T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

KAPASİTE KISITLI ÇOK TESİSLİ WEBER PROBLEMİ İÇİN DEĞİŞTİRİLMİŞ YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI

Nükhet TUNÇBİLEK

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Şakir ESNAF

İSTANBUL, 2018

Bu çalışma 25.12.2018 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Programı Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ

Prof. Dr. Şakir ESNAF
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi
Endüstri Müh. Bölümü

Prof. Dr. Ş. Alp BARAY
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi
Endüstri Müh. Bölümü

Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN
İstanbul Teknik Üniversitesi
İşletme Fakültesi
Endüstri Müh. Bölümü

Prof. Dr. Mehmet Mutlu YENİSEY
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi
Endüstri Müh. Bölümü

Prof. Dr. Güneş GENÇYILMAZ
İstanbul Aydın Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Endüstri Müh. Bölümü

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Tesis yer seçimi kararları, lojistik sistemlerinin tasarımında önemli bir yere sahiptir. Örneğin tesis kurulum maliyetleri ya da taşıma maliyetleri gibi, önemli göstergeleri optimize ederek hem ekonomik hem de toplumsal faydalar ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada yer seçimi problemleri incelenmiş ve sınıflandırılmış, bu alanda yapılan bilimsel çalışmalar taranmış ve özetlenmiştir. Kapasite kısıtlı yer seçimi ve atama probleminin çözümü için henüz başka bir çalışmada uygulanmamış olan Yapay Arı Kolonisi algoritması kullanılarak yeni bir yöntem önerilmiştir.

Akademik çalışmalarım sırasında engin bilgi birikimini ve tecrübelerini benimle paylaşan tez danışmanım, çok değerli hocam Prof. Dr. Şakir ESNAF'a bana olan sonsuz desteği, güveni, sabrı için, her zaman cesaretle ve inançla yoluma devam etmemi sağlayan liderliği için tüm kalbimle teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında sundukları değerli fikirleri ve yönlendirmeleri için saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Alp BARAY ve Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN'a teşekkürlerimi sunarım.

İçimdeki araştırmacı ve öğretici ruhu görerek, akademik hayata başlamama vesile olan, kendisinden çok şey öğrendiğim ve kendime örnek aldığım değerli hocam Prof. Dr. Güneş GENÇYILMAZ'a tez çalışmam sırasındaki yardımları için teşekkürü bir borç bilirim.

Her türlü kararımda yanımda olan canım eşim İsa Tufan TUNÇBİLEK'e doktora dönemimdeki desteği için ve gelecekte başarılı bir akademisyen olacağına inandığım canım oğlum Yunus TUNÇBİLEK'e benimle aynı zamanlarda öğrencilik hayatını paylaşarak bana güç verdiği için teşekkür ederim.

Kasım, 2018 Nükhet TUNÇBİLEK

ÖZET

DOKTORA TEZİ

KAPASİTE KISITLI ÇOK TESİSLİ WEBER PROBLEMİ İÇİN DEĞİŞTİRİLMİŞ YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI

Nükhet TUNÇBİLEK

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Şakir ESNAF

Yerleri belirli olan müşterilere hizmet vermek üzere kurulacak tesis yerlerinin seçilmesi kararı, lojistik sistemlerinin tasarımında önemli bir yere sahiptir. Yapılacak yatırım maliyeti ile işletim sırasında karşılaşılacak taşıma maliyeti arasında bir denge kurmakla birlikte, hizmet alacak olan müşterilerin memnuniyeti de göz önüne alınarak, olabildiğince verimli kararlar alabilmek için 20nci yüzyıl başlarından beri farklı optimizasyon yöntemleri uygulanmıştır.

Yer seçimi problemleri çözüm alternatifleriyle ilgili olasılıkların polinom olmayan şekilde artması nedeniyle, doğrusal olmayan, türevi alınamayan, dışbükey olmayan fonksiyonlarla ifade edilmektedir ve problemler polinom zamanda çözülememektedir. Tesis yerlerinin belirli alternatifler arasından seçilmesi yerine düzlem üzerinde herhangi bir yerin aranması, kurulacak tesislerin kapasite kısıtının göz önüne alınması problemi daha karmaşık hale getirir. Tesis kapasitelerini gözetmekle beraber hangi müşterinin hangi tesisten hizmet alması gerektiği belirlenerek atama kararı da alınması gerekir.

Bu çalışmada yer seçimi problemleri incelenmiş ve sınıflandırılmış, bu alanda yapılan bilimsel çalışmalar taranmış ve özetlenmiştir. Kapasite kısıtlı yer seçimi ve atama probleminin çözümü için henüz başka bir çalışmada uygulanmamış olan Yapay Arı Kolonisi algoritması kullanılarak yeni bir yöntem önerilmiştir. Önerilen algoritmaya yeni özellikler eklenerek Değiştirilmiş Yapay Arı Kolonisi algoritması oluşturulmuştur. Kapasite kısıtını gözeterek müşteri-tesis atamalarını düzenleyen Yardımcı YAK algoritması tasarlanmıştır.

Bilimsel araştırmalarda kullanılan veri setleri üzerinde denemeler yapılmış, deney sonuçlarını daha hassas şekilde iyileştirmek için Yapay Arı Kolonisi algoritması sonuçlarına Nelder-Mead metodu uygulanmıştır. Ele alınan veri setiyle ilgili yapılan deneylerin bazılarında daha önceki çalışmalarda bulunan sonuçlardan daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Tez çalışması konuyla ilgili geçmiş çalışmaları özetlemesi, Yapay Arı Kolonisi algoritmasının kapasite kısıtlı yer seçimi ve atama problemine ilk kez uygulanması, kapasite kısıtlı yer seçimi ve atama problemi için Değiştirilmiş Yapay Arı Kolonisi algoritmasının önerilmesi, Yapay Arı Kolonisi ile Nelder-Mead metodunun ilk kez birlikte kullanılması, Nelder-Mead metodunun bu çalışmada geliştirilen yeni Yapay Arı Kolonisi algoritması olan Değiştirilmiş Yapay Arı Kolonisi algoritması ile birlikte kullanılması ve seçilen veri setindeki deney sonuçları itibariyle bilinen sonuçlardan daha iyi sonuçlar bulması ile gelecekteki çalışmalara referans olabilecektir.

Kasım 2018, 257 sayfa.

Anahtar kelimeler: Tesis yer seçimi ve atama, Weber problemi, Kapasite kısıtlı Weber problemi, Yapay arı kolonisi algoritması, Nelder-Mead algoritması

ABSTRACT

Ph.D. THESIS

MODIFIED ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM FOR THE CAPACITATED MULTI-FACILITY WEBER PROBLEM

Nükhet TUNÇBİLEK

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Postgraduate Education

Department of Industrial Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Şakir ESNAF

In design of logistic systems, selecting location of facilities to be setup for serving customers at known locations is an important decision. While establishing balance between investment costs at the beginning and transportation costs during the operation, and considering satisfaction level of the customers that will consume the service, various optimization methods have been applied since the beginning of the 20^{th} century in order to make decisions as efficiently as possible.

Because that the number of potential solutions to location analysis increase non-polynomially, location analysis problems are defined by non-linear, non-differentiable, non-convex functions and it is not possible to solve them within polynomial time. Looking for a facility location at any point on a plane instead of picking from several potential facility locations, and considering capacity constraint of the facilities make the problem even more complex. Together with considering capacity constraints of the facilities, it is necessary to make an allocation decision, so that it is certain that which customer gets service from which facility.

In this study, location analysis problems are studied and categorized, academic work in this area is investigated and summarized. A new method is proposed by utilizing the Artificial Bee Colony algorithm that has not yet been used for solution of the capacitated facility location-allocation problems in any existing research. New features are added to the proposed algorithm and Modified Artificial Bee Colony algorithm is introduced. Auxiliary Artificial Bee Colony Algorithm is designed for

organizing customer-facility allocations regarding capacity constraints of the facilities.

Experiments are conducted on data sets that are used in previous academic studies, and Nelder-Mead method is applied to Artificial Bee Colony algorithm results for obtaining fine adjustments. Some of the experiments on the data set used in this study produced better results compared to best known results in previous academic research.

This study can be a reference to future academic work because of its summarization of previous work, first time application of Artificial Bee Colony algorithm to capacitated location-allocation problem, introduction of Modified Artificial Bee Colony algorithm for capacitated location-allocation problem, first time hybrid use of Artificial Bee Colony algorithm and Nelder-Mead method, combined use of Nelder-Mead method with the newly proposed type of an Artificial Bee Colony algorithm in this study, Modified Artificial Bee Colony algorithm, and the experiment results that have improved some of the best known solutions on the chosen data set.

November 2018, 257 pages.

Keywords: Location-allocation analysis, Weber problem, Capacitated Weber problem, Artificial bee colony algorithm, Nelder Mead algorithm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ..... **v**
ÖZET ..... **vi**
ABSTRACT ..... **viii**
İÇİNDEKİLER ..... **x**
TABLOLAR LİSTESİ ..... **xv**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **xvi**
GRAFİKLER LİSTESİ ..... **xviii**
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ ..... **xix**
BÖLÜM I: GİRİŞ **1**
1.1. DAĞITIM YÖNETİMİNİN LOJİSTİK SİSTEMİ 2
1.2. YER SEÇİMİ ANALİZİNE BAKIŞ 4
Yer Seçimi Analizine Giriş 4
Yer Seçimi Analizinin Kısa Tarihçesi 6
Yer Seçimi Analizi Problemlerinin Sınıflandırılması 8
Tesis Yer Seçimi-Atama Problemleri 12
Kombinatoryal Optimizasyon Problemlerinin Karmaşıklığı 13
Yer Seçimi ile Kümeleme Problemlerinin Karşılaştırılması 15
BÖLÜM II: KAVRAMSAL ÇERÇEVE / ALANYAZIN VE İLGİLİ ARAŞTIRMALAR **16**
2.1. PROBLEMİN TANIMI 16
Kesikli Yer Seçimi Problemleri 20
Kapasite Kısıtsız Kesikli Yer Seçimi Problemi (KYSP) *20*
Kapasite Kısıtlı Kesikli Yer Seçimi Problemi (KKKYSP) *22*
Sürekli Yer Seçimi Problemleri 25
Weber Problemi (WP) *26*
Çok Tesisli Weber Problemi (ÇTWP) *26*
Kapasite Kısıtlı Sürekli Yer Seçimi Problemi (KKSYSP) *28*
Kapasite Kısıtlı Çok Kaynaklı Weber Problemi (KKÇKWP) *29*
Kapasite Kısıtlı Tek Kaynaklı Weber Problemi (KKTKWP) *31*
Uzaklık Ölçütü 33
Sıkılık Faktörü 34

2.2. LİTERATÜR TARAMASI 35
Yer Seçimi Analizi Hakkında Yapılmış İncelemeler 35
Yer Seçimi Analizi Alanında Yazılan Bazı Kitaplar 40
Weber Problemi Üzerinde Yapılmış Çalışmalar 41
Çok Tesisli Weber Problemi Üzerinde Yapılmış Çalışmalar 44
2.3. OPTİMİZASYON PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİNE GENEL BAKIŞ 45
2.4. ÇOK TESİSLİ WEBER PROBLEMİ (ÇTWP) ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ 46
Kesin Yöntemler 46
Sezgisel Yöntemler 48
Meta-Sezgisel Yöntemler 53
Meta-Sezgisel Algoritmalar Neden Gereklidir? 57
Meta-Sezgisel Algoritmalar Neden Başarılıdır? 57
2.5. ÇOK TESİSLİ WEBER PROBLEMİNDE (ÇTWP) ÖZEL DURUMLAR 58
Sınırlandırılmış (Constrained) Weber Problemi 58
Çok kaynaklı Weber probleminde sabit kurulum maliyeti 62
2.6. KAPASİTE KISITLI SÜREKLİ TESİS YER SEÇİMİ VE ATAMA PROBLEMLERİ 64
Kapasite Kısıtlı Çok Kaynaklı Weber Problemi (KKÇKWP) 64
Kapasite Kısıtlı Çok Kaynaklı Weber Problemi – Özel Durumlar 70
Düz bir hat üzerinde kapasite kısıtlı yer seçimi problemi 70
Olasılık ve bulanık değerler 71
Kapasite Kısıtlı Tek Kaynaklı Weber Problemi (KKTKWP) 73
2.7. KAPASİTE KISITLI KESİKLİ YER SEÇİMİ PROBLEMLERİ (KKKYSP) 74
ÖZET 77
BÖLÜM III: YÖNTEM 79
3.1. YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI 80
İşçi Arı Adımı 83
Gözcü Arı Adımı 84
İzci Arı Adımı 85
YAK Algoritması Adımlarının Bir Örnek Üzerinde Gösterilmesi 85
Yapay Arı Kolonisi Algoritması Sözde Kod 97
Rulet Çarkı Seçim Yöntemi 99
3.2. DEĞİŞTİRİLMİŞ YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI 100
Değiştirilmiş Yapay Arı Kolonisi Algoritması Sözde Kod 101

3.3. DEĞİŞTİRİLMİŞ YAK ALGORİTMASININ KAPASİTE KISITSIZ ÇOK TESİSLİ WEBER PROBLEMİNE (ÇTWP) UYGULANMASI 103
Çok Tesisli Weber Problemi (ÇTWP) Çözüm Vektörü 105
Tarama, hedef fonksiyonu ve uyum değeri 105
Çözüm vektörünün Çok Tesisli Weber Problemi (ÇTWP) çözümüne dönüştürülmesi 106
Tesis yerlerinin grafikte gösterilmesi 110
3.4. DEĞİŞTİRİLMİŞ YAK ALGORİTMASININ KAPASİTE KISITLI WEBER PROBLEMLERİNE UYGULANMASI 113
Müşteri-Tesis Atamalarının Kaydırılması 113
Kapasite Kısıtlı Çok Tesisli Weber Probleminin DYAK Algoritması ve Yardımcı YAK Algoritması ile Çözüm Akış Şeması 116
Yardımcı YAK algoritması ve Akıllı Kaydırma Yöntemi akış şemaları 117
Kapasite Kısıtlı Tek Kaynaklı Weber Problemi (KKTKWP) Çözüm Vektörü 119
Çözüm vektörünün Kapasite Kısıtlı Tek Kaynaklı Weber Problemi (KKTKWP) çözümüne dönüştürülmesi 122
Kapasite aşımını gidermek için çalıştırılan "Yardımcı YAK algoritması" 127
Yardımcı YAK Algoritmasının Yararı 133
Müşteri-tesis atamalarının akıllı kaydırma yöntemiyle değiştirilmesi (KKTKWP)136
Geçersiz (uygulanamaz, infeasible) çözümlerin değerlendirilmesi 140
3.5. DEĞİŞTİRİLMİŞ YAK ALGORİTMASININ KAPASİTE KISITLI ÇOK KAYNAKLI WEBER PROBLEMİNE (KKÇKWP) UYGULANMASI 141
Kapasite Kısıtlı Çok Kaynaklı Weber Problemi (KKÇKWP) Çözüm Vektörü 143
"Yardımcı YAK algoritması"nın kapasite kısıtlı çok kaynaklı Weber problemine (KKÇKWP) uygulanması 146
Müşteri-tesis atamalarının akıllı kaydırma yöntemiyle değiştirilmesi (KKÇKWP) 148
3.6. DEĞİŞTİRİLMİŞ YAK ALGORİTMASI SONUÇLARININ NELDER-MEAD METODUYLA İYİLEŞTİRİLMESİ 149
Nelder-Mead Algoritması 149
Başlangıç Üçgeni BGW (Initial Best Good Worst Triangle) *150*
İyi Kenarın Orta Noktası *151*
R Noktasını Kullanarak Yansıma İşlemi *151*
Genişleme İşlemini Kullanarak E Noktasının Elde Edilmesi *151*
İçe ve Dışa Büzülme İşlemini Kullanarak C noktasının Elde Edilmesi *152*
Üçgenin B noktasına Doğru Daralması *153*
Her bir adım için mantıksal kararlar *154*
3.7. TEST PROGRAMI 155

Test programının görünümü 155
Test programının üzerindeki alanlar 156
Test veri dosyalarındaki bilgiler 161
Test programında bir çözümün ilerleyişinin animasyonla gösterimi 162
3.8. YAK ALGORİTMASINA EKLENEN ÖZELLİKLER 163
BÖLÜM IV: BULGULAR 164
4.1. YAK ALGORİTMASINA EKLENEN ÖZELLİKLERİN KARŞILAŞTIRILMASI 164
4.2. DYAK ALGORİTMASI DENEY SONUÇLARI 167
Eilon (1971) 50 müşteri problemi 167
Deney yapılan problemde tesis kapasiteleri ve sıkılık faktörleri 167
Eilon 50 müşteri problemi üzerinde DYAK algoritmasının denenmesi 169
Test uygulaması parametreleri 170
YAK algoritması uygulanarak alınan sonuçlar 171
DYAK algoritması uygulanarak alınan sonuçlar 173
DYAK algoritması sonuçlarına NM metodu uygulanarak alınan sonuçlar 175
YAK, DYAK ve DYAK+NM algoritması sonuçları 176
Deneylerin çalışma süreleri 177
Deney sonuçlarının özeti 178
BÖLÜM V: TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER 179
KAYNAKLAR 183
EKLER 203
EK 1. EILON 50 MÜŞTERİ VERİSİ 204
EK 2. EILON 50 MÜŞTERİ VERİSİ İÇİN TEZ ÇALIŞMASINDA ELDE EDİLEN ÇÖZÜMLER 206
Eilon 50 müşteri 2 tesis problemi için bulunan çözüm 206
Eilon 50 müşteri 3 tesis problemi için bulunan çözüm 207
Eilon 50 müşteri 4 tesis problemi için bulunan çözüm 208
Eilon 50 müşteri 5 tesis problemi için bulunan çözüm 209
Eilon 50 müşteri 6 tesis problemi için bulunan çözüm 210
Eilon 50 müşteri 7 tesis problemi için bulunan çözüm 211
Eilon 50 müşteri 8 tesis problemi için bulunan çözüm 212
Eilon 50 müşteri 9 tesis problemi için bulunan çözüm 213
Eilon 50 müşteri 10 tesis problemi için bulunan çözüm 214
Eilon 50 müşteri 11 tesis problemi için bulunan çözüm 215
Eilon 50 müşteri 12 tesis problemi için bulunan çözüm 216

Eilon 50 müşteri 13 tesis problemi için bulunan çözüm 217
Eilon 50 müşteri 14 tesis problemi için bulunan çözüm 218
Eilon 50 müşteri 15 tesis problemi için bulunan çözüm 219
Eilon 50 müşteri 16 tesis problemi için bulunan çözüm 220
Eilon 50 müşteri 17 tesis problemi için bulunan çözüm 221
Eilon 50 müşteri 18 tesis problemi için bulunan çözüm 222
Eilon 50 müşteri 19 tesis problemi için bulunan çözüm 223
Eilon 50 müşteri 20 tesis problemi için bulunan çözüm 224
Eilon 50 müşteri 21 tesis problemi için bulunan çözüm 225
Eilon 50 müşteri 22 tesis problemi için bulunan çözüm 227
Eilon 50 müşteri 23 tesis problemi için bulunan çözüm 229
Eilon 50 müşteri 24 tesis problemi için bulunan çözüm 231
Eilon 50 müşteri 25 tesis problemi için bulunan çözüm 233
ÖZGEÇMİŞ 235

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1-1: Yer Seçimi problemleri için Sınıflandırma Ölçütleri 8

Tablo 1-2: Yer Seçimi problemleri için Sınıflandırma Ölçütleri ve Seçenekleri.....9

Tablo 2-3: Farklı araştırmalarda en sık kullanılan uzaklık fonksiyonları 33

Tablo 2-4: Tesis yer seçimi problemlerinin literatür tarama özeti 78

Tablo 3-5: Tez çalışmasında ele alınan problemlerin ölçütleri 79

Tablo 3-6: 4ncü tur sonunda bilinen en iyi sonuç 95

Tablo 3-7: DYAK algoritması ile ÇTWP eşlenmesi.....104

Tablo 3-8: Tesis – müşteri atamaları.....131

Tablo 3-9: Çözüm kalitelerinin karşılaştırılması 140

Tablo 4-10: Değiştirilmiş YAK algoritması deney sonuçları 165

Tablo 4-11: Eilon 50 müşteri problemi tesis kapasiteleri ve sıkılık faktörleri.....168

Tablo 4-12: YAK algoritması deney sonuçları 171

Tablo 4-13: YAK algoritması deneylerinin analizi.....172

Tablo 4-14: DYAK algoritması deney sonuçları 173

Tablo 4-15: DYAK algoritması deneylerinin analizi.....174

Tablo 4-16: DYAK+NM algoritması deney sonuçları.....175

Tablo 4-17: YAK, DYAK ve DYAK+NM algoritması deney sonuçları.....176

Tablo 4-18: YAK, DYAK ve DYAK+NM algoritması çalışma süreleri.....177

Tablo 4-19: Deney sonuçlarının özeti.....178

Tablo Ek 1-20: Eilon 50 müşteri problemi müşteri konumları 204

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1-1: Bir lojistik sistemi (Eilon, 1971). 3

Şekil 2-2: Tesis Yer Seçimi problemlerinin sınıflandırılması.....18

Şekil 2-3: Yer Seçimi Problemlerinin kümeler halinde gösterimi 19

Şekil 2-4: Öklid (1) ve dik doğrusal (2) uzaklık örnekleri.....33

Şekil 2-5: Varignon düzeneği 41

Şekil 3-6: YAK algoritmasının çözümü uzayını taraması 81

Şekil 3-7: Rulet Çarkı Seçim Yöntemi 99

Şekil 3-8: Kapasite Kısıtsız ÇTWP problemi için Çözüm Vektörü.....105

Şekil 3-9: DYAK algoritmasında her turda çözüm vektöründen uyum değeri hesabını gösteren "veri akış diyagramı" 107

Şekil 3-10: Voronoi diyagramı 108

Şekil 3-11: Kapasite Kısıtlı Weber Problemleri için Genel Çözüm Şeması 116

Şekil 3-12: Yardımcı YAK algoritması ve Akıllı Kaydırma Yöntemi 117

Şekil 3-13: KKTKWP problemleri için çözüm vektörü 120

Şekil 3-14: Çözüm vektörünün Kapasite Kısıtlı Weber Problemi çözümüne dönüştürülmesi124

Şekil 3-15: Çözüm vektörünün Kapasite Kısıtlı Weber Problemi çözümüne dönüşümünde yer seçimi ve atama adımları 125

Şekil 3-16: Çözüm vektöründe tesis – müşteri atamaları.....130

Şekil 3-17: Müşteri-tesis atamalarının örnek gösterimi 131

Şekil 3-18: Örnek bir 2x4 kapasite kısıtlı Weber Problemi 133

Şekil 3-19: Kapasite kısıtsız çözüm 134

Şekil 3-20: Yardımcı YAK algoritması en sonda çalışınca bulunan çözüm.....134

Şekil 3-21: Yardımcı YAK algoritması ve yer seçimi birlikte çalışırken tesis yerlerinin değişmesi 135

Şekil 3-22: Yardımcı YAK algoritması ve yer seçimi birlikte çalışınca bulunan çözüm 135

Şekil 3-23: Örnek bir 2x8 kapasite kısıtlı Weber Problemi 137

Şekil 3-24: Kapasite aşımı olan tesisten ayrılması gereken müşterinin belirlenmesi 137
Şekil 3-25: Tesisten ayrılan müşteri için yeni atanacak tesisin belirlenmesi 138
Şekil 3-26: Tesisten ayrılan müşterinin yeni tesise atanması.....138
Şekil 3-27: Tesis merkezlerinin müşteri yerlerinin ortasına yerleşmesi 138
Şekil 3-28: Müşteri talebinin bölünerek tesis kapasitesine uydurulması 142
Şekil 3-29: KKÇKWP problemleri için çözüm vektörü 144
Şekil 3-30: Çözüm vektöründe tesis – müşteri atamaları.....148
Şekil 3-31: Yansıma işlemini kullanarak R noktasının bulunması 151
Şekil 3-32: Genişleme işlemi ile E noktasının ve BGE üçgeninin elde edilmesi 152
Şekil 3-33: C_1 ve C_2 orta noktaları ile BGC üçgenlerinin elde edilmesi.....153
Şekil 3-34: B noktasına doğru daraltma işlemi 153
Şekil 3-35: Test programının kullanıcı arayüzündeki bölümler 155
Şekil 3-36: Test programının kullanıcı arayüzü.....160
Şekil 3-37: Cooper (1967) 3x15 örnek test veri dosyası.....161
Şekil 3-38: Örnek bir problemin çözüm aşamalarının animasyonla gösterimi 162
Şekil 4-39: YAK Algoritmasına eklenen özelliklerin test programındaki seçenekleri 163
Şekil 4-40: Cooper 3x15 örnek problem verileri ve problemin çözümü.....166

GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik 3-1: Örnek fonksiyonun 3 boyutlu görünümü 85

Grafik 3-2: Örnek fonksiyon değerinin turlar boyunca azalışı 96

Grafik 3-3: Örnek fonksiyon için turlar boyunca bulunmuş en iyi noktanın ilerlemesi 96

Grafik 3-4: İki çözümün ayrı ayrı grafikte gösterimi.....111

Grafik 3-5: Tesis yerlerinin grafik üzerinde talep noktaları ile görünümü 111

Grafik 3-6: Örnek problem üzerinde Çözüm 1 112

Grafik 3-7: Örnek problem üzerinde Çözüm 2 112

Grafik 4-8: Değiştirilmiş YAK algoritması deney sonuçları 165

Grafik Ek 1-9: Eilon 50 müşteri problemi müşteri konumları.....205

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

YAK algoritmasıyla ilgili simgeler:

x_{mi} : i-nci besin kaynağını gösteren konum matrisi
v_m : algoritma adımları sırasında belirlenen yeni konum matrisi
Φ : [-1, 1] aralığında rasgele seçilen adım katsayısı
$f_m(x_m)$: hedef fonksiyonu
$uym_m(x_m)$: uyum değeri
h_m : gözcü arı tarafından besin kaynağının seçilme olasılığı

Weber problemi ile ilgili simgeler:

$\boldsymbol{I}$: talep noktaları kümesi
$\boldsymbol{J}$: tesisler kümesi
$\boldsymbol{m}$: kurulacak tesis sayısı
$\boldsymbol{n}$: müşteri (talep noktası) sayısı
$\boldsymbol{i}$: müşteri indeksi (1...**n**)
$\boldsymbol{j}$: tesis indeksi (1...**m**)
$\boldsymbol{a_i=(a_{i1},a_{i2})}$: talep noktalarının bilinen iki boyutlu sabit konumları
$\boldsymbol{f_j}$: tesis **j**'nin sabit kurulum maliyeti (KYSP ve KKKYSP)
$\boldsymbol{y_j}$: tesis **j**'nin açılıp açılmayacağı (KYSP ve KKKYSP)
$\boldsymbol{c_{ij}}$: talep noktası **i**'ye tesis **j**'den hizmet ulaştırmanın birim maliyeti
$\boldsymbol{w_i}$: talep noktası **i**'nin toplam talep miktarı
$\boldsymbol{w_{ij}}$: talep noktası **i**'nin tesis **j**'den aldığı hizmet miktarı
$\boldsymbol{b_j}$: tesis **j**'nin kapasitesi
$\boldsymbol{d(X_j,a_i)}$: tesis **j** ile müşteri **i** arasındaki Öklid uzaklık
$\boldsymbol{x}$: tesis konumunu [$\mathbf{x} : (\mathbf{x_1}, \mathbf{x_2})$] gösteren karar değişkenleri (WP)
$\boldsymbol{X=(X_1,...,X_m)}$: tesis konumlarını [$\mathbf{X_j} : (\mathbf{x_j}, \mathbf{y_j})$] gösteren karar değişkenleri
$\boldsymbol{Z=(z_{ij})}$: talep noktası **i**'nin tesis **j**'den hizmet alıp almayacağını / ne kadar miktarda hizmet alacağını gösteren karar değişkenleri
$\boldsymbol{\tau}$: sıkılık faktörü
$\boldsymbol{B}$: ÇTWP problemleri için çözüm vektörü
$\boldsymbol{B'}$: KKTKWP problemleri için çözüm vektörü
$\boldsymbol{B''}$: KKÇKWP problemleri için çözüm vektörü
Dev% : kapasite kısıtlı problem çözüm maliyetinin kapasite kısıtsız çözüm maliyetinden sapma yüzdesi
$\boldsymbol{F_{best}}$: çalıştırılan algoritmanın ürettiği en iyi sonuç değeri
$\boldsymbol{F_{LB}}$: alt sınır olarak değerlendirilen, kapasite kısıtsız problem için bulunmuş en iyi çözümdür.

Kısaltmalar Açıklama

ABC : Artificial Bee Colony
ALA : Alternate Location Allocation
ARPE : Average Relative Percentage Error
ATL : Alternating Transportation-Location Heuristic
BGW : Initial Best Good Worst Triangle
CCLAP : Capacitated Continuous Location Allocation Problem
CDLAP : Capacitated Discrete Location Allocation Problem
CLS : Candidate List Search
CMFWP : Capacitated Multi-Facility Weber Problem
CMSWP : Capacitated Multi-Source Weber Problem
COG : Center of Gravity
CSSWP : Capacitated Single-Source Weber Problem
ÇTWP : Çok Tesisli Weber Problemi
ÇTYSP : Çok Tesisli Yer Seçimi Problemi
DC : Difference of Convex Functions
DCMLAP : Discrete Capacitated Multi-Facility Location Allocation Problem
DYAK : Değiştirilmiş Yapay Arı Kolonisi
FCM : Fuzzy C-Means
FDR : Furthest Distance Rule
GA : Genetic Algorithm
GRASP : Greedy Randomized Adaptive Search Procedure
HR : Hit Ratio
KKÇKWP : Kapasite Kısıtlı Çok Kaynaklı Weber Problemi
KKKYSP : Kapasite Kısıtlı Kesikli Yer Seçimi Problemi
KKSYSP : Kapasite Kısıtlı Sürekli Yer Seçimi Problemi
KKTKWP : Kapasite Kısıtlı Tek Kaynaklı Weber Problemi
KYSP : Kesikli Yer Seçimi Problemi
LOPT : Local Optimization
LS : Local Search
MALT : Multi-Start Alternate Location Allocation
MFS : Modified Local Shift
MFWP : Multi-Facility Weber Problem
MSCMFWP : Multi-Source Capacitated Multi-Facility Weber Problem
NM : Nelder-Mead
OKKÇKWP : Olasılıklı Kapasite Kısıtlı Çok Kaynaklı Weber Problemi
PCMSWP : Probabilistic Capacitated Multi Source Weber Problem
PSO : Particle Swarm Optimization
RCL : Restricted Candidate List
RLT : Reformulation Linearization Technique
SOFMGR : Self Organized Feature Map with Guided Refinement
SOM : Self-Organizing Map
SPLP : Simple Plant Location Problem
SSCMFWP : Single-Source Capacitated Multi-Facility Weber Problem
STSAP : Sürekli Tesis Yer Seçimi ve Atama Problemi
SYSP : Sürekli Yer Seçimi Problemi
TP : Taşıma Problemi
TP : Transportation Problem
UCLAP : Uncapacitated Continuous Location Allocation Problem

UDLAP : Uncapacitated Discrete Location Allocation Problem
UFLP : Uncapacitated Facility Location Problem
VLSN : Very Large Scale Neigbourhood Search
VNDS : Variable Neighbourhood Decomposition Search
VNS : Variable Neighborhood Search
VQ : Vector Quantization
VSM : Vertex Substituting Method
WP : Weber Problem
YAK : Yapay Arı Kolonisi

BÖLÜM I: GİRİŞ

Bu doktora tez çalışması sırasında aşağıdaki araştırma soruları cevaplanmaya çalışılmıştır:

1. Tesis Yer Seçimi nedir? Weber problemi nedir, çeşitleri nelerdir?
2. Weber probleminin çözümü için şimdiye kadar hangi yöntemler uygulanmıştır?
3. Yapay Arı Kolonisi (YAK) algoritması kullanılarak Weber problemine çözüm bulunabilir mi?
4. YAK algoritması Kapasite Kısıtlı Weber problemine uygulanabilir mi?
5. YAK algoritmasının performansı nasıl iyileştirilebilir?

Tesis yer seçimi lojistik sistemlerin tasarlanmasıyla ilgili çok önemli bir stratejik karar mekanizmasıdır. Aynı anda birden çok tesis kurulması ve bu tesislerin kapasite kısıtlarının göz önüne alınması Kapasite Kısıtlı Çok Tesisli Weber Problemi olarak adlandırılır. Tesis yerlerinin belirli alternatifler arasından seçilmesi yerine düzlem üzerinde herhangi bir yerin aranması ve kurulacak tesislerin kapasite kısıtının var olması problemi daha karmaşık hale getirir. Tesis yerlerini belirlerken aynı zamanda tesis kapasitelerini dikkate almak ve müşteri-tesis atamalarının da yapılması gerekir.

Tez çalışmasında kapasite kısıtlı yer seçimi ve atama problemi üzerinde Yapay Arı Kolonisi algoritması ilk kez kullanılmıştır. YAK algoritması bugüne kadar birçok doğrusal olmayan, türevi alınamayan, dışbükey olmayan optimizasyon probleminde başarılı sonuçlar üretmiştir ve bu konuda bilimsel çalışmalar bulunmaktadır. Bu algoritmaya yeni özellikler eklenerek Değiştirilmiş Yapay Arı Kolonisi algoritması oluşturulmuş ve YAK algoritmasının performansı iyileştirilmiştir. Kapasite kısıtını gözeterek müşteri-tesis atamalarını düzenleyen Yardımcı YAK algoritması tasarlanmıştır.

Tesis yer seçimi alanındaki araştırmalarda kullanılan veri setleri üzerinde denemeler yapılmış, deney sonuçlarını daha hassas şekilde iyileştirmek için Yapay Arı Kolonisi algoritması sonuçlarına Nelder-Mead metodu uygulanmıştır. Tez çalışması bu

yönden YAK ve Nelder-Mead metodlarını birlikte hibrit olarak kullanan ilk çalışmadır. Deneylerin bir kısmında Nelder-Mead algoritması sonucun iyileşmesini sağlamıştır.

Tez çalışmasının katkıları konuyla ilgili geçmiş çalışmaları özetlemesi, Yapay Arı Kolonisi algoritmasının kapasite kısıtlı yer seçimi ve atama problemine ilk kez uygulanması, kapasite kısıtlı yer seçimi ve atama problemi için Değiştirilmiş Yapay Arı Kolonisi algoritmasının önerilmesi, Yapay Arı Kolonisi ile Nelder-Mead metodunun birlikte ilk kez kullanılması, Nelder-Mead metodunun bu çalışmada geliştirilen yeni Yapay Arı Kolonisi algoritması olan Değiştirilmiş Yapay Arı Kolonisi algoritması ile birlikte kullanılması ve seçilen veri setindeki deney sonuçları itibariyle bilinen sonuçlardan daha iyi sonuçlar bulması olarak sıralanabilir.

Giriş bölümünde yer seçimi problemleri genel olarak özetlenir. Kapasite kısıtlı ve kapasite kısıtsız, sürekli ve kesikli yer seçimi problemlerinin sınıflandırması yapılır. Son olarak bu bölümde kombinatoryel optimizasyon problemlerinin çözümü için kullanılan kesin ve sezgisel yöntemler açıklanır.

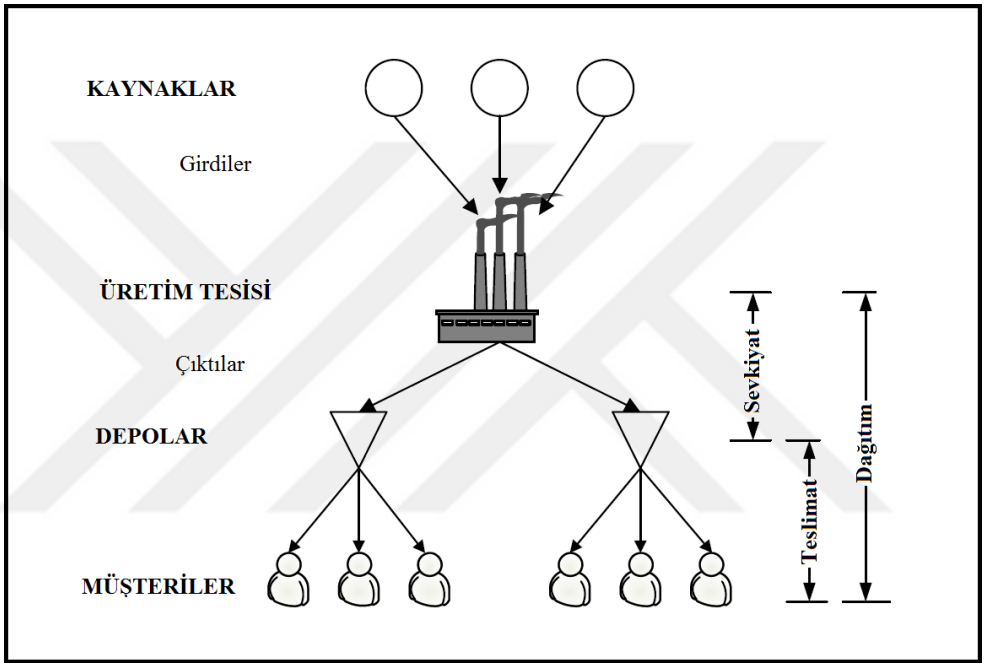
1.1. DAĞITIM YÖNETİMİNİN LOJİSTİK SİSTEMİ

Lojistik, ürün ve hizmetlerin kaynağından alınıp, ihtiyaç noktalarına zamanında ulaştırılması ile ilgilenir. Lojistik Yönetimi Konseyi (Council of Logistics Management) tarafından Lojistik terimi için şöyle resmi bir tanımlama yapılmıştır:

“Lojistik, hammaddenin, üretim stoğunun, son ürünün ve bunlarla ilgili bilgilerin verimli, uygun maliyetli bir şekilde müşteri ihtiyaçlarının karşılanması amacı ile kaynak noktasından tüketim noktasına akışı ve depolanması sürecinin planlanması, uygulanması ve kontrolüdür” (Blanchard, 1992).

Şekil 1-1 bir işletme için komple bir dağıtım sistemini gösterir (Eilon v.d., 1971). Örneğin bir tesisin hammadde ihtiyacı, çeşitli kaynaklardan gelen girişler ile sağlanabilir ve tesis bunları çıktılara yani ürünlere dönüştürür. Çıktılar müşterilere mağazalar, depolar, aracılar ile dağıtılır. Depolara mallar büyük partiler halinde değişik kanallar aracılığı ile taşınırken, müşterilere daha küçük partiler halinde taşınır. Bu durumda depolara olan dağıtım kanalları ile müşteriler için kullanılan dağıtım kanalları arasında farklılık olabilir (Luis, 2008).

Dağıtım sistemlerinde bir tesis, bir ya da daha çok depoya, bir depo bir ya da daha çok müşteriye ürün sevkedebilir, böylece ürün akışı genellikle tesislerden depolara ve depolardan da müşterilere doğru olur. Elbette bu tanıma birebir uymayan pek çok dağıtım sistemi mevcuttur. Örneğin tesislerden direkt müşterilere malların sevk edilmesi gibi. Bu durumda tesisler hem imalatçı hem de depo gibi davranır. Benzer şekilde bazı ürünler için üretimin bazı aşamaları depolarda tamamlanır, paketleme, etiketleme ve v.b. gibi. Buna rağmen, genel olarak bakıldığında bütün dağıtım sistemleri bazı varyasyonlar ile bu sisteme bağlı kalır (Luis, 2008).



Şekil 1-1: Bir lojistik sistemi (Eilon, 1971).

Dağıtım konusunda, birbiriyle ilişkili iki ana problem mevcuttur:

a. sistemdeki dağıtım merkezlerinin sayısı ve yerleri
b. araçların dağıtım merkezlerinden müşterilere ürün teslimatı için hangi rotayı izleyerek gideceği.

İlki stratejik bir problem, ikincisi taktiksel bir problem olarak değerlendirilebilir. Bu iki problem her zaman ayrı ayrı değerlendirilemeyebilir, çünkü bir problemin çözümü diğer problemi etkileyebilir. Örneğin dağıtım sistemine daha fazla depo yerleştirilmesi yerel dağıtım maliyetlerini azaltır fakat bu durumun depo ve depolama maliyetlerini arttıracağı kesindir. Bu nedenle, depo yeri seçimi

problemlerinin çözümünde, beklenen yerel dağıtım maliyetleri göz önünde bulundurulmalıdır. Taktiksel düzeyde ise, sistemde bulunan depolardan müşterilere hangi rota ile malların ulaştırılacağı analizi de yapılmalıdır (Luis, 2008).

1.2. YER SEÇİMİ ANALİZİNE BAKIŞ

Bu bölümde yer seçimi analizi özetlenmiştir. Yer seçimi analizinin tanımı, yer seçimi analizinin tarihçesi, yer seçimi analizinin taksonomisi, yer seçimi-atama problemleri, kombinatoryal optimizasyon problemlerinin zorluğu ve yer seçimi problemleri ile kümeleme problemlerinin karşılaştırılmasından sırasıyla bahsedilmiştir.

Yer Seçimi Analizine Giriş

Yer seçim analizi, belirli bir amaç fonksiyonunu yerine getirmek ve bazı kısıtları sağlayabilmek amacıyla, varolan kurulu, yerleri sabit olan bir grup tesise hizmet vermek üzere bir ya da daha çok yeni tesis yerinin belirlenmesi gereken durumlarda ortaya çıkar. Dağıtım sistemleri yönetiminde, yeni kurulacak tesisler depo ve ambarlardır, varolan tesisler ise müşterilerdir. Amaç malları müşterilere dağıtım maliyetlerini en azlayacak şekilde tesisleri optimal konumlara yerleştirmektir. Kurulacak tesis sayısı baştan belli ve sabit olabilir, ya da değişken olarak hesaplanır. Tesislerin yeri bir düzlem üzerinde veya bir şebeke üzerinde olabilir. Gerçek hayat uygulamalarında, kamu sektöründe okul, kütüphane, hastane, ambulans, itfaiye, tehlikeli atık işleme yerleri, özel sektörde ise fabrika, depo, dağıtım merkezi gibi çeşitli yer seçimi karar örnekleri görülmektedir.

Cooper (1967) yer seçimi problemini ilk kez resmi olarak tanımlayan kişidir. Problemi şöyle tanımlamıştır:

1. Konumları ve talep miktarları belirli olan talep noktaları ve
2. olası kaynak kapasiteleri ile
3. söz konusu bölgedeki taşıma maliyetleri verilmişken
4. problemin amacı
5. kurulacak tesislerin sayısını
6. yerlerini
7. kapasitelerini
8. talep noktalarının tesislere atanmasını ve
9. taşınacak mal miktarlarını belirleyerek

10. talepleri tedarik etmenin toplam maliyetini en azlamaktır.

Yer seçimi analizi, bir düzlem ya da şebeke üzerinde varolan tesislere ek olarak, bir ya da birden çok tesisin yerini belirleyerek, bir veya daha çok ölçütlü hedef fonksiyonu sağlamaya çalışır. Sıklıkla kullanılan ölçütler:

1. Kaynak ile hedef noktalar arasındaki ortalama seyahat uzaklığı veya zamanını en azlamak,
2. Ortalama cevap süresini en azlamak,
3. Taşıma maliyetini en azlamak,
4. En uzun seyahat süresini en azlamak,
5. En kısa sehayat süresini en çoklamak.

Yer seçimi probleminde karar vericiler aşağıdaki sorularla karşılaşabilirler:

1. Kaç adet tesis kurulacak?
2. Tesisler nerede olacak?
3. Tesislerin boyutu (kapasitesi) ne kadar olacak?
4. Talepler tesislere nasıl atanacak?

Bu soruların cevapları, problemin çözülmesinde neyin amaçlandığına yoğun bir şekilde bağlıdır. Mesela, kamu sektöründe polis merkezleri, itfaiye istasyonları ve ambulanslar gibi kamu sektörü problemlerinde tesisler ile talep noktaları arasındaki en büyük uzaklığı azaltma hedefi vardır. Bu nedenle tesisler talep noktalarına olabildiğince yakın yerleştirilir. Diğer yandan, nükleer santral, zehirli atık gibi "istenmeyen tesis"lerin yerleştirilmesinde, seçilen yerler yerleşim merkezlerinden olabildiğince uzakta seçilme eğilimindedir. Bu tür problemlerde hedef en yakın uzaklığın arttırılmasıdır. Böyle tesislerin kötü bir şekilde yerleştirilmesi hayat kaybı ya da maddi hasara yol açabilir. Özel sektörde üretim yapan firmalar üretim ve montaj tesislerini, dağıtım merkezleri ve mağazalarının yerlerini belirlemelidir. Hatalı yer seçimleri maliyetlerin artmasına ve firmanın rekabet avantajının azalmasına sebep olur.

Kurulacak tesislerin sayısı ve herbir tesisin kapasitesi, hizmet seviyesi ve maliyet arasında denge kurmayı gerektirir. Mesela, kurulan tesis sayısı arttıkça hizmet seviyesi artar, fakat kuruluş maliyetleri de artar. Yer seçimi problemi aynı zamanda

taleplerin tesislere atanmasıyla da ilgilenir. Mesela, perakende sektöründe, bir mağazanın talepleri bir depodan karşılanır, talepleri birden çok depoya dağıtılmaz. Aksine, ambulans hizmetlerinde, ihtiyaçlar müsait olan herhangi bir sağlık kuruluşuna bağlı bir araç tarafından karşılanabilir. Tesis yer seçim kararları bu çeşitli talep atama politikalarını da göz önüne almalıdır. Birçok durumda, taleplerin atanması sadece tesisler ile müşteriler arasında olmaz, depolar arası olabilir ya da bir müşterinin talepleri birden çok tesis tarafından karşılanabilir.

Yer Seçimi Analizinin Kısa Tarihçesi

Tesis yer seçimi analizinin önemi bugün sadece üreticilerin nazarında değil, müşterilerin görüşleri itibariyle de daha öne çıkmıştır. İyi bir yer seçimi kararı firmanın işletme maliyetlerini azaltıp, firmaya başka faydalar da getirebilir. Diğer yandan, müşteriler daha düşük fiyat, kaliteli ürün ve hizmet gibi avantajlar elde ederler.

Yer seçimi analizi her zaman, fabrikalar, depolar gibi büyük ölçekli kurumlarla ilgilenmez. Bazen, küçük ölçekli problemlerle de ilgilenir. Bir üretim tesisinde makinelerin yerleşimi, bir bilgisayar ağında yönlendiricinin yeri, bir elektronik baskılı devrede elemanların yeri veya bir elektrik şebekesinde elektrik güvenlik cihazlarının yeri bunlara örnek gösterilebilir.

Yer seçimi problemlerinin karmaşıklığı, çok farklı alan ve disiplerden birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Hodgson v.d. (1993) kamu ve özel sektörden birçok yer seçimi-atama uygulaması hakkında mükemmel bir gözden geçirme sunmuştur. Çok çeşitli yer seçimi uygulama ve yöntemleri hakkında daha fazla bilgi için Drezner (1995) ve Drezner ve Hamacher (2002) kaynaklarına bakılabilir.

Alfred Weber (1909) tek bir merkezi depodan dağınık yerlerdeki müşterilere toplam seyahat uzaklığını en azlayacak şekilde yer seçimi probleminin ilk tanımı yapmıştır. Alfred Weber bu yüzden modern yer seçimi teorisinin babası olarak bilinir (Eilon v.d., 1971). O zamandan bu yana, birçok araştırmacı bu problemle ilgilenmiştir, fakat farklı alanlarda çalışmışlardır. Bu farklı çalışmalardan birisi ekonomist olan Hotelling (1929) tarafından çalışılan, düz bir hat üzerinde iki rakip satıcının yer seçimi problemiyle ilgilidir. Weiszfeld (1937) düzlem üzerinde tek bir tesis yeri

belirlenmesi problemi için ilk güçlü iterative yaklaşımı sunmuştur ve Miehle (1958) şebeke üzerinde bağlantı uzaklığını en azlama problemini araştırmıştır.

1960 ortalarından öncesine kadar yer seçimi analizi hakkında çalışmaların çoğu tek bir teori etrafında toplanmamış, birkaç farklı uygulamadan ibaretti. Valinsky (1955) itfaiye araçlarının optimal yerini belirleme çalışması, Mansfield ve Wein (1958) demiryolu atölyesi yerleşimi için önerdiği model ve Young (1963) demiryolu üzerinde kontrol istasyonlarının optimal yer seçimi incelemesi bu çalışmalardan bazılarıdır. Yer seçimi problemiyle ilgili daha teorik bir çalışma Hakimi'nin (1964) ufuklar açan makalesi ile ortaya çıkmıştır. Bu makalede bir şebeke üzerinde bir ya da birden çok tesis yeri belirleyerek toplam uzaklıkları veya tesisler ile hedef noktalar arası en büyük uzaklığı en azlama problemini genelleştirerek ele almıştır. Bu modeller sırasıyla p-medyan ve p-merkez problemleri olarak anılırlar. Drezner ve Hamacher (2002) kitabının 1nci bölümünde yer seçimi analizinin tarihi ile ilgili mükemmel bir gözden geçirme daha ileri çalışmalar için referans alınabilir.

Yer Seçimi Analizi Problemlerinin Sınıflandırılması

Yer seçimi analizi problemlerini ele alan çalışmalarda problemlerin aşağıdaki ölçütlere göre (Tablo 1-1) sınıflandırıldığı görülmüştür. Her çalışma, araştırmacının bakış açısı ve problemin gereklerine göre aşağıdaki ölçütlerin birkaçını dikkate almıştır. Bu tez çalışmasında ele alınan tüm araştırmaların kullandığı sınıflandırma ölçütlerinin birleşim kümesi aşağıda gösterilmiştir. Sonraki tabloda (Tablo 1-2) ise Francis ve White (1974), Tansel, Francis ve Lowe (1983a), Brandeau ve Chiu (1989), Francis (1992), Daskin (1995), Hamacher ve Nickel (1998), Gomes (2004) , Daskin (2008), ReVelle (2008) ve Luis (2008) çalışmaları taranarak, her ölçüt için ele alınan seçenekler detaylı olarak listelenmiştir.

Tablo 1-1: Yer Seçimi problemleri için Sınıflandırma Ölçütleri

1. Karar uzayı
2. Tesislerin geometrik tipi
3. Tesisler arası etkileşim
4. Yeni tesislerin eski tesislere etkisi
5. Statik ya da dinamik planlama zemini
6. Deterministik ya da stokastik planlama zemini
7. Hedef fonksiyonu
8. Uzaklık ölçütü
9. Kısıtlamalar
10. Seyahat zamanının miktara bağlı olması
11. Seyahat maliyetinin miktara bağlı olması
12. Tesislerle ilgili maliyetler
13. Talep atama tipi
14. Ürün çeşitliliği
15. Hizmet önceliklendirmesi

Tablo 1-2: Yer Seçimi problemleri için Sınıflandırma Ölçütleri ve Seçenekleri

1) Karar uzayı
   a. Analitik Uzay
      1. Tek Boyutlu
      2. Çok Boyutlu
      3. Genel Hilbert Uzayı
   b. Sürekli Uzay (Sonsuz sayıda potansiyel konum)
      1. Tek Boyutlu
      2. Çok Boyutlu
      3. Genel Hilbert Uzayı
   c. Kesikli Uzay (Sonlu sayıda potansiyel konum)
   d. Şebeke
      1. Ağaç Yapısı
      2. Genel Çizge (Graph)
         i. Yönlü
         ii. Yönsüz
2) Tesislerin geometrik tipi
   a. Nokta
   b. Hat
   c. Patika (Link)
   d. Alan
   e. Ağaç
   f. Alt çizge (subgraph)
3) Tesisler arası etkileşim
   a. Bağımsız (işbirliği yok)
   b. Bağımlı (işbirliği var)
4) Yeni tesislerin eski tesislere etkisi
   a. Tamamı yeni kurulacak tesisler (Genelleştirilmiş Problem)
      1. Yeni tesis sayısı baştan belli
      2. Yeni tesis sayısı baştan belli değil, artışlı denemelerle belirlenir
   b. Varolanlara ek yeni tesisler
      1. Yeni tesis sayısı baştan belli
      2. Yeni tesis sayısı baştan belli değil, artışlı denemelerle belirlenir
   c. Varolan tesis yerlerinin yeniden düzenlenmesi
5) Statik ya da dinamik planlama zemini
   a. Talep miktarı

b. Talep noktasının yeri
c. Taşıma maliyeti
d. Diğer

6) Deterministik ya da stokastik planlama zemini
a. Talep miktarı
b. Talep noktasının yeri
c. Tesisler arası uzaklık
d. Diğer

7) Hedef fonksiyonu
a. Tek amaçlı
    1. Minimax
    2. Maximin
    3. Minisum
    4. Diğer
b. Çok amaçlı
c. Diğer

8) Uzaklık ölçütü
a. Öklid (Euclidean)
b. Dik doğrusal (Rectilinear)
c. Block norm
d. Round norm
e. l_p
f. Diğer

9) Kısıtlamalar
a. Tesis kapasitesi
    1. Kapasite kısıtlı
        i. Farklı kapasitelere sahip tesisler
        ii. Eşit kapasitelere sahip tesisler
    2. Kapasite kısıtsız
b. Bölgesel kısıtlar
    1. Yasak bölgeler
    2. Engeller
    3. Sınırlandırılmış uzay
    4. Rakibe ait alanlar
c. Talep noktaları ile tesisler arasında en büyük / en küçük uzaklık
d. Tesislere ulaşım için en kısa / en uzun süre

e. Bütçe
f. Kuyruk uzunluğu
g. Diğerleri

10) Seyahat zamanının miktara bağlı olması
a. Taşınan miktara bağlı
b. Taşınan miktardan bağımsız

11) Taşıma maliyetinin miktara bağlı olması
a. Taşınan miktara bağlı
b. Taşınan miktardan bağımsız

12) Tesislerle ilgili maliyetler
a. Yer değiştirme (taşınma) maliyeti
b. Sabit kurulum maliyeti

13) Talep atama tipi
a. En yakındaki tesis (Tek Kaynak / Single-source)
b. Genel talep atama (Çok Kaynak / Multi-source)

14) Ürün çeşitliliği
a. Tek ürün
b. Çok ürün

15) Hizmet sıralaması
a. İlk gelen ilk hizmet alır (FCFS: first come first served), Öncelik sınıfları, Yerleşime göre öncelik kuralı ve diğerleri

Yukarıdaki Tablo 1-2'de 9ncu ölçüt olan "Kısıtlar" kısmındaki tesis kapasitesi kısıtı bazı çalışmalarda her tesis için farklı kapasite, bazı çalışmalarda ise her tesis için eşit kapasite olarak ele alınmış, fakat sınıflandırma ölçütlerinde bu ayrım belirtilmemişti. Bu konuda "*Farklı kapasitelere sahip tesisler*" ve "*Eşit kapasitelere sahip tesisler*" seçeneklerine başka çalışmalarda rastlanmamış, bu tez çalışmasında önerilmiştir. Benzer şekilde, 13ncü ölçüt olan Talep atama tipi kısmındaki tek kaynaklı ya da çok kaynaklı atamalarla ilgili çalışmalar görülmüş, fakat bu ayrım şimdiye kadarki çalışmalarda bir sınıflandırma ölçütü olarak ele alınmamıştır. O nedenle "*En yakındaki tesis (Tek kaynaklı atama)*" ve "*Genel talep atama (Çok kaynaklı atama)*" seçenekleri de bu tez çalışmasında önerilmiştir.

Tesis Yer Seçimi-Atama Problemleri

Bir şeyin nereye yerleştirileceği sorusu ortaya çıktığında, yer seçimi problemi ortaya çıkmıştır ve hangi yerlerin uygun olduğu, belirli ölçütlere göre bunlardan hangilerinin en iyi yer olduğu merak edilir. Kamu sektöründe, acil servisler, okullar, posta hizmetleri gibi tesis ve hizmetlerin kurulacağı yerler belirlenir. Bunu yaparken amaç topluma en az maliyet getirmesi, hizmetin evrensel olması, verimli ve eşit bir şekilde dağıtılması hedeflenir. Özel sektörde ise genellikle karın ya da pazar payının arttırılması hedeflenir.

Yer seçimi modelinin formüllerini kurarken, talep noktalarının nerede olduğunu ve tesislerin hangi yerlere kurulabileceğini bilmek gerekir. Bu coğrafi uzayın kesikli veya sürekli olarak temsil edilmesi ile başlar. Kesikli yaklaşımda uygun tesis yerleri ve talep noktaları nokta, çizgi ya da çokgen bölge gibi sonlu nesneler kümesi halinde ifade edildiği varsayılır. Sürekli yaklaşımda ise uygun tesis yerleri ve talep noktalarının sürekli bir uzaydaki noktalarla ifade edildiği varsayılır. Sürekli uzay üzerinde çözüm aramak çoğu durumda makuldür, fakat kesikli yöntemlerle sürekli problemleri çözmek çok zordur. Kesikli problemlerde standart optimizasyon teknikleri uygulanabilir, fakat sürekli problemlerde bütün olası tesis yerlerini tek tek sıralayıp kesikli problemler gibi çözmek imkansızdır. Bu nedenle sürekli problemlerin çözüm yöntemleri farklı gelişmiştir ve kesikli problemlere göre çözüm daha zordur.

Yer seçimi problemleri arasında en zor olan, yer seçimi ve atama problemi iki temel karar ile ilgilenir: tesislerin nereye kurulacağı ve taleplerin ne kadarı hangi tesislerden karşılanacağı. Bu nedenle, tesis yer seçimi ve atama problemlerinin hedefi toplam taşıma maliyeti gibi belirli bir ölçüte göre m adet tesisi yerleştirmek ve aynı zamanda n adet müşterinin taleplerini uygun olan tesislere atamaktır. n adet müşteri sabit yerlerde konumlanmıştır ve belirli miktarda talepleri vardır. Tesis veya depo gibi tedarik merkezlerini oluştururken, mağaza ve bayiler de talep noktası olarak düşünülebilir.

Kombinatoryal Optimizasyon Problemlerinin Karmaşıklığı

Tezimizin konusu olan Kapasite kısıtlı Çok Kaynaklı Weber probleminin NP-zor olduğunu göstermek için, daha önceden NP-zor olduğu ispatlanmış iki farklı probleme dönüşüm yapılabilir.

a. İlk önce, kapasite kısıtlarını gevşeterek, problem Çok Kaynaklı Weber Problemine dönüştürülebilir. Megiddo ve Supowit (1984) bu problemin NP-zor olduğunu ispatlamıştır.
b. İkinci bir yol olarak, problemi, sürekli çözüm uzayında tüm noktalar yerine, belirli noktalar ve aday yerler üzerinde çözüm arayan bir kapasite kısıtlı kesikli yer seçimi problemine indirgenebilir. Mirchandani ve Francis (1990) bu problemin NP-zor olduğunu göstermiştir.

Ayrıca, Sherali ve Nordai (1988) düz bir hat üzerinde dizilmiş talep noktaları için kapasite kısıtlı p-medyan yer seçimi ve atama probleminin NP-zor olduğunu göstermiştir.

Cooper (1963) çok tesisli Weber problemi hedef fonksiyonunun global minimum değer etrafındaki bölgede oldukça düz bir seyir gösterdiğini ve bu yüzden iyi bir yöntem ile global minimuma yakın bir lokal minimum değer elde etme ihtimalinin yüksek olduğunu açıklamıştır. Eilon v.d. (1971) tarafından yapılan araştırmalar *M=5* ve *n=50* boyutundaki problem için 200 rasgele başlangıç çözümüyle başlandığında, 61 yerel optimum nokta elde edildiğini ve en kötü çözümün en iyi olandan %40,9 oranında daha kötü olduğunu göstermiştir.

Kesin çözüm yöntemleri herhangi bir yaklaşım kullanmadan tam çözüm bulmaktadır. Bu çözümler, optimal çözümü bulmak için tüm olası çözümleri taramaktadır. Örneğin p-medyan probleminde, n talep noktası arasından m tesis yeri seçimi için olası çözüm sayısı (n, m) kombinasyonu kadardır.

$$\binom{n}{m} = \frac{n!}{m!\,(n-m)!}$$

Bu formüle göre, 200 müşteri ve 20 tesis problemi için, $1{,}6 \times 10^{27}$ adet farklı olası çözüm bulunmaktadır. Bu problem NP-zor zorluk derecesine sahiptir ve olası çözümler arasında birçok yerel optimum nokta bulunur.

Brimberg v.d. (2004) Cooper'ın dönüşümlü Alternate location allocation (ALA) sezgisel metodu ile 10.000 adet rasgele başlangıç yaparak, n=50 müşteri için m=5, 10 ve 15 tesis için, sırasıyla 272, 3008 ve 3363 adet farklı yerel optimum çözüm belirlemiştir.

Optimal çözüme, sırasıyla, m=5 için 690, m=10 için 34, m=15 için ise 10.000 denemede sadece 1 kez ulaşılabilmiştir.

a. Buradan, problem boyutu büyüdükçe hem yerel optimumların sayısının artmakta, hem de optimal çözüme ulaşma ihtimalinin azalmakta olduğu gözlemlenir.

b. Hedef fonksiyonun konveks olmaması ve yerel optimum çözümlerin fazla olması bu tip problemlerin çözümünü zorlaştıran faktörlerdir.

c. Bu nedenle, bu alandaki çalışmaların odağı, kesin, sezgisel ve meta-sezgisel çözüm yöntemleri ortaya atmak ve uygulamak üzerine yoğunlaşmıştır.

Yer Seçimi ile Kümeleme Problemlerinin Karşılaştırılması

Yer Seçimi Problemleri ile Kümeleme Problemlerinin hem benzer özellikleri, hem de farklılıkları vardır. Her iki problem türü de, nesneler arasındaki benzerliği ifade eden, çözümü zor, konveks olmayan hedef fonksiyonlara sahiptir.

Çok Tesisli Yer Seçimi problemleri (ÇTYSP) yer belirlemenin yanı sıra müşterilerin tesislere atanmasıyla da ilgilenir. Bu nedenle özel bir kümeleme problemidir. Kümeler aynı tesise atanmış ve aynı tesisten hizmet alacak olan müşterilerden oluşur.

Kümeleme problemi, bir veya birden çok boyutta, nesnelerin birbirlerine benzeyen ve benzemeyen özelliklerine göre ayrıştırılmasıdır. Yer seçimi probleminde benzerlik, nesnelerin tesis yerine yakınlığıyla ifade edilir.

Tesis yer seçimi problemlerinde, tesisin, kendisine atanmış olan müşterilerin oluşturduğu kümenin içerisinde optimal bir konuma yerleştirilmesi işlemi de bulunur. Kümeleme probleminde böyle bir işlem yoktur, küme elemanlarının birbirine yakın olmasına bakılır.

Başka bir fark da boyut sayısındadır. Genellikle yer seçimi problemleri iki boyutludur. Bazen bir boyutlu, bazen de üç boyutlu uzayla ilgili olabilmektedir. Kümeleme problemlerinde ise boyut sayısı, ele alınan özellik sayısı kadardır. (Levin ve Ben-Israel, 2004)

BÖLÜM II: KAVRAMSAL ÇERÇEVE / ALANYAZIN VE İLGİLİ ARAŞTIRMALAR

2.1. PROBLEMİN TANIMI

Tesis yer seçimi ve atama problemleri, depo, fabrika ve mağaza gibi yeni tesislerin yerlerine ve müşterilerin bu yeni tesislere atanmasına karar vermek için kullanılır. Karar verirken, toplam taşıma maliyeti ve tesislerin açılması ile ilgili sabit maliyetlerin toplamından oluşan toplam maliyetin en aza indirilmesi hedeflenmektedir. Toplam taşıma maliyeti müşteriler ile tesisler arasındaki uzaklığın, taşınan ürün miktarı ile çarpımı ile elde edilir. Eğer yeni tesis yerleri, aday gösterilen belirli yerler arasından seçiliyorsa, problem Kesikli Yer Seçimi Problemi (KYSP) olarak adlandırılır. Eğer, yeni tesisler Öklid uzayında herhangi bir yere konumlandırılabiliyorsa, problem Sürekli Yer Seçimi Problemi (SYSP) olarak adlandırılır. Kurulacak tesislerin hizmet verme kapasitesi bazı problemlerde sınırlı, bazı problemlerde sınırsız olarak ele alınır ve problem kapasite kısıtlı ya da kapasite kısıtsız olarak adlandırılır.

Tesis Yer Seçimi-Atama Problemleri Çözüm Uzayı ve Tesis Kapasite Kısıtı ölçütlerine göre aşağıdaki dört ana sınıfa ayrılırlar. Problemlerin İngilizce adları da altta verilmiştir.

a. Kapasite Kısıtsız Kesikli Yer Seçimi Problemi (KYSP)
   - Uncapacitated Discrete Location Allocation Problem (UDLAP)
   - Uncapacitated Facility Location Problem (UFLP)

b. Kapasite Kısıtlı Kesikli Yer Seçimi Problemi (KKKYSP)
   - Capacitated Discrete Location Allocation Problem (CDLAP)
   - Discrete capacitated multi-facility location allocation pr. (DCMLAP)

c. Kapasite Kısıtsız Sürekli Yer Seçimi Problemi (SYSP)
   - Uncapacitated Continuous Location Allocation Problem (UCLAP)
   - Weber Problem (WP)
   - Multi-facility Weber Problem (MFWP)

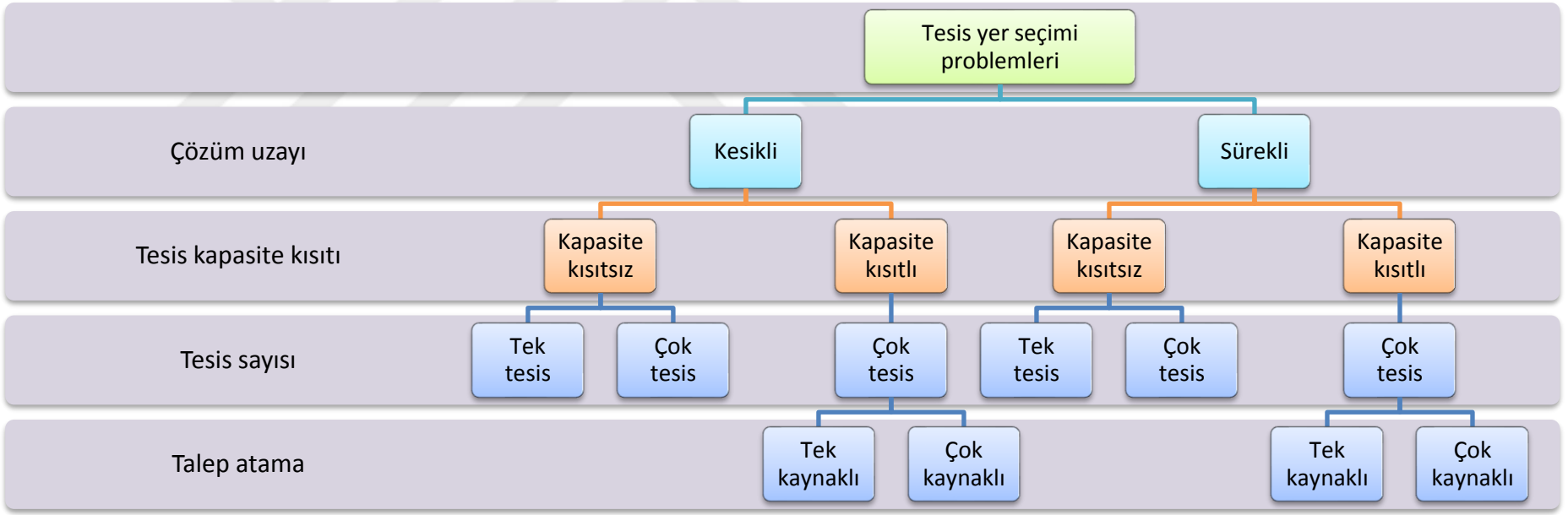
d. Kapasite Kısıtlı Sürekli Yer Seçimi Problemi (KKSYSP)
Capacitated Continuous Location Allocation Problem (CCLAP)
Capacitated Multi-facility Weber Problem (CMFWP)

Bu çalışmanın kapsamına giren Yer Seçimi Problemleri dört farklı ölçüte göre sınıflandırıldığında, Şekil 2-2'deki hiyerarşi ortaya çıkmaktadır. Bu sınıflandırmada her dalın altında ikişer seçenek olup, toplam 16 çeşit problem tipi ortaya çıkması gerekirken, şekilde görüldüğü gibi 8 problem tipi söz konusudur. Bunun iki sebebi vardır:

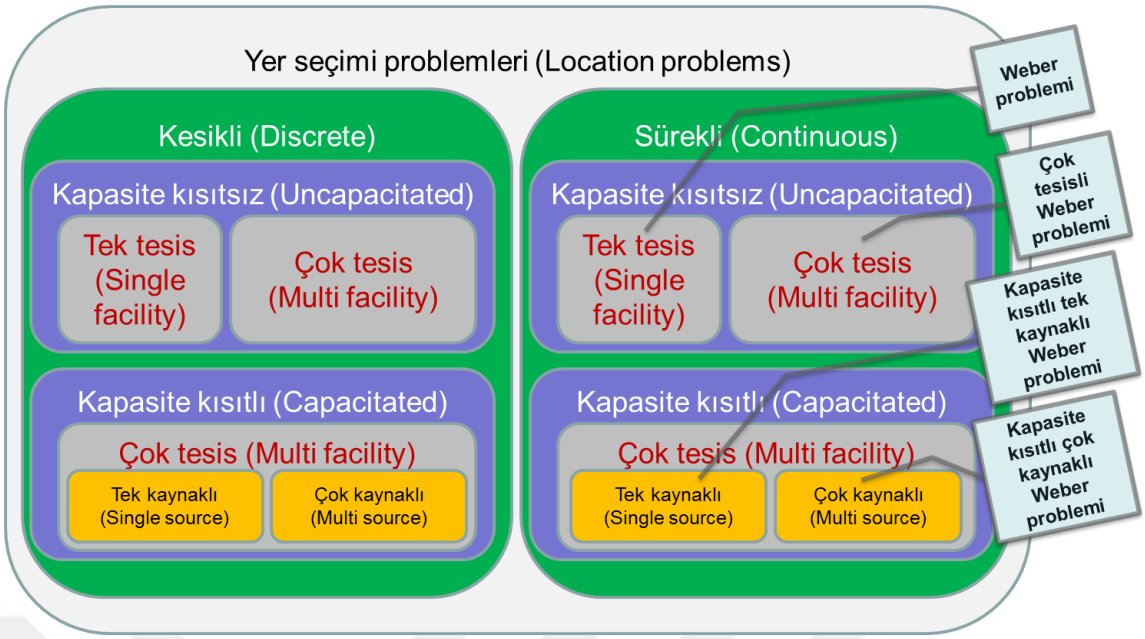
1. Kapasite kısıtsız problemlerde Talep Atama Tipi'ne göre ayrım yapmaya gerek yoktur, çünkü tesislerin kapasite kısıtı olmadığı için, talep noktalarının tüm talebi, kendisine en yakındaki tesise atanır. Talepleri birden çok tesis arasında paylaştırmaya gerek yoktur.

