



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ
ROTALAMA PROBLEMİNİN
METASEZGİSEL YÖNTEMLERLE ÇÖZÜMÜ:
BİR E-TİCARET FİRMASINDA
UYGULANMASI

Okan Rıdvan PAPAĞAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET**YÜKSEK LİSANS TEZİ****İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ ROTALAMA PROBLEMİNİN
METASEZGİSEL YÖNTEMLERLE ÇÖZÜMÜ: BİR E-TİCARET
FİRMASINDA UYGULANMASI**

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Burak EFE

2022, 89 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Burak EFE

Prof. Dr. Fatih Emre BORAN

Dr. Öğr. Üy. Ahmet Reha BOTSALI

İnsansız hava araçları (İHA), havacılık alanındaki gelişmeler ile birlikte hem askeri alanda hem sivil alanda daha fazla kullanılır hale gelmiştir. Havacılık sektöründeki bu teknolojik gelişmeler, üretim maliyetlerini azaltmıştır ve İHA'ların satın alınması kolay hale getirmiştir. İnsansız hava araçları (İHA), askeri alandan farklı olarak fotoğraf ve video çekimi, yangın izleme, ilk yardım, trafik kontrolü, tarımsal ilaçlamada vb. birçok alanda kullanılmaya başlamıştır. İHA ile lojistik alanında yeni adımlar atılmaya başlanmış ve İHA ile kargo taşımacılığı, şirketlerin son yıllarda entegre etmeye çalıştıkları bir alan olmaya başlamıştır. Mobil sistemlerdeki e-ticaret uygulamalarının fazlalaşması, ürünlerin kolay ulaşılabilir olmasını sağlamakta ve daha fazla teslimat problemini ortaya çıkarmaktadır. Aynı zamanda geçtiğimiz yıllarda yaşanan covid-19 salgını ile birlikte teslimat ile ilgili birçok problem meydana gelmiştir. Bu sorun, son adım teslimatı ile alakalı şirketleri yeni yöntemler geliştirmeye zorlamaktadır. Bu tez kapsamında, bir e-ticaret firmasına gelen siparişlerin müşterilere teslimatının motosiklet yerine, drone ile yapılması planlanmıştır. Yapılan çalışmada, metasezgisel yöntemler ile sonuç bulunmaya çalışılmıştır. Genetik algoritma, tavlama benzetimi, mutasyon operatörlü tavlama benzetimi ve mutasyon operatörlü parçacık sürü optimizasyonu algoritması uygulanmıştır. Sonuçlar işlem süresi ve mesafe olarak karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Araç Rotalama Problemleri, İnsansız Hava Aracı, Metasezgisel Yöntemler

ABSTRACT**MS THESIS****SOLUTION OF ROUTING PROBLEMS OF UNMANNED AERICAL
VEHICLES WITH METAHEURISTIC METHODS: IMPLEMENTATION IN
AN E-COMMERCE FIRM****Okan Ridvan PAPAGAN****THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE****Advisor: Assoc. Prof. Dr. Burak EFE****2022, 89 Pages****Jury****Assoc. Prof. Dr. Burak EFE****Prof. Dr. Fatih Emre BORAN****Asst. Prof. Dr. Ahmet Reha BOTSALI**

Unmanned aerial vehicles (UAVs) have become more used in both the military and civilian fields with the developments in the field of aviation. These technological advances in the aviation industry have reduced production costs and made purchasing UAVs easy. Unlike the military, UAVs are used for photography and video shooting, fire monitoring, first aid, traffic control, agricultural spraying, etc. has been used in many fields. New steps have been taken in the field of logistics with UAV and cargo transportation with UAV has become an area that companies have been trying to integrate in recent years. The increase in e-commerce applications in mobile systems makes products easily accessible and creates more delivery problems. At the same time, with the covid-19 epidemic in the past years, many problems related to delivery have occurred. This problem is forcing companies to develop new methods related to last mile delivery. Within the scope of this thesis, it is planned to deliver orders from an e-commerce company to customers by drone instead of motorcycle. In the study, it was tried to find results with metaheuristic methods. Genetic algorithm, simulated annealing, simulated annealing with mutation operator and particle swarm optimization algorithm with mutation operator are applied. The results were compared in terms of processing time and distance.

Keywords: Metaheuristic Methods, Unmanned Aerial Vehicles, Vehicle Routing Problem

ÖNSÖZ

Tüm tez çalışması boyunca, karşılaştığım problemleri aşmamda bilgi ve tecrübesini esirgemeyen her türlü konuda yardımcı olan hocam, Sayın Doç. Dr. Burak EFE'ye sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca bugünlere gelmeme vesile olan anneme, babama ve eşime yaptıkları fedakarlıklardan ve desteklerinden ötürü teşekkür ederim.

Okan Rıdvan PAPAĞAN
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. İnsansız Hava Aracı Tanımı ve Kullanım Alanları	2
1.2. İnsansız Hava Aracının Fiziki Yapısı	2
1.3. İnsansız Hava Araçlarının Sınıflandırılması	3
1.4. İnsansız Hava Araçlarının Avantajları ve Dezavantajları	4
2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ	5
2.1. Araç Rotalama Probleminin Uygulama Alanları	6
2.2. Araç Rotalama Probleminin Temel Bileşenleri	6
2.3. Araç Rotalama Problemi Modeli	7
2.3. Araç Rotalama Problemi Türleri.....	8
2.3.1. Dinamik ve Statik Çevre Durumuna Göre Araç Rotalama Problemleri.....	9
2.3.2. Rotalama Durumuna Göre Araç Rotalama Problemleri	9
2.3.2.1. Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemi	9
2.3.2.1. Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi	10
2.3.3. Kısıtlarına Göre Araç Rotalama Problemi.....	10
2.3.3.1. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi.....	10
2.3.3.2. Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi	11
2.3.3.3. Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi.....	12
2.3.3.4. Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi	12
2.4. Yol Durumuna Göre Araç Rotalama Problemi.....	12
2.4.1. Asimetrik ve Simetrik Araç Rotalama Problemi	12
3.ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	13
3.1. Kesin Çözüm Yöntemleri	13
3.1.1. Dal ve Kesme Algoritması.....	14
3.1.1. Dal ve Sınır Algoritması	14
3.2. Sezgisel Yöntemler	15

3.2.1. Klasik Sezgisel Yöntemler.....	15
3.2.1.1. Tasarruf Algoritması.....	15
3.2.1.2. Süpürme Sezgiseli.....	16
3.2.2 Metasezgisel Yöntemler	17
3.2.2.1. Karınca Kolonisi Algoritması	17
3.2.2.2. Genetik Algoritma	18
3.2.2.3. Tavlama Benzetimi Algoritması	22
3.2.2.4. Parçacık Sürü Optimizasyonu.....	24
3.2.3. İHA ile Araç Rotalama Problemi İçin Yapılan Çalışmalar	26
4. PROBLEMİN TANIMI, UYGULAMA VE SONUÇLARI.....	30
4.1. Problemin Matematiksel Modeli	30
4.2. Kullanılması Planlanan İnsansız Hava Aracının Özellikleri	31
4.3. Problemin Varsayımları	32
4.4. Uygulanan Senaryolar ve Sonuçları	32
4.4.1. Genetik Algoritma Kullanılarak Uygulanan Senaryo ve Çözümleri	32
4.4.1.1. Senaryo 1 için genetik algoritma	33
4.4.1.2. Senaryo 2 için genetik algoritma	34
4.4.1.3. Senaryo 3 için genetik algoritma	36
4.4.1.4. Senaryo 4 için genetik algoritma	37
4.4.1.5. Senaryo 5 için genetik algoritma	39
4.4.1.6. Senaryo 6 için genetik algoritma	41
4.4.2. Tavlama Benzetimi Kullanılarak Uygulanan Senaryo ve Çözümleri.....	43
4.4.2.1. Senaryo 1 için tavlama benzetimi	44
4.4.2.2. Senaryo 2 için tavlama benzetimi	45
4.4.2.3. Senaryo 3 için tavlama benzetimi	47
4.4.2.4. Senaryo 4 için tavlama benzetimi	49
4.4.2.5. Senaryo 5 için tavlama benzetimi	50
4.4.2.6. Senaryo 6 için tavlama benzetimi	52
4.4.3. Mutasyon Operatörlü Tavlama benzetimi Kullanılarak Uygulanan Senaryo ve Çözümleri.....	55
4.4.3.1. Senaryo 1 için mutasyon operatörlü tavlama benzetimi	56
4.4.3.2. Senaryo 2 için mutasyon operatörlü tavlama benzetimi	57
4.4.3.3. Senaryo 3 için mutasyon operatörlü tavlama benzetimi	58
4.4.3.4. Senaryo 4 için mutasyon operatörlü tavlama benzetimi	60
4.4.3.5. Senaryo 5 için mutasyon operatörlü tavlama benzetimi	61
4.4.3.6. Senaryo 6 için mutasyon operatörlü tavlama benzetimi	63
4.4.4. Mutasyon Operatörlü Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması Kullanılarak Uygulanan Senaryo ve Çözümleri	66
4.4.4.1. Senaryo 1 için mutasyon operatörlü parçacık sürü optimizasyonu	66
4.4.4.2. Senaryo 2 için mutasyon operatörlü parçacık sürü optimizasyonu	67
4.4.4.3. Senaryo 3 için mutasyon operatörlü parçacık sürü optimizasyonu	69
4.4.4.4. Senaryo 4 için mutasyon operatörlü parçacık sürü optimizasyonu	71
4.4.4.5. Senaryo 5 için mutasyon operatörlü parçacık sürü optimizasyonu	72
4.4.4.6. Senaryo 6 için mutasyon operatörlü parçacık sürü optimizasyonu	74
4.5. Sonuçların Karşılaştırılması.....	77
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	81
5.1. Sonuçlar	81

5.2. Öneriler	81
6. KAYNAKLAR	82
EKLER	88

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Döner Kanat ve Sabit Sanat İHA Sistemleri	3
Şekil 2.1. Bir aracın teslim rotası	5
Şekil 2.2. Araç Rotalama Problemi Türleri	9
Şekil 3.1. Araç Rotalama Problemi Çözüm Yöntemleri	13
Şekil 3.2. Tasarruf Algoritması	15
Şekil 3.3. Karınca Koloni Algoritması Uygulama Şeması	18
Şekil 3.4. Genetik Algoritmanın Akış Şeması.....	19
Şekil.3.5 Bir parçacığın konum değiştirmesi.....	25

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1.1. NATO İHA Sınıflandırması	3
Çizelge 1.2. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü İHA Sınıflandırması.....	4
Çizelge 4.1. Genetik algoritma kaba kodu	33
Çizelge 4.2. 20 Müşteri 4 Drone İçin Sonuçlar	33
Çizelge 4.3. 30 Müşteri 6 Drone İçin Sonuçlar	34
Çizelge 4.4. 40 Müşteri 7 Drone İçin Sonuçlar	36
Çizelge 4.5. 50 Müşteri 8 Drone İçin Sonuçlar	37
Çizelge 4.6. 60 Müşteri 9 Drone İçin Sonuçlar	39
Çizelge 4.7. 70 Müşteri 10 Drone İçin Sonuçlar	41
Çizelge 4.8. Tavlama benzetimi algoritmasının kaba kodu.....	44
Çizelge 4.9. 20 Müşteri 4 Drone İçin Sonuçlar	44
Çizelge 4.10. 30 Müşteri 6 Drone İçin Sonuçlar	46
Çizelge 4.11. 40 Müşteri 7 Drone İçin Sonuçlar	47
Çizelge 4.12. 50 Müşteri 8 Drone İçin Sonuçlar	49
Çizelge 4.13. 60 Müşteri 9 Drone İçin Sonuçlar	50
Çizelge 4.14. 70 Müşteri 10 Drone İçin Sonuçlar	52
Çizelge 4.15. Mutasyon operatörlü tavlama benzetimi kaba kodu.....	55
Çizelge 4.16. 20 Müşteri 4 Drone İçin Sonuçlar	56
Çizelge 4.17. 30 Müşteri 6 Drone İçin Sonuçlar	57
Çizelge 4.18. 40 Müşteri 7 Drone İçin Sonuçlar	58
Çizelge 4.19. 50 Müşteri 8 Drone İçin Sonuçlar	60
Çizelge 4.20. 60 Müşteri 9 Drone İçin Sonuçlar	62
Çizelge 4.21. 70 Müşteri 10 Drone İçin Sonuçlar	64
Çizelge 4.22. Mutasyon Operatörlü Parçacık Sürü Optimizasyonu Kaba Kodu.....	66
Çizelge 4.23. 20 Müşteri 4 Drone İçin Sonuçlar	67
Çizelge 4.24. 30 Müşteri 6 Drone İçin Sonuçlar	68
Çizelge 4.25. 40 Müşteri 7 Drone İçin Sonuçlar	69
Çizelge 4.26. 50 Müşteri 8 Drone İçin Sonuçlar	71
Çizelge 4.27. 60 Müşteri 9 Drone İçin Sonuçlar	72
Çizelge 4.28. 70 Müşteri 10 Drone İçin Sonuçlar	74
Çizelge 4.29. 20 müşteri 4 drone için sonuçların karşılaştırması	77
Çizelge 4.30. 30 müşteri 6 drone için sonuçların karşılaştırması	77
Çizelge 4.31. 40 müşteri 7 drone için sonuçların karşılaştırması	78
Çizelge 4.32. 50 müşteri 8 drone için sonuçların karşılaştırması	78
Çizelge 4.33. 60 müşteri 9 drone için sonuçların karşılaştırması	79
Çizelge 4.34. 70 müşteri 10 drone için sonuçların karşılaştırması	79

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

k	: Sıcaklık tekrar sayısı
K	: Araç kapasitesi
N	: Müşteri sayısı
q_i	: i 'nci müşterinin talebi
r_{ij}	: i 'nci nokta ile j 'nci nokta arasındaki mesafe
T^0	: Başlangıç Sıcaklığı
U	: Araç sayısı
V_i^t	: i .parçacığını t anındaki hızı
w	: Atalet Ağırlığı
X_i^t	: i parçacığının t anındaki konumu
δ	: uniform dağılımdan $(0,1)$ bir aralığında rastgele üretilen bir değerdir.

Kısaltmalar

ARP	: Araç Rotalama Problemi
AARP	: Asimetrik Araç Rotalama Problemi
AUARP	: Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi
DARP	: Dinamik Araç Rotalama Problemi
GA	: Genetik Algoritma
GNSS	: Global Navigation Satellite Systems
GSP	: Gezgin Satıcı Problemi
İHA	: İnsansız Hava Aracı
KKARP	: Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
KKO	: Karınca Kolonisi Araç Rotalama Problemi
KUARP	: Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemi
MKARP	: Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
MOPSO	: Mutasyon Operatörlü Parçacık Sürü Optimizasyonu
MOTB	: Mutasyon Operatörlü Tavlama Benzetimi
NATO	: North Atlantic Treaty Organization
NP	: Non Polynomial
PSO	: Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
SHGM	: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
TB	: Tavlama Benzetimi
TDARP	: Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi

1. GİRİŞ

Son otuz yıldaki teknolojik gelişmelerle birlikte, şirketler ile müşteriler arasındaki arz/talep ilişkisinin son derece hızlı olmasını gerektirmektedir. Bu durum şirketler açısından lojistik alanında sürekli olarak yeniden yapılanma ve gelişen teknolojiye entegre olma zorunluluğu getirmektedir. Bir şirketin tedarik zinciri aşamasındaki en önemli safhalarından biri lojistikdir. Şirketlerin/kurumların bu alandaki hedefi, düşük maliyetler veya daha hızlı etkin bir şekilde daha fazla talebe karşılık verip müşteri memnuniyetini en yüksek seviyede tutmak olmuştur. Günümüzde şirketlerin/kurumların, müşterilerinin taleplerini karşılamak için kullandığı en yaygın yöntemler arasında karayolu ve hava yolu taşımacılığı bulunmaktadır. Söz konusu bu durum, şirketlerin yüksek seviyede talepleri karşılarken büyük maliyetleri de ortaya çıkarmaktadır. Bu da şirketlerin maliyetlerini düşürmesini ve talebini maksimum seviyede karşılamasını bir zorunluluk haline getirmiş ve yeni çözüm arayışlarına başvurmasına neden olmuştur. Buna ek olarak, son yıllardaki mobil sistem üzerinde geliştirilen uygulamalar sayesinde ve internet kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte elektronik ticaret dünyada büyük bir öneme sahip olmuştur. Bu durum, firmaları birçok sektörde firmalar arasındaki rekabeti farklı bir düzleme taşımış ve kaçınılmaz olarak lojistik alanında geleneksel teslimat yöntemlerinin yerine alternatif çözümler arayışı içerisine girmeye zorlamıştır.

Geçtiğimiz yıllarda yaşanan COVID-19 salgınının ortaya çıkardığı lojistik sorunlar ve son adımda teslimat problemleri şirketleri özellikle E-ticaret uygulamaları üzerinden yapılan siparişlerin teslimatında teması minimuma indirme arayışı, şirketleri insansız sistemleri kullanmaya yönlendirmiş ve bunun için çözüm arayışları içerisine girmeye zorlamıştır. Son yıllarda da havacılık sektöründeki hızlı gelişim İnsansız hava araçlarının (İHA) kullanımı konusunda çeşitli denemeler yapmayı mümkün kılmış ve kullanmaya olanak sağlamıştır. 2013 yılında AMAZON adlı şirket ilk defa İHA ile teslimat için çalışmalarını başlatmış ve ilk teslimatını 2016 yılında İngiltere’de gerçekleştirmiştir (Canbaz, 2020). Ülkemizde yapılan son çalışmalar ile birlikte İstanbul-Ankara veya İstanbul-Eskişehir illeri arasında olacak şekilde drone ile teslimat yapılması için gereken güzergâh Sivil Havacılık Kurumu tarafından açıklanmıştır (Zorlu, 2022). Havacılık alanındaki bu gelişmeler gösteriyor ki İHA kullanımı gün geçtikte artacak ve çeşitli maliyet analizlerini yapmayı da zorunlu kılacaktır. Kullanılan sistemlerin daha verimli hale getirmek için lojistik alanındaki bu problemde İHA rotalama problemi olarak literatüre girmiştir.

Tez kapsamında İHA ile araç rotalama problemi (ARP) ele alınmış bunun için halihazırda motosiklet ile teslimat yapan E-ticaret firmasının ürünlerinin İHA kullanılarak teslimatı planlanmıştır.

Birinci bölümde genel olarak problem hakkında bilgi verilmiş olup, devam eden alt bölümlerinde İHA tanımı, türleri ve kullanım alanlarında hakkında bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde araç rotalama probleminin tanımı, çeşitleri hakkında bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde ARP için çözüm yöntemleri hakkında bilgi verilmiş, ARP ve İHA ile ARP ile ilgili kaynak araştırması yapılmıştır.

Dördüncü bölümde uygulaması yapılan problemin tanımı ve modeli anlatılmıştır. Aynı zamanda yapılan uygulama sonuçları gösterilmiş ve çözüm yöntemleri arasında karşılaştırma yapılmıştır.

Beşinci bölümde, bulunan sonuçlar genel olarak çözüm yöntemleri üzerinden değerlendirilmiş ve gelecekte yapılacak çalışmalar için tavsiyelerde bulunulmuştur.

1.1. İnsansız Hava Aracı Tanımı ve Kullanım Alanları

İHA'lar adından anlaşıldığı üzere görev esnasında, üzerinde personel bulundurmadan, otonom veya uzaktan kontrol edilme kabiliyetine sahip, kamera, silah, kargo vb faydalı yükleri taşıyabilen ve görevi bittikten sonra istenilen noktaya iniş yapabilen araçlardır (Kurt ve Ün, 2015).

İHA'lar başlangıçta askeri amaçlarla kullanılmaya başlamış olsa da teknolojinin gelişmesi ve temin edilme kolaylığının artmasıyla birlikte birçok alanda kullanılmaya başlamıştır. Yangın ile mücadelede, fotoğrafçılık ve film çekimlerinde, reklam sektörlerinde video kayıt yapımında, spor müsabakaları gibi birçok alanda kullanılmaya başlamıştır. Yapılan bir araştırmaya göre, gerçek kişiler tarafından kullanılan İHA'ların %75.1'i fotoğraf çekiminde, %58.7 oranda ise film çekimlerinde kullanılmaktadır (Kahveci ve Can, 2017).

1.2. İnsansız Hava Aracının Fiziki Yapısı

İHA bilinen uçak modelleri ile karıştırılmamalıdır. İHA'lar üç temel bileşenden oluşmaktadır. Uçağın kendisi, uçaktaki faydalı yük (payload) ve yer kontrol istasyonudur. Uçak gövdesi, uçak motoru (elektrikli veya yakıtlı), uçuş planlama ve kontrol sistemi (PC), navigasyon sistemi (GNSS) ve çarpışma güvenlik sisteminden oluşan bölüm uçağın kendisini oluşturan bileşendir. Kamera, lazer tarayıcılar, termal görüntüleme sistemleri,

radarlar, meteorolojik sensörler ve silah sistemlerinin bulunduğu bölüm faydalı yük bileşenini oluşturur (Yardımcı, 2019). İHA'lar aynı benzer insanlı sistemler gibi döner kanatlı ve sabit kanatlı olarak üretilebilmektedir. Aynı zamanda hem döner kanatlı hem sabit kanatlı hale gelebilen İHA'lar da vardır. Yapılacak olan bu çalışmada döner kanatlı sistemi olan bir drone Foxtech NAGA Pro tercih edilmiştir.



Foxtech Naga Pro Döner kanatlı İHA



Mili İHA Sabit Kanatlı ANKA

Şekil 1.1. Döner Kanat ve Sabit Sanat İHA Sistemleri

1.3. İnsansız Hava Araçlarının Sınıflandırılması

Günümüzde üretilen İHA'ların azami kalkış ağırlığı 18 gr ile yaklaşık 15 ton aralığında değişmektedir. Çok fazla çeşit ve tam bir standart olmamasından kaynaklı İHA'ların sınıflandırılmasında dünya genelinde tam bir net görüş ortaya konulamamıştır. Ancak en çok kabul gören görüşlerden biri NATO'ya (North Atlantic Treaty Organization) aittir. Çizelge 1.1.de NATO İHA sınıflandırması belirtilmiştir (SHGM, 2016).

Çizelge 1.1. NATO İHA Sınıflandırması

SINIFI	KATEGORİ	GÖREV İRTİFASI (ft)	MAKSİMUM GÖREV ÇAPI (km)
SINIF 1 150 Kg.dan hafif	Mikro <2 Kg	<200 AGL	5
	Mini 2-20 Kg	<3000 AGL	25
	Küçük >20	<5000 AGL	50
SINIF 2 150-600 kg	Taktik	<10000 AGL	200
SINIF 3 600 Kg.dan ağır	Mikro <2 Kg	<45000	Limitsiz
	Mini2 -20 Kg	<65000	Limitsiz
	Küçük >20	<65000	Limitsiz

Ülkemizde ise resmiyetteki İHA sınıflandırması Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) tarafından Çizelge 1.2.'deki gibi yapılmıştır (SHGM, 2016).

Çizelge 1.2. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü İHA Sınıflandırması

İHA 0	Azami Kalkış Ağırlığı	0.5 kg-4 kg arasında
İHA 1	Azami Kalkış Ağırlığı	4 kg-25 kg arasında
İHA 2	Azami Kalkış Ağırlığı	25 kg-150 kg arasında
İHA 4	Azami Kalkış Ağırlığı	150 kg ve üzeri

Ülkemizin NATO'ya üye bir devlet olduğu düşünüldüğünde NATO kapsamında yapılan İHA sınıflandırmasının da ülkemizde kabul edildiğini söyleyebiliriz.

1.4. İnsansız Hava Araçlarının Avantajları ve Dezavantajları

İHA'ların avantajlarından bahsedilecek olursa genel olarak, görev esnasında can kaybı riskinin çok düşük olması, kullanıcı personel yetiştirme ve bakım maliyetinin, insanlı hava araçlarına göre daha düşük olması, yüksek riskli ve ulaşılmaz güç bölgelerde esneklik kabiliyetinin olması, yapım maliyetinin insanlı uçaklara göre daha düşük olması olarak sıralanabilir.

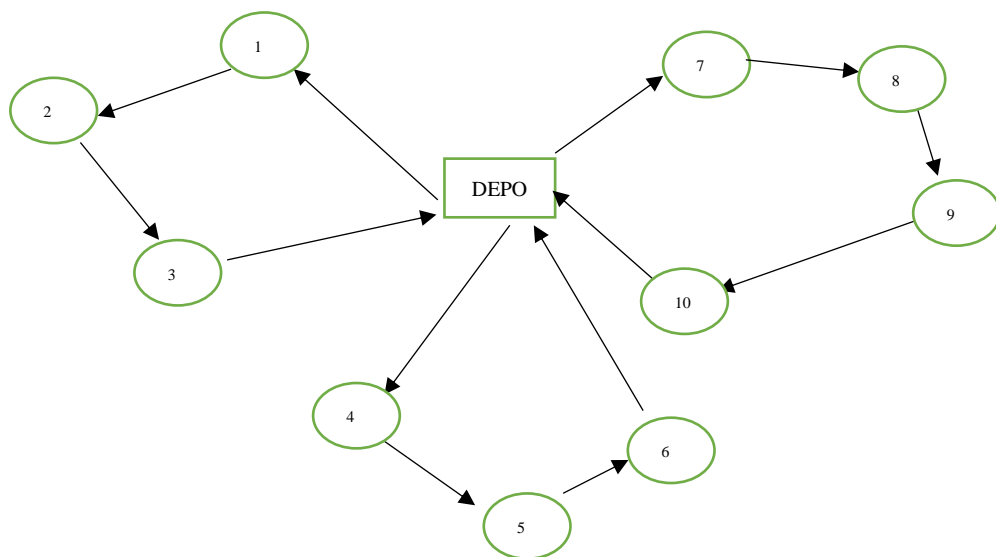
İHA'ların operasyon süresinin, havada kalma süresi kısıtı nedeniyle, daha kısa olması, görev yapabileceği irtifanın sınırlı olması, faydalı yük taşıma kapasitesinin düşük olması, komuta merkezi ile iletişimin kopması halinde oluşturabileceği risklerin yüksek olması, görev yapabileceği hava koşullarının esnekliğinin düşük olması, hava saldırılarına karşı savunmasının daha zayıf olması dezavantajları arasında gösterilebilir.

2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

Dantzig ve Ramser tarafından ilk olarak 1959 yılında, araç rotalama problemi olarak literatüre kazandırılmıştır. 1959 yılında yapılan bu çalışmada, gerçek hayattan bir uygulama yaparak, istasyonlara benzin dağıtımının planlaması problemi üzerinde durmuşlardır (Dantzig ve Ramser, 1959).

ARP tanımlanmasının kolay olduğu, ancak NP (NonDeterministic-Polynomial)-zor olan bir sınıfa aittir (Ho ve ark., 2008). ARP, temelde rotanın/rotaların bir merkezde başlayıp aynı merkezde son bulduğu, her müşterinin taleplerinin karşılandığı bir rota optimizasyon problemidir. ARP, literatürde gezgin satıcı problemi (GSP) olarak yer alan problem tipiyle son derece benzerlik göstermektedir. Aralarındaki en temel fark satıcının veya sevkiyat yapan birimin kapasitesinin GSP’de sınırsız olması ve bütün müşterilere hizmet verme kapasitesinin bulunmasıdır (Dursun, 2009).

Klasik ARP, kesin olarak bir depo tarafından bilinen ve belirli bir seviyede talebe sahip olan müşterilerden meydana gelir. Her bir aracın teslim rotası depodan/merkezden başlar ve aynı noktada biter. Bu şekilde, tüm müşterilere ulaşılır ve talepleri giderilir. Her müşteriye sadece bir araç planlanır. Araç kapasiteleri verilir ve sıklıkla her aracın seyahat edeceği maksimum mesafe bulunur. Muhtemel amaçlar toplam seyahat edilen mesafeyi minimize eden bir rota kümesi bulmak veya gerekli araç sayısını ve bu araçların seyahat ettiği mesafeyi minimize etmek olabilir (Baker ve Ayechev, 2003). Bir araç teslim rotası Şekil 2.1.’de sunulmuştur.



Şekil 2.1. Bir aracın teslim rotası

ARP'nin genel olarak en bilinen bir aracın teslim rotası amaçları şu şekilde sıralanabilir (Atmaca, 2012);

- Dağıtım/toplama maliyetlerinin minimum yapılması: Tüm araçlar tarafından kat edilen mesafeyi ve kullanılan araçların maliyetini içeren toplam maliyeti en eza indirmek
- Kullanılacak araç sayısının minimum yapılması
- Rotaların araçlar arasında dengeli olması,
- Müşterilerin talepleri karşılanırken zaman sınırı gibi kısıtlardan kaynaklı ceza maliyetlerinin minimum yapılması.

2.1. Araç Rotalama Probleminin Uygulama Alanları

Günümüzde Araç rotalama problemi, çok çeşitli alanlarda farklı amaçlar için kullanılabilir. Dağıtım alanında, toplama veya her ikisinin birlikte uygulandığı problem tiplerini de içerebilir. Genel olarak literatür incelendiğinde uygulama alanları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Keskintürk ve ark., 2015):

- Deniz ve Hava araçlarının rotalanması
- Çevrimiçi alışverişten yapılan malzemelerin teslimatı
- İş yeri ve okul servislerinin güzergahı
- Akaryakıt sevkiyatı
- Sağlık hizmetlerinde hasta transferleri
- Günlük ekmek, su vb. malzemelerin dağıtımı
- Atık toplama
- Güvenlik bölgelerindeki devriye araçlarının planlamaları
- Tekli veya çoklu depolardan malzemelerin müşterilere teslimatı

2.2. Araç Rotalama Probleminin Temel Bileşenleri

Genel olarak bir ARP'nin aşağıda belirtilen 4 temel bileşenden oluştuğunu söylemek mümkündür (Çalışkan, 2011):

Talep Türü: ARP'de dinamik ve statik olarak iki tip talep türü bulunur. Statik talep türünde, yapılacak tur öncesinde, talep miktarının bilinmesi söz konusudur. Dinamik talep türünde ise, bazı noktaların taleplerinin tur öncesinde bilindiği, bazılarının ise turu gerçekleştirirken öğrenildiği talep türüdür.

Malzeme Türü: ARP'de malzeme türü düşünüldüğünde, gerçek hayatta birçok çeşit malzeme ile karşılaşılmasından kaynaklı birçok tür bulunmaktadır. Dağıtılacak ve toplanacak malzeme, çeşitleri ve boyutlarına göre basit paketler veya karışık paketler

olarak düşünülebilir. Yiyecek maddeleri, gazete dağıtım, atık toplama vb. ürünler basit paketler sınıfına girmektedir. Güvenlik, etkinlik, eşitlik gibi ilave bazı amaçlarından dolayı personel servisleri karma yapıları malzeme türüne örnek olarak verilebilmektedir.

Dağıtım/Toplama Noktaları: Depo, genellikle ARP’de toplama noktası olarak ele alınırken, müşteriler ise dağıtım noktası olarak değerlendirilmektedir. Örnek olarak gıda ürünlerinin fabrikalardan toptancılara dağıtımını düşünülebilir. Depo, genel olarak yapılacak turun başlangıç ve bitiş noktasıdır. Depo sayısına göre, tek depolu ve çok depolu olarak iki tip ARP vardır.

Araç Filosu: ARP’de turu gerçekleştirecek araçların birbirleriyle özdeş veya farklı özellikler bulundurmasına göre iki gruba ayrılır. Genel olarak, kapasiteleri bilinen ve homojen (aynı kapasitede) yapıda araçlar kullanılmaktadır. Heterojen yapıdaki bir araç filusunda araçlar farklı kapasite özelliklerine sahiptirler. Heterojen yapıda araç bulunduran bir problemde hangi aracın hangi noktaya/müşteriye uğrayacağını tespit etmek için ilave kısıtlar gerekmektedir.

