

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
SAYISAL YÖNTEMLER BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

META SEZGİSEL YAKLAŞIMLAR İLE
P- MEDYAN TESİS YERİ SEÇİMİ

ÜMRAN TÜZÜN SÜMER
2501141258

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Seda TOLUN TAYALI

İSTANBUL, 2019

TEZ ONAY SAYFASI



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZ ONAYI

ÖĞRENCİNİN;

Adı ve Soyadı : ÜMRAN TÜZÜN SÜMER Numarası : 2501141258
Anabilim Dalı /
Anasanat Dalı / Programı : SAYISAL YÖNTEMLER Danışmanı : DOÇ.DR.SEDA TOLUN TAYALI
Tez Savunma Tarihi : 09.08.2019 Saati : 11.00
Tez Başlığı : METASEZGİSEL YAKLAŞIMLAR İLE P MEDYAN TESİS YERİ SEÇİMİ

TEZ SAVUNMA SINAVI, İÜ Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliği'nin 36. Maddesi uyarınca yapılmış, sorulan sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin KABULÜNE OYBİRLİĞİ / YETERLİLİĞİNE karar verilmiştir.

JÜRİ ÜYESİ	İMZA	KANAATİ (KABUL / RED / DÜZELTME)
PROF.DR.UMMAN TUĞBA ŞİMŞEK GÜRSOY		Kabul
DOÇ.DR.SEDA TOLUN TAYALI		KABUL
DOÇ.DR.FATMA ŞEBNEM AKAL İLKHAN		KABUL

YEDEK JÜRİ ÜYESİ	İMZA	KANAATİ (KABUL / RED / DÜZELTME)
DOÇ.DR.EMRAH ÖNDER		
DOÇ.DR.EYLEM DENİZ		

ÖZ

META SEZGİSEL YAKLAŞIMLAR İLE
P- MEDYAN TESİS YERİ SEÇİMİ

ÜMRAN TÜZÜN SÜMER

Tesis yeri seçimi işletmeler için uzun vadeli ve stratejik kararlar olduğu için geçmişten günümüze popülerliğini koruyan konulardan biri olmuştur. Genel olarak tesis yeri seçiminde amaç müşterilere hizmet verecek olan tesisin en uygun konumunun belirlenmesidir. P-medyan tesis yeri seçim problemi de tesis yeri seçim problemleri arasında önemli bir yer tutmaktadır. P-medyan problemi NP Zor problem sınıfında olan, kombinatoryal problem türlerinden birisidir. Tez çalışmasında p-medyan probleminin tanımı yapılarak çözüm yöntemlerinden olan meta sezgisel algoritmalar araştırılmıştır. İkinci bölümde genetik algoritma, tavlama benzetimi algoritması, tabu arama algoritması ve karınca kolonisi algoritması gibi literatürde önemli yer bulan yaklaşımlar hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde, p-medyan probleminin çözümü için genetik algoritma kullanılmıştır. Genetik algoritmaya ait parametreler belirlenerek, OR-Library problem setindeki çeşitli boyutlardaki p-medyan test problemleri ile algoritmanın performansı değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tesis Yeri Seçim Problemi, P-medyan Problemi, Meta sezgisel, Genetik Algoritma, Tavlama Benzetimi

ABSTRACT

**META HEURISTIC APPROACHES WITH
P- MEDIAN PROBLEM**

ÜMRAN TÜZÜN SÜMER

Facility location problem has been one of the most popular issues from past to present as long-term and strategic decisions for businesses. In general, the purpose of choosing the facility location is to determine the most suitable location of the facility that will serve the customers. P- median problem is one of the combinatorial problem types in difficult problem class. In the thesis, meta heuristic algorithms, which are one of the solution methods, are investigated by defining the p-median problem. In the second part, detailed information is given about the approaches which are important in the literature such as genetic algorithm, simulated annealing algorithm, tabu search algorithm and ant colony algorithm. In the third part, genetic algorithm is used to solve p-median problem. The parameters of the genetic algorithm were determined and the performance of the algorithm was evaluated with the p-median test problems of various sizes in the OR-Library problem set.

Key Words: Facility Location, P-median Problem, Meta Heuristic, Genetic Algorithm, Simulating Annealing

ÖNSÖZ

Tez çalışmasında, önemli tesis yeri seçim problemi türlerinden biri olan p-medyan problemi ve bu problemin genetik algoritma meta sezgiseli ile çözümü üzerinde durulmuştur. P-medyan problemi NP Zor problem türlerinden biri olduğu için büyük boyutlu problemlerin çözüme ulaştırılmasında kesin çözüm veren klasik algoritmalar yerine meta sezgisel yaklaşımlar tercih edilmektedir. Meta sezgisel yöntemler, optimum sonucu garanti etmeseler bile makul sürelerde optimum sonuç veya optimum sonuca yakın sonuçlar verebilmektedirler.

Tez çalışması üç bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde p-medyan probleminin tanımı yapılarak, literatür taraması çalışması yapılmıştır. İkinci bölümde genetik algoritma, tavlama benzetimi algoritması, tabu arama algoritması ve karınca kolonisi algoritması yöntemleri ile ilgili detaylı bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde, optimum sonucu bilinen OR-Library p-medyan test problem setindeki problemlerin genetik algoritma ile uygulaması yapılarak, elde edilen sonuçlar optimum çözüme ulaşma ve harcanan zaman ölçütleriyle değerlendirilmiştir.

Tez çalışmasının her aşamasında benden desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Seda Tolun Tayalı'ya çok teşekkür ediyorum. Ayrıca bu süreçte yanımda olan desteklerini her zaman hissettiğim değerli ailem ve eşime de teşekkürlerimi borç bilirim.

Ümran TÜZÜN SÜMER
İSTANBUL-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZ.....	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xiv
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

P-MEDYAN TESİS YERİ PROBLEMİ

1.1. Tesis Yeri Seçim Yeri Problemi Tanımı.....	2
1.2. Tesis Yeri Seçim Problemlerinin Sınıflandırılması	2
1.3. P-medyan Tesis Yeri Seçim Problemi Tanımı.....	4
1.3.1. P-medyan Tesis Yeri Seçim Problemi Matematiksel Modeli.....	5
1.4. P-medyan Tesis Yeri Seçim Problemi Literatür Araştırması.....	6

İKİNCİ BÖLÜM

META SEZGİSEL ALGORİTMALAR

2.1. Meta Sezgisel Algoritmalar.....	27
2.2. Meta Sezgisel Algoritmaların Sınıflandırılması	28

2.3. Genetik Algoritma.....	29
2.3.1. Genetik Algoritmanın Genel Yapısı	29
2.3.2. Kodlama.....	32
2.3.3. Uyum Fonksiyonu.....	33
2.3.4. Seçilim	33
2.3.5. Çaprazlama	34
2.3.6. Mutasyon	35
2.3.7. Elitizm	36
2.3.8. Durdurma Kriteri	36
2.4. Tavlama Benzetimi Algoritması	37
2.4.1 Tavlama Benzetimi Algoritması Akış Şeması.....	37
2.5. Tabu Arama Algoritması.....	39
2.5.1. Tabu Arama Algoritması Akış Şeması	40
2.6. Karınca Kolonisi Algoritması	41
2.6.1. Karınca Kolonisi Algoritması Temel Yapısı	43

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

GENETİK ALGORİTMA İLE P-MEDYAN TESİS YERİ PROBLEMİ UYGULAMASI

3.1. P-medyan Problemi Genetik Algoritma Modeli	44
3.1.1. Mesafe (Maliyet) Matrisi Gösterimi	44
3.1.2. Kodlama.....	46
3.1.3. Amaç (Uygunluk) Fonksiyonu	48
3.1.4. Popülasyon Büyüklüğü.....	50
3.1.4. Seçilim	52

3.1.5. Çaprazlama	53
3.1.6. Mutasyon	53
3.1.7. Elitizm.....	53
3.1.8. Durdurma Kriteri	53
3.1.9. GA Akış şeması	54
3.2. OR-Library Problem Seti	55
3.3. OR-Library Problem Seti Uygulama Sonuçları	56
3.3.1. Pmed ₁ Problemi	56
3.3.2. Pmed ₂ Problemi	57
3.3.3. Pmed ₃ Problemi	58
3.3.4. Pmed ₄ Problemi.....	59
3.3.5. Pmed ₅ Problemi	60
3.3.6. Pmed ₆ Problemi	61
3.3.7. Pmed ₇ Problemi	62
3.3.8. Pmed ₈ Problemi.....	63
3.3.9. Pmed ₉ Problemi.....	64
3.3.10. Pmed ₁₀ Problemi	65
3.3.11. Pmed ₁₁ Problemi	66
3.3.12. Pmed ₁₂ Problemi	67
3.3.13. Pmed ₁₆ Problemi	68
3.3.14. Pmed ₁₇ Problemi	69
3.3.15. Pmed ₂₁ Problemi	70
3.3.16. Pmed ₂₂ Problemi	71
3.3.17 Pmed ₂₄ Problemi	72

3.4. OR-Library Problemleri için Genetik Algoritma Performans Değerlendirmesi. 73

SONUÇ..... 76

KAYNAKÇA 78

EKLER..... .98



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: P-medyan Problemi Örnek Gösterimi	5
Şekil 2: Literatürdeki Meta Sezgisel Yöntemlerin Oransal Dağılımları	25
Şekil 3: Meta Sezgisel Yöntemlerin Yıllara Göre Dağılımları	26
Şekil 4: Popülasyon, Kromozom, Gen Yapısı	30
Şekil 5: Genetik Algoritma Akış Diyagramı.....	31
Şekil 6: Genetik Algoritma Kodlama Türleri.....	33
Şekil 7: Tek Nokta Çaprazlama	35
Şekil 8: İki Noktalı Çaprazlama.....	35
Şekil 9: Mutasyon Operatörü	36
Şekil 10: Tavlama Benzetimi Algoritması Akış Diyagramı	39
Şekil 11: Tabu Arama Algoritması Akış Diyagramı.....	41
Şekil 12: Karıncaların Engeller Önündeki Davranışları	42
Şekil 13: Floyd-Warshall Algoritması Mesafe Matrisi Kodu	46
Şekil 14: Kromozom Gösterimi	49
Şekil 15: Popülasyon Gösterimi.....	50
Şekil 16: Pmed ₂₁ Popülasyon Büyüklüğü 300 Optimuma Yakınsama Grafiği.....	51
Şekil 17: Pmed ₂₁ Popülasyon Büyüklüğü 100 Optimuma Yakınsama Grafiği.....	52
Şekil 18: Mutasyon Örneği	53
Şekil 19: Genetik Algoritma Akış Diyagramı.....	54
Şekil 20: Pmed ₁ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği.....	57
Şekil 21: Pmed ₂ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği.....	58
Şekil 22: Pmed ₃ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği.....	59
Şekil 23: Pmed ₄ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği.....	60
Şekil 24: Pmed ₅ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği.....	61

Şekil 25: Pmed ₆ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği.....	62
Şekil 26: Pmed ₇ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği.....	63
Şekil 27: Pmed ₈ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği.....	64
Şekil 28: Pmed ₉ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği.....	65
Şekil 29: Pmed ₁₀ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği	66
Şekil 30: Pmed ₁₁ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği	67
Şekil 31: Pmed ₁₂ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği	68
Şekil 32: Pmed ₁₆ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği	69
Şekil 33: Pmed ₁₇ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği	70
Şekil 34: Pmed ₂₁ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği	71
Şekil 35: Pmed ₂₂ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği	72
Şekil 36: Pmed ₂₄ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği	73

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 1: P-medyan Probleminde Genetik Algoritma Kullanılarak Yapılan Çalışmalar	8
Tablo 2: P-medyan Probleminde Genetik Algoritma Kullanılarak Yapılan Çalışmalar	9
Tablo 3: P-medyan Probleminde Hibrit Yöntem Kullanılarak Yapılan Çalışmalar	11
Tablo 4: P-medyan Probleminde Hibrit Yöntem Kullanılarak Yapılan Çalışmalar	12
Tablo 5: P-medyan Probleminde Tavlama Benzetimi Algoritması ile Yapılan Çalışmalar ..	15
Tablo 6: P-medyan Probleminde Tabu Arama Algoritması Kullanılarak Yapılan Çalışmalar	16
Tablo 7: P-medyan Probleminde YAK Algoritması Kullanılarak Yapılan Çalışmalar	17
Tablo 8: P-medyan Probleminde Değişken Komşuluk Arama ile Yapılan Çalışmalar	18
Tablo 9: P-medyan Probleminde Karınca Kolonisi Algoritması ile Yapılan Çalışmalar	19
Tablo 10: P-medyan Probleminde PSO Algoritması ile Yapılan Çalışmalar	20
Tablo 11: P-medyan Probleminde Dağınık Arama Algoritması ile Yapılan Çalışmalar	21
Tablo 12: P-medyan Probleminde DGA, BA, HS ve Evrimsel Optimizasyon Çalışmaları ..	23
Tablo 13: P-medyan Probleminde Yapay Sinir Ağları ve GRASP Çalışmaları	24
Tablo 14: Çözüm Değerlerinin Onlu ve İkili Tabanda Gösterimi	47
Tablo 15: Genetik Algoritma ve Problem Parametreleri	56
Tablo 16: Pmed ₁ Problemi Parametreleri.....	57
Tablo 17: Pmed ₂ Problemi Parametreleri.....	58
Tablo 18: Pmed ₃ Problemi Parametreleri.....	59
Tablo 19: Pmed ₄ Problemi Parametreleri.....	60
Tablo 20: Pmed ₅ Problemi Parametreleri.....	61
Tablo 21: Pmed ₆ Problemi Parametreleri.....	62
Tablo 22: Pmed ₇ Problemi Parametreleri.....	63
Tablo 23: Pmed ₈ Problemi Parametreleri.....	64

Tablo 24: Pmed ₉ Problemi Parametreleri.....	65
Tablo 25: Pmed ₁₀ Problemi Parametreleri	66
Tablo 26: Pmed ₁₁ Problemi Parametreleri	67
Tablo 27: Pmed ₁₂ Problemi Parametreleri	68
Tablo 28: Pmed ₁₆ Problemi Parametreleri	69
Tablo 29: Pmed ₁₇ Problemi Parametreleri	70
Tablo 30: Pmed ₂₁ Problemi Parametreleri	71
Tablo 31: Pmed ₂₂ Problemi Parametreleri	72
Tablo 32: Pmed ₂₄ Problemi Parametreleri	73
Tablo 33: OR-Library Test Problemleri Sonuç Tablosu.....	75

KISALTMALAR LİSTESİ

NP- ZOR	Polinomal Zamanda Çözölemeyen Problemler (Non-Deterministic Polynomial-Time Hard)
GA	:Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)
DGA	:Diferansiyel Gelişim Algoritması (Differential Evolution)
GRASP	:Açgözlü Rastgele Adaptif Arama Prosedürü (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure)
KKO	:Karıncı Kolonisi Algoritması (Ant Colony Optimization)
PSO	:Parçacık Sürü Algoritması (Particle Swarm Optimization)
TA	:Tabu Arama Algoritması (Tabu Search)
TB	:Tavlama Benzetimi Algoritması (Simulating Annealing)
VNS	:Değişken Komşuluk Arama Algoritması (Variable Neighborhood Search)
YAK	:Yapay Arı Kolonisi Algoritması (Artificial Bee Colony)
SS	:Dağınık Arama Algoritması (Scatter Search)
ANN	:Yapay Sinir Ağları (Artificial Immune System)
PR	:Yeniden Yol İlişkilendirme (Path Relinking)
BA	:Biyomik Algoritma (Bionic Algorithm)
HS	:Armoni Arama Algoritması (Harmony Search Algorithm)

GİRİŞ

Tesis yeri seçimi, işletmeler için verilebilecek uzun vadeli ve stratejik kararlardır. Tesis yerlerinin uygun yerlerde seçimi işletmelere hem maliyetin düşürülmesinde hem de karlılığın artırılmasında etkisi olmaktadır. Hem özel şirketler hem de kamu kuruluşları için hastane, okul, depo gibi yapıların nerede konumlandırılacağı gibi problemler tesis yeri seçim problemlerinin alanına girmektedir. P-medyan problemi de önemli tesis yeri seçim problemlerinden biridir. P-medyan probleminin amacı talep noktaları ile hizmet verecek tesisler arasındaki toplam ağırlıklı mesafeyi minimize etmektir. Ayrıca bu problemde her talep noktasının medyan olarak belirlenen hizmet verecek tesise ataması yapılmaktadır.

Tez çalışması üç bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde tesis yeri seçim problemi, tesis yeri seçim problemlerinin sınıflandırılması, p-medyan problemi ve p-medyan probleminin matematiksel formülasyonu hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca literatürde p-medyan probleminin çözümünde meta sezgisel algoritmalar kullanılarak yapılmış çalışmalar üzerinde durulmuştur. İkinci bölümde meta sezgisel algoritmaların yapısı hakkında bilgi verilerek, genetik algoritma, tavlama benzetimi algoritması, tabu arama algoritması ve karınca kolonisi yaklaşımları ile detaylı bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde ise optimum sonucu bilinen OR-Library p-medyan test problemleri ile genetik algoritma uygulaması yapılmıştır. OR-Library test problem seti problem büyüklükleri farklı olan 40 adet problemden oluşmaktadır. Üçüncü bölümde ayrıca, uygulaması yapılan genetik algoritmanın çalışma mantığı ve parametreleri üzerinde durulmuştur. Her problemin düğüm ve hizmet verecek tesis sayısına bağlı olarak genetik algoritma parametreleri belirlenerek, genetik algoritmanın performansı optimum sonuca yakınsama ve harcanan zaman ölçütleriyle değerlendirilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

P-MEDYAN TESİS YERİ PROBLEMİ

1.1. Tesis Yeri Seçim Yeri Problemi Tanımı

Tesis yeri seçim problemi, kuruluşlar için uzun vadeli ve önemli kararlar olması itibariyle her zaman yöneylem araştırmaları konularının önemli türlerinden biri olmuştur. Tesis yeri seçimi sadece yeni açılacak tesislerin konumlarının belirlenmesi değil aynı zamanda var olan tesislerin kapanıp daha uygun yerde açılması, kuruluşlara yeni tesisler eklenmesi gibi kuruluşların kar – zarar ölçümlerini önemli derecede etkileyebilecek kararlardır.

Tesis yeri seçim problemi, var olan müşteriler ve tesisler kümesi içerisinde, toplam maliyeti en aza indirecek şekilde, probleme özel kriterleri de kapsayarak en uygun yere hangi tesisin açılabilceğinin ve hangi müşterinin hangi tesise atanacağını belirlenmesi problemidir (Owen ve Daskin, 1998: 424).

1.2. Tesis Yeri Seçim Problemlerinin Sınıflandırılması

Tesis yeri seçim problemi temel özelliklerine göre bir çok alt probleme ayrılmaktadır. Literatürde farklı araştırmacılar da probleme farklı bakış açılarıyla yaklaşarak çeşitli sınıflandırmışlar yapmışlardır.

Sule, tesis yeri seçim problemini sınıflandırırken p-medyan, p merkez, kapasite sınırsız yeri seçim problemi, kapasite sınırlı tesis yeri seçim problemi ve karesel atama problemi olarak beş temel kategoriye ayırmıştır. Kapasite kısıtlı tesis yeri seçim probleminde seçilecek tesislerin verebileceği hizmet belli bir sınıra sahiptir. Kapasite kısıtsız tesis yeri seçimi problemlerinde herhangi bir kapasite sınırı olmadığından toplam maliyeti minimize etme amacıyla tesisler uygun yerlere yerleştirilmektedirler. Kapsama problemlerinde amaç en az tesis ile talep

noktalarının taleplerinin karşılanması veya belirli sayıda tesis açılmasıyla mümkün olan en fazla talebin karşılanmasıdır. Merkez problemleri genel olarak acil yardım hizmetlerinin konumlandırılmasında kullanılmaktadır. Hizmet verecek tesisler ile talep noktaları arasındaki maksimum mesafeyi minimize yapacak şekilde tesislerin yerleştirilmesi amaç edinilmektedir. Karasel atama problemlerinde eşit miktarda tesis ve aday bölge bulunmaktadır. Toplam maliyeti minimize etmek amacıyla tesislerin aday bölgelere atanması sağlanmaktadır (Sule, 2001: 16).

Daskin 2008 yılında yaptığı çalışmada yerleşim problemini analitik, sürekli, ayrık ve ağ modeli olmak üzere dört temel düzeyde sınıflandırmıştır. Sürekli tesis yeri seçimi probleminde hizmet alanındaki tesisler hizmet alanında herhangi bir noktaya yerleştirilebilirken, ayrık tesis yeri seçim probleminde tesisler şebeke üzerindeki düğümlere yerleştirilmektedirler. Ağ modelinde diğer modellerden farklı olarak hizmet verecek tesisler, düğümler ya da düğümler arasındaki bağlantı noktalarına yerleştirilebilir, talep noktaları ise sadece şebeke üzerindeki düğümlerde bulunabilmektedir. Daskin p-medyan tesis yeri seçim problemini kapsama, merkez, sabit maliyetleri problemler ile birlikte ayrık yerleşim modeli sınıfı içerisinde konumlandırmıştır (Daskin, 2008: 285).

Arabani ve Farahani, tesis yeri seçim problemini sınıflandırmak için yaptıkları çalışmada tesis yeri seçimi problemini statik ve dinamik yer seçimi problemleri olarak iki sınıfa ayırmışlardır. Statik yer seçimi problemlerini sürekli, kesikli, şebeke yer seçimi problemleri olarak alt sınıflara ayırırken dinamik yer seçimi problemlerini ise dinamik deterministik, atama, çok/tek periyotlu, zaman bağımlı, stokastik/bulanık yer seçim problemleri olarak belirlemişlerdir. P-medyan tesis yeri seçim problemi, statik yer seçimi problemlerinin alt başlığı olan şebeke yer seçimi problemlerinden bir tanesidir (Arabani ve Farahani, 2012: 412).

1.3. P-medyan Tesis Yeri Seçim Problemi Tanımı

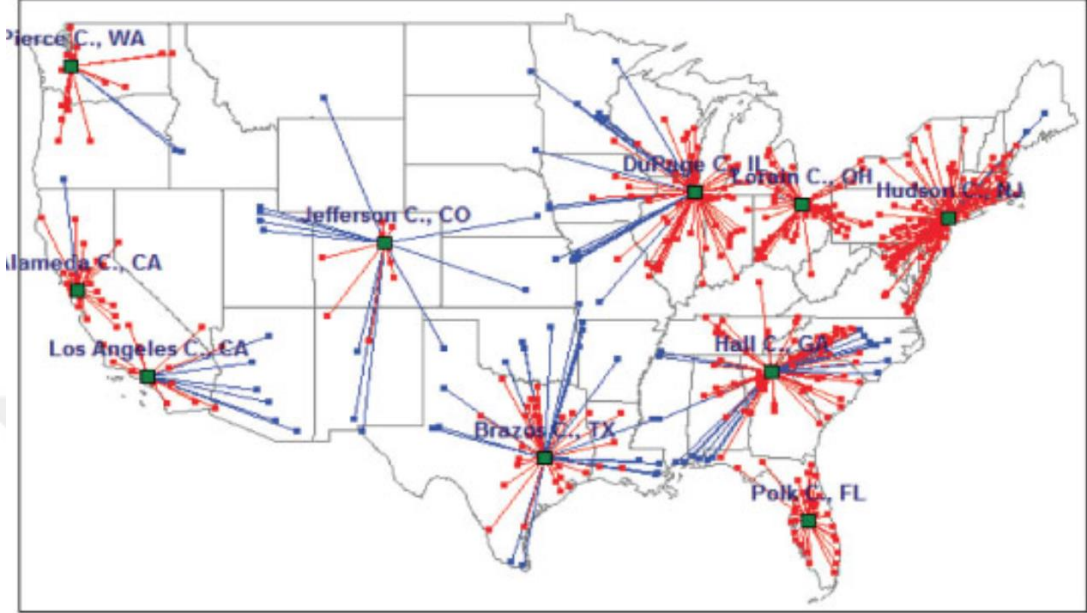
P-medyan tesis yeri seçim problemi, n adet talep noktası ile p adet hizmet verecek tesis arasındaki toplam ağırlıklı mesafenin en az maliyet ile belirlenmesi problemidir (Alp v.d., 2003: 22). Toplam maliyetin minimize edildiği problemler minisum problemleri olarak adlandırılmaktadır. Maliyet, tesisler arasındaki mesafe olabileceği gibi zaman ya da para gibi bir değer olabilmektedir. P-medyan tesis yeri probleminde p tane tesis, ağ içerisindeki belirli noktalara (düğümlere) yerleştirilir. Bu nedenle, p-medyan tesis yeri seçim problemi ayrık (discrete) seçim problem türleri arasına girmektedir. 1964 yılında Hakimi tarafından geliştirilerek literatüre katılmıştır (Hakimi, 1964: 450).

P-medyan tesis yeri seçim problemi, kombinatoriyal NP-Zor optimizasyon problemleri sınıfına girmektedir. Kombinatoriyal kavramı, ilgili problemde karar değişkenlerinin kesikli değer almasını ifade etmektedir. NP-Zor (Non-Deterministic Polynomial-Time Hard) problemlerin çözümü için polinom zamanlı bir algoritma bulunmamaktadır. Bu tip problemlerin çözüm süresi problem boyutuna göre üssel olarak arttığından kesin çözüm sunan problemlerde olduğu gibi uygun sürelerde ulaşmak olası değildir (Çalışkan, 2008: 24).

