

**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
SİVİL HAVACILIK ANABİLİM DALI**

**İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ MİNİMUM YAKIT  
TÜKETİMİ İÇİN OPTİMUM ROTA PLANLAMASI**

**Hazırlayan  
Muharrem Selim CAN**

**Danışman  
Prof. Dr. Pınar ÇİVİCİOĞLU BEŞDOK**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Temmuz 2017  
KAYSERİ**

**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
SİVİL HAVACILIK ANABİLİM DALI**

**İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ MİNİMUM YAKIT  
TÜKETİMİ İÇİN OPTİMUM ROTA PLANLAMASI**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan  
Muharrem Selim CAN**

**Danışman  
Prof. Dr. Pınar ÇİVİCİOĞLU BEŞDOK**

**Temmuz 2017  
KAYSERİ**

## BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.



Muharrem Selim CAN



## YÖNERGEYE UYGUNLUK

“İnsansız Hava Araçlarının Minimum Yakıt Tüketimi İçin Optimum Rota Planlaması”  
adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma  
Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.



Tezi Hazırlayan

Muharrem Selim CAN



Danışman

Prof. Dr. Pınar ÇİVİCİOĞLU BEŞDOK



Sivil Havacılık ABD Başkanı

Prof. Dr. İlker YILMAZ

Prof. Dr. Pınar ÇİVİCİOĞLU BEŞDOK danışmanlığında **Muharrem Selim CAN** tarafından hazırlanan “**İnsansız Hava Araçlarının Minimum Yakıt Tüketimi İçin Optimum Rota Planlaması**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Sivil Havacılık Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

14.07.2017

**JÜRİ:**

Başkan: Prof. Dr. Pınar ÇİVİCİOĞLU BEŞDOK

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ali SOYTÜRK

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ahmet Emin KARKINLI

**ONAY:**

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 25/07/2017 tarih ve 2017/31-22 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

  
25.7.2017  
  
Enstitü Müdürü  
Prof. Dr. Mehmet AKKURT

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimimin başlangıcından bitimine kadar tez konumun belirlenmesi, araştırma aşaması, yön tayini gibi konularla bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde değerli bilgilerini benimle paylaşan, bana her konuda destek olan ve yol gösteren değerli danışmanım Prof. Dr. Pınar ÇİVİCİOĞLU BEŞDOK'a en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Ayrıca hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan sevgili annem, babam ve kardeşime tez çalışmam sırasında da bana karşı göstermiş oldukları anlayış ve sabırlarından dolayı teşekkür ederim.

Muharrem Selim CAN

Kayseri, Temmuz 2017

# İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ MİNİMUM YAKIT TÜKETİMİ İÇİN OPTİMUM ROTA PLANLAMASI

**Muharrem Selim CAN**

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2017**

**Danışman: Prof. Dr. Pınar ÇİVİCİOĞLU BEŞDOK**

## ÖZET

Farklı tehditleri barındıran coğrafyalarda, İnsansız Hava Araçları (İHA) için güvenli rotaların aranması ve bulunan rotalar için rüzgâr, yer şekilleri gibi çevresel faktörler dikkate alınarak en az yakıt tüketiminin sağlanması önemi artan nümerik optimizasyon problemleri arasında olmuştur. Görev uçuşu öncesi rota planlaması yapılması İHA'nın güvenliğini artıran bir mekanizma olup daha başarılı sonuçlar sunabilmektedir. İHA'nın rotasının güvenilirliği ve optimizasyonu için, gerekli kısıtlar dikkate alınarak modellenmesi ve en iyi parametrelerin belirlenmesi sürecinde sezgisel algoritmalarla sıklıkla faydalanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında; radar, uçuşa yasak bölge gibi tehditleri barındıran coğrafyada farklı başlangıç ve hedef noktaları için en iyi rotalar rüzgarın ve 3 boyutlu yeryüzü şekillerinin modellenmesiyle Diferansiyel Arama Algoritması (Differential Search Algorithm, DSA), Parçacık Sürü Algoritması (Particle Swarm Algorithm, PSO), Diferansiyel Gelişim (Differential Evolution, DE), Guguk Kuşu Arama (Cuckoo Search, CS) ve Yerçekimi Arama Algoritması (Gravitational Search Algorithm, GSA) ve Benzetimli Tavlama (Simulated Annealing, SA) kullanılarak elde edilmiştir. Algoritmaların performanslarının değerlendirilmesi için; farklı başlangıç noktası, hedef noktası ve yükseltilere sahip sekiz senaryo oluşturulmuş, her bir algoritma üç farklı (500, 1000, 1500) fonksiyon değerlendirme sayısı (Function Evaluations, FEs) kadar çalıştırılmıştır. Her algoritma için; sekiz farklı senaryo, üç farklı FES değeri için otuz kere çalıştırılmış ve ortalaması hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, DSA'nın PSO, DE, CS, GSA ve SA'ya göre daha başarılı rotalar ürettiğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** İnsansız Hava Aracı (İHA), Sezgisel Yöntemler, Diferansiyel Arama Algoritması (DSA), Parçacık Sürü Algoritması (PSO)

# OPTIMUM PATH PLANNING FOR MINIMUM FUEL CONSUMPTION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

**Muharrem Selim CAN**

**Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**M.S.C. Thesis, July 2017**

**Supervisor: Prof. Dr. Pınar ÇİVİCİOĞLU BEŞDOK**

## ABSTRACT

In geographies possessing different threats, the search for safe paths for Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and for these safe paths, the minimization of fuel consumption by taking into account the environmental factors such as winds and terrains, are among the progressing numerical optimization problems. Path planning prior to mission flight is a mechanism that increases the safety of UAV and offers to provide more successful results. For the reliability and optimization of UAV's route, heuristic algorithms are frequently utilized in the process of modeling and determining the optimal parameters considering the necessary constraints.

In this thesis; the optimum paths for different starting and target points in geographies possessing threats such as radar and forbidden zones, have been determined using Differential Search Algorithm (DSA), Particle Swarm Algorithm (PSO), Differential Evolution (DE), Cuckoo Search (CS), Gravitational Search Algorithm (GSA) and Simulated Annealing (SA) by modeling the wind and 3D terrains. For the performance evaluation of the algorithms, eight scenarios that have different start points, target points and altitudes have been designed and each algorithm has been run for three different (500, 1000, 1500) function evaluations (FEs). For each algorithm, eight different scenarios have been run 30 times for three different FEs and the average values have been computed. The obtained results reveal that DSA produces more successful paths compared with PSO, DE, CS, GSA ve SA.

**Keywords:** Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Heuristic Methods, Differential Search Algorithm (DSA), Particle Swarm Algorithm (PSO)



## İÇİNDEKİLER

### İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ MİNİMUM YAKIT TÜKETİMİ İÇİN OPTİMUM ROTA PLANLAMASI

	Sayfa
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI.....	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI.....	ii
KABUL VE ONAY SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR VE SİMGELER.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xvi

## 1. BÖLÜM

### GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR İNCELEMESİ

1.1. Giriş .....	1
1.2. Rota Planlaması Konusunda Literatür İncelemesi.....	3
1.2.1. İHA'lar için Rota Planlama .....	3
1.2.1.1. Yakıt optimizasyonu için İHA'larının Rota Planlaması .....	3
1.2.1.2. Tehlikeli Bölgeler için İHA'ların Rota Planlaması .....	4
1.2.1.3. Hava Koşullarına Göre İHA'ların Rota Planlaması .....	6
1.3. Sezgisel Yöntemlerle İHA Rota Planlama Yaklaşımları .....	7

## 2. BÖLÜM

### İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI VE ROTA PLANLAMA

2.1. İnsansız Hava Aracı .....	8
2.2. İHA'nın Kullanım Yerleri .....	9
2.3. İHA'ların Sınıflandırılması.....	9
2.3.1. Sabit Kanatlı İHA .....	11
2.3.2. Döner Kanatlı İHA.....	11

2.3.3. Taktik İHA .....	11
2.3.6. Mini İHA .....	12
2.4. Yer İstasyonu.....	13
2.5. İHA İçin Otonomi .....	14
2.6. Araç Rotalama Problemi .....	16
2.7. Gezgin Satıcı Problemi (Travelling Salesman Problem-TSP) .....	16
2.8. Problem Tanımı .....	17

### 3. BÖLÜM

#### OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ

3.1. Giriş .....	18
3.1.1. Tek Amaçlı Optimizasyon.....	18
3.1.2. Çok Amaçlı Optimizasyon .....	18
3.2. Diferansiyel Gelişim Algoritması (DE).....	19
3.2.1. Başlangıç Popülasyonu.....	19
3.2.2. Mutasyon.....	20
3.2.3. Çaprazlama .....	20
3.3. Parçacık Sürü Algoritması (PSO) .....	21
3.3.1. Parçacık.....	22
3.3.2. Parçacık Hızı .....	22
3.3.4. Popülasyon .....	22
3.3.5. Başlangıç Değeri.....	22
3.3.6. Uygunluk Fonksiyonu .....	23
3.3.7. En İyi Değer.....	23
3.4. Diferansiyel Arama Algoritması (DSA).....	25
3.5. Guguk Kuşu Arama Algoritması.....	27
3.5.1. Levy Uçuşu .....	28
3.6. Yerçekimi Arama Algoritması(GSA) .....	29
3.7. Benzetimli Tavlama Algoritması .....	32

### 4. BÖLÜM

#### ROTA OPTİMİZASYONU VE MODELLEME

4.1. Mesafe Amaç Fonksiyonu .....	34
4.2. Rüzgâr Amaç Fonksiyonu.....	35
4.2.1. Rüzgar Modeli.....	37

**4.3. Tehlikeli Bölge Amaç Fonksiyonu ..... 38**

**4.4. Rota Optimizasyonu için Amaç Fonksiyonu ..... 39**

## **5. BÖLÜM**

### **SONUÇLAR**

**KAYNAKLAR..... 61**



## KISALTMALAR VE SİMGELER

<b>Sembol</b>	<b>Anlamı</b>
İHA	İnsansız Hava Aracı (Unmanned Aerial Vehicle)
DSA	Diferansiyel Arama Algoritması (Differential Search Algorithm)
PSO	Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization)
DE	Diferansiyel Gelişim (Differential Evolution)
CSA	Guguk Kuşu Arama (Cuckoo Search)
ARP	Araç Rotalama Problemi (Vehicle Routing Problem)
SA	Benzetilmiş Tavlama (Simulated Annealing)
GSA	Yerçekimi Arama Algoritması (Gravational Search Algorithm)
MALE	Orta İrtifa Uzun Dayanım
HALE	Yüksek İrtifa Uzun Dayanım
TSP	Gezgin Satıcı Problemi (Travelling Salesman Problem)
M	Maliyet

## TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. İHA'ların Kütle, Menzil, İrtifa ve Havada Kalabilme Süresine Göre Sınıflandırılması .....	10
Tablo 4.1. Rota optimizasyonunda kullanılan senaryoların başlangıç ve hedef enlem ve boylamları .....	34
Tablo 4.2. Çok amaçlı optimizasyon için kullanılan ağırlık kümeleri .....	41
Tablo 4.3. 1 numaralı ağırlık kümesi ( $w_1=0.3$ $w_2=0.3$ $w_3=0.1$ $w_4=0.3$ ) kullanıldığında 500 iterasyon için DSA, SA, PSO 2011, CSA, CA, DE, GSA algoritmaları ile rota maliyetleri.....	43
Tablo 4.4. 1 numaralı ağırlık kümesi ( $w_1=0.3$ $w_2=0.3$ $w_3=0.1$ $w_4=0.3$ ) kullanıldığında 1000 iterasyon için DSA, SA, PSO 2011, CSA, CA, DE, GSA algoritmaları ile rota maliyetleri.....	43
Tablo 4.5. 1 numaralı ağırlık kümesi ( $w_1=0.3$ $w_2=0.3$ $w_3=0.1$ $w_4=0.3$ ) kullanıldığında 1500 iterasyon için DSA, SA, PSO 2011, CSA, CA, DE, GSA algoritmaları ile rota maliyetleri.....	43
Tablo 4.6. 2 numaralı ağırlık kümesi için ( $w_1=0.3$ $w_2=0.4$ $w_3=0.1$ $w_4=0.2$ ) kullanıldığında 500 iterasyon için DSA, SA, PSO 2011, CSA, CA, DE, GSA algoritmaları ile rota maliyetleri .....	44
Tablo 4.7. 2 numaralı ağırlık kümesi için ( $w_1=0.3$ $w_2=0.4$ $w_3=0.1$ $w_4=0.2$ ) kullanıldığında 1000 iterasyon için DSA, SA, PSO 2011, CSA, CA, DE, GSA algoritmaları ile rota maliyetleri .....	45
Tablo 4.8. 2 numaralı ağırlık kümesi için ( $w_1=0.3$ $w_2=0.4$ $w_3=0.1$ $w_4=0.2$ ) kullanıldığında 1500 iterasyon için DSA, SA, PSO 2011, CSA, CA, DE, GSA algoritmaları ile rota maliyetleri .....	45
Tablo 4.9. 3 numaralı ağırlık kümesi ( $w_1=0.2$ $w_2=0.2$ $w_3=0.5$ $w_4=0.1$ ) kullanıldığında 500 iterasyon için DSA, SA, PSO 2011, CSA, CA, DE, GSA algoritmaları ile rota maliyetleri.....	46
Tablo 4.10. 3 numaralı ağırlık kümesi ( $w_1=0.2$ $w_2=0.2$ $w_3=0.5$ $w_4=0.1$ ) kullanıldığında 1000 iterasyon için DSA, SA, PSO 2011, CSA, CA, DE, GSA algoritmaları ile rota maliyetleri.....	46
Tablo 4.11. 3 numaralı ağırlık kümesi ( $w_1=0.2$ $w_2=0.2$ $w_3=0.5$ $w_4=0.1$ ) kullanıldığında 1500 iterasyon için DSA, SA, PSO 2011, CSA, CA, DE, GSA algoritmaları ile rota maliyetleri.....	46
Tablo 4.12. 4 numaralı ağırlık kümesi ( $w_1=0.5$ $w_2=0.2$ $w_3=0.1$ $w_4=0.2$ ) kullanıldığında 500 iterasyon için DSA, SA, PSO 2011, CSA, CA, DE, GSA algoritmaları ile rota maliyetleri.....	47
Tablo 4.13. 4 numaralı ağırlık kümesi ( $w_1=0.5$ $w_2=0.2$ $w_3=0.1$ $w_4=0.2$ ) kullanıldığında 1000 iterasyon için DSA, SA, PSO 2011, CSA, CA, DE, GSA algoritmaları ile rota maliyetleri.....	47
Tablo 4.14. 4 numaralı ağırlık kümesi ( $w_1=0.5$ $w_2=0.2$ $w_3=0.1$ $w_4=0.2$ ) kullanıldığında 1500 iterasyon için DSA, SA, PSO 2011, CSA, CA, DE, GSA algoritmaları ile rota maliyetleri.....	48

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Türkiye'nin Yapmış Olduğu MALE Tipi İHA [55].....	8
Şekil 2.2.	Ağırlık, İrtifa ve Menzil Dikkate Alınarak İHA'ların Sınıflandırılması ...	11
Şekil 2.3.	Global Hawk HALE .....	12
Şekil 2.4.	Mini İHA .....	13
Şekil 2.5.	Mikro İHA .....	13
Şekil 2.6.	İHA için Yer Kontrol İstasyonu .....	14
Şekil 2.7.	İHA'ların Otonomi Seviyesinin Gelişimi .....	15
Şekil 2.8.	ARP çözüm algoritmaları .....	17
Şekil 3.1.	Diferansiyel Gelişim Algoritması (DE) Arama Uzayı .....	19
Şekil 3.2.	PSO'da Parçacıkların En İyi Sonucu Arama İşlemi.....	21
Şekil 3.3.	Parçacık Hız Vektörü. ....	22
Şekil 3.4.	PSO'nun Akış Diyagramı .....	24
Şekil 3.5.	DSA'nın Pseudo Kodu .....	26
Şekil 3.6.	Guguk Kuşu Arama Algoritması pseudo kodu.....	28
Şekil 3.7.	GSA'da Kütlelerin Birbirine Etkisi .....	29
Şekil 3.8.	GSA'nın Akış Diyagramı .....	31
Şekil 3.9.	Benzetimli Tavlama Algoritmasının Akış Diyagramı.....	32
Şekil 4.1.	Rüzgârın Uçağın Hızına Vektörel Etkisi .....	36
Şekil 4.2.	Rüzgâr modeli .....	38
Şekil 4.3.	Rüzgâr modeli için vektörlerin yönü ve şiddeti .....	38
Şekil 4.4.	Radar Bölgesi Modeli.....	39
Şekil 4.5.	F1 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının kuşbakışı görünüşü .....	48
Şekil 4.6.	F1 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü .....	49
Şekil 4.7.	F1 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü (farklı açıdan).....	49
Şekil 4.8.	DSA'nın üretmiş olduğu F1 senaryosu için rüzgâra göre İHA'nın rotası.	49
Şekil 4.9.	F2 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının .....	50
Şekil 4.10.	F2 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü.....	50
Şekil 4.11.	F2 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü (farklı açıdan).....	50
Şekil 4.12.	DSA'nın üretmiş olduğu F2 senaryosu için rüzgâra göre İHA'nın rotası	51
Şekil 4.13.	F3 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının kuşbakışı görünüşü.....	51
Şekil 4.14.	F3 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü.....	51
Şekil 4.15.	F3 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü (farklı açıdan).....	52
Şekil 4.16.	DSA'nın üretmiş olduğu F3 senaryosu için rüzgâra göre İHA'nın rotası.	52

Şekil 4.17.	F4 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının kuşbakışı görünüşü .....	52
Şekil 4.18.	F4 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü .....	53
Şekil 4.19.	F4 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü (farklı açıdan).....	53
Şekil 4.20.	DSA'nın üretmiş olduğu F4 senaryosu için rüzgâra göre İHA'nın rotası .	53
Şekil 4.21.	F5 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının kuşbakışı görünüşü .....	54
Şekil 4.22.	F5 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü .....	54
Şekil 4.23.	F5 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü (farklı açıdan).....	54
Şekil 4.24.	DSA'nın üretmiş olduğu F5 senaryosu için rüzgâra göre İHA'nın rotası .	55
Şekil 4.25.	F6 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının kuşbakışı görünüşü .....	55
Şekil 4.26.	F6 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü .....	55
Şekil 4.27.	F6 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü (farklı açıdan).....	56
Şekil 4.28.	DSA'nın üretmiş olduğu F6 senaryosu için rüzgâra göre İHA'nın rotası .	56
Şekil 4.29.	F7 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının kuşbakışı görünüşü .....	56
Şekil 4.30.	F7 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü .....	57
Şekil 4.31.	F7 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü (farklı açıdan).....	57
Şekil 4.32.	DSA'nın üretmiş olduğu F7 senaryosu için rüzgâra göre İHA'nın rotası .	57
Şekil 4.33.	F8 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının kuşbakışı görünüşü .....	58
Şekil 4.34.	F8 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü .....	58
Şekil 4.35.	F8 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü (farklı açıdan).....	58
Şekil 4.36.	DSA'nın üretmiş olduğu F7 senaryosu için rüzgâra göre İHA'nın rotası .	59

## 1. BÖLÜM

### GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR İNCELEMESİ

#### 1.1. Giriş

Askeri ve sivil dünyada İnsansız Hava Araçlarının (İHA) kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte İHA'lara yönelik araştırma geliştirme faaliyetleri de gittikçe artmaktadır. İHA'ların gelişen otomatik sistemler sayesinde beşeri faktörlere olan bağımlılığının azaltılması, otonom kabiliyetler kazandırılarak uçabilmesi ve görevlerini yerine getirebilmesi son zamanlarda en çok üzerinde çalışılan konulardan birisidir. İHA'ların otonom kabiliyetler kazanması ve operatör kullanımının en aza indirgenerek görevini tamamlamasında, yapay zeka ve optimizasyon metotlarının en etkin şekilde kullanılması önemli bir rol oynar. İHA'lar, tehlikeli görevleri yerine getirmede, insanlı hava araçlarına göre güvenlik açısından daha az risklidir. Bu sebeple İHA'lar; askeri amaçlı keşif, gözlem, güvenlik, sınır güvenliği gibi alanlarda, sivil amaçlı olarak ise; haritalama, fotoğrafçılık, enerji hattı güvenliği, tarım, Çevre ve iklim değişikliği gibi alanlarda rahatlıkla kullanılabilir [1-4].

İlk insansız hava araçlarının kontrolü, bir İHA için birden çok operatör gerektirmekteydi [4]; ancak her bir İHA için birden çok operatöre ihtiyaç duyulması pratik değildir. İHA'nın kontrolü için otomatik sistemlerin geliştirilmesi, İHA'nın otomatik olarak karar verme mekanizmalarına sahip olması, İHA'ları etkili bir biçimde kullanmak için önemlidir.

İHA, görev uçuşuna başlamadan önce veya uçuş sırasında iken rota optimizasyonu yapılmalıdır. Bu rota optimizasyonu yapılırken, İHA'nın kullanım yerine ve amacına göre çeşitli kısıtlar rotayı değiştirebilir. İHA askeri keşif amaçlı ise, görevi sırasında yeryüzünü kameraları vasıtasıyla daha iyi gözleyebilmek için kamera açısını maksimize



etmesi amaçlanabilir. Ayrıca askeri amaçlı İHA'ların, birçok tehlike ile baş etmesi istenebilir. Genel olarak rota optimizasyonu; İHA'nın görev süresini ve yakıt tüketimini minimize etmek ya da menzili ve havada kalabilme süresini maksimize etmesi için yapılabilir. Rota optimizasyonu için, optimize edilecek olan parametreler kullanılarak bir amaç fonksiyonu belirlenir. Amaç fonksiyonu, İHA'nın tanımlanan görevi en iyi şekilde yerine getirebilmesi için formüle edilir.

İHA'nın görev uçuşu sırasındaki en büyük tehlikelerden biri, yerden havaya atılan füzelerdir. İHA'nın manevra kabiliyeti yüksek olmasına rağmen, gelişmiş teknolojilere sahip olan yerden havaya füze savunma sistemlerinin İHA'ları vurması olasıdır. Bu tip füzelerin bulunduğu bölgeler, tehlikeli bölge olarak tanımlanır. İHA'nın, tehdit oluşturan bölgelerin etrafından belli uzaklıktan dolanarak geçmesi istenir. Böylelikle, görevi tehlikeye düşürecek risk minimize edilir.

İHA'lar için önemli olan diğer bir kısıt, çevresel faktörlerdir. Çevresel faktörler, İHA'nın yakıt tüketimine etki ederek yakıt tüketiminin artmasına ve İHA'nın havada kalabilme süresinin azalmasına sebep olur. Yakıt tüketimine etki eden çevresel faktörlerden bir tanesi, rüzgârdır. Rüzgâr, yönü ve şiddeti olan vektörel bir büyüklük olup uçakların hızına vektörel olarak pozitif veya negatif yönde etki eder veya aerodinamik dengesini bozabilir. İHA'nın baş açısı ile rüzgârın esme yönü arasındaki açı ne kadar fazla ise, İHA'nın hava hızı vektörü rüzgârın etkisiyle o derece azalır. Bileşke vektör İHA'nın yer hızını verir. Bu sebeple, rüzgârın karşıdan estiği rotalar yakıt tüketimini artırır.

Diğer bir üzerinde düşünülmesi gereken parametre mesafe olup, İHA'nın en kısa rotadan görev uçuşunu yerine getirmesi, yakıt tüketimini azaltır. Yakıt tüketimine ek olarak; İHA en güvenli rotayı takip etmesi, görevini başarılı bir şekilde tamamlaması için önemlidir.

Dantzig ve Ramser, benzin istasyonları için tırlarla yakıt dağıtım optimizasyonu üzerine yaptıkları çalışmalarıyla Araç Rotalama Problemini (ARP) ortaya atmış [5], Laporte; dinamik programlama, alt sınır atama ve ilişkili dal-sınır, küme bölümlenme ve kolon üretimi gibi kesin algoritmalarla ve sezgisel algoritmalarla ARP'nin çözümünü incelemiştir [6]. Prins, ARP'nin çözümü için metasezgisel algoritmalarla olan hibrid genetik algoritmayı kullanmıştır [7]. Baker ve Ayechev, ise sezgisel yöntemlerden olan

genetik algoritmayı kullanarak ARP üzerine çalışmışlardır [8]. Fukasawa ve arkadaşları [9] dal ve kesme ve fiyat yöntemiyle Kapasiteli Araç Rotalama Probleminin (KARP) çözümünü incelemiştir. ARP'nin bir çeşidi olan KARP üzerine de birçok çalışma bulunmaktadır. Laporte, tam sayılı doğrusal programlama yöntemini kullanarak altmış ve üzeri şehir için çözümü incelemiştir [10]. Osman; benzetimli tavlama, tabu arama ve iniş algoritması gibi yaklaşık metotlar kullanarak KARP için çözüm aramıştır [11].

## **1.2. Rota Planlaması Konusunda Literatür İncelemesi**

### **1.2.1. İHA'lar için Rota Planlama**

En uygun rotanın bulunması tüm araçlarda olduğu gibi İHA'lar için de önemli bir konudur. İHA'nın güvenliği, yakıtı, batarya tüketimi, havada kalış süresi gibi parametrelerin aynı anda optimize edilmesi gerekliliği, en iyi rotanın bulunmasını zorlaştırır. Bu çalışmada temel olarak, İHA'nın yakıt tüketimini en aza indirmek için rota optimizasyonu üzerinde durulacaktır. Rota planlaması için literatürde birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan bazıları aşağıdaki başlıklarda verilmiştir.

Duan ve arkadaşları, çalışmalarında İHA için rota planlaması yaparak sezgisel algoritmaların öğretilmesini ve anlaşılmasını amaçlamışlardır [12]. İHA'nın rota planlamasını yaparken birden çok amaç fonksiyonu kullanmışlardır. Bu amaç fonksiyonları; mesafe, tehlikeli bölge, dönüş açısı, yükselme/alçalma açısı ve irtifa olarak belirlenmiştir [12]. Liu ve arkadaşları, birden çok tehlikeli bölgenin varlığındaki senaryolar üzerinden adaptif gerçek zamanlı rota planlaması üzerine çalışma yapmışlardır [13]. Ceccaralli ve arkadaşları, mikro İHA'ların sabit rüzgârlar etkisinde keşif amaçlı rota planlaması üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında TSP ile mikro İHA'nın geçiş noktalarını bulmuşlardır [14].

