

**İNSANSIZ HAVA VE KARA ARAÇLARININ KOORDİNASYON VE
İŞBİRLİĞİNİ SAĞLAMAK İÇİN YARDIMCI BİR SİSTEM GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Serkan ÇAŞKA

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Barış GÖKÇE

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ağustos, 2016

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**İNSANSIZ HAVA VE KARA ARAÇLARININ KOORDİNASYON
VE İŞBİRLİĞİNİ SAĞLAMAK İÇİN YARDIMCI BİR SİSTEM
GELİŞTİRİLMESİ**

Serkan ÇAŞKA

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Barış GÖKÇE

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ağustos, 2016

TEZ ONAY SAYFASI

Serkan ÇAŞKA tarafından hazırlanan “İnsansız Hava ve Kara Araçlarının Koordinasyon ve İşbirliğini Sağlamak İçin Yardımcı Bir Sistem Geliştirilmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 26/08/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy çokluğu ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği **Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	: Yrd. Doç. Dr. Barış GÖKÇE	
Başkan	: Prof. Dr. İbrahim MUTLU Afyon Kocatepe Ü. Teknoloji Fakültesi	...
Üye	: Doç. Dr. Yüksel OĞUZ Afyon Kocatepe Ü. Teknoloji Fakültesi	...
Üye	: Doç. Dr. Uçman ERGÜN Afyon Kocatepe Ü. Mühendislik Fakültesi	...
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Barış GÖKÇE Afyon Kocatepe Ü. Teknoloji Fakültesi	...
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Said Mahmut ÇINAR Afyon Kocatepe Ü. Mühendislik Fakültesi	...
Üye	: Doç. Dr. Ahmet SAMANCI Necmettin Erbakan Ü. Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi	...
Üye	: Doç. Dr. Arif GÖK Amasya Ü. Teknoloji Fakültesi	...

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Hüseyin ENGİNAR
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

15/10/2016

Serkan ÇAŞKA

ÖZET

Doktora Tezi

İNSANSIZ HAVA VE KARA ARAÇLARININ KOORDİNASYON VE İŞBİRLİĞİNİ SAĞLAMAK İÇİN YARDIMCI BİR SİSTEM GELİŞTİRİLMESİ

Serkan ÇAŞKA

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Barış GÖKÇE

İnsansız araçlar gözlem faaliyetlerinde son yıllarda oldukça fazla kullanılmaktadır. Bununla birlikte, taşınabilir insansız hava araçlarının sınırlı batarya kapasiteleri sebebiyle görevlerine uzun süre devam edememelerine çözüm arayan çalışmalar literatürde henüz yaygın değildir. Bu durum, uzun süre havada kalmayı gerektirecek ve kesintisiz yürütülmesi gereken gözlem faaliyetlerinde taşınabilir insansız hava araçlarının kullanılmasını zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada taşınabilir insansız hava araçları ile bir insansız kara aracının işbirliğine dayanan havadan gözlem sistemi geliştirilmiştir. Önerilen sistemde insansız kara aracı, taşınabilir insansız hava araçlarını gözlem faaliyeti yürütülecek hedef bölgeye aktarma aracı olarak ve havadan gözlem faaliyeti sırasında insansız hava araçları için iniş/kalkış platformu olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada geliştirilen hava araçları yönlendirme algoritması insansız hava araçlarının batarya seviyesini anlık olarak kontrol ederek insansız hava araçlarına görevler atamakta ve gözlem faaliyeti içerisindeki rollerini değiştirmektedir.

2016, xi + 110 sayfa

Anahtar Kelimeler: Keşif ve Gözlem faaliyetleri, İnsansız Hava Araçları, Batarya Tüketimi, Adaptif Kontrol

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

AN ASSISTIVE SYSTEM DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION FOR THE COOPERATION AND THE COLLABORATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES AND UNMANNED GROUND VEHICLES

Serkan ÇAŞKA

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Barış GÖKÇE

Small/portable unmanned aerial vehicles which supply their energy from electric batteries have been successfully used in applications of intelligence, surveillance and reconnaissance-based missions in recent years. Despite their increasing usage, studies which focus on limited battery capacities of S-UAVs has not been completely dealt in the literature. This obstructs the usage of small unmanned air vehicles in long range and unremitting mission scenarios. In this study, a surveillance system that is based on collaboration of two small unmanned air vehicles and a transporter unmanned ground vehicle was proposed. In order to provide the continuity of surveillance mission, an assigning and directing algorithm that considers battery charge level of the small unmanned air vehicles were developed within the proposed system. The developed algorithm assigns tasks to unmanned air vehicles and changes their role in surveillance mission by checking their battery levels.

2016, xi + 110 pages

Keywords: Surveillance and Reconnaissance, Unmanned Air Vehicle, Battery Consumption, Adaptive Control

TEŞEKKÜR

Tez alıőmamda benden desteğini esirgemeyen ve alıőmalarımın baőarıya ulaőmasında önemli katkıları olan danıőmanım Sayın. Yrd. Do. Dr. Barış GÖKE'ye, beni bugünlere getiren anneme, babama ve ağabeyime, sevgili eőime ve bu zorlu doktora sürecinde çeşitli katkılarıyla yanımda olan herkese teşekkür ederim.

Serkan AŐKA

AFYONKARAHİSAR, 2016

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR	5
3. MATERYAL VE METOT	21
3.1 Materyaller.....	21
3.2 İHA'lar İçin Yörünge Paylaşımı ve İnsansız Araç Sayılarının Tespiti	27
3.3 Önerilen Sistem ve Uygulamaları.....	33
3.3.1 Yörünge Takibi Senaryosu	34
3.3.2 Dinamik Takip Senaryosu	37
3.3.3 İnsansız Araçların Matematiksel Modelleri	48
3.3.4 Önerilen Sistemin Benzetim Ortamında Uygulanması	55
3.3.5 Önerilen Sistemin Gerçek Çalışma Şartlarında Uygulanması.....	57
4. BULGULAR.....	60
4.1 MT-İHA'lara Ait Batarya Tüketim değerleri	60
4.2 Önerilen Sistemin Benzetim Ortamındaki Uygulamaları.....	65
4.3 Önerilen Sistemin Gerçek Çalışma Şartlarındaki Uygulamaları	78
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	89
6. KAYNAKLAR	98
EKLER	105
ÖZGEÇMİŞ.....	108

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

ah	Amper saat
km	Kilometre
m	Metre
mAh	Mili amper saat
sn	Saniye

Kısaltmalar

ADS 1	Acil Dönüş Seviyesi 1
ADS 2	Acil Dönüş Seviyesi 2
ÇDÇGSP	Çoklu depo ile çoklu gezgin satıcı problemi
DA	Doğru akım
ÜD	Üyelik derecesi
ÜF	Üyelik fonksiyonu
EZZM	En uzaktaki ziyaret noktası ile ilk ziyaret noktası arasındaki mesafe
FUZZY_PID	Bulanık mantık destekli PID
GİHA	Gemiye konuşlu insansız hava aracı
GSP	Gezgin satıcı problemi
İHA	İnsansız hava aracı
İKA	İnsansız kara aracı
İZY	İlk ziyaret noktasının yüksekliği
KES 1	Kritik Enerji Seviyesi 1
KES 2	Kritik Enerji Seviyesi 2
MGES	Minimum gerekli enerji seviyesi
MGM	Maksimum görev mesafesi
MT-İHA	Mini taktik insansız hava aracı
PID	Oransal integral türevsel kontrolör
RPM	Dakikadaki devir sayısı
TK	Tüketim katsayısı
YSA_PID	Yapay sinir ağı PID

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Ülkelerin sahip olduğu İHA teknolojileri (İnt. Kyn. 1).	5
Şekil 3.1 Yol planlama algoritmasının çerçevesi.	28
Şekil 3.2 a) Hedef arazideki tüm ziyaret noktaları, b) Tek İHA çifti için hesaplanan İHA yörüngesi, c) hesaplanan İHA yörüngesi üzerinde EZZM.	29
Şekil 3.3 a) Dengeli paylaştırılmamış İHA yörüngeleri b) Dengeli paylaştırılmış İHA yörüngeleri.	29
Şekil 3.4 Hedef bölge için hesaplanan yörünge.	32
Şekil 3.5 Gözlem faaliyeti yürütülecek olan alana ait hedef noktaların dengeli olarak bölünmesi.	33
Şekil 3.6 Merkezileştirilmiş haberleşme ve kontrol sistemi.	34
Şekil 3.7 Örnek yörünge üzerinde EZZM ve İKA için uygun bekleme noktası.	36
Şekil 3.8 Maksimum aşma ve yükselme zamanı.	41
Şekil 3.9 Örnek bir çok katmanlı YSA yapısı.	41
Şekil 3.10 P, I ve D katsayılarının anlık olarak türetilmesini sağlayan YSA-PID türü adaptif kontrolörün yapısı.	42
Şekil 3.11 P, I ve D katsayılarının anlık olarak türetilmesini sağlayan FUZY-PID türü adaptif kontrolörün yapısı.	45
Şekil 3.12 Giriş (hata) değerlerine ait üyelik fonksiyonları.	46
Şekil 3.13 P katsayısına ait üyelik fonksiyonları.	46
Şekil 3.14 I katsayısına ait çıkış üyelik fonksiyonları.	47
Şekil 3.15 D katsayısına ait çıkış üyelik fonksiyonları.	47
Şekil 3.16 Dört-rotorlunun yapısı (Bolandi <i>et. al</i> 2013).	49
Şekil 3.17 Dört rotorlu İHA'nın kontrolör yapısı.	53
Şekil 3.18 Diferansiyel tahrikli bir İKA'nın 2 boyutlu görseli.	54
Şekil 3.19 Önerilen sistemin benzetim çerçevesi.	56
Şekil 3.20 VRML Builder programında insansız araçları temsil eden sanal nesnelere... 57	57
Şekil 3.21 Önerilen sistem için oluşturulan gerçek çalışma şartlarındaki uygulama çerçevesi.	59
Şekil 4.1 Yörünge takibi senaryosunun birinci uygulamasında kullanılan yörünge.	66

Şekil 4.2 Yörünge takibi senaryosunun ikinci uygulamasında kullanılan yörünge.	67
Şekil 4.3 Yörünge takibi senaryosunun üçüncü uygulamasında kullanılan yörünge.	69
Şekil 4.4 Yörünge takibi senaryosunun dördüncü uygulamasında kullanılan yörünge.	71
Şekil 4.5 Dinamik takip senaryosu için benzetim ortamında gerçekleştirilen birinci uygulamada İHA'ların konumunun değişimi.	73
Şekil 4.6 Dinamik takip senaryosu için benzetim ortamında gerçekleştirilen ikinci uygulamada İHA'ların konumunun değişimi.	74
Şekil 4.7 Dinamik takip senaryosu için benzetim ortamında gerçekleştirilen üçüncü uygulamada İHA'ların konumunun değişimi.	75

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1 YSA-PID türü kontrolörün YSA modelleri için giriş ve çıkış setleri.	43
Çizelge 3.2 YSA-PID türü kontrolörde P katsayısının değerini anlık olarak elde etmeye yarayan YSA modelinin ağırlık ve bias değerleri.	43
Çizelge 3.3 YSA-PID türü kontrolörde I katsayısının değerini anlık olarak elde etmeye yarayan YSA modelinin ağırlık ve bias değerleri.	44
Çizelge 3.4 YSA-PID türü kontrolörde D katsayısının değerini anlık olarak elde etmeye yarayan YSA modelinin ağırlık ve bias değerleri.	44
Çizelge 3.5 FUZZY-PID türü kontrolörün giriş ve çıkış setleri.	45
Çizelge 3.6 Anlık P, I ve D katsayılarını elde etmek için kullanılan kural tablosu.	48
Çizelge 3.7 Dört rotorlunun matematiksel modelinde kullanılan parametrelerin değerleri (Selim vd. 2013).	52
Çizelge 4.1 MT-İHA 1'in 1 m/s'lik ve 2 m/s'lik hızlarla 1 sn boyunca farklı yönlerde hareket ettirilmesi ile oluşan enerji tüketim değerleri.	61
Çizelge 4.2 MT-İHA 1'in 3 m/s'lik ve 4 m/s'lik hızlarla 1 sn boyunca farklı doğrultularda hareket ettirilmesi ile oluşan enerji tüketim değerleri.	61
Çizelge 4.3 MT-İHA 1'in 1 sn boyunca askıda kalması ile oluşan enerji tüketimi.	62
Çizelge 4.4 MT-İHA 2'nin 1 m/s'lik ve 2 m/s'lik hızlarla 1 sn boyunca farklı doğrultularda hareket ettirilmesi ile oluşan enerji tüketim değerleri.	62
Çizelge 4.5 MT-İHA 1'nin 3 m/s'lik hız ve 4 m/s'lik hızlarla 1 sn boyunca farklı doğrultularda hareket ettirilmesi ile oluşan enerji tüketim değerleri.	63
Çizelge 4.6 MT-İHA 2'nin 1 sn boyunca askıda kalması ile oluşan enerji tüketim değerleri.	63
Çizelge 4.7 MT-İHA 1'in üzerinde 5200 mAh'lik batarya takılıyken 1 m/s'lik ve 2 m/s'lik hızlarla 1 sn boyunca farklı doğrultularda hareket ettirilmesi ile oluşan enerji tüketim değerleri.	64
Çizelge 4.8 MT-İHA 1'in üzerinde 5200 mAh'lik batarya takılıyken 3 m/s'lik ve 4 m/s'lik hızlarla 1 sn boyunca farklı doğrultularda hareket ettirilmesi ile oluşan enerji tüketim değerleri.	64

Çizelge 4.9	MT-İHA 1'in üzerinde 5200 mAh'lik batarya takılıyken 1 sn boyunca askıda kalması ile oluşan enerji tüketim değerleri.	65
Çizelge 4.10	Yörünge takibi senaryosu için simülasyon ortamında gerçekleştirilen Uygulama 1'e ait sonuçlar.	67
Çizelge 4.11	Yörünge takibi senaryosu için simülasyon ortamında gerçekleştirilen Uygulama 2'ye ait sonuçlar.	68
Çizelge 4.12	Yörünge takibi senaryosu için simülasyon ortamında gerçekleştirilen Uygulama 3'e ait sonuçlar.	70
Çizelge 4.13	Yörünge takibi senaryosu için simülasyon ortamında gerçekleştirilen Uygulama 4'e ait sonuçlar.	72
Çizelge 4.14	Sabit katsayılı PID kontrolörünün kullanılması durumunda oluşan yakalama süreleri ve maksimum aşma değerleri.	77
Çizelge 4.15	YSA-PID kontrolörünün kullanılması durumunda oluşan yakalama süreleri ve maksimum aşma değerleri.	77
Çizelge 4.16	FUZZY-PID kontrolörünün kullanılması durumunda oluşan yakalama süreleri ve maksimum aşma değerleri.	78
Çizelge 4.17	Yörünge takibi senaryosu için gerçek çalışma şartlarında gerçekleştirilen uygulama 1'e ait sonuçlar.	80
Çizelge 4.18	Yörünge takibi senaryosu için gerçek çalışma şartlarında gerçekleştirilen uygulama 2'ye ait sonuçlar.	82
Çizelge 4.19	Yörünge takibi senaryosu için gerçek çalışma şartlarında gerçekleştirilen uygulama 3'e ait sonuçlar.	83
Çizelge 4.20	Yörünge takibi senaryosu için gerçek çalışma şartlarında gerçekleştirilen uygulama 4'e ait sonuçlar.	85
Çizelge 5.1	Sabit katsayılı PID 1 kontrolörünün performansının adaptif kontrolörlerin performansından daha iyi olduğu durumlar.	91
Çizelge 5.2	PID 2 ile YSA-PID'nin birlikte kullanılması ile oluşan kontrol performansının diğer kontrolörlerin performansından daha iyi olduğu durumlar.	92
Çizelge 5.3	PID 2 ile FUZZY-PID'nin birlikte kullanılması ile oluşan kontrol performansının diğer kontrolörlerin performansından daha iyi olduğu durumlar.	92

Çizelge 5.4 Sabit katsayılı PID 3 kontrolörünün performansının diğer kontrolörlerin performansından daha iyi olduğu durumlar.	93
Çizelge 5.5 Görevli MT-İHA'nın hızı ve uzaklığına göre devreye alınması gereken kontrolörler.	94

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 Bayraktar mini İHA sistemi (İnt. Kyn. 3).....	11
Resim 3.1 MT-İHA’larda kullanılan motor ve pervane.....	22
Resim 3.2 2200 mAh’lik MT-İHA bataryası.....	23
Resim 3.3 Dörtlü motor hız kontrolcüsü.....	23
Resim 3.4 APM 2.6 uçuş kontrol kartı.....	24
Resim 3.5 Dört rotorlu MT-İHA’ların ana ekipmanları.....	24
Resim 3.6 (a) MT-İHA-1(b) MT-İHA-2.....	25
Resim 3.7 Önerilen sistemde kullanılan İKA.....	26
Resim 3.8 Önerilen sistem için kurulan uygulama düzeneği.....	26

1. GİRİŞ

İnsansız araçlar genel manada içinde veya üzerinde insan operatörü bulunmayan, uzaktan kontrol edilebilen ya da otonom olarak kendini yönlendirebilen ve önceden tanımlanmış görevleri yürüten platformlardır. İnsansız araçlar genelde insanlı araçlar için icra edilmesi zor ve tehlikeli görevlerde kullanılır. Özellikle askeri alanda, savaş ortamında ve savaş öncesinde üstünlük sağlamada, terörle mücadelede, tesis ve bina güvenliğinin sağlanmasında, uzay araştırmalarında, bilimsel çalışmalarda ve diğer birçok alanda ülkelerin ve ilgili kurumların insansız araçlara olan gereksinimi gün geçtikçe artmaktadır. İnsansız araçlara yapılan yatırımlar her yıl ivmelenerek artmakta ve bu alanda elde edilen başarılar insansız araçların tasarımcı ve kullanıcılarına önemli üstünlük ve avantajlar sağlamaktadır (Aksoy ve Kurnaz 2002).

Günümüzde tekli insanız robot uygulamalarının yanı sıra robotların grup halinde ve birbirleriyle etkileşimli olarak belli görevleri yerine getirmeleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır (İnt. Kyn. 2). Grup halinde hareket edecek robotlardan beklenen, robotların her birinin eldeki veriyi değerlendirip kendi başına kararlar alıp harekete geçebilmesi ve aldığı kararlar ve aksiyonlardan grubun ilgili üyelerini haberdar etmesidir (İnt. Kyn. 1). Bu tezde gerçekleştirilecek olan çalışmalar, geleceğin önemli çalışma alanlarından olan insansız araçlar ve robotlarda işbirliği konuları ile ilgili olacaktır. Yürütülecek çalışmaların, bir insansız gözlem sistemi geliştirilmesi açısından savunma, güvenlik gibi güncel teknoloji araştırma ve uygulama alanlarına, robotların yol planlamasında yapay zeka yöntemlerine başvurulması açısından yapay zeka bilimine, mevcut teknolojik imkanlarla uygulanabilir olması ve bir bölgenin gözlem faaliyetinin insansız robotlarla sağlanması açısından toplum yararına, insansız kara ve hava araçlarının işbirliği konusunda yeni bir bakış açısı getirmesi bakımından benzer konuda daha önce yapılmış araştırmalara önemli katkıları olacaktır.

Bu çalışmada geliştirilen sistemde mini taktik insansız hava araçları kullanılmıştır. Dikey iniş ve kalkış yapabilen mini taktik İHA'lar piste ihtiyaç duymadığı için kısa mesafeli gözlem faaliyetlerinde en çok tercih edilen İHA türü olmuştur. Bu çalışmada İKA olarak ise diferansiyel tekerlekli İKA tercih edilmiştir ve hava araçları için bir taşıma aracı ve iniş platform olarak tasarlanmıştır.

Mini taktik İHA'lar için gerekli enerji genellikle li-po (lithium polymer) yapıdaki bataryalardan sağlanmaktadır. Mini taktik İHA'lar li-po pillerin sağladığı enerji ile 5-50 dk arası uçuş yapabilmektedir ve bu süre içinde haberleşme ve görüntü aktarımı gibi işlevleri de yerine getirebilmektedirler. Mini taktik İHA'lar bir gözlem faaliyeti sırasında enerjisini tükettiğinde İHA'ya dolu bir batarya sağlamak için şarj etme ve batarya değiştirme şeklinde 2 temel yöntem kullanılmaktadır. Bununla birlikte, şarj etme ya da batarya değiştirme yöntemlerinin her ikisi de belli bir zaman gerektirmektedir ve bu da yürütülen gözlem faaliyetinin kesilmesine sebep olmaktadır. Bu sebeple, havada görev yapmakta olan İHA'nın pili belli bir seviyenin altına indiğinde yardımcı bir İHA'nın da görev alanında bulunması gözlem faaliyetinin sürekliliğini sağlamak için hayati önem taşımaktadır. Ayrıca ikinci bir İHA'nın gözlem alanında hazır bulunması bir İHA'da meydana gelecek olası arızalarda tek İHA ile de olsa göreve devam etme imkanı sunmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada iki adet mini taktik İHA kullanılmıştır.

Literatürde, insansız sistemleri içeren insansız araçlarla gözlem faaliyetine dayalı çeşitli çalışmalar olmasına rağmen, insansız hava araçlarının enerji tüketimindeki kısıtları dikkate alan ve verilen görevin sürekliliğini hedefleyen çalışmaların sayısı oldukça azdır (Leahy *et al.* 2016). Ayrıca, İHA'ların İKA'lar tarafından faaliyet bölgesine taşınmasını içeren çalışmalar da araştırmacılar için yeni konulardır. Literatürde yer alan diğer çalışmaların aksine, bu çalışmada önerilen sistem mini taktik insansız hava araçlarının enerji kısıtlarını da dikkate almaktadır. Bu çalışmada önerilen sistem, keşif, gözlem ve istihbarat tabanlı bir gözlem faaliyeti yürütmek için 2 adet mini taktik İHA içermekle birlikte bu sayı kullanıcının gözlem yapılacak olan bölgeye yönelik güvenlik algısına bağlı olarak arttırılabilir ve sisteme yeni eklenen insansız araçlar önerilen sistemin içerisine entegre edilebilir.

Bu çalışmada önerilen sistem kullanılarak, insanlı gözlem sistemleri için tehlikeli olabilecek hedef alanlarda, etkili ve güvenli bir biçimde gözlem faaliyeti yürütülebilmektedir. Geliştirilen sistem ticari manada insansız sistemler tasarlayan kuruluşlara ve insansız sistemlere ilgi duyan araştırmacılara da yeni bir bakış açısı

sunmaktadır. Önerilen sistem mini taktik insansız hava araçlarının uzun süreli görevleri yerine getirmesine yönelik bir yaklaşım içermesiyle birlikte uzak gözlem faaliyetleri için hızlı devreye alınabilir ve düşük maliyetli bir sistemdir. Ayrıca, önerilen sistem merkezileştirilmiş bir yapıya sahip olması sebebiyle operatörün müdahalesine müsaade etmektedir. Bu özelliği sayesinde gözlem faaliyeti sırasında beklenmedik durumlarla karşılaşılması durumunda merkezi bilgisayar başında araç verilerini kontrol edebilen bir operatör manuel komutlarla araçları yönlendirebilmektedir. Önerilen sistem enerji üretim tesislerinde, ormanlık alanlarda, askeri güvenlik alanlarında, karakolların ve enerji nakil hatlarının çevresinde yürütülecek gözlem faaliyetlerinde kullanılabilir. Bu tez kapsamında geliştirilen İHA işbirliği yöntemi insanlı kara araçları ile de uyum içerisinde çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bununla birlikte, İHA ve İKA'ların uyumu ve potansiyel kullanımını öne çıkarmak ve çoklu robotların işbirliği alanında yapılacak gelecek çalışmalara bir katkı sağlaması açısından İHA'lar bir İKA ile işbirliği içerisinde kullanılmıştır. Bu çalışmada önerilen sistemin benzetim ortamında ve gerçek çalışma şartlarında uygulaması gerçekleştirilmiştir. Önerilen sistem kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- İnsanlar için tehlikeli olacak bir alanın kritik noktaları tespit edilmiştir ve bu noktalar yol planlaması tabanlı bir algoritmayla birleştirilerek İHA'lar için güzergahlar belirlenmiştir.
- 1 adet İKA üzerinde 2 adet İHA hedef bölgeye gönderilmiştir. İKA uygun, güvenli bir noktada durdurulmuştur ve İKA üzerindeki İHA'lardan biri yukarıdaki adımda belirlenen güzergahı izlemek için havalanmıştır.
- Gözlem faaliyetine başlayan İHA belli bir yükseklikten tanımlanan güzergah üzerinde ilerlemiştir ve üzerindeki kamera alınan görüntüyü merkezi bilgisayara aktarmıştır. Bu sayede bilgisayar başındaki görevlinin hedef alanı izlemesi sağlanmıştır.
- Havada seyir halindeyken şarjı biten İHA yerine bataryası tam dolu olarak İKA üzerinde bekleyen bir İHA havadaki İHA'nın yerine yönlendirilmiştir ve havadaki İHA'nın da İKA üzerine iniş yapması sağlanmıştır. Benzetim ortamında ve gerçek çalışma şartlarında yapılan uygulamalar sonucunda, İHA'ların yürüttüğü gözlem

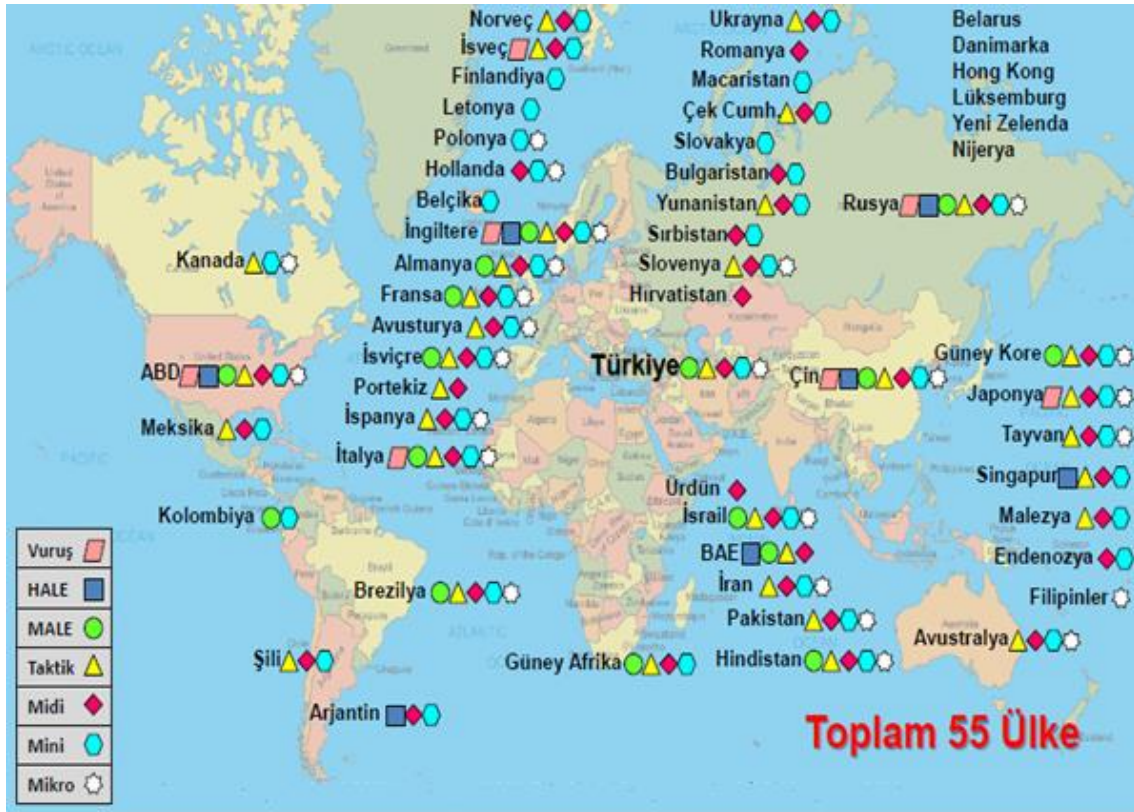
faaliyetinin bu tez kapsamında önerilen sistem sayesinde belli sınırlar içinde başarıyla sağlanabildiği gözlenmiştir.

Literatürdeki çoğu çalışmanın aksine, bu çalışmada önerilen sistem insansız hava araçlarının enerji kısıtlarını dikkate almaktadır. Hedef bölge üzerinde gözlem faaliyeti yürütmek için havadaki tek İHA'nın ve İKA'nın yeterli olmadığı durumda en az kaç adet İHA ve İKA ile gözlenebileceği sorusu gündeme gelecektir. Bu sorunu çözmek için gözlenecek alan için yeterli olacak optimum İHA ve İKA sayısını kullanıcıya öneren ve her bir İHA için yol planlaması yapabilen bir algoritma da geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, mini taktik İHA'ların yatay düzlemde hareketi için kontrol stratejisi geliştirilmiştir. Bu stratejiye göre, yatay düzlemde İHA'ların sabit ve hareketli hedeflere doğru hareket etmesi durumlarına göre farklı kontrolörler devreye alınmaktadır. Bu kontrolörlerin ne zaman devreye gireceği ve kontrolör yapılarının nasıl olacağı ise literatürde bilinen 3 kontrolör tipinin performansının karşılaştırılması sonucunda belirlenmiştir. Karşılaştırma için PID (oransal integral türevsel) kontrolör, YSA-PID (yapay sinir ağı destekli oransal integral türevsel) kontrolör, FUZZY-PID (bulanık mantık destekli oransal integral türevsel) kontrolör kullanılmıştır. PID türü kontrolör bilinen en yaygın kontrolördür ve bu çalışmada sabit katsayılı PID kontrolör (Marzinotto 2012) kullanılmıştır. YSA_PID kontrolör (Fatan *et al.* 2013) katsayılarının yapay sinir ağı yardımıyla değiştirildiği bir adaptif kontrolör türüdür. FUZZY_PID kontrolör (Seidabad *et al.* 2014) ise katsayılarının bulanık mantık yöntemine dayalı olarak değiştirildiği bir kontrolör türüdür.

2. LİTERATÜR

İHA'ların askeri alanlarda kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte dünyada İHA sistemleri bağlı sanayi de hızla gelişmektedir. 2015 yılı Haziran ayı dikkate alındığında dünyada toplam 637 kuruluş tarafından 2.115 adet farklı tipteki İHA için toplam 60 ülkede üretim ve geliştirme faaliyetleri yürütmektedir. Son 11 yılda İHA üretebilen ülke sayısı sadece %40 artarken aynı dönemde İHA geliştirebilen firma sayısı %208 ve bu firmalarca geliştirilen İHA sayısı ise % 289 oranında artış göstermiştir. Şekil 1.1'de İHA ülkelerin sahip olduğu teknoloji seviyeleri gösterilmiştir (İnt.Kyn.1). 2016 yılı itibariyle ülkemiz vuruş gücüne sahip İHA'lar geliştiren ülkeler sınıfına girmiştir. Ülkemizin, ABD, Rusya ve Çin gibi İHA sistemleri konusunda en ileri teknolojiye sahip ülkelerden tek farkı çok yüksek irtifaya çıkabilen ve uzun menzilli İHA'lara henüz sahip olmayışdır. 2016 yılı itibariyle ülkemiz Almanya, Fransa gibi ileri teknolojiye sahip ülkelerle eşdeğer İHA teknolojisine sahip olmuştur.



Şekil 2.1 Ülkelerin sahip olduğu İHA teknolojileri (İnt. Kyn. 1).

Askeri alanda keşif amaçlı geliştirilen İHA sistemleri günümüzde birçok saldırıyı da içeren görevlerde kullanılmaktadır. Askeri hedeflere karşı çoğu kez başarılı saldırılar gerçekleştiren İHA sistemleri çoğu zaman yanlışlıkla da olsa sivil hedefleri de vurmakta ve insan ölümlerine yol açmaktadır. Ayrıca, İHA sistemleri son zamanlarda yangın takibi ve yangın söndürme amacıyla da kullanılmaktadır. İHA sistemlerinin askeri alanda çok çeşitli uygulama alanları mevcuttur. İHA'lar boyut, sınıf ve kullanıcılarına göre de sınıflandırılmaktadır. Ayrıca, sınıf, ağırlık, görev yüksekliği ve görev çapı dikkate alınarak da İHA'lar mikro İHA sınıfından muharip İHA sınıfına kadar sınıflandırılmaktadır (İnt.Kyn.1).

İHA sistemleri askeri kullanımda çoğunlukla kategorileri üzerinden tanımlanmaktadır. Mikro İHA'lar ülkelerin istihbarat örgütleri ve özel kuvvetleri tarafından yüksek değere sahip hedeflerin yakın mesafeden gözetlenmesi ve amacıyla kullanılır (İnt.Kyn.1). Tek operatör ya da tim düzeyinde yönetilen bu sistemler, bazı görevlerde doğrudan savaşa dahil olan kara kuvvetleri gibi birimler tarafından da kullanılabilir. Küçük boyutlarda ve düşük ağırlıklı olacak şekilde tasarlanan mikro İHA'lar, doğadaki nesnelere oldukça benzer. Bu sayede kolayca kamufle olurlar ve bu İHA sistemlerinin tespit edilmesi oldukça zordur (İnt.Kyn.2).

Mini İHA'lar tek kullanıcı düzeyinden tabur seviyesine kadar olan kara birliklerinde ve tek gemi düzeyinde kullanılabilen İHA sistemleridir. Ayrıca, savaş alanındaki hava birliği ve üslerinin yakın savunmasında da kullanılabilir (İnt.Kyn.1). Sürü halinde hareket etmesi amaçlandığında, insanlı uçaklardan hedef bölgelere atılarak kullanılabilirler. Ayrıca, tabur seviyesi ve altındaki birimlerin görüntülü istihbarat faaliyetlerinde hedeflerin tespiti, manevraların ve atışların yönlendirilmesi ile atıştan sonra yapılan hasarın tespit ve değerlendirilmesine yönelik çalışmalarda kullanılırlar (İnt.Kyn.2).

Küçük ya da Midi İHA'lar ise alay ve tugay düzeyinde hizmet veren İHA sistemleridir ve harekâtın yürütüldüğü bölgedeki hava birliklerinin yakın savunması için de kullanılabilir. Sürü halinde kullanılması istediğinde operatif ve stratejik sınıftaki İHA'larla birlikte insanlı savaş uçaklarından hedef bölgeye atılarak kullanılabilirler.

Ayrıca, görüntü ve sinyal istihbaratı sağlayarak hedeflerin tespitinin yapılması, manevraların ve atışların ilgili birimlerce yönlendirilmesi, atıştan sonra hedef üzerinde hasar değerlendirmesinin yapılması amacıyla da kullanılabilirler (İnt.Kyn.1). Taktik İHA'lar ise kolordu ya da ordu düzeyinde tercih edilen İHA sistemleridir. Midi İHA'larla yürütülen görevlere ek olarak, taktik İHA'ların üzerine günümüzde silah da takılabilmektedir ve hava operasyonlarında aktif olarak kullanılabilir. Diğer taktik İHA geliştiricisi ülkeler gibi Türkiye de taktik İHA geliştirme süreçlerine büyük önem vermektedir (İnt.Kyn.2).

Operatif İHA'lar ise asıl olarak ülkelerin hava kuvvetlerinin merkezi karar birimlerince kullanılırlar. Ayrıca, hava kuvvetlerince tanımlanan görevlerinin yanında diğer kuvvetleri desteklemek amacıyla da kullanılabilirler. Operatif İHA sistemleri, okyanus ötesinde tanımlanan hedeflerin tespiti ve imhasını içeren görevlerde tercih edilmektedir ve bu düzeyde stratejik sayılabilecek hedefleri olan Rusya, ABD ve Çin gibi ülkeler tarafından geliştirilmekte ve kullanılmaktadırlar. Ülkemizde de operatif İHA sistemleri üzerine çalışmalar yürütülmektedir. Stratejik-Muharip İHA Sistemleri, stratejik seviyedeki maksatlar için ülkelerin hava kuvvetleri ve istihbarat örgütleri tarafından kullanılan İHA sistemleridir (İnt.Kyn.1). Çok geniş alanlarda gözlem yapabilen uydudan kontrolü sağlayan Satcom veri ağına sahip, çeşitli silahlar taşıyabilen ve 40000 feet (yaklaşık 12000 metre) yüksekliklerde dahi göre yapabilen İHA'lardır. Stratejik-Muharip İHA sistemlerinin yakın zamanda günümüzdeki insanlı savaş uçaklarının yerini alması beklenmektedir (İnt.Kyn.2).