Örneğin, bir p-medyan probleminde n (düğüm) 10, p (hizmet verecek tesis sayısı) 5 ise olası çözüm sayısı ilgili değerlerin kombinasyon sayısı olan 252 iken, n değerinin 100 olduğu hizmet verecek sayısının değişmediği problemde olası çözüm sayısı 75.287.520 gibi oldukça büyük sayıdır. Literatürde çokça incelenen gezgin satıcı, atama, sırt çantası ve tesis yeri seçimi gibi problem tipleri de NP-Zor problemlerine örnek olarak gösterilebilir.

Şekil 1’de hizmet verecek tesis sayısının 10 olduğu örnek bir p-medyan tesis yeri seçim probleminin harita üzerinde gösterimine yer verilmektedir.

Şekil 1: P-medyan Problemi Örnek Gösterimi (Daskin, 2008: 289)



1.3.1. P-medyan Tesis Yeri Seçim Problemi Matematiksel Modeli

Amacı, talep noktaları ve hizmet verecek tesisler arasındaki toplam mesafeyi minimuma indirmek olan p-medyan tesis yeri seçim probleminin matematiksel gösterimi Revelle ve Swain (1970) tarafından aşağıdaki gibi yapılmıştır.

Amaç Fonksiyonu :

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i d_{ij} x_{ij}$$

Kısıtlar :

$$\sum_{j=0}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1.2)$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall i, j \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1.3)$$

$$\sum_{j=0}^n y_j = p \quad (1.4)$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0, 1\} \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1.5)$$

Karar Değişkenleri :

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } i \text{ müşterisi } j \text{ tesisine atanmış ise} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases}$$
$$y_j = \begin{cases} 1 & \text{eğer } j \text{ noktasında bir tesis açılmış ise} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

n = Toplam talep noktası sayısı (Düğüm)

w_i = i noktasındaki talep

d_{ij} = i noktası ve j noktası arasındaki en kısa mesafe

p = Medyan sayısı (Hizmet verecek tesis sayısı)

Eşitlik 1.1 ile p-medyan probleminin amaç fonksiyonu belirtilmiştir. Eşitlik 1.2 ile talep noktalarının yalnızca bir tesise (medyan) atanma kısıtı gösterilmiştir. Eşitlik 1.3 sadece açık olan tesise ilgili talep noktasının atanma kısıtını ifade etmektedir. Eşitlik 1.4 ile de açılacak tesis sayısının p adet tesis ile sınırlandırıldığı ifade edilmektedir.

1.4. P-medyan Tesis Yeri Seçim Problemi Literatür Araştırması

P-medyan tesis yeri seçim problemi önemi itibarıyla geçmişten günümüze popülerliğini devam ettirmiş, çeşitli araştırmacılar tarafından çalışılmış, farklı yöntemler denenerek optimizasyon çalışmalarına devam edilmiştir. Günümüz dünyasında problemlerin karmaşıklığı, çok fazla parametre ve detay içermesi, araştırmacıları kesin çözüm veren deterministik metodlardan ziyade stokastik meta sezgisel yöntemler ile en iyileme çalışmaları yapmaya yönlendirmiştir.

Kesin çözüm metodlarında, çözüm kümesindeki tüm çözümler denenerek optimal çözüme ulaşılmaya çalışılır. Tüm çözümlerin denenmesi küçük boyutlu problemlerde uygulanabilir bir yöntemken büyük boyutlu problemlerde çözüme ulaşmak çok fazla zaman alacağı için kullanışlı olmaktan çıkmaktadır. Kesin çözüm yöntemlerine doğrusal programlama, tam sayılı programlama, dallandırma ve sınırlandırma yöntemleri örnek gösterilebilir. Meta sezgisel algoritmalar ise çözüm uzayında kesin

çözümü garanti edemezler fakat yakınsama özelliğine sahip olduklarından dolayı kesin çözüm veya kesin çözüme yakın bir çözümü makul sürelerde oluşturabilmektedirler (Karaboğa, 2004: 16).

P-medyan problemi de yapısı gereği NP-Zor problemlerden biri olduğu için problem çözümünde meta sezgisel yöntemler ile yapılan çalışmalar öne çıkmaktadır. Literatürde, p-medyan probleminin kapasite sınırlı, kapasitesiz, koşullu ve güvenilirlikli gibi türleri için genetik algoritma (GA), tavlama benzetimi (TB), tabu arama algoritması (TB), değişken komşuluk araması (VNS), açgözlü rastgele adaptif arama algoritması (GRASP), yapay arı kolonisi algoritması (YAK), karınca kolonisi algoritması (KKO), dağınık tarama (SS) ve meta sezgisel yöntemlerin birleştirilerek oluşturulduğu hibrit yöntemler gibi yaklaşımların bulunduğu çalışmalar mevcuttur.

Tablo 1 ve Tablo 2’de p-medyan tesis yeri seçim probleminin çözümü için genetik algoritma yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalar mevcuttur.

Maniruzzaman ve Ohgai (2008), sürekli p-medyan tesis yeri seçim probleminde yeni bir genetik algoritma çalışmışlardır. Problemin çözümü için, farklı seçim prosedürleri içeren iki genetik algoritma geliştirilmiştir. Algoritmanın performansı daha verimli hale getirmek için genetik algoritma ve geleneksel yerel arama yöntemleri birleştirilerek hibrit algoritma elde edilmiş, algoritmanın performansı test edilmiştir.

Correa v.d. (2001) genetik algoritma yöntemi kullanarak yaptıkları çalışmalarında kapasite kısıtlı p-medyan tesis yeri seçim problemini gerçek hayat problemine uyarlamışlardır. Önerilen yöntem geleneksel genetik algoritma operatörlerini içerdiği gibi yeni bir sezgisel algoritma olan hipermutasyon sezgiselini de içermektedir. Algoritmanın verimliliği, tabu arama algoritması ile karşılaştırılarak hesaplanmıştır.

Tablo 1: P-medyan Probleminde Genetik Algoritma Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

Yıl	Yazar	Çalışma İsmi	Yöntem
2017	Jayalakshmi ve Singh	Hybrid Genetic Algorithms With Selective Crossover For The Capacitated P-Median Problem	Hibrit Genetik Algoritma
2015	Drezner v.d	New Heuristic Algorithms For Solving The Planar P-Median Problem	Genetik Algoritma
2015	Varnamkhasti ve Hassan	Classical And Urgencies Assignment Methods In P-Median Problems With Fuzzy Genetic Algorithm.	Fuzzy Genetik Algoritma
2014	Kazakovtsev ve Stupina	Fast Genetic Algorithm With Greedy Heuristic For P-Median And K-Means Problems	Genetik Algoritma
2011	Li v.d	Initialization Strategies To Enhancing The Performance Of Genetic Algorithms For The P-Median Problem	Genetik Algoritma
2011	Cadenas v.d.	Soft-Computing Based Heuristics For Location On Networks: The P-Median Problem	Genetik Algoritma
2008	Neema v.d	New Genetic Algorithms Based Approaches To Continuous P-Median Problem	Genetik Algoritma
2006	Fathali	A Genetic Algorithm For The <i>P</i> -Median Problem With Pos/Neg Weights	Genetik Algoritma
2004	Correa v.d	A Genetic Algorithm For Solving A Capacitated P-Median Problem	Genetik Algoritma

Tablo 2: P-medyan Probleminde Genetik Algoritma Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

2003	Chaudhry v.d	Solving A Class Of Facility Location Problems Using Genetic Algorithm	Genetik Algoritma
2003	Li ve Xu	A Fixed-Length Subset Genetic Algorithm For The P-Median Problem	Genetik Algoritma
2003	Alp ve Erkut	An Efficient Genetic Algorithm For The P-Median Problem	Genetik Algoritma
2002	Bozkaya v.d	An Efficient Genetic Algorithm For The P-Median Problem	Genetik Algoritma
2001	Lorena ve Furtado	Constructive Genetic Algorithm For Clustering Problems	Genetik Algoritma
2001	Carnieri v.d	A Genetic Algorithm For The P-Median Problem	Genetik Algoritma
2001	Chiou	Genetic Clustering Algorithms	Genetik Algoritma
1994	Perez ve Roda-Garcia	A Parallel Genetic Algorithm For The Discrete P-Median Problem	Genetik Algoritma
1987	Hosage ve Goodchild	Discrete Space Location-Allocation Solutions From Genetic Algorithms	Genetik Algoritma

Li v.d. (2011), hibrit genetik algoritma kullanarak yaptıkları çalışmada rastgele başlangıç popülasyonu oluşturma stratejileri üzerinde çalışarak algoritmanın performansı artırma yoluna gitmişlerdir. Yüksek kaliteli bir başlangıç popülasyonu için aç gözlü arama yönteminden yararlanmışlardır.

Fathali (2006), pozitif ve negatif ağırlıklı p-medyan probleminin çözümü için yeni bir genetik algoritma önermiştir. Değişken komşuluk arama yöntemi ile geliştirilen genetik algoritmanın sonuçları karşılaştırılmıştır. Önerilen metodun sonuçlarının optimum sonuca daha yakın sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Alp ve Erkut (2003), p-medyan tesis yeri seçim probleminin çözümü amacıyla yeni bir genetik algoritma önermişlerdir. Çözüm için gerekli kodlama, kromozomdaki genlerin medyan olarak seçilen tesislerin mesafe matrisindeki indekslerine karşılık gelebileceği şekilde tasarlanmıştır. Geleneksel çaprazlama yöntemlerindense aç gözlü arama sezgisellerine yer verilmiştir. Yeni yaklaşım literatürdeki test problemlerine uygulanarak analiz edilmiştir.

Perez ve Garcia (1994), ayrı p-medyan tesis yeri seçim probleminin çözümü amacıyla paralel genetik algoritma kullanmışlardır. Algoritma, popülasyonu koloni halinde bölerek paralelleştirmektedir. Çalışmada klasik genetik algoritma operatörlerinin yanında koloniler arasındaki iletişimde kullanılan göç operatöründen de yararlanılmıştır.

P-medyan tesis yeri seçim problem çözümünde çeşitli meta sezgisel algoritmaların biraraya getirilerek oluşturulduğu hibrit çalışmalar da yer bulmuştur. Tablo 3 ve Tablo 4 ile literatürde bulunan hibrit çalışmalarından bazılarına yer verilmiştir.

Tablo 3: P-medyan Probleminde Hibrit Yöntem Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

Yıl	Yazar	Çalışma İsmi	Yöntem
2015	Jahromi ve Zarei	Initialization Strategies For Enhancing The Performance Of Firefly Algorithms in P-Median Problem	Hibrit Ateş Böceği Algoritması Parçacık Sürü Algoritması
2015	Rawan ve Salhi	Solving Large P-Median Problems By A Multistage Hybrid Approach Using Demand Points Aggregation And Variable Neighbourhood Search	Hibrit Küme Değişken Komşuluk Araması
2014	Mazinan v.d.	An Efficient Hybrid CS And K-Means Algorithm For The Capacitated P Median Problem.	Hibrit Guguk Kuşu Arama, K-Ortalama Algoritması
2013	Yaghini v.d.	A Hybrid Metaheuristic Approach For The Capacitated P-Median Problem	Hibrit Düzlemsel Komşuluk Yapısı Tabu Arama
2012	Javier v.d.	Design And Analysis Of Hybrid Metaheuristics For The Reliability P-Median Problem	Hibrit Genetik Algoritma Dağıtık Tarama Algoritması
2009	Alekseeva v.d.	A Hybrid Memetic Algorithm For The Competitive P-Median Problem	Hibrit Yöntem
2008	Wayne	A Population Based Hybrid Metaheuristic For The P-Median Problem	Hibrit Yöntem

Tablo 4: P-medyan Probleminde Hibrit Yöntem Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

2006	Mauricio v.d.	A Hybrid Multistart Heuristic For The Uncapacitated Facility Location Problem	Hibrit Yöntem
2006	Dıaz ve Fernandez	Hybrid Scatter Search And Path Relinking For The Capacitated <i>P</i> -Median Problem	Hibrit, Dağıtık Arama ve Tabu Arama
2006	Juan ve Fernandez	A Hybrid Heuristic For The P-Median Problem	Hibrit Yöntem
2005	Dominguez ve Munoz	Applying Bio-Inspired Techniques To The P-Median Problem	Genetik Algoritma Ve Stokastik Yapay Sinir Ağı
2004	Resende ve Werneck	A Hybrid Heuristic For The P-Median Problem	Hibrit Yöntem
2000	Magyar v.d.	An Adaptive Hybrid Genetic Algorithm For The Three-Matching Problem	Hibrit Yöntem

Janosikova v.d. (2017), kapasite kısıtlı p-medyan probleminin çözümünde tamsayı programlama ile genetik algoritma yöntemlerini bir araya getirerek hibrit bir çalışma yapmışlardır. Ayrıca yeni jenerasyonlarda aday çözümlerin iyileşebilmesi amacıyla yeni bir çaprazlama operatörü kullanarak algoritmanın verimliliğini arttırmaya çalışmışlardır.

Mazinan v.d. (2014), kapasite kısıtlı p-medyan probleminin çözümü için geliştirdikleri hibrit meta sezgisel algorithmada guguk kuşu algoritması ile k-ortalama algoritmasını bir arada kullanmışlardır. Önerilen hibrit çalışmanın performansını ölçmek amacıyla literatürdeki Osman ve Hristofides'in her biri 10 problem içeren test problem setlerini kullanmışlardır. Önerilen algoritmanın ilk problem setinde üstün sonuçlar verdiği ikinci problem setinde de optimal sonuçlarının zamanla daha da iyileştirilebileceği belirtilmiştir.

Yaghini v.d. (2013), kapasite kısıtlı p-medyan probleminin çözümü için geliştirdikleri hibrit meta sezgisel algorithmada düzlemsel komşuluk yapısı içeren bir algoritma ile tabu arama algoritmasını bir arada kullanmışlardır. Önerilen komşuluk yapısında mevcut çözümden komşu çözüme gitmek için açık bir medyan seçilir ve kapatılır. Sonrasında ikili kısıtlamalar gevşetilir ve yeni kısıtlamalar eklenerek doğrusal pragramlama yapısı oluşturulur. Üretilen doğrusal pragramlama çözümü düzlemsel eşitsizlikler bulunarak iyileştirilmiştir. İlgili komşuluk yapısı da tabu arama algoritması ile birleştirilerek hibrit yapı oluşturulmuştur. Geliştirilen hibrit algoritmanın literatürdeki test problemleri ile performansı ölçülmüş ve sonuçların etkinliği belirtilmiştir.

Pullan (2008), p-medyan probleminin çözümü için popülasyon temelli hibrit meta sezgisel bir algoritma geliştirmiştir. Geliştirilen popülasyon temelli hibrit algoritma genetik algoritma yapısını temel almaktadır. Hibrit yerel aramada yeni başlangıç noktaları yaratmak için çaprazlama operatöründen yararlanılmıştır. Büyük boyutlu p-medyan problemlerinde ve literatürdeki örnekler ile performans karşılaştırması yapıldığında hibrit algoritmanın optimum sonuçları yakalamada etkinliği gösterilmiştir.

Diaz ve Fernandez (2006), kapasiteli kısıt p-medyan probleminin çözümü için yaptıkları çalışmada sezgisel algoritmalar önermişlerdir. İlk çalışmada dağınık arama (Scatter Search) algoritması ile çözümler elde edilirken ikincisinde yeniden yol yapılandırma (Path Relinking) algoritmasına yer verilmiştir. Ayrıca iki algoritmayı

birleştiren üçüncü bir algorithmada analiz edilmiştir. İki algorithmada da referans kümesini oluşturmak için GRASP metodolojisi kullanmıştır. Çalışmalarında genel olarak dağınık arama algoritmasının daha iyi performans gösterdiği belirtilirken dağınık arama yönteminden önce yeniden yol ilişkilendirme algoritması kullanılmasının ilk referans kümesini geliştirdiği için hesaplama zamanlarında iyileşme gösterdiği belirtilmiştir. Geliştirilen yöntemler literatürdeki diğer yöntemler ile karşılaştırılmış, ilgili yöntemlerin hem optimum sonuçları bulma hem de hesaplama zamanları açısından yüksek performans gösterdiği belirtilmiştir.

Resende ve Werneck (2006), kapasite kısıtsız p-medyan problemi çözümü için hibrit çok başlangıçlı sezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir. Önerilen algoritma tabu arama algoritması, dağınık arama algoritması ve genetik algoritmanın özellikleri birleştirilerek oluşturulmuştur. Literatürdeki test problemleri ile karşılaştırılması yapılan algoritmanın optimum sonuçlara ulaşmada çok iyi performans gösterdiği belirtilmiştir.

Alcaraz v.d. (2012), güvenilirlik p-medyan probleminin çözümü için hibrit özellik taşıyan algoritmalar geliştirmişlerdir. P-medyan probleminde hizmet verecek tesisler bir kez açıldıktan sonra kapanmayacağı varsayılır fakat gerçek hayatta bazı faktörlerden dolayı tesislerden bazılarının kapatılması gerekebilir. Güvenilirlik p-medyan probleminde ise bazı tesisler belirli dönemlerde aktif olmayabilirler. Araştırmacılar ilgili problemin çözümü için geliştirdikleri hibrit genetik algoritma, yerel optimumdan kaçınmak için yerel bir arama algoritması içermektedir. Dağınık arama algoritması ise optimum sonuçları bulmada daha iyi sonuçlar vermesi için hibritleştirilmiştir.

Literatürde p-medyan tesis yeri seçim problem çözümünde tavlama benzetimi algoritmasıyla yapılan çalışmalar da mevcuttur. Tablo 5 ile tavlama benzetimi algoritması kullanılarak yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Tablo 5: P-medyan Probleminde Tavlama Benzetimi Algoritması ile Yapılan Çalışmalar

Yıl	Yazar	Çalışma İsmi	Yöntem
2012	Bashiri ve Bakhtiarifar	Finding The Optimum Location in A One-Median Network Problem With Correlated Demands Using Simulated Annealing	Tavlama Benzetimi
2003	Yiğit ve Türkbey	Tesis Yerleşim Problemlerine Sezgisel Metotlarla Yaklaşım	Tavlama Benzetimi
2000	Chiyoshi ve Galvao	A Statistical Analysis Of Simulated Annealing Applied To The P-Median Problem	Tavlama Benzetimi
1996	Murray Church	Applying Simulated Annealing To Planning-Location Models. Journal Of Heuristics	Tavlama Benzetimi
1995	Righini	A Double Annealing Algorithm For Discrete Location/Allocation Problems	Tavlama Benzetimi

Yiğit ve Türkbey (2003), kapasite sınırsız tesis yeri seçim probleminin çözümünde tepe tırmanma yöntemi ve tavlama benzetimi algoritması yöntemlerini çalışmışlardır. Algoritmalar optimum sonuca yaklaşıma açısından karşılaştırıldıklarında tavlama benzetimi algoritmasının daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Chiyoshi ve Galvao (2000), yaptıkları çalışmada p-medyan tesis yeri seçim problemi için tavlama benzetimi algoritmasının istatistiksel bir analizi sunmuşlardır. Kullanılan algoritma Teitz ve Bart'ın köşe ikame yönteminin öğelerini tavlama benzetimi metodolojisi ile birleştirmektedir. Kabul edilen soğutma programı sıcaklık azaltma

yerine sıcaklık ayarlama kavramını içermektedir. Literatürdeki OR-Library test problemleri ile test edilerek algoritmanın etkinliği değerlendirilmiştir.

Literatürde p-medyan tesis yeri seçim problem çözümünde tabu arama algoritmasıyla yapılan çalışmalar mevcuttur. Tablo 6’da tabu arama algoritması kullanılarak yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Tablo 6: P-medyan Problemünde Tabu Arama Algoritması Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

Yıl	Yazar	Çalışma İsmi	Yöntem
2019	Montaya v.d.	Solution Search For The Capacitated P-Median Problem Using Tabu Search	Tabu Arama Algoritması
2003	Mladenovic v.d.	Tabu Search in Solving P-Facility Location-Allocation Problems	Tabu Arama Algoritması
2002	Salhi	Defining Tabu List Size And Aspiration Criterion Within Tabu Search Methods	Tabu Arama Algoritması
1999	Franc v.d.	An Adaptive Tabu Search Algorithm For The Capacitated Clustering Problem	Tabu Arama Algoritması
1998	Rosing v.d.	Heuristic Concentration And Tabu Search: A Head To Head Comparison	Tabu Arama Algoritması
1996	Voss	A Reverse Elimination Approach For The P-Median Problem	Tabu Arama Algoritması
1996	Rolland	An Efficient Tabu Search Procedure For The P-Median Problem	Tabu Arama Algoritması

Montaya v.d (2019), kapasite kısıtlı p-medyan tesis yeri seçim problemi çözümü için tabu arama algoritması geliştirmişlerdir. Geliştirilen yöntem rastgele bir başlangıç çözümü üreten tabu aramaya dayanmaktadır. Algoritmanın performansı literatürdeki OR-Library test problemleri ile karşılaştırılarak belirlenmiştir. Optimum çözümlere ulaşmada etkin bir performans gösterdiği ortaya koyulmuştur. Çalışmanın sonraki aşamasında ise et ürünleri şirketinin dağıtım merkezleri için yeni konumlar bulma problemi çalışılmıştır.

Rolland v.d. (1996), yaptıkları çalışmada p-medyan tesis yeri seçim probleminin çözümü için tabu arama algoritması prensiplerine dayanan yeni bir algoritma geliştirmişlerdir. Önerilen algoritma kısa ve uzun süre hafızanın yanı sıra stratejik salınım ve rastgele tabu liste boyutlarını kullanmaktadır. 500 düğüme kadar çeşitlilik gösteren test problemleri ile de algoritmanın performansı değerlendirilmiştir.

Literatürde p-medyan tesis yeri seçim problem çözümünde yapay arı kolonisi algoritması kullanılarak yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Tablo 7’de yapay arı kolonisi algoritması yöntemiyle ilgili çalışmalara yer verilmiştir.

Tablo 7: P-medyan Probleminde YAK Algoritması Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

2017	Jayalakshmi ve Singh	A Hybrid Artificial Bee Colony Algorithm For The P-Median Problem With	Hibrit Yapay Arı Kolonisi Algoritması
2015	Bastı ve Şevkli	An Artificial Bee Colony Algorithm For The P-Median Facility Location Problem	Yapay Arı Kolonisi Algoritması

Literatürde p-medyan tesis yeri seçim problem çözümünde değişken komşuluk arama algoritması yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Tablo 8’de değişken komşuluk arama algoritması ile yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Tablo 8: P-medyan Probleminde Değişken Komşuluk Arama ile Yapılan Çalışmalar

Yıl	Yazar	Çalışma İsmi	Yöntem
2009	Hansen v.d.	Solving Large P-Median Clustering Problems By Primal–Dual Variable Neighborhood Search	Değişken Komşuluk Arama
2008	Fleszar ve Hindi	An Effective VNS For The Capacitated P-Median Problem	Değişken Komşuluk Arama
2006	Fathali ve Kakhki	Solving The P-Median Problem With Pos/Neg Weights By Variable Neighborhood Search And Some Results For Special Cases	Değişken Komşuluk Arama
2005	Kochetov v.d.	Large Neighborhood Local Search For The P-Median Problem	Değişken Komşuluk Arama
2004	Crainic v.d.	Cooperative Parallel Variable Neighborhood Search For The P-Median	Değişken Komşuluk Arama
2002	Félix García-López v.d.	The Parallel Variable Neighborhood Search For The P-Median Problem	Değişken Komşuluk Arama
2001	Hansen ve Mladenovic	Variable Neighborhood Decomposition Search	Değişken Komşuluk Arama

Fleszar ve Hindi (2006), kapasite kısıtlı p-medyan probleminin çözümü için değişken komşuluk arama algoritması geliştirmişlerdir. Algoritma performansı literatürdeki test problemleri ile karşılaştırılarak sonuçların optimum sonuca ulaşmada oldukça yüksek performans gösterdiği belirtilmiştir.

Crainic v.d. (2004) yaptıkları çalışmada değişken komşuluk arama yöntemi için ortak merkezi bellek mekanizmasına dayanan kombinatoriyal problemlere uygulanabilecek çoklu arama yöntemi önermişlerdir. Geliştirilen yöntem değişken komşuluk arama yöntemiyle karşılaştırıldığında hem çözüm kalitesinde kayıp olmadığı hem de hesaplama süresinde önemli kazançlar elde edildiği görülmüştür.

Literatürde p-medyan tesis yeri seçim problemi çözümünde karınca kolonisi algoritması kullanılarak yapılan çalışmalar Tablo 9’da gösterilmektedir.

Tablo 9: P-medyan Probleminde Karınca Kolonisi Algoritması ile Yapılan Çalışmalar

Yıl	Yazar	Çalışma İsmi	Yöntem
2014	Gabriel v.d.	Search Tree-Based Approach For The P-Median Problem Using The Ant Colony Optimization Algorithm	Karınca Kolonisi Algoritması
2010	Zohrehbandian ve Namini	Ant Colony Optimization Techniques For The Hamiltonian P-Median Problem	Karınca Kolonisi Algoritması
2006	Fathali v.d.	An Ant Colony Algorithm For The Pos/Neg Weighted P Median Problem	Karınca Kolonisi Algoritması
2004	Levanova ve Loresh	Algorithms Of Ant System And Simulated Annealing For The P-Median Problem	Karınca Kolonisi Algoritması Tavlama Benzetimi

Literatürde p-medyan tesis yeri seçim problem çözümünde parçacık sürü algoritması kullanılarak yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Tablo 10’da parçacık sürü algoritması yöntemiyle yapılan çalışmalar gösterilmiştir.