2. Kapasite kısıtlı problemlerde Tesis Sayısı'na göre ayrım yapılmamıştır, sadece çok tesisli olan problemler ele alınmıştır, çünkü literatürde tek tesisli kapasite kısıtlı yer seçimi problemi verisine rastlanmamıştır. Bu çalışmada Kapasite Kısıtlı Tek Tesisli yer seçimi problemi ele alınmamıştır. Buradaki, Kapasite Kısıtlı problemlerde birden çok tesis söz konusudur ve talepler bu tesisler arasında kapasite kısıtlarını aşmayacak ve hedef fonksiyonunu en iyileştirecek şekilde paylaştırılır.

   Oysa, "Kapasite Kısıtlı Tek Tesisli Yer Seçimi Problemi" de geçerli bir problemdir. Bilinen talep noktaları arasına taleplerin bir kısmını karşılayabilecek kapasitede tek bir tesis öyle bir yere yerleştirilmeli ki, hedef fonksiyon bakımından en iyi sonuç alınabilsin. Sonuç olarak, kurulacak tesisin kapasitesi yetersiz olduğu için talep noktalarından bazılarına hizmet veremeyecektir. Eğer tesisin kapasitesi toplam talep miktarından daha fazla olsaydı, bu problem Kapasite Kısıtsız Tesis Yer Seçimi problemi ile özdeş olurdu, Kapasite Kısıtlı olarak adlandırmaya gerek olmazdı.



Şekil 2-2: Tesis Yer Seçimi problemlerinin sınıflandırılması



Şekil 2-3: Yer Seçimi Problemlerinin kümeler halinde gösterimi

Yer Seçimi problemleri arasında sürekli çözüm uzayında tesis yeri arayan problemlere genel olarak Weber Problemi adı verilir ve aşağıdaki dört alt sınıftan oluşur. Problemlerin İngilizce adları da altlarında gösterilmiştir. Bu sınıflandırma Şekil 2-3'te de gösterilmiştir.

a. Weber Problemi (WP)

   Weber Problem (WP)

b. Çok tesisli Weber Problemi (ÇTWP)

   Multi-facility Weber Problem (MFWP)

c. Kapasite Kısıtlı Tek Kaynaklı Weber Problemi (KKTKWP)

   Single-source Capacitated Multi-facility Weber Problem (SSCMFWP)

d. Kapasite Kısıtlı Çok Kaynaklı Weber Problemi (KKÇKWP)

   Multi-source Capacitated Multi-facility Weber Problem (MSCMFWP)

Kesikli Yer Seçimi Problemleri

Kapasite Kısıtsız Kesikli Yer Seçimi Problemi (KYSP)

Uncapacitated Discrete Location Problem – (UDLAP),

Uncapacitated Facility Location Problem – (UFLP)

Bu problem aynı zamanda Basit Tesis Yerleştirme Problemi (SPLP – Simple Plant Location Problem) olarak da bilinir ve tesislerin kapasite kısıtı yoktur. Önceden yerleri belirtilen potansiyel tesis yerlerinden kaç tanesine tesis kurulacağı, problem içerisinde önceden verilebileceği gibi, çözüm sırasında belirlenmek üzere bir karar değişkeni olarak da ele alınabilir. Bir tesisten bir talep noktasına mal tedarik maliyeti bir tablo ile verilebileceği gibi, uzaklığa bağlı bir fonksiyon olarak da ifade edilebilir. Farklı uzaklık ölçütleri Uzaklık Ölçütü bölümünde Tablo 2-3'te gösterilmiştir.

KYSP:

$$\min_{Y,Z} \sum_{j=1}^{m} f_j y_j + \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} c_{ij} z_{ij}$$

öyle ki

$$\sum_{j=1}^{m} z_{ij} = 1 \qquad i = 1, \dots, n \qquad (1)$$

$$z_{ij} \leq y_j, \qquad \forall i, j \qquad (2)$$

$$z_{ij} \in \{0, 1\}, \qquad \forall i, j \qquad (3)$$

$$y_j \in \{0, 1\}, \qquad \forall j \qquad (4)$$

***I** : talep noktaları kümesi*

***J** : tesisler kümesi*

***f_j** : tesis **j**'nin sabit kurulum maliyeti*

***y_j** : tesis **j**'nin açılıp açılmayacağı*

***c_{ij}** : talep noktası **i**'nin tesis **j**'den hizmet alma maliyeti*

***z_{ij}** : talep noktası **i**'nin tesis **j**'den hizmet alıp almayacağı*

(1) Her talep noktasının toplam talebi karşılanacaktır. (Talep kısıtı)

(2) Talep noktaları sadece açılacak olan tesislere atanacaktır. (Arz kısıtı)

(3) ***z_{ij} = 0 :*** Talep noktası ***i*** tesis ***j***'den hizmet almayacak.
z_{ij} = 1 : Talep noktası ***i*** tesis ***j***'den hizmet alacak.
(2) nolu denklemden dolayı her talep noktası sadece bir tesisten hizmet alacaktır.

(4) ***y_j = 0 :*** Tesis ***j*** açılmayacak.
y_j = 1 : Tesis ***j*** açılacak.

Kapasite Kısıtlı Kesikli Yer Seçimi Problemi (KKKYSP)

(Capacitated Discrete Location Allocation Problem) (CDLAP)

(The discrete capacitated multifacility location allocation problem) (DCMLAP)

Kapasite Kısıtlı Kesikli Tesis Yer Seçimi Probleminde (KKKYSP) KYSP probleminde olduğu gibi yerleri önceden belirli olan potansiyel tesis yerlerinden bir veya birkaçının seçilmesi ve tesis–müşteri atamalarının belirlenmesi amaçlanırken, aynı zamanda kurulacak tesislerin kapasite kısıtı da göz önüne alınır. Amaç KYSP problemindeki gibi, tesislerden müşterilere toplam taşıma maliyetini ve toplam kurulum maliyetini en azlamaktır.

KKKYSP, KYSP modelinde olduğu gibi, aşağıdaki doğrusal model ile ifade edilebilmektedir. Bu durumda tesislerin kapasiteleri (b_i) sınırlıdır. Aşağıdaki doğrusal model ile gösterilen KKKYSP zor bir karma tamsayı doğrusal problemi olarak çözülebilmektedir.

Öte yandan, ilerideki bölümlerde gösterilen sürekli yer seçimi problemleri için böyle bir doğrusal model kurulamamaktadır. Çünkü, tesislerin konumları karar değişkeni olduğu için karekök ile hesaplanan Öklid uzaklıkların kullanıldığı hedef fonksiyon ile lineer olmayan bir ilişki ortaya çıkmaktadır.

KKKYSP:

$$\min_{Y,X} \sum_{j=1}^{m} f_j y_j + \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} c_{ij} x_{ij} w_i$$

öyle ki

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij} = 1 \qquad i = 1, \dots, n \qquad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} w_i \leq b_j y_j, \qquad j = 1, \dots, m. \qquad (2)$$

$$0 \leq x_{ij} \leq 1, \qquad x_{ij} \in \mathbb{R}, \quad \forall i, j \qquad (3)$$

$$y_j \in \{0, 1\}, \quad \forall j \qquad (4)$$

***I** : talep noktaları kümesi*

***J** : tesisler kümesi*

***f_j** : tesis **j**'nin sabit kurulum maliyeti*

***y_j** : tesis **j**'nin açılıp açılmayacağı*

***c_{ij}** : talep noktası **i**'nin tesis **j**'den hizmet alma maliyeti*

***x_{ij}** : talep noktası **i**'nin tesis **j**'den hizmet alacağı miktarın talep noktası **i**'nin toplam talep miktarına oranı (0-1 arası reel sayı olarak DEĞİŞTİ)*

***w_i** : talep noktası **i**'nin toplam talep miktarı (EKLENDİ)*

***b_j** : tesis **j**'nin kapasitesi (EKLENDİ)*

(1) Her talep noktasının toplam talebi karşılanacaktır. (Talep kısıtı)

(2) Talep noktaları sadece açılacak olan tesislere atanacak ve tesis kapasitesi aşılmayacaktır. (Arz kısıtı)

(3) ***x_{ij} = 0 :*** Talep noktası ***i*** tesis ***j***'den hizmet almayacak.
0 < x_{ij} ≤ 1 : Talep noktası ***i*** tesis ***j***'den ***$x_{ij} \cdot w_i$*** kadar miktarda hizmet alacak.

(4) ***y_j = 0 :*** Tesis ***j*** açılmayacak.
y_j = 1 : Tesis ***j*** açılacak.

KKKYSP'nde, KYSP modeline ek olarak, tesis kapasiteleri ile talep miktarlarını kısıtlayan ikinci kısıtlama (2) değiştirilmiş ve kapasite kontrolü sırasında kullanılması için talep noktalarının talep miktarlarını gösteren w_j parametresi eklenmiştir. Ayrıca, x_{ij} karar değişkeni (3) KYSP probleminde 0 ve 1 değerlerini alırken, KKKYSP'nde tesislere kısmi atama gündeme geldiği için 0 ile 1 arası değerler alabilmektedir.

İkili karar değişkeni y_i (4), 1 değerini alırsa tesis *i*'nin açılacağı, 0 değerini alırsa tesis *i*'nin açılmayacağı ifade edilir. İkinci kısıt (2) (arz kısıtı), açılacak olan tesislerin kapasitesinin kendilerine atanan talepleri karşılayabilmesini sağlar. Aynı zamanda açılmayacak olan tesislere talep ataması yapılmayacağını da garantiler. Birinci kısıt (1) (talep kısıtı), her bir müşterinin toplam talebinin tamamen karşılanacağından emin olmayı sağlar. (Boyacı, 2009).

Sürekli Yer Seçimi Problemleri

Sürekli Düzlemde Kapasite Kısıtsız Tesis Yer Seçimi Problemine (SYSP) Weber Problemi (WP) adı da verilmektedir. Weber Problemi, sürekli düzlemde, yerleri belirli olan talep noktalarına hizmet verecek, kapasiteleri sınırlı olmayan bir tesisin yerini optimal şekilde belirlemekle ilgilidir. Weber Probleminde amaç, kurulacak olan bir adet tesis için Öklid uzayında en uygun yeri bularak toplam taşıma maliyetini en azlamaktır.

Birden çok tesisin kurulması söz konusu olduğunda probleme Çok Tesisli Weber Problemi (ÇTWP) adı verilir. Bu problemde tesislerin kapasite kısıtı göz önüne alınmamaktadır. Tesis kapasite kısıtı söz konusu olan, birden çok tesis yer seçimi ve atama problemine Kapasite Kısıtlı Çok Tesisli Weber Problemi adı verilmektedir. Kapasite Kısıtlı Çok Tesisli Weber Problemi de kendi içinde müşteri taleplerinin tek veya birden çok tesisten karşılanabilmesini tarifleyen Kapasite Kısıtlı Çok Kaynaklı Weber Problemi – KKÇKWP ve Kapasite Kısıtlı Tek Kaynaklı Weber Problemi – KKTKWP olarak iki alt probleme ayrılmaktadır.

Weber Problemi (WP)

Uncapacitated Continuous Location Allocation Problem (UCLAP)

Bir düzlem üzerindeki a_i noktalarında bulunan müşterilerin w_i miktarındaki taleplerini en az toplam taşıma maliyeti ile karşılamak üzere kurulacak olan tek bir tesisin yerini (x) belirlemeyi amaçlayan Weber Problemi aşağıdaki gibi ifade edilmektedir. Bu, sınırlandırılmamış lineer olmayan bir optimizasyon problemidir.

WP:

$$\min_{X} \sum_{i=1}^{n} w_i d(x, a_i)$$

öyle ki

$$w_i \geq 0, \quad w_i \in \mathbb{R}, \quad \forall i$$

$$x \in \mathbb{R}^2$$

$\boldsymbol{a_i : (a_{i1}, a_{i2})}$ *talep noktalarının bilinen konumları* $\boldsymbol{i=1,\ldots,n}$

$\boldsymbol{x :}$ *tesis konumunu [* $\boldsymbol{x : (x_1, x_2)}$ *] gösteren karar değişkenleri*

$\boldsymbol{w_i :}$ *talep noktası* $\boldsymbol{i}$*'nin toplam talep miktarı*

$\boldsymbol{d(x,a_i) :}$ *talep noktası* $\boldsymbol{i}$ *ile kurulacak tesis arasındaki Öklid uzaklık*

$$d(x, a_i) = \sqrt{(x_1 - a_{i1})^2 + (x_2 - a_{i2})^2}$$

Çok Tesisli Weber Problemi (ÇTWP)

Multi-facility Weber Problem (MFWP)

Weber Probleminin gelişmiş hali olan Çok Tesisli Weber Problemi (ÇTWP) bir düzlem üzerindeki a_i noktalarında bulunan müşterilerin w_i miktarındaki taleplerini en az toplam taşıma maliyeti ile karşılamak üzere birden çok sayıda tesis kurulması ile ilgilenir. Tesislerin kapasiteleri sınırsız kabul edilir. Her tesisin yeri ve her müşterinin hangi tesisten ne kadar hizmet alacağı belirlenecektir. Tek Tesisli Weber Probleminde (WP) olduğu gibi tesislerin kurulum maliyeti toplam maliyete dahil edilmez, amaç fonksiyonu olarak sadece toplam taşıma maliyeti dikkate alınır. Kaç tesis kurulacağı baştan verilmiştir. ÇTWP tesis kapasitelerinin toplam talep

miktarından çok büyük olduğu durumlarla ilgilidir. Tesis kapasiteleri sınırsız olduğu için optimal çözümde her bir müşterinin talebi kendisine en yakın olan tesise atanır ve her müşteri birer tesisten hizmet alır. ÇTWP lineer olmayan, ne içbükey, ne de dışbükey bir hedef fonksiyona sahiptir ve genellikle çok sayıda yerel minimum nokta içerir.

ÇTWP:

$$\min_{Z,X} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} c_{ij} w_i z_{ij} d(X_j, a_i)$$

öyle ki

$$\sum_{j=1}^{m} z_{ij} = 1, \qquad i = 1, \dots, n \qquad (1)$$

$$z_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i, j \qquad (2)$$

$$X_j \in \mathbb{R}^2, \quad \forall j$$

m : *kurulacak tesis sayısı*

n : *müşteri (talep noktası) sayısı*

a_i=(a_{i1},a_{i2}) : *talep noktası **i**'nin bilinen iki boyutlu sabit konumu **i**=1,...,n*

c_{ij} : *tesis **j**'den talep noktası **i**'ye hizmet ulaştırmanın birim maliyeti*

w_i : *talep noktası **i**'nin toplam talep miktarı*

d(X_j,a_i) : *tesis **j** ile talep noktası **i** arasındaki Öklid uzaklık*

***X*=(X_1,...,X_m)** *tesis konumlarını [X_j : (x_j, y_j)] gösteren karar değişkenleri **j**=1,...,m*

***Z*=(z_{ij}) :** *talep noktası **i**'nin tesis **j**'den hizmet alıp almayacağını gösteren karar değişkenleri*

*(*eğer ***i***-nci müşteri ***j***-nci tesis atanmışsa 1; atanmamışsa 0 değerini alır).

(1) Her talep noktasının toplam talebi karşılanacaktır. (Talep kısıtı)

(2) ***z_{ij} = 0 :*** Talep noktası ***j*** tesis ***i***'den hizmet almayacak.

z_{ij} = 1 : Talep noktası ***j*** tesis ***i***'den ***w_i*** kadar miktarda hizmet alacak.

İlk kısıt (1) (talep kısıtı) müşterilerin taleplerinin tamamen karşılanması gerektiğini belirtir. Talep noktalarının tesislere atanmasını gösteren z_{ij} değerleri, tesislerin

kapasite kısıtı olmamasından dolayı, her talep noktasını kendisine en yakın tesise atayacak şekilde belirlenir ve bir talep noktası sadece bir tesisten hizmet alır. Bir talep noktası birden çok tesise aynı uzaklıkta ise, bu tesislerden herhangi birisine rasgele atanır.

Kapasite Kısıtlı Sürekli Yer Seçimi Problemi (KKSYSP)
Capacitated Multi-facility Weber Problem (CMFWP)
Capacitated Continuous Location Allocation Problem (CCLAP)

Bu problem Kapasite Kısıtlı Çok Tesisli Weber Problemi olarak da adlandırılır. Sürekli düzlemde, yerleri belirli olan talep noktalarına hizmet verecek, sınırlı kapasiteli tesislerin yerlerini ve hangi müşterinin hangi tesisten ne kadar hizmet alacağını toplam taşıma maliyetini en azlayacak şekilde belirler.

Kapasite kısıtlı çok tesisli Weber probleminde iki durum vardır:

a. Kapasite Kısıtlı Çok Kaynaklı Weber Problemi (KKÇKWP)
   Her bir müşterinin talep miktarı (w_i), uygun olan birden çok tesisten (multi-source) ayrı ayrı miktarlarda (w_{ij}) karşılanabilmeli ya da

b. Kapasite Kısıtlı Tek Kaynaklı Weber Problemi (KKTKWP)
   Her bir müşterinin talep miktarı (w_i) tek bir tesisten (single-source) karşılanmalı.

Bu iki durum iki ayrı problem olarak ele alınır. ÇTWP problemindeki müşteri taleplerinin hangi tesisten ne kadar miktarda karşılandığını gösteren değer (w_{ij}) Kapasite Kısıtlı problemlerde aşağıdaki gibi talep karşılama oranı (z_{ij}) çarpanı ile ifade edilmiştir:

$$w_{ij} = w_i z_{ij}, \quad \forall i, j$$

a. Birinci durumda (KKÇKWP) talep karşılama oranı (z_{ij}) değerleri 0 ile 1 arasında, 0 ve 1 dahil, reel sayı değerlerini alırken,

b. İkinci durumda (KKTKWP) talep karşılama oranı (z_{ij}) değerleri 0 ve 1 tamsayı değerlerinden oluşur.

Bu iki problemin modeline, Kapasite Kısıtsız ÇTWP probleminin modelinde ele alınmayan tesis kapasiteleri (b_j) parametre olarak eklenmiştir. Bu kapasite kısıtı, tesise atanan müşteri taleplerinin (w_{ij}) toplamını sınırlandırmaktadır.

Ayrıca, KKÇKWP probleminde ÇTWP ve KKTKWP'den farklı olarak, bir müşterinin talebi (w_i) bir veya birden çok tesisten karşılanabilmektedir.

Kapasite Kısıtlı Çok Kaynaklı Weber Problemi (KKÇKWP)

Multi-source Capacitated Multi-facility Weber Problem (MSCMFWP)

Tesis yerleri (X) belirlenirken, aynı zamanda tesislerde kapasite aşımı oluşturmayacak şekilde müşteri tesis atamaları da (Z) hesaplanır. Tesislere atanan toplam talep miktarı tesislerin kapasite kısıtını aşmamalıdır.

KKÇKWP:

$$\min_{Z,X} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} c_{ij} w_i z_{ij} d(X_j, a_i)$$

öyle ki

$$\sum_{j=1}^{m} z_{ij} = 1, \qquad i = 1, \dots, n \qquad (1)$$

$$0 \leq z_{ij} \leq 1, \quad z_{ij} \in \mathbb{R}, \quad \forall i, j \qquad (2)$$

$$w_{ij} = w_i z_{ij}, \quad \forall i, j$$

$$X_j \in \mathbb{R}^2, \quad \forall j$$

$$\sum_{i=1}^{n} w_i z_{ij} \leq b_j, \quad j = 1, \dots, m. \qquad (3)$$

m *: kurulacak tesis sayısı*

n *: müşteri (talep noktası) sayısı*

$a_i=(a_{i1},a_{i2})$ *: talep noktası* ***i****'nin bilinen iki boyutlu sabit konumu* $i=1,\dots,n$

c_{ij} *: tesis* ***j****'den talep noktası* ***i****'ye hizmet ulaştırmanın birim maliyeti*

w_i *: talep noktası* ***i****'nin toplam talep miktarı*

w_{ij} *: tesis* ***j****'den talep noktası* ***i****'ye akış miktarı*

b_j *: tesis* ***j****'nin kapasitesi*

$d(X_j,a_i)$ *: talep noktası* ***i*** *ile tesis* ***j*** *arasındaki Öklid uzaklık*

$X=(X_1,\dots,X_m)$ *tesis konumlarını [* $X_j : (x_j, y_j)$ *] gösteren karar değişkenleri* $j=1,\dots,m$

$Z=(z_{ij})$ *: talep noktası* ***i****'nin talebinin* (w_i) *ne kadar oranının tesis* ***j****'den karşılanacağını gösteren karar değişkenleri (* $z_{ij} = w_{ij} / w_i$ *)*

(1) Her talep noktasının toplam talebi karşılanacaktır. (Talep kısıtı)

(2) $z_{ij} = 0$ *:* Talep noktası j tesis i'den hizmet almayacak.

$0 < z_{ij} \leq 1$ *:* Talep noktası j tesis i'den $w_{ij} = w_j \cdot z_{ij}$ kadar miktarda hizmet alacak.

(3) Tesislere atanan talep noktaların talep miktarı en fazla tesislerin kapasitesi kadar miktarda olacaktır. (Arz kısıtı)

İlk kısıt (1) (talep kısıtı) müşteri taleplerinin tamamının karşılanacağını belirtir. Tesislerin kapasitesiyle ilgili kısıt (3) (arz kısıtı) tesislere atanan toplam talep miktarının o tesisin kapasitesini aşamayacağını gösterir.

Kapasite Kısıtlı Tek Kaynaklı Weber Problemi (KKTKWP)

Single-Source Capacitated MFWP (SSCMFWP)

Bu problemde, KKÇKWP'ne ek olarak, bir müşterinin toplam talebini sadece bir tesisten karşılama zorunluluğu bulunmaktadır. Bu sınırlama probleme ayrı bir zorluk katmaktadır. Pratikteki uygulama örneklerinin çok olmasına rağmen bu konuda yapılan araştırmalar az sayıdadır. (Rosing, 1992b, Brimberg v.d., 2008)

Tesis yerleri belirlenirken, aynı zamanda tesislerde kapasite aşımı oluşturmayacak şekilde müşteri tesis atamaları da hesaplanmalıdır. Tesislere atanan toplam talep miktarı tesislerin kapasite kısıtını aşmamalıdır.

Tesis-müşteri atamaları (z_{ij}) kapasite kısıtsız ÇTWP'nde olduğu gibi, yine tamsayıdır ve 0 ve 1 değerlerinden oluşur.

Belirli bir i müşterisi için z_{ij} değerlerinden sadece bir tanesi 1 değerini alır ve i müşterisi sadece bir tesisten hizmet alır.

KKTKWP:

$$\min_{Z,X} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} c_{ij} w_i z_{ij} d(X_j, a_i)$$

öyle ki

$$\sum_{j=1}^{m} z_{ij} = 1, \qquad i = 1, \dots, n \qquad (1)$$

$$z_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i, j \qquad (2)$$

$$X_j \in \mathbb{R}^2, \quad \forall j$$

$$\sum_{i=1}^{n} w_i z_{ij} \leq b_j, \quad j = 1, \dots, m. \qquad (3)$$

m *: kurulacak tesis sayısı*

n *: müşteri (talep noktası) sayısı*

$a_i=(a_{i1},a_{i2})$ *: talep noktası* ***i****'nin bilinen iki boyutlu sabit konumu* $i=1,\dots,n$

c_{ij} *: tesis* ***j****'den talep noktası* ***i****'ye hizmet ulaştırmanın birim maliyeti*

w_i *: talep noktası* ***i****'nin toplam talep miktarı*

b_j *: tesis* ***j****'nin kapasitesi*

$d(X_j,a_i)$ *: talep noktası* ***i*** *ile tesis* ***j*** *arasındaki Öklid uzaklık*

$X=(X_1,\dots,X_m)$ *tesis konumlarını [* $X_j : (x_j, y_j)$ *] gösteren karar değişkenleri* $j=1,\dots,m$

$Z=(z_{ij})$ *: talep noktası* ***i****'nin tesis* ***j****'den hizmet alıp almayacağını gösteren karar değişkenleri*

*(*eğer ***i***-nci müşteri ***j***-nci tesis atanmışsa 1; atanmamışsa 0 değerini alır).

(1) Her talep noktasının toplam talebi karşılanacaktır. (Talep kısıtı)

(2) $z_{ij} = 0$ *:* Talep noktası ***j*** tesis ***i***'den hizmet almayacak.

$z_{ij} = 1$ *:* Talep noktası ***j*** tesis ***i***'den w_i kadar miktarda hizmet alacak.

(1) nolu denklemden dolayı her talep noktası sadece bir tesisten hizmet alacaktır.

(3) Tesislere atanan talep noktaların talep miktarı en fazla tesislerin kapasitesi kadar miktarda olacaktır. (Arz kısıtı)

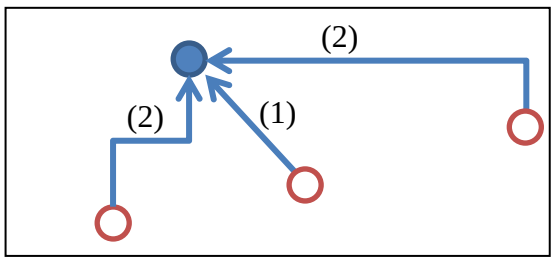
İlk kısıt (1) (talep kısıtı) müşteri taleplerinin tamamının karşılanacağını belirtir. Tesislerin kapasitesiyle ilgili kısıt (3) (arz kısıtı) tesislere atanan toplam talep miktarının o tesisin kapasitesini aşamayacağını gösterir.

Uzaklık Ölçütü

Talep noktaları (müşteriler) (a_i) ile tesisler (X_j) arasındaki uzaklık ($d(X_j, a_i)$), problemin ele aldığı sistemin toplam taşıma maliyetini doğrudan etkilemektedir. Farklı araştırmalarda iki boyutlu düzlem üzerinde iki nokta arasındaki uzaklığın aşağıdaki gibi farklı fonksiyonlarla ifade edildiği görülmüştür:

Tablo 2-3: Farklı araştırmalarda en sık kullanılan uzaklık fonksiyonları

Uzaklık ölçütü	**Formül**
Öklid	$d(X_j, a_i) = \sqrt{(x_j - a_{i1})^2 + (y_j - a_{i2})^2}$
Dik doğrusal	$d(X_j, a_i) = \lvert x_j - a_{i1} \rvert + \lvert y_j - a_{i2} \rvert$
Karesel Öklid	$d(X_j, a_i) = (x_j - a_{i1})^2 + (y_j - a_{i2})^2$
l_p	$d(X_j, a_i) = \sqrt[p]{(x_j - a_{i1})^p + (y_j - a_{i2})^p}$
$l_p{}^q$	$d(X_j, a_i) = \left(\sqrt[p]{(x_j - a_{i1})^p + (y_j - a_{i2})^p}\right)^q$
Çebişev uzaklığı (l_∞ uzaklık)	$d(X_j, a_i) = max(\lvert x_j - a_{i1} \rvert, \lvert y_j - a_{i2} \rvert)$



Şekil 2-4: Öklid (1) ve dik doğrusal (2) uzaklık örnekleri

Şekil 2-4'te en sık kullanılan iki uzaklık ölçütü olan Öklid ve dik doğrusal ölçütler için örnekler gösterilmiştir.

İki nokta arasındaki direkt uzaklığın (hipotenüs) dikkate alınacağı durumlarda (1) Öklid uzaklık ölçütü kullanılır.

İki nokta arasında yatay ve dikey eksenlere paralel olarak ilerleyen durumlar da (2) Dik doğrusal uzaklık ile ifade edilir. Müşteri ve tesis arasında birbirine dik yollar ya da koridorlar üzerinden ulaşıldığı durumlarda kullanılır.

Şehir içi yollar gibi, iki nokta arasında hem dik yollar ve hem kestirme ara yollar olduğu durumlarda l_p uzaklık ölçütü daha anlamlıdır ve *p=1,25* ya da *p=1,75* gibi değerlerle kullanılır. l_p uzaklık ölçütü *p=1* olduğunda dik doğrusal uzaklık ölçütü ile, *p=2* olduğunda ise Öklid uzaklık ölçütü ile aynıdır.

Sıkılık Faktörü

Kapasite kısıtlı problemlerin zorluk derecesini etkileyen "Sıkılık faktörü", problemde ele alınan toplam talebin, kurulacak tesislerin toplam kapasitesine oranı olarak tanımlanmıştır. Tightness factor, capacity ratio olarak da bilinir.

Sıkılık faktörü 1'den küçük ya da 1'e eşit bir değerdir.

Sıkılık faktörü ne kadar büyükse, çözüm o kadar zordur.

Eğer, sıkılık faktörü 1'den büyük ise, uygun çözüm bulmak imkansızdır. (Osman ve Christofides, 1994)

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i}{\sum_{j=1}^{m} b_j}$$

$\boldsymbol{w_i}$: Talep noktası ***i***'nin talep miktarı

$\boldsymbol{b_j}$: Tesis ***j***'nin kapasitesi

2.2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde, yer seçimi analizi hakkında yayınlanmış makale ve kitaplar özetlenmiştir. Bu çalışmanın konusu ile ilgili fikirler içeren ve yararlanılmış olan makalelere yer verilmiştir. Tam olarak literatür taraması değildir.

İlk kısımda yer seçimi teorisi hakkında genel gözden geçirmeler yer almaktadır.

Daha sonra sürekli yer seçimi problemi üzerine çalışmalara değinilmiştir. Kapasite kısıtsız sürekli yer seçimi probleminin çözüm teknikleri olarak kesin yöntemlerle optimizasyon, sezgisel ve metasezgisel yöntemler incelenmiştir. Ayrıca, yasak bölgelerin ve/veya geçiş engellerinin var olduğu, sınırlandırılmış Weber problemi adı verilen problem de gözden geçirilmiştir. Sonraki alt başlıkta, sabit maliyetli kapasite kısıtsız yer seçimi problemi kısaca ele alınmıştır.

Kapasite kısıtlı yer seçimi problemleriyle ilgili olan sonraki kısım, benzer şekilde düzenlenmiştir. Talep noktalarının tek bir kaynak ile ya da birden çok kaynak ile ilişkilendirilebilme durumuna göre problemler Tek Kaynaklı ve Çok Kaynaklı olarak iki alt gruba ayrılmıştır. Ek olarak, bu kısımda tek boyutlu bir hat üzerinde kapasite kısıtlı yer seçimi problemi de incelenmiştir.

Son kısımda, kapasite kısıtlı kesikli yer seçimi problemleri ele alınmıştır. Bu kısımda da önceki kısımdaki gibi problemler Tek Kaynaklı ve Çok Kaynaklı olarak iki alt gruba ayrılmıştır.

Bu çalışmada, kapasite kısıtsız kesikli yer seçimi problemi üzerine yapılmış çalışmalar incelenmemiştir, çünkü bu çalışmanın konusu ile ilişkili değildir. Yine de, burada incelenen üç durum için yapılandan daha fazla sayıda yayın yapılmış geniş bir araştırma alanı olduğunu belirtmek gerekir.

Bölümün sonunda, yapılmış tüm çalışmalar özet olarak bir tablo içerisinde gösterilmiştir.

Yer Seçimi Analizi Hakkında Yapılmış İncelemeler

Zamanla artan sayıda bilimsel çalışmalara daha kolay ulaşabilmek için sistematik bir sınıflandırma oluşturmak gereklidir.

Yer şeçimi analizi alanı, optimizasyon biliminin bir dalı olarak ilk kez 1909'da Alfred Weber tarafından ortaya konmuştur.

Yıllarca, art arda gelişen araştırmaların sonunda bazı sınıflandırma modelleri önerilmiştir. (Tafazzoli ve Mozafari, 2009) Bugüne kadar bu şekilde sınıflandırmalar yapılmasaydı, düzensiz bir şekilde yıllar boyu yapılmış araştırmaları devam ettirmek zor olurdu.

Eilon v.d. (1971), Yer seçimi teorisi ile ilgili bir dizi çalışmayı gözden geçirmiştir. Sonlu ve sonsuz model olarak sınıflandırma yapmıştır. Sezgisel algoritmalar gibi farklı tekniklerin kullanımından bahsetmiştir. (Luis, 2008)

Yer seçimi ve yerleştirme problemleri hakkında ilk sınıflandırmalardan birisi Francis ve White (1974) tarafından hazırlanandır. Bu sınıflandırma 6 bölümden oluşur. (1) Yeni tesis karakteristikleri, (2) varolan tesislerin yeri, (3) yeni ve varolan tesisler arası etkileşim, (4) çözüm uzayı karakteristikleri (5) uzaklık ölçüsü ve (6) amaç fonksiyonu. (Tafazzoli ve Mozafari, 2009)

Handler ve Mirchandani (1979), şebeke yerleşim modelleri için 4 basamaklı bir sınıflandırma şeması tanımlamıştır. Francis v.d. (1983), düzlemsel modeller, kesikli depolama modelleri, karma modeller ve kesikli şebeke modelleri olmak üzere 4 ana sınıfta inceleme yapmıştır. Tansel v.d. (1983b) tarafından, p-merkez, p-medyan ve ağaç şebeke modelleri ve çözümleri incelenerek, noktasal-yerleşim ya da patika-yerleşim modelleri olarak iki başlıkta açıklanmıştır. Aikens (1985), depo yer seçimi problemlerini kapasite kısıtsız ve kapasite kısıtlı olarak ikiye ayıran bir tarama yapmıştır. (Luis, 2008)

Bir diğer gözden geçirme çalışmasında Brandeau ve Chiu (1989), 50'den fazla farklı problemi inceleyerek 3 ana ölçüte göre sınıflandırma yapmıştır. (1) Hedef fonksiyonu, (2) karar değişkenleri ve (3) sistem parametreleri. Mirchandani ve Francis (1990) hazırladıkları kitapta, p-medyan, p-merkez, kapasite kısıtsız ve kapasite kısıtlı problemlerin daha detaylı alt kümelerini incelemiş, yerler arası mekansal etkileşimler ve rekabetçi konumlardan bahsetmiştir. Eiselt v.d. (1993), oyun teorisi yaklaşımıyla rekabetçi yer seçimi problemlerini 5 basamakta ifade etmiştir. (Luis, 2008)

Carrizosa v.d. (1995), düzlemsel modelleri sınıflandırmayı 6 basamakta göstermiştir. Talep miktarını ve servis süresini olasılık dağılım fonksiyonu ile ifade ederek modelinde rassallığa da yer vermiştir. (Tafazzoli ve Mozafari, 2009)

Drezner (1995) yer seçimi üzerinde yaptığı incelemelerde, çalışmaları metodolojik ve teknik yönleri, farklı amaç fonksiyonları, rekabetçi tesis yer seçimi ve rotalama-yer seçimi arasındaki etkileşim açısından incelemiştir. Sridharan (1995) kesikli kapasite kısıtlı tesis yer seçimi problemlerinin çözüm yöntemleriyle ilgili incemele yapmış, kesin ve sezgisel prosedürlerden bahsetmiştir. Daskin (1995), yazdığı kitapta temel kesikli tesis yer seçimi modellerinin (kapsama, merkez, medyan, sabit maliyet) ve bunların çözüm yollarından bahsetmiştir. Hamacher ve Nickel (1998) 5 basamaklı bir sınıflandırma ile bütün sürekli, kesikli ve şebeke yer seçimi modellerini ifade edebilmiştir. Basamak (1) yeni tesis sayısı ve tipi hakkında bilgi tutar, basamak (2) çözüm uzayına göre yer seçim modelinin tipini temsil eder, basamak (3) probleme özel hususları tanımlar, basamak (4) yeni ve varolan tesisler arasındaki ilişkiyi gösterir, basamak (5) amaç fonksiyonunu tanımlar. (Luis, 2008)

Owen ve Daskin (1998), tesis yerleşim problemlerini stokastik veya dinamik özelliklerine göre stratejik yapıları bakımdan ele almıştır.

Tesis yer seçimi modelleri, havaalanları, otobüs durakları, restoranlar, itfaiye merkezleri, hastaneler, çöp işleme tesisleri, depolar gibi birçok kamu ve özel sektör uygulamasında kullanılmıştır. Current v.d. (2002), kamu ve özel sektördeki uygulamaları ele alan iyi bir kaynak hazırlamıştır.

Commander, C.W. (2003) doktora tezinde kuadratik atama problemi ve uygulamaları üzerine inceleme yapmıştır. Hale ve Moberg (2003), tesis yer seçimi üzerinde geniş çaplı bir literatür taraması yapmıştır. ReVelle ve Eiselt (2005), önemli bazı tesis yer seçimi problemleri üzerine inceleme yapmıştır. Snyder (2006), stokastik ve güçlü tesis yer seçimi modelleri üzerine literatür taraması yapmış, belirsizlik koşullar altında optimizasyon yaklaşımlarına ve bu alanda yapılmış uygulamalara değinmiştir.

Naghi ve Salhi (2007), tesis yer seçimi ve rotalama problemlerini sekiz açıdan sınıflandırmıştır. (1) hiyerarşik yapı (2) girdi veri tipi (belirli / stokastik) (3) planlama tipi (tekli / çoklu periyot) (4) çözüm yöntemi (kesin / sezgisel) (5) amaç fonksiyonu

(6) çözüm uzayı (7) depoların sayısı (tekli / çoklu) (8) araç sayısı ve türleri (homojen / heterojen) ve rota yapısı. (Tafazzoli ve Mozafari, 2009)

Şahin ve Sural (2007), hiyerarşik tesis yer seçimi modellerini gözden geçirmiştir. 1980'lerden beri çalışılan modeller hakkında başka gözden geçirme çalışmaları olmasına rağmen, bu çalışma tüm hiyerarşik yer seçimi modellerini anlaşılır bir şekilde özetlemiştir.

ReVelle v.d. (2008) Kesikli tesis yer seçimi problemlerini iki ana bölümde ele alarak sınıflandırmıştır. (1) medyan ve tesis yer seçimi modeli (2) merkez ve kapsama modeli. Bu sınıflandırmada, yer seçimi modelleri dört kategoriye ayrılmıştır: (1) Analitik modeller, (2) Sürekli modeller, (3) Şebeke modelleri, (4) Kesikli modeller. (Tafazzoli ve Mozafari, 2009)

Daskin (2008), Hale ve Moberg (2003), tesis yer seçimi analizi üzerinde geniş çaplı bir literatür taraması yapmıştır. Kısaca, yer seçimi araştırmalarının daha ortak yönlerine dikkat çekmişlerdir. Sonuç olarak, p-medyan, p-merkez, kapsama problemleri ve benzeri diğer yer seçimi analizi araştırmalarıyla ilgili gözden geçirmeler sunmuşlardır. (Luis, 2008)

Brimberg v.d. (2008), sürekli tesis yer seçimi ve atama problemlerinin (STSAP) çözüm yöntemleri ile ilgili literatür taraması yapmıştır. Aynı zamanda, metasezgisel yöntemlerin kullanımındaki son gelişmelerin bu tip problemlerin çözümünde ne kadar etkili olduğunu göstermiştir. STSAP probleminin metasezgisel yöntemlerle yapılan çözümlerini incelemiş ve aynı problemin kapasite kısıtlı durumu için de yeni çözümler tartışılmıştır. İleride yapılabilecek yeni çalışmalara de işaret etmişlerdir.

Melo (2009), tedarik zinciri yönetimi kapsamında, literatürde yer alan tesis yer seçimi modellerini gözden geçirmiştir.

Farahani v.d. (2010) çok ölçütlü tesis yer seçimi problemi üzerine literatür taraması yapmıştır.

Wadhwa ve Garg (2011) tesis yer seçimi probleminin genetik algoritma kullanılarak çözülmesi üzerinde bir gözden geçirme yapmıştır.

Arabani ve Farahani (2012), tesis yer seçimi probleminin dinamikleri üzerine sınıflandırma yapmış, bu tip problemlerin matematiksel ifadelerini vermiş ve literatürde geçen vaka çalışmalarını gözden geçirmiştir.

Terouhid v.d. (2012) sürdürülebilir tesis yer seçimi problemiyle ilgili mevcut çalışmaları incelemiş ve sürdürülebilirlik özelliklerinin sınıflandırması için bir yapı önermiştir.

Taneja v.d. (2014) Kapasite Kısıtlı Tek Kaynaklı Tesis Yer Seçimi Problemi (Single Source Capacitated Facility Location Problem SSCFLP) için iki fazlı bir çözüm önermiştir. Birinci fazda arama uzayını daraltan bir ön hazırlık yapıp, ikinci fazda bir genetik algoritma ile çözüm üretmiştir.

Drezner v.d. (2015) düzlem üzerinde p-medyan problemi için bir sezgisel çözüm önermiştir. Yeni bir dağılım tabanlı değişken komşuluk taraması ile yeni bir genetik algoritma tasarlanmış ve bu ikisi bir arada kullanılmıştır. Hibrit yaklaşım en iyi sonuçları üretmiştir. 654 ve 1060 müşteri noktası olan test verileriyle 2 adetten 150 adet tesise kadar yapılan 470 deneyin 466'sında en iyi bilinen çözüm bulunabilmiştir.

Carlo v.d. (2017) tesis yer seçimi problemini var olan bir sisteme eklenecek yeni tesis sayısını belirleme yönünden ele almıştır. Problemin büyük dağıtım ağlarının tasarlanmasında uygulama alanı bulunmaktadır. Problemin karmaşıklığını ortaya koymak ve anlamak üzere birkaç doğrusal olmayan karma tamsayı formülleri sunulmuştur. Bu NP-zor problemi çözmek için bir ayrıştırma sezgiseli ve bir tavlama benzetimi sezgiseli geliştirilmiş ve deneyler yapılmıştır. Rasgele geliştirilen 40 problem için her iki sezgisel yöntem aynı sonuçları üretmiştir.

Gergin v.d. (2019) İstanbul'un Avrupa ve Asya yakasındaki hastane atıklarının toplanacağı tesis yerlerinin belirlenmesi üzerinde çalışmıştır. Hastane lokasyonları ve ortalama atık miktarlarını ele alarak bulanık c-ortalamalar (FCM fuzzy c-means), FCM ile birlikte ağırlık merkezi (FCM-COG center of gravity), özdüzenleyici haritalar (SOM self organizing map), SOM ile birlikte ağırlık merkezi (SOM-COG) ve yapay arı koloni (YAK) algoritması kullanarak hastaneleri kümelere ayırmış, toplam taşıma maliyetini ve tesis yerlerini belirlemiştir. Her iki yakada 2 ile 4 arasında farklı sayıda tesis kurulması incelenmiştir. Algoritmaların performansı

karşılaştırılmış, YAK algoritmasının bütün küme sayıları için toplam maliyet açısından diğer algoritmalardan daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Yer Seçimi Analizi Alanında Yazılan Bazı Kitaplar

Mirchandani ve Francis (Discrete Location Theory, 1990) Kesikli yer seçimi teorisi hakkında yazmıştır.

Francis, McGinnis ve White (Facility Layout and Location: An Analytical Approach, 1992) Tekli/çoklu tesis atamaları, kuadratik atama problemi, kapsama problemi gibi yaygın modellerden bahsetmiştir.

Daskin (Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications, 1995) şebeke yer seçimi problemlerine değinmiştir.

Drezner (Facility Location: A Survey of Applications and Methods, 1995) yer seçimi analizi alanından bazı modeller ve uygulamaları anlatmıştır.

Drezner ve Hamacher (Facility Location: Applications and Theory, 2002) tesis yer seçimi teorisi ve uygulamalarını yazmıştır.

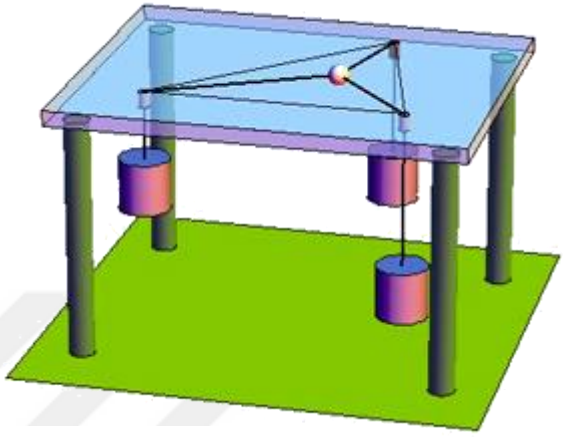
Nickel ve Puerto (Location Theory: A unified approach, 2005) sürekli ve şebeke yer seçimi problemleri ile ilgili özellikle medyan yer seçim problemi hakkında geniş bir tarama yapmıştır.

Farahani ve Hekmatfar (Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies, 2009) yer seçimi analizi hakkında güncel çalışmaları derlemiştir. Bu kitapta Tafazzoli ve Mozafari (2009) yer seçimi modellerini ve yer seçimi problemlerini çözen yazılımları sınıflandırmıştır.

Esnaf v.d. (2014), bulanık c-ortalamalar (FCM fuzzy c-means) algoritmasını kullanarak kapasite kısıtsız kesikli tesis yer seçimi üzerinde Türkiye'de bir gübre üreticisinin verileri ile vaka çalışması yapmıştır. Orijinal FCM algoritmasının özel bir versiyonu önerilmiştir. Önerilen algoritma literatürde bilinen çeşitli kıyaslama problemlerine uygulanmış ve tamsayı programlama ile kıyaslanmıştır. Ayrıca, sonuçlar sürü zekası algoritması ve yapay arı kolonisi algoritması ile karşılaştırılmıştır. Önerilen FCM algoritması diğer algoritmalardan daha iyi sonuç üretmiştir.

Weber Problemi Üzerinde Yapılmış Çalışmalar

Yer seçimi bilimi bir analitik çalışma alanıdır. Çalışmalar Pierre de Fermat, Evagelistica Torricelli (Galileo'nun öğrencisi) ve Battista Cavallieri gibi bilim adamlarına kadar uzanır. 17nci yüzyılın başlarında, her birisi birbirinden bağımsız olarak, temel Öklid uzayı medyan problemini önermiş, bazıları çözümünü de ortaya koymuştur.



Şekil 2-5: Varignon düzeneği

Weber problemi yer seçimi teorisinin klasik bir problemidir ve yer seçimi analizinin temel taşıdır. Ortaya atılmış ilk yer seçimi problemi olmasından dolayı bu alandaki gelişmelerin çoğunun temelini oluşturur. İlk tanımı Pierre de Fermat (1601-1665) ve Battista Cavallieri (1598-1647) tarafından yapılan, ilk çözümü Evangelist Torricelli (1608-1647) tarafından ortaya konulan bu problem hakkında geniş bir gözden geçirme ve tarihsel bir bakış açısıyla anlatım Drezner v.d. (2002) tarafından hazırlanmıştır. Şekil 2-5'te görülen Varignon düzeneği ile birden çok talep noktası için tek tesis yeri mekanik bir yöntemle optimum olarak bulunabilmektedir.

Weber problemi için,

- Fermat problemi,
- Genelleştirilmiş Fermat problemi,
- Fermat-Torricelli problemi,
- Steiner problemi,
- Steiner-Weber problemi,
- Fermat-Weber problemi,
- bir medyan problemi,
- medyan merkez problemi,
- minisum problemi,
- uzaysal medyan problemi (spatial median problem)

gibi çesitli isimler de kullanılır (Drezner ve Hamacher, 2002).

Pierre de Fermat talep miktarları eşit olan üç müşteri için bir tesis yeri seçme problemini ortaya koymuş ve birkaç yıl sonra çözümünü de bulmuştur. (Kuhn, 1973) Sonraları problem üç yönde ilerlemiştir:

1. her müşterinin farklı talep miktarlarına sahip olması,
2. daha çok sayıda müşteri olması ve
3. daha çok sayıda tesis olması.

Problemin tarihçesi için iyi bir makale olan Krarup ve Vajda, 1997 çalışmasına bakılabilir. (Krarup ve Vajda, 1997)

20nci yüzyılın başında (1909) Alman ekonomist Alfred Weber «Über den Standort von Industrien» (Endüstrilerin yerleşimi hakkında) adlı temel bir makale yazmıştır. Bu makalede, Öklid düzleminde n adet nokta için Fermat probleminin ağırlıklı halini öne sürmüştür. Bu nedenle, Öklid düzlemde 1-medyan problemi Fermat-Weber problemi olarak da anılır.

Alfred Weber'in 1909'daki çalışması ile yer seçimi teorisi çalışmaları resmen başlamıştır. Weber, bir takım müşteriye hizmet verecek bir deponun yerinin, depo ile müşteriler arasındaki toplam uzaklığı en azlayacak şekilde nasıl belirlenmesi gerektiğini ele almıştır. Bundan sonra, yer seçimi teorisi pek az uygulama ile devam etmiştir.

Yer seçimi teorisi, Hakimi'nin 1964'teki yayını ile tekrar araştırmacıların ilgisini toplamıştır. Bu çalışmada, bir iletişim ağında santrallerin yerleri ve otoyolda polis karakollarının yeri belirlenmeye çalışılmıştır. (Azarmand ve Jami, 2009)

Düzlem üzerinde Fermat-Weber probleminin en yaygın çözüm yaklaşımı, Weiszfeld'in 1937'de ortaya koyduğu sabit nokta (fixed point) algoritmasıdır. Bu tekrarlamalı yöntem, belirli kabuller altında Öklid 1-medyana yakınsayabilmektedir.

Daha sonraki çalışmalarda, Weiszfeld algoritmasının genel olarak optimal çözümü oluşturamadığı ortaya çıkmıştır. Bu metod, Miehle (1958), Kuhn ve Kuenne (1962), Cooper (1963), Ostresh (1978) ve Rautenbach v.d. (2004) gibi yazarlar tarafından incelenmiştir.

Öklid 1-medyan probleminin tarihçesi ve çözüm yaklaşımları hakkında inceleme Wesolovsky (1993), Drezner ve Hamacher (2002) çalışmalarında görülebilir.

Fermat, problemi ilk olarak «düzlem üzerinde verilen üç nokta için, öyle bir dördüncü nokta bulunsun ki, bu noktadan diğer üç noktaya uzaklıkların toplamı en az olsun» şeklinde formülleştirmiştir. Bu problem ilk olarak 17nci yüzyılda Toricelli tarafından çözülmüştür. (Drezner ve Hamacher, 2002)

Daha fazla sayıda talep noktası için klasik Fermat-Weber problemi (Öklid 1-medyan problemi), iki boyutlu Öklid düzlemi üzerinde n adet talep noktasının yerleri ile her bir talep noktasıyla ilgili eksi olmayan ağırlık katsayıları verildiğinde, kurulacak tesis ile talep noktaları arasındaki uzaklıkların ağırlıklı toplamını en azlayacak şekilde, kurulacak tesisin yerini bulmak olarak ifade edilir. (Drezner ve Hamacher, 2002)

Tesisleri düz bir çizgi üzerinde (1 boyutta) bulmak O(n) zamanda mümkündür. Fakat, iki veya daha çok boyutlu bir Öklid uzayda bir medyanın konumunu bulmak zordur. Ne polinom zamanda çözüm bulan bir algoritma bulunabilmiştir, ne de problemin NP-zor olduğu ispatlanabilmiştir. (Hakimi, 2000)

Düzlem üzerindeki Fermat-Weber probleminin çözümü için en yaygın yaklaşım Weiszfeld'in (1937) sabit nokta algoritmasıdır. Aşamalı optimizasyon (Gradient) yöntemi ile merkez noktayı talep noktalar ile konveks bir birleşim olarak ifade eder ve günceller. Bu tekrarlamalı prosedür, bazı kabuller altında, Öklid 1-medyan noktaya yakınsamaktadır. Mesela, taranmakta olan tesis yeri, talep noktalarından birisi ile aynı konuma geldiğinde algoritma sonuç üretemez. Weiszfeld algoritmasının genel olarak optimal çözüm üretemediği anlaşıldığı için, metod Miehle (1958), Kuhn ve Kuenne (1962), Cooper (1963), Ostresh (1978) ve yakın zamanda Rautenbach v.d. (2004) gibi araştırmacılar tarafından analiz edilmiştir. Öklid 1-medyan probleminin tarihçesi ve çözüm yaklaşımları üzerine bir tarama için Wesolowsky (1993) ve Drezner ve Hamacher (2002) çalışmalarına başvurulabilir. (Wesolowsky, 1993)

Weber problemi Sürekli Tesis Yer Seçimi Problemlerinin temel tipi olsa da, düzlem üzerinde bir veya birden çok çizgi yerleştirme, yarım hat tesisler (half-line facilities), hiperdüzlemler, hiperküreler, çokgen eğriler gibi daha gelişmiş değişiklikler için Díaz-Báñez, Mesa, ve Schöbel (2004) çalışması incelenebilir. (Arabani ve Farahani, 2012)

Çok Tesisli Weber Problemi Üzerinde Yapılmış Çalışmalar

Sürekli yer seçimi problemleri, birden çok tesis yeri belirlenmesi gerektiği ve tesislerin kapasitesi sınırsız kabul edildiğinde Çok Tesisli Weber Problemi (ÇTWP) (multi-facility Weber problem, MFWP) olarak bilinir. Problemin genelleştirilmiş modeline kapasite kısıtsız sürekli yer seçimi ve atama problemi (uncapacitated continuous location-allocation problem) adı verilir.

Luis'in (2008) doktora tezi gibi bazı kaynaklar bu probleme Çok Kaynaklı Weber Problemi (multi-source Weber problem) adını vermiştir. Burada tüm sistemi besleyen birden çok kaynak olduğu belirtilmiştir. Bu tip problemler için Çok Tesisli Weber Problemi adının kullanımı daha yaygındır. ÇTWP başlığı altında Tek Kaynaklı ÇTWP ve Çok Kaynaklı ÇTWP olarak iki ayrı problem çeşidi ortaya çıkmıştır. Bu problemlerde tek ve çok kaynaklı tabiri ile bir müşterinin bir ya da birden çok tesise atanabilmesi kastedilmektedir.

Bu sınıf problemlerin çözümü için birçok kesin ve sezgisel yöntem önerilmiştir. Bu bölümde, ÇTWP çözümü ile ilgili bazı yayınlar, çözüm yöntemlerine göre üç alt başlıkta sıralanmıştır: Kesin yöntemler, sezgisel yöntemler, meta-sezgisel yöntemler.

Çok tesisli Weber problemi ilk olarak 1967'de Cooper tarafından ortaya konulmuştur. (Cooper, 1967) Bu problemde hedef fonksiyon ne içbükey (konkav), ne de dışbükeydir (konveks). Bu yüzden kesin çözümünü bulmak oldukça zordur.

Ancak, Sherali ve Nordai (1988) tarafından problemin NP-zor olduğu gösterilmiştir.

Küçükdeniz v.d. (2018) ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamalar (RWFCM – Revised Weighted Fuzzy C-Means) ve Nelder-Mead simpleks metodlarını birlikte kullanarak Çok Kaynaklı Weber problemini çözmek üzere RWFCM ve NM metodlarını hibrit olarak kullanan RWFCM-NM adlı bir yöntem önermiştir. Bu yeni yöntem ile toplam taşıma maliyetleri ve hesaplama süreleri iyileştirilmiştir.

2.3. OPTİMİZASYON PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİNE GENEL BAKIŞ

Optimizasyon problemleri çözüm yöntemleri aşağıdaki gibi listelenmiştir:

1. **Kesin çözümler**
    a. Dinamik programlama
    b. Tamsayı doğrusal programlama
2. **Sezgisel çözümler**
    a. Yapıcı tip (constructive)
    b. İyileştirici tip (improvement)
    c. Karıştırıcı tip (perturbation)
3. **Global tarama sezgisel çözümleri**
    a. Tavlama benzetimi (Simulated Annealing)
    b. Tabu arama (Tabu Search)
    c. Genetik algoritmalar (Genetic Algorithms)
    d. Değişken komşuluk araması (Variable Neighborhood Search VNS)
    e. Çok aşamalı sezgiseller (Multi-level heuristics)
    f. Karınca kolonisi (Ant Colony Optimization ACO)
    g. Sürü zekası (Particle Swarm Optimization PSO)
    h. Aç gözlü rasgele uyarlanabilir arama prosedürü (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure GRASP)
    i. Yapay arı kolonisi (Artificial Bee Colony ABC)
    j. Ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamalar (Revised Weighted Fuzzy C-Means RWFCM)

2.4. ÇOK TESİSLİ WEBER PROBLEMİ (ÇTWP) ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

ÇTWP çözümü için uygulanmış olan yöntemler aşağıdaki üç grupta şöyle özetlenebilir:

Kesin yöntemler : Dal sınır algoritması, dal-fiyat algoritması, doğrusal programlama, dinamik programlama, konveks fonksiyonların farkı DC (difference of convex functions) gibi metodlarla kesin çözümler bulunmuştur.

Sezgisel yöntemler : Komşuluk taraması, lineer olmayan programlama, özdüzenleyici haritalar (self organizing map), yapıcı sezgiseller, bulanık c-ortalamalar (fuzzy c-means) gibi pek çok farklı metod uygulanmıştır.

Meta-sezgisel yöntemler : Tavlama benzetimi, tabu arama, değişken komşuluk arama, genetik algoritma, yerel tarama, parçacık sürü zekası gibi yöntemler tek başına ya da hibrit olarak uygulanmıştır.

Bu yöntemlerle ÇTWP üzerinde yapılan çalışmalar aşağıda detaylı olarak listelenmiştir:

Kesin Yöntemler

Bu problem tipinin karakteri nedeniyle, yakın zamana kadar, kesin yöntemler daha küçük boyutlu problemlere uygulanabilmiştir. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır:

Kuenne ve Soland (1972), 30 müşteri, 2 tesis ve 15 müşteri, 4 tesis problemleri için dal-sınır algoritması uygulamıştır. Dal-sınır algoritmasında olası çözümler kümesi müşteri-tesis atamaları bazında dallandırılmıştır.

Wendell ve Hurter (1973), dik açılı uzaklık problemlerinde optimal çözümlerin konveks zarf içerisindeki kesişim noktaları üzerinde olacağını göstermiş ve çözüm adayı olarak sadece bu kesişim noktalarının ele alınmasının yeterli olduğunu belirtmiştir.

1973 ve 1975'te Ostresh, TWAIN olarak adlandırdığı bir algoritma geliştirmiş ve Öklid uzaklığı ile iki tesise (m=2) atama yapmıştır. Bu metod müşteri alt kümelerinin doğrusal bir çizgi ile ayrılması gözlemine dayanmaktadır. n adet müşteri, birbirinden farklı en fazla n(n-1)/2 adet alt kümeye ayrılabilir. Bu alt kümeler için hesaplanmış maliyet değeri en küçük olan, optimum çözüm olarak seçilir. Fakat, $O(n^2)$

mertebesinde her alt kümeyi tek tesis yer seçimi problemi olarak çözen bu algoritmanın çalışma süresi müşteri sayısı arttıkça daha çok yükselir.

Love ve Morris (1975), küme indirgeme yöntemi ve p-medyan algoritması kullanarak dik açılı uzaklık problemlerini çözen algoritma önermiştir. 2x35 ve 3x20 boyutundaki problemler için optimal çözüm üretmiştir.

Drezner (1984), sürekli düzlemde, Öklid uzaklığı ile iki medyanlı atamanın yapılması için Ostresh (1975) ile aynı yöntemi kullanarak, müşterileri ayıran çizgiyi daha verimli bir şekilde bulan algoritması ile 100 müşteriye kadar çalışma yapmıştır.

Chen v.d. (1992), konveks fonksiyonların farkı DC (difference of convex functions) programlama metodu ile iki tesisli en fazla 1.000 müşteri için optimal çözümü bulmuştur.

Rosing (1992a), öklid uzayında bütün olası üst üste gelmeyen konveks zarfları Lineer programlama ile ifade ederek optimal çözüm öne sürmüştür. Bu yöntemde, olası konveks zarfların listesi oluşturulup, sabit noktaları kapsayacak şekilde kullanılır. Bu işlem (n–1) kez her seferinde konumlar kümesini düz çizgilerle ayırarak yapılır. Sonunda her bir sabit nokta birer konveks zarfla eşleşerek, büyük bir ayrıştırma problemi çözülmüş olur. Her bir konveks zarf için maliyet fonksiyonu tek kaynaklı Weber Problemi olarak hesaplanır. Küme kapsama problemine dayalı bir lineer program kullanarak toplam maliyeti en azlayacak şekilde sabit noktaların kapsanması sağlanır. Fakat, alt kümelerin sayısı çok hızlı arttığı için çözüm üretilebilen tipik problem 30 müşteri ve 5 tesis ya da 25 müşteri ve 6 tesis boyutundadır.

Önemli bir ilerleme Krau tarafından 1997'de ortaya konmuştur. Krau (1997) kolon üretme (column generation) yaklaşımını dal sınır yöntemi ile birleştirerek Bongartz v.d. (1994) tarafından ortaya konan ambulans problemi üzerinde 287 müşteri ve 2'den 100'e kadar tesis için optimal çözüm bulmuştur.

Hansen v.d. (1998a), «*a bundle method in l1-norm*» (du Merle v.d., 1997) yöntemini Krau'nun (1997) yöntemine ekleyerek, 1.000x100 büyüklüğüne kadar problemleri çözmüştür. Hem kolon üretme metodu, hem de 11-norm bundle metodu başlangıç

çözümüne çok duyarlıdır. O nedenle, olabilecek en iyi başlangıç çözümünü elde etmek için modern sezgisel yöntemler kullanılır. (Brimberg v.d., 2008)

Chen v.d. (1998), konveks fonksiyonların farkı (difference of convex functions) DC Programlama yöntemi kullanarak 2x10.000, 3x50, 1.000 müşteri ve 20 varolan tesise ek 1 tesis, 200 müşteri ve 10 varolan tesise ek 2 tesis şeklinde farklı boyutlarda problemleri çözmüşlerdir. Bu çalışmada, iki özel durum ele alınmıştır. Bunlar varolan tesislere ek tesis açılması durumu ve müşteri tesis arası uzaklığın üst sınırı olması durumudur. Algoritma hesaplama süresi bakımından müşteri sayısı ile doğrusala yakın bir artış göstermiş ve 1000 müşteriye kadar kesin çözüm bulunabilmiştir. Fakat üç ve daha fazla tesis için hafıza ihtiyacı çok kısıtlayıcı olmuş ve daha büyük problemlerin çözümünü engellemiştir.

Brimberg ve Love (1998), iki boyutlu kapasite kısıtsız yer seçimi-atama problemlerinin tek boyutlu dinamik programlama ile optimal olarak çözülebilmesini araştırmıştır. Love (1976) tarafından tek hat üzerinde yer seçimi algoritmasını değiştirmişlerdir. Geometrik sıralama özelliği olan iki boyutlu problemlerin dinamik programlama ile kesin çözümü olduğunu göstermişlerdir.

Righini ve Zaniboni (2007), dal-fiyat (branch-price) algoritması kullanarak kesin çözümler bulmuştur. Küme kapsama düzenlemesine (set covering reformulation) dayanır. Tarama ağacının her düğümünde kolon üretme ile doğrusal gevşetme sağlanmıştır. Her dalda fiyatlandırma alt problemi, uzaklıkları sınırlandırılmış, tek tesisli Weber problemi olarak ele alınmıştır. Daha önceden çözülememiş, binlerce müşteri ve yüzlerce tesis içeren boyuttaki problemler çözülebilmiştir. Deneyler, algoritmanın müşteri sayısının tesis sayısına oranının yüksek olduğu durumlarda daha etkili olduğunu göstermiştir.

Sezgisel Yöntemler

Önceki bölümde görüldüğü gibi, kesin yöntemlerin sağladığı çözümler küçük boyutlu problemlerle sınırlıdır. Bu alanda son zamanlardaki gelişmeler global optimal çözümler bulma kabiliyetini kayda değer ölçüde ilerletmiş olsa da, başlangıç çözümünü üretmek için iyi sezgisel yöntemlere ihtiyaç vardır. Uygulamadaki büyük boyutlu problemler için akılcı olan tek yaklaşım, çözümleri yaklaşık yöntemler kullanarak bulmaktır. (Brimberg v.d., 2008).

Anlatım kolaylığı açısından bu problem için geliştirilmiş olan sezgisel yöntemleri "klasik sezgiseller" ve "metasezgiseller" olarak iki standart kategoriye ayırabiliriz. Her bir grup da daha alt gruplara ayrılabilir. Çok Tesisli Weber Probleminde klasik sezgiseller taramanın tek yerel çözüm ile sonlanması özelliği ile öne çıkarlar. Başka bir deyişle, sezgisel yöntemler çözüm uzayının çok dar bir kısmını tararlar. Metasezgisel yöntemler ise çözüm uzayının daha geniş bir kısmını tararlar, yerel optimum noktalara takılmaktan kurtulurlar. Metasezgisel yöntemler taramayı çeşitlendirebilirler. Bu yöntemlerden bazılarının teorik olarak global çözüme ulaşabildiği gösterilmiştir. (Brimberg v.d., 2008).