#### **1.2.1.1. Yakıt optimizasyonu için İHA'larının Rota Planlaması**

Birden çok yakıt istasyonu ve hedefin bulunduğu bir bölgede, bir İHA kullanılarak en kısa sürede ve en az yakıt tüketen rotanın bulunması üzerine çalışmalar mevcuttur. Her hedefe en az bir kere uğranılması gerektiği ve İHA'nın yakıtını herhangi bir istasyondan alabildiği kabul edilir [15]. Zhang ve arkadaşları, karınca kolonisi algoritmasını

kullanarak İHA'lar için minimum mesafe ve minimum yakıt tüketimi sağlayan rotalar üzerine çalışmalar yapmışlardır [16]. Sujit ve Beard, çalışmalarında geçiş noktalarını tırmanma açısı ve alçalma açısına göre optimize etmişler, böylelikle yakıt tüketimini minimize etmişlerdir [17]. Bao ve arkadaşları, parçacık sürü algoritmasını kullanarak bir İHA için yakıt optimizasyonu yapmışlardır [18]. Yao hong Qu ve arkadaşları, delaunay üçgeni ve genetik algoritmayı kullanarak yakıt tüketimini minimize edecek rotalar üzerine çalışmalar yapmışlardır [19].

### **1.2.1.2. Tehlikeli Bölgeler için İHA'ların Rota Planlaması**

İHA'nın görev planlaması ve riskli bölgede rota planlaması üzerine şimdiye kadar yapılan birçok çalışma mevcuttur [20]. İHA'lar için tehlikeli sayılabilecek ve kaçınılması gereken bu bölgeler; yerden havaya füze savunma sistemlerinin olduğu alanlar, radar bölgeleri, coğrafik yapı ve diğer araçlarla çarpışma ihtimali olan noktalar olarak sıralanabilir. Yapılan çalışmalarda; birden çok sayıda İHA, hedef, tehlikeli bölge veya engel kullanılmıştır. Çalışmalarda, tehlikeli bölgeler iki boyutlu veya üç boyutlu olarak modellenmiştir. Bu çalışmalarda farklı yaklaşımlar ve yöntemler kullanılmıştır. İHA rotalama yöntemleri; grafik-tabanlı, olasılıksal ve deterministik yaklaşımlar olarak sınıflandırılabilir.

Rathbun ve Capozzi 2002'de yapmış oldukları çalışmalarında, tek İHA ve tek hedef kullanarak rota planlamasını incelemişlerdir. Çalışmalarında hareketli engeller kullanmışlardır [21]. Foo ve arkadaşları 2006 yılında yaptıkları çalışmada, tek İHA için başlangıcı ve hedefi noktasal olan 3-boyutlu rota optimizasyonunu incelemişler, tehlike bölgesini dairesel olarak tanımlamışlardır [22]. Roberge ve arkadaşları, tek İHA ve tek hedef kullanarak rota planlamasını incelemişlerdir. Çalışmalarında birden çok engel kullanarak 3-boyutlu İHA rota planlaması yapmışlardır. Ayrıca çalışmalarında sabit tehlikeli bölgeler kullanmışlardır. Bu tehlikeli bölgeleri silindirik olarak tasarlamışlardır [23].

Schouwenaars ve arkadaşları, tek İHA ve tek hedef kullanarak rota planlamasını incelemişlerdir. Birden çok İHA ile tek hedef kullanarak İHA'nın rotasını bulmuşlardır. Aynı zamanda hem hareketli hem de sabit tehlikeli bölgeleri kullanarak çalışmışlardır [24]. Pehlivanoğlu, tehlikeli bölgeleri sabit olarak tasarlamış ve tek İHA tek hedef

noktası kullanmıştır [25]. Qi ve arkadaşları 2010 yılında yapmış oldukları çalışmalarında, sabit tehlikeli bölgeler kullanarak tek İHA ve tek hedefli rota planlaması yapmışlardır. Tehlikeli bölgeyi çember olarak tanımlamışlardır [26].

Literatürde, tek İHA ve tek hedef kullanarak [27-37], tek İHA ve birden çok hedef kullanılarak [38], ve birden çok İHA ve tek hedef kullanılarak [32], [39] rota planlaması üzerine yapılan çalışmalar da bulunmaktadır.

Literatürde birden çok İHA ve birden çok hedef üzerine yapılan çalışma sayısı daha azdır. Richards [40], birden çok hedef için, İHA'ları belli bir zaman aralığına göre sıralayarak hedeflere atanması üzerine çalışmışlardır. Krishna [41], operasyon alanının bir kenarına dikey doğrultuda konumlandırılan İHA'ların, diğer kenarının aynı dikey doğrultusuna konumlandırılan on hedefe rota planlaması üzerine çalışmalar yapmıştır. Beard [42]'de yapmış olduğu çalışmada; beş İHA'nın ve altı hedefin olduğu durumda, bir hedefi birden çok İHA'ya atamış böylece hedefe en iyi zamanda ulaşılmasını incelemiştir.

Maddula [43], sekiz İHA ve sekizden kırk sekize kadar değişen hedef sayılarına göre senaryolar üzerine çalışmışlardır. Hedefler İHA'lara eşit olarak dağıtılmıştır. Bazı çalışmalarda; sabit, hareketli veya ikisinin kombinasyonu olan tehlikeli bölge veya engel kullanarak İHA rota planlaması incelenmiştir. Sabit tehlikeli bölgeler kullanılarak rota planlaması [22], [27], [29-31] [33-38], [40], [42-43]'te incelenmiştir. Bortoff, sabit tehlikeli bölge olarak radar alanlarını göz önüne almıştır [28]. De Filippis, sabit engel olarak dağları kullanarak bir rota planlaması yapmışlardır [44]. Carlyle, sabit tehlikeli bölge olarak yerden havaya füze savunma sistemlerini incelemiştir [39]. Hemen hemen bütün çalışmalarda sabit hedefler kullanılmıştır. Hareketli tehlikeli bölge ve engel kullanılan çalışmalar da mevcuttur [32], [45]. Hareketli hedefleri Zengin ve Doğan çalışmalarında kullanmışlardır [31]. Hem durağan ve hem de hareketli hedefleri kullanan çalışmaya rastlanamamıştır.

Farklı sayılarda tehlikeli bölge, engel ve uçuşa yasak bölge kullanılarak yapılan çalışmalar da mevcuttur. Rathbun ve arkadaşları, iki engel kullanmışlardır [21]. Çekmez ve arkadaşları, uçuşa yasak beş bölge kullanarak rota planlaması yapmışlardır [27].

Bortoff, tehlikeli bölge olarak on radar bölgesi ile çalışmıştır [28]. Doğan, on yedi tehlikeli bölge kullanmıştır [29], [38]. Zengin ve Dogan uçuşa yasak on yedi bölge kullanmıştır [31]. Bo-bo ve arkadaşları, altı engel kullanmışlardır [30].

Yapılan çalışmalarda; tehlikeli bölgeler, engeller ve uçuşa yasak bölgeler iki-boyutlu veya üç-boyutlu olarak tasarlanmıştır. Richard [40] ve Schouwenaars [24] engelleri dikdörtgen olarak tanımlamışlardır. [27]'de tehlikeli bölgeler silindirik olarak tanımlanmıştır. Dogan, her bir tehlikeli bölgeyi gauss olasılık yoğunluk fonksiyonu ile modellemiştir [29],[38]. Zengin ve Dogan [31]'de uçuşa yasak bölgeleri 2-boyutlu düzgün dağılımla modellemiştir. Beard [42] ve Maddula [43] tehlikeli bölge olan radar alanlarını poligon olarak tasarlamışlardır. Jun ve D'Andrea, hareketli tehlikeli bölgeler kullanmış ve eşit karelere bölünmüş bir ortamda rota planlaması yapmıştır [32]. De Filippis eşit karelere bölünmüş bir senaryoda engelleri ve dağları modellemiştir [44]. Helgason [34]'te tehlikeli bölgeleri çember ve çokgen olarak düşünmüştür. Carlyle [39]'da tehlike alanlarını yerden havaya füze savunma sistemlerini gösterecek şekilde çember olarak ele almıştır. Pfeiffer [37]'de iç içe çember ve çokgenler kullanarak tehlikeli bölgeleri tanımlamıştır. Bazı çalışmalarda düşük ve yüksek irtifayı göstermek için üç-boyutlu rota planlaması yapılmıştır. Zhang, yine üç-boyutlu olarak tasarladığı sahada dairesel uçuşa yasak bölgelerin varlığında İHA'ları yönlendirmiştir [33].

### **1.2.1.3. Hava Koşullarına Göre İHA'ların Rota Planlaması**

Jusuk Lee ve arkadaşları, İHA'nın yerdeki aracı takibi amaçlı bir rota planlaması üzerine çalışmıştır. Bu çalışmada rüzgârın İHA'ya olan etkisi hesap edilerek bir rota planlaması yapılmıştır [52].

Wesam H. Al-Sabban ve arkadaşları, belirsiz ve zamanla değişen rüzgâr modeli ve markov karar süreci kullanarak en iyi rotayı elde etmişlerdir. Elde edilen bu rotalarla uçuş süresini artırmayı ve enerji tüketimini azaltmayı hedeflemişlerdir [53]. Başka bir çalışmada yapı denetimi için İHA'nın rota planlaması Zermole-TSP metodu ile yapılmıştır [54].

### 1.3. Sezgisel Yöntemlerle İHA Rota Planlama Yaklaşımları

Optimizasyon problemlerinde sıkça kullanılan sezgisel yöntemler kombinasyonel problemlerin çözümünde oldukça başarılıdır. Kısıtlamalar arttıkça optimizasyon yöntemlerinde hesaplama karmaşıklığı artmaktadır. Bu karmaşıklığı azaltma konusunda sezgisel yöntemler başarılı sonuçlar vermiştir. Literatürde tehlikeli bölgelerden kaçınma, kat edilen mesafenin minimizasyonu, uçuş irtifasının ayarlanması, radar risklerine karşı en iyi rotanın bulunması gibi konularda sezgisel yöntemler kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır [1-3]. Roberge ve arkadaşları [23] radar bölgelerinde İHA için genetik ve parçacık sürü algoritmalarını kullanarak rota planlaması yapmışlardır. Foo ve arkadaşları, yakıt, tehlikeli bölge ve keşif kısıtlarına göre parçacık sürü optimizasyonu kullanarak İHA rota planlaması yapmışlardır [46]. [25]'de geliştirilmiş titreşimsel genetik algoritma ve voronoi diyagramı kullanılarak otonom İHA rota planlaması yapılmıştır. Diğer bir çalışmada birden çok İHA için genetik algoritma yardımıyla uçulabilir rotalar için bezier eğrileri üretilmiştir. Uçuşa elverişli rotalar, Çoklu Gezgin Satıcı Problemi (ÇGSP) yöntemi kullanılarak bulunur [47]. [48]'de birden çok noktasal düşman hedeflerine göre voronoi diyagramı oluşturularak düşman riskini ve uzaklığı en az yapacak rota planlaması yapılmıştır. Nikolos sezgisel algoritmaları kullanarak İHA'nın rotasını bulmuştur [49]. Qi rota planlaması yaparken sezgisel algoritmaları çalışmasında kullanmıştır [26]. Savuran [50]'de, mobil platformlarda kullanılan İHA'lar için hedef kapsamı maksimizasyonu için genetik algoritma kullanılmıştır. Bir çok mühendislik ve optimizasyon problemlerinin çözümünde Diferansiyel arama algoritması (DSA) kullanılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır [51].

## 2. BÖLÜM

### İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI VE ROTA PLANLAMA

#### 2.1. İnsansız Hava Araçları

İnsansız Hava Aracı (İHA), üzerinde pilot olmayan, sabit kanatlı veya döner kanatlı olabilen, üzerine kamera, füze veya ateşli silahlar monte edilebilen, kritik görevlerde kullanılabilen, yerden kontrol edilebilen veya otonom uçabilen bir hava aracı olarak tanımlanabilir. Her İHA'nın spesifik olarak çeşitli avantajları ve dezavantajları olabilmektedir. İHA için önemli kriterler arasında; havada kalış süresi, irtifa, otonomi seviyesi ve menzili sayılabilir. İHA'lar, ilk olarak 1. Dünya savaşında kullanılmış ve günümüze kadar gelmişlerdir. Geçmişten günümüze kadarki sürede, İHA'ların teknolojik olarak geliştirilmesinde büyük mesafe kat edilmiştir. Ülkelerin askeri alanda güvenlik ve muharebe gibi kritik görevler için kendi İHA'larını geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Ülkemiz, kendi İHA'sını geliştiren az sayıdaki ülkeler arasında olması sayesinde İHA teknolojisinde büyük yol kat etmiştir. Şekil 2.1'de MALE tipi İHA olan Anka gösterilmektedir [55].



Şekil 2. 1. Türkiye'nin Yapmış Olduğu MALE Tipi İHA [55]

## 2.2. İHA'ların Kullanım Alanları

Kullanım alanı her geçen gün artmakta olan İHA teknolojisi, hayatı birçok açıdan kolaylaştırmakla beraber, her geçen gün gelişim kaydetmektedir. Kullanım yerinin genişliği İHA'ların otonom sistemlerinin geliştirilmesini de olumlu yönde etkilemektedir. Endüstriyel ve ticari amaçlı olarak İHA kullanım sayısı, fiyatlarının ucuzlamasıyla birlikte hızla artmaktadır. Kullanımının artması sebebiyle, İHA kontrol kumandası daha çok önem kazanmıştır. Gökyüzünde İHA sayısının artmasına paralel olarak, bu artış çeşitli kısıtlamaları da beraberinde getirmektedir. Her ne kadar İHA'lar hayatı kolaylaştırırsa da kontrol kısmı iyi bir şekilde yapılmazsa, çeşitli sorunları da doğurabilir. Hava şartları, yeryüzü şekilleri, binalar, yakıt tüketimi ve havada kalış süresi gibi birçok parametrenin optimize edilmesi gerekliliği, araştırmacıları bu alanda araştırma geliştirme faaliyetlerine yöneltmiştir.

## 2.3. İHA'ların Sınıflandırılması

İHA'lar; kullanım amaçlarına, kullanım yerlerine, menzil, irtifa, havada kalabilme süresi ve kütle gibi birçok parametreye göre sınıflandırılırlar. Tablo 2.1'de İHA'lar; kütle, menzil, irtifa ve uçuş dayanım süresi parametreleri kullanılarak sınıflandırılmıştır. Bu parametrelerden bir veya birkaçı değiştirilerek birçok İHA sınıfı oluşturulmuştur. Bu İHA sınıflarının her biri değişik bir görev için geliştirilmiştir. Her bir İHA'nın farklı güçlü ve zayıf yönleri bulunmaktadır [57], [58].

İHA'ları altı farklı başlık altında sınıflandırabiliriz: (bunun yanında bazıları birkaç farklı özelliği bünyesinde barındırabilir)

- Hedef ve yem – düşman hava savunma veya savaş uçaklarına karşı yem olarak kullanılarak hedef belirlemede yardımcı olan araçlar
  - Keşif ve gözetleme – düşmana ait cephe bilgilerini toplayan araçlar
  - Çatışma – yüksek riskli görevlerde kullanılan saldırı kapasitesine sahip araçlar
  - Lojistik – kargo ve lojistik destek amaçlı araçlar
  - Araştırma ve geliştirme – gelecekte kullanılmak amacıyla farklı İHA teknolojilerinin denendiği araçlar
  - Sivil ve ticari – sivil ve ticari amaçlar için kullanılan araçlar

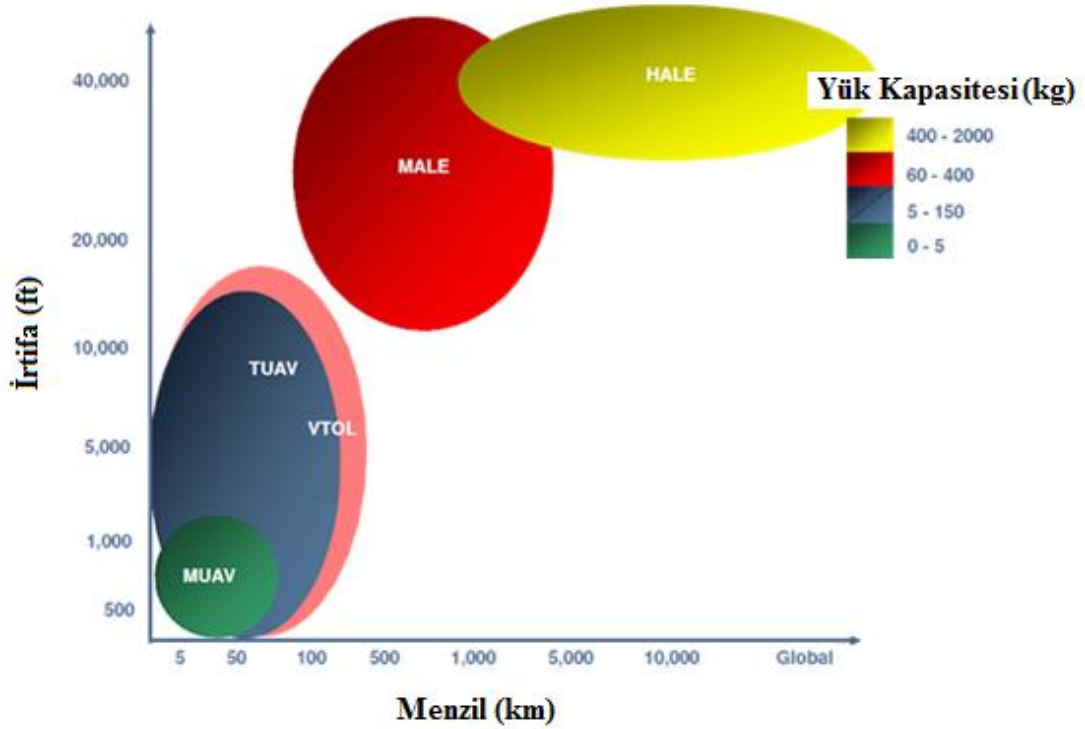


Bunun yanında İHA'lar ParcAberporth İnsansız Sistemler forumunda uçuş menzil ve irtifalarına göre de sınıflandırılabilirler:

- Elle taşınabilen (Handheld) 600 metre irtifa ve ortalama 2 km menzil
- Close 1500 metre irtifa ve ortalama 10 km menzil
- NATO tipi 3000 metre irtifa ve ortalama 50 km menzil
- Taktiksel 5500 metre irtifa ve ortalama 160 km menzil
- MALE (Medium Altitude, Long Endurance (Orta İrtifa, Uzun Havada Kalış) 9000 metre irtifa ve ortalama 200 km havada kalış
- HALE (High Altitude, Long Endurance (Yüksek İrtifa Uzun Havada Kalış) 9000 metre irtifa ve belli olmayan havada kalış
- HYPERSONIC yüksek hızlı (süpersonik (Mach 1-5) veya hipersonik (Mach 5+) hızında) 15000 metre veya yörünge altı irtifa ve ortalama 200 km menzil
- ORBITAL alçak dünya yörüngesinde (Mach 25+)
- CIS Lunar Dünya-Ay uçuşu

Tablo 2. 1. İHA'ların Kütle, Menzil, İrtifa ve Havada Kalabilme Süresine Göre Sınıflandırılması [57], [58]

	Ağırlık (kg)	Menzil (km)	Flight (m)	Dayanım (sa)
Mikro	<5	<10	250	1
Mini	<20/25/30/150 <sup>a</sup>	<10	150/250/300	<2
Taktik				
Yakın Menzil (CR)	25-150	10-30	3000	2-4
Kısa Menzil (SR)	50-250	30-70	3000	3-6
Orta Menzil (MR)	150-500	70-200	5000	6-10
MR Dayanım (MRE)	500-1500	>500	8000	10-18
Alçak irtifa Yüksek Nüfuz (LADP)	250-2500	>250	50-9000	0.5-1
Alçak İrtifa Yüksek Dayanım (LALE)	15-25	>500	3000	>24
Orta İrtifa Uzun Dayanım (MALE)	1000-1500	>500	3000	24-48
Stratejik				
Yüksek İrtifa Uzun Dayanım (HALE)	2500-5000	>2000	20000	24-48
Stratosperik (Strato)	>2500	>2000	>20000	>48
Exo-Stratosperik (EXO)	TBD	TDB	>30500	TDB
Özel Amaçlı				
İnsansız Muharebe AV (UCAV)	>1000	1500	12000	2
Öldürücü (LET)	TDB	300	4000	3-4
Yem (DEC)	150-250	0-500	50-5000	<4



Şekil 2.2. Ağırlık, İrtifa ve Menzil Dikkate Alınarak İHA'ların Sınıflandırılması [59]

### 2.3.1. Sabit Kanatlı İHA'lar

Gücünü, herhangi bir döner şafta bağlı pervaneden almayan İHA'lardır. İleri yöndeki hızından ve kanatın şeklinden kaynaklanan, bir kaldırma kuvveti ile uçabilen hava araçlarıdır.

### 2.3.2. Döner Kanatlı İHA'lar

Uçuş için gerekli kaldırma kuvvetini, motor ve motora bağlı pervane ile elde eden hava araçlarıdır. Bir motorun yetersiz olduğu durumlarda, bir veya birden çok rotor kullanılır.

### 2.3.3. Taktik İHA'lar

Taktik İHA'ların menzilleri 5 km ile 500 km arasında olup sistem gelişmişliği olarak daha orta seviyededirler. Yararlı yükleri 5 kg ile 150 kg arasında değişmektedir. İrtifaları ise 3000m ile 5000m arasındadır.

### 2.3.4. MALE

Ağırlığı 1000 -1500 kg arası olan 500 km'den daha fazla menzile sahip ve havada kalış süresi taktik İHA'ya göre daha uzun olan sınıftır.

### 2.3.5. HALE

HALE tipi İHA'ların irtifaları 20000 metrenin üstünde ve havada kalabilme süreleri 24 ile 48 saat arasındadır. Bu özellikleri ile güçlü İHA'lar arasındadır. Şekil 2.4'te de RQ-4A/B Global Hawk HALE tipi İHA gösterilmektedir.



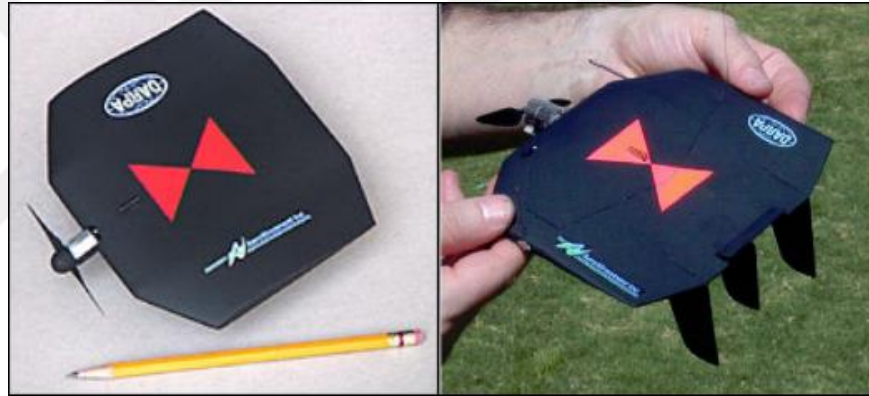
Şekil 2.3. Global Hawk HALE [60]

### 2.3.6. Mini İHA'lar

Günümüzde üzerinde çalışılan ve gelecekte en önemli teknolojilerden birisi, İHA'ları çok küçük boyutlara taşımak olacaktır. Bu mini İHA'lar; nükleer, biyolojik, kimyasal silahları veya herhangi bir deprem sırasında sağ kalan insanları tespit edebilecektir. Şekil 2.4'da mini bir İHA gösterilmiştir. Şekil 2.5'te ise mikro bir İHA gösterilmiştir.



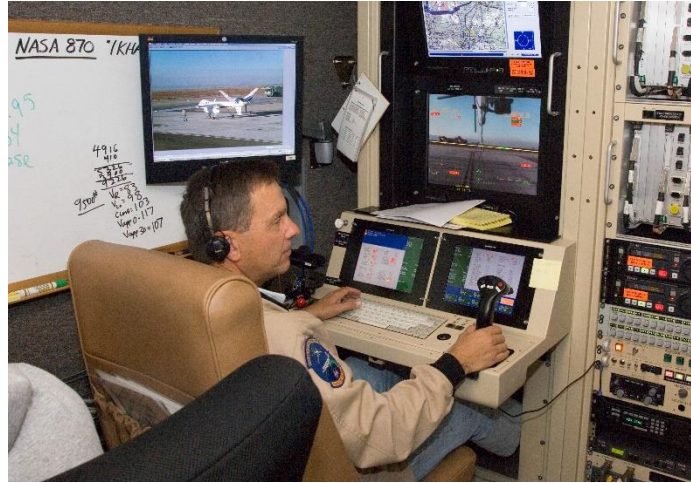
Şekil 2.4. Mini İHA [61]



Şekil 2.5. Mikro İHA [62]

#### 2.4. Yer İstasyonu

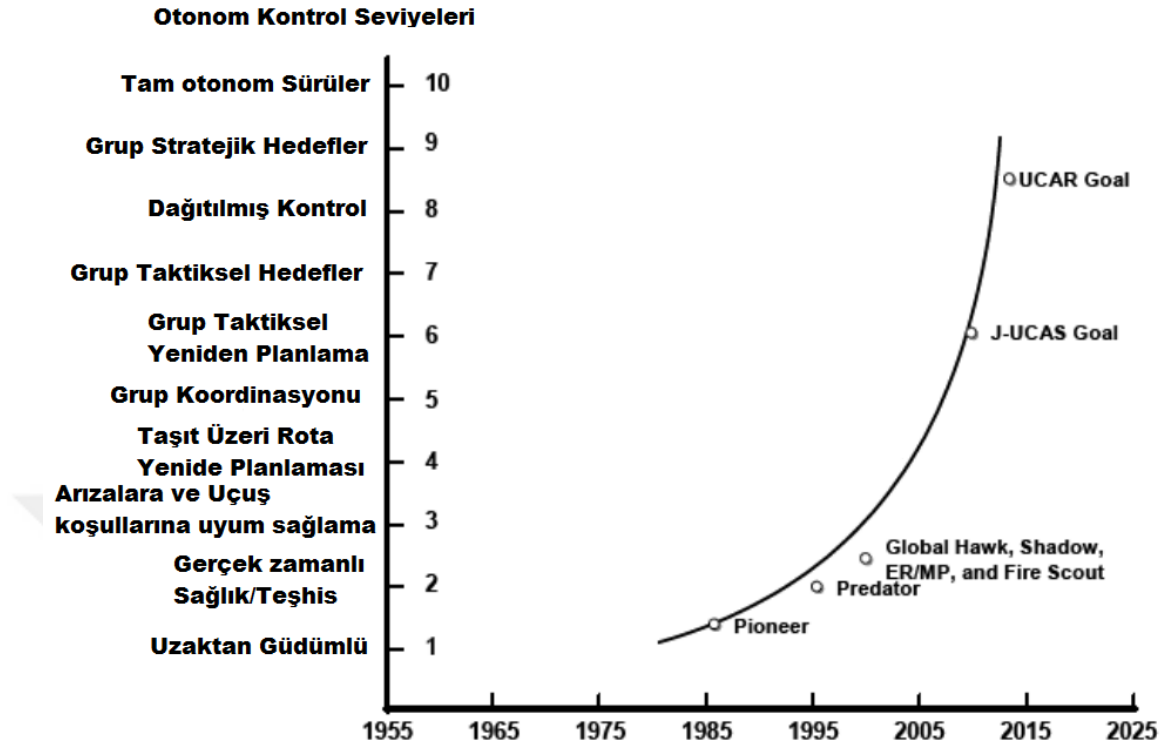
İHA'nın kontrolü için gerekli donanımın bulunduğu kontrol istasyonudur. Operatörlerin İHA'ya komut göndermesi bu istasyon yoluyla olur. Aynı zamanda, İHA'dan gelen önemli bilgilerin işlenilmesi yine bu istasyonda olur. Şekil 2.6'da örnek bir kontrol istasyonu ve operatör gösterilmiştir.