2.3. Araç Rotalama Problemi Modeli

Klasik bir ARP çözüldüğünde, sonuçta her müşteriye sadece bir aracın uğradığı rotalar kümesine ulaşılır. Elde edilen bu rota kümesi gerekli kısıtları sağlamak ve maliyeti minimize etmeye çalışmaktadır. Klasik bir ARP modeli tanımlanacak olursa; $P(H,F)$ bir grafi, $H = \{h_0, h_1, \dots, h_n\}$ noktalar kümesini, $F = \{(h_i, h_j) : h_i, h_j \in H, i \neq j\}$ bir kenar kümesini gösterebilir. H kümesinde h_0 merkez depoyu, n sayıdaki nokta ise müşterileri ifade etmektedir. Her müşterinin q_i olarak negatif olmayan bir talebi mevcuttur. K kapasiteli ve U adet bir araç filosu depoda bulunur. ARP’de temel amaç, her müşteriye uğramak suretiyle talebin karşılanması için U adet rotanın çizilmesidir. Bunu yaparken de mevcut bulunan kısıtların yerine getirilip maliyeti minimize etmeye çalışmaktır. Tek depolu klasik bir ARP’nin matematiksel modeli aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Erol, 2006):

U : Araç sayısı

N : Müşteri sayısı

r_{ij} : i ’nci nokta ile j ’nci nokta arasındaki mesafe

q_i : i ’nci müşterinin talebi

K : Araç kapasitesi

$X_{ijk} \begin{cases} 1, k \text{ nolu araç } i \text{ noktasından } j \text{ noktasına seyahet ederse} \\ 0, \text{ aksi takdirde} \end{cases}$

$$\text{Amaç fonksiyonu: } \min Z = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0, j \neq i}^N \sum_{k=1}^U d_{ij} X_{ijk} \quad (2.1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k=1}^U \sum_{j=1}^N X_{ijk} = M \quad i=0 \text{ için} \quad (2.2)$$

$$\sum_{k=1}^U \sum_{j=0, j \neq i}^N X_{ijk} = 1 \quad i \in \{1, \dots, N\} \quad (2.3)$$

$$\sum_{k=1}^U \sum_{i=0, i \neq j}^N X_{ijk} = 1 \quad j \in \{1, \dots, N\} \quad (2.4)$$

$$\sum_{i=1}^N X_{i0k} \leq 1 \quad k \in \{1, \dots, U\} \quad (2.5)$$

$$\sum_{i=1}^N q_i \sum_{j=0, j \neq i}^N X_{ijk} \leq K \quad k \in \{1, \dots, U\} \quad (2.6)$$

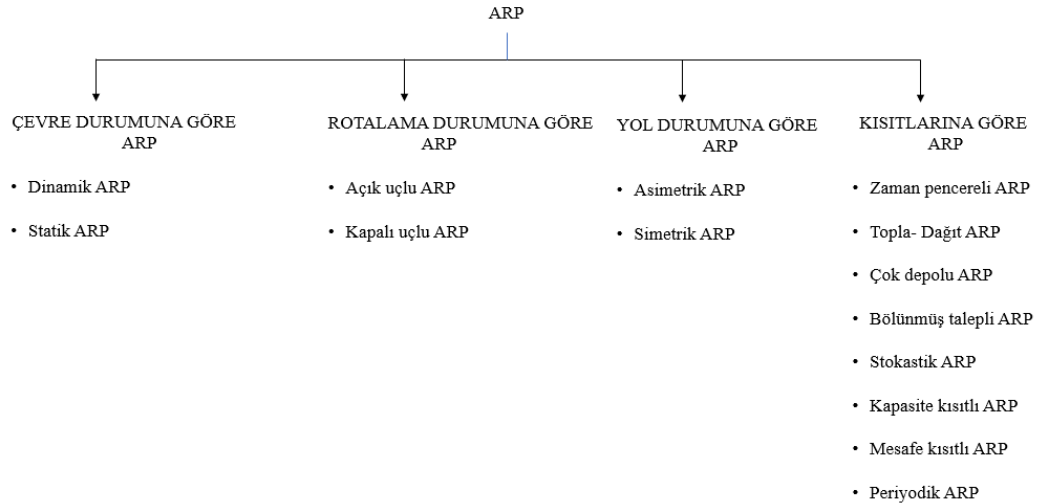
Denklem (2.1) ARP'nin nihai hedefi olan toplam alınacak mesafenin, dolayısıyla toplam maliyetin minimum yapılmasını ifade etmektedir. Denklem (2.2) depodan çıkacak aracın M adet olduğunu göstermektedir. Denklem (2.3) ve (2.4) depodan çıkan araçların mutlaka bir müşteriye uğramasını ve bir müşterinin maksimum bir araç tarafından ziyaret edilmesini ifade etmektedir. (2.5) numaralı denklem ise bir aracın rotalamada sadece bir defa kullanılacağını ifade etmektedir. En önemli kısıtlardan biri olan (2.6) numaralı denklem ise araçlara yüklenen malzeme miktarının araç kapasitesini geçemeyeceğini ifade etmektedir.

Klasik bir ARP çözülebilmesi gereken veriler şöyle sıralanabilir (Erol, 2006);

- Kullanılabilecek toplam araç sayısı
- Araçların kapasitesi
- Müşterilerin talep miktarı
- Müşterilerin depodan uzaklığı ve müşteriler arası mesafe bilgileri

2.3. Araç Rotalama Problemi Türleri

Güncel ARP'ye uygun çözümler üretmek her geçen gün daha fazla zorlaşmaktadır. Bunun en büyük sebeplerinden biri daha sertleşen rekabet koşulları ve değişen çevre koşullarından kaynaklı daha fazla kısıtın mevcut olan probleme ilave edilmesidir. Örneğin, zaman aralıkları (teslimat zamanı, servis süresi, bekleme süresi ve kalkış süresi), heterojen araç filolar, yol ağının kullanıma açık zaman aralığı, farklı noktalar arasında farklı hızların olması, araç sürücüleri için istirahat süreleri gibi kısıtları göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Mevcut kısıtların artması, ARP'yi daha fazla kompleks hale getirmektedir (Erel, 1995). Araç rotalama problemini kısıtlarına, çevre durumuna, rota ve yol durumuna göre sınıflandırmak mümkündür. Şekil 2.2.'de ARP türleri dört ana başlık altında gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Araç Rotalama Problemi Türleri

2.3.1. Dinamik ve Statik Çevre Durumuna Göre Araç Rotalama Problemleri

Bu ARP türü statik ve dinamik olarak ikiye ayrılmaktadır. Statik ARP’de, kapasite, talep miktarı, seyahat süresi kısıtlar ve değişkenler çözümden önce bilinir ve bu bilgiler çözüm esnasında değişken değildir. Dinamik ARP’de (DARP) ise bu veriler çözüm esnasında değişiklik gösterebilir. Müşterinin talep miktarının anlık artmasının veya azalmasının söz konusu olduğu problem tipi örnek olarak verilebilir.

2.3.2. Rotalama Durumuna Göre Araç Rotalama Problemleri

Rotalama durumuna göre araç rotalama problemlerinin ikiye ayrılması söz konusudur. Literatürde açık uçlu ARP (AUARP) ve kapalı uçlu ARP olarak yer almaktadır.

2.3.2.1. Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemi

Kapalı uçlu ARP, araçların ilk çıkış noktasından çıktığı ve turunu yine çıkış noktasında bitirdiği problem tipidir. Bir işletmenin bulunduğu problem tipli problemlerin çözümünde ilave kısıt eklenmelidir.

$$\sum_{j=1}^N X_{0jk} = \sum_{i=1}^N X_{i0k} \leq 1 \quad k \in \{1, \dots, U\} \quad (2.7)$$

0 numaralı nokta merkezi, yani araçların ilk çıkış noktasını temsil ettiği için bu noktadan çıkan aracın mutlaka bu noktaya dönmesi, (2.7) nolu denklemde aynı araç için bu nokta ile başlayan ve bu nokta ile biten X karar değişkenlerinin değerinin birbirine eşitlenerek

sağlanmaktadır. Yapılan çalışmalar genel olarak KUARP ile yapılmakta olduğu için, geliştirilen çözüm yöntemleri ve sonuçları da KUARP üzerinden değerlendirilmektedir (Erol, 2006).

2.3.2.1. Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi

Açık uçlu ARP (AUARP) , merkez depodan çıkıldıktan sonra turun son uğranılan müşteride bittiği problem tipidir. Bunun sağlanması için ek olarak bir kısıtın ilave edilmesine ihtiyaç yoktur. Problemin sonucunda doğacak sonuç zaten açık uçlu rotalar olacaktır. Ancak rotanın kesin olarak bir müşteride son bulmasına sağlayacak kısıt aşağıdaki gibidir:

$$\sum_{j=1}^N X_{0jk} + \sum_{i=1}^N X_{i0k} = 1 \quad k \in \{1, \dots, U\} \quad (2.8)$$

Bu denklemle bir aracın 0 numaralı merkezi (depo) ile başlayan veya biten ilgili X değişkenlerinden ancak biri 1 değerini alabilir böylece aracın sadece merkez (depodan) çıkması, oraya tekrar dönmemesi kesinleşmiş olmaktadır (Erol, 2006).

2.3.3. Kısıtlarına Göre Araç Rotalama Problemi

Araç Rotalama probleminin çözümü, gerçek hayat düşünüldüğünde kısıtların tamamının uygulanması halinde çok zor olacağından dolayı, aralarından en önemli kısıtlar seçilerek geriye kalan kısıtlar göz ardı edilerek en iyi sonuç bulunmaya çalışılmaktadır. Bunlardan bazı önemli olanları kapasite, mesafe kısıtı, zaman kısıtı ve yükleme boşaltma kısıtlarıdır. Kısıtlarına göre ARP, anılan bu kısıtların kullanımına göre literatüre girmiştir (Erol, 2006).

2.3.3.1. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi

Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KKARP), n adet müşterisine hizmet veren bir şirketin, bir veya daha fazla merkez depoda bulunan ürünlerini teslimatını, belli bir yükleme kapasitesine sahip araçlar ile yapılması için ortaya çıkan bir araç rotalama problemidir. KKARP'de bir rotada yer alan müşterilerin toplam talebi araç kapasitesi K'yi geçmemelidir. Denklem (2.6)'da bu kısıt gösterilmektedir (Erol, 2006).

KKARP kendi içerisinde birkaç çeşidi barındırmaktadır. Bazı problemlerde aracın sabit bir çalışma maliyeti bulunuyor ise bu maliyetin amaç fonksiyonuna

eklenmesi gerekmektedir. Bundan dolayı amaçlardan biri de araç sayısı minimize etmek ve araç sayısını minimize ederken, bazı araçlar dışarda kalacak şekilde araç rotalama planlamasını yapması gerekmektedir. Diğer bir KKARP ise, farklı kapasite özelliklerindeki araçların bulunduğu bir işletmenin bulunduğu problem tipidir.

2.3.3.2. Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi

Kapasite kısıtlı araç rotalama probleminde bulunan kapasite kısıtının, rota planlaması yapılacak olan araçların kat edeceği maksimum mesafenin, aracın seyahat edebileceği maksimum mesafeyi geçmemesinin söz konusu olduğu problem tipidir. Problemin çözümü yeni ARP modeline bir kısıt daha eklenmesi gerekir. R aracın kat edebileceği maksimum mesafeyi gösterir.

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N d_{ij} \sum_{j=0, j \neq i}^N X_{ijk} \leq R \quad k \in \{1, \dots, U\} \quad (2.9)$$

MKARP'nin de literatürde farklı versiyonlarını bulmak mümkündür. Örneğin farklı özelliklere sahip araçlar için farklı mesafe kısıtı ($R_k, k=1, \dots, M$) söz konusu olabilir veya mesafe kısıtı yerine mesafeyle orantılı seyahat süresi kısıtı da bulunabilir. Böyle durumda araç her müşteriye ziyaret ettiğinde t_i servis süresi kadar bekleyecektir. Böyle problemlerde denklem 2.9 aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir (Erol, 2006).

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N d_{ij} \sum_{j=0, j \neq i}^N sX_{ijk} + \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \frac{t_i + t_j}{2} \sum_{j=0, j \neq i}^N X_{ijk} \leq T \quad k \in \{1, \dots, U\} \quad (2.10)$$

Denklem 2.10'da belirtilen s parametresi, araçların toplam kat ettiği mesafeyi kullanarak aracın seyahat süresini hesaplamakta kullanılmaktadır. Hizmet sürelerinin (t_i) yarısının alınmasının sebebi ise, araç için planlanan rotada bulunan müşterinin bir yolun başlangıcı iken diğer yolun sonu olmasından dolayı toplam ifadesinde iki defa hesaplanmasından kaynaklanmaktadır.

Araç sayısının ve süre kısıtının aynı anda bulunduğu problemlerde bazı noktaları ziyaret etmek mümkün olmayabilir. Bu noktaların kesinlikle ziyaret edilmesi gerekiyor ve araç sayısında bir artış yapma olanağı yoksa, zaman kısıtı aşılabılır. Bu durumda aşılın her birim süre için bir ceza maliyeti eklenerek, ceza maliyetini minimum yapacak şekilde çözüm aranabilir (Erel, 1995).

2.3.3.3. Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi

Yapılan çalışmalarda, kapasite kısıtlı araç rotalama problemleri olarak yer alan problemin her bir düğüm için zaman kısıtları $[t_i, s_i]$ olarak tanımlanan ve bir zaman penceresi olarak belirlenen aralıklarda uğrayabileceği bir problem türüdür. Tespit edilen zaman aralıklarının başlama zamanı t_i olarak gösterilirken, en geç başlama zamanını s_i olarak gösterilmektedir. Bu ifade ile, i noktasında hizmet alacak müşterinin en erken t_i , en geç s_i zamanında hizmet alacağını göstermektedir. Bu problem tipinde araç rotalaması yapılırken araç kapasiteleri, hizmet sürelerinin yanında ilave olarak zaman pencerelerinin de dikkate alınmasını amaçlamaktadır (Çetin ve Gencer, 2010).

2.3.3.4. Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi

Dağıtım ve toplama işleminin birlikte yapıldığı araç rotalama problemi (TDARP) tipidir. Dağıtım için taleplerin merkez (depodan) başladığı ve bütün toplama taleplerinin depoya sevk edilmesinin gerektiği ve bu sayede müşteriler arasında ürün akışının olmadığı kısıtlı bir durum söz konusudur. Diğer bir durum ise, kısıtı bütün müşterilerin tam olarak bir kez ziyaret edileceği bir duruma sokarak basitleştirmektir. Başka bir esnetmede, her aracın dağıtım işlerini bitirdikten sonra toplama işlemine başlayacağını varsaymaktır.

Bu problemin tipinin amacı, araçları sirkülasyonunu ve toplam mesafe süresini minimize etmek ve aynı zamanda araçların, dağıtım yapılması gereken ürünler ve müşterilerden toplanan ürünlerin merkeze (depo) sevk etmek için yeterli kapasiteyi barındırmasına dikkat etmektir (Yılmaz, 2008).

2.4. Yol Durumuna Göre Araç Rotalama Problemi

Gerçekleştirilecek rotada, düğümler arası uzaklığın gidiş ve geliş mesafelerinin aynı olup olmamasına göre simetrik ve asimetric olarak ikiye ayrılır.

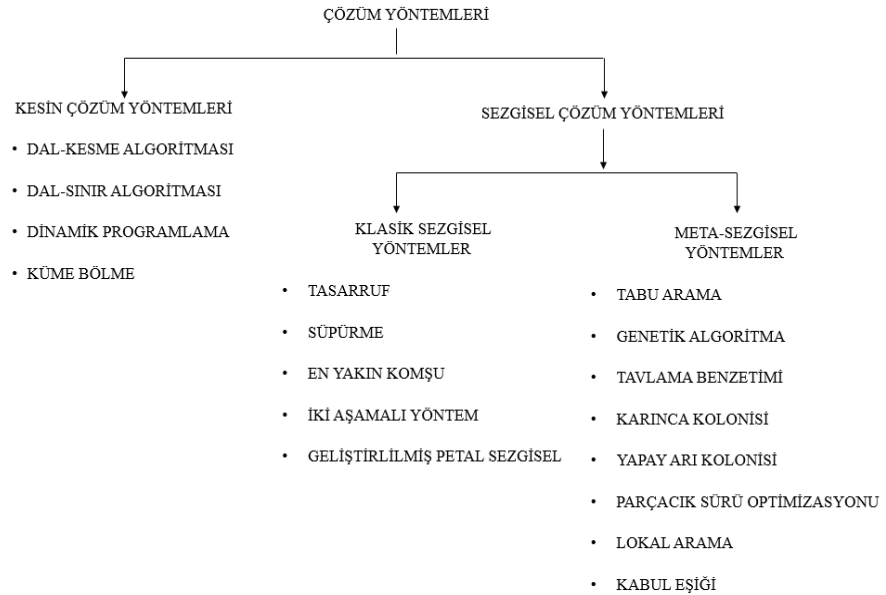
2.4.1. Asimetrik ve Simetrik Araç Rotalama Problemi

R_{ij} i . nokta ile j . nokta arasındaki mesafeyi gösteren bir ifadedir. Eğer i . nokta ile j . nokta arasındaki mesafe j . noktadan i . noktaya giderken kullanılacak yolun mesafesine eşit değil ise bu tip probleme Asimetrik ARP denir (AARP).

Simetrik ARP, düzenlenecek rotada düğümler arası mesafelerin hem gidiş hem gelişte aynı olduğu problem tipidir. Yani $R_{ij}=R_{ji}$ koşulunun sağlandığı problem tipidir.

3.ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Araç rotalama problemleri için günümüze kadar birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler iki başlık altında toplanacak olursa kesin çözüm yöntemleri ve sezgisel yöntemler olarak ayırmak mümkündür. Kesin çözüm yöntemlerini kullanarak optimum sonuca ulaşmak mümkündür. Fakat problemdeki karmaşıklık ve zorluk arttıkça çözüm süresi artmaktadır. Bazen çözüme ulaşmak mümkün dahi olmayabilir. Gencer ve Çetin (2010), zaman pencereli-topla dağıt ARP çözümü için yaptıkları çalışmada problemin zorluğu arttıkça çözüm bulamadıklarını ifade etmişlerdir. Diğer bir çözüm yöntemi olan sezgisel yöntemler ise optimum sonuca ulaşmayı garanti etmezler. Ancak daha karmaşık problemlerde dahi, kısa sürede optimuma yakın sonuçlar verirler. Sezgisel yöntemlerde ise yapılan çalışmalar ve geliştirilen yöntemler ile klasik ve meta-sezgisel yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Şekil 3.1’de çözüm yöntemleri gösterilmiştir (Aksaraylı ve ark., 2017).



Şekil 3.1. Araç Rotalama Problemi Çözüm Yöntemleri

3.1. Kesin Çözüm Yöntemleri

Kesin çözüm yöntemleri için geliştirilen algoritmalar, en iyi sonucu veren yöntemlerdir ancak hesaplama yönünden bir hayli zordur. Problemin çözüm uzayı büyüdükçe yöntemlerin uygulanması katlanarak zorlaşır (Chandler ve Pachter, 1998).

Kesin çözüm yöntemlerinden yaygın olarak kullanılan dal kesme, dal sınır algoritması aşağıdaki bölümde anlatılacaktır.

3.1.1. Dal ve Kesme Algoritması

Bu yöntem, tamsayılı programlama problemleri için oldukça etkili bir yöntemdir. Bu algoritma kesme düzlemi algoritması ve dal-sınır yöntemlerinin bir araya gelmesiyle oluşmuştur. Dal kesme yöntemi, dal sınır ve kesme düzlemi algoritması ile benzerlik göstermektedir. Her üçü de doğrusal programlama ile yapılan çözüm ile başlar.

Kesme düzlemi yaklaşımı kullanılarak bir tamsayılı programlama probleminin verimli bir sonuca ulaşmak mümkün değildir. Optimum çözümleri elde edebilmek için dallandırma yapılması gerekmektedir. Kesme düzlemi algoritması kullanılarak dal sınır yöntemine hız kazandırılabilir. Düğümlerin çözüm adımında kesmeler yapılabilir veya dallandırma yapılmadan kesmeler eklenerek uygulanabilir (Başkaya ve Öztürk, 2005).

Başkaya ve Öztürk (2005), yaptıkları çalışmada, 5 adet satış şubesi bulunan bir ekmek fabrikasının dağıtım problemini, araç rotalama problemi olarak uyarlayıp dal-kesme yöntemi ile çözmüştür. Araçlar için en iyi rotalar bulunmuştur.

Boğ (2006), zaman pencereli ARP (ZPARP) üzerine yaptığı çalışmada Solomon Test problemleri üzerinde çalışmış ve dal-kesme yöntemini kullanarak çözüm aramıştır.

Kallehauge ve arkadaşları (2006), yaptıkları çalışmada ZPARP üzerine çalışmışlardır. ZPARP’inde bulunan kısıtların esnetilmesiyle meydana getirilen Lagrange dual problemini çözmek için doğrusal programlama ile bir kesen düzlem algoritması önermişlerdir. Önerdikleri bu algoritmayı da bir dal-sınır algoritması içerisinde kullanarak Lagrange dal-kesim maliyet algoritması ile çözüm sürelerinde iyileştirmelere gitmişlerdir.

3.1.1. Dal ve Sınır Algoritması

Dal-sınır yöntemi arama ağacı ile ilişkili kısmi bir sıralama metodudur. Dal-sınır yönteminde, bütün ihtimal çözümler ağaç kökleri içerisinde yer almaktadır. Arama ağacının her bir düğüm noktası, amaç fonksiyonu değeri için daha düşük bir sınır noktası içeren çözüm kümesinin bir alt kümesidir. Alt sınır ilişkili olan gevşetilmiş doğrusal problemin çözülmesi ile elde edilir. En iyi sonuç bulunmaya çalışılırken, düğüm noktalarının fazlalaşmasıyla daha dar bir çözüm kümesine ulaşılır. Bu yöntem dallandırma yolu ile yeni arama yolları ortaya çıkarmaktadır. Bu aramada belirli şartlar altında bazı düğüm noktaları elimine edilir. Her bir düğüm noktası elimine edildiğinde yahut incelendiğinde işlem sona erer (Demircioğlu, 2009).

3.2. Sezgisel Yöntemler

Gerçek hayatta karşılaşılabilecek bazı problemlerin karmaşıklığı optimum sonuca ulaşmayı son derece zorlaştırabilir. Bu tür durumlarda optimum sonucu bulmak yerine, ona en yakın sonuca ulaşmak daha avantajlı olabilir. Karmaşıklığı son derece yüksek problemlerin çözümünde optimum sonuç olmasa da, daha iyi bir sonuca varmak için sezgisel yöntemler kullanılabilir. Sezgisel algoritmalar olsa olsa mantığıyla ilerleyerek daha iyi bir sonuca varmayı hedefleyen algoritmalarıdır. Avantajı ise optimum sonuç bulan algoritmalara göre daha kısa sürede bir cevap bulmasıdır. Sezgisel yöntemler kendi içerisinde klasik sezgisel ve metasezgisel yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır (Taha, 2007).

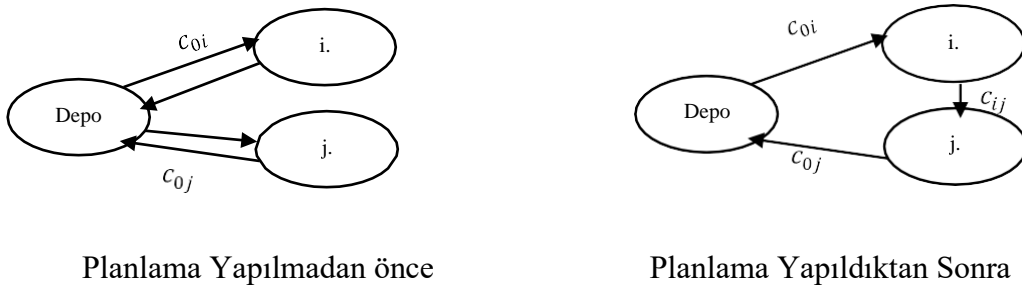
3.2.1. Klasik Sezgisel Yöntemler

Klasik sezgisel yöntemler Şekil 3.1.'de belirtildiği üzere kendi içerisinde dört farklı yöntem barındırmaktadır. Bu tez kapsamında tasarruf algoritması ve süpürme sezgiselinden bahsedilecektir.

3.2.1.1. Tasarruf Algoritması

Tasarruf algoritması, 1964 yılında Clark ve Wright tarafından geliştirilmiştir. Araçların rotası en büyük tasarruf değerinden başlayarak belirlenir (Ulutaş ve ark., 2017).

İlk adımda, tek tek araçlar için farklı birer rota oluşturulur. Dolayısıyla her bir müşteriye farklı bir araç hizmet verir. İkinci adımda tasarruf olarak ve uygun olma şartlarına bağlı olarak en iyi iki rota birleştirilir. İki farklı araç yerine tek bir araç ile hizmet vermesi durumunda maliyette meydana gelen azalma i . ve j . düğümü arasındaki tasarrufu ifade eder (Kosif ve Ekmekçi, 2012). Şekil 3.2. durumu ifade etmektedir belirlenir (Ulutaş ve ark., 2017).



Şekil 3.2. Tasarruf Algoritması

Kosif ve Ekmekçi (2012), yaptıkları çalışmada, önemli bir lojistik firmasının müşteri taleplerinin karşılanması için optimize ve lojistik maliyetlerini minimize etmek için tasarruf algoritması kullanmışlardır. Mevcut kullanılan rotalara göre, algoritma ile elde ettikleri rotalar tasarruf sağlamıştır.

Pichpibul ve Kawtummachai (2012), 16 ile 135 müşteriyi içeren 90 örnekten oluşan farklı durumları inceleyen bir ARP problemini, tasarruf algoritma temelli geliştirdikleri yöntemle çözerek sonuçları incelemiştir.

Ulutaş ve arkadaşları (2017), yaptıkları çalışmada Sivas'ta bulunan bir ekmek fabrikasının dağıtım için gerekli rotasını, tasarruf algoritması kullanarak tespit etmiş ve tasarruf edilmesini sağlamışlardır.

3.2.1.2. Süpürme Sezgiseli

1974 yılında Gillet ve Miller tarafından ARP çözümü için geliştirilen bir algoritmadır. Bu algoritmanın temel prensibi ARP'nin düzlemsel örneklerine uygulanıyor olmasıdır (Laporte ve ark., 2000). Depo ve müşteriler bir x-y düzleminde konumlandırılır ve başlangıç noktası depo olarak kabul edilir. Başlangıç olarak genellikle, +x ekseninden başlamak üzere saat yönünde veya saat yönünün tersi yönde +x eksenine müşterilerin arasındaki açılara göre en küçük açığa sahip depo-müşteri çiftinden başlanarak depodan müşterilere doğru bir rota çizilir. İlk müşteriye bu yöntem ile ulaşıldıktan sonra, yine aynı yönde bir sonraki en küçük açığa sahip olan müşteri tespit edilir. Bu uygulama devam ederken müşteri kapasiteleri ile toplanıp araç kapasitesi ile karşılaştırılır. Eğer bir sonraki adımdaki müşteri kapasitesi de eklenince araç kapasitesini aşarsa, araç bir sonraki müşteriye uğramadan depoya geri döner. Akabinde kullanılmayan bir araç, hizmet vermek için daha sıradaki müşteriye yönlendirilir ve tüm müşteri talepleri tamamlanana kadar bu işlem devam eder (Yıldırım, 2020).

Süpürme algoritmasının üç adımı bulunmaktadır (Laporte ve ark., 2000);

1. Hizmet vermemiş bir k aracı seçilir.
2. En küçük açığa sahip hizmet almamış müşteriler tespit edilir ve araç kapasitesi aşılmayacak şekilde bir rota çizilir. Eğer hizmet almayan müşteriler varsa 1. adıma geri dönlür.
3. Rotanın optimizasyonu yapılır. GSP ile ortaya çıkan her rota iyileştirilir.

Laporte, G. ve arkadaşları (2000), yaptıkları çalışmada klasik ve metasezgisel yöntemler olan süpürme sezgiseli ve tabu arama yöntemlerini kullanarak bir ARP

çözmüşlerdir. Klasik ve metasezgisel yöntemlerin sonuçlarını en iyi sonuç ile karşılaştırmışlardır.

Renaud ve Boctor (2002), yaptıkları çalışmada araçların kiralanmasından dolayı, çok değişkenlik gösteren, nakliye şirketlerinin araçları baz alınarak heterojen filolu bir ARP probleminin çözümü için süpürme sezgiseli kullanmışlardır. Uyguladıkları test problemlerinin üçü için en iyi sonuç bulmayı başarmışlardır.

Yıldırım ve Çebi (2020), yaptıkları çalışmada, bir şirkete ait araçların rota planlamasını heterojen filolu bir ARP olarak ele alarak süpürme sezgiseli kullanarak planlama yapmışlardır.

3.2.2 Metasezgisel Yöntemler

Çoğu optimizasyon problemi için en iyi sonucun bulunması, kabul edilebilir bir zaman aralığında elde edilmesi mümkün olmamaktadır. Metasezgisel yöntemler, bu karmaşık optimizasyon problemlerinin makul sürede yaklaşık ve kabul edilebilir bir sonuca ulaşmayı sağlayan algoritmalarıdır.

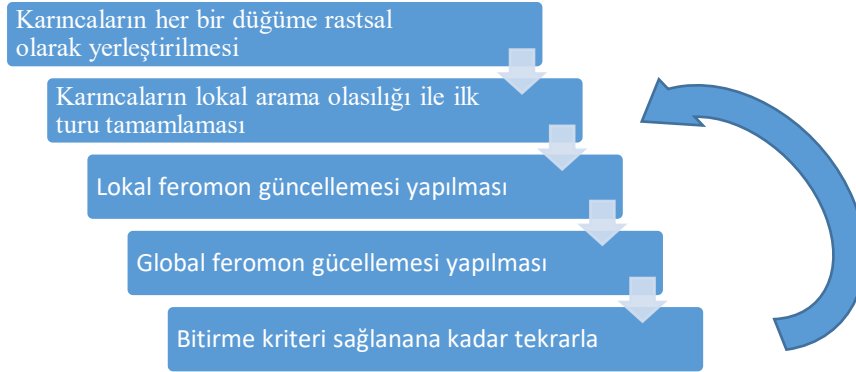
Metasezgisel yöntemler çözüm uzayını daha verimli bir şekilde aramayı mümkün kılacak temel sezgisel yöntemleri birleştirmeyi amaçlayan yaklaşık yöntemlerin geliştirilmesidir. Metasezgisel yöntemler, çözüm uzayında işletme için farklı kavramları etkili bir şekilde kombine ederek alt seviye sezgisellere rehberlik eden iteratif üretim sürecidir. Metasezgisel yöntemler, en iyi sonucu veya en yakın sonucu etkili bir şekilde üretebilmek için alt seviye sezgisellere rehberlik eden bir iteratif üst seviye procestir. Her bir yinelemede, bir çözümü ya da çözümlerin bir topluluğunu kullanır (Eroğlu, 2017).

Meta-sezgisel yöntemleri, genetik algoritma, karınca kolonisi, parçacık sürü optimizasyonu (PSO), tabu arama, tavlama benzetimi, kabul eşiği, lokal arama ve yapay arı kolonisi algoritması olarak, genel bir sınıflandırma yapmak mümkündür. Bu tez çalışmasında dört adet metasezgisel yöntem incelenmiştir.

3.2.2.1. Karınca Kolonisi Algoritması

Karınca kolonisi yaklaşımı gezgin satıcı problemi ve benzeri sorunlara karşı geliştirilen sezgisel yaklaşımlardan biridir (Söyler ve Keskintürk, 2007). Temel olarak karıncaların feromon izlerinin takibi üzerine kurulan bir yaklaşımdır. Karıncalar yuvalarıyla yiyecek kaynakları arasındaki mesafeyi en kısa tutacak şekilde bir yol izlerler. Çevrelerinde değişimi fark etme özelliğine sahiplerdir ve eğer yiyeceği ile yuvası arasında yol en kısa değilse yeniden bir en kısa yol bulma kabiliyetine sahiptirler.

Karınca kolonisi algoritması üzerine, geliştirildiğinden bu yana birçok çalışma yapılmış ve bu çalışmalara sonucunda birçok farklı karınca kolonisi algoritması ortaya çıkmıştır. Şekil 3.3.'te karınca kolonisi algoritması gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Karınca Koloni Algoritması Uygulama Şeması

Bell ve arkadaşları (2004), klasik bir araç rotalama probleminin çözümünde karınca kolonisi algoritması kullanarak bilinen en iyi çözümlerin % 1 içinde bulunan sonuçlar elde etmeyi başarmışlardır.