Cooper (1964), ilk sezgisel çözümlerden birini ortaya koymuştur. Bu sezgisel yöntem, problemi tesislerin yerlerinin belirlenmesi ve taleplerin tesislere atanması şeklinde iki parçada ele alır. Bu iki alt problem birbirinden bağımsız ve ayrı olarak, kendi içerisinde kolayca çözülebilmektedir. Alternate location allocation (ALA) algoritması önce talep noktalarını yaklaşık eşit m adet alt kümeye ayırıp, her alt kümede tek tesis yeri belirlemek için (Weiszfeld'ın 1937'de önerdiği iteratif prosedür gibi) kesin çözüm yöntemlerini ya da standart azalış yöntemlerini (standard descent methods) kullanır. Problemin bu kısmı m adet ayrı konveks tek tesis yeri belirleme problemine dönüşür. Müşteriler bulunan tesis yerlerinden en yakın olana atanır. Daha sonra her bir tesise atanan talep noktaları arasında tekrar kesin yöntemlerle tek tesis yeri belirlenerek, daha iyi çözüm bulunamayıncaya kadar devam eder. Tesislerde kapasite kısıtı olmadığından dolayı müşteriler en yakın tesise atanır. (Brimberg v.d., 2008) Tek tesis yeri belirlemek için kullanılan benzer kesin yöntemler Kuhn (1973), Rosen ve Xue (1991), Drezner (1992) tarafından geliştirilmiştir. Ek olarak Fermat-Weber tek tesis yer seçimi probleminin ilginç tarihsel incelemesi Wesolowsky (1993) tarafından hazırlanmıştır. *lp* uzaklık için geliştirilen uzantılar Brimberg ve Love (1993) ve Frenk v.d. (1994) tarafından çalışılmıştır.

Problem çözümünün optimale yakın bir değer alması için Cooper'ın algoritması rasgele belirlenmiş farklı başlangıç çözümleri ile birden çok kez tekrarlanır. Bu algoritmaya multi-start alternate location allocation (MALT) adı verilir.

Sullivan ve Peters (1980) önce müşterileri birbirinden ayrık gruplara kümeleyen bir algoritma geliştirmiştir. Sonra bu gruplardan herbirine birer tesis yerleştirilir.

Love ve Juel (1982), *lp* uzaklıkların hesaplandığı yer seçimi-atama problemini konkav en azlama yöntemi üzerinde çalışmış, komşuluk yapısına dayanan bir sezgisel yöntem geliştirmiştir. Önce değişimli olarak yer seçimi ve atama yaparak yerel minimum çözümler bulduktan sonra, atamaları sistemli bir şekilde değiştirerek çözümü iyileştirir. Love ve Juel mevcut çözüme komşu olan bütün noktaları, bazı tesis atamalarını farklı derecelerde değiştirerek deneyen, beş değişik algoritma önerdi.

Murtagh ve Niwattisyawong (1982), MINOS adlı büyük ölçekli lineer olmayan programlama paketini kullanarak çok tesisli yer seçimi ve atama problemini aynı anda çözen bir metod önermişlerdir. Bu yöntemde atama değerleri 0-1 arası değerleri de alabilmektedir. İterasyonlar sırasında sıfıra ya da bire yakın değerler alan atamalar sıfır ya da bir olarak sabitlenerek, serbest değişken haline getirilir.

Chen (1983), hedef fonksiyonu, atama değişkenlerini ortadan kaldıran bir yaklaşımla dönüştürerek yeni farklı bir sezgisel algoritma önermiştir. Türevlenebilir yeni hedef fonksiyonunun çözümü için verimli bir doğrusal olmayan programlama metodu olarak bilinen quasi-Newton metodunu kullanmıştır.

Moreno-Perez v.d. (1991), yapıcı tipte yeni bir sezgisel yöntem ile, kurulacak *m* adet tesis için, $2 \times m$ adet tesis yeri belirleyerek başlar, fazladan açılan tesislerden birisini, hedef fonksiyonda artışı minimum olanı seçerek çıkartır. *m* tesis kaldığında çözüm bulunmuş olur. 900 müşteri ve 10 tesis problemi için Cooper metodu ile kıyaslanabilecek kadar iyi sonuçlar elde edilebilmiştir. Bunun tersi bir yaklaşım, açgözlü tarz ile her seferinde birer tesis ekleyerek *m* tesise ulaşana kadar devam etmektir. Burada amaç hedef fonksiyon değerindeki azalışı ençoklamaktır. Brimberg v.d. (2000) çalışmasında "ekleme" bırakma" hareketleri için farklı stratejileri tartışmıştır.

Bongartz v.d. (1994), *lp*-norm ($1<p<\infty$) çok tesisli Weber problemleri için projeksiyon metodu ile atamalardaki {0,1} kısıtını gevşeterek, hem yer seçimi, hem de atama problemi ile ilgili karar değişkenlerini eş zamanlı olarak çözmüştür. Murtagh ve Niwattisyawong (1982) çalışmasında da olduğu gibi, yer seçimi ve atama problemleri aynı anda çözülmüştür. Farklı başlangıç çözümleri kullanan versiyon test edilmiştir. Başlangıç çözümleri rasgele veya gezgin satıcı turlaması ile

müşterileri parçalara ayırarak oluşturulmuştur. Sonuçlar Cooper, Murtagh ve Niwattisyawong (1982), ve Chen (1983) çalışmalarındaki sonuçlardan daha iyi bulunmuştur.

Hansen v.d. (1998b), bütün talep noktalarını potansiyel tesis yerleri olarak değerlendirmiş ve çok kaynaklı Weber problemini pmedian problemi gibi çözmüştür. Önce kesikli yer seçimi olarak tesis olarak belirlenecek olan noktaları belirlemiş, sonra her bir tesis yerini sürekli düzlemde tek tesis yeri problemi gibi çözmüştür.

Lozano v.d. (1998) Kohonen özdüzenleyici haritalar (self-organizing map SOM) algoritmasını karesel Öklid uzaklıklı çok kaynaklı Weber problemine uygulamıştır. SOM ile Cooper'ın (1964) ALA sezgisel yöntemini birleştirmiştir. SOM ile elde edilen sonucu daha iyileştirmek için ALA yöntemi ince ayar olarak kullanılmıştır. Önerilen metod İspanya ve Portekiz'in önemli şehirlerindeki 49 talep merkeziyle ilgili bir vaka üzerinde denenmiş, 2'den 10'a kadar sayıda tesis yeri için çalıştırılmıştır.

Brimberg ve Mladenović (1999), kapasite kısıtsız yer seçimi ve atama problemlerinde dejenerasyonu incelemiş, özellikle tesis sayısı fazla olduğunda, bazı tesislere talep atanmadığını gözlemlemiştir. Talep atanmayan tesislerin oluşmasını engellemek için farklı yöntemler denemiştir. İşlem süresini uzatmayacak şekilde, atama yapılmamış tesislere yeni konum vererek tekrar çözüme ekleyen stratejiler incelenmiştir.

Gamal ve Salhi (2001), iki yeni yapıcı sezgisel (constructive heuristic) algoritma önermiştir. Başlangıç çözümleri üretmek için uygun şemalar tanımlamıştır. Birbirinden en uzak noktaları seçme yöntemi sayesinde birbirine çok yakın tesis önerilmesi engellenmiştir. İlk yöntem olan "en büyük uzaklık kuralı" (furthest distance rule, FDR) kullanıldığında döngü oluşma ihtimali vardır, daha önceki iterasyonlarda önerilmiş başlanıç çözümü tekrar önerilebilir. Bundan kaçınmak için tabu arama algoritmasından uyarladıkları bir yasak bölgeler oluşturma ve serbest bırakma stratejileri ortaya koymuşlardır.

Gamal ve Salhi (2003), hücresel tip metod olarak bilinen iki aşamalı sezgisel algoritma önermiştir. Birinci aşamada Cooper'ın çok başlangıç noktalı alternatif (multi-start alternate) algoritmasını kullanarak, değişik konfigürasyonlar oluşturulur.

İkinci aşamada bu konfigürasyonlar kullanılarak hücreler oluşturulur, bu hücrelerden en yüksek frekansa sahip olanlar, tesisler arası uyumluluk fonksiyonu da dikkate alınarak seçilir ve yeni sonuçlar oluşturmak için kullanılır.

Taillard (2003), p-median, karelerin toplamıyla kümeleme ve çok kaynaklı Weber problemi gibi zor kümeleme problemleri (hard centroid clustering) için üç sezgisel yöntem önermiştir. Birinci yöntem, Cooper'ın (1963) ALA algoritmasını alt prosedür olarak kullanan Candidate List Search (CLS) yöntemidir. CLS, ALA prosedürü ile elde edilen yerel optimum çözümü rasgele değiştirdikten sonra, açgözlü bir süreçle daha iyi ise tercih eden değilse orijinal çözümü seçen bir işleyişe sahiptir. İkinci yöntem local optimization (LOPT), p-tane merkezi olan bir çözümle başlayıp, CLS metodu ile çözümlerin iyileştirilmeye çalışılmasıdır. İyileştirilebilen bir çözüm olursa, elde edilen merkezler aday listesine eklenirler, değilse alt problemi üretmek için kullanılan çözüm aday listesinden çıkartılır. Üçüncü yöntem problemi, alt problemlere bölüp, bu alt problemlerin farklı merkez sayıları için CLS yöntemi ile çözülmesidir. Toplam çözüm, alt problemlerin çözümlerinin birleştirilmesiyle elde edilir.

Hsieh ve Tien (2004), daha önce Lozano v.d. (1998) uyguladığı yöntemi değiştirerek, dik açılı (rectilinear) uzaklık ölçüsü kullanmıştır. Ayrıca ALA yerine SOFMGR (self organized feature map with guided refinement) adlı yönlendirilen geliştirmelerle özdüzenleyici harita prosedürü uygulamıştır. Bu geliştirme prosedürü Wendell ve Hurter (1973) tarafından ortaya konan bir özelliğe dayanır. Bu özellik, dik açılı uzaklık içeren problemlerde optimal yerlerin müşteri yerlerini kapsayan konveks zarf sınırları içerisinde, müşteri yerlerinden geçen dik ve yatay çizgilerin kesiştiği noktalarda olduğunu belirtir. Önerdikleri yöntemin performansı Liu v.d. (1994) önerdiği tavlama benzetimi yöntemininkinden daha üstündür.

Daha yakın zamanlarda, Aras v.d. (2006) çok kaynaklı Weber probleminin çözümü için vektör niceleme (vector quantization, VQ) ve özdüzenleyici haritalar (self-organizing maps, SOM) önermiştir. Değiştirilmiş vektör niceleme (revized vector quantization) ve değiştirilmiş özdüzenleyici harita (revized self-organizing map) adlı metodlar öklid ve dik açılı uzaklıklar için, kazananı belirleme ve güncelleme kurallarına uzaklık fonksiyonlarının özelliklerini entegre etmiş ve böylece standart VQ ve SOM algoritmalarından farklılaşmıştır. Kıyaslama için kullanılan veri

setlerindeki sonuçlar çözüm kalitesi ve hesaplama zamanı açısından önceki metodlardan daha başarılı olmuştur.

Esnaf v.d. (2009), bulanık kümeleme temelli karma yöntem (fuzzy clustering based hybrid method) kullanarak çok tesisli yer seçimi problemine çözüm önerilmiştir. Önce müşteriler bulanık (fuzzy) üyelik değerleri ile kümelenip, sonra her bir küme kendi içerisinde tek tesis yer seçimi problemi olarak çözülmüştür. Tesislerin kapasitesi sınırsız olarak kabul edilmiştir. Bu yöntem farklı yaklaşımları sırayla kullanır. İlk önce müşteriler coğrafi yerlerine göre küresel ya da oval bulanık kümelere ayrıştırılır. Farklı sayıda kümeler denenir. Sonra ortaya çıkan kümelerin her birine birer tesis yerleştirilir. Son olarak her küme bir tek tesis yer seçimi problemi olarak çözülür. Ağırlık merkezi metodu kullanılarak, tesis yerleri hassas olarak ayarlanır ve taşıma maliyeti optimize edilir. Bir saha uygulamasının gerçek verileri ile yöntemin lojistik performansı incelenmiş ve varolan tesisler ile önerilen tesislere göre sonuçlar gösterilmiştir.

Küçükdeniz v.d. (2018) ağırlıklandırılmış bulanık c-ortalamalar (RWFCM – Revised Weighted Fuzzy C-Means) ve Nelder-Mead simpleks metodlarını birlikte kullanarak Çok Kaynaklı Weber problemini çözmek üzere RWFCM ve NM metodlarını hibrit olarak kullanan RWFCM-NM adlı bir yöntem önermiştir. Bu yeni yöntem ile toplam taşıma maliyetleri ve hesaplama süreleri iyileştirilmiştir.

Meta-Sezgisel Yöntemler

Kapasite kısıtsız sürekli yer seçimi problemini tabu arama, tavlama benzetimi, genetik algoritmalar gibi modern ya da meta-sezgisel metodlarla çözmeye çalışan birçok makale yayınlanmıştır. Bu yaklaşımlar yerel optimum çözümlere takılmaktan kurtulma ihtimalini arttırabilmektedir.

Liu v.d. (1994), Tavlama Benzetimi (Simulated Annealing) yöntemi ile rectilinear uzaklık problemlerinin çözümünde Love ve Morris'in (1975) algoritmasından ve Love ve Juel'in (1982) H5 kodlu sezgiselinden hem çözüm kalitesi, hem de hesaplama zamanı açısından daha iyi sonuçlar elde etti.

Brimberg ve Mladenović (1996a), Tabu Arama (Tabu Search) yöntemini Love ve Juel'in (1982) H3 kodlu sezgiseli içerisine yerleştirerek sürekli yer seçimi-atama probleminin çözümünde kullandı. Her defasında bir müşteriyi başka bir tesise

atayarak komşu bir çözüm elde ederek ilerleme sağlandı. Böylece yerel optimum noktadan çıkış için hareket edebilmeye yol açıldı. Daha sonraki çalışmada, Brimberg ve Mladenović (1996b) değişken komşuluk (variable neighbourhood) algoritması adında yeni bir meta-sezgisel kavramını tanıttılar. Ana fikir mevcut çözüm etrafındaki komşu çözümlerin sayısını sistematik bir şekilde arttırmaktır. Çözüme komşu olan belirli sayıda yeni nokta rasgele üretilmektedir. Eğer bu noktalardan birisi iniş yönünde harekete imkan verirse, bu nokta seçilir. Değilse, taramayı zenginleştirmek için komşu noktaların sayısı arttırılır. Son tanımlanan komşuluk yapısından sonra bir ilerleme olmağında algoritma sonlanır. Bu yöntem yerel azalış sağlamak için Cooper'ın ALA (Cooper, 1963) algoritmasını kullanır.

Houck v.d. (1996), Genetik Algoritma ile birlikte yerel iyileştirme prosedürü uygulayarak büyük boyutlu yer seçimi-atama problemlerini çözdü. Bu genetik algoritma yerel iyileştirme prosedürü olarak Cooper'ın (1963) ALA algoritmasını kullanır. Algoritmanın çözümleri rasgele başlangıç ve Love ve Juel'in (1982) H4 kodlu sezgisel yönteminin sonuçlarıyla kıyaslandı. Büyük boyutlu problemlerde daha iyi sonuç aldığı ve daha az işlem zamanı gerektiği görüldü.

Daha sonraki bir araştırmada, Ohlemüller (1997) tabu arama algoritmasını büyük boyutlu dik doğrusal uzaklıklı yer seçimi ve atama problemlerini çözmek için kullanmıştır. Tabu arama algoritmasının performansı önceki üç yöntem ile kıyaslanmıştır. Bunlar, Love ve Morris'in (1975) kesin çözüm algoritması, Love ve Juel'in (1982) H5 kodlu sezgiseli ve Liu v.d.'nin (1994) tavlama benzetimi algoritmasıdır. Sonuçlar tabu arama yönteminin bu alanda bu üç yöntemden daha verimli olduğunu göstermiştir. Aynı makalede yazar tabu arama yönteminin Öklid uzaklıklı yer seçimi ve atama problemine nasıl uygulanacağını açıklamıştır.

Brimberg v.d. (2000) tarafından Bongartz v.d. (1994), Brimberg ve Mladenović (1996a, 1996b), Hansen v.d. (1998b) ve Houck v.d. (1996) tarafından önerilen sezgiseller için iyileştirmeler önerdi.

Salhi ve Gamal (2003), kapasite kısıtsız sürekli yer seçimi-atama problemine Genetik Algoritma ile çözüm sağladı. Bu yeni uygulama, kromozom gruplarına göre ebeveynleri seçme ve çıkarma stratejileri, popülasyon içinde çeşitliliği koruyan eşleşme ve yeniden üretme şemaları da içermektedir. Çaprazlama ve mutasyon

operatörleri özel olarak ebeveyn seçme ve çıkarma şemalarına uygun şekilde tasarlanmıştır. Tarama sürecinde çeşitliliğin arttırılması ve iyi çözümlerin korunması yeni eklenen enjeksiyon politikası tarafından sağlanır. Yazarlar, aldıkları sonuçların Brimberg v.d. (2000) çalışmasındaki örneklerin çoğundaki sonuçtan daha iyi olduğunu belirtmiştir. Ek olarak, optimal sonuçlarla karşılaştırıldığında 40 tesisten daha büyük bazı problemler dışındaki büyük problemlerde yeterince iyi sonuç elde edildiği gösterilmiştir.

Taillard (2003), Ayrıştırma Sezgiseli (Decomposition Heuristic) yöntemini uyguladı. Her iterasyonda rasgele bir merkezi tesis belirleyip, k-1 adet yakın komşu tesisi alarak, k adet tesisi alt problem olarak çözmüş ve asıl probleme birleştirmiştir.

Brimberg v.d. (2006), VNDS (Variable Neighbourhood Decomposition Search) sezgisel yöntemi ile alt problem boyutunu sistematik olarak değiştiren bir çözüm uyguladı. Alt problemleri VNS ile çözdü. Farklı ayrıştırma stratejileri arasında, tesisleri birleştirmeyle ilgili karma strateji saf rassal ve deterministik stratejilerin başarısını geride bırakmıştır. Çalışmanın asıl çıktısı VNDS yönteminin büyük boyutlu problemlerin çözümü için rekabetçi bir sezgisel yöntem olduğunu göstermek olmuştur. Bununla ilgili gözden geçirmeler için Hansen v.d. (2001) çalışması ile Hansen ve Mladenović (2003) çalışmalarına bakılabilir.

Jabalameli ve Ghaderi (2008), kapasite kısıtsız sürekli yer seçimi ve atama problemi için geleneksel metasezgisel algoritmalardan GA (Genetic Algorithm) Genetik Algoritma ve VNS ile LS (Local Search) Yerel Tarama algoritmasını kullanarak üç farklı hibrit algoritma önermiş ve optimale yakın çözümler bulmaya çalışmıştır. Önerdikleri hibrit algoritmalarla GA ve VNS ile önceden bulunmuş sonuçlardan daha iyi sonuçlar elde etmiştir.

Neema v.d. (2011), Genetik Algoritma ile farklı yer değiştirme prosedürleri ve geleneksel Local Search yöntemini birleştirerek iki yeni hibrit algoritma önermiştir. Deneysel sonuçlar bu hibrit yöntemlerin daha az hesaplama yapılarak daha iyi sonuçlar aldığını göstermiştir.

Ghaderi v.d. (2012) verimli bir hibrit, PSO (particle swarm optimization) parçacık sürü zekası algoritması uygulayarak bilinen diğer sezgisel metodlardan daha iyi sonuç elde etti.

Ghaderi (2013), üç hibrit meta-sezgisel genetik algoritma, VNS ve PSO ile hibrit yerel arama algoritması üzerinde çalışmıştır. Bu algoritmalarla kapasite kısıtsız sürekli yer seçimi ve atama problemini çözmeye çalışmıştır. Bu hibrit algoritmaların içerisinde problemin yerel optimum çözümlerini bulmak için ALA ve takas sezgiselleri kullanılmıştır. Ek olarak, hibrit algoritmaların verimliliği ve etkinliğini ölçmek için bazı büyük boyutlu problemler kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, büyük boyutlu problemlerde hibrit VNS ve PSO algoritmasının diğer alternatiflerden çok daha iyi sonuç ürettiği görülmüştür. Ayrıca, iki parametrik olmayan istatistik test uygulanmış ve hibrit algoritmalar arasında anlamlı bir fark olduğu, hibrit VNS ve PSO algoritmasının diğer algoritmaları geçtiği belirlenmiştir.

Pacheco v.d. (2015) Meksika'nın Tijuana şehrindeki acil yardım hizmetlerinin kalitesini iyileştirmek için önemli bir etken olan ambulans yerlerinin belirlenmesi problemi ile ilgilenmişlerdir. Öncelikle problemi çok kaynaklı Weber problemi olarak ifade etmişler, şehirle ilgili beş test verisini genetik algoritma ile çözmüşlerdir. Sonuçları mevcut durumla karşılaştırdıklarında acil yardım hizmetlerinde önemli bir iyileşme elde edileceğini göstermişlerdir.

Meta-Sezgisel Algoritmalar Neden Gereklidir?

Bir problemi Meta-sezgisel yöntemleri kullanmak için, önce problemin karmaşıklığının analiz edilmesi gereklidir. Sherali v.d. 1988'de çok tesisli sürekli yer seçimi probleminin NP-zor olduğunu göstermiştir.

ÇTWP'nde karar değişkenleri hem sürekli, hem tam sayıdır. Bu nedenle, konveks olmayan amaç fonksiyonlarına sahiptir. Amaç fonksiyonunun türevi alınamaz ve lineer programlama yöntemiyle çözülemez.

Bu tür problemler için uygulanmış kesin çözümler vardır, fakat sadece küçük boyutlu problemlere uygulanabilmiştir. Büyük boyutlu, gerçek problemler için sadece problemin karmaşıklığı değil, problemi çözmek için gereken hesaplama zamanı da gözönüne alınmalıdır. Kesin çözüm üreten algoritmalar problemin boyutu arttıkça çözüm için gereken zaman üstsel olarak artmaktadır. Bu nedenle ÇTWP çözümü için meta-sezgisel algoritmalara ihtiyaç duyulmuştur.

Meta-Sezgisel Algoritmalar Neden Başarılıdır?

Kompleks optimizasyon problemlerinde tarama uzayındaki olası çözümlerin çokluğu, kesin metodlarla çözüm bulunmasını zorlaştırmaktadır, hatta makul sürelerde sonuç bulmak bazen imkansızdır. Meta-sezgisel algoritmalar, esinlendikleri varlıkların davranışlarını taklit ederler ve tarama uzayını verimli bir şekilde tarayarak, çözüm uzayındaki etkili kısımlara odaklanıp, uygun çözümlere ulaşırlar.

Böylece, hızlı bir şekilde çözüme ulaşan, büyük boyutlu problemleri çözebilen, tasarlaması ve uygulaması kolay, sağlam ve esnek algoritmalar elde edilmiştir. Fakat, kesin çözümlerde olduğu gibi optimal çözümün bulunacağı garanti edilememektedir.

2.5. ÇOK TESİSLİ WEBER PROBLEMİNDE (ÇTWP) ÖZEL DURUMLAR

Bu bölümde, çok tesisli Weber probleminin (ÇTWP) sınırlandırılmış ve sabit maliyetli olarak iki özel durumu gözden geçirilmiştir.

Sınırlandırılmış (Constrained) Weber Problemi

Klasik Weber probleminde tarama düzlemindeki tüm noktalar olası çözüm noktalarıdır. Fakat, pratikte, bazı alanlara tesis kurulması imkansız ya da yasak (deniz, göl, nehir), bazı bölgelerden yol geçmesi imkansız (şehirlerde büyük parklar, askeri bölgeler, dağlık araziler) olabilmektedir. Burada bahsedilen "sınırlandırılmış" (constrained) olma ile tesisin hizmet kapasitesi bakımından "kapasite kısıtlı" (capacitated) olması birbiriyle karıştırılmamalıdır. Bu şekildeki problemlere sınırlandırılmış Weber problemi (constrained Weber problem) adı verilir. (Katz ve Cooper, 1981, Hansen v.d., 1982).

Katz ve Cooper (1981), yasak bölgeler konusunda ilk çalışmayı yapmış, farklı engel varyasyonlarını incelemiştir. En basit olarak, düzlem üzerinde dairesel bir yasak bölge olan Öklid uzaklık problemi üzerinde çalışmış ve sezgisel bir çözüm ortaya koymuştur. Hansen v.d. (1982), sonlu sayıda konveks poligonun birleşiminden oluşan bir düzlemde çözüm arayan sezgisel algoritma geliştirmiştir. Bu yöntemde önce problemin sınırlandırılmamış hali için çözüm bulunup, sonra olası çözüm bölgesini gösteren poligonların sınırlarını keşfedilmektedir.

Takip eden bir çalışmada Larson ve Sadiq (1983), iki boyutlu Öklid düzleminde p-medyan problemini sabit polyhedral seyahat engellerini dikkate alarak çözmüştür. Tüm uzaklıkların Manhattan düzeninde (dik doğrusal) hesaplandığını kabul ederek, orijinal problemi bir ağ üzerinde kesikli p-medyan alt problemlerine ayrıştıran bir optimal çözüm prosedürü önermiştir. Elde ettikleri sonuçlar optimal çözümün düzlemdeki sınırlı sayıda aday noktaların kümesinde bulunabileceğini göstermiştir.

Daha sonra Batta v.d. (1989) Larson ve Sadiq'ın (1983) çalışmasını ilerleterek, dik açılı uzaklık hesaplanan aynı problemin rasgele şekilli engellerin ve konveks yasak bölgelerin olduğu halini çözmüştür. Sonlu sayıda çözüm adayı noktanın belirlenmesinden sonra optimal çözümün bulunabileceğini göstermiştir.

Aneja ve Parlar (1994), yasak bölgeleri ve seyahat engelleri olan tek tesis yer seçimi problemi için optimal çözüm bulan algoritmalar önerdi. Yasak bölgeler kapalı

polihedra olarak ve uzaklıkları da l_p düzeniyle ele almışlardır. Konveks olan ve olmayan yasak bölgeler ile ilgili optimale yakın çözümler bulan yöntemler önermişlerdir. Seyahat engelleri olan yer seçimi problemi için hem tavlama benzetimi yöntemiyle yeni aday noktalar üretmiş, hem de Dijkstra algoritmasıyla müşteriler ile yeni önerilen tesis yerleri arasındaki en kısa yolu bulmuştur.

Hamacher ve Nickel (1995) sürekli uzayda medyan ve merkez problemlerinde çiftler halinde ayrık konveks kümelerin birleşiminden oluşan yasak bölgeleri ve l_p düzeninde uzaklıkları ele almış ve her iki problemin çözümü için sezgisel yöntemler önermiştir. İlk başta sezgisel yöntemlerle l_1, l_2 ve l_p uzaklık ölçütüne göre tek tesis yer seçimi problemini çözmüş, sonra çok tesisli problemler için genelleştirmiştir. Sonra yöntemlerini baskılı elektronik devre üzerinde eleman yerleşimi, istenmeyen tesis yer seçimi ve acil servis tesislerinin yer seçimi gibi uygulamalara yaymışlardır.

Butt ve Cavalier (1996), öklid düzlemde konveks polygon şeklinde yasak bölgelerin olduğu problemler için FORBID adında bir algoritma hazırlamıştır. Bu algoritmanın ana fikri bir görünebilirlik çizgesi (visibility graph) oluşturduktan sonra Weiszfeld prosedürü ile alt problemleri çözmektir.

Katz ve Cooper'ın (1981) yöntemiyle kıyaslandığında, FORBID daha iyi çözüm bulmuş ve Aneja ve Parlar'ın (1994) algoritmasıyla aynı sonuçları elde etmiştir.

Özel uzaklık hesaplamaları konusunda Hamacher ve Klamroth (2000) polyhedral engeller ve blok şeklinde uzaklık hesapları içeren Weber problemini incelemiştir. Larson ve Sadiq (1983) ve Batta v.d. (1989) çalışmalarında olduğu gibi, orijinal problemi kesikli yer seçim problemlerine indirgeme ana fikrine bağlı olarak kesikli hale getirme yöntemi geliştirilmiştir. Yaptıkları deney sonuçları bir polinom algoritmanın bu problemi çözebileceğini göstermiştir.

Klamroth (2001a), üzerinde belirli sayıda geçiş yeri olan çizgisel bariyerlerin olduğu Weber problemi üzerinde çalışmıştır. Konveks olmayan orijinal problemin polinom sayıda sınırlandırılmamış Weber problemine ayrıştırılması incelenmiştir. Çizgisel hat şeklinde engel üzerinde iki geçiş yeri olan problemi çözmek için verimli bir algoritma türetilmiş ve genelleştirilmiştir. Klamroth (2001b) taşıma yollarının polyhedral engeller kümesi ile sınırlandırıldığı Weber problemlerinde bu konveks olmayan engel probleminin sınırlı sayıda konveks yer seçimi alt problemlerine

bölünebileceği üzerine çalışmıştır. Bu indirgeme sonuçları sınırlandırılmamış sürekli yer seçimi problemlerinin sınırlandırılmış duruma çevrilebileceğini göstermiş ve seyahat engelleri olan sürekli yer seçimi problemlerinin çözümünde de kullanılabilecek kesin ve sezgisel yöntemler ortaya koymuştur.

Klamroth (2002), bariyerleri olan tek tesisli yer seçimi problemlerinde güncel çalışmalar üzerinde detaylı bir araştırma yapmıştır. Bu tek konulu çalışmada, özel şekilli engeller ve özel uzaklık hesapları için çözüm yöntemleri ve hedef fonksiyonlar araştırılmıştır. Ek olarak, gelişmiş tekniklerin gerçek hayat problemlerine uygulanması da çalışılmıştır. Özellikle, yazar Almanya'nın Halle (Saale) kentinin gelişmekte olan bir bölgesinde yeni bir oyun parkı için yer seçimi problemi ile ilgilenmiştir.

McGarvey ve Cavalier (2003), Butt ve Cavalier'in (1996) çalışmasını devam ettirmiş, konveks polygonal yasak bölgeleri olan sürekli 1-medyan problemini çözmek için BSSS (big square-small square) metodunu kullanmış ve sürekli uzayda istenmeyen tesis yer seçimi problemiyle ilgilenmiştir. Bu metod dal-sınır tekniğiyle sürekli düzlemin uygulanabilir bölgelerini, kesikli karesel alt düzlemlere çevirerek çözüm aramış, bazen global optimum çözümü, bazen de global optimum çözüme küçük toleranslarla yakın çözümleri elde etmiştir. BSSS metodu ilk olarak 1981'de Hansen v.d. (1981) tarafından önerilmiştir.

Ayrıca, Klamroth (2004) ilk olarak Katz ve Cooper (1981) tarafından çalışılan çember şeklinde bir engel içeren Öklid uzaklıklı, varolan tesislere ek yeni bir tesis yeri belirleme problemi üzerine çalışmıştır. Yazar uygulanabilir çözümler kümesinin cebirsel olarak farksız polinom sayıda hücrelere ayrılabileceğini gösteren yeni yapısal yaklaşımlar önermiştir. Aynı zamanda genellikle konveks olmayan problemin konveks hedef fonksiyonu olan polinom sayıda alt probleme ayrıştırılabileceğini ispatlamıştır. Konveks optimizasyon yöntemlerine dayanan kesin ve sezgisel yöntemler önerilmiş ve önerilen yöntemlerin önceden Katz ve Cooper (1981) ve Butt ve Cavalier (1996) tarafından yapılmış çalışmalara kıyasla daha ileri çözümler ürettiği deneysel sonuçlarla teyit edilmiştir.

Bischoff ve Klamroth (2007), tek tesisli konveks polyhedral bariyerleri olan Öklid uzaklıklı problemin çözümü için genetik algoritma uygulamıştır. Klamroth'un

(2001a) ayrıştırma (decomposition) yaklaşımı polyhedral engelleri olan konveks olmayan Weber problemini sınırlı sayıda sınırlandırılmamış konveks alt probleme ayırmak için uygulanmıştır. Aday çözümlerin sayısı görünebilirlik testlerini uygulayarak önemli derecede azaltılabilmektedir. Alt problemlerin seçilmesi ile ilgilenmek için bir genetik algoritma ile Weiszfeld algoritmasının birleşimine dayalı bir çözüm yöntemi önerilmiştir. Katz ve Cooper (1981) ve Aneja ve Parlar (1994) çalışmalarındaki problem setleri önerilen algoritmanın sınanması için uygulanmış ve algoritmanın verimli olduğu ve çok iyi sonuçlar üretebildiği görülmüştür.

Pfeiffer ve Klamroth (2008), sürekli ve ağ yapısında Weber problemleri için bir birleşik model tanımlamıştır. Bu model, üzerinde polyhedral bariyerler olduğu durumları sürekli yer seçimi problemlerini ve içerisinde ağ yapılarının olduğu Weber problemini incelemiştir. Önerdikleri birleşik modelin teorik özelliklerini araştırmış ve blok düzenini kullanan kesin algoritmalar da ortaya koymuşlardır.

Bischoff v.d. (2009), birden çok tesis yer seçimi probleminde bariyerlerin olması durumunu incelemiştir.

Canbolat ve Wesolowsky (2010), düzlem üzerinde doğrusal bariyerlerin olduğu problemleri incelemiştir. Ayrıca bariyerlerin yerlerinin kesin ve sabit olmadığı durumu da değerlendirmiştir.

Stojanović v.d. (2017) kapasite kısıtsız Weber probleminin yaylar ile sınırlandırılmış yasak bölgeleri olan türü üzerinde çalışmıştır. Bu çalışmada dışbükey olmayan optimizasyon problemini çözmek amacıyla dört farklı metasezgisel algoritma üzerinde değişiklikler yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre yapay arı kolonisi algoritması, ateş böceği algoritması ve bu algoritmaların kısıtlı optimizasyon için geliştirilmiş en son versiyonları düzenlenmiş, çaprazlama tabanlı yapay arı kolonisi algoritması ve gelişmiş ateş böceği algoritması ortaya konulmuştur. Dört algoritma bir vaka çalışmasına uygulanmıştır. Değiştirilmiş Weiszfeld prosedürüne dayalı sezgisel algoritma geliştirilip, sonuçlar metasezgisel algoritma ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre metasezgisel algoritmaların 500 yasak bölgeye kadar bu problemi çözmek için uygulanabileceği görülmüştür. Dört algoritma arasında yapay kolonisi algoritmasına çaprazlama eklenerek geliştirilmiş halinin sonuç kalitesi, sağlamlık ve hesaplama verimliliği bakımından en verimlisi olmuştur.

Çok kaynaklı Weber probleminde sabit kurulum maliyeti

Çok tesisli Weber probleminde, yeni tesislerin kurulum maliyetini dikkate alan çalışma çok az sayıdadır.

Brimberg v.d. (2004), kurulacak tesisin konumundan bağımsız olarak sabit bir maliyet getirdiği çok kaynaklı Weber problemini modellemiştir. Sabit maliyetleri olan sürekli yer seçimi ve atama probleminin çözümü için üç fazlı sezgisel yöntem kullanılmasını önermiştir. Tesislerin açılmasıyla ilgili sabit maliyetler tesis için belirlenen yerden bağımsızdır. İlk fazda kesikli problemi çözerek tahmini tesis sayısını elde eder. Sonra ikinci fazda Cooper'ın location-allocation sezgisel yöntemini kullanarak hazırlanan temel iyileştirmeler sürekli uzayda yer seçimini daha iyi hale getirmek için uygulanır. Üçüncü fazda uygulanan yerel tarama ile farklı M değerleri kullanarak çözüm daha da iyileştirilir.

Brimberg ve Salhi (2005), sabit maliyetlerin tesisin kurulduğu bölgeye bağlı olarak değiştiği sürekli yer seçimi ve atama problemi üzerinde çalışmıştır. Sürekli tek tesis yer seçimi için bir kesin yöntem geliştirmiş ve çok tesisli durum için sezgisel bir yöntem önermişlerdir. Bu çalışmada önerilen model ile basit tesis yer seçimi problemleri sürekli uzayda tesis açma sabit maliyeti olan problemlere dönüştürülebilmektedir.

Abdullah v.d. (2008), aynı problemi tavlama benzetimi yöntemini kullanarak çözmüştür.

Shavarani v.d. (2018) uzaklık sınırı olan hareketli hiyerarşik tesislerin yer seçimi problemine çözüm bulmak için çalışma yapmıştır. Taşıma sisteminin toplam maliyetini azaltmak için uçan elektrikli dağıtım araçlarının kalkış ve şarj yapacağı istasyonların sayısını ve yerlerini bulmak gerekmektedir. Toplam maliyet kalkış ve şarj istasyonlarının kurulum maliyeti, uçan dağıtım araçlarının satın alınma ve işletme maliyetlerinden oluşmaktadır. Talebin Poisson dağılımına göre ortaya çıktığı ve dağıtım ağının sınırlarında düzenli dağıldığı ve en yakın tesisten karşılandığı kabul edilmiştir. Uçan elektrikli aracın uçuş süresi elektrik şarjına bağlı olduğu için hedef noktaya ulaşması için bir veya birden çok şarj istasyonuna uğraması gerekmektedir. Bu yol en kısa patika algoritması ile hesaplanmaktadır ve tesisler ile düğüm noktaları arasındaki Öklid uzaklık ele alınmaktadır. Problemin çözümü için

bir sezgisel algoritma önermişlerdir. Algoritmanın uygulanabilirliğini göstermek için San Francisco şehrinde Amazon prime firmasının hava yoluyla dağıtımı üzerinde vaka çalışması yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

2.6. KAPASİTE KISITLI SÜREKLİ TESİS YER SEÇİMİ VE ATAMA PROBLEMLERİ

Bu bölümde kapasite kısıtlı yer seçimi problemleriyle ilgili araştırmalar sunulmuştur. Ele alınan problemler düzlem üzerinde yer seçimiyle ilgilidir. Ele alınan bir özel durum da bir hat üzerinde kapasite kısıtlı sürekli yer seçimiyle ilgilidir.

Weber probleminde kurulacak tesislerin kapasite kısıtını da dikkate alan problemler şunlardır:

- Kapasite kısıtlı çok kaynaklı Weber problemi (**KKÇKWP**)
  (CMSWP - Capacitated multi-source Weber problem)

- Kapasite kısıtlı tek kaynaklı Weber problemi (**KKTKWP**)
  (CSSWP - Capacitated single-source Weber problem)
  (SSCMFWP - Single-Source Capacitated Multi-Facility Weber Problem).

Kapasite Kısıtlı Çok Kaynaklı Weber Problemi (KKÇKWP)
Capacitated Multi-source Weber Problem (CMSWP)

Cooper (1972), bu alanda ilk çalışma olarak, kesin ve sezgisel yöntemler geliştirmiştir. Kesin yöntemde, taşıma problemini kullanarak, olası bütün uygun çözümler türetilmiştir. Herhangi uygun bir çözümle başlayarak, bütün uygun çözümler için bağlı çizge (connected graph) kurulur. Her sonuç için yer seçim problemi çözülerek, en düşük maliyeti veren optimal sonuç olarak seçilir. Önerilen sezgisel yöntem, ATL (Alternating Transportation-Location heuristic) sezgiseli olarak bilinir. Temel olarak, 1964 yılında Cooper'ın (1964) kapasite kısıtsız yer seçimi-atama problemi için önerdiği Alternate Location-Allocation sezgisel metodunun değiştirilmiş halidir. ATL sezgiselindeki ana fikir, yer seçimi-atama probleminin ve taşıma probleminin (TP) toplam maliyette iyileşme olmayana kadar dönüşümlü olarak çözülmesidir.

Sonraki araştırmalarda, Cooper (1976), kendisinin 1975 yılında (Cooper 1975) sabit kurulum maliyeti içeren problemler için önerdiği yeni sezgisel algoritmayı değiştirerek 1976'da taşıma-yer seçimi problemi için uygulamıştır.

Sherali ve Shetty (1977), dik doğrusal uzaklık ölçütü için KKÇKWP problemini yakınsak kesme düzlemi (convergent cutting plane) algoritması kullanarak

çözmüştür. Algoritmanın temeli, karar değişkenlerinin yerine, iki negatif olmayan değişkenin farkının konulması ile bilinear programming problemine dayanır.

1972'de ilk kez Cooper (1972) tarafından ortaya konulan Öklid uzaklık ölçütlü KKÇKWP problemini Selim (1979) bikonveks kesme düzlemi (biconvex cutting plane) prosedürünü kullanarak çözmüştür.

Sherali ve Tunçbilek (1992) karesel Öklid uzaklık ölçütü için problemi tekrar ele almıştır. Yazarlar, problemin kuadratik konveks maksimizasyon problemine dönüştürülebileceğini göstermiştir. Bir dal-sınır algoritması ortaya konup, Lagranj gevşetme (relaxation) şeması yoluyla kuvvetli üst sınır değerleri hesaplamıştır. Taşıma kısıtlarının özel yapısını uyarlayıp, optimallik durumunda bir değişkenin sıfır ya da pozitif olmasına dayanan bir ikiye ayrılmadan (dichotomy) yararlanarak bir bölümleme yaklaşımı önerilmiştir. Tesis sayısı 5 ila 20 arasında değişen, rasgele üretilmiş veriler üzerinde deneyler yapılmıştır.

Sherali v.d. (1994), dik doğrusal uzaklık ölçütü için KKÇKWP problemini karma tamsayı lineer olmayan programlama formülasyonu ile ifade etmiştir. Önerilen «yeniden formüle etme-doğrusallaştırma tekniği» (Reformulation Linearization Technique) (RLT) ile problemi doğrusal karma-tamsayı programlama problemine dönüştürmüşlerdir.

Gong v.d. (1997), global ya da globale yakın tesis yerleri bulmak için tarama yapan genetik algoritma üstüne kurulu hibrit evrimsel metot önermişlerdir. Atama aşaması için, Lagranj gevşetme metodu uygulamışlardır. Tesis sayısı 2 ile 6 arasında değişen, rasgele üretilmiş veriler üzerinde denemeler yapılmıştır.

Sherali v.d. (2002), Öklid ve lp uzaklık ölçütü için KKÇKWP problemini çözmek üzere, dal-sınır algoritması üzerine kurulu, çözüm uzayını bölümlere ayıran bir yaklaşım önermişlerdir.

Zainuddin (2004), yapıcı bir tabu arama sezgiseli ile KKÇKWP için çözüm geliştirmiştir. Yapıcı sezgisel tekniğinde kapasite kısıtlarını dikkate almadan Cooper'ın MALT (Multi-start Alternate Algorithm) algoritması kullanılarak tesislerin ilk yerleri belirlenir. Problemin kapasite kısıtıyla ilgili kısmı Cooper'ın ATL sezgiselinе yapılmış iki değişiklikle çözülür. İlk değişiklik, kapasite kısıtsız

problemi çözdükten sonra taşıma problemini çözerek kapasite kısıtlı program için atamaları belirlemek ve sonraki iterasyonlarda bunu çözümü farklılaştırmak için kullanmaktır. İkinci değişiklik, yer seçimi ve atama problemindeki metod ile taşıma problemi metodunu değişimli olarak kullanmaktır. Bu yaklaşım, toplam maliyette iki tur üst üste iyileşme elde edilemeyene kadar sürdürülür ve sonra çözümü farklılaştırılarak devam edilir. Tabu arama sezgisel tekniğinde iki hareket tarzı önerilmiştir, müşteri tabanlı hareket, tesis yeri tabanlı hareket. Üç farklı çeşitlendirme planı uygulanır. Birincisi, mevcut çözümdeki tesis yerlerini sınırlarda kalan müşteri noktalarına hareket ettirerek tesis yerleriyle ilgili çözümü çeşitlendirmektir. İkincisi, başlangıçtan beri bulunmuş en iyi çözüme geri dönmektir. Üçüncüsü, tabu arama uyarlamasının persformansını geliştirmek için bir bağlantı metodu önermektir.

Zainuddin ve Salhi (2007), karıştırma (perturbation) tabanlı bir sezgisel ile Öklid KKÇKWP problemi için çözüm önermiştir. Sınır çizgisindeki müşterileri dikkate alarak kümeler oluşturan bir karıştırma şeması tasarlanmıştır. Bu müşteriler kendilerine en yakın tesis ile ikinci en yakın tesisin yaklaşık olarak ortasında bulunanlardır. Müşteri kümeleri oluşturulup, taşıma problemi çözülürken geçici olarak dışarı çıkartılır ve yeni tesis yeri ararken geriye konulurlar. Eşit kapasiteye sahip tesislerde, (müşteri sayısı 50'den 1060'a kadar) büyük veri setleri için klasik ATL sezgiselinden daha iyi sonuçlar vermiştir.

Aras v.d. (2007a) KKÇKWP problemini Öklid, karesel Öklid ve l_p uzaklık ölçütü için ele almışlardır. Problem Öklid düzlemde m adet kapasite kısıtlı tesis yerini n adet müşteriye en az taşıma maliyeti ile hizmet verecek şekilde belirlemekle ilgilenir. Müşterilerin yerleri ve talep miktarları önceden bellidir ve taşıma maliyeti müşteri ve tesisler arasındaki uzaklıkla orantılıdır. Problemin karma tamsayı lineer programlama yaklaşımını ifade etmişlerdir. KKÇKWP problemini çözmek için Lagranj sezgiselini, Hansen v.d. (1998b) çalışmasındaki p-medyan metoduna benzer kesikli kapasite kısıtlı p-tesis problemini ve Gamal ve Salhi (2003) çalışmasındaki hücresel sezgiselini kullanan, yaklaşım (approximation) üzerine kurulu yeni üç sezgisel çözüm yöntemi önermektedir. Daha sonra bu yaklaşıma dayalı sezgisel çözümler önermişlerdir. Kıyaslama örnek verileri üzerinde yapılan çalışma sonuçları yeni yöntemin doğru ve verimli olduğunu göstermiştir.

Aras v.d. (2007b), tavlama benzetimi (simulated annealing), kabul eşiği (threshold accepting) ve genetik algoritma ile doğrusal dik uzaklık, Öklid, karesel Öklid ve lp uzaklık ölçütü için KKÇKWP problemini çözmüştür. Sherali v.d. (1992) ürettiği, müşteri sayısı 30'dan küçük olan veri setlerini kullanarak, tesislerin birbirinden farklı kapasiteleri olan problemler üzerinde deneme yapmışlar ve iyi sonuçlar almışlardır. Devamındaki bir araştırmada Aras v.d. (2008), Aras v.d. (2007a) çalışmasını dik doğrusal uzaklık için genişletmiştir.

Luis v.d. (2009), KKÇKWP için başlangıç çözümleri üretmek için yeni bir tip yapıcı ve uyarlanabilir (constructive and adaptive) sezgisel öne sürmüştür. Bu teknik, yeni tesislerin, önceden bulunan yerlere çok yakın yerlere kurulmasını engellemek için yasak bölgeler oluşturarak taramayı yönlendirir. Yasak bölgeler, başlangıçta müşterilerin aralıklı olmasına ve tesis sayısına göre hesaplanan sabit çapları olan dairelerle temsil edilir. Müşterilerin birbirine uzaklığı ve kurulacak tesis sayısına göre, her bir yasak bölgenin çaplarını dinamik olarak ayarlayan bir şema önerilmiştir. Sürekli tarama uzayını kesikli hücrelere bölen, aynı zamanda yasak bölgeleri de hesaba katan kesiklileştirme (discretization) tekniği sunulmuştur. Bölge-ret (region-rejection) metodları, basit ve kolay anlaşılabilir olmasına rağmen, çözüm kalitesi ve CPU zamanı olarak, ümit verici sonuçlar sağlamıştır.

Akyüz v.d. (2010), çok ürünlü KKÇKWP için optimal hedef fonksiyon değeri için istatistiksel güven aralıkları tahminlemeye odaklanmışlardır. Aras v.d. (2007a) ve Luis v.d (2009) çalışmalarını baz almışlardır. Brandeau ve Chiu (1993) başkalarının çalışmalarından farklı olarak, Cooper'ın ALA sezgisel metodunun en kötü durumdaki davranışını deneylerle incelemişlerdir. Optimal hedef fonksiyon değerleri için güven aralığı değerlerini istatistiksel olarak tahminleyebilmek için Cooper'ın ALA sezgiselini kullanarak rasgele örnekler oluşturmuşlardır.

Chen (2011) KKÇKWP üzerinde çalışmıştır. Doğrusal olmayan ikinci derece koni programı (second-order cone program, SOCP) adını verdikleri yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntemdeki ana fikir asıl problemi doğrusal olmayan SOCP şeklinde dışbükey olmayan hedef fonksiyon olarak formüle dönüştürüp, logaritmik bir engel terimi ve ikinci dereceden bir orta nokta terimi eklemektir. Yaptıkları 18 deneyin bazılarında global optimum çözümü elde etmişlerdir.

Harris v.d. (2011) kapasite kısıtlı tesis yer seçimi problemi için Lagranj gevşetmeli evrimsel çok amaçlı algoritma önermiştir. Maliyetleri ve karbondioksit salınımını bir arada dikkate almışlardır. Aday tesislerin hangilerinin açılacağı ve kapasite kısıtını gözeterek hangi müşterilerin hangi tesise atanacağı kararlarını iki kademede vermek için önce basit evrimsel çok amaçlı optimizasyon (Simple Evolutionary Multi-objective Optimization 2 SEAMO2) algoritmasıyla açılacak tesisleri belirlemiş, sonra Lagranj gevşetme tekniğiyle müşterilerin açılan tesislere atamalarını yapmıştır.

Luis v.d. (2011), aç gözlü rasgele uyarlanabilir arama prosedürü (Greedy randomized adaptive search procedure, GRASP) içerisinde sınırlı aday listesi (restricted candidate list, RCL) oluşturmak için uyarlanabilir öğrenme (adaptive learning) ve fonksiyonel gösterim kullanan bir çerçeve ortaya koymuştur. Önceden varolan tesislere çok yakın yerlere tesis kurulmasını engellemek üzere yasak bölgeler uygulanmış ve verimli bir şekilde sınırlı aday listesi (RCL) oluşturmak için taramanın içerisine yerleştirilmiştir. Eşit ve farklı kapasitelere sahip tesisler içeren üç farklı tip veri setinde denenen GRASP, literatürde bilinen en iyi sonuçlarla rekabet edebilecek, oldukça başarılı sonuçlar elde etmiştir.

Önceden de belirtildiği gibi, KKÇKWP düzlem üzerindeki n adet kapasitesi kısıtlı tesisin m adet müşterinin belirli bir mala olan ihtiyacını en az taşıma maliyeti ile karşılamakla ilgilenmektedir. Bu problem konveks değildir ve çok zor bir optimizasyon problemidir. Akyüz v.d. (2012), birden çok farklı ürünün taşındığı KKÇKWP problemi üzerine çalışmıştır. Müşterilerin yerleri, talep miktarları ve her ürünle ilgili tesis kapasite kısıtları ile birlikte taşıma engelleri önceden bilinmektedir. Taşıma maliyetleri uzaklığın yanı sıra, ürün tipine de bağlıdır. Farklı stratejiler kullanan, bir takım yer seçimi-atama ve kesikli yaklaşım (discrete approximation) metodları geliştirmişlerdir. Lagranj gevşetme ve kesikli yaklaşım yöntemlerine dayalı olan üç farklı yaklaşım çözümü geliştirmişlerdir.

Boyacı v.d. (2013), konveks olmayan, zor bir optimizasyon problemi olan KKÇKWP probleminin çözümü için yaklaşım (approximation) metodları önermiştir. Bazıları kapasite kısıtının gevşetilmesi ve (subgradient) algoritmasının uygulanmasına dayanmaktadır. Üretilen Lagranj alt problem kolon üretme (column generation) ve dal-fiyat (branch and price) yaklaşımı ile çözülmektedir. Diğerleri karma tamsayı

doğrusal programlama formülasyonuna dayanmaktadır. Detaylı deneysel analiz çalışmaları yapılmıştır.

Hosseininezhad v.d. (2015) bölge bazında değişen sabit tesis kurulum maliyetini dikkate alan bir çalışma yapmışlardır. İlk olarak doğrusal olmayan ve karma tamsayı formülleri sunulmuştur. Yeni bir yoğunluk fonksiyonu ile birlikte üç aşamalı meta-sezgisel (Cross Entropy) önerilmiştir. Birinci aşamada yer seçimi için çok değişkenli normal dağılım fonksiyonu sağlanarak stokastik problem çözülmüştür. İkinci aşamada çok terimli yoğunluk fonksiyonu dikkate alınarak tesis atamaları elde edilmiştir. Üçüncü aşamada tek tesisli sürekli tesis yer seçimi problemleri çözülmüştür.

Luis v.d. (2015) bu çalışmada KKÇKWP'ne sabit kurulum maliyetlerini de dikkate alarak güdümlü yapıcı sezgisel yöntem önermiştir. Bu çözüm yasak bölgeler ile aç gözlü rasgele uyumlu arama prosedürünü (greedy randomized adaptive search procedure GRASP) hibrit olarak kullanır. Literatürde kapasite kısıtsız ÇTWP problemleri için kullanılan dört veri setine yapay olarak tesis kapasiteleri ve sabit kurulum maliyetleri eklenerek deneyler yapılmıştır.

Akyüz (2017) KKÇKWP probleminin çok yüzlü engeller içeren hali üzerinde çalışmıştır. Tesis yerleri ve taşıma yolları için kullanılamayacak olan engelli bölgeler problemi daha da zor hale getirmektedir. Bu çalışmada iki ALA ve iki ayrık yaklaşım sezgisel yöntemi önermiştir. Rasgele değerlerle üretilmiş veriler üzerinde yapılan deneylerde verimli sonuçlar elde edilmiştir.

Akyüz v.d. (2018) birden çok ürünlü kapasite kısıtlı çok kaynaklı Weber probleminin kesin çözümü için iki dal-sınır algoritması önermiştir. Birinci algoritma atamalar uzayını bölümlere ayırırken, ikinci algoritma yer seçimi uzayını bölümlere ayırmaktadır. İki alt sınır planı tanımlayıp, farklı dal ayrımı stratejilerini test etmişlerdir.

Lara v.d. (2018) kapasite kısıtlı çok tesisli Weber problemini ana problem ve alt problem olarak ikiye ayrıştırarak ele almıştır. Önerdikleri iki kademeli ayrıştırma algoritması tekrarlamalı olarak modeli karma tamsayı doğrusal programlama ile çözerken, kesikli değişkenlerin seçilmesi için dışbükey olmayan doğrusal olmayan programlama uygulamaktadır. Müşteri sayısı 2 ile 40 arasında, tesis sayısı 2 ile 32

arasında ve tek tip ya da iki ve üç farklı tip tesis kurulmasıyla ilgili deneyler yapmışlardır. Önerdikleri çözüm genel amaçlı global optimizasyon çözüm araçlarından daha iyi sonuç vermiştir. Orijinal ÇTWP'ne ek olarak, sabit tesis kurulum maliyetlerini, taşıma sabit maliyetlerini ve müşteri ve tedarikçi olarak iki tip sabit noktayı dikkate almışlardır.

Kapasite Kısıtlı Çok Kaynaklı Weber Problemi – Özel Durumlar

Düz bir hat üzerinde kapasite kısıtlı yer seçimi problemi

Bu tip problem düz bir hat üzerinde kurulması planlanan kapasiteleri kısıtlı olan bir kaç tesisin yerinin belirlenmesi gerektiğinde ortaya çıkar. Tesislerin kurulum maliyeti, kendi arasında farklılık gösterse de tesislerden müşterilere hizmet sunma maliyeti, varsa daha önceden kurulu olan tesislerden yapılan talep miktarları baştan bilinmektedir. Problem, kaç yeni tesis kurulacağı, tesislerin hat üzerindeki yerleri ve mevcut tesislerin verdiği hizmetin yeni tesislere atanması ile ilgili değerleri toplam kurulum ve işletme maliyetlerini en azlayacak bir çözümü bulmayı amaçlamaktadır.

Love (1976) bu konuda öncü olan ilk çalışmayı yapmıştır. Dinamik programlama ile hem tesis yer seçimi, hem de atama adımlarını çözmüştür. Mirchandani v.d. (1996) bu alanda iki tip problem üzerinde durmuştur. Bunlar (i) tüm müşterilerin ihtiyacını en az toplam işletme maliyeti ile karşılamayı amaçlayan "kapsama problemi", (ii) müşterilere sunulan hizmetten gelir elde ederken, en fazla q adet tesis kurarak giderleri sınırlı tutan "kar maksimizasyonu problemidir". Polinom zamanlı dinamik programlama algoritmaları geliştirerek bu iki problemi çözmüşlerdir.

Brimberg ve Mehrez (2001) hat üzerine kurulacak olan tesislerin yerlerini ve boyutlarını belirleyen bir model önermiştir. Problemin genel hali, bilinmeyen sayıda ve bilinmeyen kapasitelerde tesislerin hat üzerindeki yerinin belirlenmesini ve aynı zamanda taleplerin tesislere atanmasını içerir. Dinamik programlama metodu ile sunulan çözümde, müşteriler tek bir tesisten hizmet almak zorunda değildir. Tek boyutlu yer seçimi ve atama probleminin kapasite kısıtlı versiyonunu formülleştirip analiz ederek, modelin pratik hayatta daha geniş alanlarda uygulanabilmesi amaçlanmıştır. Ortaya konan modelde belirli kapasiteye sahip en fazla p adet yeni homojen tesisin hat üzerindeki yeri ile beraber tesisin yerine bağlı olarak değişen bir tesis kurulum maliyeti ele alınarak, pratik hayattaki bölgesel düzenleme kuralları da

hesaba katılmıştır. Böylece yeni tesisler önceden verilmiş belirli yerlerle sınırlı kalmayıp, optimum çözümün önerdiği herhangi bir yere kurulabilmektedir.

Takip eden bir çalışmada Brimberg v.d. (2001), eşit kapasite kısıtı ve sabit maliyete sahip, belirli sayıda yeni tesisin, toplam taşıma maliyetini ve toplam sabit maliyeti minimize edecek şekilde, hat üzerine herhangi bir noktaya yerleştirilebilmesi için dinamik programlama algoritması ile çözüm bulmuştur. Kapasite kısıtının yeni tesislerin optimum yeri üzerindeki etkisini analiz etmiştir. Yapılan bu çalışmada, değişken maliyetlerin, taşıma uzaklığına bağlı olarak artan konveks fonksiyonu olarak ifade edilmiştir.

Eben-Chaime v.d. (2002), hiyerarşik dağıtım ağlarının tasarımı sırasında karşılaşılabilecek olan, hat üzerinde kapasite kısıtlı tesis yer seçimi ve atama problemini incelemiştir. İncelenen problemde, tesisler mutlaka hat üzerinde olmalı, fakat talep noktaları hat dışındaki yerlerde olabilmektedir. Problemin çözümü için, hem dik doğrusal uzaklık, hem Öklid uzaklık için karma tamsayılı matematik programlama modeli geliştirmişlerdir. Dinamik programlama ve hedef değerler için alt sınır değerlerine dayanan bir sezgisel çözüm önererek problemi çözmüşlerdir.

Olasılık ve bulanık değerler

KKÇKWP probleminin deterministik versiyonunda müşterilerin yerleri ve talep miktarları önceden kesin olarak bilinmektedir. KKÇKWP konveks olmayan bir optimizasyon problemidir ve çözümü zordur. Gerçek hayat uygulamaları bu şartlara uymayabilir. Acil servis yerlerinin belirlenmesi bunun tipik bir örneğidir. Acil yardım çağrısının ne zaman ve nereden geleceği bilinemeyeceği için, bu yerlerin rasgele konumlardan oluşacağı varsayılabilir. Problemin olasılıkları da dikkate alan bu versiyonu olasılıklı kapasite kısıtlı çok kaynaklı Weber problemi-OKKÇKWP (probabilistic capacitated multi source Weber problem-PCMSWP) olarak isimlendirilir. Talep konumları ikili olasılık yoğunluk fonksiyonu (bivariate probability density function) ile dağılım gösteren iki boyutlu vektörler halinde belirlenir.

Altınel v.d. (2009), çalışmasında problemin bu olasılıklı halini ele almış ve talep noktalarının ikili olasılık dağılım fonksiyonuna göre rasgele yerlerde olduğu kabul edilen durumu değerlendirmiştir. Matematiksel programlama ile problemi formüle

edip, deterministik problemde kullanılan ALA metodunu genelleştiren bir yerel arama sezgiseli önermişler ve tahmin edilen uzaklık değerlerini kullanarak problemi çözmüşlerdir.

Amiri-Aref ve Keramatlu (2012), dik doğrusal uzaklık ölçütü için çok ürünlü KKÇKWP problemini, olasılıklı talep noktalarına göre ele almışlardır. Çözüm için kesin ve yaklaşık beklenen uzaklık fonksiyonu problemi çözmek için kullanılır. ATL sezgiseli ile problem çok ürünlü taşıma alt problemi ve salt atama alt problemi olarak, hedef fonksiyonda iyileşme olmayana kadar dönüşümlü olarak çözülür.

Küçükdeniz v.d. (2012), KKÇKWP probleminin çözümünde, bulanık c-ortalamalar (fuzzy c-means) kümeleme algoritması ve konveks programlama entegre edilmiştir. Bulanık c-ortalama algoritması kullanılarak, bir talep noktası farklı aidiyet dereceleri ile birden çok tesise atanabilir. Bu özellik talebin farklı tedarik merkezleri arasında bölünmesi için kullanılır. Kurulacak tesis sayısı önceden bilinmemektedir. İki tesis ile başlayarak, müşterilerin tüm talebi karşılacak şekilde tesis sayısı arttırılarak denenir. Tesislerin sabit kurulum maliyetleri de dikkate alınır. Her küme kendi içinde tek tesis yerleştirme problemi olarak konveks programlama ile çözülür. Bu şekilde, tesis yerlerinin toplam taşıma maliyetini optimize edecek şekilde ince ayar yapılır. Önerilen yöntem, literatürde bilinen problemlere (OR-library, Osman ve Christofides, 1994) uygulanmış, sonuçlar ağırlık merkezi ve parçacık sürü zekası optimizasyonu algoritmalarının sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, algoritma Türkiye'de asfalt üreten bir firmanın verileri için de çalıştırılmış, orijinal bulanık c-ortalamalar algoritması sonuçları ve bulanık c-ortalamalar algoritması ile entegre olarak ağırlık merkezi metodu sonuçlarından daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Kapasite Kısıtlı Tek Kaynaklı Weber Problemi (KKTKWP)

Single-Source Capacitated Multi-Facility Weber Problem (SSCMFWP).

KKTKWP üzerine yazılmış yayın sayısı çok azdır.

Gong v.d. (1997), sürekli düzlemde kapasite kısıtlı Weber problemini, Tek kaynaklı olarak ilk kez tanımlamış ve Hibrit Evrimsel Metod ile çözmüşlerdir. Yer seçimi fazında Genetik Algoritma uygulayıp, atama fazında ise Lagranj Gevşetme ile çözüm bulmuşlardır.

Doong v.d. (2007), aynı problemi, kurulacak tesis sayısının baştan belirli olmadığı ve tesislerin kurulum maliyetlerinin söz konusu olduğu halini ele almıştır.

Manzour-al-Ajdad v.d. (2012), problemi iki aşamalı tekrarlamalı bir sezgisel algoritma ile çözmüşlerdir. Birinci aşamada tesis yerlerinin belirlenmesinde zenginleştirilmiş ALA sezgiseli, ikinci aşamada atamaları belirlemek için Weiszfeld metodunu uygulamışlardır. Ayrıca, karşılaştırma amacıyla birinci aşamada Tavlama Benzetimi de kullanmışlardır. Literatürdeki örnek veri setleri üzerinde yaptıkları denemelerde, önerilen metod, kendi önerdikleri Tavlama Benzetimi yöntemi ile ve BARON doğrusal programlama çözücüsü ile karşılaştırıldığında üstün sonuçlar vermiştir. BARON çözücü küçük problemler için optimal değerler, orta problemler için üst sınır değerler bulmak için kullanılmıştır.

Guastaroba v.d. (2014) KKTKWP'ni bir ikili tamsayı doğrusal programlama problemi olarak ele alıp çekirdek tarama (Kernel Search) sezgisel yöntemini kullanan bir çözüm önermiştir. Bazı değişkenleri sabit tutan varyantları daha verimli sonuçlar üretmiştir. Literatürde geçen 170 problem verisinin 165'i için optimal çözümler elde etmişlerdir.

lrawan v.d. (2017) sabit tesis kurulum maliyetleri olan KKTKWP üzerinde çalışmıştır. Çok kademeli kapasite tipleri ve kapasiteye ve bölgeye bağlı sabit maliyet içeren bir matematik model sunmuşlardır. Üçgenler kullanarak dışbükey poligonlar oluşturarak yapay veri setleri üretmişlerdir. İki aşamalı sezgisel yöntem olarak bir kesin yöntem olan toplanma kavramını ve Cooper (1964) alternatif yer seçimi ve atama (ALA) metodu bir arada kullanılmıştır. Değişken komşu tarama (Variable Neighbourhood Search) yöntemi de çözümün içerisine yerleştirilmiştir.

2.7. KAPASİTE KISITLI KESİKLİ YER SEÇİMİ PROBLEMLERİ (KKKYSP)

Kapasite kısıtlı kesikli yer seçimi probleminin çözümü için bugüne kadar geliştirilen algoritmaların çoğunda dal sınır tekniği kullanılmıştır. Bu algoritmaların temel farkı, alt sınırın hesaplama şekline bağlıdır. 1. Gevşetme tipi, 2. gevşetilmiş problemin çözümü için uygulanan algoritma, 3. alt sınırların güçlendirilmesi. Bilindiği gibi alt sınırın gücü dal sınır tekniğinin verimliliğinde önemli bir rol oynamaktadır.

Sá (1969), orijinalinde 0 ve 1 değerleri alan (y_j) tesis açılma değişkenini gevşeterek, $\frac{1}{b_j}\sum_i w_i z_{ij}$ şeklinde tesise atanacak olan müşteri taleplerinin (w_{ij}) toplamının tesis kapasitesine (b_j) oranı olarak ifade etmiştir. Böylece problemi taşıma problemi olarak çözebilmiş ve optimal çözüm için alt sınır değerleri elde etmiştir. Aynı zamanda, iki aşamalı bir sezgisel yöntem önermiştir. İlk fazda, çıkartma ve ekleme (DROP ve ADD) adımlarını dönüşümlü olarak, daha fazla iyileşme elde edilemeyene kadar sürdürmüştür. İkinci fazda, kaydırma (SHIFT) ve düğüm yer değiştirme yöntemi (vertex substitution method - VSM) ardışık olarak uygulanmıştır.

Khumawala (1974), 1973 yılında kapasite kısıtsız tesis yer seçimi problemi için önerdiği sezgisel yaklaşımı, kapasite kısıtlı depo yer seçimi için uygulamıştır. Dallanma karar kuralı (branching decision rule) için en büyük delta, en büyük omega, en küçük delta ve en küçük omega adında dört karar önermiştir. Önerilen algoritmanın daha önce Sá (1969) tarafından önerilenden daha güçlü olduğu gösterilmiştir. Fakat, her düğümdeki olası çözümleri elde etmek için gereken hesaplama nedeniyle, 50 müşteri ve 25 tesis büyüklüğündeki bazı problemlerde bile makul bir hesaplama süresinde sonuç alınamamıştır.

Akınç ve Khumawala (1977), taşınabilecek mal miktarına sınırlama getirerek, verimli bir dal-sınır algoritması ile kapasite kısıtlı depo yer seçimi problemini çözmüşlerdir. Daha sıkı alt sınırlar, düğüm seçimi ve dallanma için kurallar geliştirmişlerdir. Açık ve kapalı tesisleri sabitlemek için önerdikleri kurallar sayesinde problemlerin büyüklüğü ve karmaşıklığı azaltılmıştır.