İHA'ların günümüzde askeri alandaki katkısından görüldüğü üzere gelecekte çeşitli alanlarda kullanımının artacağı ortadadır. Bunun için çeşitli kuruluşlar İHA'ların gelecekte kullanımı için teknoloji gereksinimleri üzerine çalışmalar yürütmektedirler. ABD'de savunma teknolojileri konusunda DARPA, Amerikan Hava Kuvvetleri ve NASA başta olmak üzere birçok firma tarafından İHA sistemlerini geliştirme amaçlı araştırmalar yürütülmektedir (İnt.Kyn.1). Bu bağlamda, ABD tarafından İHA sistemlerinin gelecekteki kullanım alanları ve teknoloji gereksinimleri üzerine yapılmış birçok yol haritaları da yayınlanmıştır. Bu yol haritaları ve diğer ülkelerdeki araştırmalar da dikkate alındığında, yakın gelecekte askeri İHA uygulamalarının hayata

geçirilmesi için birçok farklı alanda teknolojik becerilerin elde edilmesi ve bu becerilerin de uyum halinde kullanılması gerekeceği görülmektedir (İnt.Kyn.2).

Ülkemizde İHA sistemlerinin geliştirilmesi ve Türk Silahlı Kuvvetleri'nin envanterine girmesine yönelik çalışmaların 1980'lerin sonunda başladığı söylenebilir. Meggitt firmasının geliştirdiği Banshee sistemi, ilk insansız hedef uçağı olarak 1989 yılında TSK envanterine girmiştir (İnt.Kyn.2). Bundan sonra, Canadair firmasınınca geliştirilen CL-89 İHA platformlarından 5 adet 1993 yılında Almanya tarafından ülkemize hibe edilmiştir ve 1994 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Fakat, meydana gelen lojistik sıkıntıları ve kaza kırımlar sebebiyle bu sistemler kısa sürede kullanılamaz hale gelmiştir (İnt.Kyn.1).

Önceki başarısız girişimler dikkate alınmazsa, gerçek manada TSK envanterine alınan ilk İHA'nın General Atomics/ABD firmasının geliştirdiği GNAT-750 olduğu söylenebilir. 1995 yılında kullanılmaya başlanan 6 adet GNAT-750 İHA sisteminden sonra 2 adet I-GNAT İHA'sı da envantere girmiştir. GNAT-750 ve I-GNAT İHA sistemleri, Kara Kuvvetleri bünyesinde 2005 yılına kadar hizmet vermiştir. 2007-2010 yılları arasında ise İHA ihtiyacını karşılamak adına İsrail menşeli Heron, Searcher ve Dominator ve Aerostar İHA sistemleri kiralanmış ya da satın alınmış ve Kara Kuvvetleri bünyesinde kullanılmıştır. 2010 yılında ise, IUP/ İsrail firmasının geliştirdiği 10 adet Heron İHA sistemi Hava Kuvvetlerince kullanılmaya başlanmıştır (İnt.Kyn.1). Bahsi geçen Heron İHA sistemi Hava Kuvvetlerince kullanılan ilk İHA sistemidir. Bu süreçte Heron İHA'larının birtakım alt sistemlerinin geliştirilmesine bazı Türk firmaları da katkı sağlamıştır (İnt. Kyn. 2).

1990'lı yılların başından itibaren yerli İHA sistemi geliştirme çalışmaları son yıllarda önemini arttırmıştır (İnt.Kyn.2). Özellikle 2004 yılından itibaren Savunma Sanayii Müsteşarlığı (SSM) öncülüğünde yürütülen çalışmalar sayesinde ülkemizde İHA sistemlerinin geliştirilmesi üzerine faaliyet gösteren oldukça geniş bir sanayi altyapısı oluşmaya başlanmıştır (İnt.Kyn.1).

İHA geliştirme ve üretim alanında faaliyet gösteren tüm firmaların katkılarıyla 2012 yılında SSM tarafından hazırlanan “Türkiye İHA Sistemleri Yol Haritası” İHA sistemleri konusunda ülkemizi geleceğe hazırlamamız için atılması gereken adımları içeren önemli bir kaynaktır (İnt.Kyn.2). Ülkemizin İHA sistemleri geliştirme süreciyle ilgili 2030 yılına kadar öngörülerde bulunan bu dokümanın yakın zamanda güncelleştirilerek 2017 yılında tekrar yayınlanması savunma alanıyla ilgili çevreler tarafından beklenmektedir (İnt.Kyn.1).

Yerli imkanlarla üretilmek istenen İHA sistemlerinin ilk örneklerinden olan ve TUSAŞ tarafından geliştirilen İHA-X1 Şahit sistemi 1990 yılında üretilmiştir ve kayıtlara ilk yerli İHA olarak geçmiştir (İnt.Kyn.1). Bu İHA’dan 1992 yılında iki adet üretilmiştir fakat seri üretimi aşamasına geçilememiştir. TUSAŞ firmasınınca 2001 yılında geliştirilen Turna sistemi ise TSK envanterine giren yerli imkanlarla üretilmiş ilk hedef uçağıdır (İnt.Kyn.2).

2007 yılında, Kalekalıp - Baykar ortaklığı tarafından bir diğer yerli İHA olan Bayraktar TB2 taktik İHA’nın prototipini geliştirme üzerine çalışmalar ise başlatılmıştır. Geliştirilen prototipin 8 Haziran 2009 tarihinde ilk uçuşu gerçekleştirilmiştir. Prototip İHA ile 2009 yılı boyunca yürütülen uçuş testlerini takiben 2010 yılında Bayraktar taktik İHA’nın seri üretimine geçme kararı alınmıştır. Bayraktar taktik İHA’nın Kara Kuvvetleri Komutanlığı için 12 adet olarak üretilmesine yönelik sözleşme 2011 yılında imzalanmıştır (İnt.Kyn.2). Proje sürecinde ilk aşama testleri 2014 ve 2015 yıllarında gerçekleştirilmiştir ve Kara Kuvvetleri bünyesinde alınan bu İHA’lar, 2015 yılında aktif olarak kullanılmıştır. Emniyet Genel Müdürlüğü ihtiyacına karşılama amacıyla 6 adet Bayraktar taktik İHA’nın tedarikine SSM tarafından karar verilmiş ve ilgili tedarik süreci Ekim 2015’te başlatılmıştır. ROKETSAN’ın İHA’lara entegre edilmeye yönelik olarak geliştirdiği UMTAS füzesinin bomba olarak tasarlanan versiyonu olan lazer güdümlü MAM-L füzesi Bayraktar TB2 taktik İHA’sının üzerine entegre edilmiştir ve İHA üzerinden Aralık 2015’te ilk atış testi başarıyla icra edilmiştir (İnt.Kyn.1).

Ülkemizde yerli imkanlarla İHA üretimine destek olan bir diğer firma da Vestel Savunma A.Ş.’dir. 2005 yılında, Vestel Savunma A.Ş. Efe Mini İHA sisteminin prototip

geliştirme çalışmalarını başlatmıştır. Geliştirilen Mini İHA, TSK'nın mini İHA'lara yönelik ihalesini kazanamaması sebebiyle firma, sistemin seri üretimi gerçekleştirmemiştir (İnt.Kyn.2). Vestel Savunma firması, taktik sınıftaki Karayel İHA'nın prototip geliştirme çalışmalarını ise 2007 yılında başlatmıştır. Bu kapsamda, geliştirilen prototipin 2009 yılında yürütülen uçuş testlerini başarıyla geçmesini takiben, 2010 yılında itibaren Karayel İHA'nın seri üretimine geçilmesine firma tarafından karar verilmiştir. Kara Kuvvetleri kapsamında kullanılmak için katapultla atılabilme ve paraşütle iniş yapma kabiliyetlerine sahip olması istenen 6 adet İHA'nın üretimine yönelik anlaşma Aralık 2010 tarihinde SSM ile firma arasında imzalanmıştır. Karayel taktik İHA'lar, TSK bünyesinde 2015 yılından itibaren operasyonel anlamda kullanılmaya başlanmıştır (İnt.Kyn.1).

Bu çalışmada kullanılan mini taktik İHA'lar ile aynı sınıfta değerlendirilebilecek Bayraktar mini taktik İHA sistemi Türkiye'de üretilmiş ilk profesyonel mini taktik İHA sistemidir. Kalekalıp-Baykar Makina ortaklığı tarafından 2005 yılında geliştirilmeye başlanan Resim 1.1'de görülen Bayraktar İHA sistemi, 2007 yılında ilk yerli mini taktik İHA olarak TSK envanterindeki yerini almıştır (İnt.Kyn.2). Bunun yanında, 20 adet Bayraktar mini taktik İHA sistemi de Emniyet Genel Müdürlüğü'ne teslim edilmiştir. Ayrıca, Katar Silahlı Kuvvetleri talebi üzerine üretilen 20 Adet Bayraktar İHA sistemi de 2012 yılında teslim edilmiştir. Bu antlaşma kapsamında Bayraktar İHA sistemi, ülkemiz tarihinde ihraç edilen yerli imkanlarla geliştirilmiş ilk İHA sistemi olmuştur. Baykar Makina bünyesinde Malazgirt döner kanat mini taktik İHA sistemini geliştirme çalışmaları 2006 yılında başlamıştır ve bu İHA'lar da Mayıs 2009 yılında TSK envanterine girmiştir (İnt.Kyn.1).



Resim 2.1 Bayraktar mini İHA sistemi (İnt. Kyn. 3).

Ülkemizin en gözde İHA projesi olan ANKA'nın geliştirme süreci 2004 yılında başlatılmıştır. Anka projesi 3 adet prototip İHA'nın geliştirilmesini kapsamaktadır. Anka projesinin ilk aşamasının ilk uçuşu Aralık 2010'da gerçekleştirilmiştir ve şubat 2013'te de uçuş kabul testleri başarı ile tamamlanmıştır. Projenin ikinci aşamasında SAR/ISAR/GMTI radarının Anka'ya entegrasyon süreci ise devam etmektedir ve Ocak 2015'te ikinci aşamanın ilk uçuşu gerçekleştirilmiştir. 10 adet Anka İHA'nın üretimini içeren ANKA-S (silahlı taktik İHA) sözleşmesi de Anka'nın üreticisi TUSAŞ ile SSM arasında Ekim 2013'de imzalanmıştır (İnt.Kyn.2). ANKA-S İHA sistemi, uydu üzerinden kontrol (SATCOM) gibi bazı yeni kabiliyetleri de içeren Anka İHA projesinin devamıdır. ANKA-S İHA'larının Hava Kuvvetlerine 2017 yılında teslim edilmesi beklenmektedir. 6 adet ANKA İHA'nın Emniyet Genel Müdürlüğü envanterine girmesine yönelik çalışmalar ise SSM tarafından Ağustos 2015 tarihinde başlatılmıştır. Ayrıca, 9 adet ANKA İHA'nın daha EGM için ileriki yıllarda tedarik edilmesi planlanmaktadır (İnt.Kyn.1).

Ülkemizde son yıllarda İHA geliştirme amacıyla yapılan çalışmalarla birlikte İHA'larda kullanılan sistem ve alt sistemleri yerli olarak geliştiren firmalar da ortaya çıkmıştır. Bugüne kadar TSK için İHA geliştiren TUSAŞ, Baykar Makina ve Vestel Savunma firmalarına ek olarak birçok özel firma ve üniversite İHA sistemleri geliştirme konusunda önemli çalışmalar gerçekleştirmiştir. Bu firmalara ve firmaların yürüttüğü çalışmalara örnek verecek olursak; EES A.Ş. firması 1990'lı yıllarda Doğan ve

Kırlangıç ismini taşıyan 2 farklı İHA geliştirmiştir fakat satışı yapılamayan bu İHA sistemlerinin seri üretimi yapılmamıştır (İnt.Kyn.1). ODTÜ Havacılık ve Uzay Mühendisliği bünyesinde geliştirilen Güventürk mini taktik İHA sistemi TSK'nın mini İHA Sistemi alımına yönelik ihaleye katılmıştır fakat bu ihalede seçilememesi sebebiyle bu İHA için seri üretim aşamasına geçilmemiştir. ASELSAN, Global Teknik, Helitechnic, MİLYAZ Savunma, SE Savunma, TK3-Teknik, Z-Sistem gibi birçok yerli savunma sanayi firması farklı sınıflarda İHA sistemi geliştirmiştir. Bunun yanında, ASELSAN, BİTES, C2TECH, ESEN, FEMATEK, HAVELSAN, METEKSAN Savunma, MİLSOFT, SAVRONİK, SDT, STM ve TEI gibi firmalar tarafından İHA'lara entegre edilebilecek alt sistemler geliştirilmektedir (İnt.Kyn.2).

Günümüzde İHA sistemlerinin sivil uygulamalar içerisinde kullanım alanı da oldukça genişler ve sivil kullanım için en büyük potansiyel tedarikçinin devlete bağlı kurumlar ve görüntüleme sistemleri alanında faaliyet gösteren firmalar olduğu görülmektedir. Askeri uygulamalara benzer olarak görüntüleme sistemlerinin sivil alanda da İHA'lar üzerinde kullanılacak faydalı yükler olmaktadır (İnt.Kyn.2). Sivil kullanımda çoğunlukla askeri alandaki mini taktik İHA sınıfına denk gelen büyüklükteki İHA sistemleri tercih edilmektedir. İHA sistemlerinin sivil uygulamalarda kullanımına ilişkin örnekler olarak; atmosfer araştırmaları, arama kurtarma faaliyetleri, haberleşme sistemlerinde destek, balıkçılık faaliyetleri, ekin ve hasar durumu izleme vb. uygulamalar gösterilebilir (İnt.Kyn.1).

Bu çalışmada kullanılan ikinci unsur da insansız kara aracıdır (İKA). Son yıllarda insansız kara platformları bomba imha görevlerinde, deprem sonrası yürütülen arama kurtarma çalışmalarında etkin bir biçimde kullanılmaya başlanmıştır. İKA'ların dinamik ya da anlık değişen çevre koşullarına maruz kalması ihtimali İHA'lara göre yüksek olduğu için günümüzde otonom kontrol edilebilme özelliğine sahip olmalarının yanında, İKA'ların mutlaka bir operatörün kontrolüne izin veren yapıda olması istenmektedir. İKA'ların da İHA'lar gibi askeri alanda kullanılma potansiyelleri oldukça yüksektir ve her iki insansız araç grubunun geliştirilme çalışmalarının askeri alanlarda kullanılmaları ile doğru orantılı olarak artması muhtemeldir.

İnsansız kara platformlarının, geleceğin savaş alanlarında etkin bir şekilde kullanılması için uzaktan kontrol edilebilir yapıda olmaları ve mümkün olduğunca kendi başına karar verip bu kararları uygulama yeteneğine sahip olmaları istenmektedir. Bu kapsamda, keşif, gözlem ve istihbarat toplama, asimetrik tehditlere karşı mücadele, sınır gözetleme, mayınların ve el yapımı patlayıcıların tespit edilip ve imha edilmesi, arama ve kurtarma faaliyetleri, diğer unsurlara lojistik desteğinin sağlanması vb. gibi konularda İKA'lardan destek alınmaktadır ve gelecekte İKA'lardan faydalanılan bu alanların sayısının artması da kuvvetle muhtemeldir (İnt. Kyn. 4).

ASELSAN Türkiye'deki başlıca İKA sistemler üreticisi konumundadır. Aselsan bünyesinde geliştirilen KAPLAN (İKA) sistemi oldukça yüksek hareket kabiliyetine ve tanımlanan göreve göre değişebilen otonomluk seviyelerine sahiptir ve modüler kontrol paneli ile uzaktan kontrol edilebilmektedir. Kaplan İKA sisteminin uluslararası standartlara uyumlu tasarımı sayesinde yeni görev senaryoları kolaylıkla tanımlanabilmekte ve farklı firmalarca geliştirilen faydalı yükler Kaplan İKA üzerine entegre edilebilmektedir (İnt. Kyn. 4).

KAPLAN İKA sistemi uzaktan kumanda edilebilme ve tam otonom hareket edebilme gibi özellikleri ile gelişmiş ve ağ tabanlı bir yapıda hizmet verebilmektedir. Kaplan İKA'nın sahip olduğu kontrol panelindeki arayüz ile aracı yönlendiren operatöre zor şartlarda destek vererek operatörün iş yükünü hafifletmek ve operatörün araca ve aracın çevre şartlarına dair farkındalığını arttırmak amaçlanmıştır. Yeni nesil İKA sistemlerinin donanım ekipmanları güvenilir, test edilmiş ve gerekli askeri standartları taşıyan ürünler arasından seçilmektedir. İKA'yı oluşturan tüm alt sistemler kapsamlı testlerinden geçirilerek zorlayıcı çevre şartlarında dahi kullanılmalarına olanak sağlanmaktadır. KAPLAN İKA sistemi, modüler yapısı sayesinde görev gereksinimlerine bağlı olarak farklı faydalı yükler ile kolaylıkla donatılabilmekte ve keşif-gözlem, toprağa gömülü mayınları ya da uzaktan kumanda edilen patlayıcıları tespit etme ve imha etmede kullanılmaktadır (İnt. Kyn. 4).

Aselsan bünyesinde geliştirilen bir başka İKA sistemi olan İZCİ de terörle mücadelede, sınırlarda devriye görevlerinde, kritik tesislerin çevre güvenliğinin sağlanmasında,

keşif-gözetleme ve istihbarat faaliyetlerinde kullanılmak üzere tasarlanmış bir araçtır (İnt. Kyn. 5). İZCİ'nin sahip olduğu genel özellikler ise şöyle sıralanabilir:

- Uzak mesafelerden lojistik uygulamaları, keşif, gözetleme ve istihbarat faaliyetleri yürütebilir.
- Engebeli arazi gibi zorlayıcı koşullarda görev yapabilir.
- Otonom hareket edebilme ve ihtiyaç duyulduğunda operatör tarafından uzaktan kumanda edilebilir.
- Engelleri tanır ve aşar ve belirtilen bir rotayı izleyebilir.
- Farklı görevler için tasarlanmış faydalı yükler üzerine entegre edilebilir.
- Araç verilerini ve üzerine takılabilen kameraların görüntülerini güvenli bir şekilde aktarabilir.
- Hareket yönündeki engelleri tanıyarak aşabilir.
- Hedefleri otomatik olarak tespit edebilir ve takip edebilir.

İnsansız hava aracı (İHA) çalışmaları 1900'lu yılların başında ilk olarak ABD'de başlamıştır fakat sonraları çeşitli bireysel faaliyetler dışında 1950'lere kadar uzanan bir duraklama dönemi yaşanmıştır. Vietnam Savaşı sırasında tekrar ortaya çıkan İHA'ların gerçek manada bir silah sistemi olarak kullanımı 1982'deki Beka Hava Muharebesi'nde olmuştur. Bu savaşta İHA'lar etkin bir şekilde kullanılmıştır ve muharebe alanında ve anlayışında yeni bir yaklaşım olarak askeri tarihteki yerini almıştır (Conner 2000).

İHA'lar doğal olarak ilk önce askeri alanlarda kendine yer bulmuştur ve 1980'li yıllardan başlayarak birçok ülkenin silahlı kuvvetlerinin envanterine girmiştir. İHA'lar, Kosova, Afganistan, Irak, Filistin, Lübnan, Bosna-Hersek, Yemen, Pakistan, Libya, Mali ve Suriye gibi son yıllardaki çatışma bölgelerinde etkin bir biçimde kullanılmıştır. İlk İHA örnekleri keşif/gözetleme amacıyla kullanılsa da günümüzde İHA'lara takılabilen güdümlü füzelerle birlikte değerlendirildiğinde yüksek değerli ve kısa sürede imha edilmesi gereken hedeflere karşı etkin bir silah haline gelmiştir (Brook 1997).

Son yıllarda geliştirilen F-35 savaş uçağının insanlı savaş uçaklarının son versiyonu olacağı ve 6'ncı nesil savaş uçaklarının hizmet alınmasıyla birlikte askeri havacılıkta

İHA'ların daha ağırlıklı olarak kullanılacağı, günümüzdeki birçok askeri havacılık kuruluşu ve otoritesince ifade edilmektedir (İnt.Kyn.1).

İnsansız robotlarla yapılan çalışmaların robotik araştırmalar içindeki yeri gün geçtikçe artmaktadır. Bununla birlikte, çoklu insansız robotların işbirliğine dayalı sistemlerin de araştırmacılar tarafından kullanımında önemli bir artış olduğu görülmektedir. Bunun sonucu olarak, İHA-İKA işbirliğine dayanan sistemler, insansız araçlar üzerine faaliyet yürüten kuruluşların da ilgisini çekmektedir (Chen *et al.* 2015)

Literatürde, İHA-İKA işbirliğine dayanan çalışmalar istihbarat, gözlem ve keşif, nesne takibi, yol planlaması ve konumlandırma, çoklu robot takımlarının düzen kontrolü gibi başlıklar altında toplanmıştır.

İstihbarat, gözlem ve keşif türündeki çalışmalar izlenen bölgeye ait bilgilerin bir insan operatörüne uzaktan aktarılması üzerinedir. Saska vd. (2012-a), tarafından yapılan çalışmada bir adet dört rotorlu (quad-copter) İHA ve bir adet İKA'nın işbirliği ile bir gözlem faaliyeti yürütülmüştür. İKA'nın önceden belirlenen noktaları gezmesi sağlanmış ve bu noktalardan görüntü alınmıştır. İHA ise İKA'nın ulaşamadığı noktaları havadan gözetlemek için kullanılmıştır. Yapılan çalışmada İHA'nın İKA üzerine otonom olarak iniş yapması sağlanmıştır. Bu çalışma kapsamında İHA'nın enerji kısıtları dikkate alınmamıştır.

Cantelli vd. (2013), bir İHA'nın kamerasından alınan görüntü yardımıyla bir İKA'yı takip etmesini sağlamıştır. Bu çalışmada İKA sınırlı bir hızda hareket ettirilmiş ve İHA kamerasının görüntü alanında kalması sağlanmıştır. Bu çalışma, belli bir bölgede bir kara aracının hareket edebileceği noktaların ve güzergahların İHA yardımıyla elde edilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada, İKA belirlenen güzergahta ilerlerken İHA'nın İKA'yı takip etmesi sağlamıştır.

Giakoumidis vd. (2012), yapay bir şehir prototipinin bir İHA yardımıyla havadan gözlenmesi sağlamıştır. İHA'nın üzerindeki kamera yardımıyla deney ortamı olarak hazırlanan bir şehir maketinin sokaklarının tespit edilmesine yarayan bir algoritma ile

sistem desteklenmiştir. Sokakları tespit edildikten sonra bir en kısa yol algoritması yardımıyla İKA için şehrin herhangi iki noktası arasındaki en kısa yol bulunmuştur. Yapılan çalışmada İKA yapay şehrin sokaklarında gözlem faaliyetini yürütürken aynı zamanda İHA için de bir taşıma ve şarj istasyonu olarak kullanılmıştır. İHA'nın enerji kısıtları ise dikkate alınmamıştır.

Tanner vd. (2006), bir grup İHA ve İKA'nın etkileşimine dayalı bir gözlem sistemi sistem üzerinde çalışmışlardır. Kara araçları birbirilerine çarpmalarını önleyen potansiyel kuvvet yaklaşımı sayesinde birlikte hareket edebilmektedir. Hava araçları ise kara araçlarının merkez noktasını anlık olarak takip etmektedir.

Sauter vd. (2008) İKA ve İHA'lerden oluşan bir robot kümesini keşif, gözlem ve istihbarat faaliyetlerinde kullanmıştır. Ayrıca çalışmada kullanılan araçlar merkezi bir bilgisayara ve bir operatörün müdahalesine ihtiyaç duymadan kendi üzerlerindeki yazılımların yardımıyla hedef tespitlerini yapabilmektedir. Literatürde keşif, gözlem ve istihbarat görevini içeren birçok çalışma mevcuttur. Capezio vd. (2005) İKA'ların dış ortamda gözlem faaliyetlerini yürütebilmesi için GPS tabanlı bir konumlandırma yaklaşımı üzerinde çalışmışlardır. Khaleghi vd. (2013), İKA ve İHA'lar yardımıyla gözlem faaliyeti yürütmeye ve topluluk takibi yapmaya yarayan bir planlama ve kontrol sistemi geliştirmişlerdir. Saska vd. (2012-b) İHA ve İKA'lerden oluşan bir grup insansız aracın koordinasyonunu sağlayan bir yaklaşım üzerinde çalışmışlardır. Chaimowicz vd. (2005) kentsel ortamlarda İHA ve İKA yardımıyla gözlem faaliyeti yürütebilecek bir yaklaşım üzerinde çalışmışlardır.

Nesne takibi türündeki çalışmalarda izlenen nesnenin yörüngesini tahmin etme ve cisimi takip etmeye çalışan algoritmalar geliştirilmesi üzerinedir. Yol planlaması üzerine olan çalışmalarda ise robotların ziyaret edeceği noktalar üzerinde optimal yörüngelerle yol almasının sağlanması üzerinedir. Konumlandırma ise tüm robotik çalışmalarda karşımıza çıkabilecek genel bir soru olan "robotun kendisi nerede?" sorusuna sensörler ve algoritmalarla cevap aranması üzerinedir.

Owen vd. (2010), şehir içindeki dinamik şartlarda kullanılacak bir nesne takip sistemi üzerinde çalışmışlardır. Önerilen sistemde, birer adet İHA ve İKA ile birlikte üzerinde renkli bir işaret bulunan bir hedef bulunmaktadır. Bu sistemde hedef önceden belirlenmiş bir güzergahı takip etmektedir. İKA hedefle karşılaştığı anda ya da İHA hedefi yukarıdan tespit ettiği anda hedefi takibe başlamakta ve hedefi ilk tespit eden insansız araç diğerine hedefin konumu bildirmektedir. Hedef güzergahında seyrederken binalar sebebiyle hem İHA'nın ve hem de İKA'nın görüş alanından çıkması ihtimaline karşı, insansız araçların hedefin konumunu tahmin etmesini sağlayan bir algoritma ile sistem desteklenmiştir. Sistemin simülasyonu yapay bir şehir prototipi üzerinde gerçekleştirilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Hui vd. (2013) bir adet İHA'nın üzerinde işaret bulunan bir İKA'yı takip etmesi üzerinde bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, İHA üzerindeki kamera yardımıyla İKA'nın üzerindeki renkli işareti tespit etmekte ve İKA'yı takip etmektedir. Bu sistemin görüntü işleme tabanlı takip sistemlerinden farkı İHA'nın İKA hareket halindeyken İKA üzerine iniş yapabiliyor olmasıdır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda İHA'nın İKA hareketliken üzerinde kalkış, iniş ve takip operasyonlarını otonom olarak gerçekleştirebildiği gözlenmiştir.

Garzon vd. (2012), bir adet İHA ve İKA'dan oluşan bir navigasyon ve engel tanımlama sistemi önermişlerdir. Bu çalışmada İHA İKA'yı yukarıdan gözlemlemekte ve İKA'nın kendisine göre pozisyonunu hesaplamaktadır. Aynı zamanda İHA İKA'nın anlık güzergahı üzerindeki karşısına çıkması muhtemel engelleri de tespit etmektedir ve gerektiğinde İKA'nın güzergahını değiştirebilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalar, önerilen yöntemle İKA'nın ve engellerin konumunun doğru tespit edebildiğini ve İKA için yeni güzergahlar belirlenebildiğini göstermiştir.

Kim vd. (2001), bir İKA ve İHA takımının birbirlerini kaçma-yakalama düzeninde takip etmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Önerilen sistemde insansız araç kümeleri birbirlerini takip ederken çevrelerinin haritasını da çıkartmaktadırlar. Literatürde, nesne takibi, yol planlaması ve konumlandırma ile ilgili yapılmış birçok çalışma mevcuttur. MacArthur vd. (2007) bir İHA yardımıyla bir İKA'nın konumunu

tahmin eden bir yaklaşım üzerinde çalışmışlardır. Zengin vd. (2007) İHA'lar için gerçek zamanlı bir nesne takip algoritması geliştirmişlerdir. Stegagno vd. (2013) çoklu insansız robot gruplarının bağıl olarak konumlandırılması üzerine bir çalışma yürütmüşlerdir.

Çoklu robot gruplarının düzen kontrolü, insansız robotların işbirliğine yönelik yürütülen çalışmalarda önemli bir yer tutmaktadır. Brandao vd. (2010), bir karar merkezine ihtiyaç duymayan (decentralized: her robot kendi kararını alır ve diğerlerini bilgilendirir) bir lider-takipçi kontrol yaklaşımı önermişlerdir. Bu yaklaşımda, İKA'ların her biri İHA'ya veri alışverişi içerisinde. Lider olarak belirlenmiş bir helikopter İHA, çevrenin durumuna göre bir pozisyona yönelir ve bu hedef konumu İKA'lara bildirir. İHA aynı zamanda hedef konum etrafında İKA'ların nasıl bir düzende konumlanacağını da İKA'lara aktarır. İKA'lar belirlenen hedefe doğru birbirlerine çarpmadan hareket ederler. İKA'ların hedefe giderken ve hedef etrafında tarif edilen düzene geçerken birbirleriyle çarpışmalarını için İKA'lar bir konumlandırma algoritması ile desteklenmiştir.

Barnes vd. (2008), iki İHA yardımıyla bir İKA grubunun belli bir düzende yönlendirilmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada, İKA'ların kendi aralarında çarpışmasını önleyen potansiyel alanlar algoritması ile İKA'ların otonom hareketi desteklenmiştir. Literatürde, çoklu İHA ve İKA gruplarının düzen kontrolünün gerçekleştirilmesi ile ilgili önemli çalışmalar mevcuttur. Kendoul vd. (2010) küçük İHA'ların düzen kontrolü için doğrusal olmayan bir kontrol sistemi geliştirmiştir. Chao vd. (2012), İHA'ların düzen kontrolü için kestirim/tahmin odaklı bir kontrol sistemi geliştirmiştir. Liu vd. (2012), çoklu ajan sistemlerinin düzen kontrolü için iteratif bir öğrenme yaklaşımı geliştirmiştir. Ghommam vd. (2010), mobil robotların bir yörüngeyi belli bir düzende izlemesini sağlayan bir yaklaşım üzerinde çalışmışlardır. Chen vd. (2010), otonom robotların lider-takipçi düzeninde işbirliği ile hareket etmesini sağlayan bir yaklaşım üzerinde çalışmışlardır.

Keşif, gözlem ve istihbarat, yol planlaması, konumlandırma ve düzen kontrolü şeklinde tanıtılan çalışmaların yanında bu üç temel başlığın altına girmeyen ya da bu başlıkların en az ikisini birlikte içeren ve belli özel görevleri yerine getirmekte kullanılmış İHA-

İKA işbirliğine dayalı sistemler üzerine yürütülmüş çalışmalar da literatürde mevcuttur. Tokekar vd. (2013), bir adet İHA ve İKA'yı hassas bir tarım uygulamasında kullanmışlardır. Bu uygulamada insansız hava ve kara aracının bir arazide gerekli gübre miktarını tespit etmesi ve gerekli noktalara gübre aktarması hedeflenmiştir. Araştırmacılar arazideki gübre ihtiyacını tespit etmek için çeşitli noktalardaki azot miktarını ölçmüşlerdir. Ölçülen azot değerlerine göre arazinin bir azot yoğunluk haritası çıkarılmıştır. İHA havadan ölçüm noktalarını arazide dengeli bir dağılımla işaretlerken İKA'nın da bu noktalara giderek toprak örnekleri alması hedeflenmiştir. İKA, İHA tarafından tespit edilen noktaları GSP (gezgın satıcı problemi) yaklaşımına göre ziyaret etmektedir.

Perkins vd. (2013), kimyasal ya da nükleer bir kazada olay yerinden bilgi almaya yarayacak bir sistem üzerinde çalışmışlardır. Bu yaklaşımın denenmesi için, kimyasal bir madde taşıyan bir trenin bir otomobil ve bir otobüsün çarpışmasını konu edinen bir deney düzeneği hazırlamışlardır. Deneyde, merkezi bilgisayar başında bulunan bir operatör İHA ve İKA'yı bağımsız iki araç olarak kazanın olduğu bölgeye yönlendirmiş ve İHA'dan aldığı görüntü ile İKA üzerindeki kimyasal ölçüm yapabilen sensörlerden aldığı verilerle kaza ile ilgili bilgi almaya çalışmıştır. Yapılan çalışmada, İHA'nın kullanılmış olması olay yerine hızlı ulaşımı sağlamış ve olay yerindeki insanların durumuyla ilgili bilgilere hızlıca ulaşılmasını sağlamıştır. İKA ise trenden sızan kimyasal maddelerle ilgili bilgi toplamak için gerekli sensörleri taşıyabilecek kapasitede olması açısından kaza sonrası alınacak önlemlerin tespiti için önemli bir veri kaynağı olmuştur.

Literatürde, İHA ve İKA'ları içeren hibrit-özel olarak tanımlanabilecek çalışmalara ait birçok örnek bulunmaktadır. Rackliffe vd. (2011) İHA'ların yere inişi ve İKA'ların navigasyonu için coğrafi bilgi sistemi destekli bir yaklaşım üzerinde çalışmışlardır. Phan vd. (2008) bir grup İHA ve İKA'yı içeren bir yangın tespit ve takip yaklaşımı geliştirmiştir.

Literatürde İHA'ların enerji kısıtlarına çözüm olarak batarya değiştirme mekanizmalarını öneren sistemler de mevcuttur (Fuji *et al.* 2013, Suzuki *et al.* 2012). Yapılan çalışmalarda,

mini taktik İHA'ların enerji kısıtlarına bir çözüm olarak tek bir İHA'nın bataryasının değiştirilmesi ya da şarj edilmesi üzerinde durulmuştur ve önerilen sistemlerin belli hava şartlarında pil değişimi ve pil şarj etme işlemlerini belli sürelerde başarıyla gerçekleştirdiği görülmüştür.

3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde, “Kullanılan malzemeler ve yazılımlar” başlığı altında bu çalışmayı gerçekleştirmek için kullanılan yazılımlar ve malzemeler tanıtılmıştır. “İHA’lar için yörünge paylaşımı ve insansız araç sayılarının tespiti” başlığı altında, gözlem faaliyeti yapılacak bir alandaki ziyaret edilecek noktalar dikkate alınarak kaç adet İKA ve İHA kullanılması gerektiği bir örnek üzerinden tespit edilmiştir ve İHA’lar için yörüngeler hesaplanmıştır. “Önerilen sistem ve uygulamaları” başlığının altında ise iki adet İHA ve bir adet İKA’nın yeterli olduğu bir gözlem faaliyetinde gerçekleştirilen yörünge takibi, dinamik takip senaryolarının ayrıntıları verilmiştir. Sonrasında benzetim ortamında insansız araçları modellemek için kullanılan İHA ve İKA matematiksel denklemleri verilmiştir. Önerilen sistemin benzetimde insansız araç modelleri ile görselleştirmenin nasıl yapıldığı ve benzetim ortamında merkezileştirilmiş sistem yapısının nasıl kurulduğu ve önerilen sistemin gerçek çalışma şartlarında uygulanmasında ise gerçek çalışma şartlarında önerilen sistemin nasıl gerçekleştirildiği verilmiştir.