Tablo 10: P-medyan Probleminde PSO Algoritması ile Yapılan Çalışmalar

Yıl	Yazar	Çalışma İsmi	Yöntem
2014	Hassan	Particle Swarm Optimization Algorithm For The Continuous P-Median Location Problems	Parçacık Sürü Optimizasyonu
2014	Şevkli v.d.	A Novel Discrete Particle Swarm Optimization For P-Median Problem	Parçacık Sürü Optimizasyonu
2012	Özçakar ve Bastı	P-Medyan Kuruluş Yeri Seçim Probleminin Çözümünde Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması Yaklaşımı	Parçacık Sürü Optimizasyonu
2007	Brito v.d.	Particle Swarm Optimization For The Continuous P-Median Problem	Parçacık Sürü Optimizasyonu

Hassan v.d. (2014), sürekli p-medyan tesis yeri seçimi problemi çözümü için parçacık sürü algoritması geliştirmişlerdir. İlgili algoritmayı daha önce yapılan parçacık sürü algoritmasını geliştirerek oluşturmuşlardır. Önerilen algoritmanın basit ve uygulanmasının kolay olması test problemleri üzerinde denenerek gösterilmiştir.

Özçakar ve Bastı (2012), p-medyan tesis yeri probleminin çözümünde sürü zekası temelli yöntemlerden biri olan parçacık sürü algoritmasını çalışmışlardır. Algoritmanın performansı literatürdeki OR-Library ve Galvao test problemleri ile

test edilmiştir. Ayrıca algoritmanın sonuçları genetik algoritma, tavlama benzetimi algoritması ve tabu arama algoritması gibi meta sezgiseller ile kıyaslanmıştır.

Johrami ve Zarei (2015), yaptıkları çalışmada ateş böceği algoritmasındaki çeşitli başlatma stratejilerinin problemin optimal çözümüne ulaşılmasındaki rollerini araştırmışlardır. Ayrıca ateş böceği algoritması ve parçacık sürü algoritmalarının p-medyan problemindeki çözüm yöntemleri araştırılarak, algoritmaların verimlilikleri değerlendirilmiştir.

P-medyan tesis yeri seçim problemi çözümünde dağınık arama algoritması ile yapılan çalışmalar Tablo 11’de gösterilmiştir.

Tablo 11: P-medyan Probleminde Dağınık Arama Algoritması ile Yapılan Çalışmalar

Yıl	Yazar	Çalışma İsmi	Yöntem
2012	Alcaraz v.d.	Design And Analysis Of Hybrid Metaheuristics For The Reliability P-Median Problem	Dağınık Arama Algoritması Genetik Algoritma
2010	Xianrui Xu v.d.	An Improved Scatter Search Algorithm For Capacitated P-Median Problem	Dağınık Arama Algoritması
2002	Garcia-Lopez v.d.	Parallelization Of The Scatter Search For The P-Median Problem	Dağınık Arama Algoritması

Xua v.d. (2010), kapasite kısıtlı p-medyan tesis yeri problemi için geliştirilmiş bir dağınık arama algoritması önermişlerdir. Yapılan çalışmada başlangıç çözümleri talep noktalarını atama ve hizmet verecek tesislerin belirlenmesi yeni bir metod ile oluşturulur. Komşuluk çözümünün belirlenmesi için yerel bir arama algoritması çalıştırılır. Yeniden yol ilişkilendirme yöntemi ile de çözüm kalitesi ve komşuluk yapısı iyileştirilmektedir. Önerilen algoritmanın performansı deney data setleri kullanılarak test edilmiştir.

Garcia-Lopez v.d. (2002), yaptıkları çalışmada popülasyon tabanlı dağınık arama algoritmasının paralelleştirilmesi için çeşitli stratejiler geliştirilmiştir. Çözüm uzayının araştırma etkinliğinin arttırılabilmesi için üç çeşit paralelleştirme önerilmiş ve test problemleriyle algoritmanın verimliliği ölçülmüştür.

Literatürde ayrıca diferansiyel gelişim algoritması, bionomik algoritma ve armoni arama algoritması meta sezgisel yöntemler de kullanılmıştır. İlgili çalışmalar Tablo 12’de gösterilmektedir.

Krömer ve Platos (2014) p-medyan tesis yeri seçim probleminde diferansiyel gelişim algoritması önermişlerdir. Diferansiyel gelişim algoritması bir çok farklı alanda başarılı bir uygulama örnekleri bulunan gerçek parametrelili, stokastik evrimsel optimizasyon yöntemlerinden biridir. Aday çözümler gerçek değerli vektörler olarak ifade edilirler, çaprazlama ve mutasyon gibi operatörlerin de kullanıldığı yöntem popülasyon tabanlıdır. Algoritmanın performansı literatürdeki OR-Library problem seti örnekleri ile test edilmiştir.

Maniezzo v.d. (1998), yaptıkları çalışmada kapasite kısıtlı p-medyan problemi için evrimsel temelli bionomik (BA) bir meta sezgisel yöntem önermişlerdir. Bionomik algoritmalar, iyi yerel arama algoritmalarla beraber kullanıldıklarında kombinatoriyal türde problemlerin çözümünde etkili sonuçlar verebilmektedirler. İlgili çalışmada aynı zamanda verimli yerel arama yöntemi sunulmaktadır. Bionomik algoritma evrim temelli optimizasyon yöntemlerinden biridir. Genetik algoritma gibi evrim temelli algoritmalarından farklı yeni jenerasyonlarda ebeveyn aday çözümleri oluşturma biçimidir. Geliştirilen yöntem literatürdeki test problemleri ile kıyaslanarak, algoritmanın etkinliği değerlendirilmiştir.

Kaveh ve Esfahani (2012), koşullu p-medyan tesis yeri seçim problemi için hibrit armoni arama algoritması (HS) önermişlerdir. Halihazırda bazı hizmet verecek tesisler bulunduğu p-medyan problemi koşullu p-medyan problemi haline gelmektedir. Örneğin bir bölgedeki p-medyan tesisler bulunmak isteniyor bu

problem p-medyan problemidir. Eğer bölgede zaten q depoları var ve yeni depolar eklenmek isteniyorsa problem koşullu p-medyan problemine dönüşmektedir. Armoni arama algoritması müzikten esinlenerek geliştirilmiş bir yöntemdir. Araştırmacılar ilgili çalışmalarında armoni arama algoritmasını yerel açgözlü sezgisel ile birleştirerek açgözlü armoni algoritmasını oluşturarak literatürdeki uygulamalar ile karşılaştırmışlardır. Özellikle medyan sayısının yüksek olmadığı problemlerde algoritmanın etkin sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Otto ve Kokai (2008), p-medyan tesis yeri seçim problemine çözüm getirmek için ajan yönelimli serbest bırakılmış evrimsel bir yaklaşım kullanarak dağıtılmış evrimsel bir algoritma önermişlerdir. Evrimsel algoritma operatörlerinden olan yeniden üretme, mutasyon gibi operatörler de ilgili yöntemin geliştirilmesinde kullanılmıştır. Önerilen yöntemin sadece kapasitesiz p-medyan probleminde değil kablolu sensör ağları gibi alanlarda da kullanılması amaçlanmaktadır.

Tablo 12: P-medyan Probleminde DGA, BA, HS ve Evrimsel Optimizasyon Çalışmaları

Yıl	Yazar	Çalışma İsmi	Yöntem
2014	Kromer ve Platos	Solving The P-Median Problem By A Simple Differential Evolution	Diferansiyel Gelişim Algoritması
1998	Maniezzo v.d.	A Bionomic Approach To The Capacitated P-Median Problem	Bionomik Algoritma
2012	Kaveh ve Esfahani	Hybrid Harmony Search For Conditional P-Median Problems	Armoni Arama Algoritması
2008	Otto ve Kokai	Decentralized Evolutionary Optimization Approach To The P- Median Problem	Evrimsel Optimizasyon Algoritmaları

P-medyan tesis yeri seçim probleminde yapay sinir ağı ve açgözlü rastgele adaptif arama prosedürü yaklaşımları kullanarak yapılan çalışmalar Tablo 13 ile gösterilmektedir.

Tablo 13: P-medyan Probleminde Yapay Sinir Ağları ve GRASP Çalışmaları

Yıl	Yazar	Çalışma İsmi	Yöntem
2003	Dominguez v.d.	Neural Network Algorithms For The P-Median Problem	Yapay Sinir Ağları
2002	Dominguez	An Efficient Neural Network Algorithm For The P-Median Problem	Yapay Sinir Ağları
2016	Colmenar v.d.	Discrete Optimization: Advanced Greedy Randomized Adaptive Search Procedure For The Obnoxious P-Median Problem	Açgözlü Rastgele Adaptif Arama Prosedürü
2007	Osman ve Ahmadi	Guided Construction Search Metaheuristics For The Capacitated P-Median Problem With Single Source Constraint	Açgözlü Rastgele Adaptif Arama Prosedürü ve Yerel Arama

Dominguez v.d. (2003), yaptıkları çalışmada farklı tekniklere göre tekrarlayan üç yapay sinir ağı yöntemi geliştirmişlerdir. İlgili yöntemler, yinelemeli, kümelenmiş ve kademeli yapay sinir ağı medyan problemleri olarak isimlendirilerek, tekniklerin etkinliliği ve verimliliği ölçülmüştür.

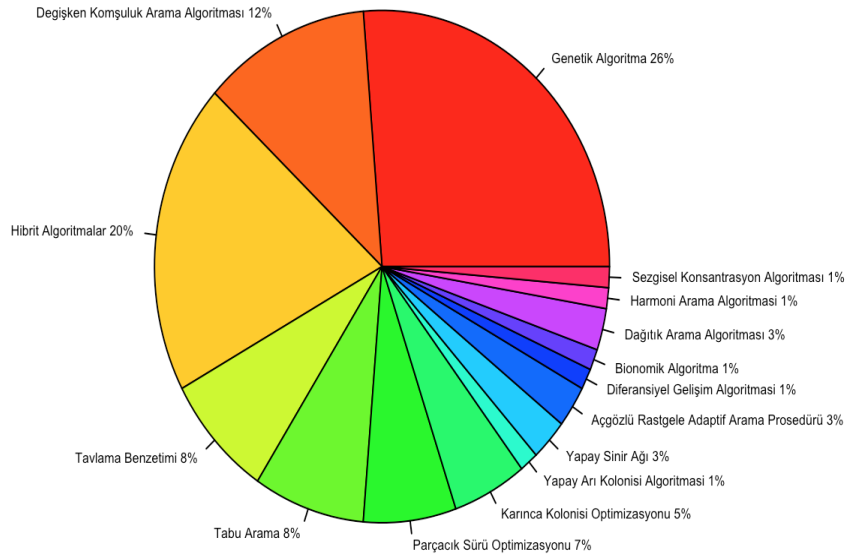
Dominguez ve Perez (2002), p-medyan problemi için verimli yapay sinir ağı algoritması önermişlerdir. Algoritmanın değişik problem boyutlarında verimliliği geleneksel sezgisel yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Küçük boyutlu problemlerde

algoritmanın etkinliğinin yüksek olduğu belirtilirken büyük boyutlu problemlerde de iyi sonuçlara ulaşıldığı belirtilmiştir.

Colmenar v.d. (2016) aç gözlü rastgele adaptif arama prosedürü yaklaşımını kullanarak p-medyan probleminde çalışmışlardır. Önerilen yönteme yerel arama prosedürü de eklenerek yöntemin verimliliği arttırılmaya çalışılmış, literatürdeki test problemleri ile kıyaslanmıştır.

Bölüm 1.4'deki literatür araştırmasında yer verilen meta sezgisel çalışmaların kullanılma oranları Şekil 2'de gösterilmiştir. Genetik algoritma (%26) ve hibrit yöntemler (%20) diğer yaklaşımlara göre daha fazla oranda çalışılmıştır. Değişken komşuluk arama (%12), tavlama benzetimi (%8), tabu arama algoritması (%8) ve parçacık sürü algoritması da (%7) diğer yöntemlere oranla kullanım oranlarının fazla olduğu görülmektedir.

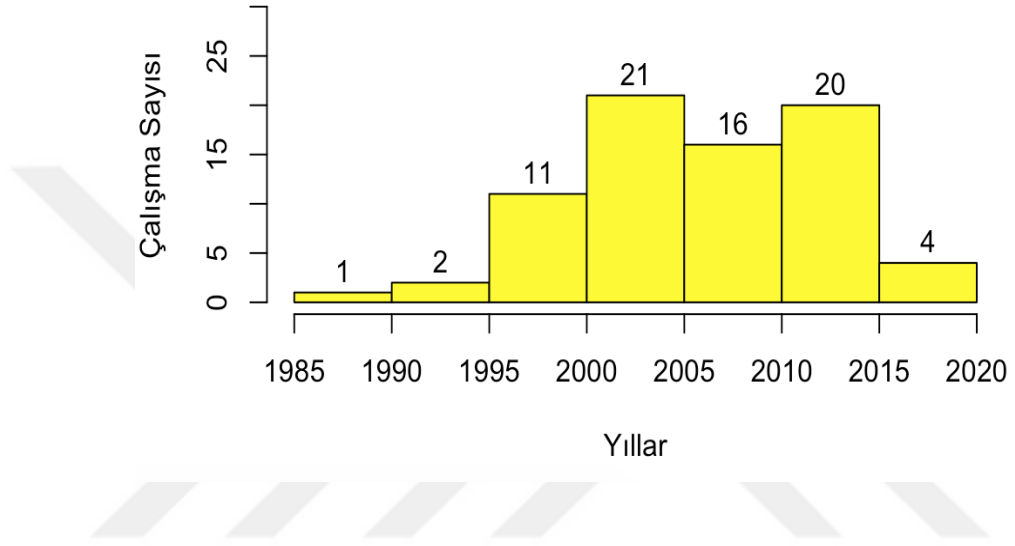
Şekil 2: Literatürdeki Meta Sezgisel Yöntemlerin Oransal Dağılımları



Şekil 3'te p-medyan tesis yeri seçim problemindeki meta sezgisel çalışmaların yıllara göre grafiği bulunmaktadır. Çalışmaların önemli miktarının 2000-2015 yılları

arasında yapıldığı görülmektedir. Meta sezgisel algoritmalar büyük boyutlu, karmaşık problemlerin çözümünde tercih edildiklerinden, bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle meta sezgisel yöntemlerin kullanımının arttığı söylenebilir.

Şekil 3: Meta Sezgisel Yöntemlerin Yıllara Göre Dağılımları



İKİNCİ BÖLÜM

META SEZGİSEL ALGORİTMALAR

2.1. Meta Sezgisel Algoritmalar

Meta sezgisel algoritmalar, klasik çözüm yöntemleriyle çözilemeyen NP Zor problem türlerinde optimal sonuçların makul kabul edilebilecek sürelerde bulunabilmesi amacıyla geliştirilmişlerdir. Meta kelimesi ‘üst’ anlamına gelirken, dilimize ‘sezgisel’ kelimesi olarak geçen ‘heuristic’ kelimesinin orjinal kökeni ise ‘heuriskein’ kelimesinden gelmektedir. ‘Heuriskein’ kelimesi de keşfetmek, bulmak manasındadır (Reeves, 1995).

Meta sezgisel algoritmalar, sezgisel yöntemlerin aksine bir problem özelinde şekillendirilmemiş, üst seviye arama yapan, esnek, içerisinde bir çok yerel veya gelişmiş arama yöntemi barındıran optimizasyon tekniklerindendirler. Meta sezgisel algoritmalar, stokastik yöntemlerdendir ayrıca kombinatorial yani probleme ait değişkenlerin kesikli değerler alabildiği problem tiplerinin çözülmesinde yaygın olarak kullanılırlar. Her meta sezgisel algoritmanın esinlendiği yapıya göre geliştirilen temel parametreleri bulunmaktadır. Meta sezgisel algoritmaların çalışılan problemler üzerinde optimal sonuçlar verebilmesi, algoritmanın temel parametrelerinin ilgili problem özelinde uygun bir şekilde uyarlanması ile gerçekleşmektedir (Blum ve Roli, 2003: 271).

Genetik algoritmalar endüstri, finans, tıp, mühendislik, pazarlama gibi bir çok alanda kullanılmaktadır. Parametre ve değişken sayısının fazla olduğu büyük ve kompleks problemlerin çözülebilmesi amacıyla her geçen gün araştırmacılar literatüre yeni meta sezgisel yöntemler eklemeye devam etmektedirler.

2.2. Meta Sezgisel Algoritmaların Sınıflandırılması

Meta sezgisel algoritmalar temel alınan yapıya göre çeşitli biçimlerde sınıflandırılmışlardır. Genel olarak meta sezgisel yöntemler biyoloji tabanlı, sosyal tabanlı, müzik tabanlı, fizik tabanlı, kimya tabanlı, sürü tabanlı, spor tabanlı algoritmalar olarak sınıflandırılabilir. Ayrıca Bölüm 1.4 ile bahsedildiği gibi, araştırmacılar farklı yöntemleri bir arada kullanılarak hibrit algoritmalar da oluşturmuşlardır.

Meta sezgisel algoritmalar sadece ilham alındıkları kaynağa göre değil, arama yaptıkları uzay baz alınarak da tek noktalı ve çok noktalı arama yapan yöntemler olarak ayrılabilirler. Amaç fonksiyonlarına göre sabit ve değişken amaç fonksiyonlu olarak, komşuluk yapılarına göre tek ve değişken komşulu, hafıza yapılarına göre de hafızalı ve hafızasız olarak sınıflandırılabilirler (Akyol ve Alataş, 2012: 38).

Araştırmacılar çalıştıkları problemin optimum sonucunu bulabilmeleri için problemi tüm yönleriyle çok iyi analiz etmelidirler. Hangi yöntemin hangi arama metodu çalışılacağı hangi amaç fonksiyonunu ve komşuluk yapısını kullanacağına dair kararlar ve probleme özgü parametreler uygun değerlerde belirlenmelidir. Rassal çözüm ile arama yapmaya başlayan belli bir sayıda tekrar ile çözüm uzayında optimal sonuca yakın sonuçlar çıkaran yöntemlerin başarılı sonuçlar verebilmesi için tüm parametrelerin ve kodlama yapısının problemin temel özellikleri dikkate alınarak belirlenmesi gerekmektedir.

Literatürde çok sayıda doğadan esinlenerek geliştirilen meta sezgisel yöntem bulunmaktadır. Doğadan esinlenen algoritmalar genetik algoritma, karınca kolonisi algoritması, yapay arı kolonisi algoritması ve parçacık sürü algoritması örnek olarak gösterilebilir. Doğadan ilham almayanlara ise tabu araması, yinelenen yerel arama algoritması gibi yöntemler örnek olarak verilebilir.

Herhangi bir meta sezgisel algoritma arama uzayında çok noktalı arama yaparsa popülasyon tabanlı olarak sınıflandırılabilir. Genetik algoritma, parçacık sürü algoritması, diferansiyel gelişim algoritması, yapay arı kolonisi algoritması popülasyon temelli algoritmalarla örnek verilebilir. Tek noktalı arama yapan yani çözüm uzayında belli yörüngeyi takip ederek hareket eden algoritmalar için de tabu arama algoritması, değişken komşuluk arama, tavlama benzetimi yöntemleri örnek olarak gösterilebilir (Blum ve Roli, 2003: 273).

2.3. Genetik Algoritma

Genetik algoritma, doğadan esinlenen, rastlantısal, evrim sürecinin temel yapıları baz alınarak oluşturulmuş, literatürde kendisine oldukça önemli yer bulan meta sezgisel yöntemlerden birisidir. 1975 yılında John Holland ve öğrencileri tarafından geliştirilmeye başlanmış, günümüze kadar bir çok araştırmacı tarafından da ele alınarak geliştirilmeye devam edilmiştir (Satman, 2016: 1).

Genetik algoritmalar evrimsel algoritma yöntemlerindendir. Evrimsel algoritmalar, parametrik yapıda ve çok yönlü rassal arama yöntemleri olduğundan geniş aralıkta bir çok gerçek hayat problemine uygulanabilen genel yöntemlerdir (Taşkın ve Emel, 2009: 3).

Genetik algoritma, çalışma yapılan problemin gerçek parametrelerini değil algoritmanın yapısına göre kodlanmış versiyonlarını kullanarak çözüm uzayında arama yapar. Esnek yapısı ile genetik algoritma optimizasyon, makine öğrenmesi, ekonomi, mühendislik, tıp, finans, pazarlama, üretim gibi bir çok farklı uygulama alanında kendine geniş yer bulabilmektedir (Mitchell, 1995: 6).

2.3.1. Genetik Algoritmanın Genel Yapısı

Genetik algoritma, tabiatta yaşama alanına en iyi uyum sağlayan canlıların soyunu devam ettirebilmesi prensibine dayanan evrim sürecinden esinlenilerek geliştirilen optimizasyon yöntemidir. Evrim terminolojisinde yer alan; popülasyon, gen,

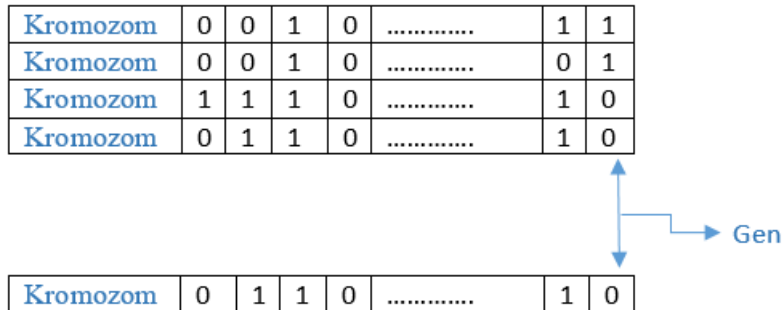
kromozom, genotip, fenotip, doğal seleksiyon, çaprazlama, mutasyon gibi kavramlar genetik algoritmaların yapısının oluşturulmasında önemli yer tutmaktadırlar.

Genetik algoritmalarda, her popülasyon belirli sayıda bireyden (aday çözüm) oluşmaktadır. İlgili bireylere kromozom ismi verilmektedir. Her kromozomda gen adı verilen tek bir özelliği taşıyan birim bulunmaktadır. Kromozomlar problemin olası çözümüne dair kodlanmış bilgiyi içermektedirler. Kromozomların arama uzayını en doğru biçimde gösterebilmesi algoritmanın çözüm kalitesini yüksek oranda etkilediğinden kodlama yapısının problemin türüne uygun seçilmesi gerekmektedir (El-Sawy, 2014: 252).

Her aday çözümün amaç (uyum) fonksiyonunu ne kadar gerçekleştirdiğini gösteren bir uyum değeri bulunmaktadır. Uyum değerini ölçen ilişkiye amaç fonksiyonu ismi verilmektedir. Genel olarak genetik algoritmanın çözüm süreci, rassal olarak geliştirilmiş başlangıç popülasyonuna çaprazlama ve mutasyon gibi genetik algoritma operatörlerinin uygulanmasıdır. Problemin yapısına göre seçilen operatörler yeni çözümlerin nesiller boyu iyileştirilmesi sağlayarak amaç fonksiyonunu gerçekleştiren optimum çözüme veya optimuma yakın çözüme ulaşılmasını amaçlamaktadır (Suresh v.d., 2002: 677).

Örnek bir kromozom gen, popülasyon yapısı Şekil 4 ile gösterilmektedir.

Şekil 4: Popülasyon, Kromozom, Gen Yapısı



Genetik algoritmaların çalışma adımları aşağıdaki gibidir (Karaboğa, 2004: 79):

Adım 1. Başlangıç popülasyonu oluştur

Adım 2. Uygunluk değerlerini popülasyondaki her çözüm için hesapla

Adım 3. Durma değeri sağlanıyorsa aramayı durdur.