Şekil 2.6. İHA için Yer Kontrol İstasyonu [63]

## 2.5. İHA İçin Otonomi

Otonomi, bağımsız karar verebilme iradesine sahip olmak olarak tanımlanabilir. Başka bir deyişle, kendi kendine yönetme kabiliyeti otonomidir. İnsan kontrolü olmadan araçların veya robotların bir görevi yerine getirmesi, araştırmacıların birçok disiplin üzerinde ciddi araştırma geliştirme sürecini de beraberinde getirmektedir. Yapay zeka metotları, kontrol kumanda teknikleri otonomi ile doğrudan ilişkilidir. Günümüzde, yapay zeka çalışmaları üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Sezgisel yöntemler yapay zekanın alt dalı olarak kabul edilir ve birçok problemin çözümünde sıkça başvurulan yöntemlerden biridir. İHA'lar için otonomi, operatör ile kontrol edilmesi çok zor olan çok fazla olasılığı aynı anda çok hızlı değerlendirerek, İHA'nın daha uzun havada kalabilmesi ve zorlu koşullarda daha güvenli kontrol edilmesi anlamına gelmektedir. Askeri alanda bir İHA; muhabere görev uçuşu planlamasını, otomatik iniş, kalkış, irtifa kontrolü ve yer istasyonuna bilgi aktarımı gibi birçok yeteneği aynı anda yapabilmesini gerektiren durumlarda, otonominin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir [4]. Çok hızlı değişen belirsiz ortamlarda, operatör yardımıyla kullanılan teknikler yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden, İHA'lar için otonomi önemli bir konu haline gelmiştir.



Şekil 2.7. İHA'ların Otonomi Seviyesinin Gelişimi [64]

Tam otomatik bir İHA, çevreden gerekli bilgileri insan kontrolü olmadan daha sağlıklı toplayabilir ve bu açıdan daha kullanıŐlıdır. Aranan bir nesnenin veya ilgili bir nesnenin tespitini yapabilmesi, geçiş noktalarını kaçırmadan uçuşunu yapabilmesi, kendi kendinin tamir ve bakımını yapabilmesi ve kararlar alabilmesi gibi üstün özellikleri sayesinde amaca daha sağlıklı bir Şekilde varılır. İHA'ların görev bölgesi, dağlık ve birçok radar riskini barındırdığı durumlarda, otomatik sistemlerle daha güvenli ve temiz bir Şekilde görevler tamamlanıp başlangıç istasyonuna dönülür.

Gelişen teknolojiye paralel olarak savaş teknikleri de deđiŐmiŐtir. İHA'ların askeri alanda fazlaca kullanılmaya baŐlanmasıyla birlikte hava savunma sistemleri de buna göre tekrar düzenlenmektedir. Gelecekte, hava savunma sistemlerine birçok ülkenin yatırım yapmaya devam edeceği düŐünmektedir. İHA'ların hava savunma sistemlerine yakalanmadan görev yapması, yeni yapay zeka zelliklerinin İHA'lara eklenmesiyle mümkün olacaktır. Bununla birlikte, İHA'ların silahlandırılması da önemli konulardan biridir. Silahlı İHA'larla, daha güvenli ve etkin bir Şekilde amaca ulaŐılacađı

düşünülmektedir. Günümüzün diğer önemli bir konusu olan elektronik atağın da İHA'larla birlikte daha gelişeceği ve etkili bir şekilde kullanılacağı düşünülmektedir.

## 2.6. Araç Rotalama Problemi

Araç rotalama probleminin (ARP) çözümü için bir çok optimizasyon algoritması geliştirilmiştir. ARP, birden çok müşteriye aynı özelliklere sahip birden çok araçla, ürünlerin dağıtılması için en az maliyetli rotaların belirlenmesini sağlar. Her bir müşteri, bir araç tarafından sadece bir kere ziyaret edilmelidir. Bu durum, Denklem (2.1) ile ifade edilmiştir. Buradaki  $x$  parametresi 0 ile 1 arasında değer alır. Denklemdeki  $c$ , amaç fonksiyonu yani maliyet fonksiyonu gösterir.

$$x \in \{0,1\}^n \text{ olmak üzere;}$$

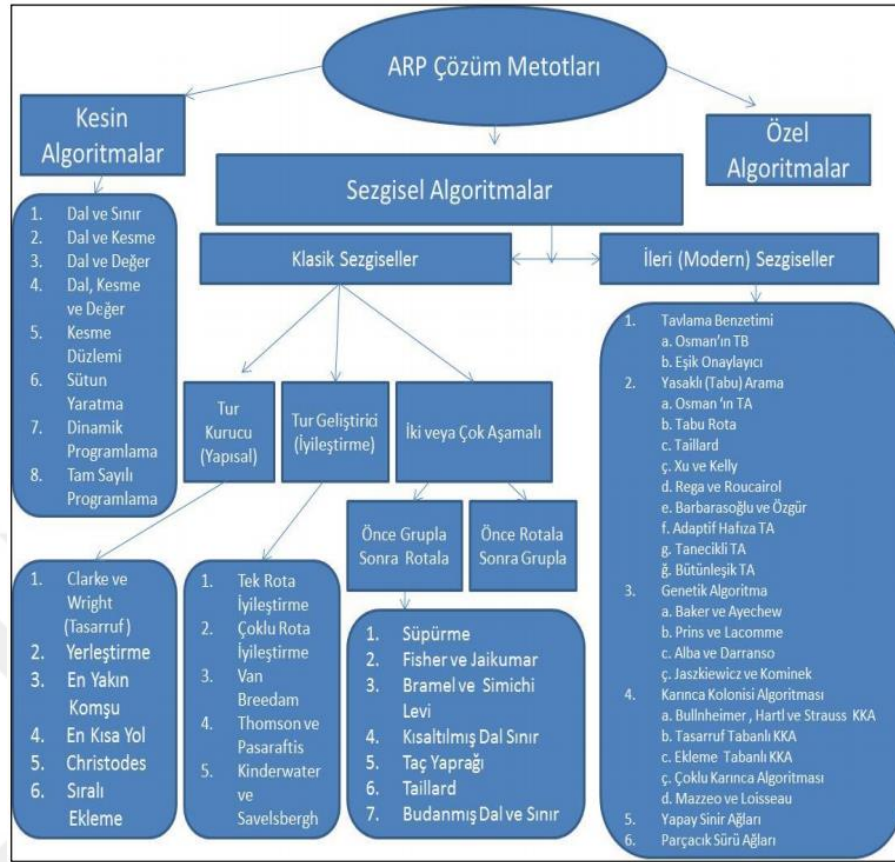
$$\min c^T x \quad (2.1)$$

$$Ax \geq 1 \quad (2.2)$$

## 2.7. Gezgin Satıcı Problemi

ARP, aynı zamanda bir Gezgin Satıcı Probleminin (GSP) genelleştirilmiş şekli olarak kabul edilir. GSP'de en az maliyetli rotanın bulunması için, ARP'de olduğu gibi birden çok farklı şehre gitmesi gereken bir satıcının, bütün şehirlere uğrayan ve en az maliyetli turun yani gidilen mesafenin en az olduğu sıralamanın bulunması problemidir. İHA rota optimizasyonu, dağıtım ve ulaştırma alanlarında sıkça kullanılan ARP'ye benzetilebilir. Farklı yaklaşımlar kullanılarak ARP'nin çözümü için birçok çözüm tekniği geliştirilmiştir. Bu algoritmalar Şekil 2.8'de gösterilmektedir [65].





Şekil 2.8. ARP çözüm algoritmaları [65]

## 2.8. Problem Tanımı

Rota optimizasyonu; yerden havaya füze savunma sistemlerinin olduğu ve yeryüzü şekillerinin engebeli olduğu bölgelerde, İHA'nın uçuşunu güvenli ve görevini en az yakıt tüketimiyle başarılı bir şekilde icra etmesi istenmektedir. İHA'nın hızı sabit ve 120 km/s kabul edilir. İHA görevini icra ederken, rüzgarın yönü yakıt tüketimini artıran veya azaltan bir parametredir. Bu çalışmada, sadece karşıdan esen rüzgarın bulunduğu bölgelerde değil, ayrıca kuyruktan esen rüzgarların olduğu bölgelerde de rota optimizasyonun yapılması amaçlanmıştır. Bu tez çalışmasında;

- İHA'nın hızı sabit ve 120km/s olarak alınmıştır.
- Simülasyon, Kayseri bölgesini içine alan bölge için yapılmıştır.
- Rüzgâr modelinin sabit olduğu kabul edilmiştir.
- Tehdit bölgelerinin sabit olduğu kabul edilmiştir.
- Uçuşa yasak bölgelerin sabit olduğu kabul edilmiştir.



## **3. BÖLÜM**

### **OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ**

#### **3.1. Giriş**

Optimizasyon diğer bir deyişle eniyileme; en az bir parametre kullanılarak en az bir amaç fonksiyonunu maksimum veya minimum yapan en iyi değerlerin aranması olarak tanımlanabilir. Optimizasyon; haberleşme, elektrik, elektronik, havacılık ve tıp gibi birçok alanda sıklıkla faydalanılan bir yöntemdir. Optimizasyon, bir amacın gerçekleştirilmesi için kullanılan süreyi, ham maddeyi, yakıtı veya gerekli malzeme miktarını optimum seviyede tutmak için kullanılabilir. Optimizasyon sezgisel veya kesin sonuç veren algoritmalar kullanılarak yapılabilir [66-70].

#### **3.1.1. Tek Amaçlı Optimizasyon**

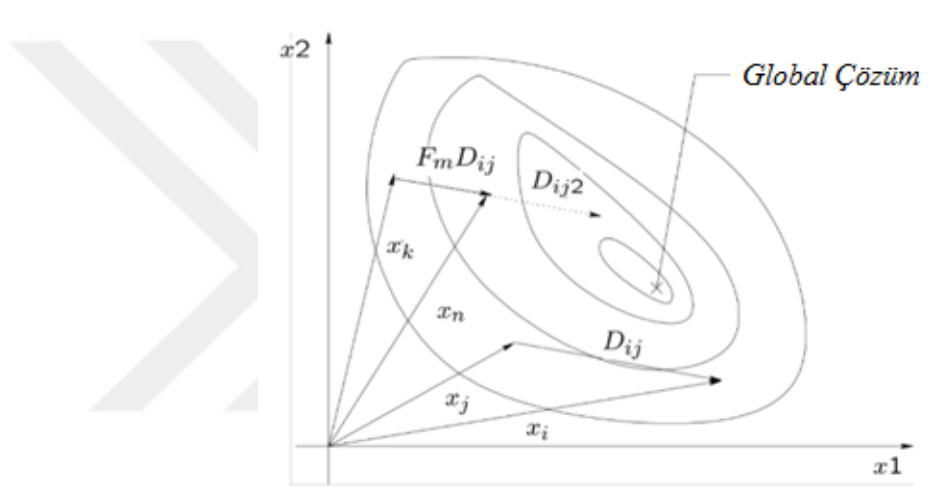
Sadece bir fonksiyonun minimize veya maksimize edilmesi işlemine tek amaçlı optimizasyon adı verilir. Tek amaçlı optimizasyon probleminde sadece bir amaç fonksiyonu optimize edildiği için sonuca daha hızlı ve kolay gidilir. Bir çok problemin çözümünde kullanılır [71].

#### **3.1.2. Çok Amaçlı Optimizasyon**

Çok amaçlı optimizasyon yönteminde aynı anda minimize veya maksimize edilmesi gereken amaç fonksiyonları birden fazladır. Çok amaçlı optimizasyon yönteminin çözümü tek amaçlı optimizasyon yöntemine göre daha zor ve karmaşıktır. Ağırlıklı toplam metodu çok amaçlı optimizasyon yöntemlerinden bir tanesidir. Her bir amaç fonksiyonunun ağırlığı kullanıcı tarafından belirlenir. Hangi amaç fonksiyonunun önemi artırılabilecekse o amaç fonksiyonunun ağırlığı yükseltilir. Ağırlıkların toplamı bire eşit olmalıdır [72].

### 3.2. Diferansiyel Gelişim Algoritması (DE)

Diferansiyel Gelişim Algoritması (DE) popülasyon tabanlı sezgisel bir algoritma olup ilk olarak Storn ve Price tarafından ortaya atılmıştır [73]. Bir optimizasyon probleminin en iyi değerini iteratif olarak ararken çıkan değerleri uygunluk fonksiyonundan geçirir, durdurma kriterine ulaşıldığında algoritma durur. DE işlevini yerine getirirken mutasyon, çaprazlama ve seçme aşamalarından her bir birey geçer. Şekil 3.1’de DE’nin arama uzayındaki hareketi gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Diferansiyel Gelişim Algoritması (DE) Arama Uzayı

#### 3.2.1. Başlangıç Popülasyonu

Diferansiyel Gelişim algoritması ilk çözümü verecek olan başlangıç popülasyonunu oluşturarak başlar. Bu başlangıç popülasyonu kullanılarak bir çözüm bulunur. Başlangıç popülasyonu  $de_i$  bulunurken,  $de^U$  popülasyonun alabileceği değer üst sınırını,  $de^L$  ise alt sınırını ifade etmektedir.  $\rho$ , [0 1] arasında ölçekleme faktörü olarak tanımlanır.

Başlangıç popülasyonu aşağıdaki gibi belirlenir:

$$de_i = de^L + \rho(de^U - de^L), \quad i = 1, 2, \dots, N_p \quad (3.1)$$

### 3.2.2. Mutasyon

Mutasyon, eldeki kromozomun bazı genlerinin üzerinde rastgele olarak bazı değişikler oluşmasıdır. Mutasyon sayesinde kromozomun temsil ettiği çözüm yeri değişir. Bu çözüm yerindeki değişiklikler sayesinde optimum çözüme yaklaşılr. Bunun için mutasyon stratejisi belirlenir. Mutasyon işlemi için üç farklı kromozom seçilir ve seçilen bu kromozomlardan birinci ve ikincinin farkı alınır ve bu fark F katsayısı ile çarpılır. F katsayısı 0 ile 2 arasında bir değerdir. Üçüncü kromozom bu değerle toplanır böylelikle mutasyon sonucu yeni kromozom bulunur.

Mutasyon işleminin sonunda yeni kromozom aşağıdaki gibi belirlenir:

$$de_n^{G+1} = de_k^G + F_m D_{ij}, \quad D_{ij} = de_i^G - de_j^G \quad (3.2)$$

### 3.2.3. Çaprazlama

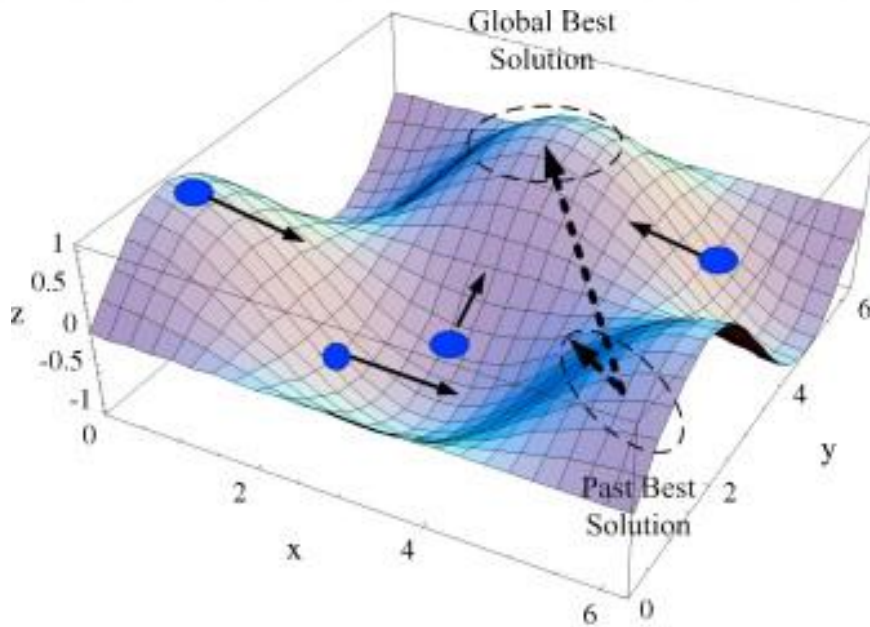
Çaprazlama vektörü çeşitliliğin artırılması için önemli bir aşamadır. Çaprazlama deneme vektörünün üretildiği aşamadır. Çaprazlama mutasyon aşamasında üretilen yeni vektör ile mevcut vektör arasında yapılır. Bu sayede deneme vektörü, mevcut vektör geniyile mutasyon sonucu oluşan vektör geninin karışımına sahip olur. Mutasyon sonucu oluşan vektör ile mevcut vektörden hangi olasılıkla genlerin alınacağı ise çaprazlama sabiti CR'ye göre belirlenir. CR sabit ve [0 1] aralığında olup kullanıcı tarafından belirlenir. Mutasyon vektöründen CR olasılığında, mevcut vektörden ise 1-CR olasılığında gen transfer edilir. Bu mekanizmaya göre 0-1 aralığında bir rastgele sayı üretilir. Bu rastgele sayının CR'den küçük olduğu durumda mutasyon vektöründen büyük olduğu durumda ise mevcut vektörden seçim yapılır.

DE için çaprazlama işlemi aşağıdaki gibi verilir:

$$d_{ji}^{G+1} = \begin{cases} de_{ji}^G, & rand_{ji} > CR \\ de_{ji}^{G+1}, & \text{diğer durumlar} \end{cases}$$

### 3.3. Parçacık Sürü Algoritması (PSO)

Parçacık Sürü Algoritması (PSO), birlikte yaşama alışkanlığı edinmiş bir tür sürü zekasına göre modellenmiştir [74]. Bir problemin en uygun çözümünün aranması sırasında, her parçacığın kendine özgü bir hız bileşeni vardır. PSO; bireysel tecrübe ve sosyal tecrübeye dayalı bir arama özelliğiyle, kromozomların çeşitliliğine dayalı arama yapan genetik algoritmaya karşı avantaj olarak sayılabilir. Bireysel tecrübe özelliği lokal arama, sosyal tecrübe özelliği global arama olarak kabul edilir. PSO, genetik algoritma gibi evrimsel bir algoritma olup, kontrol parametresi kullanılması yönüyle genetik algoritmadan farklıdır. Ayrıca, diğer evrimsel algoritmalarda olduğu gibi doğal seleksiyon (hayatta kalma) durumu yoktur. Bütün bireyler hayatta kalır. Literatürde, standart PSO algoritmasından daha başarılı olan birçok PSO yapısı bulunmaktadır. Bu tezde, birçok gelişmeyi içeren ve problem çözme başarısı yüksek olan PSO2011 algoritması kullanılmıştır [75]. Parçacıkların bir problem için global en iyi sonucu arama işlemi Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



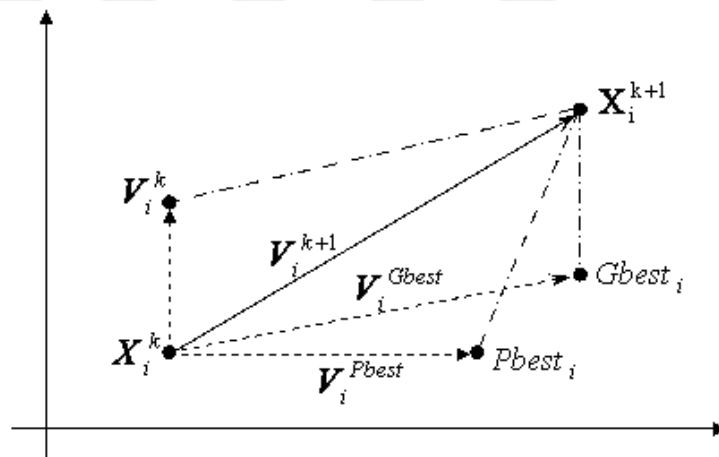
Şekil 3.2. PSO’da Parçacıkların En İyi Sonucu Arama İşlemi [76]

### 3.3.1. Parçacık

PSO'da çözümün elde edilmesinde kullanılan her bir bireye parçacık adı verilir. Parçacıklar, hareketli olup kendilerine ait değişen hız bileşenleri vardır.

### 3.3.2. Parçacık Hızı

Parçacık hızı, parçacığın birim zamandaki yer değiştirmesidir ve besinin yerine ve uzaklığına göre değişir. Parçacığın bir çözüm noktasından diğer çözüm noktasına hareketi için yer değiştirme vektörü Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Parçacığın, çözümü ararken anlık olarak bulunduğu konuma parçacık konumu denir. Parçacığın, konumu parçacığın hızına göre değişir.



Şekil 3.3. Parçacık Hız Vektörü. [77]

### 3.3.4. Popülasyon

Birden çok parçacık birleşerek popülasyonu oluşturur. Popülasyon sayısı değişken olup problemin çözümü için farklı değerler olabilir.

### 3.3.5. Başlangıç Değeri

Başlangıç değeri, optimizasyonun başlangıcındaki rastgele seçilmiş çözüm vektörüdür.

### 3.3.6. Uygunluk Fonksiyonu

Uygunluk fonksiyonu, parçacıkların (bireylerin) bulunduğu çözümlerin değerlendirildiği kısımdır. Aynı zamanda, problemin amaç fonksiyonu da denir. Çözümlerin minimizasyonu veya maksimizasyonu için gerekli formülasyon burada yapılır.

### 3.3.7. En İyi Değer

Parçacık sürü optimizasyonunda, her bir birey bireysel olarak kendi en iyi değerini arar ve hafızada saklar. Bireysel en iyiler arasından popülasyonun en iyi değeri bulunur ve saklanır. Bu işlemler her iterasyonda tekrar edilir. Bireylerin bulunduğu en iyi değer popülasyonun en iyi değeri ile karşılaştırılır daha iyi ise popülasyonun en iyi değeri güncellenir.

$i$  ve  $m$  tamsayı ve

$$i=1,2,\dots,n \text{ ve } m=1,2,\dots,d \text{ olmak üzere;}$$

Her bireyin kendi en iyileri;

$$Pbest_i = (Pbest_{i,1}, Pbest_{i,2}, \dots, Pbest_{i,d}) \quad (3.4)$$

şeklinde gösterilir.

