmaların büyük boyutlu KTYP'nin çözümünde başarıyla kullanıldığı görülmektedir. Bu tez çalışmasında ise literatürdeki çalışmalardan farklı olarak KTYP'nin çözümünde Karınca Kolonisi En iyileme (KKE) algoritmasına

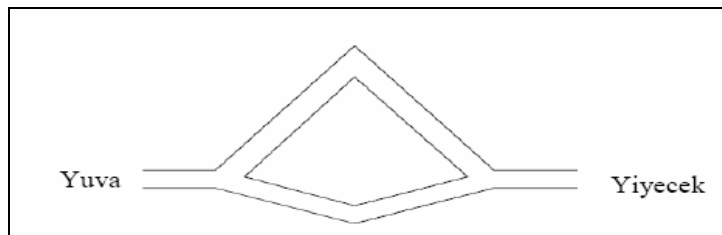
dayalı bir sezgisel algoritma geliştirilecektir. Literatürde gezgin satıcı, çizelgeleme, karesel atama, şebeke tasarımı, sırt çantası gibi çeşitli kombinatoriyal en iyileme problemlerinde iyi performansa sahip olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından gösterilen KKE'nin şimdiye kadar KTYP'nin çözümünde kullanılmadığı görülmüştür. Bu tezin amacı, KKE'nin tesis yer seçimi probleminde performansını araştırmak ve literatüre bu problemin çözümü için yeni bir sezgisel algoritma sunmaktır. Dördüncü bölümde KKE ile ilgili genel bilgi verildikten sonra, KTYP için geliştirilen algoritma KKE'ye dayalı sezgisel algoritmanın detayı beşinci bölümde verilecektir.

4. KARINCA KOLONİSİ ENİYİLEME ALGORİTMASI

Karınca Kolonisi En iyileme (KKE) algoritması, gerçek karıncaların davranışlarının incelenmesi sonucu Dorigo ve ark. (1996) tarafından geliştirilmiş, çözümlerin bir kümesi ile aramayı gerçekleştiren genel amaçlı sezgisel algoritmadır [Dorigo ve ark., 1996]. Bu algoritmanın genel karakteristikleri; pozitif geri besleme, dağıtılmış hesaplama ve açgözlü (greedy) çözüm kurucu sezgisel olmasıdır. Pozitif geri besleme, iyi çözümlerin erken bulunmasına yardımcı olurken, dağıtılmış hesaplama erken olgunlaşmayı engeller ve “açgözlü” sezgisel olması ise arama sürecinin ilk aşamalarında kabul edilebilir çözümlerin oluşmasını sağlar. Son yıllarda KKE algoritması, gezgin satıcı, montaj hattı dengeleme, çizelgeleme, araç çizelgeleme gibi çeşitli kombinatoryal en iyileme problemlerine başarı ile uygulanmıştır. Bu bölümde, gerçek karınca kolonisi, KKE algoritması ve literatürde önerilen KKE algoritmaları incelenecektir.

4.1. Gerçek Karınca Kolonisinin Yiyecek Bulmadaki Tavrı

Goss ve ark. (1989), Arjantin karıncalarından oluşan bir koloni için laboratuarda yaptıkları deneyde, Şekil 4.1’de görüldüğü gibi yuva ile yiyecek kaynağı arasında farklı uzunluktaki iki koldan oluşan bir köprü yerleştirmiştir [Goss ve ark., 1989]. Köprünün kolları, karıncaların her iki yöndeki kollardan birini seçebileceği şekilde yerleştirilmiştir. Deneyin sonucunda, birkaç dakikalık bir geçiş aşamasından sonra karıncaların tümünün en kısa köprü kolunu seçtiği ve koloninin en kısa kolu seçme olasılığının köprünün kolları arasındaki uzunluk farkına bağlı olarak arttığı gözlenmiştir.



Şekil 4. 1. Karınca deneyinde kullanılan köprü [Dorigo ve Di Caro, 1999]

Arjantin karıncaları, yuvalarından yiyeceğe giderken ve tersi yönde hareket ederken geçtikleri yerlere feromen (pheromen) adı verilen kimyasal bir madde bırakmaktadırlar. Karıncalar köprünün kısa ve uzun kollarının kesiştiği karar verme noktasına geldiklerinde hangi taraftan gideceklerine geçiş yollarına bırakılan feromen maddesini koklayarak olasılıklı bir seçim ile karar vermektedir. Deneyin başlangıcında köprünün kollarının hiçbirinde feromen bulunmamaktadır. Bu nedenle karıncalar hangi taraftan gideceklerinin kararını eşit olasılıkla vermektedirler. Köprü kollarının farklı uzunluklarından dolayı daha kısa yolu seçen karıncalar yiyeceğe daha önce ulaşacaklardır. Bu karıncalar yuvaya geri dönerken kesişme noktasına geldiklerinde önceden her iki yoldaki feromen yoğunluğuna göre seçim yapacaklardır. Feromen kimyasal bir salgı olması nedeniyle zaman içerisinde buharlaşacaktır. Ancak, kısa yol ilerleyen aşamalarda daha fazla karınca tarafından kullanılacağı için bu koldaki feromen yoğunluğuna bağlı olarak seçim olasılığı da artacaktır [Belgin, 2007]. KKE algoritması, karıncaların yuvaları ile yiyecek arasında en kısa yolu seçmedeki davranışlarının benzetimini yaparak en iyileme problemine en iyi ya da en iyiye yakın çözümleri bulmaya çalışmaktadır.

4.2. KKE Algoritmasının Temel Yapısı

KKE, kombinatoriyal en iyileme problemlerine iyi çözümler bulmak için yapay karıncaların işbirliği yaptığı genel amaçlı sezgisel yöntemdir. İşbirliği, KKE algoritmalarının en önemli parçasıdır. Çünkü yapay karıncaların işbirliği etkileşimleri ile iyi çözümler elde edilmektedir.

KKE algoritmaları, statik ve dinamik kombinatoriyal en iyileme problemlerinin çözümü için kullanılabilir. Statik problemde, sistemin karakteristikleri zaman içerisinde değişmez iken dinamik problemde bu karakteristiklerin zaman içerisinde değişmesi söz konusudur. Gezgin satıcı problemi, yer seçimi problemi, çizelgeleme problemi statik problemlere örnek olarak verilebilir. Dinamik problemlere örnek olarak veri trafiğinin ve şebeke topolojisinin zaman içerisinde değiştiği şebeke rotalama problemleri verilebilir. Bu bölümde, KKE algoritmasının genel yapısı incelenecektir.

4.2.1. Problem gösterimi

KKE algoritmasında bir yapay karınca, iteratif olarak probleme çözümü oluşturan stokastik kurucu prosedür olarak tanımlanabilir. Dolayısıyla, KKE algoritması bir kurucu sezgisel yöntemin tanımlanabildiği herhangi bir kombinatoryal en iyileme probleminin çözümünde kullanılabilir. Her bir yapay karıncanın amacı, doğal karıncalarda olduğu gibi yuva ile yiyecek arasındaki en kısa yolu bulmaktır.

KKE algoritması ile dikkate alınan problemin çözülebilmesi için bu problemin tam bağlı bir graf üzerinde tanımlanmasının yapılması gerekmektedir. $G = (V, E)$, $|V|$ düğüme ve $|E|$ hatta sahip bir graf olsun. Bu graf, kurucu graf olarak adlandırılır. En iyileme probleminin yapısına bağlı olarak graftaki düğümler ya da hatlar ilgilenilen problemdeki karar değişkenlerini ifade etmektedir. Dolayısıyla, yapay karıncalar tam bağlı graf üzerinde rassal yürüyüşler ile ilgili probleme çözümleri kurmaktadır [Dorigo and Stutzle, 2004].

4.2.2. Karıncaların davranışları

Daha önceki bölümlerde değinildiği gibi yapay karıncalar, kurucu graf üzerinde hareket ile çözümleri kuran stokastik kurucu yöntemlerdir. Çoğu uygulamada, karıncalar kısıtları sağlayan çözümleri kurmaktadır. Ancak, bazı problemler için karıncalar tarafından uygun olmayan çözümlerin de elde edilmesine izin verilebilmektedir. Grafın her düğümü $v_i \in V$ ve her hattı $e_i \in E$, bir feromen değerine (τ) (düğümler için τ_i , hatlar için τ_{ij} ile tanımlanan) ve bir sezgisel değere η (düğümler için η_i , hatlar için η_{ij} ile tanımlanan) sahiptir. Feromen değerleri, KKE algoritmasının tüm arama boyunca elde edilen bilgiyi saklayan uzun dönemli hafızadır. Sezgisel bilgi olarak adlandırılan sezgisel değer ise, ilgili problem hakkındaki bilgiyi tanımlamaktadır. Çoğu problem için η , kısmi çözüme eklenecek parçanın maliyeti ya da tahmin edilen maliyetidir. Feromen ve sezgisel değerler, karıncaların tam bağlı grafta nasıl hareket edeceğine olasılıklı olarak karar vermelerinde sezgisel kural olarak kullanılırlar. Bu bilgilere dayalı olarak, kolonideki

her k karıncasının sahip olduğu özellikler aşağıda özetlenmiştir [Dorigo and Stützle, 2004].

- Probleme en iyi çözümü bulmak amacıyla arama yapmak için kurucu grafi $G = (V,E)$ kullanırlar.
- Çözüm oluşturma aşamasında izlediği yol hakkında bilgiyi saklamak için bir hafızaya M^k sahiptir. Bu hafıza; 1) kısıtları sağlayan uygun çözümleri kurmak, 2) sezgisel bilgiyi hesaplamak, 3) bulunan çözümü değerlendirmek, 4) çözüm oluşturmada kullandığı yolu geri izlemek amacıyla kullanılmaktadır.
- Bir başlangıç durumuna x_s^k ve bir ya da birden fazla bitiş koşuluna b^k sahiptir. Başlangıç durumu genellikle ya boş bir küme ya da çözümün bir parçası olarak tanımlanır.
- Karınca, $x_r = \langle x_{r-1}, i \rangle$ durumundaysa ve bitiş koşulu sağlanmamış ise, x_r durumunun komsusu $N^k(x_r)$ olan j düğümüne hareket eder. En az bir bitiş koşulu sağlandığında, karıncanın graftaki gezintisi sonlanır. Genellikle, bir karıncanın çözüm kurma aşamasında uygun olmayan çözümleri elde etmesi karıncanın hafızası ya da uygun olarak tanımlanan sezgisel değerler kullanılarak engellenir.
- Grafta, olasılıklı karar kuralını kullanarak hareket eder. Olasılıklı karar kuralı; 1) feromen ve sezgisel değerlerin, 2) karıncanın sahip olduğu hafızanın, 3) problem kısıtlarının bir fonksiyonudur.
- Kısmi çözüme bir çözüm parçasını eklerken bu çözüm parçası ile ilgili feromen değerini güncelleyebilir.
- Bir çözümü kurduktan sonra, aynı yol üzerinde geri dönüş yaparak çözümü kurmada kullanılan çözüm parçalarının feromen değerlerini günceller.

Kolonideki karıncalar birbirleriyle uyumlu ve bağımsız olarak hareket ederler. İyi kaliteli çözümler, karıncalar arasında uyumlu işbirliğinin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu işbirliği, karıncaların graf üzerinde gezintisi sırasında çözüm parçaları üzerinde depolanan feromen değerlerini kullanarak dolaylı haberleşme ile sağlanır.

4.2.3. KKE algoritması

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi bir KKE algoritmasında üç temel prosedür vardır. Bu prosedürler, algoritmanın durdurma koşulu sağlanıncaya kadar uygulanır [Dorigo and Stützle, 2004].

```

procedure KKE algoritması
  Faaliyetleri Çizelgele
    Çözümleri Oluştur
    Feromen Değerlerini Güncelle
    Arka Plan Aktivite (opsiyonel)
  end-Faaliyetleri Çizelgele
end-procedure

```

Şekil 4. 2. KKE algoritmasının temel yapısı

Çözümleri Oluştur Prosedürü

Bu prosedür, problemin kurucu grafi üzerinde hareket eden karıncaların bir kolonisini yönetir. Karıncalar, feromen değerlerini ve sezgisel bilgiyi kullanan stokastik karar politikasını uygulayarak graf üzerinde hareket ederler. Dolayısıyla, her karınca tarafından probleme çözüm iteratif olarak elde edilir. Bir karınca çözümü kurduktan sonra amaç fonksiyonu değeri hesaplanır. Bu değer, Feromen Değerlerini Güncelle prosedüründe ilgili çözüm parçası ile ilgili ne kadar feromen depolanacağını belirlemek amacıyla kullanılır.

Feromen Değerlerini Güncelle Prosedürü

Karıncalar tarafından elde edilen çözümlere dayalı olarak feromen değerlerini güncellemek amacıyla kullanılır. Bu prosedürde, kolonideki karıncalar tarafından kullanılan çözüm parçalarındaki feromen değerleri artırılırken diğer parçalardaki feromen değerleri buharlaşmaya eşdeğer olarak azaltılır. Uygulama açısından

bakıldığında, feromen değerlerindeki artış karıncalar tarafından iyi çözümlerin elde edilmesi amacıyla ilgili çözüm parçalarının kullanım olasılığını artıracaktır. Feromen değerlerindeki buharlaşma ise ilgili çözüm parçalarının kullanım olasılığını azaltacaktır. Dolayısıyla, karıncaların arama uzayında farklı bölgelere yönlendirilmesi sağlanarak aramada çeşitlilik artırılmış olacaktır.

Arka Plan Aktivite Prosedürü

Her iterasyonda bir takım merkezi faaliyetleri yerine getirmek amacıyla kullanılır. Kullanımı tercihe bağlıdır. Bu tür aktivitelere örnek olarak, yerel arama yöntemlerinin karıncalar tarafından kurulan en iyi çözümü ya da tüm çözümlere uygulanması, kolonideki tüm karıncalar çözümleri oluşturduktan sonra en iyi çözüme dayalı olarak ilave feromen güncellemesinin yapılması verilebilir [Dorigo and Stützle, 2004].

4.3. KKE Algoritmaları

KKE algoritması, Dorigo ve ark (1996) tarafından önerildikten sonra bu algoritmayı temel alan çeşitli algoritmalar literatürde önerilmiştir [Dorigo ve ark., 1996]. Literatürde birçok problemin çözümünde kullanılan dört farklı KKE algoritması bu bölümde kısaca açıklanacaktır. Algoritmaların açıklanmasında en küçükleme problemini çözmek amacıyla kullanıldıkları varsayılmıştır [Dorigo and Stützle, 2004].

4.3.1. Karınca sistemi

Dorigo ve ark. (1996) tarafından KKE'ne dayalı ilk algoritmadır [Dorigo ve ark., 1996]. Karınca sisteminde (KS), karıncaların çözüm kurması ve feromenlerin güncellenmesi olmak üzere iki ana aşama vardır. KS'de feromenlere başlangıç değerini atamak için ilgilenilen problem için sezgisel bir yöntem ile elde edilen çözüm kullanılır. Eş. 4.1'de feromenlere başlangıç değerini atanması görülmektedir:

$$\tau_{ij} = \tau_0 = m / C^{mm} \quad \forall i, j \in E \quad (4.1)$$

Eş. 4.1'deki m ; karınca sayısı, C^{mm} ; sezgisel çözümün amaç fonksiyonu değeridir. Bu şekilde τ_0 değerlerinin belirlenmesi ile bu değerlerin ne çok küçük ne de çok büyük seçilmesi engellenmiş olur. Başlangıç feromen değerleri çok küçük seçilirse arama, koloni tarafından üretilen ilk çözümlerin bulunduğu bölgelere yani çözüm kalitesinin düşük olduğu bölgelere yönlendirilmiş olur. Aksine, başlangıç feromen değerleri çok yüksek seçilirse algoritmanın iyi bölgelerde aramaya yönlendirilmesi için büyük zaman harcanmış olacaktır [Dorigo and Stutzle, 2004].