Sağlanmıyorsa, aşağıdaki adımları uygula

3.1. Doğal seleksiyon işlemini gerçekleştir (Yeni popülasyonda uygunluk değerleri daha iyi olan çözümler temsil edilir.)

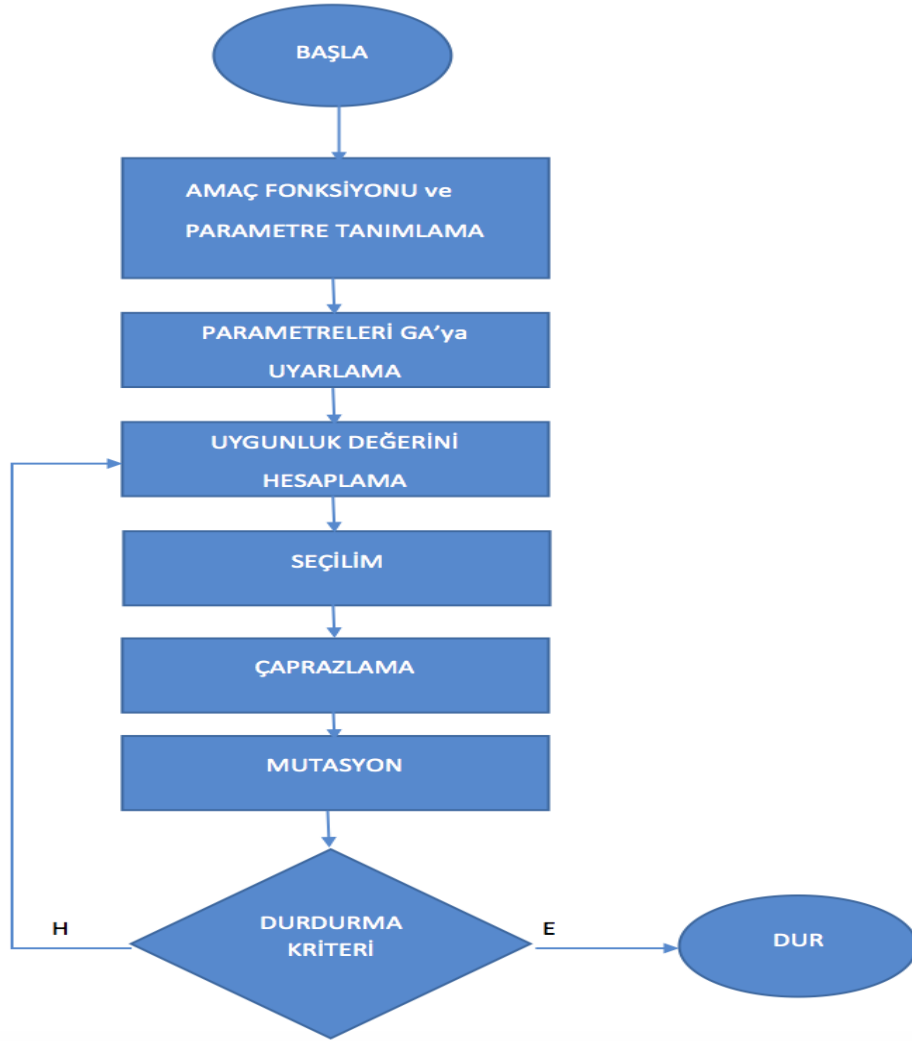
3.2. Çaprazlama işlemini yap (Var olan iki çözümden yeni iki yapı üretilir.)

3.3. Mutasyon işlemini yap (Çözümlerde rastgele değişim yapılır.)

Adım 4. Adım 2'ye git.

Şekil 5 ile basit bir genetik algorithmaya akış diyagramı gösterilmiştir.

Şekil 5: Genetik Algoritma Akış Diyagramı



2.3.2. Kodlama

Kodlama, problem ilişkin değerlerin genetik algoritmada kullanılabilecek şekilde çevrilme işlemidir. Genetik algoritma bir çok problem tipine uyarlanabildiği için kodlamanın da probleme özgü yapılması gerekmektedir. Bu yüzden genetik algoritmalarda kullanılan farklı kodlama türleri de mevcuttur (Whitley, 1994: 2).

Genetik algoritmada en çok kullanılan kodlama biçimi ikili (binary) kodlamadır. Problemin yapısına göre muhtemel çözümler, kromozomlarda ikili gösterimde 0 ve 1 değerleri kullanılarak kodlanırlar. Çözüm değişkenleri tamsayı değişkenler ise, taban aritmetiği ile ikili tabandan oluşturulmuş gen dizisi onluk tabana çevrilebilir. Aday çözümün alması muhtemel tüm değerler kodlama sisteminde gösterilebilir olmalıdır. Bu yüzden, aday çözümlerin gösterim kodlaması yöntemi seçilirken ilgili hususlara dikkat etmelidir.

İkili gösterimin çözüm değerleri hassasiyet içeren büyük problemlerin çözümünde bir dezavantajı bulunmaktadır. Örneğin, çözüm değerleri gerçel sayı içeriyorsa ve virgülden sonra gelecek rakam sayısı yüksekse kromozomda bulunan gen sayısının çok yüksek olması aynı zamanda arama uzayının çok daha büyük olması anlamına gelmektedir. Bu dezavantajın azaltılması için gerçek değerlerle kodlanmış genetik operatörlerin kullanılması algoritmanın uygulanabilirliğini arttıracaktır (Karaboğa, 2004: 89).

Diğer kodlama türlerinden olan sıralı (permütasyon) kodlama biçiminde, gezgin satıcı probleminde olduğu gibi aday çözümlerin uyum değeri, kromozomdaki genlerin sıralışına bağlıdır. Değer kodlamasında ise problemin türüne göre aday çözümler tamsayı olabileceği gibi, reel sayı ya da karakter değerleri alabilir (Taşkın ve Emel, 2009: 34). Şekil 6'da genetik algoritma kodlama biçimleri gösterilmiştir.

Şekil 6: Genetik Algoritma Kodlama Türleri



2.3.3. Uyum Fonksiyonu

Genetik algoritmelerde rassal olarak oluşturulmuş, kromozom dizeleri (aday çözüm) topluluğuna popülasyon adı verilmektedir. Tüm kromozomların amaç fonksiyonunu ile bağlantılı uyum değeri bulunmaktadır. İlgili uyum değeri, aday çözümlerin bir sonraki kuşakta hayatta kalma özelliğiyle orantılıdır. Bir kromozomun uyum değeri ne kadar fazla ise bir sonraki kuşakta hayatta kalma ihtimali de o kadar fazladır (Dep, 2012: 5).

2.3.4. Seçilim

Genetik algoritmelerde seçilim, aday çözümleri oluşturan popülasyondaki kromozomların uyum fonksiyonu değerlerine göre değerlendirildiği ve uyum değeri yüksek kromozomların bir sonraki jenerasyonda kullanıldığı, hayatta kalma ihtimali daha düşük kromozomların jenerasyonlar boyunca azaltıldığı süreci işleten operatördür. Seçilim işlemiyle bir sonraki jenerasyonda hangi ebeveyn birimlerin çoğalması gerektiğine karar verilmektedir (Bielli v.d., 2002: 21).

Genetik algoritmada birden fazla seçilim operatörü türü bulunmaktadır. Rulet tekeri seçilimi (roulette wheel), sabit durum (steady state), turnuva (tournament) ve

sıralama (permütasyon) yöntemleri ilgili seçim operatörlerine örnek olarak gösterilebilir.

2.3.5. Çaprazlama

Çaprazlama operatörü, genetik algoritmalarda bir sonraki jenerasyonun bir önceki jenerasyonun sahip olduğu özelliklerden daha iyi özelliklere sahip olabilmesi için kullanılmaktadır. Çaprazlama operatörünün, çözüm uzayını araştırmak ve uyum değeri daha fazla olan ebeveyn kromozomların iyi niteliklerini bir sonraki popülasyonda birleştirerek muhafaza etmek gibi önemli görevleri vardır.

Çaprazlama işleminde yeni popülasyondan rastgele olarak iki kromozom seçilmekte, belirli bir olasılık değeri gözetilerek, karşılıklı olarak birleştirilmektedir. Seçim işleminde kromozomlar üzerinde çaprazlama işlemi yapıp yapılamayacağına 0 ve 1 arasında rastgele bir sayı belirlenerek karar verilmektedir. İlgili problemin türüne göre seçilebilecek, tek noktalı ve iki noktalı çaprazlama gibi çaprazlama operatörleri bulunmaktadır (Satman, 2016: 58).

Tek nokta çaprazlama işleminde, rastgele seçilen iki ebeveyn kromozom, yine 0 ve 1 sayıları arasından rastgele seçilen bir çaprazlama noktasından kesilir. Yeni yavru bireyler bu iki ebeveyn yapının kesilen yerlerinin yer değiştirmesi ile oluşturulur. İki noktalı çaprazlama işleminde ise, iki çaprazlama noktası rastgele belirlenir ve ilgili noktalar arasındaki birimler yer değiştirirler. Çaprazlama nokta sayıları artırılarak çok nokta çaprazlama işlemleri de yapılabilir. (Jang, Sun, Mizutani, 1997: 176)

Şekil 7’de tek noktalı çaprazlama operatörü, Şekil 8’de iki noktalı çaprazlama operatörleri örnek gösterimlerine yer verilmiştir.

Şekil 7: Tek Nokta Çaprazlama

Ebeveyn Kromozom	1	1	0	1	0	1	0	1
Ebeveyn Kromozom	0	1	0	1	1	1	0	0
Çaprazlama Noktası (4)								
Yavru Kromozom	1	1	0	1	1	1	0	0
Yavru Kromozom	0	1	0	1	0	1	0	1

Şekil 8: İki Noktalı Çaprazlama

Ebeveyn Kromozom	1	1	0	1	0	1	0	1
Ebeveyn Kromozom	0	1	0	1	1	1	0	0
Çaprazlama Noktası (4 ve 6)								
Yavru Kromozom	1	1	0	1	1	1	0	1
Yavru Kromozom	0	1	0	1	0	1	0	0

2.3.6. Mutasyon

Genetik algoritmalarda mutasyon operatörü de algoritmanın performansı etkileyen en önemli operatörlerden bir tanesidir. Mutasyon operatöründe bir olasılık değeri belirlenir. İlgili değere göre birimin değerinin değiştirilip değiştirilemeyeceğine karar verilir. Eğer kromozom ikili kodlanmış ise mutasyon işlemine uğrayacak birimin değeri 0 ise 1'e, 1 ise 0'a çevrilmektedir.

Mutasyon operatörünün en önemli amaçlarından biri, popülasyonda genetik çeşitliliği sağlayarak, çözümün optimum çözüm bölgelerine yaklaşabilmesidir. Mutasyon operatörünün kullanılmasıyla algoritma yerel optimum değerlerinden uzaklaşma da gösterebilir. Mutasyon oranının makul seviyelerde tutulması da aday çözümlerin daha kötüye gitme olasılığını azaltacaktır. Problemin türüne göre

algoritmada uygulanması gereken mutasyon operatörünün çeşidinin de değişmesi gerekebilir (Satman, 2016: 61).

Şekil 9’da mutasyon operatörü örneği gösterilmiştir.

Şekil 9: Mutasyon Operatörü

Kromozom	1	1	0	1	0	1	0	1
	Mutasyon Operatörü							
Yeni Kromozom	0	1	1	1	1	1	1	0

2.3.7. Elitizm

Genetik algoritmada jenerasyonlar (nesiller) boyunca uyum değeri en yüksek aday bireyler seçilim, çaprazlama, mutasyon gibi operatörler vasıtasıyla bir sonraki nesile aktarılsa da algoritmanın doğası gereği en iyi çözümü veren bireylerin sonraki jenerasyonlarda kaybolma ihtimali bulunmaktadır. Elitizm operatörü ile herhangi bir t jenerasyonunda en iyi uyum değeri olan a aday çözümünün sonraki jenerasyonlarda yaşaması garanti altına alınmaktadır (Ermutaf, 2019: 32).

2.3.8. Durdurma Kriteri

Genetik algoritmanın çalışmasının durdurulması farklı ölçütlere göre belirlenebilmektedir. Daha önce saptanan iterasyon sayısına ulaşılması, istenen optimal çözüme ulaşılması veya sonucun belli bir çözüm değerine yakınsaması genetik algoritma sonlandırma kriterleri arasında gösterilebilir (Yiğit ve Aydemir, 2018: 24).

Genetik algoritma belli bir çözüm değerine yakınsadığında ilgili jenerasyonu oluşturan aday çözümler birbirine benzemektedir. İterasyon sayısının belli sayıda tutulması algoritmanın süresiz olarak çalışmasını engelleyerek belli iterasyon sayısında algoritmanın çalışmasını durdurmaktadır. İterasyon sayısını da araştırmacılar problem özgü özellikleri analiz ederek belirlemektedirler.

2.4. Tavlama Benzetimi Algoritması

Tavlama benzetimi algoritması da literatürde kendisine önemli yer verilen yaklaşımlardan bir tanesidir. Genetik algoritmadaki gibi popülasyondan oluşan aday çözümler yerine arama uzayında tek noktadan arama yapar. Stokastik ve kombinatoriyal optimizasyon problemi türleri arasındadır. Temel yapısı, metallerin yüksek bir sıcaklıktan yavaş yavaş soğutulularak belli bir soğuma noktasına gelineceye kadar şekillendirilebilmesi sürecine benzetilerek Kirkpatrick tarafından literatüre katılmıştır (Kirkpatrick v.d., 1983: 671).

Tavlama benzetimi algoritmasının diğer stokastik yöntemlere göre en önemli avantajlarından biri yerel minimumdan kurtulabilmesidir. Tavlama benzetimi algoritması sadece amaç fonksiyonunu iyileştiren aday çözümler üzerinden değil amaç fonksiyonunu kötüleştiren bazı aday çözümleri de belli bir olasılıkla kabul eden raslantısal arama stratejisini izlemektedir. İlgili stratejide amaç fonksiyonun çözüm değerinde kötüleşme var ise belli bir kabul olasılığına göre bu aday çözümden devam edilmekte veya bir önceki duruma geri dönülmektedir. Bu bağlamda tavlama benzetimi algoritmasının yerel komşu arama tekniği çalışma mantığına yakın olduğu söylenebilir (Cura, 2008: 43).

2.4.1 Tavlama Benzetimi Algoritması Akış Şeması

Tavlama benzetimi algoritmasına has bazı temel parametreler bulunmaktadır. Sıcaklık parametresi, soğutma fonksiyonu, sıcaklık değiştirme kuralı, sıcaklık seviyelerinde yapılacak iterasyon miktarı, algoritmanın durması için durma kriteri algoritmanın çalışmasında önemli yere sahiptirler.

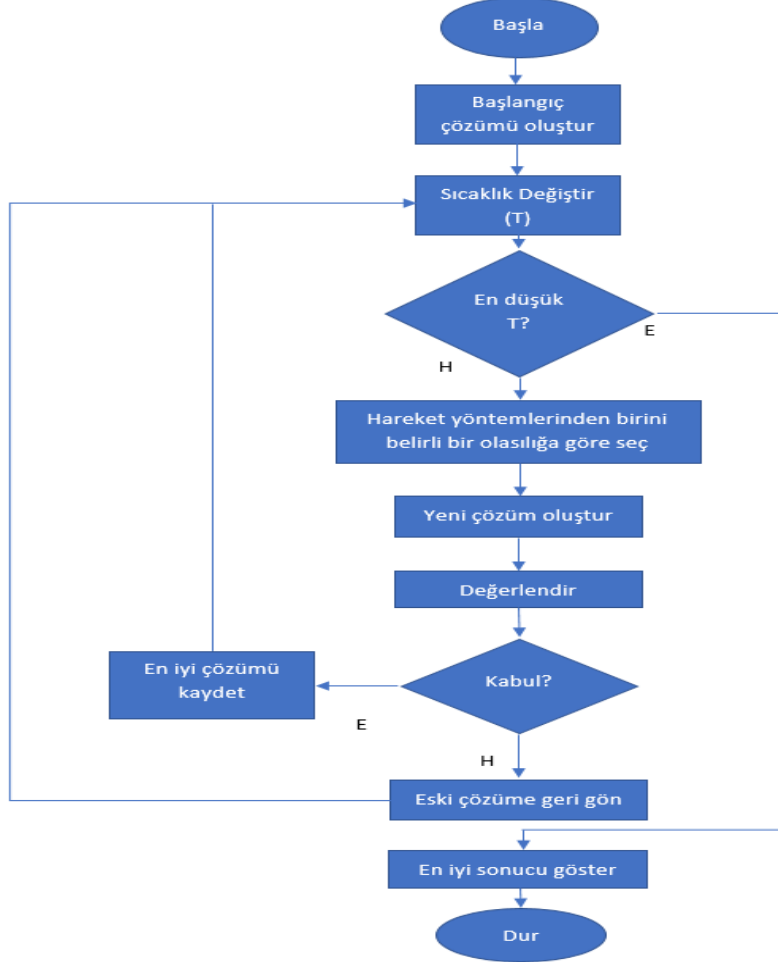
Tavlama benzetimi algoritmasının genel hatlarıyla temel adımları aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Schlünz ve Vuuren, 2013: 13).

- Rastgele olarak başlangıç çözümü üretilir. Sıcaklık değeri T için başlangıç değeri ve durdurma kriterleri belirlenir.

- Problemin türüne uygun komşu arama yöntemi ile komşu çözüm üretilerek, var olan çözüm ile arasındaki fark bulunur. (Δ değeri aradaki farkı temsil etmektedir.)
- Eğer ilgili fark amaç fonksiyonunu daha iyi karşılıyor ise komşu çözüm yeni çözüm kabul edilir. Karşılamıyor ise $e^{\frac{-\Delta}{T}}$ değeri bulununur, 0 ve 1 arasında rastgele bir sayı belirlenerek eğer $e^{\frac{-\Delta}{T}}$ değeri ilgili rastgele sayıdan büyükse komşu hareket kabul edilir, değilse kabul edilmez.
- T sıcaklığı, her iterasyon işleminde probleme göre belirlenen kurallara göre düşürülür.
- Durma kriteri sağlanıyorsa algoritma çalışması sonlandırılır. Sağlanmıyorsa komşu çözümler üretilerek belirlenen kurallar çerçevesinde, durma kriteri sağlanana kadar uyum değerleri kontrol edilmeye devam edilir.

Tavlama Benzetimi algoritmasının akış diyagramı Şekil 10 ile gösterilmektedir.

Şekil 10: Tavlama Benzetimi Algoritması Akış Diyagramı (Sheng, 2012)



2.5. Tabu Arama Algoritması

Tabu arama algoritması, bir problemin global optimum değerine ulaşılabilmesi için yerel optimum değerlerden hafıza ve tabu yapısı sistemi kullanılarak uzaklaşılması prensibine dayalı meta sezgisel yöntemlerden bir tanesidir.

Tabu arama algoritması için tabu kavramı, hafıza yapısı ve stratejileri önemli yer tutar. Tabu listesinin önemi, tabu olarak belirlenmiş öğelerin algoritmanın çözüm uzayını araması sırasında tekrar aranmasını engelleyerek, yerel optimum bölgelerinden uzaklaşılmasını sağlamasıdır.

Tabu algoritmasının genel adımları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Glover, 1989: 192):

- Başlangıç çözümü belirlenir. İlgili çözüm mevcut ve en iyi çözüm olarak hafızaya alınır.
- Problemin özelliklerine göre belirlenen fonksiyon ile komşu çözümler üretilir. İlgili çözümler arasından en iyi seçilir. (İlgili en iyi çözüm, tabu listesinde olmayanların en iyisidir.)
- Başlangıçtaki mevcut çözüm ile en iyi çözüm yer değiştirerek, tabu listesi yenilenir.
- Sonlandırma kriteri sağlanıncaya kadar komşu çözüm üretme ve tabu listesi yenileme adımları devam eder.

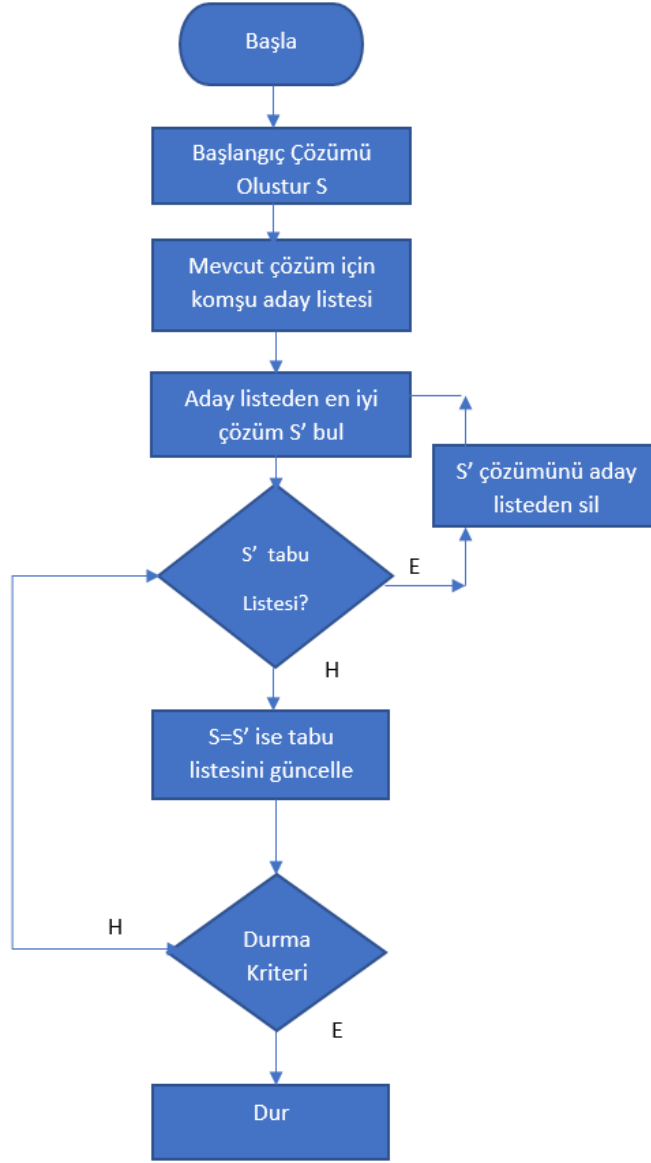
Tabu arama algoritmalarında kullanılan hafıza yapısının esnek olması algoritmanın önemli yapıtaşlarından bir tanesidir. Tabu algoritması daha iyi çözümü bulabilmek için arama sırasında ardışık hareketler yapar. Tabu yapısı ile yerel optimal bölgelerden çıkabilmek ve arama uzayındaki diğer noktalarda da arama yapabilmek için tabu arama tekniklerinin problemin yapısına uygun belirlenmesi gerekmektedir.

Yasaklama stratejisi, tabu listesine girip giremeyecek elemanı belirler. Serbest bırakma stratejisi de tabu listesinden hangi elemanın ne zaman çıkabileceğini kontrol etmektedir. Kısa dönem hafıza yapısının en önemli özelliklerinden biri algoritmada yakın geçmişte yapılan hareketleri tabu olarak algılayarak aynı hareketlerin yapılmasının önüne geçmektir (Karaboğa, 2004: 53).

2.5.1. Tabu Arama Algoritması Akış Şeması

Tabu arama algoritmasının akış diyagramı Şekil 11’de gösterilmektedir.

Şekil 11: Tabu Arama Algoritması Akış Diyagramı (Hao v.d, 2017: 486)



2.6. Karınca Kolonisi Algoritması

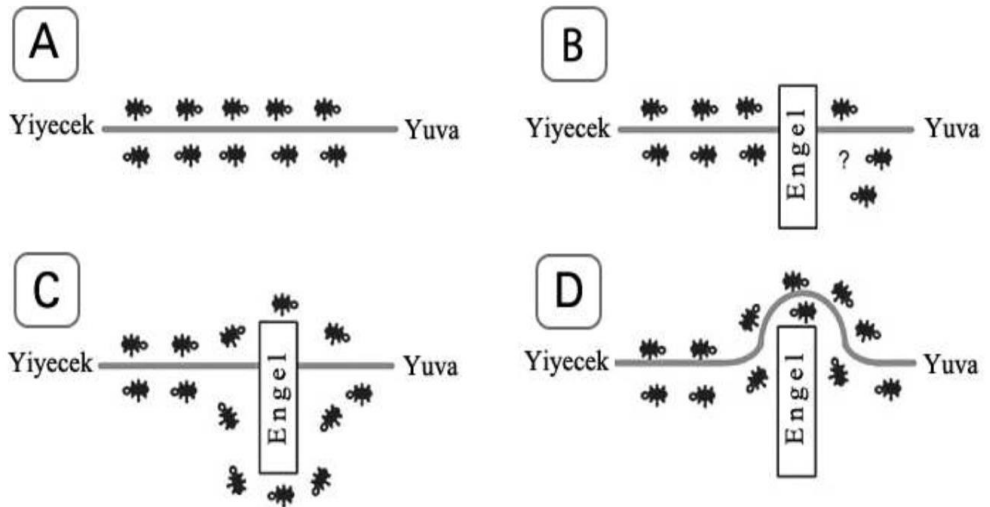
Meta sezgisel algoritmaların önemli bir bölümünde tabiattan, tabiattaki canlıların çevrelerine uyum sağlamak için gösterdiği davranışlardan esinlenilmiştir. Karınca kolonisi algoritması da karıncalar gibi sosyal becerileri yüksek canlıların hayatta kalma, yol bulabilme becerileri gibi davranışları temel alınarak geliştirilen meta sezgisel yöntemlerden bir tanesidir (Dorigo ve Blum, 2005: 247).

Doğada koloni halinde yaşamlarını sürdüren karıncaların yuvaları ile yiyecek kaynakları arasındaki en kısa mesafeyi belirleyebilmek, değişen çevresel koşullara adapte olabilmek gibi önemli özellikleri bulunmaktadır. Karıncalar yuvaları ve yiyecek kaynakları arasındaki yolda hareket ederken feromon ismi verilen bir madde salgılamaktadırlar. Feromonun yüksek miktarda olduğu yollar daha çok karıncanın geçtiği, tercih edilen güzergahlardır. Doğadaki gibi algoritmada da feromon maddesinin buharlaşması gibi önemli parametreler bulunmaktadır (Perretto ve Lopez, 2005: 585).

Karıncaların yüksek oranda tercih ettiği yollar feromon bakımından zengindirler. Eğer ilgili yolda herhangi bir engel meydana gelir de karıncaların yiyecek kaynağına ulaşımı engellenirse, tekrar ulaşımın sağlanabilmesi için karıncaların feromonları takip etmek ya da rastgele farklı bir hareket yapmak gibi eğilimleri bulunmaktadır. Çünkü sadece feromonların takip edilmesi, daha kısa yolların bulunamaması gibi algoritmanın da sonucunu önemli şekilde belirleyebilecek etkilere sahip olabilmektedir (Dorigo ve Blum, 2005: 247).

Şekil 12’de karıncaların herhangibir engel ile karşılaştıklarındaki davranış biçimleri gösterilmektedir.