Rizzoli ve arkadaşları (2007), yaptıkları çalışmada karınca kolonisi algoritması kullanarak, İtalya'nın Padua şehrinde bir market zincirinin dağıtım operasyonlarını planlamak üzere, ZPARP için çözüm aramışlardır.

Yılmaz (2008), çok depolu bir araç rotalama problemini karınca kolonisi optimizasyonu kullanarak 9 adet problem üzerinde 14 farklı durumu inceleyip karşılaştırmıştır. En iyi sonuçlara %9,14 ile %53,2 arasında değişen yakınlıkta çözümler elde etmiştir.

Stodola ve arkadaşları (2022), yılında yaptıkları çalışmada, klasik bir karınca kolonisi algoritması üzerinden geliştirdikleri bir algorithmada, 30 örnek üzerinden yapılan kıyaslamada çözüm süresinde daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

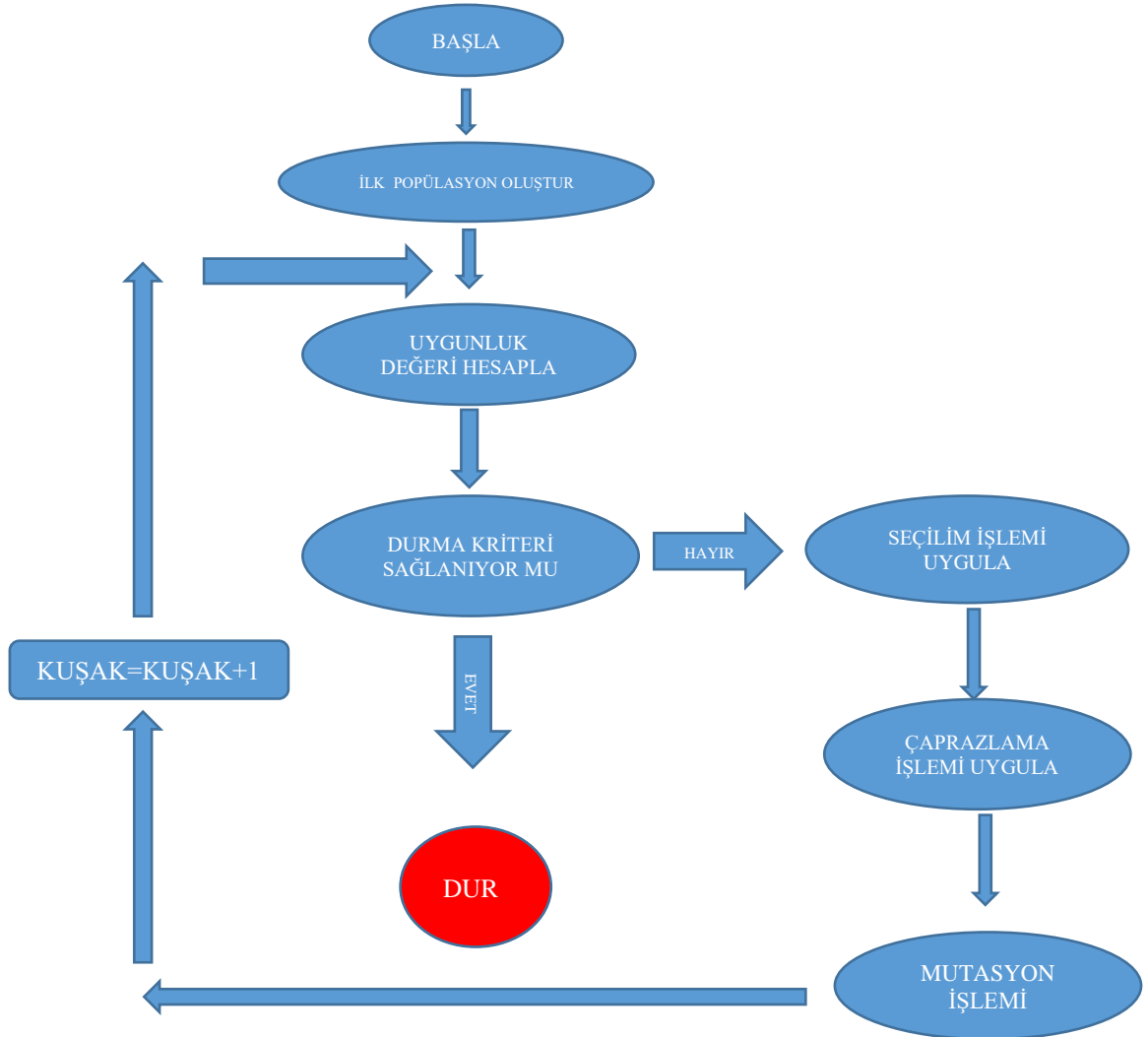
3.2.2.2. Genetik Algoritma

Genetik algoritma (GA) 1970'lerde John Holland'ın makine öğrenmesi üzerine yaptığı çalışmasıyla ve Darwin'in evrim teorisinden esinlenmesiyle ortaya çıkmıştır. Darwin'in kuramında farklı özelliklere sahip üreme kabiliyetine sahip bireylerden oluşan bir çevrede sınırlı sayıda birey oluşacaksa bireyler arasında eliminasyon olacaktır. Bu eliminasyonda mücadeleyi en iyiler kazanacak ve yeni daha güçlü bireyler meydana gelecektir. Ortaya çıkan yeni popülasyonda daha iyi genlere sahip bireyler meydana

gelecek ve bu bireyler genleri korumak isteyecektir. GA temel olarak bu fikre dayanmaktadır (Mohammad ve ark., 2012).

GA gezgin satıcı problemi, optimizasyon, çizelgeleme problemi montaj hattı dengeleme, tesis yerleşim problemi gibi alanlarda kullanılmaktadır.

Genetik algoritma aşamaları Şekil 3.4.'te sunulmuştur;



Şekil 3.4. Genetik Algoritmanın Akış Şeması

İlk popülasyonu oluşturma; Başlangıç popülasyonu genel olarak rastgele belirlense de bazı sezgisel yöntemlerin kullanıldığı yaklaşımlarda bulunmaktadır. Popülasyon oluşturulurken diğer önemli hususlardan biri de popülasyonun boyutunun ne olacağıdır. Kullanıcı tarafından belirlenen bu değer büyük olduğunda arama uzayı çok geniş olacağı için çözüm süresinde uzayacaktır. Küçük olması durumunda ise arama uzayı daralacağından global optimuma ulaşma olasılığını azaltacaktır. Belirlenen her çözüm

kromozomları temsil etmektedir. Kromozomlar ise popülasyonu oluştururlar. Başlangıç popülasyonunun rastgele olarak belirlenmesi çözüm süresinde artışa sebep olabileceken, çözüm uzayında daha farklı noktaların taranmasını sağlayabileceğinden dolayı global optimuma daha yakın sonuçlar vermekte daha başarılıdır (Okur, 2019).

Uygunluk Değeri Hesaplama: Bu değer, GA'da problem ile algoritma arasında bağlantı sağlayan bir işlemdir. Bu fonksiyon bireylerin popülasyon içerisindeki gücünü belirlemektedir. Dolayısıyla uygunluk değerlendirme fonksiyonu tanımlamak çok önemlidir. Olurlu olmayan çözümlerin bu fonksiyon sayesinde dikkate alınmaması gerekmektedir. Problemlerde amaç fonksiyonu bu değeri hesaplamada işe yaramaktadır.

Seçilim: Yeni bir popülasyonu oluşturmak için çaprazlama ve mutasyona tabi tutulacak bireyler arasında seçim yapılması gerekmektedir. Bireyler arasında daha iyi olanlar seçilmesi evrim teorisinin getirdiği kurallardandır. Dolayısıyla uygunluk değeri yüksek olan bireylerin seçilme olasılığı daha fazladır. Seçim yöntemleri arasında rulet seçilimi, turnuva seçilimi ve sıralı seçim vardır.

Rulet Seçilimi: Topluluktaki tüm bireylerin uygunluk değerleri toplanır ve her bireyin seçilme olasılığı, uygunluk değerinin toplam uygunluk değerine oranı kadardır.

Turnuva Seçilimi: Popülasyon içerisinde rastgele sayıda n adet birey seçilir. Aralarında uygunluk değeri yüksek olan seçilir.

Sıralı Seçilim: Bireylerin uygunluk değerine göre bir sıralama yapılır. Oluşturulan sıralamaya göre seçim yapılır.

Çaprazlama: Genetik algoritmanın çözümünü etkileyen önemli aşamalardan biridir. Genetik bir işlem olan çaprazlama sonucu elde edilen yeni bireyler ebeveynlerinin genetik özelliklerini taşırlar. Tek noktalı, çift noktalı çaprazlama gibi türleri vardır.

Tek noktalı çaprazlamada seçilen ebeveynler tek bir noktadan kesilerek, kesilen parçalarını birbirleriyle değiştirir.

Ebeveyn 1 11001|11001

Ebeveyn 2 11101|01101

5. hücreden yapılan bir kesme sonucunda dizilim aşağıdaki gibi olacaktır

Çocuk 1 11001|01101

Çocuk 2 11101|11001

Çift noktalı çaprazlamada ise seçilen iki noktadan kesilerek değişme işlemi gerçekleştirilir örneğin 2. ve 6. hücrelerde yapılan kesme sonucunda dizilim aşağıdaki gibi olacaktır;

Ebeveyn 1 11|0011|1001

Ebeveyn 2	11 1010 1101
Çocuk 1	1110101001
Çocuk 2	1100111001

Mutasyon: GA, yerel optimuma yakalanmaktan mutasyon sayesinde kurtulur. Pozisyona göre ve sıraya göre mutasyon yöntemleri vardır.

Örneğin: Pozisyona göre değişim ise şu şekildedir:

Başlangıç	Sonra
1 2 3 4 5 6 7	7 2 3 4 5 6 1

Sıraya göre değişimde ise şu şekildedir:

Başlangıç	Sonra
1 2 3 4 5 6 7	7 1 2 3 4 5 6

Bitirme Koşulu: Genetik algoritmanın son aşamasını bitirme koşulu oluşturmaktadır. Algoritmanın yeniden üreme aşamasından sonra bitirme koşulu sağlandıysa o zamana kadarki bireyler arasındaki en iyi olanı çözüm olacaktır. Bitirme koşulu, istenen bir değer veya belirlenen bir iterasyon sayısı olabilir.

Baker ve arkadaşları (2003), klasik bir ARP üzerinde çalışmışlardır. Çözüm yöntemi olarak genetik algoritma kullanarak elde ettikleri sonuçları tabu arama yöntemiyle karşılaştırmışlardır. Tabu arama algoritması kadar başarılı sonuç elde edemeseler de makul sürelerde bilinen en iyi çözümlerin %0.5 üzerinde sonuçlar bularak, iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Özgönenç (2006), tez çalışmasında ZPARP için bir matematiksel model kurarak genetik algoritma ile çözmeye çalışmıştır.

Liu ve arkadaşları (2009), yaptıkları çalışmada heterojen filolu ARP çözümü için genetik algoritma önermişlerdir. Literatürde yer alan 20 farklı kıyaslama problemi üzerinde yaptıkları uygulamada 14 tanesi için en iyi sonuca ulaşmışlardır. 1 tanesinde ise daha iyi sonuç bulmuşlardır.

Mohammed ve arkadaşları (2017), Uluslararası Tenega Üniversitesi bünyesinde bulunan öğrencilerinin servis hizmeti planlaması üzerine çalışmışlardır. 8 adet otobüsün bulunduğu bu ARP için genetik algoritma ile çözüm bulmaya çalışmışlardır.

Yaktubay (2018), Solomon test problemleri üzerinde genetik algoritma kullanarak çözüm aramıştır. GA'da başlangıç popülasyonunu belirlemede üç farklı yöntem kullanmış ve sonuçlarını karşılaştırmıştır.

Okur (2019), çalışmasında, Eskişehir’de bir halk ekmek fabrikasının müşteri taleplerini en iyi karşılanacak şekilde bir ARP’ni genetik algoritma kullanarak çözmeye çalışmıştır.

Ruiz ve arkadaşları (2019), AUARP’ni genetik algoritma yöntemiyle çözmeye çalışmışlardır. Literatürde yer alan 3 set problemi ele alarak yaptıkları uygulamada 30 örneğin 16 adedinde iyileştirme sağlamışlardır.

3.2.2.3. Tavlama Benzetimi Algoritması

Tavlama Benzetimi (TB), ilk olarak 1953 yılında Metropolis, Rosenbluth ve Teller tarafından bir ısı banyosu içinde bulunan tanecikler kümesinin denge dağılımını tespit etmek için uygulanmıştır. Katı bir maddenin, ısı banyosunda düşük enerjilerini elde etmek için uygulanmaktadır. Katı bir madde erime noktasına kadar ısıtılır ve sonra hızla soğutulmaya bırakılırsa, moleküler yapısı (kristal yapı) soğutma oranına bağlı olarak değişiklik gösterir (Erol, 2006).

Bir metalin tavlama benzetimi olayına benzetilerek oluşturulan bu algoritma, genel olarak ayrık optimizasyon problemleri için kullanılır. Tavlama benzetimi algoritması, bulunan iyi çözümden vazgeçerek, yerine kötü çözümü kabul etme olasılığı olan p değerinin, devam eden iterasyonlarda dinamik olarak azalması prensibine dayanmaktadır. Başlangıçta çözüm bölgeleri arasında çok fazla atlayış olurken, iterasyon sayısı arttıkça, bulunan sonuçlar oldukça iyi bir seviyeye ulaştığında p değeri de 0’a yaklaşır ve böylece çözüm uzayı daralır. Böylece, kötü çözümü seçme olasılığı sistemli bir şekilde sıcaklıkla azaltılır (Şahin ve Eroğlu, 2014).

Komşu aramanın bir şekli olan iniş algoritması, TB temel olarak dayandığı bir algoritmadır. İniş algoritmasında, çözüme rastgele seçilen bir başlangıç çözümü ile başlanır. Bulunan bu çözüm farklı operatörler kullanarak komşu bir çözüm üretilir ve maliyetler karşılaştırılır. Başlangıç çözüme göre bulunan komşu çözüm daha iyi ise komşu çözüm mevcut çözüm olarak kabul edilir, diğer durumda çözüm değişmez. Bu durum mevcut çözümde iyi yönde bir değişiklik sağlanamayana kadar devam eder. Yerel minimuma gelindiğinde algoritma durur (Çakır, 2006). Bu algoritmanın dezavantajı ise global minimuma çok uzak bir noktada yerel minimuma takılı kalma ihtimalinin yüksek olmasıdır.

TB algoritmasında, iniş algoritmasının yerel minimuma takılı kalma olasılığını düşürebilmek için bulunan komşu çözümleri bazen maliyetin artması pahasına göze alınarak kabul edilir. Bu kabul kontrollü bir rassal olasılığa bağlı olarak yapılmaktadır.

Fiziksel tavlama işlemi, 1953 yılında Metropolis ve arkadaşları tarafından Monte Carlo tekniğine dayalı olarak modellenmiştir. Belirlenen bir T sıcaklığında, sistem enerjilerinin olasılık dağılımı aşağıda verilen termodinamik kanunu Denklem (3.1) ile belirlenir (Avcı, 2008):

$$P(E) = e^{-E/(kT)} \quad (3.1)$$

Belirtilen Denklem (3.1.) 'de k Boltzman sabitini, E ise sistem Enerjisini göstermektedir.

TB algoritmasında, komşu bir çözüm bulunması ile sistem enerjisi E_1 iken yeni sistem enerjisi E_2 olacaktır. Bu durumda $\Delta E = E_2 - E_1 < 0$ ise sistem yeni durumu kabul eder. Fakat $\Delta E > 0$ olduğu durumda sistemin yeni duruma geçip geçmeyeceği aşağıda belirtilen denklem 3.2'de belirtilen koşulun sağlanıp sağlanmadığına göre belirlenir. Koşul sağlanıyorsa yeni durum kabul edilir (Avcı, 2008).

$$\delta \leq e^{\Delta E/T} \quad (3.2)$$

Belirtilen Denklem (3.2.)'de denkleminde δ , uniform dağılımdan (0,1) aralığında rastgele üretilen bir değerdir.

Belirtilen kabul fonksiyonuna göre maliyette meydana gelen büyük artışların kabul edilme ihtimali, küçük artışlara göre daha azdır. T sıcaklığı değeri yüksek oldukça kabul olasılığı da yüksek olacaktır. Ancak T değeri zamanla azalarak 0'a yaklaştıkça, maliyette meydana gelen artışlar kabul edilmeyecektir. TB algoritmasında yerel optimumlara takılı kalmamak için başlangıçta çok yüksek bir T değeri ile başlanır. T değeri her bir iterasyon da yavaş yavaş azaltılır ve bu değerler belli bir sayıda arama işlemi yapar.

TB algoritmasının genel olarak adımları aşağıda belirtilmiştir (Avcı, 2008);

Adım 1: Başlangıç bir çözüm üret C

Adım 2: Yeni bir komşu çözüm üret $C' \in N(C)$, C' ve C için amaç fonksiyonundaki değerleri için farkı hesapla $\Delta = Z(C) - Z(C')$

Adım 3: Eğer $\Delta > 0$ ise veya $\delta \leq e^{\Delta E/T}$ ise C' yeni çözüm olarak kabul et. Aksi takdirde eski çözüm geçerlidir.

Adım 4: Sıcaklık güncellemesi yap.

Adım 5: Durdurma kriteri sağlanıyorsa dur, aksi takdirde adım 2'ye dön.

Teng ve arkadaşları (2003), stokastik bir ARP'ni TB algoritması ve tabu arama algoritması ile çözerek karşılaştırmışlardır. Tabu arama algoritmasının benzetilmiş tavlama algoritmasına göre daha iyi sonuçlar elde ettiğini gözlemlemişlerdir.

Wei ve arkadaşları (2018), kapasite kısıtlı ARP çözümü için tavlama benzetimi uygulaması önermişlerdir. Başlangıç çözümü için tasarruf algoritması ve iki aşamalı yöntem önermişlerdir. 4 farklı problem üzerinde yaptıkları uygulamada olumlu sonuçlar bulmuşlardır.

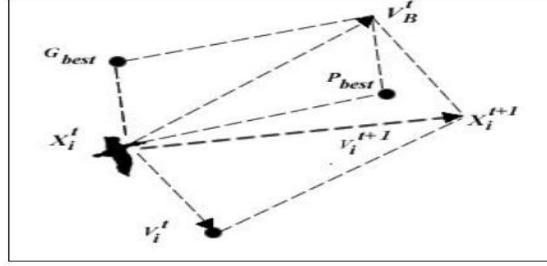
Eker (2021), yaptığı çalışmada kapasite kısıtlı ARP çözümü için başlangıç çözümünü C ve K ortalamalar yöntemiyle oluşturulan bir hibrit tavlama benzetimi algoritması önermiştir. Kümeleme tabanlı bir başlangıç çözümü kullanmanın daha iyi bir sonuç bulmada etkili olduğunu gösteren sonuçlar elde etmişlerdir.

Sarbijan ve Behnamian (2022), heterojen filolu bir ARP çözümü için parçacık sürü algoritması ve TB algoritmasını içeren bir hibrit algoritma önermişlerdir. Aynı zamanda karınca kolonisi optimizasyonu (KKO) kullanarak sonuçlar elde edip karşılaştırmışlardır. Hibrit algoritmaların işlem süresi açısından daha iyi performans gösterdiği sonucuna varmışlardır.

3.2.2.4. Parçacık Sürü Optimizasyonu

Eberhart ve Kennedy tarafından 1995 yılında geliştirilen PSO algoritması genetik algoritmalara alternatif olarak ortaya çıkarılan popülasyon temelli bir metasezgiseldir. Bu algortmada kendi veya önceki neslin deneyimlerden faydalanan kuş ve balık sürülerinin sosyal davranışlarından esinlenerek ortaya çıkmıştır. Genetik algoritma ile bazı benzer tarafları bulunmaktadır. Algoritma rassal çözümler topluluğu oluşturulması ile başlamaktadır. En iyi sonucun nesillerini güncelleyerek araştırmaktadır. Çözümlerde GA da kullanılan bazı operatörler (çaprazlama ve mutasyon vb.) kullanılmamaktadır. PSO'da gelecek nesiller hız vektörlerinin güncellemeleri ile oluşturulmaktadır. Parçacık adı verilen potansiyel çözümler çok boyutlu arama uzayında mevcut en iyi parçacıkları izleyecek şekilde uçmaktadırlar. Algoritmanın istenilen durdurma kriteri sağlandığında sona ermektedir. Her bir parçacığın kendine ait hızı vardır ve parçacıklar sonraki lokasyona bu hızlar ile ulaşmaktadır. Her bir iterasyonda, parçacıkların uygunluk değerleri yeniden hesaplanmaktadır. Konumu ve uygunluk değerleri her bir parçacık için hafızada tutulmaktadır. Temel olarak, parçacıkların popülasyon içerisindeki en başarılı bireyden etkilendikleri varsayılabilir. Hafızada tutulan kişisel en iyi değer P_{best} ,

komşuluğundaki en iyi uygunluğa sahip birey L_{best} ve bütün sürünün en iyi parçacığı ise global en iyi G_{best} olarak adlandırılmaktadır (Demirtaş, 2015). Bir parçacığın konum değişimi Şekil 3.5'te ifade edilmiştir.



Şekil.3.5 Bir parçacığın konum değişirmesi

Şekil 3.5'te verilen parametrelerin tanımları aşağıdaki gibidir:

X_i^t : i. parçacığın t anındaki konumu

V_i^t : i. parçacığın t anındaki hızı

G_{best} : Topluluktaki en iyi konuma sahip parçacığın konumu

P_{best} : i. parçacığın kendine ait en iyi konumu

V_B^t : t anında G_{best} ve P_{best} bileşkesi

X_i^{t+1} : t+1 anında parçacığın konumu

V_i^{t+1} : t+1 anında parçacığın hız

PSO algoritmasında çözüm için başlangıçta bilinmesi gereken parametreler aşağıda belirtilmiştir (Demirtaş, 2015);

Sürü sayısı: Sürü büyüklüğü yapılan çalışmalar incelendiğinde belli bir aralıkta tutulmasının daha yaygın bir yöntem olduğu sonucuna varılabilir. Sürü büyüklüğünün çok olması çözüm uzayının genişlemesine, bu durumda çözüm süresinin artmasına neden olacağından dolayı optimal bir sayı belirlemek daha iyi bir seçenek olmaktadır.

Hız sınırları: Sürüdeki her bir parçacığın bir iterasyon sonundaki konumunun tespitinde kullanılan bir hız vektörü vardır. Hız vektörünün her bir bileşeni için $[-v_{max}, v_{max}]$ şeklinde bir sınırlama getirilmesi gerekmektedir.

Öğrenme sabitleri: Parçacığın hız vektörünün güncellenmesinde kullanılan, c_1 ve c_2 ile gösterilen katsayılar hızlandırma veya öğrenme sabitleri adı verilmektedir.

Atalet ağırlığı: Bu değer hız vektörü katsayısı olarak adlandırılabilir. Hız vektörü hesaplamasında kullanılan eşitlik w ile gösterilen değerdir. Çözüm uzayında arama performansını etkileyen bir katsayıdır. Literatürde bu değeri hesaplamak için birden fazla formülasyon kullanılmaktadır.

Durdurma kriteri: Genel olarak algoritmayı tekrar sayısı olarak başlangıçta kullanıcı tarafından belirlenen değerdir.

Hız vektörünün güncellendiği denklem aşağıda belirten denklem (3.3) ile gösterilmiştir (Ricardo ve ark., 2007);

$$v_i^{k+1} = wv_i^k + c_1rand_1(p_i^k - x_i^k) + c_2rand_2(g^k - x_i^k) \quad (3.3)$$

Denklem 3.3.'te parçacığın bir sonraki hız vektörü, 3 vektörün toplamına eşittir. Atalet ağırlığı ile parçacığın i. parçacığın k. iterasyonundaki hızının çarpımı ile elde edilen vektör, bireysel en iyi konum ve parçacığın k. iterasyon arasındaki farkın alınıp, rassal bir değer ile çarpılıp elde edilen değer, öğrenme faktörü ile çarpılması ile edilen vektör, son olarak o ana kadarki en iyi konum ile k. iterasyon arasındaki farkın alınıp, rassal bir değer ile çarpılıp elde edilen değer, öğrenme faktörü ile çarpılması ile edilen vektördür.

Göksal ve arkadaşları (2013), yaptıkları çalışmada eş zamanlı topla dağıt ARP'yi lokal arama yöntemi PSO algoritması kullanarak hibrit bir çözüm önermişlerdir. Literatürde yer alan bazı problemler için iyileştirme yapmışlardır.

Okulawicz ve Mandziuk (2019), dinamik bir araç rotalama probleminin çözümü için PSO algoritması ve GA kullanarak karşılaştırma yapmışlardır.

Marikanis ve arkadaşları (2019), ZPARP çözümünde için PSO algoritması kullanmışlardır. Literatürde yer alan 100 düğümlü bir problem ve 200 ile 1000 arasında değişen sayıda düğümü bulunan iki problem üzerinde testler yapmışlardır.

Bu tez çalışmasında tavlama benzetimi, mutasyon operatörlü parçacık sürü optimizasyonu (MOPSO), genetik algoritma ve mutasyon operatörlü tavlama benzetimi (MOTB) algoritmaları kullanılarak dört farklı yöntem kullanılarak sonuçlar incelenmiştir.

3.2.3. İHA ile Araç Rotalama Problemi İçin Yapılan Çalışmalar

2000 yılından itibaren havacılık sektöründe meydana gelen teknolojik gelişmeler ile hava araçlarının uzaktan kontrol ile yönlendirebilme kabiliyeti kolaylaşmıştır. Ayrıca üretim maliyetlerindeki düşüş bu tür uzaktan kontrol edilen insansız hava sistemlerine ulaşabilme oranını arttırmıştır. Bu gelişmeler ile İHA'lar birçok alanda kullanılmaktadır ve gelecekte kullanılmaya devam edecektir. Araştırmacılar bu sistemlerin daha etkin kullanılması için özellikle 2000 yılından sonra artan birçok bilimsel çalışma yapmışlardır. Bu tez kapsamında İHA rotalama problemi için yapılan 23 adet akademik çalışma incelenmiştir.

O'rourke ve arkadaşları (2001), ABD Hava Kuvvetleri'nde kullanılan İHA'ların dinamik bir rota planlaması üzerine çalışmışlardır. Çözüm için tabu arama yöntemi kullanmışlardır.

Doğan (2003), birden fazla tehdit ortamının bulunduğu bir alanda İHA rotalama problemi için çözüm aramıştır. Üzerinde durulan problemin amacı, en kısa yoldan en az risk ortamından geçerek hedef noktaya ulaşmak için rota planlamasını yapmaktır. Çözüm için probabilistik bir yaklaşım önerilmiştir.

Yan ve arkadaşları (2004), yaptıkları çalışmada iki aşamalı oyun teorisi yöntemi kullanarak İHA rota planlaması yapmaya çalışmışlardır.

Shima ve arkadaşları (2006), bir İHA üzerinden bırakılan birçok mini İHA'lar için rota optimizasyonu planlamışlardır. Dal-sınır yöntemi kullanarak çözüm aramışlardır.

Duan ve arkadaşları (2009), çoklu İHA aracı bulunan bir filonun rota optimizasyon problemini KKO algoritması kullanarak çözüm bulmuşlardır. Sonuçlar karşılaştırıldığında, kullandıkları yöntem başarılı ve etkili olmuştur.

Karaman ve Frazzoli (2011), İHA rotalama problemini karmaşık tamsayılı programlama yöntemi ile çözmüşlerdir. Optimal sonuca ulaşan iki farklı görev için sonuç bulmuşlardır.

Guerriero ve arkadaşları (2014), yaptıkları çalışmada zaman kısıtının bulunduğu bir İHA rotalama problemini çözmeye çalışmışlardır. Mesafeyi minimum yapacak ve müşteri memnuniyetini maksimize edecek bir matematiksel model önermişlerdir. Aynı zamanda kullanılan İHA sayısını en aza indirmeyi de amaçlamışlardır.

Teichman ve arkadaşları (2014), matematiksel programlama yoluyla İHA kullanılarak yapılan sektör içinde aranan hedeflerin bulunmasını optimum olarak sağlayacak bir rota planlaması üzerine çalışmışlardır.

Bae ve arkadaşları (2015), askeri amaçlı kullanılan İHA'nın keşif rotasını belirlenen ziyaret noktalarına uğramak kaydıyla en düşük riskte rota planlaması üzerine çalışmışlardır.

Zhang ve Duan (2015), düşük irtifada ve kısa bir uçuş rotası planlanacak şekilde, yasaklı bölge, maksimum tırmanma, riskli bölge gibi kısıtların bulunduğu bir İHA için rota planlamasını evrimsel algoritma kullanarak çözmeye çalışmışlardır. Önerdikleri algoritma çözüm kalitesi ve zamanı açısından iyi bir performans göstermiştir.

Liu ve arkadaşları (2016), yaptıkları çalışmada hava fotoğrafçılığında kullanılan bir İHA'nın fotoğraf kalitesini maksimum yapacak bir şekilde rota planlaması

yapmışlardır. Çözüm için sezgisel bir yöntem olan stokastik fraktal algoritmasını kullanmışlardır.

Yakıcı (2016), öncelikli olarak tam sayılı programlama yolu ile daha sonra KKO algoritması kullanarak, amacın ziyaret edilecek noktalardan gelen puanların maksimize edilmesi olan bir İHA'nın rota planlamasını yapmıştır ve sonuçları karşılaştırmıştır.

Chen ve arkadaşları (2017), yaptıkları çalışmada İHA rotalama problemini geliştirilmiştir. GA ve PSO tabanlı KKO algoritmasıyla uyguladıkları hibrit bir yöntem ile çözmeye çalışmışlardır.

Jang ve arkadaşları (2017), bir İHA'nın ziyaret edeceği noktaları en kısa sürede tamamlamasını amaçlayan rotalama problemi için örnekleme tabanlı algoritma kullanarak çözüm aramışlardır.

Gümüüşü ve arkadaşları (2018), yaptıkları çalışmada İHA kullanılarak Güneydoğu Anadolu Projesi kapsamında yer alan tarım alanlarının verimliliğini arttırmak için kullanılan İHA'ların daha etkin kullanılması için uçuş süresini minimize edecek şekilde GA kullanarak, bir rota planlaması yapmışlardır. Sonuçta toplam uçuş mesafesinde iyileştirme sağlamışlardır.

Elmas (2019), tez çalışmasında İHA rotalama için iki farklı örnek problem üzerinde durmuştur. Birincisi ulaşılması güç yerlerdeki köylere sağlık malzemesi taşınmasını ele alan bir problemi KKO algoritması kullanarak çözmüştür. İkinci problemde ise yangın ile mücadelede kullanılan İHA'ların belirlenen gözlem noktalarını ziyaret edecek şekilde bir rota planlaması için tasarruf algoritması kullanarak çözüm aramıştır.

Uçar ve İşleyen (2019), yaptıkları çalışmada kullanılan İHA sayısını minimize etmeyi amaçlayan heterojen filolu bir rotalama problemi için çözüm aramışlardır. İHA'ların zaman ve kapasite kısıtları dikkate alınarak sezgisel algoritmaya dayalı çok kriterli bir çözüm yaklaşımı kullanmışlardır. Hedef ve vurucuların önceliklendirilmesinde analitik hiyerarşik proses yöntemi kullanmışlardır. Sonuçta uyguladıkları 25 farklı senaryoda önerdikleri algoritmanın rota planlamasına katkı sağladığını tespit etmişlerdir.

Daşdemir (2021), tez çalışmasında İHA rota planlaması için üç farklı problem üzerinde durmuştur. Birinci problemde radarlar tarafından izlenen bir düşman bölgesinde bulunan tüm hedefleri ziyaret etmekle görevlendirilen bir İHA'nın iki amaçlı rota planlama problemi ele alınmıştır. İkinci problemde hedef bölgelerden bilgi toplamayı maksimize etmeyi ek bir amaç fonksiyonu olarak göz önünde bulundurmakta ve ilk çalışmadaki problem genişletilmektedir. Üçüncü problemde ise, İHA rota planlama

problemi zamana bağılı ödülleri olan çok amaçlı, çok bağlantılı bir oryantring problemi olarak ele alınmıştır. Bu problem için bir rota planı, hangi hedeflerin ziyaret edileceğine, seçilen hedeflere ziyaret sırasına ve ardışık olarak ziyaret edilen hedefler arasında izlenecek güzergahlara ilişkin kararları içerir. İlk iki problemin çözümü için evrimsel algoritma kullanmış son problem için karma tam sayılı programlama yöntemi kullanmıştır.