Çözümün Kurulması

KS'nin her iterasyonunda m yapay karınca probleme çözüm arar. Başlangıçta, kurucu graftaki düğümlere karıncalar rassal olarak atanır. Çözüm kurmanın her adımında, i düğümünde bulunan karınca k Eş. 4.2'de verilen olasılıklı kuralı kullanarak bir sonraki düğümü j seçer.

$$p_{ij}^k = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in N_i^k} [\tau_{il}]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} \quad j \in N_i^k \quad (4.2)$$

Eş. 4.2'de α ve β parametreleri, feromen değerlerinin ve sezgisel bilginin görece etkisini tanımlarken N_i^k , i düğümünde bulunan karınca k için henüz ziyaret etmediği düğümlerin kümesidir. Olasılıklı kurala göre, karınca k 'nın (i, j) hattını seçme olasılığı ilgili hattın feromen değerine ve sezgisel bilginin kalitesine dayalı olarak artmaktadır. α ve β parametrelerinin olasılıklı kuraldaki etkisi aşağıdaki gibi tanımlanabilir. $\alpha = 0$ ise, karıncalar sezgisel bilgiye dayalı olarak çözümleri kurarlar. Bu durumda algoritma, stokastik aç gözlü algoritmaya eşdeğer olacaktır. $\beta = 0$ ise, karıncalar çözümleri sadece feromen değerlerine göre kurarlar. Bu durumda, algoritma ile düşük kaliteli çözümler elde edilir [Dorigo and Stutzle, 2004].

Feromen Değerlerinin Güncellenmesi

Algoritmanın her iterasyonun da, kolonideki tüm karıncalar çözümleri kurduktan sonra feromen değerleri güncellenmektedir. Feromen güncellenme aşamasında kurucu graftaki tüm hatların feromen değerleri belirli bir oranda düşürüldükten (bu işlem, gerçek karıncaların yollara bıraktığı feromen salgısının fenomenlerin buharlaşmasına eşdeğerdir) sonra karıncaların çözüm kurmasında kullanılan hatların feromen değerleri arttırılır. Feromen değerlerinin düşürülmesinde eşitlik 4.3 kullanılır.

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho)\tau_{ij} \quad \forall (i, j) \in E \quad (4.3)$$

Eşitlikteki $0 < \rho \leq 1$; feromen buharlaşma oranıdır. ρ , feromen değerlerinin fazla yükselmesini önlemek amacıyla kullanılır. Ayrıca, önceki iterasyonlarda alınan kötü kararların unutulmasını dolayısıyla aramanın yüksek kaliteli bölgelere yönlendirilmesini sağlar. Karıncaların çözüm kurma aşamasında kullanılan hatların feromen değerleri ise Eş. 4.4 kullanılarak arttırılır.

$$\tau_{ij} \leftarrow \tau_{ij} + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k \quad \forall (i, j) \in E \quad (4.4)$$

Eş. 4.4'de $\Delta \tau_{ij}^k$; karınca k 'nin çözüm kurarken kullandığı hatlara bıraktığı feromen değeridir. Bu değer Eş. 4.5 ile hesaplanır.

$$\Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} 1/C^k & (i, j), S^k \text{ cozumune ait ise} \\ 0 & \text{dd} \end{cases} \quad (4.5)$$

Eş. 4.5'de S^k ; karınca k 'nin kurduğu çözüm, C^k ; S^k 'nin amaç fonksiyonu değeridir. Eş. 4.5'de görüldüğü gibi amaç fonksiyonu değeri küçük olan çözümlerin feromen değerlerinin artmasında katkısı daha fazladır. Ayrıca, birçok karınca

tarafından çözümün kurulması aşamasında kullanılan hatların feromen değerleri çok daha fazla artacaktır [Dorigo and Stützle, 2004].

Dorigo ve ark. (1996) yaptıkları çalışmalar sonucunda problem boyutu arttıkça, KS'nin GA, TB ve TA gibi diğer genel amaçlı sezgisel yöntemlere göre performansının azaldığını göstermişlerdir [Dorigo ve ark., 1996]. Bu nedenle literatürde AS'nin performansının iyileştirilebilmesi amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmış ve KKE'ye dayalı yeni algoritmalar önerilmiştir.

4.3.2. MAX-MIN karınca sistemi

MAX-MIN karınca sistemi (MMKS), KS'ne göre dört önemli özelliğe sahiptir. Birinci, MMKS'de feromen değerlerinin güncellenmesinde her iterasyonda bulunan en iyi çözüm ya da arama sırasında bulunan en iyi çözüm kullanılır. Ancak, sadece iyi çözüm kullanarak feromen güncellemesinin yapılması algoritmanın hızlı yakınsamasına dolayısıyla yerel en iyi çözümlere takılmasına sebep olmaktadır. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak amacıyla MMKS'deki ikinci özellik, feromenlerin alacağı değerleri $[\tau_{\min}, \tau_{\max}]$ gibi bir aralık ile sınırlandırılmasıdır. Üçüncü özellik, MMKS'nin ilk iterasyonlarında arama özelliğini arttırmak için başlangıç feromen değerlerinin τ_{\max} olarak alınmasıdır. Son olarak, belirli sayıdaki ardışık iterasyonlarda bulunan en iyi çözüm iyileşmediğinde ya da yerel en iyi çözüme yakınsama olduğunda MMKS'nin feromen değerlerine başlangıç değerinin atanmasıdır [Dorigo and Stützle, 2004].

Feromen Değerlerinin Güncellenmesi

MMKS'de feromen değerlerinin güncellenmesi kolonideki tüm karıncalar çözümleri ürettikten sonra yapılır. Bu aşamada öncelikle AS'de olduğu gibi Eş. 4.3 kullanılarak tüm feromen değerleri belirlenen buharlaşma oranına göre azaltılır ve kurucu grafta iyi çözümün oluşturulmasında kullanılan hatların feromen değerleri Eş. 5.6 kullanılarak arttırılır [Dorigo and Stützle, 2004].

$$\tau_{ij} \leftarrow \tau_{ij} + \Delta \tau_{ij}^{iyi} \quad \forall (i, j) \in S^{iyi} \quad (4.6)$$

Eş. 4.6'daki $\Delta \tau_{ij}^{iyi}$ 'in değeri $1/C^{iyi}$ olarak alınır. Feromen güncellemesinde kullanılan çözüm (iyi), MMKS'nin arama sırasında ilgili iterasyona kadar bulduğu en iyi çözüm ya da MMKS'nin ilgili iterasyonunda bulunan en iyi çözümdür. Feromen güncellemesinde hangi iyi çözümün kullanılacağı problemden probleme farklılık göstermektedir. İlgili iterasyona kadar bulunan en iyi çözüm kullanılırsa arama bu çözümün bulunduğu bölgede yoğunlaşırken, ilgili iterasyondaki en iyi çözüm kullanıldığında ise çözüm uzayının farklı bölgelerinde arama yapma imkânı söz konusudur [Dorigo and Stützle, 2004].

Feromen Değerlerinin Sınırları

MMKS'de zamansız yakınsamayı önlemek amacıyla feromen değerlerinin belirlenen alt (τ_{\min}) ve üst (τ_{\max}) değerler arasında olması istenir. Feromen değerlerinin bu sınırlar arasında olması kurucu graftaki (i, j) hattının seçim olasılığının $0 < p_{\min} \leq p_{\max} \leq 1$ olmak şartıyla $[p_{\min}, p_{\max}]$ aralığında olmasını sağlar. τ_{\max} değeri, ilgili problem için kurucu ya da yerel arama sezgisel algoritması ile elde edilen başlangıç çözümünün amaç fonksiyonu değerine (C^{bas}) göre $1/C^{bas}$ olarak alınır. τ_{\min} değeri ise, τ_{\max} değerine dayalı olarak belirlenir ve $\tau_{\min} = \tau_{\max} / a$ olarak tanımlanır. Stützle'nin 1999 yılında yaptığı deneysel çalışmalardan, algoritmanın zamansız yakınsamasını önlemede τ_{\min} değerinin τ_{\max} değerinden daha önemli etkiye sahip olduğu gösterilmiştir [Dorigo and Stützle, 2004].

Feromen Değerlerine Yeniden Başlangıç Değerinin Atanması

MMKS'de feromen değerlerinin güncellenmesinde ilgili iterasyona kadar bulunan en iyi çözüm ya da ilgili iterasyonda bulunan en iyi çözüm kullanıldığından dolayı, algoritmanın zamansız yakınsaması söz konusu olabilmektedir. Dolayısıyla, çözüm

uzayının farklı bölgelerinde aramanın gerçekleştirilebilmesi için feromen değerlerine başlangıç değeri atanır. Feromen değerlerine başlangıç değeri ataması, MMKS yerel en iyi çözüme yakınsadığında ya da bulunan en iyi çözüm önceden belirlenen bir ardışık iterasyon sayısında iyileşmiyorsa gerçekleştirilir.

4.3.3. Karınca kolonisi sistemi

Karınca Kolonisi Sistemi (KKS), Dorigo ve Gambardella (1997a, b) tarafından önerilmiştir [Dorigo ve Gambardella, 1997a,b]. KKS'yi KS'den ayıran üç önemli özellik vardır. Birincisi, KS'de karıncaların elde ettiği arama tecrübesi KKS'de çok daha iyi kullanılır. İkincisi, sadece algoritmanın ilgili iterasyona kadar bulunduğu en iyi çözümün oluşturulmasında kullanılan kurucu grafın hatlarında feromen buharlaşması ve feromen artırılması gerçekleştirilir. Üçüncüsü ise, her karıncanın çözüm oluşturma aşamasında kullandığı hatlarda feromen buharlaştırılması gerçekleştirilir. Amaç, KKS'nin çözüm uzayında araştırma özelliğini arttırmaktır [Dorigo and Stützle, 2004].

Çözümün Kurulması

KKS'de, kurucu grafın i düğümünde olan karınca k 'nın j düğümüne hareketi Eş. 4.7'de verilen sözde oransal kurala göre gerçekleştirilir.

$$j = \begin{cases} \arg \max_{l \in N_i^k} \left\{ \tau_{il} [\eta_{il}]^\beta \right\}, & q \leq q_0 \\ J & \text{dd} \end{cases} \quad (4.7)$$

Eş. 4.7'de q ; parametreleri $[0, 1]$ olan düzgün dağılıma sahip rassal değişken, q_0 ; 0 ile 1 arasında değer olan parametre, J ; Eş. 4.2'de verilen olasılık dağılımına göre seçilen rassal değişkenin değeridir. Eş. 4.7'ye göre, q_0 olasılığı ile karınca feromen değeri ile sezgisel değer çarpımının en büyük olduğu hattı kullanarak ilgili j düğümüne hareket ederken $(1 - q_0)$ olasılığı ile Eş. 4.2'de verilen olasılıklı seçim

kuralına göre j düğümüne hareket eder. q_0 değeri, algoritmanın araştırma derecesini belirler. q_0 değeri azalırken KKS'nin çözüm uzayında araştırma (exploration) özelliği ön plana çıkarken, aksine bu değer artarken bilgiyi işletme (exploitation) özelliği artmaktadır [Dorigo and Stützle, 2004].

Feromen Değerinin Global Güncellenmesi

KKS'de, feromen değerlerinin global güncellenmesi sadece ilgili iterasyona kadar bulunan en iyi çözümün kurulması (S^{iyi}) aşamasında kullanılan hatlar üzerinde gerçekleştirilir. Feromen değerinin güncellenmesinde Eş. 4.8 kullanılmaktadır:

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho)\tau_{ij} + \rho\Delta\tau_{ij}^{iyi} \quad \forall (i, j) \in S^{iyi} \quad (4.8)$$

Sadece iyi çözümün kurulması aşamasında kullanılan hatlarda feromen güncellemesi gerçekleştirildiği için KKS'nin hesaplama karmaşıklığı, kurucu grafin tüm hatlarında feromen güncellemesini gerçekleştiren KS'ne göre daha azdır.

Feromen Değerinin Yerel Güncellenmesi

KKS'de feromen değerinin global güncellemesinin yanı sıra feromen değerinin yerel güncellemesi de yapılmaktadır. Kolonideki her karıncanın çözüm kurma aşamasında yerel feromen güncellemesi yapılır ve bu güncellemede Eş. 4.9 kullanılır.

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \xi)\tau_{ij} + \xi\tau_0 \quad (4.9)$$

Eş. 4.9'da, ξ ve τ_0 olmak üzere iki parametre vardır. Kurucu grafin tüm hatlarına aynı başlangıç feromen değeri (τ_0) atanır. Bu değer, ilgili probleme kurucu ya da yerel arama sezgisel algoritması ile elde edilen başlangıç çözümüne (C^{bas}) ve problemdeki karar değişkeni sayısına (n) dayalıdır ve $1/nC^{bas}$ olarak tanımlanır.

ξ , 0 ile 1 arasında bir değer olarak alınır. Dorigo and Stützle (2004), bu değerini 0,10 alınmasını tavsiye etmektedir. KKS’de feromen değerlerinin yerel güncellemesinin en önemli etkisi, algoritmanın çözüm uzayında araştırma özelliğini artırmasıdır [Dorigo and Stützle, 2004].

4.3.4. İkili düzende KKE

Blum ve Dorigo (2004) tarafından önerilen ikili düzende KKE’de (I_KKE), feromen değerleri 0 ile 1 arasında olacak şekilde yeniden yapılandırılır [Kong ve ark., 2008]. I_KKE, çoğu kombinatoriyal en iyileme probleminin çözümünün ikili düzende vektör ile tanımlanmasından esinlenilmiştir. Bilindiği gibi bu problemlerin karar değişkenleri 0 ya da 1 değerini almaktadır. Dolayısıyla, I_KKE’de her karınca tarafından oluşturulan çözüm karar değişkenlerinin değeri olan 0 ya da 1 değerini almaktadır.

Feromen Değerlerini Güncelleme

Feromen değerlerinin güncellenmesi KS’deki yapıya benzer şekilde yapılır. Tek farklılık, bu değerlerin 0 ile 1 arasında değer almasını sağlamaktır. Güncelleme işleminde Eş. 4.10 kullanılır:

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho)\tau_{ij} + \rho \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k \quad (4.10)$$

Eş. 4.10’deki $\Delta \tau_{ij}^k$ değeri ise Eş. 4.11 kullanılarak elde edilir:

$$\Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{1/C^k}{\sum_{h=1}^m (1/C^h)} & (i, j) \text{ hattini karınca } k \text{ kullandı ise} \\ 0 & \text{dd} \end{cases} \quad (4.11)$$

Bu güncelleme işleminde feromen değerleri her zaman 1'den küçük değer almaktadır [Dorigo and Stützle, 2004].

Bu bölümde, literatürdeki çalışmalarda çeşitli kombinatoryal en iyileme problemlerinde performanslarının iyi olduğu gösterilen dört KKE algoritması incelenmiştir. Bir sonraki bölümde, KTYP için KS'ye dayalı olarak geliştirilmiş olan KKE algoritması verilecektir.