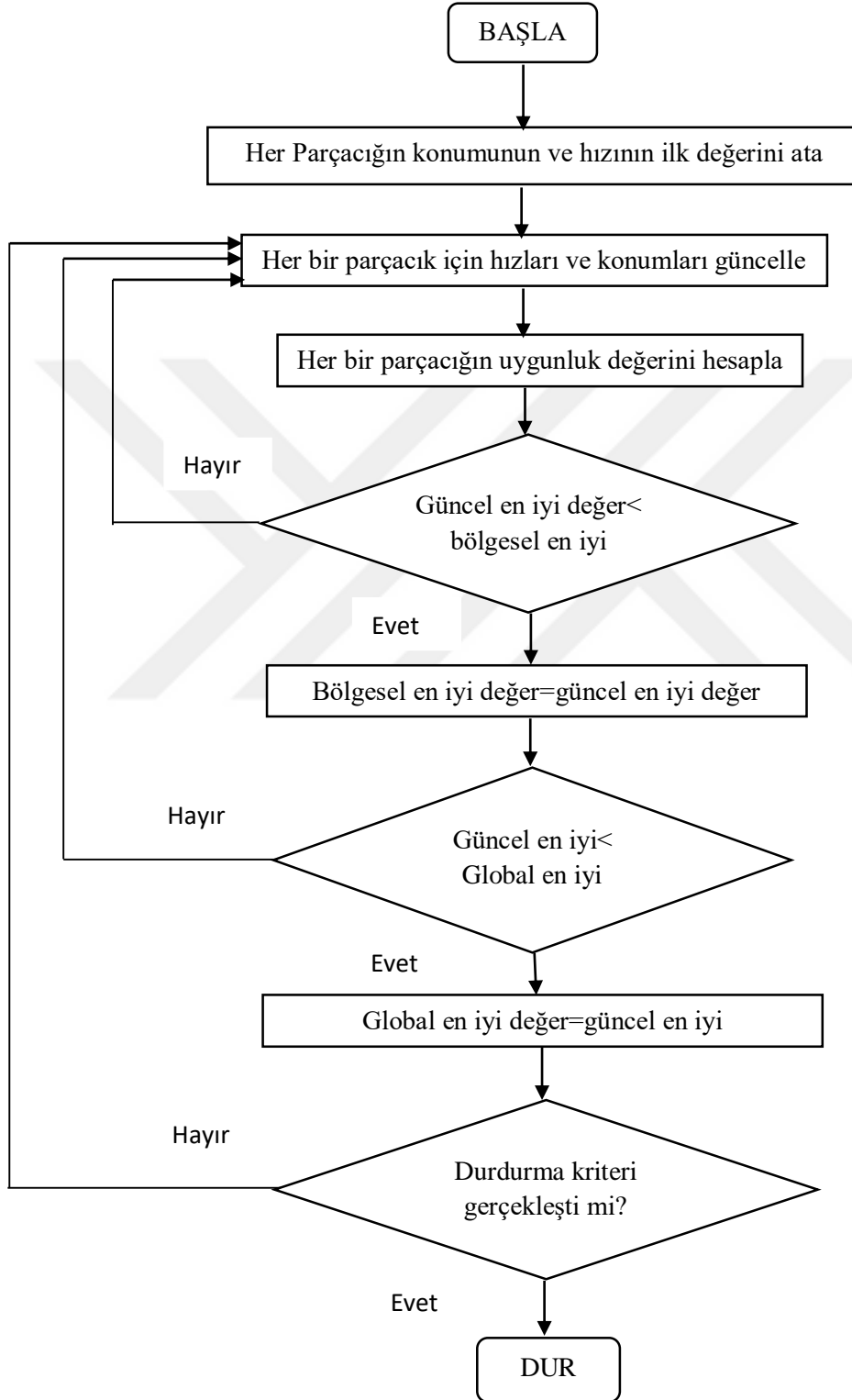
Parçacığın hızı aşağıdaki gibi güncellenir:

$$V_{i,m}^{(t+1)} = w \cdot V_{i,m}^{(t)} + c_1 \cdot rand \cdot (Pbest_{i,m} - x_{i,m}^{(t)}) + c_2 \cdot rand \cdot (gbest_i - x_{i,m}^{(t)}) \quad (3.5)$$

Parçacığın yeni konumu (3.6) ile ifade edilir:

$$x_{i,m}^{(t+1)} = x_{i,m}^{(t)} + V_{i,m}^{(t+1)} \quad (3.6)$$

PSO'nun akış diyagramı Şekil 3.4'de gösterilmektedir.



Şekil 3.4 PSO'nun Akış Diyagramı

### 3.4. Diferansiyel Arama Algoritması (DSA)

Diferansiyel Arama Algoritması (DSA), gerçek değerli optimizasyon problemlerinin çözümünde başarılı bir metasezgisel metot olup, Çivicioğlu [51] tarafından tanıtılmıştır. DSA; kuşlar, kelebekler, karıncalar, balinalar gibi süperorganizmaların besin araması, arama sürecinde yıl içinde değişen iklim şartlarına bağlı olarak göç etmesinden esinlenerek geliştirilmiştir. Göç sürecinde, birçok türün birlikte yaşamasıyla süperorganizma meydana gelir. DSA, literatürdeki algoritmaların birçoğundan daha gelişmiş bir algoritma olup, birçok problemin çözümünde başarılı olduğu gösterilmiştir. DSA'nın temel yapısı, popülasyon tabanlıdır. DSA, bir ekosistemdeki organizmaların besin kaynaklarını arama davranışları baz alınarak ve modellenerek geliştirilmiştir. Bir popülasyondaki organizmaların, besin arama hareketleri ve bu besin arama sürecindeki göç davranışları, Brownian-Walk hareketi kullanılarak modellenir. Süperorganizma, çözülmesi gereken problem için en uygun çözümü veren bireyleri oluşturur. Süperorganizma, besin kaynağına en kısa ve en hızlı biçimde yaklaşırken Brownian-Walk hareketine göre ilerler. DSA'da bir popülasyon rastgele bir çözümü oluşturur ve bu yapay organizmaların göç hareketine göre modellenir. Süperorganizma, verilen problemde global minimuma doğru göç eder. Bu göç sırasında, rastgele seçilen geçici pozisyonların uygun olup olmadığı test edilir. Bu test sırasında, bir noktanın uygun olduğu tespit edilirse, bu tespiti yapan süperorganizmanın ilgili üyeleri o noktaya yerleşir ve göç sürecine bu noktadan devam eder.

Başlangıç pozisyonu için, yapay organizmanın üyeleri aşağıdaki gibi belirlenir:

$$x_{i,j} = \kappa \times (up_j - low_j) + low_j \mid \kappa \sim U(0,1) \quad (3.7)$$



---

### Pseudo-Code of Differential Search Algorithm

---

```

Input: ObjFun, SizeOfColony, dim, p1, p2, low, up, and maxcycle
Output: globalminimum, globalminimizer
//please see Matlab for 'ones', 'rand', 'randg', 'randi', 'eval' and 'randperm'
1 function algo_ds(SizeOfColony,dim,P1,P2,low,up,maxcycle)
  //INITIALIZATION
2 globalminimum=inf
3 if numel(low)==1 then
4     low=low*ones(1,dim)
5     up=up*ones(1,dim)
6 end
7 superorganism=genpop(SizeOf Colony,dim,low,up)
8 y=ObjFun(superorganism)
9 for epk form1 to maxcycle do
  //SELECTION-I
10 donor=superorganism(randperm(SizeOfColony),:)
11 scale=(rand-.5)/rand
  //MUTATION
12 stopover=superorganism+scale.*(donor-superorganism)
  // p1=p2='0.30*rand' has been used in DSA
13 r=rand(SizeOfColony,dim)
14 if rand<rand then
15     if rand<p1 then
16         for i form 1 to SizeOfColony do
17             r(i,:)=r(i,:)<rand
18         end
19     else
20         for i form 1 to SizeOfColony do
21             d=randi(dim,1,[p2*rand])
22         end
23     end
24 else
25     for i form 1 to SizeOfColony do
26         d=randi(dim,1,[p2*rand])
27         for j form 1 to size(d,2) do
28             r(i,d(j))=0;
29         end
30     end
31 end
  r=r>0
  //RECOMBINATION
32 stopover(r)=superorganism(r)
33 stopover=update(stopover,low,up)
34 fit_s=ObjFun(stopover)
35 ind=fit_s<y
  //SELECTION-II
36 if numel(ind)>0 then
37     y(ind)=fit_s(ind)
38     superorganism(ind,:)=stopover(ind,:)
39 end
40 y_indexbest←min(y) | indexbest ∈ <1,2,3, ..., SizeOfColony>
41 if y_indexbest<globalminimum then
42     globalminimum:=y_indexbest
43     Globalminimizer:=superorganism(indexbest,:)
  //Export globalminimum and globalminimizer
44 end
45 end
  // Sub-Functions
46 function pop=genpop(a,b,low,up)
47 pop=ones(a,b)
48 for i form 1 to a do
49     for j form 1 to b do
50         pop(i,j)=rand*(up(j)-low(j))+low(j)
51     end
52 end
53 function p=update(p,low,up)
54 [SizeOfColony,dim]=size(p)
55 for i form 1 to SizeOfColony do
56     for j form 1 to dim do
57         if p(i,j)<low(j) then
58             p(i,j)=rand*(up(j)-low(j))+low(j)
59         end
60         if p(i,j)>up(j) then
61             p(i,j)=rand*(up(j)-low(j))+low(j)
62         end
63     end
64 end

```

Şekil 3.5. DSA'nın Pseudo Kodu [51]

### 3.5. Guguk Kuşu Arama Algoritması

Kuşların, yerleşim tarzı ve üreme alışkanlıklarına dayanan sezgisel bir algoritma olan Guguk Kuşu Arama Algoritması (CSA) Yang tarafından 2009’de tanıtılmıştır [78]. Guguk kuşları, güzel seslerinin yanı sıra yaşam şekilleri ile optimizasyon problemlerinin çözümünde ilham kaynağı olmuştur. Guguk kuşu, bir başka kuşun yuvasını gözetler. Yuva sahibi kuş uzaklaştığı zaman yuvaya gelerek kendi yumurtasını yuvaya bırakır. Böyle bir durumda diğer ev sahibi kuş yuvaya giren kuşla çatışma haline girebilir veya ev sahibi kuş yumurtanın kendine ait olmadığını anladığı durumda kendine ait olmayan yumurtayı yuvadan atar ya da ikinci bir durum yuvayı terk edip başka bir yuva kurar. Bazı guguk kuşu türleri renk taklidi ve yumurta taklidi yaparak üretkenlik olasılıklarını yükseltirler. Guguk kuşlarından bazıları yuva sahibi kuşun yeni yumurtladığı yuvayı seçerek hayatta kalma olasılığını artırır. Guguk kuşu diğer kuşlara göre yumurtadan daha önce çıkar ve gözleri göremeyen guguk kuşu ilk iş olarak diğer kuş yumurtalarını yuvadan atar böylelikle yuva sahibi kuş tarafından paylaşılan yiyeceklerin kendine düşen miktarını artırır [78].

CSA’nun kuralları aşağıdaki gibidir:

- Her bir guguk kuşu bir kerede bir yumurta yumurtlayabilir ve rastgele seçilmiş yuvaya yumurtasını bırakır.
- En yüksek kaliteli yumurtanın olduğu yuva nesli gelecek kuşaklara taşır.
- Yuva sayısı sabittir ve guguk kuşu yumurtasının yuva sahibi kuş tarafından fark edilme olasılığı  $p_a [0 \ 1]$ ’dir.

Sezgisel optimizasyon algoritmalarında olduğu gibi başlangıç guguk kuş popülasyonu rastgele bir şekilde seçilir.

CSA diğer sezgisel algoritmalar gibi popülasyon tabanlı bir algoritmadır. CSA başlangıç popülasyonunun oluşturulmasıyla başlar. Guguk kuşları kendi yumurtalarını ev sahibi kuşun yuvasına bırakırlar. Bu yumurtalar ev sahibi kuşun yumurtasına çok benzer. Böylelikle bu yumurtaların hayatta kalma olasılığı yükselir. Guguk kuşu yumurtaların hayatta kalma olasılığını artırmak için en iyi yuvaları arar. Hayatta kalan yumurtalar o alanın yumurta bırakmaya olan uygunluğu diğer bir deyişle problem uzayında çözümün uygunluğunu verir. Hayatta kalma oranı yüksek yuvalar veya

bölgeler guguk kuşlarının daha çok tercih ettiği ve yeni nesillerin devam etmesi için en uygun yerler olarak diğer guguk kuşlarına aktarılır. Gelişen yumurtalar yeni nesilleri oluşturur. Bu nesillerin kendine ait habitatları vardır. Yeni nesil guguk kuşları en verimli yani hayatta kalma olasılığı en yüksek olan yerlerin yakınlarında toplanırlar. CSA'da her yeni çevrimde bu verimli yerler belirlenir ve o bölgelerde toplanma meydana gelir. Böylelikle CSA belirli bir çözüm uzayında problemin en uygun değerini bulur ve en iyi değere yakınsar.

### 3.5.1. Levy Uçuşu

Birçok canlı değişik hareket kabiliyetlerini kullanarak uçarak arama işlemini yapar. Bu canlılar arasında sirketineklere Levy uçuşu yaparak buldukları alanda keşif amaçlı uçarlar. Bu bir tür rastgele hareket kabiliyetidir. Levy uçuşu guguk kuşu algoritmasında arama kabiliyetlerini güçlendirmek için kullanılmıştır [78].

---

#### **begin**

objective function  $f(x)$ ,  $x=(x_1, \dots, x_d)^T$

generate initial population of

$n$  host nests  $x_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ )

**while** ( $t < \text{MaxGeneration}$ ) or (stop criterion)

Get a cuckoo randomly by Lévy flight

Evaluate its quality  $F_i$

Choose a nest among  $n$  (say,  $j$ ) randomly

**if** ( $F_i > F_j$ ),

Replace  $j$  by the new solution;

**end**

A fraction ( $p_a$ ) of worse nests are abandoned and new ones are built;

Keep the best solutions

(or nests with quality solutions);

Rank the solutions and find the current best

**end while**

Postprocess results and visualization

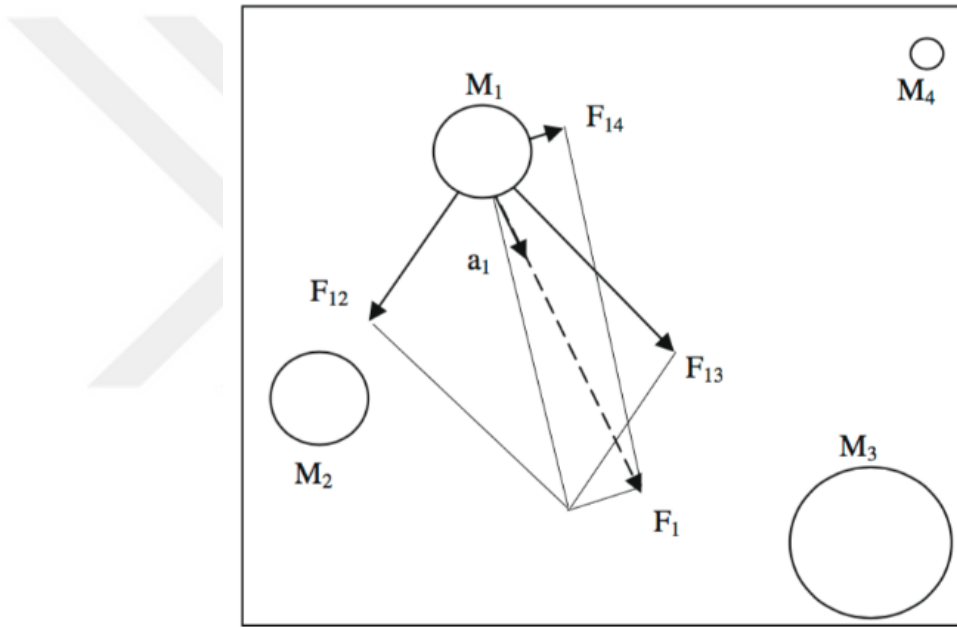
**end**

---

Şekil 3.6. Guguk Kuşu Arama Algoritması pseudo kodu

### 3.6. Yerçekimi Arama Algoritması (GSA)

Yerçekimi kanununa göre kütleye sahip her bir cisim birbirine doğru ivmelenirler. Newton yerçekimi kanununa göre belli bir kütleye sahip cisimler birbirini belli bir güçle çekerler. Bu güce yerçekimi gücü denir. GSA'da her bir nesne ajan olarak düşünülür ve bu ajanların performansı kütleleriyle ölçülür. Bütün cisimler birbirlerini yerçekimi kuvvetiyle çekerler. Bu kuvvet bu objelerde genel bir harekete sebep olur ve bu hareket daha büyük kütleli nesnelere doğru gerçekleşir. Bu yerçekimi kuvveti ile kütlelerin haberleşmesi olarak düşünülebilir [79].



Şekil 3. 7 GSA'da Kütlelerin Birbirine Etkisi

Başlangıçta  $N$  ajanlı (kütleli) ve her bir ajanın konumunu veren bir küme tanımlanır:

$$i=1,2,\dots,N$$

$$g_i=(g_i^1,\dots,g_i^d,\dots,g_i^n) \quad (3.8)$$

$g_i^d$   $i$ 'inci ajanın  $d$  boyutundaki konumunu gösterir.

Belirli bir  $t$  anında  $i$  kütlesi tarafından  $j$  kütesine etki eden kuvvet aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$F_{ij}^d(t) = G(t) \frac{M_{pi}(t) \cdot M_{aj}(t)}{R_{ij}(t) + \varepsilon} \left( g_j^d(t) - g_i^d(t) \right) \quad (3.9)$$

$M_{aj}$ ,  $j$  ajanının aktif yerçekimsel kütesini,  $M_{pi}$ ,  $i$  ajanının pasif yerçekimsel kütesini,  $G(t)$  yerçekimi sabitini,  $\varepsilon$  küçük bir sabiti ve  $R_{ij}(t)$   $i$  ajanı ile  $j$  ajanı arasındaki dik uzaklığı gösterir.

$$R_{ij}(t) = \|X_i(t) - X_j(t)\|_2 \quad (3.10)$$

$i$ 'inci ajana diğer ajanlar tarafından rastgele ağırlıklandırılmış  $d$  boyutunda uygulanan toplam güç aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$F_i^d(t) = \sum_{j=1, j \neq i}^N \text{rand}_j F_{ij}^d(t) \quad (3.11)$$

Böylelikle ajan  $i$ 'nin  $t$  zamanındaki ivmesi aşağıdaki gibi bulunur:

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_{ii}(t)} \quad (3.12)$$

$M_{ii}(t)$   $i$ 'inci ajanın eylemsizlik kütesidir.

İvmenin elde edilmesiyle yeni hız, ivmeyle o anki hızın toplanmasıyla belirlenir:

$$v_i^d(t+1) = \text{rand}_i \cdot v_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (3.13)$$

$$g_i^d(t+1) = g_i^d(t) + v_i^d(t+1) \quad (3.14)$$

Yerçekimi ve eylemsizlik kütleler, uygunluk değerlendirmesi ile hesaplanır. Daha büyük kütleli nesnelere veya ajanlar daha etkilidir. Böylece daha büyük kütleli ajan daha çok çekim kuvvetine sahiptir ve daha yavaş hareket eder. Yerçekimini ve eylemsizlik kütleleri aşağıdaki gibi bulunur:

$$m_i(t) = \frac{\text{fit}_i(t) - \text{worst}(t)}{\text{best}(t) - \text{worst}(t)} \quad (3.15)$$

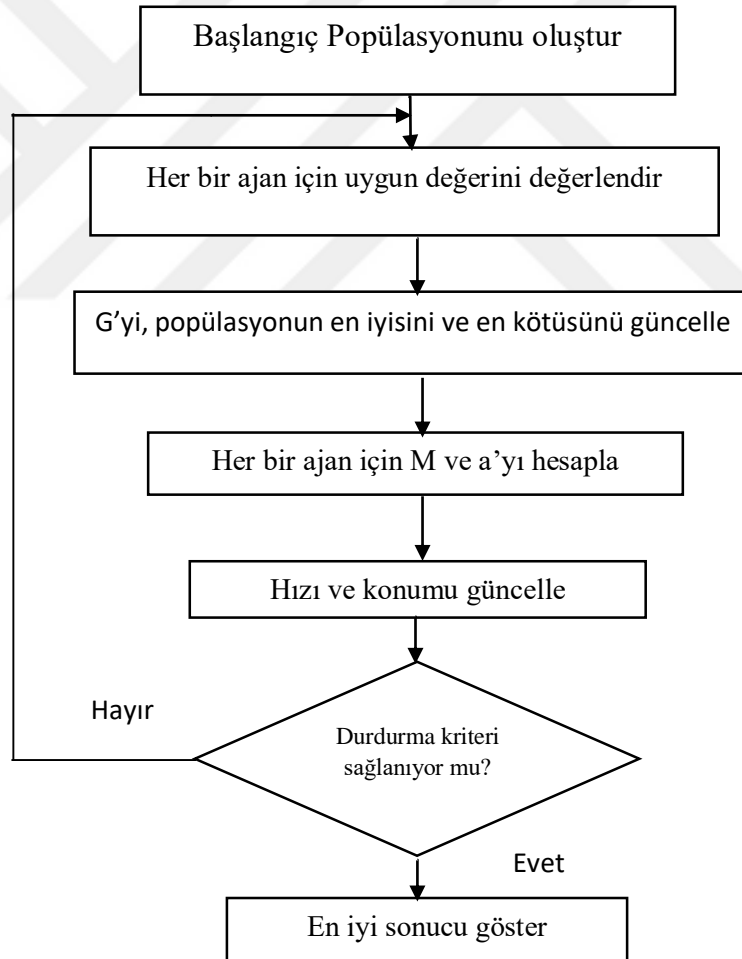
$$M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^N m_j(t)} \quad (3.16)$$

$fit_i(t)$   $i$ 'inci ajanın  $t$  anındaki uygunluk değerini gösterir.

$best(t)$  ve  $worst(t)$   $t$  anındaki en yüksek ve düşük değerleri gösterir ve aşağıdaki gibi bulunur:

$$best(t) = \min fit_j(t), \quad j \in \{1, \dots, N\} \quad (3.17)$$

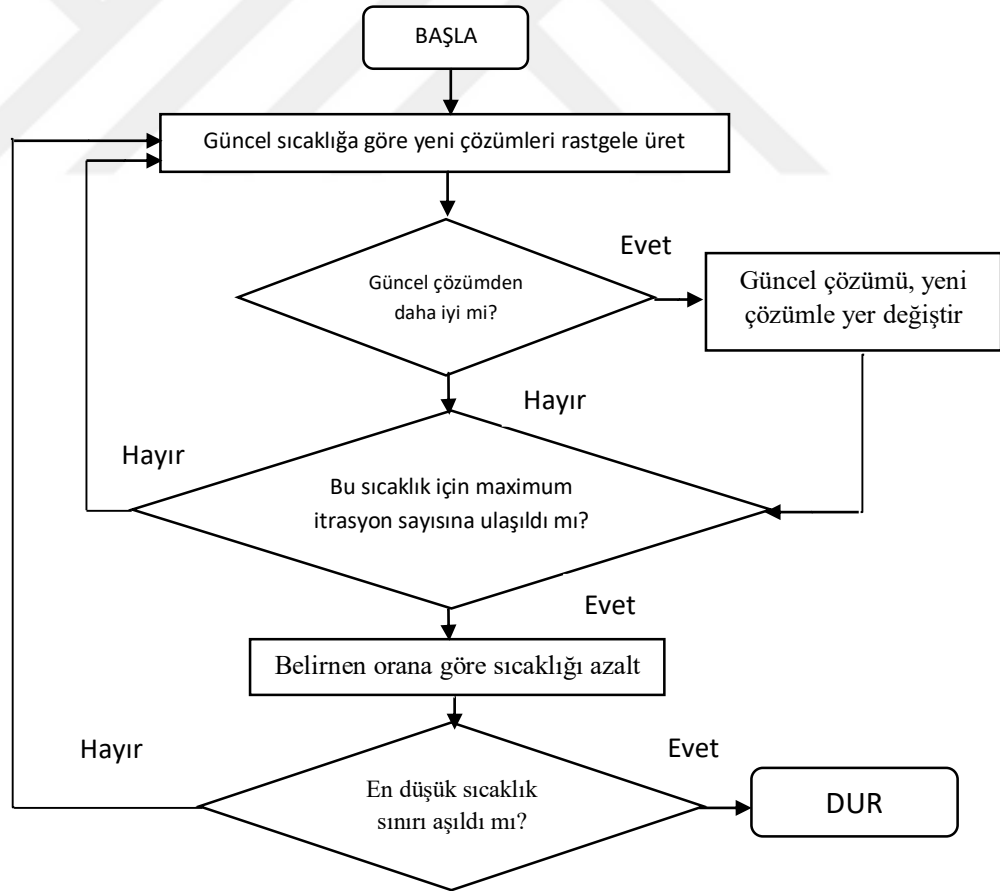
$$worst(t) = \max fit_j(t), \quad j \in \{1, \dots, N\} \quad (3.18)$$



Şekil 3. 8. GSA'nın Akış Diyagramı

### 3.7. Benzetimli Tavlama Algoritması (SA)

Benzetimli tavlama algoritması, stokastik bir yöntem olup malzemelerin tavllanmasıyla daha kullanılabilir duruma getirilmesi işleminden esinlenilmiştir. Kirkpatrick ve arkadaşları tarafından 1983'te geliştirilmiştir [80]. Malzeme belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılıp sıcaklığı artırılır. Daha sonra düzenli olarak soğutularak tavlama işlemi yapılır. Benzetimli tavlama algoritması diğer algoritmalar gibi iteratif bir algoritmadır. Her bir çevrimde, bulunan çözümün komşuları arasından çok sayıda çözüm bulunur. Bulunan bu çözümler belirli bir uygunluk fonksiyonundan geçirilerek sonuçlara dahil edilir veya dışarda bırakılır. Her bir çevrimden sonra sıcaklık önceden belirlenen bir fonksiyona göre düşürülür. T sıcaklık değeri sıfırın altına düştüğü durumda veya maksimum iterasyon sayısına ulaşıldığı durumda durdurulur. Tavlama benzetimi parametreleri başlangıç sıcaklığı, her bir çevrimde oluşturacak komşu çözüm sayısı, sıcaklık azaltma fonksiyonu ve durdurma kriteridir.



Şekil 3. 9. Benzetimli Tavlama Algoritmasının Akış Diyagramı

## 4. BÖLÜM

### ROTA OPTİMİZASYONU VE MODELLEME

İHA'nın uçuş öncesi rota planlaması ve optimizasyonu; güvenlik, yakıt tasarrufu ve görevin başarısı için önemli bir aşamadır. Bu tez çalışmasında İHA görev uçuşuna başlamadan önce hedeflerin koordinatlarının bilindiği ve bu hedeflerin sabit olduğu kabul edilmektedir. Hedef bölgeleri noktasal olarak gösterilir ve bu noktalar askeri veya ticari olarak ziyaret edilmesi gereken önemli noktalar olarak düşünülmüştür. Bu noktaların sadece bir kere ziyaret edilmesi gerekmektedir. Uçuş bölgesi 2 boyutlu ve 3 boyutlu olarak tasarlanmıştır. Hedefleri dolaşırken uçuş bölgesine kaçınılması gereken tehlikeli bölgeler de eklenmiştir. Bu tehlikeli bölgeler 2 boyutta yuvarlak daire olarak 3 boyutta ise silindir şeklinde tasarlanmıştır. Bu bölgeler uçuş için elverişli olmayan, uçuş güvenliğini tehlikeye atabilecek bölgeler, hava savunma füzelerinin etkili menzillerinin olduğu bölgeler veya radarların olduğu bölgeler olarak düşünülebilir. İHA'nın tehlikeli bölgeleri ihlal etmeden hedef noktalarını en kısa mesafeden en az yakıtla ziyaret edip başlangıç konumuna dönmesi bu tezin ana amacını oluşturmaktadır. En az yakıt tüketimiyle görevin tamamlanması bir optimizasyon problemi gibi düşünülebilir. Bu optimizasyon probleminde birden çok amaç fonksiyonu olup bu amaç fonksiyonları mesafe, irtifa, tehlikeli bölge ve rüzgâr olarak belirlenmiştir. Bu dört amaç fonksiyonu için dört fonksiyon tanımlanır ve bu dört fonksiyonu minimize edecek değerler aranır [1-3], [23], [32].