Li ve arkadaşları (2021), çok depolu bir İHA rotalama probleminin çözümü için hibrit bir yöntem kullanmışlardır. Değişken komşuluk algoritması ve iniş algoritmasını birleştiren bir algoritma önermişlerdir.

Özkan (2021), tıbbi ünite kan taşımacılığında kullanılmak için tasarlanan İHA'ların rotalama problemi üzerinde durmuştur. TB, GA ve lokal arama yöntemlerini kullanarak çözüm aramıştır.

Ahram ve arkadaşları (2021), bir kara aracı üzerinde bulunan İHA'nın kargo dağıtımına destek veren bir sistemde rota planlaması için çözüm aramışlardır. Karma tamsayı programlama ile çözüm bulmaya çalışmışlardır.

Kyriakakis ve arkadaşları (2022), elektrikli İHA rotalama probleminde, enerji kullanımı minimum yapmayı amaçlayan bir problem üzerine çalışma yapmışlardır. Çözüm için KKO algoritması, iniş algoritması ve lokal arama yöntemlerini kullanıp karşılaştırmışlardır.

Huang ve arkadaşları (2022), bir kamyon ve drone kombinasyonu ile geliştirilen teslimat şeklinde en uygun güzergahın tespiti için çalışma yapmışlardır. Çözüm için karma tamsayı programlama ve KKO algoritması uygulamışlardır. KKO algoritmasının büyük ölçekli örneklerde etkili olduğu sonucuna varmışlardır.

Kuo ve arkadaşları (2022), drone ve kamyon iş birliği ile yapılan bir teslimat probleminde mesafeyi minimize edecek bir çözüm aramışlardır. Çözüm için karma tamsayı programlama ve komşu arama algoritması kullanmışlardır.

4. PROBLEMİN TANIMI, UYGULAMA VE SONUÇLARI

Bu tez kapsamında, insansız hava aracı olan dronelar ile, Ankara ili, Etimesgut ilçesinde 5 mahalleye çevrimiçi olarak hizmet veren bir alışveriş sitesinde, ekspres kargo (2 kilogramdan hafif) şeklinde gelen siparişlerin son kullanıcıya teslimatı için mesafe-kapasite kısıtlı ARP başlığı altında rota planlaması yapılmıştır. Rota planlaması, meta-sezgisel yöntemler olan genetik algoritma, tavlama benzetimi, mutasyon operatörlü PSO algoritması ve son adımda mutasyon işlemi uygulanan bir tavlama benzetimi algoritması kullanılarak çözülmüş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. 20 müşteri siparişi için 4 adet dronun kullanıldığı, 30 müşteri siparişi için 6 adet dronun kullanıldığı, 40 müşteri siparişi için 7 adet dronun kullanıldığı, 50 müşteri siparişi için 8 adet dronun kullanıldığı, 60 müşteri siparişi için 9 adet dronun kullanıldığı, 70 müşteri siparişi için 10 adet dronun kullanıldığı 6 farklı senaryo uygulanmıştır. Müşteriler arası mesafe ve depo-müşteri arası mesafeler Haversine formülü (Chris, 2021) ile MS Excel 2016 programında hesaplanıp mesafe matrisleri oluşturulmuştur.

4.1. Problemin Matematiksel Modeli

Yapılan uygulama kapasite ve mesafe kısıtlı bir ARP'ye uyarlanarak çözülmüştür.

Parametreler

U: Araç (İHA) Sayısı

L: Bir İHA'nın menzili (maksimum uçuş mesafesi)

M_{ij} : i ve j noktaları arası mesafe

H=: Müşteri sayısı

c_i : i. müşterinin talebi

K: Araçların (İHA) kapasitesi

$i=0$ ise depo konumunu gösterir

Değişkenler

$X_{ijk} \begin{cases} 1, k \text{ nolu araç } i \text{ noktasından } j \text{ noktasına seyahet ederse} \\ 0, \text{ aksi takdirde} \end{cases}$

Y_i : Alt tur oluşmasını engelleyen değişken

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=0}^H \sum_{j=0}^H \sum_{k=1}^H M_{ij} X_{ijk} \quad (4.1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{k=1}^U \sum_{j=1}^H x_{ijk} = U \quad i=0 \text{ için} \quad (4.2)$$

$$\sum_{k=1}^U \sum_{j=0, j \neq i}^H x_{ijk} = 1 \quad i \in \{1, \dots, H\} \quad (4.3)$$

$$\sum_{k=1}^U \sum_{i=0, i \neq j}^H x_{ijk} = 1 \quad j \in \{1, \dots, H\} \quad (4.4)$$

$$\sum_{i=1}^H x_{itk} - \sum_{i=1}^H x_{tjk} = 0 \quad k \in \{1, \dots, U\} \quad t \in \{1, \dots, H\} \quad (4.5)$$

$$\sum_{j=1}^H x_{0jk} = 1 \quad k \in \{1, \dots, U\} \quad (4.6)$$

$$\sum_{i=1}^H x_{i0k} = 1 \quad k \in \{1, \dots, U\} \quad (4.7)$$

$$\sum_{i=1}^H c_i \sum_{j=0, j \neq i}^H x_{ijk} \leq K \quad k \in \{1, \dots, U\} \quad (4.8)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N M_{ij} \sum_{j=0, j \neq i}^N X_{ijk} \leq L \quad k \in \{1, \dots, U\} \quad (4.9)$$

$$Y_j \geq Y_i + 1 - H(1 - \sum_{k=1}^U x_{ijk}) \quad i \in \{1, \dots, H\} \quad (4.10)$$

$$j \in \{1, \dots, H\} \quad i \neq j$$

$$Y_j \geq 0 \quad j \in \{1, \dots, H\} \quad (4.11)$$

Denklem 4.1’de sunulan amaç fonksiyonu kat edilen mesafeyi minimum yapmayı ifade etmektedir. Denklem 4.2 kullanılacak araç sayısının (İHA) U kadar olacağı göstermektedir. Denklem 4.3 bir müşteri mutlaka bir araç (İHA) tarafından ziyaret edileceğini göstermektedir. Denklem 4.4’e göre müşteriden giden rotalardan ziyaret sonrası sadece 1 tanesi kullanılabilir. Denklem 4.5’e göre bir aracın ziyaret edilen müşteriden sonra tura yine aynı müşteriden devam edeceğini göstermektedir. Denklem 4.6 ve denklem 4.7 araçlar rotalamaya depodan başlayacağını ve turun depoda sonlanacağını ifade etmektedir. Denklem 4.8 bir araca (İHA) yüklenen ağırlığın kapasitesi K’yi aşamayacağını ifade etmektedir. Denklem 4.9 bir aracın (İHA) bir turda kat edebileceği maksimum mesafe olan L’yi aşamayacağını ifade etmektedir. Denklem 4.10 ve denklem 4.11 alt turların oluşmasını önlemek içindir.

4.2. Kullanılması Planlanan İnsansız Hava Aracının Özellikleri

Kullanılacak Drone seçilirken, uçuş mesafesinin yüksek olmasına ve olumsuz hava koşullarından en az derecede etkilenmesine ve yükleme kapasitesinin yüksek olmasına dikkat edilmiştir. Günümüz teknolojisiyle en son üretim modeli olan Foxtech Naga Pro modeli yapılacak bu çalışma için en uygun araçlardan biridir.

Özellikleri:

Yükleme Kapasitesi	: 5 kg
Uçuş mesafesi	: 43 km
Hizmet aralığı mesafesi:	20 km
Uçuş süresi	: 80 dk
Hava Koşulları	: -25 °C ile 60 °C
Maksimum İrtifa	: 5000 m

4.3. Problemin Varsayımları

Kullanılması planlanan İHA'ların tam otonom sisteme sahip olmadığından dolayı, kullanıcı operatörlerin bilgi seviyelerinin ve kabiliyetlerinin eşit olduğu varsayılmıştır.

Hali hazırda kullanılması planlanan İHA sisteminin yükleme kapasitesi 10 kg olarak kabul edilmiştir.

Müşteri koordinatları firmadan sipariş sırasıyla numaralandırılarak alınmıştır. Ancak bilgi güvenliği kapsamında buldukları sokağın koordinatları tanımlanmıştır.

Müşteri talepleri program üzerinde (0.5-1.5 kg) arasında rastgele belirlenmiştir.

4.4. Uygulanan Senaryolar ve Sonuçları

Müşterilerin sıralaması sipariş veriş önceliğine göre yapılmıştır. Yaklaşık 2 saat içerisinde toplam 70 müşteri sipariş girişi olmuştur. İlk olarak gelen 20 müşterinin siparişini 4 adet drone ile planlaması, 30 müşteri 6 drone ile planlaması, 40 müşterinin 7 adet drone ile planlaması, 50 müşterinin 8 adet drone ile planlaması, 60 müşterinin 9 adet drone ile planlaması, 70 müşterinin 10 adet drone ile planlaması yapılarak genetik algoritma, tavlama benzetimi, mutasyon işlemi uygulanan parçacık sürüsü algoritması ve son adımda mutasyon işlemi uygulanan bir tavlama benzetimi algoritması kullanılarak çözüm aranmıştır. Her bir senaryo, her bir çözüm yöntemi için 10'ar defa tekrar çözdürülmüştür.

4.4.1. Genetik Algoritma Kullanılarak Uygulanan Senaryo ve Çözümleri

Genetik algoritma uygulamasında, permutasyon kodlama tekniği, çaprazlama yöntemi olarak çift noktalı çaprazlama yöntemi uygulanmış ve operatörlerin uygulandığı bireylerin seçiminde, turnuva seçilimi olarak uygulanmıştır. Çizelge 4.1.'de GA'nın kaba kodu sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Genetik algoritma kaba kodu

Genetik algoritma kaba kodu					
<i>Girdiler: Girdiler: Araç sayısı, araç kapasitesi ve mesafe kısıtı, Müşteri talepleri, mesafe matrisleri ve depo bilgileri, İterasyon Sayısı, popülasyon bilgileri (Npop), mutasyon oranı</i>					
<i>-begin</i>					
<i>-Başlangıç algoritması ve veri girdileri</i>					
<i>for i=1 to iterasyon sayısı (bitirme operatörü)</i>					
<i>for k=1 to Npop/2</i>					
<i>- çaprazlama yapmak için bireyler seç. (turnuva seçilimi)</i>					
<i>- seçilen bireylere (çaprazlama operatörü) uygula</i>					
<i>- çaprazlama sonucunda bireylerin maliyet ve konumunu güncelle</i>					
<i>end</i>					
<i>for k=1 to Npop/2</i>					
<i>- mutasyon yapmak için bireyler seç. (turnuva seçilimi)</i>					
<i>- seçilen bireylere (mutasyon operatörü) uygula</i>					
<i>- mutasyon sonucunda bireylerin maliyet ve konumunu güncelle</i>					
<i>end</i>					
<i>en iyi sonucu sırala (hafızaya al)</i>					
<i>return</i>					
<i>bitirme operatörü</i>					
<i>end</i>					

4.4.1.1. Senaryo 1 için genetik algoritma

Çizelge 4.2.'de 20 müşteri ve 4 drone için sonuçlar belirtilmiştir.

Çizelge 4.2. 20 Müşteri 4 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe(km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
1	32,8424	18,372	1	[17,2,3,1,19,15,18]	4,116
			2	[12,16,4,5]	4,491
			3	[10,20,14,13]	5,837
			4	[8,11,6,7,9]	3,928
2	32,1104	19,372	1	[11,8,12,16,4]	4,861
			2	[5,15,1,3,2]	3,855
			3	[10,7,6,9]	5,67
			4	[19,18,20,14,13,17]	4,986
3	32,4099	22,648	1	[9,6,10,19,15]	5,804
			2	[4,16,12,11,8,5]	5,394
			3	[2,20,13,14,17]	5,727
			4	[7,3,1,18]	5,723
4	32,648	19,896	1	[17,7,6,9]	3,821
			2	[15,13,14,10]	5,204
			3	[20,2,3,1]	5,669
			4	[19,18,5,4,16,12,8,11]	5,202
5	33,5197	18,379	1	[18,3,2,1,5]	3,775
			2	[4,16,12]	4,372
			3	[8,11,6,7,9,17,19,15]	4,395
			4	[13,14,20,10]	5,837

Çizelge 4.2. (Devam) 20 Müşteri 4 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe(km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
6	32,0356	18,276	1	[5,1,3,2,18]	3,685
			2	[4,16,12]	4,372
			3	[9,7,6,11,8,19,15]	4,376
			4	[13,14,20,10,17]	5,843
7	30,1916	19,161	1	[11,8,12,16,4,5]	4,98
			2	[15,1,3,2,18,19]	3,561
			3	[9,6,7,10]	5,671
			4	[17,14,13,20]	4,949
8	30,1519	20,03	1	[12,16,4,5]	4,491
			2	[10,7,6,9]	5,67
			3	[13,20,14,17]	4,925
			4	[19,2,3,1,18,15,11,8]	4,944
9	31,0009	19,718	1	[8,11,12,16,4,5,18,19,15]	5,207
			2	[9,6,7]	3,71
			3	[13,14,10,17]	5,132
			4	[20,2,3,1]	5,669
10	30,8841	19,219	1	[9,6,7,10]	5,671
			2	[18,2,3,1]	3,555
			3	[11,8,12,16,4,5]	4,98
			4	[15,19,13,14,20,17]	5,013

20 müşteri ve 4 adet drone ele alınarak senaryo 1 incelenmiştir. GA ile 10 defa tekrarlanarak bulunan çözümler arasında en iyi sonuç 18,276 km olarak 32,0356 s. içerisinde bulunmuştur. En iyi sonuca göre en fazla yol kat eden İHA 5,843 km. yol almıştır ve rotası 13, 14, 20, 10, 17 olarak bulunmuştur.

4.4.1.2. Senaryo 2 için genetik algoritma

Çizelge 4.3.'te 30 müşteri ve 6 drone için sonuçlar belirtilmiştir.

Çizelge 4.3. 30 Müşteri 6 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem Süresi	Bulunan Toplam Mesafe	Araç Numarası	Çözüm Rotası	Araç Başı Toplam Mesafe
1	25,1946	29,015	1	[24,21,9,6,7,11,8,25]	4,877
			2	[22,10,17]	5,521
			3	[5,1,27,29,2,19]	4,506
			4	[16,4,12]	4,8
			5	[18,23,3,26,30,28]	4,447
			6	[13,14,20,15]	4,864
2	33,4376	31,672	1	[25,12,16,4,8]	5,951
			2	[24,17,1,27,30,18]	4,406
			3	[26,3,29,2]	4,002
			4	[21,9,7,6,23,5]	5,467
			5	[28,20,22,15]	5,968
			6	[11,10,13,14,19]	5,878
3	33,9811	33,251	1	[19,25,10,6,21]	6,237
			2	[16,4,28,17]	5,568
			3	[27,3,24]	3,425
			4	[8,9,7,18,11,12]	6,122

Çizelge 4.3.(Devam) 30 Müşteri 6 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe(km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
3			5	[15,13,14,29,1,26]	5,534
			6	[5,23,20,22,2,30]	6,365
4	34,1241	34,389	1	[21,9,8,7]	5,402
			2	[1,30,6,15]	5,794
			3	[19,24,12,4,16,28,5]	5,891
			4	[11,3,2,26,23,17]	5,55
			5	[13,20,10,25]	5,88
			6	[27,29,14,22,18]	5,872
5	33,4853	30,141	1	[13,14,20,22,10]	5,845
			2	[12,28,17]	3,596
			3	[15,16,4,5,24,18]	5,834
			4	[27,30,3,23,25,8]	4,47
			5	[1,29,26,2,9]	5,223
			6	[7,6,11,21,19]	5,173
6	33,6042	32,41	1	[5,17,14,13,10]	5,755
			2	[25,19,8,6,7,9,21]	5,665
			3	[12,29,26,3,24,15,18]	5,847
			4	[11,28,16,4]	5,897
			5	[27,2]	3,446
			6	[23,20,22,1,30]	5,8
7	34,5122	34,989	1	[15,19,30,18,4,5]	5,736
			2	[16,28,24,25,8,12]	6,05
			3	[27,14,2,29,3,26]	5,611
			4	[10,6,21]	5,892
			5	[23,20,22,13,9]	5,834
			6	[11,7,17,1]	5,866
8	37,7023	29,135	1	[15,21,6,9]	3,875
			2	[24,16,4]	4,569
			3	[30,3,29,26,2,5,28]	4,522
			4	[11,8,12,27,1,17,19]	5,579
			5	[23,22,20,13,14,18]	5,07
			6	[10,7,25]	5,52
9	33,2761	32,484	1	[10,20,22,14]	5,946
			2	[12,24,11,7,6,19,15]	5,44
			3	[17,13,27]	3,946
			4	[28,5,23,30,9]	5,96
			5	[1,26,29,2,3,21,25]	5,972
			6	[4,16,8,18]	5,22
10	35,7979	32,04	1	[21,11,8,24,27,2]	5,639
			2	[15,6,7,9,5]	4,606
			3	[12,4,16]	4,8
			4	[19,18,28,10]	6,152
			5	[30,1,3,20,22]	5,757
			6	[25,17,23,14,13,29,26]	5,086

30 müşteri ve 6 adet drone ele alınarak senaryo 2 incelenmiştir. GA ile 10 defa tekrarlanarak bulunan çözümler arasında en iyi sonuç 29,005 km olarak 25,1946 s. içerisinde bulunmuştur. En iyi sonuca göre en fazla yol kat eden İHA 5,521 km. yol almıştır ve rotası 22, 10, 17 olarak bulunmuştur.

4.4.1.3. Senaryo 3 için genetik algoritma

Çizelge 4.4.'te 40 müşteri ve 7 drone için sonuçlar belirtilmiştir.

Çizelge 4.4. 40 Müşteri 7 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe(km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
1	35,8776	31,071	1	[15,8,11,21,39,38,12,37]	4,323
			2	[18,27,30,31,5]	3,331
			3	[1,3,26,29,2,14,13,23]	4,876
			4	[19,20,22,17]	5,071
			5	[7,6,9]	3,71
			6	[28,34,4,16,40,35,36]	4,546
			7	[10,32,25,24,33]	5,214
2	35,0344	31,277	1	[5,28,31,34,38,39,12,37]	4,84
			2	[18,1,3,30]	2,825
			3	[25,32,9,7,6,21,11,8,24]	4,738
			4	[23,20,22]	4,91
			5	[4,16,40,35]	4,366
			6	[17,10,14,13]	5,132
			7	[26,29,2,27,19,15,36,33]	4,466
3	35,2577	30,102	1	[15,19,10,32,17]	4,943
			2	[34,4,35,16,40,36]	4,762
			3	[20,22,14,13]	4,91
			4	[33,37,21,6,7,9]	4,295
			5	[30,1,3,26,29,2]	3,636
			6	[25,24,8,11,39,38,12]	3,866
			7	[18,5,28,31,27,23]	3,69
4	36,5209	28,944	1	[10,32,17]	4,783
			2	[28,34,35,38,39,37,36,18,15]	4,731
			3	[13,14,22,20,23]	4,912
			4	[25,19]	1,245
			5	[5,31,4,16,40]	4,732
			6	[27,2,29,26,3,1,30]	3,64
			7	[33,12,8,21,6,7,9,11,24]	4,901
5	34,7630	33,042	1	[30,1,3,17,9]	4,622
			2	[35,40,16,4,34,36,33]	4,666
			3	[27,2,20,23]	5,564
			4	[8,39,38,12,37,15,19,18]	3,831
			5	[24,25,26,29,31,28,5]	4,845
			6	[11,21,6,7]	3,978
			7	[13,14,22,10,32]	5,536
6	34,8691	30,701	1	[15,20,22,23]	4,985
			2	[10,32,17]	4,783
			3	[13,14,7,6,9]	5,364
			4	[24,25,21,11,8,37,33,5,18,19]	3,594
			5	[31,30,1,3,26,29,2,27]	4,325
			6	[28,34,4,16,40,35]	4,481
			7	[12,39,38,36]	3,169
7	34,7210	30,323	1	[10,32]	4,783
			2	[21,6,7,9]	3,99
			3	[26,29,2,27,18]	3,512
			4	[33,28,34,4,31,5]	4,133
			5	[24,8,11,25,17,3,1,30,19,15]	4,439
			6	[12,38,39,16,40,35,36,37]	4,543

Çizelge 4.4. (Devam) 40 Müşteri 7 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe(km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
7			7	[23,13,14,22,20]	4,923
8	34,9571	32,094	1	[15,20,22,14,13,23]	4,987
			2	[19,33,37,21,6,7,9]	4,769
			3	[38,39,40,35,34,12,36]	4,933
			4	[27,2,29,26]	3,507
			5	[10,32,17]	4,783
			6	[16,4,31,28,5]	4,831
			7	[24,8,11,25,1,3,30,18]	4,284
9	34,9096	29,104	1	[38,39,16,40,35,12]	4,653
			2	[5,30,1,18,15]	2,72
			3	[25,32,10,17]	4,817
			4	[13,14,22,20,23]	4,912
			5	[33,37,36,34,4,31,28]	4,315
			6	[24,8,11,21,6,7,9]	4,062
			7	[19,27,26,2,29,3]	3,625
10	34,6117	32,103	1	[25,9,7,6,21,24]	4,043
			2	[36,37,12,16,4]	4,453
			3	[32,10,22,14,13]	5,536
			4	[20,29,26,19,15]	5,598
			5	[8,11,39,38,40,35,34,31,28]	5,214
			6	[1,3,2,23,17]	4,093
			7	[33,5,30,27,18]	3,166

40 müşteri ve 7 adet drone ele alınarak senaryo 3 incelenmiştir. GA ile 10 defa tekrarlanarak bulunan çözümler arasında en iyi sonuç 28,944 km olarak 36,5209 s. içerisinde bulunmuştur. En iyi sonuca göre en fazla yol kat eden İHA 4,912 km. yol almıştır ve rotası 13, 14, 22, 20, 23 olarak bulunmuştur.

4.4.1.4. Senaryo 4 için genetik algoritma

Çizelge 4.5.'te 50 müşteri ve 8 drone için sonuçlar belirtilmiştir.

Çizelge 4.5. 50 Müşteri 8 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe(km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
1	37,849	40,036	1	[10,50,22,20]	6,081
			2	[41,48]	6,098
			3	[18,19,15,21,39,38,12]	4,293
			4	[24,25,17,32,47,2,29,26,3,27]	4,891
			5	[23,13,14,1,30,5]	4,682
			6	[4,46,45,16,49,11,8,33]	5,982
			7	[28,31,42,34,35,40,43,37,36]	4,234
			8	[44,7,6,9]	3,775
2	37,2365	41,169	1	[1,26,29,3,30,31,42]	4,71
			2	[48,41]	6,098
			3	[36,37,12,39,38,43,35,28,5]	4,264
			4	[50,10,9,24]	6,056
			5	[33,15,19,17,47,32,14,13,23]	4,617

Çizelge 4.5.(Devam) 50 Müşteri 8 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe(km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
2			6	[34,4,46,45,16,40]	5,244
			7	[44,7,6,21,11,8,49]	4,329
			8	[25,22,20,2,27,18]	5,851
3	36,4931	39,558	1	[37,49,12,43,38,39,40]	3,978
			2	[17,32,9,44,7,6,21,11,8,24]	4,807
			3	[33,42,31,13,14,23]	5,87
			4	[47,10,50,22,20]	6,086
			5	[25,1,30,28,5,15]	4,032
			6	[36,35,16,45,46]	5,004
			7	[19,18,27,2,29,26,3]	3,578
			8	[41,48,4,34]	6,203
4	36,2468	39,838	1	[1,3,26,29,2,20,22,14,13]	5,815
			2	[17,47,32,10,50,23,15]	5,765
			3	[12,38,39]	3,152
			4	[27,30,31,28]	3,417
			5	[48,41]	6,098
			6	[5,34,35,46,16,40,43,49,21,11,8]	6,058
			7	[33,37,36,45,4,42]	5,429
			8	[24,9,6,7,44,25,19,18]	4,104
5	37,1663	41,565	1	[18,37,43,40,16,39,38,12]	4,739
			2	[20,22,50,10,32,17]	6,099
			3	[47,46,45,35,36]	5,875
			4	[28,48,41]	6,114
			5	[13,14,2,29,26,3]	4,861
			6	[31,42,4,34,5]	3,896
			7	[33,49,21,11,8,24,25,23,19,15]	4,189
			8	[9,6,7,44,27,1,30]	5,792
6	36,5294	39,788	1	[41,48,4,34]	6,203
			2	[5,33,35,43,12,49,21,11,8,24]	4,277
			3	[17,47,32,22,20,14,13,23,19,15]	5,265
			4	[36,37,38,39,9,6,7,44]	5,959
			5	[18,1,30,31,42,28]	3,921
			6	[3,26,29,2,27]	3,57
			7	[50,10,25]	5,639
			8	[40,16,45,46]	4,954
7	37,3134	40,734	1	[42,48,41,4]	6,277
			2	[20,2,29,26,30,27]	5,862
			3	[5,28,31,15]	2,122
			4	[24,8,11,25,17,23,18,19]	3,025
			5	[34,46,45,16,40,35]	5,125
			6	[47,10,32,49,37,33]	5,803
			7	[36,12,43,38,39,21,9,6,7,44]	6,047
			8	[1,3,22,50,14,13]	6,473
8	38,7531	37,206	1	[6,7,44,32,47,17,19,15,24,33]	5,088
			2	[34,41,48]	6,112
			3	[5,18,30,1,3,29,2,26,27]	3,98
			4	[28,31,42,4,46,45,16,40,35]	5,978
			5	[10,50,22,20]	6,081
			6	[12,39,38,43]	3,193
			7	[14,13,23]	3,576
			8	[36,37,49,8,11,21,9,25]	3,198
9	38,492	36,159	1	[14,20,22,50,10,32,25]	6,146

Çizelge 4.5.(Devam) 50 Müşteri 8 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe(km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
9			2	[33,36]	0,963
			3	[37,49,12,35,40,16,39,38,43]	4,978
			4	[46,45,42,31,28]	5,41
			5	[19,18,27,23,47,17,15,5]	3,426
			6	[24,9,44,7,6,21,11,8]	4,137
			7	[30,1,3,26,29,2,13]	4,896
			8	[41,48,4,34]	6,203
		38,674	40,187	1	[17,20,22,50,32,47,25]
10			2	[9,6,21]	3,48
			3	[2,29,26,31,28,5,15]	4,633
			4	[33,37,49,12,38,39,40,43]	3,934
			5	[19,23,13,14,10,44,7]	5,983
			6	[30,3,1,27,18,24,11,8]	4,313
			7	[41,48,4,34]	6,203
			8	[36,35,16,45,46,42]	5,552

50 müşteri ve 8 adet drone ele alınarak senaryo 4 incelenmiştir. GA ile 10 defa tekrarlanarak bulunan çözümler arasında en iyi sonuç 36,159 km olarak 38,492 sn. içerisinde bulunmuştur. En iyi sonuca göre en fazla yol kat eden İHA 6,203 km. yol almıştır ve rotası 41, 48, 4, 34 olarak bulunmuştur.

4.4.1.5. Senaryo 5 için genetik algoritma

Çizelge 4.6.'da 60 müşteri ve 8 drone için sonuçlar belirtilmiştir.

Çizelge 4.6. 60 Müşteri 9 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe(km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
1	39,3674	55,546	1	[45,48]	6,848
			2	[19,30,57,29,26,31,28,5]	5,216
			3	[6,7,44,52,56,14,32,23]	6,7
			4	[12,37,8,24]	2,141
			5	[51,9,11,21,40,16,4,35]	6,798
			6	[15,18,1,2,60,20,54,22,13,25]	7,032
			7	[50,55,10,47,17]	7,074
			8	[33,36,43,38,39,59,49]	7,05
			9	[27,58,53,3,42,41,46,34]	6,687
2	39,2603	58,916	1	[17,47,55,50,14,13]	7,105
			2	[11,9,51,6,7,44,21,8,43,36]	5,506
			3	[20,54,10,32,18,19,15]	6,489
			4	[33,40,37,34,42,30,1,3,53,27,25]	7,08
			5	[5,31,46,45,16,38]	5,901
			6	[12,28,26,29,60,2,57,23]	6,692
			7	[58,22,56,52]	6,655

Çizelge 4.6.(Devam) 60 Müşteri 9 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe(km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
2			8	[35,4,48,41]	6,451
			9	[59,39,49,24]	7,037
3	39,7730	53,242	1	[30,3,2,60,57,58,29,26,18]	5,673
			2	[15,10,22,54,20,19]	6,66
			3	[35,59,39]	7,023
			4	[36,37,49,11,21,9,7,56,52,17,25]	6,303
			5	[33,34,4,48,41,5]	6,429
			6	[27,53,1,31,42,28]	4,044
			7	[12,38,43,40,16,45,46]	5,642
			8	[23,13,14,50,55]	7,083
			9	[24,47,32,44,6,51,8]	4,385
4	39,2871	52,027	1	[49,25,23,47,32,17,9,51,21,24]	5,482
			2	[54,20,57,3,1,53,58]	6,616
			3	[13,14,22,55,50]	7,14
			4	[37,12,36,19,5,18,15]	2,551
			5	[11,7,52,56,10,44,6,8]	6,941
			6	[33,40,16,45,4,34]	5,097
			7	[30,29,60,2,26,27]	4,582
			8	[35,46,48,41,42,31,28]	6,704
			9	[43,38,59,39]	6,914
5	41,5205	54,857	1	[5,23,47,32,17,24,49,35,43]	5,513
			2	[40,16,45,46]	4,954
			3	[15,48,41,4,34,28]	6,591
			4	[55,50]	6,994
			5	[18,19,25,6,7,52,51,21,8,11]	5,19
			6	[13,14,54,10,56,44,9]	6,971
			7	[1,3,2,30,31,42]	5,015
			8	[58,57,22,20,60,29,26,53,27]	6,712
			9	[33,37,12,38,59,39,36]	6,917
6	39,2553	53,550	1	[25,56,10,54,20,22,32,17]	7,015
			2	[45,4,42,31,30,18]	6,653
			3	[9,44,7,52,47,53,58,3,1,27]	6,623
			4	[57,60,2,29,26,15,19,5]	4,947
			5	[24,11,8,51,6,21,49]	4,074
			6	[28,34,46,48,41,35]	6,719
			7	[38,39,59]	6,902
			8	[23,13,14,50,55]	7,083
			9	[33,36,37,12,43,16,40]	3,534
7	40,7979	55,546	1	[15,31,42,41,48]	6,535
			2	[1,26,29,2,57,22,54,20]	6,618
			3	[18,5,34,35,43,33]	3,13
			4	[24,37,12,49,10,13,14]	6,662
			5	[36,40,16,45,4,46,28]	5,466
			6	[50,55,17]	7,02
			7	[39,59,38]	6,876
			8	[21,44,7,52,56,6,51,9,32,47,19]	6,746
			9	[23,58,53,60,3,30,27,25,11,8]	6,493
8	42,3629	55,044	1	[38,39,59,16,40]	7,118
			2	[17,47,55,22,14,13,23]	7,172
			3	[42,41,48,45,35]	7,032
			4	[50,54,25,24]	6,315
			5	[19,8,49,12,43,36,37,33]	2,919
			6	[28,31,5,53,27]	3,926

Çizelge 4.6. (Devam) 60 Müşteri 9 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe(km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
8			7	[18,1,26,2,3,57,20,32,15]	6,907
			8	[11,21,9,6,7,52,56,10,44,51]	6,969
			9	[58,30,29,60,46,4,34]	6,686
9	39,3355	51,180	1	[28,31,42,41,48,45]	7,236
			2	[20,54,55,50]	7,381
			3	[35,46,4,34,33]	3,752
			4	[21,52,56,10,47,17,23,25]	7,034
			5	[27,58,29,60,2,57,19,15]	4,886
			6	[36,43,37,12,11,8,49,24]	3,216
			7	[40,16,59,39,38]	7,118
			8	[18,53,26,3,1,30,5]	3,41
			9	[14,13,22,32,51,9,6,7,44]	7,147
10	39,2089	53,087	1	[19,25,8,11,32,23,53,27,15]	4,972
			2	[30,1,29,60,2,26,3]	4,647
			3	[13,14,22,54,20,57,58,18]	5,907
			4	[33,39,59,38]	6,883
			5	[24,51,9,21,49,37,35,34,42,31]	5,494
			6	[28,41,48,45]	6,89
			7	[10,56,7,52,44,6]	6,253
			8	[50,55,47,17]	7,029
			9	[5,36,12,43,40,16,4,46]	5,012

60 müşteri ve 9 adet drone ele alınarak senaryo 5 incelenmiştir. GA ile 10 defa tekrarlanarak bulunan çözümler arasında en iyi sonuç 51,180 km olarak 39,3355 sn. içerisinde bulunmuştur. En iyi sonuca göre en fazla yol kat eden İHA 7,381 km. yol almıştır ve rotası 20, 54, 55, 50 olarak bulunmuştur.