5. KTYP İÇİN GELİŞTİRİLEN ALGORİTMA

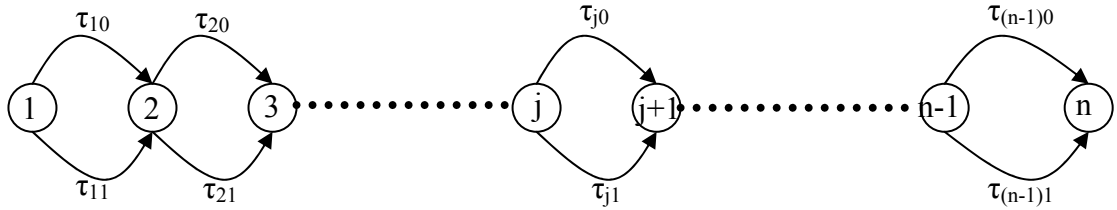
Bu tez çalışmasında, NP-zor problemler sınıfında yer alan KTYP'nin çözümü için KKE algoritmasına dayalı yeni bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir. KKE algoritmasının bu problemin çözümünde kullanılmasının iki sebebi vardır. Birincisi, Dorigo ve Stützle (2004)'de görüldüğü gibi KKE algoritması çeşitli kombinatoryal eniyileme problemlerine (çizelgeleme, gezgin satıcı problemi, haberleşme şebekelerinin tasarımı, güvenilir sistemlerin tasarımı) başarı ile kullanılmıştır [Dorigo ve Stützle, 2004]. İkincisi ise, KTYP ile ilgili literatür araştırmasının yapıldığı 3. Bölümde görüldüğü gibi bu problemin çözümü için literatürde KKE algoritmasına dayalı bir sezgisel algoritmanın geliştirilmemiş olmasıdır. Dolayısıyla, literatürde ilk kez bu tez ile KTYP'nin çözümü için KKE algoritması önerilmiştir.

KTYP'de, toplam maliyetini en azlayacak şekilde hangi tesislerin açılacağına ve hangi müşterilerin açılan tesislere atanacağına karar verilmektedir. Müşteriler açılan en yakın tesise atandığından dolayı problemde verilecek karar tesislerin açılıp açılmaması ile ilgilidir. Bu nedenle, KTYP için geliştirilen algoritma (KTY_KKA) I_KKE algoritmasına dayalıdır. Bu bölümde, KTY_KKA'de çözümlerin gösterimi ve kurulması, başlangıç feromen değerlerinin elde edilmesi, feromen değerlerinin güncellenmesi, arama sırasında kullanılan yerel arama algoritması detaylı olarak açıklanacaktır.

5.1. Çözüm Gösterimi ve Kurulması

KTP_KKE'de çözümler ikili düzende kodlanmaktadır. KTYP için ikili düzendeki dizi $x = \{x_1, \dots, x_n\} \in \{0,1\}^n$, KTY_KKA'de potansiyel bir çözümü göstermektedir. Gösterimde n problemdeki tesis sayısı tanımlarken, j . tesis yerinde bir tesis açılırsa $x_j = 1$ iken tesis açılmaz ise $x_j = 0$ değerini almaktadır. KTY-KKE'de KTYP Şekil 5.1'de görüldüğü gibi kurucu graf bir ağırlıklı graf $G = (V, E, \Gamma)$ olarak tanımlanmaktadır. Grafta V , düğümlerin kümesini tanımlamaktadır. Graftaki her ardışık iki düğüm j ve $j+1$ ($j = 1, \dots, n$) arasında j_0 ve j_1 olmak üzere iki hat vardır ve

E , graftaki hatların kümesini göstermektedir. Γ ise, elemanları τ_{j0} ve τ_{j1} olan feromen değerlerinin bir kümesidir.



Şekil 5. 1. KTY_KKA'de Karıncalar için Ağırlıklı Graf

KTY_KKA'de, karıncalar ikili düzendeki çözüm uzayında arama yapmaktadır. Her iterasyonda her karınca, ağırlıklı grafa düğüm 1'den başlayarak ardışık olarak tüm düğümleri geçerek düğüm n 'e ulaşmaktadır. Her karınca, düğüm j 'den düğüm $j+1$ 'e geçmek için ya $j0$ ya da $j1$ hattını seçmektedir. Karınca, $j0$ hattını seçerse j . tesis yerine tesis açılmaz yani $x_j = 0$, $j1$ hattını seçerse ilgili yere tesis açılır yani $x_j = 1$ 'dir. Grafın hatlarında bulunan feromen değerleri (τ_{j0} ve τ_{j1}) ilgili hatların seçilme olasılığını belirler. t . iterasyonda j ile $j+1$ düğümleri arasındaki $j0$ ve $j1$ hatlarının seçilme olasılığı, Eş. 5.1'de tanımlanmaktadır:

$$p_{js} = \frac{\tau_{js}(t)}{\tau_{j0}(t) + \tau_{j1}(t)}, \quad j=1, \dots, n, \quad s \in \{0,1\} \quad (5.1)$$

KTY_KKA'de her bir feromen değeri çifti (τ_{j0} ve τ_{j1}) için özel feromen güncelleme kuralı kullanılmaktadır. Bu kurala göre, $0 < \tau_{j0}, \tau_{j1} < 1$ olmak şartı ile $\tau_{j0} + \tau_{j1} = 1$ 'dir. Dolayısıyla Eş. 5.2'de görüldüğü gibi herhangi bir hattın feromen değeri, aynı zamanda bu hattın seçilme olasılığını vermektedir.

$$p_{js}(t) = \tau_{js}(t), \quad j=1, \dots, n, \quad s \in \{0,1\} \quad (5.2)$$

Bu yapı, çok boyutlu sırt çantası probleminin çözümü için Kong ve ark. (2008) tarafından önerilen KKE algoritmasında da kullanılmıştır [Kong ve ark., 2008].

5.2. Başlangıç Feromen Değerlerinin Belirlenmesi

KKE algoritmalarında, genellikle ilgilenilen problem için sezgisel bir algoritma ile elde edilen başlangıç çözümüne dayalı olarak tüm feromen değerlerine aynı başlangıç değeri atanır. Dolayısıyla, algoritmanın başlangıç iterasyonlarında çözüm uzayındaki her çözümün ortaya çıkma olasılığı eşittir. Önerilen KTY_KKA'de ise algoritmanın iyi çözümlere yakınsama hızını arttırmak için bu genel yaklaşımdan farklı olarak kurucu graftaki hatlara farklı başlangıç feromen değerleri atanmıştır. Holthatis ve Rajendran (2005), çizelgeleme problemi için geliştirdikleri KKE algoritmasında da farklı başlangıç feromen değerlerini kullanmışlardır [Holthatis ve Rajendran, 2005]. Ancak, bu tezde başlangıç feromen değerlerinin belirlenme yaklaşımı Holthatis ve Rajendran yaklaşımından farklıdır.

Önerilen yaklaşımda, başlangıç feromen değerlerinin belirlenmesinde çözümlerin bir kümesi kullanılmıştır. Kümedeki ilk iki çözüm, TYP literatüründe çok iyi bilinen EKLE ve ÇIKAR kurucu sezgiselleri ile elde edilmiştir. EKLE sezgiselinde, başlangıçta tüm tesisler kapalıdır. Algoritmanın her aşamasında maliyette en büyük azalmayı sağlayan tesis açılır. Bu işlem yeni bir tesisin açılması ile maliyette artma oluncaya kadar devam eder. Algoritma sonlandığında ilk sezgisel çözüm (S_{ekle}) elde edilmiş olur. ÇIKAR sezgiselinde ise başlangıçta tüm tesisler açıktır. Algoritmanın her aşamasında maliyette en büyük azalmayı sağlayan tesis kapatılır. EKLE algoritmasında olduğu gibi bu işlem bir tesisin kapatılması ile maliyette artma oluncaya kadar devam eder ve ikinci sezgisel çözüm (S_{cikar}) elde edilir. Her iki sezgisel çözümün (S_{ekle} ve S_{cikar}) tüm komşularının oluşturulmasında ise EKLE (E), ÇIKAR (Ç) ve EKLE/ÇIKAR (E/Ç) hareketleri kullanılmıştır. n tesis yerinin bulunduğu bir problemin sezgisel bir çözümündeki açık ve kapalı tesislerin sayısı sırası ile $k1$ ve $k2$ ise EKLE hareketi ile elde edilecek komşuların sayısı $k2$, ÇIKAR hareketi ile elde edilecek komşuların sayısı $k1$ ve EKLE/ÇIKAR hareketi ile elde

edilecek tesislerin sayısı ise $k1*k2$ olacaktır. Çizelge 5.1'de 6 tesise sahip bir problem için EKLE sezgisel ile elde edilen başlangıç çözümü (S_{ekle}) ve bu çözüme EKLE, ÇIKAR ve EKLE/ÇIKAR hareketleri ile elde edilen komşu çözümler verilmektedir. Bölüm 5.1'de açıklandığı gibi açık olan tesisler 1, kapalı olan tesisler ise 0 ile gösterilmektedir.

Çizelge 5. 1. EKLE, ÇIKAR ve EKLE/ÇIKAR ile elde edilen komşu çözümler

	Tesisler					
	1	2	3	4	5	6
S_{ekle}	1	1	0	1	0	0
EKLE Hareketi ile	1	1	1	1	0	0
Elde Edilen	1	1	0	1	1	0
Çözümler	1	1	0	1	0	1
ÇIKAR Hareketi ile	0	1	0	1	0	0
Elde Edilen	1	0	0	1	0	0
Çözümler	1	1	0	0	0	0
	0	1	1	1	0	0
	0	1	0	1	1	0
	0	1	0	1	0	1
EKLE/ÇIKAR	1	0	1	1	0	0
Hareketi ile Elde	1	0	0	1	1	0
Edilen Çözümler	1	0	0	1	0	1
	1	1	1	0	0	0
	1	1	0	0	1	0
	1	1	0	0	0	1

Tüm çözümlerin oluşturduğu kümedeki (K) en iyi çözüme Bölüm 5.5'de anlatılan yerel arama algoritması kullanılarak elde edilen yerel en iyi çözümde kümeye eklenmiştir. Ayrıca bu çözüm, KTY_KKA algoritmasının başlangıcında bulunan global en iyi çözüm (S^{gii}) olarak kaydedilir. Bu kümedeki tüm çözümler dikkate alınarak kurucu graftaki hatların başlangıç feromen değerleri, τ_{j0} ve τ_{j1} , Eş. 5.3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\tau_{j1} = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{|K|} x_{jk}}{|K|}, \quad \tau_{j0} \leftarrow 1 - \tau_{j1}, \quad \forall j \in E \quad (5.3)$$

Başlangıç feromen değerlerinin belirlenmesi için kullanılan algoritma Şekil 5.2’de verilmektedir.

Procedure 1: başlangıç feromen değerleri (τ_{j0} ve τ_{j1} , $\forall j \in E$)

begin

EKLE sezgiseli ile sezgisel çözümü elde et (S_{ekle})

CIKAR sezgiseli ile sezgisel çözümü elde et (S_{cikar})

S_{ekle} ’nin komşularını E, C ve E/C hareketleri ile elde et ve K_e kümesine ekle

S_{cikar} ’nin komşularını E, C ve E/C hareketleri ile elde et ve K_c kümesine ekle

Tüm komşuların kümesini elde et, $K \leftarrow K_e \cup K_c$

Komşular içerisinde en küçük maliyete sahip çözümü seç

$$S^{iyi} \leftarrow \min \{Z_i, S_i \in K\}$$

S^{iyi} ’ye yerel arama algoritmasını uygula

Bu çözümü global en iyi çözüm S^{gii} olarak al ve K ’ye ekle

$$K \leftarrow K \cup S^{gii}$$

Başlangıç feromen değerlerini hesapla

$$\tau_{j1} = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{|K|} x_{jk}}{|K|}, \quad \tau_{j0} \leftarrow 1 - \tau_{j1}, \quad \forall j \in E$$

end-procedure

Şekil 5. 2. Başlangıç feromen değerlerinin elde edilmesi için algoritma

5.3. Amaç Fonksiyonu Değerinin Hesaplanması

Başlangıç feromen değerlerinin elde edilmesinde kullanılan çözümlerde olduğu gibi algoritmanın her iterasyonunda karıncalar tarafından elde edilen çözümlerin amaç fonksiyonu değerinin hesaplanması gerekmektedir. Amaç fonksiyonu değerinin hesaplanmasında en basit yol, ilgili çözümde açılan tesisleri belirledikten ve bu tesislere en yakın müşterileri atandıktan sonra Eş. 2.1’i kullanmaktır. İşlem basit

olmasına rağmen, her çözüm için aynı işlemin tekrarlanması özellikle büyük boyutlu problemlerde algoritmanın çözüm zamanına büyük bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, literatürde aynı problemin çözümü ile ilgilenen Sun (2006) ve Resende ve Werneck (2006) bu hesaplamaların çok daha hızlı bir şekilde yapılması için “Net Maliyet Değişim” hesaplama yaklaşımını kullanmışlardır [Sun, 2006; Resende ve Werneck, 2006]. Bu tezde de, herhangi bir çözümün amaç fonksiyonu değerinin hesaplanmasında bu yaklaşım kullanılmıştır.