#### Modelleme Kabulleri

- Rüzgârın yönü ve şiddeti rastgele olarak üretilir.
- İHA'nın hava hızı sabit kabul edilir.



- Tehlikeli Bölgeler yarım küre olarak tanımlanır.
- Başlangıç ve hedef noktaları noktasal olarak tanımlanır.
- İHA'nın görev uçuşu için 34.8626389 doğu boylamı ile 36.2468056 doğu boylamı, 37.9506944 kuzey enlemi ile 39.0215278 kuzey enlemi arasındaki bölge kullanılmıştır.

Rota optimizasyonunda kullanılan sekiz senaryo (F1-F8) için, İHA'nın görev başlangıç koordinatları ile hedef koordinatları Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Rota optimizasyonunda kullanılan senaryoların başlangıç ve hedef enlem ve boylamları

<i>Senaryo</i>	<i>X<sub>Başlangıç</sub></i>	<i>Y<sub>Başlangıç</sub></i>	<i>X<sub>Hedef</sub></i>	<i>Y<sub>Hedef</sub></i>
<b>F1</b>	35.93981140	38.271527644	34.95240297	39.01597188
<b>F2</b>	35.00626190	38.965971894	35.93981140	38.18819433
<b>F3</b>	34.97035615	38.132638794	36.11934015	38.88263858
<b>F4</b>	34,93445040	38.132638794	36.11934015	38.88263858
<b>F5</b>	36.19115165	37.993749944	35.40122515	38.93819412
<b>F6</b>	34.97035615	38.327083184	35.93981140	38.74374973
<b>F7</b>	36.19115165	38.327083184	34.89854465	38.74374973
<b>F8</b>	35.50894240	38.160416564	35.40122515	38.93819412

#### 4.1. Mesafe Amaç Fonksiyonu

Rota optimizasyonu için kullanılan amaç fonksiyonlarından ilki mesafe amaç fonksiyonudur. Bir noktadan diğer bir noktaya yer değiştirmek veya ulaşmak için en kısa yol tercih edilmelidir. En kısa mesafe havacılıkta kuş uçuşu uzaklığı olarak adlandırılabilir. En kısa mesafe bir aracın görevini en az yakıt tüketerek başarıyla tamamlaması için önemli ölçütlerden bir tanesidir. Bununla birlikte bir aracın her zaman en kısa mesafeden bitiş noktasına varması diğer seçeneklere göre maliyetli olabilmektedir. Maliyetin artmasına sebep olarak birçok etken sayılabilir. Örneğin en kısa mesafe olan kuş uçuşu uzaklık tercih edildiğinde dağlar gibi yeryüzü şekilleri maliyeti artırabilir veya İHA'nın görev sahasında uçuşa yasak bölgelerin oluşu maliyetleri değiştirebilir.

İHA'nın bir noktadan diğer bir noktaya en kısa mesafeden yer değiştirmek veya ulaşması için iki nokta arasındaki mesafe hesaplanır ve maliyet fonksiyonuna eklenir. Denklem (4.1)'de İHA'nın  $i$  noktasından  $j$  noktasına ulaşırken kat ettiği mesafe ifade edilmiştir.

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2} \quad (4.1)$$

$$M_m = d_{ij} \quad (4.2)$$

## 4.2. Rüzgâr Amaç Fonksiyonu

Rüzgâr, yeryüzündeki hava hareketleri olarak adlandırılmaktadır. Rüzgârlar çoğunlukla hızlarına, etki eden kuvvetlerine, oluşum bölgelerine ve etkilerine göre sınıflandırılabilirler. Meteorolojide rüzgârlar daha çok kuvveti, yönü ve tipine göre sınıflandırılır. Rüzgârların günlük hayatta ve taşımacılık alanında olumlu veya olumsuz birçok etkisi bulunmaktadır. Rüzgâr, aynı zamanda hava araçlarını da etkileyen önemli bir çevresel etkidir. Rüzgâr, hava araçlarında kaldırma kuvvetini artırması, yakıt tüketimini artırması veya azaltmasıyla önemlidir. Ayrıca havacılıkta uçakların güvenliğini tehlikeye düşüren durumlardan bir tanesi ‘rüzgar kesmesi’ dir.

Rüzgâr, uçağın baş kısmından estiği durumda uçağın daha çok yakıt tüketmesine sebep olmaktadır [81]. Rota planlamasında, rüzgârı kuyruktan alan rotalar karşıdan alan rotalara tercih edilir. Rota optimizasyonu yapılırken başlangıç noktası ile hedef nokta arasında üç tane ara düğüm belirlenir. Belirlenen üç ara düğümün araları yüz küçük yol parçasına bölünür ve bu yüz yol parçası  $n$  ile gösterilir. Denklem (4.3-4.4)’te  $x_{u,n}$  ve  $y_{u,n}$  İHA’nın konumunu  $x$  ve  $y$  eksenine göre bileşenini ve  $x_{u,n+1}$ ,  $y_{u,n+1}$  İHA’nın bir sonraki konumunun  $x$ ,  $y$  bileşenini göstermektedir. Bu İHA konumları  $d_{ux}$ ,  $d_{uy}$  yer değiştirmelerinin bulunması için kullanılır. Denklem (4.5-4.6)’da rüzgâr vektörünün başlangıç noktasının  $x$  ve  $y$  eksenine göre bileşeni  $x_{r,baslangic}$  ve  $y_{r,baslangic}$  gösterilmiştir. Rüzgâr vektörünün bitiş noktasının  $x$  ve  $y$  eksenine göre bileşeni  $x_{r,bitis}$ ,  $y_{r,bitis}$  şekilde gösterilmiştir. Uçağın hızını pozitif yönde veya negatif yönde etkileyen rüzgârın  $x$  eksenindeki bileşeni  $p_{rx}$  ve  $y$  eksenindeki bileşeni  $p_{ry}$  olarak tanımlanmıştır. Denklem (4.7)’deki  $D_{ru}$ , rüzgâr vektörünün ve İHA’nın yer değiştirme vektörünün  $x$ ,  $y$  yönündeki başlangıçtan bitişe kadar değişimlerinin çarpımını gösterir. Denklem (4.8)’de  $V_{ru}$  İHA’nın kat ettiği yol boyunca rüzgârın hızını gösterir ve  $d_{ij}$ ,  $i$  noktasından  $j$  noktasına uzaklıktır. Denklem (4.9)’da  $V_u$  İHA’nın rüzgârın pozitif veya negatif yöndeki

etkisi eklenmiş yer hızını gösterir ve  $V_a$  , İHA'nın hava hızını göstermektedir. Denklem (4.10)'da rüzgâr maliyet fonksiyonu tanımlanmıştır [82].

$$n = 1,2,3, \dots, 100$$

$$d_{ux} = x_{u,n} - x_{u,n+1} \quad (4.3)$$

$$d_{uy} = y_{u,n} - y_{u,n+1} \quad (4.4)$$

$$p_{rx} = x_{r,baslangic} - x_{r,bitis} \quad (4.5)$$

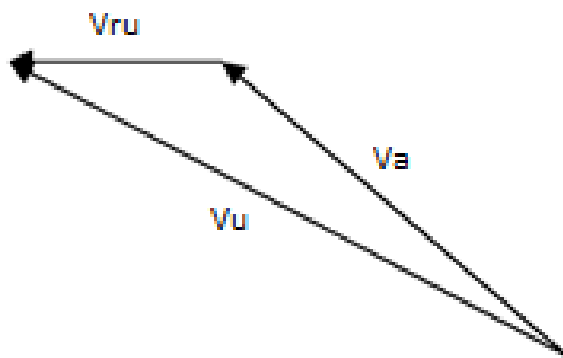
$$p_{ry} = y_{r,baslangic} - y_{r,bitis} \quad (4.6)$$

$$D_{ru} = d_{ux} \cdot p_{rx} + d_{uy} \cdot p_{ry} \quad (4.7)$$

$$V_{ru} = \frac{D_{ru}}{d_{ij}} \quad (4.8)$$

$$V_u = V_a + V_{ru} \quad (4.9)$$

$$M_r = \frac{1}{V_u} \quad (4.10)$$



Şekil 4.1. Rüzgârın Uçağın Hızına Vektörel Etkisi

#### 4.2.1. Rüzgâr Modeli

Rüzgâr çok değişken bir büyüklük olup tanımlanması oldukça zordur. Bu tezde rüzgâr şiddeti ve yönü olan bir vektörel büyük olarak tanımlanmıştır. Rüzgarın yönü ve şiddeti aşağıdaki denklemler ile modellenir.

Rüzgâr vektörünün  $x$  ve  $y$  yönlerindeki şiddeti modellenirken, normal standart dağılımlı rastgele olarak bir matris üretilir ve bu üretilen matrisin Fourier dönüşümü ile ara değerleri interpolasyon yapılarak belirlenir. Üretilen  $x$  yönündeki normal dağılımlı rastgele matris ile  $y$  yönündeki normal dağılımlı rastgele matrisin transpozu alınarak çapılır ve  $I$  kare matrisi elde edilir.  $I$  matrisinin 2-boyutlu ara değerleri bulunarak rüzgarın  $x$  yönündeki şiddetini gösteren  $R_x$  matrisi elde edilir. Rüzgâr vektörel bir büyüklük olup,  $x$  yönündeki rüzgârın vektörel büyüklüğü  $R_x$  matrisi ile gösterilir. Aynı şekilde  $y$  yönündeki rüzgârın büyüklüğü, vektörel olarak  $R_y$  ile gösterilir.  $R_x$  ve  $R_y$ , 3855x3855 boyutunda matrisler olup İHA'ya  $x$  ve  $y$  yönünde etki eden rüzgârın şiddetini ve yönünü belirler. İHA'nın  $x$  ve  $y$  yönündeki konumları olan  $x_{u,n}$  ve  $y_{u,n}$  noktalarındaki rüzgârın şiddeti  $I_{xn}, I_{yn}$  ile gösterilir, rüzgarın  $x$  ve  $y$  yönündeki şiddetini gösteren  $R_x$  ve  $R_y$  matrisi için ara değer bulma (interpolasyon) yöntemi kullanılarak bulunur. İHA'nın rotası boyunca rüzgârın  $x$  ve  $y$  yönündeki şiddeti  $I_x, I_y$ , Denklem (4.15) ve (4.16)'de kullanılarak İHA'nın hızına negatif veya pozitif yönde etki eden rüzgarın hızı bulunur.

$$r_x = randn(w, g) \quad (4.11)$$

$$r_{xi} = interpolation(tx, N) \quad (4.12)$$

$$r_y = randn(w, g) \quad (4.13)$$

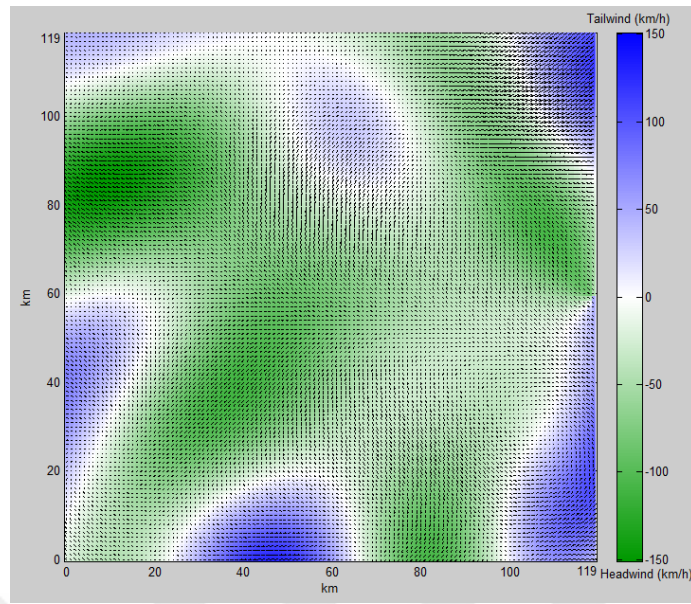
$$r_{yi} = interpolation(tx, N) \quad (4.14)$$

$$I_x = r_{xi} \cdot r_{yi}^T \quad (4.15)$$

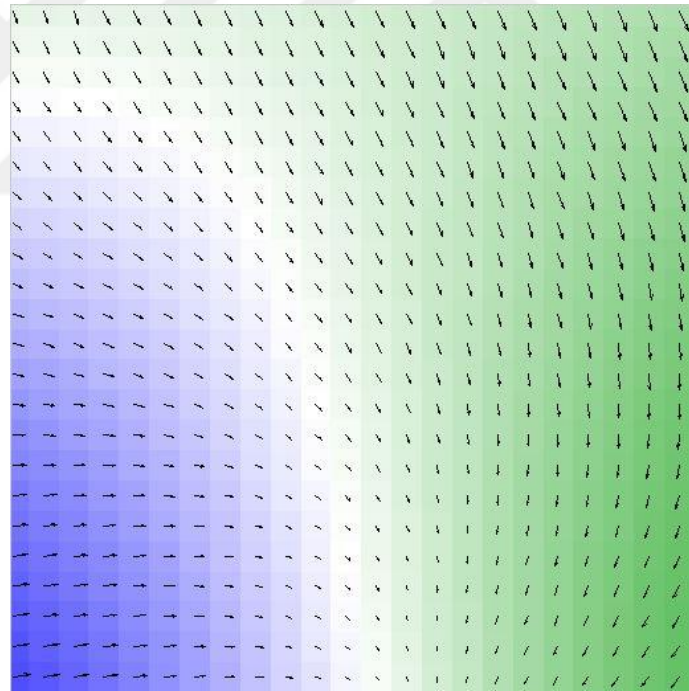
$$I_y = r_{xi} \cdot r_{yi}^T \quad (4.16)$$

$$R_x = interpolation(I) \quad (4.17)$$

$$R_y = interpolation(I) \quad (4.18)$$



Şekil 4.2. Rüzgâr modeli



Şekil 4.3. Rüzgâr modelinin için vektörlerin yönü ve şiddeti

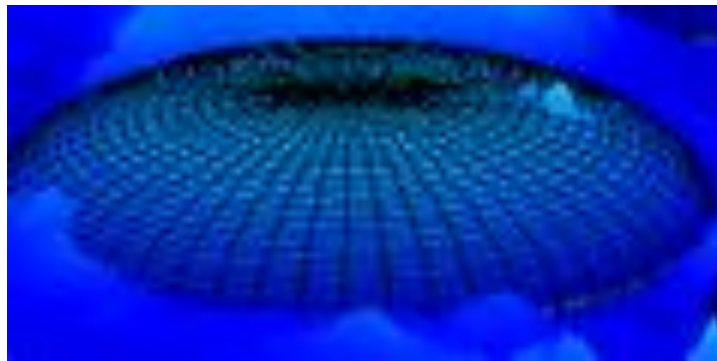
### 4.3. Tehlikeli Bölge Amaç Fonksiyonu

Havacılıkta uçakların üzerinden geçmesinin tehlikeli olduğu veya çok fazla yakın uçuşun istenmediği özel bölgeler olabilmektedir. Bu bölgeler, radarların kapsama alanına giren bölgeler veya uçaklar için tehdit oluşturan hava savunma sistemlerinin olduğu tehlikeli bölgeler olarak ifade edilir. Bu amaç fonksiyonuyla İHA'nın tehlikeli

alanlara uğramadan uçuş güvenliğinin artırılması amaçlanmıştır. İki boyutlu ve birden çok tehlikeli bölgenin olduğu bir alanda İHA için rota planlaması yapılan çalışmalar mevcuttur [83]. İHA'nın tehlikeli bölgelerden kaçınarak rotasının bulunması için metasezgisel yöntemler de kullanılır [84]. Bu tez çalışmasında tehlikeli bölgeler yarım küre ve silindirik olarak modellenmiştir. Her yarım küre ve silindir kaçınılması gereken bir tehdit gibi düşünülmüş, uçaklar için tehdit oluşturan bu bölgelerin uçuş öncesinde bilindiği ve sabit olduğu kabul edilmiştir. İHA'nın tehlikeli bölgeleri ihlal ettiği durumlar Denklem (4.19) ile saptanır. Denklem (4.19)'da,  $u_x, u_y$  İHA'nın konumunu,  $x_r, y_r$  ise tehlike bölgesinin merkezinin konumunu göstermektedir.  $d_u$  İHA ile tehlikeli bölgenin merkezi arasındaki uzaklıktır. Denklem (4.20)'de  $r$  tehlikeli bölgenin yarıçapını ifade etmektedir.

$$d_u = \sqrt{(u_x - x_r)^2 + (u_y - y_r)^2 + (u_z - z_r)^2} \quad (4.19)$$

$$M_t(d_u) = \begin{cases} 1 - \frac{d_u}{r}, & d_u < r \\ 0, & d_u \geq r \end{cases} \quad (4.20)$$



Şekil 4.4. Radar Bölgesi Modeli

#### 4.4. Rota Optimizasyonu için Amaç Fonksiyonu

Bir problemin optimizasyonu için problemin çözümünü veren amaç fonksiyonu tanımlanmalıdır. Amaç fonksiyonunun minimize veya maksimize edilmesi o problemin koşullarına uygun bir biçimde yapılır. Bir amaç fonksiyonu, tek bir fonksiyondan oluşabileceği gibi birden çok fonksiyondan da oluşabilir. Birden çok amaç fonksiyonundan oluşan bir amaç fonksiyonunda her bir fonksiyon toplanır. Denklem

(4.21)'de tek bir amaç fonksiyonu elde edilebilmesi için her bir amaç fonksiyonunun toplanması gösterilmiştir. Denklem (4.22)'de ise bu tez çalışmasında kullanılan amaç fonksiyonu verilmiştir.

$$\sum_{i=1}^N \omega_i M_i \quad (4.21)$$

Amaç fonksiyonu sayısı  $i = 1, 2, 3, \dots, N$

$i$ . amaç fonksiyonu  $M_i$

$i$ . amaç fonksiyonunun ağırlık katsayısı  $\omega_i$

$$M_{Toplam} = \omega_1 \cdot M_m + \omega_2 \cdot M_r + \omega_3 \cdot M_{t1} + \omega_4 \cdot M_{t2} \quad (4.22)$$

Mesafe amaç fonksiyonu :  $M_m$

Rüzgâr amaç fonksiyonu :  $M_r$

Tehlikeli Bölge amaç fonksiyonu :  $M_{t1}$

Radar amaç fonksiyonu :  $M_{t2}$

Mesafe amaç fonksiyonu ağırlık katsayısı :  $\omega_1$

Rüzgâr amaç fonksiyonu ağırlık katsayısı :  $\omega_2$

Tehlikeli bölge amaç fonksiyonu ağırlık katsayısı :  $\omega_3$

Radar amaç fonksiyonu ağırlık katsayısı :  $\omega_4$

Bu tez çalışmasında, rota optimizasyonu yapılarak İHA'nın yakıt tüketiminin minimizasyonu amaçlanmıştır. İHA'nın rota optimizasyonu, uçuş rotasının uzunluğu ve bu uçuş rotasının rüzgâr yönüne göre rüzgârı arkadan alan rotaların tercih edilerek yakıt tasarrufu yapılması olarak ifade edilebilir. Rota optimizasyonunda üç boyutlu gerçek yükselti verileri kullanılarak İHA'nın güvenliğini tehdit eden yer şekilleri gibi çevresel koşullar da dikkate alınır. Dağ, tepe gibi yer şekilleri, İHA'ların rotasının belirlenmesinde önemli bir sorun olabilmektedir. İHA'lar, her ne kadar boyutları küçük olsa da yeryüzüne çok yakın uçuşu istenmeyen durumlar olabilir. Bu tezde, İHA güvenliği için yer şekillerine dikkat edilerek en kısa ve en az yakıt tüketen rotanın bulunması için optimizasyon algoritmaları kullanılmıştır.

NASA Global Data Explorer programı yardımıyla sayısal yükseklik haritaları (DEM) kullanılarak gerçek yükseklik haritaları üzerinden rota planlaması yapılmıştır. Sayısal yükseklik verilerinin seçimi 34.8626389-37.2468056 doğu meridyenleri ile 37.9506944-39.0215278 kuzey paralelleri arasındaki Kayseri ili civarı seçilerek bu bölge simülasyon için kullanılmıştır. Bu uçuş bölgesi 3855x3855 boyutunda bir matristen meydana gelip matrisin her bir değeri sayısal olarak o noktanın yüksekliğini göstermektedir. Bu bölgedeki minimum yükseklik 831 metre, maksimum yükseklik 3916 metredir. 3916 metre Kayseri bölgesindeki Erciyes dağının yüksekliğidir. Rota optimizasyonu yapılacak olan bölgenin 3855x3855 noktaya ayrılması sebebiyle yakıt tasarrufu için kullanılan algoritmaların  $x$ ,  $y$  ve  $z$  noktaları en yüksek 3855 değerini alabilmektedir.

Tablo 4.2. Çok amaçlı optimizasyon için kullanılan ağırlık kümeleri

<b>Ağırlık Kümesi Numarası</b>	<b>Mesafe A.K. <math>(\omega_1)M_m</math></b>	<b>İrtifa A.K. <math>(\omega_2)M_r</math></b>	<b>Rüzgâr A.K. <math>(\omega_3)M_{t1}</math></b>	<b>Tehlikeli Bölge A.K. <math>(\omega_4)M_{t2}</math></b>
<b>1.</b>	0.3	0.3	0.1	0.3
<b>2.</b>	0.3	0.4	0.1	0.2
<b>3.</b>	0.2	0.2	0.5	0.1
<b>4.</b>	0.5	0.2	0.1	0.2

Değişik ağırlık çarpanları İHA'nın rota çıkarımını doğrudan veya dolaylı olarak etkiler. Tablo 4.2'de görüldüğü gibi 1 numaralı ağırlık kümesinde mesafe, tehlikeli bölge ve irtifa amaç fonksiyonları eşit ağırlıklı alınmış, en az ağırlık değeri ise rüzgâr amaç fonksiyonunun olacak şekilde seçilmiştir. 2 numaralı ağırlık kümesinde irtifa amaç fonksiyonuna en yüksek ağırlık verilmiş, ikinci en yüksek ağırlık mesafe amaç fonksiyonuna verilmiş, üçüncü en yüksek ağırlık tehlikeli bölge amaç fonksiyonuna verilmiş, en az ağırlık değeri ise rüzgâr amaç fonksiyonunun olacak şekilde seçilmiştir. 3 numaralı ağırlık kümesinde rüzgâr amaç fonksiyonuna en yüksek ağırlık verilmiş, mesafe ve irtifa amaç fonksiyonları eşit ağırlıklı alınmış, en az ağırlık değeri ise tehlikeli bölge amaç fonksiyonunun olacak şekilde seçilmiştir. 4 numaralı ağırlık kümesinde mesafe amaç fonksiyonuna en yüksek ağırlık verilmiş, irtifa ve tehlikeli bölge amaç fonksiyonları eşit ağırlıklı alınmış, en az ağırlık değeri ise rüzgâr amaç fonksiyonunun olacak şekilde seçilmiştir.



İnsansız Hava Aracının izleyeceği rota iki boyutlu ve üç boyutlu ortamda modellenerek DSA, CSA, PSO2011, SA, DE ve GSA optimizasyon algoritmaları kullanılarak optimize edilmiştir. Her bir algoritma 500, 1000 ve 1500 iterasyon için ayrı ayrı çalıştırılmıştır. İHA'nın rota optimizasyonu birbirinden farklı başlangıç ve hedef noktaları için ayrı ayrı planlanarak sekiz farklı senaryo elde edilmiştir. İHA için hazırlanan sekiz farklı senaryo F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7 ve F8 ile gösterilmektedir. İHA'nın rotası en az yakıt tüketecek şekilde optimize edilirken optimize edilen parametreler; mesafe, rüzgâr, tehlikeli bölgeler ve radar bölgeleridir. Bu parametreler kullanılarak amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. İHA'nın rotası belirlenirken bu amaç fonksiyonları ayrı ayrı ağırlık katsayıları ile çarpılmıştır. Ağırlık katsayılarının değeri, hangi amaç fonksiyonunun daha fazla öneme sahip olacağını belirlemiştir. Algoritmaların karşılaştırmalarını yapabilmek için her algoritmanın popülasyon büyüklükleri eşit ve 30 olarak belirlenmiştir. Fonksiyon değerlendirme sayısı, karşılaştırma için önemli bir kriter olduğundan üç farklı fonksiyon değerlendirme sayısı (450000, 900000 ve 1350000) belirlenerek algoritmalar bu fonksiyon değerlendirme sayılarına göre karşılaştırılmıştır. Senaryolar Kayseri bölgesi için üç boyutlu yer şekilleri modellenerek oluşturulmuştur. 34.8626389-37.2468056 doğu boylamları ile 37.9506944-39.0215278 kuzey enlemleri arasındaki bölge kullanılmıştır. Sonuçlar; sekiz farklı senaryo, üç farklı iterasyon ve dört farklı ağırlık katsayı kümesi kullanarak değerlendirilmiştir.

1 numaralı ağırlık kümesi için, 500 iterasyonda F3, F5 ve F8 senaryolarında DSA; F1, F2, F4, F6 ve F7 senaryolarında PSO2011 en iyi sonucu vermiştir. 1 numaralı ağırlık kümesi için 500 iterasyonda yapılan rota optimizasyonunda senaryoların çoğunluğunda PSO2011 başarılı olmuş ancak DSA, 1000 ve 1500 iterasyon için hem PSO2011 hem de CSA'ya karşı ayrı ayrı başarılı olmuştur. DSA ve PSO2011 algoritmalarının sonuçlarına en yakın CSA algoritmasıdır daha sonra DE'dir. Sonuçları en iyi değere en uzak çıkan GSA ve SA olmuştur. Elde edilen değerler Tablo 4.3'te sunulmuştur.

1 numaralı ağırlık kümesi için 1000 iterasyonda F3, F6 ve F8 senaryolarında DSA; F1, F2, ve F7 senaryolarında PSO2011; F4, F5 senaryoları için CSA en iyi sonucu vermiştir. Elde edilen değerler Tablo 4.4'te sunulmuştur.

1 numaralı ağırlık kümesi için 1500 iterasyonda F5, F6 senaryoları için DSA en iyi sonucu vermiş, F1, F2 ve F7 senaryoları için PSO2011 F3, F8 senaryolarında CSA en iyi sonucu vermiştir. F4 senaryosunda DSA ve CSA eşit sonuç vermiştir. Elde edilen değerler Tablo 4.5'te sunulmuştur.