4.4.1.6. Senaryo 6 için genetik algoritma

Çizelge 4.7.'de 70 müşteri ve 10 drone için sonuçlar belirtilmiştir.

Çizelge 4.7. 70 Müşteri 10 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe(km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
1	38,6936	64,211	1	[65,68,52,69]	4,972
			2	[39,59,38,12,15,19]	7,356
			3	[18,63,5,56,10,22,57,64]	7,213
			4	[50,55,67,54,13]	7,391
			5	[23,47,32,51,61,9,6,44,7,70,24]	6,837
			6	[25,17,27,53,1,30,34,4,46,35]	6,483
			7	[37,33,3,29,26,58,62,31]	5,447
			8	[36,45,48,41,42,28]	7,097
			9	[49,8,11,21,43,40,16]	4,944
			10	[2,60,66,20,14]	6,471
2	39,091	62,871	1	[24,49,70,10,56,52,69,7,44]	6,707
			2	[57,66,60,2,62,31,63]	6,677
			3	[5,19,18,22,67,54,20,13]	6,203

Çizelge 4.7. (Devam) 70 Müşteri 10 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe(km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
2			4	[28,42,46,4,16,40,33]	5,016
			5	[36,12,59,35]	6,99
			6	[25,21,9,51,58,26,29,3,30,1,53]	5,956
			7	[55,50,14]	7,069
			8	[34,41,48,45]	6,874
			9	[15,27,64,23,6,68,65]	6,061
			10	[37,43,38,39,61,8,11,32,47,17]	5,318
3	38,1689	64,229	1	[35,46,45,16]	5,046
			2	[28,23,9,61,38,43]	5,992
			3	[51,32,67,54,57,58,64,27]	7,264
			4	[24,8,11,49,39,59,12,37]	7,262
			5	[63,3,29,2,26,66,60,30,5]	6,637
			6	[13,22,55,50,47,17]	7,199
			7	[53,1,62,40,36]	5,208
			8	[14,20,10,56,44,69,52,7]	7,029
			9	[18,15,21,65,6,68,70,25]	5,478
			10	[19,34,4,41,48,42,31,33]	7,114
4	38,0555	61,193	1	[37,49,12,43,40,45,46,4,34]	5,616
			2	[18,30,1,29,2,57,20,54,67,22,32]	7,038
			3	[65,68,6,23,64]	5,976
			4	[17,10,56,52,7,69,44,70]	5,948
			5	[47,58,3,26,53,27,62,63,15]	5,341
			6	[33,8,51,9,11,21,61,25,24]	4,715
			7	[14,13,55,50]	7,126
			8	[28,41,48,42,31,5,19]	6,568
			9	[36,38,39,59,16,35]	7,117
			10	[66,60]	5,748
5	44,687	60,392	1	[35,45,46]	4,69
			2	[25,70,56,52,69,7,44,8]	5,194
			3	[19,5,31,42,48,41,4,34,28]	6,769
			4	[24,12,38,49,51,9,11]	4,271
			5	[17,47,32,23,29,2,60,66]	7,002
			6	[14,22,67,54,20,64,27,18,15]	6,032
			7	[10,55,50,13]	7,143
			8	[63,62,53,30,1,57,26,3,58]	5,351
			9	[39,59]	6,864
			10	[21,6,68,65,61,16,40,43,37,36,33]	7,076
6	37,9928	66,287	1	[39,59,49,12,36]	7,341
			2	[62,30,1,53,58,40,16,35]	6,589
			3	[3,29,26,2,20,32,17]	6,031
			4	[25,61,65,68,69,52,6,21,8,11]	6,216
			5	[27,57,60,66,67,54]	7,395
			6	[70,23,5,34,31,28]	5,343
			7	[37,43,45,46,38,33]	5,838
			8	[63,4,41,48,42,19,18]	6,859
			9	[47,10,55,50,64,15]	7,427
			10	[44,7,56,22,13,14,51,9,24]	7,248
7	37,8725	63,65	1	[19,42,62,3,29,53]	4,879
			2	[45,48,41,31]	7,143
			3	[17,47,22,20,54,67,14,32,25,18,63]	7,004
			4	[37,36,43,40,59,12]	7,087
			5	[30,1,27,10,56,52,69,44]	7,089
			6	[24,51,70,7,68,6,9]	5,097

Çizelge 4.7. (Devam) 70 Müşteri 10 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe(km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
7			7	[61,39,38,16,4,46,34,28,5]	6,289
			8	[23,13,55,50]	7,096
			9	[15,33,21,65,8,11,49,35]	5,431
			10	[58,57,2,26,60,66,64]	6,535
8	39,0871	69,103	1	[62,12,43,39,40,35,46,4,42]	7,359
			2	[19,26,29,54,10,56]	7,434
			3	[37,59,28]	7,335
			4	[20,14,13,47,32,25,17,49,11,8,33]	7,034
			5	[51,70,6,44,7,69,52,53,1,30,3]	7,062
			6	[18,63,36,21,65,68,9]	5,446
			7	[64,57,2,66,60,58,27]	6,272
			8	[31,34,48,41]	6,796
			9	[50,55,67,22,23]	7,37
			10	[15,5,16,45,38,61,24]	6,995
9	40,8310	63,663	1	[53,27,32,47,70,17,31,42]	6,532
			2	[10,55,50,22,23]	7,258
			3	[63,5,62,3,1,30,6,9,51,8]	6,685
			4	[37,39,59,40,12]	7,053
			5	[28,46,16,38,61,21,11,25]	5,942
			6	[34,4,41,48,45,43,33]	7,267
			7	[13,20,67,54,14,24]	6,148
			8	[49,35,36,18]	3,124
			9	[19,57,26,29,60,66,2,58]	6,561
			10	[65,68,44,7,69,52,56,64,15]	7,093
10	37,7535	65,213	1	[23,13,55,10,17]	7,16
			2	[24,8,11,68,6,70,32,30,27,63]	6,976
			3	[9,56,52,69,7,44]	5,073
			4	[58,53,2,66,60,1,3]	6,426
			5	[64,57,29,26]	3,827
			6	[18,47,14,50,67,54,20,22,15]	6,81
			7	[25,51,65,61,21,12,38,62,19]	7,015
			8	[42,41,4,46,35,40,39,49,36,37,33,5]	7,165
			9	[28,34,16,59]	7,428
			10	[43,45,48,31]	7,333

70 müşteri ve 10 adet drone ele alınarak senaryo 6 incelenmiştir. GA ile 10 defa tekrarlanarak bulunan çözümler arasında en iyi sonuç 60,392 km olarak 44,687 sn. içerisinde bulunmuştur. En iyi sonuca göre en fazla yol kat eden İHA 7,381 km. yol almıştır ve rotası 10, 55, 50, 13 olarak bulunmuştur.

4.4.2. Tavlama Benzetimi Kullanılarak Uygulanan Senaryo ve Çözümleri

Tavlama benzetimi algoritmasında da GA algoritmada olduğu gibi 6 farklı senaryo uygulanmıştır. Çizelge 4.8.'de tavlama benzetimi algoritmasının kaba kodu gösterilmiştir. Bütün senaryolar 10 defa uygulanmıştır.

Çizelge 4.9. (Devam) 20 Müşteri 4 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe(km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
2	4,3875	19,016	1	[20,14,13]	4,8
			2	[15,2,3,1,18,19]	3,559
			3	[9,6,7,10,17]	5,677
			4	[5,4,16,12,8,11]	4,98
3	4,3761	19,576	1	[9,7,6,11,8]	3,927
			2	[19,15,14,13,10,17]	5,27
			3	[20,2,3,1]	5,669
			4	[18,5,4,16,12]	4,71
4	4,3567	18,055	1	[10,20,14,13]	5,837
			2	[12,16,4,5]	4,491
			3	[15,19,18,1,2,3]	3,649
			4	[8,11,9,6,7,17]	4,078
5	4,4074	18,165	1	[5,4,16,12]	4,491
			2	[15,17,7,6,9,11,8]	4,281
			3	[13,14,20,10]	5,837
			4	[19,2,3,1,18]	3,556
6	4,4072	19,927	1	[14,13,20,2,18,15]	5,622
			2	[5,4,16,12]	4,491
			3	[19,1,3,11,8]	4,137
			4	[9,6,7,10,17]	5,677
7	7,7348	18,168	1	[2,3,1,18,19]	3,557
			2	[10,20,14,13]	5,837
			3	[8,11,9,6,7,17]	4,078
			4	[15,5,4,16,12]	4,696
8	4,3893	22,061	1	[9,6,3,1,18,19]	5,571
			2	[5,4,16,12,8,11,15]	5,398
			3	[2,20,14,13]	5,578
			4	[17,10,7]	5,514
9	4,3603	19,456	1	[8,11,9,6,7,17]	4,078
			2	[20,2,3,1]	5,669
			3	[5,4,16,12]	4,491
			4	[10,14,13,18,19,15]	5,218
10	4,3269	20,003	1	[15,19,18,14,20,13]	4,909
			2	[5,1,3,2,17,11,8]	5,052
			3	[10,7,6,9]	5,67
			4	[12,16,4]	4,372

20 müşteri ve 4 adet drone ele alınarak senaryo 1 incelenmiştir. TB ile 10 defa tekrarlanarak bulunan çözümler arasında en iyi sonuç 18,055 km olarak 4,3567 sn. içerisinde bulunmuştur. En iyi sonuca göre en fazla yol kat eden İHA 5,837 km. yol almıştır ve rotası 10, 20, 14, 13 olarak bulunmuştur.

4.4.2.2. Senaryo 2 için tavlama benzetimi

Çizelge 4.10.'da 30 müşteri ve 6 drone için sonuçlar belirtilmiştir.

Çizelge 4.10. 30 Müşteri 6 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
1	5,9638	26,8	1	[17,10,25]	4,816
			2	[23,20,13]	4,799
			3	[2,29,26,3,1,30,27,5]	3,988
			4	[8,11,21,6,7,9,24]	4,041
			5	[14,22,18,19,15]	4,692
			6	[28,4,16,12]	4,464
2	4,6813	25,258	1	[20,22,14]	4,909
			2	[17,10,25,24]	4,958
			3	[23,13,2,29,26,3,1,30,18]	4,913
			4	[15,19,27,5]	1,991
			5	[12,16,4,28]	4,464
			6	[9,7,6,21,11,8]	4,023
3	4,5954	24,988	1	[22,20,27]	5,126
			2	[8,11,9,7,6,21,12]	4,773
			3	[2,29,26,3,1,30]	3,636
			4	[28,4,16]	4,296
			5	[23,13,14,10]	5,139
			6	[24,25,17,15,19,18,5]	2,018
4	4,6753	24,185	1	[27,2,29,26,3,1,30]	3,64
			2	[12,24,25,19,18,15]	2,498
			3	[17,10]	4,77
			4	[16,4,28,5]	4,341
			5	[8,11,21,6,7,9]	4,024
			6	[13,14,22,20,23]	4,912
5	4,6734	27,548	1	[4,16,12,8,24]	4,807
			2	[10,17]	4,77
			3	[13,14,20,23]	4,802
			4	[15,18,19,22]	4,691
			5	[28,30,1,3,26,29,2,27,5]	4,419
			6	[11,21,6,7,9,25]	4,059
6	4,5899	26,114	1	[25,17,10,19,18,15]	5
			2	[5,28,4,16]	4,341
			3	[22,20,23]	4,91
			4	[12,21,11,8,24]	2,859
			5	[27,2,29,26,3,1,30]	3,64
			6	[9,6,7,14,13]	5,364
7	4,5902	23,982	1	[23,2,29,26,3,1,30,27]	4,044
			2	[24,8,12,16,4]	4,807
			3	[25,9,7,6,21,11]	4,058
			4	[28,5]	1,225
			5	[20,22,14,13]	4,91
			6	[17,10,19,18,15]	4,938
8	4,6671	27,03	1	[9,7,6,21,11,8,25]	4,388
			2	[10,17]	4,77
			3	[15,18,27,2,29,26,3,1,30]	3,647
			4	[23,20,13]	4,799
			5	[5,28,4,16,12,24]	4,743
			6	[14,22,19]	4,683
9	4,2534	23,262	1	[12,16,4]	4,372
			2	[15,19,5,28]	1,446
			3	[18,30,1,3,26,29,2,27]	3,644
			4	[17,10,25]	4,816

Çizelge 4.10. (Devam) 30 Müşteri 6 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
9			5	[9,7,6,21,11,8,24]	4,061
			6	[20,22,14,13,23]	4,923
10	4,5214	24,885	1	[12,21,6,7,9]	4,517
			2	[13,14,10]	5,126
			3	[5,28,4,16]	4,341
			4	[22,20,23,18,19,15]	4,989
			5	[24,11,8]	1,449
			6	[25,17,27,1,26,2,29,3,30]	4,463

30 müşteri ve 6 adet drone ele alınarak senaryo 2 incelenmiştir. TB ile 10 defa tekrarlanarak bulunan çözümler arasında en iyi sonuç 23,262 km olarak 4,2534 s. içerisinde bulunmuştur. En iyi sonuca göre en fazla yol kat eden İHA 4,923 km. yol almıştır ve rotası 20, 22, 14, 13, 23 olarak bulunmuştur.

4.4.2.3. Senaryo 3 için tavlama benzetimi

Çizelge 4.11.'de 40 müşteri ve 7 drone için sonuçlar belirtilmiştir.

Çizelge 4.11. 40 Müşteri 7 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
1	5,1055	32,1	1	[13,14,22,20]	4,91
			2	[25,32,10,17]	4,817
			3	[15,18,5,28,35,40,16,4]	5,016
			4	[3,29,2,26]	3,603
			5	[37,12,36,30,1,27,23,19]	4,754
			6	[33,24,9,7,6,21,11,8]	4,301
			7	[31,34,38,39]	4,699
2	5,0399	28,41	1	[28,4,34]	3,349
			2	[10,32,17]	4,783
			3	[11,21,6,7,9,25,19,18]	4,365
			4	[13,14,22,20,23]	4,912
			5	[31,30,1,3,26,29,2,27]	4,325
			6	[33,35,40,16,39,38,12]	4,341
			7	[15,5,36,37,8,24]	2,335
3	5,1521	28,485	1	[5,27,23,18,19,15]	2,529
			2	[17,10,32,25]	4,817
			3	[13,14,22,20]	4,91
			4	[33,37,12,38,39,16,40]	4,182
			5	[28,34,4,35,36]	3,685
			6	[8,11,21,6,7,9,24]	4,041
			7	[2,29,26,3,1,30,31]	4,321
4	5,1237	28,077	1	[37,8,11,24,25]	2,157
			2	[35,40,16,39,38,12,36]	4,336
			3	[9,7,6,21]	3,989
			4	[13,14,22,20,23]	4,912
			5	[19,30,1,3,26,29,2,27]	3,644
			6	[33,34,4,31,28,5,18,15]	4,256

Çizelge 4.11. (Devam) 40 Müşteri 7 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
4			7	[10,32,17]	4,783
5	5,1073	30,596	1	[31,30,1,3,26,29,2,27]	4,325
			2	[37,12,16,4,34]	4,374
			3	[25,24,36,28,5,18,19,15,33]	3,287
			4	[17,32,10]	4,783
			5	[20,22,14,13]	4,91
			6	[23,7,6,9]	4,393
			7	[35,40,38,39,21,11,8]	4,524
6	5,0473	27,416	1	[15,23,20,22,14,13]	4,977
			2	[27,2,29,26,3,1,30]	3,64
			3	[25,32,10,17]	4,817
			4	[24,9,7,6,21]	4,006
			5	[34,4,16,40,35,36,33]	4,437
			6	[37,12,38,39,11,8]	3,409
			7	[5,28,31,18,19]	2,13
7	5,0174	31,897	1	[22,20,23]	4,91
			2	[38,39,16,40,37,36,33]	4,326
			3	[31,3,26,29,2,27]	4,296
			4	[9,7,6,21,11]	4,009
			5	[19,30,1,13,14,17,15]	4,873
			6	[25,32,10]	4,811
			7	[24,8,12,35,4,34,28,5,18]	4,672
8	5,6048	30,88	1	[8,11,24,19,30,3,1,18]	4,218
			2	[32,10]	4,783
			3	[15,27,2,29,26,31,28]	4,391
			4	[25,17,9,7,6,21]	4,299
			5	[35,4,34]	3,508
			6	[13,14,22,20,23]	4,912
			7	[5,33,36,37,40,16,39,38,12]	4,769
9	5,6455	31,386	1	[10,32]	4,783
			2	[5,31,18,19,17,25,11,8,36]	4,255
			3	[37,33,2,29,26,3,1,30,27,15]	4,837
			4	[28,34,35,40,39,38]	4,233
			5	[23,20,22,14,13]	4,912
			6	[9,7,6,21,24]	3,994
			7	[12,16,4]	4,372
10	5,0814	31,859	1	[13,14,20]	4,8
			2	[25,9,7,6,21,11,12,37,36,33]	4,751
			3	[5,31,28,38,39,8,24]	4,826
			4	[15,19,18,23,22]	4,69
			5	[34,4,16,40,35]	4,369
			6	[27,2,29,26,3,1,30]	3,64
			7	[10,32,17]	4,783

40 müşteri ve 7 adet drone ele alınarak senaryo 3 incelenmiştir. TB ile 10 defa tekrarlanarak bulunan çözümler arasında en iyi sonuç 27,416 km olarak 5,0473 s. içerisinde bulunmuştur. En iyi sonuca göre en fazla yol kat eden İHA 4,977 km. yol almıştır ve rotası 15 ,23, 20, 22, 14, 13 olarak bulunmuştur.

4.4.2.4. Senaryo 4 için tavlama benzetimi

Çizelge 4.12.'de 50 müşteri ve 8 drone için sonuçlar belirtilmiştir.

Çizelge 4.12. 50 Müşteri 8 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
1	5,1845	38,024	1	[50,22,20,14,13,23]	5,822
			2	[8,11,25,32,47,17]	3,011
			3	[18,30,1,3,26,29,2,27]	3,644
			4	[41,48,42,28]	6,163
			5	[33,49,21,39,16,40]	5,113
			6	[15,19,10,44,7,6,9,24]	5,876
			7	[37,12,38,43,36]	2,444
			8	[5,34,35,46,45,4,31]	5,951
2	5,1207	37,224	1	[18,27,30,31,28,5]	3,467
			2	[34,42,4,46,45,16,40,35]	6,025
			3	[20,22,50,10,47]	6,085
			4	[25,17,32,44,7,6]	4,029
			5	[23,13,14,2,29,26,3,1]	4,877
			6	[48,41]	6,098
			7	[36,43,38,39,12,37,33]	3,198
			8	[24,49,8,11,21,9,19,15]	3,445
3	5,1094	38,99	1	[42,31,30,3,1,18,19]	4,143
			2	[12,43,38,39,16,40,35,5]	4,665
			3	[9,6,21,11,8,49,37,36,33]	3,97
			4	[17,13,14,22,20,2,29,26,27]	5,878
			5	[28,48,41]	6,114
			6	[47,32,10,50,23,15]	5,764
			7	[25,44,7,24]	3,655
			8	[34,4,45,46]	4,801
4	5,0754	38,463	1	[33,36,35,16,40,43,12,49,37]	3,79
			2	[5,31,30,3,1,27,18]	3,608
			3	[4,46,45,39,38]	6,083
			4	[34,41,48,42,28]	6,177
			5	[25,24,8,11,21,6,7,44]	4,513
			6	[10,50,19,15]	5,71
			7	[23,13,14,22,20,2,29,26]	5,762
			8	[9,32,47,17]	2,82
5	5,1212	35,994	1	[34,46,45,4,42,31,28]	5,456
			2	[17,13,14,22,20,23]	5,023
			3	[24,32,10,50,47,25]	5,878
			4	[33,49,9,44,7,6,21,11,8]	4,681
			5	[48,41]	6,098
			6	[18,27,2,29,26,3,1,30,5]	3,759
			7	[19,15]	0,479
			8	[36,43,35,40,16,39,38,12,37]	4,62
6	5,1776	37,565	1	[15,25,9,44,7,6,21,11,8,49,24]	4,85
			2	[42,31,30,3,1,27]	4,232
			3	[10,50,22,20]	6,081
			4	[17,32,47,19,18]	2,375
			5	[12,38,39,40,43,37]	3,664
			6	[33,36,35,16,45,46,4,34,28,5]	5,454
			7	[41,48]	6,098
			8	[23,13,14,2,29,26]	4,811
7	5,1308	37,055	1	[19,18,27,30,5]	2,762
			2	[35,46,45,16,40,43]	5,142

Çizelge 4.12. (Devam) 50 Müşteri 8 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
7			3	[44,7,6,39,38,12,37]	5,585
			4	[25,9,21,11,8,49,24]	3,148
			5	[28,31,42,36,33]	3,043
			6	[17,13,14,2,29,26,3,1]	4,975
			7	[47,32,10,50,22,20,23,15]	6,197
			8	[41,48,4,34]	6,203
8	5,1906	39,096	1	[42,31]	2,462
			2	[30,3,29,2,26,1,27,18,15]	3,796
			3	[48,34]	6,111
			4	[28,5,44,7,6,9,21]	5,505
			5	[25,32,10,50,47,17]	5,701
			6	[13,14,22,20,23,19]	4,983
			7	[11,8,49,39,38,35,36,24]	4,416
			8	[46,4,41,45,16,40,43,12,37,33]	6,122
9	5,1627	38,458	1	[9,44,7,6,21,11]	4,106
			2	[43,40,16,45,35]	5,035
			3	[8,49,39,38,12,36]	3,441
			4	[15,19,23,13,14,17]	3,757
			5	[30,1,3,26,29,2,27,18]	3,645
			6	[32,10,50,22,20]	6,1
			7	[34,4,48,41,28]	6,233
			8	[33,37,5,31,42,46,47,25,24]	6,141
10	5,0633	36,846	1	[18,5,28,31,42,34]	3,113
			2	[50,22,20,14,13,23]	5,822
			3	[8,11,21,6,7,44,9,25,15]	4,448
			4	[24,49,39,38,43,12,37,33]	3,44
			5	[41,48]	6,098
			6	[36,35,46,4,45,16,40]	5,493
			7	[27,2,29,26,3,1,30,19]	3,644
			8	[47,10,32,17]	4,788

50 müşteri ve 8 adet drone ele alınarak senaryo 4 incelenmiştir. TB ile 10 defa tekrarlanarak bulunan çözümler arasında en iyi sonuç 35,994 km olarak 5,1212 s. içerisinde bulunmuştur. En iyi sonuca göre en fazla yol kat eden İHA 6,098 km. yol almıştır ve rotası 48, 41 olarak bulunmuştur.

4.4.2.5. Senaryo 5 için tavlama benzetimi

Çizelge 4.13.'te 60 müşteri ve 9 drone için sonuçlar belirtilmiştir.

Çizelge 4.13. 60 Müşteri 9 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
1	5,3944	54,832	1	[46,45,48,28]	6,886
			2	[37,12,59,16,40,36]	7,021
			3	[50,55,17]	7,02
			4	[11,8,49,43,35,5]	3,195
			5	[18,26,2,29,31,42,41,4,34]	7,02
			6	[33,38,39,21,6,52,7,44,24]	6,106

Çizelge 4.13. (Devam) 60 Müşteri 9 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
1			7	[20,54,22,10,56,25]	6,855
			8	[51,9,32,47,30,3,53,58,27,19,15]	5,157
			9	[23,13,14,57,60,1]	5,572
2	5,4187	51,97	1	[36,59,16,35]	6,987
			2	[56,10,54,20,22,14,13]	6,79
			3	[34,46,45,48,41]	6,928
			4	[53,26,29,57,44,52,7,6,9,51]	6,702
			5	[21,39,38,43,49,8,11,25,17,19,15]	5,426
			6	[5,30,1,3,60,2,58,27,18]	4,682
			7	[28,31,42,4,40,12,37,33]	4,709
			8	[24,32,47,23]	2,752
			9	[50,55]	6,994
3	5,5293	50,44	1	[47,32,52,7,44]	4,232
			2	[35,40,16,46,42,31,28,5]	4,921
			3	[56,10,22,54,20,23]	6,851
			4	[13,14,50,55,17]	7,096
			5	[49,12,38,59,39]	7,066
			6	[19,57,60,2,29,26,3]	4,713
			7	[37,43,8,11,21,6,9,51,25,24]	4,683
			8	[15,27,58,53,1,30,18,36,33]	3,898
			9	[34,4,41,48,45]	6,98
4	5,301	52,334	1	[25,32,56,10,50,54,20,22]	6,874
			2	[47,55]	7,012
			3	[17,44,52,7,6,21,49,12,40,16]	6,891
			4	[38,39,59,43,36]	6,904
			5	[35,45,46,31,30,53,27,18,19]	6,91
			6	[42,48,41,4,34,28,5]	6,437
			7	[14,13,23]	3,576
			8	[15,58,57,60,2,29,26,3,1]	4,763
			9	[33,24,51,9,11,8,37]	2,967
5	5,4338	51,277	1	[17,47,32,14,22,54,20,13,23]	5,869
			2	[18,27,53,1,30,3,29,26,5]	3,745
			3	[12,38,39,59,43]	6,906
			4	[44,52,7,6,21,11,8]	4,41
			5	[25,10,56,9,51,24]	5,464
			6	[57,60,2,58]	4,59
			7	[37,49,40,16,45,4,34,42,31]	6,398
			8	[28,41,48,46,35,36,33,19,15]	6,901
			9	[55,50]	6,994
6	5,4895	48,542	1	[5,30,1,3,29,26,53]	3,487
			2	[37,49,8,11,21,6,7,9,51]	4,396
			3	[14,22,55,50]	7,139
			4	[32,47,27,58,2,60,57,13,17]	6,862
			5	[40,16,59,39,38]	7,118
			6	[35,46,45,48,41,4,34]	7,13
			7	[15,23,20,54,10,56,52,44]	7,146
			8	[24,25,19,18]	1,394
			9	[31,42,28,43,12,36,33]	3,87
7	5,3856	54,397	1	[24,51,9,6,21,49,38,16,40]	6,065
			2	[23,13,50,55]	7,082
			3	[25,15,19,53,2,60,29,26,33,37]	6,256
			4	[35,45,48,41,28]	6,934
			5	[36,43,12,8,11,1,3,30]	5,139
			6	[17,47,14,22,54,20,57,58,27]	6,103

Çizelge 4.13. (Devam) 60 Müşteri 9 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
7			8	[32,10,56,52,7,44]	5,699
			9	[18,5,31,42,4,46,34]	4,255
8	5,3582	49,519	1	[31,30,1,3,53,47,32,17,25]	4,898
			2	[8,51,9,10,50,22,57,23]	7,03
			3	[28,42,35,43,38,49]	4,273
			4	[18,26,29,60,2,58,27]	4,444
			5	[55,54,20,14,13]	7,385
			6	[39,59,16,40,12]	7,212
			7	[46,45,48,41,4,34,5]	7,12
			8	[24,37,36,33]	1,41
			9	[15,19,44,56,52,7,6,21,11]	5,747
9	5,3101	52,031	1	[15,23,20,54,22,14,13]	5,595
			2	[41,48,42,31,5]	6,318
			3	[43,39,59,12,37]	6,952
			4	[35,16,40,38,49,21,6,9,51,24]	6,107
			5	[25,32,44,7,52,56,10,47,17]	5,907
			6	[58,57,60,2,29,26,19]	4,692
			7	[28,4,45,46,34,36,33]	5,233
			8	[50,55]	6,994
			9	[18,30,1,3,53,27,11,8]	4,233
10	5,4420	49,962	1	[25,17,32,47,27,58,53,3,1,30]	4,465
			2	[5,28,34,4,45,46]	4,958
			3	[41,48,42,31,18]	6,475
			4	[23,13,20,54,55,22,14]	7,54
			5	[7,52,56,10,50,44,51]	7,354
			6	[35,16,59,39]	7,065
			7	[26,29,2,60,57]	4,632
			8	[9,6,21,38,40,43,12,37,36,33]	5,333
			9	[49,8,11,24,15,19]	2,14

60 müşteri ve 9 adet drone ele alınarak senaryo 5 incelenmiştir. TB ile 10 defa tekrarlanarak bulunan çözümler arasında en iyi sonuç 48,452 km olarak 5,4895 sn. içerisinde bulunmuştur. En iyi sonuca göre en fazla yol kat eden İHA 7,146 km. yol almıştır ve rotası 15,23,20,54,10,56,52,44 olarak bulunmuştur.

4.4.2.6. Senaryo 6 için tavlama benzetimi

Çizelge 4.13. de 70 müşteri ve 10 drone için sonuçlar belirtilmiştir.