Net Maliyet Değişimi hesaplama yaklaşımında, EKLE, ÇIKAR ya da EKLE/ÇIKAR hareketlerinden ortaya çıkacak olan net maliyet değişimini bulunarak hızlı bir şekilde amaç fonksiyonu değeri güncellenmektedir. Bu yaklaşımda, üç küme kullanılmaktadır. Bunlar; her bir müşteriye açık olan tesisler arasından

- a. En yakın tesisi içeren küme ($D1$),
- b. En yakın ikinci tesisi içeren küme ($D2$)
- c. En yakın üçüncü tesisi içeren küme ($D3$)

EKLE, ÇIKAR ya da EKLE/ÇIKAR hareketlerinden ortaya çıkacak olan net maliyet değişimini hesaplamada kullanılan formülasyonları aşağıda verilmiştir:

EKLE hareketine dayalı olarak net maliyet değişimi

Bir j tesisinin açılmasından kaynaklanan net maliyet değişimi Eş. 5.4 kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$kazanc(j) = \sum_{i \in I} \max(0, c_{d1,i} - c_{ji}) \quad (5.4)$$

Bu eşitlikte, j açılacak olan tesisi, i her bir müşteriye, I tüm müşterilerin kümesini, $c_{d1,i}$ i müşterisi ve mevcut çözümdeki en yakın tesis arasındaki ulaştırma maliyetini, c_{ji} , yeni açılan j tesisi ve i müşterisi arasındaki ulaştırma maliyetini göstermektedir. Eş. 5.4’de, yeni bir tesis açıldığında, bu tesisin en yakın tesislere atan müşterilere

daha yakın bir tesis olup olmadığı araştırılmaktadır. Eğer daha yakın ise, ilgili müşteri yeni açılan tesise atanacaktır. Bu durumda, yeni çözümün amaç fonksiyonunun değeri Eş. 5.5’de görüldüğü gibi hesaplanır:

$$Z_{yeni} = Z_{mevcut} - (kazanc(j) - f_j) \quad (5.5)$$

ÇIKAR hareketine dayalı olarak net maliyet değişimi

Bir j tesisinin kapatılmasından kaynaklanan net maliyet değişimi ise Eş. 5.6 ile hesaplanır:

$$kayip(j) = \sum_{i:d1_i=j} [c_{d2_i} - c_{d1_i}] \quad (5.6)$$

Eş. 5.6’daki c_{d2_i} , i müşterisine en yakın ikinci tesisi ile müşteri arasındaki ulaştırma maliyetini göstermektedir. Eşitlikte dikkate alınan müşteriler, kapatılan tesisin müşterileridir ($i : d1_i = j$). j tesisi kapatıldığında, bu tesisin müşterileri en yakın ikinci tesise atanır. Bu durumda, yeni çözümün amaç fonksiyonunun değeri Eş. 5.7’de görüldüğü gibi hesaplanır:

$$Z_{yeni} = Z_{mevcut} - (f_j - kayip(j)) \quad (5.7)$$

EKLE/ÇIKAR hareketine dayalı olarak net maliyet değişimi

Diğer iki hareketin tersine bu hareket ile iki tesisin durumu değişmektedir. Resende ve Werneck (2006), Whitaker’ın 1983 yılındaki uygulamasından yararlanarak EKLE/ÇIKAR hareketlerinin birlikte kullanılması durumunda net maliyet değişiminin hesaplanması için bir yöntem geliştirmişlerdir [Resende ve Werneck, 2006]. Bu yöntemde Eş. 5.8 ve Eş. 5.9 kullanılmaktadır:

$$ekstra(j1, j2) = \sum_{i: [d1_i = j2] \wedge [c_{j1i} < c_{d2i}]} [c_{d2i} - \max(c_{j1}, c_{d1i})] \quad (5.8)$$

Eş. 5.8’de verilen $j1$ açılacak olan tesisi, $j2$ ise kapatılacak olan tesisi tanımlamaktadır. Ekstra maliyet hesaplamasında dikkate alınan müşteri grubu; kapatılacak olan tesiste yer alan ve en yakın ikinci tesise olan ulaştırma maliyeti açılacak olan tesise olan ulaştırma maliyetinden daha büyük olan müşteri grubudur ($i: [d1_i = j2] \wedge [c_{j1i} < c_{d2i}]$). Kapatılacak olan tesisteki diğer müşteriler ise en yakın ikinci tesise atanır. Dolayısıyla Eş. 5.9 EKLE/ÇIKAR hareketi ile elde edilen net maliyet değişimini vermektedir.

$$kalan(j1, j2) = kazanc(j1) - kayip(j2) + ekstra(j1, j2) \quad (5.9)$$

Bu durumda yeni çözümün amaç fonksiyonu değeri Eş. 5.10 kullanılarak hesaplanır:

$$Z_{yeni} = Z_{mevcut} - (kalan(j1, j2) - f_{j1} + f_{j2}) \quad (5.10)$$

Bir sonraki bölümde, EKLE, ÇIKAR ve EKLE/ÇIKAR hareketlerine dayalı net maliyet değişimi hesaplaması küçük bir örnek üzerinde açıklanacaktır.

5.3.1. Net maliyet değişim hesabı için örnek

Sun (2006) ’un makalesinde verilen 8 tesisli ve 15 müşterili örnek dikkate alınmıştır [Sun, 2006]. Çizelge 5.2’de, her bir tesisin açılmasından ortaya çıkan sabit maliyet ve tesisler ile müşteriler arasındaki ulaştırma maliyeti verilmektedir. Bu problem için açık olan tesislerin 3, 4 ve 7 numaralı tesisler olduğunu ve çözümün mevcut çözüm kabul edilsin. Bu durumda mevcut çözüm, $S_{mevcut} = [0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0]$ olarak kodlanır. Bu çözümün toplam maliyeti $Z_{mevcut} = 692$ pb’dir. Çizelge 5.3’de, mevcut çözümdeki açık olan tesisler dikkate alınarak müşterilere en yakın birinci, ikinci ve üçüncü tesisler ile ilgili $d1$, $d2$ ve $d3$ kümeleri verilmektedir.

EKLE Hareketi ile Elde Edilen Net Maliyet Değişimi

1 numaralı tesisin açıldığı kabul edilsin. Bu durumda yeni çözüm $S_{yeni} = [1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0]$ olarak kodlanır. Eş. 5.4 kullanıldığında 10. müşteri yeni açılan tesise atanacaktır ve 1 numaralı tesisin açılması ile elde edilen kazanç ($kazanc(1)$) 1 pb olacaktır. 1 numaralı tesisin sabit maliyeti 119 pb'dir. Dolayısıyla, yeni çözümün amaç fonksiyonu değeri Eş. 5.7 kullanılarak hesaplandığında $Z_{yeni} = Z_{mevcut} - (kazanc(1) - f_1) = 692 - (1 - 119) = 810$ pb'dir.

Çizelge 5. 2. Örnek problem için maliyet verileri

	Tesis							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Sabit Maliyet (f_j)	119	114	117	108	128	144	116	124
Müşteriler	Ulaştırma Maliyeti							
1	60	84	16	53	54	20	88	76
2	86	38	44	33	62	19	89	29
3	89	88	23	91	85	28	65	55
4	45	80	94	76	27	29	17	33
5	47	70	96	99	39	79	30	64
6	45	69	25	96	61	97	21	13
7	41	18	59	18	42	28	72	81
8	95	31	53	48	75	88	85	10
9	53	38	67	24	47	21	11	12
10	24	39	25	47	50	80	77	25
11	93	81	37	10	32	98	36	96
12	74	80	30	56	81	87	48	33
13	52	64	43	92	57	56	78	18
14	25	63	48	16	21	62	41	63
15	18	40	97	38	17	37	10	97

Çizelge 5. 3. Talep noktalarına en yakın 1., 2. ve 3. tesislerin kümesi

	Müşteri														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$d1$	3	4	3	7	7	7	4	4	7	3	4	3	3	4	7
$d2$	4	3	7	4	3	3	3	3	4	4	7	7	7	7	4
$d3$	7	7	4	3	4	4	7	7	3	7	3	4	4	3	3

ÇIKAR Hareketi ile Elde Edilen Net Maliyet Değişimi

Mevcut çözümdeki 3 numaralı tesisin kapatıldığı kabul edilsin. Bu durumda yeni çözüm $S_{yeni} = [0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0]$ olarak kodlanır. Bu durumda, Çizelge 5.3'de görüldüğü gibi 3, 10, 12 ve 13 numaralı müşteriler, kendilerine en yakın olan ikinci tesise atanacaklardır. Bu örnekte, 10. müşteri açık olan 4. tesise atanırken 3, 12 ve 13. müşteriler açık olan 7 numaralı tesise atanacaktır. Eş. 5.6 kullanılarak 3 numaralı tesisin kapatılması ile ortaya çıkan net maliyet değişimi $kayıp(3)=154$ pb'dir. Bu tesisin sabit maliyeti 117 pb olduğuna göre yeni çözümün amaç fonksiyonu değeri $Z_{yeni} = Z_{mevcut} - (f_3 - kayıp(3)) = 692 - (117 - 154) = 729$ pb'dir.

EKLE/ÇIKAR Hareketi ile Elde Edilen Net Maliyet Değişimi

Mevcut çözümde 1 numaralı tesisin açıldığı ve 3 numaralı tesisin kapatıldığı kabul edilsin. Bu durumda, yeni çözüm $S_{yeni} = [1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0]$ olarak kodlanır. Bu durumda, öncelikle Eş. 5.8 kullanılarak ilgili tesislerin açılıp kapanması ile ortaya çıkan ekstra maliyet hesaplanacaktır. Kapatılacak olan 3 numaralı tesise mevcut çözümde atanmış olan müşteri grubu 3, 10, 12 ve 13'dir. Bu müşteri grubu içerisinde yeni açılan 1 numaralı tesise, mevcut çözümde açık olan en yakın ikinci tesisten daha yakın olan müşteri grubu ise 10 ve 13 numaralı müşterilerdir. Dolayısıyla bu müşteri grubu yeni açılan 1 numaralı tesise atanacaktır. Bu durumda ekstra maliyet ilgili müşteri grubu dikkate alınarak Eş. 5.11'de görüldüğü gibi hesaplanabilir:

$$ekstra(1,3) = (c_{d_{2_{10}}} - \max(c_{1,10}, c_{d_{10}10})) + (c_{d_{2_{13}}} - \max(c_{1,12}, c_{d_{13}13})) \quad (5.11)$$

Bu maliyet değeri 48 pb'dir. 3 ve 12 numaralı müşteriler ise kendilerine en yakın ikinci açık tesis olan 7 numaralı tesise atanacaklardır. Dolayısıyla, EKLE/ÇIKAR hareketi ile elde edilen net maliyet değişimi Eş. 5.9 kullanılarak hesaplanırsa, bu değer -105 pb ($kalan(1,3) = 1 - 154 + 48$) olduğu görülmektedir. Net maliyet değişim değeri dikkate alınarak yeni çözümün amaç fonksiyonu değeri;

$$Z_{yeni} = Z_{mevcut} - (kalan(1,3) - f_1 + f_3) = 692 - (-105 - 119 + 117) = 799pb \quad (5.12)$$

olarak elde edilir.

5.4. Yol Kurma

Tabu aramada, çeşitlendirme (diversification) ve yoğunlaşma (intensification) stratejilerini tamamlamak amacıyla önerilen yol kurma (path relinking) [Glover ve Laguna 1997], dağıtılmış arama (scatter search) ve açgözlü rassal adaptif arama sezgiseli (greedy randomized adaptive search procedure) gibi diğer genel amaçlı sezgisel algoritmalarda da başarı ile kullanıldığı literatürde görülmektedir [Keskin ve Üstüner; 2005; Resende ve Riberio, 2005]. Bu tezde geliştirilen KTY_KKA'de yol kurma algoritmasının iki nedeni vardır. Birincisi, diğer sezgisel algoritmalarda uygulanma amacında olduğu gibi geliştirilen KTY_KKA'nin çözüm zamanı ve çözüm kalitesi açısından kalitesini artırmaktır. İkincisi, her iterasyonda karıncalar tarafından elde edilen çözümlerin amaç fonksiyonu değerini, Bölüm 5.3'de verilen "Net Maliyet Değişim Yaklaşımı" kullanarak kolay bir şekilde hesaplanmasını sağlamaktır. Yol kurma algoritmasında S_1 ve S_2 gibi iki çözüm dikkate alınır ve iki çözümü birleştiren yolun araştırılması ile yeni çözümler üretilir. Örneğin, yol kurma algoritması S_1 'den baslar ve adım adım bu çözüm S_2 çözümüne dönüştürülür. Dolayısıyla, her adımda yeni bir çözüm elde edilir. Bu çözümler içerisindeki en iyi çözüm karıncanın ürettiği mevcut çözümden daha iyi ise mevcut çözüm ile yer değiştirir. KTY_KKA'de kullanılan yol kurma algoritmasında, S_1 ilgili iterasyona kadar bulunan en iyi çözüm ($S^{g iyi}$), S_2 ise ilgili iterasyonda karınca k 'nin kurduğu çözümdür ve bu çözüm rehber çözüm olarak dikkate alınır. Algoritmanın j . iterasyonunda S_1 'deki j . tesis ile S_2 'deki j . tesis karşılaştırılır. Her iki tesis kapalı ya da açık ise bir işlem yapılmaz. Her iki çözümdeki j . tesisin durumu farklı ise gerekli düzeltme yapılır. j . tesis S_1 'de açık ve S_2 'de kapalı ise S_1 'deki kapatılır ya da j . tesis S_1 'de kapalı ve S_2 'de açık ise S_1 'deki açılır. Bu kontrol tüm tesisler için

yapılırken her iterasyonda S_1 'de yapılan değişiklik ile yeni çözüm elde edilmiş olur. Dolayısıyla, S_1 'deki tesisin açılması EKLE hareketine, çıkarılması ise ÇIKAR hareketine karşılık gelmektedir. S_1 'de ilgili değişikliğin yapılması ile elde edilen çözümün amaç fonksiyonu değeri ilgili harekete karşılık gelen net maliyet değişimine dayalı olarak hesaplanır. Çizelge 5.4'de, 6 tesisli bir örnek üzerinde S_1 'den S_2 'ye hareket edilirken bulunan çözümler verilmektedir. Çizelgenin ilk satırında S_1 çözümünü son satırında ise S_2 çözümü bulunmaktadır. Çizelgeden görüldüğü gibi S_1 'den S_2 'ye ulaşmak için dört çözüm oluşturulmuştur. 1. ve 3. çözümler ÇIKAR hareketi ile elde edilirken 2. ve 4. çözümler EKLE hareketi ile elde edilmiştir.

Çizelge 5. 4. Yol Kurma Algoritması ile çözümlerin elde edilmesi

	Tesisler					
	1	2	3	4	5	6
S_1	1	1	0	1	0	0
Yol Kurma	0	1	0	1	0	0
Algoritması ile elde	0	1	1	1	0	0
edilen çözümler	0	1	1	0	0	0
	0	1	1	0	1	0
S_2	0	1	1	0	1	1

Yol kurma algoritmasının genel adımları, bir sonraki sayfada Şekil 5.3'de verilmektedir.

5.5. Yerel Arama Algoritması

Dorigo ve Stützle (2004)'de belirtildiği gibi bir KKE'nin performansı, her iterasyonda bulunan çözümlere ya da en iyi çözüme bir yerel arama algoritmasının uygulanması ile çözüm zamanı ve çözüm kalitesi açısından iyileştirilebilmektedir [Dorigo ve Stützle, 2004]. Bu nedenle, KTY_KKA'de her iterasyondaki en iyi çözüme yerel arama algoritması (YAA) kullanılarak çözüm iyileştirilmektedir.

 Procedure 2: yol kurma algoritması

```

begin
  for  $k = 1$  to  $n$  do begin
    if  $S_1^k \neq S_2^k$  then begin
       $S_1^k \leftarrow S_2^k$ 
      if  $S_1^k = 1$  then begin
        EKLE hareketi ile yeni çözüm  $S_y$  elde edilmiştir
         $S_y$  'nin amaç fonksiyonu değerini eşitlik 5.5 ile hesapla
      end
    else begin
      ÇIKAR hareketi ile yeni çözüm  $S_y$  elde edilmiştir
       $S_y$  'nin amaç fonksiyonu değerini eşitlik 5.7 ile hesapla
    end
  end
end
end
end-procedure

```

Şekil 5. 3. Yol kurma algoritması

YAA'nın her iterasyonunda ilgili çözüme EKLE (E), ÇIKAR (Ç) ve EKLE/ÇIKAR (E/Ç) hareketleri uygulanarak bu çözümün tüm komşuları üretilmektedir. Bu komşular arasındaki en iyi çözüm mevcut çözümden daha iyi ise yeni çözüm mevcut çözüm olarak dikkate alınmakta ve bu çözümün komşuları üretilmektedir. YAA, mevcut çözümün tüm komşuları arasındaki en iyi çözüm mevcut çözümden daha iyi olmadığında sonlanmaktadır. Şekil 5.4'de KTY_KKA'de uygulanan YAA verilmektedir.