Tablo 4.3. 1 numaralı ağırlık kümesi ( $w_1=0.3$   $w_2=0.3$   $w_3=0.1$   $w_4=0.3$ ) kullanıldığında 500 iterasyon için DSA, SA, PSO 2011, CSA, CA, DE, GSA algoritmaları ile rota maliyetleri

<i>SENARYO</i>	<i>DSA</i>	<i>SA</i>	<i>PSO2011</i>	<i>CSA</i>	<i>DE</i>	<i>GSA</i>
<i>F1</i>	0.3599	1.7700	0.3579	0.3694	0.3740	1.8432
<i>F2</i>	0.3488	1.8905	0.3460	0.3540	0.3913	2.6839
<i>F3</i>	0.3426	1.1173	0.3438	0.3457	0.3471	2.8990
<i>F4</i>	0.0420	0.8418	0.0415	0.0437	0.0439	2.4866
<i>F5</i>	0.2059	4.8864	0.2344	0.3277	2.8120	3.9764
<i>F6</i>	0.3456	1.5551	0.3441	0.3491	0.3600	2.8645
<i>F7</i>	0.0669	1.0772	0.0659	0.0713	0.1139	16.6241
<i>F8</i>	0.0490	0.8380	0.0498	0.0512	0.0539	0.6346

Tablo 4.4. 1 numaralı ağırlık kümesi ( $w_1=0.3$   $w_2=0.3$   $w_3=0.1$   $w_4=0.3$ ) kullanıldığında 1000 iterasyon için DSA, SA, PSO 2011, CSA, CA, DE, GSA algoritmaları ile rota maliyetleri

<i>SENARYO</i>	<i>DSA</i>	<i>SA</i>	<i>PSO2011</i>	<i>CSA</i>	<i>DE</i>	<i>GSA</i>
<i>F1</i>	0.3577	1.6143	0.3562	0.3610	0.3882	1.6390
<i>F2</i>	0.3465	1.8802	0.3459	0.3486	0.3860	2.3933
<i>F3</i>	0.3419	1.5453	0.3441	0.3422	0.3517	3.0074
<i>F4</i>	0.0407	0.4777	0.0418	0.0403	0.0479	2.6165
<i>F5</i>	0.2303	3.7521	0.2274	0.1147	2.5249	3.7587
<i>F6</i>	0.3428	1.4256	0.3441	0.3451	0.3557	2.9507
<i>F7</i>	0.0660	0.8594	0.0650	0.0677	0.1177	27.3276
<i>F8</i>	0.0489	0.5488	0.0497	0.0491	0.0504	0.7605

Tablo 4.5. 1 numaralı ağırlık kümesi ( $w_1=0.3$   $w_2=0.3$   $w_3=0.1$   $w_4=0.3$ ) kullanıldığında 1500 iterasyon için DSA, SA, PSO 2011, CSA, CA, DE, GSA algoritmaları ile rota maliyetleri

<i>SENARYO</i>	<i>DSA</i>	<i>SA</i>	<i>PSO2011</i>	<i>CSA</i>	<i>DE</i>	<i>GSA</i>
<i>F1</i>	0.3578	1.6512	0.3553	0.3573	0.3840	1.4870
<i>F2</i>	0.3449	1.8016	0.3435	0.3466	0.3765	1.8882
<i>F3</i>	0.3409	1.0054	0.3436	0.3407	0.3469	3.0893
<i>F4</i>	0.0390	0.7346	0.0419	0.0390	0.3451	2.5191
<i>F5</i>	0.0941	4.6077	0.2612	0.1150	2.2321	3.6982
<i>F6</i>	0.3425	1.3215	0.3440	0.3434	0.3540	3.3501
<i>F7</i>	0.0656	0.8425	0.0654	0.0660	0.0731	27.1044
<i>F8</i>	0.0484	0.4865	0.0498	0.0479	0.0502	0.6685

2 numaralı ağırlık kümesi için 500 iterasyonda yapılan rota optimizasyonu sekiz farklı senaryo için F3, F5, F6 ve F8 senaryolarında DSA daha başarılıdır. F1, F2, F4 ve F7 senaryolarında PSO2011 daha başarılı bir sonuç vermiştir. DSA ve PSO2011 algoritmalarının sonuçlarına en yakın CSA algoritmasıdır daha sonra DE'dir. Sonuçları en iyi değere en uzak çıkan GSA ve SA olmuştur. Elde edilen değerler Tablo 4.6'da sunulmuştur.

2 numaralı ağırlık kümesi için 1000 iterasyonda yapılan rota optimizasyonu sekiz farklı senaryo için F2, F3, F5, F7 ve F8 senaryolarında DSA daha başarılıdır. F1 ve F6 senaryolarında PSO2011, F4 senaryosunda CSA daha başarılı bir sonuç vermiştir. DSA ve PSO2011 algoritmalarının sonuçlarına en yakın CSA algoritmasıdır daha sonra DE'dir. DSA, PSO2011 ve CSA ayrı ayrı karşılaştırıldığında DSA hem PSO2011 hem de CSA'ya üstünlük sağlamıştır. 2. ağırlık değerlerine göre en iyi değere en uzak çıkan GSA ve SA olmuştur. Elde edilen değerler Tablo 4.7'de sunulmuştur.

2 numaralı ağırlık kümesi için 1500 iterasyonda F2, F5, F6 senaryolarında DSA daha başarılıdır. F1 ve F7 senaryolarında PSO2011, F3, F4, F8 senaryolarında CSA daha başarılı bir sonuç vermiştir. DSA ve PSO2011 algoritmalarının sonuçlarına en yakın CSA algoritmasıdır daha sonra DE'dir. 1500 iterasyon için; DSA, PSO2011 ve CSA ayrı ayrı karşılaştırıldığında DSA hem PSO2011 hem de CSA'ya üstünlük sağlamıştır. Sonuçları en iyi değere en uzak çıkan GSA ve SA olmuştur. Elde edilen değerler Tablo 4.8'de sunulmuştur.

Tablo 4.6. 2 numaralı ağırlık kümesi ( $w_1=0.3$   $w_2=0.4$   $w_3=0.1$   $w_4=0.2$ ) kullanıldığında 500 iterasyon için DSA, SA, PSO 2011, CSA, CA, DE, GSA algoritmaları ile rota maliyetleri

<i>SENARYO</i>	<i>DSA</i>	<i>SA</i>	<i>PSO2011</i>	<i>CSA</i>	<i>DE</i>	<i>GSA</i>
<i>F1</i>	0.4617	1.9027	0.4590	0.4707	0.5019	1.9380
<i>F2</i>	0.4518	1.3295	0.4516	0.4575	0.4785	3.0416
<i>F3</i>	0.4429	1.4385	0.4431	0.4457	0.4453	3.8187
<i>F4</i>	0.0418	1.2188	0.0415	0.0445	0.0472	3.1467
<i>F5</i>	0.1726	5.5032	0.3872	0.2151	4.4637	4.2578
<i>F6</i>	0.4436	1.4045	0.4460	0.4503	0.4546	3.3735
<i>F7</i>	0.0667	0.7158	0.0655	0.0716	0.0704	34.9733
<i>F8</i>	0.0496	0.5907	0.0502	0.0514	0.0527	0.9375

Tablo 4.7. 2 numaralı ağırlık kümesi ( $w_1=0.3$   $w_2=0.4$   $w_3=0.1$   $w_4=0.2$ ) kullanıldığında 1000 iterasyon için DSA, SA, PSO 2011, CSA, CA, DE, GSA algoritmaları ile rota maliyetleri

<i>SENARYO</i>	<i>DSA</i>	<i>SA</i>	<i>PSO2011</i>	<i>CSA</i>	<i>DE</i>	<i>GSA</i>
<i>F1</i>	0.4599	1.6537	0.4574	0.4606	0.4821	2.1766
<i>F2</i>	0.4467	1.7094	0.4516	0.4480	0.4922	2.9030
<i>F3</i>	0.4412	1.0957	0.4431	0.4421	0.4519	4.0724
<i>F4</i>	0.0410	0.6861	0.0418	0.0405	0.0455	3.1380
<i>F5</i>	0.0988	4.5601	0.2312	0.1090	1.3884	4.1244
<i>F6</i>	0.4440	1.4383	0.4436	0.4449	0.4634	3.3246
<i>F7</i>	0.0656	0.9968	0.0657	0.0673	0.0747	35.0445
<i>F8</i>	0.0482	0.6692	0.0498	0.0488	0.0540	1.1458

Tablo 4.8. 2 numaralı ağırlık kümesi ( $w_1=0.3$   $w_2=0.4$   $w_3=0.1$   $w_4=0.2$ ) kullanıldığında 1500 iterasyon için DSA, SA, PSO 2011, CSA, CA, DE, GSA algoritmaları ile rota maliyetleri

<i>SENARYO</i>	<i>DSA</i>	<i>SA</i>	<i>PSO2011</i>	<i>CSA</i>	<i>DE</i>	<i>GSA</i>
<i>F1</i>	0.4566	1.9463	0.4563	0.4583	0.4821	2.1359
<i>F2</i>	0.4438	1.5218	0.4452	0.4464	0.4797	3.1452
<i>F3</i>	0.4410	1.2986	0.4446	0.4407	0.4509	4.0910
<i>F4</i>	0.0398	1.0168	0.0415	0.0393	0.0444	3.0755
<i>F5</i>	0.0992	3.9331	0.3326	0.1031	2.0855	4.1069
<i>F6</i>	0.4424	1.4589	0.4440	0.4436	0.4578	3.7211
<i>F7</i>	0.0653	0.8820	0.0650	0.0665	0.0689	34.9901
<i>F8</i>	0.0482	0.4702	0.0499	0.0479	0.0504	1.0341

3 numaralı ağırlık kümesi için 500 iterasyonda F5 ve F7 senaryolarında DSA daha başarılıdır. F1, F2, F3, F4, F6 ve F8 senaryolarında PSO2011 daha başarılı bir sonuç vermiştir. DSA ve PSO2011 algoritmalarının sonuçlarına en yakın CSA algoritmasıdır daha sonra DE'dir. Sonuçları en iyi değere en uzak çıkan GSA ve SA olmuştur. Elde edilen değerler Tablo 4.9'da sunulmuştur.

3 numaralı ağırlık kümesi için 1000 iterasyonda F2, F3, F6 ve F8 senaryolarında DSA daha başarılıdır. F1, F4 ve F7 senaryolarında PSO2011, F5 senaryosunda CSA daha başarılı bir sonuç vermiştir. DSA ve PSO2011 algoritmalarının sonuçlarına en yakın CSA algoritmasıdır daha sonra DE'dir. 1000 iterasyon için; DSA, PSO2011 ve CSA ayrı ayrı karşılaştırıldığında DSA hem PSO2011 hem de CSA'ya üstünlük sağlamıştır. Sonuçları en iyi değere en uzak çıkan GSA ve SA olmuştur. Elde edilen değerler Tablo 4.10'da sunulmuştur.

3 numaralı ağırlık kümesi için 1500 iterasyonda F4, F5, F6 ve F8 senaryolarında DSA daha başarılıdır. F1 ve F2 senaryolarında PSO2011; F3 ve F7 senaryolarında CSA daha başarılı bir sonuç vermiştir. 1500 iterasyon için; DSA ve PSO2011 algoritmalarının sonuçlarına en yakın CSA algoritmasıdır daha sonra DE'dir. Sonuçları en iyi değere en uzak çıkan GSA ve SA olmuştur. 1500 iterasyon için; DSA, PSO2011 ve CSA ayrı ayrı karşılaştırıldığında DSA hem PSO2011 hem de CSA'ya üstünlük sağlamıştır. Elde edilen değerler Tablo 4.11'de sunulmuştur.

Tablo 4.9. 3 numaralı ağırlık kümesi ( $w_1=0.2$   $w_2=0.2$   $w_3=0.5$   $w_4=0.1$ ) kullanıldığında 500 iterasyon için DSA, SA, PSO 2011, CSA, CA, DE, GSA algoritmaları ile rota maliyetleri

<i>SENARYO</i>	<i>DSA</i>	<i>SA</i>	<i>PSO2011</i>	<i>CSA</i>	<i>DE</i>	<i>GSA</i>
<i>F1</i>	0.3950	1.9795	0.3901	0.4021	0.4030	1.1802
<i>F2</i>	0.3744	1.8815	0.3649	0.3828	0.3971	1.8009
<i>F3</i>	0.3440	0.9368	0.3395	0.3546	0.3526	2.2172
<i>F4</i>	0.1415	1.2063	0.1397	0.1580	0.1574	1.6899
<i>F5</i>	0.2794	3.8352	0.2839	0.3045	1.0745	3.9022
<i>F6</i>	0.3685	1.9388	0.3657	0.3784	0.3823	2.0704
<i>F7</i>	0.1915	1.1589	0.1923	0.1982	0.2004	11.3066
<i>F8</i>	0.1736	0.7662	0.1727	0.1831	0.1867	0.7125

Tablo 4.10. 3 numaralı ağırlık kümesi ( $w_1=0.2$   $w_2=0.2$   $w_3=0.5$   $w_4=0.1$ ) kullanıldığında 1000 iterasyon için DSA, SA, PSO 2011, CSA, CA, DE, GSA algoritmaları ile rota maliyetleri

<i>SENARYO</i>	<i>DSA</i>	<i>SA</i>	<i>PSO2011</i>	<i>CSA</i>	<i>DE</i>	<i>GSA</i>
<i>F1</i>	0.3918	1.8480	0.3896	0.3955	0.4017	1.2720
<i>F2</i>	0.3665	1.5287	0.3672	0.3744	0.4325	1.5226
<i>F3</i>	0.3404	1.5141	0.3423	0.3424	0.3475	2.2043
<i>F4</i>	0.1393	0.9106	0.1382	0.1410	0.1596	1.6269
<i>F5</i>	0.2739	2.6342	0.2785	0.2402	1.1355	4.0116
<i>F6</i>	0.3591	1.2823	0.3632	0.3639	0.3798	1.9718
<i>F7</i>	0.1908	1.6219	0.1895	0.1929	0.2024	17.6358
<i>F8</i>	0.1712	0.9584	0.1751	0.1722	0.1792	0.8458

Tablo 4.11. 3 numaralı ağırlık kümesi ( $w_1=0.2$   $w_2=0.2$   $w_3=0.5$   $w_4=0.1$ ) kullanıldığında 1500 iterasyon için DSA, SA, PSO 2011, CSA, CA, DE, GSA algoritmaları ile rota maliyetleri

<i>SENARYO</i>	<i>DSA</i>	<i>SA</i>	<i>PSO2011</i>	<i>CSA</i>	<i>DE</i>	<i>GSA</i>
<i>F1</i>	0.3906	2.0045	0.3880	0.3919	0.4256	1.0528
<i>F2</i>	0.3685	1.5393	0.3656	0.3689	0.4238	1.4977
<i>F3</i>	0.3407	1.0170	0.3431	0.3394	0.3677	2.0971
<i>F4</i>	0.1383	1.2355	0.1395	0.1386	0.1683	1.7726
<i>F5</i>	0.2201	1.7991	0.3237	0.2250	1.5236	9.5687
<i>F6</i>	0.3561	1.6442	0.3657	0.3562	0.3920	2.1587
<i>F7</i>	0.1904	1.5973	0.1931	0.1896	0.2091	24.7208
<i>F8</i>	0.1699	0.8075	0.1729	0.1700	0.1829	0.7227

4 numaralı ağırlık kümesi için 500 iterasyonda F4 ve F6 senaryolarında DSA daha başarılıdır. F1, F2, F3, F5, F7 ve F8 senaryolarında PSO2011 daha başarılı bir sonuç vermiştir. DSA ve PSO2011 algoritmalarının sonuçlarına en yakın CSA algoritmasıdır daha sonra DE'dir. Sonuçları en iyi değere en uzak çıkan GSA ve SA olmuştur. Elde edilen değerler Tablo 4.12'de sunulmuştur.

4 numaralı ağırlık kümesi için 1000 iterasyonda F3, F4, F5, F6, F7 ve F8 senaryolarında DSA daha başarılıdır. F1 ve F2 senaryolarında PSO2011 daha başarılı bir sonuç vermiştir. DSA ve PSO2011 algoritmalarının sonuçlarına en yakın CSA algoritmasıdır daha sonra DE'dir. Sonuçları en iyi değere en uzak çıkan GSA ve SA olmuştur. Elde edilen değerler Tablo 4.13'te sunulmuştur.

4 numaralı ağırlık kümesi için 1500 iterasyonda F2, F4, F7 senaryolarında DSA daha başarılıdır. F1 ve F6 senaryolarında PSO2011, F3 ve F5 senaryolarında CSA daha başarılı bir sonuç vermiştir. F8 senaryosunda DSA ve CSA eşit sonuç vermiştir. DSA ve PSO2011 algoritmalarının sonuçlarına en yakın CSA algoritmasıdır daha sonra DE'dir. Sonuçları en iyi değere en uzak çıkan GSA ve SA olmuştur. Elde edilen değerler Tablo 4.14'te sunulmuştur.

Tablo 4.12. 4 numaralı ağırlık kümesi ( $w_1=0.5$   $w_2=0.2$   $w_3=0.1$   $w_4=0.2$ ) kullanıldığında 500 iterasyon için DSA, SA, PSO 2011, CSA, CA, DE, GSA algoritmaları ile rota maliyetleri

<i>SENARYO</i>	<i>DSA</i>	<i>SA</i>	<i>PSO2011</i>	<i>CSA</i>	<i>DE</i>	<i>GSA</i>
<i>F1</i>	0.2769	1.6386	0.2703	0.2871	0.3182	1.1601
<i>F2</i>	0.2605	1.3596	0.2555	0.2681	0.3074	1.6920
<i>F3</i>	0.2507	1.4133	0.2504	0.2535	0.2574	2.0340
<i>F4</i>	0.0476	0.6662	0.0483	0.0505	0.0525	1.7939
<i>F5</i>	0.3154	4.0104	0.2509	0.3265	1.3231	7.2154
<i>F6</i>	0.2493	1.2267	0.2494	0.2605	0.2723	1.9586
<i>F7</i>	0.0837	1.3164	0.0826	0.0923	0.0881	18.0234
<i>F8</i>	0.0538	0.7458	0.0533	0.0770	0.0534	0.6388

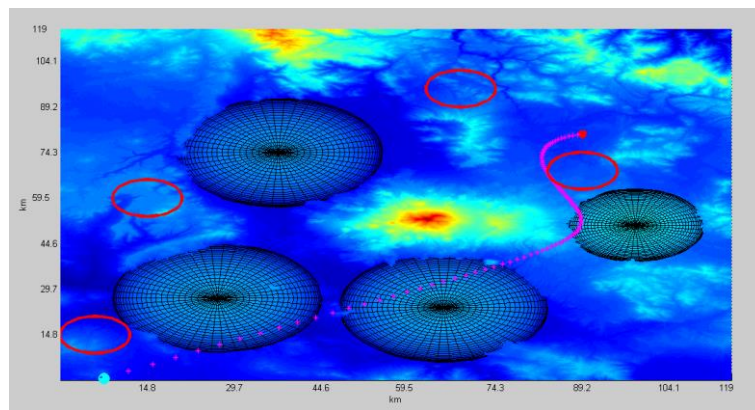
Tablo 4.13. 4 numaralı ağırlık kümesi ( $w_1=0.5$   $w_2=0.2$   $w_3=0.1$   $w_4=0.2$ ) kullanıldığında 1000 iterasyon için DSA, SA, PSO 2011, CSA, CA, DE, GSA algoritmaları ile rota maliyetleri

<i>SENARYO</i>	<i>DSA</i>	<i>SA</i>	<i>PSO2011</i>	<i>CSA</i>	<i>DE</i>	<i>GSA</i>
<i>F1</i>	0.2717	1.7928	0.2696	0.2768	0.3137	1.2092
<i>F2</i>	0.2532	2.0159	0.2528	0.2580	0.3031	1.8035
<i>F3</i>	0.2494	1.3911	0.2503	0.2502	0.2622	2.2252
<i>F4</i>	0.0468	1.2376	0.0479	0.0481	0.0530	1.7980
<i>F5</i>	0.1492	2.4381	0.1588	0.1579	0.5048	7.1876
<i>F6</i>	0.2474	1.3959	0.2496	0.2505	0.2715	1.9711
<i>F7</i>	0.0807	1.2510	0.0833	0.1296	0.1124	11.8843
<i>F8</i>	0.0529	1.3795	0.0531	0.0658	0.0547	0.5732

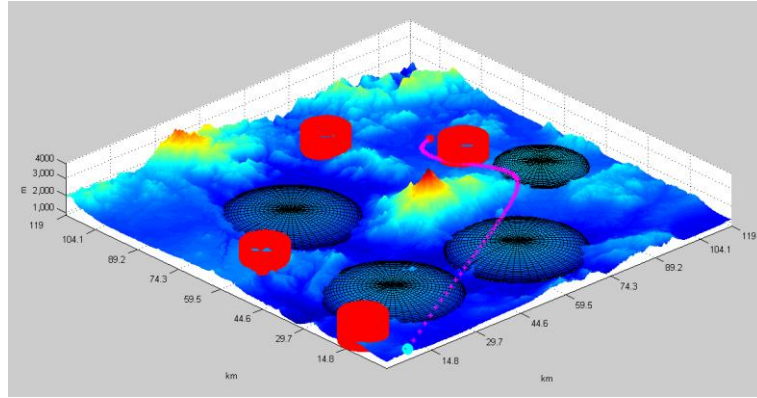
Tablo 4.14. 4 numaralı ağırlık kümesi ( $w_1=0.5$   $w_2=0.2$   $w_3=0.1$   $w_4=0.2$ ) kullanıldığında 1500 iterasyon için DSA, SA, PSO 2011, CSA, CA, DE, GSA algoritmaları ile rota maliyetleri

<i>SENARYO</i>	<i>DSA</i>	<i>SA</i>	<i>PSO2011</i>	<i>CSA</i>	<i>DE</i>	<i>GSA</i>
<i>F1</i>	0.2700	1.7403	0.2662	0.2704	0.3190	1.0142
<i>F2</i>	0.2506	1.7269	0.2589	0.2544	0.2931	1.4269
<i>F3</i>	0.2492	1.1160	0.2497	0.2490	0.2630	2.1375
<i>F4</i>	0.0466	0.8146	0.0482	0.0470	0.0531	1.6271
<i>F5</i>	0.1689	2.1369	0.1852	0.1468	1.6839	7.1024
<i>F6</i>	0.2469	1.3775	0.2462	0.2488	0.2716	2.0951
<i>F7</i>	0.0804	1.2592	0.0824	0.0829	0.0924	18.2420
<i>F8</i>	0.0525	0.7678	0.0534	0.0525	0.0554	0.5837

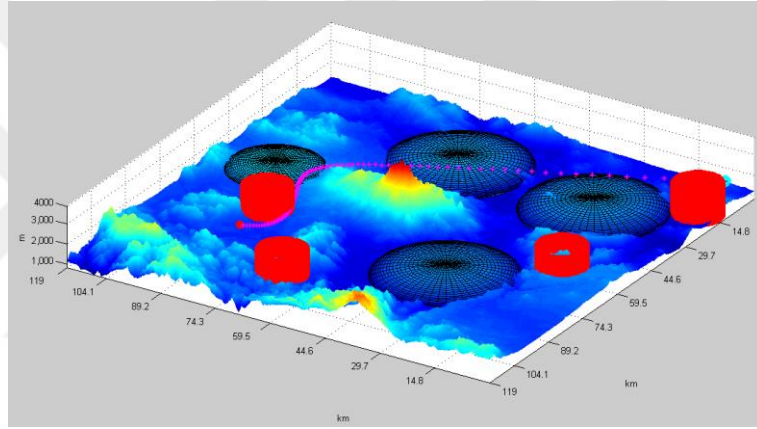
Şekil 4.5'te F1 senaryosuna göre rota optimizasyonu için DSA algoritmasının bulduğu en iyi rota kuşbakışı olarak gösterilmektedir. Uçuş için en uygun rota bulunmuştur. Her ne kadar tehlikeli bölgelerinin ve yeryüzü şekillerinin zorluğu olsa da İHA için en az yakıt tüketimiyle güvenli bir uçuş için en iyi rota optimize edilmiştir. Erciyes dağının zirvesi ve diğer yükseltisi yüksek olan dağların zirveleri kırmızı olarak gösterilmiştir. Yükseltisi düşük olan yerler ise koyu mavi ile gösterilmiştir. Şekil 4.6'da İHA'nın F1 senaryosu için DSA algoritmasına göre 3 boyutlu en iyi rotası gösterilmektedir. Uçuşa yasak bölgeler kırmızı renkte silindirik olarak gösterilmiştir. Şekil 4.7'de ise F1 senaryosu için DSA ile başka bir açıdan en iyi rota verilmiştir. Şekil 4.8'de F1 senaryosu için rüzgâra göre en iyi rota verilmiştir. Yeşil renk sağdan sola doğru esen rüzgârı, mavi renk ise soldan sağa doğru esen rüzgârı göstermektedir.