Şekil 12: Karıncaların Engeller Önündeki Davranışları (Perretto ve Lopez, 2005: 583)



2.6.1. Karınca Kolonisi Algoritması Temel Yapısı

Karınca kolonisi algoritması, ayrık optimizasyon problemlerinde iyi sonuçlar verebilen yöntemlerden bir tanesidir.

Karınca kolonisi algoritmasının temel yapısı aşağıdaki gibi belirtilebilir (Dorigo ve Stützle, 2019: 318):

- Yapılacak çalışmalar planlanır
- Karınca çözümleri oluşturulur
- Feromon değerleri güncellenir
- Araştırmacının, problemin türüne bağlı olarak belirlediği ek çalışmalar yapılır.
- İlgili çalışmalar bitirilir.

Karınca kolonisi algoritmasında, aday karınca çözümün problemin amaç fonksiyonuna uygunluğu hesaplanır. Bu değer, feromon değerlerinin tutulmasında ve güncellemesinde tutulacak feromon miktarını içerdiği için önemlidir. Feromon güncelleme işleminde buharlaşma parametresi de karıncaların arama uzayında farklı alanları taraması ve çeşitliliğin sağlanması açısından önemlidir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

GENETİK ALGORİTMA İLE P-MEDYAN TESİS YERİ

PROBLEMİ UYGULAMASI

3.1. P-medyan Problemi Genetik Algoritma Modeli

Tez çalışmasında p-medyan problemini çözmek için meta sezgisel algoritmalarından biri olan genetik algoritma yöntemi çalışılmıştır. İlgili yöntem, literatürde OR-Library test problemleri olarak bilinen Beasley (1990) tarafından oluşturulan problem setindeki test problemlerine uygulanmıştır. Oluşturulan Genetik algoritmaya göre öncelikle çalışılacak problem ait veriler kullanılarak mesafe (maliyet) matrisi oluşturulur. Kodlama biçimi ikili kodlama seçilerek, amaç fonksiyonuna uygun aday çözüm kodlama yapısı oluşturulmuştur. Seçilim, çaprazlama, mutasyon, elitizm, durdurma kriteri gibi parametreler çalışılan problemin boyutuna göre belirlenmektedir. Algoritma rastgele bir başlangıç popülasyonu ile çalışmaya başlamaktadır. Popülasyondaki her aday çözüm için uygunluk değeri belirlenir, uygunluk değerlerine istinaden seçilim, elitizm, çaprazlama ve mutasyon operatörleri ile yeni yavru aday çözümler oluşturulmaktadır. İterasyonlar boyunca uyum değerleri daha yüksek popülasyon elde edilerek, durdurma kriteri koşulu yerine geldiğinde ise algoritma sonlanmaktadır. Tezin çalışmasının bundan sonraki bölümünde uygulaması yapılan test problemleri ve genetik algoritma parametreleri ile ilgili detaylı bilgi verilecektir.

3.1.1. Mesafe (Maliyet) Matrisi Gösterimi

P-medyan probleminin çözümü için öncelikle problemin gösterim şeklinin belirlenmesi gerekmektedir. Tez çalışmasında, matris biçimi gösterim problemin şebeke yapısına uygun olmasından dolayı seçilmiştir. P-medyan seçim yeri

probleminin genetik algoritma ile çözüm uygulaması için literatürde kullanımı yaygın olan OR-Library p-medyan problem seti tercih edilmiştir. Beasley tarafından literature katılan ve optimum çözümleri verilen problem seti çeşitli boyutlarda 40 adet problemden oluşmaktadır (Beasley, 1990).

<http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/orlib/pmedinfo.html> kaynağında her problemin mesafe (maliyet) matrisinin oluşturulmasında kullanılacak veriler metin dosyası halinde bulunmaktadır. İlgili veri dosyasının formatı; düğüm (köşe) sayısı, kenar (ayrıt) sayısı, medyan sayısı, her kenar için uç köşeleri ve kenar maliyetlerinin verisidir.

Veri dosyasından mesafe matrisini oluşturabilmek için Floyd-Warshall algoritması kullanılmıştır. Floyd-Warshall algoritması, graflarda başlangıç düğümünden bitiş düğümüne kadar en kısa mesafeyi bulan yöntemlerden bir tanesidir. Floyd-Warshall algoritması graftaki düğümlerin komşuluk listesini kullanmaktadır. Düğümlerin birbirine en kısa mesafesini bulunduran matris üzerinden her döngüde en kısa mesafeyi hesaplayıp mesafe matrisini oluşturmaktadır (Magzhan ve Mat Jani, 2013: 101).

Örnek olarak Pmed₁₉ probleminin Floyd – Warshall algoritması kullanılarak oluşturulan mesafe matrisi kodu Şekil 13 ile gösterilmiştir. Pmed₁₉ probleminde düğüm sayısı 400'dür. Hizmet verecek tesis sayısı 10'dur. Algoritmadaki n, i, j ve k değerleri ilgili parametreler bağlamında verilmiştir.

Şekil 13: Floyd-Warshall Algoritması Mesafe Matrisi Kodu

```
Pmed19<-as.matrix(read.csv2("Pmed19.csv",header = FALSE))
baslangic19<-matrix(Inf,nrow=400L,ncol = 400L,byrow=TRUE)
for (i in c(1:400L)){
  for (j in c(1:400L)){
    baslangic19[i,i]<-0
  }
}
for (i in c(1:3200L)){
  for (j in c(1:3200L)){
    i_index<-Pmed19[i,1]
    j_index<-Pmed19[i,2]
    k_degeri<-Pmed19[i,3]
    baslangic19[i_index,j_index]<-k_degeri
    baslangic19[j_index,i_index]<-k_degeri
  }
}
yenibaslangic19<-as.matrix(baslangic19)
for (k in c(1:400L)){
  for (i in c(1:400L)){
    for (j in c(1:400L)){
      if (yenibaslangic19[i,j]>yenibaslangic19[i,k]+yenibaslangic19[k,j]){
        yenibaslangic19[i,j]<-yenibaslangic19[i,k]+yenibaslangic19[k,j]
      }
    }
  }
}
```

3.1.2. Kodlama

Genel olarak, genetik algoritma operatörleri işlem yaparken direkt olarak aday çözümlerin kendisinden değil, aday çözümlerin temsili görüntüsü üzerinden yaparlar. Bundan dolayı ilgili temsili görüntüyü oluşturmak için kodlama operatörlerinden yararlanılır. Aday çözümlerin 0 ve 1 değerleri almasıyla oluşturulan kodlama biçimi ikili (binary) kodlamadır. Genetik algoritmalarda çözüm değerleri gerçel sayı olsa da ikili kod gösteriminde ifade etmek mümkündür (Satman, 2016: 53).

Tablo 14 ile aday çözüm değerlerinin onlu ve ikili tabanda gösterim biçimleri bulunmaktadır.

Tablo 14: Çözüm Değerlerinin Onlu ve İkili Tabanda Gösterimi

Tam sayı	İkili Tabanda Gösterim
2	00000010
18	00010010
35	00100011
100	01100100
130	10000010

Genetik operatörlerin, herhangi bir probleme uyarlanabilmesi için ikili sistemde gösterilen genlerin sayılarının sabit tutulmasında fayda bulunmaktadır. Kodlama yapısı tüm algoritmanın performansını belirlemede temel unsurlardan biri olacağı için her kromozomda kaç gen olacağı ve kromozom yapısının nasıl oluşturulacağı araştırmacının problem çözme yolundaki tercihlerine göre değişebilmektedir. Örneğin C_i kromozomun da aday medyanlar (2, 18) tam sayıları ise ikili sistemde gösterimi $C_i = \{00010, 10010\}$ şeklinde olacaktır.

İkili gösterim konusunda önemli bir nokta daha bulunmaktadır. Aday çözümün alabileceği tüm değerler ilgili kodlama sistemiyle oluşturulabilmelidir. Aksi takdirde algoritma doğru sonuçlar vermekten oldukça uzaklaşacaktır.

Binary kodlamada, aday çözüm değerleri sadece belirli sayı aralıklarında değer alabiliyorsa aday çözümlerin gösteriminde bir takım düzenlemeler yapılması gerekmektedir. Örneğin x değişkeni sadece 0 ve 100 sayıları arasında tam sayı değerleri alabiliyorsa ikili kodlama sisteminde 6 bit tüm olası çözüm değerlerini karşılayamacağı için 7 bitlik bir kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. x değişkeni ikili

sistemde 7 bit ile ifade edildiğinde de tanım aralığından taşan 0 ve 101'den 127'e kadar değerler olacaktır.

Bu durumun düzeltilmesi x in tanım aralıklarından taşan kısımlar için eşitlik (1.2) ile gösterildiği gibi bir dönüşüm yapılabilmektedir. Yapılan dönüşüm işleminde kromozomlar ve aday çözümlerin uyum değerleri arasında tam eşleme olmasa bile ilgili eşleşmenin olmadığı bölüm x değerinin geçerli olmadığı bölümle sınırlıdır. Tez çalışmasında da hizmet verecek tesis sayısının ikili kodlamada taşan değer aralıklarını tanımlamada ilgili yöntem benimsenmiştir (Satman, 2016: 91)

$$x_1 = \{0,1,2,3, \dots \dots 100\}$$

$q_i = 7$ bit ile ifade edilen tüm tam sayılar

$$q_i = \{0,1,2,3, \dots \dots 127\}$$

$$q_i = \begin{cases} q_i, & 0 \leq q_i \leq 100 \\ 100, & q_i \geq 100 \end{cases} \quad (1.1)$$

herhangi bir $a \leq q_i \leq b$ için,

$$q_i = \begin{cases} a & , q_i < a \\ q_i & , a \leq q_i \leq b \\ b & , q_i > b \end{cases} \quad (1.2)$$

3.1.3. Amaç (Uygunluk) Fonksiyonu

P-medyan probleminde amaç, talep noktaları ve hizmet verecek tesisler arasındaki toplam mesafeyi minimuma indirmektedir. Genetik algoritma uygulamasında amaç fonksiyonu Bölüm 1.2.1'de gösterilen matematiksel modele göre tasarlanmıştır. Amaç fonksiyonu sürekli değerken, genetik algoritmada aday çözümler 0 ve 1 değerlerinden oluşan dizilim ile belirlenir. Amaç fonksiyonunda uygunluk değerinin

belirlenebilmesi için genetik algoritmada çalışan her iterasyonda ikili tabanda kodlanan kromozomların onluk tabana çevrilmesi gerekmektedir.

Örneğin $pmed_1$ probleminde düğüm sayısı 100, hizmet verecek tesis (medyan) sayısı 5'tir. Maliyet matrisinin her indisi şebekede bir düğümü ifade etmektedir bu bağlamda bir kromozom 5 medyanın toplam bit sayısından oluşacaktır. Kromozomdaki toplam bit sayısı (1.1) eşitliğindeki gibi belirlenebilir. $Pmed_1$ probleminde her medyan 7 bit ile gösterilmektedir. Aday çözümündeki her kromozomda bulunması istenen 5 medyan olduğu için her aday çözüm 35 bitten oluşan gen diziliminde meydana gelmektedir. Şekil 14 ile 35 bitten oluşan kromozom matris biçiminde gösterilmiştir.

N_{gen} = Bir medyandaki bit sayısı

N_{var} = Medyan sayısı (Amaç fonksiyonundaki değişkenlerin sayısı)

Kromozom = $N_{gen} \times N_{var}$ (1.1)

Kromozom = [00010010001000111000001000010010]

Şekil 14: Kromozom Gösterimi

	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]	[,6]	[,7]
[1,]	0	0	1	1	0	0	1
[2,]	1	0	1	1	0	1	1
[3,]	0	1	1	1	1	0	0
[4,]	0	0	0	0	1	0	0
[5,]	0	0	0	1	1	0	1

3.1.4. Popülasyon Büyüklüğü

Popülasyon büyüklüğü, genetik algoritmaların performansını etkileyen en önemli parametrelerden birisidir. Genetik algoritmalar, gerçek hayat problemlerinden bir çoğuna uygulanabildiği için araştırmacı problemin analizini dikkatli bir şekilde yaparak popülasyon büyüklüğünü belirlemelidir.

Araştırmacılar popülasyon büyüklüğünü belirlemede farklı öneriler sunmuşlardır. Goldberg (1985), kromozom uzunluğu 1 olmak üzere eşitlik (1.1) ile gösterilen hesaplama yöntemi önermiştir.

$$N=1, 65*2^{0, 21*1} \quad (1.1)$$

Tez çalışmasında, başlangıç kromozomları (aday çözümleri) rastgele olarak 0 ve 1 değerlerinden oluşturulmaktadır. Başlangıç popülasyonu için $N_{ipop} \times N_{bit}$ adet bitten oluşan matris ile oluşturulur. Matrisin her satırı bir kromozomu temsil etmektedir. Şekil 15 ile kromozom uzunluğu 35 bit, popülasyon büyüklüğü 5 olan Pmed₁ problemine ait başlangıç popülasyonu gösterilmektedir.

N_{bit} = kromozomu oluşturan bitlerin sayısıdır.

N_{ipop} = başlangıç popülasyonunun sayısı

Şekil 15: Popülasyon Gösterimi

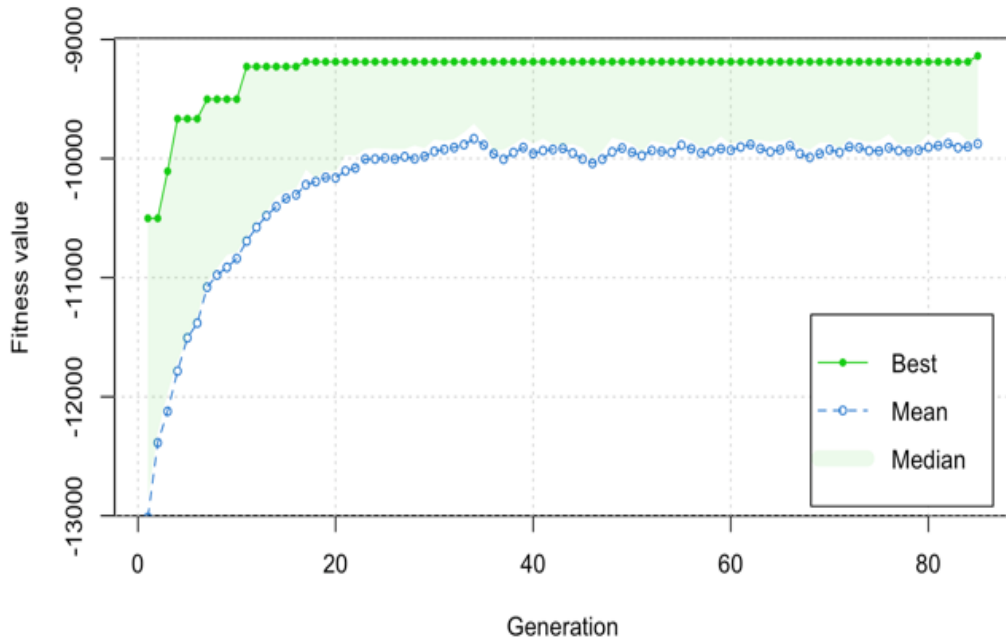
```
[1] 0 0 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1 0 1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1
[1] 0 0 0 0 1 1 1 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 1 0 0 0 1 0 0 0
[1] 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1
[1] 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 1 0 1
[1] 1 1 1 1 1 0 1 0 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 1 0 0 0 0 1
```

Tez çalışmasında, popülasyon büyüklüğü belirlenirken problemin boyutu ve kromozomları oluşturan bitlerin toplam sayısı dikkate alınarak 100'den 300'e kadar farklı popülasyon büyüklükleriyle algoritmanın performansı test edilmiştir.

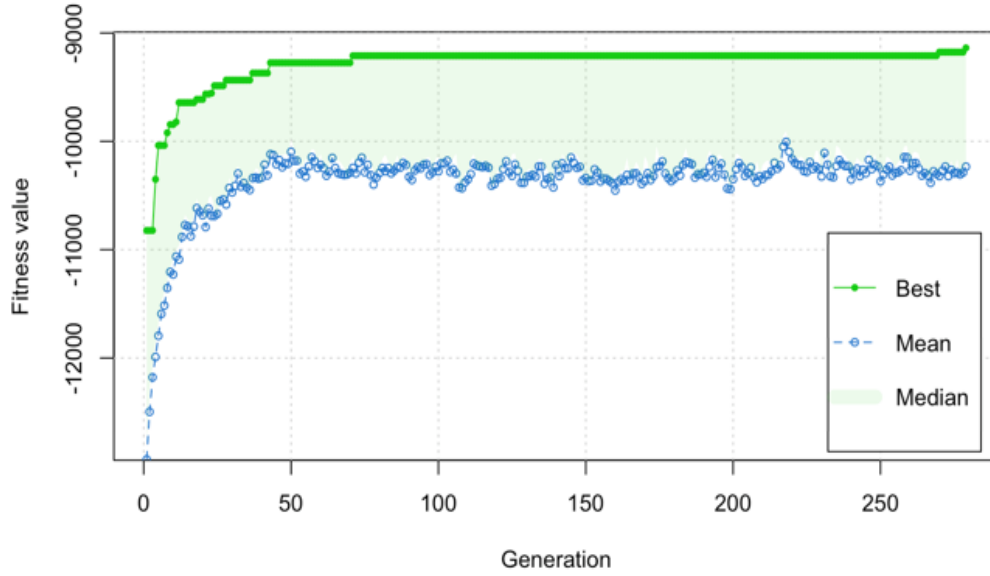
Popülasyon büyüklüğü yüksek tutulan algoritmalarda, çözüm uzayında daha fazla nokta arandığı için daha az iterasyon ile optimum çözüme yakınsama gerçekleşebilmektedir. (Goldberg v.d., 1991: 4).

Örneğin pmed₂₁ probleminde 100 popülasyon büyüklüğü ile 275. iterasyonda optimum sonuca ulaşılırken, 300 popülasyon büyüklüğünde 80. iterasyonda optimum çözüme ulaşılmaktadır. Aday tesisler için belirlenen kromozom büyüklüğü de algoritmanın çalışmasında süreyi etkileyen önemli faktörlerden biridir. Şekil 16 ve Şekil 17’de 300 ve 100 popülasyon büyüklüğünden oluşan algoritmaların iterasyonlar boyunca optimum yakınsama grafikleri gösterilmektedir.

Şekil 16: Pmed₂₁ Popülasyon Büyüklüğü 300 Optimuma Yakınsama Grafiği



Şekil 17: Pmed₂₁ Popülasyon Büyüklüğü 100 Optimuma Yakınsama Grafiği



3.1.4. Seçilim

Genetik algoritmalarda seçim işlemi, amaç fonksiyonuna daha iyi uyum sağlayan kromozomların bir sonraki jenerasyonda kullanılma olasılığını artırarak daha iyi nesillerin oluşturulmasını amaçlamaktadır. Tez çalışmasında seçim yöntemi olarak rulet tekerliği seçim operatörü kullanılmıştır. Rulet seçimi tekniğinde, popülasyondaki bir kromozumun bir sonraki popülasyonda kendine yer bulabilme ihtimali, ilgili kromozumun uygunluk değerinin popülasyonun toplam uygunluk değerine oranı ile belirlenebilir. Popülasyondaki her kromozom uyum değerine göre çarkta yer bulmaktadır. Rulet tekeri seçim yöntemindeki temel mantığa göre uyum değeri daha yüksek olan kromozom çarkta kendisine daha fazla yer bulacaktır bu durumda ilgili bireylerin sonraki jenerasyonda seçilme ihtimalleri daha yüksek hale getirecektir. Çark popülasyonu oluşturan kromozom sayısı kadar çevrilerek, her çevrimde bir sonraki jenerasyonda yer alacak kromozomlar belirlenmektedir (Satman, 2016: 57).

3.1.5. Çaprazlama

Genetik algoritmada çaprazlama operatörü popülasyon içerisinde seçilen iki kromozomun belirli bir olasılık değeri gözetilerek parçalara ayrılması ve karşılıklı olarak birleştirmesi ilkesine dayanmaktadır (Karaboğa, 2004: 82) Tez çalışmasında çaprazlama operatörü olarak tek noktalı çaprazlama operatörü seçilmiştir. Kullanılan çaprazlama oranı 0.8'tir.

3.1.6. Mutasyon

Tez çalışmasında mutasyon operatörü uygulaması yapılan problemin popülasyon büyüklüğüne ve her kromozomu oluşturan toplam bit (gen) sayısına göre 0.1 ve 0.2 aralığında seçilmiştir. Kromozomda yer alan bit sayısı N_{bit} , mutasyon olasılığının da 0.10 seçilmesi durumunda, kromozomda değişme ihtimali olan bit sayısı (1.1) eşitliğindeki gibi olacaktır.

$$\text{Değişme ihtimali olan bit sayısı} = N_{bit} \times P_{mutasyon} \quad (1.1)$$

Örneğin, N_{bit} sayısı 35 olan P_{med_1} problemindeki bir kromozoma 0.10 oranı ile mutasyon operatörü uygulanırsa, şekil 18'deki gibi bir değişim gerçekleşebileceği söylenebilir.

Şekil 18: Mutasyon Örneği

Kromozom=(01010101011010011000110110101001010)

Mutasyon Oranı: 0.10

Kromozom=(0101000101101001101011011011001011)

3.1.7. Elitizm

Elitizm operatörü ile jenerasyonlar boyunca en iyi çözüm değerini sağlayan kromozomun bir sonraki nesile aktarılması garanti altına alınmaktadır. Tez çalışmasında elitizm değeri problem ait popülasyon sayısının %5'i olarak belirlenmiştir.

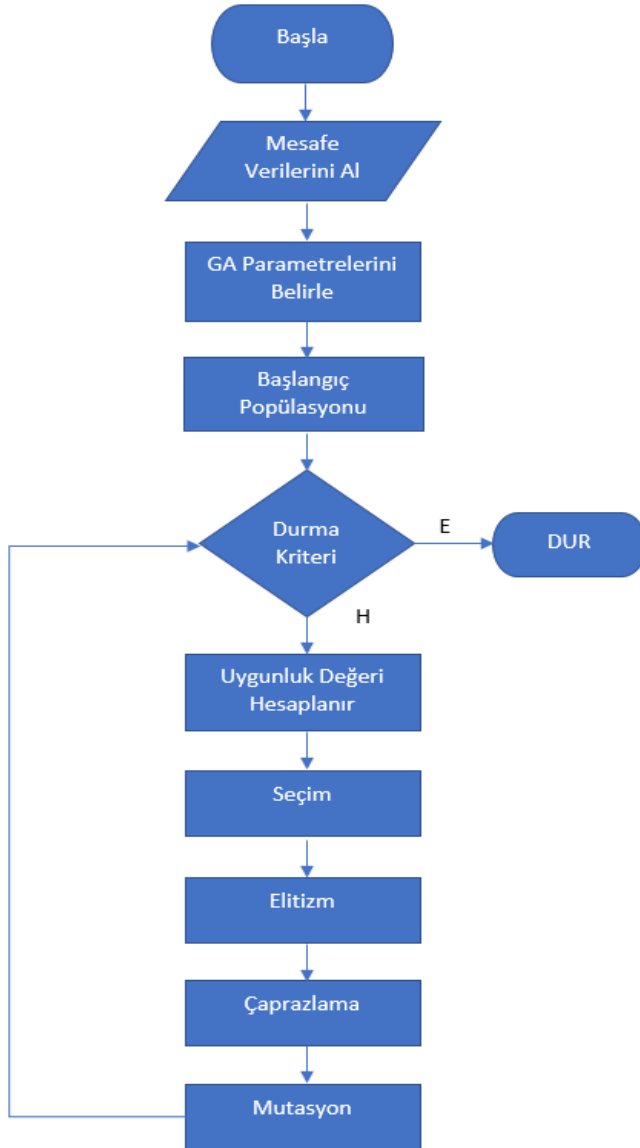
3.1.8. Durdurma Kriteri

Tez çalışmasında durdurma kriteri, ilgili problemin optimal sonucu bulması veya 1000 iterasyon boyunca algoritmanın çalışması şeklinde belirlenmiştir. Eğer algoritma problemde optimum sonuca ulaşamamışsa 1000 iterasyon sonunda elde edilen sonuç en iyi çözüm değeri olarak ele alınacaktır.

3.1.9. GA Akış Diyagramı

Şekil 19’da genetik algoritma yaklaşımının akış diyagramı bulunmaktadır.

Şekil 19: Genetik Algoritma Akış Diyagramı



3.2. OR-Library Problem Seti

OR-Library problem seti 40 adet problemden oluşmaktadır. Her problem Pmed1'den başlayarak Pmed40 şeklinde adlandırılarak metin dosyası biçiminde oluşturulmuştur. Her dosyada probleme ait düğüm sayısı, düğümler arasındaki bağlantı sayısı, hizmet verecek tesis (medyan) sayısı, aralarında bağlantı olan düğümler ve bu düğümler arasındaki mesafeler verilmiştir. Floyd Warshall algoritması kullanılarak, ilgili veriler genetik algorithmada kullanılacak mesafe matrisine çevrilmiştir.

Problemlerde her düğüm hem potansiyel talep noktası hem de hizmet verecek tesis özelliğine sahiptir. Düğüm sayıları (n) 100'den 900'e kadar değişirken hizmet verecek tesis sayısı (p) 5'ten 200'e kadar değerler alabilmektedir. Örneğin Pmed₂₁ probleminde düğüm sayısı 500 iken hizmet verecek tesis sayısı 5'tir. Pmed₂ probleminde düğüm sayısı 100 iken hizmet verecek tesis sayısı 10'dur. Problemlerin optimum sonuçları Beasley tarafından 1990 yılında yayınlanmıştır (Beasley, 1990).