3.1 Materyaller

Bu çalışmada, gerek benzetim ortamında gerekse gerçek çalışma şartlarında yapılan uygulamalarda çeşitli yazılımlar kullanılmıştır. Bu yazılımlar:

- **Matlab/Simulink:** Bu çalışmada, önerilen sistemin benzetiminin gerçekleştirilmesi için öncelikle insansız araçların matematiksel modelleri türetilmiştir. Sonrasında elde edilen matematiksel modellerin Matlab-Simulink modelleri oluşturulmuş ve bu modeller üzerinden sistemin benzetimi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında İHA’ların uygulamalar sırasındaki görevlerini ve hedef konumlarını belirleme amacıyla bir İHA yönlendirme algoritması geliştirilmiştir ve bu algoritma Matlab ortamında çalışmaktadır.
- **VRML Builder:** Simulink ortamında elde edilen insansız araç modelleri sanal bir görselleştirme programı olan VRML builder programında oluşturulan 3 boyutlu araç modelleri ile ilişkilendirilmiş ve yapılan uygulamaların görselleştirilmesi sağlanmıştır.

- **Mission Planner:** Açık kaynak kodlu bir arayüz programıdır. Otonom araçların kontrolünde oldukça tercih edilen bir programdır ve Google Maps bağlantısı sağlamasıyla insansız araçların dünya üzerindeki yerinin anlık olarak gösterilmesini sağlamaktadır. Ayrıca bilgisayar üzerinden bazı komutların insansız araçlara iletilmesini sağlamaktadır.
- **Visual Studio:** Mission planner programının kaynak kodunun önerilen sisteme uygun bir şekilde düzenlenmesinde kullanılmıştır.

Önerilen sistemin gerçek çalışma şartlarında yapılan uygulamalarında mini taktik İHA'ların (MT-İHA) yapısında çeşitli ekipmanlar kullanılmıştır. Bu ekipmanlar:

MT-İHA'ların motorları: 4 adet fırçasız DA motor kullanılmıştır. Kullanılan motorlar (MT2212) robot uygulamalarında oldukça fazla tercih edildiğinden temin edilmesi kolaydır, uygun maliyetlidir ve MT-İHA'ların şasesi olan F450 ile uyumludur. Motor çapı 28 mm ve uzunluğu 38 mm'dir ve ağırlığı 62 gramdır. Kullanılan motorlar DJI phantom 2 pervaneleri ile uyumludur. MT-İHA'larda kullanılan motor ve pervane Resim 3.1'de görüldüğü gibidir.



Resim 3.1 MT-İHA'larda kullanılan motor ve pervane.

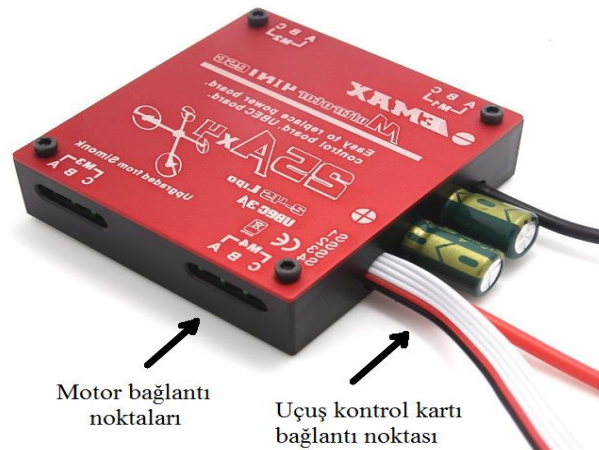
- **Batarya:** Lithium-polimer yapıda olup 2200 mAh 11.1 Volt olarak seçilmiştir. Bu özellikleri ile MT-İHA'ların rüzgarsız hava şartlarında yaklaşık 5 dakika havada kalmasını sağlamaktadır. Bulgular kısmında görüleceği üzere 2200 mAh'lik ve 5200

mAh'lik bataryaların enerji tüketimi incelenmiş ve önerilen sistem için 2200 mAh'lik bataryaların yeterli olduğuna karar verilmiştir. Uygulamalarda kullanılan 2200 mAh'lik MT-İHA bataryası Resim 3.2'de görüldüğü gibidir.



Resim 3.2 2200 mAh'lik MT-İHA bataryası.

- **Motor hız kontrolcüsü:** 4 adet fırçasız da motoru kontrol etmektedir. Motorlara anlık olarak 25 A sağlayabilmektedir. MT-İHA'ların tüm motorlarının hız kontrolünün yapılmasını sağlamaktadır. Uçuş kontrolcüsünden gelen darbe genişlik modülasyonu sinyallerine göre motor hızlarını ayarlar ve dört rotorunun istenen yönde hareket etmesini sağlamaktadır. Uygulamalarda kullanılan dörtlü motor hız kontrolcüsü Resim 3.3'te görüldüğü gibidir.



Resim 3.3 Dörtlü motor hız kontrolcüsü.

- **Uçuş kontrol kartı:** APM (ArduPilot Mega) 2.6 uçuş kontrol kartı hava, yer ve su üstü insansız araç platformlarında kullanılabilecek açık kaynak kodlu bir gömülü sistem kartıdır. Kontrol kartında dahili olarak barometre, 3 eksenli jiroskop, ivme ölçer bulunmaktadır ve karta harici olarak GPS ve pusula bağlanabilmektedir. MT-İHA'larda kullanılan APM 2.6 kontrol kartları Resim 3.4'de görüldüğü gibidir.



Resim 3.4 APM 2.6 uçuş kontrol kartı.

Dört rotorlu MT-İHA'yı kontrol etmek için APM 2.6 kontrol kartının yanında, Resim 3.5'te görülen güç modülü, 3DR u-blox gps+pusula (hassasiyet < 2 m), MPU-600 jiroskop ve ivme ölçer, uzaktan haberleşme cihazları (radyo telemetri, menzil < 2 km, 915 MHz) ve dört-rotorlu şasesi (F450) kullanılmıştır.



Resim 3.5 Dört rotorlu MT-İHA'ların ana ekipmanları.

Önerilen sistemdeki uygulamaları gerçekleştirmek için gerekli ekipmanlar bir araya getirilerek iki adet MT-İHA yapılmıştır. Resim 3.6 a'da MT-İHA-1 ve Resim 3.6 b'de MT-İHA gösterilmiştir.



(a)

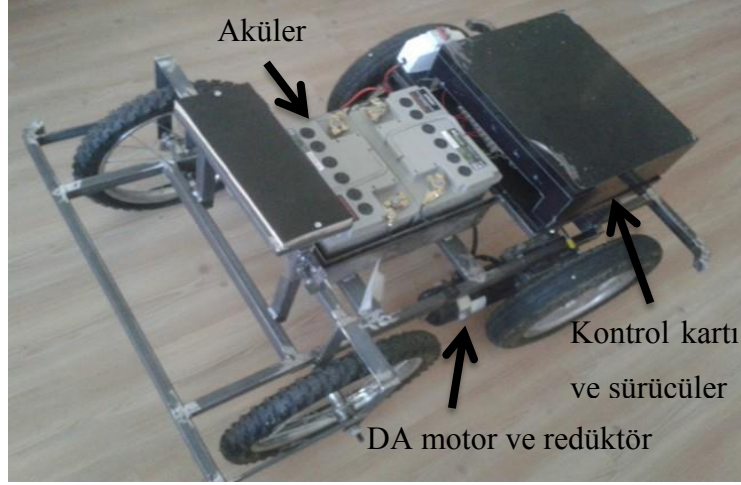
(b)

Resim 3.6 (a) MT-İHA-1(b) MT-İHA-2.

Önerilen sistemde, taşıyıcı İKA yalnızca operatörün manuel komutlarıyla hareket etmektedir. Kullanılan İKA her iki yanına yerleştirilen birbirinden bağımsız iki teker yardımıyla hareket eden diferansiyel tekerlekli bir kara aracı olarak tasarlanmıştır. Taşıyıcı İKA bu sayede yönünü tekerleklerinin hız değişimlerine göre başka bir döndürme ekipmanına ihtiyaç duymadan değiştirebilmektedir. Taşıyıcı İKA'yı dengelemek için iki adet tekerlek daha robotun şasesine eklenmiştir. MT-İHA'ların iniş ve kalkış operasyonları taşıyıcı İKA üzerindeki platformun işaretlenmiş kısımlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Önerilen sistemin gerçek çalışma şartlarında yapılan uygulamalarında İKA'nın yapısında çeşitli ekipmanlar kullanılmıştır. Bu ekipmanlar:

- **İKA Motorları:** Etiket değerleri 4200 RPM, 24 V, 420 W olan fırçalı DA motorlardır. Tekerleklere aktarılan torku attırmak için motorlara 1*32 redüktör bağlanmıştır.
- **İKA Aküleri:** 12 V/40 Ah değerlerine sahip iki adet jel akü seri bağlanarak 24 voltluk bir güç kaynağı elde edilmiştir.
- **İKA Motor Sürücüler:** İki adet BTS 7960B DA motor sürücüsü kullanılmıştır. 17 kg ağırlığa sahip olan İKA'nın eğimli ve engebeli yol şartlarında dahi rahatça

hareket edebilmesi için 40 A'lık motor sürücüleri kullanılmıştır. Önerilen sistemde kullanılan İKA'nın sabit denge tekerleklerine sahip ilk hali Resim 3.7'de gösterildiği gibi tasarlanmıştır.



Resim 3.7 Önerilen sistemde kullanılan İKA.

İHA'ları ve İKA'yı içeren, önerilen sistem için hazırlanan uygulama düzeneği Resim 3.8'de gösterildiği tasarlanmıştır. İKA'nın son halinde görülen sarhoş denge tekerlekleri, sabit denge tekerleklerine göre dönüş hareketlerini daha iyi yapmasını sağlamıştır.



Resim 3.8 Önerilen sistem için kurulan uygulama düzeneği.

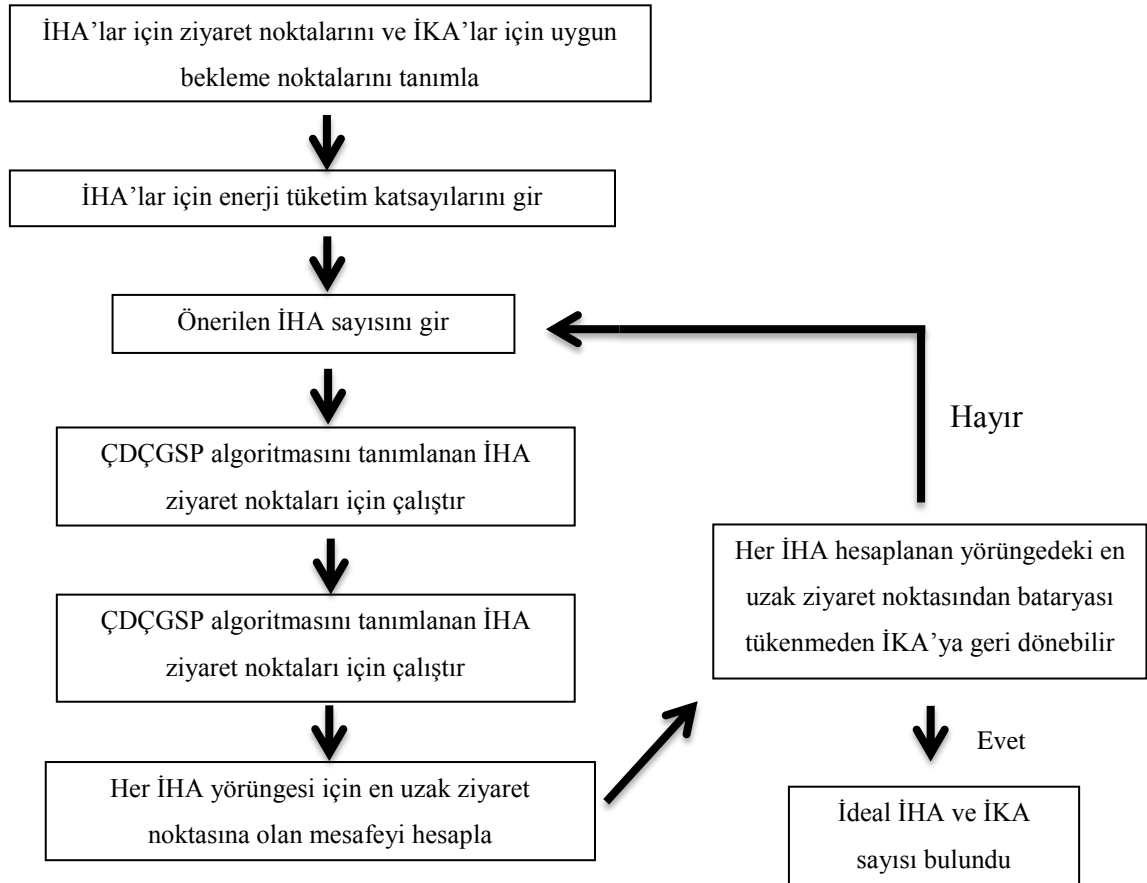
3.2 İHA'lar İçin Yörünge Paylaşımı ve İnsansız Araç Sayılarının Tespiti

Bu çalışmanın amaçlarından biri; gözlem faaliyeti yürütülecek olan bölgede seçilen ziyaret noktalarının, yardımlaşan iki İHA tarafından yeterli performansla ziyaret edilemeyecek olması durumunda ilgili bölgede kaç adet İHA ve buna bağlı olarak kaç adet İKA kullanılması gerektiğini hesaplamaktır. Bu hesaplamayı yapmak için bir yol planlaması algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritmanın uygulamasında, öncelikle tek bir İKA ve birbirini destekleyen iki İHA olduğu varsayılır ve İKA için hedef bölgede uygun bir bekleme noktası seçilir. Daha sonra gözlem yapılacak arazi üzerinde hedef ziyaret noktaları seçilir. Yol planlaması algoritması seçilen ziyaret noktalarına, İKA'nın bekleme noktasının üzerinde operatör tarafından belirlenen bir yükseklikte bir ziyaret noktası daha ekler ve bu ziyaret noktaları ile bir optimum yörünge hesaplanır. Optimum İHA yörüngesi Çoklu Depo ile Çoklu Gezgin Satıcı Problemi (ÇDÇGSP) algoritması ile hesaplanır (Kivelevitch *et al.* 2013). Hesaplanan bu yörüngede İKA üzerinde tanımlanan ilk ziyaret noktası ile yörünge üzerinde ilk ziyaret noktasına en uzak olan ziyaret noktası arasındaki mesafe ölçülür. Bu mesafe "EZZM" olarak adlandırılır. İKA üzerinde tanımlanan ilk ziyaret noktası ile İKA arasındaki mesafe ise İlk Ziyaret Noktasının Yüksekliğidir ve "İZY" olarak adlandırılır. Sonrasında, bir İHA'nın hesaplanan yörüngede gözlem faaliyeti yürütebilmesi için Minimum Gerekli Enerji Seviyesi (MGES) hesaplanır. Bir İHA için MGES değeri temel olarak, hedef arazideki ilk hedef noktasından en uzak hedef noktasına olan mesafe ile ilk hedef noktasının yüksekliğinin toplamının üç katı dikkate alınarak belirlenmiştir.

Sonuçlar bölümünde verilen İHA'lara ait enerji tüketim tablolarından yola çıkılarak MGES için dikkate alınan toplam mesafe boyunca İHA'ların enerji tüketiminin ne olacağı yaklaşık olarak hesaplanır. MGES kavramı ilerleyen paragraflarda bir örnek üzerinde açıklanmıştır. Kullanılan İHA'ların enerji kapasiteleri İHA yörüngesi için hesaplanan MGES'ten fazla ise, yol planlama algoritması tek İHA çiftinin hedef bölgede gözlem faaliyeti yürütmek için yeterli olduğuna karar vermektedir. Aksi halde, yol planlama algoritması tarafından belirtilen sayıda İHA ile hedef arazide gözlem faaliyetinin yürütülemeyeceği sonucu çıkarılır ve daha fazla İHA ve İKA ile gözlem faaliyetinin yürütülmesi gerektiği operatöre bildirilir. Operatör İHA ve İKA sayısını arttırıp yol planlama algoritmasını tekrar çalıştırınca, yol planlama algoritması

hesaplanan tüm İHA yörüngeleri için aynı koşulları kontrol eder. Eğer hesaplanan herhangi bir İHA yörüngesi için MGES değeri İHA'nın enerji kapasitesinden düşük çıkarsa, yol planlama algoritması belirtilen İHA ve İKA sayısının hedef bölgede gözlem faaliyeti yürütülesi için yeterli olduğunu belirtmektedir (Çaşka ve Gayretli 2015). Şekil 3.1'de yol planlama algoritması görülmektedir.

Yol planlaması algoritması örnek bir bölge üzerinde tanımlanan ziyaret noktaları kullanılarak açıklanmıştır. Şekil 3.2'de a'da hedef arazideki tüm ziyaret noktaları, Şekil 3.2 b'de İKA'nın uygun bekleme noktası üzerinde tanımlanan ilk ziyaret noktasından başlayıp tüm ziyaret noktalarını da kapsayarak yine ilk ziyaret noktasında sonlanan İHA yörüngesi, Şekil 3.2 c'de İHA yörüngesi üzerinde ilk ziyaret noktası ile ona en uzak olan ziyaret noktası arasındaki mesafe görülmektedir.

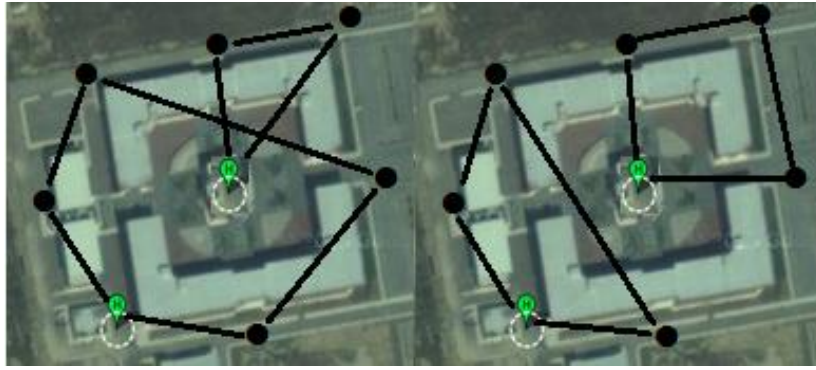


Şekil 3.1 Yol planlama algoritmasının çerçevesi.



Şekil 3.2 a) Hedef arazideki tüm ziyaret noktaları, b) Tek İHA çifti için hesaplanan İHA yörüngesi, c) hesaplanan İHA yörüngesi üzerinde EZZM.

Şekil 3.3 a'da optimum sayıdaki İHA ve İKA sayılarını belirlemek için uygun ya da dengeli olmayan İHA yörüngeleri görülmektedir. Şekil 3.3 b'de ise optimum sayıdaki İHA ve İKA sayılarını belirlemek için uygun olan İHA yörüngeleri görülmektedir. Uzunluk bakımından dengeli olan bu yörüngeler hedef bölgede gözlem faaliyeti yürütmek için yeterli olacak optimum sayıda İHA ve İKA sayısını hesaplamak için kullanılmaktadır.



Şekil 3.3 a) Dengeli paylaştırılmamış İHA yörüngeleri b) Dengeli paylaştırılmış İHA yörüngeleri.

Yol planlama algoritmasının en önemli kısmı dengeli İHA yörüngeleri elde etmektir ve dengeli İHA yörüngeleri elde etmek için ÇDÇGSP modeli kullanılmıştır (Kivelevitch *et al.* 2013). Bu model iki amaç fonksiyonu içerir. İlk amaç fonksiyonu MinSum olarak adlandırılır ve hesaplanan tüm yörüngelerin toplamının minimum olmasını sağlar. İkinci amaç fonksiyonu ise MinMax olarak adlandırılır ve hesaplanan İHA yörüngelerinin en uzun olanını minimum yapmayı amaçlar. Bu iki amaç fonksiyonu sayesinde hem

uzunluk bakımından dengeli yörüngeler hesaplanır hem de tüm yörüngelerin toplamı minimum değerinde kalmış olur. ÇDÇGSP formülasyonunun çözümü için sezgisel optimizasyon yöntemlerinden olan genetik algoritmalar kullanılmıştır (Xu *et al.* 2013).

Literatürde İHA'ların enerji tüketimiyle ilgili standart ve kesin çözüm veren bir enerji tüketim modeli bulunmadığı için bu çalışmada kullanılan dört rotorlu İHA'ların iniş, kalkış, seyir gibi hareketleri sırasındaki yaklaşık enerji tüketimleri deneysel çalışmalar sonucunda elde edilmiştir (Çaşka ve Gayretli 2016-a).

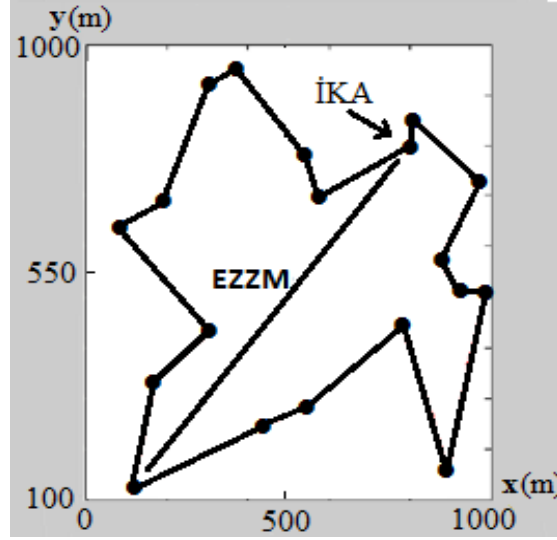
Bu çalışmada, sürekli gözlem faaliyeti havadaki bir İHA'nın bataryasının bitmesi sonucunda taşıyıcı kara aracına yönlendirilmesiyle sağlanacaktır. Havadaki İHA'nın ne zaman taşıyıcı araca yönlendirileceği ise Denklem 3.1 'deki enerji tüketim modeliyle hesaplanır. Denklem 3.1 'de verilen enerji tüketim modeli literatürde hava araçları için oluşturulan diğer enerji tüketim modelleri gibi yaklaşık bir modeldir (Chi *et al.* 2013).

$$MGES = 3 (EZZM \cdot TKxy + İZY \cdot TKzt) \quad (3.1)$$

Denklem 3.1'deki model rüzgarsız hava şartları için geçerlidir ve maksimum 30 metre yükseklikte yapılan denemeler sonucunda elde edilmiştir. Bu model şöyle yorumlanabilir: bir İHA kara aracının hemen üzerindeki ilk ziyaret noktasına kadar çıkabilmeli ve buna ek olarak yörüngedeki kara aracına en uzak olan hedef noktaya kadar da gidebilmelidir. Bu yolda tüketilecek enerji, bir İHA'nın İKA üzerinden kalkarak hesaplanan bir yörüngedeki en uzak ziyaret noktasına kadar gidebilmesi için gerekli minimum enerjidir. Bu çalışmada, İHA'ların sadece İKA'ya en uzak olan ziyaret noktasına ulaşması değil belli bir miktar da hesaplanan yörünge üzerinde ilerlemesi hedeflenmiştir. Bunun için İHA'ların bu minimum yolun iki katı kadarlık bir mesafeyi de gidebilmesi hedeflenmiştir. Denklem 3.1'de geçen TK (tüketim katsayısı) değerleri TKxy (yatay yönde ilerleme için tüketim katsayısı) ve TKzt (dikey doğrultuda +z yönündeki tırmanma hareketi için tüketim katsayısı) 0,033 % tüketim/m (5200 mAh'lik batarya için) olarak alınmıştır. Bu değer İHA'nın geride bıraktığı her metre için harcadığı yüzdelik enerjinin yaklaşık değeridir ve birimi “yüzde tüketim/metre” olarak ifade edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan İHA'ların yatay ve dikey yönde ilerleme hızı 4

m/sn olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda İHA'ların üzerinde 5200 mAh'lik batarya takılı iken dikey ve yatay olarak 4 m/sn hızla gitmesi durumunda 1 sn'de bataryalarının yaklaşık %0,13'ünü tükettiği gözlenmiştir. Bu durumda İHA'lar 1 metrelik bir yatay ve dikey hareket için bataryalarının yaklaşık olarak %0,033'ünü tükettiği kabul edilmiştir. Bu değerler Denklem 3.1'deki yerlerine yazılarak bir İHA için MGES değeri hesaplanmıştır. İHA'ların farklı hızlarda ne kadar enerji tükettiği belirten çizelgeler “Bulgular” başlığı altında ayrıntılı olarak verilmiştir.

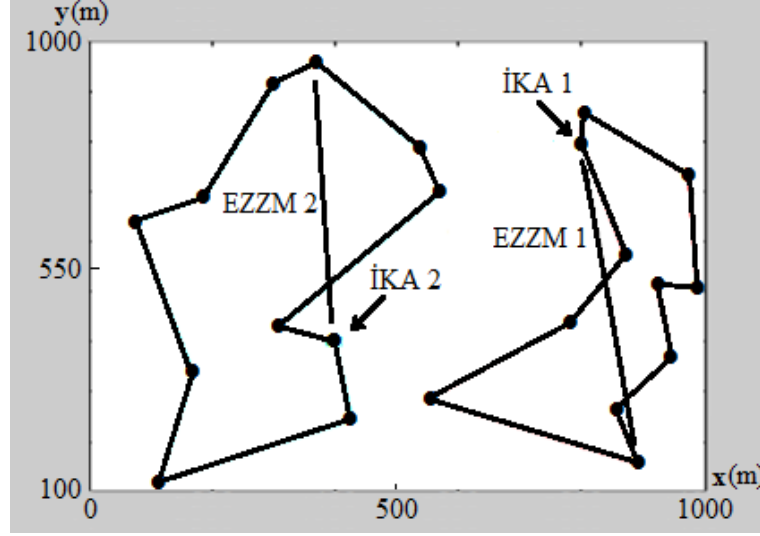
İHA ve İKA sayısı belirleme algoritmasının temelini oluşturan ÇDÇGSP algoritması ile çözülen optimizasyon probleminde MinMax ve MinSum olmak üzere iki temel amaç fonksiyonu bulunmaktadır. MinMax, hesaplanan yörüngelerin uzunluğunun en küçüğünün mümkün olduğunca büyük olmasını sağlamaktadır. Bu sayede her yörünge birbirine yakınsar ve sonuçta birbirine yakın uzunluklara sahip yörüngeler elde edilmektedir. Diğer amaç fonksiyonu MinSum ise hesaplanan tüm yörüngelerin toplam uzunluğunun en küçük olmasını sağlar ve bu sayede olabilecek en kısa yörüngeler elde edilmektedir. ÇDÇGSP algoritması malzemelerin depolardan marketlere dağıtılmasına optimum bir çözüm bulmak için geliştirilmiştir. Bu çalışmada ise bu algoritma hedef bölgede gözlem faaliyeti için gerekli optimum İHA ve İKA sayısını hesaplamak için düzenlenmiştir. ÇDÇGSP algoritmasının mantığını bir örnek üzerinden açıklamak için örnek bir bölgeye ait 20 hedef nokta kullanılmıştır ve öncelikle 1 adet İKA ve 1 çift İHA için bir yörünge hesaplanmıştır. Şekil 3.4'te gözlem faaliyeti yürütülecek arazideki hedef noktalar için hesaplanan optimum yörünge verilmiştir. Hedef ziyaret noktaları İHA'ların gözlem faaliyeti yürüteceği bölgedeki coğrafi şartlara göre 3 boyutlu koordinatlar olarak seçilebilir.



Şekil 3.4 Hedef bölge için hesaplanan yörünge.

Geliştirilen algoritma 2217 iterasyonun sonunda tek İHA çifti için bir yörünge hesaplanmıştır. Bu yörüngede EZZM ve yörünge'nin toplam uzunluğu 1250 m ve 3774 m olarak hesaplanmıştır. İlk hedef ziyaret noktasının yüksekliği (İZY) ise 100 m olarak belirlenmiştir. Bu durumda MGES (minimum gerekli enerji seviyesi) Denklem 3.1 'e göre %133 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer, kullanılan bataryanın %100'lük seviyesinden yüksek çıkmıştır. Başka bir deyişle; 1 çift İHA ve 1 adet İKA böyle bir yörüngede gözlem faaliyeti yürütmek için yeterli değildir. Bu durumda İKA sayısını ve ona bağlı olarak İHA sayısını artırarak algoritmanın tekrar çalıştırılması gerektiği anlaşılmaktadır.

Gözlem faaliyeti yürütülecek alana ikinci İKA'nın duracağı yeni bir nokta eklenip geliştirilen algoritma tekrar çalıştırılmıştır. 284 iterasyondan sonra toplam uzunluğu 4312 metre olan iki yörünge elde edilmiştir. Elde edilen İKA yörüngeleri için en uzak hedef noktalar sırasıyla EZZM_1=653 m, EZZM_2=557 m olarak ölçülmüştür. İki yörünge'nin uzunlukları ise sırasıyla 2013 m ve 2299 m olarak ölçülmüştür. MGES_1 = %74,50 ve MGES_2= %65,04 olarak elde edilmiştir. Bu değerler bize her iki yörünge üzerinde de elimizdeki İHA'lar ile güvenli bir şekilde gözlem faaliyeti yürütülebileceğini göstermektedir. Şekil 3.5'te gözlem faaliyeti yürütülecek olan alana ait hedef noktaların optimal dengeli olarak bölündüğü görülmektedir.

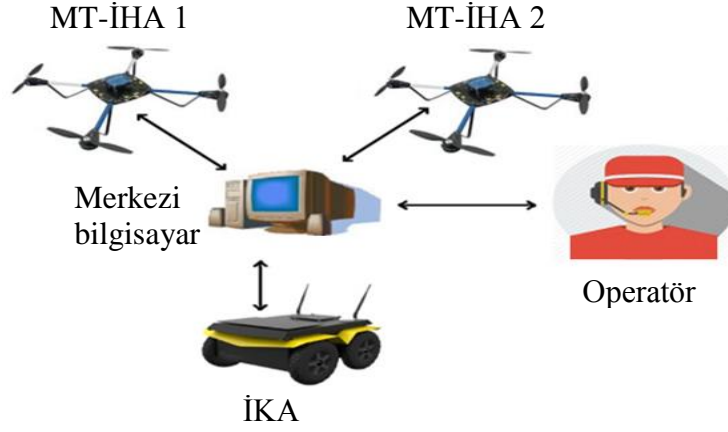


Şekil 3.5 Gözlem faaliyeti yürütülecek olan alana ait hedef noktaların dengeli olarak bölünmesi.

Bir örnek ile açıklanan İHA ve İKA sayısını tespit eden algoritmadaki yörüngelerin hesaplanması temel olarak Gezgin Satıcı Problemi'ne (GSP) dayanmaktadır. GSP'de gezilmek istenen şehirlerin konumu ve aralarındaki mesafeler bilinmektedir ve bu şehirlerden her birine yalnız bir kez uğranarak başlangıç noktasına geri dönülmesi esnasında kat edilen toplam yolun en kısa olduğu şehir sırasının bulunması hedeflenir. Dağıtım, mikroçip imalatı, planlama ve lojistik vb. çeşitli alanlarda ve birçok sektörde uygulanabilen gezgin satıcı problemi, optimizasyon alanındaki araştırmacı ve akademisyenlerin uzun yıllardır yoğun olarak çalıştığı bir konudur (Çolak 2010).

3.3 Önerilen Sistem ve Uygulamaları

Bu çalışmada önerilen sistem, mini taktik İHA ve İKA'ların işbirliğine dayanan, uzak hedeflerin havadan ve yerden gözlem faaliyetlerinde kullanılacak bir çoklu robot sistemidir. Önerilen sistemin gözlem faaliyetini yürütebilmesi için iki yaklaşım geliştirilmiş ve bu yaklaşımlar yörünge takibi ve dinamik takip olmak üzere iki tür örnek senaryoyla gerçekleştirilmiştir. Örnek senaryoların her ikisinde de merkezi bilgisayar üzerinde Matlab programı içerisinde çalışan İHA yönlendirme algoritması İHA'ları gerekli noktalara yönlendirmektedir. Örnek uygulamaların gerçekleştirildiği merkezileştirilmiş haberleşme ve kontrol sistemi Şekil 3.6'da görüldüğü gibidir.



Şekil 3.6 Merkezileştirilmiş haberleşme ve kontrol sistemi.

3.3.1 Yörünge Takibi Senaryosu

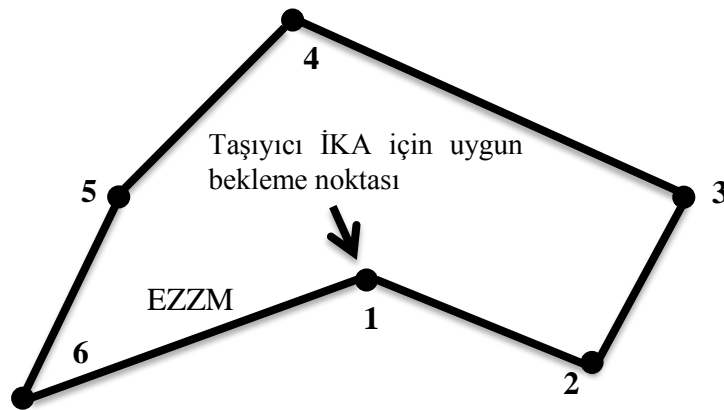
Önerilen sistemin uygulamalarında 1 adet İKA ve 2 adet MT-İHA kullanılmıştır. Yörünge takibi senaryosunda, 2 adet Dört-rotorlu MT-İHA taşıyıcı İKA üzerine yerleştirilerek gözlem faaliyeti yürütülecek bölgeye gönderilmektedir. Taşıyıcı İKA görev bölgesine ulaştığında, merkezi bilgisayar başındaki operatör tarafından seçilen bir uygun görev noktasında operatör tarafından durdurulmaktadır. İKA durduktan sonra operatör İHA'ların ziyaret etmesi için hedef ziyaret noktalarını seçmektedir. Seçilen hedef ziyaret noktalarının başlangıç noktası taşıyıcı İKA üzerindeki ilk ziyaret noktasıdır. Hedef ziyaret noktaları ile ilk ziyaret noktasından başlayan ve yine bu noktada sonlanan bir kapalı yörünge hesaplanmaktadır. İHA'lar bu kapalı yörüngeyi takip ederek hedef alanda gözlem faaliyeti yürütmektedir. Yörünge takibi uygulamasında planlanan senaryoya göre taşıyıcı İKA üzerindeki MT-İHA'lardan biri hesaplanan yörüngeyi takip etmek için havalanmaktadır. Gözlem faaliyetine başlayan MT-İHA "görevli MT-İHA" olarak taşıyıcı İKA üzerinde beklemekte olan MT-İHA ise "yardımcı MT-İHA" olarak adlandırılır. Görevli MT-İHA hareketi sırasında kaçınılmaz olarak bataryasındaki enerjiyi harcamaktadır. Bu durumda, görevli MT-İHA'nın pil seviyesi kritik enerji seviyesi 1 (KES 1) seviyesinin altına düştüğünde taşıyıcı İKA üzerinde beklemekte olan yardımcı MT-İHA Matlab üzerinde çalışan İHA yönlendirme algoritmasının yönlendirmesiyle ilk hedef ziyaret noktasına doğru havalanmaktadır. Görevli MT-İHA yörünge üzerindeki hareketine batarya seviyesi acil dönüş seviyesi 1 (ADS 1) seviyesinin altına inene kadar ya da yardımcı MT-İHA görevli MT-İHA'nın havalanıp 1. ziyaret noktasına ulaşmaya kadar devam etmektedir. Görevli MT-İHA'nın batarya seviyesi ADS 1'in de altına düşerse İHA yönlendirme algoritması tarafından

önce ilk ziyaret noktasına ve sonra da taşıyıcı İKA üzerine yönlendirilmektedir. Bununla birlikte, yardımcı MT-İHA'nın ilk ziyaret noktasına varması durumunda görevli MT-İHA batarya seviyesinin ADS 1 seviyesinin altına inmesini beklemeden İHA yönlendirme algoritması tarafından sırayla ilk ziyaret noktasına ve taşıyıcı İKA üzerine yönlendirilmektedir.

Görevli MT-İHA için en kötü durum, yörüngesinde seyir halindeyken ilk ziyaret noktasına en uzak olan ziyaret noktasındayken batarya seviyesinin ADS 1'in altına düşmesidir. Bu sebeple, yörüngenin başlangıç/ilk ziyaret noktasına En Uzak Ziyaret Noktası ile İlk Ziyaret Noktası Arasındaki Mesafe (EZZM) dikkate alınarak ADS 1 hesaplanmış ve görevli MT-İHA'nın bu mesafeden bile taşıyıcı İKA üzerine iniş yapabilmesi garanti altına alınmıştır.