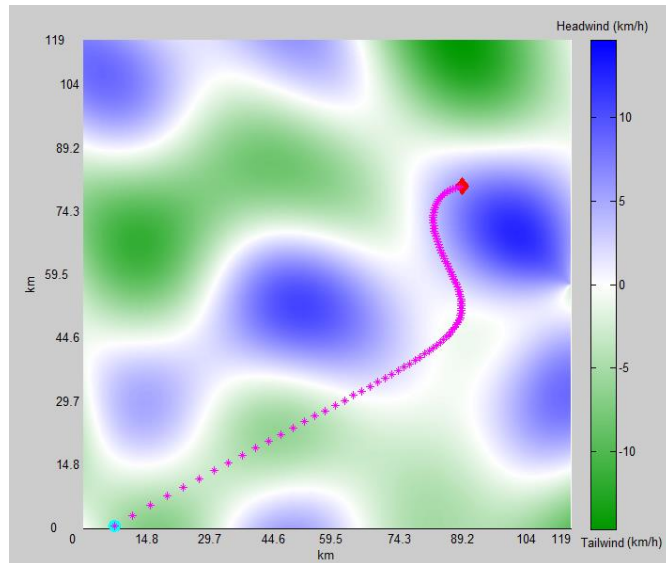
Şekil 4.5. F1 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının kuşbakışı görünüşü



Şekil 4.6. F1 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü

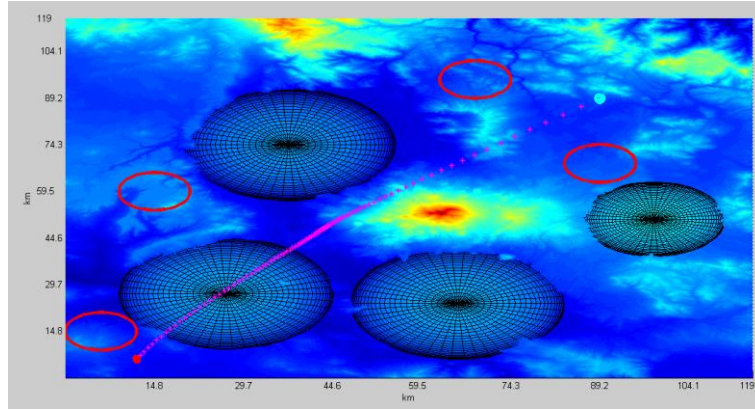


Şekil 4.7. F1 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü (farklı açıdan)

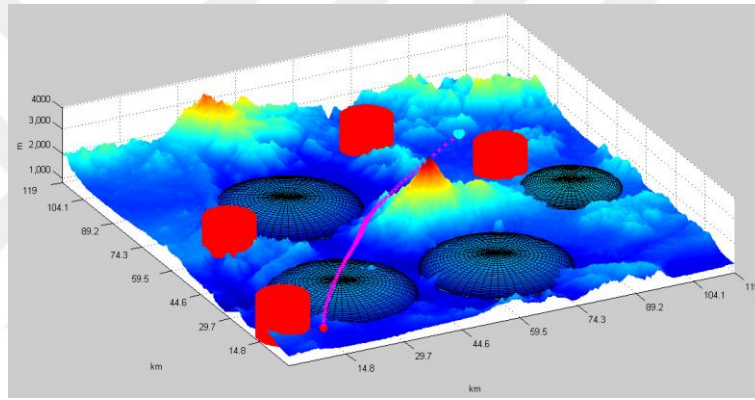


Şekil 4.8. DSA'nın üretmiş olduğu F1 senaryosu için rüzgâra göre İHA'nın rotası

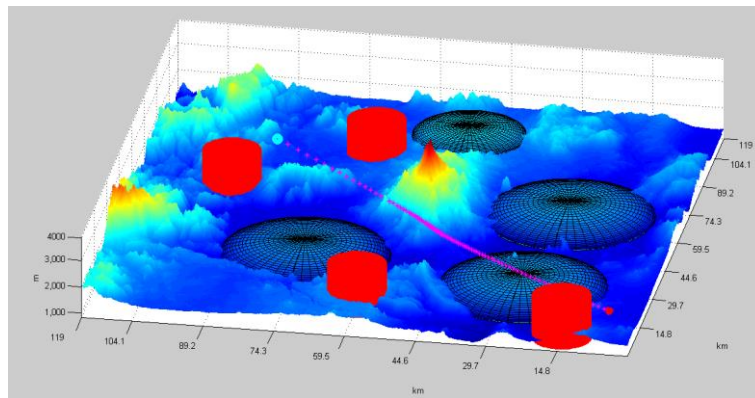




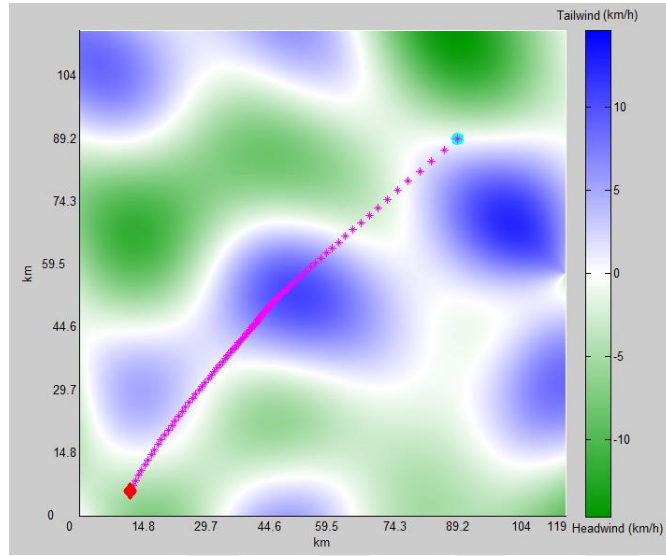
Şekil 4.9. F2 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının kuşbakışı görünüşü



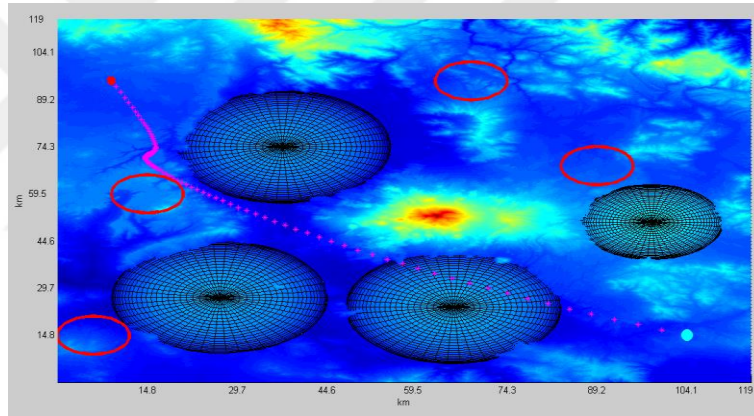
Şekil 4.10. F2 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü



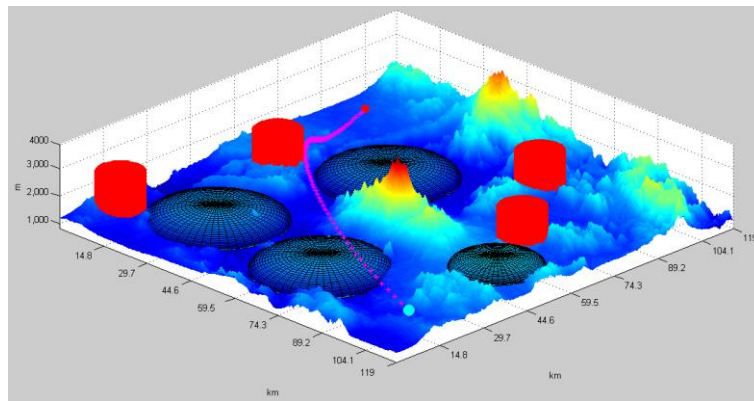
Şekil 4.11. F2 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü (farklı açıdan)



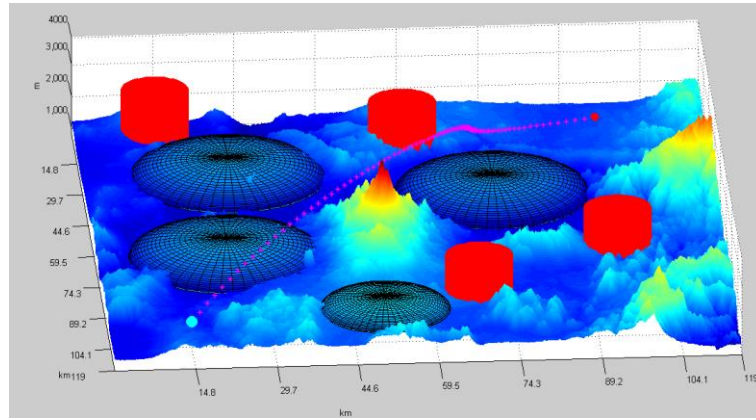
Şekil 4.12. DSA'nın üretmiş olduğu F2 senaryosu için rüzgâra göre İHA'nın rotası



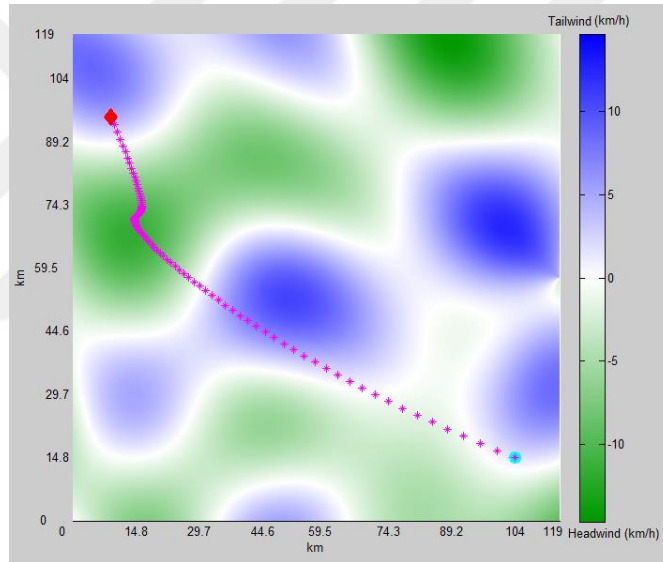
Şekil 4.13. F3 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının kuşbakışı görünüşü



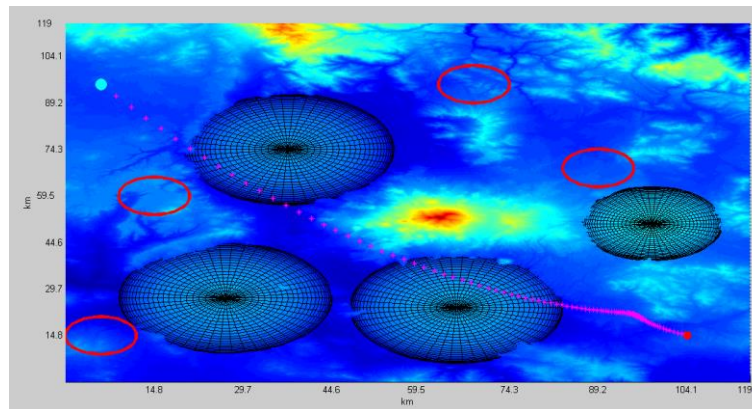
Şekil 4.14. F3 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü



Şekil 4.15. F3 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü (farklı açıdan)

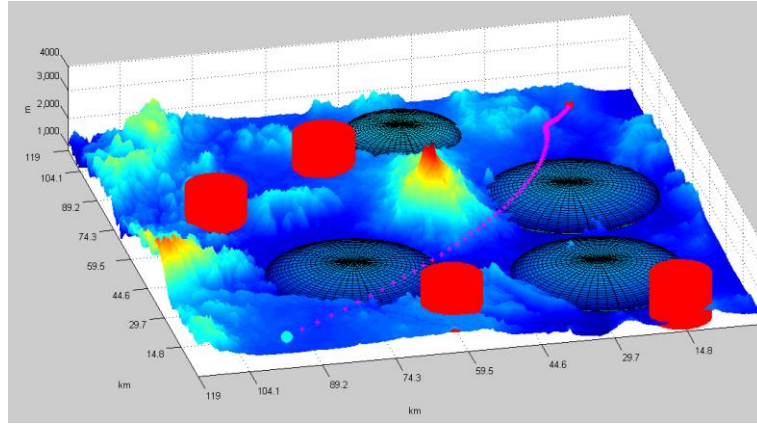


Şekil 4.16. DSA'nın üretmiş olduğu F3 senaryosu için rüzgâra göre İHA'nın rotası

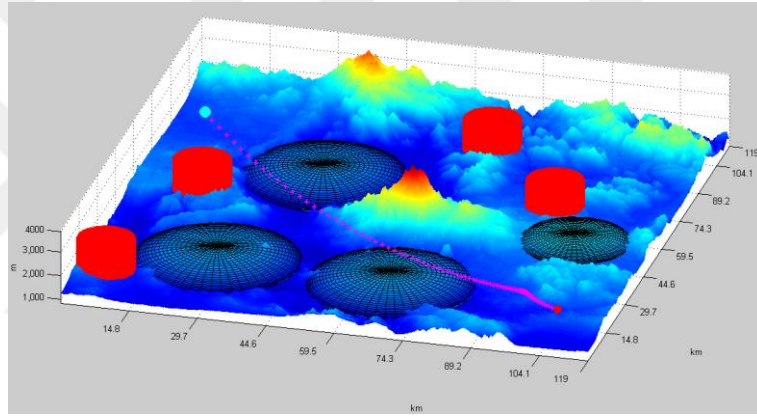


Şekil 4.17. F4 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının kuşbakışı görünüşü

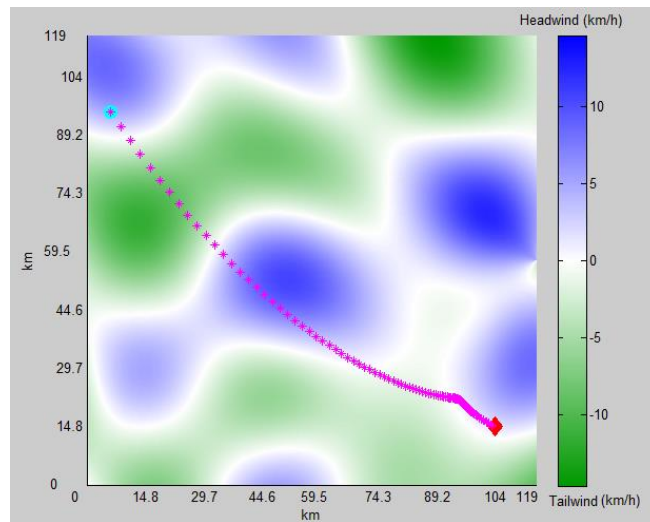




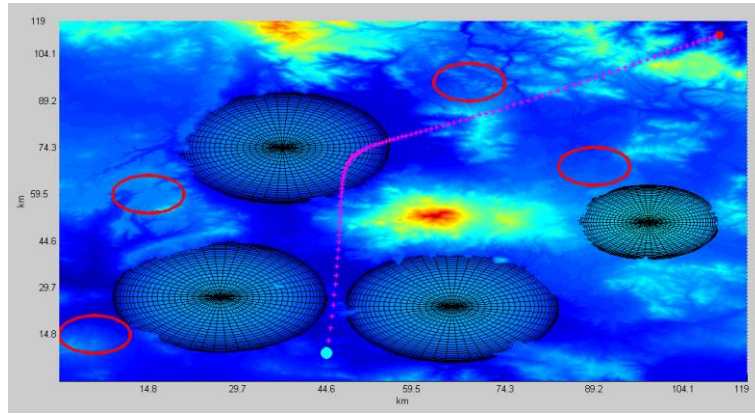
Şekil 4.18. F4 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü



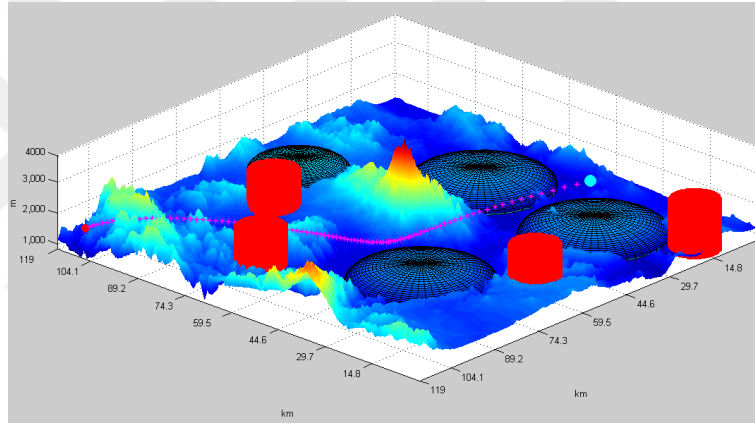
Şekil 4.19. F4 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü (farklı açıdan)



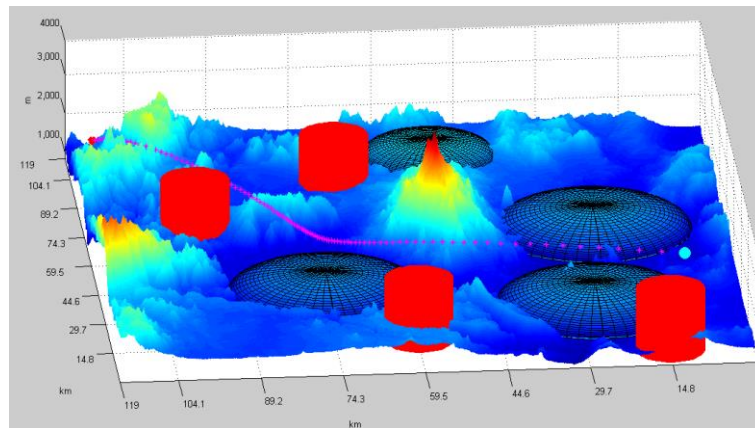
Şekil 4.20. DSA'nın üretmiş olduğu F4 senaryosu için rüzgâra göre İHA'nın rotası



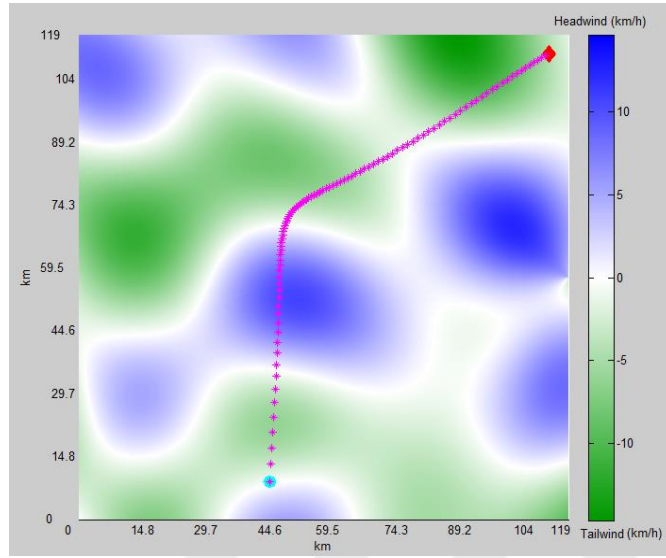
Şekil 4.21. F5 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının kuşbakışı görünüşü



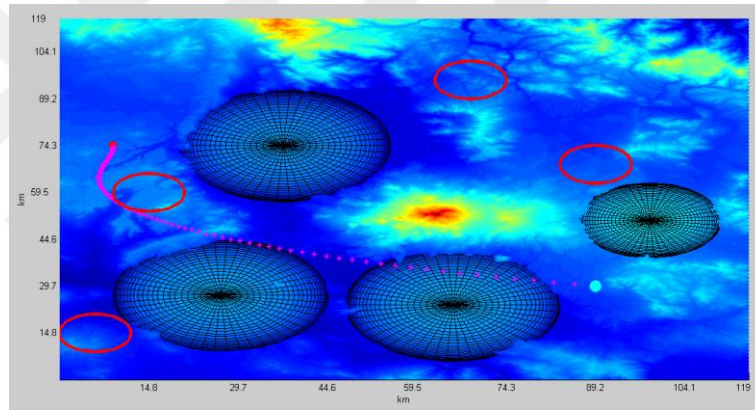
Şekil 4.22. F5 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü



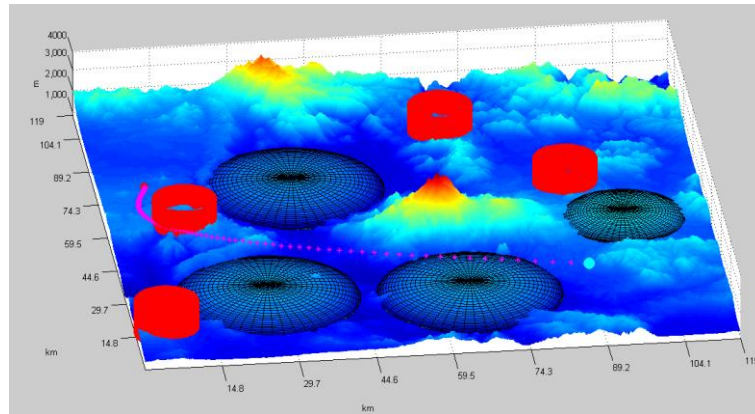
Şekil 4.23. F5 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü (farklı açıdan)



Şekil 4.24. DSA'nın üretmiş olduğu F5 senaryosu için rüzgâra göre İHA'nın rotası

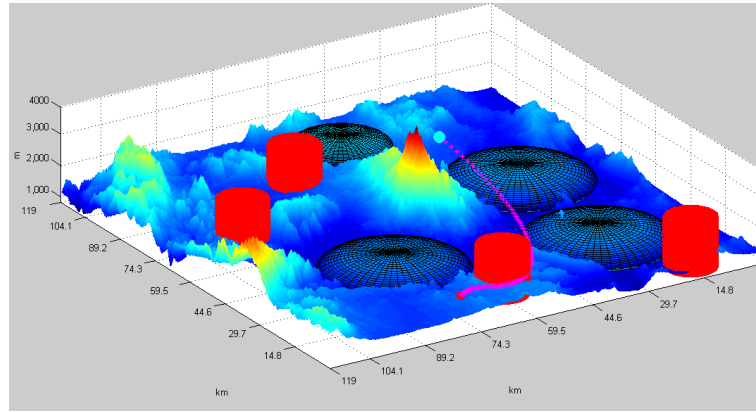


Şekil 4.25. F6 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının kuşbakışı görünüşü

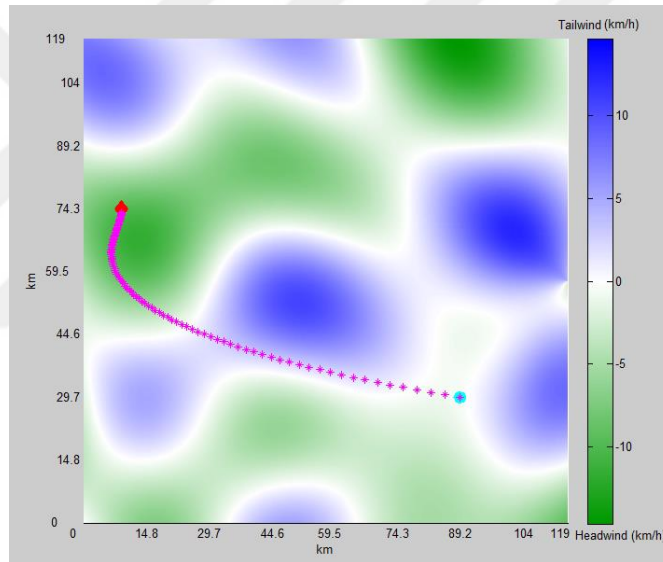


Şekil 4.26. F6 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü

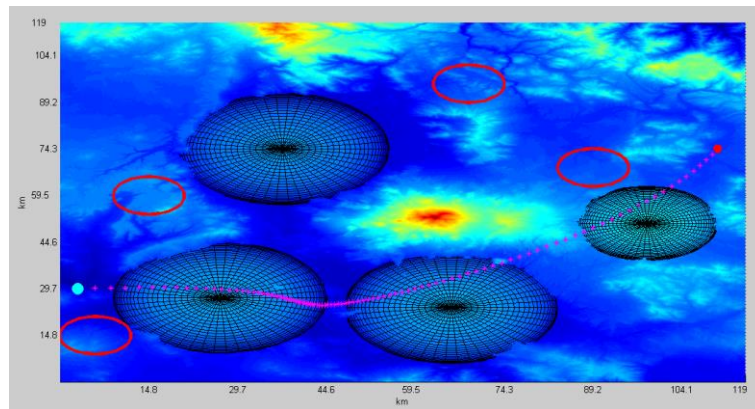




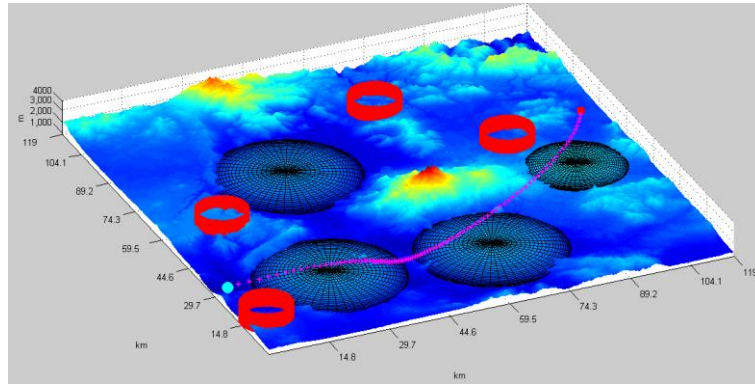
Şekil 4.27. F6 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü (farklı açıdan)



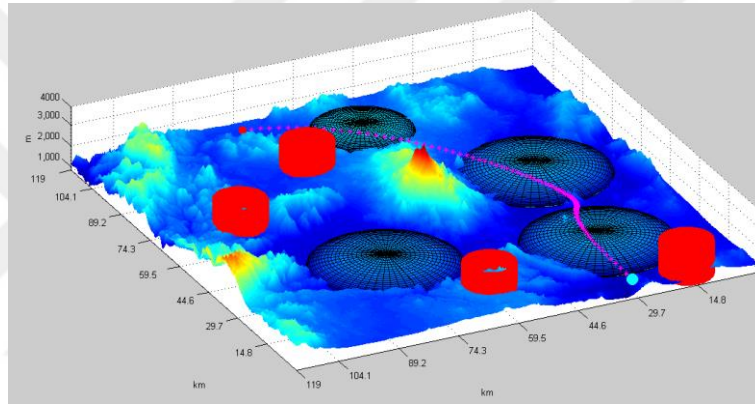
Şekil 4.28. DSA'nın üretmiş olduğu F6 senaryosu için rüzgâra göre İHA'nın rotası



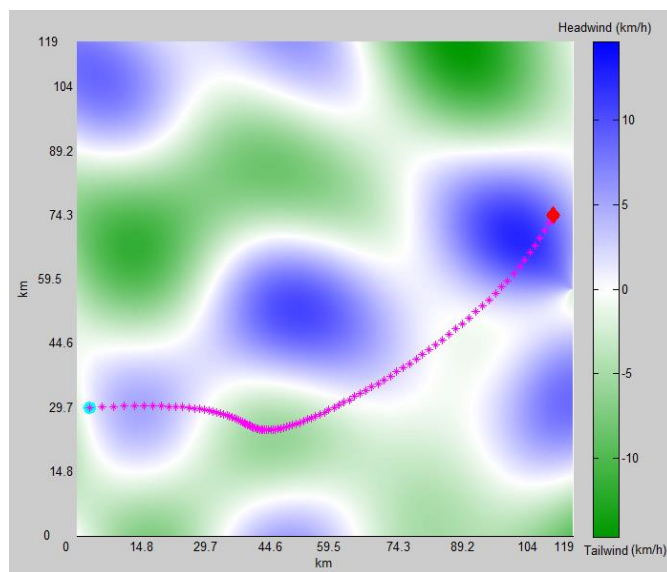
Şekil 4.29. F7 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının kuşbakışı görünüşü



Şekil 4.30. F7 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü.