Tez çalışmasında ilgili problem setinden farklı örnek problemler çalışılarak, algoritmanın optimum sonuçlara ulaşmasındaki performansı çalışma süresi de gözetilerek test edilmiştir.

3.3. OR-Library Problem Seti Uygulama Sonuçları

Tez çalışmasında kullanılan genetik algoritma parametreleri ve uygulama yapılan probleme ait değişkenlerin kısaltmaları Tablo 15 ile gösterilmiştir.

Tablo 15: Genetik Algoritma ve Problem Parametreleri

Seçilim operatörü	: Rulet tekeri seçilimi
Çaprazlama operatörü	: Tek nokta çaprazlama
Mutasyon operatörü	: Rassal mutasyon
Durdurma kriteri	: 1000 iterasyon veya problemin optimum sonuca ulaşması
Elitizim	: Popülasyon büyüklüğü x 0.05
Popülasyon büyüklüğü : Çalışma yapılan problemin düğüm ve kromozom büyüklüğü esas alınarak belirlenmiştir.	
n	= Şebekedeki düğüm sayısı
p	= Hizmet verecek tesis sayısı
N_{bit}	= Kromozomdaki gen sayısı
Pop_{Size}	= Popülasyon büyüklüğü
P_{cross}	= Çaprazlama oranı
P_{mut}	= Mutasyon oranı

3.3.1. Pmed₁ Problemi

Pmed₁ probleminde şebeke 100 düğümden oluşmaktadır. Hizmet verecek tesis sayısı 5'tir. Problemin optimum sonucu 5819'dur. Tablo 16'da Pmed₁ problemi için genetik algoritma parametreleri ve ulaşılan uygunluk fonksiyonu çözüm değeri gösterilmektedir.

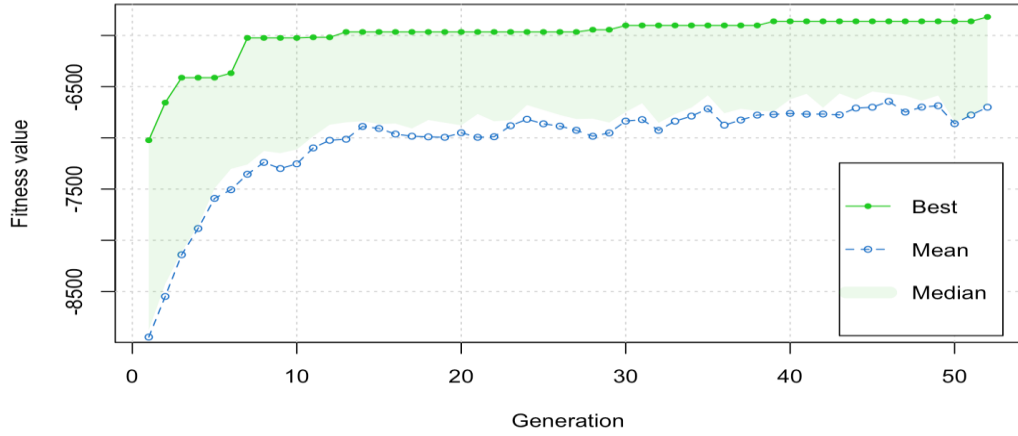
Tablo 16: Pmed₁ Problemi Parametreleri

Pmed ₁	n=100 p=5
Pop _{size}	100
N _{bit}	35
P _{cross}	0.8
P _{mut}	0.1
Elitizm	5
İterasyon	54
Çözüm Değeri	5819
Hata Oranı	0.00

Algoritmaların çözüme yakınsama davranışları performanslarını belirlemede önemli etkenlerden bir tanesidir (Hribar ve Daskin, 1997: 504).

Şekil 20’de genetik algoritmanın optimum sonuca yakınsama grafiği verilmiştir.

Şekil 20: Pmed₁ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği



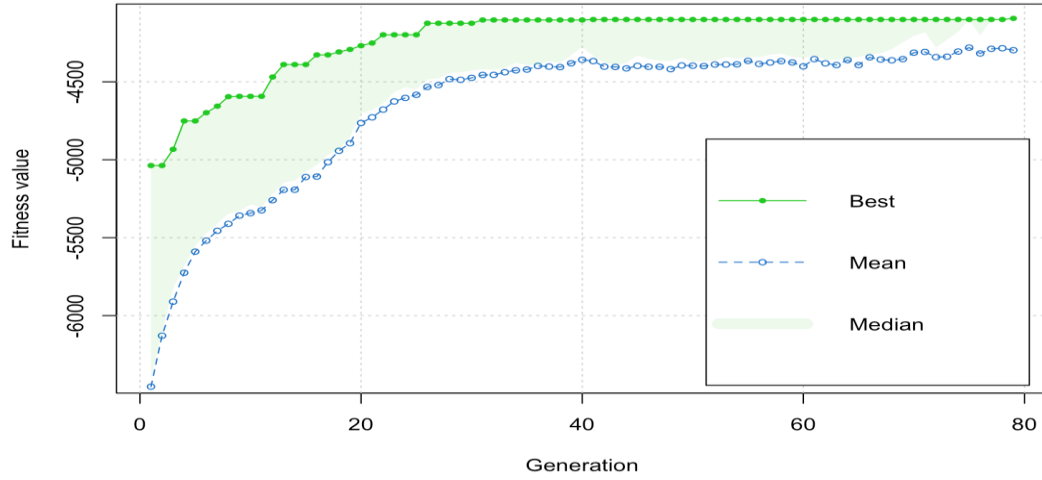
3.3.2. Pmed₂ Problemi

Pmed₂ probleminde şebeke 100 düğümden oluşmaktadır. Hizmet verecek tesis sayısı 10’dur. Problemin optimum sonucu 4093’tür. Tablo 17’de Pmed₂ problemi için genetik algoritma parametreleri ve ulaşılan uygunluk fonksiyonu çözüm değeri gösterilmektedir.

Tablo 17: Pmed₂ Problemi Parametreleri

Pmed ₂	n=100 p=10
Pop _{size}	100
N _{bit}	70
P _{cross}	0.8
P _{mut}	0.1
Elitizm	5
İterasyon	79
Çözüm Değeri	4093
Hata Oranı (%)	0.00

Şekil 21’de Pmed₂ problemi için genetik algoritma optimum sonuca yakınsama grafiği verilmiştir.

Şekil 21: Pmed₂ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği

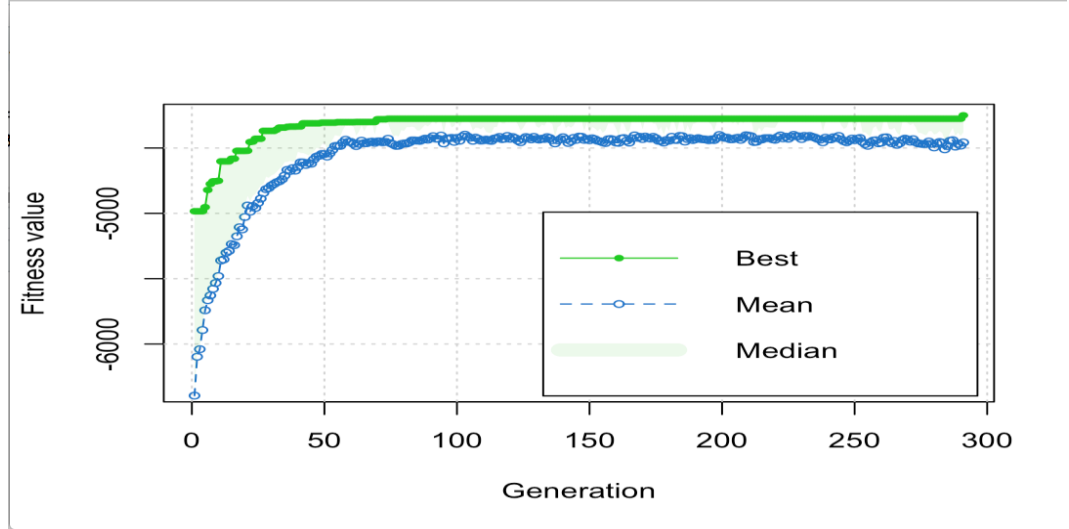
3.3.3. Pmed₃ Problemi

Pmed₃ probleminde şebeke 100 düğümden oluşmaktadır. Hizmet verecek tesis sayısı 10’dur. Problemin optimum sonucu 4250’dir. Tablo 18’de Pmed₃ problemi için genetik algoritma parametreleri ve ulaşılan uygunluk fonksiyonu çözüm değeri gösterilmektedir.

Tablo 18: Pmed₃ Problemi Parametreleri

Pmed ₃	n=100 p=10
Pop _{size}	100
N _{bit}	70
P _{cross}	0.8
P _{mut}	0.1
Elitizm	5
İterasyon	291
Çözüm Değeri	4250
Hata Oranı (%)	0.00

Şekil 22’de Pmed₃ problemi için genetik algoritma optimum sonuca yakınsama grafiği verilmiştir.

Şekil 22: Pmed₃ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği

3.3.4. Pmed₄ Problemi

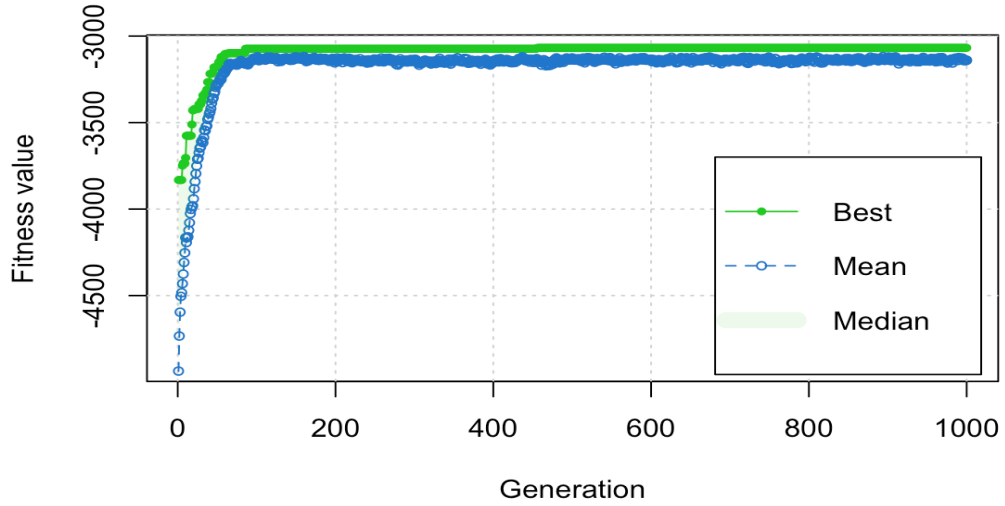
Pmed₄ probleminde şebeke 100 düğümden oluşmaktadır. Hizmet verecek tesis sayısı 20’dir. Problemin optimum sonucu 3034’dür. Tablo 19’da Pmed₄ problemi için genetik algoritma parametreleri ve ulaşılan uygunluk fonksiyonu çözüm değeri gösterilmektedir.

Tablo 19: Pmed₄ Problemi Parametreleri

Pmed ₄	n=100 p=20
Pop _{size}	100
N _{bit}	140
P _{cross}	0.8
P _{mut}	0.2
Elitizm	5
İterasyon	1000
Çözüm Değeri	3040
Hata Oranı (%)	0.19

Şekil 23 ile Pmed₄ problemi için genetik algoritma optimum sonuca yakınsama grafiği verilmiştir.

Şekil 23: Pmed₄ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği



3.3.5. Pmed₅ Problemi

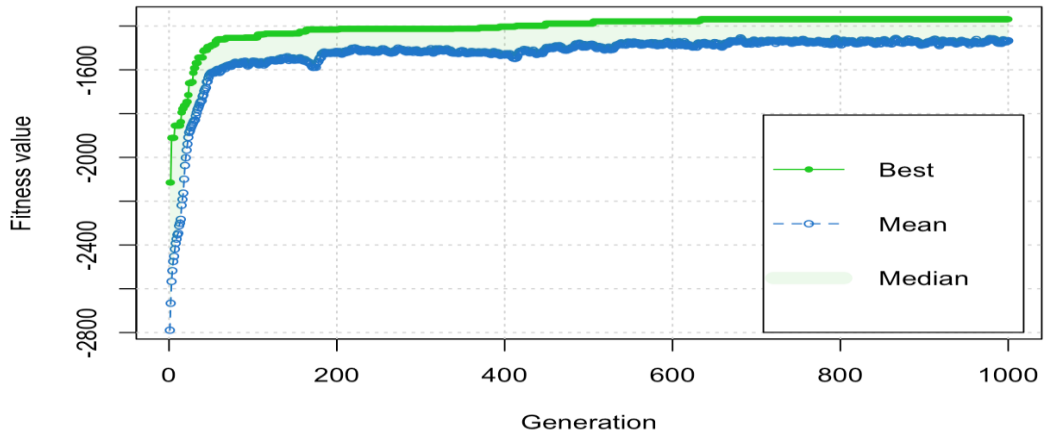
Pmed₅ probleminde şebeke 100 düğümden oluşmaktadır. Hizmet verecek tesis sayısı 33'tür. Problemin optimum sonucu 1355'dir. Tablo 20'de Pmed₅ problemi için genetik algoritma parametreleri ve ulaşılan uygunluk fonksiyonu çözüm değeri gösterilmektedir.

Tablo 20: Pmed₅ Problemi Parametreleri

Pmed ₅	n=100 p=33
Pop _{size}	150
N _{bit}	231
P _{cross}	0.8
P _{mut}	0.2
Elitizm	8
İterasyon	1000
Çözüm Değeri	1365
Hata Oranı (%)	0.07

Şekil 24 ile Pmed₅ problemi için genetik algoritma optimum sonuca yakınsama grafiği verilmiştir.

Şekil 24: Pmed₅ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği



3.3.6. Pmed₆ Problemi

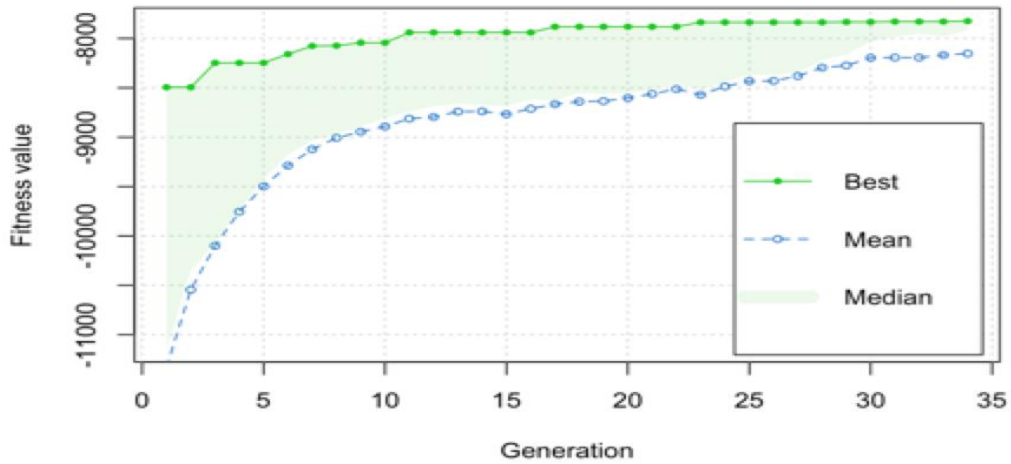
Pmed₆ probleminde şebeke 200 düğümden oluşmaktadır. Hizmet verecek tesis sayısı 5'tir. Problemin optimum sonucu 7824'tür. Tablo 21'de Pmed₆ problemi için genetik algoritma parametreleri ve ulaşılan uygunluk fonksiyonu çözüm değeri gösterilmektedir.

Tablo 21: Pmed₆ Problemi Parametreleri

Pmed ₆	n=200 p=5
Pop _{size}	100
N _{bit}	40
P _{cross}	0.8
P _{mut}	0.1
Elitizm	5
İterasyon	34
Çözüm Değeri	7824
Hata Oranı (%)	0.00

Şekil 25 ile Pmed₆ problemi için genetik algoritma optimum sonuca yakınsama grafiği verilmiştir.

Şekil 25: Pmed₆ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği



3.3.7. Pmed₇ Problemi

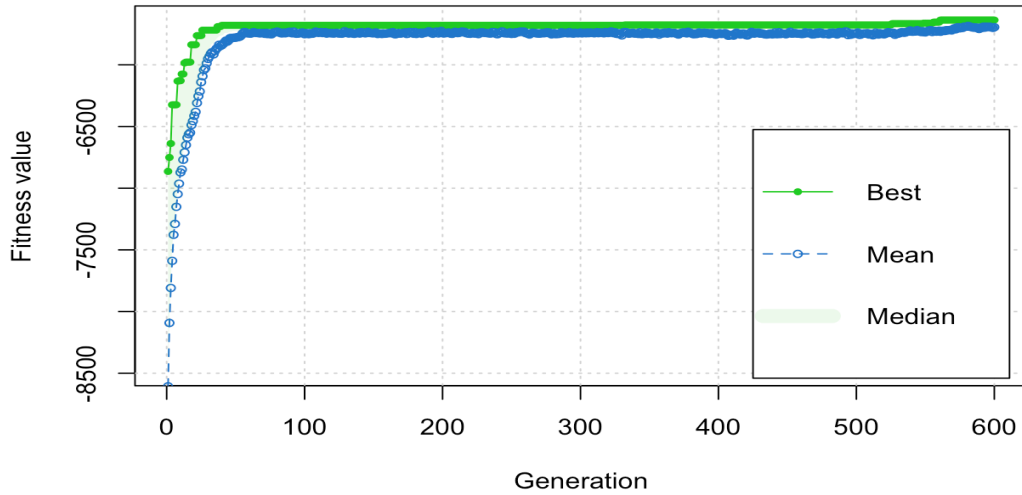
Pmed₇ probleminde şebeke 200 düğümden oluşmaktadır. Hizmet verecek tesis sayısı 10'dur. Problemin optimum sonucu 5631'dir. Tablo 22'de Pmed₇ problemi için genetik algoritma parametreleri ve ulaşılan uygunluk fonksiyonu çözüm değeri gösterilmektedir.

Tablo 22: Pmed₇ Problemi Parametreleri

Pmed ₇	n=200 p=10
Pop _{size}	150
N _{bit}	80
P _{cross}	0.8
P _{mut}	0.1
Elitizm	8
İterasyon	620
Çözüm Değeri	5631
Hata Oranı (%)	0.00

Şekil 26’da Pmed₇ problemi için genetik algoritma optimum sonuca yakınsama grafiği verilmiştir.

Şekil 26: Pmed₇ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği



3.3.8. Pmed₈ Problemi

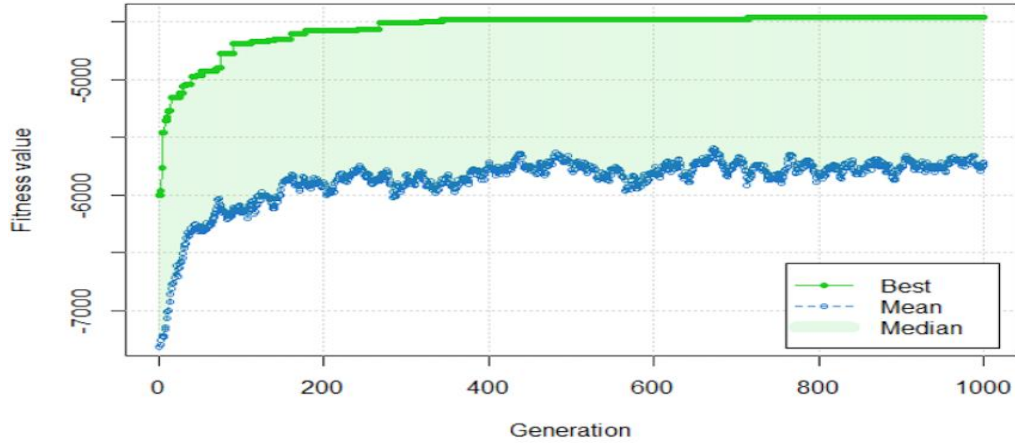
Pmed₈ probleminde şebeke 200 düğümden oluşmaktadır. Hizmet verecek tesis sayısı 20’dir. Problemin optimum sonucu 4445’tir. Tablo 23 ile Pmed₈ problemi için genetik algoritma parametreleri ve ulaşılan uygunluk fonksiyonu çözüm değeri gösterilmektedir.

Tablo 23: Pmed₈ Problemi Parametreleri

Pmed ₈	n=200 p=20
Pop _{size}	200
N _{bit}	160
P _{cross}	0.8
P _{mut}	0.2
Elitizm	10
İterasyon	1000
Çözüm Değeri	4454
Hata Oranı (%)	0.20

Şekil 27’de Pmed₈ problemi için genetik algoritma optimum sonuca yakınsama grafiği verilmiştir.

Şekil 27: Pmed₈ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği



3.3.9. Pmed₉ Problemi

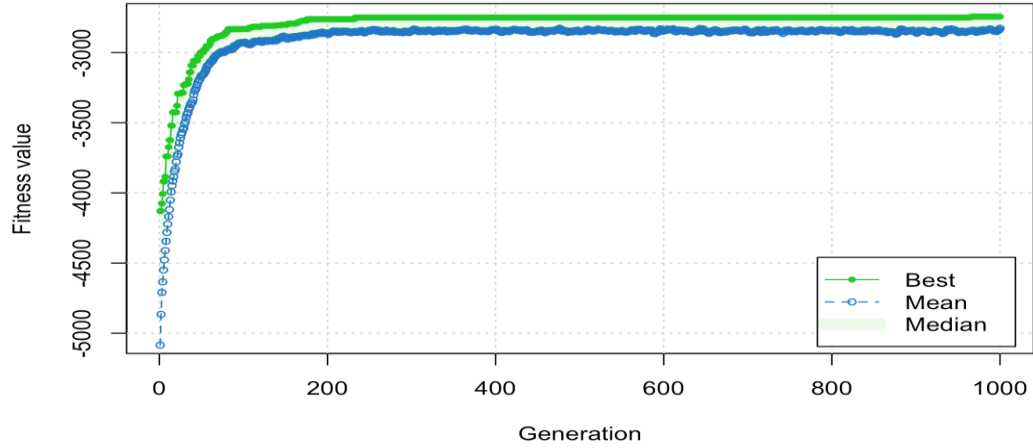
Pmed₉ probleminde şebeke 200 düğümden oluşmaktadır. Hizmet verecek tesis sayısı 40’tır. Problemin optimum sonucu 2734’tür. Tablo 24 ile Pmed₉ problemi için genetik algoritma parametreleri ve ulaşılan uygunluk fonksiyonu çözüm değeri gösterilmektedir.

Tablo 24: Pmed₉ Problemi Parametreleri

Pmed ₉	n=200 p=40
Pop _{size}	250
N _{bit}	320
P _{cross}	0.8
P _{mut}	0.2
Elitizm	13
İterasyon	1000
Çözüm Değeri	2742
Hata Oranı (%)	0.29

Şekil 28’de Pmed₉ problemi için genetik algoritma optimum sonuca yakınsama grafiği verilmiştir.

Şekil 28: Pmed₉ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği



3.3.10. Pmed₁₀ Problemi

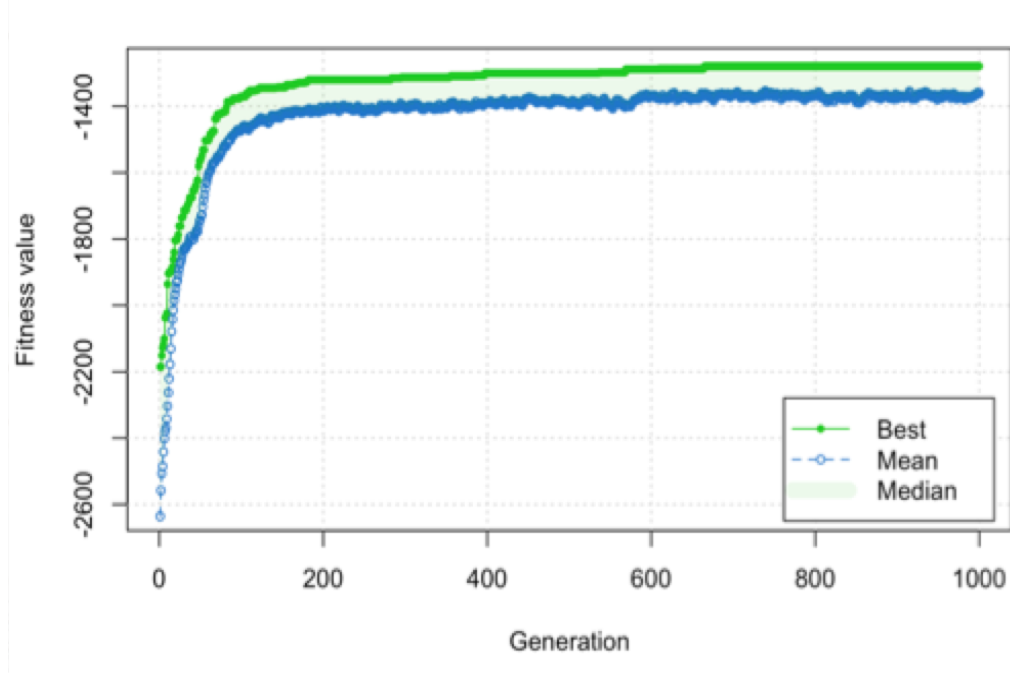
Pmed₁₀ probleminde şebeke 200 düğümden oluşmaktadır. Hizmet verecek tesis sayısı 67’dir. Problemin optimum sonucu 1255’tir. Tablo 25 ile Pmed₁₀ problemi için genetik algoritma parametreleri ve ulaşılan uygunluk fonksiyonu çözüm değeri gösterilmektedir.