Diğer bir önemli konu ise batarya seviyesi KES 1'in altına indiğinde görevli MT-İHA'nın taşıyıcı İKA üzerine iniş yapmak üzere yörüngesini hangi durumda ya da ne zaman terk edeceğidir. Görevli MT-İHA'nın batarya seviyesi KES 1'in altına düştüğünde doğrudan taşıyıcı İKA üzerine yönelmemektedir. Bunun yerine, yardımcı MT-İHA'nın hesaplanan yörünge üzerindeki ilk hedef noktasına ulaşmasına kadar yörüngedeki hareketine devam etmektedir. Yardımcı MT-İHA ilk hedef noktasına ulaştığında görevli MT-İHA yörüngesinden ayrılmaktadır ve taşıyıcı İKA üzerine iniş yapmak üzere harekete geçmektedir. Bununla birlikte, her ihtimale karşı görevli MT-İHA'nın pilinin KES 1'in altına inmesi durumunda ise görevli MT-İHA yardımcı MT-İHA'nın ilk hedef ziyaret noktasına ulaşmasını beklemeden taşıyıcı araç üzerine doğru hareket etmeye başlamaktadır. Yardımcı MT-İHA'nın ilke hedef ziyaret noktasına doğru hareketi sırasında görevli MT-İHA ziyaret noktalarından birini geride bırakırsa, İHA yönlendirme algoritması tarafından yardımcı MT-İHA'nın yönlendirileceği hedef nokta güncellenmektedir ve yardımcı MT-İHA ilk hedef noktaya ulaştığında güncellenmiş noktaya doğru yönlendirilmektedir. Bu yönlendirme yaklaşımı görevli MT-İHA'nın batarya seviyesinin KES 1'i altına inmesi durumunda doğrudan taşıyıcı İKA üzerine yönlendirilmesine göre daha doğru bir yaklaşımdır. KES 1'in ve ADS 1'in hesaplanmasında ilk ziyaret noktası ile taşıyıcı İKA arasındaki mesafe (İZY) de dikkate alınmaktadır.

Literatürde, batarya tüketim modellerinin standart formüllere dayalı olmadığı ve yaklaşık modellere dayalı olduğu görülmektedir. Bu sebeple bu çalışmada kullanılan MT-İHA'ların enerji tüketim modeli deneysel çalışmalar sonucunda yaklaşık olarak elde edilmiştir. Deneysel çalışmalar, MT-İHA'ların rüzgarsız şartlarda çalıştırılması ile elde edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan İHA'ların yatay ve dikey yönde ilerleme hızı 4 m/sn olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda İHA'ların üzerinde 2200 mAh'lık batarya takılı iken dikey ve yatay olarak 4 m/sn hızla gitmesi durumunda 1 sn'de bataryalarının yaklaşık %0,37'sini tükettiği gözlenmiştir. Bu durumda İHA'lar 1 metrelik bir yatay ve dikey hareket için bataryalarının yaklaşık olarak %0,093'ünü tükettiği sonucuna ulaşılmıştır ve bu kabul edilen değer tüketim katsayısı (TK) olarak adlandırılmıştır. Başka bir deyişle, bu çalışmada kullanılan MT-İHA'ların tam dolu bir bataryayla (2200 mAh, 11.1 Volt lithium-polimer batarya) yatay doğrultuda yaklaşık olarak 1075 m yol alabilmektedir. MT-İHA'ların farklı hızlarda ne kadar enerji tükettiğini belirten çizelgeler sonuçlar başlığı altında ayrıntılı olarak verilmiştir. Tüketim katsayısı operatör tarafından MT-İHA üzerindeki yüke ve hava şartlarına göre güncellenebilmektedir. Bu çalışmada kullanılan batarya tüketim yaklaşımının yanı sıra MT-İHA'lar için ileriki çalışmalarda hava koşullarını, seyir hızları gibi çeşitli parametreleri dikkate alan daha ayrıntılı yaklaşımlar da yapılan uygulamalara entegre edilebilir. Şekil 3.7'de KES 1 ve ADS 1'in hesabında kullanılan EZZM ve İKA için uygun bekleme noktası örnek bir yörünge üzerinde gösterilmiştir. Burada bahsedilen yaklaşım ve parametreler dikkate alındığında Denklem 3.2'de verilen KES 1 elde edilmektedir.



Şekil 3.7 Örnek yörünge üzerinde EZZM ve İKA için uygun bekleme noktası.

$$KES 1 = EZZM \cdot TK_{xy} + İZY \cdot TK_{zt} \cdot 2 \quad (3.2)$$

Denklem 3.2’de KES 1 hesaplanırken İZY mesafesinin iki katı ve EZZM mesafesi dikkate alınmıştır. Burada amaç görevdeki MT-İHA’nın en uzak ziyaret noktasından ilk ziyaret noktasına gelişini ve taşıyıcı İKA üzerine inişini sağlayacak kadar olan enerji miktarını (EZZM ve İZY mesafeleri boyunca uçuş yapabilmeli) ve görevdeki MT-İHA’nın yardımcı MT-İHA ilk ziyaret noktasına varıncaya kadar görevine devam edebilmesine yetecek enerji miktarını (İZY mesafesi boyunca uçuş yapabilmeli) hesaplamaktır. ADS 1’in hesaplanmasında ise görevli MT-İHA’nın yardımcı MT-İHA’nın konumunu dikkate alması söz konusu olmadığından yalnızca görevdeki MT-İHA’nın en uzak ziyaret noktasından ilk ziyaret noktasına gelişini ve taşıyıcı İKA üzerine inişini sağlayacak kadar olan enerji miktarını hesaplamak yeterlidir. Bu sebeple, ADS 1 Denklem 3.3’teki gibi hesaplanmıştır.

$$ADS 1 = EZZM \cdot TK_{xy} + İZY \cdot TK_{zt} \quad (3.3)$$

3.3.2 Dinamik Takip Senaryosu

Önerilen sistem kapsamında gerçekleştirilen ikinci senaryo dinamik takip ile görevi devralmadır. Bu senaryoda merkezi bilgisayar başındaki operatör görevli MT-İHA’yı bir yörüngeye bağlı olmaksızın manuel komutlarla yönlendirilmektedir. Bu senaryoda, görevli MT-İHA’nın batarya seviyesi Kritik Enerji Seviyesi’nin (KES 2) altına düşerse, yardımcı MT-İHA merkezi bilgisayarda çalışan İHA yönlendirme algoritması tarafından görevdeki MT-İHA’nın pozisyonuna bağlı olarak belirlenen bir hedef noktaya yönlendirilmektedir. Olası bir çarpışmayı önlemek için yardımcı MT-İHA görevli MT-İHA’nın pozisyonuna doğrudan gönderilmemektedir, bunun yerine görevli MT-İHA’nın beş metre üstüne yönlendirilmektedir. Ayrıca, yardımcı MT-İHA tanımlanan hedef noktaya iki metre kala İHA yönlendirme algoritması tarafından hedefe varmış olarak kabul edilmektedir. Görevli MT-İHA yardımcı MT-İHA hedef pozisyonuna vardığında İHA yönlendirme algoritması tarafından taşıyıcı İKA üzerine yönlendirilir. Bununla birlikte, görevli MT-İHA’nın batarya seviyesi ADS 2’nin (acil dönüş seviyesi 2) altına düşerse görevli MT-İHA yardımcı MT-İHA’nın konumunu dikkate alınmadan İHA

yönlendirme algoritması tarafından taşıyıcı İKA üzerine yönlendirilmektedir. Dinamik takip ve görevi devralma senaryosu, bu çalışmada önerilen sistemin, görevli MT-İHA'nın nesne takibi ve düzen kontrolü gibi önceden tahmin edilemeyecek dinamik hareket sergileyebileceği uygulamalarda da kullanılmasının uygun olduğunu ortaya koymak için gerçekleştirilmiştir (Çaşka ve Gayretli 2016-b).

Görevli MT-İHA ve yardımcı MT-İHA arasındaki görev değişiminde görevli MT-İHA'nın x ve y eksenlerinden oluşan yatay düzlemdeki anlık pozisyonu $U_T \in \mathbb{R}^2$ şeklinde tanımlanır. Yardımcı MT-İHA'nın anlık pozisyonu ise $U \in \mathbb{R}^2$ olarak ifade edilir. Bu durumda, görevli MT-İHA ile yardımcı MT-İHA'nın arasındaki konum farkı ya da hatası U_e yatay düzlemde Denklem 3.4'teki gibi ifade edilir.

$$U_e = \sqrt{(U_T x - Ux)^2 + (U_T y - Uy)^2} \quad (3.4)$$

Klasik PID tabanlı ya da aradaki konum farkının oransal olarak dikkate alındığı takip yaklaşımlarında hedef ve takipçi arasındaki fark azaltılmaya çalışılmaktadır. Bu çalışmada MT-İHA'ların enerji kısıtları da dikkate alındığı için bu tür yaklaşımlar görevli MT-İHA ile yardımcı MT-İHA'nın arasındaki konum farkını en kısa sürede azaltmaya yarayacak en iyi yöntem değildir (Tan and Kumar 2014). Bu sebeple bu çalışmadaki takip uygulamasında, görevli MT-İHA ile yardımcı MT-İHA'nın yatay düzlemdeki pozisyon farkını doğrudan dikkate almak yerine literatürde adaptif kontrol olarak geçen yaklaşımlardan da faydalanılmıştır.

Dinamik takip uygulamasında, görev bölgesinin MT-İHA'lar için izin verilen en uzak noktası ile taşıyıcı İKA üzerindeki görev başlangıç-bitiş noktası arasındaki mesafe Maksimum Görev Mesafesi (MGM) olarak tanımlanmıştır. Maksimum görev mesafesi değeri MT-İHA'ların batarya kapasitesi göz önüne alınarak operatör tarafından belirlenmektedir. Yörünge takip senaryosuna benzer şekilde, görevli MT-İHA için bir ADS 2 tanımlanır. Görevli MT-İHA için en kötü durum görev bölgesinin MT-İHA'lar için izin verilen en uzak noktasında iken batarya seviyesinin ADS 2'nin altına düşmesidir. Bu sebeple, görevli MT-İHA'nın taşıyıcı İKA'ya güvenli bir şekilde geri

dönüşünü garanti altına almak için ADS 2'nin hesaplanmasında MGM değeri başlıca parametre olarak dikkate alınmaktadır.

Dinamik takip sırasında, görevli MT-İHA düzensiz hareketler sergileyebileceği için yardımcı MT-İHA'nın hedef noktasına ulaşma süresi oldukça değişkendir. Bu durum, yardımcı MT-İHA'nın hedefine ulaşma süresinin tahmin edilmesini imkansız kılmaktadır. Bu sebeple ikinci senaryo için KES 2 tahmin edilebilir değildir ve bu uygulama için ADS 2'nin iki katı olarak alınmıştır.

Yardımcı MT-İHA'nın hedef noktasına ulaşması sırasında görevli MT-İHA'nın batarya seviyesinin ADS 2'nin altına düşmesi durumunda İHA yönlendirme algoritması, hedefe ulaşılması şartını dikkate almadan görevli MT-İHA'yı taşıyıcı İKA üzerine yönlendirmektedir. Bu durumda, görevli MT-İHA'nın taşıyıcı İKA üzerine yönlendirilmeden önceki son konumu İHA yönlendirme algoritması tarafından kaydedilmektedir ve yardımcı MT-İHA bu son kaydedilen noktanın koordinatlarına yönlendirilmektedir. Görevli MT-İHA'nın batarya seviyesi KES 2'nin altına düşmesi durumunda, İHA yönlendirme algoritması yardımcı MT-İHA'yı öncelikle taşıyıcı İKA üzerindeki görev başlangıç-bitiş noktasına yönlendirmektedir. Yardımcı MT-İHA bu noktaya ulaştıktan sonra, görevli MT-İHA'nın pozisyonuna bağlı olarak belirlenen hedef noktasına yönlendirilmektedir. Benzer şekilde, görevini tamamlamak üzere olan görevli MT-İHA da taşıyıcı İKA üzerine iniş yapmadan önce görev başlangıç-bitiş noktasına uğramaktadır ve sonra taşıyıcı İKA üzerine iniş yapar. Görev Başlangıç-Bitiş Noktasının Yüksekliği (GBBNY) KES 2 ve ADS 2'nin hesaplanmasında dikkate alınmaktadır. ADS 2 ve KES 2 Denklem 3.5'e ve Denklem 3.6'ya göre hesaplanmaktadır.

$$ADS\ 2 = MGM \cdot TK_{xy} + GBBNY \cdot TK_{zt} \quad (3.5)$$

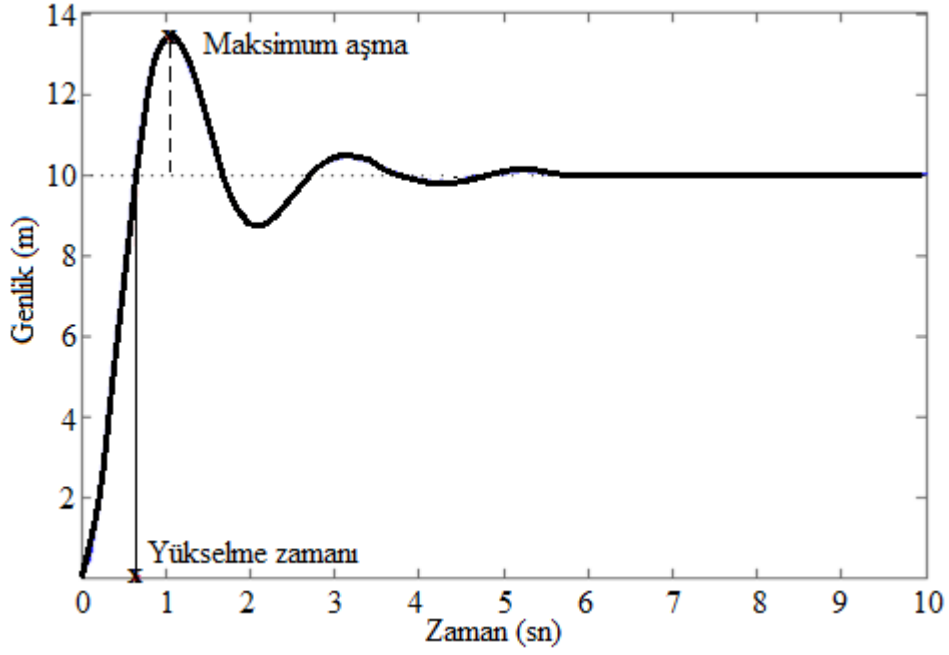
$$KES\ 2 = (ADS\ 2) \cdot 2 \quad (3.6)$$

Bu çalışma kapsamında uygulanan yörünge takibi ve dinamik takip senaryolarının her ikisinde de görevli MT-İHA kara aracının üzerine iniş yaptıktan sonra diğer MT-

İHA'nın yardımcısı konumuna gelmektedir. Benzer şekilde yardımcı MT-İHA ise yörünge izleme senaryosunda ilk ziyaret noktasına vardığında, dinamik takip senaryosunda ise kendisine tanımlanan hedef noktasına vardığında görevli MT-İHA durumuna gelmektedir. Bu şekilde MT-İHA'lar birbirlerinin batarya seviyeleri kritik seviyenin altına indiğinde döngüsel olarak birbirlerinin destekler hale gelmektedir ve gözlem faaliyetinin sürekliliği bu şekilde sağlanmaktadır.

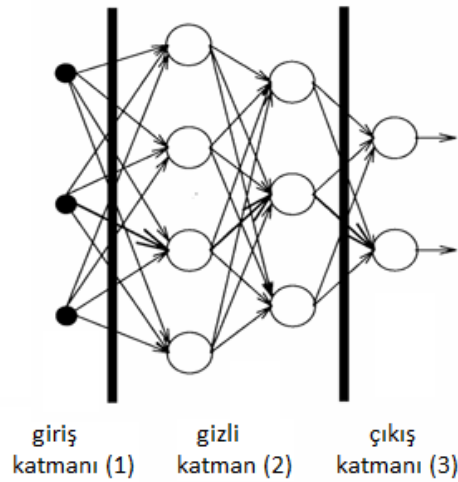
Benzetim ortamında gerçekleştirilen uygulamalarda, bir İHA'nın bir bölgede gözlem faaliyeti yürütürken yatay düzlemde belli bir rotada olmaksızın düzensiz hareketlerle uçuşması durumunda diğer İHA'nın havadaki İHA'nın konumuna gelip gözlem faaliyetini mümkün olduğunca hızlı devralmasını, başka bir deyişle bir dört rotorlunun diğerini yakalamasını sağlayan en uygun yaklaşım tespit edilmiştir. Bu tespiti yapabilmek için bu çalışmada kullanılan dört rotorluların yatay düzlemdeki kontrolü sabit parametrelili PID, FUZZY-PID ve YSA-PID türü kontrolörler ile sağlanmıştır. Dört rotorlulardan birine diğerini yakalama görevi verilmiştir ve diğer dört rotorlu ise yakalama görevi verilen dört rotorluya sabit mesafelerde tutulmuş, belli hızlarda yaklaştırılmış ve uzaklaştırılmıştır.

Benzetim ortamında yapılan uygulamalarda diğer dört rotorluyu yakalamakla görevli dört rotorlunun bu üç durumda hangi kontrolör metodunun kullanması gerektiği tespit edilmiştir. Sabit katsayılı PID ve değişken katsayılı adaptif PID metodlarının performansını karşılaştırmak için de Şekil 3.8'de görülen maksimum aşma ve yükselme zamanı kriterleri dikkate alınmıştır. Maksimum aşma ve yükselme zamanı kavramları, karşılaştırılan kontrolörlerin dört rotorlunun tanımlanan bir hedef konuma ne kadar hızlı ve az hata ile ulaştığını göstermektedir. Maksimum aşma ve yükselme zamanı değerlerinin düşük çıkması, bu çalışmada gerçekleştirilen dinamik takip uygulaması için kontrolörün başarısını gösteren bir etken olarak dikkate alınmıştır. Şekil 3.8'de 10 m'lik bir hedef uzaklık için oluşan maksimum aşma ve yükselme zamanı görülmektedir.



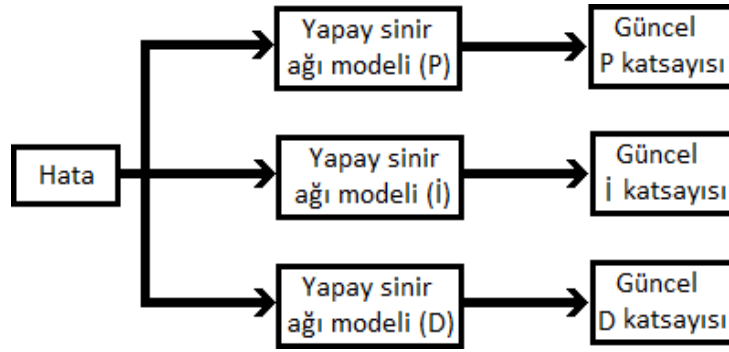
Şekil 3.8 Maksimum aşma ve yükselme zamanı.

Bu çalışmada gerçekleştirilen YSA-PID türü kontrolörün yapay sinir ağı (YSA) kısmı çok katmanlı bir yapıya sahiptir. Çok katmanlı YSA’da bir giriş katmanı, ara ya da gizli katmanlar ve bir çıkış katmanı bulunur. Bu tür YSA’da giriş ile çıkış arasındaki ilişki bu katmanlar arasındaki ağırlıklar ile sağlanır (Mehta *et al.* 2011). Bu çalışmada ileri beslemeli geri yayımlı YSA modelleri kullanılmıştır. YSA modellerinde Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması kullanılmıştır. Örnek bir çok katmanlı YSA yapısı Şekil 3.9’da görüldüğü gibidir.



Şekil 3.9 Örnek bir çok katmanlı YSA yapısı.

Bu çalışmada gerçekleştirilen YSA-PID türü kontrolörün yapısında tek gizli katmana sahip yapay sinir ağı (YSA) modelleri kullanılmıştır. YSA modellerinin gizli katmanlarındaki nöron sayıları P katsayısını belirleyen model için 5, I katsayısını belirleyen model için 4 ve D katsayısını belirleyen model için 5'tir. Oluşturulan YSA modelleri yardımcı MT-İHA ile görevli MT-İHA arasındaki mesafenin anlık durumuna göre P, I ve D katsayılarını türetmektedir. Şekil 3.10'da, yardımcı MT-İHA ile görevli MT-İHA arasındaki mesafeyi (hata) giriş olarak kabul eden YSA modellerini içeren ve bu modellerin çıktılarıyla P, I ve D katsayılarının anlık olarak türetilmesini sağlayan YSA-PID türü adaptif kontrolörün yapısı verilmiştir.



Şekil 3.10 P, I ve D katsayılarının anlık olarak türetilmesini sağlayan YSA-PID türü adaptif kontrolörün yapısı.

YSA-PID kontrolör, yardımcı MT-İHA ile görevli MT-İHA arasındaki mesafe 35 metrenin altına indiğinde devreye girmektedir. Bu sebeple YSA-PID türü kontrolörün YSA modelleri için giriş seti 35 ile 0 metre arasında oluşturulmuştur ve Çizelge 3.1'de görüldüğü gibidir. P, I ve D katsayılarının çıkış setleri ise kontrol performansını arttıracak şekilde deneysel olarak elde edilmiştir ve Çizelge 3.1'de görüldüğü gibidir. YSA-PID türü kontrolörde P katsayısının değerini anlık olarak elde etmeye yarayan YSA modelinin ağırlık ve bias değerleri Çizelge 3.2'de görüldüğü gibidir. Ağırlık ve bias değerleri 130 iterasyon sonucunda 0,999 R-kare değeriyle elde edilmiştir.

Çizelge 3.1 YSA-PID türü kontrolörün YSA modelleri için giriş ve çıkış setleri.

Giriş seti (m)	Çıkış seti (P)	Çıkış seti (I)	Çıkış seti (D)
35	-102	0,0001111	1011
30	-205	0,0001113	1210
25	-303	0,0001115	1320
20	-411	0,0001117	1410
15	-508	0,0001119	1517
10	-597	0,0001121	1621
5	-706	0,0001123	1713

Çizelge 3.2'deki sütun başlıklarındaki a ve b harfleri sırayla ağırlık ve bias ifadelerini temsil etmekten 1, 2 ve 3 numaraları sırayla giriş katmanını, gizli katmanı ve çıkış katmanını temsil etmektedir. Bu durumda örneğin a_{12} giriş katmanı ile gizli katman arasındaki ağırlıkları ve örneğin b_2 ise gizli katmandaki nöronların bias değerlerini ifade etmektedir.

Çizelge 3.2 YSA-PID türü kontrolörde P katsayısının değerini anlık olarak elde etmeye yarayan YSA modelinin ağırlık ve bias değerleri.

a_{12}	a_{23}	b_2	b_3
-7,0701	6,9278	-0,0991	0,4712
3,5244	-6,9831	0,3620	
-0,0537	6,9963	-0,1902	
-3,5254	-6,9188	0,3154	
7,1480	6,8414	-0,1738	

YSA-PID türü kontrolörde I katsayısının değerini anlık olarak elde etmeye yarayan YSA modelinin ağırlık ve bias değerleri Çizelge 3.3'te görüldüğü gibidir. Ağırlık ve bias değerleri 64 iterasyon sonucunda 0,997 R-kare değeriyle elde edilmiştir. Çizelge 3.3'te sütun başlıklarındaki a ve b harfleri sırayla ağırlık ve bias ifadelerini temsil etmekten 1, 2 ve 3 numaraları sırayla giriş katmanını, gizli katmanı ve çıkış katmanını temsil etmektedir.

Çizelge 3.3 YSA-PID türü kontrolörde I katsayısının değerini anlık olarak elde etmeye yarayan YSA modelinin ağırlık ve bias değerleri.

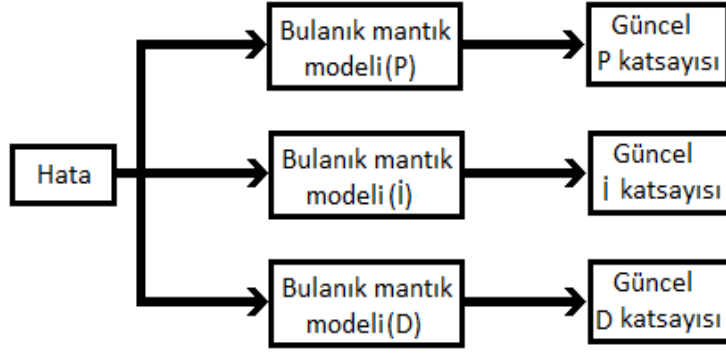
a₁₂	a₂₃	b₂	b₃
5,6000	-5,6000	0,3114	0,6524
1,8667	-5,6000	0,9336	
1,8667	5,6000	0,2383	
-5,6000	-5,6000	-0,6693	

YSA-PID türü kontrolörde D katsayısının değerini anlık olarak elde etmeye yarayan YSA modelinin ağırlık ve bias değerleri Çizelge 3.4'te görüldüğü gibidir. Ağırlık ve bias değerleri 102 iterasyon sonucunda 0,993 R-kare değeriyle elde edilmiştir. Çizelge 3.4'te sütun başlıklarındaki a ve b harfleri sırayla ağırlık ve bias ifadelerini temsil etmekteyken 1, 2 ve 3 numaraları sırayla giriş katmanını, gizli katmanı ve çıkış katmanını temsil etmektedir.

Çizelge 3.4 YSA-PID türü kontrolörde D katsayısının değerini anlık olarak elde etmeye yarayan YSA modelinin ağırlık ve bias değerleri.

a₁₂	a₂₃	b₂	b₃
-7,0899	6,9106	0,0117	-0,5049
-3,6503	6,8509	-0,6378	
0,0807	7,0004	-0,1876	
-3,4811	-6,9733	-0,2583	
7,2980	6,7016	0,1748	

Bu çalışmada gerçekleştirilen FUZZY-PID türü kontrolörün yapısında Mamdani türü bulanık mantık modelleri (Mamdani and Assilian 1975) kullanılmıştır. Oluşturulan bulanık mantık modelleri yardımcı MT-İHA ile görevli MT-İHA arasındaki mesafenin anlık durumuna göre P, I ve D katsayılarını türetmektedir. Şekil 3.11'de, yardımcı MT-İHA ile görevli MT-İHA arasındaki mesafeyi (hata) giriş olarak kabul eden bulanık mantık modellerini içeren ve bu modellerin çıktılarıyla P, I ve D katsayılarının anlık olarak türetilmesini sağlayan FUZZY-PID türü adaptif kontrolörün yapısı verilmiştir.



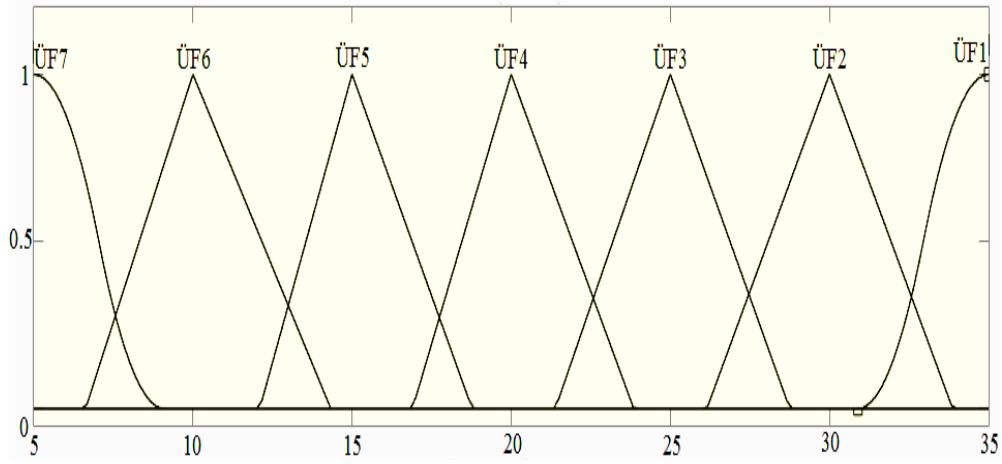
Şekil 3.11 P, I ve D katsayılarının anlık olarak türetilmesini sağlayan FUZZY-PID türü adaptif kontrolörün yapısı.

FUZZY-PID kontrolör, yardımcı MT-İHA ile görevli MT-İHA arasındaki mesafe 35 metrenin altına indiğinde devreye girmektedir. Bu sebeple FUZZY-PID türü kontrolörün giriş büyüklüğü için oluşturulan bulanık mantık modelinin üyelik fonksiyonlarındaki üyelik derecelerinin 1 olduğu noktalar 35 ile 0 metre arasında sayılardan oluşturulmuştur ve Çizelge 3.5’te görüldüğü gibidir. P, I ve D katsayılarının çıkış setlerinin üyelik fonksiyonlarındaki üyelik derecelerinin 1 olduğu noktalar ise kontrol performansını arttıracak şekilde deneysel olarak elde edilmiştir ve Çizelge 3.5’te görüldüğü gibidir.

Çizelge 3.5 FUZZY-PID türü kontrolörün giriş ve çıkış setleri.

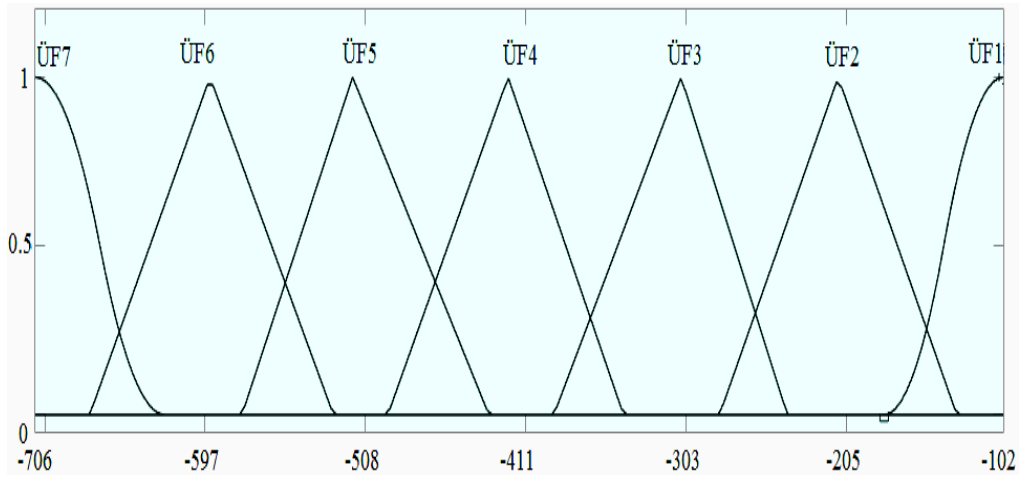
Giriş seti (m)	Çıkış seti (P)	Çıkış seti (I)	Çıkış seti (D)
35	-102	0,0001111	1011
30	-205	0,0001113	1210
25	-303	0,0001115	1320
20	-411	0,0001117	1410
15	-508	0,0001119	1517
10	-597	0,0001121	1621
5	-706	0,0001123	1713

Şekil 3.12’de üçgen şekilli, Z şekilli ve S şekilli olmak üzere toplam 7 adet oluşturulan giriş (yardımcı MT-İHA ile görevli MT-İHA arasındaki mesafe, hata) değerlerine ait üyelik fonksiyonları görülmektedir. Şekil 3.12’de görülen ÜD ifadesi giriş üyelik fonksiyonlarının üyelik derecesini göstermektedir.



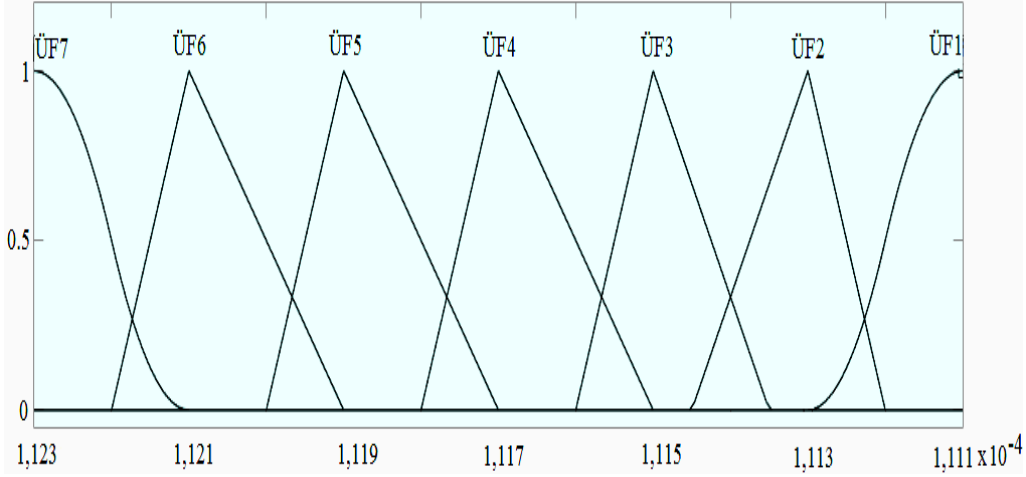
Şekil 3.12 Giriş (hata) değerlerine ait üyelik fonksiyonları.

Şekil 3.13'te üçgen şekilli, Z şekilli ve S şekilli olmak üzere toplam 7 adet oluşturulan P katsayısına ait üyelik fonksiyonları görülmektedir. Şekil 3.13'te görülen ÜD ifadesi P katsayısına ait çıkış üyelik fonksiyonlarının üyelik derecesini göstermektedir.



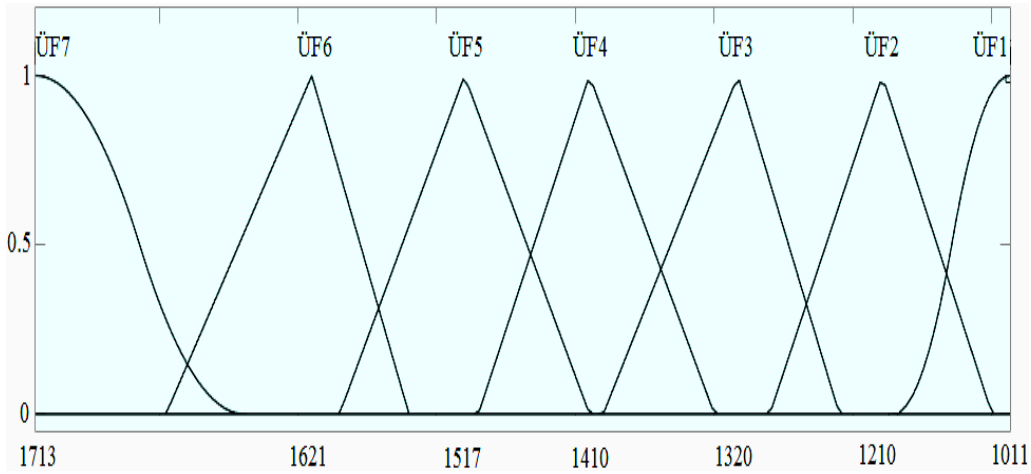
Şekil 3.13 P katsayısına ait üyelik fonksiyonları.

Şekil 3.14'te üçgen şekilli, Z şekilli ve S şekilli olmak üzere toplam 7 adet oluşturulan I katsayısına ait çıkış üyelik fonksiyonları görülmektedir. Şekil 3.14'te görülen ÜD ifadesi I katsayısına ait çıkış üyelik fonksiyonlarının üyelik derecesini göstermektedir.



Şekil 3.14 I katsayısına ait çıkış üyelik fonksiyonları.

Şekil 3.15'te üçgen şekilli, Z şekilli ve S şekilli olmak üzere toplam 7 adet oluşturulan D katsayısına ait çıkış değerlerine ait üyelik fonksiyonları görülmektedir. Şekil 3.15'te görülen $\dot{U}D$ ifadesi D katsayısına ait çıkış üyelik fonksiyonlarının üyelik derecesini göstermektedir.