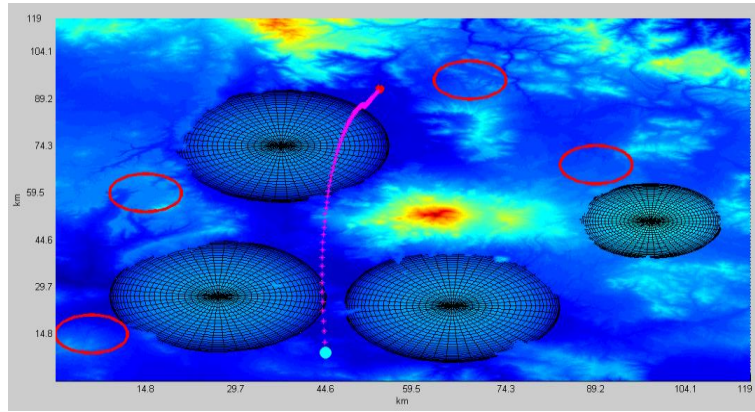


Şekil 4.31. F7 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü (farklı açıdan)

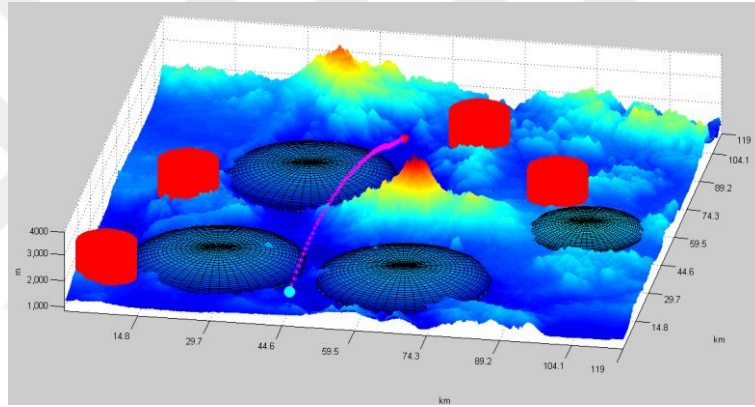


Şekil 4.32. DSA'nın üretmiş olduğu F7 senaryosu için rüzgâra göre İHA'nın rotası

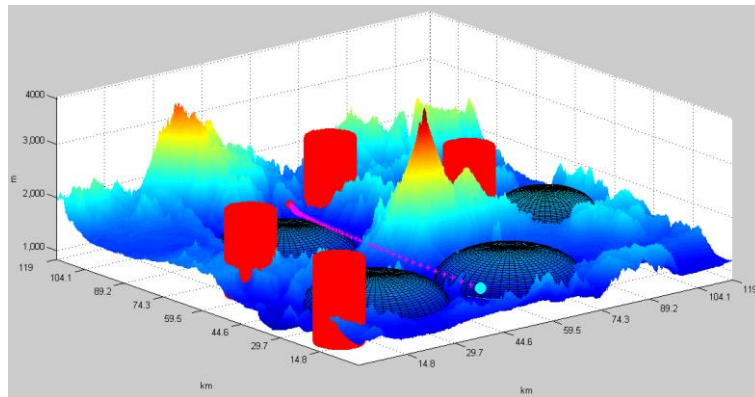




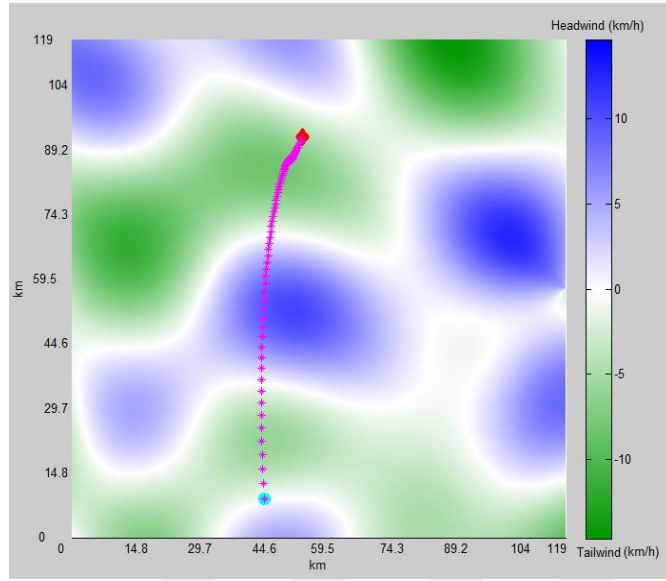
Şekil 4.33. F8 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının kuşbakışı görünüşü



Şekil 4.34. F8 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü



Şekil 4.35. F8 senaryosu için DSA algoritmasına göre İHA'nın rotasının 3 boyutlu görünüşü (farklı açıdan)



Şekil 4.36. DSA'nın üretmiş olduğu F8 senaryosu için rüzgâra göre İHA'nın rotası

## 5. BÖLÜM

### SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında farklı senaryolar için DSA, PSO2011, SA, DE, CS ve GSA algoritmaları kullanılarak elde edilen sonuçlar incelendiğinde, İHA rota optimizasyonu için DSA algoritmasının etkili bir şekilde kullanılabileceği belirlenmiştir. Literatürde, İHA rota optimizasyonu için kullanılan diğer algoritmalar gibi DSA'nın hız ve global minimumu yakalamada başarılı olduğu ve mevcut algoritmaların yerine geçebileceği görülmüştür. Literatürde, DSA bir çok mühendislik probleminin çözümü için başarılı bir şekilde kullanıldığı gibi İHA rota optimizasyon problemi için de DSA'nın kullanılabileceği gösterilmiştir. İHA'nın rota optimizasyonu birden çok amaç fonksiyonu kullanılarak değişik senaryolar üzerinden yapılmıştır. En iyi rotanın bulunması için literatürdeki farklı optimizasyon algoritmaları ayrı ayrı kullanılmış ve bu farklı optimizasyon metotları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Her bir senaryo için iki boyutlu ve üç boyutlu bir saha üzerinde bir İHA için amaç fonksiyonunu en az yapan en iyi rota bulunarak bu rotanın 2-boyutlu ve 3-boyutlu olarak simülasyonu yapılmıştır. İHA rota Optimizasyonu için 3-boyutlu gerçek yükselti verileri kullanılmıştır. Yükselti verileri NASA Global Data Explorer veritabanından alınmıştır [85]. Gerçek yükselti verilerinin 3-boyutlu olarak gösterilmesi MATLAB ortamı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Senaryolarda kullanılan amaç fonksiyonlarının ağırlıkları; en iyi rotanın rüzgâr amaç fonksiyonu baskın olacak şekilde, tehlikeli bölgeler baskın olacak şekilde, en kısa mesafe baskın olacak şekilde ve irtifa baskın olacak şekilde kullanıcı tarafından seçilmiştir. Bu çalışmalar ışığında İHA'nın en az yakıt tüketimi için rota optimizasyonunda DSA algoritması en iyi sonucu vermiştir. Bu sonuçlar ışığında gelecekteki çalışmalarda DSA algoritması kullanılarak farklı optimizasyon problemlerinin çözümünün daha başarılı bir şekilde gerçekleştirilebileceği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Can M.S., Çivicioğlu P., 2016. İnsansız hava araçlarının rota optimizasyonu, pp.1-6 *VI. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı*, 28-30 Eylül, Kocaeli, Türkiye.
2. Can M.S., Çivicioğlu P., 2016. UAV path optimization for minimum fuel consumption and CO2 emission, pp.319-323. *9th International Conference on Sustainable Energy and Environmental Protection*, 22-25 Eylül 2016, Kayseri, Türkiye.
3. Can M.S., Çivicioğlu P., 2017. Comparison of numerical optimization algorithms for finding less risky and safer 3D UAV path, pp.21. *International Conference On Mathematics And Engineering*, 10-12 May, 2017, Istanbul, Turkey.
4. Chen, H., Wang, X. M., & Li, Y., 2009. A survey of autonomous control for UAV, pp. 267-271. *IEEE 9th International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence (AICI'09)*, November, 2009, Vol. 2.
5. Dantzig, G. B., Ramser, J. W., 1959. The truck dispatching Problem. **Management science**, 6(1), 80-91.
6. Laporte, G., 1992. The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. **European Journal of Operational Research**, 59(3), 345-358.
7. Prins, C., 2004. A simple and effective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem. **Computers & Operations Research**, 31(12), 1985-2002.
8. Baker, B. M., Ayechew, M. A., 2003. A genetic algorithm for the vehicle routing problem. **Computers & Operations Research**, 30(5), 787-800.
9. Fukasawa, R., Longo, H., Lygaard, J., Aragão, M. P. D., Reis, M., Uchoa, E., & Werneck, R. F., 2006. Robust branch-and-cut-and-price for the capacitated vehicle routing problem. **Mathematical programming**, 106(3), 491-511.
10. Laporte, G., Nobert, Y., Desrochers, M., 1985. Optimal routing under capacity and distance restrictions. **Operations Research**, 33(5):1050-1073.
11. Osman, I. H., 1993. Metastrategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem. **Annals of Operations Research**, 41(4):421-451.

12. Duan, H., Li, P., Shi, Y., 2015. Interactive learning environment for bio-inspired optimization algorithms for UAV path planning. **IEEE Transactions on Education** **58**:4 276-281.
13. Liu, W., Zheng, Z., & Cai, K., 2013. Adaptive path planning for unmanned aerial vehicles based on bi-level programming and variable planning time interval. **Chinese Journal of Aeronautics**, **26**(3), 646-660.
14. Ceccarelli, N., Enright, J. J., Frazzoli, E., Rasmussen, S. J., & Schumacher, C. J., 2007. Micro UAV path planning for reconnaissance in wind, pp. 5310-5315. *IEEE In American Control Conference ACC'07*, July 2007.
15. Sundar, K., & Rathinam, S., 2014. Algorithms for routing an unmanned aerial vehicle in the presence of refueling depots. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, **11**(1), 287-294.
16. Zhang, C., Zhen, Z., Wang, D., & Li, M. 2010. UAV path planning method based on ant colony optimization, pp. 3790-3792. *IEEE In Control and Decision Conference (CCDC), 2010 Chinese*, May 2010.
17. Sujit, P. B., & Beard, R., 2009. Multiple UAV path planning using anytime algorithms, pp. 2978-2983. *IEEE American Control Conference, 2009. ACC'09*. 10-12 June 2009, St. Louis, MO, USA..
18. Bao, Y., Fu, X., & Gao, X. 2010. Path planning for reconnaissance UAV based on particle swarm optimization, Vol.2 , pp.28-32. *IEEE 2010 Second International Conference on Computational Intelligence and Natural Computing (CINC)13-14 September, 2010 Wuhan, China*.
19. Qu, Y. H., Pan, Q., & Yan, J. G., 2005. Flight path planning of UAV based on heuristically search and genetic algorithms, pp.45-46. 31st Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society, 2005. IECON. 6-10 November 2005, Raleigh, NC, USA.
20. Babel, L., 2013. Three-dimensional route planning for unmanned aerial vehicles in a risk environment. **Journal of Intelligent & Robotic Systems**, **71**(2), pp. 255-269.
21. Rathbun, D., Kragelund, S., Pongqunwattana, A., Capozzi, B., 2002. An evolution based path planning algorithm for autonomous motion of a UAV through uncertain

- environments, pp. 8D2-1. *Proceedings. The 21st Digital Avionics Systems Conference*, 27-31 October, 2002, Irvine, CA, USA.
22. Foo, J., Knutzon, J., Oliver, J., Winer, E. 2006. Three dimensional path planning of unmanned aerial vehicles using particle swarm optimization, p.1-10 11th. AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis and Optimization Conference, 6-8 September 2006, Portsmouth, Virginia.
  23. Roberge, V., Tarbouchi, M., & Labonté, G. 2013. Comparison of parallel genetic algorithm and particle swarm optimization for real-time UAV path planning. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, **9**(1), 132-141.
  24. Schouwenaars, T., De Moor, B., Feron, E., How, J., 2001. Mixed integer programming for multi-vehicle path planning, pp. 2603-2608. *European control conference*. 4-7 September, 2001 Porto, Portugal.
  25. Pehlivanoglu, Y., V., 2012. A new vibrational genetic algorithm enhanced with a Voronoi diagram for path planning of autonomous UAV. **Aerospace Science and Technology**, **16**(1), 47-55.
  26. Qi, Z., Shao, Z., Ping, Y. S. Hiot, L. M. ve Leong, Y. K. 2010. An Improved Heuristic Algorithm for UAV Path Planning in 3D Environment, Vol.2, pp. 258-261. *Second International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics*, 26-28 August, Nanjing, China, 2010.
  27. Çekmez, U., Özsiğınan, M., Aydın, M., Şahingöz, Ö. K., 2014. UAV path planning with genetic algorithms on CUDA architecture. pp. 347-354. *International Conference on Unmanned Aircraft Systems*. 2014, Orlando, USA.
  28. Bortoff, S., A., 2000. Path planning for UAVs. Vol.1, no:6, pp.364-368. *In American Control Conference*. 28-30 June 2000, Chicago.
  29. Doğan, A. 2003. Probabilistic Approach in path planning for UAVs. pp. 608-613. *IEEE International Symposium on Intelligent Control*. 8 October 2003, Houston.
  30. Bo-Bo, Meng, X. Gao., 2010. UAV path planning based on bidirectional sparse a\* search algorithm. pp. 1106 1109. *International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*. 11-12 May 2010, Changsha, China.
  31. Zengin, U., Doğan, A.. 2004. , Dynamic target pursuit by UAVs in probabilistic threat exposure map. Pp. *In Proceeding of AIAA 3rd Unmanned Unlimited Technical Conference, Workshop and Exhibit*. 2004.

32. Jun, M., D'Andrea, R. 2003. Path planning for unmanned aerial vehicles in uncertain and adversarial environments. pp. 95-100. **In Cooperative Control: Models, Applications and Algorithms.**
33. Zhang, X., Chen, J., Xin, B., Fank, H., 2011. Online path planning for UAV using an improved differential evolution algorithm. pp.6349-6354. *In Proceeding of the 18th. International Federation of Automatic Control IFAC World Congress, August 28, 2011, Milona, Italy.*
34. Helgason, R.V., Kennington, J.L., Lewis, K. R., 2001. Cruise missile mission planning: a heuristic algorithm for algorithm for automatic path generation.. **Journal of Heuristic.** pp. 473-494.
35. Wen, N., Zhao, L., Su, X., Ma, P., 2015. UAV online path planning algorithm in a low altitude dangerous environment. **IEEE/CAA Journal Of Automatica Sinica.** 2(2), 173-185.
36. McManus, I.A., Clothier, R.A. Walker, R.A.2005. Highly autonomous UAV mission planning and piloting for civilian airspace operations. In Eleventh Australian International Aerospace Congress, AIAC-11, Melbourne, Australia
37. Pfeiffer, B., Batta, R., Klamroth, K., Nagi, R., 2005. Path planning for UAVs in the presence of threat zones using probabilistic modelling. *IEEE Transactions on Automatic Control* 43, 278-283.
38. Doğan, A. 2003. Probabilistic path planning for UAVs. *In Proceedings of 2nd AIAA Unmanned Unlimited Systems, Technologies and Operations- Aerospace, Land, and Sea Conferece and Workshop&Exhibition, 15-18 September.2003. San Diego.*
39. Carlyle, W. M., Royset, J.O., Wood, R.K. 2007. Routing military aircraft with a constrained shortest-path algorithm. Naval Postgraduate School Monterey Ca Dept Of Operations Research, Military Operations Research 2007.
40. Richards, A., Bellingham, J., Tillerson, M., & How, J., 2002. Coordination and control of multiple UAVs, pp. 4588. *In AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit. August, 2002.*
41. Krishna, K.M., Hexmoor, H., Pasupuleti, S., Llinas, J. 2005. Parametric control of multiple unmaned air vehicles over an unknown hostile territory.pp.117-121. *In*

*Proceedings of International Conference on Integration of Knowledge Intensive Multi-Agent Systems*. April. 2005

42. Beard, R. W., McLain, T. W., Goodrich, M.A., Anderson, E.P. 2002. Coordinated target assignment and intercept for unmanned air vehicles. **IEEE Transaction on Robotics and Automation**, **18**(6):911-922.
43. Maddula, T., Minai, A.A., Polycarpou, M. M. 2004 Multi-Target assignment and path planning for groups of UAVs. **In Recent Developments in Cooperative Control and Optimization**, Springer.261-272.
44. De Filippis, L., Guglieri, G., & Quagliotti, F. 2011. A minimum risk approach for path planning of UAVs. **Journal of Intelligent & Robotic Systems**, **61**(1-4), 203-219.
45. Jun, M., & D'Andrea, R., 2003. Probability map building of uncertain dynamic environments with indistinguishable obstacles, Vol.4, pp. 3417-3422. *Proceedings of American Control Conference*. 4-6 June,2003.Denver.
46. Foo, J. L., Knutzon, J., Kalivarapu, V., Oliver, J., & Winer, E., 2009. Path planning of unmanned aerial vehicles using B-splines and particle swarm optimization. **Journal of aerospace computing, Information, and communication**, **6**(4), 271-290.
47. Sahingoz, O. K., 2014. Generation of bezier curve-based flyable trajectories for multi-UAV systems with parallel genetic algorithm. **Journal of Intelligent & Robotic Systems**, **74**(1-2), 499.
48. Tong, H., 2012. Path planning of UAV based on voronoi diagram and DPSO. **Procedia Engineering**, **29**, 4198-4203.
49. Nikolas, I. K., Valavanis, K. P., Tsourveloudis, N. C. ve Kostaras, A. N., 2003. Evolutionary Algorithm Based Offline / Online Path Planner for UAV Navigation. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics**, **33**(6), 898-912.
50. Savuran, H., 2015. Maximizing Target Coverage Of Unmanned Aerial Vehicle Carried On Mobile Platform. Atılım Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 62 Sayfa.



51. Civicioglu, P., 2012. Transforming geocentric cartesian coordinates to geodetic coordinates by using differential search algorithm. **Computers & Geosciences**, **46**, 229-247.
52. Lee, J., Huang, R., Vaughn, A., Xiao, X., Hedrick, J. K., Zennaro, M., & Sengupta, R., 2003. Strategies of path-planning for a UAV to track a ground vehicle. *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Annual Symposium on Autonomous Intelligent Networks and Systems (AINS)*, June 30- July 1, 2003.
53. Al-Sabban, W. H., Gonzalez, L. F., & Smith, R. N., 2013. Wind-energy based path planning for unmanned aerial vehicles using markov decision processes, pp. 784-789. *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. May 2013.
54. Guerrero, J.A., Bestaoui, Y., 2013. UAV path planning for structure inspection in windy environment. **Journal of Intelligent Robotic Systems** **69**, 297-311.
55. (Web Sayfası: [https://tr.wikipedia.org/wiki/TUSAŞ\\_Anka](https://tr.wikipedia.org/wiki/TUSAŞ_Anka)), ( Erişim tarihi: Aralık 2016)
56. (Web Sayfası: [https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned\\_aerial\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle)), (Erişim tarihi: Kasım 2016)
57. Dalamagkidis, K., 2015. Classification of UAVs, pp. 83-91. In Handbook of unmanned aerial vehicles, Springer Netherlands.
58. Van Blyenburgh, P., 2006. UAV systems: global review. In Conference, Amsterdam, The Netherlands.
59. <http://www.helicam.ro/introducere-uav/en>, (Erişim tarihi: Şubat 2017)
60. <http://www.airforce-technology.com/projects/rq4-global-hawk-uav/>, (Erişim tarihi: Aralık 2016)
61. [https://en.wikipedia.org/wiki/Miniature\\_UAV](https://en.wikipedia.org/wiki/Miniature_UAV), (Erişim tarihi: Şubat 2017)
62. Kurt, S., Sonmezocak, E., 2008. Optimum Route Planning and Scheduling for Unmanned Aerial Vehicles. Naval Postgraduate School. Doktora Tezi, Monterey, California. 59 sayfa.
63. Cook, K. L., 2007. The silent force multiplier: the history and role of UAVs in warfare, pp. 1-7. *IEEE Aerospace Conference*, March 2007.

64. [https://www.nasa.gov/centers/dryden/images/content/194061main\\_ED07-0243-18.jpg](https://www.nasa.gov/centers/dryden/images/content/194061main_ED07-0243-18.jpg), (Erişim tarihi: Şubat 2017)
65. Ercan, C., & Gencer, C., 2013. İnsansız hava sistemleri rota planlaması dinamik çözüm metotları ve literatür araştırması. **Selcuk University Journal of Engineering, Science & Technology/Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 1(2).
66. Civicioglu, P., 2013. Backtracking search optimization algorithm for numerical optimization problems. **Applied Mathematics and Computation**, 219(15), 8121-8144.
67. Civicioglu, P., Besdok, E., 2013. A conceptual comparison of the Cuckoo-search, particle swarm optimization, differential evolution and artificial bee colony algorithms. **Artificial Intelligence Review**, 1-32.
68. Albert, A., Leira, F. S., Imsland, L., 2017. UAV Path Planning using MILP with Experiments. **Modeling, Identification and Control**, 38(1), 21.
69. Alidaee, B., Wang, H., & Landram, F., 2009. A note on integer programming formulations of the real-time optimal scheduling and flight path selection of UAVs. **IEEE Transactions on Control Systems Technology**, 17(4), 839-843.
70. Civicioglu, P. (2013). Artificial cooperative search algorithm for numerical optimization problems. **Information Sciences**, 229, 58-76.
71. Zielinski, K., Laur, R., 2006. Constrained single-objective optimization using differential evolution, pp. 223-230. *IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2006. CEC. 2006.*
72. Besada-Portas, E., De La Torre, L., Moreno, A., & Risco-Martín, J. L., 2013. On the performance comparison of multi-objective evolutionary UAV path planners. **Information Sciences**, 238, 111-125.
73. Storn, R., & Price, K., 1997. Differential evolution a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. **Journal of Global Optimization**, 11(4), 341-359.
74. Clerc, M., Kennedy, J., 2002. The particle swarm explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space. **IEEE Transactions on Evolutionary Computation** 6, 58-73.

75. Omran, M.G.H., Clerc, M., 2011., (Web Sayfası: /<http://www.particleswarm.info/S> (Erişim tarihi: Kasım 2016).
76. <https://www.mathworks.com/matlabcentral/mlcdownloads/downloads/submissions/43541/versions/9/screenshot.png>, ( Erişim tarihi: Şubat 2017).
77. (Web Sayfası: [http://lejpt.academicdirect.org/A15/001\\_018.htm](http://lejpt.academicdirect.org/A15/001_018.htm)), ( Erişim tarihi: Ocak 2017)
78. Yang, X. S., & Deb, S., 2009. Cuckoo search via Lévy flights, pp. 210-214. World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing, NaBIC. 9-11 December 2009. Coimbatore, India.
79. Rashedi, E., Nezamabadi-Pour, H., & Saryazdi, S. (2009). GSA: a gravitational search algorithm. **Information sciences**, **179** (13), 2232-2248.
80. Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., Vecchi, M. P., 1983. Optimization by simulated annealing. **Science**, **220** (4598), 671-680.
81. Rubio, J. C., & Kragelund, S. (2003, October). The trans-pacific crossing: long range adaptive path planning for UAVs through variable wind fields, Vol. 2, pp. 8-B.4.1-8.B.4.12. *Proceeding of IEEE 22nd Digital Avionics Systems Conference (DASC'03)*. 12-16 October 2003, Indianapolis.
82. <http://www.mathworks.com>, (Erişim tarihi: Kasım 2016)
83. Turker, T., Sahingoz, O. K., Yilmaz, G., 2015. 2D path planning for UAVs in radar threatening environment using simulated annealing algorithm, pp.56-61. *2015 IEEE International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, 9-12 June 2015, Denver.
84. Xu, C., Duan, H., Liu, F., 2010. Chaotic artificial bee colony approach to Uninhabited Combat Air Vehicle (UCAV) path planning. **Aerospace Science and Technology**, **14**(8), 535-541.
85. <https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>, (Erişim tarihi: Ocak 2017)

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Muharrem Selim CAN  
 Uyuşu: Türkiye (TC)  
 Doğum Tarihi ve Yeri: 1986, KONYA  
 Medeni Durumu: Bekar  
 Tel: +90 352 207 66 66  
 Dahili: 41053  
 email: muharremcan@erciyes.edu.tr  
 Yazışma Adresi: Erciyes Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi Uçak Elektrik-Elektronik Bölümü 38039 Melikgazi/KAYSERİ

### EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü	2010
Lise	Muhittin Güzelkılınç Lisesi	2004

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2015- Halen	Erciyes Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi	Araştırma Görevlisi
2015-Halen	İskenderun Teknik Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu	Araştırma Görevlisi
2015-2015	Mustafa Kemal Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu	Araştırma Görevlisi

### YABANCI DİL

İngilizce

### YAYINLAR

1. Can M.S., Çivicioğlu P., 2016. İnsansız hava araçlarının rota optimizasyonu, pp.1-6 VI. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, 28-30 Eylül, Kocaeli, Türkiye.

2. Can M.S., Çivicioğlu P., 2016. UAV path optimization for minimum fuel consumption and CO2 emission, pp.319-323. *9th International Conference on Sustainable Energy and Environmental Protection*, 22-25 Eylül 2016, Kayseri, Türkiye.
3. Can M.S., Çivicioğlu P., 2017 Comparision of numerical optimization algorithms for finding less risky and safer 3D UAV path, pp.21. *International Conference On Mathematics And Engineering*, 10-12 May, 2017, Istanbul, Turkiye.