Christofides ve Beasley (1983), kapasite kısıtlı depo yer seçimi problemini zenginleştirilmiş Lagranj gevşetme (Lagrangean Relaxation) tekniği ile incelemişlerdir. Bir karma tamsayı formülasyonunun Lagranj gevşetilmesiyle

bulunan bir alt sınır ve bu alt sınırın maksimizasyonu için bir aşamalı optimizasyon yöntemi (subgradient optimization) önermişlerdir.

Jacobsen (1983), önceden kapasite kısıtsız yer seçimi problemi için önerilmiş üç sezgisel metodu her tesiste eşit miktarda kapasite kısıtı olan tesis yer seçimi problemi için genelleştirmiştir. Ele aldığı üç sezgisel ADD-DROP-SHIFT (Kuehn ve Hamburger, 1963, Feldman v.d., 1966), ALA (alternate location allocation) (Cooper, 1964, Rapp, 1962) ve VSM (vertex substituting method) (Teitz ve Bart, 1968) segizel yöntemleridir. Aynı zamanda bu sezgisellerin değiştirilmiş hallerini de ele almıştır. Khumawala (1974) tarafından önerilen en büyük omega kuralı gibi ADD-LO, ADD-HI sezgisel yöntemlerini denemiştir, çünkü ADD ve DROP işlemleri sırasında bütün taşıma problemlerini kesin olarak çözmek oldukça fazla zaman almaktadır. Sonuç olarak, maliyet azaltımını kesin olarak hesaplamak yerine, maliyet için bir alt sınır ya da azalma miktarı için üst sınır ile değiştirerek daha az çabayla hesaplama yapabilmiştir.

Domschke ve Drexl (1985), farklı kapasitelere sahip tesislerin yer seçimi problemi için ADD sezgiselini daha iyi başlangıç çözümleri ile başlatan prosedür önermiştir. ADD sezgiselini başlatmak için dört öncelik kuralı ortaya koymuşlardır.

Van Roy (1986), kapasite kısıtlı tesis yer seçimi probleminin çözümü için çapraz ayrıştırma (cross decomposition) metodunu kullanmıştır. Uyguladığı yöntem Benders Ayrıştırma (Benders Decomposition) ve Lagranj Gevşetme (Lagrangean Relaxation) metodlarının tek bir altyapıda birleşimidir ve taşıma problemi ile basit tesis yer seçimi probleminin art arda çözülmesini kapsar. Bu metod 100 tesis ve 200 müşteri boyutuna kadar problemlerde iyi sonuçlar vermiştir.

Beasley (1993), Lagranj gevşetme sezgiseli ile dört çeşit yer seçimi problemini çözmüştür. Bunlar, p-medyan, kapasite kısıtsız depo yer seçimi, kapasite kısıtlı depo yer seçimi ve kapasite kısıtlı ve tek kaynaklı yer seçimi problemidir. Bu sezgiselde alt limitler bulunup, aşamalı optimizasyon metodu (subgradient optimization) uygulanarak bir uygun çözüm geliştirilir. 1986'da Beasley tarafından tanımlanan 45 test problemi üzerinde denenmiş ve kaliteli sonuçlar alınmıştır.

Agar ve Salhi (1998), Lagranj gevşetme sezgiseli ile çeşitli sayıda büyük boyutlu, kapasite kısıtlı tesis yer seçimi problemlerini çözmüştür. Bunların arasında tek

kaynaklı, farklı kapasitelere sahip tesis yer seçimi problemleri de vardır. Problemi çözmek için Kırca ve Şatır'ın (1990) ortaya koyduğu yaklaşık Taşıma Problemi metodunu kullanmışlardır. Değiştirilmiş yerel kaydırma (modified local shift – MFS) adını verdikleri yeni bir tarama prosedürünü kullanarak hedef fonksiyon değerini iyileştirmişlerdir.

Holmberg v.d. (1999), kapasite kısıtlı tek kaynaklı tesis yer seçimi problemleri için Lagranj sezgiseli ile aşamalı (subgradient) optimizasyon metodunu, tekrarlayan eşleme sezgiseli ve dal sınır algoritmasını birlikte uygulamıştır. Deney sonuçlarına göre, Lagranj sezgiseli ile birlikte aşamalı (subgradient) optimizasyon metodu uygulandığında problem için güçlü alt sınırlar bulunabildiği görülmüştür. Tekrarlayan eşleme sezgiseli optimal ya da optimale yakın çözümleri hızlıca bulma konusunda güçlü olduğu ortaya çıkmıştır. Dal sınır algoritmasıyla birlikte uygulanan Lagranj sezgiselinin tek kaynaklı kapasite kısıtlı yer seçimi problemi için çok verimli bir kesin çözüm yöntemi olduğu düşünülebilir.

Ahuja v.d. (2004), tek kaynaklı kapasite kısıtlı tesis yer seçimi problemi için güçlü bir çoklu-değiştirme sezgiseli uygulamıştır. Çok büyük komşuluk aramasının (VLSN-very large scale neigbourhood search) iki yapısını kullanarak müşteri değiştirme ve tesis hareketlerine dayalı bir şema geliştirmişlerdir. Yerel iyileştirme fikirleri ve baştan başlama mekanizmaları da araştırılmıştır.

Wu v.d. (2006), yerlerin ve tesislerin kurulum maliyetini dikkate alan ve aynı bölgeye birden çok tesisin kurulmasına izin veren bir karma tamsayı doğrusal programlama modeli kurup, CPLEX yazılımı ile çözmüştür. Ayrıca Lagranj gevşetme tabanlı bir sezgisel metod önermişlerdir.

Klose ve Görtz (2007), bir dal fiyat (branch-and-price) algoritması ortaya koymuştur. Bu algoritmada talep kısıtları gevşetilerek, aşamalı (subgradient) optimizasyon metodu ve ağırlıklı ayrıştırma (weighted decomposition) metodu hibrit olarak birleştirilmiştir. Optimal sonucu hesaplamak için, dal fiyat algoritması içinde dengelenmiş kolon üretme (stabilized column generation) metodu kullanılmıştır.

Chen ve Ting (2008), tek kaynaklı kapasite kısıtlı tesis yer seçimi problemini çözmek için Lagranj sezgiseli ve Karınca Koloni Sistemini kullanmıştır.

Lin (2009), tek kaynaklı tesis yer seçimi probleminin stokastik versiyonunu ele almıştır. Servis verilecek talep noktalarının talebi stokastik ve tesislerin hizmet düzey gereksinimleri belirsizdir. Problemin alt ve üst limitlerini bulmak için, Lagranj gevşetme sezgiseli ile tek-müşteri-çoklu-değiştirme komşuluk arama sezgiseli hibrit olarak uygulanmıştır .

Wang v.d. (2011), iki kademeli tedarik zincirinde stokastik talep için yer seçimi ve atama problemini genetik algoritma ve aç gözlü sezgisel ile çözmüştür.

Fazel-Zarandi ve Beck (2012), kapasite kısıtı ve taşıma uzaklığı sınırı olan tesis yer seçimi ve atama probleminin çözümü için mantık tabanlı (logic-based) Benders ayrıştırma (decomposition) kullanarak, tamsayı programlama ve kısıt programlama (constraint programming) hibrit yaklaşımı sunmuşlardır.

ÖZET

2nci bölümde yer seçim problemlerinin matematiksel tanımı yapılmış ve problemler hakkında literatürdeki çalışmalar gözden geçirilmiş ve özellikle sürekli yer seçimi problemine ağırlık verilmiştir. İlk kısmında yer seçimi analizi alanındaki bazı yayınlardan bahsedilmiştir. Sonraki bölümler, çok tesisli Weber problemi (ÇTWP) (multi-facility Weber Problem) olarak da bilinen kapasite kısıtsız sürekli yer seçimi problemi, yasak bölgeler ve seyahat engelleriyle sınırlandırılmış Weber problemi, sabit maliyetli ÇTWP ve kapasite kısıtlı ÇTWP üzerinde yoğunlaşmıştır. Konunun bütünlüğü için bir hat üzerinde kapasite kısıtlı yer seçimi problemine ve kapasite kısıtlı kesikli yer seçimi problemine de değinilmiştir. Bu bölümde adı geçen makalelerin özeti Tablo 2-4'te gösterilmiştir.

Tablo 2-4: Tesis yer seçimi problemlerinin literatür tarama özeti

					Kesin metotlar	Sezgiseller	Meta-sezgiseller
Tesis yer seçimi problemleri	Sürekli	Kapasite kısıtsız	Sabit maliyet olmayan		Kuenne ve Soland (1972), Wendell ve Hurter (1973), Ostresh (1973,1975), Love ve Morris (1975), Drezner (1984), Chen v.d. (1992, 1998), Rosing (1992), Brimberg ve Love (1998), Krau (1997), Hansen v.d. (1997), Righini ve Zaniboni (2007), Pfeiffer ve Klamroth (2008)	Cooper (1964), Sullivan ve Peters (1980), Love ve Juel (1982), Murtagh ve Niwattisyawong (1982), Chen (1983), Moreno (1991), Bongartz, Calamai ve Conn (1994), Hansen v.d. (1998), Lozano v.d. (1998), Brimberg ve Mladenoviç (1999), Gamal ve Salhi (2001), Taillard (2003), Hsieh ve Tien (2004), Aras, Özkısacık ve Altınel (2006), Esnaf v.d. (2009), Küçükdeniz v.d. (2018)	Liu, Kao ve Wang (1994), Brimberg ve Mladenoviç (1996a, 1996b), Houck, Joines ve Kay (1996), Ohlemüller (1997), Brimberg v.d. (2000), Salhi ve Gamal (2003), Brimberg v.d. (2006), Jabalameli ve Ghaderi (2008), Neema v.d. (2011), Ghaderi v.d. (2011), Ghaderi v.d. (2013), Drezner v.d. (2015), Pacheco v.d. (2015), Gergin v.d. (2019)
			Sabit maliyet olan		Brimberg ve Salhi (2005)	Brimberg, Mladenoviç ve Salhi (2004), Brimberg ve Salhi (2005), Shavarani v.d. (2018)	Abdullah v.d. (2008)
			Yasak bölgeler, geçiş engelleri		Larson ve Sadiq (1983), Batta, Ghose ve Parlekar (1989), Aneja ve Parlar (1994), Klamroth (2004), Pfeiffer ve Klamroth (2005)	Katz ve Cooper (1981), Hansen, Peeters ve Thisse (1982), Hamacher ve Nickel (1995), Butt ve Cavalier (1996), Hamacher ve Klamroth (2000), Klamroth (2001a, 2001b), McGarvey ve Cavalier (2003), Klamroth (2004), Pfeiffer ve Klamroth (2008), Bischoff v.d. (2009), Canbolat ve Wesolowsky (2010)	Bischoff ve Klamroth (2007), Stojanović v.d. (2017)
		Kapasite kısıtlı	Düzlem üzerinde	Çok kaynaklı	Cooper (1972), Sherali ve Shetty (1977), Selim (1979), Sherali ve Tunçbilek (1992), Sherali, Ramachandran ve Kim (1994), Sherali, Al-Loughani ve Subramanian (2002), Chen (2011), Akyüz v.d. (2018), Lara v.d. (2018)	Cooper (1972, 1976), Zainuddin ve Salhi (2007), Aras, Altınel ve Orbay (2007a), Aras, Orbay ve Altınel (2008), Altınel v.d. (2009), Luis (2009), Akyüz v.d. (2010), Harris v.d. (2011), Luis (2011), Akyüz v.d. (2012), Amiri-aref ve Keramatlu (2012), Boyacı v.d. (2013), Hosseininezhad v.d. (2015), Luis v.d. (2015), Akyüz (2017)	Gong v.d. (1997), Zainuddin v.d. (2004), Aras, Yumuşak ve Altınel (2007b), Küçükdeniz v.d. (2012)
				Tek kaynaklı		Manzour-al-Ajdad v.d. (2012), Guastaroba v.d. (2014), lrawan v.d. (2017)	Gong v.d. (1998), Doong v.d. (2007), Manzour-al-Ajdad v.d. (2012)
			Hat üzerinde	Çok kaynaklı	Love (1976), Mirchandani, Kohli ve Tamir (1996), Brimberg ve Mehrez (2001), Brimberg, Korach, Eben-Chaime ve Mehrez (2001)	Eben-Chaime, Mehrez ve Markovic (2002)	-
				Tek kaynaklı			
	Kesikli	Kapasite kısıtlı	Çok kaynaklı		Sa (1969), Akınç ve Khumawala (1977), Beasley (1983), Christofides ve Beasley (1983), Van Roy (1986), Wu, Zhang ve Zhang (2006)	Khumawala (1974), Jacobsen (1983), Domschke ve Drexl (1985), Sridharan (1991, 1995), Beasley (1993), Rönnqvist, Tragatalerngsak ve Holt (1999), Wu, Zhang ve Zhang (2006), Klose ve Görtz (2007)	Delamaire, Fernandez ve Ortega (1999), Wang v.d. (2011)
			Tek kaynaklı		Holmberg, Rönnqvist ve Yuan (1999)	Beasley (1993), Agar ve Salhi (1998), Ahuja, Orlin, Palootino, Scappara ve Scutella (2004)	Chen ve Ting (2008), Lin (2009), Fazel-Zarandi ve Beck (2012), Taneja v.d. (2014)

BÖLÜM III: YÖNTEM

Bu çalışmada ele alınan problem çeşitleri Giriş bölümünde Tablo 1-2'de verilen 15 ölçütten oluşan sınıflandırmaya göre, bazı ölçütlerde tek seçenek ele alarak, bazı ölçütlerde de birden çok seçeneği değerlendirerek belirlenmiştir. Bu ölçütler aşağıda Tablo 3-5'te gösterilmiştir. Burada listelenmeyen seçenekler bu tez çalışmasında ele alınmamıştır. Sabit alınmayan seçenekler ise problem tipine göre seçilmektedir.

Tablo 3-5: Tez çalışmasında ele alınan problemlerin ölçütleri

ÖLÇÜT	**SEÇENEK**
1) Karar uzayı	b. Sürekli Uzay, 2. Çok Boyutlu
2) Tesislerin geometrik tipi	a. Nokta
3) Tesisler arası etkileşim	a. Bağımsız (işbirliği yok)
4) Yeni tesislerin eski tesislere etkisi	a. Tamamı yeni kurulacak tesisler (Genelleştirilmiş Problem) 1. Yeni tesis sayısı baştan belli
5) Statik ya da dinamik planlama zemini	Statik (Talep miktarı, talep noktasının yeri, taşıma maliyeti)
6) Deterministik ya da stokastik planlama zemini	Deterministik (Talep miktarı, talep noktasının yeri, tesisler arası uzaklık)
7) Hedef fonksiyonu	a. Tek amaçlı, 3. Minisum
8) Uzaklık ölçütü	a. Öklid (Euclidean) b. Dik doğrusal (Rectilinear)
9) Kısıtlamalar	a. Tesis kapasitesi 1. Kapasite kısıtlı i. Farklı kapasitelere sahip tesisler ii. Eşit kapasitelere sahip tesisler 2. Kapasite kısıtsız
10) Seyahat zamanının miktara bağlı olması	b. Taşınan miktardan bağımsız
11) Taşıma maliyetinin miktara bağlı olması	a. Taşınan miktara bağlı b. Taşınan miktardan bağımsız
12) Tesislerle ilgili maliyetler	Sabit maliyet yok.
13) Talep atama tipi	a. En yakındaki tesis (Tek Kaynak / Single-source) b. Genel talep atama (Çok Kaynak / Multi-source)
14) Ürün çeşitliliği	a. Tek ürün
15) Hizmet sıralaması	İlgili değil.

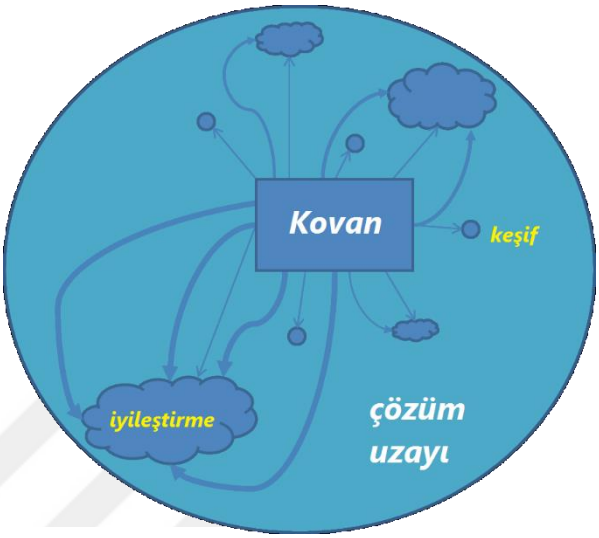
3.1. YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI

Yapay Arı Kolonisi (YAK) algoritması bal arılarının doğadaki besin arama davranışlarından esinlenerek geliştirilmiş sürü zekası tabanlı bir optimizasyon algoritmasıdır. İngilizce'de Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm olarak bilinir. Derviş Karaboğa v.d. (2005) tarafından geliştirilmiştir. Optimizasyon probleminde taranması gereken parametre sayısı kadar boyuta sahip bir çözüm uzayı oluşturulur. Bu uzaydaki her nokta potansiyel bir çözüm adayıdır. Bu noktalar, yapay arı kolonisi algoritması tarafından birer besin kaynağı olarak yorumlanır. Arılar, arama uzayında gezinirken bu konumlar arasında yer değiştirir. Her bir arı, arama uzayında, üzerinde bulunduğu besin kaynağındaki nektar miktarını ölçer. Çözümün kalitesi (uyum değeri), besin kaynağındaki nektar miktarına bağlı olarak hesaplanır. Arılar kovanlarına döndüklerinde en son buldukları iyi besin kaynağının yeri hakkında diğer arılara özel bir dans hareketi ile bilgi aktarır. Arılar konumlarını değiştirerek, koloni olarak daha iyi besin kaynaklarına ulaşmaya çalışırlar. Arılarla ilgili biyolojik deneylerde de, kovana uzak bir yere bırakılan şekerli su tabağına bir arı rastladıktan kısa bir süre sonra bir çok arının tabağa gelebildiği gözlemlenmiştir. (Frisch, 1927)

Algoritmanın belirli bir tur sayısı ya da süre boyunca çalışması sonunda, arama uzayında, arılar tarafından bulunan en uygun besin kaynağının konumu problemin çözümü olarak kabul edilir.

Yapay arı kolonisi üç grup arı türünden oluşur. Bunlar; besin kaynaklarını tutan işçi arılar (employed bees), kovana dönen işçi arıların dansını izleyip, gidecekleri besin kaynaklarını seçen gözcü arılar (onlooker bees) ve kendi başlarına rasgele arama yapan izci arılardır (scout bees). Kolonideki arıların yarısı işçi arılardan, diğer yarısı da gözcü arılardan oluşur. Algoritmanın başlangıcında, işçi arılar rasgele konumlardaki besin kaynaklarına yerleşirler ve üzerinde bulundukları besin kaynaklarının kalitesini belirlemek üzere uyum fonksiyonu ile nektar miktarlarını ölçerler. Ardından, bulundukları besin kaynağının komşuluklarında daha uygun yeni bir besin kaynağı aramaya başlarlar. Bir işçi arı, daha uygun yeni bir besin kaynağı bulduğunda, o konuma yerleşir. İşçi arılar kovana döndüklerinde geldikleri iyi besin kaynaklarının yerini özel dans hareketleri ile tarif ederler. Bu dans hareketindeki yön ve dans hareketinin uzunluğu anlamlıdır. Petekler üzerindeki dansın açısal yönü, işaret edilen besin kaynağının kovan kapısından güneşe göre yönünü tarif eder. Dans

hareketinin uzunluğu ise besin kaynağının kovandan uzaklığını ifade eder. Ayrıca, arının dans sırasındaki titreşimi hızlı ise besin miktarının fazla olduğunu belirtir. Bu dansı izleyen gözcü arılar ise, işçi arıların en son buldukları besin kaynağı konumlarını anlarlar ve buraya yakın yerleri ziyaret ederek, daha iyi besin kaynakları bulmaya çalışırlar. Belli bir iterasyon sayısı limiti kadar deneme sonunda daha uygun yeni bir besin kaynağı bulamayan işçi arılar, bulunduğu besin kaynağını da terk ederek izci arıya dönüşür ve arama uzayında rasgele başka bir konuma gider. Bu yeni konumun besin miktarının (uyum değerinin) daha iyi ya da daha kötü olmasına bakılmaksızın yer değişikliği gerçekleşir ve etraftaki yakın yerler taranmaya devam edilir.



Şekil 3-6: YAK algoritmasının çözüm uzayını taraması

Gözcü arıların işçi arıların gösterdiği besin kaynaklarından hangisine gitmek isteyeceği, olasılığa dayalı bir seçim işlemi ile belirlenir. Uyum değeri yüksek olan besin kaynaklarının gözcü arılar tarafından seçilme ihtimali daha yüksektir.

Algoritmada, işçi arılar ve gözcü arılar yerel arama yaparken, izci arılar global arama yapar. Bu sayede, Yapay Arı Kolonisi algoritmasında yerel ve global arama yetenekleri birleştirilerek optimum sonuca yakınsama hızı arttırılır. (Gözde, 2010) Başka bir deyişle, YAK algoritması arama uzayındaki yerel çözümleri iyileştirme (exploitation) ve yeni çözümler keşfetme (exploration) kabiliyetlerinin ikisine de sahip olduğu için, yerel optimum çözüm noktalarına takılmadan daha iyi çözümlere ulaşabilme yeteneğine sahiptir. Bu özellik Şekil 3-6'da gösterilmiştir.

YAK algoritmasında her araştırma döngüsü, işçi arıları yiyecek kaynaklarına göndererek nektar miktarlarının değerlendirilmesi, yiyecek kaynakları hakkındaki nektar bilgisi paylaşımından sonra gözcü arılarca yiyecek kaynağı bölgelerinin seçimi ve nektar miktarlarının değerlendirilmesi, izci arıların yeni yiyecek kaynaklarına rasgele gönderilmesi olmak üzere üç temel adımdan oluşur. (Tapkan, 2010)

Bu tez çalışmasında Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının seçilmesinin sebepleri şunlardır:

a. Yapay arı kolonisi algoritması birçok optimizasyon problemi için başarılı bir şekilde uygulanmıştır.
b. Bireyler aralarındaki bilgi paylaşımı yardımı ile iyi çözümler etrafındaki bölgeleri tarayarak, çözümü olabildiğince iyileştirirler ve daha iyi çözümleri bulurlar.
c. Bağımsız bireylerin rasgele yerlere sıçrama davranışı ile, daha önceden bulunan iyi çözümlerden çok farklı yeni çözümleri keşfedebilirler. Yerel optimum noktalara takılı kalmazlar.

Yapay Arı Kolonisi algoritmasının temel adımları aşağıda belirtilmiştir:

İşçi arı sayısı kadar besin kaynağı konumunu rasgele belirle ve nektar miktarlarını hesapla

Tekrarla Durdurma kriteri sağlanana kadar

İşçi arıları bulundukları besin kaynaklarının yakınındaki yerlere gönder ve nektar miktarlarını hesapla

Gözcü arıları besin kaynaklarına gönder ve nektar miktarlarını hesapla

Rasgele yeni besin kaynakları bulmaları için izci arıları gönder

O ana kadarki en iyi besin kaynağını hafızada tut

Tekrar sonu

Yapay Arı Kolonisi algoritmasında öncelikle başlangıç parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Algoritmanın avantajlarından birisi de parametre sayısının az olmasıdır. (Gözde, 2010)

Başlangıçta belirlenmesi gereken üç adet parametre vardır. Bunlar;

Besin kaynağı sayısı (İşçi arı sayısı): Her bir besin kaynağında yalnızca bir adet işçi arı bulunmaktadır. Dolayısı ile bu parametre toplam arı sayısının yarısını oluşturmaktadır.

Besin Kaynağı Limiti: İşçi arıların bir besin kaynağında, yer değiştirmeden en fazla alabileceği besin miktarı. Bu miktar kadar yineleme tamamlandıktan sonra işçi arı izci arıya dönüşür.

İterasyon sayısı: Algoritmanın en fazla kaç tur koşturulacağını belirleyen parametredir. Çalışma süresi olarak da verilebilir.

Başlangıç safhasında işçi arılar rasgele olarak besin kaynaklarına gönderilir. Bu işlem, *S* adet besin kaynağı içeren x_{mi} matrisinin elemanlarının formül 3.1 ile rasgele atanmasıyla gerçekleşir.

$$x_{mi} = l_i + rand(0,1)(u_i - l_i) \quad m = 1, \dots, S \;\; i = 1, \dots, n \tag{3.1}$$

Yukarıdaki eşitlikte

m indeksi *S* adet besin kaynağından kaçıncısı olduğu,

i besin kaynağını yani çözümü oluşturan konumun kaçıncı boyutu olduğu,

u_i parametrelerin üst sınırını ve

l_i ise parametrelerin alt sınırını göstermektedir.

Başlangıç safhasında işçi arıların bulunduğu ilk besin kaynağı konumları belirlendikten sonra, Yapay Arı Kolonisi algoritmasını oluşturan ve tekrarlanarak devam edecek olan üç adım aşağıda detaylandırılmıştır:

İşçi Arı Adımı

Arılar, işçi arı safhasının başında x_m matrisi ile belirtilen besin kaynaklarında bulunurlar. Bu safhada işçi arılar bulundukları besin kaynaklarının komşuluğunda yeni besin kaynakları aramak ve bu kaynakların nektar miktarlarını ölçmekle, yani uyum değerlerini hesaplamakla görevlendirilmişlerdir. Algoritmada, yeni besin kaynakları formül 3.2 ile tanımlanan v_m matrisi ile belirtilir. Önce v_m matrisi x_m matrisinden kopyalanır, sonra rasgele seçilen bir pozisyondaki değer formül 3.2'de gösterildiği gibi değiştirilir. Eşitlikte x_k rasgele seçilen bir komşu besin kaynağını, *i* rasgele seçilen parametre indeksini ve Φ [-1, 1] aralığında rasgele seçilen adım katsayısını belirtmektedir.

$$v_{mi} = x_{mi} + \phi \cdot (x_{mi} - x_{ki}) \qquad (3.2)$$

v_m matrisinin oluşturulmasının ardından, probleme uygun olarak tanımlanmış bir maliyet fonksiyonu ile bu yeni besin kaynaklarına ait uyum değerleri hesaplanır. Uyum değerleri $uym_m(x_m)$, maliyet fonksiyonu ile belirlenen $f_m(x_m)$ maliyet değeri kullanılarak formül 3.3'teki uyum fonksiyonu ile hesaplanır. İşçi arı safhasının sonunda, uyum değerleri hesaplanan besin kaynakları "aç gözlü seçim" (greedy selection) adı verilen olasılıklı bir seçim işlemi ile gözcü arılara devredilir. (Karaboğa 2005, Karaboğa ve Baştürk 2007)

$$uym_m(x_m) = \begin{cases} \dfrac{1}{1 + f_m(x_m)} & eğer \quad f_m(x_m) \geq 0 \\ 1 + |f_m(x_m)| & eğer \quad f_m(x_m) < 0 \end{cases} \qquad (3.3)$$

Gözcü Arı Adımı

İşçi arıların dışında kalan iki grup arı vardır. Bu arılar gözcü arılar ve izci arılardır. İşçi arılar, besin kaynaklarının nektar miktarlarını, yani uyum değerlerini belirledikten sonra bu kaynakların konum ve nektar miktarı bilgilerini kovanda bekleyen gözcü arılarla paylaşırlar. Bu işlemin ardından gözcü arılar, işçi arıların paylaştığı konum ve nektar bilgilerine dayanarak, olasılıklı bir hesaplama ile kendilerine bir besin kaynağı seçerler. Bu seçme işlemi, işçi arılar tarafından gösterilen uyum değerlerini kullanarak hesaplanan olasılık değerlerine bağlı olarak yapılır. Bu amaçla algoritmada rulet çarkı seçim yöntemi kullanılmıştır. Rulet Çarkı yöntemi ilerideki bölümlerde ayrıca anlatılmıştır.

$$h_m = \frac{uym_m}{\sum_{n \in S} uym_n} \qquad (3.4)$$

Formül 3.4'te h_m gözcü arı tarafından besin kaynağının seçilme olasılığıdır. Uyum değerinin toplam uyum değerine oranı ile m'nci besin kaynağının seçilme olasılığı belirlenmiş olur. Böylelikle, uyum değeri yüksek olan besin kaynaklarının seçilme olasılığı diğerlerine göre daha yüksektir. Tüm h_m değerlerinin toplamı 1'e eşittir. Her gözcü arı tarafından bir besin kaynağı seçilirken, 0 ile 1 arasında rasgele bir sayı üretilir. Tüm besin kaynakları sıra ile ele alınır, bir besin kaynağının olasılığı bu değerden büyükse, o besin kaynağı gözcü arı tarafından seçilir. Küçükse, besin kaynağının olasılık değeri rasgele sayıdan çıkartılır, kalan değer ile sıradaki besin

kaynağına bakılır. Bu şekilde gözcü arıların tamamı gideceği bir besin kaynağı seçene kadar işlemlere devam edilir. (Karaboğa 2005, Karaboğa ve Baştürk 2007)

Başka bir bakış açısıyla, besin kaynaklarının seçilme olasılıkları toplanarak toplam 1'e eşit olan bir çember etrafında (rulet çarkı gibi) dizilmiş olduğu söylenebilir.

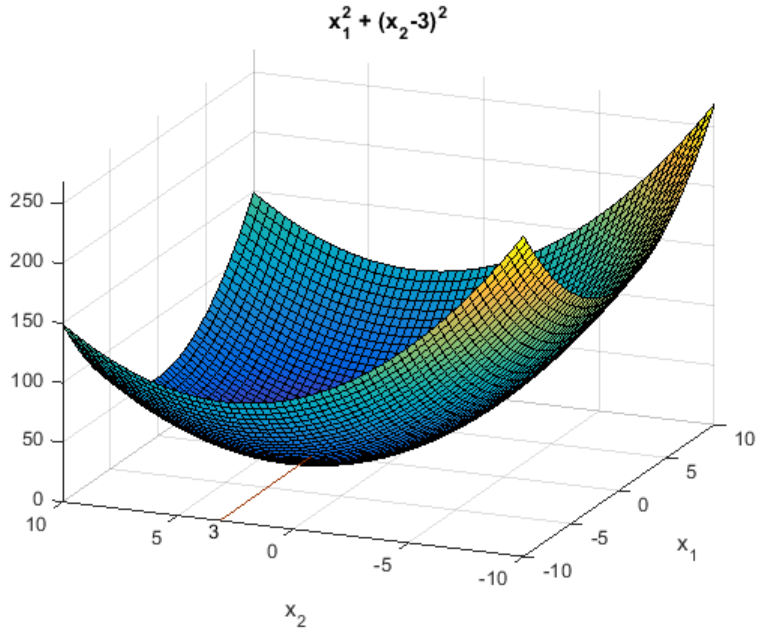
İzci Arı Adımı

Algoritma boyunca bazı besin kaynaklarının konumları o besin kaynağına bağlı olan işçi arılar tarafından geliştirilememiş olabilir. Eğer bir besin kaynağı limit parametresi kadar iterasyonda geliştirilememiş ise bu besin kaynağındaki işçi arı izci arıya dönüşür ve arama uzayında rasgele bir konuma gider. Bu konum, en başta kullanılan formül 3.1'deki gibi hesaplama ile belirlenir. Her izci arı, arama işlemine bu konumdan itibaren işçi arı olarak yeniden başlar. (Karaboğa 2005, Karaboğa ve Baştürk 2007)

YAK Algoritması Adımlarının Bir Örnek Üzerinde Gösterilmesi

YAK algoritmasındaki adımların ve hesaplamaların ilerleyişi basit bir örnek üzerinde aşağıda gösterilmiştir.

Hedef fonksiyonu: $Minimize\ f(x_1, x_2) = {x_1}^2 + (x_2 - 3)^2 \qquad x_1, x_2 \in \mathbb{R}$



Grafik 3-1: Örnek fonksiyonun 3 boyutlu görünümü

Algoritmanın çalışmasında her adımdan sonra bulunan çözümün matematiksel olarak kolayca bulabildiğimiz çözüm noktasına yaklaşması beklenir.

$f(x_1, x_2)$ konveks bir fonksiyondur ve türevi sıfıra eşit olduğu noktada (x_1, x_2) = (0, 3) konumunda fonksiyonun minimum değeri 0 olur. Fonksiyonun 3 boyutlu görünümü Grafik 3-1'de gösterilmiştir. (0,3) noktası en derin noktadır.

YAK Kontrol Parametreleri:

Tarama uzayı boyut sayısı : 2

Koloni büyüklüğü : 6 (3 işçi arı + 3 gözcü arı)

Besin kaynağı sayısı (m) = İşçi arı sayısı = 3

Besin limiti : Gözcü arı sayısı x Boyut sayısı = 3 x 2 = 6

Başlangıç konumları:

Başlangıç konumları (x) aşağıdaki denkleme göre rasgele ayarlanır:

m : 1, 2, 3 (besin kaynağı indeksi)
i : 1, 2 (boyut indeksi)
$x_{mi} = l_i + rand(0,1)(u_i - l_i)$ (3.1)
$l_1 = l_2 = 0$, $u_1 = u_2 = 5$ (l: alt limit, u: üst limit)
x_1 : besin kaynağının birinci boyut değeri
x_2 : besin kaynağının ikinci boyut değeri
$f(x_1, x_2)$: x_1, x_2 konumundaki fonksiyonun değeri

m	1	2	3
x_1	2,7	3,4	1,5
x_2	4,1	2,8	3,2
$f(x_1,x_2)$	8,5	11,6	2,29

Rasgele atanmış başlangıç konumları ve bu konumlardaki fonksiyon değerleri hesaplanıp, yukarıda gösterilmiştir. Birinci besin kaynağı için örnek hesaplama şöyledir:

$$f(2,7; 4,1) = (2,7)^2 + (4,1 - 3)^2 = 7,29 + (1,1)^2 = 7,29 + 1,21 = 8,5$$

Tur 1 – İşçi arı safhası:

İşçi arılar, bulundukları *x* pozisyonuna yakın bir *v* poziyonunu denerler ve besin miktarı daha iyi ise o konuma geçerler. Yeni *v* pozisyonu elde etmek için, formül 3.2'de gösterildiği gibi, besin kaynağı konumunu gösteren (*x*) çözüm vektörünün rasgele seçilmiş bir (*i*) boyutundaki değere, rasgele seçilmiş bir (*k*) komşu besin kaynağının aynı boyut değeri ile arasındaki farkın -1 ile 1 aralığında rasgele belirlenen bir katsayı (φ) ile çarpılıp eklenmesi ile elde edilir.

m : Hareket ettirilecek olan işçi arının bulunduğu besin kaynağının indeksi 1, 2, 3

i : İşçi arının hareket edeceği rasgele seçilmiş boyut

k : İşçi arı ile arasında uzaklığın hesaplanacağı rasgele seçilmiş bir komşu besin kaynağı

Φ : Komşu besin kaynağına ne kadar yaklaşılacağını/uzaklaşılacağını gösteren (-1, 1) aralığında rasgele bir reel sayı

v : İşçi arının hareket sonrası yeni pozisyonu

$$v_{mi} = x_{mi} + \phi \cdot (x_{mi} - x_{ki}) \qquad (3.2)$$

i, *k* ve Φ değerleri rasgele olarak üç besin kaynağı için ayrı ayrı belirlendikten sonra, *v* değerleri (3.2) formülüne göre hesaplanmış ve yeni *v* değeri kullanılarak, $f'(x_1,x_2)$ fonksiyon değeri tekrar aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

m	1	2	3
x_1	2,7	3,4	1,5
x_2	4,1	2,8	3,2
$f(x_1,x_2)$	8,5	**11,6**	**2,29**
i	1	2	2
k	2	1	2
Φ	0,3	0,5	0,4
v	2,49	2,15	3,36
$f'(x_1,x_2)$	**7,4101**	12,2825	2,3796

Hesaplanan yeni *f'(x1,x2)* değerlerine bakıldığında sadece 1nci besin kaynağı için bir iyileşme görülür ve hesaplanmış olan *v* değeri kullanılarak, besin kaynaklarının konumu aşağıdaki gibi güncellenir ve yeni uyum değerleri (3.3) formülüne göre tekrar hesaplanır:

$$uym_m(x_m) = \begin{cases} \dfrac{1}{1 + f_m(x_m)} & eğer \quad f_m(x_m) \geq 0 \\ 1 + |f_m(x_m)| & eğer \quad f_m(x_m) < 0 \end{cases} \qquad (3.3)$$

m	1	2	3
x_1	**2,49**	3,4	1,5
x_2	4,1	2,8	3,2
$f(x_1,x_2)$	**7,4101**	11,6	2,29
uym	**0,1189**	0,0794	0,3040

Tur 1 – Gözcü arı safhası:

Kovanda bekleyen gözcü arılar, besin kaynaklarından dönen işçi arıların yaptıkları arı dansındaki hareketlerden, iyi besin kaynaklarının yerini ve nektar miktarını öğrenip, oraya ulaşmak için yola çıkarlar. Gözcü arıların seçeceği besin kaynağı, her birinin nektar miktarı, yani uyum değeri ile orantılı olarak rasgele belirlenir. Uyum değerleri toplamı bulunur ve besin kaynaklarının seçilme olasılıkları (3.4)'e göre hesaplanır.

$$h_m = \frac{uym_m}{\sum_{n \in S} uym_n} \qquad (3.4)$$

Gözcü arıların ulaştığı konum, tarif edilen besin kaynağının tam olarak aynı konumu olmaz, yakınlarındaki bir konum olur. Gözcü arıların yeri, işçi arının kendi etrafında

yeni bir yer hesaplaması için kullanılan (3.2) formülü ile hesaplanır. Böylece, takip ettiği işçi arının bir önceki konumuna yakın bir yere ulaşır.

Toplam uyum değerleri : 0,1189 + 0,0794 + 0,3040 = 0,5023

m	1	2	3
uym	0,1189	0,0794	0,3040
h	0,2368	0,1580	0,6052
Kümülatif h	0,2368	0,3948	1

Bu örnekte 3 adet gözcü arı olduğu için, her gözcü arı için birer tane olmak üzere, 3 farklı rasgele sayı üretilir. Bu sayıların isabet ettiği olasılık aralığına göre gözcü arıların gideceği besin kaynakları belirlenir. Besin kaynağı etrafında yakın yerler, işçi arı safhasında anlatıldığı gibi denenir.

Rasgele sayılar	0,2048	0,8243	0,6097
Seçilen besin kaynakları	1	3	3

Bu denemede, 3ncü besin kaynağının 2 kez tercih edildiği görülmektedir. Başka bir deyişle, 3 tane gözcü arıdan 1 tanesi 1nci besin kaynağı yakınlarına, 2 tane gözcü arı 3ncü besin kaynağı yakınlarına gitmeyi tercih etmiştir. 3ncü besin kaynağının seçilme olasılığı 0,6052 değeri diğer iki besin kaynağının seçilme olasılıklarının toplamından bile büyük olduğu için, iki kez seçilmesi, beklenen bir durumdur.

1nci gözcü arının 1nci besin kaynağı etrafında yeni bir yer denemesi şöyledir :

m	1	2	3
x_1	2,49	**3,4**	1,5
x_2	4,1	2,8	3,2
$f(x_1,x_2)$	7,4101		
i	1		
k	2		
Φ	0,3		
v	2,217		
$f'(x_1,x_2)$	**6,1250**		

Yeni *f'(x1,x2)* değeri öncekine göre daha küçük olduğu için (6,1250 < 7,4101) 1nci besin kaynağının yeri değişir.

2nci gözcü arının 3ncü besin kaynağı etrafında yeni bir yer denemesi şöyledir :

m	1	2	3
x_1	**2,217**	3,4	1,5
x_2	4,1	2,8	3,2
$f(x_1,x_2)$			2,29
i			1
k			1
Φ			0,9
v			0,8547
$f'(x_1,x_2)$			**0,7705**

Yeni *f'(x1,x2)* değeri öncekine göre daha küçük olduğu için (0,7705 < 2,29) 3ncü besin kaynağının yeri de değişir.

3nci gözcü arının yine 3ncü besin kaynağı etrafında yeni bir yer denemesi şöyledir :

m	1	2	3
x_1	2,217	3,4	0,8547
x_2	4,1	2,8	3,2
$f(x_1,x_2)$			**0,7705**
i			2
k			1
Φ			0,7
v			2,57
$f'(x_1,x_2)$			0,9154

Yeni *f'(x1,x2)* değeri öncekinden daha büyük olduğu için (0,9154 > 0,7705) ve problem minimizasyon problemi olduğu için 3ncü besin kaynağı bu kez yer değiştirmez.

Tur 1 – İzci arı safhası:

Besin kaynakları belirli bir iterasyon sayısından sonra hala iyileştirilememiş ise, bu yerdeki işçi arı izci arıya dönüşür ve rasgele başka bir konuma geçiş yapar. Bunun için her bir besin kaynağı için birer sayaç tutulur. Yer değişikliği olunca sayaç sıfırlanır, diğer durumlarda sayaç arttırılır.

İlk turda, 1nci ve 3ncü besin kaynaklarının yerleri değiştirilerek iyileştirme sağlandı ve sayaçları sıfırlandı.

m	1	2	3
İşçi arı safhası	x_1 değişti	Yeri değişmedi	Yeri değişmedi
Gözcü arı safhası	x_1 tekrar değişti	Bu besin kaynağı seçilmedi ve denenmedi	x_1 değişti
Sayaç	0	1	0

Bu turda, limit değerini aşan besin kaynağı olmamıştır.

İkinci tur aşağıdaki gibi devam etmektedir:

Tur2 – İşçi arı safhası:

i, *k* ve *Φ* değerleri rasgele olarak üç besin kaynağı için ayrı ayrı belirlendikten sonra, *v* değerleri (3.2) formülüne göre hesaplanmış ve yeni *v* değeri kullanılarak, $f'(x_1,x_2)$ fonksiyon değeri tekrar aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

m	1	2	3
x_1	2,217	3,4	0,8547
x_2	4,1	2,8	3,2
$f(x_1,x_2)$	**6,1250**	**11,6**	0,7705
i	2	1	1
k	3	1	2
Φ	0,4	0,1	0,5
v	4,46	3,5183	-0,4179
$f'(x_1,x_2)$	7,0467	12,4184	**0,2146**

2nci turda işçi arıların denediği besin kaynakları arasında sadece 3ncü besin kaynağı yakınlarında daha iyi sonuç alınmıştır.

Tur 2 – Gözcü arı safhası:

Toplam uyum değerleri : 0,1403 + 0,0794 + 0,8233 = 1,0430

m	1	2	3
uym	0,1403	0,0794	0,8233
h	0,1346	0,0761	0,7893
Kümülatif h	0,1346	0,2107	1

Rasgele sayılar	0,3574	0,4188	0,1586
Seçilen besin kaynakları	3	3	2

m	1	2	3
x_1	2,217	3,4	-0,4179
x_2	**4,1**	2,8	3,2
$f(x_1,x_2)$			0,2146
i			2
k			1
Φ			0,36
v			2,876
$f'(x_1,x_2)$			**0,1900**

	1	2	3
	2,217	3,4	-0,4179
	4,1	**2,8**	2,876
			0,1900
			2
			2
			0,9
			2,9444
			0,1777

	1	2	3
	2,217	3,4	**-0,4179**
	4,1	2,8	2,9444
		11,6	
		1	
		3	
		0,21	
		4,2017	
		17,6949	

1nci ve 2nci gözcü arı, 3ncü besin kaynağı yakınlarında yerleri dener. Her iki denemede de daha iyi sonuç alınır. 3ncü gözcü arı ise, 2nci besin kaynağı yakınında bir yer dener, fakat daha iyi sonuç alamaz.

Bu adımda sadece 3ncü besin kaynağının yerinde iyileşme görülmüştür. 3ncü besin kaynağı iki kez seçilmiş ve üst üste iki seferde de iyileşme olmuştur.

Tur 2 – İzci arı safhası:

m	1	2	3
Sayaç	1	2	0

Limit değerini aşan besin kaynağı olmamıştır.

Tur3 – İşçi arı safhası:

m	1	2	3
x_1	2,217	3,4	-0,4179
x_2	4,1	2,8	2,9444
$f(x_1,x_2)$	**6,1250**	**11,6**	0,1777
i	2	1	1
k	2	3	1
Φ	0,87	0,39	-0,16
v	5,231	4,8890	-0,0227
$f'(x_1,x_2)$	9,8925	23,9423	**0,0036**

Bu turda işçi arıların denediği besin kaynakları arasında sadece 3ncü besin kaynağı yakınındaki daha iyi sonuç almıştır.

Tur 3 – Gözcü arı safhası:

m	1	2	3
uym	0,1403	0,0794	0,9964
h	0,1154	0,0653	0,8193
Kümülatif h	0,1154	0,1607	1

Rasgele sayılar	0,1193	0,8130	0,1962
Seçilen besin kaynakları	2	3	3

m	1	2	3	1	2	3	1	2	3
x_1	2,217	3,4	-0,0227	**2,217**	3,4	-0,0227	2,217	3,4	0,0109
x_2	4,1	2,8	**2,9444**	4,1	2,8	2,9444	**4,1**	2,8	2,9444
$f(x_1,x_2)$		**11,6**				0,0036			0,032
i		2				1			2
k		3				1			1
Φ		0,64				-0,015			-0,048
v		2,7076				0,0109			2,9998
$f'(x_1,x_2)$		11,6455				**0,0032**			**0,0001**

İlk iki turda 3ncü besin kaynağı iyileştirildiği için, uyum değeri 0,9964'e yükselmiştir. Bu nedenle 3ncü besin kaynağının gözcü arılar tarafından seçilme olasılığı %81,93 olmuştur. Gözcü arıların ikisi üçüncü besin kaynağını seçmiştir.

1nci gözcü arı, 2nci besin kaynağı yakınlarında bir yeri dener, ama daha iyi sonuç alamaz. Diğer iki gözcü arı, 3ncü besin kaynağı yakınlarında deneme yapar ve her iki denemede de daha iyi sonuç alınır.

Tur 3 – İzci arı safhası:

m	1	2	3
Sayaç	2	3	0

1nci ve 2nci besin kaynakları yer değiştiremediği için sayaçlar arttırılır. Limit değerini aşan besin kaynağı olmamıştır.

Tur4 – İşçi arı safhası:

m	1	2	3
x_1	2,217	3,4	0,0109
x_2	4,1	2,8	2,9998
$f(x_1,x_2)$	6,1250	**11,6**	0,0001
i	1	2	1
k	3	1	2
Φ	-0,7	0,57	0,003
v	0,6727	2,059	0,000721
$f'(x_1,x_2)$	**1,6626**	12,4455	**0,000001**

Bu turda işçi arıların denediği besin kaynakları arasında 1nci ve 3ncü besin kaynakları yakınındaki denemelerden daha iyi sonuç alınmıştır.

Tur 4 – Gözcü arı safhası:

m	1	2	3
uym	0,3756	0,0794	0,9999
h	0,2581	0,0545	0,6873
Kümülatif h	0,2581	0,3126	1

Rasgele sayılar	0,9841	0,0933	0,8265
Seçilen besin kaynakları	3	1	3

m	1	2	3
x_1	0,6727	3,4	0,0007
x_2	4,1	2,8	2,9998
$f(x_1,x_2)$			**0,000001**
i			1
k			2
Φ			0,32
v			-1,0871
$f'(x_1,x_2)$			1,1816

1	2	3
0,6727	3,4	0,0007
4,1	2,8	2,9998
1,6626		
1		
3		
0,6		
1,0759		
2,3676		

1	2	3
0,6727	3,4	0,0007
4,1	2,8	2,9998
		0,000001
		1
		3
		-0,4
		0,2695
		0,0726

3ncü besin kaynağının uyum değeri 0,9999'a yükselmiştir. Aynı zamanda 1nci besin kaynağının uyum değeri de 0,3756'ya ulaşmıştır. 1nci ve 3ncü besin kaynaklarının seçilme olasılığı %25,81 ve %68,73'tür.

Gözcü arıların ikisi üçüncü besin kaynağını, birisi birinci besin kaynağını seçmiştir. Fakat, gözcü arıların denemeleri sonucunda daha iyi bir besin kaynağı bulunamamıştır.

Tur 4 – İzci arı safhası :

m	1	2	3
Sayaç	0	4	0

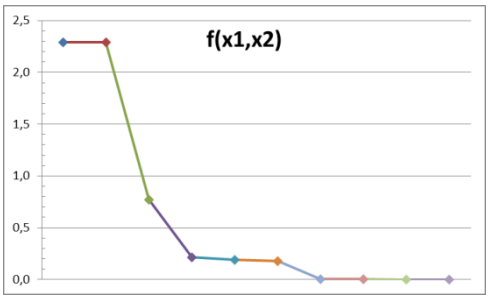
1nci ve 3ncü besin kaynakları işçi arı safhasında yer değiştirdiği için sayaçları sıfırlanır. 2nci besin kaynağı yer değiştiremediği için sayacı bir arttırılır. Limit değerini aşan besin kaynağı olmamıştır.

Aşağıdaki Tablo 3-6'da 4 tur boyunca bilinen en iyi sonuç ve bu sonucu veren *(x1, x2)* değerleri gösterilmiştir:

Tablo 3-6: 4ncü tur sonunda bilinen en iyi sonuç

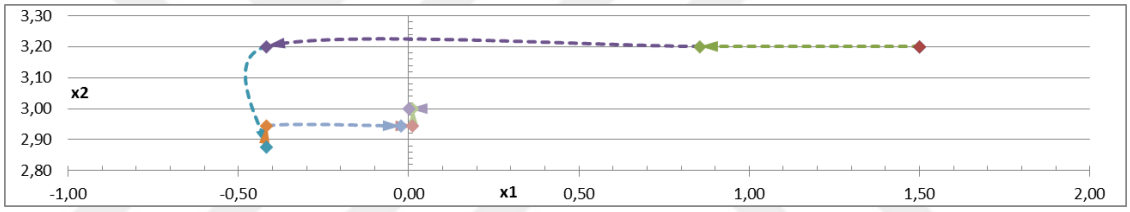
Tur	Safha	Bulunmuş en iyi besin kaynağı	x_1	x_2	Hedef fonksiyonu $f(x_1,x_2)$	Uyum değeri
0	Başlangıç	3	1,500000	3,200000	2,290000	0,303951
1	İşçi arı	3	1,500000	3,200000	2,290000	0,303951
1	Gözcü arı 2	3	**0,854700**	3,200000	0,770512	0,564808
2	İşçi arı	3	**-0,417950**	3,200000	0,214682	0,823261
2	Gözcü arı 1	3	-0,417950	**2,876000**	0,190058	0,840295
2	Gözcü arı 2	3	-0,417950	**2,944400**	0,177774	0,849060
3	İşçi arı	3	**-0,022708**	2,944400	0,003607	0,996406
3	Gözcü arı 2	3	**0,010888**	2,944400	0,003210	0,996800
3	Gözcü arı 3	3	0,010888	**2,999869**	0,000119	0,999881
4	İşçi arı	3	**0,000721**	2,999869	0,000001	0,999999

Turlar boyunca $f(x_1,x_2) = x_1^2 + (x_2-3)^2$ fonksiyonunun değeri aşağıdaki Grafik 3-2'de gösterilmiştir. Turlar ilerledikçe, sonucun sıfıra yaklaştığı görülmektedir.



Grafik 3-2: Örnek fonksiyon değerinin turlar boyunca azalışı

Turlar boyunca bulunan en iyi besin kaynağının yeri (x_1,x_2) aşağıdaki Grafik 3-3 numaralı grafikte gösterilmiştir. Bazen x_1, bazen x_2 ekseni boyunca, farklı uzaklıktaki hareketlerle, matematiksel olarak hesaplanabilen çözüm olan $(0;3)$ noktasına yaklaştığı görülmektedir. Hareketlerin gözle rahat takip edilebilmesi için iki nokta arası geçişler eğrisel gösterilmiştir, fakat aslında yer değişiklikleri tek eksende ve doğrusal olmaktadır.



Grafik 3-3: Örnek fonksiyon için turlar boyunca bulunmuş en iyi noktanın ilerlemesi

Yapay Arı Kolonisi Algoritması Sözde Kod

Besin kaynaklarının yerlerini rasgele konumlar olarak ayarla

Besin kaynaklarında nektar miktarını (uyum değerini) hesapla

Tekrarla en fazla tur sayısına kadar

Döngü her bir işçi arı için

Boyutlardan bir tanesini rasgele seç

Rasgele bir başka besin kaynağı seç

Seçilen boyutta, seçilen besin kaynağı ile aradaki uzaklığı hesapla

Hesaplanan uzaklığı (-1, 1) arasında rasgele bir sayı ile çarparak hareket uzaklığını bul

Besin kaynağını, seçilen boyutta, hesaplanan uzaklık kadar kaydırarak yeni yerindeki uyum değerini hesapla

Eğer yeni uyum değeri öncekinden daha yüksek **ise**

Besin kaynağını yeni yerine hareket ettir

Sayacı sıfırla

değilse

Sayacı 1 arttır

Eğer sonu

Döngü sonu

Besin kaynaklarının uyum değerlerini topla

Her besin kaynağı için, uyum değerlerini tüm uyum değerleri toplamına oranlayarak "seçilme olasılığı" hesapla (rulet çarkı seçimi yöntemi)

Döngü her bir gözcü arı için

Besin kaynaklarının seçilme olasılığına göre ağırlıklı, rasgele bir besin kaynağı seç

Seçilen besin kaynağının yakınında bir yerin besin miktarını hesapla (işçi arı döngüsündeki gibi)

Eğer besin miktarı daha yüksek **ise**

Besin kaynağını bu konuma taşı

Sayacı sıfırla

Eğer sonu

Döngü sonu

Döngü her bir besin kaynağı için (izci arıya dönüşme durumu)

Eğer sayaç > besin limiti **ise**

İşçi arıyı izci arıya dönüştür, rasgele bir konuma hareket ettir

Yeni konumdaki besin miktarını hesapla

Sayacı sıfırla

Eğer sonu

Döngü sonu

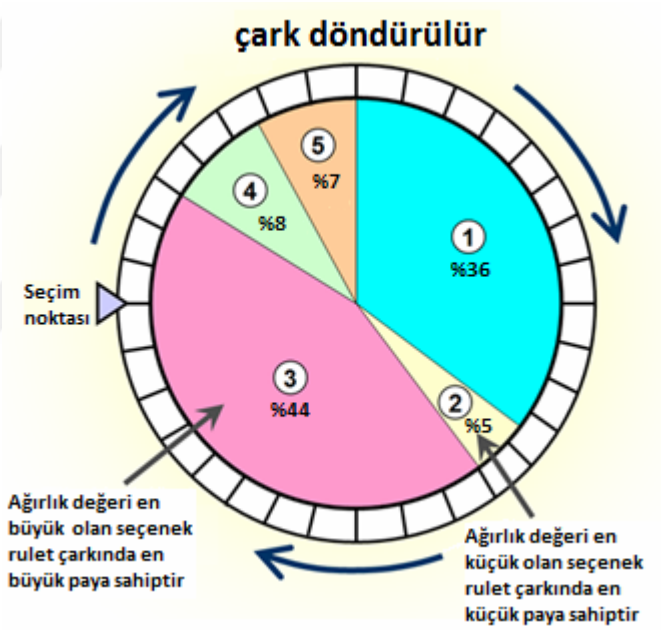
En iyi besin kaynağı yerini ve besin miktarını ezberle

Tekrar sonu

Rulet Çarkı Seçim Yöntemi

Belirli bir ölçüye göre ağırlıklandırarak rasgele seçim yapmaya yarayan Rulet Çarkı Seçim yönteminde, olası seçenekler listelenir ve her seçeneğin birbirinden farklı olan ağırlık değerleri toplanır. Seçenekler, bir rulet çarkındaki dilimler gibi, dairesel olarak dizilmiş olarak düşünülür. Her seçeneğin dilimi farklı kalınlıktadır. 0 ile 1 arasında rasgele bir sayı belirlenir. Bu sayı, ağırlıkların toplamı ile çarpılır. Elde edilen sayıya ya da bu sayıdan büyük ilk değere ulaşana kadar ilk seçenekten itibaren, her seçeneğin ağırlık değeri toplanarak ilerlenir. Böylece rasgele sayının işaret ettiği dilimdeki seçenek belirlenmiş olur. Bu işlemde, ağırlığı büyük olan seçeneklerin seçilme olasılığı, diğerlerine göre daha fazladır. (Baker, 1987)

Şekil 3-7'deki örnekte, dairenin en üst noktası başlangıç noktası kabul edilirse, soldaki rasgele seçim noktasının %75 değerine sahip olduğu görülür. İlk üç seçeneğin yüzdesel payları toplandığında %36 + %5 + %44 = %85 elde edilerek %75 değerine ulaşılmış olur ve seçim noktasının isabet ettiği dilim 3ncü seçenek olarak belirlenir.



Şekil 3-7: Rulet Çarkı Seçim Yöntemi

Bu çalışmada, Rulet Çarkı Seçim Yöntemi YAK algoritması içerisinde kullanılmıştır. Örnek olarak, gözcü arıların bir besin kaynağı seçimi, besin kaynaklarının uyum değeri yüksek olanlara daha fazla ağırlık vererek yapılmıştır. Yine benzer şekilde, tesis kapasitesi ihlal edilmiş bir tesisten bir müşteri ayrılacağında, uzakta olan müşteriler daha ağırlıklı olarak ele alınarak rasgele seçim yapılmıştır. Kopan müşterinin hangi tesise bağlanacağı kısmında da müşteriye yakın olan tesislere daha fazla ağırlık verilir.

3.2. DEĞİŞTİRİLMİŞ YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI

Bu tez çalışmasında, YAK algoritmasına bazı ekler yapılmıştır. Bu ekler, çözüme ulaşmayı hızlandıracak ve çözüm uzayını daha detaylı taramaya sebep olarak çözüm kalitesini arttıracak iyileştirmelerdir. Yapılan uyarlamalar, algoritmanın parametrelerini ve nasıl kullanıldığını etkilemez, sadece iç işleyişini iyileştirir.

1. En iyi besin kaynağının terk edilmemesi

Bilinen en iyi çözüme sahip besin kaynağı, belirli bir tur sayısından sonra iyileştirilemiyor ise, o konumdaki arı izci arıya dönüşür. Bu andan itibaren o çözümün geliştirilmesi devam etmez. Eklenen bu özellik ile, en iyi çözüm noktasının terk edilmesi engellenir. Böylece bilinen en iyi çözümü sağlayan besin kaynağı diğer arılar için çekici olmaya ve kendi etrafının taranmasını sağlamaya devam eder.

2. Hareket uzaklığının sıfır olmasının engellenmesi

Özellikle algoritma başladıktan bir süre sonraki turlarda, optimum çözüm etrafında tarama yaptığı sıralarda, bir çok arı yakın birbirine yerleri taramaktadır. Arıların hareket miktarı, rasgele seçilen başka bir arı ile aralarındaki uzaklığa bağlı olduğu için, seçilen arı ile aralarındaki uzaklık sıfır olabilmektedir. Böyle durumlarda yapılan hesaplama bir önceki turda yapılan ile aynı olduğu için bir tur boşa geçmektedir. Bunu engellemek için, her bir arının bir önceki turda yaptığı hareketin miktarı hafızada tutulur. Yukarıda bahsedildiği gibi, sıfır uzaklık elde edildiği durumunda, aynı yerde kalmak yerine, bir önceki hareket miktarı kullanılarak arı hareket ettirilir. Bu momentum sayesinde, en iyi çözüme yaklaşıldığı aşamadan sonra arılar aynı yerde üst üste kalmak yerine yakın çevredeki yerleri tarayarak test edebilmektedir.

3. Rasgele boyut seçerken dengeli dağılım

Arılar besin kaynakları etrafında yakın yerleri denemek için önce çözüm uzayının hangi boyutunda hareket edeceğini belirler. Bu seçim rasgele bir sayı alınarak yapılır. Rasgele sayı üreticisi düzgün dağılıma göre sayılar üretmesine rağmen, arıların test ettiği boyutlar dengeli olarak seçilmeyebilir. Bazen daha iyi çözüme götürecek boyut denenmediği için ve diğer boyutlardaki denemeler daha iyi çözüme götürmediği için, bir besin kaynağı daha iyileştirilebilecekken besin limitini aştığı için izci arı tarafından başka bir yere kaydırılır. Bu durumu iyileştirmek için, çözüm uzayında tarama yaparken boyut seçiminde daha az seçilmiş olan boyutlara daha yüksek

seçilme olasılığı vererek, yine rassal seçim yapılması sağlanmıştır. Böylece tüm boyutlarda tarama yapılması teşvik edilmiş ve algoritmanın daha iyi çözüme, daha çabuk ulaşması sağlanacaktır.

Değiştirilmiş Yapay Arı Kolonisi Algoritması Sözde Kod

YAK algoritmasına eklenen özellikler alt çizgili olarak gösterilmiştir.

Besin kaynaklarının yerlerini rasgele konumlar olarak ayarla
Besin kaynaklarında nektar miktarını (uyum değerini) hesapla
Tekrarla en fazla tur sayısına kadar
    Döngü her bir işçi arı için
        Boyutlardan bir tanesini rasgele seç (az seçilmiş olan boyutlar daha yüksek olasılıklı)
        Rasgele bir başka besin kaynağı seç
        Seçilen boyutta, seçilen besin kaynağı ile aradaki uzaklığı hesapla
        Eğer uzaklık sıfır **ise** bir önceki turdaki hareket uzaklığını kullan
        Hesaplanan uzaklığı (-1, 1) arasında rasgele bir sayı ile çarparak hareket uzaklığını bul
        Besin kaynağını, seçilen boyutta, hesaplanan uzaklık kadar kaydırarak yeni yerindeki uyum değerini hesapla
        Eğer yeni uyum değeri öncekinden daha yüksek **ise**
            Besin kaynağını yeni yerine hareket ettir
            Sayacı sıfırla
        değilse
            Sayacı 1 arttır
        Eğer sonu
    Döngü sonu
    Besin kaynaklarının uyum değerlerini topla
    Her besin kaynağı için, uyum değerlerini tüm uyum değerleri toplamına oranlayarak "seçilme olasılığı" hesapla (rulet çarkı seçimi yöntemi)
    Döngü her bir gözcü arı için
        Besin kaynaklarının seçilme olasılığına göre ağırlıklı, rasgele bir besin kaynağı seç
        Seçilen besin kaynağının yakınında bir yerin besin miktarını hesapla

(işçi arı döngüsündeki gibi)

Eğer besin miktarı daha yüksek **ise**

Besin kaynağını bu konuma taşı

Sayacı sıfırla

Eğer sonu

Döngü sonu

Döngü her bir besin kaynağı için (izci arıya dönüşme durumu)

Eğer sayaç > besin limiti **ise**

Eğer besin kaynağı, bilinen en iyi besin kaynağı **ise** sonrakine atla

İşçi arıyı izci arıya dönüştür, rasgele bir konuma hareket ettir

Yeni konumdaki besin miktarını hesapla

Sayacı sıfırla

Eğer sonu

Döngü sonu

En iyi besin kaynağı yerini ve besin miktarını ezberle

Tekrar sonu

3.3. DEĞİŞTİRİLMİŞ YAK ALGORİTMASININ KAPASİTE KISITSIZ ÇOK TESİSLİ WEBER PROBLEMİNE (ÇTWP) UYGULANMASI

MFWP – Uncapacitated Multi Facility Weber Problem

Kapasite kısıtsız çok tesisli Weber problemlerinde amaç, iki boyutlu düzlem üzerindeki talep noktalarına hizmet verecek en uygun tesis yerlerini belirlemektir. Tesis yerlerinin uygunluğu, tesislerden müşterilere olan uzaklıkların, talep miktarı ve birim maliyet ile çarpımları toplamının minimum olması olarak tarif edilmiştir.

ÇTWP:

$$\min_{Z,X} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} c_{ij} w_i z_{ij} d(X_j, a_i)$$

öyle ki

$$\sum_{j=1}^{m} z_{ij} = 1, \qquad i = 1, \dots, n \qquad (1)$$

$$z_{ij} \in \{0,1\}, \qquad \forall i,j \qquad (2)$$

$$X_j \in \mathbb{R}^2, \quad \forall j$$

m : *kurulacak tesis sayısı*

n : *müşteri (talep noktası) sayısı*

a_i=(a_{i1},a_{i2}) : *talep noktası **i**'nin bilinen iki boyutlu sabit konumu **i**=1,...,n*

c_{ij} : *tesis **j**'den talep noktası **i**'ye hizmet ulaştırmanın birim maliyeti*

w_i : *talep noktası **i**'nin toplam talep miktarı*

d(X_j,a_i) : *tesis **j** ile talep noktası **i** arasındaki Öklid uzaklık*

***X*=(X_1,...,X_m)** *tesis konumlarını [X_j : (x_j, y_j)] gösteren karar değişkenleri **j**=1,...,m*

***Z*=(z_{ij}) :** *talep noktası **i**'nin tesis **j**'den hizmet alıp almayacağını gösteren karar değişkenleri*

*(*eğer ***i***-nci müşteri ***j***-nci tesis atanmışsa 1; atanmamışsa 0 değerini alır).

(1) Her talep noktasının toplam talebi karşılanacaktır. (Talep kısıtı)

(2) ***z_{ij} = 0 :*** Talep noktası ***i*** tesis ***j***'den hizmet almayacak.

z_{ij} = 1 : Talep noktası ***i*** tesis ***j***'den ***w_i*** kadar miktarda hizmet alacak.

Weber problemini DYAK algoritması ile çözebilmek için aşağıdaki Tablo 3-7'deki benzetmeler yapılmıştır:

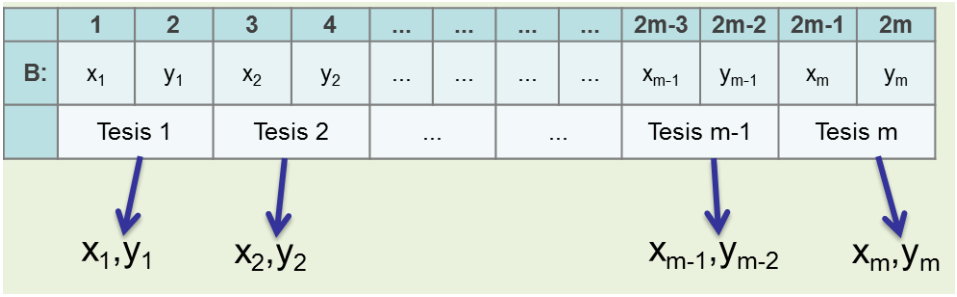
Tablo 3-7: DYAK algoritması ile ÇTWP eşlenmesi

DYAK algoritması	**Kapasite Kısıtsız Çok Tesisli Weber Problemi**	
Çözüm uzayı	Kurulacak tesis sayısı (m)×2 boyutlu reel sayı uzayı	$\mathbb{R}^{2m}$
Çözüm vektörü (besin kaynağı konumu)	Kurulacak tesis yerleri vektörü (m×2 boyutlu çözüm uzayında bir nokta)	$\{x_1,y_1,\ldots,x_m,y_m\}$
Hedef fonksiyonu	İki boyutlu düzlem üzerinde müşteri noktaları ile kurulacak tesisler arasındaki uzaklığa göre hesaplanan toplam maliyet	$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} c_{ij}w_i z_{ij} d(X_j, a_i)$

Weber problemini yukarıdaki gibi ifade ettikten sonra, DYAK algoritması, arı kolonisinin besin arama davranışlarına benzer rassal tarama hareketleri ile, çalıştırıldığı süre ya da tur sayısı sonuna kadar, hedef fonksiyonunun en iyi sonucu vereceği noktayı bulmaya çalışacaktır. Tarama sonunda, besin değeri açısından en zengin besin kaynağı olarak bilinen en iyi çözüm noktası "çözüm vektörü" ile gösterilecektir.

Çok Tesisli Weber Problemi (ÇTWP) Çözüm Vektörü

Çözüm vektörü aşağıda Şekil 3-8'de gösterildiği gibi, $2 \times m$ adet reel sayıdan oluşmaktadır. Bu vektör, kurulacak m adet tesis yerinin x ve y koordinat değerlerinden oluşmaktadır.