Procedure 3: yerel arama algoritması

begin

$S^{eniye} \leftarrow S^{iyi}$, $Z^{eniye} \leftarrow Z^{iyi}$, $S' \leftarrow S^{iyi}$, $st \leftarrow 0$

while $st < 1$ then begin

S' çözümünün E hareketi ile tüm komsularını elde et ve K_e kümesine ekle

S' çözümünün C hareketi ile tüm komşularını elde et ve K_c kümesine ekle

S' çözümünün E/C hareketi ile tüm komşularını elde et ve $K_{e/c}$ kümesine

ekle

tüm komşuların kümesini elde et, $K \leftarrow K_e \cup K_c$

Komşular içerisinde en küçük maliyete sahip çözümü seç

$S^* \leftarrow \min \{Z_i, S_i \in K\}$

if $Z^* < Z^{eniye}$ then begin

$S^{eniye} \leftarrow S^*$

$Z^{eniye} \leftarrow Z^*$

end

else $st \leftarrow 1$

end

end-procedure

Şekil 5. 4. Yerel Arama Algoritması

5.6. Feromen Değerlerinin Güncellenmesi

KTY_KKA'nin her iterasyonunda karıncaların oluşturduğu çözümlere yol bulma algoritması uygulanarak hem amaç fonksiyon değerleri hesaplanır hem de daha iyi bir çözüme ulaşmak için arama yapıldıktan sonra, ilgili iterasyonda bulunan en iyi çözüm YAA ile iyileştirilir. Her iterasyonun son işlemi feromen değerlerinin güncellenmesidir. Feromen değerlerinin güncellenmesinde, öncelikle her feromen değeri τ_{jk} , ρ buharlaşma oranı kadar azaltılır.

$$\tau_{jk}(t+1) = (1-\rho)\tau_{jk}(t), \quad k \in \{0,1\}, \quad \forall j \in E \quad (5.13)$$

Buharlaşma işleminden sonra, her bir feromen değeri ilgili iterasyona kadar bulunan en iyi özüm $S^{g^i y^i}$, ilgili iterasyondaki iyi özüm $S^{i y^i}$ ve yeniden başlama özümü S^{y^b} dikkate alınarak güncellenir. Belirli bir sayıda iterasyondan sonra feromen değerleri 0'a ya da 1'e yakınsamaktadır. Bu durumda, karıncaların ürettiği çözümler birbirine çok benzer olup algoritma yerel en iyi çözümler etrafında arama yapmaktadır. Dolayısıyla, KTY_KKA'nın arama özelliğini arttırmak amacıyla feromen değerlerine başlangıç feromen değerleri atanır. Bu değerler atanmadan önceki iterasyonda bulunan en iyi çözüm yeniden başlama çözümü olarak S^{y^b} tanımlanmaktadır. $t + 1$ iterasyonundaki feromen değerlerinin güncellemeleri $S^{g^i y^i}$, $S^{i y^i}$ ve S^{y^b} 'ye atanan ağırlıklar $w_{g^i y^i}$, $w_{i y^i}$ ve w_{y^b} dikkate alınarak gerçekleştirilir.

$$\tau_{ik}(t+1) = \tau_{ik}(t) + \rho \sum_{x \in S} w_x, \quad S = \{S^{g^i y^i}, S^{i y^i}, S^{y^b}\} \quad (5.14)$$

Feromen gncelleştirmesi aşamasında ilgili ağırlıkların belirlenmesinde Eş. 5.15'de verilen kontrol faktörü (cf) kullanılmaktadır.

$$cf = \frac{\sum |\tau_{j0} - \tau_{j1}|}{m} \quad (5.15)$$

Çizelge 5.5 'de cf 'in alacağı değere dayalı olarak $S^{g^i y^i}$, $S^{i y^i}$ ve S^{y^b} 'ye atacak ağırlık değerleri verilmektedir. cf , 0'a yakın ise her iki düğüm çifti arasındaki iki hattın feromen değerleri birbirine yakındır. Dolayısıyla, algoritma rassal aramaya eşdeğer bir çözüm uzayında aramayı gerçekleştirecektir. Bu durumda, algoritmayı iyi çözümlerin bulunduğu bölgeye yönlendirmek amacıyla $S^{g^i y^i}$ 'nin ağırlığı 1 olarak alınır. Feromen değerleri 1 ya da 0'a yakınsamış ise cf 'de 1'e yakın bir değer alacaktır. Dolayısıyla, algoritma yerel en iyi çözümler etrafında aramayı

gerçekleştirmektedir. Bu durumda, S^{yb} 'nin ağırlığı 1 olarak alınır ve feromen değerlerine başlangıç değerleri atanarak karıncaların çözüm uzayının farklı bölgelerinde arama yapması sağlanır. Feromen değerlerinin bu şekilde güncellenmesi ve algoritmanın yakınsaması durumunda feromen değerlerine başlangıç değerlerinin atanması ilk defa Blum ve Dorigo [2004] tarafından önerilmiş, Kong ve ark. [2007]'in çalışmasında da kullanılmıştır.

Çizelge 5. 5. Feromen değerlerinin güncellenmesinde kullanılan ağırlık değerleri

	$cf < cf1$	$cf1 \leq cf < cf2$	$cf2 \leq cf < cf3$	$cf3 \leq cf < cf4$	$cf4 \leq cf < cf5$
w_{gyi}	1	2/3	1/3	0	0
w_{iyi}	0	1/3	2/3	1	0
w_{yb}	0	0	0	0	1

5.7. Durdurma Koşulu

KTY_KKA algoritmasının durdurulmasında iki kriter dikkate alınmıştır. Birincisi, en iyi çözümü bilinen problemlerde en iyi çözüme ulaşıldığında algoritma durdurulmaktadır. İkincisi, en iyi çözümü bilinmeyen problemlerde ise belirli sayıda ardışık iterasyonlarda (i_{say}) iyileşme olmuyorsa algoritma sonlanmaktadır.

5.8. KTY_KKA Algoritması

KTY için geliştirilen KKE algoritmasının adımları bir sonraki sayfada verilen Şekil 5. 5.'de verilmiştir.

begin

Başlangıç feromenlerini bulmak için procedure 1'i uygula, S^{giyi} ve Z^{giyi} bul

while (durdurma koşulu sağlanmadıysa) then begin

$S^{iyi} \leftarrow []$, $Z^{iyi} \leftarrow \infty$

for $k = 1$ to m do begin

feromen değerlerini kullanarak karınca k ile S_k çözümünü oluştur

procedure 2'yi kullanarak Z_k 'yi hesapla ve daha iyi çözüm ara

if $Z_k < Z^{iyi}$ then begin $S^{iyi} \leftarrow S_k$, $Z^{iyi} \leftarrow Z_k$ end

end

S^{iyi} için yerel en iyi çözümü bulmak için procedure 3'i kullan

if $Z^{iyi} < Z^{giyi}$ then begin $S^{giyi} \leftarrow S^{iyi}$, $Z^{giyi} \leftarrow Z^{iyi}$ end

cf değerini hesapla

if $cf > cf5$ then begin

$S^{yb} \leftarrow S^{iyi}$, $Z^{yb} \leftarrow Z^{iyi}$

feromen değerlerine başlangıç değerlerini ata

end else

begin

S^{giyi} , S^{iyi} ve S^{yb} için ağırlıkları belirle

feromen değerlerini hesapla

end

end

S^{giyi} ve Z^{giyi} 'i problemin çözümü olarak rapor et

Şekil 5. 5. KTY_KKA Algoritması

6. DENEYSEL ÇALIŞMA

KTYP için önerilen KTY_KKA'nin performansının değerlendirilmesi için bir deneysel çalışma yapılmıştır. Bu bölümde, performans değerlendirmesinde kullanılan test problemleri, KTY_KKA'nin parametrelerinin belirlenmesi ve KTY_KKA'nin literatürdeki üç sezgisel algoritma ile çözüm kalitesi ve çözüm zamanı açısından karşılaştırmalı olarak incelenmesi yer almaktadır.

6.1. Test Problemleri

Bu tezde önerilen KTY_KKA'nin performansı literatürde verilen 7 farklı test problemi kullanılarak incelenmiştir. Aşağıda bu test problemleri kısaca açıklanmaktadır.

ORLIB: Bu problem seti, Beasley (1990)'nin kurduğu ve birçok kombinatoriyal eniyileme problemleri için test problemlerini içeren OR-Library'de yer almaktadır [Beasley, 1990]. Problem seti, cap71-74, cap101-104, cap131-134 ve capa, capb, capc olmak üzere 15 farklı problemden oluşmaktadır. Bu problemler sırasıyla 16x50, 25x50, 50x50 ve 100x1000 boyutlu olup en iyi çözümleri bilinmektedir. Orijinalinde kapasiteli TYP için önerilen bu problem seti, birçok araştırmacı tarafından KTYP olarak dikkate alınmış ve geliştirdikleri algoritmaların performansını test etmek için kullanılmıştır.

BK: Bu problem seti, Bilde ve Krarup (1977) tarafından üretilmiştir [Bilde ve Krarup, 1977]. Problem seti, aday tesis sayısının 30 ile 50 ve müşteri sayısının 80 ile 100 arasında değiştiği 220 farklı problemden oluşmaktadır. Problemlerdeki ulaştırma maliyetleri [0,1000] aralığında düzgün dağılımdan rassal olarak üretilmiştir. Tesis açma maliyetleri ise 1000 pb'den büyük olup problem boyutuna bağlı olarak değişmektedir. Bu problem seti için en iyi çözümler bilinmektedir.

M*: Bu problem seti, Kratica ve ark. (2001) tarafından gerçek hayat problemlerinin özelliklerini yansıtacak şekilde üretilmiştir [Kratica ve ark., 2001]. Problem seti,

100x100, 200x200, 300x300, 500x500, 1000x1000 ve 2000x2000 boyutlu 22 adet problemden oluşmakta olup en iyi çözümleri bilinmektedir.

FPP: Kochetov ve Ivanenko (2003) tarafından türetilen bu sette her bir problem bir k sabitine bağlı olarak $n = k^2+k+1$ düğümden ve n arktan oluşmaktadır [Kochetov ve Ivanenko, 2003]. Bu problem seti, FPP11 ve FPP17 olmak üzere iki alt setten oluşmaktadır. FPP11 seti 133x133 boyutlu 30 problemden, FPP17 seti ise 307x307 boyutlu 30 problemden oluşmaktadır. Problemlerde tesis açma maliyeti sabit olup 3000 pb'dir. Ayrıca, problemler tam bağlı olmayan bir şebeke üzerinde tanımlanmıştır. Yani, her tesisten her müşterinin talebini karşılamak mümkün değildir. En iyi çözümleri bilinen bu problemlerin en büyük özelliği, çok sayıda yerel en iyi çözümlere sahip olmasıdır. Dolayısıyla, bu problem setindeki problem zor problemler olarak dikkate alınmaktadır.

GAP: Kochetov ve Ivanenko (2003) tarafından türetilen bir diğer problem setidir [Kochetov ve Ivanenko, 2003]. FPP problem setinde olduğu gibi tüm problemler için tesis açma maliyeti 3000 pb'dir. Problemler tam bağlı olmayan bir şebeke üzerinde tanımlanmıştır. Bu sette GAPA, GAPB ve GAPC olmak üzere üç alt set bulunmaktadır. Her bir alt sette 100x100 boyutlu 30 problem bulunmaktadır. GAPC, bu problem setinin en zor alt setidir. Bu alt setlerdeki problemlerin en iyi çözümleri bilinmemektedir.

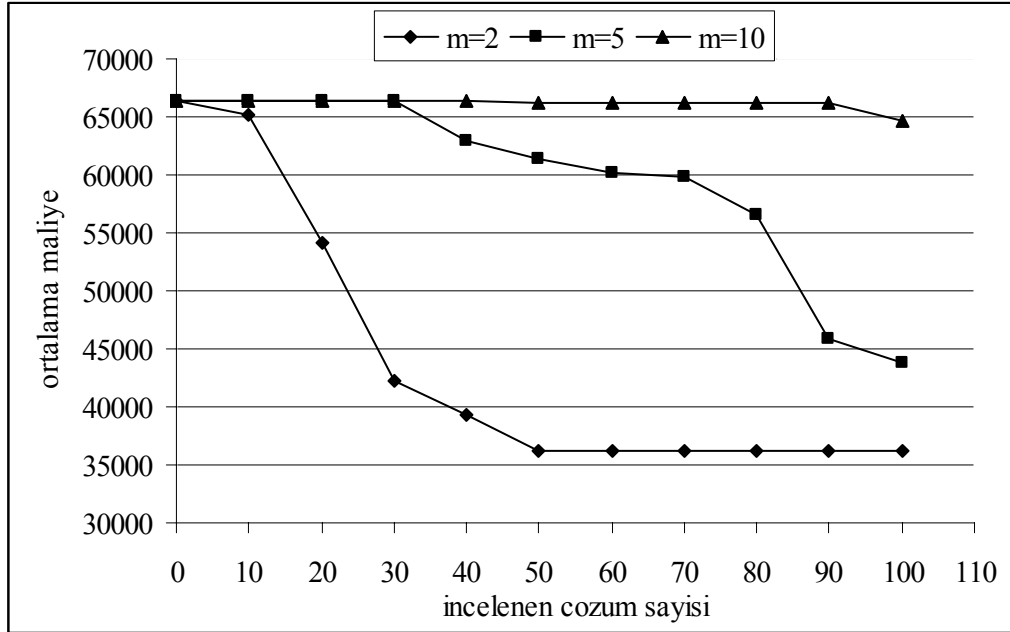
GHOSH: Bu problem seti, Ghosh (2003) tarafından türetilmiştir [Ghosh, 2003]. Problem setinde, simetrik ve simetrik olmayan olmak üzere iki alt set vardır. Her bir alt set, 45 problemden oluşmaktadır. Problemlerde, tesis sayısı ve müşteri sayısı birbirine eşit olup, boyutları sırasıyla 250x250, 500x500 ve 750x750'dir. Ayrıca, her bir alt setteki problemler tesis açma maliyetine göre üç gruba ayrılmaktadır. Bu gruplar; tesis açma maliyeti [100,200] aralığında seçilen A sınıfı, tesis açma maliyeti [1000,2000] aralığında seçilen B sınıfı ve tesis açma [10000,20000] aralığında seçilen C sınıfıdır. Problemlerde ulaştırma maliyetleri [1000,2000] aralığında düzgün dağılımdan rassal olarak üretilmiştir. Bu problemler için en iyi çözüm bilinmemektedir.

MED: Ahn ve ark. (1998) tarafından p -medyan problemler için önerilen bu problem seti, Barahona ve Chudak (1999) tarafından KTYP için uyarlanmıştır. Problem setinde, her düğüm hem aday tesisi hem de müşteriye temsil etmektedir. Ulaştırma maliyetleri Öklid uzaklığına göre belirlenmiştir. Bu problem setinde her biri 3 problemden oluşan 6 alt set vardır. Bu alt setlerdeki problemler sırasıyla 500x500, 1000x1000, 1500x1500, 2000x2000, 2500x2500 ve 3000x3000 boyutludur. Her bir alt setteki problemlerde tesis açma maliyeti sırasıyla $\sqrt{n}/10$, $\sqrt{n}/100$ ve $\sqrt{n}/1000$ şeklinde elde edilmiştir.