Şekil 3.15 D katsayısına ait çıkış üyelik fonksiyonları.

FUZZY-PID kontrolörün bulanık mantık modellerinin girişleri ile çıkışları arasındaki bağlantılar bir kural tablosu aracılığıyla oluşturulmuştur. Giriş üyelik fonksiyonları ile P, I ve D katsayılarına ait çıkış üyelik fonksiyonlarının arasındaki ilişki ÜF1'den (üyelik fonksiyonu 1) ÜF7'ye kadar olan giriş üyelik fonksiyonlarının yine ÜF1'den (üyelik fonksiyonu 1) ÜF7'ye kadar olan çıkış üyelik fonksiyonları ile eşleştirilmesi sonrasında

elde edilmiştir. Anlık P, I ve D katsayılarını elde etmek için kullanılan kural tablosu Çizelge 3.6’da gösterildiği gibidir.

Çizelge 3.6 Anlık P, I ve D katsayılarını elde etmek için kullanılan kural tablosu.

Bulanık mantık kuralları

Eğer giriş ÜF1 ise, P, I ve D katsayıları için çıkış ÜF1 olur
Eğer giriş ÜF2 ise, P, I ve D katsayıları için çıkış ÜF2 olur
Eğer giriş ÜF3 ise, P, I ve D katsayıları için çıkış ÜF3 olur
Eğer giriş ÜF4 ise, P, I ve D katsayıları için çıkış ÜF4 olur
Eğer giriş ÜF5 ise, P, I ve D katsayıları için çıkış ÜF5 olur
Eğer giriş ÜF6 ise, P, I ve D katsayıları için çıkış ÜF7 olur
Eğer giriş ÜF7 ise, P, I ve D katsayıları için çıkış ÜF7 olur

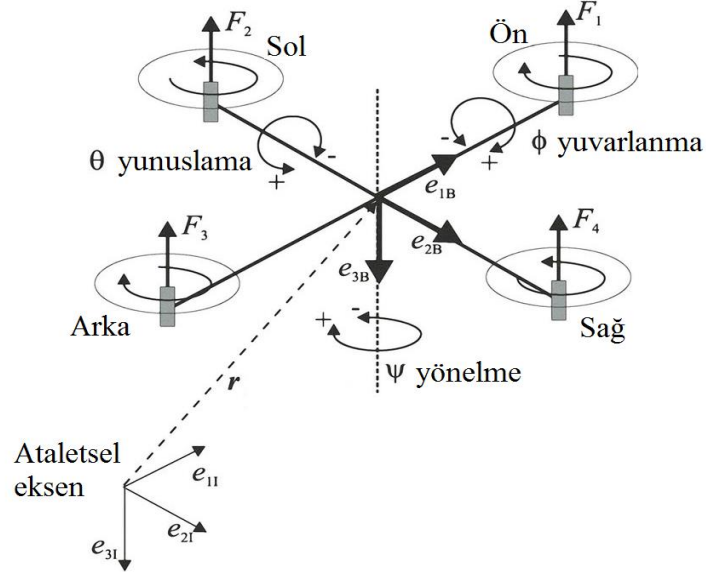
3.3.3 İnsansız Araçların Matematiksel Modelleri

Önerilen sistemin benzetiminin gerçekleştirilmesi için, öncelikle insansız araçların matematiksel modelleri türetilmiştir. Sonrasında elde edilen matematiksel modellerin Matlab-Simulink modelleri oluşturulmuş ve bu modeller üzerinden sistemin benzetimi gerçekleştirilmiştir. Simulink modelleri sanal bir görselleştirme programı olan VRML Builder programında oluşturulan 3 boyutlu araç modelleri ile ilişkilendirilmiş ve yapılan uygulamaların görselleştirilmesi sağlanmıştır.

Bu çalışmada, MT-İHA olarak son yıllarda öne çıkan dört rotorlu hava araçları kullanılmıştır. Önerilen sistemde kullanılan dört rotorluları benzetim ortamında modellemek için öncelikle Newton yasalarına göre matematiksel denklemleri çıkarılmıştır. Elde edilen denklemler Matlab/Simulink ortamında modellenmiş ve sonrasında dört rotorlunun 6 eksenindeki hareketi için uygun kontrolörler tasarlanmıştır.

Bir dört rotorlu Şekil 3.16’da görüldüğü gibi 4 motor ile modellenir. Dikey doğrultudaki hareket tüm motorların hızlarının aynı miktarda artırılıp azaltılmasıyla sağlanır. Yuvarlanma hareketi sağ ve sol motorun dönüş hızlarının artırılıp azaltılmasıyla sağlanır. Yunuslama hareketi ön ve arka motorun dönüş hızlarının artırılıp azaltılmasıyla sağlanır. Yönelme hareketi ise karşılıklı motorların çift olarak hızlarının aynı miktarda artırılıp azaltılmasıyla sağlanır. Örneğin Şekil 3.16’da görülen saat

yönünde bir yönelme hareketinin sağlanması için saat yönünde dönen motorların hızlı saat yönünün tersine dönen motorların da yavaş dönmesi gerekmektedir.



Şekil 3.16 Dört-rotorlunun yapısı (Bolandi *et. al* 2013).

Dört-rotorlu hava araçlarının hareketini tanımlamak için kendi gövde eksenleri ve dünyanın merkezine göre alınan ataletsel eksen dikkate alınır. Dört-rotorluya bir hedef noktası belirtildiğinde, dört-rotorlunun kendi gövde eksen takımı ile ataletsel eksen takımı arasında bazı açılar oluşturarak bu hareketi sağlarlar. Bu bağlamda dört-rotorlu havada bu açıları yaparak hareket ettikçe ataletsel eksene göre durumu da değişecektir (Arıkan vd. 2015).

Dört rotorlunun matematiksel modelini elde etmek için, ataletsel eksen ve gövde eksenleri arasında ilişkinin kurulması gerekmektedir. Dört rotorlunun gövdesinin x, y, z eksenleri etrafındaki dönüşünü ifade etmek ve dört-rotorluya tanımlanan yeni hedef sebebiyle oluşan Θ (theta), Φ (phi) ve Ψ (psi) açıları kullanılarak dört-rotorlunun ataletsel eksene göre yeni konumu hesaplamak için yuvarlanma(roll, ϕ), yunuslama (pitch, Θ) ve yönelme(yaw, ψ) açıları kullanılmaktadır (Marzinotto 2012). Bunun için kullanılan R dönüşüm matrisi dört rotorlunun gövde eksenleri ile ataletsel eksen arasındaki dönüştürme vektörlerini içerir. Denklem 3.7’de verilen R dönüşüm matrisinde örneğin $c\phi$ ile $\cos\phi$ ve $s\Theta$ ile $\sin\Theta$ temsil edilmektedir.

$$R = \begin{pmatrix} c\psi c\theta & c\psi s\theta s\varphi - s\psi c\varphi & c\psi s\theta c\varphi + s\psi s\varphi \\ s\psi c\theta & s\psi s\theta s\varphi + c\psi c\varphi & s\psi s\theta c\varphi - c\psi s\varphi \\ -s\theta & c\theta s\varphi & c\theta c\varphi \end{pmatrix} \quad (3.7)$$

Dört rotorlunun her bir motoru($i=1,2,3,4$) tarafından üretilen itme (thrust) kuvvetidir ve Denklem 3.8’de gösterildiği gibidir.

$$F_i = b \omega_i^2 \quad (3.8)$$

İtme kuvvetinin tanımındaki b itme faktörünü, ω_i (rad/s) ise rotorların açısal hızlarını ifade eder. Bu durumda, dört rotorlunun gövdesine rotorlar tarafından uygulanan toplam kuvvet Denklem 3.9’da gösterildiği gibi elde edilir.

$$T = \sum_{i=1}^4 |F_i| = b \sum_{i=1}^4 \omega_i \quad (3.9)$$

Bu durumda, dört rotorlunun ivmelenmesini ifade eden bir denklem takımı Denklem 3.10’da gösterildiği gibi elde edilir.

$$\begin{pmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{pmatrix} = g \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} - R \frac{T}{m} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (3.10)$$

Denklem 3.10’daki m parametresi Dört rotorlunun toplam kütleini ifade etmektedir. Dört rotorlunun matematiksel modeline ait kalan üç denklemi ifade etmek için atalet matrisi Denklem 3.11’deki gibi tanımlanmıştır. Bağlı ataletler ihmal edilebilir olmasından dolayı yalnızca temel eksenler üzerindeki hareketler dikkate alınmıştır ve atalet matrisi simetrik formda ifade edilmiştir.

$$I = \begin{pmatrix} I_x & 0 & 0 \\ 0 & I_y & 0 \\ 0 & 0 & I_z \end{pmatrix} \quad (3.11)$$

Dört rotorlunun dönüş hareket denklemleri ise 3.12-3.14'de verilmiştir ve bu denklemler dört rotorlunun Θ (theta), Φ (phi) ve Ψ (psi) açılarında oluşan momentlerine bağlı olarak açısal hızlarını ifade etmektedir.

$$\dot{P} = \frac{M_x}{I_x} - \frac{I_z - I_y}{I_x} * Q * R \quad (3.12)$$

$$\dot{Q} = \frac{M_y}{I_y} - \frac{I_x - I_z}{I_y} * R * P \quad (3.13)$$

$$\dot{R} = \frac{M_z}{I_z} - \frac{I_y - I_x}{I_z} * P * Q \quad (3.14)$$

Denklem 3.12-3.14'de kullanılan M_x , M_y ve M_z vektörleri ise denklem 3.15-3.17'deki gibi elde edilir.

$$M_x = L(\omega_1^2 - \omega_3^2) \quad (3.15)$$

$$M_y = L(\omega_2^2 - \omega_4^2) \quad (3.16)$$

$$M_z = d(\omega_1^2 + \omega_3^2 - \omega_2^2 - \omega_4^2) \quad (3.17)$$

M_x , M_y ve M_z vektörlerinin tanımında d etki (drag) faktörü, L ise pervanelerin dört rotorlunun merkezine olan mesafesidir. Dört rotorlunun gerçek giriş değişkenleri rotorların açısal hızlarıdır (ω_i). Bununla birlikte, gerçek girişleri Denklem 3.18-3.21'te görülen sanal girişlerle ifade edilmesi ise daha uygundur.

$$u_1 = (\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2) \quad (3.18)$$

$$u_2 = (\omega_1^2 - \omega_3^2) \quad (3.19)$$

$$u_3 = (\omega_2^2 - \omega_4^2) \quad (3.20)$$

$$u_4 = (\omega_1^2 - \omega_2^2 + \omega_3^2 - \omega_4^2) \quad (3.21)$$

Denklem 3.18-3.21'de, u_1 dört rotorlunun gövdesine etki eden itme kuvvetini, u_2 yuvarlanma tokuna sebep olan kuvveti, u_3 yunuslama torkuna sebep olan kuvveti ve u_4 yönelme torkuna sebep olan kuvveti temsil etmektedir. Bu durumda Denklem 3.7'den

Denklem 3.21'e kadar olan ifadelerin birlikte değerlendirilmesiyle dört rotorlunun tam matematiksel modeli Denklem 3.22-3.27'de gösterildiği gibi elde edilir.

$$\ddot{x} = -(\cos\psi\sin\theta\cos\varphi + \sin\psi\sin\varphi)\frac{u1}{m} \quad (3.22)$$

$$\ddot{y} = -(\cos\psi\sin\theta\sin\varphi - \sin\psi\sin\varphi)\frac{u1}{m} \quad (3.23)$$

$$\ddot{z} = g - \cos\theta\cos\varphi\frac{u1}{m} \quad (3.24)$$

$$\ddot{\phi} = \dot{\theta}\dot{\psi}\left(\frac{I_y - I_z}{I_x}\right) + \frac{L}{I_x}u2 \quad (3.25)$$

$$\ddot{\theta} = \dot{\phi}\dot{\psi}\left(\frac{I_z - I_x}{I_y}\right) + \frac{L}{I_y}u3 \quad (3.26)$$

$$\ddot{\psi} = \dot{\theta}\dot{\phi}\left(\frac{I_x - I_y}{I_z}\right) + \frac{d}{I_z}u4 \quad (3.27)$$

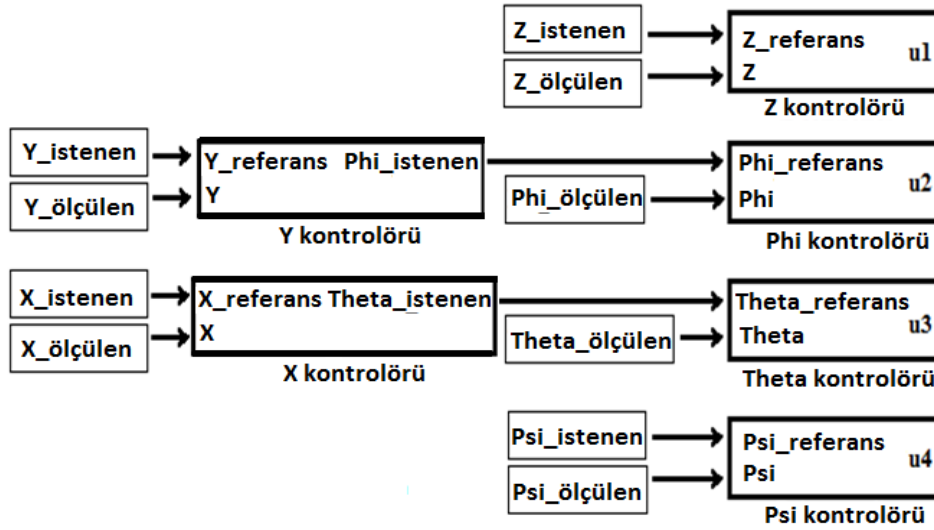
Çizelge 3.7'de dört rotorlunun matematiksel modelinde kullanılan parametreler ve değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.7 Dört rotorlunun matematiksel modelinde kullanılan parametrelerin değerleri (Selim vd. 2013).

Parametre	Değer
g	9,81 m/s ²
m	0.8 kg
L	0.23 m
I _x	0.0123 kg m ²
I _y	0.0123 kg m ²
I _z	0.0246 kg m ²
d	0.0296 m

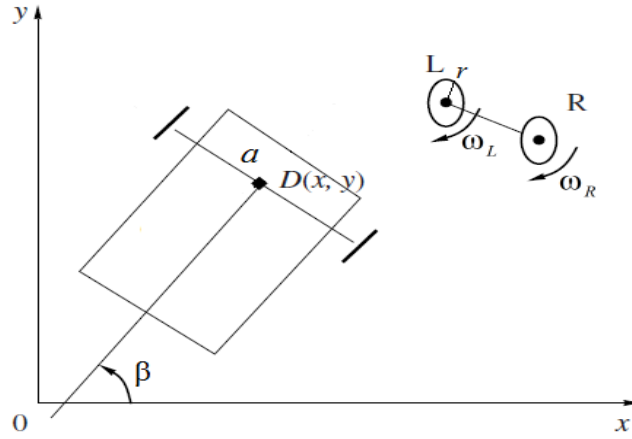
Bir dört rotorlunun kontrolünü tam olarak sağlamak için toplamda 6 kontrolör tasarlamak gerekmektedir. Dört rotorluyu kontrol etmek için kullanılan iç kontrolörler Z, yunuslama (Theta), yuvarlanma (phi) ve yönelme (Psi) kontrolörleridir. Kalan iki kontrolör de dış kontrolörler X ve Y'dir. Dış kontrolörler yunuslama ve yuvarlanma iç kontrolörlerine set değeri sağlayarak dört rotorlunun yatay düzlem üzerindeki konumunu denetlemektedir (Tayebi and McGilvray 2004).

Önerilen sistemde kullanılan dört rotorlunun kontrolörleri PID (oransal, türevsel ve integral) tipi kontrolörlerdir. Kontrolör katsayılarının bulunmasında ise deneysel bir yaklaşım temel alınmıştır (Ahmad and Pankaj 2014). Bu yaklaşıma göre, öncelikle P(oransal) katsayısı giriş işaretini aşana dek arttırılmıştır. Çıkış işareti bu durumda sönümsüz osilasyon yapmaktadır. Sonra da D(türevsel) katsayısı çıkışın geçici hal hatası yeterince azalana kadar arttırılmıştır. Son olarak I (integral) katsayısı sürekli hal hatası yeterince azalınca kadar arttırılmıştır. Şekil 3.17’de Dört-rotorlunun 6 eksenli kontrolü için temsili blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.17 Dört rotorlu İHA'nın kontrolör yapısı.

Bu çalışmada kullanılan İKA iki bağımsız tekerle sahiptir ve bu tekerlere tahrik gücü elektrik motorları vasıtasıyla sağlanmaktadır. İKA diferansiyel tekerlekli bir yapıya sahiptir ve aracın yönü tekerleklerin dönüş hızlarının farkına göre değişir. Şekil 3.18’de 2 boyutlu olarak görselleştirilen diferansiyel tekerlekli bir İKA’da “a” bir tekerin merkeze olan uzaklığı, “r” ise tekerin yarıçapıdır. Bu çalışmada a=0,35 m ve r=0,15 m olarak alınmıştır.



Şekil 3.18 Diferansiyel tahrikli bir İKA'nın 2 boyutlu görseli.

Diferansiyel tahrikli bir İKA'nın matematiksel modelini elde etmek için öncelikle Denklem 3.28-3.30'da görülen aracın gövdesine ait hız değerlerinden yola çıkılır.

$$\dot{x} = V \cos \beta \quad (3.28)$$

$$\dot{y} = V \sin \beta \quad (3.29)$$

$$\dot{\beta} = \omega \quad (3.30)$$

Denklem 3.28-3.30'da, V araç gövdesine ait doğrusal hızı, ω araç gövdesini açısız hızını, β ise araç gövdesinin yönelim açısını temsil etmektedir. Araç gövdesinin açısız ve doğrusal hızlarını aracın sağ tekeri (ω_R) ve sol tekeri (ω_L) cinsinden ifade edildiğinde Denklem 3.31'ü ve Denklem 3.32 elde edilir.

$$\omega = \frac{r}{a} (\omega_R - \omega_L) \quad (3.31)$$

$$V = \frac{r}{2} (\omega_R + \omega_L) \quad (3.32)$$

Denklem 3.28-3.30 ve Denklem 3.31-3.32 birlikte değerlendirildiğinde gerçek kontrol parametrelerini (ω_R ve ω_L) içeren Denklem 3.33-3.35 elde edilir.

$$\dot{x} = \frac{r}{2} (\omega_R + \omega_L) \cos \beta \quad (3.33)$$

$$\dot{y} = \frac{r}{2} (\omega_R + \omega_L) \sin\beta \quad (3.34)$$

$$\dot{\beta} = \frac{r}{a} (\omega_R - \omega_L) \quad (3.35)$$

Bu çalışmada yürütülen örnek uygulamalarda taşıyıcı İKA'nın görevi MT-İHA'ları gözlem yapılacak olan bölgeye taşımak ve onlara iniş-kalkış platformu sağlamaktır. Bu sebeple sistemin benzetiminde kinematik kısıtlara dayalı olan matematiksel model kullanılmıştır.

3.3.4 Önerilen Sistemin Benzetim Ortamında Uygulanması

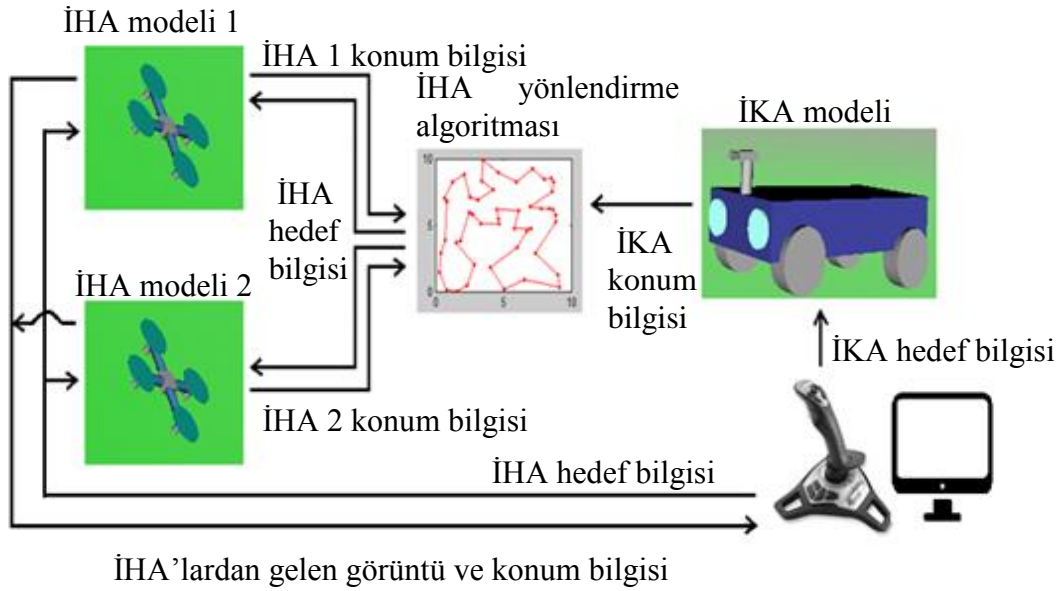
Önerilen sistemin benzetiminin gerçekleştirilmesi için, öncelikle insansız araçların matematiksel modelleri türetilmiştir. Sonrasında elde edilen matematiksel modellerin Matlab-Simulink modelleri oluşturulmuş ve bu modeller üzerinden sistemin benzetimi gerçekleştirilmiştir. Simulink modelleri sanal bir görselleştirme programı olan VRML builder programında oluşturulan 3 boyutlu araç modelleri ile ilişkilendirilmiş ve uygulamaların görselleştirilmesi sağlanmıştır.

İnsansız araçların matematiksel modelinin 3 boyutlu animasyonları için kullanılan VRML ortamının sensör modellerinin azlığı, bir haberleşme standardına sahip olmaması vb. özellikleri bu ortamın diğer animasyon ortamlarına göre dezavantajıdır. Bununla birlikte, matlab/simulink ile bağlantısının kolay olması, hızlı modelleme yapılabiliyor olması, kendi içerisinde kod karmaşıklığının olmaması vb. özellikleri VRML ortamına diğer animasyon ortamlarına karşı avantaj sağlamaktadır.

Önerilen sistemin yörünge takibi senaryosunun benzetim ortamındaki uygulamalarında, operatör hedef ziyaret noktalarını Matlab programı üzerinde tanımlamaktadır. Matlab üzerinde çalışan İHA yönlendirme algoritması, tanımlanan hedef ziyaret noktalarını okumaktadır ve genetik algoritmalar ile çözüm yapan gezgin satıcı problemi(GSP) koduna bu ziyaret noktalarını uygulamaktadır. GSP kodu belirtilen ziyaret noktaları ile bir yörünge hesaplamaktadır ve operatör tarafından görevli olarak seçilen MT-İHA'yı bu yörüngeyi izlemek üzere yönlendirmektedir. Görevli MT-İHA belirtilen yörüngeyi izlerken İHA yönlendirme algoritması anlık olarak görevli MT-İHA'nın batarya

seviyesini kontrol etmektedir ve batarya seviyesi KES 1'in altına düştüğünde taşıyıcı İKA üzerinde bekleyen yardımcı MT-İHA'ya görevi devralmasına dair komutu göndermektedir.

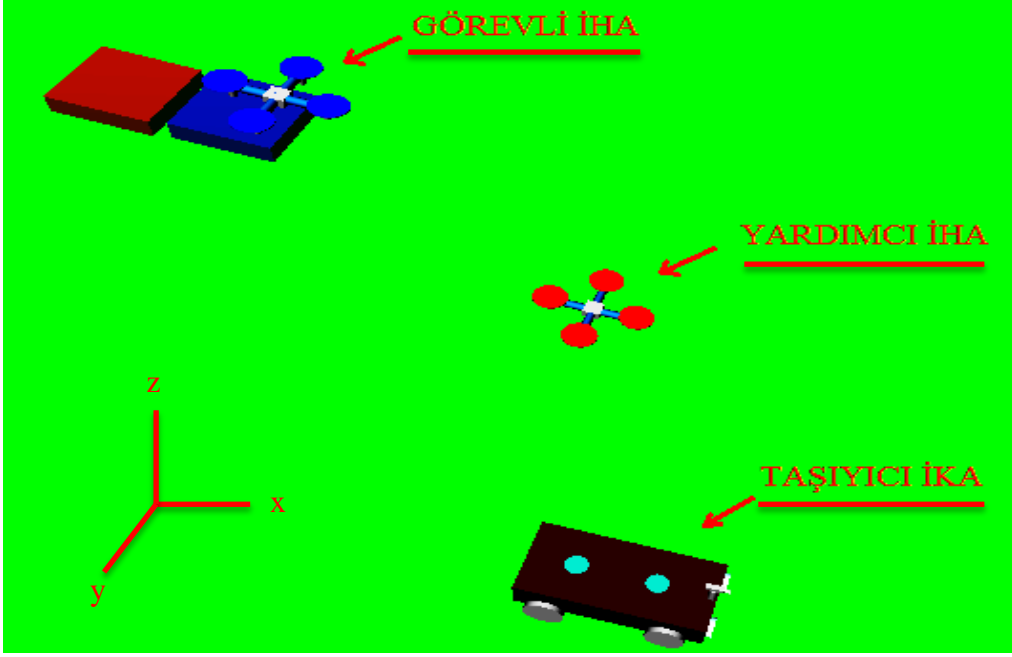
Önerilen sistemin doğrulaması için gerçekleştirilen dinamik takip senaryosunun benzetiminde operatör manuel komutlarla MT-İHA'lardan birini yönlendirmektedir. Yardımcı MT-İHA görevli MT-İHA'nın batarya seviyesi belli bir noktanın altına inerse görevi devralmak için havalanmaktadır. Şekil 3.19'da benzetim ortamındaki insansız araçların modelleri, İHA yönlendirme algoritması, kontrol paneli ve VRML builder programı arasındaki bağlantılar gösterilmektedir.



Şekil 3.19 Önerilen sistemin benzetim çerçevesi.

Ekler bölümünde, İHA ve İKA'lara ait Simulink modelleri sırasıyla Ek-1 ve Ek-2 olarak, önerilen sistemin tamamını içeren Simulink modeli Ek-3 olarak verilmiştir.

VRML Builder programı sanal nesnelere üzerinde çeşitli sensörler tanımlanmasına olanak sağlamaktadır. Önerilen sistem gözlem faaliyeti yapması amacıyla tasarlandığı için insansız araç modelleri üzerine sanal kameralar yerleştirilmiştir. Şekil 3.20'de önerilen sistemde kullanılan insansız araçların VRML Builder modelleri görülmektedir.



Şekil 3.20 VRML Builder programında insansız araçları temsil eden sanal nesnelere.

3.3.5 Önerilen Sistemin Gerçek Çalışma Şartlarında Uygulanması

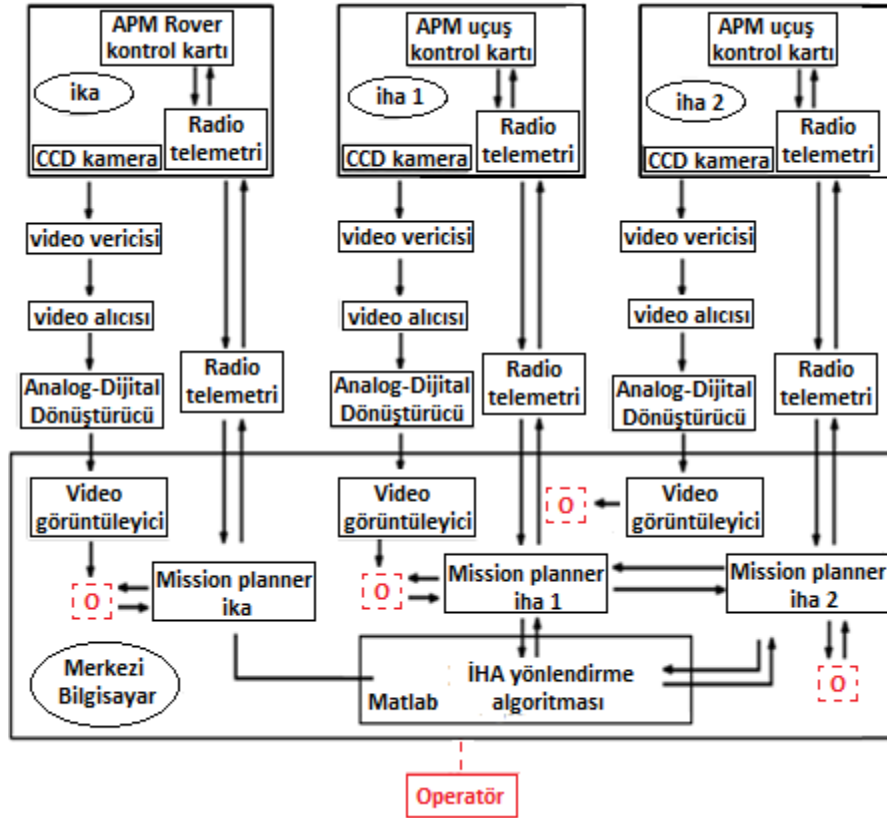
İnsansız araçların verilerine ulaşmak ve merkezi bilgisayarın ekranında görüntülemek ve gerekli uçuş komutlarını göndermek için Mission Planner araç kontrol programı kullanılmıştır. Mission Planner açık kaynak kodlu olması sebebiyle otonom araçların kontrolünde oldukça tercih edilen bir programdır ve Google Maps bağlantısı sağlamasıyla insansız araçların dünya üzerindeki yerinin anlık olarak gösterilmesini sağlamaktadır.

Önerilen sistemin gerçek çalışma şartlarındaki uygulamaları bir merkezi bilgisayar, APM oto-pilot kartları ve araçlar üzerindeki sensör ve haberleşme birimleri yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Merkezi bilgisayar, üzerinde Mission Planner ve Matlab programlarının çalıştırıldığı ve bu programlar arasındaki bağlantıların sağlanarak önerilen sistemin bir bütün halinde operatörün gözlem ve kontrolüne imkan sağlayan bir bilgisayardır. Operatör, merkezi bilgisayar sayesinde Mission Planner programı vasıtasıyla gelmeyen insansız araçlar üzerindeki kameralardan gelen görüntüleri de izleyebilmektedir. Mission Planner programının açık kaynak kodlu olması sayesinde, kaynak kodunda yapılan değişikliklerle aynı bilgisayar ekranı üzerinde çoklu çalışacak ve haberleşebilecek şekilde düzenlenmiştir.

Yörünge takip senaryosunun gerçek çalışma şartlarındaki uygulamalarında öncelikle gözlem yapılacak bölgenin hedef ziyaret noktaları Mission Planner programı üzerinde operatör tarafından belirlenmektedir. Mission Planner bu belirtilen noktaları bir text dosyasına yazmaktadır. Sonrasında Matlab üzerinde çalışan İHA yönlendirme algoritması bu hedef ziyaret noktalarını ilgili text dosyasından okumaktadır ve ziyaret noktalarına ait bilgi Gezgin Satıcı Problemine (GSP) göre çözen koda aktarmaktadır. GSP kodu belirtilen ziyaret noktalarını optimum uzunlukta bir yörünge elde edilecek şekilde sıraya koymaktadır ve bu sırayı bir text dosyasına yazmaktadır. MT-İHA'lar sıraya koyulan bu ziyaret noktalarını ilgili text dosyasından okumaktadır. Görevlendirilen ilk MT-İHA bu belirtilen ziyaret noktası dizisini dikkate alarak yörüngesinde hareket etmeye başlamaktadır. Görevli MT-İHA yörüngesi üzerinde seyir halindeyken bağlı olduğu Mission Planner programı vasıtasıyla anlık batarya seviyesini ve ziyaret etmek üzere hareket ettiği ziyaret noktasının yörünge üzerindeki numarasını merkezi bilgisayara anlık olarak göndermektedir. Görevli MT-İHA'nın bağlı olduğu Mission Planner programı anlık batarya seviyesini ve sıradaki ziyaret noktasının numarasını ilgili text dosyasına yazmaktadır. Matlab üzerinde çalışan İHA yönlendirme algoritması, hedef ziyaret noktalarını ve görevli MT-İHA'nın batarya seviyesini ilgili text dosyasından okumaktadır ve görevli MT-İHA'nın batarya seviyesi KES 1'in altına düştüğünde görevli MT-İHA'nın henüz ziyaret etmediği noktadan başlayan yörüngesini bir text dosyasına yazmaktadır ve yardımcı MT-İHA'ya görevi devralması için bir komut göndermektedir. İHA yönlendirme algoritması tarafından bildirilen görevi devralma komutunu aldıktan sonra, ziyaret noktalarının sırasını dikkate alan yardımcı MT-İHA belirtilen ziyaret noktasından başlayarak yörünge üzerinde hareket etmeye başlamaktadır. Benzer şekilde, görevli MT-İHA taşıyıcı İKA üzerine iniş yaptığında, yeni yardımcı MT-İHA durumuna gelmektedir ve yeni görevli MT-İHA'nın batarya seviyesine bağlı olarak İHA yönlendirme algoritması tarafından yönlendirme sinyalini beklemektedir.

Dinamik takip senaryosunun gerçek çalışma şartlarında gerçekleştirilen uygulamalarında, öncelikle operatör bir MT-İHA'yı görevli olarak seçmektedir ve seçilen MT-İHA'yı manuel komutlarla hareket ettirmektedir. Görevli MT-İHA'nın

manuel olarak yönlendirilmesi operatör tarafından belirlenen maksimum görev mesafesi sınırlarının içinde gerçekleştirilmektedir. İHA yönlendirme algoritması tarafından, görevli MT-İHAnın batarya seviyesi KES 1'in altına indiğinde, yardımcı MT-İHA görevli MT-İHA'dan görevi devralması için yönlendirilmektedir. İKA ve MT-İHA'lar üzerine yerleştirilen CCD kameralardan gelen analog görüntü verisi analog verici-alıcı ekipmanları ile merkezi bilgisayara aktarılmaktadır. CCD kamera çıkışı analog bir veri olduğu için analog-dijital dönüştürücü ekipman yardımıyla merkezi bilgisayara dijital veri olarak aktarılmaktadır. Önerilen sistem için oluşturulan gerçek çalışma şartlarındaki uygulama çerçevesi Şekil 3.21'de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.21 Önerilen sistem için oluşturulan gerçek çalışma şartlarındaki uygulama çerçevesi.

4. BULGULAR

Bu bölümde, önerilen sistem ile uygulamalar gerçekleştirilmeden önce her bir MT-İHA'nın farklı hızlarda ve yönlerde hareket ederken ve MT-İHA'lar askıda iken tüketilen enerji miktarlarını elde etmek için gerçekleştirilen uygulamaların sonuçları verilmiştir. MT-İHA'ların üzerine 2200 mAh ve 5200 mAh'lik bataryalar takılarak 10 sn boyunca yatay düzlemde ilerleme, yukarı yönde ilerleme, aşağı yönde ilerleme ve askıda durma hareketleri yapması sağlanmıştır. MT-İHA'lar bu hareketleri yaparken 1 sn boyunca ne kadar enerji tükettikleri tespit edilmiştir.

Önerilen sistemin uygulanabilirliğini göstermek için gerçek çalışma şartlarında ve benzetim ortamında örnek uygulamalar gerçekleştirilmiş ve sonuçları bu bölümde sunulmuştur. Örnek uygulamalarda, operatör tarafından kara aracı manuel komutlarla sürülüp uygun bir bekleme noktasında araç durdurulmuştur. İKA uygun bekleme noktasında iken operatör tarafından MT-İHA'lardan birine göreve başlama talimatı verilmiştir. Önerilen sistemin benzetim ortamındaki uygulamalarında, VRML ortamındaki gözlem yapılacak olan örnek bir alanda toplam 8 nokta MT-İHA'lar için ziyaret noktası olarak belirlenmiştir ve bu noktaların koordinatları Matlab ortamında hedef ziyaret noktaları olarak tanımlanmıştır. Gerçek çalışma şartlarında gerçekleştirilen yörünge izleme uygulamasında, toplamda 8 adet nokta hedef ziyaret noktası olarak belirlenmiştir ve bu noktalar Mission Planner programı üzerinde seçilip Matlab programında x, y ve z eksenlerinde koordinatlar olarak tanımlanmıştır. MT-İHA'ların bu koordinatlarla oluşturulan yörünge üzerinde yardımlaşmalı olarak gözlem faaliyeti yürütmesi sağlanmıştır. Dinamik takip uygulamasında görevli MT-İHA, merkezi bilgisayar başındaki operatör tarafından manuel komutlarla yönlendirilmiştir. Benzetim ortamında ve gerçek çalışma şartlarında yapılan dinamik takip uygulamalarında yardımcı MT-İHA'nın görevli MT-İHA'dan görevi devralması sağlanmıştır.