Tablo 25: Pmed₁₀ Problemi Parametreleri

Pmed ₁₀	n=200 p=67
Pop _{size}	300
N _{bit}	536
P _{cross}	0.8
P _{mut}	0.2
Elitizm	15
İterasyon	1000
Çözüm Değeri	1261
Hata Oranı (%)	0.47

Şekil 29 ile Pmed₁₀ problemi için genetik algoritma optimum sonuca yakınsama grafiği verilmiştir.

Şekil 29: Pmed₁₀ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği



3.3.11. Pmed₁₁ Problemi

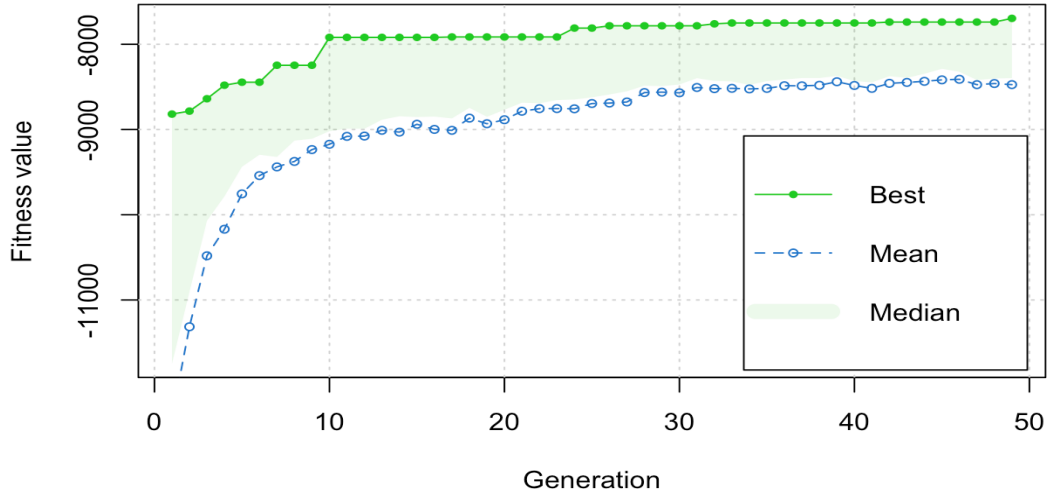
Pmed₁₁ probleminde şebeke 300 düğümden oluşmaktadır. Hizmet verecek tesis sayısı 5'tir. Problemin optimum sonucu 7696'dır. Tablo 26'da Pmed₁₁ problemi için genetik algoritma parametreleri ve ulaşılan uygunluk fonksiyonu çözüm değeri gösterilmektedir.

Tablo 26: Pmed₁₁ Problemi Parametreleri

Pmed ₁₁	n=300 p=5
Pop _{size}	200
N _{bit}	45
P _{cross}	0.8
P _{mut}	0.2
Elitizm	10
İterasyon	49
Çözüm Değeri	7696
Hata Oranı (%)	0.00

Şekil 30 ile Pmed₁₁ problemi için genetik algoritma optimum sonuca yakınsama grafiği verilmiştir.

Şekil 30: Pmed₁₁ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği



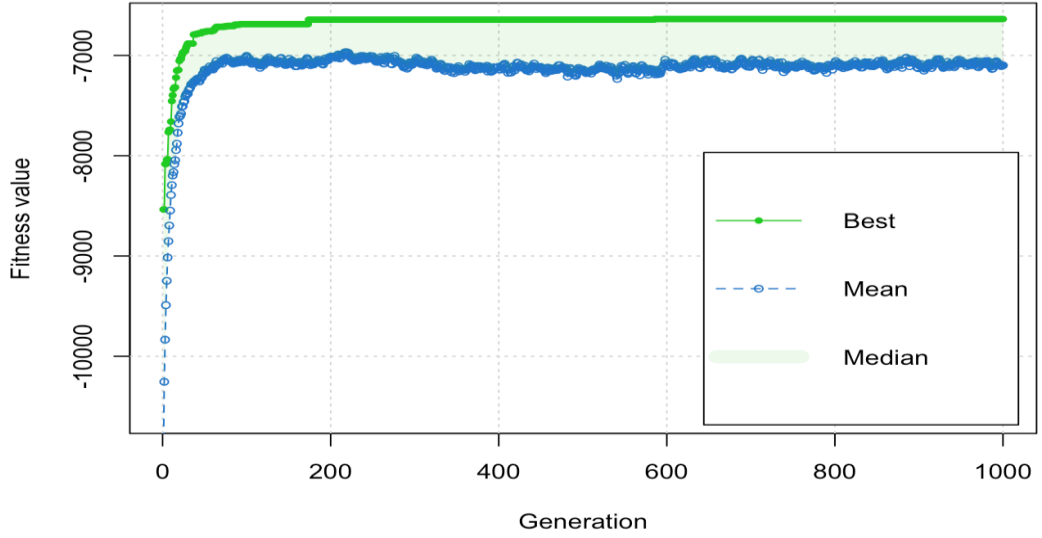
3.3.12. Pmed₁₂ Problemi

Pmed₁₂ probleminde şebeke 300 düğümden oluşmaktadır. Hizmet verecek tesis sayısı 10'dur. Problemin optimum sonucu 6634'tür. Tablo 27'de Pmed₁₂ problemi için genetik algoritma parametreleri ve ulaşılan uygunluk fonksiyonu çözüm değeri gösterilmektedir.

Tablo 27: Pmed₁₂ Problemi Parametreleri

Pmed ₁₂	n=300 p=10
Pop _{size}	200
N _{bit}	90
P _{cross}	0.8
P _{mut}	0.2
Elitizm	10
İterasyon	1000
Çözüm Değeri	6636
Hata Oranı (%)	0.03

Şekil 31’de Pmed₁₂ problemi için genetik algoritma optimum sonuca yakınsama grafiği verilmiştir.

Şekil 31: Pmed₁₂ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği

3.3.13. Pmed₁₆ Problemi

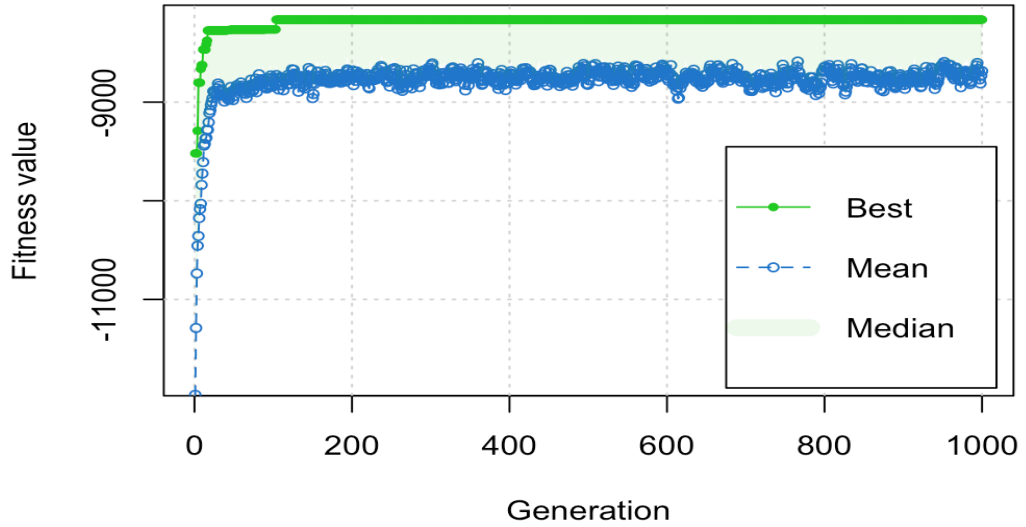
Pmed₁₆ probleminde şebeke 400 düğümden oluşmaktadır. Hizmet verecek tesis sayıda 5’dir. Problemin optimum sonucu 8162’dir. Tablo 28 ile Pmed₁₆ problemi için genetik algoritma parametreleri ve ulaşılan uygunluk fonksiyonu çözüm değeri gösterilmektedir.

Tablo 28: Pmed₁₆ Problemi Parametreleri

Pmed ₁₆	n=400 p=5
Pop _{size}	100
N _{bit}	45
P _{cross}	0.8
P _{mut}	0.1
Elitizm	5
İterasyon	1000
Çözüm Değeri	8164
Hata Oranı (%)	0.02

Şekil 32’de Pmed₁₆ problemi için genetik algoritma optimum sonuca yakınsama grafiği verilmiştir.

Şekil 32: Pmed₁₆ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği



3.3.14. Pmed₁₇ Problemi

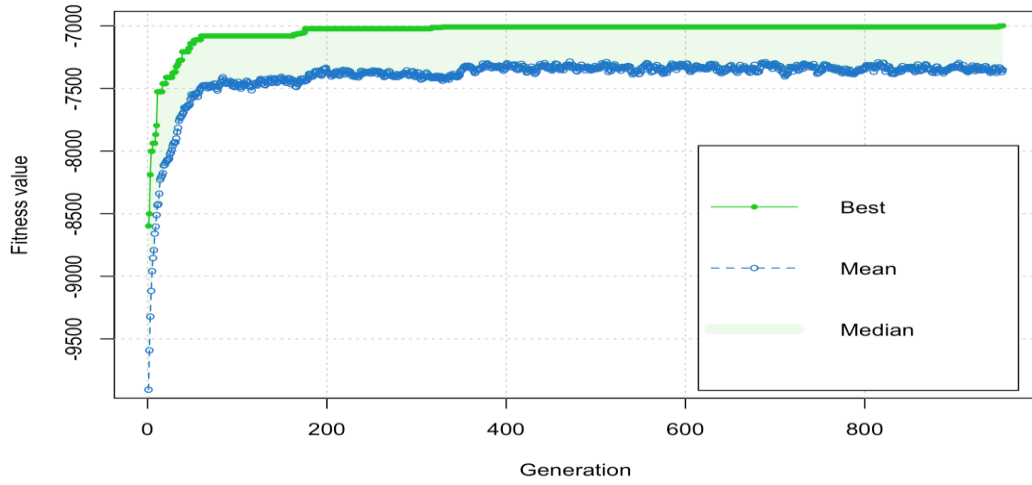
Pmed₁₇ probleminde şebeke 400 düğümden oluşmaktadır. Hizmet verecek tesis sayısı 10’dur. Problemin optimum sonucu 6699’dur. Tablo 29 ile Pmed₁₇ problemi için genetik algoritma parametreleri ve ulaşılan uygunluk fonksiyonu çözüm değeri gösterilmektedir.

Tablo 29: Pmed₁₇ Problemi Parametreleri

Pmed ₁₇	n=400 p=10
Pop _{size}	200
N _{bit}	90
P _{cross}	0.8
P _{mut}	0.2
Elitizm	10
İterasyon	954
Çözüm Değeri	6699
Hata Oranı (%)	0.00

Şekil 33 ile Pmed₁₇ problemi için genetik algoritma optimum sonuca yakınsama grafiği verilmiştir.

Şekil 33: Pmed₁₇ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği



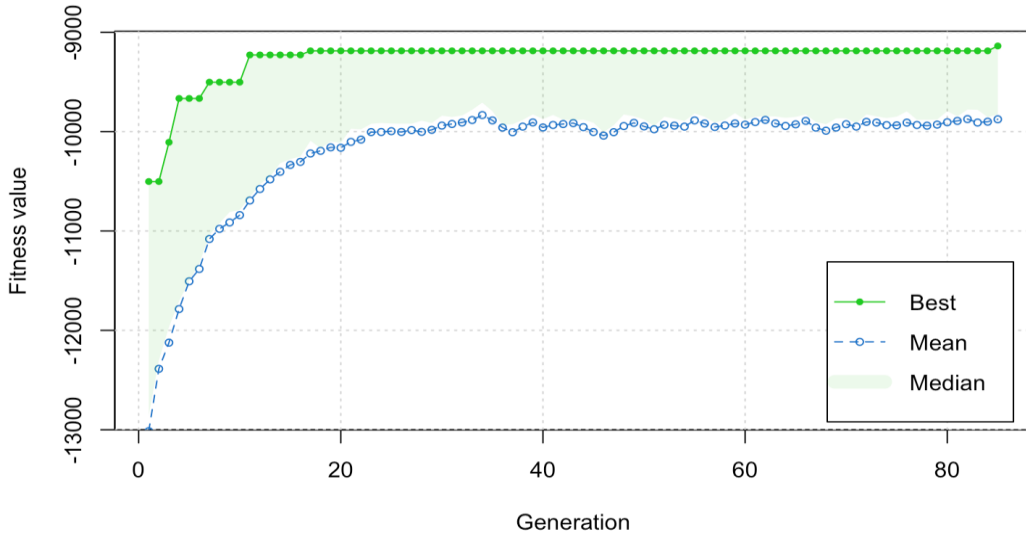
3.3.15. Pmed₂₁ Problemi

Pmed₂₁ probleminde şebeke 500 düğümden oluşmaktadır. Hizmet verecek tesis sayısı 5'tir. Problemin optimum sonucu 9138'dir. Tablo 30 ile Pmed₂₁ problemi için genetik algoritma parametreleri ve ulaşılan uygunluk fonksiyonu çözüm değeri gösterilmektedir.

Tablo 30: Pmed₂₁ Problemi Parametreleri

Pmed ₂₁	n=500 p=5
Pop _{size}	300
N _{bit}	45
P _{cross}	0.8
P _{mut}	0.1
Elitizm	15
İterasyon	80
Çözüm Değeri	9138
Hata Oranı (%)	0.00

Şekil 34 ile Pmed₂₁ problemi için genetik algoritma optimum sonuca yakınsama grafiği verilmiştir.

Şekil 34: Pmed₂₁ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği

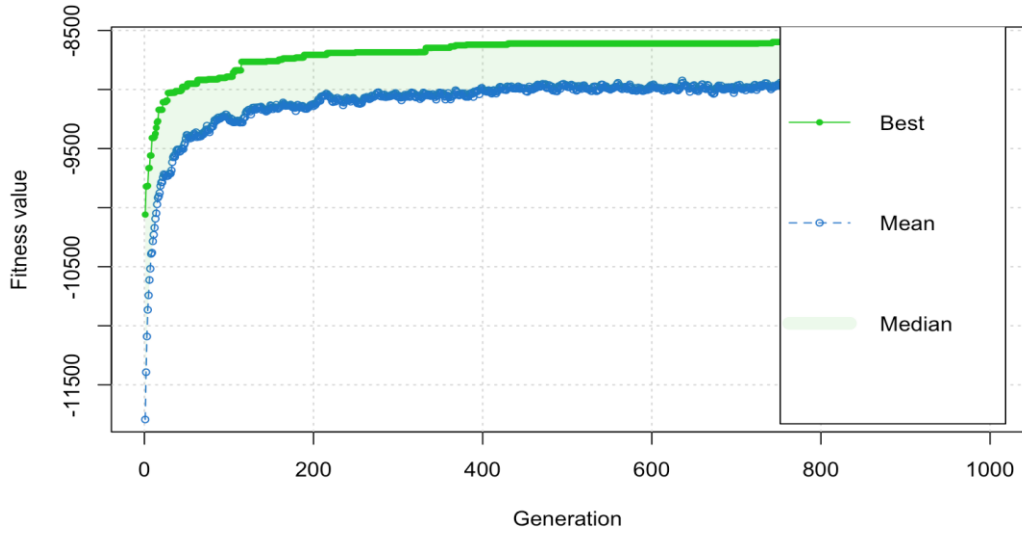
3.3.16. Pmed₂₂ Problemi

Pmed₂₂ probleminde şebeke 500 düğümden oluşmaktadır. Hizmet verecek tesis sayısı 10'dur. Problemin optimum sonucu 8579'dur. Tablo 31 ile Pmed₂₂ problemi için genetik algoritma parametreleri ve ulaşılan uygunluk fonksiyonu çözüm değeri gösterilmektedir.

Tablo 31: Pmed₂₂ Problemi Parametreleri

Pmed ₂₂	n=500 p=10
Pop _{size}	300
N _{bit}	90
P _{cross}	0.8
P _{mut}	0.2
Elitizm	15
İterasyon	1000
Çözüm Değeri	8589
Hata Oranı (%)	0.11

Şekil 35 ile Pmed₂₂ problemi için genetik algoritma optimum sonuca yakınsama grafiği verilmiştir.

Şekil 35: Pmed₂₂ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği

3.3.17 Pmed₂₄ Problemi

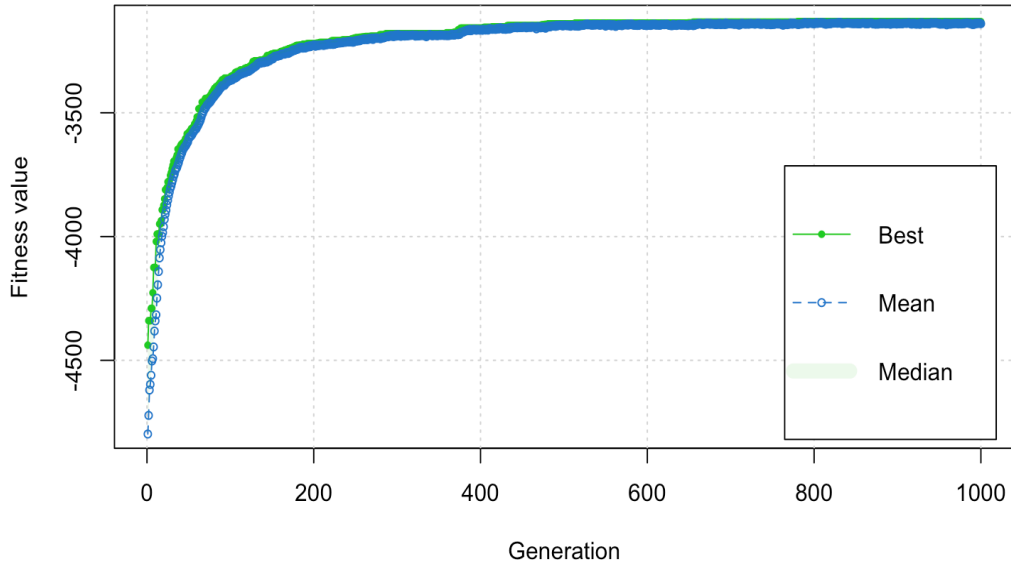
Pmed₂₄ probleminde şebeke 500 düğümden oluşmaktadır. Hizmet verecek tesis sayısı 100'dür. Problemin optimum sonucu 2961'dir. Tablo 32 ile Pmed₂₄ problemi için genetik algoritma parametreleri ve ulaşılan uygunluk fonksiyonu çözüm değeri gösterilmektedir.

Tablo 32: Pmed₂₄ Problemi Parametreleri

Pmed ₂₄	n=500 p=100
Pop _{size}	300
N _{bit}	900
P _{cross}	0.8
P _{mut}	0.2
Elitizm	15
İterasyon	1000
Çözüm Değeri	2989
Hata Oranı (%)	0.94

Şekil 36 ile Pmed₂₄ problemi için genetik algoritma optimum sonuca yakınsama grafiği verilmiştir.

Şekil 36: Pmed₂₄ Problemi Optimuma Yakınsama Grafiği



3.4. OR-Library Problemleri için Genetik Algoritma Performans Değerlendirmesi

Herhangi bir meta sezgisel algoritmanın performansının değerlendirilmesi işleminde literatürde genelde iki önemli parametre bulunmaktadır. İlgili performans ölçütlerinden bir tanesi algoritmanın probleme uygulanması sonucu çıkan sonucun

optimal değere ne oranda yaklaştığı bir değeri de algoritmanın çalışması boyunca geçen süredir. Meta sezgisel algoritmalar, NP Zor problemlerin doğaları gereği optimal sonucu garanti etmezler fakat makul karşılanacak süreler içinde optimum veya optimal sonuca yakın bir değere ulaşabilirler. Dolayısıyla optimumu yakalama ve çalışma süresi ölçütleri aynı amaç fonksiyonuna sahip birbirinden farklı algoritmaların verimliliğinin belirlenmesi hakkında önemli bilgi verebilirler.

Tez çalışmasında, geliştirilen genetik algoritma R programlama dilinde kodlanmıştır. 2,7 GHz Intel Core i5 işlemci ve 8 GB belleğe sahip bilgisayar ile OR-Library problem setinden seçilen problemler ile test edilmiştir.

Geliştirilen algoritmanın optimum sonuca yaklaşma performansını ölçmede minimum bağıl hata yöntemi kullanılmıştır. Uygulaması yapılan her problem için algoritma 10 kez çalıştırılmıştır. Minimum bağıl hata, yapılan tekrarlar içerisinde optimuma en yakın değerin alındığı hesaplama yöntemidir. Eşitlik (1.1) ile ifade edilebilir (Hansen ve Mladenovic, 1997).

$f_{\min}$ = Uygulama sonucunda elde edilen en iyi çözüm değeri

f_{optimum} = Problemin bilinen optimum sonucu

$$\text{Minimum bağıl hata} = \frac{f_{\min} - f_{\text{optimum}}}{f_{\text{optimum}}} \times 100 \quad (1.1)$$

Algoritmanın çalışma süresi de önemli performans ölçütlerinden bir tanesidir. İlgili süre problemdeki düğüm sayısı, hizmet verilecek tesis sayısı, aday çözümdeki toplam bit sayısı gibi probleme özel parametre değerlerine göre farklılık gösterebilmektedir. Ayrıca algoritmanın çalışma süresi uygulama yapılan bilgisayarın donanım özelliklerine ve genetik algoritmanın kodunun yazıldığı programlama dilinin özelliklerine göre de farklılıklar gösterebilmektedir.

Örneğin, OR Library problem setindeki p-medyan 21 problemi 500 düğümden ve hizmet verecek 5 tesisten oluşmaktadır. Popülasyon büyüklüğü 300 olduğunda 80.

iterasyonda optimum sonuca ulaşılırken, algoritmanın çalışması için geçen süre 138 saniyedir. Popülasyon büyüklüğünün 100 olduğu parametre değeriyle 275. iterasyonda optimum değere ulaşılırken, algoritmanın çalışması için geçen süre 162 saniyedir. Popülasyon büyüklüğünün nispeten daha küçük olmasıyla algoritmanın daha fazla iterasyon ile daha fazla zaman harcayarak optimum çözüme ulaştığı görülmüştür.

Tablo 33 ile uygulaması yapılan problemlerin minimum hata oranları ve çalışma süreleri verilmiştir.

Tablo 33: OR-Library Test Problemleri Sonuç Tablosu

Problem	n	p	Optimum Sonuç	Min Hata Oranı (%)	Çalışma Süresi (s)
Pmed ₁	100	5	5819	0.00	5.40
Pmed ₂	100	10	4093	0.00	13.5
Pmed ₃	100	10	4250	0.00	49
Pmed ₄	100	20	3034	0.19	312.5
Pmed ₅	100	33	1355	0.07	440
Pmed ₆	200	5	7824	0.00	6.30
Pmed ₇	200	10	5631	0.00	192
Pmed ₈	200	20	4445	0.20	620
Pmed ₉	200	40	2734	0.29	382.5
Pmed ₁₀	200	67	1255	0.47	1795
Pmed ₁₁	300	5	7696	0.00	14.30
Pmed ₁₂	300	10	6634	0.03	522
Pmed ₁₆	400	5	8162	0.02	440
Pmed ₁₇	400	10	6999	0.00	692
Pmed ₂₁	500	5	9138	0.00	138
Pmed ₂₂	500	10	8579	0.11	872
Pmed ₂₄	500	100	2169	0.94	8050

SONUÇ

P-medyan problemi, tesis yeri seçim problem türleri arasında önemli bir yer tutmaktadır. P-medyan probleminde amaç, talep noktaları ve hizmet verecek tesisler arasındaki toplam mesafeyi minimuma indirmektir. NP-Zor problemler sınıfına giren, kombinatoriyel problem tiplerinden olan p-medyan probleminin çözümü için araştırmacılar geçmişten günümüze farklı yöntemler denemişlerdir. Literatürde incelendiğinde problemin çözümü için kesin çözüm veren klasik algoritmalar (dalsınır algoritması v.b.) ve meta sezgisel algoritmalar gibi yaklaşımlar ile çalışmalar yapıldığı görülmektedir. P-medyan problemi doğal yapısı gereği NP Zor problem sınıfına girdiğinden problemin boyutu büyüdükçe problemi çözmek için geçen zaman üssel olarak artış göstermektedir. Bu yüzden özellikle büyük boyutlu problemlerde optimum sonucu garanti etmese de makul süreler içerisinde optimum veya optimum yakın sonuç veren yaklaşımlar kullanılarak yapılan çalışmalar son yıllarda öne çıkmaktadır.

Önemli meta sezgisel yaklaşımlardan biri olan genetik algoritma, doğadaki evrim süreci temel alınarak geliştirilmiş, popülasyon temelli evrimsel algoritmalarından bir tanesidir. Tez çalışmasında p-medyan probleminin çözümü için genetik algoritma kullanılmıştır. OR-Library problem setindeki problemlerin boyutlarına göre popülasyon büyüklüğü, çaprazlama, mutasyon gibi önemli genetik algoritma parametreleri belirlenmiş, 10 tekrar ile çalıştırılarak bulunan en iyi çözüm üzerinden hata oranları hesaplanmıştır. Literatürdeki test problemleri ile çalışılmasının amacı algoritmanın gerçek hayat problemlerinde uygulanıp uygulanamayacağı konusunda test edilmesidir.