6.2. KTY_KKA Algoritması Parametre Değerlerinin Belirlenmesi

Genel amaçlı sezgisel algoritmalar olan GA, TB ve TA'da olduğu gibi, herhangi bir problem için geliştirilen KKE algoritmasının performansı sahip olduğu parametre değerlerine çok bağlıdır. Bu nedenle, öncelikle geliştirilen KKE'nin parametreleri için en uygun değerlerin belirlenmesi gerekir. Bu tezde geliştirilen KTY_KKA'de karınca sayısı (m) ve buharlaştırma oranı (ρ) olmak üzere iki parametre vardır. Bu parametrelerin değerlerinin belirlenmesi için ön denemeler yapılmıştır. Ön denemelerde, bir parametrenin değeri sabit tutulurken diğer parametrenin alabileceği değerlerin çözüm kalitesi ve iyi çözüme yakınsama açısından etkisi incelenmiştir. Bu inceleme çeşitli test problemleri üzerinde yapılmıştır. İncelemelerde KTY_KKA'nin durdurma kriteri olarak aranan çözüm sayısı dikkate alınmıştır. Şekil 6.1'de, FPP11 problem setindeki bir problem için karınca sayısının (m) çözüm kalitesi ve iyi çözüme yakınsama açısından etkisi verilmektedir. Karınca sayısı 2, 5 ve 10 olarak dikkate alınmıştır. Bu aşamada, $\rho = 0.2$ olarak sabitlenmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, m arttıkça çözüm kalitesi düşmektedir. Bunun nedeni, feromen değerlerinin güncelleme sayısı yani arama sırasında elde edilen bilginin kullanım sıklığıdır. Bu problem için aranan çözüm sayısı 100 olarak alınmıştır. $m = 2$ olduğunda 50 kez feromen güncellemesi yapılırken $m = 10$ olduğunda yapılan feromen güncelleme sayısı 10'dur. $m = 2$ olduğunda her iterasyonda iki çözüm kurulduktan sonra feromen değerleri güncellendiğinden dolayı arama sırasında elde edilen yeni bilgi daha sık

kullanılmaktadır. Dolayısıyla, algoritmanın iyi çözümlerin bulunduğu bölgelere yakınsama hızı artmaktadır.

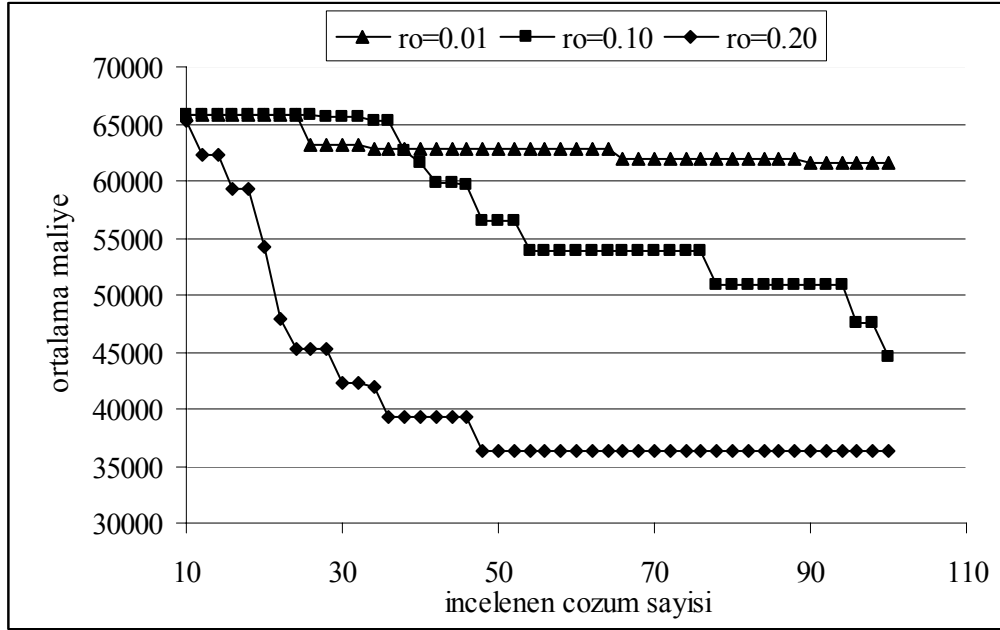


Şekil 6. 1. Karınca sayısının çözüm kalitesi üzerindeki etkisi

Bu nedenle, KTY_KKA için karınca sayısı 2 olarak alınmıştır.

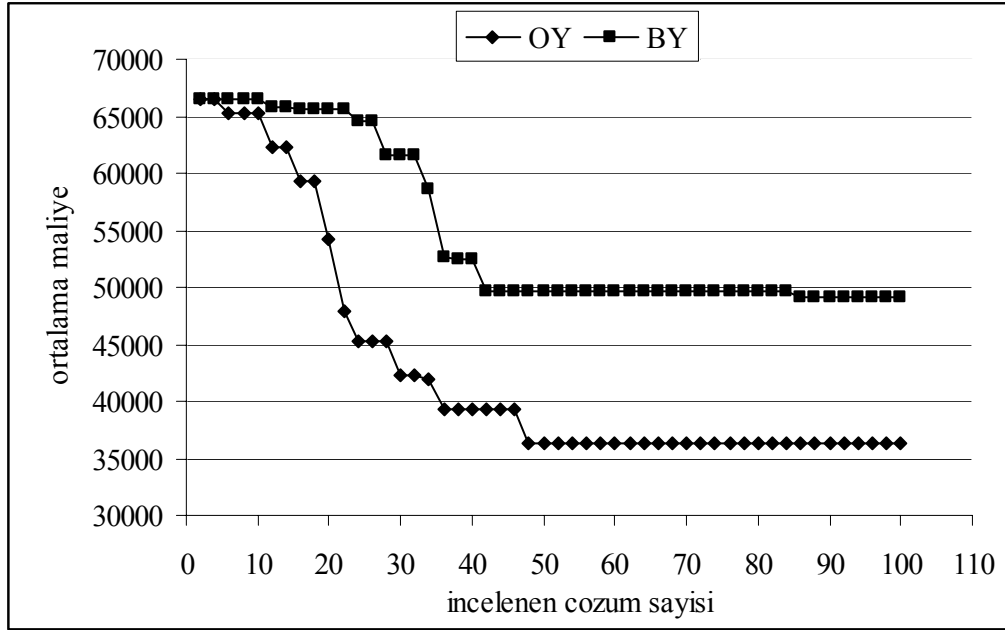
Şekil 6.2’de FPP11 problemi için farklı buharlaştırma oranı (ρ) değerlerinin KTY_KKA’nin çözüm kalitesi ve iyi çözüme yakınsama hızı açısından incelemesi verilmektedir. Buharlaştırma oranı (ρ) olarak 0.01, 0.10 ve 0.20 olmak üzere 3 farklı değer incelenmiştir. Bu aşamada $m = 2$ olarak sabitlenmiştir. Bilindiği gibi feromen buharlaşması, karıncaların yerel en iyi çözümlere yakınsamasını önlemek amacıyla kullanılan bir arama mekanizması olarak dikkate alınmaktadır. Feromen değerlerinde azalma, KKE algoritmalarının çözüm uzayının farklı bölgelerinde arama şansını artırmaktadır. Dolayısıyla, uygun feromen buharlaştırma oranının belirlenmesi algoritmanın performansı üzerinde büyük etkiye sahiptir. Şekil 6.2’de görüldüğü gibi buharlaştırma oranı arttıkça KTY_KKA’nin çözüm kalitesi ve iyi çözüme yakınsama hızı artmaktadır. Yani, KTY_KKA’nin çözüm uzayının farklı

bölgelerinde arama kabiliyeti artmaktadır. Bu nedenle, KTY_KKA için buharlaştırma oranı 0.2 olarak dikkate alınmıştır.



Şekil 6. 2. Buharlaştırma oranının çözüm kalitesi üzerindeki etkisi

KTY_KKA için en uygun karınca sayısı ve buharlaştırma oranı kombinasyonu belirlendikten sonra, bu tezde önerilen başlangıç feromen değerlerini atama yaklaşımının KTY_KKA'nin çözüm kalitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu aşamada, KTY_KKA'de başlangıç feromen değerlerinin atanması için önerilen yaklaşımın (OY) yerine basit yaklaşım (BY) kullanılmıştır. KTY_KKA'de feromen değerleri 0 ile 1 arasında değer aldığından dolayı BY'de başlangıç feromen değerleri 0.5 olarak atanmıştır. Şekil 6.3'de OY ve BY'in KTY_KKA'nin çözüm kalitesindeki etkisi görülmektedir. Şekil incelendiğinde, KTY_KKA'de başlangıç değerlerinin atanmasında OY kullanıldığında algoritmanın iyi çözümlere yakınsama hızı artmaktadır. Bu durum beklenen bir sonuçtur. Çünkü, OY'de algoritmanın iyi çözümlere yakınsama hızını arttırmak için başlangıç aşamasında basit sezgisel yöntemler ile elde edilen çözümlere dayalı olarak kurucu graftaki hatlara farklı başlangıç feromen değerleri atanmıştır. Dolayısıyla, algoritma aramanın başlangıç iterasyonlarında çözüm uzayının iyi bölgelerinde arama yapma şansına sahip olmaktadır.



Şekil 6. 3. Başlangıç feromen değerlerini atama yöntemlerinin KTY_KKA'nin performansındaki etkisi

6.3. KTY_KKA için Performans Analizi

KTY_KKA'nin performansını incelemek amacıyla literatürde KTYP için önerilen üç sezgisel algoritma dikkate alınmıştır. Bu algoritmalarından ilk ikisi GA (Jaramillo ve ark, 2002) ve KSE (Sevklı ve Guner, 2008)'dir. Bu iki algoritmanın seçilmesinin nedeni, KKE gibi GA ve KSE'nin de evrimsel algoritmalar sınıfında yer almaları ve çözümlerin bir yığını ile aramayı gerçekleştirmeleridir. Dolayısıyla, öncelikle evrimsel algoritmalar sınıfında yer alan algoritmaların KTYP için performansının karşılaştırmalı olarak incelemesi gerçekleştirilmiş olacaktır. KTY_KKA'nin performansının incelenmesinde kullanılan üçüncü algoritma, Resende ve Werneck (2006) tarafından KTYP için önerilen ve çok başlangıçlı karma sezgisel (ÇBKS) olarak adlandırılan algoritmadır. ÇBKS'nin seçilmesinin sebebi ise, son yıllarda KTYP için önerilen en etkin algoritma olmasıdır.

KTY_KKA, C++ dilinde kodlanmıştır. Denemeler 3,2 GHz hızına ve 1 GB RAM belleğe sahip Pentium D işlemcili bilgisayar ortamında yapılmıştır.

6.3.1. Performans ölçütleri

KTY_KKA'nin performansının değerlendirilmesinde çözüm kalitesi ve çözüm zamanı olmak üzere iki ölçüt dikkate alınmıştır. Çözüm kalitesinin belirlenmesinde en iyi değerden yüzde sapma değeri (ES) kullanılmıştır. Bu değer Eş. 6.1. ile hesaplanmaktadır.

$$E.S. = \frac{(S.E.C. - E.C.)}{E.C.} * 100 \quad (6.1)$$

Burada;

ES = En iyi değerden yüzde sapma değeri

SEC = Sezgisel algoritma ile elde edilen değer

EC = En iyi çözüm değeri (ya da bilinen en iyi üst sınır değeri)

EC, ORLIB, BK ve M* test problemleri için en iyi çözüm değeri iken diğer test problemleri için literatürde verilen en iyi üst sınır değeri olarak dikkate alınmıştır. KTY_KKA, bir stokastik arama algoritması olduğundan dolayı her problem için 10 kez çalıştırılmıştır. Algoritmaların ortalama performansını göstermek amacıyla performans ölçütlerinin ortalama değeri (yani, ortalama ES (OES) ve ortalama çözüm süresi (OÇS)) rapor edilmiştir.

6.3.2. KTY_KKA ile GA ve KSE'nin karşılaştırılması

Jaramillo ve ark (2002) tarafından geliştirilen GA ile Sevkli ve Guner (2008) tarafından geliştirilen KSE için yazarlar sadece ORLIB test problem seti için performans değerlendirmesi yapmışlardır. Bu nedenle, KTY_KKA'nin bu algoritmalar ile karşılaştırılmasında ORLIB test problem seti kullanılmıştır. Çizelge 6.1'de ilgili problem seti için üç algoritma ile elde edilen ortalama ES değerleri verilmektedir. GA ve KSE için ortalama ES değerleri Sevkli ve Guner'in (2008) makalesinden alınmıştır.

Çizelge 6. 1. KTY_KKA, GA ve KSE için OES değerleri

Problem	J x I	OES		
		GA	KSE	KTY_KKA
cap71	16 x 50	0,000	0,000	0,000
cap72	16 x 50	0,000	0,000	0,000
cap73	16 x 50	0,00033	0,000	0,000
cap74	16 x 50	0,000	0,000	0,000
cap101	25 x 50	0,00020	0,000	0,000
cap102	25 x 50	0,000	0,000	0,000
cap103	25 x 50	0,00015	0,000	0,000
cap104	25 x 50	0,000	0,000	0,000
cap131	50 x 50	0,00065	0,000	0,000
cap132	50 x 50	0,000	0,000	0,000
cap133	50 x 50	0,00037	0,000	0,000
cap134	50 x 50	0,000	0,000	0,000
capa	100 x 1000	0,000	0,051	0,000
capb	100 x 1000	0,00172	0,085	0,000
capc	100 x 1000	0,00131	0,036	0,000

Algoritmaların çalıştırıldığı bilgisayar ortamları farklı olduğu için sadece ortalama ES değerleri dikkate alınmıştır. Çizelge incelendiğinde, KTY_KKA tüm problemler için en iyi çözüme ulaşırken, GA ve KSE sırasıyla 8 ve 12 problemde en iyi çözüme ulaşmıştır. GA için ortalama ES değeri 0.00033 ile 0.00172 arasında değişirken bu değer KSE için 0.036 ile 0.085 arasındadır. Bu sonuçlar, evrimsel algoritmalar sınıfında yer alan üç algoritmadan KTY_KKA'nin diğer iki algoritmaya göre çözüm kalitesi açısından çok daha iyi olduğunu göstermektedir. Bilgisayar ortamları farklı olduğu için çözüm zamanı açısından algoritmaların karşılaştırması yapılmamıştır. Bunun yanı sıra, bu problem seti için KTY_KKA'nin ortalama çözüm zamanları 0.000 saniye ile 1.634 saniye arasında değişmektedir.

6.3.3. KTY_KKA ile ÇBKS'nin karşılaştırılması

Daha önce belirtildiği gibi KTYP için literatürdeki en etkin algoritma Resende ve Werneck (2006) tarafından önerilen ÇBKS algoritmasıdır. Bu nedenle, bu aşamada KTY_KKA'nin performans değerlendirmesinde ÇBKS algoritması kullanılmıştır. Her iki algoritmayı aynı koşullar altında karşılaştırabilmek amacıyla, C++ dilinde kodlanmış olan ÇBKS algoritmasının programı yazarlarından istenmiştir ve her iki

algoritma her problem seti için aynı bilgisayar ortamında çalıştırılmıştır. 7 problem setindeki toplam 515 problem dikkate alınarak her iki algoritmanın karşılaştırma sonuçları bu bölümde detaylı olarak verilmektedir.