4.1 MT-İHA'lara Ait Batarya Tüketim değerleri

Farklı görev senaryolarında, önerilen sistemi denemeden önce her bir MT-İHA'nın farklı hızlarda ve yönlerde hareket ederken ve MT-İHA'lar askıda iken tükettiği enerji miktarlarını elde etmek için çeşitli uygulamalar yapılmıştır. MT-İHA'ların üzerine 2200

mAh ve 5200 mAh'lik bataryalar takılarak 10 sn boyunca yatay ilerleme, yukarı yönde ilerleme(z+), aşağı yönde ilerleme(z-) ve askıda durma hareketlerini yapması sağlanmıştır. Bu hareketler beşer kez yaptırılarak MT-İHA'ların yatay ilerleme, yukarı yönde ilerleme(z+), aşağı yönde ilerleme (z-) ve askıda durma hareketlerini yaparken 1 sn boyunca ne kadar enerji tükettikleri elde edilmiştir. MT-İHA 1'in üzerinde 2200 mAh'lik batarya takılı iken farklı yönlerde 1 m/s'lik ve 2 m/s'lik hızlarla 1 sn boyunca hareket ettirilmesi ile oluşan enerji tüketimi değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 MT-İHA 1'in 1 m/s'lik ve 2 m/s'lik hızlarla 1 sn boyunca farklı yönlerde hareket ettirilmesi ile oluşan enerji tüketim değerleri.

Uygulama	Yatay	z+	z-	Yatay	z+	z-
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
	1 m/s			2 m/s		
1	0,34	0,36	0,30	0,34	0,38	0,27
2	0,35	0,36	0,31	0,35	0,37	0,27
3	0,34	0,37	0,29	0,34	0,37	0,28
4	0,34	0,35	0,29	0,36	0,37	0,28
5	0,33	0,35	0,30	0,35	0,38	0,28
Ortalaması	0,34	0,36	0,30	0,35	0,37	0,28

MT-İHA 1'in üzerinde 2200 mAh'lik batarya takılı iken farklı yönlerde 3 m/s'lik ve 4 m/s'lik hızlarla 1 sn boyunca hareket ettirilmesi ile oluşan enerji tüketim değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir. MT-İHA 1'in üzerinde 2200 mAh'lik batarya takılı iken, MT-İHA 1'e 1 sn boyunca askıda kalma hareketi yaptırılması ile oluşan enerji tüketim değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.2 MT-İHA 1'in 3 m/s'lik ve 4 m/s'lik hızlarla 1 sn boyunca farklı doğrultularda hareket ettirilmesi ile oluşan enerji tüketim değerleri.

Uygulama	Yatay	z+	z-	Yatay	z+	z-
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
	3 m/s			4 m/s		
1	0.35	0.39	0.27	0.37	0.40	0.27
2	0.35	0.38	0.27	0.38	0.38	0.28
3	0.36	0.39	0.28	0.36	0.40	0.28
4	0.36	0.39	0.27	0.37	0.39	0.27
5	0.36	0.38	0.28	0.36	0.39	0.26
Ortalaması	0.36	0.39	0.27	0.37	0.39	0.27

Çizelge 4.3 MT-İHA 1'in 1 sn boyunca askıda kalması ile oluşan enerji tüketimi.

Uygulama	Askıda(%)
1	0,33
2	0,34
3	0,35
4	0,35
5	0,34
Ortalaması	0,34

MT-İHA 2'nin üzerinde 2200 mAh'lik batarya takılı iken farklı yönlerde 1 m/s'lik ve 2 m/s'lik hızlarla 1 sn boyunca hareket ettirilmesi ile oluşan enerji tüketim değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4 MT-İHA 2'nin 1 m/s'lik ve 2 m/s'lik hızlarla 1 sn boyunca farklı doğrultularda hareket ettirilmesi ile oluşan enerji tüketim değerleri.

Uygulama	1 m/s			2 m/s		
	Yatay (%)	z+ (%)	z- (%)	Yatay (%)	z+ (%)	z- (%)
1	0,34	0,36	0,30	0,35	0,38	0,29
2	0,35	0,36	0,31	0,35	0,37	0,29
3	0,34	0,37	0,30	0,36	0,37	0,28
4	0,34	0,35	0,29	0,36	0,37	0,28
5	0,34	0,36	0,31	0,36	0,38	0,29
Ortalaması	0,34	0,36	0,30	0,36	0,37	0,29

MT-İHA 2'nin üzerinde 2200 mAh'lik batarya takılı iken farklı yönlerde 3 m/s'lik ve 4 m/s'lik hızlarla 1 sn boyunca hareket ettirilmesi ile oluşan enerji tüketim değerleri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

MT-İHA 2'nin üzerinde 2200 mAh'lik batarya takılı iken 1 sn boyunca askıda kalması durumunda oluşan enerji tüketim değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.5 MT-İHA 1'nin 3 m/s'lik hız ve 4 m/s'lik hızlarla 1 sn boyunca farklı doğrultularda hareket ettirilmesi ile oluşan enerji tüketim değerleri.

Uygulama	Yatay	z+	z-	Yatay	z+	z-
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
	3 m/s			4 m/s		
1	0,36	0,38	0,27	0,38	0,40	0,27
2	0,35	0,38	0,26	0,37	0,39	0,26
3	0,36	0,39	0,28	0,36	0,40	0,26
4	0,36	0,40	0,27	0,38	0,39	0,27
5	0,37	0,39	0,27	0,37	0,41	0,26
Ortalaması	0,36	0,39	0,27	0,37	0,40	0,26

Çizelge 4.6 MT-İHA 2'nin 1 sn boyunca askıda kalması ile oluşan enerji tüketim değerleri.

Uygulama	Askıda(%)
1	0,34
2	0,34
3	0,34
4	0,34
5	0,33
Ortalaması	0,34

2200 mAh'lik bataryaya ek olarak MT-İHA'ların üzerine 5200 mAh'lik batarya takılarak da MT-İHA'ların enerji tüketim değerleri incelenmiştir. Her iki batarya türüyle de yapılan denemeler sonucunda bu çalışmadaki uygulamalar için 2200 mAh'lik bataryanın yeterli olduğu görülmüştür. Ayrıca, maliyet bakımından daha uygun olması sebebiyle de önerilen sistemin test edileceği senaryolarda 2200 mAh'lik batarya kullanılmıştır. Bununla birlikte, MT-İHA'ların üzerine farklı türde bir batarya takılması durumunda nasıl bir enerji tüketimi sergileyeceğini ortaya koymak için 5200 mAh'lik batarya kullanıldığında elde edilen değerlere bu bölümde yer verilmiştir.

MT-İHA 2'nin üzerinde 5200 mAh'lik batarya takılı iken farklı yönlerde 1 m/s'lik ve 2 m/s'lik hızlarla 1 sn boyunca hareket ettirilmesi ile oluşan enerji tüketim değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7 MT-İHA 1'in üzerinde 5200 mAh'lik batarya takılıken 1 m/s'lik ve 2 m/s'lik hızlarla 1 sn boyunca farklı doğrultularda hareket ettirilmesi ile oluşan enerji tüketim değerleri.

Uygulama	Yatay	z+	z-	Yatay	z+	z-
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
	1 m/s			2 m/s		
1	0,11	0,13	0,11	0,12	0,13	0,11
2	0,12	0,13	0,12	0,12	0,13	0,10
3	0,12	0,12	0,12	0,11	0,14	0,11
4	0,11	0,13	0,11	0,12	0,13	0,10
5	0,12	0,13	0,11	0,13	0,14	0,10
Ortalaması	0,12	0,13	0,11	0,12	0,13	0,11

MT-İHA 2'nin üzerinde 5200 mAh'lik batarya takılı iken farklı yönlerde 3 m/s'lik ve 4 m/s'lik hızlarla 1 sn boyunca hareket ettirilmesi ile oluşan enerji tüketim değerleri Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8 MT-İHA 1'in üzerinde 5200 mAh'lik batarya takılıken 3 m/s'lik e 4 m/s'lik hızlarla 1 sn boyunca farklı doğrultularda hareket ettirilmesi ile oluşan enerji tüketim değerleri.

Uygulama	Yatay	z+	z-	Yatay	z+	z-
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
	3 m/s			4 m/s		
1	0,12	0,14	0,09	0,14	0,15	0,09
2	0,13	0,15	0,10	0,13	0,15	0,10
3	0,13	0,14	0,10	0,13	0,14	0,11
4	0,13	0,13	0,09	0,12	0,15	0,10
5	0,12	0,14	0,10	0,13	0,15	0,11
Ortalaması	0,13	0,14	0,10	0,13	0,15	0,10

MT-İHA 2'nin üzerinde 5200 mAh'lik batarya takılı iken askıda kalması durumunda oluşan enerji tüketim değerleri Çizelge 4.9'da verilmiştir.

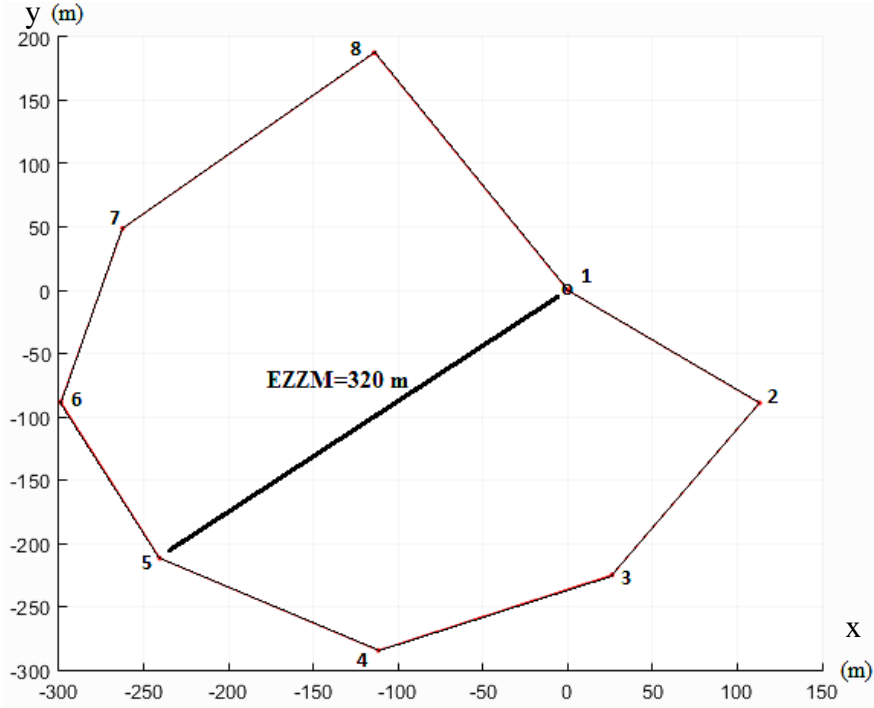
Çizelge 4.9 MT-İHA 1'in üzerinde 5200 mAh'lik batarya takılıken 1 sn boyunca askıda kalması ile oluşan enerji tüketim değerleri.

Uygulama	Askıda(%)
1	0,12
2	0,12
3	0,12
4	0,11
5	0,11
Ortalaması	0,12

4.2 Önerilen Sistemin Benzetim Ortamındaki Uygulamaları

Önerilen sistemin uygulanabilirliğini göstermek için gerçek çalışma şartlarında ve benzetim ortamında örnek uygulamalar gerçekleştirilmiş ve sonuçları bu bölümde sunulmuştur. Örnek uygulamalarda, operatör tarafından kara aracı manuel komutlarla sürülüp uygun bir bekleme noktasında araç durdurulmuştur. İKA uygun bekleme noktasında iken operatör tarafından MT-İHA'lardan birine göreve başlama talimatı verilmiştir.

Önerilen sistemin benzetim ortamındaki uygulamalarında, VRML ortamındaki gözlem yapılacak olan örnek bir alanda 7 nokta MT-İHA'lar için ziyaret noktası olarak belirlenmiştir ve bu noktaların koordinatları Matlab ortamında hedef ziyaret noktaları olarak tanımlanmıştır. Seçilen bu noktalara ek olarak taşıyıcı İKA'nın üzerinde yer alan nokta ilk ziyaret noktası olarak değerlendirilmiştir ve yükseklik değeri 20 metre olarak belirlenmiştir. Bu durumda benzetim ortamında toplam 8 nokta hedef ziyaret noktası olarak tanımlanmış ve bu 8 noktayı kapsayan bir yörünge hesaplanmıştır. Benzetim ortamındaki uygulamalarda MT-İHA'ların üzerinde 2200 mAh'lik batarya takılı olduğu varsayılmış ve MT-İHA'ların enerji tüketimi 2200 mAh'lik bataryaya göre simüle edilmiştir. Yörünge takibi uygulaması kapsamında benzetim ortamında gerçekleştirilen uygulamalarda MT-İHA'ların yatay düzlemde kontrolünde sabit katsayılı PID ($P=0,040$, $I=0,000011$, $D=0,095$) kullanılmıştır. Yörünge takibi senaryosunun birinci uygulamasında İHA'lar için yörünge paylaşımı ve insansız araç sayılarının tespiti başlığı altında anlatılan yol planlama algoritmasına operatör tarafından seçilen noktalar girilerek Şekil 4.1'deki yörünge elde edilmiştir.



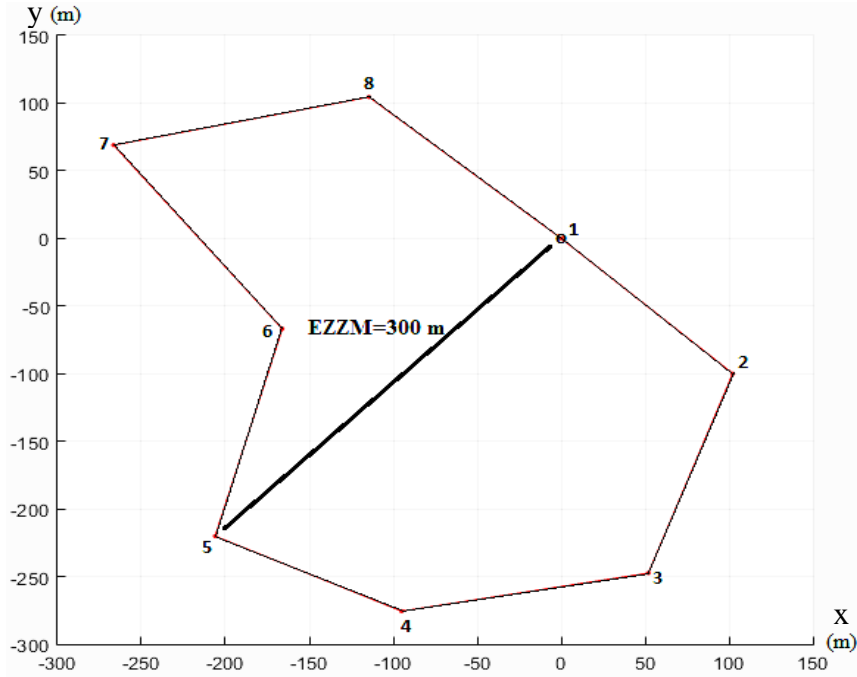
Şekil 4.1 Yörünge takibi senaryosunun birinci uygulamasında kullanılan yörünge.

Şekil 4.1’de görülen yörünge EZZM değeri 320 m’dir. Bu durumda bu EZZM değeri Denklem 3.2’de ve Denklem 3.3’te yerine yazılırsa KES 1 ve ADS 1 değerleri sırasıyla %33,48 ve %31,62 olarak elde edilir. Şekil 4.1’de görülen yörünge üzerinde benzetim ortamında yapılan uygulamada Çizelge 4.10’da görülen sonuçlar elde edilmiştir. Çizelge 4.10’da, gözlem faaliyetine başlayan İHA’nın sırayla ziyaret noktalarını gezerken geçen süre, kalan batarya seviyesi ve ziyaret noktalarının insansız kara aracına göre konumları verilmiştir. İnsansız kara aracının (0,0,0) noktasında olduğu kabul edilmiştir. Çizelge 4.10’a göre gözlem faaliyetini yürüten görevli MT-İHA 5. ziyaret noktasına kadar gidebilmiştir. Görevli MT-İHA 6. Ziyaret noktasına giderken batarya seviyesi KES 1’in altına düştüğü için yardımcı MT-İHA’nın, İHA yönlendirme algoritması tarafından göreve başlaması sağlanmıştır. Yardımcı MT-İHA’nın İKA üzerinden kalkarak 1. ziyaret noktasına ulaşmasından sonra Görevli MT-İHA iniş yapmak için İKA üzerine yönelmiştir. Yardımcı MT-İHA, İKA üzerindeki 1. ziyaret noktasına ulaştıktan sonra görevli MT-İHA’nın ziyaret edemediği 6. ziyaret noktasına doğrudan giderek yörünge kalan noktaları olan 6., 7. ve 8. ziyaret noktalarına da sırayla uğramıştır.

Çizelge 4.10 Yörünge takibi senaryosu için simülasyon ortamında gerçekleştirilen Uygulama 1'e ait sonuçlar.

Zaman (sn)	Batarya seviyesi (%)	Ziyaret noktaları	X(m)	Y(m)	Z(m)
5,1	98,1	1	0	0	20
44,1	83,6	2	113,1	-89,2	23
87,4	67,6	3	26,1	-225	24
127,9	52,6	4	-111,7	-284,6	25
167,9	37,8	5	-240,5	-211,9	23
261,5	3,2	1	0	0	20
266,2	1,9	0	0	0	0

Önerilen sistemin doğrulanması için gerçekleştirilen yörünge takibi senaryosunun ikinci uygulamasında İHA'lar için yörünge paylaşımı ve insansız araç sayılarının tespiti başlığı altında anlatılan yol planlama algoritmasına operatör tarafından seçilen noktalar girilerek Şekil 4.2'deki yörünge elde edilmiştir.



Şekil 4.2 Yörünge takibi senaryosunun ikinci uygulamasında kullanılan yörünge.

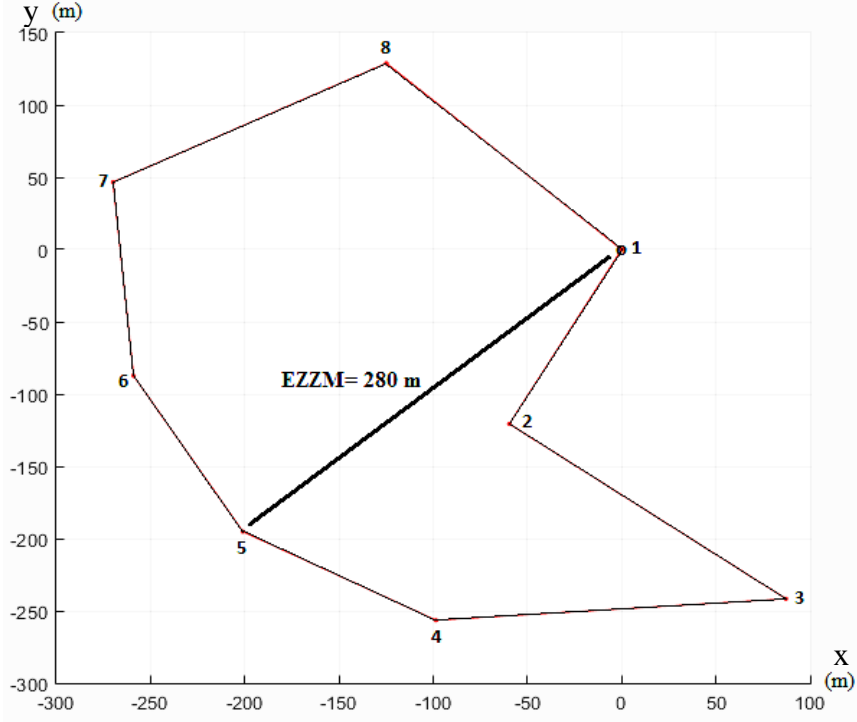
Şekil 4.2'de görülen yörünge için EZZM değeri 300 m'dir. Bu durumda bu EZZM değeri Denklem 3.2'de ve Denklem 3.3'te yerine yazılırsa KES 1 ve ADS 1 değerleri sırasıyla %31,62 ve %29,76 olarak elde edilir. Şekil 4.2'de görülen yörünge üzerinde

simülasyon ortamında yapılan uygulamada Çizelge 4.11’de görülen sonuçlar elde edilmiştir. Çizelge 4.11’de gözlem faaliyetine başlayan İHA’nın sırayla ziyaret noktalarını gezerken geçen süre, kalan batarya seviyesi ve ziyaret noktalarının insansız kara aracına göre konumları verilmiştir. İnsansız kara aracının (0,0,0) noktasında olduğu kabul edilmiştir. Çizelge 4.11’e göre gözlem faaliyetini yürüten görevli MT-İHA 5. ziyaret noktasına kadar gidebilmiştir. Görevli MT-İHA 6. Ziyaret noktasına giderken batarya seviyesi KES 1’in altına düştüğü için yardımcı MT-İHA’nın, İHA yönlendirme algoritması tarafından göreve başlaması sağlanmıştır. Yardımcı MT-İHA’nın İKA üzerinden kalkarak 1. ziyaret noktasına ulaşmasından sonra Görevli MT-İHA iniş yapmak için İKA üzerine yönelmiştir. Yardımcı MT-İHA, İKA üzerindeki 1. ziyaret noktasına ulaştıktan sonra görevli MT-İHA’nın ziyaret edemediği 6. ziyaret noktasına doğrudan giderek yörünge kalan noktaları olan 6., 7. ve 8. ziyaret noktalarına da sırayla uğramıştır.

Çizelge 4.11 Yörünge takibi senaryosu için simülasyon ortamında gerçekleştirilen Uygulama 2’ye ait sonuçlar.

Zaman (sn)	Batarya seviyesi (%)	Ziyaret noktaları	X(m)	Y(m)	Z(m)
5,1	98,1	1	0	0	20
43,9	83,7	2	102,3	-100	23
85,8	68,2	3	52	-247,5	24
126,2	53,3	4	-95	-275,6	25
160,3	40,7	5	-206,1	-220,2	23
242,1	10,4	1	0	0	20
246,8	9,1	0	0	0	0

Bu çalışmada önerilen sistemin doğrulanması için gerçekleştirilen yörünge takibi senaryosunun üçüncü uygulamasında İHA’lar için yörünge paylaşımı ve insansız araç sayılarının tespiti başlığı altında anlatılan yol planlama algoritmasına operatör tarafından seçilen noktalar girilerek Şekil 4.3’teki yörünge elde edilmiştir.



Şekil 4.3 Yörünge takibi senaryosunun üçüncü uygulamasında kullanılan yörünge.

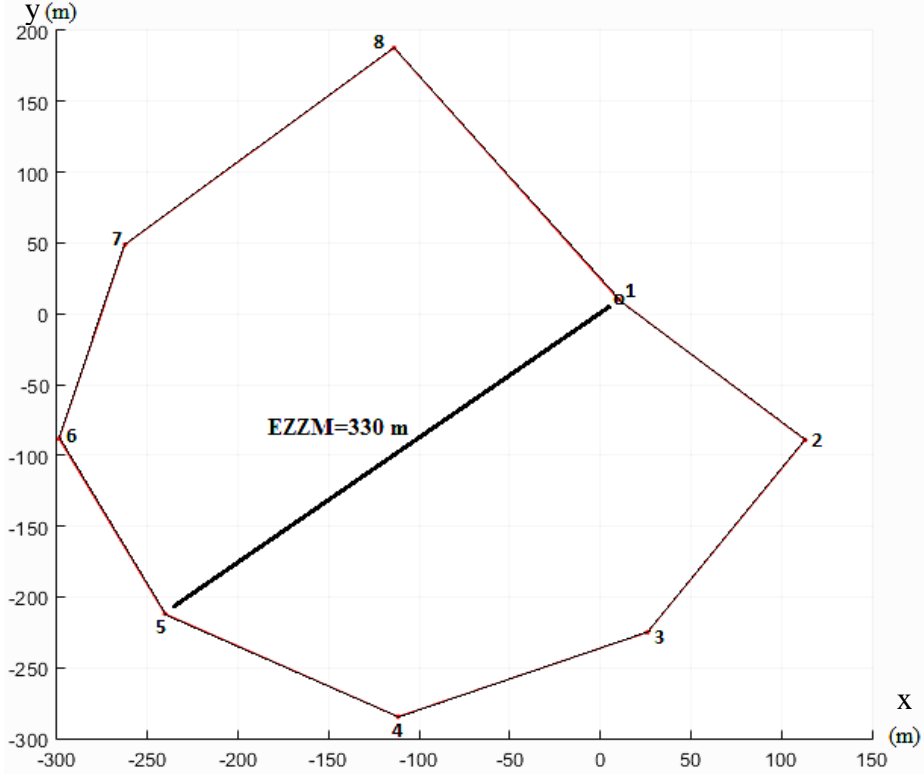
Şekil 4.3'te görülen yörünge EZZM değeri 280 m'dir. Bu durumda bu EZZM değeri Denklem 3.2'de ve Denklem 3.3'te yerine yazılırsa KES 1 ve ADS 1 değerleri sırasıyla %29,76 ve %27,9 olarak elde edilir. Şekil 4.3'te görülen yörünge üzerinde simülasyon ortamında yapılan uygulamada Çizelge 4.12'de görülen sonuçlar elde edilmiştir. Çizelge 4.12'de gözlem faaliyetine başlayan İHA'nın sırayla ziyaret noktalarını gezerken geçen süre, kalan batarya seviyesi ve ziyaret noktalarının insansız kara aracına göre konumları verilmiştir. İnsansız kara aracının (0,0,0) noktasında olduğu kabul edilmiştir. Çizelge 4.12'ye göre gözlem faaliyetini yürüten görevli MT-İHA 5. ziyaret noktasına kadar gidebilmiştir. Görevli MT-İHA 6. Ziyaret noktasına giderken batarya seviyesi KES 1'in altına düştüğü için yardımcı MT-İHA'nın, İHA yönlendirme algoritması tarafından göreve başlaması sağlanmıştır. Yardımcı MT-İHA'nın İKA üzerinden kalkarak 1. ziyaret noktasına ulaşmasından sonra Görevli MT-İHA iniş yapmak için İKA üzerine yönelmiştir. Yardımcı MT-İHA, İKA üzerindeki 1. ziyaret noktasına ulaştıktan sonra görevli MT-İHA'nın ziyaret edemediği 6. ziyaret noktasına doğrudan giderek yörünge kalan noktaları olan 6., 7. ve 8. ziyaret noktalarına da sırayla uğramıştır.

Çizelge 4.12 Yörünge takibi senaryosu için simülasyon ortamında gerçekleştirilen Uygulama 3'e ait sonuçlar.

Zaman (sn)	Batarya seviyesi (%)	Ziyaret noktaları	X(m)	Y(m)	Z(m)
5,1	98,1	1	0	0	20
41,7	84,5	2	-59,6	-120,7	23
92,3	65,8	3	87,2	-241,7	24
141,9	47,5	4	-98,6	-256,5	25
174,7	35,3	5	-201	-195,2	23
262,2	2,9	1	0	0	20
266,9	1,7	0	0	0	0

Önerilen sistemin doğrulanması için gerçekleştirilen yörünge takibi senaryosunun dördüncü uygulamasında İHA'lar için yörünge paylaşımı ve insansız araç sayılarının tespiti başlığı altında anlatılan yol planlama algoritmasına operatör tarafından seçilen noktalar girilerek Şekil 4.4'teki yörünge elde edilmiştir. Dördüncü uygulamada kullanılan ziyaret noktaları 1. ziyaret noktası hariç 1. uygulamada kullanılan ziyaret noktalarının aynısıdır. Dördüncü uygulamada, görevli MT-İHA gözlem faaliyetini yürütmekte iken İKA'ya bağlı olarak değişen 1. ziyaret noktasının konumu İKA hareket ettirilerek değiştirilmiştir. Bu durumda görevli MT-İHA'nın 1. ziyaret noktasının yeni konumuna göre KES 1 ve ADS 1 değerlerinin hesaplanması sağlanmıştır.

Şekil 4.4'te görülen yörünge EZZM değeri 330 m'dir. Bu durumda bu EZZM değeri Denklem 3.2'de ve Denklem 3.3'te yerine yazılırsa KES 1 ve ADS 1 değerleri sırasıyla %34,41 ve %32,55 olarak elde edilir. Şekil 4.4'te görülen yörünge üzerinde simülasyon ortamında yapılan uygulamada Çizelge 4.13'te görülen sonuçlar elde edilmiştir. Çizelge 4.13'te gözlem faaliyetine başlayan İHA'nın sırayla ziyaret noktalarını gezerken geçen süre, kalan batarya seviyesi ve ziyaret noktalarının insansız kara aracına göre konumları verilmiştir. İnsansız kara aracının (0,0,0) noktasında olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 4.4 Yörünge takibi senaryosunun dördüncü uygulamasında kullanılan yörünge.

Çizelge 4.13'e göre gözlem faaliyetini yürüten görevli MT-İHA 5. ziyaret noktasına kadar gidebilmiştir. Görevli MT-İHA 6. Ziyaret noktasına giderken batarya seviyesi KES 1'in altına düştüğü için yardımcı MT-İHA'nın, İHA yönlendirme algoritması tarafından göreve başlaması sağlanmıştır.

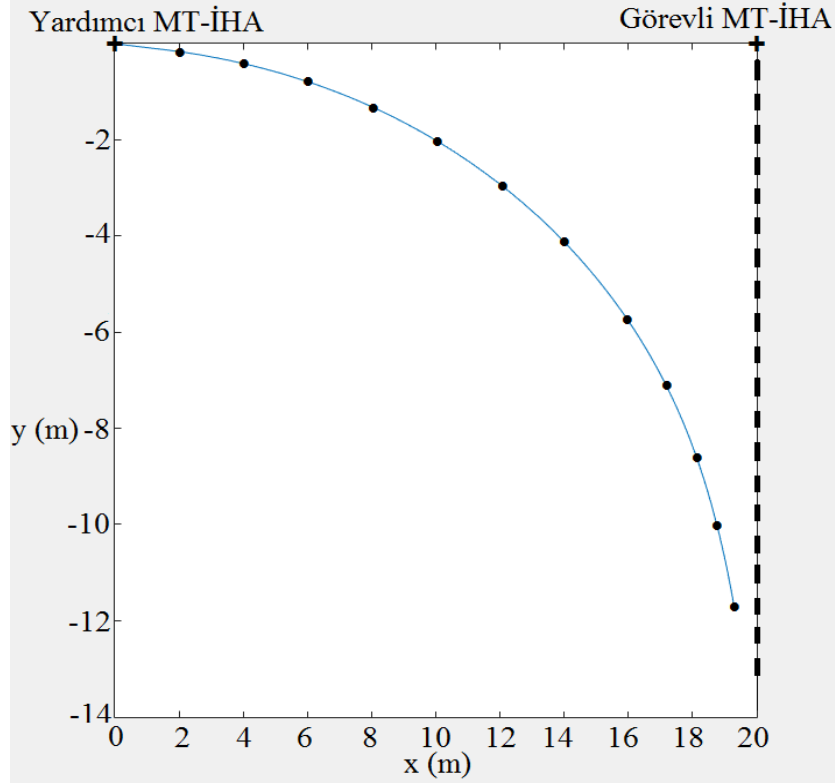
Yardımcı MT-İHA'nın İKA üzerinden kalkarak 1. ziyaret noktasına ulaşmasından sonra Görevli MT-İHA iniş yapmak için İKA üzerine yönelmiştir. Yardımcı MT-İHA, İKA üzerindeki 1. ziyaret noktasına ulaştıktan sonra görevli MT-İHA'nın ziyaret edemediği 6. ziyaret noktasına doğrudan giderek yörünge kalan noktaları olan 6., 7. ve 8. ziyaret noktalarına da sırayla uğramıştır.

Çizelge 4.13 Yörünge takibi senaryosu için simülasyon ortamında gerçekleştirilen Uygulama 4'e ait sonuçlar.

Zaman (sn)	Batarya seviyesi (%)	Ziyaret noktaları	X(m)	Y(m)	Z(m)
5,1	98,1	1	10	10	20
44,1	83,6	2	113,1	-89,2	23
87,4	67,6	3	26,1	-225	24
128,0	52,6	4	-111,7	-284,6	25
167,9	37,8	5	-240,5	-211,9	23
261,6	3,1	1	0	0	20
266,4	1,8	0	0	0	0

Dinamik takip senaryosunun benzetim ortamındaki uygulamalarında, maksimum görev uzaklığı 100 metre ve görev başlangıç-bitiş noktası ise 10 metre olarak tanımlanmıştır. Bu değerleri Denklem 3.5'te ve Denklem 3.6'da yerine koyarsak KES2 ve ADS 2 sırasıyla %20.46 ve %10.23 olarak elde edilir. Bu durumda yardımcı MT-İHA, görevli MT-İHA'nın batarya seviyesi %20,46 iken havalanmaktadır. Görevli MT-İHA ise batarya seviyesi %10,23 oluncaya kadar uçabilmektedir. Batarya seviyesi bu noktanın altına indiğinde ise zorunlu olarak taşıyıcı İKA üzerine yönelmektedir.

Dinamik takip senaryosunun birinci uygulamasında, taşıyıcı İKA'nın durduğu uygun bekleme noktası orijin ($x=0$, $y=0$, $z=0$) noktası olarak kabul edilmiştir. Operatör görevli MT-İHA'yı yatay ve dikey düzlemde 2 m/s'lik hız ile hareket ettirmeye başlamıştır. Görevli MT-İHA'nın batarya seviyesi %20,46'nın altına düştüğünde, yardımcı MT-İHA görev değişikliği için havalanmıştır. Yardımcı MT-İHA görev başlangıç-bitiş noktasına vardığında görevli MT-İHA'ya bağlı olarak belirlenen hedef noktasını takip etmeye başlamıştır. Yardımcı MT-İHA'nın yatay seyir hızı 4 m/s olarak belirlenmiştir. Yardımcı MT-İHA görevli MT-İHA'dan daha hızlı hareket edebildiği için yardımcı MT-İHA'nın pozisyonuna bağlı olarak belirlenen hedef noktasına belli bir süre sonunda ulaşmıştır. Şekil 4.5'te dinamik takip senaryosunun birinci uygulamasında MT-İHA'ların başlangıç konumu ve uygulama boyunca izledikleri yollar verilmiştir.



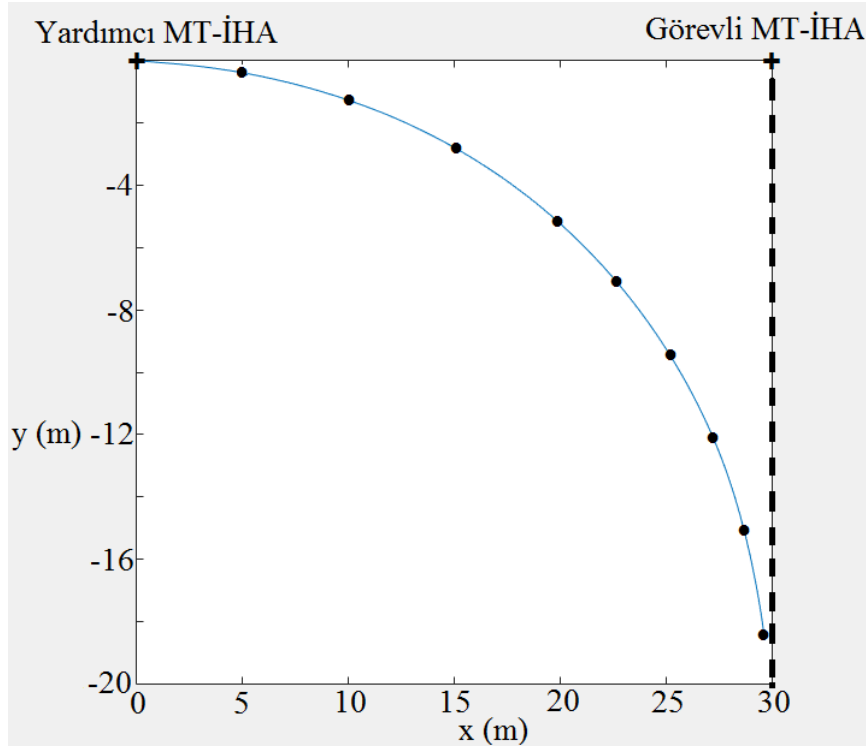
Şekil 4.5 Dinamik takip senaryosu için benzetim ortamında gerçekleştirilen birinci uygulamada İHA'ların konumunun değişimi.