Şekil 3-8: Kapasite Kısıtsız ÇTWP problemi için Çözüm Vektörü

Yukarıdaki Şekil 3-8'de görülen çözüm vektörü tek başına m tesisin yerini birden temsil eder. Bir çözüm vektörü bir anda bütün tesislerin yerini tarif ederek, çözümün tamamını ortaya koyar.

1 besin kaynağı konumu = 1 çözüm vektörü = m adet tesisin yeri

Bu gösterim ile Çok Tesisli Weber problemi, DYAK algoritması ile çözülebilecek şekilde ifade edilmiştir. Tesislerin yerleri bu vektör içerisinde birbirinden bağımsız olarak bulunurlar ve her bir tesisin yeri diğerlerini etkilemeden ve diğerlerinden etkilenmeden, düzlem üzerinde taranır. Başka bir deyişle, DYAK algoritması bir kez çalıştırıldığında çözüm için gereken tüm parametreleri (m adet tesisin yerini) belirler. Değerlendirme, her bir tesis yerini sınayarak değil, tüm tesis yerlerini ele alarak, bütün sistemin toplam maliyetini hesaplayarak yapılır.

Alternatif bir yöntem olarak, m adet tesis yerini birer birer belirlemek için m kez DYAK algoritması çalıştırılabilirdi. Her çalıştırıldığında tesislerden her biri için uygun yer aranabilirdi. Fakat bu şekilde kademeler halinde üretilen çözümün, toplam sistemin maliyetini iyileştirebilmesi mümkün olmazdı.

Tarama, hedef fonksiyonu ve uyum değeri

Arılar, başlangıçta rasgele konumlarda yerleştirilmiş olan besin kaynakları etrafında daha iyi sonuç veren besin kaynaklarını tararken, her turda bu konumların hedef fonksiyonu ve uyum değeri hesaplanır. Her denemede, uyum değerini belirlemek

için, çözüm vektörünü ayrıştırarak, önerilen tesis yerleri elde edilir ve toplam maliyet değeri hesaplanır.

Çok tesisli Weber probleminin çözümü için DYAK algoritması aşağıdaki adımlar halinde çalıştırılır:

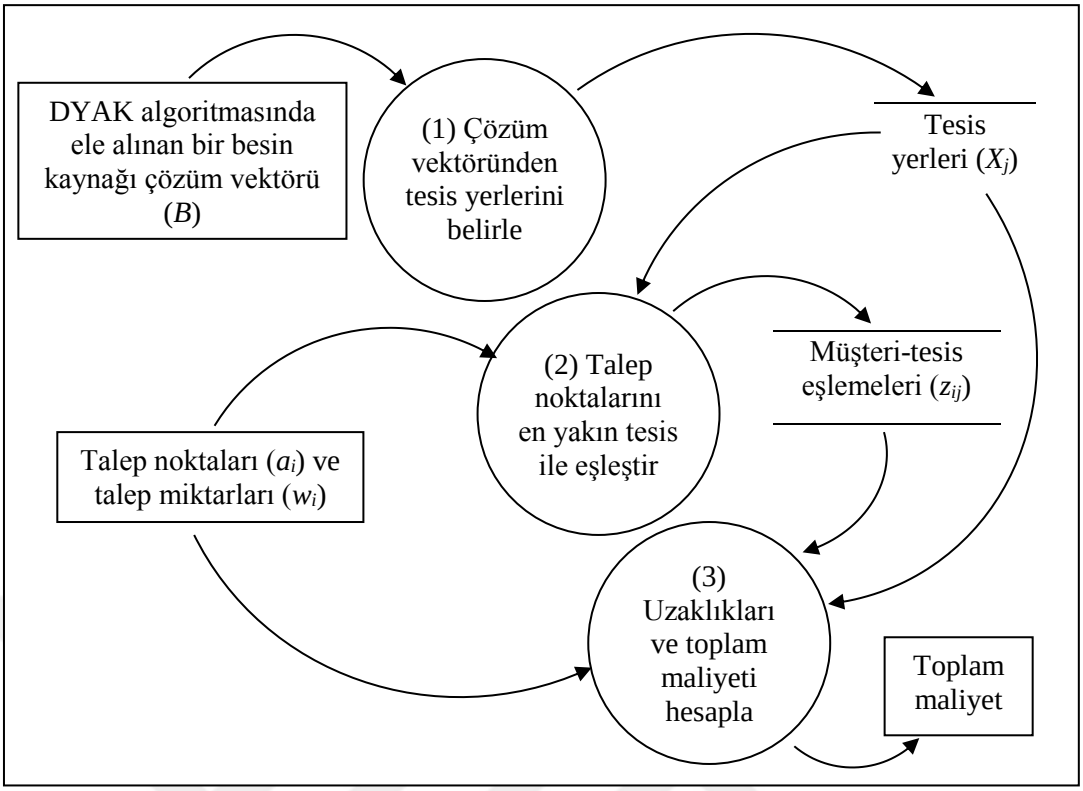
- DYAK algoritması parametrelerini belirle
    - Boyut sayısı = Kurulacak tesis sayısı × 2
- Besin kaynaklarının başlangıç konumlarını rasgele belirle
- Toplam tur sayısına kadar tekrarla
    - İşçi arıların tarama hareketlerini yap, her harekette uyum değerini hesapla
    - Gözcü arıların tarama hareketleri, her harekette uyum değerini hesapla
    - İzci arıların tarama hareketleri, her harekette uyum değerini hesapla
- Bilinen en iyi çözüm vektöründen tesis yerlerini elde et

Uyum değeri, önerilen tesis yerlerine göre hesaplanan toplam taşıma maliyeti kullanılarak elde edilir.

DYAK algoritması belirli bir süre ya da tur sayısı kadar çalıştırılması sonunda bulunan en iyi çözüm, elemanlarına ayrıştırılarak *m* adet tesis konumu elde edilir. Bulunan çözüm, tesislerin bu konumlara kurulmasını tavsiye etmektedir. Ayrıştırma işleminin adımları aşağıda anlatılmıştır:

Çözüm vektörünün Çok Tesisli Weber Problemi (ÇTWP) çözümüne dönüştürülmesi

DYAK algoritması sırasında her turda, her arının hareket ettiği konumun besin değeri hesaplanır ve daha iyi değere sahip yerler arılar tarafından tercih edilir. Çok tesisli Weber probleminin çözümünün uygunluğu, tesis yerlerine ve müşteri-tesis eşleşmelerine göre hesaplanan toplam maliyet değeri ile belirlenir. Aşağıdaki Şekil 3-9'da görülen veri akış diyagramında, DYAK algoritmasında ele alınan bir besin kaynağının konumunu gösteren çözüm vektöründen toplam maliyete ulaşmak için yapılan dönüşümler gösterilmiştir:



Şekil 3-9: DYAK algoritmasında her turda çözüm vektöründen uyum değeri hesabını gösteren "veri akış diyagramı"

İşlem 1: Çözüm vektöründen tesis yerlerini belirle

Bu işlemde karmaşık bir hesaplama yoktur. DYAK çözüm uzayındaki besin kaynağı konumunu gösteren çözüm vektörü ile tesis yeri aranan problem düzlemi arasında basit bir dönüşüm yapılır. Daha önce anlatılan $2 \times m$ boyutlu $\boldsymbol{B}$ çözüm vektörü ile 2'şer boyutlu m adet tesisin konum vektörü arasındaki ilişkiyi kullanarak, tesis yerleri $X_j = (x_j, y_j)$ şöyle elde edilir:

$$x_j = B_{2j-1} \qquad ; j = 1,...,m$$
$$y_j = B_{2j} \qquad ; j = 1,...,m$$

İşlem 2: Talep noktalarını en yakın tesis ile eşleştir

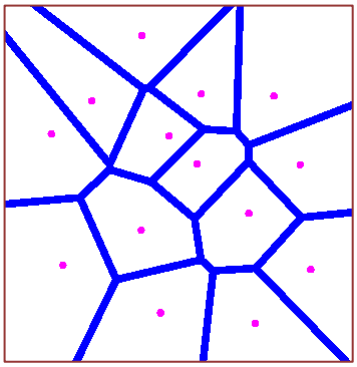
Kapasite kısıtsız çok tesisli Weber probleminin çözümü için, bu aşamada yapılan dönüşüm direkt bir yönteme sahiptir. Her bir talep noktası (müşteri) kendisine en yakın tesis ile eşleştirilir. İşlem çok basit ve belirgin bir yolla yapılır:

$$z_{ij} = \begin{cases} 1 & eğer\ j = \underset{k\in[1\ldots m]}{argmin}\, d(X_k, a_i) \\ 0 & diğer\ durumlarda \end{cases}$$

z_{ij} değerleri sadece 0 ve 1 tamsayı değerlerinden oluşur. Bir müşteri, sadece bir tesis ile eşleştirilebilir.

$$\sum_{j=1}^{m} z_{ij} = 1 \qquad i = 1, \ldots, n$$

Bir müşteriye en yakın uzaklıkta iki veya daha çok tesis varsa, herhangi birisi rasgele olarak atanır. Aşağıdaki Şekil 3-10 numaralı Voronoi diyagramı her bir noktaya en yakın noktaların ayrı bölgelere ayrılması ile elde edilir. Bir düzlemdeki noktalara en yakın bölgeleri işaretleyen ve ayrıştıran bir diyagramdır. 1854'te Londra kolera salgınında, şehirdeki su kuyularından hastalık kapma ihtimali olan evleri tespit etmek için çizilmiştir. Her bölgenin alanındaki tüm noktalara en yakın olan merkez (yuvarlak nokta) bölgenin içindeki yuvarlak noktadır. Çizgilerin ötesindeki noktalar o bölgedeki tüm yerlere bölge ortasındaki noktadan daha uzaktır. Çizgi üzerindeki yerler ise çizginin her iki tarafındaki noktalara eşit uzaklıktadır. DYAK algoritmasının bulduğu ÇTWP çözümü de bu özelliğe sahiptir, çünkü ÇTWP çözümü sırasında müşteri-tesis atamaları yakınlığa göre yapılmaktadır. Başka bir deyişle, müşteriler kendilerine en yakın tesisle eşlenmektedir.



Şekil 3-10: Voronoi diyagramı

Kapasite kısıtlı çok tesisli Weber problemi için ise, bu adımda farklı işlemler uygulanır. Kapasite kısıtını dikkate alarak uygulanacak yöntemler bir sonraki bölümde anlatılmıştır.

İşlem 3: Uzaklıkları ve toplam maliyeti hesapla

Her talep noktasının (müşterinin) hangi tesisten ve ne kadar hizmet alacağı $w_{ij} = z_{ij} \cdot w_i$ değerleri ile yukarıda anlatıldığı şekilde belirlenmişti. Toplam maliyet, her talep noktasının eşleştirildiği tesis ile arasındaki uzaklık, eşleştirilen miktar ve birim maliyet çarpılarak şöyle bulunur:

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} c_{ij} w_i z_{ij} d(X_j, a_i)$$

m *: kurulacak tesis sayısı*

n *: müşteri sayısı*

a_i *:* ***i****-nci müşterinin iki boyutlu düzlemde sabit konumu*

c_{ij} *:* ***j****-nci tesisten* ***i****-nci müşteriye hizmet ulaştırmanın birim maliyeti*

w_i *:* ***i****-nci müşterinin toplam talep miktarı*

$d(X_j, a_i)$ *: tesis* ***j*** *ile müşteri* ***i*** *arasındaki Öklid uzaklık*

X_j *:* ***j****-nci tesisin konumu*

z_{ij} *: talep noktası* ***i****'nin tesis* ***j****'den hizmet alıp almayacağı*
(eğer ***i****-nci müşteri* ***j****-nci tesis atanmışsa 1; atanmamışsa 0 değerini alır).*

Tesis yerlerinin grafikte gösterilmesi

Problemin çözümü olan tesis yerlerini belirlemek için DYAK algoritmasında üretilen çözüm vektörünün (***B***) yapısı yukarıda (sayfa 105) anlatılmıştı. Çok tesisli Weber problemlerinde tesis sayısı $m>1$ olduğuna göre, ***B*** vektörünün boyut sayısı ($2\times m$) her zaman 2'den büyüktür ve çift sayı olduğu için 3'ten de büyüktür. Bu nedenle, tarama uzayını iki ya da üç boyutlu bir medya üzerinde görselleştirmek mümkün değildir. Fakat, bu çalışmada, problemin girdileri olan müşteri konumlarının iki boyutla ifade edildiğinden hareketle, sabit müşteri konumlarının ve çözüm olan tesis konumlarının iki boyutlu bir grafikte gösterilebilmesi için şöyle bir yöntem uygulanmıştır:

$2\times m$ boyutlu olan çözüm vektöründe m adet x,y ikilisi bulunmaktadır. Bu x,y ikilileri alınıp, birer nokta olarak düzlem üzerinde işaretlenir, kurulacak m adet tesis yeri görsel olarak ifade edilmiş olur. Müşteri konumları ile birlikte gösterildiğinde, çözümün uygunluğu, kurulacak tesis yerleri ile müşteri noktalarının yakınlığı grafik üzerinde görülüp, yorum yapılabilir.

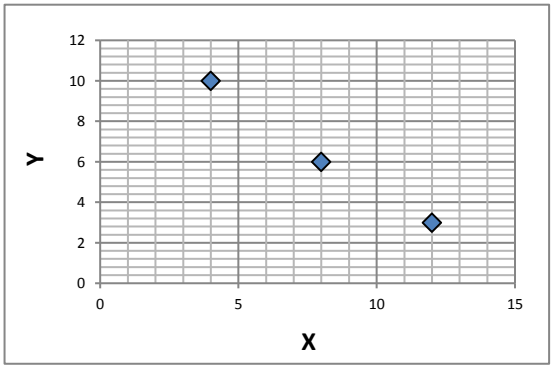
Başka bir deyişle, $2\times m$ boyutlu uzaydaki çözümün iki boyutlu bir grafiğe izdüşümü alınarak, çözümün önerdiği m adet tesis yeri bir arada gösterilebilmektedir. Bu izdüşüm, çözüm uzayındaki tek sayılı boyutlardaki değerleri yatay eksene, çift sayılı boyutları düşey eksene denkleştirerek kolayca elde edilir. Çözüm vektöründeki (x_1,y_1), (x_2,y_2), ..., (x_m,y_m) noktaları düzlem üzerinde işaretlendiğinde, çözümün temsil ettiği m adet tesis yeri noktasal olarak görülürler.

Örnek :
Problem, 2 boyutlu düzlem üzerinde 3 tesis yeri belirlemek olsun.
Her besin kaynağı $3 \times 2 = 6$ boyutlu bir vektör ile gösterilir ve arılar 6 boyutlu uzayda çözüm ararlar.

Bu çözümlerden rasgele iki tanesi aşağıda Grafik 3-4'te gösterilen değerlere sahiptir:

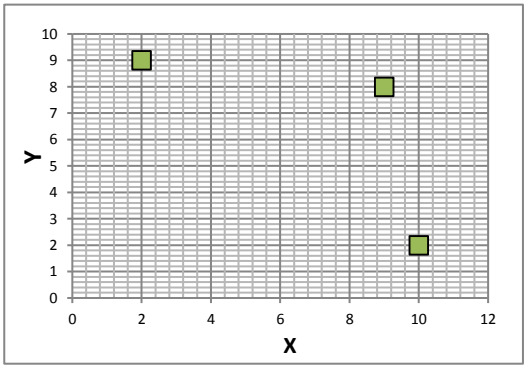
Çözüm 1:

Boyut	1	2	3	4	5	6
Pozisyon değeri	12	3	4	10	8	6
	Tesis 1		Tesis 2		Tesis 3	



Çözüm 2:

Boyut	1	2	3	4	5	6
Pozisyon değeri	10	2	2	9	9	8
	Tesis 1		Tesis 2		Tesis 3	

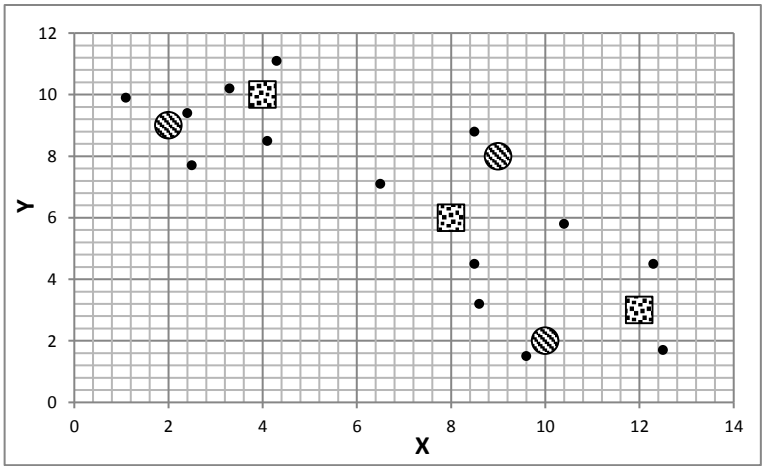


Grafik 3-4: İki çözümün ayrı ayrı grafikte gösterimi

Grafik 3-4'te görülen iki çözüm optimum çözümler değildir. Tarama sırasında rastlanabilecek kombinasyonlardan herhangi ikisini temsil etmektedir.

Aşağıda Grafik 3-5'te her iki çözüm bir arada ve müşteri talep noktaları (küçük siyah daireler) ile birlikte aynı grafikte gösterilmektedir:

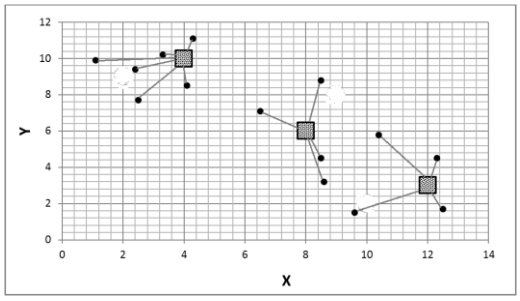
Boyut	1	2	3	4	5	6
Çözüm 1	12	3	4	10	8	6
Çözüm 2	10	2	2	9	9	8



Grafik 3-5: Tesis yerlerinin grafik üzerinde talep noktaları ile görünümü

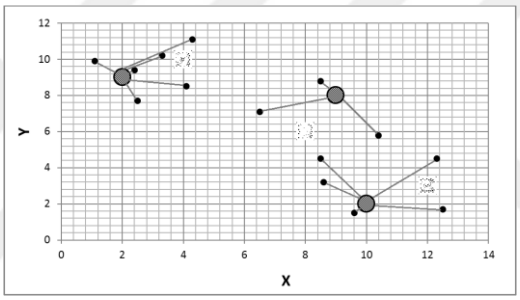
Talep noktaları : (2.4, 9.4) (3.3, 10.2) (4.3, 11.1) (4.1, 8.5) (2.5, 7.7) (1.1, 9.9) (6.5, 7.1) (8.5, 4.5) (8.5, 8.8) (12.3, 4.5) (12.5, 1.7) (9.6, 1.5) (8.6, 3.2) (10.4, 5.8)
Optimal çözüm : (9.9, 3.6) (2.8, 9.5) (6.5, 7.1)

Sadece Çözüm 1 ile müşteri noktaları eşleştirilmiş olarak Grafik 3-6'da gösterilmiştir:



Grafik 3-6: Örnek problem üzerinde Çözüm 1

Sadece Çözüm 2 ile müşteri noktalarını eşleşmesi aşağıda Grafik 3-7'de gösterilmiştir:



Grafik 3-7: Örnek problem üzerinde Çözüm 2

Bu örneklerde, önerilen çözümlerin optimum çözümler olmadığı yukarıda belirtilmişti. Bu grafiklerde, önerilen tesis yerlerinden bazılarının bağlı olduğu müşterilerin tam ortasında yer alamadığı gözle görülmektedir. Normal şartlarda birim maliyetler ve talep miktarları eşit olduğunda toplam uzaklığı en azlayacak tesis yeri talep noktalarının ortasında olmalıdır. Örnek: Grafik 3-7'de çözüm 2'nin önerdiği (9, 8) noktasındaki tesisin, kendisine bağlı olan üç müşterinin ortasında bir konumda olması gerekirdi. Burada görünen halinde, ortadan daha sağda bulunmaktadır.

3.4. DEĞİŞTİRİLMİŞ YAK ALGORİTMASININ KAPASİTE KISITLI WEBER PROBLEMLERİNE UYGULANMASI

Kapasite kısıtlı çok tesisli Weber probleminde, tesis yerlerini belirlemenin yanı sıra, müşteri-tesis atamalarını da kapasite kısıtlarına uygun olarak belirlemek gerekmektedir.

Kapasite kısıtlı çok tesisli Weber probleminde, kurulacak tesislerin yerleri yukarıda anlatılan, kapasite kısıtsız çok tesisli Weber problemi (ÇTWP) ile aynı yöntemle bulunur. DYAK algoritması kullanılarak, en düşük toplam maliyeti oluşturan çözüm bulunmaya çalışılır. Kapasite kısıtsız çok tesisli Weber probleminde, müşteri-tesis atamaları, her müşteri kendisine en yakın tesisten hizmet alacak şekilde, çok basit ve belirgin bir yolla hesaplanabilmektedir. Bulunan nihai çözüm, hem tesis yerlerini, hem de müşteri-tesis atamalarını içerir. Fakat, çözüm yöntemi, kurulacak tesislerin kapasitesini dikkate almadığı için, ortaya çıkan müşteri-tesis atamaları, bazı tesislere kapasitesinden daha fazla miktarda talebin eşleştirilmesi ile sonuçlanabilir. Bu durumda çözüm, geçersiz, uygulanamaz bir çözüm olur.

Kapasite aşımını ortadan kaldırmak için, kapasite aşımı ortaya çıkan tesislere atanmış müşterilerden bazılarını başka tesislere kaydırmak gereklidir. Kapasite kısıtını aşan tesislere bağlı olan bazı müşteriler, bu tesislere yakın olmalarına rağmen, başka tesislere atanmak zorunda kalacaktır. Bu müşterilerin hangileri olduğunu, hangi tesislere atanacağını ve ne kadar miktarda talebin diğer tesislere kaydırılacağını hesaplamak için ayrı bir işlem gerekir.

Müşteri-Tesis Atamalarının Kaydırılması

Kapasite kısıtına uygun bir sonuç alınması kapasite kısıtının aşıldığı tesislerdeki müşterilerin bir kısmının başka tesislere kaydırılmasıyla mümkün olabilmektedir. Atamaların değiştirilmesi, bir müşteriyi kendisine en yakın olan tesise atamak yerine, daha uzakta olan başka bir tesise atayarak, toplam maliyetin daha büyük olmasına sebep olur. Ancak bu maliyet artışı, kapasite kısıtının aşılmasını ortadan kaldırabilmek için kaçınılmaz bir zorunluluktur.

Atamaların değiştirilmesi sırasında, müşterilerin sonradan atandığı tesislerin de kapasite kısıtı ihlal edilmemelidir. Ayrıca, kapasite kısıtı aşılan bir tesisteki bir müşteri başka tesise kaydırılırken, o tesisten, talep miktarı daha az olan başka bir

müşteri bu tesise kaydırılabilir. Özellikle sıkılık faktörü yüksek olan problemlerde böyle takasların yapılması gerekebilmektedir.

Kapasite kısıtlı çok tesisli Weber probleminde iki durum vardır:

1. Her bir müşterinin talep miktarı "tek bir tesisten" (tek kaynaklı - single source) karşılanmalı ya da
2. Talep miktarı, uygun olan "birden çok tesisten" (çok kaynaklı - multi source) farklı miktarlarda karşılanabilmeli.

Birinci durumla ilgili problemlere Kapasite Kısıtlı Tek Kaynaklı Weber Problemi (KKTKWP) adı verilir. Bu problemlerin çözümü için kapasite kısıtı aşılan tesisler belirlenir ve kapasite aşımını ortadan kaldırmak üzere, bazı müşteriler başka tesislere atanarak, kapasite aşımı ortadan kaldırılmaya çalışılır. Müşteri-tesis eşleştirmesi yapılırken, yeni seçilen müşteriler belirlenirken, tesislere atanan toplam talep miktarının tesislerin kapasite kısıtını aşmamasına dikkat edilir.

İkinci durumla ilgili problemlere ise Kapasite Kısıtlı Çok Kaynaklı Weber Problemi (KKÇKWP) adı verilir. Bu problemlerin çözümünde, birinci durumdaki gibi kapasite aşımına sebep olan müşterilerin taleplerinin tamamıyla başka tesislere kaydırılması yeterli olmaz, talebin ne kadarının hangi tesisten karşılanacağı da hesaplanmalı ve kapasite kısıtlarına uygun olarak belirlenmelidir.

Bu çalışmada, tesis yerlerini belirlemek için Değiştirilmiş YAK algoritması kullanılması ile birlikte, hangi müşterilerin başka tesislere kaydırılacağını belirlemek için ek olarak, ayrı bir "Yardımcı YAK algoritması" çalıştırılır. Tesis yerlerini arayan Değiştirilmiş YAK algoritmasının çalışması sırasında dönüşümlü olarak, yardımcı YAK algoritması devreye girer ve talep atamalarını hesaplayarak kapasite kısıtıyla ilgilenir.

Algoritmanın dört ana fazı şunlardır:

1. Başlangıç
    a. Tesis yerlerini rasgele konumlar vererek belirle.
2. İlk yerleştirme
    a. Tesis yerlerini Değiştirilmiş YAK algoritması yardımıyla iyileştir.
    b. Kapasite kısıtını dikkate almadan, her müşteriyi en yakın tesise ata.
3. Müşteri-tesis atamalarını düzenleme
    a. Tesis yerlerini sabit tutarak,
    Yardımcı YAK algoritması yardımıyla müşteri-tesis atamalarını değiştir.
    (Kapasite kısıtının aşılmamasını sağla)
4. Tesis yerlerini iyileştirme
    a. Müşteri-tesis atamalarını sabit tutarak,
    tesis yerlerini Değiştirilmiş YAK algoritması yardımıyla iyileştir.
    b. Toplam tur sayısı tamamlandıysa, taramayı bitir.
    c. Değilse, 3ncü adıma dön ve tekrarla.

1nci fazda rasgele belirlenen tesis yerlerini tamamen şansa bırakmamak için, 2nci fazda kapasite kısıtları dikkate alınmaksızın tesis yerleri müşterilere uygun yerlere yaklaştırılır. 2nci faz belirli bir tur sayısı kadar çalışır, sonra 3ncü ve 4ncü faza geçilir.

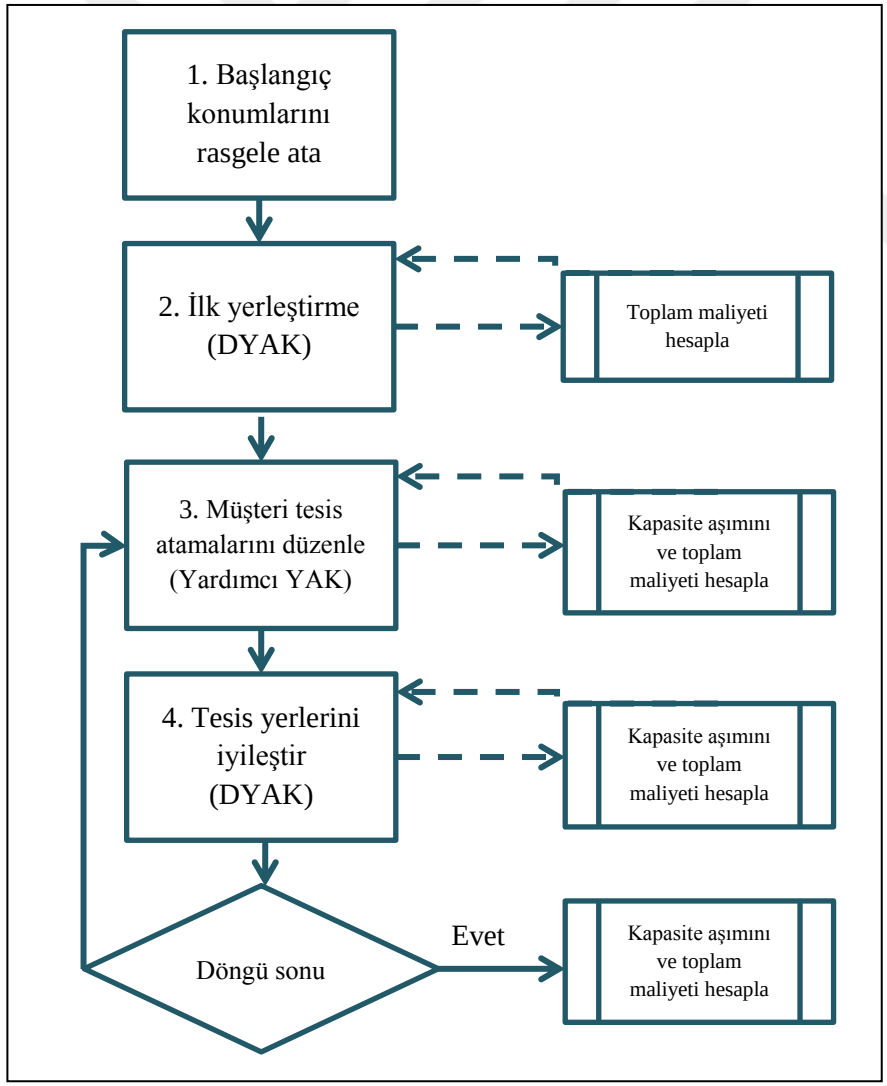
3ncü ve 4ncü fazlar birbirinin peşi sıra, her biri belirli bir tur sayısı kadar koşturularak, tekrar tekrar çalıştırılır. Toplam tur sayısı tamamlandığında bulunan en iyi çözüm, algoritmanın sonucunu oluşturur.

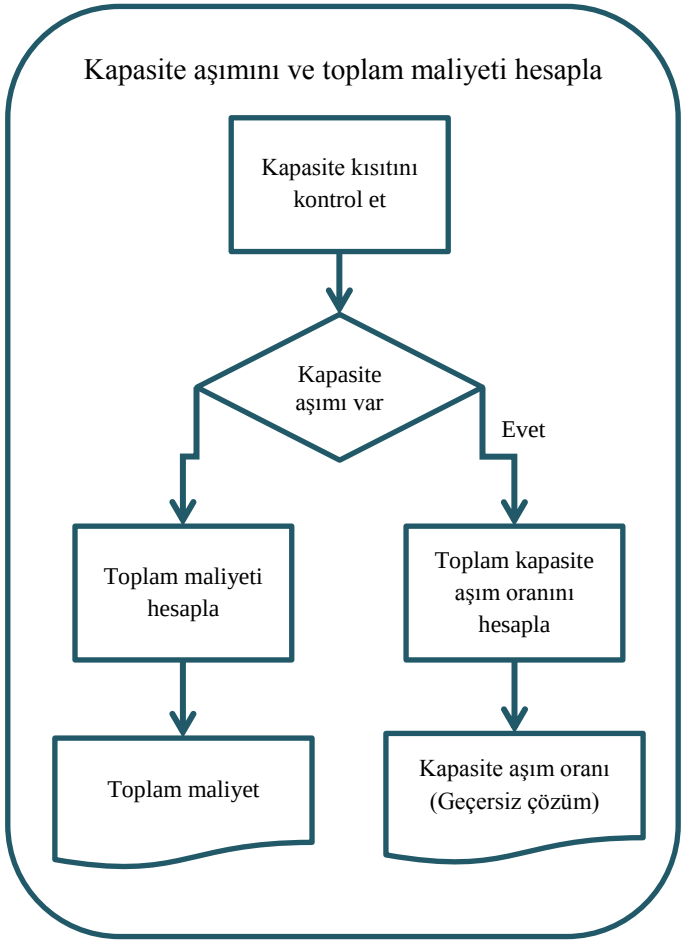
2nci ve 4ncü fazlarda (Değiştirilmiş YAK algoritmasında) her arının hareket ettiği konumun besin değeri hesaplanır ve daha iyi değere sahip yerler arılar tarafından keşfedilir ve tercih edilir. Bu sırada sadece tesis yerleri değiştirilir.

3ncü fazda müşteri-tesis atamalarını iyileştirmek üzere, yardımcı bir YAK algoritması çalıştırılır. Bu sırada tesis yerleri sabit tutulur, sadece müşteri-tesis atamaları değiştirilir. Daha iyi çözümü sağlayan atamalar Yardımcı YAK algoritmasındaki arılar tarafından keşfedilir ve tercih edilir.

Bu fazların akış şeması Şekil 3-11'de gösterilmiştir. 3ncü fazdaki Yardımcı YAK algoritması ve bu algoritma içerisinde uygulanan "akıllı kaydırma yöntemi" akış diyagramları Şekil 3-12'de gösterilmiştir.

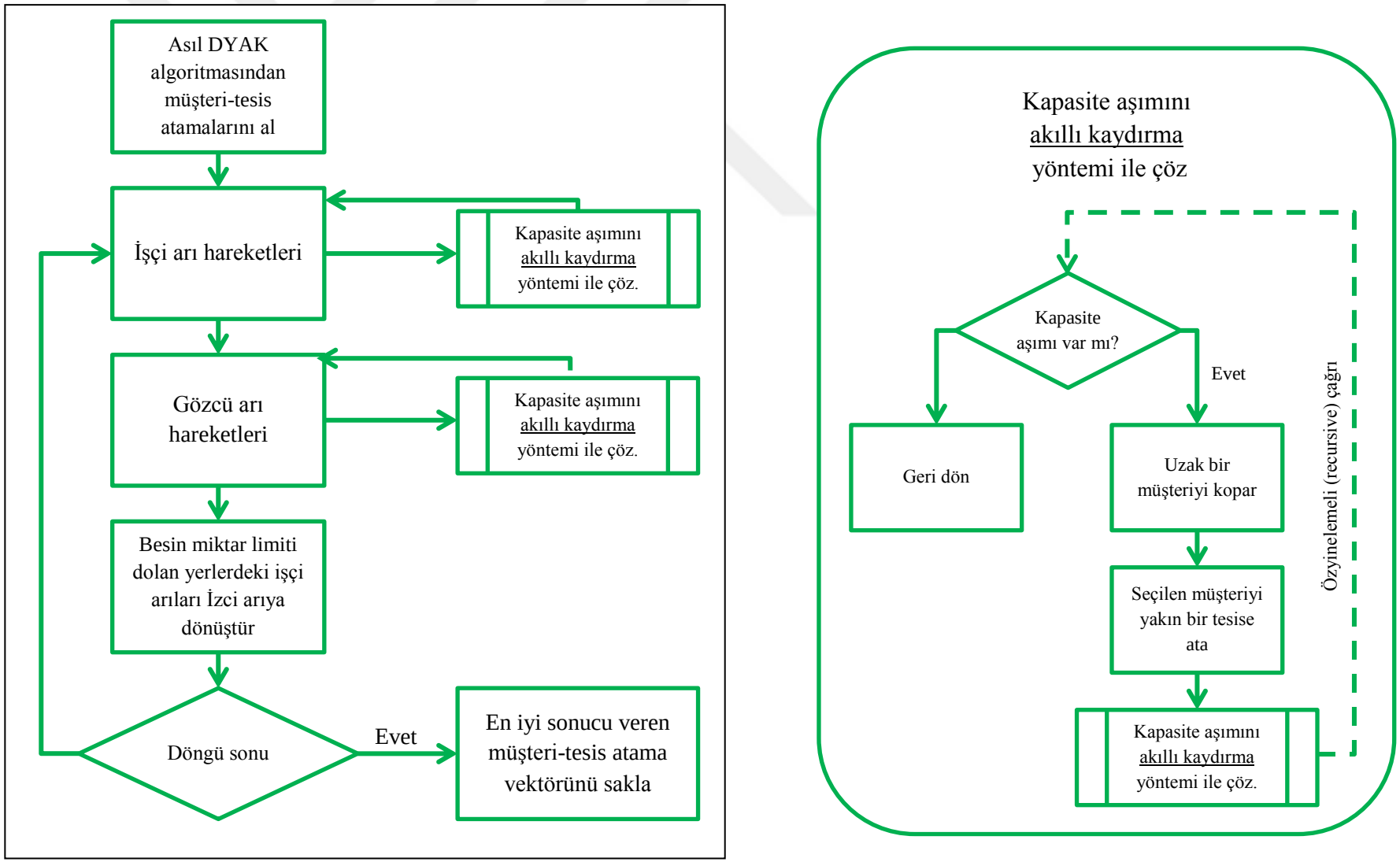
Kapasite Kısıtlı Çok Tesisli Weber Probleminin DYAK Algoritması ve Yardımcı YAK Algoritması ile Çözüm Akış Şeması





Şekil 3-11: Kapasite Kısıtlı Weber Problemleri için Genel Çözüm Şeması

Yardımcı YAK algoritması ve Akıllı Kaydırma Yöntemi akış şemaları



Şekil 3-12: Yardımcı YAK algoritması ve Akıllı Kaydırma Yöntemi

Aşağıda, önce tarama uzayındaki olası çözümleri ifade eden çözüm vektörü, sonra çözüm vektöründen sonuç bilgilerine nasıl dönüşüm yapıldığı anlatılmıştır. Bütün fazlarda, DYAK algoritmalarının ele aldığı besin kaynağı konumundan asıl problemin çözümüne dönüşüm için aşağıda anlatılan aynı yöntem kullanılmıştır. Çözümün uyum değeri belirlenirken de, her fazda aynı hesaplama kullanılır. Çözüm vektörü içindeki değerlerin kullanım şekli KKTKWP ve KKÇKWP için farklılık gösterdiği için ikisi ayrı ayrı anlatılmıştır.

Kapasite Kısıtlı Tek Kaynaklı Weber Problemi (KKTKWP) Çözüm Vektörü
(CSSWP: Capacitated Single-Source Weber Problem)

KKTKWP probleminin Bölüm 2.1'de de yer alan matematiksel modeli aşağıdaki gibidir:

KKTKWP:

$$\min_{Z,X} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} c_{ij} w_i z_{ij} d(X_j, a_i)$$

öyle ki

$$\sum_{j=1}^{m} z_{ij} = 1, \qquad i = 1, \dots, n \qquad (1)$$

$$z_{ij} \in \{0, 1\}, \qquad \forall i, j \qquad (2)$$

$$X_j \in \mathbb{R}^2, \quad \forall j$$

$$\sum_{i=1}^{n} w_i z_{ij} \leq b_j, \quad j = 1, \dots, m. \qquad (3)$$

m *: kurulacak tesis sayısı*

n *: müşteri (talep noktası) sayısı*

$a_i=(a_{i1},a_{i2})$ *: talep noktası* ***i****'nin bilinen iki boyutlu sabit konumu* $i=1,\dots,n$

c_{ij} *: tesis* ***j****'den talep noktası* ***i****'ye hizmet ulaştırmanın birim maliyeti*

w_i *: talep noktası* ***i****'nin toplam talep miktarı*

b_j *: tesis* ***j****'nin kapasitesi*

$d(X_j,a_i)$ *: talep noktası* ***i*** *ile tesis* ***j*** *arasındaki Öklid uzaklık*

$X=(X_1,\dots,X_m)$ *tesis konumlarını [* $X_j : (x_j, y_j)$ *] gösteren karar değişkenleri* $j=1,\dots,m$

$Z=(z_{ij})$ *: talep noktası* ***i****'nin tesis* ***j****'den hizmet alıp almayacağını gösteren karar değişkenleri*

(eğer ***i***-nci müşteri ***j***-nci tesis atanmışsa 1; atanmamışsa 0 değerini alır).

(1) Her talep noktasının toplam talebi karşılanacaktır. (Talep kısıtı)

(2) $z_{ij} = 0$: Talep noktası ***j*** tesis ***i***'den hizmet almayacak.

$z_{ij} = 1$: Talep noktası ***j*** tesis ***i***'den w_i kadar miktarda hizmet alacak.

(1) nolu denklemden dolayı her talep noktası sadece bir tesisten hizmet alacaktır.

(3) Tesislere atanan talep noktaların talep miktarı en fazla tesislerin kapasitesi kadar miktarda olacaktır. (Arz kısıtı)

Weber problemi ile DYAK algoritmasının tarama uzayı arasındaki eşlemeyi çözüm vektörü sağlamaktadır.

Kapasite kısıtsız çok tesisli Weber probleminin (ÇTWP) DYAK algoritması ile çözülebilmesi için uygulanan (***B***) çözüm vektöründe tesis yerlerinin iki boyutlu konum değerleri tutulmaktadır. KKTKWP çözümü için bu çözüm vektörüne, müşteri-tesis atamalarını gösteren değerler eklenmiştir. Şekil 3-13'te görülen yeni çözüm vektörü (***B'***) $2\times m+m\cdot n$ boyutludur. Vektörün ilk $2\times m$ elemanı, tesis yerlerinin koordinatlarını temsil eden ($X_i=(x_i,y_i)$) reel sayılardan, son $m\times n$ elemanı, müşteri talebinin hangi tesisten karşılanacağını gösteren (z_{ij}) 0 veya 1 değerlerinden oluşmaktadır.

B':	1	2	3	4	...	...	2m-3	2m-2	2m-1	2m	2m+1	2m+2	...	2m+m·n
	x_1	y_1	x_2	y_2	...	...	x_{m-1}	y_{m-1}	x_m	y_m	$z_{1,1}$	$z_{1,2}$	...	$z_{n,m}$
	Tesis 1		Tesis 2		...		Tesis m-1		Tesis m		Müşteri 1 Tesis 1	Müşteri 1 Tesis 2	...	Müşteri n Tesis m
	Kurulacak tesis yerlerinin koordinatları										Müşteri-tesis atamaları			

Şekil 3-13: KKTKWP problemleri için çözüm vektörü

Çözüm vektörünün ilk kısmı «Değiştirilmiş YAK algoritması» tarafından, ikinci kısmı «Yardımcı YAK algoritması» tarafından doldurulur.

Kapasite kısıtsız ÇTWP için daha önceden Bölüm 3.3'te gösterildiği gibi, müşteri-tesis atamaları direkt bir yolla hesaplanır ve her müşteri kendisine en yakın tesise atanmaktadır. Herhangi bir müşteriyi en yakın olduğu tesise atamak yerine diğer tesislerden birine atamak, aradaki uzaklık daha fazla olacağı için, çözümü daha kötüleştirecektir. Bu yüzden, tesis yerleri sabit tutulup, atamaları değiştirerek bulunabilecek en iyi çözüm, her müşterinin kendisine en yakın tesise atanması ile bulunan çözümdür ve tesislerde kapasite kısıtı olmadığı için, bu atamaların alternatifini aramaya gerek yoktur. Bu sebeplerden dolayı müşteri-tesis atamaları,

tesis yerlerinin bir fonksiyonu olarak her zaman hesaplanabilir ve çözüm vektöründe tutulmasına gerek görülmemiştir.

KKTKWP çözümü olarak ise, önerilen aynı tesis yerleri için farklı farklı müşteri-tesis atamaları denenmelidir. Bu nedenle çözüm vektörü, hem tesis yerlerini, hem de müşteri-tesis atamalarını içerir. Bu farklı çözümler, tesislerin kapasite kısıtını ihlal etmedikçe, geçerli çözümlerdir ve çözümlerin doğurduğu toplam maliyetler, tesis yerleri aynı kalsa bile, müşteriler ile atanandıkları tesisler arası uzaklıkların farklı olması nedeniyle farklı maliyet değerleri alır.

Müşteri-tesis atamalarını gösteren z_{ij} değerleri, kapasite kısıtsız ÇTWP'nde olduğu gibi, yine tamsayıdır ve 0 ve 1 değerlerinden oluşur. Belirli bir i müşterisi için z_{ij} değerlerinden sadece bir tanesi 1 değerini alır ve i müşterisi sadece bir tesisten hizmet alır.

Çözüm vektörünün Kapasite Kısıtlı Tek Kaynaklı Weber Problemi (KKTKWP) çözümüne dönüştürülmesi

Değiştirilmiş Yapay Arı Kolonisi algoritması boyunca tarama uzayında birçok farklı nokta ziyaret edilir. Bu noktaların uyum değeri hesaplanır ve arılar uyum değeri bilgisini (besin miktarı) birbirleriyle paylaşır ve bu bilgiye göre tercihlerini yaparlar. Kapasite kısıtlı tek kaynaklı Weber probleminin çözümünün uygunluğu, tesis yerlerine ve müşteri-tesis eşleşmelerine göre hesaplanan toplam maliyet değerine göre hesaplanır.

KKTKWP'ni çözmek için 4 faz halinde aşağıdaki işlemler yapılır:

Faz	Girdi	Uygulanan işlemler	Çıktı
F1. Başlangıç	-	Rasgele atama yaparak çözüm vektörünü doldur.	Çözüm vektörü (B')
F2. İlk yerleştirme	Çözüm vektörü (B')	1. Tesis yerlerini belirle. 2. Talep noktalarını en yakın tesis ile eşleştir.	Tesis yerleri matrisi (X_i) Geçici müşteri-tesis eşleşmeleri (z_{ij})
F3. Müşteri-tesis atamalarını düzenleme	Talep noktaları (a_i) Talep miktarları (w_i) Tesis kapasiteleri (b_j) Tesis yerleri matrisi (X_i) Geçici müşteri-tesis eşleşmeleri (z_{ij})	Müşteri-tesis eşleşmelerini kapasite kısıtına uygun hale getir.	Düzeltilmiş müşteri-tesis eşleşmeleri (z_{ij})
F4. Tesis yerlerini iyileştirme	Talep noktaları (a_i) Talep miktarları (w_i) Tesis kapasiteleri (b_j) Tesis yerleri matrisi (X_i) Müşteri-tesis eşleşmeleri (z_{ij})	Tesis yerlerini iyileştir.	Tesis yerleri matrisi (X_i)
Kapasite kısıtının kontrol edilmesi (Faz 3 ve Faz 4'te)	Talep miktarları (w_i) Tesis kapasiteleri (b_j) Müşteri-tesis eşleşmeleri (z_{ij})	Kapasite kısıtından fazla talep eşlenmiş tesisleri belirle. Toplam kapasite aşım miktarını tesis kapasitelerinin toplamına oranını hesapla.	Kapasite aşım oranı
Toplam maliyetin hesaplanması (Tüm fazlarda)	Talep noktaları (a_i) Talep miktarları (w_i) Tesis yerleri matrisi (X_i) Müşteri-tesis eşleşmeleri (z_{ij})	Her bir talebin eşlendiği tesis ile arasındaki uzaklık, talep miktarı ve taşıma birim maliyetini çarparak toplam maliyeti hesapla.	Toplam maliyet

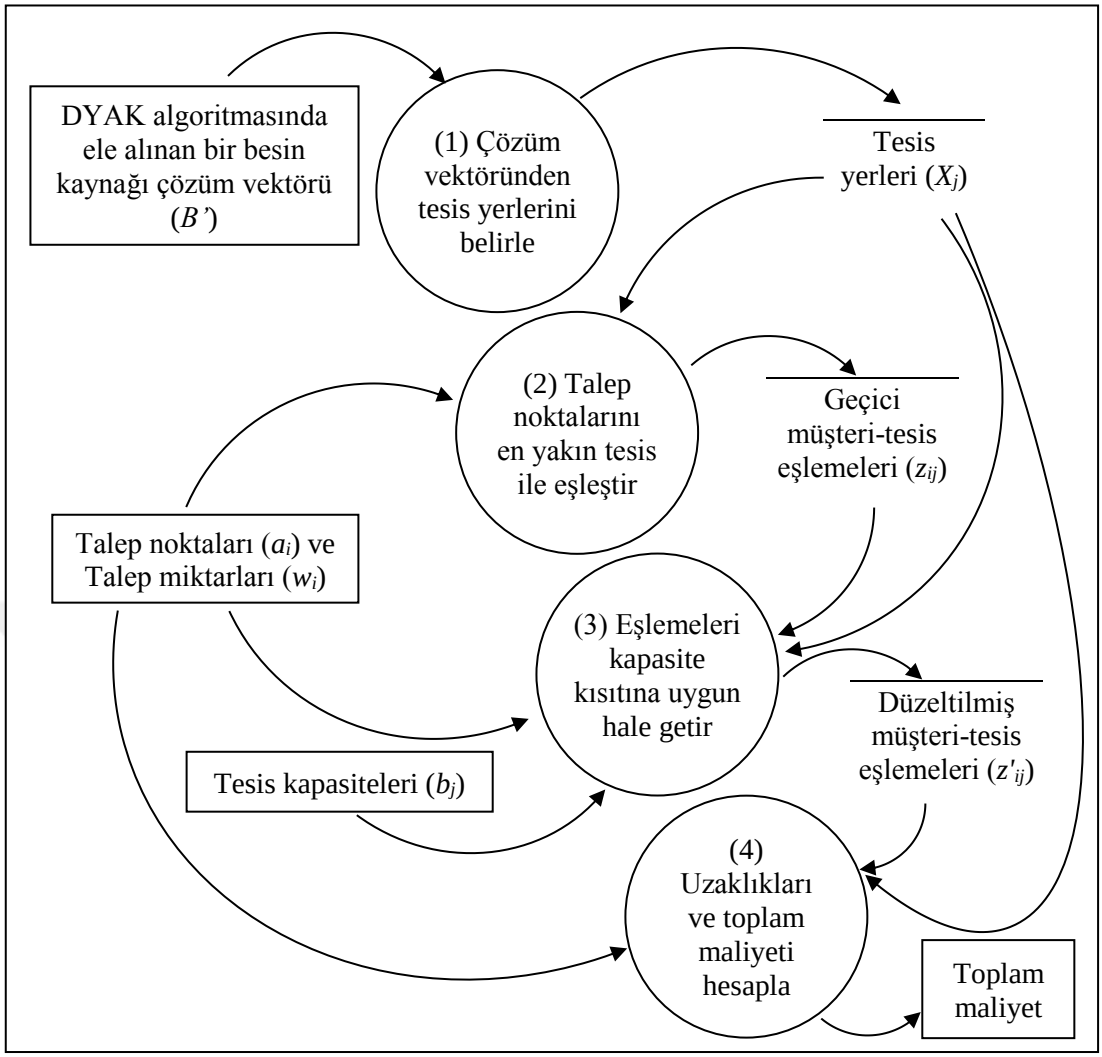
F1 Başlangıç ve F2 İlk yerleştirme fazları sırasında **toplam maliyet değeri**, talep noktaları ile, eşlendikleri tesisler arasındaki Öklid uzaklıkların eşlenen talep miktarı ve taşıma birim fiyatı ile çarpılmasıyla hesaplanır.

$$Toplam\ taşıma\ maliyeti = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} c_{ij} w_i z_{ij} d(X_j, a_i)$$

F3 Müşteri-tesis atamalarını düzenleme ve F4 Tesis yerlerini iyileştirme fazları sırasında kapasite aşım oranı aşağıdaki şekilde bulunur, kapasite aşımı yoksa, üstteki şekilde toplam taşıma maliyeti değeri dikkate alınır. Kapasite aşımı olan tesislere atanmış fazla miktarlar toplanır, kapasite aşımı miktarı, tesis kapasitelerinin toplamına bölünerek, **kapasite aşım yüzdesi** belirlenir.

$$Kapasite\ aşım\ yüzdesi = 100 \times \frac{\sum_{j=1}^{m} \max(0,\ (\sum_{i=1}^{n} w_i z_{ij}) - b_j)}{\sum_{j=1}^{m} b_j}$$

3ncü fazda kapasite aşımını dereceli olarak azaltabilmek için, DYAK algoritmasının adımları sırasında iki alternatif çözümün kapasite aşım oranlarının karşılaştırabilir olması gerekir. Bu nedenle, kapasite aşımı varken, toplam maliyet değeri olarak, kapasite aşım yüzdeleri kullanılır. Böylece, kapasite aşımını azaltmayı sağlayan atama değişiklikleri teşvik edilmiş olur. Kapasite aşımı tamamen giderildikten sonra toplam taşıma maliyetine göre kıyaslama yapılır.

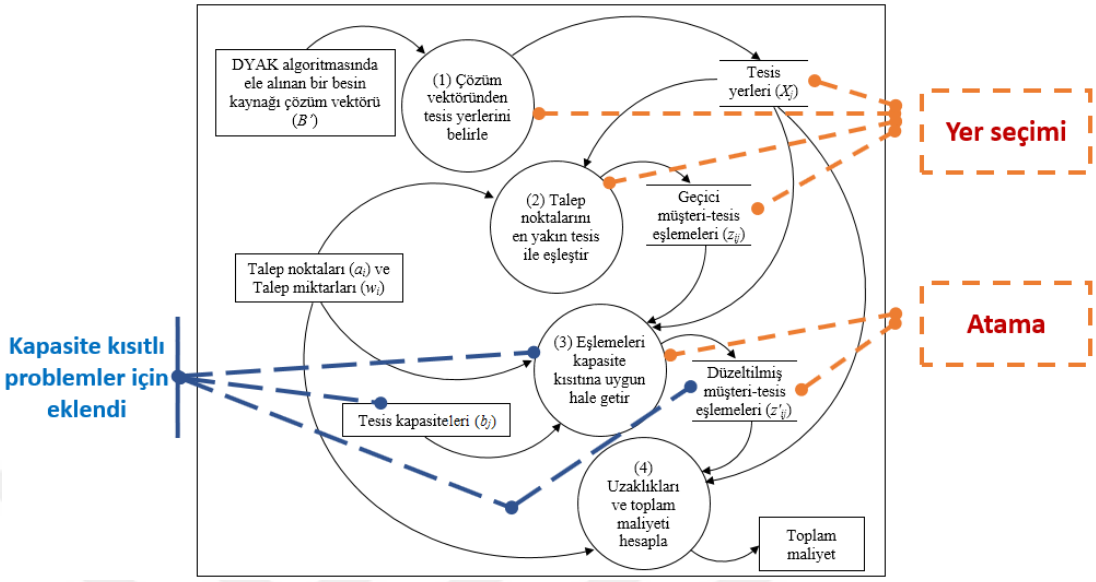


Şekil 3-14: Çözüm vektörünün Kapasite Kısıtlı Weber Problemi çözümüne dönüştürülmesi

Yukarıdaki Şekil 3-14'teki veri akış diyagramında, Değiştirilmiş YAK algoritmasında ele alınan, tarama uzayındaki bir besin kaynağını gösteren çözüm vektöründen, tesis yerlerine ve müşteri-tesis eşlemelerine yapılan dönüşümler, Yardımcı YAK algoritması tarafından kapasite aşımlarını gidermek için yapılan iyileştirmeler, düzeltilmiş müşteri-tesis eşlemeleri ve toplam maliyete ulaşmak için yapılan hesaplamalar gösterilmiştir.

Veri akış diyagramında gösterilen işlemlerden 1, 2 ve 4ncü işlemler, Kapasite kısıtsız çok tesisli Weber probleminde (ÇTWP) uygulanan Şekil 3-9'da gösterilen işlemlerle aynıdır. İşlem 3 ise Kapasite Kısıtlı Tek Kaynaklı Weber Problemi KKTKWP ve Kapasite Kısıtlı Çok Kaynaklı Weber Problemi KKÇKWP için tanımlanmıştır.

İşlem 3 Şekil 3-15'te gösterildiği gibi, yer seçimi ve atama işlemlerinden atama kısmını oluşturmaktadır.



Şekil 3-15: Çözüm vektörünün Kapasite Kısıtlı Weber Problemi çözümüne dönüşümünde yer seçimi ve atama adımları

İşlem 1: Çözüm vektöründen tesis yerlerini belirle

Bu işlem Bölüm 3.3'te gösterilen kapasite kısıtsız ÇTWP çözümündeki işlemle aynıdır. Çözüm vektörünün ilk $2\times m$ elemanından tesis yerleri $X_j = (x_j, y_j)$ şöyle elde edilir:

$$x_j = B'_{2j-1} \qquad ; j = 1,\ldots,m$$
$$y_j = B'_{2j} \qquad ; j = 1,\ldots,m$$

İşlem 2: Talep noktalarını en yakın tesis ile eşleştir

Bölüm 3.3'te gösterilen kapasite kısıtsız ÇTWP çözümündeki gibi, bu aşamada yapılan dönüşüm direkt bir yönteme sahiptir. Her bir talep noktası (müşteri) kendisine en yakın tesis ile eşleştirilir.

$$z_{ij} = \begin{cases} 1 & eğer\ j = \underset{k\in[1\ldots m]}{argmin}\, d(X_k, a_i) \\ 0 & diğer\ durumlarda \end{cases}$$

z_{ij} değerleri sadece 0 ve 1 tamsayı değerlerinden oluşur. Bir müşteri, sadece bir tesis ile eşleştirilebilir.

$$\sum_{j=1}^{m} z_{ij} = 1 \qquad i = 1, \ldots, n$$

Bir müşteriye en yakın uzaklıkta iki veya daha çok tesis varsa, herhangi birisi rasgele olarak atanır.

İşlem 3: Eşlemeleri kapasite kısıtına uygun hale getir

Önceki işlemde bulunan eşlemelere göre, tesislere atanan taleplerin toplamı tesis kapasitesini aşıyorsa, bu adımda, kapasite aşımını ortadan kaldırmak gerekir. Bunun için "Yardımcı YAK algoritması" çalıştırılarak, *z* vektöründeki tesis atamaları kapasite aşımını giderecek şekilde değiştirilir. Kapasite aşımı yoksa da, yine müşteri tesis atamaları değiştirilerek, toplam maliyetin azaltılması hedeflenir.

Yardımcı YAK algoritması, Değiştirilmiş YAK algoritması ile dönüşümlü olarak çalıştırılır. Yardımcı YAK algoritması İşlem 4'ten sonraki bölümde detaylı olarak anlatılmıştır.

İşlem 4: Uzaklıkları ve toplam maliyeti hesapla

Her talep noktasının (müşterinin) hangi tesisten ve ne kadar hizmet alacağı $w_{ij} = z_{ij} \cdot w_i$ değerleri ile yukarıda İşlem 3'teki şekilde belirlenmişti. Toplam maliyet, Bölüm 3.3'te anlatılan kapasite kısıtsız ÇTWP çözümünde olduğu gibi, her talep noktasının eşleştirildiği tesis ile arasındaki uzaklık, eşleştirilen miktar ve birim maliyet çarpılarak şöyle bulunur:

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} c_{ij} w_i z_{ij} d(X_j, a_i)$$

Bu işlemler sonucunda, tesislerin yerleri ve hangi müşterinin hangi tesisten ne kadar hizmet alması gerektiği belirlenmiş olur ve buna göre çözümün toplam maliyeti hesaplanır.

Kapasite kısıtı sağlanamamış ise, kapasite aşımı yüzdesi 0'dan büyük olur. Bu durumda bulunan çözüm geçersizdir.

Kapasite aşımını gidermek için çalıştırılan "Yardımcı YAK algoritması"

Değiştirilmiş YAK algoritmasının ürettiği çözümü kapasite kısıtına uygun hale getiren ek bir algoritmadır. Tesis yerlerini araştıran «Değiştirilmiş YAK algoritmasının» çalışması sırasında dönüşümlü olarak devreye girer.

Konumun uygunluğu hesaplanırken, kapasite kısıtının sağlanıp, sağlanmadığına da bakılır. Kapasite aşımı yoksa çözüm aynen geçerlidir.

Kapasite aşımı varsa, müşteri-tesis atamalarını düzenleyerek kapasite aşımını ortadan kaldırmak üzere, Yardımcı YAK algoritması çalıştırılır.

Bu sırada, Değiştirilmiş YAK algoritması ile belirlenen tesis yerleri sabit tutularak, sadece müşteri-tesis atamaları değiştirilir. Yardımcı YAK algoritmasının akış şeması Şekil 3-12'de gösterilmiştir.

Değiştirilmiş YAK algoritması, tesis yerlerini belirlemek için tarama yaparken, çözüm vektörü içinde tesis yerleri ile birlikte, tesis-müşteri eşleşmeleri de yer alır. Bu eşleşmeler, algoritmanın ilk başında her müşteriyi kendisine en yakın tesise atamak şeklinde basit bir yolla yapılır. Fakat, bazı tesisler kapasitelerinden daha fazla müşteri talebi ile eşleştirilmiş olabilir.

Bu durumu düzeltmek için, ayrı bir algoritma ile, çözümün önerdiği tesis-müşteri eşleşmeleri revize edilir. Bunun için, yine DYAK algoritmasını temel alarak oluşturulan "Yardımcı YAK algoritması" kullanılır. Yardımcı YAK algoritması çalışması sırasında çözüm vektörünün (***B'***)

a. ilk kısmı ($1,...,2\times m$), tesis yerleri sabit tutularak,
b. ikinci kısmı ($2\times m+1,...,2\times m+m\cdot n$), tesis-müşteri atamaları değiştirilir.

Bu aşamada çalıştırılan Yardımcı YAK algoritmasının görevi, $m\times n$ boyutlu 0 ve 1 değerlerinden oluşan, kesikli bir uzayda, hem tesislerin kapasite kısıtını sağlayan eşleştirmeler bulmak, hem de toplam maliyet fonksiyonunun en küçük değerini oluşturan z_{ij} değerlerini elde etmektir. Değişen, sadece z_{ij} değerleridir. Müşteri-tesis atamaları (z_{ij}) dışındaki, diğer değişkenler (tesis yerleri X_j) sabit tutularak, toplam maliyet hesaplanır.

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} c_{ij} w_i z_{ij} d(X_j, a_i)$$

$$\sum_{i=1}^{n} w_i z_{ij} \leq b_j, \qquad j = 1, \ldots, m$$

Yardımcı YAK algoritması, müşteri-tesis eşleştirmelerini, tesislerin kapasite kısıtlarını aşmayacak şekilde düzenlemek amacıyla şöyle uygulanmıştır:

DYAK algoritması	**Müşteri-tesis eşleştirmeleri için uyarlanmış Yardımcı YAK Algoritması**
Tarama uzayı: Tarama uzayı reel sayılardan oluşur.	Tarama uzayı tamsayılardan (0 ve 1) oluşur.
Başlangıç değerleri: Besin kaynakları ilk başlangıçta rasgele konumlara yerleştirilir.	Besin kaynaklarının ilk değerleri, tesis yerlerini belirlerken kapasite kısıtını dikkate almadan yapılan eşleştirmelerden kopyalanır. Detayı tablonun altında anlatılmıştır.
Hareket fonksiyonu: İşçi arı ve gözcü arı fazlarında yapılan denemelerde besin kaynağının yeni konumunu gösteren çözüm vektörü (v_r), besin kaynağının mevcut konumunu gösteren çözüm vektörü (x_r) rasgele seçilmiş bir boyutundaki (q) değere, rasgele seçilmiş bir komşu besin kaynağının (k) aynı boyut değeri ile arasındaki farkın -1 ile 1 aralığında rasgele belirlenen bir katsayı (Φ) ile çarpılıp eklenmesi ile elde edilir. $v_{rq} = x_{rq} + \phi \cdot (x_{rq} - x_{kq})$ İzci arı fazında ise rasgele değerlerden oluşan yeni bir besin kaynağı konumu çözüm vektörü (v_r) oluşturulur. Mevcut yer ile yeni belirlenecek yerin besin değerleri arasından iyi olan seçilir.	İşçi arı ve gözcü arı fazlarında her denemede çözüm vektöründe (x_r) bir müşteri-tesis ataması değiştirilir. Detayı tablonun altında anlatılmıştır. İzci arı safhasında ise, müşteri-tesis atamaları başlangıçta yapıldığı gibi doldurulur.

Yardımcı YAK algoritmasına başlarken besin kaynağı vektörlerinin ilk değerleri, önceki fazda kapasite kısıtını dikkate almadan yapılan müşteri-tesis atama değerlerinden kopyalanır. Bu sırada her müşteri kendisine en yakın tesisle eşleştirilir.

$$z_{ij} = \begin{cases} 1 & eğer\ j = \underset{k \in [1 \ldots m]}{argmin}\, d(X_k, a_i) \\ 0 & diğer\ durumlarda \end{cases}$$

Herhangi bir r besin kaynağının (x_r) başlangıç değerlerini dolduruken her bir q boyutunun x_{rq} değeri z_{ij} matrisinden kopyalanarak aşağıdaki gibi doldurulur.

$$x_{rq} = z_{ij} \quad \forall i, j$$

$$q = m \cdot (i - 1) + j$$

r : besin kaynağı indeksi. (besin kaynağı sayısı problemin karmaşıklığına göre algoritma çalıştırılırken belirlenir)

i : $1 \ldots n$ (müşteri indeksi)

j : $1 \ldots m$ (tesis indeksi)

q : $1 \ldots m \times n$ (müşteri-tesis atama vektörünün indeksi)

Bu şekilde, çözüm vektöründeki değerler müşteri-tesis atamaları matrisinden kopyalanmış olur.

Besin kaynaklarının ¼'ü bu şekilde z müşteri-tesis eşlemeleri matrisinden doldurulur. ½'si yine z matrisinden kopyalanır, fakat rasgele seçilen bir müşteri başka bir tesise atanır. Geriye kalan ¼'ü tamamen rasgele oluşturulan değerlerle doldurulur. Bu şekilde bir karma yapılmasının amacı, farklı alternatifleri deneyerek optimum çözüme ulaşmayı hızlandırmaktır.

Yardımcı YAK algoritmasının hareket fonksiyonunda hareketler, DYAK algoritmasındakinden farklı yapılmaktadır. Çünkü tarama uzayı tamsayı değerlerden oluşmuştur. DYAK algoritmasındaki gibi komşu arı ile aradaki uzaklık ve (-1, +1) arası rasgele çarpan değeri kullanılamamıştır. Bunun yerine her denemede vektörün rasgele bir pozisyonundaki değer 0 iken 1'e ya da 1 iken 0'a değiştirilir. Burada dikkat edilmesi gereken kısıt, KKTKWP probleminin tanımı gereği, bir müşterinin sadece bir tesisle eşlenmesi kısıtıdır.

$$\sum_{j=1}^{m} z_{ij} = 1 \qquad i = 1, \ldots, n$$

Bu kısıtı korumak için, rasgele seçilen bir pozisyondaki değer 0'dan 1'e değiştirildiği zaman, aynı müşterinin diğer atamaları 0'a değiştirilir. Hareket sırasında yapılan aşağıdaki işlemler işçi arı ve gözcü arı adımında uygulanmaktadır:

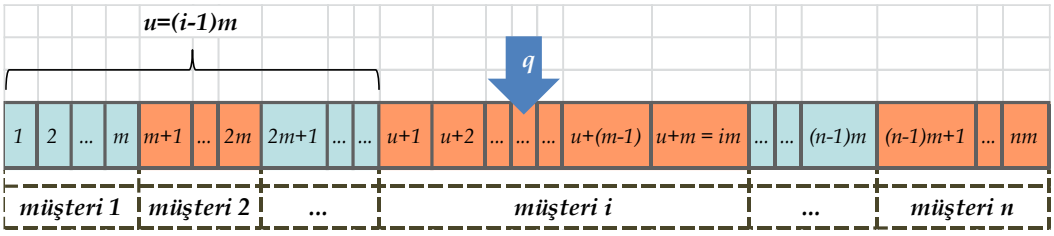
1. Seçilen çözüm vektörü (x_r) yeni çözüm vektörüne (v_r) kopyalanır. Vektörün rasgele seçilen bir boyutundaki (q) değer aşağıdaki gibi değiştirilerek yeni çözüm vektörü (v_r) oluşturulur:
   Eğer $x_{rq} = 0$ ise $v_{rq} = 1$ atanır.
   Eğer zaten $x_{rq} = 1$ ise rasgele başka bir boyut (q) belirlenerek, $x_{rq} = 0$ olan bir eleman bulunana kadar tekrar denenir.
2. Bu değişikliğin etkilediği müşterinin (i) diğer tesislere atama değerleri sıfırlanır.
   Böylece bir müşteri ile ilgili atama değerlerinden sadece bir tanesi 1 değerine sahip olur, diğerleri 0 olarak atanır ve müşteri bazında eşleştirmelerin toplamı 1 olur.