ORLIB Test Seti için Karşılaştırma

Bu problem seti için her iki algortmada her problemin 10 denemesinde de en iyi çözüme ulaşmıştır. Bu nedenle, KTY_KKA ve ÇBKS bu problem seti için sadece ortalama çözüm zamanı açısından karşılaştırılmıştır. Çizelge 6.2’de ORLIB test setindeki her problem için KTY_KKA ve ÇBKS’nin OÇS değerleri verilmektedir. Çizelge incelendiğinde, bu setteki problemler için KTY_KKA’nin OÇS değerlerinin ÇBKS’ye göre çok daha az olduğu görülmektedir. Bilindiği gibi KTY_KKA’de iki durdurma koşulu vardır. Birincisi, algoritmanın en iyi çözüme ulaşmasıdır. İkincisi ise, arama sırasında bulunan en iyi çözüm ardışık 5 iterasyonda iyileşmiyorsa algoritma sonlanmaktadır. KTY_KKA, ORLIB problemlerinin tümünde en iyi çözüme ulaştığı için hep birinci durdurma koşuluna göre sonlanmıştır. Dolayısıyla, bu problem seti için KTY_KKA’nin en iyi çözümlere çok kısa zamanda ulaşmaktadır.

BK Test Seti için Karşılaştırma

BK, en iyi çözümlerin bilindiği bir diğer problem setidir. Çizelge 6.3’de BK test seti için KTY_KKA ve ÇBKS ile elde edilen OES ve OÇS değerleri verilmektedir. ÇBKS, BK setinde bulunan 7 alt problem setindeki tüm problemler için en iyi çözüme ulaşmıştır. Diğer iki alt problem seti için ise OES değeri en fazla %0.016’dır. KTY_KKA’de ise OES değerleri %0.007 ile %0.505 arasında değişmektedir. Çizelgede, algoritmaları ortalama performans açısından karşılaştırmak amacıyla sadece OES ve OÇS değerleri verilmiştir.

Çizelge 6. 2. ORLIB test setinde KTY_KKA ve ÇBKS için OÇS değerleri

Problem	J x I	OÇS (sn)	
		KTY_KKA	ÇBKS
cap71	16 x 50	0,000	0,020
cap72	16 x 50	0,000	0,010
cap73	16 x 50	0,002	0,030
cap74	16 x 50	0,002	0,030
cap101	25 x 50	0,002	0,030
cap102	25 x 50	0,002	0,030
cap103	25 x 50	0,000	0,030
cap104	25 x 50	0,002	0,020
cap131	50 x 50	0,004	0,030
cap132	50 x 50	0,004	0,030
cap133	50 x 50	0,010	0,030
cap134	50 x 50	0,003	0,030
capa	100 x 1000	0,213	14,230
capb	100 x 1000	1,634	14,220
capc	100 x 1000	1,370	14,470

Bunun yanı sıra her iki algoritma en iyi performans açısından karşılaştırıldığında, KTY_KKA ve ÇBKS her problem için 10 denemenin en az bir denemesinde en iyi çözüme ulaştığı görülmektedir. Her iki algoritma OÇS açısından karşılaştırıldığında, KTY_KKA'de CS değerleri 0.005 ile 0.043 saniye arasında değişirken, ÇBKS'de bu değerler 0.065 ile 0.110 saniye arasında değişmektedir. Dolayısıyla, KTY_KKA en iyi ya da en iyiye yakın çözümlere ÇBKS'den daha hızlı ulaşmaktadır.

M* Test Seti için Karşılaştırma

22 problemden oluşan M* test setindeki problemlerin de en iyi çözümü bilinmektedir. Her iki algoritma her problemin her denemesinde en iyi çözüme ulaşmıştır. Bu nedenle, Çizelge 6.4'de her iki algoritma için sadece OÇS değerleri verilmiştir. KTY_KKA ve ÇBKS için OÇS değerleri incelendiğinde M* setindeki ilk 16 problem için KTY_KKA'nin OÇS değerleri ÇBKS'nin OÇS değerlerinden daha küçüktür. Yani, KTY_KKA ilk 16 problem için bilinen en iyi çözümlere daha hızlı ulaşmaktadır.

Çizelge 6. 3. BK test setinde KTY_KKA ve ÇBKKS için OES ve OÇS değerleri

Problem	I	KTY_KKA		ÇBKKS	
		OES	OÇS (sn)	OES	OÇS (sn)
B	100	0,007	0,043	0,000	0,110
C	100	0,191	0,022	0,016	0,139
D01	80	0,161	0,014	0,001	0,065
D02	80	0,505	0,012	0,000	0,066
D03	80	0,372	0,010	0,000	0,068
D04	80	0,049	0,005	0,000	0,069
D05	80	0,068	0,008	0,000	0,091
D06	80	0,105	0,008	0,000	0,092
D07	80	0,052	0,009	0,000	0,094

Diğer 6 problem için ÇBKKS'nin OÇS değerleri daha küçüktür. Bunun yanı sıra, son 6 problem için KTY_KKA'nin OÇS değerleri ise kabul edilebilir sınırlar içerisindedir. Son problemde 2000 aday tesis yeri ve 2000 müşteri bulunmaktadır.

KTYK'nin stratejik bir problem olduğu göz önüne alındığında, bu büyüklükteki bir problemin 10 dakikalık bir süre içerisinde çözülmesine katlanılabilir.

FPP Test Seti için Karşılaştırma

Bölüm 6.1'de belirtildiği gibi FPP test setindeki problemlerin en önemli özelliği birçok güçlü yerel en iyi çözüme sahip olmasıdır. Bu özellik, yerel arama algoritmalarının iyi çözümlere ulaşmasını zorlaştırmaktadır. Çizelge 6.5'de KTY_KKA ve ÇBKKS için OES ve OÇS değerleri verilmektedir. Çizelge incelendiğinde FPP11 problem seti için OES değerleri KTY_KKA ve ÇBKKS için sırasıyla %5.588 ve %8.480'dir. Bu problem seti için KTY_KKA, yaklaşık aynı çözüm süresinde ÇBKKS'ye göre daha iyi çözümlere ulaşmaktadır. Ancak, FPP17 problem seti için hem OES hem de OÇS değerleri açısından ÇBKKS çok daha iyi bir performansa sahiptir. FPP17 problem seti için OES değeri KTY_KKA için %106 civarında iken, ÇBKKS için bu değer %58 civarındadır.

Çizelge 6. 4. M* test setinde KTY_KKA ve ÇBKS için OÇS değerleri

Problem	J x I	OÇS (sn)	
		KTY_KKA	ÇBKS
MO1	100 x 100	0,021	0,090
MO2	100 x 100	0,073	0,090
MO3	100 x 100	0,001	0,080
MO4	100 x 100	0,020	0,090
MO5	100 x 100	0,031	0,090
MP1	200 x 200	0,144	0,360
MP2	200 x 200	0,127	0,310
MP3	200 x 200	0,149	0,330
MP4	200 x 200	0,201	0,280
MP5	200 x 200	0,190	0,310
MQ1	300 x 300	0,550	0,700
MQ2	300 x 300	0,500	0,720
MQ3	300 x 300	0,500	0,660
MQ4	300 x 300	0,501	0,660
MQ5	300 x 300	0,588	0,690
MR1	500 x 500	2,200	2,250
MR2	500 x 500	10,971	2,420
MR3	500 x 500	15,009	2,500
MR4	500 x 500	7,751	2,200
MR5	500 x 500	3,980	2,360
MS1	1000x1000	49,312	9,890
MT1	2000x2000	651,446	35,450

Çizelge 6. 5. FPP test setinde KTY_KKA ve ÇBKS için OES ve OÇS değerleri

Problem Seti	KTY_KKA		ÇBKS	
	OES	OÇS (sn)	OES	OÇS (sn)
FPP11	5,588	0,642	8,480	0,448
FPP17	105,604	13,250	58,270	2,967

GAP Test Seti için Karşılaştırma

Bu problem seti için en iyi değerler bilinmemektedir ve tüm problemler GAPA, GAPB ve GAPC olmak üzere üç alt sınıfta toplanmıştır. GAPC, en zor problemlerin bulunduğu settir. Çizelge 6.6'da bu üç sınıf için KTY_KKA ve ÇBKS'nin OES ve OÇS değerleri verilmektedir. OES değerleri incelendiğinde, KTY_KKA'nin daha iyi bir performansa sahip olduğu görülmektedir. OES değerleri, KTY_KKA için %3.29 ile %4.66 arasında iken ÇBKS için bu değerler %5.14 ile %6.74 arasında yer

almaktadır. OÇS değerleri açısından her iki algoritma karşılaştırıldığında ise ÇBKS’de bu değerlerin 0.296 saniye ile 0.337 saniye arasında olduğu ve KTY_KKA’ye göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, KTY_KKA’deki OÇS değerleri ÇBKS değerlerine çok yakındır.

Çizelge 6. 6. GAP test setinde KTY_KKA ve ÇBKS için OES ve OÇS değerleri

Problem Seti	KTY_KKA		ÇBKS	
	OES	OÇS (sn)	OES	OÇS (sn)
GAPA	3,288	0,373	5,140	0,296
GAPB	4,492	0,549	5,980	0,246
GAPC	4,665	0,516	6,740	0,337

GHOSH Test Seti için Karşılaştırma

Bu problem setindeki problem maliyet matrisine göre simetrik ve asimetric olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır. Çizelge 6.7’de GAXXXX ile başlayan problem setleri asimetric problemleri tanımlarken, GSXXXX ile başlayan problem setleri simetrik problemleri tanımlamaktadır. Her sınıfta toplam 45 problem bulunmaktadır. Bu problemlerin farkları şebeke büyüklüğünden ortaya çıkmaktadır. Örneğin, GA250A, 250 aday tesis yerine ve 250 müşteriye sahip asimetric problem alt setini tanımlamaktadır. Çizelge 6.7’de, her iki algoritma için her bir alt problem setinde bulunan ortalama maliyet ve OÇS değerleri yer almaktadır. Bu değerler incelendiğinde, 18 alt problem setinin 3’ünde KTY_KKA ile bulunan ortalama maliyet değerleri ÇBKS’nin bulunduğu değerlerden daha küçüktür.

Diğer alt problem setleri için ÇBKS’nin bulunduğu ortalama maliyet değerleri KTY_KKA’ye göre daha iyidir.

Çizelge 6. 7. GHOSH test setinde KTY_KKA ve ÇBKS için ortalama maliyet ve OÇS değerleri

Problem Seti	KTY_KKA		ÇBKS	
	Ort. Maliyet	OÇS (sn)	Ort. Maliyet	OÇS (sn)
GA250A	257949,8	3,221	257922,1	1,060
GA250B	276124,2	1,646	276953,6	1,596
GA250C	332440,5	0,623	332897,2	1,586
GA500A	511289,9	42,533	511147,4	5,260
GA500B	538060,4	6,838	537868,2	6,056
GA500C	622123,8	3,982	621475,2	8,626
GA750A	763861,5	121,725	763741,0	12,876
GA750B	796676,2	27,027	796393,5	14,796
GA750C	900995,0	13,354	900198,6	18,880
GS250A	257831,4	5,525	257807,9	0,880
GS250B	276143,5	1,617	276035,2	1,408
GS250C	333038,5	0,634	333671,6	1,820
GS500A	511342,0	43,115	511203,0	5,654
GS500B	538125,5	11,883	537919,1	6,094
GS500C	621251,2	3,983	621059,2	7,800
GS750A	763867,3	167,632	763713,9	9,708
GS750B	796930,1	50,582	796593,7	15,414
GS750C	900685,5	13,719	900183,8	20,496

OÇS değerleri incelendiğinde, 5 problemde KTY_KKA'nin OÇS değerleri daha küçük iken diğer problemlerde ÇBKS'nin OÇS değerleri daha küçüktür. Bununla birlikte, KTY_KKA'de çözüm zamanı 0.623 saniye ile yaklaşık 3 dakika arasında değişmektedir. GHOSH problem setindeki problemlerin en iyi çözümleri bilinmemektedir. Dolayısıyla, literatürde önerilen algoritmalar ile bu problemlerin bilinen en iyi çözümleri iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Bu tezde geliştirilen KTY_KKA ile, bu setteki 7 problemin bilinen en iyi çözümü iyileştirilmiştir. Çizelge 6.8'de, bilinen en iyi çözümü iyileştirilen problemler literatürdeki üst sınır değeri ve KTY_KKA ile bulunan yeni üst sınır değeri verilmektedir. Çizelgede görüldüğü gibi, bilinen en iyi maliyet değerleri %0.003 ile %0.610 arasında iyileştirilmiştir.

Çizelge 6. 8. Bilinen en iyi maliyeti iyileştirilen problemler ve yeni en iyi maliyet değerleri

Problem	Bilinen En iyi Maliyet	Yeni Maliyet	İyileştirme oranı
GA250A-3	257985	257976,8	-0,003
GA250A-5	258225	258210,1	-0,006
GA750A-3	763765	763745,9	-0,003
GA250C-3	332423	331359,2	-0,320
GS250A-4	258007	258000,7	-0,003
GS250C-3	333000	331473,8	-0,460
GS250C-4	333158	331119,0	-0,610

MED Test Seti için Karşılaştırma

Çizelge 6.9’da, her iki algoritma ile her alt problem seti için elde edilen OES ve OÇS değerleri verilmektedir. Çizelge incelendiğinde hem OES hem de OÇS açısından ÇBKS, KTY_KKA’ye göre daha iyi performans sergilediği görülmektedir. ÇBKS için OES değerleri %-0.018 ile %0.016 arasında değişmektedir. OES değerinin negatif olması, ilgili problem için bilinen en iyi maliyet değerinin iyileştirildiğini göstermektedir. ÇBKS için OÇS değerleri ise 2.34 saniye ile 88.72 saniye arasında değişmektedir. KTY_KKA’de ise OES değerleri %0.041 ile %0.467 arasındadır. KTY_KKA için OÇS değerleri ise 21.87 saniye ile 5 saat arasında değişmektedir.

KTYP stratejik bir problem olmasından dolayı 5 saat katlanılabilir bir süre olmasına rağmen ÇBKS ile karşılaştırıldığında bu değer çok büyüktür. Bu nedenle, özellikle büyük boyutlu problemler için hem çözüm kalitesi hem de çözüm zamanı açısından KTY_KKA’nin performansını arttırmak için diğer genel amaçlı sezgisel algoritmalar ile etkileşimli çalışan bir karma algoritma geliştirilebilir.

Çizelge 6. 9. MED test setinde KTY_KKA ve ÇBKS için OES ve OÇS değerleri

Problem Seti	KTY_KKA		ÇBKS	
	OES	OÇS (sn)	OES	OÇS (sn)
MED 500-10	0,041	21,870	0,000	4,340
MED 500-100	0,314	102,180	0,005	3,660
MED 500-1000	0,087	217,680	0,000	2,340
MED 1000-10	0,330	186,750	0,002	18,560
MED 1000-100	0,121	542,980	0,001	9,230
MED 1000-1000	0,176	2052,960	0,001	13,230
MED 1500-10	0,287	263,050	0,016	40,270
MED 1500-100	0,298	2555,270	0,005	42,500
MED 1500-1000	0,296	10663,610	0,003	35,200
MED 2000-10	0,467	1573,340	0,001	70,120
MED 2000-100	0,432	7548,930	0,010	43,250
MED 2000-1000	0,243	5561,330	0,001	50,500
MED 2500-10	0,331	4573,200	-0,018	88,720
MED 2500-100	0,145	18047,100	0,005	66,360

7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Günümüz koşullarında hızlı gelişen teknoloji ile ortaya çıkan yoğun rekabet, işletmeleri düşük maliyet ve yüksek müşteri memnuniyeti doğrultusunda çalışmaya zorlamaktadır. Özellikle yüksek müşteri memnuniyetini sağlamak Tedarik Zinciri Yönetimini (TZY) ve buna paralel olarak Lojistik kavramını ön plana çıkartmıştır. Burada tedarik zinciri ve lojistik konuları; hangi tesislerin hangi ürünleri üreteceği, bu tesislerin nerelerde kurulacağı, üretilen ürünlerin en az maliyet ve buna paralel olarak en yüksek müşteri memnuniyetini sağlayacak şekilde hangi kanallardan ulaştırılacağı alanında yoğunlaşmıştır. TZY içinde de bu bahsettiğimiz nedenlerden ötürü Tesis Yer Seçimi problemleri ayrı bir önem taşımaktadır. Çünkü tesislerin nereye kurulacağı bir işletme için stratejik bir karardır.