Çizelge 4.14. 70 Müşteri 10 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
1	8,0187	55,91	1	[47,10,55,50]	7,073
			2	[24,22,67,54,20,32,17,25]	6,448
			3	[12,38,39,11,8,49,37,33]	3,787
			4	[35,46,45,48,41]	7,011
			5	[5,62,31,42,4,34,28]	4,177
			6	[23,13,14,56,52,69,7,44]	5,738

Çizelge 4.14. (Devam) 70 Müşteri 10 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
1			7	[51,9,21,61,65,68,6,70]	5,477
			8	[15,64,58,1,30,63,18,19]	3,246
			9	[57,66,60,2,29,26,3,53,27]	5,951
			10	[40,16,59,43,36]	7,002
2	5,8877	58,804	1	[12,38,43,34,46,4,42,28]	5,341
			2	[8,11,61,65,68,7,6,21,49]	5,705
			3	[54,67,10,56,9,51,24]	7,06
			4	[23,13,50,55,47,17]	7,117
			5	[39,59,16,40,36,33]	7,092
			6	[32,52,69,44,70,25]	4,127
			7	[15,64,57,66,60,2,29]	5,831
			8	[37,35,45,48,41]	7,082
			9	[19,18,27,58,53,1,30,63]	2,971
			10	[5,31,62,3,26,20,22,14]	6,478
3	5,8381	57,4	1	[17,55,50]	7,02
			2	[4,41,48,42,31,62,63]	6,735
			3	[34,46,45,16]	4,963
			4	[1,2,66,60,29,26,3,30]	6,105
			5	[15,19,18,53,58,47,32,70,51,9]	4,321
			6	[36,40,35,28,5]	3,103
			7	[25,27,64,57,22,20,54,67,14]	7
			8	[6,7,44,69,52,56,10,13,23]	6,304
			9	[8,11,21,65,68,61,49,24]	4,925
			10	[43,38,59,39,12,37,33]	6,924
4	5,748	58,364	1	[15,27,58,60,66,57,64,23]	5,896
			2	[33,8,69,52,56,10,70,24]	6,251
			3	[49,61,65,21,11]	3,643
			4	[34,4,46,16,40,43,12,37,36,5]	4,848
			5	[13,14,50,55]	7,07
			6	[19,53,26,2,29,3,1,30,18]	3,678
			7	[17,22,67,54,20,32,47,25]	6,261
			8	[28,42,41,48,45,35]	7,034
			9	[31,62,63,44,7,68,6,9,51]	6,807
			10	[39,59,38]	6,876
5	5,6922	58,147	1	[33,37,12,49,30,1,3,29,26,53]	5,103
			2	[25,17,23,13,14,32,47,19,15]	4,415
			3	[40,16,38,39,68,65,8]	6,965
			4	[70,56,10,55,50]	7,511
			5	[66,67,54,20,22]	7,072
			6	[43,59,61,21,9,51]	7,944
			7	[36,35,4,41,48,45,46,34]	7,361
			8	[27,58,2,60,57,64,18]	4,619
			9	[24,44,52,69,7,6,11]	4,347
			10	[5,28,42,31,62,63]	2,81
6	5,8021	57,492	1	[35,40,16,45,46,4,34,36]	5,663
			2	[23,22,67,54,20,57,64,15]	6,152
			3	[33,24,13,14,66,60,2,29]	6,82
			4	[25,70,32,58,53,27,19]	3,98
			5	[5,28,41,48,42,31,62]	6,669
			6	[8,11,21,6,68,65,61]	5,034
			7	[43,38,59,39]	6,914
			8	[1,26,3,30,63,18]	3,41
			9	[37,12,49,51,9,44,7,69,52,56,17]	5,777
			10	[47,10,55,50]	7,073

Çizelge 4.14. (Devam) 70 Müşteri 10 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
7	5,6385	58,242	1	[21,6,68,65,40,35,43]	6,612
			2	[42,31,62,1,53,23,47,32]	5,264
			3	[55,50,14,13]	7,07
			4	[28,34,4,41,48,45,46]	7,114
			5	[15,19,29,2,60,66,57,27,5]	6,062
			6	[25,17,64,58,26,3,30,63,18]	4,095
			7	[33,24,70,56,52,69,7,44,9,51]	5,281
			8	[36,49,61,11,8]	2,941
			9	[37,12,38,39,59,16]	7,082
			10	[10,22,67,54,20]	6,721
8	6,5711	61,894	1	[8,11,61,49,12,35,37]	4,147
			2	[62,30,64,13,10,56,32,47]	6,96
			3	[70,68,65,21,24]	4,534
			4	[42,31,25,51,9,44,52,69,7,6]	6,669
			5	[38,39,59,16,40,43,36]	7,177
			6	[58,57,20,22,15,19,63,18,33]	6,27
			7	[1,3,26,29,60,66,2,53,27]	6,004
			8	[23,14,50,55]	7,083
			9	[54,67,17]	5,892
			10	[46,45,48,41,4,34,28,5]	7,158
9	5,6106	55,772	1	[51,9,10,67,54,20,17]	6,988
			2	[70,47,32,56,52,69,44]	5,203
			3	[55,50,22,14,13,23]	7,186
			4	[33,36,38,59,39,12]	6,898
			5	[35,16,40,43,37,25,19]	4,371
			6	[34,4,41,48,45,46]	7,002
			7	[15,18,63,62,31,42,28,5]	2,878
			8	[30,1,3,26,29,2,53]	3,643
			9	[21,6,7,68,65,61,49,8,11,24]	5,841
			10	[27,58,60,66,57,64]	5,762
10	5,7087	59,175	1	[39,59,36]	6,866
			2	[55,50,14,13,23]	7,083
			3	[70,44,7,69,52,56,10,24]	5,868
			4	[63,1,60,66,20,22,32,25]	6,938
			5	[5,28,62,31,42,4,16,40,35]	5,474
			6	[18,53,30,3,26,29,2,64,47,17]	4,718
			7	[27,58,57,54,67]	6,152
			8	[33,34,46,45,48,41]	7,079
			9	[19,15,49,8,11,21,9,51]	3,444
			10	[37,12,43,38,61,65,68,6]	5,553

70 müşteri ve 10 adet drone ele alınarak senaryo 6 incelenmiştir. TB ile 10 defa tekrarlanarak bulunan çözümler arasında en iyi sonuç 55,772 km olarak 5,6106 s. içerisinde bulunmuştur. En iyi sonuca göre en fazla yol kat eden İHA 7,186 km. yol almıştır ve rotası 55,50,22,14,13,23 olarak bulunmuştur.

4.4.3. Mutasyon Operatörlü Tavlama benzetimi Kullanılarak Uygulanan Senaryo ve Çözümleri

Çizelge 4.15.'te mutasyon operatörlü tavlama benzetimi algoritmasının kaba kodu gösterilmiştir.

Çizelge 4.15. Mutasyon operatörlü tavlama benzetimi kaba kodu

Mutasyon operatörlü tavlama benzetimi kaba kodu
<p><i>Girdiler: Araç sayısı, araç kapasitesi ve mesafe kısıtı, Müşteri talepleri, mesafe matrisleri ve depo bilgileri, İterasyon Sayısı, Başlangıç Sıcaklığı (T^0), Sıcaklık tekrar sayısı (k), Sıcaklık düşürme katsayısı (z), Mutasyon oranı</i></p> <p><i>-begin</i> $T = T^0$ <i>-Bir başlangıç çözüm üret</i> <i>-Çözümün maliyetini hesapla (C)</i> <i>- Maliyeti (C_{best}) olarak ata</i> <i>for $i=1$ to iterasyon sayısı (bitirme operatörü)</i> <i>for $k = 1$ to k</i> <i>-komşu çözüm üret</i> <i>-maliyeti hesapla (C_{yeni})</i></p> <p style="padding-left: 40px;"><i>if $C_{yeni} < C$</i> <i>Komşu çözümü kabul et</i></p> <p style="padding-left: 40px;"><i>Else</i> $\Delta = C_{yeni} - C_{best}$ $p = e^{(-\Delta/T)}$ <i>random sayı üret (0-1) (r)</i> <i>if $r < p$</i> <i>Komşu çözümü kabul et</i> <i>end</i> <i>end</i></p> <p style="padding-left: 40px;"><i>if $C_{yeni} < C_{best}$</i> <i>Komşu çözümü en iyi sonuç olarak kabul et</i> <i>End</i> $C_{best} = C_{mut}$ <i>Mutasyon uygula (C_{mut}) maliyet hesapla</i> <i>if $C_{mut} < C_{best}$</i> $C_{best} = C_{mut}$ <i>end</i> <i>end</i></p> <p style="padding-left: 40px;">$T = z * T$</p> <p style="padding-left: 40px;"><i>return</i> <i>(bitirme operatörü)</i></p> <p style="padding-left: 40px;"><i>end</i></p>

4.4.3.1. Senaryo 1 için mutasyon operatörlü tavlama benzetimi

Çizelge 4.16.'da 20 müşteri ve 4 drone için sonuçlar belirtilmiştir.

Çizelge 4.16. 20 Müşteri 4 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
1	8,7550	19,751	1	[13,20,2,3,1]	5,686
			2	[5,4,16,12,8]	4,888
			3	[15,19,18,14,10,17]	5,224
			4	[7,6,9,11]	3,953
2	9,0719	21,644	1	[17,10,7]	5,514
			2	[13,14,20,2]	5,578
			3	[5,4,16,12,8,11]	4,98
			4	[15,19,18,1,3,6,9]	5,572
3	8,3225	18,928	1	[9,7,6,11]	3,913
			2	[13,14,20,10]	5,837
			3	[19,18,1,3,2,17,15]	4,29
			4	[8,12,16,4,5]	4,888
4	8,3846	19,905	1	[1,3,2,20]	5,669
			2	[15,8,11,9,6,7]	4,391
			3	[19,18,5,4,16,12]	4,713
			4	[17,10,14,13]	5,132
5	8,3465	20,064	1	[4,16,12,8,11]	4,861
			2	[17,10,14,19,18]	5,223
			3	[13,20,2,3,1]	5,686
			4	[9,6,7,15,5]	4,294
6	8,5262	20,237	1	[18,19,15,12,16,4,5]	4,975
			2	[8,11,6,7]	3,896
			3	[17,14,10,9]	5,68
			4	[13,20,2,3,1]	5,686
7	8,5159	22,01	1	[13,14,10,7]	5,87
			2	[20,2,18,19,15]	5,564
			3	[5,4,16,12,8,11]	4,98
			4	[1,3,17,6,9]	5,596
8	8,6018	20,394	1	[9,6,7,10]	5,671
			2	[15,19,18,1,3,2,14,13,17]	4,963
			3	20	4,78
			4	[11,8,12,16,4,5]	4,98
9	8,4877	18,771	1	[5,19,9,11,8]	3,032
			2	[12,16,4]	4,372
			3	[17,10,7,6]	5,675
			4	[13,14,20,2,3,1,18,15]	5,692
10	8,5107	19,442	1	[18,1,3,2,20]	5,67
			2	[13,14,10,17]	5,132
			3	[8,11,6,7,9]	3,928
			4	[12,16,4,5,19,15]	4,712

20 müşteri ve 4 adet drone ele alınarak senaryo 1 incelenmiştir. Mutasyon operatörlü TB ile 10 defa tekrarlanarak bulunan çözümler arasında en iyi sonuç 18,771 km olarak 8,4877 sn. içerisinde bulunmuştur. En iyi sonuca göre en fazla yol kat eden İHA 5,692 km. yol almıştır ve rotası 13,14,20,2,3,1,18,15 olarak bulunmuştur.

4.4.3.2. Senaryo 2 için mutasyon operatörlü tavlama benzetimi

Çizelge 4.17.'de 30 müşteri ve 6 drone için sonuçlar belirtilmiştir.

Çizelge 4.17. 30 Müşteri 6 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
1	8,7752	35,297	1	[11,17,29,2,30,27,15]	5,204
			2	[16,6,7]	6,27
			3	[25,8,1,12]	5,708
			4	[13,22,14,3,26,18]	6,086
			5	[24,9,21,5,4,28]	6,139
			6	[19,23,20,10]	5,89
2	8,7628	31,524	1	[19,3,2,26,29,28,18,17]	5,629
			2	[1,27,14,23]	4,746
			3	[30,5,12,11,9,8]	5,73
			4	[15,7,6]	3,994
			5	[13,20,22,10,25]	5,888
			6	[4,16,21,24]	5,537
3	8,7174	34,836	1	[18,26,30,4,15]	6,184
			2	[16,8,9,17]	5,114
			3	[7,21,6,5]	5,697
			4	[19,27,20,22,10]	6,047
			5	[23,1,24,25,12,11]	5,779
			6	[28,29,3,2,14,13]	6,015
4	8,5546	36,411	1	[27,29,30,2,9,8,11,24]	6,419
			2	[15,23,10]	4,987
			3	[28,16,5,12,21]	6,574
			4	[17,14,22,26,3,1]	5,71
			5	[19,18,13,20,7]	6,406
			6	[25,6,4]	6,315
5	8,5806	32,201	1	[12,28,4,16,5]	5,715
			2	[10,22,13,14]	5,559
			3	[15,17,6,9,7,8]	5,342
			4	[20,18,19]	4,855
			5	[1,30,29,26,2,11]	5,047
			6	[25,21,24,3,27,23]	5,683
6	8,6025	32,568	1	[22,20,14,27]	5,242
			2	[23,13,26,2,29,30,3]	5,454
			3	[16,4,11,12]	5,836
			4	[28,1,24,8,21,19]	5,8
			5	[17,6,10,25]	5,887
			6	[9,7,5,15,18]	4,349
7	8,8993	33,627	1	[7,9,17,25,3,1]	6,324
			2	[24,21,6,12,16]	6,112
			3	[19,27,10,22,18]	6,18
			4	[8,11,13,20,14]	5,745
			5	[5,23,28,4,15]	5,622
			6	[26,2,29,30]	3,644
8	8,1932	33,652	1	[18,22,10]	5,604
			2	[27,13,20,14,23]	5,145
			3	[26,29,3,30,11,17,24]	5,616
			4	[1,2,19,15,25,21]	5,822
			5	[4,16,28,8]	5,808
			6	[9,6,7,5,12]	5,657
9	8,2505	31,528	1	[5,24,13,20,22,14,23]	5,794
			2	[27,9,7,17]	5,03

Çizelge 4.17. (Devam) 30 Müşteri 6 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
9			3	[4,15]	3,575
			4	[25,18,8,12,16,28]	5,425
			5	[21,6,10]	5,892
			6	[19,11,30,29,26,2,1,3]	5,812
10	8,7632	32,647	1	[14,10,13,23]	5,492
			2	[17,22,20,9,11]	6,155
			3	[2,1,27,30,3,15]	4,818
			4	[25,19,4,16]	5,308
			5	[5,8,21,6,7,18,24]	5,441
			6	[28,29,26,12]	5,433

30 müşteri ve 6 adet drone ele alınarak senaryo 2 incelenmiştir. Mutasyon operatörlü TB ile 10 defa tekrarlanarak bulunan çözümler arasında en iyi sonuç 31,524 km olarak 8,76287 sn. içerisinde bulunmuştur. En iyi sonuca göre en fazla yol kat eden İHA 5,888 km. yol almıştır ve rotası 13,20,22,10,25 olarak bulunmuştur.

4.4.3.3. Senaryo 3 için mutasyon operatörlü tavlama benzetimi

Çizelge 4.18.'de 40 müşteri ve 7 drone için sonuçlar belirtilmiştir.

Çizelge 4.18. 40 Müşteri 7 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
1	9,4424	31,479	1	[31,4,34]	3,747
			2	[24,11,8,37,40,16,35,28]	4,438
			3	[25,7,32,5]	4,281
			4	[9,6,21,39,38,12,36,33]	5,123
			5	[27,26,2,29,3,1,30]	3,691
			6	[19,18,20,22,14,15]	5,062
			7	[23,13,10,17]	5,137
2	9,0577	29,613	1	[15,31,5]	1,986
			2	[22,20,23,18,19]	4,988
			3	[24,9,7,6,21,11,8,33]	4,162
			4	[26,2,29,3,1,30,27,32,25]	5,116
			5	[36,37,12,35,4,34,28]	4,054
			6	[13,14,10,17]	5,132
			7	[38,39,16,40]	4,175
3	9,2748	27,27	1	[30,3,1,27]	2,917
			2	[9,7,6,21,11,8,24]	4,061
			3	[25,17,32,10,23]	5,004
			4	[18,26,29,2,20,22,14,13]	5,749
			5	[12,38,39,40,16,4,35]	5,535
			6	[28,34,31,5,19,15]	2,865
			7	[33,36,37]	1,139
4	9,3975	30,081	1	[5,31,3,26,29,2,27,19]	4,301
			2	[8,11,25,23,1,30,18,15]	4,224
			3	[13,14,22,20]	4,91
			4	[21,6,7,9]	3,99

Çizelge 4.18. (Devam) 40 Müşteri 7 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
4			5	[10,32,17]	4,783
			6	[37,12,38,39,24]	3,324
			7	[28,34,4,16,40,35,36,33]	4,549
5	9,3728	29,053	1	[11,21,6,7,9,25]	4,059
			2	[33,36,28,5,15]	1,986
			3	[12,38,39,16,40]	4,177
			4	[18,19,23,20,22,17]	5,083
			5	[31,34,4,35,37,8,24]	4,963
			6	[27,2,29,26,3,1,30]	3,64
			7	[13,14,10,32]	5,145
6	9,3253	31,942	1	[33,37,12,38,39,16,40,35,36]	4,372
			2	[20,23]	4,782
			3	[13,14,22,25]	4,756
			4	[17,32,10]	4,783
			5	[27,26,2,29,3,1,30,31]	4,376
			6	[21,6,7,9,24,19,18,15]	4,434
			7	[11,8,4,34,28,5]	4,439
7	9,9527	30,671	1	[13,14,22,20]	4,91
			2	[3,26,29,2,27,23]	4,034
			3	[17,32,10]	4,783
			4	[24,33,4,34,5,15,25]	4,894
			5	[35,40,16,39,38,12,37,36]	4,383
			6	[9,7,6,21,11,8]	4,023
			7	[19,18,28,31,30,1]	3,644
8	9,6877	30,248	1	[25,9,7,6,21,11,8,24]	4,11
			2	[17,13,2,29,26,27,19]	4,896
			3	[34,4,35]	3,508
			4	[33,36,40,16,39,38,12,37]	4,188
			5	[14,22,20,23]	4,911
			6	[32,10]	4,783
			7	[15,5,28,31,30,3,1,18]	3,852
9	9,0803	32,444	1	[33,9,6,7,25]	3,982
			2	[3,26,29,2,27,23,17,19,18]	4,531
			3	[1,30,5,36,38,12,37]	4,978
			4	[32,10]	4,783
			5	[40,16,39,21,11,8,24]	4,923
			6	[28,31,34,4,35]	4,273
			7	[13,14,22,20,15]	4,974
10	9,3713	33,712	1	[10,32]	4,783
			2	[23,13,14,9,11,8,24]	4,787
			3	[31,29,2,26,27,18,5]	4,637
			4	[25,17,22,20]	5,065
			5	[21,6,7]	3,958
			6	[37,12,38,39,40,16,4,34]	5,286
			7	[1,3,30,28,35,36,33,19,15]	5,196

40 müşteri ve 7 adet drone ele alınarak senaryo 3 incelenmiştir. Mutasyon operatörlü TB ile 10 defa tekrarlanarak bulunan çözümler arasında en iyi sonuç 27,27 km

olarak 9,2748 sn. içerisinde bulunmuştur. En iyi sonuca göre en fazla yol kat eden İHA 5,749 km. yol almıştır ve rotası 18,26,29,2,20,22,14,13 olarak bulunmuştur.

4.4.3.4. Senaryo 4 için mutasyon operatörlü tavlama benzetimi

Çizelge 4.19.'da 50 müşteri ve 8 drone için sonuçlar belirtilmiştir.

Çizelge 4.19. 50 Müşteri 8 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
1	11,1913	40,65	1	[26,3,1,30,27]	3,435
			2	[9,6,21,11,8,49,37,33]	3,891
			3	[35,16,45,46,4,31]	5,716
			4	[17,25,24,12,38,39,40,43,36]	4,704
			5	[15,19,47,32,10,44,7]	5,779
			6	[29,2,14,13]	4,797
			7	[50,22,20,23,18,5]	6,151
			8	[28,42,48,41,34]	6,177
2	10,9880	39,624	1	[34,28,5]	2,015
			2	[48,41]	6,098
			3	[33,36,37,12,49,32,14,13,17]	5,285
			4	[25,9,44,7,6,21,11,8,24]	4,207
			5	[46,45,16,40,39,38,43]	6,034
			6	[35,4,42,30,1,27,18,19,15]	5,569
			7	[23,20,22,50,10,47]	6,087
			8	[26,2,29,3,31]	4,329
3	10,2501	39,716	1	[9,6,7,44,32,47]	3,998
			2	[31,42,35,40,16,39,38]	5,612
			3	[10,50,23,19,15]	5,722
			4	[24,8,49,12,43,37,36,33]	2,434
			5	[48,41]	6,098
			6	[30,1,3,26,29,2,17,25,21,11]	5,761
			7	[18,27,20,22,14,13]	5,133
			8	[46,45,4,34,28,5]	4,958
4	10,9715	40,277	1	[33,8,11,24]	1,571
			2	[27,2,13,14,22,20]	6,096
			3	[17,25,35,46,4,42,31,34]	6,062
			4	[23,50,10,32,47]	5,698
			5	[28,48,41]	6,114
			6	[5,30,3,29,26,1,18]	3,51
			7	[9,44,7,6,21,49,12,37,15,19]	5,116
			8	[36,43,40,45,16,39,38]	6,11
5	10,6142	37,625	1	[11,8,35,46,4,45,16,40]	6,242
			2	[34,41,48,42]	6,175
			3	[15,19,10,50,22,20]	6,241
			4	[13,14,2,29,26,3,1]	4,864
			5	[47,32,44,7,6,21,9,25]	4,698
			6	[28,31,5]	1,925
			7	[24,18,30,27,23,17]	3,992
			8	[33,36,37,43,38,39,12,49]	3,488
6	10,61261	38,593	1	[17,13,14,20,22,47,11,8,24]	5,971
			2	[37,12,43,40,38,39,21,49]	4,713
			3	[33,36,35,16,45,46,4,42,34]	5,953
			4	[41,48]	6,098

Çizelge 4.19. (Devam) 50 Müşteri 8 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
6			5	[15,19,18]	0,486
			6	[23,2,29,26,3,1,30,27]	4,044
			7	[25,32,10,50]	5,641
			8	[44,7,6,9,28,31,5]	5,687
7	10,7337	40,265	1	[50,22,20,19,18]	5,864
			2	[9,7,6,21,11,33]	4,141
			3	[25,24,8,49,39,38,35,34,28]	4,884
			4	[15,5,4,46,36]	3,948
			5	[17,47,32,44,10,14,13,23]	5,955
			6	[31,42,45,16,40,43,12,37]	5,735
			7	[27,2,29,26,3,1,30]	3,64
			8	[48,41]	6,098
8	10,6645	40,672	1	[50,10]	5,593
			2	[13,14,22,20,2,29,26,3,5]	5,945
			3	[23,27,1,30,18,19]	3,167
			4	[36,43,40,16,45,34]	5,059
			5	[15,17,47,32,44,7,6,33,28]	5,388
			6	[48,41]	6,098
			7	[31,42,4,46,35,12,49,8,11]	4,963
			8	[24,25,9,21,39,38,37]	4,459
9	10,7205	38,091	1	[16,45,46]	4,917
			2	[27,26,2,29,3,1,30]	3,691
			3	[34,4,48,41]	6,203
			4	[15,5,28,31,42,35,40,39,38]	5,36
			5	[9,44,7,6,21,24,19,18]	4,516
			6	[36,37,43,12,49,11,8,33]	2,609
			7	[23,13,14,50,10,32,25]	5,729
			8	[20,22,47,17]	5,066
10	10,5095	40,32	1	[28,48,41]	6,114
			2	[15,19,26,29,2,27]	3,508
			3	[37,49,12,38,39,40,35,43,36]	4,313
			4	[13,22,20,23]	4,911
			5	[44,7,6,9,21,11,8,33]	4,454
			6	[18,1,3,30,34,4,42,31,5]	6,072
			7	[47,32,10,50,14,17,25,24]	6,031
			8	[46,45,16]	4,917

50 müşteri ve 8 adet drone ele alınarak senaryo 4 incelenmiştir. Mutasyon operatörlü TB ile 10 defa tekrarlanarak bulunan çözümler arasında en iyi sonuç 37,625 km olarak 10,6142 sn. içerisinde bulunmuştur. En iyi sonuca göre en fazla yol kat eden İHA 6,242 km. yol almıştır ve rotası 11,8,35,46,4,45,16,40 olarak bulunmuştur.

4.4.3.5. Senaryo 5 için mutasyon operatörlü tavlama benzetimi

Çizelge 4.20.'de 60 müşteri ve 9 drone için sonuçlar belirtilmiştir.

Çizelge 4.20. 60 Müşteri 9 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
1	10,6961	52,237	1	[11,8,9,51,6,7,21,49,37,36]	4,871
			2	[32,44,52,56,10,20,23,19]	6,908
			3	[16,45,4,46]	5,262
			4	[40,59,39,38,43,12,33]	7,073
			5	[18,3,58,53,26,29,2,1,30]	4,473
			6	[5,28,34,35,15]	3,034
			7	[27,57,60,54,22,17,24]	7,15
			8	[25,47,55,50,14,13]	7,149
			9	[41,48,42,31]	6,317
2	10,7205	53,228	1	[42,34,43,38,39,16,40,35]	5,954
			2	[5,30,1,53,31,28,33]	4,092
			3	[13,14,50,55]	7,07
			4	[19,17,56,52,7,6,9]	5,168
			5	[4,41,48,45,46]	6,999
			6	[3,58,57,60,2,26,29,27]	5,368
			7	[24,47,32,44,51,21,11,8,49,37]	4,846
			8	[18,15,22,20,54,10,23,25]	6,932
			9	[12,59,36]	6,799
3	10,8667	54,222	1	[16,45,36,24,25]	5,778
			2	[51,9,21,6,7,52,44,11,49,8]	5,569
			3	[1,2,60,20,54,22,14,15,19]	6,961
			4	[27,3,29,26,57,13,56]	6,546
			5	[5,23,58,53,30,31,4,46,35]	6,491
			6	[37,34]	2,321
			7	[33,12,38,39,59,40,43]	7,022
			8	[28,41,48,42,18]	6,416
			9	[17,47,32,10,55,50]	7,118
4	11,4433	52,194	1	[4,48,45,46]	6,972
			2	[13,14,50,55,54,20]	7,457
			3	[42,41,31,1,3,26,30]	6,77
			4	[28,34,35,40,39,36]	4,229
			5	[23,60,2,57,29,58,53,27]	5,765
			6	[12,43,16,59,38]	7,144
			7	[5,18,19,15]	0,771
			8	[25,17,9,51,44,7,6,52,21,49,33]	5,731
			9	[37,11,8,24,22,10,56,32,47]	7,355
5	10,7432	52,737	1	[56,22,20,54,23]	6,857
			2	[27,30,3,2,60,57,25,24,49,8]	6,441
			3	[53,58,26,29,1,18]	3,521
			4	[12,35,34,4,46,31]	5,077
			5	[38,39,59,16,40]	7,118
			6	[17,47,10,55,50,14,13]	7,15
			7	[19,15,5,32,44,52,7,6,51,9,21]	5,591
			8	[45,48,41,42]	6,988
			9	[43,36,37,11,28,33]	3,994
6	10,8301	55,731	1	[28,27,29,57,20,54,22,25]	7,334
			2	[33,8,11,21,7,52,44,6,51,9,32,17]	5,48
			3	[56,10,14,13,60,2,26,53]	7,436
			4	[49,12,43,34,31,42]	4,253
			5	[1,3,30,58,23,47,24,36,37]	5,199
			6	[5,19,18,15,50,55]	7,424
			7	[59,39]	6,864
			8	[35,46,48,41,4]	6,444

Çizelge 4.20. (Devam) 60 Müşteri 9 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
6			9	[45,16,40,38]	5,297
7	10,7337	51,491	1	[59,16,40,35]	7,125
			2	[58,53,1,30,3,27]	3,325
			3	[37,36,46,45,4,33]	5,254
			4	[20,54,10,56,52,7,9]	7,137
			5	[42,31,48,41,34,28,5]	7,097
			6	[25,17,6,44,32,47,19,18,15]	4,404
			7	[13,14,22,55,50]	7,14
			8	[43,38,39,12,49,8,11,21,51,24]	4,967
			9	[57,60,2,26,29,23]	5,042
8	10,7587	52,907	1	[19,58,53,29,2,20,54,22,14]	6,591
			2	[31,42,41,48,4,5]	6,603
			3	[38,59,39,43,12,37]	7,024
			4	[46,45,16,40,49]	5,268
			5	[11,21,6,52,44,7,9,51,25]	4,644
			6	[33,28,34,35,36,8]	3,652
			7	[47,56,10,13,57,15,24]	6,843
			8	[17,32,55,50]	7,054
			9	[18,23,27,1,60,26,3,30]	5,228
9	10,7737	57,017	1	[49,38,39,59,43]	7,016
			2	[15,20,54,22,56,44,25]	7,066
			3	[18,53,26,1,3,30,8,11,37,33]	5,198
			4	[5,28,57,60,29,2,58,27,19]	5,75
			5	[51,10,14,13,47]	5,76
			6	[24,9,6,52,7,21,12,35,36]	6,007
			7	[17,32,55,50,23]	7,11
			8	[40,16,41,31,42]	6,092
			9	[4,48,45,46,34]	7,018
10	10,8607	53,622	1	[6,52,21,11]	4,542
			2	[22,10,56,7,44,51,9,32,24]	7,265
			3	[19,27,30,1,31,46]	5,474
			4	[33,49,8,25,17,18]	2,646
			5	[5,38,39,59]	7,303
			6	[42,4,45,48,41]	7,376
			7	[15,53,29,2,60,57,26,3,58,47]	6,35
			8	[13,14,50,55,54,20,23]	7,459
			9	[28,34,12,16,40,35,43,37,36]	5,207

60 müşteri ve 9 adet drone ele alınarak senaryo 5 incelenmiştir. Mutasyon operatörlü TB ile 10 defa tekrarlanarak bulunan çözümler arasında en iyi sonuç 51,491 km olarak 10,7337 s. içerisinde bulunmuştur. En iyi sonuca göre en fazla yol kat eden İHA 7,137 km. yol almıştır ve rotası 20,54,10,56,52,7,9 olarak bulunmuştur

4.4.3.6. Senaryo 6 için mutasyon operatörlü tavlama benzetimi

Çizelge 4.21.'de 70 müşteri ve 10 drone için sonuçlar belirtilmiştir.

Çizelge 4.21. 70 Müşteri 10 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
1	11,1551	68,383	1	[42,48,63,19]	6,459
			2	[44,69,52,56,68,6]	6,231
			3	[15,5,24,38,39,61,65,9]	5,724
			4	[11,8,21,7,10,20,22,23]	7,212
			5	[4,41,31,28,62,1]	6,669
			6	[33,51,49,37,43,12,40,16,45,46,34]	7,443
			7	[53,27,64,57,66,14,13,25]	6,807
			8	[3,29,26,30,60,2,58,17,32,70,18]	7,385
			9	[54,67,55,50,47]	7,445
			10	[36,35,59]	7,008
2	11,0114	62,083	1	[46,4,16,38,39,61,49]	6,136
			2	[58,1,30,3,57,64,27,24]	4,845
			3	[14,13,20,22,67,54,47,17,25,11]	7,204
			4	[18,62,31,42,28,35,43]	4,409
			5	[15,63,32,44,7,6,68,65,21,37,8]	6,581
			6	[50,55,10,9,51]	7,516
			7	[33,36,59,40,12]	6,976
			8	[5,41,48,45,34]	7,003
			9	[53,2,29,66,60,26]	6,223
			10	[70,69,52,56,23,19]	5,19
3	11,0431	65,849	1	[63,62,42,48]	6,599
			2	[50,55,10,56,69,44]	7,876
			3	[25,18,28,46,16,35,38,40]	6,471
			4	[19,27,1,30,31,41,4,45,34]	7,662
			5	[33,43,49,11,8,24,22,20]	6,953
			6	[15,64,23,51,70,32,47,17]	4,502
			7	[57,60,66,67,54,14,13,5]	7,73
			8	[36,37,21,9,6,65,68,52,7,61]	7,347
			9	[53,26,2,29,3,58]	3,832
			10	[12,59,39]	6,877
4	11,0971	62,555	1	[23,64,58,57,32,47,49,21,11]	6,567
			2	[63,30,1,3,29,2,10,17]	6,514
			3	[46,45,48,41,4]	6,998
			4	[37,36,38,31,28,24]	4,755
			5	[54,66,60,26,5]	7,068
			6	[18,25,9,6,68,65,61,43,33]	5,64
			7	[56,52,69,44,7,70,51,8]	5,549
			8	[15,19,27,53,62,34,42]	4,696
			9	[35,40,16,59,39,12]	7,21
			10	[20,67,55,50,22,14,13]	7,558
5	10,9153	63,892	1	[11,51,9,21,61,8,31]	5,321
			2	[49,35,40,16,45,46,5,62]	7,032
			3	[24,33,28,34,15,25]	3,751
			4	[42,4,48,41]	6,564
			5	[23,50,55,10]	7,124
			6	[17,47,69,56,52,6,68,65]	6,708
			7	[53,1,58,2,29,26,70,44,7]	7,006
			8	[36,37,12,39,59,38,43]	7
			9	[27,30,3,57,60,66,64]	6,57
			10	[63,19,18,14,13,20,22,67,54,32]	6,816
6	10,9275	65,828	1	[25,47,10,55,67,54,14,17]	7,609
			2	[53,26,29,3,1,24,11,8]	4,667
			3	[37,43,48,4,42]	7,244

Çizelge 4.21. (Devam) 70 Müşteri 10 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
6			4	[62,56,70,23]	6,651
			5	[35,45,41,31,15]	5,825
			6	[5,19,28,12,49,61,21,65,6,51,9]	6,121
			7	[13,50,22,20,66,60,30]	7,65
			8	[34,46,16,59,33]	7,684
			9	[32,58,64,57,2,27,18,63]	5,482
			10	[44,7,69,52,68,39,38,40,36]	6,895
7	10,6852	71,657	1	[19,32,56,7,9,51]	4,966
			2	[47,69,52,67,54,23,15]	7,477
			3	[12,61,6,21,40,38,49,11,8,33]	7,009
			4	[63,66,60,29,26,62,18,5]	6,765
			5	[13,14,22,20,10,68,65]	7,79
			6	[25,70,44,50,55,17]	7,883
			7	[39,24,36,27,64,57,53,58]	7,708
			8	[41,48,42,31]	6,317
			9	[43,59,45,35]	7,945
			10	[37,16,4,46,34,28,2,3,1,30]	7,797
8	10,9001	66,299	1	[41,48,31,62]	6,573
			2	[14,50,55,25]	7,147
			3	[11,37,43,12,61,69,52,7,8]	6,48
			4	[28,34,42,16,45,46,4]	6,653
			5	[63,1,26,20,54,67,22,47,32]	6,974
			6	[49,39,59,38]	6,919
			7	[19,2,60,29,3,30,5,36,40,35]	7,15
			8	[18,53,58,57,66,23]	5,792
			9	[27,64,13,10,56,44,21,33]	6,733
			10	[15,24,17,51,9,6,65,68,70]	5,878
9	10,9619	64,492	1	[32,47,56,52,9]	4,98
			2	[63,62,2,60,23]	5,17
			3	[53,30,1,3,26,29,57,66,20]	7,066
			4	[50,55,64,27,19]	7,423
			5	[5,33,37,17,15,18,21,6,7,69,44,25]	7,056
			6	[46,4,40,12,36]	4,341
			7	[58,13,22,54,67,10,14]	7,288
			8	[43,38,39,59,16,35]	7,141
			9	[28,34,45,48,41,42,31]	7,324
			10	[8,61,49,11,70,51,68,65,24]	6,703
10	10,9903	61,448	1	[53,2,60,66,22,14,13]	6,58
			2	[25,7,52,69,44,6,56,10,17]	6,749
			3	[36,59,40,12,8]	7,37
			4	[5,30,26,29,57,19,49,11]	5,737
			5	[24,61,39,65,68,9,51,21]	6,853
			6	[50,55,67,54,20,23]	7,394
			7	[33,45,48,41,34,28,63]	7,311
			8	[38,43,37]	2,465
			9	[15,35,16,4,46,42,31,62]	5,826
			10	[70,32,47,3,1,64,58,27,18]	5,163

70 müşteri ve 10 adet drone ele alınarak senaryo 6 incelenmiştir. Mutasyon operatörlü TB ile 10 defa tekrarlanarak bulunan çözümler arasında en iyi sonuç 61,448

km olarak 10,9903 s. içerisinde bulunmuştur. En iyi sonuca göre en fazla yol kat eden İHA 7,394 km. yol almıştır ve rotası 50,55,67,54,20,23 olarak bulunmuştur.