   Şekil 3-16'daki çözüm vektörü üzerinde rasgele seçilen q pozisyonunun hangi i müşterisine karşılık geldiği aşağıdaki formüle göre bulunur. Formülasyonu kolaylaştırmak için i müşterisinden önceki eleman sayısı u bulunur ve sonraki formülde indeks olarak kullanılır. Yeni hazırlanan v_r vektöründe i müşterisinin q dışındaki tüm tesislerle eşleme değerleri sıfırlanır, sadece q indeksindeki değer 1 olarak kalır. Böylece i müşterisi yeni bir tesise $((q \bmod m) + 1)$ atanmış olur.

$$i = \left\lfloor \frac{q-1}{m} \right\rfloor + 1 \qquad \forall q \in [1, \dots, n \cdot m]$$

$$u = m \cdot (i-1) = m \cdot \left\lfloor \frac{q-1}{m} \right\rfloor$$

$$v_{rk} = 0 \qquad \forall k \in [u+1, \dots, u+m], k \neq q$$



Şekil 3-16: Çözüm vektöründe tesis – müşteri atamaları

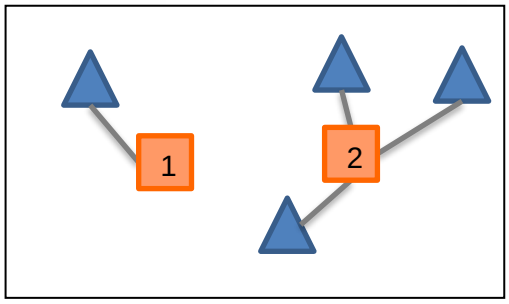
Örnek:

Tesis sayısı $m = 2$, müşteri sayısı $n = 4$ olsun. Müşteri 1'e en yakın olan Tesis 1, diğer üç müşteriye en yakın olan Tesis 2 olsun. Her müşteri kendisine en yakın tesise atansın.

Tablo 3-8: Tesis – müşteri atamaları

i	1	1	2	2	3	3	4	4
j	1	2	1	2	1	2	1	2
q	1	2	3	4	5	6	7	8
x_r	1	0	0	1	0	1	0	1

Bu durumda x_r matrisindeki değerler, hangi müşterinin hangi tesisle ilişkili olduğunu gösterecek şekilde 0 ve 1 değerleri ile yukarıdaki gibi doldurulur. Yukarıdaki Tablo 3-8'de, i, j, q indeksleri de gösterilmiştir. Örnek olarak, 1nci müşteri 1nci tesisle, 2nci müşteri 2nci tesisle ilişkilidir. $i=1$ ve $j=1$ indeksleri için
$q = m \cdot (i-1) + j = 2 \cdot (1-1) + 1 = 1$ olarak hesaplanır ve bu indeksteki $x_{rq} = 1$ değerine sahiptir. Bu müşteri-tesis atamaları Şekil 3-17'de temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 3-17: Müşteri-tesis atamalarının örnek gösterimi

Tek kaynaklı Weber probleminde z_{ij} vektörü 0 ve 1 değerlerinden oluşur. Bir müşteri bir tesisle ilişkilidir ya da değildir.

Yardımcı YAK algoritmasının tarama yaptığı uzay sürekli değerlerden değil, kesikli tamsayı değerlerinden oluştuğu için, işçi arı ve gözcü arı safhalarındaki işlemde bir değişiklik yapılmıştır. Bu safhalarda, bir komşu besin kaynağı seçip, iki farklı çözümün rasgele seçilen bir indeksteki z_{ij} değerleri arasındaki uzaklığı hesaplamaya ve aradaki uzaklığı rasgele bir katsayı ile çarpıp mevcut z_{ij} değerine eklemeye gerek

yoktur. Değerler 0 ve 1 tam sayı değerlerden oluştuğu için bu hesaplama yapılsaydı bile, sonuç tamsayıya yuvarlanacağı için, sonuçta ya aynı değer kalacak, ya da 0 olan değer 1 ile ya da 1 olan değer 0 ile değişecektir. Kesikli olan bu değerleri kullanarak aradaki uzaklığı hesaplamak anlamsızdır.

Sürekli değerlerden oluşan tarama uzaylarında, yakındaki yeni bir konumu denemeye yarayan bu işlem yerine, Yardımcı YAK algoritmasında müşteri-tesis atamalarından rasgele bir tanesi seçilir ve değiştirilir. Seçilen atama değeri 0 ise 1 yapılır ve o müşterinin daha önceden atanmış olduğu tesis ile ilişkisi atama değeri 0 yapılarak kaldırılır. Yani müşteri bir tesisten ayrılıp, başka bir tesise atanır. Bu atama değişikliğinden sonra tesislerdeki kapasite aşımı oluşabilir veya önceden varsa hala devam edebilir. Kapasite aşımının ortadan kalkması için, kapasite aşımı oluşan tesisteki başka müşterilerin ayrılıp, uygun başka bir tesise atanması gerekir. Müşteri-tesis atamaları üzerinde rasgele değişiklikler yaparak uygun çözüme ulaşmak fazla sayıda deneme yapmayı gerektirir. Bu kapasite aşımı "akıllı kaydırma" yöntemi ile çözülür.

Akıllı kaydırma sezgisel yöntemi, peş peşe verimli atama değişiklerini yaparak çözüme daha çabuk ulaşmayı sağlar. Bu yöntem aşağıda, "Müşteri-tesis atamalarının akıllı kaydırma yöntemiyle değiştirilmesi (KKTKWP)" bölümünde anlatılmıştır.

Yardımcı YAK algoritması belirli bir tur sayısı kadar çalışıp sonuç bulduktan sonra, en iyi bilinen çözüm (x_r) değerleri, Değiştirilmiş YAK algoritmasının çözüm vektöründe yer alan müşteri-tesis eşleştirme (z_{ij}) değerlerine aşağıdaki gibi dönüştürülür:

$$z_{ij} = x_{rq} \quad \forall \mathrm{i,j}$$
$$q = m \cdot (i-1) + j$$

r : en iyi çözüme ulaşan besin kaynağının indeksi

i : $1...n$ (müşteri indeksi)

j : $1...m$ (tesis indeksi)

q : $1...m \times n$ (müşteri-tesis atama vektörünün indeksi)

Değiştirilmiş z_{ij} değerleri (***B'***) çözüm vektörüne yerleştirildikten sonra, Değiştirilmiş YAK algoritması çözüm vektöründeki tesis yerlerini ve müşteri-tesis atamalarını ele

alır, bu çözümün uyum değerini hesaplar ve besin kaynağının mevcut uyum değeri ile karşılaştırma yaparak çalışmasına devam eder.

Yardımcı YAK Algoritmasının Yararı

Önerilen algoritmada, aynı anda hem tesis yeri önerileri Değiştirilmiş YAK algoritması ile hesaplanırken, hem de önerilen yerlere göre, Yardımcı YAK algoritması ile müşteri-tesis atamaları hesaplanıp, kapasite kısıtı sağlamaya çalışılmaktadır.

Bu iki işlemin iç içe çalıştırılmasının avantajı bir örnekle aşağıda açıklanmıştır.

Örnek:

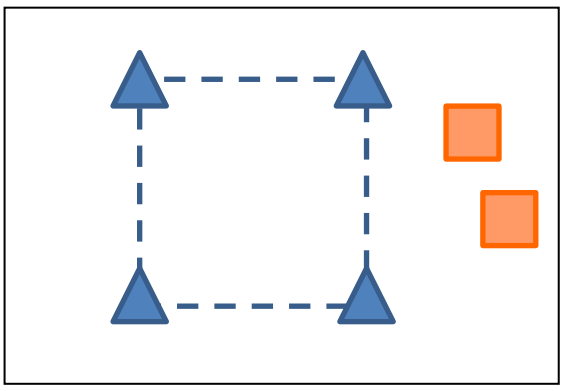
Bir karenin dört köşesindeki talep noktalarına hizmet verecek iki tesis yerleştirilmeli.

Bu örnek için aşağıdaki üç durum incelenecektir:

1. Kapasite kısıtsız durum
2. Kapasite kısıtlı durum
    a) Yardımcı YAK algoritması tesis yerleştirme işleminden sonra en sonda çalışır
    b) Yardımcı YAK algoritması tesis yerleştirme işlemiyle birlikte çalışır

Talep noktaları, Şekil 3-18'deki gibi kenarları 10 birim olan kare şeklinde bir alanın dört köşesinde yer almaktadır.

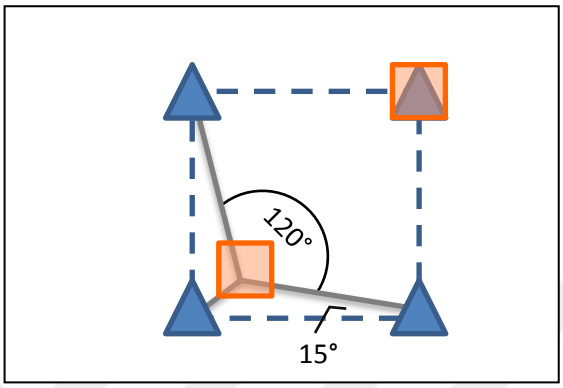
Talep miktarları 1 birimdir. Kurulacak iki tesisin kapasiteleri 2'şer birimdir.



Şekil 3-18: Örnek bir 2x4 kapasite kısıtlı Weber Problemi

1. Kapasite kısıtsız durumda:

Optimal olarak, tesislerden birincisi bir köşeye (uzaklık = 0), ikincisi diğer üç köşenin ortasında «Fermat-Weber noktası» olarak bilinen noktaya Şekil 3-19'daki gibi yerleşir.
Toplam uzaklık = 19,319 birim

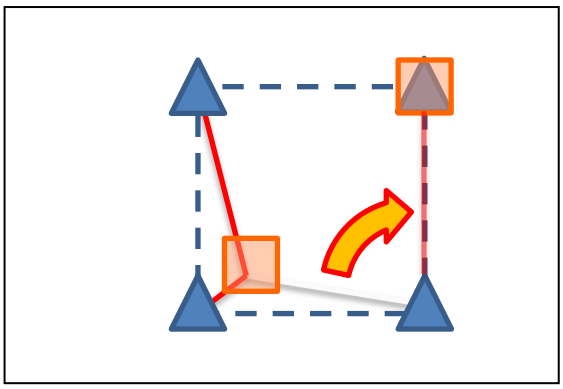


Şekil 3-19: Kapasite kısıtsız çözüm

2. Kapasite kısıtlı durumda:

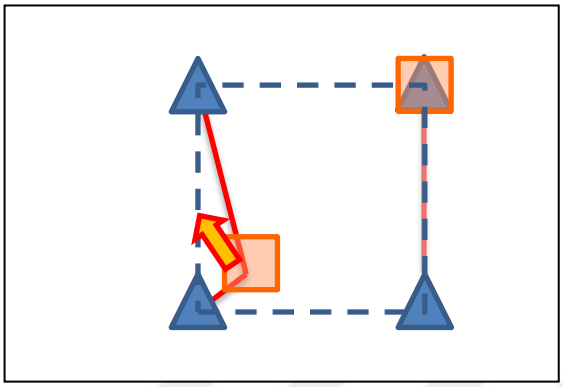
Bu örnekte bir tesis en fazla iki müşterinin talebini karşılayabilir.

a) **Yardımcı YAK algoritması tesis yerleştirme işleminden sonra en sonda çalışır:**
Önce, yukarıda anlatılan, kapasite kısıtsız durumdaki gibi tesis yerleri bulunur.
Sonra kapasiteyi aşan tesisteki müşterilerden birisinin ataması diğer tesise kaydırılır. Şekil 3-20'de bu atamanın nasıl kaydırıldığı ok ile gösterilmiştir.
Toplam uzaklık = 21,153 birim



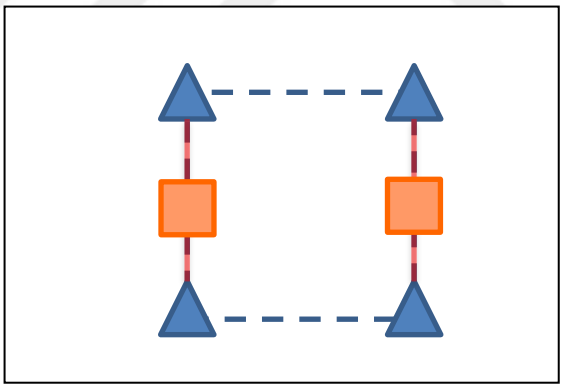
Şekil 3-20: Yardımcı YAK algoritması en sonda çalışınca bulunan çözüm

b) **Yardımcı YAK algoritması tesis yerleştirme işlemiyle birlikte çalışır:** Kapasite kontrolü işlemi, tesis yerlerini belirleyen algoritma ile iç içe çalışan Yardımcı YAK algoritması tarafından yapılıp, müşteri-tesis atamaları değiştirildikten sonra, Şekil 3-21'de görüldüğü gibi soldaki tesis üç köşenin ortasındaki Fermat-Weber noktasından başka cazip yerleri keşfeder.



Şekil 3-21: Yardımcı YAK algoritması ve yer seçimi birlikte çalışırken tesis yerlerinin değişmesi

Aynı işlemler peş peşe belirli bir sayıda tekrarlandıktan sonra Şekil 3-22'de görülen hem kapasite kısıtlarına uyan, hem de toplam maliyeti daha küçük olan çözüme ulaşılır.
Toplam uzaklık = 20 birim



Şekil 3-22: Yardımcı YAK algoritması ve yer seçimi birlikte çalışınca bulunan çözüm

Yukarıdaki a) ve b) alternatifleri arasında b) alternatifi "Yardımcı YAK algoritmasının yer seçimi işlemi ile bir arada iç içe çalıştırılması" daha iyi bir sonuç elde etmiştir.

Müşteri-tesis atamalarının akıllı kaydırma yöntemiyle değiştirilmesi (KKTKWP)

Yardımcı YAK algoritmasında arıların hareketleri sonucu, her turda $m \times n$ boyutlu Z vektörünün belirli bir konumundaki değer 0'dan 1'e değiştirilir ve o konumun ait olduğu müşterinin diğer tesislere olan eşleştirmeleri sıfırlanır. Yani q konumundaki değer 1'e değiştirilmiş ise, müşteri $i = \left\lfloor \frac{q-1}{m} \right\rfloor + 1$, tesis $j = (q \ mod \ m) + 1$ ile eşlenmiş ve daha önce eşli olduğu tesisten ayrılmıştır.

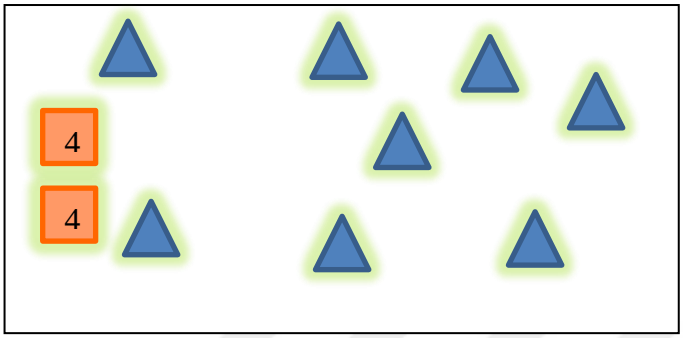
Bu atamanın değiştirilmesi, kapasite aşımını kaldırmayı ya da azaltmayı ya da toplam maliyeti düşürmeyi sağladıysa, değişiklik kalıcı olur, değilse değişiklikten vazgeçilir. Denenen bu değişiklikler bazı durumlarda hemen iyi sonuç veremez. Söz konusu müşterinin atandığı tesiste kapasite aşımı doğmuş olabilir ve o tesisteki başka bir müşterinin başka bir tesise kaydırılması gerekir. Yardımcı YAK algoritmasının üzerinde çalıştığı vektör $m \cdot n$ boyutlu olduğu için, DYAK algoritması döngüsünde rasgele seçimler yaparak, böyle uyumlu kaydırmaların peş peşe denenme olasılığı çok düşüktür. Algoritmayı uzun turlar boyunca koşturup, sonuç almayı beklemek yerine, müşteri-tesis atamalarını aşağıda anlatıldığı şekilde zincirleme olarak değiştiren "akıllı kaydırma" sezgisel algoritması eklenmiştir:

a. Müşterinin yeni atandığı tesiste kapasite aşımı oluştuysa, o tesisteki müşterilerden, uzakta olanlar daha ağırlıklı olacak şekilde rasgele bir müşteri seç.
b. Seçilen müşteriye en yakın tesisler arasından, yakın olanlar daha ağırlıklı olacak şekilde rasgele bir tesis seç, müşteriyi o tesise ata.
    a. Tesiste kapasite aşımı oluştuysa, aynı algoritmayı o tesis için uygula.
c. Tesiste kapasite aşımı kalmayıncaya kadar yeni müşteriler seçip, başka tesislere kaydırmaya devam et.

Bu algoritma akış şeması Şekil 3-12'de verilen algoritmadır.

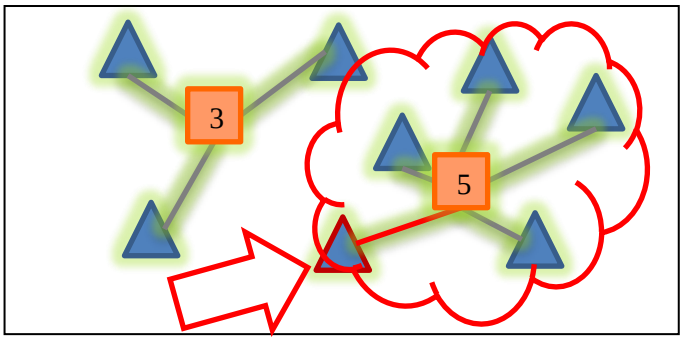
Örnek:

Şekil 3-23'teki sekiz talep noktası (üçgenler) için iki adet tesis yeri (kareler) belirlenecektir. Talep noktalarının talep miktarı 1'er birimdir. Kurulacak tesislerin kapasitesi 4'er birimdir.



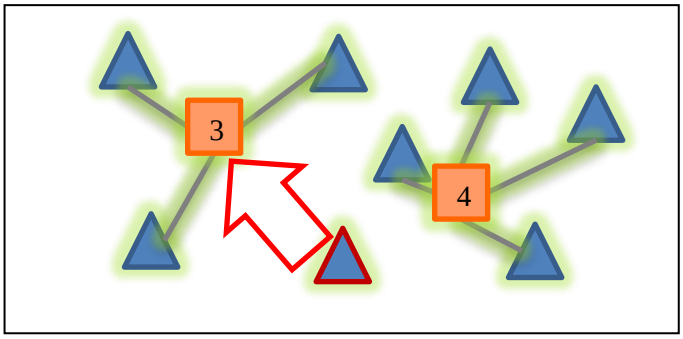
Şekil 3-23: Örnek bir 2x8 kapasite kısıtlı Weber Problemi

Bu örnek problemin çözümü aranırken, belirli bir anda önerilmiş olan iki tesis yeri aşağıda Şekil 3-24'teki gibidir. Önerilen bu tesis yerlerine göre, talep noktaları kendilerine en yakın tesislere atandığında, aşağıda Şekil 3-24'te gösterildiği gibi, bir tesise üç müşteri, diğer tesise beş müşteri eşleşmiş olur. Tesislerin kapasite kısıtı 4 birim olduğu için, ikinci (sağdaki) tesiste kapasite kısıtı ihlal edilmiştir.



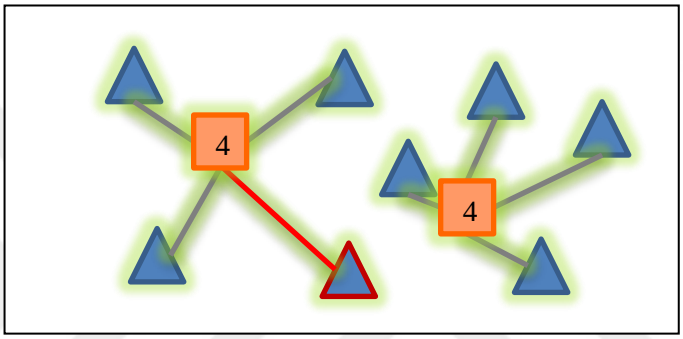
Şekil 3-24: Kapasite aşımı olan tesisten ayrılması gereken müşterinin belirlenmesi

Kapasite kısıtı ihlalini ortadan kaldırarak, geçerli bir çözüme ulaşmak için, ikinci tesise atanmış olan beş müşteriden bir tanesinin diğer tesise atanması gereklidir. Önce, hangi müşterinin ayrılacağı belirlenir. (Şekil 3-24) Bu örnekte, ok ile işaretli olarak gösterilen, altta ortadaki müşteri ikinci tesisten ayrılıp, kendisine yakın olan başka bir tesise (birinci tesise) atanacaktır. (Şekil 3-25)



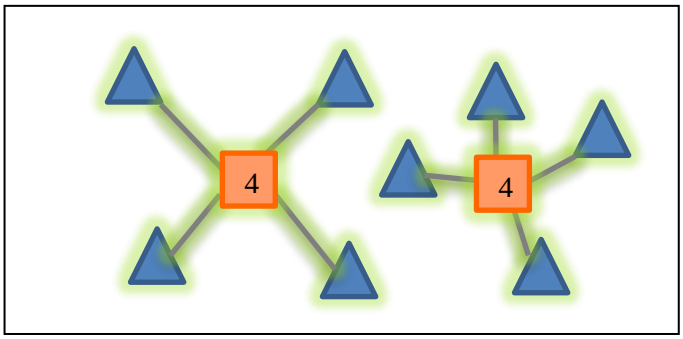
Şekil 3-25: Tesisten ayrılan müşteri için yeni atanacak tesisin belirlenmesi

Bu atama değişikliği sonrasında, her iki tesise 4'er birim müşteri talebi atanmıştır. Böylece, kapasite kısıtı bakımından geçerli bir çözüm elde edilmiş olur. (Şekil 3-26)



Şekil 3-26: Tesisten ayrılan müşterinin yeni tesise atanması

Sonraki turlarda, tesis yerleri, kendilerine atanmış olan müşterilerin konumlarının ortasına doğru hareket ederek, toplam taşıma maliyetinin daha az olmasını sağlar ve kapasite kısıtına uygun, verimli bir çözüm elde edilir. (Şekil 3-27)



Şekil 3-27: Tesis merkezlerinin müşteri yerlerinin ortasına yerleşmesi

Bu sezgisel algoritma, yapılan bir müşteri-tesis ataması değişikliğinin peşinden, o değişikliğin sonucunda kapasite aşımı doğarsa, kapasite aşımını ortadan kaldıracak değişiklikleri uygulayarak daha iyi çözümler bulmayı sağlar. Kapasite aşımı oluşan tesisten ayrılacak bir müşteri ve bu müşterinin atanacağı bir tesis rasgele olarak

seçilir. Fakat, bu seçim rasgele olmakla birlikte, uzaklığa göre ağırlıklandırılmıştır. Tesisten ayrılacak olan bir müşteriyi seçerken uzak olanlara ve bu müşterinin atanacağı yeni bir tesis seçerken yakın olanlara daha fazla önem verilerek rasgele seçim yapılır. Böylece sadece uzaklığa bağlı bir yönlendirmeyle algoritmaya taraflı ve sabit bir yönlendirme yapılmamış olur. Aynı zamanda, hala seçimlerde şans faktörünü kullanarak farklı kombinasyonlar denenmesine imkan verilir.

Geçersiz (uygulanamaz, infeasible) çözümlerin değerlendirilmesi

Değiştirilmiş YAK algoritmasının her turunda, çözüm vektörünün gösterdiği tesis yerleri denenirken, İşlem 3'te anlatılan Yardımcı YAK algoritması, bazen kapasite kısıtını ihlal etmeyen, uygulanabilir (feasible) bir çözüm bulmakta başarılı olamaz. Böyle durumlarda, kapasite kısıtını ihlal eden çözümleri tamamen geçersiz kılmak ve cezalandırmak yerine, en azından kapasite aşımındaki azalmayı dikkate almak ve algoritmanın birbirine göre daha iyi sonuç veren çözümler arasında tercih yapabilmesini sağlamak amacıyla, "uygun olmayan çözümün" kapasite aşım oranı hesaplanır ve değerlendirmeye alınır.

$$Kapasite\ aşım\ yüzdesi = 100 \times \frac{\sum_{j=1}^{m} \max(0,\ (\sum_{i=1}^{n} w_i z_{ij}) - b_j)}{\sum_{j=1}^{m} b_j}$$

İki çözümün kalitesi karşılaştırılırken, toplam maliyet değeri ile birlikte, kapasite kısıtını aşıp aşmama durumu da dikkate alınır. (Tablo 3-9) Bir kısıtı gözeterek iyileştirme yapılırken kullanılan "Deb's constrained handling method" adlı bu yöntem Goldberg ve Deb (1991) tarafından önerilmiştir.

Tablo 3-9: Çözüm kalitelerinin karşılaştırılması

Çözüm 1	Çözüm 2	Tercih edilecek çözüm
Kapasite aşımı yok	Kapasite aşımı yok	Toplam maliyeti küçük olan
Kapasite aşımı yok	Kapasite aşımı var	Çözüm 1*
Kapasite aşımı var	Kapasite aşımı yok	Çözüm 2*
Kapasite aşımı var	Kapasite aşımı var	Kapasite aşım oranı küçük olan

* Karşılaştırılan çözümlerden birisinde kapasite aşımı varken, diğerinde kapasite aşımı yok ise, toplam maliyet değerlerine bakılmaksızın, kapasite aşımı olmayan çözüm tercih edilir.

Özellikle ilk turlarda, henüz kapasite bakımından uygulanabilir bir çözüm elde edilmeden önce, yukarıda anlatılan yöntem sayesinde, iki geçersiz çözüm birbiriyle karşılaştırılabilir olduğu için, önce atama değişiklikleri ile kapasite kısıtının aşılması sağlanır. Sonra toplam uzaklık bakımından daha iyi tesis yerleri keşfedilir.

3.5. DEĞİŞTİRİLMİŞ YAK ALGORİTMASININ KAPASİTE KISITLI ÇOK KAYNAKLI WEBER PROBLEMİNE (KKÇKWP) UYGULANMASI

(CMSWP – Capacitated Multi Source Weber Problem)

Çok Kaynaklı Weber Problemleri kapasite açısından daha zor problemlerdir. Bu tip problemlerde tesis kapasiteleriyle ilgili sıkılık faktörü (Bölüm 2.1 sayfa 34) öyle yüksektir ki, her talebin birer tesisten karşılanması durumunda bazı tesislere, kendi kapasitelerinden daha fazla talep eşleştirilmiş olur. Çözüme ulaşabilmek için, taleplerin herhangi bir tesisten tamamıyla karşılanmasının yanı sıra, gerektiğinde uygun olan birden çok tesisten kısmi olarak karşılanabilmesine izin verilmesi gerekir.

Kapasite Kısıtlı Tek kaynaklı Weber problemi (KKTKWP) için uygulanan çözümdeki, kapasite aşımına sebep olan müşteri taleplerinin tamamıyla başka tesise kaydırılması yeterli olmaz, talep birden fazla tesisten karşılanmasına izin verilmeli ve talebin ne kadarının hangi tesisten karşılanacağı da çözümün içerisinde belirtilmelidir.

Bu nedenle, müşteri-tesis atamalarını temsil eden z_{ij} katsayıları 0 ve 1 tamsayıları yerine, 0 ile 1 arasında, 0 ve 1 dahil, reel değerlerden oluşur. Her müşterinin talep miktarı ile (w_i) çarpıldığında, hangi tesisten ne kadar miktarda hizmet alınacağı bulunur.

Bir müşteri *i* için z_{ij} değerlerinin toplamı yine 1 olmak zorundadır. Başka bir deyişle, talebin tamamı tesislerle eşleştirilmelidir.

Çözüm vektörü ve Yardımcı YAK algoritması z_{ij} katsayılarının reel sayı olması şekilde değiştirilmiştir.

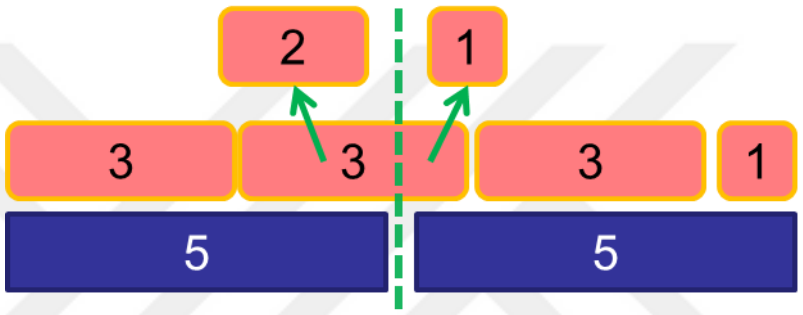
Böylece, kapasite kısıtlı çok tesisli Weber problemlerinin iki farklı türü ortaya çıkmaktadır. Bundan bir önceki Bölüm 3.4'te de bahsedilmişti.

a) Kapasite Kısıtlı Tek Kaynaklı Weber problemi (KKTKWP)
   Taleplerin tek bir tesisten karşılanmasına izin verilir, z_{ij} 0 ve 1 değerlerini alır.
b) Kapasite Kısıtlı Çok Kaynaklı Weber problemi (KKÇKWP)
   Taleplerin, uygun olan herhangi bir ya da birden çok tesisten kısmi olarak karşılanabilmesine izin verilir, z_{ij} değerleri 0 ile 1 aralığında bir katsayı olur.

KKÇKWP probleminin çözümü için uygulanan yöntem ana hatlarıyla, KKTKWP çözümü için uygulanan yöntemle aynıdır. Fakat, KKTKWP çözümünde yapıldığı gibi kapasite aşımına sebep olan müşterilerin taleplerinin tamamıyla başka bir tesise kaydırılması yeterli olmaz, talebin ne kadarının hangi tesisten karşılanacağı da belirlenmesi gereklidir. Bunun için, z_{ij} matrisi değerleri 0 ve 1 değerleri yerine, 0 ile 1 arasında sürekli değerler alarak, müşteri taleplerinin birden çok tesisten kısmen karşılanmasına imkan vermektedir.

Örnek :

Müşteri talepleri : 3, 3, 3, 1 Tesis kapasiteleri : 5, 5 olsun.



Şekil 3-28: Müşteri talebinin bölünerek tesis kapasitesine uydurulması

Bir tesise talepleri 3 olan iki müşteri atanırsa toplam talep 6 olur ve kapasite kısıtını aşar.

Doğru çözüm talep miktarı 3 olan müşterilerden bir tanesinin talebini 2 + 1 olarak parçalayıp, bir tesise 3 + 2, diğer tesise 1 + 3 + 1 olarak atamaktır. Yani müşterilerin taleplerini parçalayıp, birden çok tesisten karşılamaya izin vermek gerekir. (Şekil 3-28)

Müşteri taleplerinin parçalanıp birden çok tesisten karşılanmasına izin verilmesi, daha uygun ara çözümler bulmaya yol açar. Fakat bu işlem yapılırken aşağıdaki iki şart sağlanmalıdır:

a. her müşterinin tüm talebi karşılanmalıdır,
b. tesislerin kapasite kısıtı aşılmamalıdır.

KKÇKWP için kullanılan çözüm vektörü, Yardımcı YAK algoritması ve müşteri-tesis atamalarının değiştirilmesi aşağıda anlatılmıştır:

Kapasite Kısıtlı Çok Kaynaklı Weber Problemi (KKÇKWP) Çözüm Vektörü

KKÇKWP probleminin Bölüm 2.1'de de yer alan matematiksel modeli aşağıdaki gibidir:

KKÇKWP:

$$\min_{Z,X} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} c_{ij} w_i z_{ij} d(X_j, a_i)$$

öyle ki

$$\sum_{j=1}^{m} z_{ij} = 1, \qquad i = 1, \dots, n \qquad (1)$$

$$0 \leq z_{ij} \leq 1, \quad z_{ij} \in \mathbb{R}, \quad \forall i, j \qquad (2)$$

$$w_{ij} = w_i z_{ij}, \quad \forall i, j$$

$$X_j \in \mathbb{R}^2, \quad \forall j$$

$$\sum_{i=1}^{n} w_i z_{ij} \leq b_j, \quad j = 1, \dots, m. \qquad (3)$$

m *: kurulacak tesis sayısı*

n *: müşteri (talep noktası) sayısı*

$a_i=(a_{i1},a_{i2})$ *: talep noktası* ***i****'nin bilinen iki boyutlu sabit konumu* $i=1,\dots,n$

c_{ij} *: tesis* ***j****'den talep noktası* ***i****'ye hizmet ulaştırmanın birim maliyeti*

w_i *: talep noktası* ***i****'nin toplam talep miktarı*

w_{ij} *: tesis* ***j****'den talep noktası* ***i****'ye akış miktarı*

b_j *: tesis* ***j****'nin kapasitesi*

$d(X_j,a_i)$ *: tesis* ***j*** *ile müşteri* ***i*** *arasındaki Öklid uzaklık*

$X=(X_1,\dots,X_m)$ *tesis konumlarını [* $X_j : (x_j, y_j)$ *] gösteren karar değişkenleri* $j=1,\dots,m$

$Z=(z_{ij})$ *: talep noktası* ***i****'nin talebinin (*w_i*) ne kadar oranının tesis* ***j****'den karşılanacağını gösteren karar değişkenleri (* $z_{ij} = w_{ij} / w_i$ *)*

(1) Her talep noktasının toplam talebi karşılanacaktır. (Talep kısıtı)

(2) $z_{ij} = 0$: Talep noktası ***j*** tesis ***i***'den hizmet almayacak.

$0 < z_{ij} \leq 1$: Talep noktası ***j*** tesis ***i***'den $w_{ij} = w_j \cdot z_{ij}$ kadar miktarda hizmet alacak.

(3) Tesislere atanan talep noktaların talep miktarı en fazla tesislerin kapasitesi kadar miktarda olacaktır. (Arz kısıtı)

Önceki Bölüm 3.4'te anlatılan, kapasite kısıtlı tek kaynaklı Weber probleminin (KKTKWP) DYAK algoritması ile çözülebilmesi için uygulanan çözüm gösterim şekli olan çözüm vektörü (***B'***) $2 \times m + m \cdot n$ boyutludur. Vektörün ilk $2 \times m$ elemanı, tesis yerlerinin koordinatlarını temsil eden reel sayılardan, son $m \times n$ elemanı, müşteri talebinin hangi tesisten karşılanacağını gösteren tamsayı değerlerden oluşmaktadır.

Kapasite Kısıtlı Çok Kaynaklı Weber Problemi (KKÇKWP) için çözüm vektöründe müşteri-tesis atamaları farklı ele alınmıştır. Atama katsayıları bir müşteri talebinin birden çok tesisten karşılanmasına imkan verecek şekilde reel sayılardan oluşmaktadır. Her müşteri için tesis sayısı kadar katsayı bulunmaktadır. Katsayıların toplamı 1 olmalıdır. Katsayılardan en az birisi dolu olmak üzere, birden çok katsayı sıfırdan büyük olabilmektedir.

Yapı olarak aynı sayıda elemana sahip olmasına rağmen, KKÇKWP için, z_{ij} değerlerinin kullanım şekli farklı olan yeni bir çözüm vektörü (***B''***) tanımlanmıştır. Şekil 3-29'da görülen vektörün ilk $2 \times m$ elemanı, tesis yerlerinin koordinatlarını temsil eden reel sayılardan, son $m \times n$ elemanı, müşteri talebinin ne kadarının hangi tesisten karşılanacağını gösteren 0 ile 1 arasındaki reel sayılarla ifade edilen talep karşılama oranlarından oluşmaktadır.

B'':

1	2	3	4	...	...	2m-3	2m-2	2m-1	2m	2m+1	2m+2	...	2m+m·n
x_1	y_1	x_2	y_2	...	...	x_{m-1}	y_{m-1}	x_m	y_m	$z_{1,1}$	$z_{1,2}$	...	$z_{m,n}$
Tesis 1		Tesis 2		...		Tesis m-1		Tesis m		Müşteri 1 Tesis 1	Müşteri 1 Tesis 2	...	Müşteri n Tesis m
Kurulacak tesis yerlerinin koordinatları										Müşteri-tesis atamaları (talep karşılama oranları)			

Şekil 3-29: KKÇKWP problemleri için çözüm vektörü

Bu problemde z_{ij} değerleri 0 ve 1 tamsayı değerleri ile sınırlandırılmamış, 0 ve 1 arasındaki reel sayı değerlerini de alabilecek şekilde tariflenmiştir.

Tesisten karşılanacak talep miktarı w_{ij} ile gösterilir ve müşteri talep miktarı w_i ile z_{ij} değerinin çarpılması ile elde edilir. Bazı problemlerde, w_{ij} değerlerinin tamsayı olması şart koşulabilir. Mesela, dağıtımı yapılacak ürünler televizyon gibi parçalanamaz nesneler ise, atanan miktarlar tamsayı olmalıdır. Bu tez çalışmasında, böyle bir özel durum ele alınmamıştır.

Çözüm vektörünün ilk kısmı «Değiştirilmiş YAK algoritması tarafından», ikinci kısmı «Yardımcı YAK algoritması» tarafından doldurulur.

"Yardımcı YAK algoritması"nın kapasite kısıtlı çok kaynaklı Weber problemine (KKÇKWP) uygulanması

Kapasite Kısıtlı Tek kaynaklı Weber problemi (KKTKWP) için uygulanan Yardımcı YAK algoritması KKÇKWP için de aşağıda anlatılan fark dışında aynı şekilde uygulanır. Yardımcı YAK algoritması müşteri-tesis eşleştirmelerini oransal olarak belirlemek amacıyla değiştirilerek şöyle uygulanmıştır:

DYAK algoritması	Müşteri-tesis eşleştirmelerini oransal olarak belirlemek için uyarlanmış Yardımcı YAK Algoritması
Tarama uzayı:	
Tarama uzayı reel sayılardan oluşur.	Tarama uzayı 0 ile 1 arası reel değerlerden oluşur.
Başlangıç değerleri:	
Besin kaynakları ilk başlangıçta rasgele konumlara yerleştirilir.	Besin kaynaklarının ilk değerleri, tesis yerlerini belirlerken kapasite kısıtını dikkate almadan yapılan eşleştirmelerden kopyalanır. Detayı Bölüm 3.4'te anlatılmıştır.
Hareket fonksiyonu:	
İşçi arı ve gözcü arı fazlarında yapılan denemelerde besin kaynağının yeni konumunu gösteren çözüm vektörü (v_r), besin kaynağının mevcut yerini gösteren çözüm vektörü (x_r) rasgele seçilmiş bir boyutundaki (q) değere, rasgele seçilmiş bir komşu besin kaynağının (k) aynı boyut değeri ile arasındaki farkın -1 ile 1 aralığında rasgele belirlenen bir katsayı (Φ) ile çarpılıp eklenmesi ile elde edilir. $$v_{rq} = x_{rq} + \phi \cdot (x_{rq} - x_{kq})$$ İzci arı fazında ise rasgele değerlerden oluşan yeni bir çözüm konumu (v_r) oluşturulur. Mevcut yer ile yeni belirlenecek yerin besin değerleri arasından iyi olan seçilir.	İşçi arı ve gözcü arı fazlarında her denemede çözüm vektöründe (x_r) bir müşteri-tesis ataması değiştirilir. Detayı tablonun altında anlatılmıştır. İzci arı safhasında ise, müşteri-tesis atamaları başlangıçta yapıldığı gibi doldurulur.

Yardımcı YAK Algoritması çalışırken tarama uzayında farklı konumlarda çözüm aramaktadır. Yardımcı YAK Algoritmasındaki çözüm vektörü, KKÇKWP problemindeki müşteri-tesis eşleştirme değerleri olarak adreslendiği için, hareketler sırasında aşağıdaki düzeltmeler yapılarak, müşteri-tesis eşleştirmelerinin değerleriyle ilgili kısıtlar kontrol altında tutulur. Burada dikkate alınması gereken kısıtlar, KKÇKWP probleminin tanımı gereği olarak, müşteri-tesis eşleştirme değerlerinin

(z_{ij}) 0 ile 1 arasında değerler alması gerektiği ve bir i müşterisi için müşteri-tesis eşleştirme değerlerinin (z_{ij}) toplamının 1'e eşit olması gerektiğidir.

$$\sum_{j=1}^{m} z_{ij} = 1 \qquad i = 1, \dots, n$$

$$0 \leq z_{ij} \leq 1, \quad z_{ij} \in \mathbb{R}, \quad \forall i, j$$

Bu kısıtları garanti altına almak için çözüm vektörünü değiştiren her hareketten sonra aşağıdaki düzeltmeler yapılır:

1. Seçilen çözüm vektörü (x_r) yeni çözüm vektörüne (v_r) kopyalanır. Vektörün (v_r) rasgele seçilen bir boyutundaki (q) değer, -1 ile +1 arasında rasgele belirlenen bir değer (Φ) kadar değiştirilir.

   $$v_{rq} = x_{rq} + \phi$$

   İşlemden sonra v_{rq} değeri negatif olur ise 0 olarak alınır.

2. Değişiklikten sonra, çok düşük ihtimalle de olsa, bazen ilgili müşterinin atama değerlerinin toplamı 0'a düşebilir. Bu durumda $v_{rq}=1$ olarak alınır.

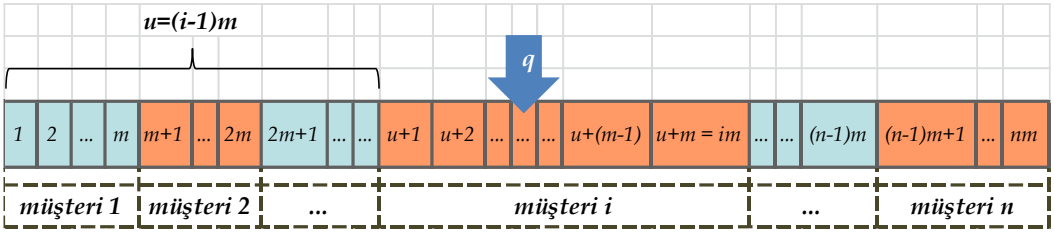
3. Bu değişikliğin etkilediği müşterinin tüm tesislere atama değerlerinin toplamı 1'e normalize edilir.

   Şekil 3-30'daki çözüm vektörü üzerinde rasgele seçilen q pozisyonunun hangi i müşterisine karşılık geldiği aşağıdaki formüle göre bulunur. Formülasyonu kolaylaştırmak için i müşterisinden önceki eleman sayısı u bulunur ve sonraki formülde indeks olarak kullanılır. Yeni hazırlanan v_r vektöründe i müşterisinin tüm tesislerle eşleme değerlerinin toplamı 1 olarak hesaplanır.

   $$i = \left\lfloor \frac{q-1}{m} \right\rfloor + 1 \quad \forall q \in [1, \dots, n \cdot m]$$

   $$u = m \cdot (i-1) = m \cdot \left\lfloor \frac{q-1}{m} \right\rfloor$$

   $$v_{rk} = \frac{v_{rk}}{\sum_{h=u+1}^{u+m} v_{rh}} \quad \forall k \in [u+1, \dots, u+m]$$



Şekil 3-30: Çözüm vektöründe tesis – müşteri atamaları

Müşteri-tesis atamalarının akıllı kaydırma yöntemiyle değiştirilmesi (KKÇKWP)

Yardımcı YAK algoritması tarafından müşteri-tesis atamaları değiştirildikten sonra ortaya çıkan kapasite aşımlarını gidermek amacıyla çalıştırılan sezgisel algoritma Şekil 3-12'de gösterilmiştir. Yardımcı YAK Algoritması ve Akıllı Kaydırma Yöntemi adı verilen bu algoritma KKTKWP ve KKÇKWP için farklı davranır. KKTKWP için çalışırken z_{ij} matris değerlerinden bir müşteri ile ilgili olanlardan sadece bir tanesi 1 değerine sahip olabilmektedir. Çünkü bir müşterinin talebi tek bir tesisten karşılanmak zorundadır. KKÇKWP'nde ise bir müşterinin ihtiyacı birden çok tesisten karşılanabileceği için z_{ij} değerleri 0 ile 1 arasındaki reel sayılardan oluşur. Atamaların tesisler arasında kaydırılması sırasında kapasite aşımına sebep olan miktar kadarı alınır, başka bir tesise aktarılmaya çalışılır. Başka bir deyişle, hangi müşterinin atamasının hangi tesise kaydırılacağı belirlenirken, aynı zamanda ne kadar miktarda talebin kaydırılacağı da hesaplanır. Başka tesise kaydırılacak talep miktarı belirlendikten sonra diğer tesisin kapasitesinin aşıp aşmadığı kontrol edilir. Eğer ikinci seçilen tesiste de kapasite aşımı oluşuyorsa, kapasite aşımına sebep olan miktar başka bir tesise kaydırılır. Bu şekilde zincirleme halinde kaydırma işlemi Bölüm 3.4'te "Müşteri-tesis atamalarının akıllı kaydırma yöntemiyle değiştirilmesi (KKTKWP)" kısmında anlatılmıştır.

3.6. DEĞİŞTİRİLMİŞ YAK ALGORİTMASI SONUÇLARININ NELDER-MEAD METODUYLA İYİLEŞTİRİLMESİ

Tez çalışmasında ortaya konulan ve programlanan Değiştirilmiş Yapay Arı Kolonisi (DYAK) algoritması sonuçlarının sağlamasını yapmak ve daha iyi sonuçlar var olup olmadığını araştırmak için DYAK çalışması ile bulunan sonuçları Nelder Mead (NM) algoritması ile işleyerek, daha fazla iyileşme elde etmeye çalışılmıştır.

Tez çalışmasında elde edilen çözümler alınıp, Matlab programında Nelder Mead algoritması ile çalışan *fminsearch* metodu kullanılarak, tesis yerlerinden her biri ayrı ayrı iyileştirilmeye çalışılmıştır. Örnek olarak, 50 müşteri ve 2 tesis problemi için bulunan 2 tesisin x ve y koordinatlarından önce birinci tesisin x ve y koordinatları Nelder Mead metodu ile tarama yapılarak toplam maliyetin azaltılması hedeflenmiştir. Sonra ikinci tesisin koordinatları için yeniden Nelder Mead metodu çalıştırılmıştır. Bu işlemler sırasında, DYAK algoritması tarafından daha önceden tespit edilmiş olan müşteri – tesis atamaları sabit bırakılmış, sadece tesis yerleri için hassas ayarlama yapılması amaçlanmıştır. Bu nedenle Nelder Mead metodu çalışırken tesis kapasite kısıtları ile ilgili herhangi bir değişiklik ya da kontrol yapılmasına gerek olmamıştır.

Aynı zamanda, bu denemeler Yapay Arı Kolonisi algoritması ile Nelder Mead algoritmasını hibrit şekilde kullanan ilk çalışma olacaktır. Nelder Mead algoritması aşağıda açıklanmıştır.

Nelder-Mead Algoritması

Çok değişkenli bir fonksiyonun yerel minimum noktasının belirlenmesi için Nelder-Mead tarafından önerilen bir simpleks yöntemidir (Nelder ve Mead, 1965). NM simpleks algoritması türevi alınmayan ve doğrusal olmayan fonksiyonlar için doğrudan arama algoritmalarından biridir. Simpleks n boyutlu arama uzayında (n+1) tepeye sahip çok yüzlü bir cisimdir ve iteratif bir süreçle kademeli olarak optimum noktaya ulaşır (Rajan ve Malakar, 2015).

İki boyutta bu metot üçgenin köşelerinde fonksiyon değerlerini karşılaştıran bir model arama metodudur. İki değişkenli bir z = f(x, y) fonksiyonunun minimizasyonu göz önüne alındığında, üçgenin en kötü köşesinde (w = worst vertex) z = f(x, y) fonksiyonunun değeri en büyüktür.

Bu nedenle, bu en kötü köşe yeni bir nokta ile yer değişmelidir. Böylece yeni bir üçgen elde edilmiş olur. Artık arama işlemi bu yeni üçgen etrafında devam ettirilir ve böylece bu işlem köşe nokta değerinde fonksiyon değerinin gittikçe küçüldüğü bir üçgenler dizisine dönüşür.

İşlem üçgenlerin küçülerek bir noktaya yaklaşması ile son bulur ki, bu nokta istenen minimum noktadır. İki değişkenli z = f(x, y) fonksiyonu için geliştirilen bu metot n−değişkenli $f(x) = f(x_1, x_2, ..., x_n)$ fonksiyonuna genelleştirilebilir. Nelder ve Mead'ın geliştirilmiş olduğu bu metot etkili ve hesap açısından kısadır.

Bu metotta simpleksin hareketi dört temel işlem

a. Yansıma (Reflection),
b. Genişleme (Expansion),
c. İçe ve Dışa Büzülme (Inside & Outside Contraction) ve
d. Daralma (Shrink)

ile sağlanır. Aşağıda bu işlemler sırasıyla açıklanmıştır:

Başlangıç Üçgeni BGW (Initial Best Good Worst Triangle)

Min z = f(x, y) fonksiyonu göz önüne alındığında, bir üçgenin verilen üç köşesi ile işleme başlanır.

$V_k = (x_k, y_k)..... ..... k = 1, 2, 3$

Sonra bu üç köşe noktanın her birinde fonksiyon değerleri bulunur ve buna $z_k = f(x_k , y_k)$ $(k = 1, 2, 3)$ denir. Bu değerleri de büyüklük sırasına göre $z_1 \leq z_2 \leq z_3$ olacak şekilde sıralanır. Üçgenin köşe noktaları;

$B=(x_1, y_1)$, $G=(x_2, y_2)$, $W=(x_3, y_3)$ ile gösterilir. Burada;

B = En iyi köşe nokta (Best Vertex)
G = Sonraki en iyi köşe nokta (Good Vertex)
W = En kötü köşe nokta (Worst Vertex) olarak tanımlanmıştır.

B noktası maksimizasyon durumunda fonksiyonda yerine konduğunda en büyük fonksiyon değerine sahip iken, aynı nokta minimizasyon durumunda ise en küçük fonksiyon değerine sahiptir.

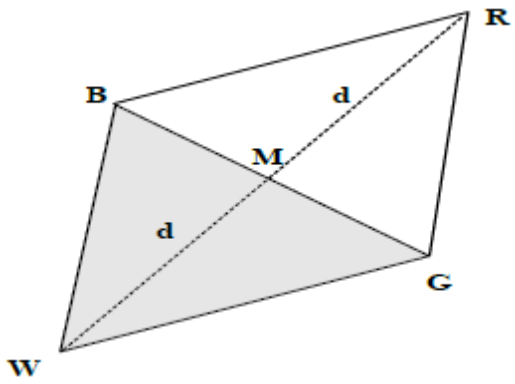
İyi Kenarın Orta Noktası

B=(x_1, y_1) ve G=(x_2, y_2) noktalarını birleştiren, doğru parçasıdır, üçgenin en iyi iki noktasını birleştiren kenarıdır. Bu doğru parçasının orta nokta koordinatları da B=(x_1, y_1) ve G=(x_2, y_2) noktalarının koordinatlarının ortalamaları alınarak bulunur ve M ile ifade edilir.

R Noktasını Kullanarak Yansıma İşlemi

W noktası ile B noktası arasındaki BGW üçgeninin kenarı boyunca hareket edildiğinde f(x , y) fonksiyonu gittikçe azalan bir grafik çizer. Benzer olarak W noktasından G noktasına doğru üçgenin bu kenarı boyunca hareket edildiğinde f(x , y) fonksiyonu yine azalan bir grafik çizer. Bu nedenle B ve G noktalarını birleştiren doğrunun karşı kenarı üzerinde W noktasına uzak noktalarda f(x , y) fonksiyonu çok küçük değerler alır. Bunu test etmek için R noktası BG kenarını keserek geçecek şekilde yansıtarak elde edilir.

R noktasını belirleyebilmek için ilk olarak BG kenarının M noktasını daha önce tanımlandığı gibi tespit edilir. İkinci olarak W ile M noktalarını birleştirerek bir doğru elde edilir. Bu doğrunun uzunluğu d kadar, M noktasından d uzunluğunda bir doğru çizilir ve bu doğrunun bittiği noktaya R noktasıdır. Böylece yansıma işlemini kullanarak R noktası elde edilmiş olur (Şekil 3-31)



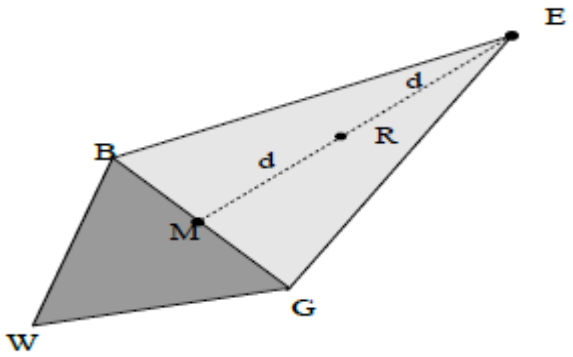
Şekil 3-31: Yansıma işlemini kullanarak R noktasının bulunması

Genişleme İşlemini Kullanarak E Noktasının Elde Edilmesi

Eğer R noktasındaki fonksiyon değeri W noktasındaki fonksiyon değerinden daha küçükse, yani f(R)≤f(W) ise minimuma doğru bir yönde hareket edilmiştir. R noktası asıl minimum noktaya henüz uzak olabilir. Bu nedenle R noktasında daha ilerideki E noktasını da denemek gerekir. E noktasını elde etmek için M noktasından R

noktasına olan doğru R noktasından aynı d uzunluğunda genişletildiğindeki bitiş noktası alınır.

Böylece BGW üçgeninden genişleme işlemi ile BGE üçgeni elde edilir. (Şekil 3-32)

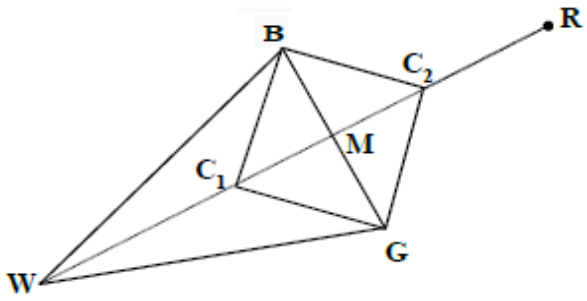


Şekil 3-32: Genişleme işlemi ile E noktasının ve BGE üçgeninin elde edilmesi

Eğer E noktasındaki fonksiyon değeri R noktasındaki fonksiyon değerinden daha küçük ise yani f(E) < f(R) ise, R'den daha iyi bir köşe bulunmuş olur. Genişleme işlemi ile Şekil 3-32'deki E noktası elde edilir.

İçe ve Dışa Büzülme İşlemini Kullanarak C noktasının Elde Edilmesi

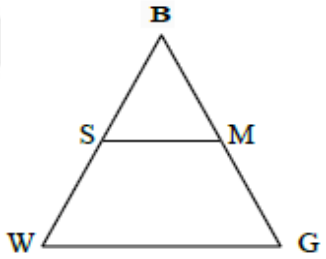
Eğer R noktasındaki fonksiyon değeri W noktasındaki fonksiyon değeri ile aynı ise yani, f(R) = f(W) ise, başka bir nokta test edilmek zorundadır. Fonksiyon M noktasında küçük olabilir fakat W yerine M değeri konulursa bir üçgen oluşmaz, çünkü B, G ve M noktaları aynı doğru parçası üzerindedir. WM ve MR doğrularının orta noktalarına sırasıyla C_1 ve C_2 adını vererek elde edilen yeni üçgen BGC olur. Burada içe doğru büzülme durumunda BGC_1, dışa doğru büzülme durumunda BGC_2 üçgenleri elde edilir. (Şekil 3-33).



Şekil 3-33: C_1 ve C_2 orta noktaları ile BGC üçgenlerinin elde edilmesi

Üçgenin B noktasına Doğru Daralması

Eğer C_1 ve C_2 noktalarındaki fonksiyon değeri W noktasındaki fonksiyon değerinden daha küçük değilse yani $f(C) \geq f(W)$ ise G ve W noktaları B noktasına doğru daraltılmak zorundadır. (Şekil 3-34) Bu daralma işlemini ilk adımda G noktası yerine BG doğrusunun orta noktası olan M noktası ve W noktası yerine BW doğrusunun orta noktası olan S noktası alınır. Sonraki ardışık işlem adımları B noktasına doğru hep orta noktalar alınarak devam ettirilir. İşlem B noktası elde edildiğinde son bulur. (Şekil 3-34)



Şekil 3-34: B noktasına doğru daraltma işlemi

Her bir adım için mantıksal kararlar

Yukarıda açıklanan her bir adımda yeni bir köşe bulunur ve bu W ile değiştirilir. Bu algoritma olarak şu şekilde açıklanabilir:

Eğer f(R) < f(W) ise Safha 1 çalışır.

Eğer f(R) ≥ f(W) ise Safha 2 çalışır.

Safha 1: Yansıma veya Genişleme

Eğer f(B) < f(R) ise W yerine R alınır.

Eğer f(B) ≥ f(R) ise E ve f(E) hesaplanır.

Eğer f(E) < f(R) ise W yerine E alınır.

Eğer f(E) ≥ f(R) ise W yerine R alınır.

Safha 2: Büzülme veya Daralma

C = (W + M) / 2 alınır ve f(C) hesaplanır.

Eğer f(C) < f(W) ise W yerine C alınır.

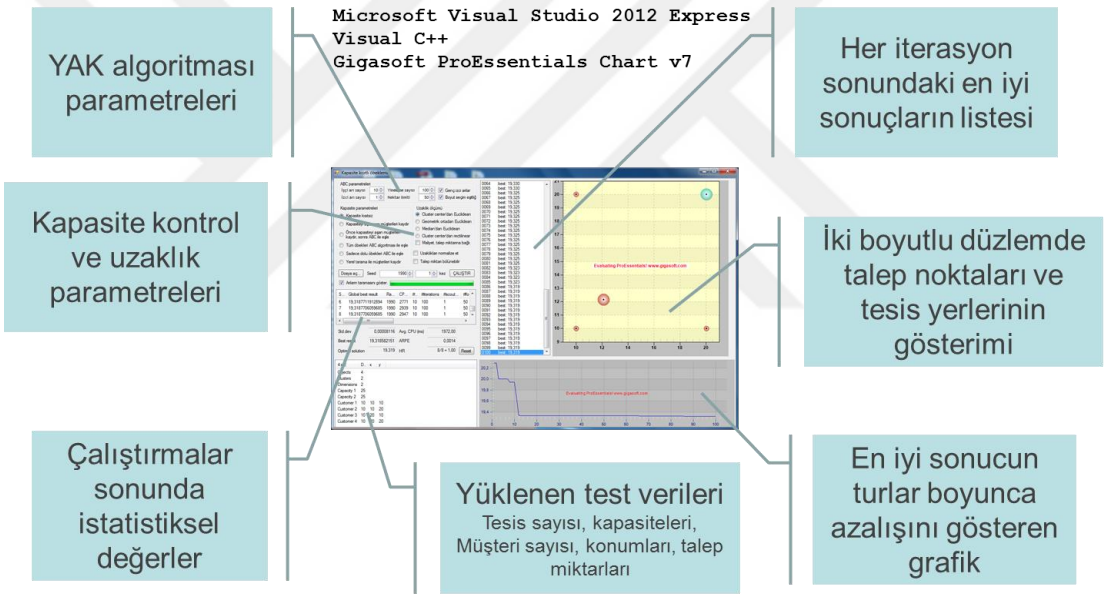
Eğer f(C) ≥ f(W) ise S = (B + W) / 2 ve M = (B + G) / 2 orta noktaları bulunur ve W yerine S, G yerine M alınır.

3.7. TEST PROGRAMI

Bu tez çalışmasında önerilen Kapasite Kısıtlı Çok Tesisli Weber Problemi çözümü için Değiştirilmiş Yapay Arı Kolonisi (DYAK) algoritması bir bilgisayar programı halinde hazırlanmış ve başka çalışmalarda yaygın olarak kullanılan veri setleri ile test edilmiştir. Test programı Windows işletim sistemiyle çalışan bir kişisel bilgisayar üzerinde Microsoft Visual Studio 2012 Express yazılım geliştirme ortamı kullanılarak Visual C++ dilinde hazırlanmıştır. Tesis merkezlerini ve çözüm değerlerini grafik üzerinde göstermek için Gigasoft ProEssentials Chart kütüphanesi kullanılmıştır.

Test programının görünümü

Programın kullanıcı arayüzü ve ekrandaki bölümler Şekil 3-35'te gösterilmiştir.



Şekil 3-35: Test programının kullanıcı arayüzündeki bölümler

Program çalıştırıldığında ilk önce test için kullanılacak olan veri dosyasının seçilmesini beklemektedir. Daha sonra DYAK algoritması parametreleri seçilir. Çalıştırılacak tur sayısı da verildikten sonra tarama başlatılır. "Arıların taramasını göster" seçeneği işaretli olarak başlatılırsa, her bir arının elde ettiği çözümlerin her turdaki durumu grafikler üzerinde gösterilir ve algoritmanın ilerleyişi canlı olarak gözlenebilir. Tur sayısı tamamlandığında, elde edilen en iyi sonuç hem tablolarda, hem de grafiklerde görüntülenir.

Test programının üzerindeki alanlar

1. YAK / DYAK algoritması parametreleri

   İşçi arı sayısı : YAK algoritmasının çalışması sırasında tutulacak besin kaynaklarının ve aynı zamanda işçi arıların sayısı.

   İzci arı sayısı : YAK algoritması sırasında rasgele tarama yapacak izci arıların sayısı.

   Yineleme sayısı : YAK algoritmasının çözüm aramak için çalışacağı toplam tur sayısı.

   Nektar limiti : İşçi arıların bir besin kaynağı üzerinde başka daha iyi bir besin kaynağı hareket bulamadan geçirebileceği en fazla tur sayısı.

   Genç işçi arılar : Değiştirilmiş YAK (DYAK) algoritması için kullanılmaktadır. İşçi arıların yakındaki işçi arılarla arasındaki uzaklığın 0 olması durumunda yerini değiştirmemek yerine en son hareket uzaklığı kadar hareket etmeye devam etmesini sağlayan seçenektir.

   Boyut seçim eşitliği : Değiştirilmiş YAK (DYAK) algoritması için kullanılmaktadır. İşçi arıların kendi çevresini tararken her boyutu dengeli olarak taramasını sağlayan seçenektir.

   En iyi besin kaynağının terk edilmemesi : Değiştirilmiş YAK (DYAK) algoritması için kullanılmaktadır. İşçi arıların bulduğu besin kaynakları arasında en iyi olan besin kaynağının, nektar limiti aşılsa bile terk edilmemesini sağlayan seçenektir.

2. Kapasite kontrol ve uzaklık parametreleri

   Kapasite parametreleri : Ekrandaki seçeneklerden "Kapasite kısıtsız" seçeneği işaretlendiğinde, tesislerin kapasite kısıtı dikkate alınmadan müşteri eşlemesi yapılmasını ve algoritmanın kapasite kısıtsız çalışmasını sağlar. Çok tesisli Weber Problemi (ÇTWP) için kullanılır. "Müşteri-tesis atamalarını YAK ile eşle" seçeneği işaretlendiğinde, tesislerin kapasite kısıtları dikkate alınarak müşteri eşlemesi yapılmasını ve algoritmanın kapasite kısıtlı çalışmasını sağlar. Kapasite Kısıtlı Çok Kaynaklı / Tek Kaynaklı Weber Problemi (KKÇKWP/KKTKWP) için kullanılır.

   Talep miktarı bölünebilir (çok kaynaklı) : Bir müşteri talebinin birden çok tesisten ya da tek tesisten karşılanabileceğini belirten seçenektir. Kapasite Kısıtlı Çok Kaynaklı Weber Problemi (KKÇKWP) için bu seçenek işaretlenir, böylece müşterilerin talepleri birden çok tesisten

karşılanarak çözüm aranır.

Uzaklık ölçümü : Algoritma çalışırken müşterilerin tesise olan uzaklığının nasıl hesaplanacağını belirler. Problem tiplerine göre "Merkezden Öklid" (Cluster center'dan Euclidean) ve "Merkezden Dik Doğrusal" (Cluster center'dan rectilinear) yöntemleri seçilmektedir.

Maliyet, talep miktarına bağlı : Toplam taşıma maliyeti hesaplanırken bazı problemlerde taşınan miktar uzaklık ile çarpılmaktadır. Bu tip problemlerde bu seçenek işaretlenir. Diğer problemlerde ise sadece uzaklıklar toplanır.

Arıların taramasını göster : Bu seçenek işaretlenip, algoritma çalıştırıldığında, YAK algoritmasındaki arıların temsil ettiği her bir turdaki çözüm değerleri ve arıların konumları ekrandaki liste ve grafiklerinde sürekli gösterilir. Böylece algoritma çalışması boyunca çözümün ilerlemesi gözlemlenebilir.

En uzak müşteriyi başka tesise kaydır : Bu seçenek kapasite kısıtlı problemlerin çözümü sırasında etkilidir. Bir tesisteki müşterilerden birisini başka bir tesise kaydırırken, seçilecek müşterinin, o tesise en uzak olanlar arasından belirlenmesi için, uzaklık ile orantılı bir rassal seçim yapılır. Bu seçenek işaretlenmediğinde ise, müşterilerden birisi rasgele seçilip, başka tesise kaydırılır.

Önce kapasite kısıtsız çalışma % : Bu seçenek kapasite kısıtlı problemlerin çözümü sırasında etkilidir. Kapasite kısıtlı problem çözümünü daha hızlı bulabilmek için, ilk önce toplam tur sayısının bu parametrede belirtilen yüzdesel oranı kadarki kısmında sadece kapasite kısıtsız olarak çalışır. Böylece tesis yerleri müşterilere en uygun yerlere gelir ve sonrasında kapasite kısıtlarına dikkat ederek algoritma devam eder. Hem müşteri tesis eşlemeleri hem de tesis yerleri değiştirilerek, çözüm iyileştirilir. Parametre %0 verildiğinde doğrudan kapasite kısıtlı olarak çalışma başlatılır.

Yuvarlama : Toplam maliyet hesaplamasında bulunan sonucun 0 ile 6 arasında kaç ondalık haneye yuvarlanacağını belirtir. Önceden başka çalışmalarda bulunan sonuçlarla karşılaştırma yapabilmek için yuvarlama yapılacak basamak sayısı problem tipine uygun olarak seçilmesi gereklidir.

Rassal çekirdek sayı (random seed) : Rassal sayı üretecinin kullandığı başlangıç değeri. Bir çalıştırma sırasındaki davranışı tekrar deneyebilmek için aynı başlangıç değeri verilir, öncekiyle aynı rassal sayılar elde edilir. Böylece daha önceki sonucu üreten işlemlerin aynısı tekrar edilerek, aynı sonuç elde edilir ve bu sırada algoritmanın ilerlemesi incelenebilir.

Çalıştırma sayısı (kez) : Rassal çekirdek sayıyı birer birer arttırarak, sırayla birden çok rassal deneyin peş peşe yapılmasını sağlar. Bu parametre 1'den büyük verilip çalıştırılırsa, her seferinde rassal çekirdek sayı bir arttırılır, algoritma aynı parametrelerle verilen sayı kadar kez çalıştırılır. Her deneyin sonucu ekranda listelenir.

3. Yüklenen test verileri

   "Dosya aç" butonu ile seçilen test verisi dosyasından alınan veriler bu bölümde görülebilir. Problem verisindeki

   Müşteri sayısı (objects)

   Tesis sayısı (clusters)

   Çözüm uzayındaki boyut sayısı (dimensions) : düzlem üzerindeki problemler için 2, 3 boyutlu uzayda çözüm aranan problemler için 3

   Her tesisisin maksimum kapasitesi

   Her müşterinin talep miktarı, yeri (x, y) koordinatı

   bilgileri gösterilmektedir.

4. Çalıştırmalar sonunda istatistiksel değerler

   Ekrana yüklenen problem için birden çok kez çalıştırma sonrasında elde edilen deney sonuçları için aşağıdaki değerler hesaplanıp gösterilir:

   Standart sapma : Deney sonuçlarının standart sapma değeri.

   En iyi çözüm : Deney sonuçları arasındaki en küçük değer.