Algoritmaların performansları, optimum çözüme yakınsama ve problemin çalışmasında geçen süre ölçütlerine göre yorumlanabilmektedir. OR-Library problem setinden düğüm (n) sayıları 100 ile 500 arasında değişen, hizmet verecek tesis (p) sayıları da 5 ile 167 arasında değişen 17 kapasite kısıtsız problem üzerinde genetik algoritma uygulaması yapılmış sonuçları Tablo 33 ile gösterilmiştir . 8 problem için

optimum sonuç bulunurken 9 problem için optimum sonuca ulaşmada hata oranları %0.02 ile %0.94 arasında olduğu belirlenmiştir. Düğüm sayısının artması algoritmanın performansında optimum sonucu ulaşmada herhangi bir olumsuzluğa sebep olmamaktadır. Örneğin 100 düğüm, 5 medyandan oluşan P_{med_1} problemi için de 500 düğüm 5 medyandan oluşan $p_{med_{21}}$ problemi için de optimum sonuca ulaşılmıştır. Harcanan süre olarak değerlendirme yapılması gerekirse P_{med_1} problemi için harcanan süre 5 saniye iken, $p_{med_{21}}$ problemi için 138 saniyeye harcanmıştır. Algoritmanın çalışmasında geçen süre sadece problemin büyüklüğüne bağlı değil aynı zamanda algoritmanın parametre değerlerine, algoritmanın kodunun yazıldığı programlama diline ve uygulamanın çalıştırıldığı bilgisayarın özelliklerine göre de değişebilmektedir.

Bazı problemlerde medyan sayıları artış gösterdiğinde ise algoritmanın optimum sonuca ulaşmadığı görülmektedir. Örneğin p_{med_6} probleminde düğüm sayısı 200, medyan sayısı 5, $p_{med_{10}}$ probleminde düğüm sayısı 200, medyan sayısı ise 67'dir. P_{med_6} probleminde optimum sonuç bulunurken medyan sayısı 67 olan $p_{med_{10}}$ probleminde optimum sonuçtan %0.47 oranında uzaklaşıldığı görülmüştür.

Sonuç olarak, uygulaması yapılan genetik algoritma test problemlerinde optimum sonuç veya optimum sonuca yakın değerlere ulaşmıştır. Medyan sayısının büyük boyutlu problemlerde algoritmanın performansı arttırmak için ileride algoritmaya yerel arama algoritmaları eklenebilir veya diğer meta sezgisel yöntemler ile birleştirilerek hibrit çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKÇA

- Drezner, Z. ;
Brimberg, J. ;
Mladenović, N. ;
Salhi, S. :
“New Heuristic Algorithms For Solving The Planar P-Median Problem”, **Computers & Operations Research**, C: LXII, 2015, s.296-304.
- Crainic, TG. ;
Gendreau, M. ;
Hansen, P. ;
Mladenovic, N. :
“Cooperative Parallel Variable Neighborhood Search For The P-Median”, **Journal of Heuristic**, C: X, No:3, 2004, s.293-314.
- Correa, E.S.;
Steiner ,M.T.A.
;Freitas, Alex
A.Carnieri, Celso
“A Genetic Algorithm For The P-Median Problem”,
GECCO'01 Proceedings of the 3rd Annual Conference on
Genetic and Evolutionary Computation, s.1268-1275
- Akyol, Sinem;
Alataş, Bilal:
“Güncel Sürü Zekâsı Optimizasyon Algoritmaları”,
Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, No:1, 2012, s.38.
- Alp, Osman;
Erkut, Erhan;
Drezner, Zvi:
“An Efficient Genetic Algorithm For The P-Median Problem”, **Annals of Operations Research**, C: CXXII, 2003, s.21–42.

Arabani, A. B. ;
Farahani, R. Z. : “Facility Location Dynamics: An Overview of Classifications and applications”, **Computers & Industrial Engineering**, C:LXII, 2012, s. 408-420.

Basti, Mehmet ;
Sevкли, Mehmet: “An Artificial Bee Colony Algorithm For The P-Median Facility Location Problem”, **Int. J. Metaheuristics**, C: IV, No: 1, 2015, s. 91–113.

Beasley, J. E. : P-medyan problem seti, (çevrimiçi)
<http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/info.html>

Bielli, M.
Caramia, M.
Carotenuto, P: “Genetic Algorithms in Bus Network Optimization”, **Transportation Research Part C**, C:X, 2002, s.21.

Blum, Christian;
Roli, Andrea: “Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison”, **ACM Computing Surveys**, C:XXXV, No:3, 2003, s.271.

Brito, J. ;
Martinez, F. J. ;
Perez, J.:
“Particle Swarm Optimization For The Continuous P-Median Problem”, 6th WSEAS Int. Conference on Computational Intelligence, Man-Machine Systems and Cybernetics, Tenerife, Spain, December 14-16, 2007

Cadenas, J.M. ;
Canos, M.J. ;
Garrido, M.C. ;
Ivorra, C.;
Liern, V. :
“Soft-Computing Based Heuristics For Location On Networks: The P-Median Problem”, **Applied Soft Computing**, C: XI, No:2, 2011, s.1540–1547.

Chaudhry, S.S. ;
He, S. ;
Chaudhry, Peggy. E. :
“Solving A Class Of Facility Location Problems Using Genetic Algorithm”, Expert Systems, C: XX, No:2, 2003, s.86-91.

Chiou, Yu-Chiun ;
Lan, Lawrence W. :
“Genetic Clustering Algorithms”, **European Journal of Operational Research**, C: CXXXV, No:2, 2001, s.413-427.

Chiyoshi, Fernando
Galvao, Roberto D. :
“A Statistical Analysis Of Simulated Annealing Applied To The P-Median Problem”, **Annals of Operations Research**, C: XCVI, No: 1-4, 2000, s.61-74.

Correa, E.S. ;
Steiner, M.T. A. ;
Freitas, A.A. ;
Carnieri, C. ;

“A Genetic Algorithm For Solving A Capacitated P-Median Problem”, **Numerical Algorithms**, C: XXXV, 2004, s.373-388.

Cura, Tunçhan:

Modern Sezgisel Teknikler ve Uygulama Alanları,
Papatya Yayıncılık Eğitim, İstanbul, 2008

Çalışkan, Emre:

“Kapasitesiz Tesis Yeri Seçim Problemim için Karınca Kolonisi En İyilemesi Algoritmasına Dayalı Sezgisel Bir Yaklaşım”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2008

D.Merino, E. ;
Perez, J. Muñoz:

“An Efficient Neural Network Algorithm For The P-Median Problem”, Conference Paper in Lecture Notes in Computer Science · November 2002

Dep, Kalyanmoy:

Optimization For Engineering Design, PHI learning, New Delhi, 2012

Díaz, Juan A. ;
Fernández, Elena: “Hybrid Scatter Search And Path Relinking For The Capacitated *P*-Median Problem”, **European Journal of Operational Research**, C: CLXIX, No: 2, 2006, s.570-585.

Domínguez, E. ;
Pérez, J. Muñoz ;
Jerez, J. Manuel : “Neural Network Algorithms For The *P*-Median Problem”, ESANN'2003 proceedings - European Symposium on Artificial Neural Networks Bruges (Belgium), 23-25 April 2003, d-side publi. ISBN 2-930307-03-X, s. 385-391.

Dominguez, E. ;
Munoz, J. : “A Neural Model For the *P*-Median Problem”, *Computers & Operations Research*, C: XXXV, No:2, 2008, s. 404-416.

Dorigo, Marco;
Stützle, Thomas: “Ant Colony Optimization: Overview and Recent Advances”, **Springer International Series in Operations Research Management Science**, 2019, s.318.

E. , Alekseeva;
N. , Kochetova;
Y. , Kochetov;
A. , Plyasunov: “A Hybrid Memetic Algorithm For The Competitive *P*-Median Problem”, **IFACC Proceedings Volumes**, C: XLII, No:4, 2009, s.1533-1537.

El-Sawy, Ahmed;

Hussein, A.
Mohamed;

Zaki, M. EL-Sayed

Mousa, A. A. :

“An Introduction to Genetic Algorithms: A Survey a Practical Issues”, **International Journal of Scientific & Engineering Research**, C:V, No:1, 2014, s.252.

Ermutaf, Elif Güler:

“Çok Amaçlı Konteyner Yükleme ve Araç Rotalama Problemlerinin Çözümü için Genetik Algoritma Yaklaşımı: Porselen Sektöründe Karar Destek Sistemi Önerisi”, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2019

Fathali, Jafar:

“A Genetic Algorithm For The *P*-Median Problem With Pos/Neg Weights”, **Applied Mathematics and Computation**, C: CLXXXIII, No:2, 2006, s.1071-1083.

Fathali, Jafar;

Kakhki, Hossein T. ;

Burkard, Rainer E. :

“An Ant Colony Algorithm For The Pos/Neg Weighted *P*-Median Problem”, **Central European Journal of Operations Research**, C: XIV, No:3, 2006, s.229-246.

Fathali, Jafar;

Kakhki, H.
Taghizadeh:

“Solving The *P*-Median Problem With Pos/Neg Weights By Variable Neighborhood Search And Some Results For Special Cases”, **European Journal of Operational Research**, C: CLXX, No: 2, 2006, s.440-462.

Fleszar, K. ;
 Hindi, K.S :
 “An Effective VNS For The Capacitated P-Median Problem”, *European Journal of Operational Research*, C: CXCI, No:3, 2008, s.612-622.

Franc, P.M.M. ;
 Sosa, Nelida;
 Pureza, Vitoria:
 “An Adaptive Tabu Search Algorithm For The Capacitated Clustering Problem”, **Intl. Trans. in Op. Res.**, C: VI, 1999, s.66-678.

Gabriel, Bodnariuc;
 Sergiu, Cataranciuc:
 “Search Tree-Based Approach For The P-Median Problem Using The Ant Colony Optimization Algorithm”, **Computer Science Journal of Moldova**, C: XXII, No:1(64), 2014, s.62-76.

García-López. F. ;
 Melián-Batista, B.
 Moreno-Pérez, J.A. ;
 Moreno-Vega, J.M.
 “Parallelization Of The Scatter Search”, **Parallel Computing**, C: XXIX, No:5, 2003, s.575-589.

García-López. F. ;
 Melián-Batista, B.
 Moreno-Pérez, J.A. ;
 Moreno-Vega, J.M.
 “The Parallel Variable Neighborhood Search For The *P*-Median Problem”, **Journal of Heuristic**, C: VIII, No:3, 2003, s.375-388.

Glover, Fred: "Tabu Search Part-I", **Operation Research Society of America**, 1989, C:I, No:3,1989, s.192.

Goldberg, D. ;

Deb, K. ;

"Genetic Algorithms, Noise, and the Sizing of Population", **Complex Systems**, 1992, s.4.

Clark, James H. :

Hakimi, S. L.

"Optimum Locations of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graph", **Operation Research**, C:XII, No:3, 1964, s.450.

Hansen, P. ;

Brimberg, J. ;

Urosevic, D. ;

"Solving Large P-Median Clustering Problems By Primal–Dual Variable Neighborhood Search", **Data Mining and Knowledge Discovery**, C: XIX, No:3, 2009, s.351-375.

Mladenovic, N. :

Hansen, P. ;

Mladenović ,N. :

"Variable Neighborhood Search For The P-Median", **Location Science**, C: V, No: 4, 1997, s. 207-226

Hansen, P; “Variable neighborhood search: Principles and applications”, *European Journal of Operational Research*, C: CXXX, No:3, 2001, s.449-467.

Mladenovic, N. :

Hosage, C. M. “Discrete Space Location-Allocation Solutions From Genetic Algorithms”, ***Annals of Operations Research***, C: VI, No: 2, 1986, s.35-46.

Goodchild, M. F. :

I.H., Osman ; “Guided Construction Search Metaheuristics For The Capacitated P-Median Problem With Single Source Constraint”, *Journal of the Operational Research Society*, C:LVIII, No:1, 2007, s.110-114.

Ahmadi, S. :

J. Manuel, Colmenar; “Discrete Optimization: Advanced Greedy Randomized Adaptive Search Procedure For The Obnoxious P-Median Problem”, ***European Journal of Operational Research***, C: CCLII, No:2, 2016, s. 432-442.

Peter, Greistorfer;
Rafael, Martí;
Abraham, Duarte:

Jahromi Haghighat, “Initialization Strategies For Enhancing The Performance Of Firefly Algorithms in P-Median Problem”, ***Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi (CFD)***, C: XXXVI, No: 4 Özel Sayı, 2015, s.1999-2003.

Alireza ;
Zarei, Mahnaz:

Jang, Jyh-Shing

Roger;

Sun, Chuen-Tsai Sun:

Neuro-Fuzzy and Soft Computing, Prentice Hall, USA,
1997, s.176

Jánošíková, L'udmila;
Herda, Miloš;

Haviar, Michal:

“Hybrid Genetic Algorithms With Selective Crossover For
The Capacitated P-Median Problem”, **CEJOR**, C: XXV,
No:3, 2017, s.651–664.

Javier, Alcaraz'

Mercedes, Landete;

Juan F. Monge:

“Design and analysis of hybrid metaheuristics for the
Reliability p-Median Problem ”, **European Journal of
Operational Research**, C: CCXXII, No:1, 2012, s.54-64.

Jayalakshmi, B. ;

Singh, Alok :

“A Hybrid Artificial Bee Colony Algorithm For The P-
Median Problem With Positive/Negative Weights”,
OPSEARCH, C: LIV, No:1, 2017, s.67–93.

Karaboğa, Derviş:

Yapay Zekâ Optimizasyon Algoritmaları, Atlas Yayın
Dağıtım, İstanbul, 2004

Kaveh, A. ;
Esfahani, HN. ; “Hybrid Harmony Search For Conditional P-Median Problems”, **International Journal of Civil Engineering**, C: X, No:1, 2012, s.32-36.

Kirkpatrick, S. ;
Gelatt, C. D: ; “Optimization by Simulated Annealing”, **Science, New Series**, C:XLII, No: 4598, s.24
Vecchi, M. P. :

Kochetov, Y. ;
Aleksseeva, E.
;Levanova T. ; “Large Neighborhood Local Search For The P-Median Problem”, **Yugoslav Journal of Operations Research**, C: XV, No:1, 2005, s.53-63.
Loresh M. :

Krömer, P. ;
Platos, J. : “Solving The P-Median Problem By A Simple Differential Evolution”, 2014 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics

Lev, A. K. ;
Aljona A. Stupina: “Fast Genetic Algorithm With Greedy Heuristic For P-Median And K-Means Problems”, 2014 6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)

- Levanova, T.V. ;
Loresh, M.A. : “Algorithms Of Ant System And Simulated Annealing For The P-Median Problem”, **Automation and Remote Control**, C: LXV, No: 3, 2004, s. 431–438.
- Li, Xiang;
Xia, Ningchuan;
Claramunt,
Christophe;
Lin, Hui:
Lim, A;
Xu, Z: “Initialization Strategies To Enhancing The Performance Of Genetic Algorithms For The P-Median Problem”, **Computers & Industrial Engineering**, C: LXI, No:4, 2011, s. 1024–1034.
- “A Fixed-Length Subset Genetic Algorithm For The P-Median Problem”, Genetic and Evolutionary Computation - GECCO, 2003, s.1596-1597.
- Lorena, L.A. N. ;
Furtado, J.C. : “Constructive Genetic Algorithm For Clustering Problems”, Evolutionary Computation, C: IX, No:3, 2001, s.309-327.
- Magyar, Gábor;
Johnsson, Mika;
Nevalaine, Olli: “An Adaptive Hybrid Genetic Algorithm For The Three-Matching Problem”, **IEEE Transactions on Evolutionary Computation**, C: IV, No:2, 2000, s.135-146.

Magzhan Kairanbay; “A Rewiew and Evaluations of Shortest Path Algorithms”,
Mat Jani, Hajar: **International Journal of Scientific Technology Research**,
C:II, No:6, 2013, s.101.

Mahdi, Bashiri; “Finding The Optimum Location in a One-Median Network
M.H. , Bakhtiarifar: Problem With Correlated Demands Using Simulated
Annealing”, **Scientia Iranica, Transactions E: Industrial
Engineering**, C: XX, No:3, 2013, s.793–800.

Maniezzo, V. ; “A Bionomic Approach To The Capacitated P-Median
Mingozzi, A. ; Problem”, **Journal of Heuristic**, C: IV, No:3, 1998, s.263-
Baldacci, R. : 280.

Mazinan Hassan,
Gholami ; “An Efficient Hybrid CS And K-Means Algorithm For The
Gholam Reza, Capacitated P Median Problem”, arXiv:1406.7473 [math.
Ahmadi; OC]
Khaji, E. :

Mitchell, Melanie “Genetic Algorithms: An Overview”, Complexity, Wiley
Online Library, 1995, s.6)

Murray, A.T. ;
Church, L. Richard: “Applying Simulated Annealing To Planning-Location Models. Journal Of Heuristics”, **Journal of Heuristic**, C: II, 1996, s.31-53.

Neema, M. N. ;

Maniruzzaman K.M. “New Genetic Algorithms Based Approaches To Continuous P-Median Problem”, *Networks and Spatial Economics*, C:XI, No:1, 2011, s.83-99.

Ohgai, A. :

Otto, S. ;
Kokai, G. : “Decentralized Evolutionary Optimization Approach To The P- Median Problem”, *EvoWorkshops 2008, LNCS* 4974, pp. 659–668, 2008

Owen, S. Hesse;
Daskin, S. Mark: “Strategic facility location: A review”, **European Journal Of Operational Research**, C:CXI, 1998, s.424.

Özçakar, Necdet;
Bastı, Mehmet: “P-Medyan Kuruluş Yeri Seçim Probleminin Çözümünde Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması Yaklaşımı”, **Istanbul University Journal of the School of Business Administration**, C: XLI, No:2, 2012, s.241-257

Perez, Moreno; “A Parallel Genetic Algorithm For The Discrete P-Median Problem”, **Studies in Locational Analysis**, No:7, 1994, s.131-141.
 Roda- Garcia, J.A. :

Perretto, M. “Reconstruction of phylogenetic trees using the ant colony optimization paradigm”, **Genetics and Molecular Research**, C: IV, 2005, s.585.
 Lopes, H. S. :

Pullan, Wayne: “A Population Based Hybrid Metaheuristic For The P-Median Problem”, 2008, IEEE Congress on Evolutionary Computation (IEEE World Congress on Computational Intelligence)

Rabie, Hassan M. ; “Particle Swarm Optimization Algorithm For The
 El-Khodary, Ihab A. ; Continuous P-Median Location Problems”, 2014 10th
 Tharwat, Assem A. : International Computer Engineering Conference (ICENCO)

Rawan, C.A. ; “Solving Large P-Median Problems By A Multistage Hybrid Approach Using Demand Points Aggregation And Variable Neighbourhood Search”, **Journal of Global Optimization**, C: LXIII, No:3, s.537-554.
 Salhi, S. :

Reeves, Colin: **“Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems”**, McGrawHill Book Company, New York, 1995

Resende, M.G. C. ; **“A Hybrid Heuristic for the P-Median Problem”**, **Journal of**
Werneck, R.F. : **Heuristic**, C: X, No:1, 2004, s.59-88.

Resende, Mauricio; **“A Hybrid Multistart Heuristic For The Uncapacitated**
Werneck, Renato F. : **Facility Location Problem”**, **European Journal of**
 Operational Research, C: CLXXIV, No: 1, 2006, s.54-68.

Revelle, C. ; **“Central Facilities Location”**, **Geographical Analysis**, C:II,
Swain, R. : No:1, 1970, s. 30-35.

Righini, G. : **“A Double Annealing Algorithm For Discrete**
 Location/Allocation Problems”, **European Journal of**
 Operational Research, C: LXXXVI, No:3, 1995, s.452-
 468.

Rolland, Erik;
Schilling, David A. ;
Current, John R. :
“An Efficient Tabu Search Procedure For The P-Median Problem”, **European Journal of Operational Research**, C: XCVI, No:2, 1997, s.329-342.

Rosing, K.E. ;
ReVelle, C.S. ;
Rolland, E. ;
Schilling, D.A. ;
Current, J.R. :
“Heuristic Concentration And Tabu Search: A Head To Head Comparison”, **European Journal of Operational Research**, C: CIV, No:1, 1998, s.93-99.

S. Salhi:
“Defining Tabu List Size And Aspiration Criterion Within Tabu Search Methods”, **Computers & Operations Research**, C: XXIX, 2002, s.67-86.

Satman, Mehmet
Hakan:
Genetik Algoritmalar, Türkmen Kitabevi, İstanbul, 2016

Schlünz, E.B. ;
Vuuren, J.H. :
“An investigation into the effectiveness of simulated annealing as a solution approach for the generator maintenance scheduling problem”, **International Journal of Electrical Power**, 2013, C:LIII, 2013, s.13.

Sevкли, Mehmet;

Mamedsaidov,
Ruslan;

Çamci, Fatih:

“A Novel Discrete Particle Swarm Optimization For P-Median Problem”, **Journal of King Saud University – Engineering Sciences**, C: XXVI, No: 1, 2014, s.11-19.

Stefanello, Fernando;

Olinto C. B. De;
Araujo;

Muller, Felipe M:

“Matheuristics For The Capacitated P-Median Problem”, **International Transaction in Operational Research**, C: XXII, No:1, 2015, s.149–167.

Sule, R. Dileep:

Logistics of Facility Location and Allocation, Eastern Hemisphere Distrution, 2001

Suresh, P. V. S. ;

Roa, Venkateswara;

Desfmukh, S.G.:

“A genetic algorithmic approach for optimization of surface roughness prediction model”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, C:XLII, 2002, s.677.

Taşkın, Çağatan;

Emel, Gül Gökay:

Sayısal Yöntemlerde Genetik Algoritmalar, Alfa Aktüel, Bursa, 2009

Torres, I. ,Landa;

Del Ser, J. ;

Salcedo-Sanz, S. ;

Gil-Lopez, S. ;

Portilla-Figueras,
J.A.;Alonso-Garrido
O. :

“A Comparative Study Of Two Hybrid Grouping Evolutionary Techniques For The Capacitated P-Median Problem”, **Computers & Operations Research**, C: XXXIX, No:9, 2012, s. 2214–2222.

Varnamkhasti, M.

Jalali Hassan,
Nasruddin:

“Classical and Urgencies Assignment Methods In P-Median Problems With Fuzzy Genetic Algorithm”, **Pakistan Journal of Statistics**, C: XXXI, No:5, 2015, s. 643-651.

Whitley, D. :

“A Genetic Algorithm Tutorial”, **Statistics and Computing**, C:IV, 1994, s.2.

Xua, Xianrui;

Lia, Xiang;

Lia, Xiaojie;

Linb, Hui:

“An Improved Scatter Search Algorithm For Capacitated P-Median Problem”,2010 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology, Chengdu, 2010, s. V2-316-V2-320

Yaghini, Masoud;

Karimi, Mohammad;

Rahbar, Mohadeseh:

“A Hybrid Metaheuristic Approach For The Capacitated P-Median Problem”, **Applied Soft Computing**, C: XIII, No:9, 2013, s.3922–3930.

Yiğit, Tuncay;
Aydemir, Merve: “Paket Döndürmeksizin Genetik Algoritma Kullanarak Konteyner Yükleme Optimizasyonu”, **Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi**, No:6, 2018, s.24.

Yiğit, Vecihi;
Türkbey, Orhan: “Tesis Yerleşim Problemlerine Sezgisel Metotlarla Yaklaşım”, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.**, C: XVIII, No: 4, 2003, s.45-56.

Zohrehbandian, M.
Hamidnia namini, S. : “Ant Colony Optimization Techniques For The Hamiltonian P-Median Problem”, **Mathematical Sciences**, C: IV, No:4, 2010, s.383-390.

EKLER

EK-1: Pmed1 Problemine Ait Ekran Görüntüleri

```
+-----+
|           Genetic Algorithm           |
+-----+

GA settings:
Type                = binary
Population size     = 150
Number of generations = 200
Elitism              = 8
Crossover probability = 0.8
Mutation probability = 0.1

GA results:
Iterations          = 190
Fitness function value = -5819
Solution =
      x1 x2 x3 x4 x5 x6 x7 x8 x9 x10 x11 x12 x13 x14 x15 x16 x17 x18 x19 x20 ... x35
[1,]  0  0  0  0  1  1  1  0  0  0  1  1  0  1  1  1  0  0  0  1  ...  1
> print(decoder1(myga@solution))
[1]  7 13 99 91 65

+-----+
|           Genetic Algorithm           |
+-----+

GA settings:
Type                = binary
Population size     = 100
Number of generations = 300
Elitism              = 5
Crossover probability = 0.6
Mutation probability = 0.1

GA results:
Iterations          = 98
Fitness function value = -5819
Solution =
      x1 x2 x3 x4 x5 x6 x7 x8 x9 x10 x11 x12 x13 x14 x15 x16 x17 x18 x19 x20 ... x35
[1,]  1  1  0  0  0  1  1  1  0  1  1  0  1  1  0  0  0  1  1  0  ...  1
> print(decoder1(myga@solution))
[1] 99 91 13  7 65
```