Görevli MT-İHA'nın batarya seviyesi KES 2'nin altına indiğinde görevli MT-İHA'nın konumu, yardımcı MT-İHA'nın konumu, takip süreci başladıktan sonra İHA'ların buluşma anına kadar geçen süre ve görevli MT-İHA'nın İKA üzerine indiğinde kalan batarya seviyesi aşağıdaki gibi gerçekleşmiştir:

- Görevli İHA için başlangıç noktası (x,y,z) (m) : (20 0 10)
- Yardımcı İHA için başlangıç noktası (x,y,z) (m): (0 0 10)
- İHA'ların buluşma anına kadar geçen süre (sn): 6,7
- Görevli İHA'nın İKA üzerine indiğinde kalan batarya seviyesi (%): 13,8

Dinamik takip senaryosunun ikinci uygulamasında, taşıyıcı İKA'nın durduğu uygun bekleme noktası orijin (x=0, y=0, z=0) noktası olarak kabul edilmiştir. Operatör görevli MT-İHA'yı yatay ve dikey düzlemde 2 m/s'lik hız ile hareket ettirmeye başlamıştır. Görevli MT-İHA'nın batarya seviyesi %20,46'nın altına düştüğünde, yardımcı MT-İHA görev değişikliği için havalanmıştır. Yardımcı MT-İHA görev başlangıç-bitiş noktasına vardığında görevli MT-İHA'ya bağlı olarak belirlenen hedef noktasını takip etmeye

başlamıştır. Yardımcı MT-İHA'nın yatay seyir hızı 4 m/s olarak belirlenmiştir. Yardımcı MT-İHA görevli MT-İHA'dan daha hızlı hareket edebildiği için MT-İHA'nın pozisyonuna bağlı olarak belirlenen hedef noktasına belli bir süre sonunda ulaşmıştır. Şekil 4.6'da dinamik takip senaryosunun ikinci uygulamasında MT-İHA'ların başlangıç konumu ve uygulama boyunca izledikleri yollar verilmiştir.

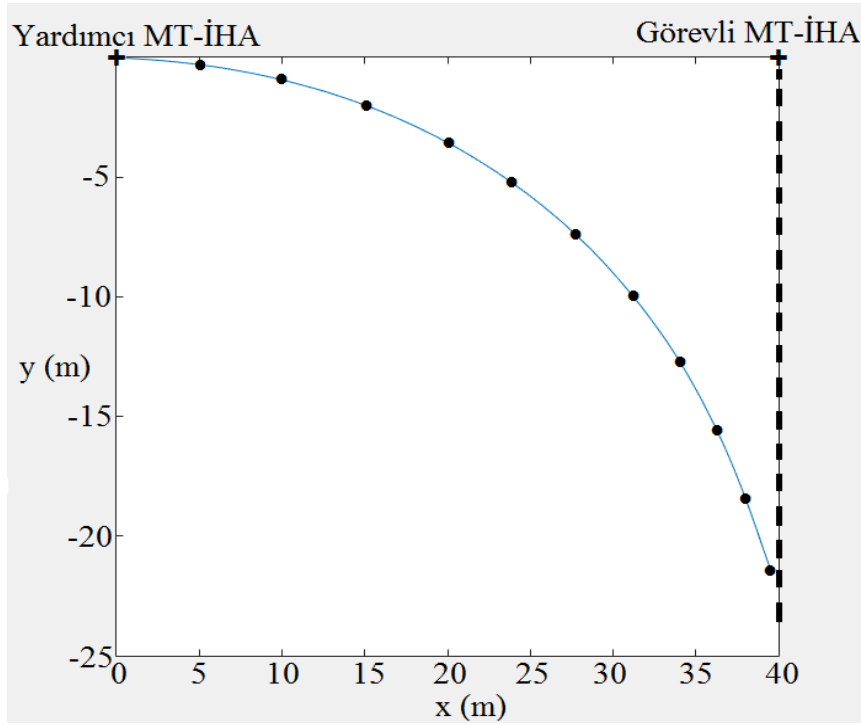


Şekil 4.6 Dinamik takip senaryosu için benzetim ortamında gerçekleştirilen ikinci uygulamada İHA'ların konumunun değişimi.

Dinamik takip senaryosunun ikinci uygulamasında, görevli MT-İHA'nın batarya seviyesi KES 2'nin altına indiğinde görevli MT-İHA'nın konumu, yardımcı MT-İHA'nın konumu, takip süreci başladıktan sonra İHA'ların buluşma anına kadar geçen süre ve görevli MT-İHA'nın İKA üzerine indiğinde kalan batarya seviyesi aşağıdaki gibi gerçekleşmiştir:

- Görevli İHA için başlangıç noktası (x,y,z) (m) : (30 0 10)
- Yardımcı İHA için başlangıç noktası (x,y,z) (m): (0 0 10)
- İHA'ların buluşma anına kadar geçen süre (sn): 10,1
- Görevli İHA'nın İKA üzerine indiğinde kalan batarya seviyesi (%): 11,5

Dinamik takip senaryosunun üçüncü uygulamasında, taşıyıcı İKA'nın durduğu uygun bekleme noktası orijin ($x=0, y=0, z=0$) noktası olarak kabul edilmiştir. Operatör görevli MT-İHA'yı yatay ve dikey düzlemde 2 m/s'lik hız ile hareket ettirmeye başlamıştır. Görevli MT-İHA'nın batarya seviyesi %20,46'nın altına düştüğünde, yardımcı MT-İHA görev değişikliği için havalanmıştır. Yardımcı MT-İHA görev başlangıç-bitiş noktasına vardığında görevli MT-İHA'ya bağlı olarak belirlenen hedef noktasını takip etmeye başlamıştır. Yardımcı MT-İHA'nın yatay seyir hızı 4 m/s olarak belirlenmiştir. Yardımcı MT-İHA görevli MT-İHA'dan daha hızlı hareket edebildiği için MT-İHA'nın pozisyonuna bağlı olarak belirlenen hedef noktasına belli bir süre sonunda ulaşmıştır. Şekil 4.7'de dinamik takip senaryosunun üçüncü uygulamasında MT-İHA'ların başlangıç konumu ve uygulama boyunca izledikleri yollar verilmiştir.



Şekil 4.7 Dinamik takip senaryosu için benzetim ortamında gerçekleştirilen üçüncü uygulamada İHA'ların konumunun değişimi.

Dinamik takip senaryosunun üçüncü uygulamasında, görevli MT-İHA'nın batarya seviyesi KES 2'nin altına indiğinde görevli MT-İHA'nın konumu, yardımcı MT-İHA'nın konumu, takip süreci başladıktan sonra İHA'ların buluşma anına kadar geçen süre ve görevli MT-İHA'nın İKA üzerine indiğinde kalan batarya seviyesi aşağıdaki gibi gerçekleşmiştir:

- Görevli İHA için başlangıç noktası (x,y,z) (m) : (40 0 10)
- Yardımcı İHA için başlangıç noktası (x,y,z) (m): (0 0 10)
- İHA'ların buluşma anına kadar geçen süre (sn): 12,7
- Görevli İHA'nın İKA üzerine indiğinde kalan batarya seviyesi (%): 9,6

Dinamik takip uygulaması kapsamında benzetim ortamında gerçekleştirilen ve Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de sonuçları verilen üç uygulamada MT-İHA'ların yatay düzlemde kontrolünde sabit katsayılı PID ($P=0,040$, $I=0,000011$, $D= 0.095$) kullanılmıştır. Ayrıca, bu uygulamalara ek olarak, görevli MT-İHA farklı hızlarda hareket etmekteyken ve sabitken yardımcı MT-İHA'nın sabit katsayılı PID, YSA-PID ve FUZZY-PID olmak üzere üç farklı kontrolör ile yatay düzlemdeki hareketi kontrol edilmiştir. Bu uygulamadaki amaç yardımcı MT-İHA'nın görevli MT-İHA'yı en kısa sürede ve en düşük hata ile yakalamasını sağlamaktır. Yapılan uygulamada yardımcı MT-İHA'nın yatay düzlemde ulaşabileceği en yüksek hız 15 m/s'dir.

Görevli MT-İHA farklı hızlarda hareket etmekteyken ve sabitken, yardımcı MT-İHA'nın yatay hareketinde yalnızca sabit katsayılı PID 1 ($P=0,055$, $I=0.00012$, $D=0,13$) kontrolörünün kullanılması durumunda oluşan yakalama süreleri ve maksimum aşma değerleri Çizelge 4.14'teki gibidir. Çizelge 14'te görevli MT-İHA'nın hızını tanımlarken kullanılan "+" işareti, görevli MT-İHA'nın yardımcı MT-İHA'dan "+" işareti ile birlikte belirtilen hızla uzaklaştığını, "-" işareti ise görevli MT-İHA'nın yardımcı MT-İHA'ya "-" işareti ile birlikte belirtilen hızla yaklaştığını göstermektedir.

Görevli MT-İHA farklı hızlarda hareket etmekteyken ve sabitken, yardımcı MT-İHA'nın yatay hareketinin başlangıcında sabit katsayılı PID 2 ($P=0,065$, $I=0,00015$, $D=0,11$) kontrolörünün kullanılması ve hedefe ulaşmaya 35 metreden az mesafe kaldığında ise YSA-PID kontrolörünün kullanılması durumunda oluşan yakalama süreleri ve maksimum aşma değerleri Çizelge 4.15'te görüldüğü gibidir. Çizelge 4.15'te görevli MT-İHA'nın hızını tanımlarken kullanılan "+" işareti, görevli MT-İHA'nın yardımcı MT-İHA'dan "+" işareti ile birlikte belirtilen hızla uzaklaştığını, "-" işareti ise görevli MT-İHA'nın yardımcı MT-İHA'ya "-" işareti ile birlikte belirtilen hızla yaklaştığını göstermektedir.

Çizelge 4.14 Sabit katsayılı PID kontrolörünün kullanılması durumunda oluşan yakalama süreleri ve maksimum aşma değerleri.

Görevli MT-İHA'nın hızı (m/s)	Takip başlangıç mesafesi (m)	Yakalama süresi (sn)	Maksimum aşma (m)
+4	100	11,90	2,74
+2	100	10,31	3,91
0	100	9,02	6,81
-2	100	7,91	12,06
-4	100	7,23	18,22
+4	150	16,28	4,62
+2	150	14,03	5,58
0	150	12,29	8,20
-2	150	10,89	13,33
-4	150	9,83	19,36
+4	200	20,72	7,13
+2	200	17,77	7,73
0	200	15,54	10,01
-2	200	13,79	15,02
-4	200	12,44	20,88

Çizelge 4.15 YSA-PID kontrolörünün kullanılması durumunda oluşan yakalama süreleri ve maksimum aşma değerleri.

Görevli MT-İHA'nın hızı (m/s)	Takip başlangıç mesafesi (m)	Yakalama süresi (sn)	Maksimum aşma (m)
+4	100	11,82	8,62
+2	100	10,45	1,78
0	100	8,78	6,92
-2	100	7,79	18,02
-4	100	7,09	24,46
+4	150	16,38	9,41
+2	150	14,29	2,1
0	150	12,12	6,97
-2	150	10,73	18,87
-4	150	9,72	2,1
+4	200	20,75	8,64
+2	200	18,11	1,31
0	200	15,46	6,85
-2	200	13,67	19,43
-4	200	12,34	28,36

Görevli MT-İHA farklı hızlarda hareket etmekteyken ve sabitken, yardımcı MT-İHA'nın yatay hareketinin başlangıcında sabit katsayılı PID 2 ($P=0,065$, $I=0,00015$, $D=0,11$) kontrolörünün kullanılması ve hedefe ulaşmaya 35 metreden az mesafe kaldığında ise FUZZY-PID kontrolörünün kullanılması durumunda oluşan yakalama süreleri ve maksimum aşma değerleri Çizelge 4.16'da görüldüğü gibidir. Çizelge 4.16'da görevli MT-İHA'nın hızını tanımlarken kullanılan "+" işareti, görevli MT-İHA'nın yardımcı MT-İHA'dan "+" işareti ile birlikte belirtilen hızla uzaklaştığını, "-" işareti ise görevli MT-İHA'nın yardımcı MT-İHA'ya "-" işareti ile birlikte belirtilen hızla yaklaştığını göstermektedir.

Çizelge 4.16 FUZZY-PID kontrolörünün kullanılması durumunda oluşan yakalama süreleri ve maksimum aşma değerleri.

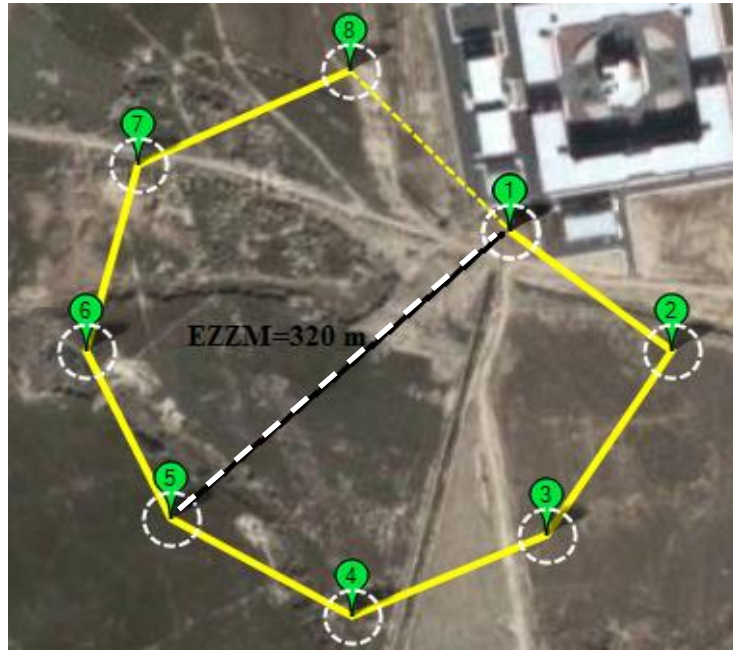
Görevli MT-İHA'nın hızı (m/s)	Takip başlangıç mesafesi (m)	Yakalama süresi (sn)	Maksimum aşma (m)
+4	100	11,55	53,52
+2	100	10,46	31,35
0	100	8,92	3,44
-2	100	7,83	11,40
-4	100	7,13	17,36
+4	150	15,97	51,41
+2	150	14,35	30,94
0	150	12,27	3,39
-2	150	10,77	12,82
-4	150	9,74	19,11
+4	200	20,52	53,54
+2	200	18,22	31,87
0	200	15,60	4,96
-2	200	13,71	12,79
-4	200	12,36	21,42

4.3 Önerilen Sistemin Gerçek Çalışma Şartlarındaki Uygulamaları

Benzetim ortamındaki uygulamalara benzer olarak, yörünge izleme uygulamasında, toplamda 8 adet nokta hedef ziyaret noktası olarak belirlenmiştir ve bu noktalar Mission Planner programı üzerinde seçilip Matlab programında x, y ve z eksenlerinde koordinatlar olarak tanımlanmıştır. Gerçek çalışma şartlarında benzetim ortamında kullanılan hedef ziyaret noktaları kullanılmıştır. Bu sebeple benzetim ortamında elde

edilen yörünge uzunluğu ve EZZM değerleri ile gerçek çalışma şartlarında elde edilen değerler aynıdır. Gerçek çalışma şartlarında gerçekleştirilen yörünge takibi ve dinamik takip uygulamaları Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüsü içerisindeki Teknoloji Fakültesi çevresinde gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada önerilen sistemin doğrulanması için gerçek çalışma şartlarında gerçekleştirilen yörünge takibi senaryosunun birinci uygulamasında öncelikle Mission Planner programı üzerinde operatör tarafından seçilen ziyaret noktaları tanımlanmıştır. Sonrasında, İHA'lar için yörünge paylaşımı ve insansız araç sayılarının tespiti başlığı altında anlatılan yol planlama algoritması yardımıyla tanımlanan ziyaret noktalarını içeren Resim 4.1'deki yörünge elde edilmiştir.



Resim 4.1 Yörünge takibi senaryosu için gerçek çalışma şartlarında gerçekleştirilen birinci uygulamada kullanılan yörünge.

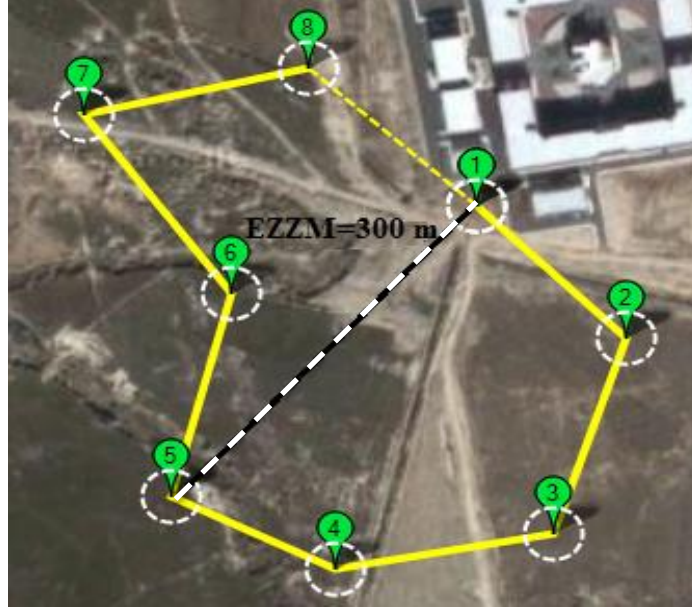
Resim 4.1'de görülen yörünge'nin EZZM değeri 320 m'dir. Bu durumda, bu EZZM değeri Denklem 3.2'de ve Denklem 3.3'te yerine yazıldığında KES 1 ve ADS 1 değerleri sırasıyla %33,48 ve %31,62 olarak elde edilmiştir. Resim 4.1'de görülen yörünge üzerinde gerçek çalışma ortamında yapılan uygulamada Çizelge 4.17'de görülen sonuçlar elde edilmiştir. Çizelge 4.17'de, gözlem faaliyetine başlayan İHA'nın sırayla ziyaret noktalarını gezerken geçen süre, kalan batarya seviyesi ve ziyaret

noktalarının insansız kara aracına göre konumları verilmiştir. İnsansız kara aracının (0,0,0) noktasında olduğu kabul edilmiştir. Çizelge 4.17'ye göre gözlem faaliyetini yürüten görevli MT-İHA 5. ziyaret noktasına kadar gidebilmiştir. Görevli MT-İHA 6. Ziyaret noktasına giderken batarya seviyesi KES 1'in altına düştüğü için yardımcı MT-İHA'nın, İHA yönlendirme algoritması tarafından göreve başlaması sağlanmıştır. Yardımcı MT-İHA'nın İKA üzerinden kalkarak 1. ziyaret noktasına ulaşmasından sonra Görevli MT-İHA iniş yapmak için İKA üzerine yönelmiştir. Yardımcı MT-İHA, İKA üzerindeki 1. ziyaret noktasına ulaştıktan sonra görevli MT-İHA'nın ziyaret edemediği 6. ziyaret noktasına doğrudan giderek yörünge kalan noktaları olan 6., 7. ve 8. ziyaret noktalarına da sırayla uğramıştır.

Çizelge 4.17 Yörünge takibi senaryosu için gerçek çalışma şartlarında gerçekleştirilen uygulama 1'e ait sonuçlar.

Zaman (sn)	Batarya seviyesi (%)	Ziyaret noktaları	X(m)	Y(m)	Z(m)
5,0	98,0	1	0	0	20
43,3	82,7	2	113,1	-89,2	23
86,2	66,8	3	26,1	-225	24
126,9	51,9	4	-111,7	-284,6	25
166,8	37,3	5	-240,5	-211,9	23
260,1	2,6	1	0	0	20
265,0	1,3	0	0	0	0

Önerilen sistemin doğrulanması için gerçek çalışma şartlarında gerçekleştirilen yörünge takibi senaryosunun ikinci uygulamasında, yörünge paylaşımı ve insansız araç sayılarının tespiti başlığı altında anlatılan yol planlama algoritması yardımıyla elde edilen İHA yörüngesi Resim 4.2'de gösterilmiştir.



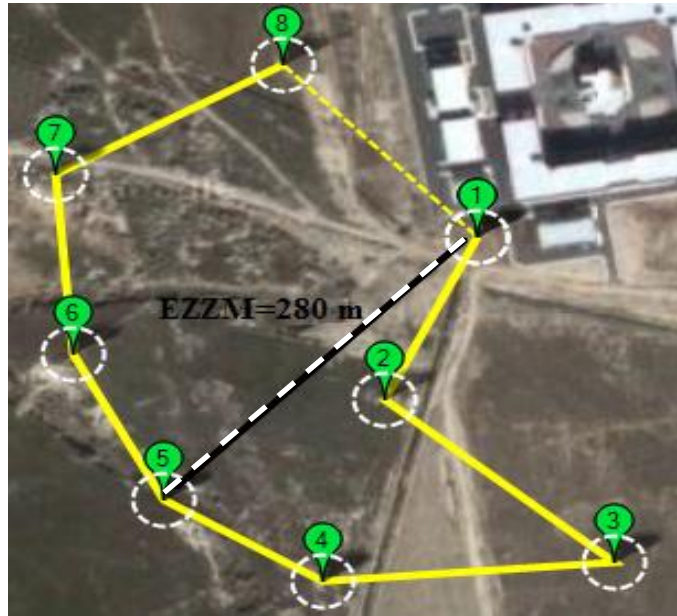
Resim 4.2 Yörünge takibi senaryosu için gerçek çalışma şartlarında gerçekleştirilen ikinci uygulamada kullanılan yörünge.

Resim 4.2’de görülen yörünge EZZM değeri 300 m’dir. Bu durumda bu EZZM değeri Denklem 3.2’de ve Denklem 3.3’te yerine yazıldığında KES 1 ve ADS 1 değerleri sırasıyla %31,62 ve %29,76 olarak elde edilmiştir. Resim 4.2’de görülen yörünge üzerinde gerçek çalışma ortamında yapılan uygulamada Çizelge 4.18’de görülen sonuçlar elde edilmiştir. Çizelge 4.18’de, gözlem faaliyetine başlayan İHA’nın sırayla ziyaret noktalarını gezerken geçen süre, kalan batarya seviyesi ve ziyaret noktalarının insansız kara aracına göre konumları verilmiştir. İnsansız kara aracının (0,0,0) noktasında olduğu kabul edilmiştir. Çizelge 4.18’e göre gözlem faaliyetini yürüten görevli MT-İHA 5. ziyaret noktasına kadar gidebilmiştir. Görevli MT-İHA 6. Ziyaret noktasına giderken batarya seviyesi KES 1’in altına düştüğü için yardımcı MT-İHA’nın, İHA yönlendirme algoritması tarafından göreve başlaması sağlanmıştır. Yardımcı MT-İHA’nın İKA üzerinden kalkarak 1. ziyaret noktasına ulaşmasından sonra Görevli MT-İHA iniş yapmak için İKA üzerine yönelmiştir. Yardımcı MT-İHA, İKA üzerindeki 1. ziyaret noktasına ulaştıktan sonra görevli MT-İHA’nın ziyaret edemediği 6. ziyaret noktasına doğrudan giderek yörünge kalan noktaları olan 6., 7. ve 8. ziyaret noktalarına da sırayla uğramıştır.

Çizelge 4.18 Yörünge takibi senaryosu için gerçek çalışma şartlarında gerçekleştirilen uygulama 2'ye ait sonuçlar

Zaman (sn)	Batarya seviyesi (%)	Ziyaret noktaları	X(m)	Y(m)	Z(m)
5,2	98,2	1	0	0	20
42,6	82,8	2	102,3	-100	23
84,5	67,1	3	52	-247,5	24
124,9	52,0	4	-95	-275,6	25
158,8	40,1	5	-206,1	-220,2	23
239,3	8,3	1	0	0	20
244,7	7,1	0	0	0	0

Bu çalışmada önerilen sistemin doğrulanması için gerçek çalışma şartlarında gerçekleştirilen yörünge takibi senaryosunun 3. uygulamasında öncelikle Mission Planner programı üzerinde operatör tarafından seçilen ziyaret noktaları tanımlanmıştır. Sonrasında, İHA'lar için yörünge paylaşımı ve insansız araç sayılarının tespiti başlığı altında anlatılan yol planlama algoritması yardımıyla tanımlanan ziyaret noktalarını içeren Resim 4.3'teki yörünge elde edilmiştir.



Resim 4.3 Yörünge takibi senaryosu için gerçek çalışma şartlarında gerçekleştirilen üçüncü uygulamada kullanılan yörünge.

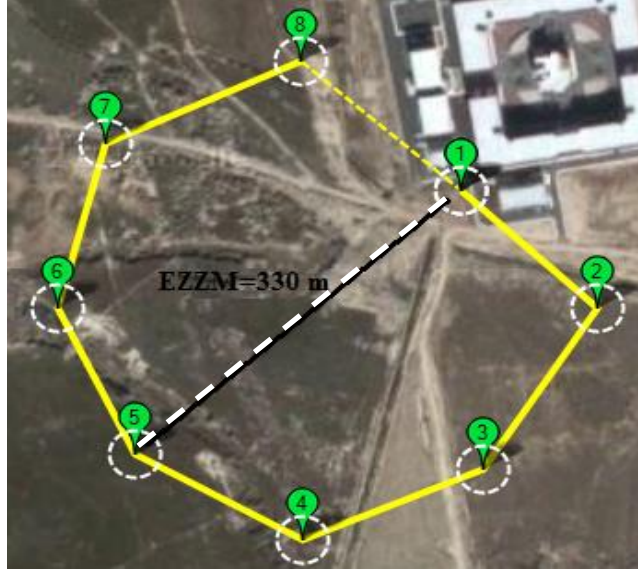
Resim 4.3'te görülen yörünge için EZZM değeri 280 m'dir. Bu durumda bu EZZM değeri Denklem 3.2'de ve Denklem 3.3'te yerine yazıldığında KES 1 ve ADS 1

değerleri sırasıyla %29,76 ve %27,90 olarak elde edilmektedir. Resim 4.3’de görülen yörünge üzerinde gerçek çalışma ortamında yapılan uygulamada Çizelge 4.19’da görülen sonuçlar elde edilmiştir. Çizelge 4.19’da, gözlem faaliyetine başlayan İHA’nın sırayla ziyaret noktalarını gezerken geçen süre, kalan batarya seviyesi ve ziyaret noktalarının insansız kara aracına göre konumları verilmiştir. İnsansız kara aracının (0,0,0) noktasında olduğu kabul edilmiştir. Çizelge 4.19’a göre gözlem faaliyetini yürüten görevli MT-İHA 5. ziyaret noktasına kadar gidebilmiştir. Görevli MT-İHA 6. Ziyaret noktasına giderken batarya seviyesi KES 1’in altına düştüğü için yardımcı MT-İHA’nın, İHA yönlendirme algoritması tarafından göreve başlaması sağlanmıştır. Yardımcı MT-İHA’nın İKA üzerinden kalkarak 1. ziyaret noktasına ulaşmasından sonra Görevli MT-İHA iniş yapmak için İKA üzerine yönelmiştir. Yardımcı MT-İHA, İKA üzerindeki 1. ziyaret noktasına ulaştıktan sonra görevli MT-İHA’nın ziyaret edemediği 6. ziyaret noktasına doğrudan giderek yörünge kalan noktaları olan 6., 7. ve 8. ziyaret noktalarına da sırayla uğramıştır.

Çizelge 4.19 Yörünge takibi senaryosu için gerçek çalışma şartlarında gerçekleştirilen uygulama 3’e ait sonuçlar.

Zaman (sn)	Batarya seviyesi (%)	Ziyaret noktaları	X(m)	Y(m)	Z(m)
4,9	97,9	1	10	10	20
40,1	83,5	2	113,1	-89,2	23
90,2	64,6	3	26,1	-225	24
140,4	46,2	4	-111,7	-284,6	25
172,3	35,0	5	-240,5	-211,9	23
260,2	1,9	1	0	0	20
265,3	0,7	0	0	0	0

Gerçek çalışma şartlarında gerçekleştirilen yörünge takibi senaryosunun 4. uygulamasında kullanılan ziyaret noktaları 1. ziyaret noktası hariç 1. uygulamada kullanılan ziyaret noktalarının aynısıdır. 4. uygulamada, görevli MT-İHA gözlem faaliyetini yürütmekte iken İKA’ya bağlı olarak değişen 1. ziyaret noktasının konumu İKA hareket ettirilerek değiştirilmiştir. İlk ziyaret noktasının yeni konumuna göre KES 1 ve ADS 1 değerlerinin hesaplanması sağlanmıştır.



Resim 4.4 Yörünge takibi senaryosu için gerçek çalışma şartlarında gerçekleştirilen 4. uygulamada kullanılan yörünge.

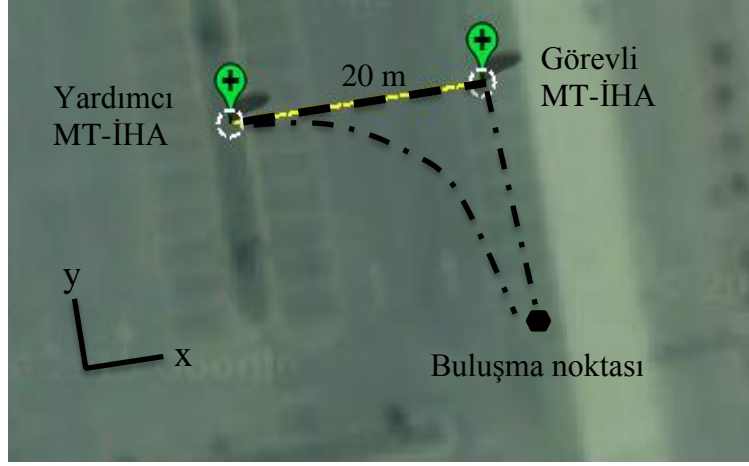
Resim 4.4'te görülen yörünge'nin EZZM değeri 330 m'dir. Bu durumda bu EZZM değeri Denklem 3.7'de ve Denklem 3.8'de yerine yazıldığında KES 1 ve ADS 1 değerleri sırasıyla %34,41 ve %32,55 olarak elde edilmiştir. Şekil 4.4'te görülen yörünge üzerinde gerçek çalışma şartlarında yapılan uygulamada Çizelge 4.20'de görülen sonuçlar elde edilmiştir. Çizelge 4.20'de gözlem faaliyetine başlayan İHA'nın sırayla ziyaret noktalarını gezerken geçen süre, kalan batarya seviyesi ve ziyaret noktalarının insansız kara aracına göre konumları verilmiştir. İnsansız kara aracının (0,0,0) noktasında olduğu kabul edilmiştir. Çizelge 4.20'ye göre gözlem faaliyetini yürüten görevli MT-İHA 5. ziyaret noktasına kadar gidebilmiştir. Görevli MT-İHA 6. Ziyaret noktasına giderken batarya seviyesi KES 1'in altına düştüğü için yardımcı MT-İHA'nın, İHA yönlendirme algoritması tarafından göreve başlaması sağlanmıştır. Yardımcı MT-İHA'nın İKA üzerinden kalkarak 1. ziyaret noktasına ulaşmasından sonra görevli MT-İHA iniş yapmak için İKA üzerine yönelmiştir. Yardımcı MT-İHA, İKA üzerindeki 1. ziyaret noktasına ulaştıktan sonra görevli MT-İHA'nın ziyaret edemediği 6. ziyaret noktasına doğrudan giderek yörünge'nin kalan noktaları olan 6., 7. ve 8. ziyaret noktalarına da sırayla uğramıştır.

Çizelge 4.20 Yörünge takibi senaryosu için gerçek çalışma şartlarında gerçekleştirilen uygulama 4'e ait sonuçlar.

Zaman (sn)	Batarya seviyesi (%)	Ziyaret noktaları	X(m)	Y(m)	Z(m)
5,1	98,2	1	10	10	20
43,0	82,5	2	113,1	-89,2	23
86,2	66,7	3	26,1	-225	24
126,5	50,9	4	-111,7	-284,6	25
166,2	37,0	5	-240,5	-211,9	23
260,0	1,8	1	0	0	20
264,7	0,7	0	0	0	0

Dinamik takip senaryosunun gerçek çalışma şartlarındaki uygulamalarında, MGM 100 m ve görev başlangıç-bitiş noktası ise 10 m olarak tanımlanmıştır. Bu değerleri Denklem 3.5'te ve Denklem 3.6'da yerine koyarsak KES2 ve ADS 2 sırasıyla %20,46 ve %10,23 olarak elde edilir. Bu durumda yardımcı MT-İHA, görevli MT-İHA'nın batarya seviyesi %20,46 iken havalanır. Görevli MT-İHA ise batarya seviyesi %10,23 oluncaya kadar uçabilmektedir. Batarya seviyesi bu noktanın altına indiğinde ise zorunlu olarak taşıyıcı İKA üzerine yönelmektedir.

Dinamik takip senaryosunun birinci uygulamasında, taşıyıcı İKA'nın durduğu uygun bekleme noktası orijin ($x=0$, $y=0$, $z=0$) noktası olarak kabul edilmiştir. Operatör görevli MT-İHA'yı yatay ve dikey düzlemde 2 m/s'lik hız ile hareket ettirmeye başlamıştır. Görevli MT-İHA'nın batarya seviyesi %20,46'nın altına düştüğünde, yardımcı MT-İHA görev değişikliği için havalanmıştır. Yardımcı MT-İHA görev başlangıç-bitiş noktasına vardığında görevli MT-İHA'ya bağlı olarak belirlenen hedef noktasını takip etmeye başlamıştır. Yardımcı MT-İHA'nın yatay seyir hızı 4 m/s olarak belirlenmiştir. Yardımcı MT-İHA görevli MT-İHA'dan daha hızlı hareket edebildiği için MT-İHA'nın pozisyonuna bağlı olarak belirlenen hedef noktasına belli bir süre sonunda ulaşmıştır. Resim 4.5'te Dinamik takip senaryosunun birinci uygulamasında MT-İHA'ların başlangıç konumu ve uygulama boyunca izledikleri yollar verilmiştir.



Resim 4.5 Dinamik takip senaryosu için gerçek çalışma şartlarında gerçekleştirilen birinci uygulamada İHA'ların konumunun değişimi.