   Optimal çözüm : Test verisi ile ilgili daha önceki çalışmalarda yayınlanmış en iyi çözüm değeri.

   Ortalama CPU : Algoritmanın ortalama çalışma süresi.

   ARPE (average relative percentage error) : Deney sonuçlarındaki çözüm değerlerinin optimal çözüm değerinden yüzdesel olarak sapmalarının ortalaması.

   HR (hit ratio) : Deney sonuçlarından kaç tanesinin optimal çözüme %1

yakınlıkta sonuç verdiğini gösteren oran. Kabaca, %1 yakınlıktaki iyi çözümleri saymayı sağlar.

5. Her iterasyon sonundaki en iyi sonuçların listesi

   Bu alan "Arıların taramasını göster" seçeneği işaretlenip algoritma çalıştırıldığında, her turda bilinen en iyi çözümün değerini gösterir. Listede, çözümün hangi değerden başlayıp, hangi değere kadar azaldığı canlı olarak görülebilir.

6. İki boyutlu düzlemde talep noktaları ve tesis yerlerinin gösterimi

   Bu alan "Arıların taramasını göster" seçeneği işaretlenip algoritma çalıştırıldığında, her turda hem müşteri yerlerini, hem de arıların temsil ettiği çözümlerin gösterdiği tesis yerlerini bir arada gösterir. Turlar ilerledikçe tesis yerlerinin nasıl değiştiği canlı olarak gözlenir. Bu grafikte müşteri yerlerinin çapı talep miktarına göre, tesis yerlerinin çapı da tesis kapasitelerine göre boyutlandırılır. Tur sayısı tamamlandıktan sonra sadece en iyi çözümün oluşturduğu tesis yerleri grafikte gösterilir.

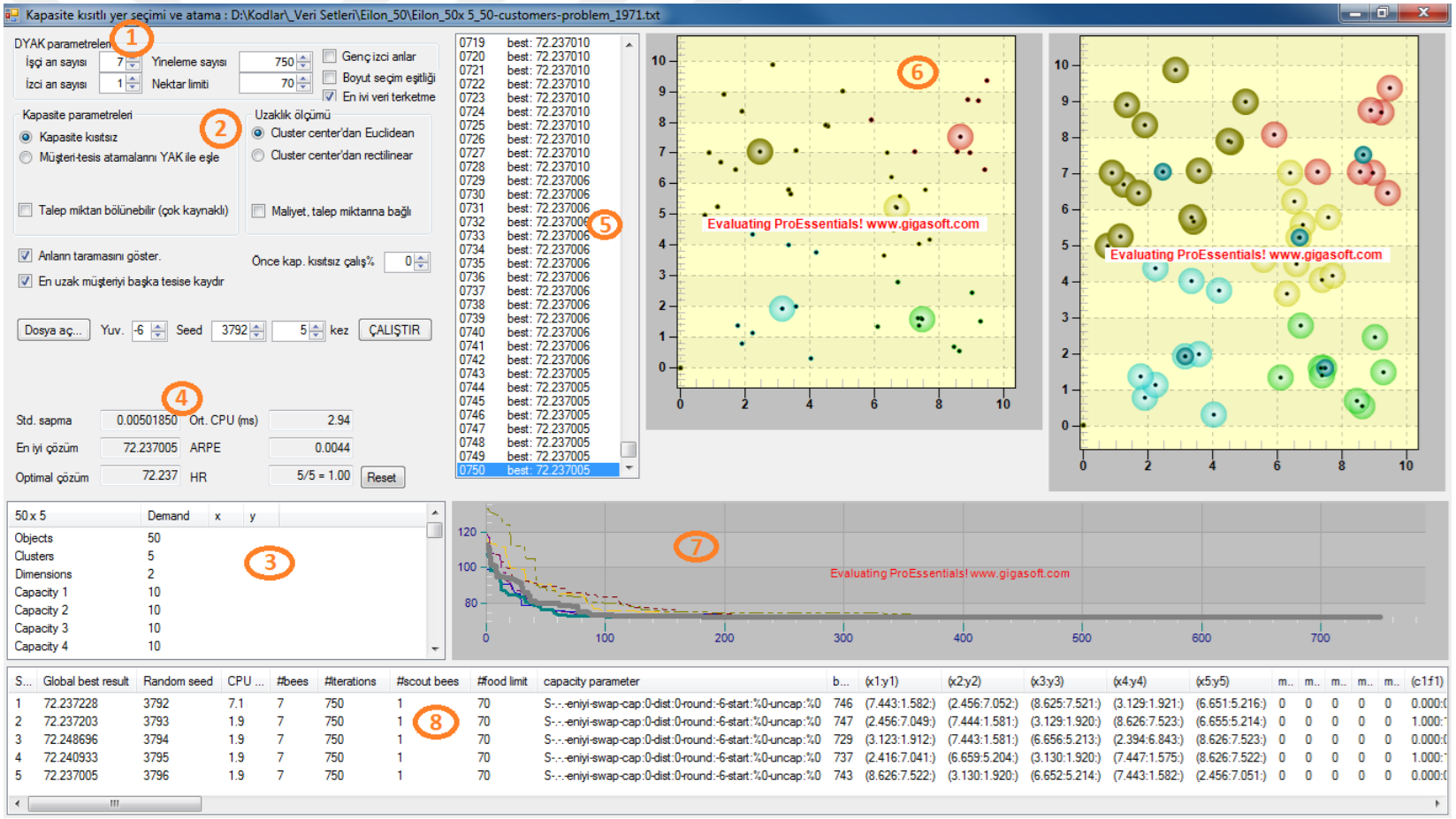
   İkinci grafikte müşteri ve tesis yerleri aynı çapta gösterilir, müşteriler atanmış oldukları tesis bazında renklendirilir. Böylece müşteri tesis atamaları daha iyi gözlenebilir.

7. En iyi sonucun iterasyonlar boyunca azalışını gösteren grafik

   Bu alan "Arıların taramasını göster" seçeneği işaretlenip algoritma çalıştırıldığında, her turda her arının temsil ettiği çözüm değerini gösterir. Turlar ilerledikçe yatay eksende ilerleyerek, çözüm değerleri dikey eksende gösterilir. Grafikte, bütün arıların çözümlerinin hangi değerden başlayıp, hangi değere kadar azaldığı canlı olarak görülebilir.

8. Deney sonuçları tablosu

   Aynı veri seti üzerinde algoritma birden çok kez çalıştırıldığında elde edilen sonuçlar en alttaki tabloda gösterilir. Burada
   elde edilen çözümün değeri,
   algoritmanın çalışma süresi,
   DYAK algoritması, kapasite ve uzaklık parametreleri,
   çözümün belirttiği tesis yerleri ve
   müşteri – tesis atama değerleri listelenir.



Şekil 3-36: Test programının kullanıcı arayüzü

Ekranın daha büyük hali Şekil 3-36'da görülmektedir. Bu örnekte Eilon 50x5 problemi üzerinde 5 kez deneme yapılmış, literatürde bilinen optimum çözüm olan 72,237 değerine 3 kez ulaşılabilmiştir. Ekrandaki grafiklerde, kurulacak 5 tesisin yeri 50 adet müşterinin yeri ile birlikte gösterilmiştir. DYAK Algoritması 7 arı ile çalıştırılmıştır. Turlar boyunca 7 arının elde ettiği sonuçları gösteren grafikte, başlangıçta arıların farklı kalitede çözümlerle başlayıp, tüm arıların kendi çözümlerini iyileştirerek devam ettiği görülmektedir.

Test veri dosyalarındaki bilgiler

Programın çalıştırılması için kullanılan veri dosyalarında problem tanımına göre aşağıdaki bilgiler bulunmaktadır:

a. Problemin literatürde bilinen en iyi çözüm değeri
   (bazı problemlerde global en iyi çözüm bilinmektedir)
b. Müşteri sayısı
c. Kurulacak tesis sayısı
d. Tesislerin kapasite kısıtları (eşit veya her tesis için farklı)
e. Müşterilerin sabit konumları
f. Müşterilerin talep miktarları
g. Varsa, müşteri ve tesisler arası taşıma birim maliyetleri

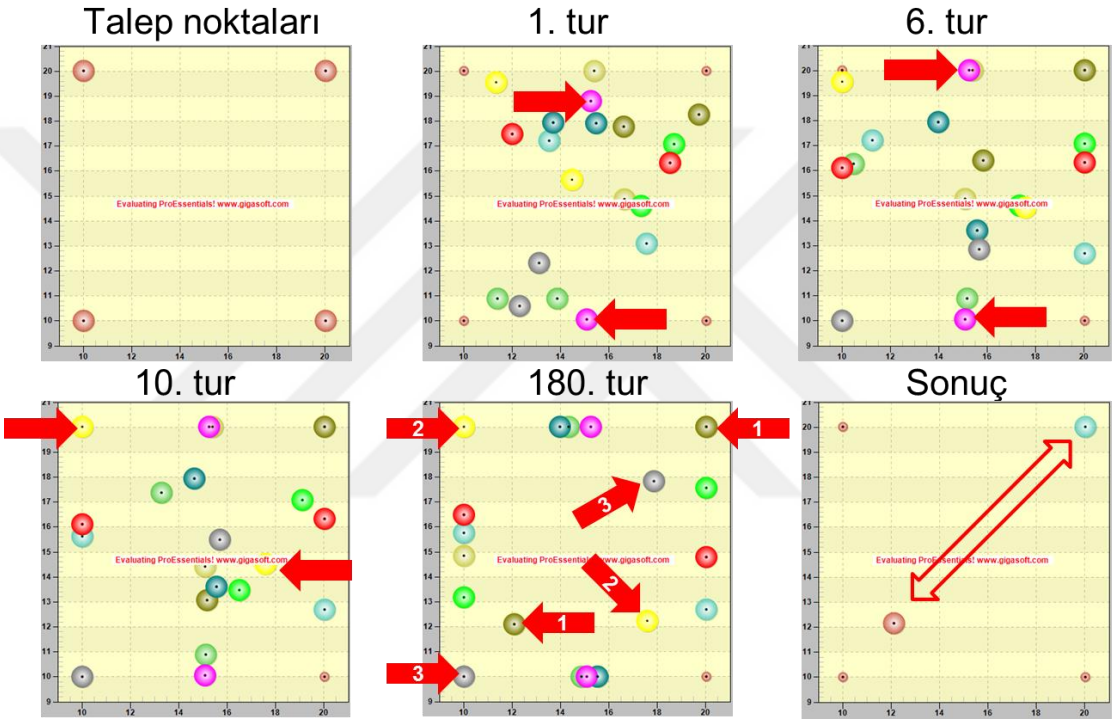
Şekil 3-37'de Cooper (1967) çalışmasındaki 3x15 probleminin verisi bulunmaktadır.

143,1981					*Satır 1* *Bilinen en iyi çözüm*
15	3	5	5	5	
1	5	9	1		*Satır 2* *Müşteri sayısı*
2	5	25	1		*Kurulacak tesis sayısı*
3	5	48	1		*Tesis kapasiteleri*
4	13	4	1		
5	12	19	1		*Satır 3..17* *Müşteri numarası*
6	13	39	1		*Müşteri konumu X*
7	28	37	1		*Müşteri konumu Y*
8	21	45	1		*Müşteri talebi*
9	25	50	1		
10	31	9	1		
11	39	2	1		
12	39	16	1		
13	45	22	1		
14	41	30	1		
15	49	31	1		

Şekil 3-37: Cooper (1967) 3x15 örnek test veri dosyası

Test programında bir çözümün ilerleyişinin animasyonla gösterimi

Bölüm 3.4'te örnek olarak ele alınan dört müşteri için kurulacak iki tesis yerini araştıran basit bir problem test programı ile ele alınmıştır. Bu problemde iki boyutlu bir düzlem üzerinde kenar uzunluğu 10 birim olan bir karenin dört köşesinde bulunan dört müşteriye hizmet verecek olan iki tesis yeri aranmaktadır. Müşterilerden her birinin talep miktarı 10 birim olup, tesislerin kapasiteleri 30 birim olacaktır. Bu problemin çözümü test programı ile tam olarak bulunabilmiş ve çalışma sırasındaki görüntülerden altı tanesi Şekil 3-38'de gösterilmiştir:



Şekil 3-38: Örnek bir problemin çözüm aşamalarının animasyonla gösterimi

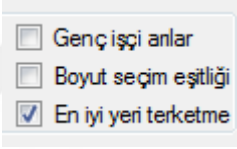
Bu çalıştırmada 10 arı ile tarama yapılmıştır. Grafik üzerinde 4 adet talep noktası ilk resimde gösterilmiştir. Turlar başladığında her arı iki tesis yerini işaret ettiği için, 10 arı = 20 tesis yeri önerisi her arı için ayrı renklendirilerek 20 nokta işaretlenmiştir. İlk turda bu noktalar (tesis yerleri) tamamen rasgele yerlere atanmıştır. Turlar ilerledikçe, noktalar optimum çözüme doğru ilerlemektedir. Her turdaki çözümlerden en iyi sonuca sahip olan arının gösterdiği iki tesis yeri şekil üzerinde kırmızı ok ile işaretlenmiştir. 180. turda çözümlerden kırmızı ok ile işaretli olan 3 tanesi, toplam uzaklık bakımından optimal yerlerdedir. Diğer 7 çözüm, lokal optimuma takılmıştır. 180 tur tamamlandıktan sonra en iyi çözümün önerdiği iki tesis yeri son ekranda gösterilmiştir.

3.8. YAK ALGORİTMASINA EKLENEN ÖZELLİKLER

Bu tez çalışmasında kullanılan Yapay Arı Kolonisi Algoritmasına yukarıda Bölüm 3.2'de anlatılan eklemeler yapılarak, Değiştirilmiş YAK (DYAK) algoritması tanımlanmış ve algoritma performansının iyileşmesi hedeflenmişti. DYAK özellikleri test programına da eklenmiştir. Bu üç yeni özellik şunlardır:

1. En iyi besin kaynağının terk edilmemesi
2. Hareket uzaklığının sıfır olmasının engellenmesi
3. Rasgele boyut seçerken dengeli dağılım

Test programında bu özelliklerle ilgili seçim yapmayı sağlayan kullanıcı arayüzü Şekil 4-39'da gösterilmiştir. Burada, "En iyi besin kaynağının terk edilmemesi" adlı 1nci özellik "En iyi yeri terketme" ifadesiyle, "Hareket uzaklığının sıfır olmasının engellenmesi" adlı 2nci özellik "Genç işçi arılar" ifadesiyle, "Rasgele boyut seçerken dengeli dağılım" adlı 3ncü özellik de "Boyut seçim eşitliği" ifadesiyle yer almaktadır.



Şekil 4-39: YAK Algoritmasına eklenen özelliklerin test programındaki seçenekleri

Kapasite kısıtlı problemlerde DYAK algoritması ile birlikte müşteri-tesis atamalarını düzenleyen Yardımcı YAK algoritması da çalışmaktadır. Yardımcı YAK algoritmasına yönelik ayrı parametre bulunmamaktadır. DYAK algoritması Nektar Limiti parametresinde belirtilen sayıda tur çalıştıktan sonra Yardımcı YAK algoritması aynı sayıda tur kadar çalışır. Daha sonra DYAK algoritması çalışarak dönüşümlü olarak devam eder. Önce DYAK tarafından tesis yerleri ayarlanır, sonra Yardımcı YAK tarafından müşteri-tesis atamaları düzenlenir ve tekrar tekrar Yineleme Sayısına ulaşılana kadar devam eder.

BÖLÜM IV: BULGULAR

4.1. YAK ALGORİTMASINA EKLENEN ÖZELLİKLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

DYAK özelliklerinin algoritma performansına etkisini görebilmek için bir deney yapılmış ve sonuçları aşağıda Tablo 4-10'da listelenmiştir ve Grafik 4-8'de çubuk grafik olarak gösterilmiştir. Deneyde Cooper (1967) çalışmasında kullanılan 15 müşteri – 3 tesis yer seçimi ve atama problemi verileri kullanılmış, kapasite kısıtsız ÇTWP çözülmüştür. Bu veri setindeki noktalar ve kapasite kısıtsız ÇTWP çözümü olan üç tesis yeri Şekil 4-40'ta gösterilmiştir. YAK algoritmasının çalışma parametreleri aşağıdaki gibi ayarlanıp, üç yeni özelliğin ayrı ayrı seçilmesi ile oluşan 8 kombinasyon, 10'ar kez farklı başlangıç değerleri ile çalıştırılarak 80 deney yapılmıştır.

Besin kaynağı sayısı	:	10
İzci arı sayısı	:	1
Yineleme sayısı	:	1250
Besin limiti	:	50

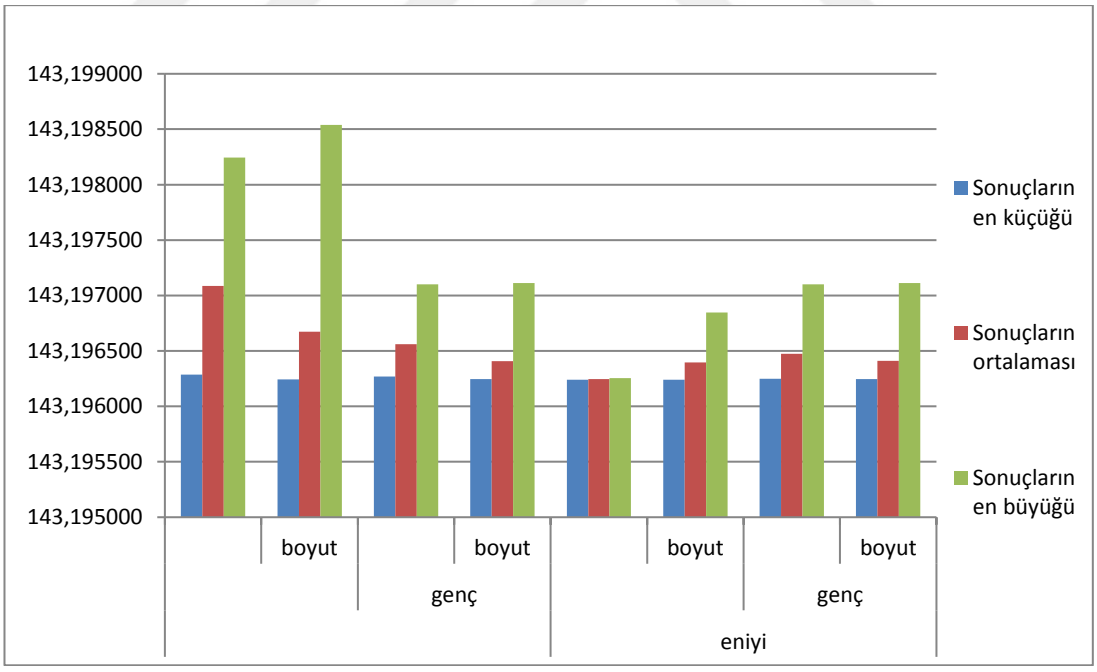
Buradaki sonuçlara göre "En iyi besin kaynağının terk edilmemesi" özelliğinin, diğer seçenek kombinasyonlarından daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Bu özellik, sonuçların en küçüğü, sonuçların ortalaması ve sonuçların en büyüğü değerleri açısından diğerlerinden daha üstündür. Bu seçeneğin istikrarlı olduğunu gösteren en önemli gösterge de, en küçük ve en büyük sonuçlar arasındaki aralığın diğer seçeneklerden daha az olmasıdır. Grafik 4-8'de "eniyi" seçeneğinin yazılı olduğu, "genç" ve "boyut" seçeneklerinin boş olduğu, yatay eksendeki 5nci değerde bu durum net olarak görünmektedir.

"En iyi besin kaynağının terk edilmemesi" özelliğinin bu üstünlüğü nedeniyle, test programında her seferinde baştan işaretli gelecek şekilde ayarlanmış ve tez çalışmasındaki Değiştirilmiş YAK (DYAK) algoritmasıyla ilgili tüm deneylerde bu özellik kullanılmıştır.

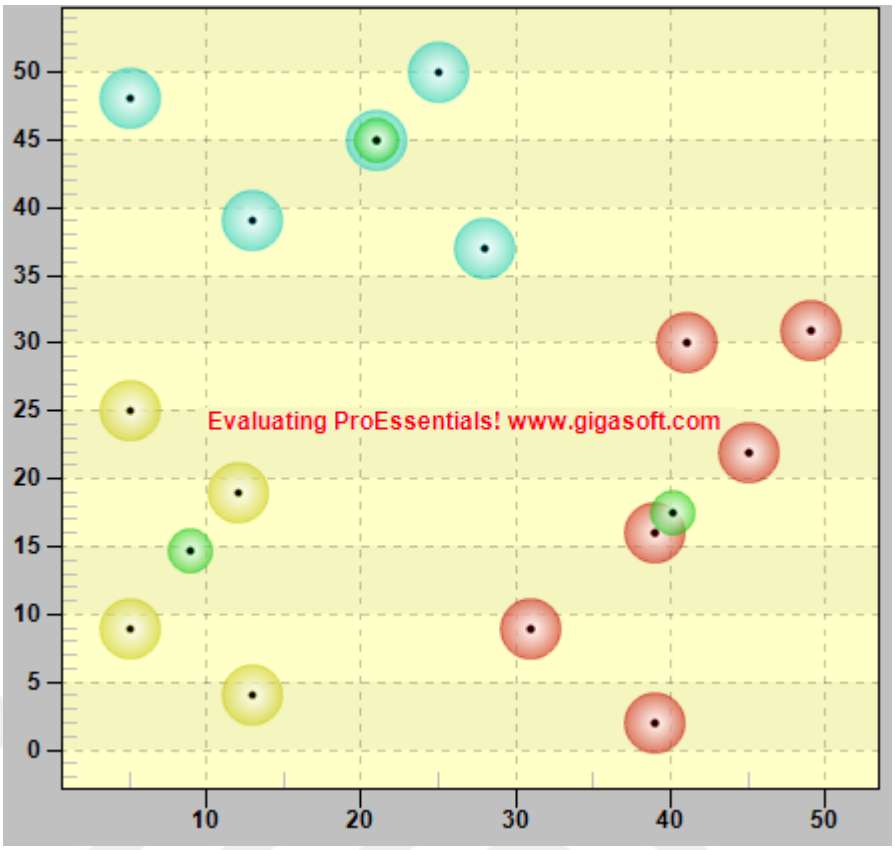
Diğer iki seçenek olan "Hareket uzaklığının sıfır olmasının engellenmesi" ve "Rasgele boyut seçerken dengeli dağılım" eklentileri, hiç kullanılmamaları durumundan daha avantajlı olmasına rağmen, tek başına "En iyi besin kaynağının terk edilmemesi" özelliğinin kullanılması durumuna karşı daha kötü performans göstermiştir.

Tablo 4-10: Değiştirilmiş YAK algoritması deney sonuçları

eniyi	genç	boyut	Sonuçların en küçüğü	Sonuçların ortalaması	Sonuçların en büyüğü
			143,196286	143,197085	143,198243
		boyut	143,196244	143,196673	143,198538
	genç		143,196269	143,196560	143,197100
	genç	boyut	143,196247	143,196408	143,197111
eniyi			**143,196241**	**143,196246**	**143,196256**
eniyi		boyut	143,196243	143,196396	143,196846
eniyi	genç		143,196249	143,196475	143,197100
eniyi	genç	boyut	143,196246	143,196410	143,197111



Grafik 4-8: Değiştirilmiş YAK algoritması deney sonuçları



Şekil 4-40: Cooper 3x15 örnek problem verileri ve problemin çözümü

4.2. DYAK ALGORİTMASI DENEY SONUÇLARI

Araştırmalarda görüldüğü kadarıyla, bu alandaki problemleri çözmek için YAK (ABC) algoritması uygulanmamıştır. Bu çalışmada standart YAK algoritması bu problemler üzerinde ilk kez uygulanmaktadır. YAK algoritmasına bu tez çalışması sırasında eklenen özelliklerle Değiştirilmiş Yapay Arı Kolonisi (DYAK) algoritması ve Yardımcı YAK algoritması üretilmiş ve problemlere uygulanmıştır. DYAK algoritması ile elde edilen sonuçlardaki tesis yerlerini Nelder-Mead (NM) metoduyla iyileştirerek toplam maliyet değeri azaltılmıştır.

Eilon (1971) 50 müşteri problemi

Tez .çalışması sırasında yapılan araştırmalarda, ÇTWP üzerinde yapılmış çalışmalar için birbirini takip ederek kullanılmış ortak veri kümelerine rastlanmıştır. Bu çalışmada, Weber Problemiyle ilgili daha önceden üzerinde çalışılmış olan Eilon (1971) 50 müşteri problemi verileri kullanılarak deneyler yapılmış ve elde edilen sonuçlar önceki çalışmalarla kıyaslanmıştır. Bu veri seti ilk olarak Brimberg (2000) çalışmasında ele alınmış, daha sonra Zainuddin ve Salhi (2007), Luis v.d. (2009) ve Luis (2011) çalışmalarında KKÇKWP problemi için örnek olarak kullanılmıştır. Bu veriler detaylı şekilde Ek 1'de (sayfa 204) gösterilmiştir.

Deney yapılan problemde tesis kapasiteleri ve sıkılık faktörleri

Eilon (1971) 50 müşteri veri setinin orijinalinde müşteri talepleri ve tesis kapasiteleri yoktur. İlk olarak Zainuddin ve Salhi (2007) çalışmasında ve sonra Luis v.d. (2009) çalışmasında bu veriler kapasite kısıtlı problem verisi olarak kullanılmıştır. Her müşteri için talep miktarı 1 olarak kabul edilmiştir. Aşağıdaki şekilde tesis başına düşen ortalama talep miktarı hesaplatılıp, büyük olan ilk tam sayıya tamamlanarak, tesislerin kapasitesi olarak belirlenmiştir:

$$b_j = \left\lceil \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i}{m} \right\rceil \qquad \forall j = 1, \dots, m$$

Tesislerin kapasiteleri yapay olarak yukarıdaki gibi hesaplandıktan sonra, Bölüm 2.1'de (sayfa 34) anlatılan sıkılık faktörü de her tesis sayısı için hesaplanıp, aşağıda Tablo 4-11'de gösterilmiştir. Sıkılık faktörü 1 ya da 1'e yakın olan kapasite kısıtlı problemlerde çözümün bulunması daha zordur.

Tablo 4-11: Eilon 50 müşteri problemi tesis kapasiteleri ve sıkılık faktörleri

Tesis sayısı	Toplam talep	Tesis başına düşen talep	Her bir tesisin kapasitesi	Toplam kapasite	Sıkılık faktörü
2	50	25,000	25	50	1,00
3	50	16,667	17	51	0,98
4	50	12,500	13	52	0,96
5	50	10,000	10	50	1,00
6	50	8,333	9	54	0,93
7	50	7,143	8	56	0,89
8	50	6,250	7	56	0,89
9	50	5,556	6	54	0,93
10	50	5,000	5	50	1,00
11	50	4,545	5	55	0,91
12	50	4,167	5	60	0,83
13	50	3,846	4	52	0,96
14	50	3,571	4	56	0,89
15	50	3,333	4	60	0,83
16	50	3,125	4	64	0,78
17	50	2,941	3	51	0,98
18	50	2,778	3	54	0,93
19	50	2,632	3	57	0,88
20	50	2,500	3	60	0,83
21	50	2,381	3	63	0,79
22	50	2,273	3	66	0,76
23	50	2,174	3	69	0,72
24	50	2,083	3	72	0,69
25	50	2,000	2	50	1,00

Bu problemler için Brimberg (2000) çalışmasında kapasite kısıtsız çok tesisli Weber problemi için bulunmuş olan sonuçlar, kapasite kısıtlı Weber problemi için alt sınır olarak ele alınmaktadır. 50 müşteri problemi için hesaplanan bu değerlerin, optimal çözümler olduğu bilinmektedir. Örnek alınan çalışmalarda alınan sonuçların kalitesini kıyaslayabilmek için bu değerler referans olarak kullanılmış ve "sapma yüzdesi" aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$Dev(\%) = \frac{F_{best} - F_{LB}}{F_{LB}} \times 100$$

F_{best} : çalıştırılan algoritmanın ürettiği en iyi sonuç değeridir. F_{LB} : alt sınır olarak değerlendirilen, kapasite kısıtsız problem için bulunmuş en iyi çözümdür.

Eilon 50 müşteri problemi üzerinde DYAK algoritmasının denenmesi

Tez çalışması sırasında ortaya konulan yöntemlerle Eilon (1971) 50 müşteri problemi üzerinde Yapay Arı Koloni (YAK) algoritması ve bu tez çalışmasında geliştirilen Değiştirilmiş Yapay Arı Koloni (DYAK) algoritması ile Nelder Mead (NM) metodu birlikte kullanılarak yapılan deney sonuçları ile bu problem üzerinde önceden yayınlanmış olan aşağıdaki çalışmaların sonuçları karşılaştırılmıştır:

ZS Zainuddin, Z. M., Salhi, S., 2007, A perturbation-based heuristic for the capacitated multisource Weber problem, European Journal of Operational Research, 179 (3), 1194-1207.

LSN Luis, M., Salhi, S., Nagy, G., 2009, Region-rejection based heuristics for the capacitated multi-source Weber problem, Computers & Operations Research, 36 (6), 2007–2017.

LSN2 Luis, M. , Salhi, S. , Nagy, G., 2011, A guided reactive GRASP for the capacitated multi-source Weber problem, Computers & Operations Research, 38 (7), 1014–1024.
Bu çalışmadaki GFAP, GUAP, GALNP, GALNPL, GALNPRR, GALNPLRR metodlarının arasından en iyi sonuçlar alındı.

Deneyler bu tez çalışması sırasında geliştirilen ve Bölüm 3.7'de anlatılan test programı ile MATLAB R2014b programı çalıştırılarak yapılmıştır. Programlar Windows 7 işletim sistemi ile çalışan Intel Core i5-430M 2.26 GHz işlemci ve 4 GB RAM hafızaya sahip bir bilgisayarda çalıştırılmıştır.

Test uygulaması parametreleri

Test uygulamasında DYAK algoritmasının çalışma parametreleri aşağıdaki gibi ayarlanıp, 50 müşteri problemi için, açılacak tesis sayısı 2'den 25'e kadar ayrı ayrı 24 deney, 10'ar kez farklı başlangıç değerleri ile 240 kez çalıştırılmıştır.

1. YAK / DYAK algoritması parametreleri

İşçi arı sayısı	:	10
İzci arı sayısı	:	1
Yineleme sayısı	:	25.000
Nektar limiti	:	750
Hareket uzaklığının sıfır olmasının engellenmesi	:	Hayır
Rasgele boyut seçerken dengeli dağılım	:	Hayır
En iyi besin kaynağının terk edilmemesi	:	Evet

2. Kapasite kontrol ve uzaklık parametreleri

Kapasite parametreleri :		
Kapasite kısıtsız	:	Hayır
Müşteri-tesis atamalarını YAK ile eşle	:	Evet (Kapasite kısıtlı)
Talep miktarı bölünebilir	:	Hayır (Tek kaynaklı)
Uzaklık ölçümü	:	Merkezden Öklid
Maliyet, talep miktarına bağlı	:	Hayır
En uzak müşteriyi başka tesise kaydır	:	Evet
Önce kapasite kısıtsız çalışma %	:	%20
Yuvarlama	:	3
Çalıştırma sayısı (kez)	:	10

Yapılan 24 deney sonucunda elde edilen çözümlerdeki tesis yerlerinin konumları ve müşteri tesis atama değerleri Ek 2'de (sayfa 206) bulunmaktadır.

Deneylerin sonuçları aşağıdaki tablolarda (Tablo 4-12, Tablo 4-14, Tablo 4-16 ve Tablo 4-17) detaylı olarak gösterilmiştir. Deney sonuçları Tablo 4-19'da özetlenip yorumlanmıştır.

YAK algoritması uygulanarak alınan sonuçlar

YAK algoritması ile yapılan deneylerde her bir tesis sayısı için 10 kez çalıştırma ile alınan en iyi sonuçlar aşağıda Tablo 4-12'de listelenmiştir:

Tablo 4-12: YAK algoritması deney sonuçları

Tesis sayısı	Kapasite kısıtsız çözüm [1]	ZS, LSN ve LSN2 çalışmalarındaki en iyi çözüm [2]	YAK kapasite kısıtlı çözüm	YAK ile sağlanan iyileştirme	YAK en iyi çözümü geçti [3]
2	135,522	136,650	136,767		
3	105,214	106,287	106,318		
4	84,1536	86,468	86,458	0,010	●
5	72,237	76,521	104,048		
6	60,971	61,489	61,498		
7	54,502	56,328	56,331		
8	49,939	51,138	51,311		
9	45,688	47,269	47,268	0,001	●
10	41,69	48,169	82,305		
11	38,02	40,328	40,991		
12	35,06	35,754	36,127		
13	32,31	35,153	37,027		
14	29,66	31,048	31,592		
15	27,63	28,053	29,533		
16	25,74	25,858	28,165		
17	23,99	24,561	26,902		
18	22,29	23,534	24,327		
19	20,64	21,641	23,489		
20	19,36	19,972	21,102		
21	18,08	18,326	20,954		
22	16,822	17,024	18,246		
23	15,614	15,691	16,619		
24	14,443	14,481	14,961		
25	13,30	22,738	96,042		

[1] Kapasite kısıtsız çözüm maliyetleri Eilon (1971) çalışmasında kesin yöntemle hesaplanmış değerlerdir. Kapasite kısıtlı çözümler için alt sınır değeri olarak alınır.

[2] ZS, LSN ve LSN2 çalışmalarında elde edilen kapasite kısıtlı en iyi çözüm kapasite kısıtsız çözümden sapma yüzdesi olarak yayınlanmıştır. Bu yüzde değeri kapasite kısıtsız çözüm değerine eklenerek kapasite kısıtlı çözüm değeri hesaplanmıştır.

[3] YAK algoritmasının sonucu ZS, LSN ve LSN2 çalışmalarındaki en iyi çözüm ile karşılaştırılmıştır.

● : En iyi çözümden daha iyi sonuç bulundu.

YAK algoritması ile yapılan deneylerde her bir tesis sayısı için test uygulaması farklı başlangıç değerleriyle 10'ar kez çalıştırılmıştır. Algoritmanın rassal özelliği nedeniyle sonuçlar birbirinden farklı olmaktadır. Bu çalışmaların arasındaki en iyi değerler yukarıdaki Tablo 4-12'de gösterilmiştir. 24 farklı tesis sayısı için yapılan 10'ar deneme sonucunun ortalama, standart sapma ve en kötü çözüm değerleri aşağıda Tablo 4-13'te ayrıca listelenmiştir:

Tablo 4-13: YAK algoritması deneylerinin analizi

Tesis sayısı	Deneme sayısı	En küçük değer	Ortalama	Standart sapma	En büyük değer
2	10	136,767	136,793	0,037	136,836
3	10	106,318	106,324	0,008	106,330
4	10	86,458	86,834	0,649	87,583
5	10	104,048	108,973	5,859	115,453
6	10	61,498	61,858	0,355	62,392
7	10	56,331	56,732	0,393	57,371
8	10	51,311	51,544	0,328	52,029
9	10	47,268	47,657	0,540	48,733
10	10	82,305	84,724	1,995	88,763
11	10	40,991	41,423	0,599	42,395
12	10	36,127	36,476	0,371	36,948
13	10	37,027	37,234	0,201	37,543
14	10	31,592	31,917	0,480	32,924
15	10	29,533	29,948	0,585	31,203
16	10	28,165	28,700	0,614	29,838
17	10	26,902	29,375	1,786	31,853
18	10	24,327	25,091	0,759	26,147
19	10	23,489	24,081	0,513	24,893
20	10	21,102	21,627	0,481	22,437
21	10	20,954	21,912	0,887	23,421
22	10	18,246	19,528	1,312	21,437
23	10	16,619	17,559	0,579	18,219
24	10	14,961	15,784	0,859	16,828
25	10	96,042	102,327	5,347	111,875

DYAK algoritması uygulanarak alınan sonuçlar

DYAK algoritması ile yapılan deneylerde her bir tesis sayısı için 10 kez çalıştırma ile alınan en iyi sonuçlar aşağıda Tablo 4-14'te listelenmiştir:

Tablo 4-14: DYAK algoritması deney sonuçları

Tesis sayısı	Kapasite kısıtsız çözüm	ZS, LSN ve LSN2 çalışmalarındaki en iyi çözüm	DYAK kapasite kısıtlı çözüm	DYAK ile sağlanan iyileştirme	DYAK en iyi çözümü geçti[4]
2	135,522	136,650	136,650		=
3	105,214	106,287	106,314		
4	84,1536	86,468	86,458	0,010	●
5	72,237	76,521	76,514	0,007	●
6	60,971	61,489	61,496		
7	54,502	56,328	56,325	0,003	●
8	49,939	51,138	51,133	0,005	●
9	45,688	47,269	47,266	0,003	●
10	41,69	48,169	48,163	0,006	●
11	38,02	40,328	40,322	0,006	●
12	35,06	35,754	35,748	0,006	●
13	32,31	35,153	35,138	0,015	●
14	29,66	31,048	31,048		=
15	27,63	28,053	28,051	0,002	●
16	25,74	25,858	25,855	0,003	●
17	23,99	24,561	25,801		
18	22,29	23,534	24,246		
19	20,64	21,641	21,790		
20	19,36	19,972	19,963	0,009	●
21	18,08	18,326	18,655		
22	16,822	17,024	17,015	0,009	●
23	15,614	15,691	16,085		
24	14,443	14,481	14,550		
25	13,30	22,738	22,881		

[4] = : En iyi çözümün aynısı bulundu. ● : En iyi çözümden daha iyi sonuç bulundu.

DYAK algoritması ile yapılan deneylerde her bir tesis sayısı için test uygulaması farklı başlangıç değerleriyle 10'ar kez çalıştırılmıştır. Algoritmanın rassal özelliği nedeniyle sonuçlar birbirinden farklı olmaktadır. Bu çalışmaların arasındaki en iyi değerler yukarıdaki Tablo 4-14'te gösterilmiştir. 24 farklı tesis sayısı için yapılan 10'ar deneme sonucunun ortalama, standart sapma ve en kötü çözüm değerleri aşağıda Tablo 4-15'te ayrıca listelenmiştir:

Tablo 4-15: DYAK algoritması deneylerinin analizi

Tesis sayısı	Deneme sayısı	En küçük değer	Ortalama	Standart sapma	En büyük değer
2	10	136,650	136,652	0,001	136,654
3	10	106,314	106,318	0,004	106,325
4	10	86,458	86,557	0,073	86,626
5	10	76,514	76,885	0,629	77,826
6	10	61,496	61,499	0,001	61,500
7	10	56,325	56,363	0,092	56,590
8	10	51,133	51,138	0,009	51,154
9	10	47,266	47,306	0,068	47,385
10	10	48,163	48,260	0,137	48,357
11	10	40,322	40,622	0,277	41,073
12	10	35,748	35,773	0,043	35,822
13	10	35,138	35,175	0,062	35,247
14	10	31,048	31,317	0,192	31,624
15	10	28,051	28,264	0,154	28,418
16	10	25,855	26,242	0,219	26,501
17	10	25,801	26,447	0,456	27,275
18	10	24,246	24,486	0,294	24,982
19	10	21,790	22,225	0,407	23,095
20	10	19,963	20,302	0,413	21,103
21	10	18,655	19,249	0,412	19,862
22	10	17,015	17,377	0,512	17,739
23	10	16,085	16,687	0,902	17,724
24	10	14,550	15,233	0,685	15,919
25	10	22,881	24,168	1,481	25,714

DYAK algoritması sonuçlarına NM metodu uygulanarak alınan sonuçlar

DYAK algoritması ile yapılan deneylerde her bir tesis sayısı için alınan en iyi sonuçlar Tablo 4-14'ten alınıp, NM metodu 24 farklı tesis sayısı için birer kez çalıştırılmıştır. NM çalışması her denemede aynı sonucu üretebildiği için ortalama, standart sapma ve en kötü çözüm değerleri YAK ve DYAK algoritması sonuçlarında ayrıca listelendiği gibi ayrıca listelenmemiştir. NM çalışmasıyla elde edilen sonuçlar aşağıda Tablo 4-16'da gösterilmiştir:

Tablo 4-16: DYAK+NM algoritması deney sonuçları

Tesis sayısı	Kapasite kısıtsız çözüm	ZS, LSN ve LSN2 çalışma-larındaki en iyi çözüm	DYAK kapasite kısıtlı çözüm	DYAK çözümüne Nelder-Mead uygulandıktan sonra çözümün toplam maliyeti	Nelder-Mead algoritması ile DYAK toplam maliyetinde sağlanan iyileştirme	NM DYAK'ı iyileştirdi	DYAK+NM en iyi çözümü geçti
2	135,522	136,650	136,650	136,650		=	=
3	105,214	106,287	106,314	106,314		=	
4	84,1536	86,468	86,458	86,458		=	●
5	72,237	76,521	76,514	76,514		=	●
6	60,971	61,489	61,496	61,496		=	
7	54,502	56,328	56,325	56,325		=	●
8	49,939	51,138	51,133	51,133		=	●
9	45,688	47,269	47,266	47,264	0,002	●	●
10	41,69	48,169	48,163	48,154	0,009	●	●
11	38,02	40,328	40,322	40,320	0,002	●	●
12	35,06	35,754	35,748	35,745	0,003	●	●
13	32,31	35,153	35,138	35,138		=	●
14	29,66	31,048	31,048	31,034	0,014	●	●
15	27,63	28,053	28,051	28,039	0,012	●	●
16	25,74	25,858	25,855	25,847	0,008	●	●
17	23,99	24,561	25,801	25,796	0,005	●	
18	22,29	23,534	24,246	24,245	0,001	●	
19	20,64	21,641	21,790	21,784	0,006	●	
20	19,36	19,972	19,963	19,961	0,002	●	●
21	18,08	18,326	18,655	18,655		=	
22	16,822	17,024	17,015	17,011	0,004	●	●
23	15,614	15,691	16,085	16,084	0,001	●	
24	14,443	14,481	14,550	14,549	0,001	●	
25	13,30	22,738	22,881	22,819	0,062	●	

YAK, DYAK ve DYAK+NM algoritması sonuçları

Tablo 4-17: YAK, DYAK ve DYAK+NM algoritması deney sonuçları

Tesis sayısı	Kapasite kısıtsız çözüm	ZS, LSN ve LSN2 çalışmalarındaki en iyi çözüm	YAK kapasite kısıtlı çözüm	YAK ile sağlanan iyileştirme	DYAK kapasite kısıtlı çözüm	DYAK ile sağlanan iyileştirme	DYAK çözümüne NM uygulandıktan sonra çözümün toplam maliyeti	NM algoritması ile DYAK toplam maliyetinde sağlanan iyileştirme	YAK en iyi çözümü geçti	DYAK en iyi çözümü geçti	NM DYAK'ı iyileştirdi	DYAK+NM en iyi çözümü geçti
2	135,522	136,650	136,767		136,650		136,650			=	=	=
3	105,214	106,287	106,318		106,314		106,314				=	
4	84,1536	86,468	86,458	0,010	86,458	0,010	86,458		●	●	=	●
5	72,237	76,521	104,048		76,514	0,007	76,514			●	=	●
6	60,971	61,489	61,498		61,496		61,496				=	
7	54,502	56,328	56,331		56,325	0,003	56,325			●	=	●
8	49,939	51,138	51,311		51,133	0,005	51,133			●	=	●
9	45,688	47,269	47,268	0,001	47,266	0,003	47,264	0,002	●	●	●	●
10	41,69	48,169	82,305		48,163	0,006	48,154	0,009		●	●	●
11	38,02	40,328	40,991		40,322	0,006	40,320	0,002		●	●	●
12	35,06	35,754	36,127		35,748	0,006	35,745	0,003		●	●	●
13	32,31	35,153	37,027		35,138	0,015	35,138			●	=	●
14	29,66	31,048	31,592		31,048		31,034	0,014		=	●	●
15	27,63	28,053	29,533		28,051	0,002	28,039	0,012		●	●	●
16	25,74	25,858	28,165		25,855	0,003	25,847	0,008		●	●	●
17	23,99	24,561	26,902		25,801		25,796	0,005			●	
18	22,29	23,534	24,327		24,246		24,245	0,001			●	
19	20,64	21,641	23,489		21,790		21,784	0,006			●	
20	19,36	19,972	21,102		19,963	0,009	19,961	0,002		●	●	●
21	18,08	18,326	20,954		18,655		18,655				=	
22	16,822	17,024	18,246		17,015	0,009	17,011	0,004		●	●	●
23	15,614	15,691	16,619		16,085		16,084	0,001			●	
24	14,443	14,481	14,961		14,550		14,549	0,001			●	
25	13,30	22,738	96,042		22,881		22,819	0,062			●	

Deneylerin çalışma süreleri

YAK, DYAK ve NM algoritmaları ile yapılan deneylerde her bir tesis sayısı için 10 kez çalıştırmanın ortalama süreleri aşağıda Tablo 4-18'de listelenmiştir:

Tablo 4-18: YAK, DYAK ve DYAK+NM algoritması çalışma süreleri

Tesis sayısı	YAK algoritması çalışma süresi (sn)	DYAK algoritması çalışma süresi (sn)	Nelder-Mead algoritması çalışma süresi (sn)	NM çalışma süresinin DYAK+NM süresine oranı
2	152	194	2	1%
3	39	101	3	3%
4	195	259	3	1%
5	219	347	4	1%
6	335	433	4	1%
7	237	187	5	3%
8	353	326	5	2%
9	404	498	6	1%
10	443	701	6	1%
11	645	880	7	1%
12	416	600	8	1%
13	433	852	8	1%
14	1218	1228	9	1%
15	533	2082	9	0%
16	399	747	10	1%
17	407	672	10	1%
18	670	1738	11	1%
19	573	3552	11	0%
20	407	1536	11	1%
21	415	1652	11	1%
22	779	4002	12	0%
23	609	3247	14	0%
24	392	1165	13	1%
25	258	2291	13	1%

Deney sonuçlarının özeti

Eilon (1971) 50 müşteri problemi üzerinde 2-25 tesis kurulması ile ilgili 24 problem için YAK, DYAK ve DYAK+NM algoritmaları çalıştırılarak yapılan deneyler sonunda aşağıdaki Tablo 4-19'da listelenen altı durum ortaya çıkmıştır.

Tablo 4-19: Deney sonuçlarının özeti

Yorum	Problem sayısı	İlgili problemlerin tesis sayıları
a. DYAK en iyi sonucu geçti ve NM DYAK'ı iyileştirdi.	8	9, 10, 11, 12, 15, 16, 20, 22
b. DYAK en iyi sonucu geçti. NM DYAK'ı iyileştirmedi.	5	4, 5, 7, 8, 13
c. DYAK en iyi sonucun aynısını buldu. NM DYAK'ı iyileştirdi ve en iyi sonucu geçti.	1	14
d. DYAK en iyi sonucun aynısını buldu. NM DYAK'ı iyileştirmedi.	1	2
e. NM DYAK'ı iyileştirdi, ama her ikisi de en iyi sonucu bulamadı.	6	17, 18, 19, 23, 24, 25
f. NM DYAK'ı iyileştirmedi ve her ikisi de en iyi sonucu bulamadı.	3	3, 6, 21

Yukarıdaki Tablo 4-19'daki altı durumun başarı seviyeleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. a, b, c durumlarındaki 14 problem için daha önceki ZS, LSN ve LSN2 çalışmalarında elde edilen sonuçlardan daha iyi sonuçlar bulunmuştur.
2. d durumundaki 1 problem için ZS, LSN ve LSN2 çalışmalarında elde edilen sonucun aynısı elde edilmiştir.
3. e ve f durumlarındaki 9 problemde ise ZS, LSN ve LSN2 çalışmalarında elde edilen sonuçlar elde edilememiştir.

BÖLÜM V: TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Lojistik sistemlerin tasarlanmasıyla ilgili çok önemli bir stratejik karar mekanizması olan tesis yer seçimi konusundaki bu çalışmada yer seçimi problemi türleri incelenmiş, yapılan araştırmalar özetlenmiş ve çözüme yönelik yeni bir metod önerilmiştir.

Bu doktora tez çalışması sırasında aşağıdaki araştırma soruları cevaplanmaya çalışılmıştır:

1. Tesis Yer Seçimi nedir? Weber problemi nedir, çeşitleri nelerdir?
2. Weber probleminin çözümü için şimdiye kadar hangi yöntemler uygulanmıştır?
3. Yapay Arı Kolonisi (YAK) algoritması kullanılarak Weber problemine çözüm bulunabilir mi?
4. YAK algoritması Kapasite Kısıtlı Weber problemine uygulanabilir mi?
5. YAK algoritmasının performansı nasıl iyileştirilebilir?

Yerleri belirli olan müşterilere hizmet vermek üzere kurulacak tesis yerlerini seçerken, yapılacak olan yatırım maliyeti ile işletim sırasında karşılaşılacak olan taşıma maliyeti arasında bir denge kurmakla birlikte, hizmet alacak olan müşterilerin memnuniyeti de göz önüne alınarak, olabildiğince verimli kararlar almak amacıyla 20nci yüzyıl başlarından beri farklı optimizasyon yöntemleri uygulanmıştır. Sürekli düzlem üzerinde bir tesis yeri kurma problemi Weber Problemi olarak adlandırılır. Aynı anda birden çok tesis kurulması ve bu tesislerin kapasite kısıtlarının göz önüne alınması problemi de Kapasite Kısıtlı Çok Tesisli Weber Problemi olarak adlandırılır. Yer seçimi problemlerinin her türü ile ilgili araştırma çalışmaları halen devam etmektedir. Problemlerin bir kısmına kesin çözüm yöntemleri ile optimum çözüm bulunmuş olmasına rağmen, kalan kısmı için tam çözüm bulunamamıştır, yeni araştırmalar sonucunda daha iyi çözümler ortaya çıkartılabilmektedir.

Yer seçimi problemleri çözüm alternatifleriyle ilgili olasılıkların polinom olmayan şekilde artması nedeniyle, doğrusal olmayan, türevi alınamayan, dışbükey olmayan

fonksiyonlarla ifade edilmektedir ve problemler polinom zamanda çözülememektedir. Problemler bu yapısı nedeniyle yerel optimum değere sahip birçok çözüm barındırır. Bu yerel optimum çözümler global optimum çözümün aranması sırasında tarama algoritmalarını yanıltarak, daha iyi çözümlerin bulunmasına engel olabilmektedir.

Tesis yerlerinin belirli alternatifler arasından seçilmesi yerine düzlem üzerinde herhangi bir yerin aranması ve kurulacak tesislerin kapasite kısıtının göz önüne alınması problemi daha karmaşık hale getirir. Tesis yerlerini belirlerken aynı zamanda tesis kapasitelerini gözeterek, hangi müşterinin hangi tesisten hizmet alması gerektiği de belirlenip, atama kararı da alınması gerekir.

Bu çalışmada yer seçimi problemleri incelenmiş ve sınıflandırılmış, bu alanda yapılan bilimsel çalışmalar taranmış ve özetlenmiştir. Kesin çözüm yöntemleriyle çözülemeyen problemler için farklı araştırmalarda sezgisel ve meta-sezgisel yöntemler önerilmiştir. Kesin olmayan yöntemlerle bulunan çözümlerin gerçekten global optimum çözüm olup olmadığı bilinmemektedir. Bazı yeni çalışmalar önceki çalışmalarda bulunan çözümlerden daha iyi çözümler üretebilmektedir.

Tez çalışması başladığında hedeflendiği gibi, kapasite kısıtlı yer seçimi ve atama probleminin çözümü için henüz başka bir çalışmada uygulanmamış olan Yapay Arı Kolonisi algoritması Weber Problemi için kullanılarak yeni bir yöntem önerilmiştir. Bugüne kadar birçok optimizasyon probleminde kullanılan YAK algoritmasının doğrusal olmayan, türevi alınamayan, dışbükey olmayan optimizasyon problemlerinde başarılı olduğunu gösteren bilimsel çalışmalar bulunmaktadır.

Önerilen algoritmaya yeni özellikler eklenerek Değiştirilmiş Yapay Arı Kolonisi algoritması oluşturulmuştur. Böylece YAK algoritmasının performansında iyileşme elde edilmiştir. Kapasite kısıtını gözeterek müşteri-tesis atamalarını düzenleyen Yardımcı YAK algoritması oluşturulmuştur.

Tesis yer seçimiyle ilgili bilimsel araştırmalarda kullanılan veri setleri üzerinde denemeler yapılmış, deney sonuçlarını daha hassas şekilde iyileştirmek için Yapay Arı Kolonisi algoritması sonuçlarına Nelder-Mead metodu uygulanmıştır. Tez çalışması bu yönden de tesis yer seçimi alanında YAK ve Nelder-Mead metodlarını

birlikte kullanan ilk çalışma olmuştur. Deneylerin bir kısmında Nelder-Mead algoritması sonucun iyileşmesini sağlamıştır.

Daha önceki bilimsel çalışmalarda ele alınan Eilon 50 müşteri veri seti kullanılarak 2 tesisten 25 tesis kurulmasına kadar 24 farklı problemin çözümü için deneyler yapılmış ve tez çalışmasında önerilen Değiştirilmiş Yapay Arı Kolonisi algoritması ve Nelder-Mead metodu birlikte kullanılmıştır. Deneyler sonunda 14 problem için daha önceki çalışmalarda elde edilen sonuçlardan daha iyi sonuçlar bulunmuştur. 1 problem için önceki çalışmalarda elde edilen sonucun aynısı elde edilmiştir. 9 problemde ise önceki çalışmalardaki sonuçlardan daha kötü sonuçlar bulunmuştur.

Benzer çalışmalardan birisi olan Brimberg v.d. (2000) çalışmasında Eilon 50 müşteri verisinin yanında boyut olarak daha büyük aşağıdaki üç veri seti daha kullanılmıştır. Gelecekte yapılacak araştırmalarda Değiştirilmiş Yapay Arı Kolonisi algoritması ile bu veri setleri üzerinde de denemeler yapılabilir.

a. 287 müşteri ambulans problemi (Bongartz 1994)
b. 654 müşteri için Gezgin Satıcı Problemi, TSP Library'de bulunmaktadır. (Reinelt 1991)
c. 1060 müşteri için Gezgin Satıcı Problemi, TSP Library'de bulunmaktadır. (Reinelt 1991)

Eilon 50 müşteri veri seti ile yapılan deneylerde kurulacak tesis sayısı arttıkça problem daha karmaşık hale gelmektedir. Örneğin, Yapay Arı Kolonisi algoritması ile taranan çözüm uzayı 50x2 probleminde 2x2 + 50x2 = 4 + 100 = 104 boyutlu iken, 50x20 probleminde 20x2 + 50x20 = 40 + 1000 = 1040 boyutlu olmaktadır. Daha çok boyutlu bir çözüm uzayında çözüm aramak için YAK algoritmasının daha uzun çalıştırılması gerekmekte ve global optimum sonuca ulaşma ihtimali azalmaktadır. Bu nedenle, yukarıda bahsedilen 287, 654 ve 1060 müşteri problemleriyle ilgili deneylerden vazgeçilmiştir.

Müşteri ve tesis sayısına bağlı olarak artan çözüm uzayı boyut sayısı kadar, problemleri zorlaştıran diğer bir etken ise tesislerin kapasite kısıtından kaynaklanan sıkılık faktörüdür. Aynı veri setinde kapasite kısıtlı farklı tesis sayılı problemlerin çözümlerini birbirleriyle kıyaslarken, toplam maliyet değerlerine bakılamaz. Daha fazla tesis kurulduğunda toplam taşıma maliyeti azalır. Kıyaslama yapabilmek için

sapma oranı adı verilen, kapasite kısıtlı toplam maliyet değerinin kapasite kısıtsız problemin çözümü olan toplam maliyet değerine oranına bakmak gerekir. Sıkılık faktörü 1 ya da 1'e yakın olan problemlerde bulunabilen çözümler, sıkılık faktörü daha küçük olan problemlerde bulunan çözüme göre daha yüksek sapma değerine sahiptir. Kapasite kısıtlı problemlerin çözümü sırasındaki zorluklardan birisi, bir müşteriyi bir tesisten ayırıp, başka bir tesise atama işlemindedir. Tesislere atanmış toplam müşteri talebi tesis kapasitesine eşit olduğunda, başka bir deyişle tesis kapasitesi dolu olduğunda yeni bir müşteriyi bu tesise bağlamak, bağlı olan müşterilerden birisini başka bir tesise kaydırmak için ihtimaller daralmaktadır. Bu nedenle, gelecek çalışmalarda müşteri tesis atamalarını belirleyen ve değiştiren algoritma üzerinde yenilikler yapılması ve geliştirilmesi daha iyi sonuçlar üretebilir.

Tez çalışmasının katkıları tesis yer seçimi çalışmalarının geniş kapsamlı incelenmesi, Yapay Arı Kolonisi algoritmasının kapasite kısıtlı yer seçimi ve atama problemine ilk kez uygulanması, Yapay Arı Kolonisi ile Nelder-Mead metodunun bir optimizasyon probleminde birlikte ilk kez kullanılması, Yapay Arı Kolonisi algoritmasına yeni özellikler eklenerek Değiştirilmiş Yapay Arı Kolonisi algoritmasının geliştirilmesi ve önerilmesi, önerilen bu algoritma ile Nelder-Mead metodunun birlikte kullanılması ve seçilen veri setindeki deney sonuçları itibariyle bilinen sonuçlardan daha iyi sonuçlar bulması olarak listelenebilir.

İleriki çalışmalarda, bu çalışmada önerilen DYAK algoritması ve Nelder-Mead metodu ile daha büyük problem verileri üzerinde deneyler yapılabilir ve algoritma performansını iyileştirici değişiklikler araştırılabilir. Müşteri-tesis atamalarının tesis kapasite kısıtını göz önüne alarak belirlenmesi ve tesis kapasitesi dolduğunda müşterilerin bir tesisten bir başka tesise kaydırılması işleminin daha verimli bir şekilde yapılmasını sağlayacak algoritmaların geliştirilmesi için farklı yöntemler araştırılabilir ve böylece problemin çözümüne çok önemli bir katkı sağlanabilir.

KAYNAKLAR

Abdullah, T., Zainuddin, Z.M., Salim, S., 2008, A simulated annealing approach for uncapacitated continuous location-allocation problem with zone-dependent fixed cost, *Matematika*, 24 (1), 67-73.

Agar, M. C., Salhi, S., 1998, Lagrangean Heuristics Applied to a Variety of Large Capacitated Plant Location Problems, *Journal of the Operational Research Society*, 49 (10), 1072-1084.

Ahuja, R. K., Orlin, J. B., Pallottino, S., Scaparra, P., Scutellà, M. G., 2004, A Multi-Exchange Heuristic for the Single-Source Capacitated Facility Location Problem, *Management Science*, 50 (6), 749-760.

Aikens, C. H., 1985, Facility Location Models for Distribution Planning, *European Journal of Operational Research*, 22 (3), 263-279.

Akınç, Ü., Khumawala, B., 1977, An Efficient Branch and Bound Algorithm for the Capacitated Warehouse Location Problem, *Management Science*, 23 (6), 585-594.

Akyüz, M. H., Öncan, T., Altınel, İ. K., 2012, Efficient approximate solution methods for the multi-commodity capacitated multi-facility Weber problem, *Computers & Operations Research*, 39 (2), 225–237.

Akyüz, M. H., Öncan, T., Altınel, K., 2010, The multi-commodity capacitated multi-facility Weber problem: heuristics and confidence intervals, *IIE Transactions*, 42 (11), 825–41.

Akyüz, M. H., 2017, The capacitated multi-facility Weber problem with polyhedral barriers: Efficient heuristic methods, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 113, 221-240.

Akyüz, M. H., Öncan, T., Altınel, İ. K., 2018, Branch and bound algorithms for solving the multi-commodity capacitated multi-facility Weber problem, *Annals of Operations Research*, 1-42.

Altınel, İ. K., Durmaz, E., Aras, N., Özkısacık, K. C., 2009, A location–allocation heuristic for the capacitated multi-facility Weber problem with probabilistic customer locations, *European Journal of Operational Research*, 198 (3), 790–799.

Al-Loughani, I. M., 1997, *Algorithmic approaches for solving the Euclidian distance location–allocation problems*, Doktora Tezi, Blacksburg, Virginia: Industrial and System Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University.

Amiri-Aref, M., Keramatlu, O., 2012, Multi-commodity capacitated multi-facility Weber problem with probabilistic customer locations, *Journal of Mathematical and Computational Science*, 2 (5), 1498-1511.

Aneja, P. Y., Parlar, M., 1994, Algorithms for Weber facility location in the presence of forbidden regions and/or barriers to travel, *Transportation Science*, 28 (1), 70-76.

Arabani, A. B., Farahani, R. Z., 2012, Facility location dynamics-An overview of classifications and applications, *Computers & Industrial Engineering*, 62 (1), 408-420.

Aras, N., Altınel, İ. K., Orbay, M., 2007a, New Heuristic Methods for the Capacitated Multi-Facility Weber Problem, *Naval Research Logistics*, 54 (1), 21-32.

Aras, N., Orbay, M., Altınel, İ. K., 2008, Efficient heuristics for the rectilinear distance capacitated multi-facility Weber problem, *Journal of Operational Research Society*, 59, 64–79.

Aras, N., Özkısacık, K. C., Altınel, İ. K., 2006, Solving the Uncapacitated Multi-Facility Weber Problem by Vector Quantization and Self-organizing Maps, *Journal of the Operational Research Society*, 57, 82-93.

Aras, N., Yumuşak, S., Altınel, İ. K., 2007b, *Solving the Capacitated Multi-Facility Weber Problem by Simulated Annealing, Threshold Accepting and Genetic Algorithms,* Metaheuristics: Progress in Complex Systems Optimization, In: Doerner, K. F., Gendreau, M., Greistorfer, P., Gutjahr, W. J., Hartl, R. F., Reimann, M. (editors), Chapter 5, Springer-Verlag, Berlin, ISBN: 0387719214, 91-112.

Azarmand, Z., Jami, E. N., 2009, *Location Allocation Problem*, Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies: Contributions to Management Science, In: Farahani, R. Z., Hekmatfar, M. (editors), Chapter 5, Physica-Verlag, Heidelberg Germany, ISBN: 3790821505, 111-143.

Baker, J. E., 1987, *Reducing Bias and Inefficiency in the Selection Algorithm*, In Proceedings of the Second International Conference on Genetic Algorithms and their Application (ICGA2), Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey, USA, 14-21.

Batta, R., Ghose, A., Palekar, U., 1989, Locating Facilities on the Manhattan Metric with Arbitrarily Shaped Barriers and Convex Forbidden Regions, *Transportation Science*, 23 (1), 26-36.

Beasley, J. E., 1993, Lagrangean heuristics for location problems, *European Journal of Operational Research*, 65 (3), 383-399.

Bischoff, M., Klamroth, K., 2007, An efficient solution method for Weber problem with barriers based on genetic algorithms, *European Journal of Operational Research*, 177 (1), 22-41.

Blanchard, S. B., 1992, *Logistics Engineering and Management*, Prentice Hall Inc, ISBN: 0135288290.

Bongartz, I., Calamai, P.H., Conn, A.R., 1994, A projection method for lp norm location-allocation problems, *Mathematical Programming*, 66, 283-312.

Boyacı, B., 2009, *Solving the Capacitated Multifacility Weber Problem Approximately*, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.

Boyacı, B., Altınel, İ. K., Aras, N., 2013, Approximate solution methods for the capacitated multi-facility Weber problem, *IIE Transactions*, 45 (1), 97–120.

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

Brandeau, M. L., Chiu, S. S., 1993, Sequential location and allocation: Worst case performance and statistical estimation, *Location Science*, 1 (4), 289–298.

Brimberg, J., Hansen, P., and Mladenović, N., 2006, Decomposition strategies for large-scale continuous location-allocation problems, *IMA Journal of Management Mathematics*, 17 (4), 307-316.

Brimberg, J., Hansen, P., Mladenović, N., Salhi, S., 2008, A Survey of Solution Methods for the Continuous Location-Allocation Problem, *International Journal of Operations Research*, 5 (1), 1-12.

Brimberg, J., Hansen, P., Mladenović, N., Taillard, E. D., 2000, Improvements and Comparison of Heuristics for Solving the Uncapacitated Multisource Weber Problem, *Operations Research*, 48 (3), 444-460.

Brimberg, J., Korach, E., Eben-Chaim, M., Mehrez, A., 2001, The Capacitated p-Facility Location on the Real Line, *International Transactions in Operational Research*, 8 (6), 727-738.

Brimberg, J., Love, R. F., 1998, Solving a Class of Two-Dimensional Uncapacitated Location-Allocation Problems by Dynamic Programming, *Operations Research*, 46 (5), 702-709.

Brimberg, J., Love, R. F., 1993, Global convergence of a generalized iterative procedure for the minisum location problem with lp distances, *Operations Research*, 41 (6), 1153-1163.

Brimberg, J., Mehrez, A., 2001, Location and Sizing of Facilities on a Line, *TOP*, 9 (2), 271-280.

Brimberg, J., Mladenović, N., 1996a, Solving the Continuous Location-Allocation Problem with Tabu Search, *Studies in Locational Analysis*, 8, 23-32.

Brimberg, J., Mladenović, N., 1996b, A Variable Neighbourhood Algorithm for Solving the Continuous Location-Allocation Problem, *Studies in Locational Analysis*, 10, 1-12.

Brimberg, J., Mladenović, N., 1999, Degeneracy in the multi-source Weber problem, *Mathematical Programming*, 85 (1), 213–220.

Brimberg, J., Mladenović, N., Salhi, S., 2004, The multi-source Weber Problem with constant opening cost, *Journal of the Operational Research Society*, 55 (6), 640-646.

Brimberg, J., Salhi, S., 2005, A Continuous Location-Allocation Problem with Zone-Dependent Fixed Cost, *Annals of Operations Research*, 136 (1), 99-115.

Butt, S. E., Cavalier, T. M., 1996, An efficient algorithm for facility location in the presence of forbidden regions, *European Journal of Operational Research*, 90 (1), 56-70.

Carlo, H. J., David, V., Salvat-Dávila, G.S., 2017, Transportation-location problem with unknown number of facilities, *Computers & Industrial Engineering*, 112, 212-220.

Carrizosa, E. J., Conde, E., Munoz-Marquez, M., Puerto, J., 1995, The generalized Weber problem with expected distances, *RAIRO-Recherche Operationnelle-Operations Research*, 29 (1), 35–57.

Chen, R., 1983, Solution of minisum and minimax location-allocation problems with Euclidean distances, *Naval Research Logistics*, 30 (3), 449-459.

Chen, P. C., Hansen, P., Jaumard, B., Tuy, H., 1992, Weber's Problem with Attraction and Repulsion, *J. Regional Sci.*, 32, 467-486.

Chen, P. C., Hansen, P., Jaumard, B., Tuy, H., 1998, Solution to the Multisource Weber and Conditional Weber Problems by d-c Programming, *Operations Research*, 46 (4), 548-562.

Chen, C. H., Ting, C. J., 2008, Combining lagrangian heuristic and ant colony system to solve the single source capacitated facility location problem.

Transportation research part E: logistics and transportation review, 44 (6), 1099-1122.

Chen, J. S., Pan, S., Ko, C. H., 2011, A continuation approach for the capacitated multi-facility Weber problem based on nonlinear SOCP reformulation, *Journal of Global Optimization*, 50(4), 713–728.

Christofides, N., Beasley, J. E., 1983, Extension to a Lagrangean relaxation approach for the capacitated warehouse location problem, *European Journal of Operational Research*, 12 (1), 19-28.

Commander, C. W., 2003, *A survey of the quadratic assignment problem, with applications*, Doktora Tezi, University of Florida.

Cooper, L., 1972, The transportation-location problem, *Operations Research*, 20, 94–108.

Cooper, L., 1963, Location-Allocation Problems, *Operations Research*, 11 (3), 331-343.

Cooper, L., 1964, Heuristic methods for Location-Allocation Problems, *SIAM Review*, 6, 37-53.