Bu tez çalışmasında, tesis yer seçimi problemlerinden olan Kapasitesiz Tesis Yeri Seçimi problemi (KTYP) ele alınmıştır. KTYP problemi, tesis yer seçimi problemlerinin temel halini teşkil etmektedir. Literatürde üzerinde çok çalışılan KTYP problemi, gerçek hayatta karşılaşılan kümeleme analizi, makine çizelgeleme, ekonomik parti büyüklüğü, bilgisayar şebekelerinin tasarımı gibi problemlerin modellenmesinde ve çözümünde de kullanılabilir. KTYP, NP-zor problemler sınıfında yer almaktadır. Bu nedenle küçük boyutlu problemler için en iyi çözümü bulmaya yönelik kesin algoritmaların literatürde bulunmasının yanı sıra büyük boyutlu problemler için birçok sezgisel algoritma da önerilmiştir. Bu tezde, KTYP'nin çözümü için genel amaçlı bir sezgisel algoritma olan Karınca Kolonisi Eniyilemesi (KKE) algoritmasına dayalı yeni bir algoritma, KTY_KKA, geliştirilmiştir. Bu tezin literatüre katkısı, KTYP'nin çözümü için ilk defa KKE'ye dayalı bir algoritmanın önerilmiş olmasıdır. Bu sezgisel algoritmada, karınca olarak adlandırılan her bir yapay ajan her iterasyonda feromon adı verilen yapay belleği kullanarak yeni bir çözümü üretmekte ve üretilen bu çözümler daha sonra yerel arama ile iyileştirilmektedir. Kullanılan yapay bellek ile arama çözüm uzayında iyi çözümlerin bulunduğu bölgelere yönlendirilirken, bu bölgelerde derinlemesine arama yerel arama algoritmaları ile sağlanmaktadır.

KTY_KKA'nin performansının incelenmesinde literatürde KTYP için önerilen üç sezgisel algoritma dikkate alınmıştır. Bu algoritmalar, KKE gibi evrimsel algoritmalar sınıfında yer alan ve çözümlerin bir yığını ile aramayı gerçekleştiren genetik algoritmalar (GA) ve kuş sürüsü eniyileme (KSE) algoritmasının yanı sıra literatürde KTYP için en etkin algoritma olarak bilinen ve çok başlangıçlı karma sezgisel (ÇBKS) olarak adlandırılan algoritmadır. KTY_KKA'nin performans analizinde toplam 515 problemi içeren 7 test seti kullanılmıştır. Performans ölçütleri olarak, en iyi çözümden ortalama yüzde sapma değeri ve ortalama çözüm süresi kullanılmıştır. KTY_KKA, ilk 5 test setinde çözüm kalitesi ve çözüm zamanı açısından diğer üç sezgisel algoritmaya eşdeğer ya da daha iyi bir performansa sahiptir. Ancak, son iki test setinde özellikle büyük boyutlu (müşteri sayısının ve aday tesis sayısının 1000'den büyük olduğu) problemlerde, ÇBKS'nin performansı KTY_KKA'den daha iyidir. Bunun yanı sıra bu problemler için KTY_KKA'de en iyi değerden ortalama yüzde sapma değeri %0,05 ile %0,5 arasındadır.

İleride yapılacak çalışmalarda, önerilen KTY_KKA algoritmasının performansını daha iyileştirmek için Tavlama Benzetimi, Tabu Arama gibi diğer genel amaçlı sezgiseller ile etkileşimli çalışan bir karma algoritma geliştirilebilir. Ayrıca, KTY_KKA algoritması üzerinde yapılacak küçük değişiklikler ile, p-medyan, kapasiteli p-medyan, kapasiteli TYP gibi problemlerin çözümü için kullanılabilir. Bir diğer çalışma ise, çok aşamalı (multi-stage) KTYP için KTY_KKA'ye dayalı yeni bir algoritma geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

Ahn, S., Cooper, C., Cournejols, G. And Frieze, A.M., “Probabilistic Analysis of a Relaxation for the k-Median Problem”, *Mathematics of Operational Research*, 13: 1-31 (1998).

Al-Sultan, K.S. And Al-Fawzan, M.A., “A Tabu Search Approach to the Uncapacitated Facility Location Problem”, *Annals of Operations Research*, 86: 91-103 (1999).

Balinski, M., “Integer Programming: Methods, Uses, Computation”, *Management Science*, 12:253-313 (1965).

Barahona, F. And Chudak, F., “Near Optimal Solutions to Large Scale Facility Location Problems”, Technical Report, *IBM, RC21606, Yorktown Heights*, New York, USA, 5-15 (1999).

Beasley, J., “OR-Library: Distributing Test Problems by Electronic Mail”, *Journal of the Operational Research Society*, 41(3): 1069-1072 (1990).

Beasley, J.F., “Lagrangean Heuristic for Location Problems”, *European Journal of Operational Research*, 65: 383-399 (1993).

Belgin, Ö., “Haberleşme Şebekelerinin Tasarımında Sezgisel Yaklaşımlar: Değişken Komşu Arama, Kuş Sürüsü Optimizasyonu, Karınca Kolonisi Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 55-66 (2007).

Bilde, O. And Krarup, J., “Sharp Lower Bounds and Efficient Algorithms for the Simple Plant Location Problem”, *Annals of Discrete Mathematics*, 1:79-97 (1977).

Blum, C. And Dorigo, M.S., “The Hyper Cube Framework for Ant Colony Optimization”, *IEEE Transactions on Man, Systems and Cybernetics-Part B*, 34(2): 1161-1172 (2004).

Brandeu, M.L. And Chiu, S.S., “An Overview of Representative Problems in Location Research”, *Management Science*, 35(6):645-674 (1989).

Conn, A.R. And Cournejols, G., “A Projection Method for the Uncapacitated Facility Location Problem”, *Mathematical Programming*, 46:273-298 (1990).

Cournejols, G., Nemhauser, G.H. And Wolsey, L., “The Uncapacitated Facility Location Problem”, Discrete Location Theory, Lecture Note in Artificial Intelligence, Francis, R.L., *John Wiley & Sons*, New York, USA, 119-171 (1990).

Daskin, M.S., “Network and Discrete Location”, *John Wiley & Sons*, New York, USA, 55-145 (1995).

Daskin, M.S., Snyder, L.V And Berger, R.T., “Facility Location in Supply Chain Design”, *Logistics Systems: Design and Optimization*, Langevin, A., Riopel, D., **Kluwer**, New York, USA, 39-65 (2005).

Dorigo, M., Maniezzo, V. And Colomi, A., “Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents”, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics-Part B*, 26(1): 29-41, (1996).

Dorigo, M. And Gambardella, L.M., “Ant Colonies for the Travelling Salesman Problem”, *Biosystems*, 43(2): 73-81 (1997a).

Dorigo, M. And Gambardella, L.M., “Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Travelling Salesman Problem”, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 1(1): 53-66 (1997b).

Dorigo, M. And DiCaro, G., “New Ideas in Optimization”, Corne, D., Dorigo, M., Glover, F., **McGraw-Hill**, Maidenhead, 1-8 (1999).

Dorigo, M. And Stützle, T., “Metaheuristic Handbook”, Glover, F., Kochenberger, G., International Series in Operational Research and Management Science, **Kluwer Academic**, Boston, USA, 1-13 (2001).

Dorigo, M. And Stützle, T., “Ant Colony Optimization”, Prior, R., **MIT Press**, Cambridge, Massachusetts, USA, 10-20 (2004).

Efroymsen, M.A. And Ray, T.L., “A Branch-Bound Algorithm for Plant Location”, *Operations Research*, 14:361-368 (1966).

Erlenkotter, D., “A Dual-based Procedure for Uncapacitated Facility Location”, *Operations Research*, 26:992-1009 (1978).

Galvao, R.D. And Raggi, L.A., “A Method for Solving to Optimality Uncapacitated Location Problems”, *Annals of Operation Research*, 18:225-244 (1989).

Galvao, R.D., “The Use of Lagrangean Relaxation in the Solution of Uncapacitated Facility Location Problems”, *Location Science*, 1(1): 57-79 (1993).

Galvao, R.D., “Uncapacitated Facility Location Problems Contributions” *Pesquisa Operacional*, 24:7-38 (2004).

Gao, L.L., Robinson, E. And Powell, Jr., “Uncapacitated Facility Location: General Solution Procedure and Computational Experience”, *European Journal of Operational Research*, 76(3): 410-427 (1994).

Ghosh, D., “Neighborhood search heuristics for the Uncapacitated Facility Location Problem”, *European Journal of Operational Research*, 150(1): 150-162 (2003).

Goss, S., Aron, S., Dereuborg, J.L. And Pasteels, J.M., "Self Organized Shortcuts in the Argentina Ant", *Naturwissenschaften*, 76:579-581 (1989).

Guignard, M. And Spielberg, K., "Algorithms for Exploiting the Structure of the Simple Plant Location Problem", *Annals of Discrete Mathematics*, 1:163-177 (1977).

Hakimi, S.L., "Optimum Locations of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graph", *Operations Research*, 12:450-459 (1964).

Hale, T.S. And Moberg, C.R., "Location Science Research: A Review", *Annals of Operational Research*, 123(1):21-35 (2003).

Hamacher, H.W. And Nickel, S., "Classification of Location Models", *Location Science*, 6:229-242 (1998).

Holthatis, O. And Rajendran, C., "A Fast Ant Colony Algorithm for Single Machine Scheduling to Minimize the Sum of Weighted Tardiness of Jobs", *Journal of the Operational Research Society*, 56(8): 947-953 (2005).

Janacek, J., And Buzna, L., "An Acceleration of Erlenkotter-Koerkel's Algorithms for the Uncapacitated Facility Location Problem", *Annals of Operations Research*, Article in press (2008).

Jaramillo, H.J., Bhadury, J. And Batta, R., "On the Use of Genetic Algorithms to Solve Location Problems", *Computers & Operations Research*, 29:761-779 (2002).

Khumawala, B.M., "An Efficient Branch-Bound Algorithm for the Warehouse Location Problem", *Management Science*, 18:718-751 (1972).

Klose, A. And Drexel, A., "Facility Location Models for Distribution System Design", *European Journal of Operational Research*, 162(1):4-29 (2005).

Kochetov, Y. And Ivanenko, D., "Computationally Difficult Instances for the Uncapacitated Facility Location Problems", *Proceedings of the 5th Metaheuristics International Conference*, 41: 1-6 (2003).

Koerkel, M., "On the Exact Solution of Large-Scale Simple Plant Location Problems", *European Journal of Operational Research*, 39:157-173 (1989).

Kong, M., Tian, P. And Kao, Y., "A New Ant Colony Optimization Algorithm for the Multidimensional Knapsack Problem", *Computers & Operations Research*, 35(8): 2672-2683 (2008).

Krarup, J. And Pruzan, P.M., "The Simple Plant Location Problem: Survey and Synthesis", *European Journal of Operational Research*, 12:36-81 (1983).

Kratika, J., Tomic, D., Filipovic, V. And Ljubic, I., "Solving the Simple Plant Location Problem by Genetic Algorithms", *RAIRO-Operations Research*, 35(1): 127-142 (2001).

Kuehn, A.A. And Hamburger, M.J., "A Heuristic Program for Locating Warehouses", *Management Sciences*, 9: 643-666 (1963).

Labbe, M. Louveaux, F.V., "Location Problems", Annotated Bibliographies in Combinatorial Optimization, Dell'Amico, M., Maffioli, F. And Martello, S., *John Wiley & Sons*, New York, USA, 261-281 (1997).

Laurent, M. And Hentenryck, P.V., "A Simple Tabu Search for the Warehouse Location", *European Journal of Operational Research*, 157:576-591 (2004).

Mirchandani, P.B. And Francis, R.L., "Discrete Location Theory", Mirchandani, P.B., *John Wiley & Sons*, New York, USA, 119-171 (1990).

Owen, S.H. And Daskin, M.S., "Strategic Facility Location: A Review", *European Journal of Operational Research*, 111(3):423-447 (1998).

Resende, M.G.C. And Ribeiro, C.C., "GRASP with Path Relinking: Recent Advances and Applications", Ibaraki, T., Nanobe, K., Yagiura, M., *Metaheuristics: Progress as Real Problem Solvers*, *Springer*, New York, USA, 29-63 (2005).

Resende, M.G.C. And Werneck, R.F., "A Hybrid Multistart Heuristic for the Uncapacitated Facility Location Problem", *European Journal of Operational Research*, 174(1): 54-68 (2006).

Revelle, C.S. And Eiselt, H.A., "Location Analysis: A Synthesis and Survey", *European Journal of Operational Research*, 165(1):1-19 (2005).

Revelle, C.S. Eiselt, H.A. And Daskin, M.S., "A Bibliography for Some Fundamental Problem Categories in Discrete Location Science", *European Journal of Operational Science*, 184(3): 817-848 (2008).

Sevкли, M. And Güner, A., "A Continuous Particle Swarm Optimization Algorithm for Uncapacitated Facility Location Problem", *Lecture Notes in Computer Science*, 4150LNCS: 316-323 (2006).

Simao, H.P. And Thizy, J.M., "A Dual Simplex Algorithm for the Canonical Representation of the Uncapacitated Facility Location Problem", *Operations Research Letters*, 8:279-286 (1989).

Sun, M.H., "Solving the Uncapacitated Facility Location Problem Using Tabu Search", *Computers & Operations Research*, 33:2563-2589 (2006).

Tcha, D.W., Ro, H.B. And Yoo, C.B, “A Dual-based Add Heuristic for the Uncapacitated Facility Location”, *Journal of the Operational Research Society*, 39(9):873-878 (1988).

Vaithyanathan, S., Burke, L. And Magent, M.A., “Massively Paralel Analog Tabu Search Using Neural Networks to Simple Plant Location Problem”, *European Journal of Operational Research*, 93: 317-330 (1996).

Whitaker, R., “A Fast Algorithm for the Greedy Interchange of Large Scale Clustering and Median Location Problems”, *INFOR*, 21: 95-108 (1983).

Yiğit, V., “Kapasite Kısıtsız Tesis Yerleşim Problemleri için Evrimsel Yaklaşımlı Tavlama Benzetimi Algoritması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 53-70 (2004).

Yiğit, V., Aydın, M.E. And Türkbey, O., “Solving Large Scale Uncapacitated Facility Location Problems with Evolutionary Simulated Annealing”, *International Journal of Production Research*, 44(22): 4773-4791 (2006).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : ÇALIŞKAN, Emre
Uyruğu : T.C.
Doğum Tarihi ve Yeri : 01.03.1984 Ankara
Medeni Hali : Bekar
Telefon : 0 (312) 231 74 00 / 2809
e-mail : ecaliskan@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi / Endüstri Müh. Bölümü	2005
Lise	Başkent Lisesi	2001

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Bilgisayar Teknolojileri, Sinema