4.4.4. Mutasyon Operatörlü Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması

Kullanılarak Uygulanan Senaryo ve Çözümleri

Çizelge 4.22.'de mutasyon operatörlü parçacık sürü optimizasyonunun kaba kodu belirtilmiştir.

Çizelge 4.22. Mutasyon Operatörlü Parçacık Sürü Optimizasyonu Kaba Kodu

```

Mutason operatörlü PSO kaba kodu

Girdiler: Araç sayısı, araç kapasitesi ve mesafe kısıtı, Müşteri talepleri,
mesafe matrisleri ve depo bilgileri, İterasyon Sayısı, Sürü Sayısı(npop),
Öğrenme Sabitleri ( $c_1, c_2$ ), Atalet Ağırlığı ( $w$ ), Atalet Ağırlığı Düşürme
Katsayısı( $wd$ ),  $V_{max}, V_{min}$ 

-begin
For  $i= 1$  to npop
  -Bir başlangıç çözüm üret
  - Çözümün maliyetini hesapla ( $C_{best}(i)$ )
end
- sort(maliyetler)
En düşük maliyetli çözüm Gbest olarak ata
for  $k=1$  to iterasyon sayısı (bitirme operatörü)
  for  $n =1$  to npop
    -Hız vektörü güncelle
    -Parçacık konum güncelle
    -Güncel konum ve hıza göre maliyet hesapla ( $C_{yeni}(n)$ )
    if  $C_{yeni} < C_{best}(n)$ 
       $C_{best}(n) = C_{yeni}$ 
    end
     $C_{best}(n) \dots \dots \dots$  Mutasyon uygula, maliyet hesapla  $C_{mut}$ 
    if  $C_{mut} < C_{best}(n)$ 
       $C_{best}(n) = C_{mut}$ 
    end
    if  $C_{best}(n) < G_{best}$ 
       $G_{best} = C_{best}(n)$ 
    end
  end
   $w = wd * w \dots \dots \dots$  Atalet ağırlığı düşür.
  (bitirme operatörü)
end
end

```

4.4.4.1. Senaryo 1 için mutasyon operatörlü parçacık sürü optimizasyonu

Çizelge 4.23.'te 20 müşteri ve 4 drone için sonuçlar belirtilmiştir.

Çizelge 4.23. 20 Müşteri 4 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
1	17,7705	19,533	1	[5,11,8,12,16,4]	5,394
			2	[2,3,1,18,19,15]	3,558
			3	[17,13,14,20]	4,911
			4	[10,7,6,9]	5,67
2	17,3915	18,858	1	[10,7,6,9]	5,67
			2	[17,11,8]	2,133
			3	[18,15,5,12,16,4,19]	5,366
			4	[1,3,2,20,14,13]	5,689
3	17,2060	21,153	1	[9,10,17,19,18,15]	5,443
			2	[1,3,2,20]	5,669
			3	[13,14,7,6,11,8]	5,55
			4	[12,16,4,5]	4,491
4	17,4643	20,445	1	[13,20,2,3,1,18,15]	5,689
			2	[10,7,6,9]	5,67
			3	[19,14,17,11,8]	4,595
			4	[5,4,16,12]	4,491
5	17,3778	19,758	1	[1,3,2,20,13]	5,686
			2	[5,18,19,15,7,6,9,11,8]	4,569
			3	[14,10,17]	5,131
			4	[4,16,12]	4,372
6	17,9146	19,958	1	[11,6,7,9,18,19,15]	4,269
			2	[20,2,3,1]	5,669
			3	[13,14,10,17]	5,132
			4	[8,12,16,4,5]	4,888
7	17,4876	20,825	1	[5,18,15,19,1,3,2,17,9]	5,495
			2	[13,14,20]	4,8
			3	[4,16,12,8,11]	4,861
			4	[10,7,6]	5,669
8	17,6342	20,415	1	[17,7,6,9,8,11,12,5,19,15]	5,415
			2	[18,1,3,2,20]	5,67
			3	[13,14,10]	5,126
			4	[16,4]	4,204
9	17,5582	19,634	1	[18,13,20,14,17]	5,013
			2	[4,16,12,8,11,5]	5,394
			3	[10,7,6,9]	5,67
			4	[15,2,3,1,19]	3,557
10	17,4177	22,17	1	[9,6,3,1,19,18]	5,576
			2	[13,14,20,2,15]	5,58
			3	[17,7,10]	5,62
			4	[5,8,11,12,16,4]	5,394

20 müşteri ve 4 adet drone ele alınarak senaryo 1 incelenmiştir. Mutasyon operatörlü PSO ile 10 defa tekrarlanarak bulunan çözümler arasında en iyi sonuç 18,858 km olarak 17,3915 s. içerisinde bulunmuştur. En iyi sonuca göre en fazla yol kat eden İHA 6,689 km. yol almıştır ve rotası 1,3,2,20,14,13 olarak bulunmuştur.

4.4.4.2. Senaryo 2 için mutasyon operatörlü parçacık sürü optimizasyonu

Çizelge 4.24. de 30 müşteri ve 6 drone için sonuçlar belirtilmiştir.

Çizelge 4.24. 30 Müşteri 6 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
1	19,0704	33,576	1	[23,4,16]	5,894
			2	[12,21,6,28,19,5]	5,723
			3	[20,22,14,13,30]	5,898
			4	[1,27,18,8,9,24]	5,012
			5	[25,17,7,10]	5,682
			6	[15,11,3,2,29,26]	5,367
2	19,1921	30,956	1	[23,21,24,11]	4,282
			2	[29,1,27,19]	3,393
			3	[25,17,13,10,9]	5,737
			4	[30,3,26,2,20,22,14]	5,837
			5	[6,7,18,8,5]	5,849
			6	[12,28,4,16,15]	5,858
3	19,0935	31,933	1	[14,22,20,15]	4,973
			2	[18,4]	3,59
			3	[25,17,12,9,8,5,28]	5,564
			4	[19,26,30,29,3,1,27,2]	5,93
			5	[24,7,10,13,23]	5,912
			6	[11,6,21,16]	5,964
4	18,9758	31,063	1	[12,28,15,7,9]	5,984
			2	[23,26,29,30]	3,688
			3	[5,27,3,1,2,14]	5,357
			4	[17,21,6]	3,985
			5	[10,20,22,13,18,19]	6,037
			6	[11,8,4,16,24,25]	6,012
5	19,0167	29,479	1	[22,10]	5,515
			2	[9,7,6,21,12,11,24]	5,022
			3	[5,28,4,16,8,19]	5,351
			4	[26,1,2,29,17]	4,86
			5	[18,30,3,25,15]	3,7
			6	[27,20,14,13,23]	5,031
6	18,3873	29,564	1	[28,16,4,19]	4,935
			2	[23,21,8,25,12]	5,147
			3	[24,14,13,1]	4,796
			4	[7,6,9,11,15,18,5]	4,686
			5	[27,26,3,2,29,30]	4,169
			6	[17,10,22,20]	5,831
7	19,6250	30,139	1	[2,20,22]	5,686
			2	[24,30,1,3,26,9,25]	5,613
			3	[17,10,14,13,23]	5,145
			4	[11,12,16,4]	4,851
			5	[15,28,18,5,29,27,19]	4,854
			6	[7,6,21,8]	3,99
8	19,4058	32,618	1	[1,30,2,14,13,27]	5,301
			2	[12,28,3]	4,527
			3	[17,8,24,16]	5,061
			4	[10,20,22,23]	5,958
			5	[4,26,29]	5,948
			6	[19,11,6,7,9,21,25,5,18,15]	5,823
9	19,2595	25,709	1	[30,3,26,29,2,27]	2,939
			2	[15,23,7,6]	4,816
			3	[1,20,13,19]	4,899
			4	[5,28,4,16,12,8]	4,356
			5	[14,22,10,25]	4,91

Çizelge 4.24. (Devam) 30 Müşteri 6 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
9			6	[11,24,9,21,17,18]	3,789
10	19,3408	31,187	1	[5,2,13,17,23]	5,736
			2	[3,28,18,25]	4,412
			3	[19,8,12,4,16]	5,645
			4	[10,22,20,14]	5,844
			5	[29,1,26,27,30,15]	4,863
			6	[11,6,7,21,9,24]	4,687

30 müşteri ve 6 adet drone ele alınarak senaryo 2 incelenmiştir. Mutasyon operatörlü PSO ile 10 defa tekrarlanarak bulunan çözümler arasında en iyi sonuç 25,709 km olarak 19,2595 s. içerisinde bulunmuştur. En iyi sonuca göre en fazla yol kat eden İHA 4,899 km. yol almıştır ve rotası 1,20,13,19 olarak bulunmuştur.

4.4.4.3. Senaryo 3 için mutasyon operatörlü parçacık sürü optimizasyonu

Çizelge 4.25. de 40 müşteri ve 7 drone için sonuçlar belirtilmiştir.

Çizelge 4.25. 40 Müşteri 7 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
1	21,1649	32,543	1	[15,19,5,31,34,4,16,40]	5,139
			2	[12,38,39,6,7]	5,521
			3	[28,35,36]	2,507
			4	[17,32,10,22,14]	5,535
			5	[33,37,8,11,24,25,23,2,30,27]	5,497
			6	[13,20,29,26,3,1,18]	5,681
			7	[21,9]	2,663
2	20,8985	31,036	1	[38,39,16,40,35,28,5]	4,729
			2	[10,32,17]	4,783
			3	[26,29,2,27,19,15]	3,512
			4	[8,11,24,18,1,3,30,31]	4,901
			5	[21,6,7,9,25]	4,039
			6	[37,12,4,34,36,33]	4,149
			7	[23,13,14,22,20]	4,923
3	20,9229	34,565	1	[23,13,14,2,29,26]	4,811
			2	[31,4,16,36,33]	4,721
			3	[28,5,18,19,25,7,6]	4,989
			4	[20,22]	4,908
			5	[32,10]	4,783
			6	[37,12,38,39,40,35,34,8,24]	5,182
			7	[15,30,3,1,27,17,9,21,11]	5,171
4	21,2044	31,213	1	[9,6,7,17,25]	3,883
			2	[31,30,3,29,2,26,1,27]	4,474
			3	[18,13,22,14]	4,688
			4	[32,10]	4,783
			5	[5,28,34,4,16,40,35,36]	4,591
			6	[15,19,20,23]	4,851
			7	[33,37,12,38,39,21,11,8,24]	3,943

Çizelge 4.25. (Devam) 40 Müşteri 7 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
5	20,8686	27,476	1	[33,37,8,11,21,6,7,9]	4,32
			2	[34,4,31,28]	3,839
			3	[23,20,22,14,13]	4,912
			4	[17,32,10]	4,783
			5	[27,2,29,26,3,1,30,18]	3,644
			6	[15,19,25,24]	1,388
			7	[36,12,38,39,16,40,35,5]	4,59
6	21,1475	31,801	1	[32,10]	4,783
			2	[8,11,21,39,38,12,37,36,33]	3,984
			3	[27,22,14,13]	4,884
			4	[1,26,2,29,3,30,31,28,5]	4,518
			5	[18,19,20,23]	4,857
			6	[17,7,6,9,25,24,15]	4,406
			7	[35,40,16,4,34]	4,369
7	20,8012	30,736	1	[15,23,10]	4,987
			2	[12,38,39,16,40,35,5]	4,556
			3	[19,18,31,4,34,28]	4,02
			4	[17,32,22,20,14,13]	5,149
			5	[33,36,37,8,11,24,25,27,30]	4,466
			6	[9,7,6,21]	3,989
			7	[1,3,26,29,2]	3,569
8	20,9505	30,829	1	[10,32,17]	4,783
			2	[23,27,1]	3,093
			3	[33,24,21,6,7,9,25]	4,305
			4	[5,35,38,39,12,11,8,37,36]	4,77
			5	[28,31,30,3,26,29,2]	4,384
			6	[13,14,22,20]	4,91
			7	[15,19,18,34,4,16,40]	4,584
9	20,7779	29,749	1	[24,21,11,8,37,33]	2,595
			2	[26,29,20,14,13]	5,617
			3	[27,2,3,1,30,31,5]	4,31
			4	[15,18,19,25,7,6,9]	4,03
			5	[17,32,10,22,23]	5,547
			6	[36,38,39,12]	3,169
			7	[35,40,16,4,34,28]	4,481
10	20,9206	28,754	1	[23,2,29,26,3,1,30,27]	4,044
			2	[20,22,14,13]	4,91
			3	[36,37,12,35,40,16,39,38,33]	4,736
			4	[10,32,17,25]	4,845
			5	[8,11,21]	2,294
			6	[15,19,18,7,6,9,24]	4,041
			7	[34,4,31,28,5]	3,884

40 müşteri ve 7 adet drone ele alınarak senaryo 3 incelenmiştir. Mutasyon operatörlü PSO ile 10 defa tekrarlanarak bulunan çözümler arasında en iyi sonuç 27,476 km olarak 20,8686 s. içerisinde bulunmuştur. En iyi sonuca göre en fazla yol kat eden İHA 4,912 km. yol almıştır ve rotası 23,20,22,14,13 olarak bulunmuştur.

4.4.4.4. Senaryo 4 için mutasyon operatörlü parçacık sürü optimizasyonu

Çizelge 4.26. da 50 müşteri ve 8 drone için sonuçlar belirtilmiştir.

Çizelge 4.26. 50 Müşteri 8 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
1	24,2653	39,336	1	[33,37,49,12,38,39,11,8,24]	3,74
			2	[41,48]	6,098
			3	[25,19,27,2,29,26,3,30,28,5]	4,994
			4	[15,18,1,20,22,14]	5,614
			5	[10,50,13,23]	5,682
			6	[4,46,45,16,40,35,43,36]	5,685
			7	[21,6,7,44,9,32,47,17]	4,766
			8	[34,42,31]	2,757
2	22,5404	39,424	1	[40,16,45,46]	4,954
			2	[15,19,23,20,22,50]	5,863
			3	[24,49,39,38,43,12,37]	3,434
			4	[5,18,30,1,3,29,2,26,27]	3,98
			5	[47,32,44,7,6]	3,997
			6	[34,4,48,41]	6,203
			7	[25,17,28,31,42,35,36,33]	4,864
			8	[13,14,10,9,21,11,8]	6,129
3	22,5636	37,45	1	[9,6,7,44,32,17,25]	4,03
			2	[40,16,45,46,35,43,36]	5,402
			3	[42,31,18,15]	2,622
			4	[37,12,38,39,49,21,11,8,33]	4,437
			5	[24,14,22,20]	5,215
			6	[19,27,30,1,3,26,29,2]	3,78
			7	[23,13,50,10,47]	5,686
			8	[34,4,48,41,28,5]	6,278
4	22,5610	38,587	1	[5,28,31,42,34,35,36,33]	3,577
			2	[48,41]	6,098
			3	[11,8,49,39,38,43,12,37]	3,608
			4	[29,2,20,14,13,23]	5,652
			5	[27,26,3,1,30,18]	3,317
			6	[25,10,50,22]	5,817
			7	[21,9,6,7,44,32,47,17]	4,522
			8	[4,46,45,16,40,24,19,15]	5,996
5	22,5471	43,066	1	[34,41,48,45,46]	6,896
			2	[2,29,26,31,35,16,40,43]	6,876
			3	[36,44,7,6,9,47,19]	5,243
			4	[18,5,23,13,32]	4,393
			5	[25,37,38,39,21,12,49,33]	5,313
			6	[27,1,3,30,42,4,28]	5,622
			7	[24,11,8,17]	2,203
			8	[15,14,10,50,22,20]	6,52
6	22,4400	40,26	1	[47,50,22,20,14,13,19,15]	5,953
			2	[33,43,40,16,45,46,4]	5,3
			3	[39,38,35,34,28,36,12,37]	5,336
			4	[30,1,3,26,29,2,23,17,25]	4,238
			5	[24,9,10,32]	5,246
			6	[5,42,31,27,18]	3,531
			7	[49,21,6,7,44,11,8]	4,558
			8	[48,41]	6,098
7	23,4522	39,938	1	[33,24,15,5,31,42,34,28]	3,946
			2	[9,6,21,11,8]	3,514

Çizelge 4.26. (Devam) 50 Müşteri 8 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
7			3	[17,13,14,2,3,1,30,18]	5,03
			4	[23,20,22,50,10,47]	6,087
			5	[36,12,43,40,39,38,49,37]	3,958
			6	[25,7,44,32,29,26,27,19]	6,079
			7	[35,16,45,46,4]	5,226
			8	[41,48]	6,098
8	22,525	39,177	1	[31,42,49,8,11,24]	3,89
			2	[15,27,30,1,3,29,2,26]	3,817
			3	[4,45,46,35,36,33]	4,995
			4	[37,12,43,40,16,39,38]	4,306
			5	[25,17,47,32,44,7,6,9,21]	4,584
			6	[10,50,22,20]	6,081
			7	[41,48]	6,098
			8	[34,28,5,18,19,23,13,14]	5,406
9	22,6117	37,711	1	[43,38,39,40,36]	3,628
			2	[50,22,20,14,13,23]	5,822
			3	[33,37,12,49,8,11,21,6,7,44,9]	4,733
			4	[34,41,48]	6,112
			5	[17,47,10,32,25,24]	4,959
			6	[3,26,29,2,27,19,15]	3,575
			7	[28,42,4,46,45,16,35]	5,592
			8	[5,31,30,1,18]	3,29
10	22,4368	44,39	1	[48,41]	6,098
			2	[37,40,16,35,34,46,4,42,31,5]	5,962
			3	[24,9,7,44,32,26,3,1,18]	6,083
			4	[21,6,17,25,15]	4,018
			5	[45,39,38,43,12]	5,886
			6	[29,2,20,14,13,23,19]	5,723
			7	[47,10,50,22]	5,776
			8	[27,30,28,33,36,49,8,11]	4,844

50 müşteri ve 8 adet drone ele alınarak senaryo 4 incelenmiştir. Mutasyon operatörlü PSO ile 10 defa tekrarlanarak bulunan çözümler arasında en iyi sonuç 37,45 km olarak 22,5636 s. içerisinde bulunmuştur. En iyi sonuca göre en fazla yol kat eden İHA 6,278 km. yol almıştır ve rotası 34,4,48,41,28,5 olarak bulunmuştur.

4.4.4.5. Senaryo 5 için mutasyon operatörlü parçacık sürü optimizasyonu

Çizelge 4.27. de 60 müşteri ve 9 drone için sonuçlar belirtilmiştir.

Çizelge 4.27. 60 Müşteri 9 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
1	25,2254	66,938	1	[52,32,56,33]	6,679
			2	[12,59,16,35]	6,998
			3	[15,3,30,60,22,20,57,58,26,27]	8,019
			4	[48,41,40,43,37,49,11,25]	8,054
			5	[24,53,14,13,47,6,17,18,19]	7,042

Çizelge 4.27. (Devam) 60 Müşteri 9 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
1			6	[51,7,44,8,4,46,34,5,28]	7,867
			7	[45,38,39,21]	6,693
			8	[23,54,55,50,10]	7,67
			9	[31,42,36,9,1,29,2]	7,916
2	24,8338	53,516	1	[12,39,59,38]	6,88
			2	[21,7,44,6,51,9,25]	4,371
			3	[37,43,35,46,48,41]	6,669
			4	[23,13,50,55]	7,082
			5	[15,17,32,60,2,29,3,26,58]	6,18
			6	[53,57,14,22,54,20,19]	6,426
			7	[24,40,16,45,4,34,5]	5,542
			8	[18,27,1,30,31,42,28]	4,018
			9	[33,36,49,8,11,52,56,10,47]	6,348
3	25,1172	54,261	1	[5,15,58,26,29,2,60,57,3,30]	5,512
			2	[24,25,51,9,7,6,21,11,49,36,33]	4,656
			3	[28,31,42,37,8,52,44]	6,686
			4	[18,19,23,14,13,17]	3,766
			5	[34,4,41,48,45,46]	7,002
			6	[43,38,59,39,12]	6,919
			7	[55,50]	6,994
			8	[47,32,56,10,54,20,22]	6,833
			9	[1,53,27,35,16,40]	5,893
4	24,8111	59,1	1	[51,9,10,56,52,44,17]	6,123
			2	[55,50]	6,994
			3	[28,18,15,12,38,40,4,34,33,37]	6,468
			4	[5,31,42,29,60,2,30,1,3]	6,469
			5	[25,32,47,13,20,54,22,14]	5,923
			6	[24,6,7,57,26,53,58]	6,529
			7	[36,59,16,35]	6,987
			8	[27,23,19,43,39,49,8,21,11]	6,725
			9	[46,45,48,41]	6,882
5	24,5501	50,878	1	[19,27,53,58,23]	2,879
			2	[47,32,10,22,54,20,14,13]	6,512
			3	[43,35,16,40,38,21,11,8,24]	5,051
			4	[49,39,59,12,33]	6,924
			5	[17,55,50]	7,02
			6	[18,15,36,37,34,45,46,28]	5,892
			7	[31,42,41,48,4]	6,484
			8	[57,60,2,29,26,3,1,30,5]	4,879
			9	[44,56,52,7,6,9,51,25]	5,237
6	25,0104	50,895	1	[49,8,11,25,27,30,1,3,53,58]	4,873
			2	[47,13,14,22,20,54,10,32]	6,608
			3	[5,31,42,4,46,34]	4,036
			4	[44,56,52,7,6,51,9,21,24]	5,751
			5	[26,29,2,60,57,23,17,18]	5,224
			6	[33,38,39,59]	6,904
			7	[36,35,16,40,43,12,37]	3,499
			8	[28,41,48,45]	6,89
			9	[55,50,19,15]	7,11
7	24,7998	52,949	1	[36,40,59,39,38]	6,966
			2	[8,11,21,9,51,58,3,30,53,27,15,25]	6,209
			3	[50,55,10]	7,068
			4	[5,28,34,35,43,12,42,31]	4,975
			5	[17,47,32,14,22,54,20,13,23]	5,869

Çizelge 4.27. (Devam) 60 Müşteri 9 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
7			6	[33,16,45,46]	4,937
			7	[24,6,7,52,56,44]	5,201
			8	[49,37,4,41,48]	7,018
			9	[18,57,60,2,29,26,1,19]	4,706
8	24,8431	50,711	1	[12,38,59,39]	6,878
			2	[33,28,42,31,5]	2,738
			3	[49,37,36,35,45,16,40,43,11,8]	6,276
			4	[24,21,9,6,7,52,56,44,51]	5,773
			5	[55,10,47]	7,057
			6	[46,48,41,4,34]	6,318
			7	[13,14,20,54,50,22,32,19]	6,629
			8	[25,17,23,53,26,29,2,58]	4,28
			9	[15,27,57,60,3,1,30,18]	4,762
9	24,697	51,968	1	[58,53,29,60,2,26,1]	4,741
			2	[4,41,48,45,46,36,33]	7,157
			3	[49,8,24,19]	2,058
			4	[52,56,10,47,32,21,11]	6,905
			5	[25,9,6,7,44,51,37,43,40,16,35,34]	7,157
			6	[17,55,50,14,13,23,15]	7,174
			7	[39,59,38,12]	6,878
			8	[30,3,57,20,54,22]	6,346
			9	[5,28,42,31,27,18]	3,552
10	24,7606	50,269	1	[5,31,30,1,58,19,15]	3,616
			2	[39,59,38,36]	6,891
			3	[50,55,17]	7,02
			4	[34,4,41,48,46,42,28]	6,869
			5	[35,16,45,40,43,12,37,33]	5,316
			6	[24,51,9,21,11,8,49]	2,988
			7	[14,13,22,20,54,10,23,18]	6,66
			8	[25,27,3,57,60,2,26,29,53]	5,769
			9	[6,7,44,52,56,32,47]	5,14

60 müşteri ve 9 adet drone ele alınarak senaryo 5 incelenmiştir. Mutasyon operatörlü PSO ile 10 defa tekrarlanarak bulunan çözümler arasında en iyi sonuç 50,269 km olarak 24,7606 s. içerisinde bulunmuştur. En iyi sonuca göre en fazla yol kat eden İHA 7,02 km. yol almıştır ve rotası 50,55,17 olarak bulunmuştur.

4.4.4.6. Senaryo 6 için mutasyon operatörlü parçacık sürü optimizasyonu

Çizelge 4.28. de 70 müşteri ve 10 drone için sonuçlar belirtilmiştir.

Çizelge 4.28. 70 Müşteri 10 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
1	26,0792	59,021	1	[28,41,48,45]	6,89
			2	[25,36,37,38,40,43,49,8,24]	4,328
			3	[19,15,70,51,9,65,6,44,32,47]	5,155
			4	[5,31,62,60,66,57,64]	6,546

Çizelge 4.28. (Devam) 70 Müşteri 10 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
1			5	[63,1,58,27,18]	2,901
			6	[12,39,59,16,35]	7,069
			7	[23,20,54,67,10,56,17]	6,829
			8	[50,55,22,14,13]	7,14
			9	[33,11,21,61,68,52,69,7]	5,675
			10	[53,2,29,26,3,30,42,4,46,34]	6,488
2	25,5815	64,506	1	[19,15,64,66,67]	6,953
			2	[18,11,8,9,51,21,38,43]	4,653
			3	[61,65,68,6,69,52,44,7]	5,819
			4	[12,39,59,49]	6,975
			5	[1,30,58,27,23,56,70,32]	6,813
			6	[35,40,16,45,46,4,41,42]	6,477
			7	[28,31,48,34,36,37,33]	6,877
			8	[2,60,29,53,3,62,63,5,24]	6,119
			9	[10,55,50]	7,068
			10	[25,17,47,13,14,20,54,22,57,26]	6,752
3	25,5699	66,024	1	[61,21,6,69,52,56,17,5,18]	6,515
			2	[15,22,58,27,63,31,42,28]	7,049
			3	[35,16,43,12,49,8,11,9,51]	4,904
			4	[24,38,39,65,68,7,44,70,25]	6,381
			5	[67,54,1,62]	6,919
			6	[46,45,48,41,4,34,33]	7,152
			7	[36,59,40,37]	6,907
			8	[19,53,57,20,47,32,23,64]	6,804
			9	[30,3,2,26,29,60,66]	6,249
			10	[13,14,50,55,10]	7,144
4	25,7129	60,551	1	[28,62,30,1,3,29,26,53,63]	4,091
			2	[34,48,41,42,31,5]	6,408
			3	[19,18,2,60,66,32,70,15]	6,95
			4	[14,50,67,54,22,20,57,58,27]	6,909
			5	[51,9,6,69,68,65,25]	5,213
			6	[43,38,40,12,61,21,11,8]	4,719
			7	[4,46,45,16,35,37,36]	5,486
			8	[33,59,39,49,24]	7,038
			9	[17,55,47]	7,038
			10	[23,64,13,10,56,44,52,7]	6,699
5	25,6075	61,564	1	[50,55,67,54]	7,386
			2	[34,4,28,18,19,15]	3,614
			3	[24,51,9,8,38,40,35]	4,416
			4	[25,32,20,22,14,13,63,5,36,37,33]	6,614
			5	[30,3,1,58,23,6,65,21,49,43]	7,147
			6	[46,45,48,41,42,31]	7,166
			7	[62,26,29,2,66,60,53]	6,433
			8	[12,39,59,16]	7,047
			9	[17,47,56,10,57,64,27]	6,297
			10	[70,44,7,52,69,68,61,11]	5,444
6	25,6793	61,653	1	[20,22,56,52,69,7]	6,576
			2	[46,45,4,31,62]	5,565
			3	[25,70,44,23,64,58,1,30,3,15]	5,895
			4	[18,57,66,67,54,13,14,17]	7,115
			5	[5,28,42,48,41,35,43,37]	6,911
			6	[47,32,10,55,50]	7,117
			7	[9,6,68,65,61,21,51,11]	5,595
			8	[8,49,39,38,12,33,24]	3,828

Çizelge 4.28. (Devam) 70 Müşteri 10 Drone İçin Sonuçlar

İşlem	İşlem süresi	Bulunan toplam mesafe (km)	Araç numarası	Çözüm rotası	Araç başı toplam mesafe
6			9	[19,27,53,26,29,60,2,63,34]	6,024
			10	[16,59,40,36]	7,027
7	25,9338	63,307	1	[18,33,37,12,59,38]	7,291
			2	[19,23,64,66,60,2]	5,951
			3	[47,54,20,57,30,62,31,5]	7,145
			4	[28,34,35,65,68,6,70,24]	6,5
			5	[4,46,39,61,21]	5,758
			6	[36,43,40,16,45,48,41,42]	7,355
			7	[63,27,3,26,29,1,15]	3,545
			8	[50,55,67,22]	7,357
			9	[25,14,13,10,56,32,17]	5,752
			10	[53,58,52,69,44,7,9,51,49,8,11]	6,653
8	25,6167	61,131	1	[40,59]	6,839
			2	[58,57,66,60,29,53,27,15]	5,861
			3	[38,39,16,45,34,42,31,62]	7,033
			4	[5,63,19,69,52,56,10,32]	6,314
			5	[30,1,3,26,2,67,54,20,22]	6,872
			6	[51,9,70,23,64,18,28]	4,862
			7	[13,14,50,55,47,17,25]	7,167
			8	[41,48,4,46,35,43,12]	6,936
			9	[36,37,49,8,44,7,68,6,24]	5,57
			10	[33,61,65,21,11]	3,677
9	25,8897	62,478	1	[5,62,31,63,23,17,24,37,43]	5,476
			2	[19,64,66,67,54,20,22,14]	7,096
			3	[55,50,13]	7,069
			4	[8,11,49,61,21,65,68,7,44]	5,754
			5	[35,45,48,41]	6,904
			6	[28,4,46,16,40]	4,334
			7	[51,9,70,27,29,26,3,1]	5,125
			8	[25,47,32,69,52,56,10,6]	6,731
			9	[30,2,60,57,58,53,42,34,18,15]	7,091
			10	[33,36,38,59,39,12]	6,898
10	25,4709	66,84	1	[62,31,28,37,8,61,65,6,7]	6,723
			2	[15,23,13,50,55]	7,147
			3	[19,53,58,42,45,35]	7,099
			4	[63,30,29,2,60,47,17,5,18]	6,106
			5	[24,49,12,11,21,9,68,69,51,25]	6,432
			6	[32,56,10,22,14,26,3,1]	7,115
			7	[70,44,52,27]	5,023
			8	[64,20,54,67,66,57]	7,082
			9	[34,41,48,4,46,40,43,36]	7,012
			10	[33,16,59,39,38]	7,101

70 müşteri ve 10 adet drone ele alınarak senaryo 6 incelenmiştir. Mutasyon operatörlü PSO ile 10 defa tekrarlanarak bulunan çözümler arasında en iyi sonuç 59,021 km olarak 26,0792 s. içerisinde bulunmuştur. En iyi sonuca göre en fazla yol kat eden İHA 7,069 km. yol almıştır ve rotası 12,39,59,16,35 olarak bulunmuştur.