Cooper, L., 1967, Solutions of generalized locational equilibrium models, *Journal of Regional Science*, 7, 1–18.

Cooper, L., 1975, The fixed charge problem–I: A new heuristic method, *Computers and Mathematics with Applications*, 1 (1), 89-95.

Cooper, L., 1976, An Efficient Heuristic Algorithm for the Transportation-Location Problem, *Journal of Regional Science*, 16 (3), 309-315.

Current, J., Daskin, M., Schilling, D., 2002, *Discrete network location models, Facility Location: Applications and Theory*, In: Drezner, Z., Hamacher, H. W. (editors), Chapter 3, Springer-Verlag, Heidelberg, 81–118.

Daskin, M. S., 1995, *Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications*, John Wiley & Sons, Inc., New York, ISBN: 047101897X.

Daskin, M. S., 2008, What You Should Know about Location Modelling, *Naval Research Logistics*, 55 (4), 283-294.

Díaz-Báñez, J. M., Mesa, J. A., Schöbel, A., 2004, Continuous location of dimensional structures, *European Journal of Operational Research*, 152 (1), 22–44.

Domschke, W., Drexl, A, 1985, ADD-heuristics' starting procedures for capacitated plant location models, *European Journal of Operational Research*, 21 (1), 47-53.

Drezner, Z., 1984, The Planar Two-Center and Two-Median Problems, *Transportation Science*, 18 (4), 351-361.

Drezner, Z., 1992, A note on the Weber location problem, *Annals of Operations Research*, 40, 153-161.

Drezner, Z., 1995, *Facility location: A Survey of Applications and Methods*, Springer-Verlag, New York, ISBN: 3540945458.

Drezner, Z., Hamacher., H. W., 2002, *Facility location: Applications and Theory*, Springer-Verlag, New York, ISBN: 3540421726.

Drezner, Z., Brimberg, J., Mladenović, N., Salhi, S., 2015, New heuristic algorithms for solving the planar p-median problem, *Computers & Operations Research*, 62, 296-304.

Eben-Chaime, M., Mehrez, A., Markovich, G., 2002, Capacitated location-allocation on a line, *Computers & Operations Research*, 29 (5), 459-470.

Eilon, S., Watson-Gandy, C. D. T., Christofides, N., 1971, *Distribution Management*, Hafner Press, New York, ISBN: 0852641915.

Eiselt, H. A., Laporte, G., Thisse, J. F., 1993, Competitive Location Models: A Framework and Bibliography, *Transportation Science*, 27 (1), 44-54.

Esnaf, Ş., Küçükdeniz, T., 2009, A fuzzy clustering-based hybrid method for a multi-facility location problem, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 20(2), 259–265.

Esnaf, Ş., Küçükdeniz, T., Tunçbilek N., 2014, "*Supply Chain Management Under Fuzziness*," Springer-Verlag, Editörler: Prof. Dr. Cengiz Kahraman, Dr. Başar Öztayşi, *Bölüm 4: Production and Materials Management under Fuzziness, "Fuzzy C-Means Algorithm with Fixed Cluster Centers for Uncapacitated Facility Location Problems: Turkish Case Study*," Cilt 313, pp. 489-516.

Farahani, R. Z., SteadieSeifi, M., Asgari, N., 2010, Multiple criteria facility location problems: A survey, *Applied Mathematical Modeling*, 34 (7), 1689–1709.

Francis, R. L., McGinnis, L. F., White, J. A., 1983, Locational Analysis, *European Journal of Operational Research*, 12 (3), 220-252.

Francis, R. L., McGinnis, L. F., White, J. A., 1992, *Facility layout and location: An analytical approach*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., ISBN: 0132992310.

Francis, R. L., White, J. A., 1974, *Facility layout and location: an analytical approach*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., ISBN: 0132991497.

Frenk, J. B. G., Melo, M. T., Zhang, S., 1994, A Weiszfeld method for a generalized lp distance minisum location model in continuous space, *Location Science*, 2 (2), 111-127.

Frisch, K. R., 1927, *Aus dem Leben der Bienen (Arıların Hayatından)*, Springer Verlag, Berlin.

Gamal, M. D. H., Salhi, S., 2001, Constructive heuristics for the uncapacitated continuous location–allocation problem, *The Journal of the Operational Research Society*, 52 (7), 821-829.

Gamal, M. D. H., Salhi, S., 2003, A cellular heuristic for the multisource Weber problem, *Computer & Operations Research*, 30 (11), 1609-1624.

Gergin Z., Tunçbilek N., Esnaf Ş., 2019, Clustering Approach Using Artificial Bee Colony Algorithm for Healthcare Waste Disposal Facility Location Problem, *International Journal of Operations Research and Information Systems (IJORIS)*, 10 (1), Makale 5.

Ghaderi, A., 2013, *Investigating of Hybrid Meta-Heuristics to Solve the Large-Scale Multi-Source Weber Problems and Performance Measuring of them with Statistical Tests*, Meta-Heuristics Optimization Algorithms in Engineering, Business, Economics and Finance, In: Vasant, P. (ed.), Chapter 6, IGI Global, Hershey, USA, ISBN 1466620865, 171-197.

Ghaderi, A., Jabalameli, M. S., Barzinpour, F., Rahmaniani, R., 2012, An Efficient Hybrid Particle Swarm Optimization Algorithm For Solving The Uncapacitated Continuous Location-Allocation Problem, *Networks and Spatial Economics*, 12 (3), 421-439.

Goldberg, D. E., Deb, K., 1991, A comparative analysis of selection schemes used in genetic algorithms, *Foundations of Genetic Algorithms 1*, 69-93.

Gomes, H. I. C. R., 2004, *Location Model for CCA-Treated Wood Waste Remediation Units*, Yüksek Lisans Tezi, Universidade Nova de Lisboa, Lisbon, Portugal.

Gong, D., Gen, M., Yamazaki, G., Xu, W., 1997, Hybrid evolutionary method for capacitated location-allocation problem, *Computers & Industrial Engineering*, 33 (3-4), 577-580.

Gözde, H., 2010, *Güç sistemlerinde yapay arı kolonisi algoritması yöntemi ile yük-frekans kontrolü optimizasyonu*, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Guastaroba, G., Speranza, M. G., 2014, A heuristic for BILP problems: The Single Source Capacitated Facility Location Problem, *European Journal of Operational Research*, 238 (2), 16 October 2014, Pages 438-450.

Hakimi, S. L., 1964, Optimum Locations of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graph, *Operations Research*, 12 (3), 450–459.

Hakimi, S. L., 2000, *Location theory*, Handbook of Discrete and Combinatorial Mathematics, In: Rosen, K. H., Michaels, J. G., Gross, J. L., Grossman, J. W., Shier, D. R. (editors), CRC Press, Boca Raton, London, ISBN: 0849301491, 1019-1029.

Hale, T. S., Moberg, C. R., 2003, Location Science Research: A Review, *Annals of Operations Research*, 123 (1-4), 21-35.

Hamacher, H., Klamroth, K., 2000, Planar Weber location problems with barriers and block norms, *Annals of Operations Research*, 96 (1-4), 191-208.

Hamacher, H., Nickel, S., 1995, Restricted planar location problems and applications, *Naval Research Logistics*, 42 (6), 967-992.

Hamacher, H., Nickel, S., 1998, Classification of Location Models, *Location Science*, 6 (1-4), 229-242.

Handler, G. Y., Mirchandani, P. B., 1979, *Location on Networks Theory and Algorithms*, MIT Press, Cambridge, ISBN: 0262080907.

Hansen, P., Peeters, D., Thisse, J. F., 1981, On the Location of an Obnoxious Facility, *Sistemi Urbani*, 3, 299-317.

Hansen, P., Peeters, D., Thisse, J. F., 1982, An Algorithm for a Constrained Weber Problem, *Management Science*, 28 (11), 1285-1295.

Hansen, P., Jaumard, B., Krau, S., du Merle, O., 1998a, A stabilized column generation algorithm for the multisource Weber problem, *Les Cahiers du GERAD, University of Montréal, Canada.*

Hansen, P., Mladenović, N., Taillard, E. D., 1998b, Heuristic solution of the multisource Weber problem as a p-median problem, *Operations Research Letters*, 22 (2-3), 55-62.

Hansen, P., Mladenović, N., 2001a, Variable neighborhood search: Principles and applications, *European Journal of Operational Research*, 130 (3), 449-467.

Hansen, P., Mladenović, N., Perez-Brito, D., 2001b, Variable Neighborhood Decomposition Search, *Journal of Heuristics*, 7(4), 335-350.

Hansen, P., Mladenović, N., 2003, *Variable neighborhood search*, Handbook of Metaheuristics, In: Glover, F., Kochenberg, G. A. (editors), Chapter 6, Kluwer Academic Publishers, Boston, Dordrecht, London, ISBN: 0306480565, 145-184.

Harris, I., Mumford, C. L., Naim, M. M., 2011, *An evolutionary bi-objective approach to the capacitated facility location problem with cost and CO_2 emissions*. In Proceedings of the 13th annual conference on Genetic and evolutionary computation, 697-704.

Holmberg, K., Rönnqvist, M., Yuan, D., 1999, An exact algorithm for the capacitated facility location problems with single sourcing, *European Journal of Operational Research*, 113 (3), 544-559.

Houck, C. R., Joines, J. A., Kay, M. G., 1996, Comparison of genetic algorithms, random restart and two–opt switching for solving large location-allocation problems, *Computers & Operations Research*, 23 (6), 587-596.

Hosseininezhad, S. J., Salhi, S., Jabalameli, M. S., 2015, A Cross Entropy-based heuristic for the capacitated multi-source Weber problem with facility fixed cost, *Computers & Industrial Engineering*, 83, 151-158.

Hsieh, K. H., Tien, F. C., 2004, Self-organizing feature maps for solving location-allocation problems with rectilinear distances, *Computers & Operations Research*, 31 (7), 1017-1031.

Irawan, C. A., Salhi, S., Luis, M., Azizi, N., 2017, The continuous single source location problem with capacity and zone-dependent fixed cost: Models and solution approaches, *European Journal of Operational Research*, 263 (1), 94-107.

Jabalameli, M. S., Ghaderi, A., 2008, Hybrid algorithms for the uncapacitated continuous location-allocation problem, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 37 (1-2), 202–209.

Jacobsen, S. K., 1983, Heuristics for the capacitated plant location model, *European Journal of Operational Research*, 12 (3), 253-261.

Karaboğa, D., 2005, *An idea based on honey bee swarm for numerical optimization*, Technical Report TR06, Erciyes University, Turkey, 1-6.

Karaboğa, D., Baştürk, B., 2007, A powerful and efficient algorithm for numeric optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm, *Journal of Global Optimization*, 39(3): 459-471.

Katz, I. N., Cooper, L., 1981, Facility location in the presence of forbidden regions, I: Formulation and the case of Euclidean distance with one forbidden circle, *European Journal of Operational Research*, 6 (2), 166-173.

Khumawala, B., 1974, An efficient heuristic procedure for the capacitated warehouse location problem, *Naval Research Logistics Quarterly*, 21 (4), 609-623.

Kırca, Ö., Satir, A., 1990, A Heuristics for Obtaining an Initial Solution for the Transportation Problem, *The Journal of the Operational Research Society*, 41 (9), 865-871.

Klamroth, K., 2001a, Planar weber location problems with line barriers, *Optimization: A Journal of Mathematical Programming and Operations Research*, 49 (5-6), 517-527.

Klamroth, K. A., 2001b, A reduction result for location problems with polyhedral barriers, *European Journal of Operational Research*, 130 (3), 486-497.

Klamroth, K., 2002, *Single-Facility Location Problems with Barriers*, Springer Series in Operation Research, Springer-Verlag, New York, ISBN: 0387954988.

Klamroth, K., 2004, Algebraic properties of location problems with one circular barrier, European Journal of Operational Research, 154 (1), 20-35.

Klose, A., Drexl, A., 2005, Facility location models for distribution system design, *European Journal of Operational Research*, 162 (1), 4–29.

Klose, A., Görtz., S., 2007, A brach-and-price algorithm for the capacitated facility location problem, *European Journal of Operational Research*, 179 (3),1109-1125.

Krarup, J., S. Vajda, 1997, On Torricelli's geometrical solution to a problem of Fermat, *IMA Journal of Management Mathematics*, 8 (3), 215-224.

Krau, S., 1997, *Extensions du probleme de Weber*, Doktora Tezi, École Polytechnique de Montréal.

Küçükdeniz, T., Baray, A., Ecerkale, K., Esnaf, Ş., 2012, Integrated use of fuzzy c-means and convex programming for capacitated multi-facility location problem, *Expert Systems with Applications*, 39 (4), 4306–4314.

Küçükdeniz, T., Esnaf, Ş., 2018, Hybrid revised weighted fuzzy c-means clustering Nelder-Mead simplex algorithm for generalized multisource Weber problem, *Journal of Enterprise Information Management*, 31 (6), 908-924.

Kuehn, A. A., Hamburger, M. J., 1963, A Heuristic Program for Locating Warehouses, *Management Science*, 9 (4), 643-666.

Kuenne, R. E., Soland, R. M., 1972, Exact and Approximate Solutions to the Multisource Weber Problem, *Mathematical Programming*, 3, 193-209.

Kuhn, H. W., Kuenne, R. E., 1962, An efficient algorithm for the numerical solution of the generalized Weber problem in spatial economics, *Journal of Regional Science*, 4 (2), 21-33.

Kuhn, H. W., 1973, A note on Fermat's problem, *Mathematical Programming*, 4, 98-107.

Lara, C. L., Trespalacios, F., Grossmann, I. E., 2018, Global optimization algorithm for capacitated multi-facility continuous location-allocation problems, *Journal of Global Optimization*, 71 (4), pp 871–889.

Larson, R., Sadiq, G., 1983, Facility Locations with the Manhattan Metric in the Presence of Barriers to Travel, *Operations Research*, 31 (4), 652-669.

Levin, Y., Ben-Israel, A., 2004, A heuristic method for large-scale multi-facility location problems, *Computers and Operations Research*, 31 (2), 257-272.

Liu, M. C., Kao, R. L., Wang, A. H., 1994, Solving Location-Allocation Problems with Rectilinear Distances by Simulated Annealing, *Journal of the Operational Research Society*, 45 (11), 1304-1315.

Love, R. F., 1976, One-Dimensional Facility Location-Allocation using Dynamic Programming, *Management Science*, 22 (5), 614-617.

Love, R. F., Morris, J. G., 1975, A computation procedure for the exact solution of location-allocation problems with rectangular distances, *Naval Research Logistics*, 22 (3), 441-453.

Love, R. F., Juel, H., 1982, Properties and Solution Methods for Large Location–Allocation Problems, *Journal of the Operational Research Society*, 33 (5), 443-452.

Lozano, S., Guerrero, F., Onieva, L., Larrañeta, J., 1998, Kohonen Maps for Solving a Class of Location-Allocation Problems, *European Journal of Operational Research*, 108 (1), 106-117.

Luis, M., 2008, *Meta-heuristics for the capacitated multi-source Weber problem*, Doktora Tezi, University of Kent, Canterbury, UK.

Luis, M., Salhi, S., Nagy, G., 2009, Region-rejection based heuristics for the capacitated multi-source Weber problem, *Computers & Operations Research*, 36 (6), 2007–2017.

Luis, M., Salhi, S., Nagy, G., 2011, A guided reactive GRASP for the capacitated multi-source Weber problem, *Computers & Operations Research*, 38 (7), 1014–1024.

Luis, M., Salhi, S., Nagy, G., 2015, A Constructive Method and a Guided Hybrid GRASP for the Capacitated Multi-Source Weber Problem in the Presence of Fixed Cost, *Journal of Algorithms & Computational Technology*, 9 (2), 215–232.

Manzour-al-Ajdad, S. M. H., Torabi, S. A., Eshghi, K., 2012, Single-Source Capacitated Multi-Facility Weber Problem—An iterative two phase heuristic algorithm, *Computers and Operations Research*, 39 (7), 1465–1476.

McGarvey, R. G., Cavalier, T. M., 2003, A global optimal approach to facility location in the presence of forbidden regions, *Computers & Industrial Engineering*, 45 (1), 1-15.

Megiddo, N., Supowit, K. J., 1984, On the Complexity of Some Common Geometric Location Problems, *SIAM Journal on Computing*, 13 (1), 182-196.

Melo, M. T., Nickel, S., Saldanha-da-Gama, F., 2009, Facility location and supply chain management – A review, *European Journal of Operational Research*, 196 (2), 401–412.

Miehle, W., 1958, Link-Length Minimization in Networks, *Operations Research*, 6 (2), 232-243.

Mirchandani, P. B., Francis, R. L., 1990, *Discrete Location Theory*, John Wiley Press, New York, ISBN: 0471892335.

Mirchandani, P., Kohli, R., Tamir, A., 1996, Capacitated Location Problem on a Line, *Transportation Science*, 30 (1), 75-80.

Moreno-Perez, J., Rodrigez, C., Jimenez, N., 1991, Heuristic cluster algorithm for multiple facility location-allocation problem, *RAIRO-Recherche Operationnelle/Operations Research*, 25 (1), 97-107.

Murtagh, B. A., Niwattsyawong, S. R., 1982, An Efficient Method for the Multi-Depot Location-Allocation Problem, *Journal of the Operational Research Society*, 33 (7), 629-634.

Nagy, G., Salhi, S., 2007, Location-routing: Issues, models and methods, *European Journal of Operational Research*, 177 (2), 649–672.

Neema, M. N., Maniruzzaman, K. M., Ohgai, A., 2011, New genetic algorithms based approaches to continuous p-median problem, *Networks and Spatial Economics*, 11(1), 83–99.

Nelder, J. A., Mead, R., 1965, A simplex method for function minimization, *The Computer Journal*, 7, pp. 308–313.

Nickel, S., Puerto, J., 2005, *Location theory: A unified approach*, Springer-Verlag, Berlin, ISBN: 3540243216.

Ohlemüller, M., 1997, Tabu Search for Large Location-Allocation Problems, *Journal of the Operational Research Society*, 48 (7), 745-750.

Osman, I. H., Christofides, N., 1994, Capacitated clustering problems by hybrid simulated annealing and tabu search, *International Transactions in Operations Research*, 06/1994; 1(3): 317 – 336.

Ostresh, L. M., 1975, An Efficient Algorithm for Solving the Two Center Location-Allocation Problem, *Journal of Regional Science*, 15 (2), 209-216.

Ostresh, L. M., 1978, On the convergence of a class of iterative methods for solving the Weber location problem, *Operations Research*, 26 (4), 597-609.

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

Pacheco, S. M., Schütze, O., Vera, C., Trujillo, L. and Maldonado, Y., 2015, Solving the ambulance location problem in Tijuana-Mexico using a continuous location model, *2015 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, 2631-2638.

Pfeiffer, B., Klamroth, K., 2008, A unified model for Weber problems with continuous and networks distances, *Computers & Operations Research*, 35 (2), 312-326.

Rajan, A., Malakar, T., 2015, Optimal reactive power dispatch using hybrid Nelder-Mead simplex based firefly algorithm, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 66, 9-24.

Rapp, Y., 1962, Planning of Exchange Locations and Boundaries, *Ericsson Technics*, 2, 1-22.

Rautenbach, D., Struzyna, M., Szegedy, C., Vygen, J., 2004, Weiszfeld's algorithm revisited once again, Report No. 04946-OR, *Research Institute for Discrete Mathematics, University of Bonn*.

Reinelt, G. 1991, TSLIB—a traveling salesman library, *ORSA Journal on Computing*, 3, 376–384.

ReVelle, C. S., Eiselt, H. A., 2005, Location analysis: A synthesis and survey, *European Journal of Operational Research*, 165 (1), 1–19.

ReVelle, C. S., Eiselt, H. A., Daskin, M. S., 2008, A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science, *European Journal of Operational Research*, 184 (3), 817–848.

Righini, G., Zaniboni, L., 2007, A branch-and-price algorithm for the multi-source Weber problem, *International Journal of Operational Research*, 2 (2), 188-207.

Rosen, J. B., Xue, G. L., 1991, Computational Comparison of Two Algorithms for the Euclidean Single Facility Location Problem, *ORSA Journal on Computing*, 3 (3), 207-212.

Rosing, K. E., 1992a, An Optimal Method for Solving the (Generalized) Multi-Weber Problem, *European Journal of Operational Research*, 58 (3), 414-426.

Rosing, K. E., 1992b, The optimal location of steam generators in large heavy oil fields, *American Journal of Mathematical and Management Sciences*, 12 (1), 19–42.

Sá, G., 1969, Branch-and-Bound and Approximate Solutions to the Capacitated Plant-Location Problem, *Operations Research*, 17 (6), 1005-1016.

Şahin, G., Sural, H., 2007, A review of hierarchical facility location models, *Computers and Operations Research*, 34 (8), 2310–2331.

Salhi, S., Gamal, M. D. H., 2003, A Genetic Algorithm Based Approach for the Uncapacitated Continuous Location–Allocation Problem, *Annals of Operations Research*, 123 (1-4), 203-222.

Selim, S., 1979, *Biconvex programming and deterministic and stochastic location allocation problems*, Doktora Tezi, Georgia Institute of Technology.

Shavarani, S. M., Ghadirinejad, M., Rismanchian, F., İzbırak, G., 2018, Application of hierarchical facility location problem for optimization of a drone delivery system: a case study of Amazon prime air in the city of San Francisco, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 95 (9–12), 3141–3153.

Sherali, H. D., Al-Loughani, I., Subramanian, S., 2002, Global Optimization Procedures for the Capacitated Euclidean and Lp Distance Multifacility Location–Allocation Problems, *Operations Research*, 50 (3), 433–48.

Sherali, H. D., Adams, W. P., 1999, *A Reformulation-Linearization Technique for Solving Discrete and Continuous Nonconvex Problems*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, ISBN: 0792354877.

Sherali, H. D., Nordai, F. L., 1988, NP-Hard, Capacitated, Balanced p-Median Problems on a Chain Graph with a Continuum of Link Demands, *Mathematics of Operations Research*, 13 (1), 32-49.

Sherali, H. D., Ramachandran, S., Kim, S. I., 1994, A localization and reformulation discrete programming approach for the rectilinear distance location-allocation problems, *Discrete Applied Mathematics*, 49 (1–3), 357–78.

Sherali, H. D., Shetty, C. M., 1977, The Rectilinear Distance Location-Allocation Problem, *AIIE Transaction*, 9 (2), 136-143.

Sherali, H. D., Tunçbilek, C. H., 1992, A squared-euclidean distance location-allocation problem, *Naval Research Logistics*, 39 (4), 447-469.

Snyder, L. V., 2006, Facility location under uncertainty: A review, *IIE Transactions*, 38 (7), 547–564.

Sridharan, R., 1995, The Capacitated Plant Location Problem, *European Journal of Operational Research*, 87 (2), 203-213.

Stojanović, I., Brajević, I., Stanimirović, P. S., Kazakovtsev, L. A., Zdravev Z., 2017, Application of Heuristic and Metaheuristic Algorithms in Solving Constrained Weber Problem with Feasible Region Bounded by Arcs, *Mathematical Problems in Engineering*, 2017, Article ID 8306732, 1-13.

Sullivan, P. J., Peters, N., 1980, A Flexible user Oriented Location-Allocation Algorithm, *Journal of Environmental Management*, 10, 181-193.

Tafazzoli, S., Mozafari, M., 2009, *Classification of Location Models and Location Softwares*, Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies: Contributions to Management Science, In: Farahani, R. Z., Hekmatfar, M. (editors), Chapter 21, Physica-Verlag, Heidelberg Germany, ISBN: 3790821505, 505-521.

Taillard, É. D., 2003, Heuristic Methods for Large Centroid Clustering Problems, *Journal of Heuristics*, 9 (1), 51-73.

Taneja, S., Bisla, M., 2014, Two Phase Genetic Approach to Single Source Capacitated Facility Location Problem, *International Journal of Information, Communication and Computing Technology (IJICCT)*, II (I), 70-76.

Tansel, B. C., Francis, R. L., Lowe, T. J., 1983a, State of the Art-Location on Networks: A Survey. Part I: The p-Center and p-Median Problems, *Management Science*, 29 (4), 482-497.

Tansel, B. C., Francis, R. L., Lowe, T. J., 1983b, State of the Art-Location on Networks: A Survey. Part II: Exploiting Tree Network Structure. *Management Science*, 29 (4): 498-511

Tapkan, P. Z., 2010, *Kombinatoryal optimizasyon problemlerinde arı sistemi yaklaşımı*, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.

Teitz, M., Bart, P., 1968, Heuristic Methods for Estimating the Generalized Vertex Median of a Weighted Graph, *Operations Research*, 16 (5), 955-961.

Terouhid, S. A., Ries, R., Fard, M. M., 2012, Towards Sustainable Facility Location – A Literature Review, *Journal of Sustainable Development*, 5 (7), 18-34.

Van Roy, T. J., 1986, A Cross Decomposition Algorithm for Capacitated Facility Location, *Operations Research*, 34 (1), 145-163.

Wadhwa, V., Garg, D., 2011, Facility Location Problem Using Genetic Algorithm: A Review, *Research Journal of Computer Systems Engineering- An International Journal*, 2 (2), 63-66.

Weiszfeld, E., 1937, Sur le point pour lequel la somme des distances de n points donné est minimum, *Tohoku Mathematical Journal*, 43, 355-386.

Wendel, R. E., Hurter Jr., A. P., 1973, Location Theory, Dominance, and Convexity, *Operations Research*, 21 (1), 314-320.

Wesolowsky, G.O., 1993, The Weber problem: History and perspectives, *Location Science*, 1 (1), 5-23.

Wu, L. Y., Zhang, X. S., Zhang, J. L., 2006, Capacitated facility location problem with general setup cost, *Computers & Operations Research*, 33 (5), 1226-1241.

Zainuddin, Z. M., 2004, *Constructive and Tabu Search Heuristics for Capacitated Continuous Location-Allocation Problem*, Doktora Tezi, School of Mathematics and Statistics, University of Birmingham, UK.

Zainuddin, Z. M., Salhi, S., 2007, A perturbation-based heuristic for the capacitated multisource Weber problem, *European Journal of Operational Research*, 179 (3), 1194-1207.

EKLER

Ek 1. Eilon 50 müşteri verisi

Ek 2. Eilon 50 müşteri verisi için tez çalışmasında elde edilen çözümler

EK 1. EILON 50 MÜŞTERİ VERİSİ

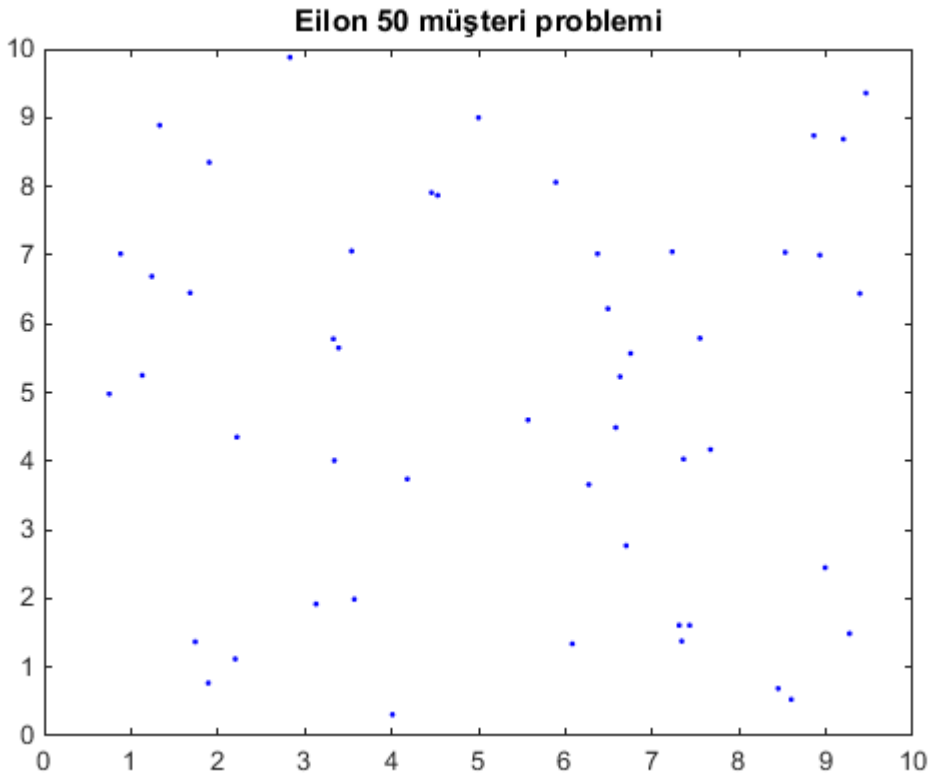
Eilon (1971) tarafından kullanılan veri setindeki 50 müşterinin düzlem üzerindeki konumları aşağıdaki Tablo Ek 1-20'de gösterilmiştir. Eilon (1971) çalışmasında tesislerin kapasite kısıtı dikkate alınmadığı için orijinal veri setinde müşterilerin talebi yoktur. Zainuddin ve Salhi (2007) çalışmasında ve bu tez çalışmasında kapasite kısıtlı tesis yerleştirme problemi incelendiği için, her bir müşterinin talep miktarı 1 olarak alınmıştır.

Bu verilerle, açılacak tesis sayısı 2'den 25'e kadar ayrı ayrı 24 deney yapılmıştır.

Tablo Ek 1-20: Eilon 50 müşteri problemi müşteri konumları

	x	y	talep
1	1,33	8,89	1
2	1,89	0,77	1
3	9,27	1,49	1
4	9,46	9,36	1
5	9,2	8,69	1
6	7,43	1,61	1
7	6,08	1,34	1
8	5,57	4,6	1
9	6,7	2,77	1
10	8,99	2,45	1
11	8,93	7	1
12	8,6	0,53	1
13	4,01	0,31	1
14	3,34	4,01	1
15	6,75	5,57	1
16	7,36	4,03	1
17	1,24	6,69	1
18	3,13	1,92	1
19	8,86	8,74	1
20	4,18	3,74	1
21	2,22	4,35	1
22	0,88	7,02	1
23	8,53	7,04	1
24	6,49	6,22	1
25	4,53	7,87	1

	x	y	talep
26	4,46	7,91	1
27	2,83	9,88	1
28	3,39	5,65	1
29	0,75	4,98	1
30	7,55	5,79	1
31	8,45	0,69	1
32	3,33	5,78	1
33	6,27	3,66	1
34	7,31	1,61	1
35	6,37	7,02	1
36	7,23	7,05	1
37	1,68	6,45	1
38	3,54	7,06	1
39	7,67	4,17	1
40	2,2	1,12	1
41	3,57	1,99	1
42	7,34	1,38	1
43	6,58	4,49	1
44	5	9	1
45	6,63	5,23	1
46	5,89	8,06	1
47	1,13	5,25	1
48	1,9	8,35	1
49	1,74	1,37	1
50	9,39	6,44	1



Grafik Ek 1-9: Eilon 50 müşteri problemi müşteri konumları

EK 2. EILON 50 MÜŞTERİ VERİSİ İÇİN TEZ ÇALIŞMASINDA ELDE EDİLEN ÇÖZÜMLER

Eilon 50 müşteri veri setiyle 2 tesis kurulması ile 25 tesis kurulması arasındaki her tesis sayısı için ayrı ayrı 24 problem hakkında çözümler alınmıştır. Her bir problemde, kurulacak tesis sayısı ve bu tesislerin maksimum kapasitesi belirtilmiştir. Bu çözümlerde elde edilen

kapasite kısıtsız çözümün toplam maliyet değeri,

kapasite kısıtlı çözümün toplam maliyet değeri,

tesislerin kurulması gereken konumlar,

müşteriler ile tesisler arasındaki üyelik dereceleri

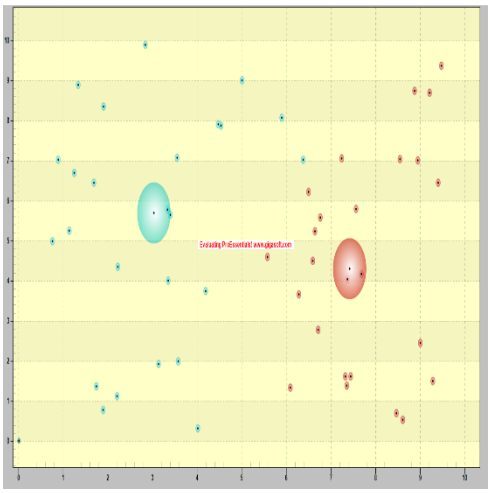
devam eden sayfalarda bulunmaktadır.

Eilon 50 müşteri 2 tesis problemi için bulunan çözüm

Tesis kapasiteleri: 25
Kapasite kısıtsız çözümün toplam maliyeti: 135,522
DYAK + NM kapasite kısıtlı çözümün toplam maliyeti: 136,65

Tesis	x	y
1	3,01740489412494	5,66261256906480
2	7,39611771832953	4,30129692590008

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1	1	1											1	1			1	1		1	1	1			1	1	1	1	1			1			1		1	1		1	1			1		1	1	1	1	
2			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1			1				1	1						1	1		1	1		1			1			1	1		1					1



Eilon 50 müşteri 3 tesis problemi için bulunan çözüm

Tesis kapasiteleri: 17
Kapasite kısıtsız çözümün toplam maliyeti: 105,214
DYAK + NM kapasite kısıtlı çözümün toplam maliyeti: 106,314

Tesis	x	y
1	7,16315622630431	6,99801556444509
2	2,17112108838458	5,60773658947273
3	7,19475153409734	1,87581363359779

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1				1	1			1			1				1				1				1	1	1	1				1					1	1						1	1	1					1
2	1	1												1			1			1	1	1					1	1	1		1					1	1		1							1	1	1	
3			1			1	1		1	1		1	1			1		1												1		1	1				1		1	1	1							

Eilon 50 müşteri 4 tesis problemi için bulunan çözüm

Tesis kapasiteleri: 13
Kapasite kısıtsız çözümün toplam maliyeti: 84,1536
DYAK + NM kapasite kısıtlı çözümün toplam maliyeti: 86,458

Tesis	x	y
1	7,46466619464046	1,86419877415108
2	2,70191528979410	7,23614220102688
3	3,05719401533268	2,16104846232299
4	7,64179766438140	6,92020809332878

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1			1			1	1		1	1		1				1															1		1	1					1			1	1								
2	1																1					1			1	1	1	1				1				1	1					1			1	1			
3		1						1					1	1				1		1	1								1											1	1							1		
4				1	1						1				1				1				1	1					1					1	1								1	1				1

Eilon 50 müşteri 5 tesis problemi için bulunan çözüm

Tesis kapasiteleri: 10
Kapasite kısıtsız çözümün toplam maliyeti: 72,237
DYAK + NM kapasite kısıtlı çözümün toplam maliyeti: 76,516

Tesis	x	y
1	3,07899373362996	2,03337864477923
2	6,63501200332401	5,24380900048002
3	1,58946355752454	6,73766332820267
4	7,42991520000161	1,60997370000000
5	8,20866291334732	7,58998398593886

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1		1											1	1				1		1	1							1														1	1								1	
2								1							1	1								1	1	1				1							1						1			1						
3	1																1					1					1		1			1					1	1								1	1		
4				1			1	1		1	1		1																	1		1	1							1									
5					1	1						1							1				1												1	1						1		1				1	

Eilon 50 müşteri 6 tesis problemi için bulunan çözüm

Tesis kapasiteleri: 9
Kapasite kısıtsız çözümün toplam maliyeti: 60,971
DYAK + NM kapasite kısıtlı çözümün toplam maliyeti: 61,496

Tesis	x	y
1	1,67588438500984	6,45264288480636
2	8,78634849302783	7,44216659191801
3	3,12949599874126	1,92070783799093
4	6,72300523625675	4,95960700084087
5	4,52603985473747	7,89448941572020
6	7,43800935703934	1,58867614951702

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1	1																1					1						1	1			1				1										1	1		
2				1	1						1								1				1													1													1
3		1											1	1				1		1	1																						1	1							1	
4								1							1	1								1						1			1								1			1		1					
5																									1	1	1								1			1				1		1					
6			1			1	1		1	1		1																		1			1								1							

Eilon 50 müşteri 7 tesis problemi için bulunan çözüm

Tesis kapasiteleri: 8

Kapasite kısıtsız çözümün toplam maliyeti:	54,502
DYAK + NM kapasite kısıtlı çözümün toplam maliyeti:	56,325

Tesis	x	y
1	8,67550769319987	7,18693944664332
2	6,59696742176982	4,47979451735127
3	4,53326890812098	7,87176999157925
4	1,24002336560265	6,68910612688134
5	3,27365658951061	4,63944428435127
6	2,26252697053550	1,14549587628536
7	7,52227201274992	1,48795613337111

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1				1	1						1								1				1							1							1															1
2								1	1						1	1																1					1					1		1							
3																								1	1	1	1								1			1				1		1						
4	1																1					1							1								1										1	1			
5														1						1	1								1			1																		
6		1											1					1																																	1		
7			1			1	1			1		1																		1			1								1								

Eilon 50 müşteri 8 tesis problemi için bulunan çözüm

Tesis kapasiteleri: 7
Kapasite kısıtsız çözümün toplam maliyeti: 49,939
DYAK + NM kapasite kısıtlı çözümün toplam maliyeti: 51,133

Tesis	x	y
1	7,01380857283503	3,91829116696132
2	7,44502247584087	1,43772442799887
3	3,27512219542137	4,66068153403420
4	9,03476590928180	8,07768606476246
5	1,24046804154502	6,68970504669217
6	4,47712841798902	7,91996360882731
7	6,74296074502877	6,07827159646362
8	2,26090339187025	1,15832755366807

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1								1	1	1						1																	1							1				1								
2			1			1	1					1																		1			1									1								
3														1						1	1							1				1																		
4				1	1						1								1				1																												1
5	1																1					1							1								1											1	1		
6																								1	1	1											1						1		1					
7															1								1							1					1	1								1						
8		1											1					1																															1		

Eilon 50 müşteri 9 tesis problemi için bulunan çözüm

Tesis kapasiteleri: 6

Kapasite kısıtsız çözümün toplam maliyeti:	45,688
DYAK + NM kapasite kısıtlı çözümün toplam maliyeti:	47,264

Tesis	x	y
1	4,47058182990274	7,91539367250651
2	8,72682916972751	0,96138137918155
3	1,25717010661927	6,74640543070685
4	6,74173807360212	6,27380026355336
5	2,99971210990551	4,73817966353401
6	9,02857525886216	8,14458314141894
7	2,26511589519261	1,15916967800922
8	6,58657869592079	4,48630366778901
9	7,31010904834310	1,61091976586739

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1																									1	1	1												1				1		1					
2			1							1		1																		1																				
3	1																1					1																1							1	1			
4														1										1						1						1	1												
5													1							1	1							1	1			1																	
6				1	1						1								1				1																											1
7		1											1					1																										1	1					1		
8								1								1																1						1					1			1				
9						1	1		1																								1									1								

Eilon 50 müşteri 10 tesis problemi için bulunan çözüm

Tesis kapasiteleri: 5
Kapasite kısıtsız çözümün toplam maliyeti: 41,69
DYAK + NM kapasite kısıtlı çözümün toplam maliyeti: 48,154

Tesis	x	y
1	2,20020094240794	1,12041738435169
2	8,86206903252369	1,49684318301960
3	1,90051165085632	8,34942607610657
4	7,20210606555517	6,18570882275415
5	3,34037394119990	4,00985437029828
6	7,31068062846990	1,61012516119336
7	4,89454734326524	7,98978953563701
8	9,16729264364625	8,65115825248923
9	6,57974504789945	4,48771457878475
10	1,50508620189848	6,02705527226301

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1		1											1					1																														1	
2			1							1		1																		1							1														
3	1																					1					1											1									1			
4															1								1	1					1					1															
5														1						1	1							1																						
6						1	1		1																									1																	
7																									1	1									1									1		1				
8				1	1					1									1																														1
9								1								1																			1									1		1				
10																	1												1			1					1										1			

Eilon 50 müşteri 11 tesis problemi için bulunan çözüm

Tesis kapasiteleri: 5
Kapasite kısıtsız çözümün toplam maliyeti: 38,02
DYAK + NM kapasite kısıtlı çözümün toplam maliyeti: 40,320

Tesis	x	y
1	1,49861875686715	6,02558971208431
2	8,58106027499324	7,00350706711419
3	9,16284396405616	8,74081130136177
4	8,69118793640165	0,93651382652682
5	7,30850409990324	1,60983885920091
6	6,75140491921873	5,69796634071151
7	2,20027260874240	1,12005635614761
8	6,69659567180201	4,23994691246444
9	1,84403789928245	8,40543313825639
10	3,34194174938822	4,00771403418094
11	4,52453563249582	7,88262766528042

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1																	1												1			1				1										1			
2											1												1												1														1
3				1	1														1																														
4			1							1		1																				1																		
5						1	1		1																										1						1								
6															1								1						1					1										1					
7		1											1					1																													1		
8								1								1																1						1					1						
9	1																					1					1																			1			
10													1							1	1							1															1						
11																									1	1												1						1		1				

Eilon 50 müşteri 12 tesis problemi için bulunan çözüm

Tesis kapasiteleri: 5
Kapasite kısıtsız çözümün toplam maliyeti: 35,06
DYAK + NM kapasite kısıtlı çözümün toplam maliyeti: 35,745

Tesis	x	y
1	3,45051142040111	1,86214350357947
2	8,69848259162743	0,94025880271997
3	8,58131259670899	7,00894737883176
4	1,99295938733405	1,07061450569839
5	4,52525920128351	7,87964566687023
6	9,15075771824357	8,75027485459098
7	6,75575558354738	5,70341613536573
8	6,69796629485934	4,24384519255051
9	1,77195940616675	8,76253621065773
10	3,27674607448387	4,63835471085188
11	1,23539908929646	6,41809428477945
12	7,30830275135274	1,60980324308210

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1													1					1																							1										
2			1							1		1																			1																				
3											1												1														1														1
4		1																																					1								1		
5																									1	1												1					1		1					
6				1	1														1																															
7															1									1						1									1							1					
8								1								1																1						1					1						
9	1																										1																			1			
10														1						1	1							1				1																	
11																	1					1							1										1								1			
12						1	1		1																							1							1										

Eilon 50 müşteri 13 tesis problemi için bulunan çözüm

Tesis kapasiteleri: 4
Kapasite kısıtsız çözümün toplam maliyeti: 32,31
DYAK + NM kapasite kısıtlı çözümün toplam maliyeti: 35,138

Tesis	x	y
1	1,82759021562628	8,41419293836874
2	7,30716085336685	1,58232372824729
3	1,99023485757627	1,08946912370105
4	8,69666150338948	0,94943755204988
5	6,37374379994438	7,01900984396900
6	8,77846590580093	6,86835804060549
7	4,46197258492807	7,90984803997830
8	3,57009561148971	1,99029007837961
9	1,16814894620894	5,64073199017415
10	3,33249461938643	5,58473946543497
11	7,34528010585151	4,01005602555832
12	6,62780942558150	5,22944151996318
13	9,16969978854599	8,74975333063867

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1	1																					1					1																				1		
2						1	1																										1							1									
3		1																																					1								1	
4			1						1		1																			1																		
5																								1											1	1								1				
6										1													1						1																			1
7																								1	1													1				1						
8												1					1		1																				1									
9																1												1								1							1				
10													1							1							1				1																
11									1						1																	1							1								
12								1						1																												1		1				
13				1	1														1																												

Eilon 50 müşteri 14 tesis problemi için bulunan çözüm

Tesis kapasiteleri: 4
Kapasite kısıtsız çözümün toplam maliyeti: 29,66
DYAK + NM kapasite kısıtlı çözümün toplam maliyeti: 31,034

Tesis	x	y
1	7,35456907038486	4,02071906054505
2	3,38739431596778	5,66230685066763
3	6,62615474497678	5,22682140057237
4	1,11823442758858	5,13869199745989
5	6,78872604085110	6,56832865051560
6	4,56404918016192	7,92400191148533
7	1,77235282914968	8,77582558450795
8	8,70118223196160	0,94762484693632
9	9,15221228290045	8,77051733672979
10	1,99958475649247	1,08320551285080
11	8,92952565768282	6,99833053235026
12	7,30744838486941	1,58622471147244
13	3,57034238082240	1,99030958385049
14	1,23939655590983	6,68996421730822

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1									1							1																1						1												
2													1														1				1																		
3								1							1																												1		1						
4																					1							1																		1					
5																								1					1					1	1															
6																									1	1																		1		1					
7	1																										1																				1				
8			1							1		1																			1																			
9				1	1														1																															
10		1																																														1		
11											1												1																											1
12						1	1																									1									1							
13													1				1		1																									1							
14																1						1																												

Eilon 50 müşteri 15 tesis problemi için bulunan çözüm

Tesis kapasiteleri: 4
Kapasite kısıtsız çözümün toplam maliyeti: 27,63
DYAK + NM kapasite kısıtlı çözümün toplam maliyeti: 28,039

Tesis	x	y
1	7,31153925915091	1,58665565387807
2	3,34000010114054	4,01000095333617
3	1,24071794070590	6,69022745652066
4	6,80164831356670	6,57643648469303
5	1,77471422933617	8,78051633387435
6	3,46035424606454	1,86043319712765
7	6,62921879457664	5,22882540966122
8	3,33088730833772	5,78002362261176
9	7,35844317123136	4,02905575819850
10	0,78075219658668	5,00190924424866
11	4,54955283967196	7,91861190267182
12	1,99581548033022	1,08106444068612
13	8,69640824058679	0,93979571347509
14	9,14665917647088	8,76736677676127
15	8,92960123075818	6,99964518315695

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1						1	1																											1								1								
2														1						1	1																															
3																	1					1																		1												
4																							1							1						1	1														
5	1																										1																				1				
6												1						1																									1								
7								1							1																													1		1					
8																										1				1						1														
9									1							1															1						1													
10																										1																			1				
11																								1	1																				1		1				
12		1																																								1						1	
13			1							1		1																		1																			
14				1	1														1																														
15											1												1																											1	

Eilon 50 müşteri 16 tesis problemi için bulunan çözüm

Tesis kapasiteleri: 4
Kapasite kısıtsız çözümün toplam maliyeti: 25,74
DYAK + NM kapasite kısıtlı çözümün toplam maliyeti: 25,847

Tesis	x	y
1	1,09386316960472	5,22027021898059
2	1,76467293922265	8,78323608185024
3	3,47502576298503	1,87682858190151
4	3,34041271924261	4,00957783069637
5	6,26947612938810	3,66369954077576
6	8,92652414042797	6,99590405454134
7	1,98491085869660	1,07451097526885
8	3,37185766300147	5,68398867233757
9	7,40302746134882	4,05434304508638
10	9,15353433108539	8,75564734682772
11	4,46426083142402	7,90598536941791
12	6,41431142665737	7,09083033936058
13	7,31062582445932	1,59069427025260
14	8,68991294039072	0,93764399793318
15	6,75073984190074	5,56996302796782
16	1,23961866624683	6,69091683767493

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1																													1																		1			
2	1																										1																				1		
3													1					1																								1									
4														1						1	1																														
5								1	1																							1										1								
6											1												1																												1
7		1																																						1								1	
8																												1				1																	
9																1																									1									
10				1	1														1																														
11																									1	1												1						1						
12																																			1	1								1					
13						1	1																									1								1								
14			1						1		1																		1																			
15															1									1					1																1				
16																	1					1																		1									

Eilon 50 müşteri 17 tesis problemi için bulunan çözüm

Tesis kapasiteleri: 3
Kapasite kısıtsız çözümün toplam maliyeti: 23,99
DYAK + NM kapasite kısıtlı çözümün toplam maliyeti: 25,796

Tesis	x	y
1	7,35077599631642	1,57664430921510
2	6,41321108767507	4,70640211532335
3	6,41351657635110	7,08930193296713
4	6,82210304460153	5,73490059593339
5	1,23951760857929	6,69031358634313
6	1,98302370564116	1,09903157779803
7	4,50695713363682	7,91091195244103
8	1,09045578449772	5,22748609118987
9	8,93091367310971	6,99971281449704
10	8,54849776838263	0,67579038200664
11	6,69960182210047	2,76927271003674
12	3,33938938986536	4,00986972204130
13	3,33057693214541	5,78002709678300
14	7,63947009430788	4,08243463273140
15	3,45274410915388	1,86186547251920
16	1,78606470395636	8,76461704101100
17	9,15362425610861	8,76429359630691

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1						1																												1							1									
2								1																																		1		1							
3																																			1	1									1						
4														1									1						1																					
5																1						1																	1												
6		1																																						1								1		
7																								1	1																1								
8																												1																1					
9										1													1																										1	
10			1								1																			1																				
11							1		1																							1																		
12													1						1	1																														
13																										1			1									1											
14										1					1																									1										
15													1					1																								1								
16	1																										1																			1			
17				1	1														1																														

Eilon 50 müşteri 18 tesis problemi için bulunan çözüm

Tesis kapasiteleri: 3
Kapasite kısıtsız çözümün toplam maliyeti: 22,29
DYAK + NM kapasite kısıtlı çözümün toplam maliyeti: 24,245

Tesis	x	y
1	9,15375585930884	8,74887427324095
2	4,17654749982916	3,74350029515003
3	8,92763681986346	6,99705015077975
4	1,77776739689033	8,77772032438154
5	3,38935839462176	5,65002561404799
6	6,75074524837274	5,56998231627675
7	5,00066586300038	8,99950364861381
8	6,59928134307308	6,84246704139020
9	1,11982440979771	5,14253379640583
10	1,99479670668545	1,08275503367992
11	3,45268016461546	1,86150271302509
12	7,36213762375737	4,04074467298634
13	1,24043250351702	6,69036372039624
14	7,31058253434380	1,61018397627630
15	6,27046723319681	3,66059642741739
16	4,46283089344569	7,89849066360456
17	8,45094608434242	0,69014719790462
18	9,02605790543533	2,33928368223592

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1				1	1														1																															
2														1						1																															
3											1												1																												1
4	1																										1																			1				
5																												1			1																		
6															1														1																1					
7																																												1		1				
8																								1											1	1													
9																					1								1																	1				
10		1																																						1							1		
11												1						1																								1								
12																1																									1			1					
13																	1					1																		1									
14						1	1																										1															
15								1	1																							1																
16																									1	1												1										
17												1																			1											1						
18			1						1																																							

Eilon 50 müşteri 19 tesis problemi için bulunan çözüm

Tesis kapasiteleri: 3
Kapasite kısıtsız çözümün toplam maliyeti: 20,64
DYAK + NM kapasite kısıtlı çözümün toplam maliyeti: 21,784

Tesis	x	y
1	3,36297625678098	5,71616134524153
2	8,92989294693627	6,99990698990630
3	6,21567021935122	4,26211794320261
4	8,58518788850289	0,54591452116473
5	6,07999304635842	1,34001972494775
6	0,82411324252749	5,03257014892035
7	2,00432229446186	1,08463198318568
8	1,76641412484198	8,78455630619584
9	3,46041174028628	1,86147550021556
10	6,75403503736301	5,56558793365132
11	5,41250397730800	8,56483883226862
12	9,15631940941417	8,75653841128390
13	4,46431861410134	7,89050260814015
14	7,36107145785271	4,02865788308929
15	7,35229056074479	1,57182746035731
16	3,33999974136175	4,00999952764644
17	6,60365048355227	6,82432677078349
18	9,19987447343692	1,72445160901987
19	1,24071848250116	6,69022841987487

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1																												1				1																		
2											1												1																													1
3								1																								1								1									
4												1																			1																			
5							1																																											
6																													1																			1			
7		1																																						1								1		
8	1																										1																				1			
9													1					1																								1									
10															1															1																	1				
11																																																1		1			
12				1	1														1																																
13																									1	1														1											
14								1								1																											1									
15						1																													1									1							
16													1							1	1																															
17																								1													1	1													
18			1						1														1																													
19																	1					1																		1												

Eilon 50 müşteri 20 tesis problemi için bulunan çözüm

Tesis kapasiteleri: 3
Kapasite kısıtsız çözümün toplam maliyeti: 19,36
DYAK + NM kapasite kısıtlı çözümün toplam maliyeti: 19,961

Tesis	x	y
1	4,00927291082098	0,31000000000000
2	6,59640961544988	6,82361424357832
3	8,92660571383923	6,99837186956341
4	3,33955056013538	4,01041494775964
5	3,53273774972451	1,98302300132725
6	7,35813162077708	1,57991955328747
7	5,74928814357899	8,19471818476384
8	6,26942662110657	3,65993851136789
9	9,14704172557367	8,76877030947808
10	0,77974781308030	5,00753944420156
11	8,51733857391543	0,61926372303284
12	3,37364931908293	5,68728367863673
13	9,11163305651009	2,05398930599085
14	7,36126464853313	4,03559103977136
15	1,24010536699480	6,68958511784149
16	6,74940020068409	5,56741192713928
17	1,98041688322675	1,07582754954369
18	6,08013243480230	1,34047744616863
19	1,78047461507056	8,78746154909526
20	4,46277066571382	7,89545938164138

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1													1																																						
2																								1											1	1															
3										1													1																												1
4													1						1	1																																
5																		1																										1								
6						1																										1										1								
7																																											1		1						
8								1	1																						1																			
9				1	1														1																															
10																												1																	1					
11											1																			1																			
12																											1				1																		
13			1						1																																								
14															1									1																	1				1						
15																1						1																1												
16														1															1															1					
17		1																																					1							1		
18							1																																									
19	1																									1																				1			
20																									1	1													1										

Eilon 50 müşteri 21 tesis problemi için bulunan çözüm

Tesis kapasiteleri: 3
Kapasite kısıtsız çözümün toplam maliyeti: 18,08
DYAK + NM kapasite kısıtlı çözümün toplam maliyeti: 18,655

Tesis	x	y
1	5,58922951656474	8,38745533570748
2	6,22353241364195	4,26605851633333
3	0,96359235572457	5,12938698286391
4	6,69985026790138	2,77014110122465
5	3,53685421999842	1,98292315883897
6	3,33939710622447	4,01022302826040
7	1,24009959866998	6,68951043421278
8	4,00972413659818	0,31000000000000
9	1,99515355801152	1,07926472154192
10	3,36626238864673	5,69811522686081
11	7,51738590614383	4,10491019473203
12	6,08014086335652	1,33930888059074
13	6,75093136262533	5,56967181572566
14	6,59890222666332	6,83124187826146
15	7,36247547779225	1,57753172940189
16	8,47969114847333	0,66175527355616
17	9,03902850192098	2,27266403499659
18	9,15180791038875	8,76466608174730
19	4,46668195552289	7,88804510529172
20	8,92871029806099	6,99777344160106
21	1,76988787162895	8,79638120961331

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1																																												1		1					
2								1																									1										1							
3																													1																1			
4									1																																								
5																		1																									1							
6													1							1	1																												
7																	1					1																	1										
8												1																																					
9		1																																							1						1	
10																												1				1															
11															1																									1								
12							1																																									
13														1																1													1					
14																							1											1	1												
15						1																											1								1						
16												1																		1																	
17			1						1																																							
18				1	1														1																													
19																									1	1													1										
20										1														1																									1	
21	1																										1																					

Eilon 50 müşteri 22 tesis problemi için bulunan çözüm

Tesis kapasiteleri: 3
Kapasite kısıtsız çözümün toplam maliyeti: 16,822
DYAK + NM kapasite kısıtlı çözümün toplam maliyeti: 17,011

Tesis	x	y
1	7,35488944922066	1,57505742989827
2	8,92871180750504	6,99890924702298
3	1,51859461679360	8,69442139828824
4	6,08034331485374	1,34091060401188
5	4,00957896663585	0,31000000000000
6	3,22324171590556	1,93183487019447
7	6,69948614496216	2,77022918353767
8	3,33870502470272	5,75822281234068
9	5,00354892151423	8,99556154442218
10	2,82934566204163	9,88000000000000
11	4,46214506504769	7,89343173933168
12	6,75105608790243	5,56899171797292
13	9,00526226130990	2,39097880301810
14	1,99911107977498	1,09083684726029
15	7,39795172225014	4,03890749821049
16	0,75000000000000	4,98048382847923
17	9,16776217406552	8,75185201710903
18	3,34015634823812	4,00925397982856
19	6,60980271145652	6,83019302986524
20	6,23675053940262	4,27903712403679
21	1,23981407045660	6,69070157612250
22	8,54910459445411	0,58308282266497

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1						1																												1								1								
2										1													1																												1
3	1																																														1		
4							1																																										
5												1																																						
6																		1																									1								
7									1																																								
8																												1				1																	
9																																												1		1				
10																											1																					
11																									1	1													1										
12															1														1														1					
13			1							1																																							
14		1																																								1					1		
15																1																								1									
16																													1																	1			
17				1	1														1																														
18														1							1	1																												
19																								1												1	1												
20								1																								1							1								
21																	1						1															1										
22												1																			1																		

Eilon 50 müşteri 23 tesis problemi için bulunan çözüm

Tesis kapasiteleri: 3
Kapasite kısıtsız çözümün toplam maliyeti: 15,614
DYAK + NM kapasite kısıtlı çözümün toplam maliyeti: 16,084

Tesis	x	y
1	6,07916823666978	1,34040759893184
2	6,56960599946795	4,48846246187871
3	1,23985490608793	6,68922214637746
4	8,99106332808855	2,44483257137949
5	2,22068159827572	4,35071470913355
6	3,36661909509133	1,96526822581154
7	8,45930668705391	0,67834719514234
8	0,86657756161693	5,06333386588328
9	7,36028007886008	1,57289673785162
10	4,46812075747457	7,88966473008043
11	8,92919334474417	6,99965393602618
12	7,46961970569560	4,08034339262369
13	6,75571730153637	5,56501234060683
14	1,98702830203550	1,09059007842274
15	6,59644307964917	6,82026237047012
16	1,82989717483182	8,40874123104752
17	9,16443119944476	8,75695015900785
18	5,81406234709504	8,14185788579172
19	4,01080645209477	0,31000000000000
20	2,83057262395339	9,88000000000000
21	3,37107865820733	4,00295368435249
22	3,34757461220578	5,73159197707488
23	6,37908551019921	3,45309329015125

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1							1																																												
2								1																																				1							
3																	1					1																1												
4			1							1																																								
5																					1																													
6																		1																									1							
7												1																		1																		
8																												1																	1				
9						1																											1						1								
10																								1	1												1											
11										1													1																									1
12																1																																
13															1																1																		
14		1																																															
15																								1											1	1												
16	1																																															
17				1	1														1																												
18																																												1		1				
19													1																																				
20																											1																						
21														1						1																													
22																												1				1																
23									1																								1															

Eilon 50 müşteri 24 tesis problemi için bulunan çözüm

Tesis kapasiteleri: 3
Kapasite kısıtsız çözümün toplam maliyeti: 14,443
DYAK + NM kapasite kısıtlı çözümün toplam maliyeti: 14,549

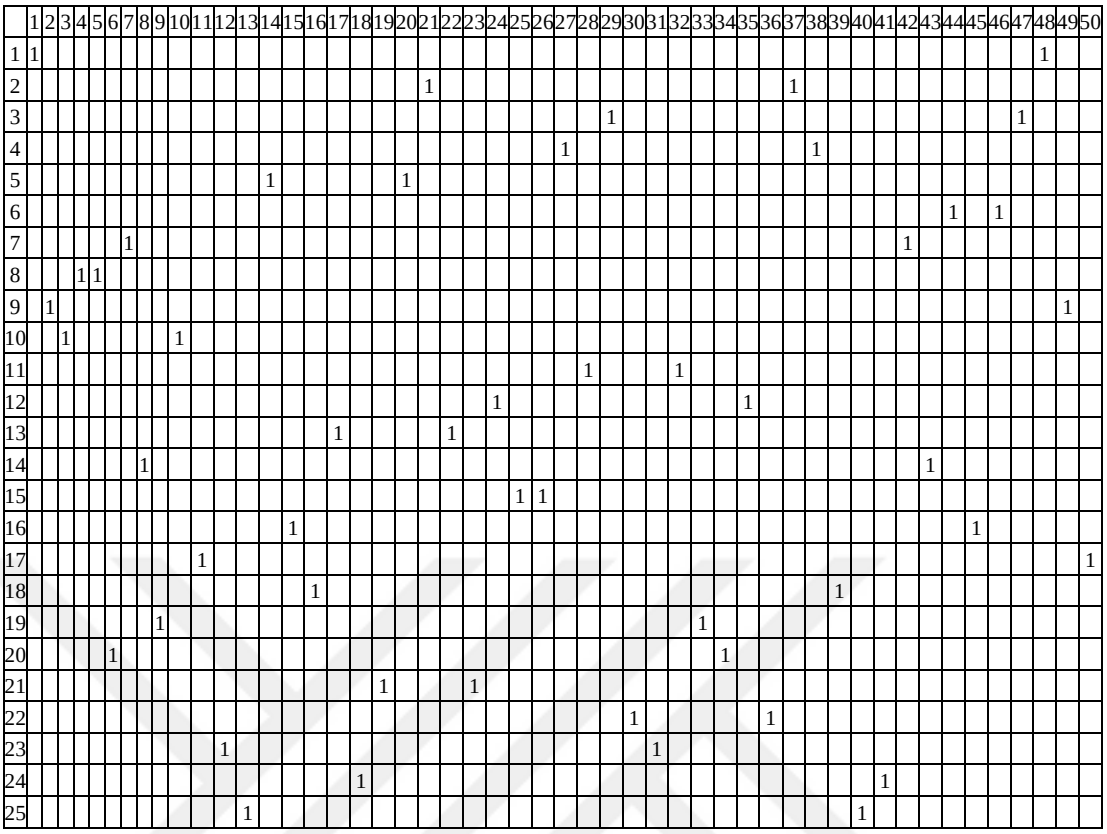
Tesis	x	y
1	5,89048578709287	8,05926880840231
2	1,24078342198777	6,68995587346194
3	4,46211019756598	7,89943744147108
4	8,54565854687029	0,58430865262271
5	7,35575150704306	1,58327885894220
6	3,46667334109022	1,97296799542142
7	6,22300330580357	4,26702826788259
8	4,99983035759619	8,99905847798980
9	2,00392917206293	1,09246135915860
10	1,33119496223786	8,88894965995880
11	3,36575694779109	5,70045532059774
12	3,37406441822887	4,00198141081934
13	2,82910057354504	9,88000000000000
14	8,92895323772240	6,99731017869277
15	6,70070049277979	2,76957969197657
16	4,01081096547944	0,31000000000000
17	7,50639666270198	4,09084003628821
18	6,58914041948208	6,83501020790391
19	2,21906704399092	4,34992869782214
20	6,08008828255672	1,34009199639187
21	9,16348505145795	8,75036029177253
22	0,75931941385333	4,98879137417197
23	6,75371206007954	5,56686631839202
24	8,99574243753223	2,43663584494028

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1																																															1				
2																	1					1																1													
3																								1	1														1												
4												1																		1																					
5						1																											1									1								
6																		1																								1								
7								1																									1										1						
8																																												1						
9		1																																													1			1	
10	1																																													1			
11																												1				1																
12													1							1																													
13																											1																						
14										1													1																									1	
15								1																																									
16												1																																					
17																1																																	
18																								1												1	1												
19																					1																												
20							1																																									
21				1	1														1																												
22																													1																			
23															1															1																		
24			1							1																																						

Eilon 50 müşteri 25 tesis problemi için bulunan çözüm

Tesis kapasiteleri: 2
Kapasite kısıtsız çözümün toplam maliyeti: 13,3
DYAK + NM kapasite kısıtlı çözümün toplam maliyeti: 22,819

Tesis	x	y
1	1,66120323832315	8,57468185289929
2	2,12552481854603	4,73842051879417
3	1,08027289619838	5,21182418226301
4	3,02198434917826	9,07725000000000
5	3,34833638708253	4,00475489371305
6	5,21412442521046	8,76512167264287
7	6,62267980380573	1,35725139143568
8	9,31216588294918	8,97998132519792
9	1,80552475657088	1,08982233320027
10	9,05071765322892	2,28161898550382
11	3,34777961840612	5,73163086770703
12	6,40896342582655	6,79335575972468
13	1,18358338764414	6,73129299934552
14	6,16439516848029	4,53466414226403
15	4,49081099861362	7,89407892640472
16	6,68637260064305	5,39777249165562
17	9,11752543426683	6,76860788977341
18	7,55729082985144	4,11699273645995
19	6,55186767870009	3,09115159270230
20	7,34152852969354	1,60778583899416
21	8,80968673043862	8,48311901182314
22	7,40540345117095	6,36099856137123
23	8,47988176065599	0,65555515621670
24	3,29018845716876	1,94866503981072
25	4,00315854591960	0,31000000000000



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Nükhet Tunçbilek
Doğum Yeri	Konya
Doğum Tarihi	19.11.1971
Uyruğu	☑ T.C. ❒ Diğer:
Telefon	0 532 392 89 49
E-Posta Adresi	nukhet.tuncbilek@ogr.iu.edu.tr nukhettuncbilek@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Bilgisayar Mühendisliği ve Enformatik
Mezuniyet Yılı	1994

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Kültür Üniversitesi
Enstitü Adı	Sosyal Bilimler Enstitüsü
Anabilim Dalı	İşletme
Programı	Kalite ve Üretim Yönetimi

Doktora	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Endüstri Mühendisliği Programı

Makale ve Bildiriler

- Zeynep Gergin, Nükhet Tunçbilek, Şakir Esnaf, 2019, "Clustering Approach Using Artificial Bee Colony Algorithm for Healthcare Waste Disposal Facility Location Problem," *International Journal of Operations Research and Information Systems (IJORIS),*.Cilt 10, Sayı 1, Makale 5.
- Şakir Esnaf, Tarık Küçükdeniz, Nükhet Tunçbilek, 2014, "*Supply Chain Management Under Fuzziness,*" Springer-Verlag, Editörler: Prof. Dr. Cengiz Kahraman, Dr. Başar Öztayşi, Bölüm 4: *Production and Materials Management under Fuzziness*, "Fuzzy C-

Means Algorithm with Fixed Cluster Centers for Uncapacitated Facility Location Problems: Turkish Case Study," Cilt 313, pp. 489-516.

- Nükhet Tunçbilek, Fatih Taşgetiren, Şakir Esnaf, 2012, "Artificial Bee Colony Optimization Algorithm for Uncapacitated Facility Location Problems," *Journal of Economic and Social Research*, Vol 14(1), ISSN 1302-1060.
- *XI. Üretim Araştırmaları Sempozyumu bildiriler kitabı*, 2011, Editörler: Semra Birgün, Serab Onursal, Nükhet Tunçbilek, ISBN: 978-975-6516-31-7.
- Nükhet Tunçbilek, Sinem Büyüksaatçı, Şakir Esnaf, 2010, "Üretim Senaryolarının Analizi İçin Kısıtlar Teorisi Tabanlı Bir Karar Destek Sistemi," *X. Üretim Araştırmaları Sempozyumu bildiriler kitabı*, sayfa 753-763, ISBN: 978-605-63013-0-8.
- Nükhet Tunçbilek, Gülsüm Savcı Gökgöz, Güneş Gençyılmaz, 2010, "ELECTRE Yönteminin Farklı Versiyonlarının Karşılaştırılması," *X. Üretim Araştırmaları Sempozyumu bildiriler kitabı*, sayfa 129-144, ISBN: 978-605-63013-0-8.
- Asuman Sönmez, Sinem Büyüksaatçı, Nükhet Tunçbilek, Güneş Gençyılmaz, "İMKB'de İşlem Gören Bankaların Performanslarının Değerlendirilmesi," *X. Üretim Araştırmaları Sempozyumu bildiriler kitabı*, sayfa 99-114, ISBN: 978-605-63013-0-8.
- Özlem Göçmen, Nükhet Tunçbilek, Şakir Esnaf, "Permutasyon Akış Tipi Çizelgeleme Problemleri için CDS ve NEH Algoritmalarının Kıyaslanması ve Yeni Bir Algoritma Önerisi," *X. Üretim Araştırmaları Sempozyumu bildiriler kitabı*, sayfa 83-96, ISBN:978-605-63013-0-8.