4.5. Sonuçların Karşılaştırılması

Uygulanan senaryolar ile bulunan sonuçlar, uygulanan yöntem, zaman ve mesafe olarak karşılaştırılmış ve performansları değerlendirilmiştir. 20 müşteri ve 4 drone kullanıldığı senaryo sonucunun karşılaştırmaları Çizelge 4.29.'da, 30 müşteri ve 6 drone kullanıldığı senaryo sonucunun karşılaştırmaları Çizelge 4.30.'da, 40 müşteri ve 7 drone kullanıldığı senaryo sonucunun karşılaştırmaları çizelge 4.31.'de, 50 müşteri ve 6 drone kullanıldığı senaryo sonucunun karşılaştırmaları Çizelge 4.32'de, 60 müşteri ve 9 drone kullanıldığı senaryo sonucunun karşılaştırmaları Çizelge 4.33.'te, 70 müşteri ve 6 drone kullanıldığı senaryo sonucunun karşılaştırmaları Çizelge 4.34.'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.29. 20 müşteri 4 drone için sonuçların karşılaştırması

GA			MOTB		TB		MOPSO	
İş.	İşlem süresi (s)	Bulunan toplam mesafe (km)	İşlem süresi (s)	Bulunan Toplam Mesafe (km)	İşlem süresi (s)	Bulunan toplam mesafe (km)	İşlem süresi (s)	Bulunan toplam mesafe (km)
1	32,8425	18,372	8,7551	19,751	4,9741	19,653	17,7705	19,533
2	32,1104	19,372	9,0719	21,644	4,3875	19,016	17,3915	18,858
3	32,4100	22,648	8,3226	18,928	4,3762	19,576	17,2060	21,153
4	32,6480	19,896	8,3846	19,905	4,3567	18,055	17,4644	20,445
5	33,5197	18,379	8,3466	20,064	4,4074	18,165	17,3778	19,758
6	32,0356	18,276	8,5263	20,237	4,4072	19,927	17,9146	19,958
7	30,1917	19,161	8,5159	22,01	7,7348	18,168	17,4876	20,825
8	30,1520	20,03	8,6018	20,394	4,3893	22,061	17,6342	20,415
9	31,0010	19,718	8,4877	18,771	4,3603	19,456	17,5583	19,634
10	30,8842	19,219	8,5107	19,442	4,3269	20,003	17,4177	22,17

20 müşteri ve 4 drone için incelenen senaryo 1 için en iyi sonucu TB uygulaması vermiştir. TB'den sonra en iyi sonuç GA ile bulunmuştur. Her bir algoritma ile kabul edilebilir süre içerisinde belirtilen kısıtları sağlayacak şekilde sonuçlar bulunmuştur.

Çizelge 4.30. 30 müşteri 6 drone için sonuçların karşılaştırması

GA			MOTB		TB		MOPSO	
İş.	İşlem süresi (s)	Bulunan toplam mesafe (km)	İşlem süresi (s)	Bulunan Toplam Mesafe (km)	İşlem süresi (s)	Bulunan toplam mesafe (km)	İşlem süresi (s)	Bulunan toplam mesafe (km)
1	25,1946	29,0150	8,7753	35,297	5,9638	26,8	19,0704	33,576
2	33,4376	31,6720	8,7629	31,524	4,6814	25,258	19,1921	30,956
3	33,9811	33,2510	8,7174	34,836	4,5954	24,988	19,0935	31,933
4	34,1241	34,3890	8,5546	36,411	4,6754	24,185	18,9758	31,063
5	33,4853	30,1410	8,5806	32,201	4,6735	27,548	19,0168	29,479
6	33,6042	32,4100	8,6025	32,568	4,5899	26,114	18,3873	29,564
7	34,5123	34,9890	8,8994	33,627	4,5902	23,982	19,6250	30,139
8	37,7023	29,1350	8,1933	33,652	4,6672	27,03	19,4058	32,618
9	33,2761	32,4840	8,2506	31,528	4,2535	23,262	19,2596	25,709
10	35,7980	32,0400	8,7632	32,647	4,5215	24,885	19,3409	31,187

30 müşteri ve 6 drone için incelenen senaryoda 2 için en iyi sonucu TB uygulaması vermiştir. TB'den sonra en iyi sonuç MOPSO ile bulunmuştur. Her bir algoritma ile kabul edilebilir süre içerisinde belirtilen kısıtları sağlayacak şekilde sonuçlar bulunmuştur.

Çizelge 4.31. 40 müşteri 7 drone için sonuçların karşılaştırması

İş.	GA		MOTB		TB		MOPSO	
	İşlem süresi (s)	Bulunan toplam mesafe (km)	İşlem süresi (s)	Bulunan Toplam Mesafe (km)	İşlem süresi (s)	Bulunan toplam mesafe (km)	İşlem süresi (s)	Bulunan toplam mesafe (km)
1	35.8776	31.071	9.4424	31.479	5.1055	32.1	21.1650	32.5430
2	35.0344	31.277	9.0577	29.613	5.0399	28.41	20.8985	31.0360
3	35.2577	30.102	9.2749	27.27	5.1521	28.485	20.9229	34.5650
4	36.5209	28.944	9.3975	30.081	5.1237	28.077	21.2045	31.2130
5	34.7631	33.042	9.3728	29.053	5.1073	30.596	20.8686	27.4760
6	34.8691	30.701	9.3253	31.942	5.0474	27.416	21.1475	31.8010
7	34.7211	30.323	9.9527	30.671	5.0175	31.897	20.8012	30.7360
8	34.9571	32.094	9.6877	30.248	5.6048	30.88	20.9506	30.8290
9	34.9096	29.104	9.0803	32.444	5.6455	31.386	20.7779	29.7490
10	34.6117	32.103	9.3714	33.712	5.0814	31.859	20.9206	28.7540

40 müşteri ve 7 drone için incelenen senaryoda 3 için en iyi sonucu MOTB uygulaması vermiştir. MOTB'den sonra en iyi sonuç TB ile bulunmuştur. Her bir algoritma ile kabul edilebilir süre içerisinde belirtilen kısıtları sağlayacak şekilde sonuçlar bulunmuştur.

Çizelge 4.32. 50 müşteri 8 drone için sonuçların karşılaştırması

İş.	GA		MOTB		TB		MOPSO	
	İşlem süresi (s)	Bulunan toplam mesafe (km)	İşlem süresi (s)	Bulunan Toplam Mesafe (km)	İşlem süresi (s)	Bulunan toplam mesafe (km)	İşlem süresi (s)	Bulunan toplam mesafe (km)
1	37,8491	40,036	11,1914	40,65	5,1845	38,024	24,2654	39,336
2	37,2365	41,169	10,9881	39,624	5,1208	37,224	22,5404	39,424
3	36,4931	39,558	10,2501	39,716	5,1095	38,99	22,5637	37,45
4	36,2469	39,838	10,9715	40,277	5,0754	38,463	22,5610	38,587
5	37,1664	41,565	10,6142	37,625	5,1212	35,994	22,5471	43,066
6	36,5295	39,788	10,6126	38,593	5,1776	37,565	22,4400	40,26
7	37,3134	40,734	10,7337	40,265	5,1309	37,055	23,4522	39,938
8	38,7531	37,206	10,6645	40,672	5,1906	39,096	22,5250	39,177
9	38,4920	36,159	10,7205	38,091	5,1628	38,458	22,6117	37,711
10	38,6740	40,187	10,5095	40,32	5,0634	36,846	22,4368	44,39

50 müşteri ve 8 drone için incelenen senaryoda 4 için en iyi sonucu TB uygulaması vermiştir. TB'den sonra en iyi sonuç GA ile bulunmuştur. Her bir algoritma ile kabul edilebilir süre içerisinde belirtilen kısıtları sağlayacak şekilde sonuçlar bulunmuştur.

Çizelge 4.33. 60 müşteri 9 drone için sonuçların karşılaştırması

İş.	GA		MOTB		TB		MOPSO	
	İşlem süresi (s)	Bulunan toplam mesafe (km)	İşlem süresi (s)	Bulunan Toplam Mesafe (km)	İşlem süresi (s)	Bulunan toplam mesafe (km)	İşlem süresi (s)	Bulunan toplam mesafe (km)
1	39,3674	55,546	10,6961	52,237	5,3945	54,832	25,2254	66,938
2	39,2603	58,916	10,7205	53,228	5,4187	51,97	24,8338	53,516
3	39,7731	53,242	10,8667	54,222	5,5293	50,44	25,1173	54,261
4	39,2871	52,027	11,4434	52,194	5,3010	52,334	24,8111	59,1
5	41,5206	54,857	10,7430	52,737	5,4338	51,277	24,5501	50,878
6	39,2554	53,550	10,8302	55,731	5,4895	48,542	25,0104	50,895
7	40,7980	55,546	10,7337	51,491	5,3856	54,397	24,7998	52,949
8	42,3630	55,044	10,7588	52,907	5,3583	49,519	24,8431	50,711
9	39,3355	51,180	10,7738	57,017	5,3102	52,031	24,6970	51,968
10	39,2089	53,087	10,8607	53,622	5,4421	49,962	24,7606	50,269

60 müşteri ve 9 drone için incelenen senaryoda 5 için en iyi sonucu TB uygulaması vermiştir. TB'den sonra en iyi sonuç MOPSO ile bulunmuştur. Uygulanan bütün çözüm yöntemleri ile kabul edilebilir süre içerisinde belirtilen kısıtları sağlayacak şekilde sonuçlar bulunmuştur.

Çizelge 4.34. 70 müşteri 10 drone için sonuçların karşılaştırması

İş.	GA		MOTB		TB		MOPSO	
	İşlem süresi (s)	Bulunan toplam mesafe (km)	İşlem süresi (s)	Bulunan Toplam Mesafe (km)	İşlem süresi (s)	Bulunan toplam mesafe (km)	İşlem süresi (s)	Bulunan toplam mesafe (km)
1	38,6936	64,211	11,1551	68,383	8,0188	55,91	26,0793	59,021
2	39,5091	62,871	11,0114	62,083	5,8878	58,804	25,5815	64,506
3	38,1689	64,229	11,0432	65,849	5,8381	57,4	25,5699	66,024
4	38,0556	61,193	11,0972	62,555	5,7480	58,364	25,7130	60,551
5	44,6870	60,392	10,9153	63,892	5,6923	58,147	25,6075	61,564
6	37,9929	66,287	10,9276	65,828	5,8021	57,492	25,6793	61,653
7	37,8726	63,65	10,6853	71,657	5,6385	58,242	25,9339	63,307
8	39,0872	69,103	10,9002	66,299	6,5711	61,894	25,6167	61,131
9	40,8310	63,663	10,9620	64,492	5,6107	55,772	25,8897	62,478
10	37,7536	65,213	10,9903	61,448	5,7087	59,175	25,4709	66,84

70 müşteri ve 10 drone için incelenen senaryoda 6 için en iyi sonucu TB uygulaması vermiştir. TB'den sonra en iyi sonuç MOPSO ile bulunmuştur. Uygulanan bütün çözüm yöntemleri ile kabul edilebilir süre içerisinde belirtilen kısıtları sağlayacak şekilde sonuçlar bulunmuştur.

Yapılan uygulamalar sonucunda bütün algoritmalar ile kabul edilebilir sürede belirtilen kısıtlar dahilinde, uygun cevaplar bulunmuştur. TB algoritması genel olarak en iyi sonuç veren algoritma olmuştur. Ancak 40 müşteri ve 7 drone kullanıldığı senaryoda en iyi sonucu mutasyon operatörlü TB bulmuştur. Mutasyon operatörlü PSO algoritması

ise problemdeki zorluk arttıkça TB'den sonra en iyi sonucu veren algoritma olmuştur. GA ise uygulanan 2 senaryoda TB'den sonra en iyi sonucu veren algoritma olmuştur. Ancak işlem süresi açısından en uzun sürede cevap veren algoritma GA'dır. Süre olarak değerlendirildiğinde verdiği cevap süreleri ile TB algoritması öne çıkmaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

İHA sistemlerinin daha fazla kullanılmasıyla birlikte, lojistik alanında da kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Şirketler, bünyelerine kattıkları İHA sistemlerini daha verimli kullanma yollarını aramaktadır. Bu tez kapsamında da Ankara ili Etimesgut ilçesinde bir e-ticaret firmasına mobil uygulama üzerinden gelen siparişlerin drone ile dağıtılması ile ilgili senaryolar uygulanmıştır. Problem insansız hava araçlarında ARP olarak modellenmiş ve MATLAB.9.6.0 programı 4 farklı metasezgisel algoritma ile çözülmüştür. 5 senaryoda en iyi sonucu TB uygulaması vermiştir. Ancak mutasyon operatörünün uygulandığı TB, 1 senaryoda en iyi sonucu vermiştir. İşlem süresi açısından TB uygulaması en iyi sonucu verse de uygulanan diğer algoritmalarla da makul sürelerde çözümler bulunmuştur.

5.2. Öneriler

Yapılan çalışmada orijinal versiyonunda mutasyon operatörü bulunmayan PSO ve TB algoritmasına mutasyon operatörü dahil edilmiştir. Senaryoların birinde en iyi sonuç mutasyon operatörlü TB ile elde edilmiştir. Mutasyon operatörlü PSO ise problem karmaşıklığı arttıkça diğer algoritmalarla göre TB'den sonra en iyi cevapları vermiştir. Gelecekteki yapılacak çalışmalarda mutasyon oranları ile alakalı daha detaylı bir çalışma yapılarak daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca bütün algoritmalar için başlangıç çözümü rastgele olarak belirlenmiştir. Başlangıç çözümün başka bir sezgisel veya metasezgisel algoritma ile bulunarak, hibrit çalışmalar yapılabilir ve sonuçlar değerlendirilebilir.

Gelecekteki yapılacak çalışmalarda drone bataryasının kullanım süresinin dikkate alındığı zaman kısıtı eklenerek zaman pencereci bir ARP problemine dönüştürülüp daha karmaşık bir problem için sonuç aranabilir. Drone sayısının sabit tutulup müşteri sayısının değişken olduğu durumlar gelecek çalışmalarda incelenebilir.

6. KAYNAKLAR

- Aksaraylı, M., Pala, O., Gencer A. Özlü, Y., Aksoy, M.A., 2017, Turizm sektöründe araç rotalama problemi ve karar destek sistemi uygulaması, Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 4(4), 203-213
- Atmaca, E. (2012). Bir kargo şirketinde araç rotalama problemi ve uygulaması. TÜBAV Bilim Dergisi, 5(2), 12-27
- Avcı, Y., 2008, Sonlu eleman modeli güncellemesi tekniğinde benzetilmiş tavlama algoritması kullanılarak mekanik sistemlerde hasar tespiti, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, İstanbul
- Bae, K.Y., Kim, Y.D., Han, J.H., 2015, Finding a risk-constrained shortest path for an unmanned combat vehicle, *Computers & Industrial Engineering*, 80, 245-253
- Baker, B. M. ve Ayechev, M.A., (2003), A Genetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem, *Computers & Operations Research* 30, 787–800
- Başkaya Z., Avcı Öztürk, B., 2005, Tamsayılı programlamada dal kesme yöntemi ve bir ekmek fabrikasında oluşturulan araç rotalama problemine uygulanması, *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 24 (1), 101-104
- Bell, J., McMullen P.R., 2004, Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem, *Advanced Engineering Informatics* 18, 41-48
- Boğ, S., 2006, Algorithms for the Vehicle Routing Problem with Time Windows and the Location-Routing Problem, *Koç Üniversitesi*, İstanbul
- Canbaz, B., 2020, *AMAZON, Drone ile Teslimat için izin aldı*, <https://www.pazarlamasyon.com/amazon-drone-ile-teslimat-yapmak-icin-izin-aldi/> [Ziyaret tarihi: 23.02.2022]
- Chandler, P. R., Patcher, M., 1998, Research Issues in Autonomous Control of Tactical UAVs, *Proceedings of the American Control Conference Philadelphia, Pennsylvania*, 394-398.
- Chen, J., Ye, F., Li, Y., 2017, Travelling salesman problem for uav path planning with two parallel optimization algorithms, *Progress In Electromagnetics Research Symposium*, Singapore, 832-837
- Chris, W., 2021 *Calculate distance, bearing and more between Latitude/Longitude points* <https://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html>, [Ziyaret Tarihi:19.03.2022]
- Çakır, B., 2006, Stokastik işlem zamanlı montaj hattı dengelem için tavlama benzetimi algoritması, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 46-52

- Çalışkan, K., 2011, Karınca Kolonisi Optimizasyonu ile Araç Rotalama Probleminin Maliyetlerinin Kümeleme Tekniği ile İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara
- Çetin, S., Gencer, C. (2010). Kesin Zaman Pencereli-Eş Zamanlı Dağıtım Toplamalı Araç Rotalama Problemi: Matematiksel Model. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(3), 579-586.
- Dantzig, G.B., Ramser J.H., 1959, The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6, 80-91
- Daşdemir, E., 2021, Unmanned air vehicle routing with multiple objectives, Doktora Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara
- Demircioğlu, M., 2009, Araç rotalama probleminin sezgisel bir yaklaşım ile çözümlenmesi üzerine bir uygulama, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Adana, 24-30
- Demirtaş Y.E., 2015, Dinamik araç rotalama problemine parçacık sürü optimizasyonu algoritması çözüm önerisi, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul
- Doğan, A., 2003, Probabilistic approach in path planning for UAVs, *International Symposium on Intelligent Control*, Texas-ABD, 5-8
- Duan, H.B., Zhang, X., Wu, J., Ma, G., 2009, Max-min adaptive ant colony optimization approach to multi-UAVs coordinated trajectory replanning in dynamic and uncertain environments. *Journal of Bionic Engineering*, 6 (2), 161– 173.
- Dursun P., 2009, Zaman pencereli araç rotalama probleminin genetik algoritma ile modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 3-14
- Eker, A.F., 2021, Bulanık c ve k-ortalamlarla başlangıç çözümü oluşturulmuş tavlama benzetimi hibrit algoritması ile kapasite kısıtlı araç rotalama probleminin çözümü, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya
- Elmas, D.A., 2019, İnsansız hava araçlarında araç rotalama problemi, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Ankara
- Erel, R., 1995, Tasıt Rotalaması ve Çizelgelemesi: Otobüsle Kentler Arası Yolcu Taşımacılığı İçin Bir Model, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul
- Eroğlu, S., 2017 Heterojen filolu araç rotalama probleminin meta sezgisel hibrit model ile çözümü, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 27-30

- Erol, V., 2006, Araç rotalama problemleri için popülasyon ve komşuluk tabanlı metasezgisel bir algoritmanın tasarımı ve uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul
- Göksal, P.F., Karaođlan İ., Altıparmak, F., 2013, A hybrid discrete particle swarm optimization for vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery, *Computers & Industrial Engineering* 65, 39-53
- Guerriero, F., Surace, R., Loscri, V., Natalizio, E., 2014, A multi-objective approach for unmanned aerial vehicle routing problem with soft time windows constraints, *Applied Mathematical Modelling* 38, 839-852
- Gümüřü, A., Tenekeci, M.E., Tabanlıođlu, A., 2018, The shortest path detection for unmanned aerial vehicles via genetic algorithm on aerial imaging of agricultural lands, *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 2 (3), 315-319
- Ho W., Ho G.T.S, Ji P., Lau H.C.W, 2008, A hybrid genetic algorithm for the multi-depot vehicle routing problem, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 21, 548-557
- Huang, S.H., Huang, Y.H., Blazquez, C.A., Chen, C.Y., 2022, Solving the vehicle routing problem with drone for delivery services using an ant colony optimization algorithm, *Advanced Engineering Informatics* 51, 101536
- Jang, D.S., et al., 2017, Optimal Control-Based UAV Path Planning with Dynamically-Constrained TSP with Neighborhoods, *17th International Conference on Control, Automation and Systems, Jeju-Korea*, 373-378
- Jeon, A., Kang, J., Choi, B., Kim, N., Eun, J, Cheong, T., 2021, Unmanned aerial vehicle last-mile delivery considering backhauls, *IEEE Access* 9, 85017-85033
- Kahveci M. ve Can N., 2017, İnsansız hava araçları: tarihçesi, tanımı, dünyada ve türkiye'deki yasal durumu, 551-535
- Kallehaugea, B. et al, 2006, Madsena lagrangian duality applied to the vehicle routing problem with time windows, *Operations Research*, 33, 1464-1487
- Karaman, S., Frazzoli, E., 2011. Linear temporal logic vehicle routing with applications to multi-UAV mission planning, *International Journal of Robust and Nonlinear Control* 21, 1372-1395.
- Keskintürk T., Topuk N. ve Özyeşil O., 2015, Araç Rotalama Problemleri ile Çözüm Yöntemlerinin Sınıflandırılması ve Bir Uygulama, *İşletme Bilimi Dergisi* 3(2),77-107
- Kosif, B., Ekmekçi, İ., 2012, Araç rotalama sistemleri ve tasarruf algoritması uygulaması, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(21), 41-51
- Kuo, R.J., Lu S.H., Lai, P.Y., Mara, S.T.W., 2022, Vehicle routing problem with drones considering time windows, *Expert Systems With Applications* 191, 116264

- Kurt Ş. ve Ün O., 2015, İnsansız hava araçları (iha) üzerine hava hukuku açısından bir değerlendirme, İstanbul-Türkiye,195-197
- Kyriakakis, N.A., Stamadianos, T., Marinaki, M., Marinakis Y., 2022, The electric vehicle routing problem with drones: An energy minimization approach for aerial deliveries, *Cleaner Logistics and Supply Chain* 4, 100041
- Laporte, G., Gendreau, M., Potvin, J.Y., Semet, F., 2000, Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem, *International Transactions in Operation Research*, 285-300
- Li, X., Zhang L., Li, P., Zhao, Y., 2021, A hybrid large neighborhood search for solving the unmanned aerial vehicle routing problem with multi-depot, *4th International Conference on Big Data and Artificial Intelligence*, Xi'an- China, 52-57
- Liu, H., Lin, M., Deng L., 2016, UAV route planning for aerial photography under intervaluncertainties, *Optik* 127, 9695-9700
- Liu, S., Huang, W., Ma, H., 2009, An effective genetic algorithm for the fleet size and mix vehicle routing problems, *Transportation Research Part E* (45), 434-445
- Marikanis, Y., Marinaki, M., Migdalas, A., 2019, A multi-adaptive particle swarm optimization for the vehicle routing problem with time windows, *Information Sciences* 481, 311-329
- Mohammad, M., Ahmad, M., Mostafa, S., 2012 Using Genetic Algorithm in Implementing Capacitated Vehicle Routing Problem, *International Conference on Computer & Information Science (ICCIS) 2012*, Kuala Lumpur-Malaysia, 257-262
- Mohammed, M., Ghani, M.K.A., Hamed, R.I., Mostafa,S., Ahmad, M.S., Ibrahim D.A. 2017, Solving vehicle routing problem by using improved genetic algorithm for optimal solution, *Journal of Computational Science* (21), 255-262
- Okulawicz, M., Mandziuk, J., 2019, A metaheuristic approach to solve Dynamic Vehicle Routing Problem in continuous search space, *Swarm and Evolutionary Computation* 48, 44-61
- Okur, E., 2019, Genetik algoritma ile araç rotalama probleminin çözümü ve bir uygulama denemesi, *Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Eskişehir
- O'Rourke K.P., Carlton, W.B., Glenn, T., Hill, R.R., 2001, Dynamic routing of unmanned aerial vehicles using reactive tabu search, *Military Operations Research*, 6 (1), 5-30
- Ozkan, O. 2021, Multi-objective optimization of transporting blood products by routing UAVs: the case of Istanbul, *International Transactions In Operational Research*, 1-26

- Özdoğan, H., 2006, A genetic algorithm for the location-routing problem with time windows, The Degree Of Master Thesis, *Middle East Technical University The Graduate School Of Natural And Applied Sciences*, Ankara
- Pichpibul T., Kawtummachai R., 2012, A new enhancement of the Clarke and Wright savings heuristic for the capacitated vehicle routing problem, *European Journal of Scientific Research*, 119-134
- Poli R, P., Kennedy, J., Blacwell, T., 2007, Partical swarm optimization, *Swarm Intelligence*, 1 (1), 33-57
- Renaud, J., Boctor, F., 2002, A sweep-based algorithm for the fleet size and mix vehicle routing problem, *European Journal of Operational Research*, 618–628
- Rizzoli A.E., Montemanni, R., Lucibello, E., Gambardella, L.M., 2007, Ant colony optimization for real-world vehicle routing problems, *Swarm Intell*, 135-151
- Ruiz, E., Mendoza M.S., Barbosa, A.E.R., Reyes R., 2019, Solving the open vehicle routing problem with capacity and distance constraints with a biased random key genetic algorithm, *Computers & Industrial Engineering*, 133, 207-219
- Sarbijan, S.M., Behnamian, J., 2022, Multi-fleet feeder vehicle routing problem using hybrid metaheuristic, *Computers and Operations Research*, 141, 105696
- Shima, T., Rasmussen, S., Gross, D., 2006, Assigning micro UAVs to task tours in an urban terrain, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 15 (4), 601–612
- Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, 2016, *İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı*, https://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/mevzuat/sektorel/talimatlar/2020/SHT-IHA_Rev-04.pdf, [Ziyaret tarihi :28.02.2022]
- Söyler, H., ve Keskintürk T., 2007, Karınca Kolonisi Algoritması ile Gezen Satıcı Probleminin Çözümü, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 21(4), 689-698
- Stodola, P., Otrisal, P., Hasilova, K., 2022, Adaptive Ant Colony Optimization with node clustering applied to the Travelling Salesman Problem, *Swarm and Evolutionary Computation*, 70, 101056
- Şahin, Y., Eroğlu A., 2014, Kapasite kısıtlı araç rotalama problem için metasezgisel yöntemler: bilimsel yazın taraması, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 19(4), 337-355
- Taha A.H., 2007, *Yöneylem Araştırması*, Ş.Alp Baray (Çev.), 6.Baskı, 1-5, İstanbul
- Teichman, D., Dorda, M., Vitek, J., Smrz V., Michalik, V., 2014, Unmanned Aerial Vehicles Routing Problem, 15th International Carpathian Control Conference, Ostrova-Çekya, 602-607

- Teng, S., Ong, H.L., Huang, H.C., 2003, A comparative study of metaheuristics for vehicle routing problem with stochastic demands, *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 20 (1), 103-119.
- Uçar, Ü.U. ve İşleyen K.S., 2019, Hareketli hedefli-heterojen filolu İHA rotalama problemi için yeni bir çözüm yaklaşımı, *Politeknik Dergisi*, 22 (4), 999-1016
- Ulutaş, A., Bayrakçıl, A. ve Kutlu.M., 2017, Araç rotalama probleminin tasarruf algoritması ile çözümü: sivas'ta bir ekmek fırını için uygulama, *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18 (1), 185-197
- Wei, L., Zhang, Z., Zhang, D., Leung, S.C.H, 2018, A simulated annealing algorithm for the capacitated vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints, *European Journal of Operational Research*, 265, 843-859
- Yakıcı, E., 2016, Solving location and routing problem for UAVs, *Computers & Industrial Engineering*, 102, 294-301
- Yaktubay, M., 2018, A genetic algorithm based solution approach for vehicle routing problem, *The Degree Of Master Thesis, Adana Science and Technology University The Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Adana*
- Yan, P., Ding, M.Y, Zhou, C.P., 2004, Game-Theoretic Route Planning for Team Of UAVs., *Proceedings of the Third International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, 723-728, Shanghai-Japonya
- Yardımcı G.,2019, İnsansız hava araçlarına Türk mevzuatından bir bakış, *Journal of Aviation*, 3 (1), 61-80,
- Yıldırım B., Çebi S., 2020, Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi için sezgisel yöntemler: e-ticaret tedarikçilerine yönelik bir uygulama, *UİİİD-IJEAS- Prof. Dr. Talha Usta Süleyman Özel Sayısı*, 285-206
- Yılmaz, Ş., 2008, Çok depolu araç rotalama probleminin Karınca kolonisi optimizasyonu ile modellenmesi ve bir çözüm önerisi, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 16-50
- Zhang, X., Duan H., 2015, An improved constrained differential evolution algorithm for unmanned aerial vehicle global route planning, *Applied Soft Computing* 26,270-284
- Zorlu, H., 2022, *Türkiye'de drone ile kargo taşımacılığı yapılacak ilk güzergah*, <https://www.webtekno.com/turkiye-de-drone-ile-kargo-tasimaciligi-basliyor-h115885.html> [Ziyaret tarihi: 26.02.2022]

EKLER**EK-1 Müşteri ve depo koordinatları**

Müşteri No	Enlem	Boylam	Müşteri No	Enlem	Boylam
			36	39,947177	32,609547
1	39,953407	32,634645	37	39,945845	32,601815
2	39,954618	32,629738	38	39,943384	32,598517
3	39,959111	32,602183	39	39,949629	32,600616
4	39,951031	32,615856	40	39,964052	32,602138
5	39,934076	32,616235	41	39,958613	32,611994
6	39,932972	32,619699	42	39,947703	32,604871
7	39,943553	32,611249	43	39,933706	32,620775
8	39,938982	32,616098	44	39,959509	32,592376
9	39,933692	32,635533	45	39,982616	32,556265
10	39,943086	32,611368	46	39,941768	32,623369
11	39,946535	32,606842	47	39,972312	32,597650
12	39,942430	32,634475	48	39,944824	32,608951
13	39,942314	32,634678	49	39,935665	32,641582
14	39,949388	32,617898	50	39,939139	32,616173
15	39,951571	32,596827	51	39,931480	32,621425
16	39,944096	32,620281	52	39,952465	32,628311
17	39,949493	32,618024	53	39,940042	32,645702
18	39,949452	32,618024	54	39,930203	32,648620
19	39,941675	32,642000	55	39,931922	32,628624
20	39,939109	32,610672	56	39,949368	32,634774
21	39,940297	32,640162	57	39,950963	32,629301
22	39,946417	32,625433	58	39,944235	32,576066
23	39,945646	32,614596	59	39,954434	32,640096
24	39,944671	32,617619	60	39,939037	32,605849
25	39,954001	32,632604	61	39,956156	32,619261
26	39,950618	32,625518	62	39,951157	32,618028
27	39,953638	32,613334	63	39,948871	32,629325
28	39,954159	32,633067	64	39,934732	32,610353
29	39,954843	32,627636	65	39,950217	32,647664
30	39,956813	32,615956	66	39,938792	32,646746
31	39,940989	32,623209	67	39,929687	32,612164
32	39,948227	32,612480	68	39,931859	32,621048
33	39,954900	32,608306	69	39,939888	32,619589
34	39,951610	32,604046	70	39,940019	32,607830
35	39,948320	32,609829	Depo	39,948590	32,615455

EK-2 Müşteri talep miktarları,

Müşteri No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1,17	0,64	0,54	0,60	0,53	0,52	0,66	0,79	0,69	1,31
Müşteri No	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	0,78	1,02	0,96	1,44	0,66	1,01	0,53	1,01	1,04	0,50
Müşteri No	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	0,51	0,54	1,00	1,27	0,52	1,17	1,01	1,01	0,90	0,58
Müşteri No	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	1,37	0,50	0,69	0,64	0,69	1,16	0,58	1,18	0,71	0,54
Müşteri No	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	0,56	1,08	0,71	0,53	0,51	0,91	0,59	1,11	0,56	1,38
Müşteri No	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	0,50	1,15	0,53	0,93	0,94	0,86	1,03	0,82	0,64	0,97
Müşteri No	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
	0,97	1,02	0,95	1,42	0,51	1,06	0,55	0,78	0,91	0,68