Gerçek çalışma şartlarında yürütülen dinamik takip senaryosunun birinci uygulamasında, görevli MT-İHA'nın batarya seviyesi KES 2'nin altına indiğinde görevli MT-İHA'nın konumu, yardımcı MT-İHA'nın konumu, takip süreci başladıktan sonra İHA'ların buluşma anına kadar geçen süre ve görevli MT-İHA'nın İKA üzerine indiğinde kalan batarya seviyesi aşağıdaki gibi gerçekleşmiştir:

Görevli İHA için başlangıç noktası (x,y,z) (m): (20 0 10)

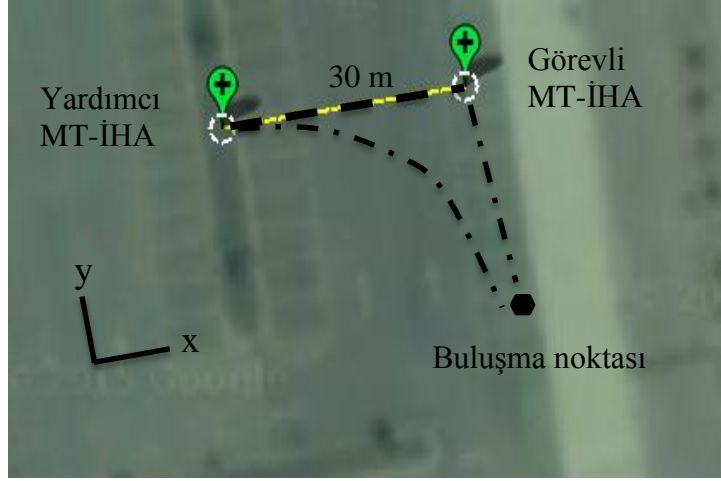
Yardımcı İHA için başlangıç noktası (x,y,z) (m): (0 0 10)

İHA'ların buluşma anına kadar geçen süre (sn): 8,7

Görevli İHA'nın İKA üzerine indiğinde kalan batarya seviyesi (%): 12,3

Dinamik takip senaryosunun ikinci uygulamasında, taşıyıcı İKA'nın durduğu uygun bekleme noktası orijin (x=0, y=0, z=0) noktası olarak kabul edilmiştir. Operatör görevli MT-İHA'yı yatay ve dikey düzlemde 2 m/s'lik hız ile hareket ettirmeye başlamıştır. Görevli MT-İHA'nın batarya seviyesi %20,46'nın altına düştüğünde, yardımcı MT-İHA görev değişikliği için havalanmıştır. Yardımcı MT-İHA görev başlangıç-bitiş noktasına vardığında görevli MT-İHA'ya bağlı olarak belirlenen hedef noktasını takip etmeye başlamıştır. Yardımcı MT-İHA'nın yatay seyir hızı 4 m/s olarak belirlenmiştir. Yardımcı MT-İHA görevli MT-İHA'dan daha hızlı hareket edebildiği için MT-İHA'nın pozisyonuna bağlı olarak belirlenen hedef noktasına belli bir süre sonunda ulaşmıştır.

Resim 4.6’da dinamik takip senaryosunun ikinci uygulamasında MT-İHA’ların başlangıç konumu ve uygulama boyunca izledikleri yollar verilmiştir.



Resim 4.6 Dinamik takip senaryosu için gerçek çalışma şartlarında gerçekleştirilen ikinci uygulamada İHA’ların konumunun değişimi.

Gerçek çalışma şartlarında yürütülen dinamik takip senaryosunun ikinci uygulamasında, görevli MT-İHA’nın batarya seviyesi KES 2’nin altına indiğinde görevli MT-İHA’nın konumu, yardımcı MT-İHA’nın konumu, takip süreci başladıktan sonra İHA’ların buluşma anına kadar geçen süre ve görevli MT-İHA’nın İKA üzerine indiğinde kalan batarya seviyesi aşağıdaki gibi gerçekleşmiştir:

Görevli İHA için başlangıç noktası (x,y,z) (m): (30 0 10)

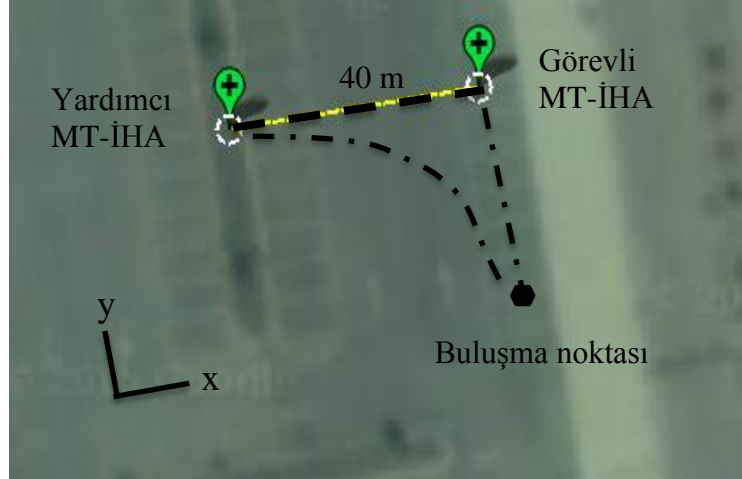
Yardımcı İHA için başlangıç noktası (x,y,z) (m): (0 0 10)

İHA’ların buluşma anına kadar geçen süre (sn): 13,1

Görevli İHA’nın İKA üzerine indiğinde kalan batarya seviyesi (%): 9,5

Dinamik takip senaryosunun üçüncü uygulamasında, taşıyıcı İKA’nın durduğu uygun bekleme noktası orijin (x=0, y=0, z=0) noktası olarak kabul edilmiştir. Operatör görevli MT-İHA’yı yatay ve dikey düzlemde 2 m/s’lik hız ile hareket ettirmeye başlamıştır. Görevli MT-İHA’nın batarya seviyesi %20,46’nın altına düştüğünde, yardımcı MT-İHA görev değişikliği için havalanmıştır. Yardımcı MT-İHA görev başlangıç-bitiş noktasına vardığında görevli MT-İHA’ya bağlı olarak belirlenen hedef noktasını takip etmeye başlamıştır. Yardımcı MT-İHA’nın yatay seyir hızı 4 m/s olarak belirlenmiştir.

Yardımcı MT-İHA görevli MT-İHA'dan daha hızlı hareket edebildiği için MT-İHA'nın pozisyonuna bağlı olarak belirlenen hedef noktasına belli bir süre sonunda ulaşmıştır. Resim 4.7'de dinamik takip senaryosunun üçüncü uygulamasında MT-İHA'ların başlangıç konumu ve uygulama boyunca izledikleri yollar verilmiştir.



Resim 4.7 Dinamik takip senaryosu için gerçek çalışma şartlarında gerçekleştirilen üçüncü uygulamada İHA'ların konumunun değişimi.

Gerçek çalışma şartlarında yürütülen dinamik takip senaryosunun üçüncü uygulamasında, görevli MT-İHA'nın batarya seviyesi KES 2'nin altına indiğinde görevli MT-İHA'nın konumu, yardımcı MT-İHA'nın konumu, takip süreci başladıktan sonra İHA'ların buluşma anına kadar geçen süre ve görevli MT-İHA'nın İKA üzerine indiğinde kalan batarya seviyesi aşağıdaki gibi gerçekleşmiştir:

Görevli İHA için başlangıç noktası (x,y,z) (m): (40 0 10)

Yardımcı İHA için başlangıç noktası (x,y,z) (m): (0 0 10)

İHA'ların buluşma anına kadar geçen süre (sn): 15,8

Görevli İHA'nın İKA üzerine indiğinde kalan batarya seviyesi (%): 7,1

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada çoklu insansız araçlarının işbirliğine dayalı ve insanlar için tehlikeli olabilecek şartlarda gözlem faaliyetlerinde kullanılabilir bir sistem önerilmiştir. Önerilen sistemin denenmesi için yörünge takibi ve dinamik takip ile görev değişimi olmak üzere iki senaryonun benzetim ortamında ve gerçek çalışma şartlarında uygulanmaları gerçekleştirilmiştir. MT-İHA'lar tüm uygulamalarda istenen görevi yerine getirmiştir ve taşıyıcı İKA üzerindeki yerlerine iniş yapabirmiştir. Örnek uygulamalar sonucunda önerilen sistemin belli sınırlar içerisinde yardımlaşmalı gözlem faaliyetini yerine getirebildiği gözlenmiştir.

Bu çalışmanın bilime katkısı üç başlık altında toplanabilir. Bunlardan ilki, bir İHA'nın bir bölgede gözlem faaliyeti yürütmesi durumunda bataryası bittiğinde diğer bir İHA'nın gözlem faaliyetini ilk İHA'nın kaldığı yerden devam etmesini sağlayan bir İHA yönlendirme algoritmasının geliştirilmiş olmasıdır. Bu algoritma İHA'ların ve İKA'nın anlık konumuna ve İHA'ların batarya doluluk düzeyine bağlı olarak bir İHA'yı gözlem faaliyeti yapmak ile görevlendirmekte ya da gözlem faaliyetini sürdürmekte olan İHA'yı İKA üzerine inmesi için yönlendirmektedir. Geliştirilen İHA yönlendirme algoritmasının, literatürdeki diğer İHA-İKA işbirliği sistemlerindeki algoritmalarından farkı, İHA'lara atanacak rollerde ve gönderilecek komutlarda İHA'ların batarya seviyelerinin anlık değerlerini dikkate almasıdır. Geliştirilen İHA yönlendirme algoritması, gözlem faaliyeti yapılmak istenen bölgeye İHA'ların öncelikle İKA üzerinde karadan gönderilmesini ve havadan gözlem faaliyetinin İKA hedef alana vardığında başlamasını esas alan ve literatürde örneği bulunmayan bir senaryoda insansız araçların koordinasyonunu sağlamakta kullanılmıştır. Bu anlamda, bu çalışma ile bir bölge üzerinde İHA-İKA işbirliğine dayalı olarak uzaktan gözlem faaliyetini yürütülmesine yarayan yeni bir sistem önerilmektedir.

Literatürde, batarya tüketim modellerinin standart formüllere dayalı olmadığı ve yaklaşık modellere dayalı olduğu görülmektedir. Bu sebeple bu çalışmada kullanılan MT-İHA'ların enerji tüketim modeli deneysel çalışmalar sonucunda yaklaşık olarak elde edilmiştir. Deneysel çalışmalar, MT-İHA'ların rüzgarsız şartlarda çalıştırılması ile elde edilmiştir. MT-İHA'ların batarya tüketimi ile ilgili yapılan çalışmalarda MT-

İHA'ların üzerine 2200 mAh'lik ve 5200 mAh'lik bataryalar takılarak farklı doğrultularda ve hızlarda hareket ederken MT-İHA'ların enerji tüketim değerleri incelenmiştir. Her iki batarya türüyle de yapılan denemeler sonucunda bu çalışmadaki uygulamalar için için 2200 mAh'lik bataryanın yeterli olduğu görülmüştür. Ayrıca, maliyet bakımından daha uygun olması sebebiyle de önerilen sistemin test edileceği senaryolarda 2200 mAh'lik batarya kullanılmıştır.

Bu çalışmanın bilime ikinci katkısı, bir İHA'nın bir bölgede gözlem faaliyeti yürütürken yatay düzlemde belli bir rotada olmaksızın düzensiz hareketlerle uçması durumunda yardımcı bir İHA'nın havadaki İHA'nın konumuna gelip gözlem faaliyetini mümkün olduğunca hızlı devralmasını (bir dört rotorlunun diğerini yakalamasını) sağlayan yaklaşımın tespit edilmiş olmasıdır. Bu tespiti yapabilmek için bu çalışmada kullanılan dört rotorluların yatay düzlemdeki kontrolü sabit parametrelili PID, FUZZY-PID ve YSA-PID türü kontrolörler ile sağlanmıştır. Dört rotorlulardan birine diğerini yakalama görevi verilmiştir ve diğer dört rotorlu ise yakalama görevi verilen dört rotorluya sabit mesafelerde tutulmuş, belli hızlarda yaklaştırılmış ve uzaklaştırılmıştır. Benzetim ortamında yapılan uygulamalarda diğer dört rotorlu MT-İHA'yı yakalamakla görevli MT-İHA'nın bu üç durumda hangi kontrolör metodunu kullanması gerektiği tespit edilmiştir.

Bu çalışmanın bilime üçüncü katkısı, literatürde var olan çoklu depo ile çoklu gezgin satıcı problemini esas alan algoritmaların bu çalışmaya uygun olarak düzenlenmesi ile bir yol planlama algoritmasının elde edilmesidir. Bu çalışmadaki yol planlama algoritmasının amacı bir bölgedeki insansız hava ve kara araçlarının sayısını tahmin edilmesi ve İHA'lar için optimum uzunlukta yörüngeler elde edilmesidir. Çoklu depo ile çoklu gezgin satıcı problemini esas alan algoritmalar, bir nokta kümesinden istenilen sayıda ve uzunlukları birbirine mümkün olduğunca yakın olan yörüngeler elde etmek için kullanılmaktadır (Kivelevitch *et al.* 2013). Bu çalışmada ise, çoklu depo ile çoklu gezgin satıcı problemini esas alan bir yol planlama algoritması geliştirilerek bir bölgede gözlem faaliyeti yürütmek için en az kaç adet İHA yörüngesi olması gerektiği ve en az kaç adet İHA ve İKA kullanılması gerektiği hesaplanmıştır.

Literatürde, dört rotorlular üzerinde sabit parametrelili PID kontrolörler kullanılarak yapılan çalışmalar incelendiğinde, çalışmaların birçoğunun dört rotorlunun basamak girdi sinyaline karşı performansını iyileştirmek üzerine olduğu görülmüştür (Selim vd. 2013). Dört rotorlunun yüzlerce metrelik menzillerde çalışabildiği düşünülürken bu tür bir kontrolörün dört rotorlunun gerçek şartlarda kontrol edilmesi için yeterli olmadığı anlaşılmaktadır. Ayrıca, dört rotorlunun sabit katsayılı PID kullanılarak yapılan kontrolüne ait diğer birçok örnekte hedefin konumu sabittir (Suiçmez ve Kutay 2014). Bu durumda sabit katsayılı PID kontrolörün bu çalışma kapsamında yapılan uygulamalarda en iyi bir performansı sergileyemeyeceği açıktır. Bu sebeple sabit katsayılı PID'nin performansının iyi olmadığı durumlarda bilinen iki adaptif kontrol yöntemi kullanılarak daha iyi bir kontrol performansı elde edilmeye çalışılmıştır. Bulgular bölümündeki Çizelge 4.14, Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16 incelendiğinde, dört rotorlu MT-İHA'nın yatay düzlemde kontrolünde tek başına sabit katsayılı PID kullanıldığında bazı durumlarda diğer kontrolörlere göre avantaj sağladığı görülmüştür. Hedef yardımcı MT-İHA'dan uzaklaşmakta iken sabit katsayılı PID 1 türü kontrolörün ($P=0,055$, $I=0,00012$, $D= 0.13$) performansının Çizelge 5.1'de görülen durumlarda adaptif kontrolörlerin performansında daha iyi olduğu gözlenmiştir. Çizelge 5.1'de görevli MT-İHA'nın hızını tanımlarken kullanılan "+" işareti, görevli MT-İHA'nın yardımcı MT-İHA'dan "+" işareti ile birlikte belirtilen hızla uzaklaştığını, göstermektedir.

Çizelge 5.1 Sabit katsayılı PID 1 kontrolörünün performansının adaptif kontrolörlerin performansından daha iyi olduğu durumlar.

Görevli MT-İHA'nın hızı (m/s)	Takip başlangıç mesafesi (m)
+4	100
+4	150
+4	200

Dört rotorlunun yatay düzlemde hareketinde sabit katsayılı PID kontrolörden daha iyi bir kontrol performansı elde etmek için FUZZY-PID (Aksal *et al.* 2014) ve YSA-PID (Fatan *et al.* 2013) türünde kontrolörler tasarlanmıştır. Geliştirilen bu kontrolörlere PID katsayıları değişen şartlara göre güncellenmektedir. Bu sayede dört rotorlunun hedef koordinata daha hızlı gidebilmekte ve hedef koordinata vardığında daha az hata

ile durabilmektedir. Bulgular bölümündeki Çizelge 4.14, Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16 incelendiğinde, dört rotorlu MT-İHA'nın yatay düzlemde kontrolünde öncelikle PID 2 kontrolörü ($P=0,0655$, $I=0,00015$, $D=0.11$) ve sonrasında YSA-PID kontrolörü kullanıldığında bazı durumlarda diğer kontrolörlere göre avantaj sağladığı görülmüştür. Hedef, yardımcı MT-İHA'dan uzaklaşmakta iken PID 2 ve YSA-PID kontrolörlerinin birlikte kullanılması sonucunda Çizelge 5.2'deki durumlarda diğer kontrolörlerden daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.

Çizelge 5.2 PID 2 ile YSA-PID'nin birlikte kullanılması ile oluşan kontrol performansının diğer kontrolörlerin performansından daha iyi olduğu durumlar.

Görevli MT-İHA'nın	Takip başlangıç
hızı (m/s)	mesafesi (m)
2	100
2	150
2	200

Bulgular bölümündeki Çizelge 4.14, Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16 incelendiğinde, dört rotorlu MT-İHA'nın yatay düzlemde kontrolünde öncelikle PID 2 kontrolörü ve sonrasında FUZZY-PID kontrolörü kullanıldığında, bazı durumlarda diğer kontrolörlere göre avantaj sağladığı görülmüştür. Hedef sabitken, PID 2 ve FUZZY-PID kontrolörlerinin birlikte kullanılması sonucunda Çizelge 5.3'teki durumlarda diğer iki kontrolör türünden daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.

Çizelge 5.3 PID 2 ile FUZZY-PID'nin birlikte kullanılması ile oluşan kontrol performansının diğer kontrolörlerin performansından daha iyi olduğu durumlar.

Görevli MT-İHA'nın	Takip başlangıç
hızı (m/s)	mesafesi (m)
0	100
0	150
0	200

Bulgular bölümündeki çizelgelerde yer alan veriler dikkate alındığında, sabit katsayılı PID, FUZZY-PID ve YSA-PID türü kontrolörlerin hiçbiri tek başlarına kullanıldıklarında hedefin sahip olduğu tüm hız ve konum değerlerinde diğerlerine üstünlük sağlayamadığı görülmüştür. Bununla birlikte, geliştirilen kontrolörlerin bazı

durumlarda birbirlerine karşı avantaj sağladığı görülmüştür. Bu durumda hedefin sabit, dört rotorluya yaklaşmakta, dört rotordan uzaklaşmakta olması durumları için tek bir kontrolör kullanılması yerine belli durumlarda farklı kontrolörlerin devreye girmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Ayrıca bulgular bölümündeki Çizelge 4.14, Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16 incelendiğinde, hedefin sahip olduğu bazı hız ve konum değerleri için, geliştirilen PID 1, FUZZY-PID ve YSA-PID türü kontrolörlerin hepsinin maksimum aşma değeri için 10 m olarak belirlenen sınırı aştığı gözlenmiştir. Bu durumlarda maksimum aşma için belirlenen 10 m'den az olma şartı sağlanmadığından PID 3 ($P=0,040$, $I=0,00017$, $D=0,14$) kontrolörü tasarlanmıştır. Yardımcı MT-İHA'nın yatay düzlemde kontrolünde PID 3 kontrolörü kullanılarak yapılan uygulamalar sonucunda hedef yardımcı MT-İHA'ya yaklaşmaktayken PID 3 türü kontrolörün Çizelge 5.4'teki durumlarda diğer kontrolör türlerinden daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.

Çizelge 5.4 Sabit katsayılı PID 3 kontrolörünün performansının diğer kontrolörlerin performansından daha iyi olduğu durumlar.

Görevli MT-İHA'nın hızı (m/s)	Takip başlangıç mesafesi (m)	Yakalama süresi (sn)	Maksimum aşma (m)
-2	100	9,59	1,78
-4	100	8,24	2,14
-2	150	11,87	3,46
-4	150	10,64	3,72
-2	200	14,45	5,69
-4	200	13,06	5,79

Yapılan uygulamalar sonucunda görevli MT-İHA'nın (hedef) belirli bir hız aralığında hareket etmesi ve MT-İHA'lar arasında belirli mesafenin olması durumunda yardımcı MT-İHA'nın yatay düzlemdeki kontrolünde devreye girmesi gereken kontrolörler tespit edilmiştir. Adaptif kontrolörlerin kullanıldığı durumlarda yardımcı MT-İHA'nın hedefe ulaşmasına belli bir mesafe kala adaptif kontrolörlerin devre dışı kalmasının ve bu kontrolörlerin yerine PID 1 kontrolörünün devreye girmesinin kontrol performansını arttırdığı gözlenmiştir. Buna göre, görevli MT-İHA'nın hızı +2 m/s iken hedefe 2 m mesafe kaldığında ve görevli MT-İHA'nın hızı +4 m/s iken hedefe 5 m mesafe kaldığında yardımcı MT-İHA'yı kontrol eden adaptif kontrolörlerin devre dışı kalması ve bu kontrolörlerin yerine PID 1 kontrolörünün devreye girmesi gerekmektedir.

Yapılan uygulamalar sonucunda görevli MT-İHA'nın belli hız aralığında hareket etmesi durumunda ve MT-İHA'lar arasında belirli mesafenin olması durumunda yardımcı MT-İHA'nın yatay düzlemde kontrolünde, geliştirilen kontrolörlerin Çizelge 5.5'teki gibi devreye girmesi gerektiği tespit edilmiştir.

Çizelge 5.5 Görevli MT-İHA'nın hızı ve uzaklığına göre devreye alınması gereken kontrolörler.

V_{hedef} (Görevli MT-İHA'nın hızı) (m/s)	Takip başlangıç mesafesi (m)	Kontrol metodu
$4,5 > V_{\text{hedef}} \geq 3$	100	PID 1
$3 > V_{\text{hedef}} \geq 1$	100	PID 2+YSA-PID+PID 1
$1 > V_{\text{hedef}} \geq -1$	100	PID 2+FUZZY-PID+PID 1
$-1 > V_{\text{hedef}} \geq -3$	100	PID 3
$-3 > V_{\text{hedef}} \geq -4,5$	100	PID 3
$4,5 > V_{\text{hedef}} \geq 3$	150	PID 1
$3 > V_{\text{hedef}} \geq 1$	150	PID 2+YSA-PID+PID 1
$1 > V_{\text{hedef}} \geq -1$	150	PID 2+FUZZY-PID+PID 1
$-1 > V_{\text{hedef}} \geq -3$	150	PID 3
$-3 > V_{\text{hedef}} \geq -4,5$	150	PID 3
$4,5 > V_{\text{hedef}} \geq 3$	200	PID 1
$3 > V_{\text{hedef}} \geq 1$	200	PID 2+YSA-PID+PID 1
$1 > V_{\text{hedef}} \geq -1$	200	PID 2+FUZZY-PID+PID 1
$-1 > V_{\text{hedef}} \geq -3$	200	PID 3
$-3 > V_{\text{hedef}} \geq -4,5$	200	PID 3

İdeal koşullarda, MT-İHA'lar merkezi bilgisayar üzerinden taşıyıcı İKA'nın pozisyonunu öğrenebildiği için taşıyıcı İKA'yı bulabilmekte ve üzerine otonom olarak iniş yapabilmektedir. Fakat deneysel çalışmalar ortaya koymuştur ki, MT-İHA'ların üzerindeki GPS yeterince hassas olmadığından MT-İHA'ların taşıyıcı İKA üzerindeki işaretli alanlara hassas iniş yapması mümkün değildir. Bu durumda, bir otomatik iniş sisteminin önerilen sisteme entegre edilmesi gerektiği açıktır. Önerilen sistemin güncel halinde otonom bir hassas iniş sistemi bulunmadığı için MT-İHA'ların taşıyıcı İKA üzerine inişleri uzaktan kontrol ekipmanlarıyla operatör tarafından manuel olarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda görülmüştür ki, MT-İHA'ların taşıyıcı İKA üzerinde kendileri için ayrılan kısımlara manuel komutlarla bile olsa hassas bir biçimde iniş yaptırılması oldukça zordur.

Bu çalışmada önerilen sistemin eksik yönleri ve gelecek çalışması olarak ele alınması planlanan çalışmalar ise; manuel kontrole ihtiyaç duymayan bir hassas otonom iniş sistemi tasarlamak ve MT-İHA'lar için bir otomatik batarya değiştirme sistemi tasarlamak, olarak sayılabilir. Bu bağlamda, önerilen sisteme, kamera ve ultrasonik sensörlerle desteklenmiş bir hassas otomatik iniş sisteminin entegre edilmesi planlanmaktadır. Önerilen sistem için başka bir ihtiyaç olan ve bir gelecek çalışması olarak planlanan MT-İHA'lar için otomatik batarya değişim sistemi, bir otomatik şarj sistemi tasarlamaktan daha zordur. Bununla birlikte, MT-İHA'ların bataryalarını değiştirmek ve tekrar göreve hazır hale getirmek önerilen sistem için daha hızlı bir çözümdür. Bu sebeple bu çalışmadan sonraki adım olarak, önerilen sistemin daha etkin çalışması için bir otomatik batarya değiştirme sisteminin önerilen sisteme entegre edilmesi üzerinde durulacaktır.

Önerilen sistemin yapılan uygulamalarda ele alındıktan daha geniş bir arazide kullanılması durumunda ve İHA'lar ile anlık ve hızlı hedef takibi yapılması istendiğinde örnek uygulamamızda olduğu gibi yalnızca iki hava aracı ve bir kara aracı içeren bir robot grubu yeterli olmayacaktır. Bu sorunun üstesinden gelmek için insansız araçların sayısı arttırılmalıdır. Merkezileştirilmiş haberleşme ve kontrol yapısı sayesinde önerilen sistemin mevcut haline yeni hava ve kara araçları entegre edilebilmektedir. Bununla birlikte, hava ve kara araçlarının birbirleri ile doğrudan haberleşebildiği merkezi olmayan haberleşme ve kontrol yapısındaki bir sistem oluşturmanın keşif, gözlem ve istihbarat görevleri için çok daha etkili olacağı açıktır.

Önerilen sistemde insansız araçların üzerinde yer alan video transfer ekipmanlarının ve radyo telemetri ekipmanlarının veri aktarım mesafesi sırasıyla yaklaşık 300 metre ve 1000 metredir. Bu sebeple bu mesafeleri aşan uzaklıklarda yürütülecek gözlem faaliyetleri için önerilen sistemde kullanılan cihazlar yeterli gelmeyecektir. Ayrıca önerilen sistemde profesyonel ekipmanlara nispeten ucuz ve düşük kalitede ekipmanlar kullanıldığı için yer şekilleri ve hava şartları da insansız araçların veri aktarım kalitesini etkileyebilmektedir. Önerilen sistemin uzak mesafelerde kullanılması durumunda veri aktarımında meydana gelebilecek olası sorunlardan kaçınmak için GSM haberleşmesi gibi daha güvenli haberleşme metotları ve görüntü aktarım ekipmanları önerilen sisteme entegre edilmelidir.

Yörünge takip uygulamasında MT-İHA'ların yörüngeleri genetik algoritma yöntemi ile optimum olarak hesaplanmıştır. Ziyaret noktalarının sayısının arttıkça bu noktaları içeren optimum yörünge hesaplanmak istendiğinde genetik algoritma gibi sezgisel yöntemler optimum sonucu bulma konusunda başarısız olabilmektedir. Bu sebeple uygulamalarda ele alınan çevrelerden daha fazla ziyaret noktası içeren hedef alanlarda yörünge hesabı yapabilmek için genetik algoritma yerine daha iyi sonuç veren bir sezgisel yaklaşım ya da kesin sonuç veren algoritmalar tercih edilmelidir.

Bu çalışmada kullanılan insansız araçların benzetim ortamındaki matematiksel modelleri araçların gerçek ortamdaki davranışlarını taklit edebilecek şekilde oluşturulmuştur. Bununla birlikte, kullanılan modellerde bazı ihmaller yapıldığı için aynı uygulamalarda araç modellerinin benzetim ortamındaki performansı ile araçların gerçek çalışma şartlarındaki performansının aynı olmadığı gözlenmiştir. Başka bir deyişle, herhangi bir anda MT-İHA'ların benzetim ortamındaki hızları ve konumları ile gerçek çalışma şartlarındaki hızları ve konumları aynı değildir. İnsansız araç modellerinin daha iyi yapılarak benzetim ortamı ile gerçek çalışma şartlarında yapılan uygulamaların birbiri ile daha uyumlu olması sağlanabileceği anlaşılmaktadır.

Benzetim ortamında ve gerçek çalışma şartlarında yapılan uygulamalar karşılaştırıldığında, MT-İHA'ların benzetim ortamındaki ve gerçek çalışma şartlarındaki enerji tüketiminin farklı olduğu görülmüştür. Bu durum, MT-İHA'ların enerji tüketiminin hesaplanmasında kullanılan verilerin MT-İHA'ların gerçek şartlardaki enerji tüketimini tam olarak yansıtamamasından kaynaklanmaktadır. Bu sebeple, önerilen sistem gerçek çalışma şartlarında bir gözlem faaliyetinde kullanılmak istendiğinde, hava araçlarının bataryalarını tamamen tüketmeden İKA üzerine iniş yapmalarını garanti altına almak için KES ve ADS değerlerine belli bir güvenlik marjı eklenmesi uygun olacaktır. Ayrıca yapılan uygulamalarda MT-İHA'ların gözlem faaliyetini yürüttüğü çevre büyüdükçe ya da MT-İHA'ların havada kalma süresi arttıkça MT-İHA'ların enerji tüketiminin benzetim ortamında elde edilen sonuçları ile gerçek çalışma şartları altında elde edilen sonuçları arasındaki farkın artması beklenirdi. Buna karşılık, MT-İHA'ların havada kalma süresi arttıkça benzetim ortamındaki enerji tüketimi ile gerçek çalışma şartlarındaki enerji tüketimi arasındaki farkın doğrusal olarak artmadığı gözlenmiştir. Bu durumun oldukça

değişken bir etken olan rüzgar ve anlık sensör hatalarından kaynaklanmaktadır.

Sonuçlar bölümünde yer alan MT-İHA'lara ait enerji tüketim çizelgeleri incelendiğinde aynı ağırlıkta ve yapı malzemesine sahip olan MT-İHA'ların aynı çalışma şartlarında birbirine çok yakın bir enerji tüketimi sergilediği gözlenmiştir. Bu durumda çoklu İHA kullanımının gündemde olacağı çalışmalarda her bir İHA'nın modelinin çıkarılması yerine tek bir İHA'nın matematiksel modeli oluşturularak önerilen sistemin benzetim ortamındaki uygulamalarının yapılabileceği görülmüştür.

Bu çalışmada kullanılan insansız kara aracının matematiksel modelinde atalet momentleri dikkate alınmamıştır. Bunun sebebi, bu çalışmadaki uygulamalarda İKA'nın hareketinin tam olarak modellenmesine gerek duyulmamasıdır. İKA'nın istenen şekilde hızlanması ve durdurulması için uygun motor, motor sürücüleri, konstrüksiyon vb. ekipmanlar seçilmiştir.

6. KAYNAKLAR

- Ahmad, A. and Pankaj, R. Automation. (2014). Speed control of a DC motor using Controllers. *Control and Intelligent Systems*, **2(6-1)**: 1-9.
- Aksal, A., Arıkan, K. B. and Aliew, F. (2014). Robust Fuzzy-PID Control of an Unbalanced Quadrotor”, UMTIK 2014, 16th International Conference on Machine Design and Production, Izmir, Turkey, 30 haziran-3 temmuz, 908-920
- Aksoy, R. ve Kurnaz S. (2002). İnsansız kara araçları ve muharebe gereksinimleri. *Havacılık ve uzay teknolojileri dergisi*, **4(1)**: 1-10.
- Arıkan Y., Çaşka S., Gayretli A. ve Oğuz Y. (2015). Dört Pervaneli İnsansız Hava Aracının Kontrolü için PID Kontrol Algoritmaları Geliştirilmesi ve Yörünge Takibi Uygulaması Yapılması. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, Denizli, Türkiye, 10-12 Eylül, 926-930.
- Barnes, L., Garcia, R., Fields, M. and Valavanis, K. (2008). Swarm Formation Control Utilizing Ground and Aerial Unmanned Systems. International Conference on Intelligent Robots and Systems, Nice, France, Eylül 22-26,4205
- Brandao, A. S., Sarapura, J. A., Caldeira, E. M. O. and Sarcinelli-Filho, M. (2010). Decentralized Control of a Formation Involving a Miniature Helicopter and a Team of Ground Robots Based on Artificial Vision. 2010 Latin American Robotics Symposium and Intelligent Robotics Meeting, Sao Bernardo do Campo, Brazil, Ekim 23-28, 126-131.
- Bolandi, H., Rezaei, M., Mohsenipour, R., Nemati, H. and Smailzadeh, S. M. (2013). Attitude Control of a Quadrotor with Optimized PID Controller. *Intelligent Control and Automation*, **(4)**: 335-342
- Brooks, R. A. (1997). From Earwigs to Humans. *Robotics and Autonomous Systems*, **20**: 291-304.
- Cantelli, L., Presti, M. L., Mangiameli, M., Melita, C.D. and Muscat, G. (2013). Autonomous Cooperation Between UAV and UGV to Improve Navigation and Environmental Monitoring in Rough Environments. *10th International Symposium on Humanitarian Demining*, 23-25 Nisan, Sibenik, Hırvatistan

- Capezio, F., Sgorbissa, A. and Zaccaria, R. (2005). GPS-based localization for a surveillance UGV in outdoor areas. 5th International Workshop on Robot Motion and Control, Dymaczewo, Poland, Haziran 23-25, 157–162
- Chaimowicz, L., Cowley, A., Gomez-Ibanez, D., Grocholsky, B., Hsieh, M. A., Hsu, H., Keller, J. F., Kumar, V., Swaminathan, R. and Taylor, C. J. (2005). Deploying Air-Ground Multi-Robot Teams In Urban Environments. *Multi-Robot Systems: From Swarms to Intelligent Automata*, **3**: 223-234.
- Chao, Z., Zhou, S.-L. Ming, L. and Zhang, W.-G. (2012). Uav formation flight based on nonlinear model predictive control. *Mathematical Problems in Engineering*, **2012(1)**: 1–16
- Chen, J., Sun, D., Yang, J. and Chen, H. (2010). Leader-follower formation control of multiple non- holonomic mobile robots incorporating a receding-horizon scheme. *Internatioanl of Journal Robotic Research*, **29**:727–747
- Chen, J., Zhang, X., Xin, B. and Fang, H. (2015). Coordination Between Unmanned Aerial and Ground Vehicles: A Taxonomy and Optimization Perspective. *IEEE transactions on Cybernetics*, **46(4)**: 959-972.
- Çaşka, S and Gayretli, A. (2015). An Algorithm for Collaborative Patrolling Systems with Unmanned Air Vehicles and Unmanned Ground Vehicles. 7th International Conference on Recent Advances in Space Technologies-RAST2015, İstanbul, Turkey, 16-19 Haziran, 660-663
- Çaşka, S. and Gayretli, A. 2016-a. An Algorithm for Collaborative Surveillance Systems with Unmanned Aerial and Ground Vehicles. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, **33(5)**: 208-212
- Çaşka, S. and Gayretli, A. 2016-b. An Unmanned Ground Vehicle-aided Task Exchange System Of Small Air Vehicles For Remote Surveillance Missions. *International Journal of Engineering Research and General Science*, **4(2)**: 873-883
- Çolak S. (2010). Genetik algoritmalar yardımı ile gezgin satıcı probleminin çözümü üzerine bir uygulama. *Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, **19(3)**: 423-438

- Conner C. D. (2000). Sensor Fusion, Navigation and Control of Autonomous Vehicles. Master Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, USA.
- Chi, Q. C., Bole, B., Hogge, E., Vazquez, S., Daigle, M, Celaya, J., Weber, A. and Goebel, A. (2013). Battery Charge Depletion Prediction on an Electric Aircraft. Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society, New Orleans, ABD, 14-17 Ekim, 1-11
- Fatan, M., Lavi, B., and Baranji, A. V. (2013). An Adaptive Neuro PID for Controlling the Altitude of Quadcopter Robot. 18th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics, Miqdzydroje, Poland, 26-29 Ağustos, 662-665.
- Fujii, K., Higuchi, K. and Rekimoto, J. (2013). Endless Flyer: A Continuous Flying Drone with Automatic Battery Replacement. IEEE 10th International Conference on Ubiquitous Intelligence & Computing and 2013 IEEE 10th International Conference on Autonomic & Trusted Computing, Salerno, İtalya, 18-21 Kasım, 216 - 223.
- Garzon, M., Valente, J., Zapata, D., Chil, R., and Barrientos A. 2012. Towards a ground navigation system based in visual feedback provided by a mini UAV. Proceedings of the 2012 IEEE Intelligent Vehicles Symposium Workshops, Madrid, İspanya, 3-7 Haziran, 1-6
- Ghommam, J., Mehrjerdi, H., Saad, M. and Mnif, F. (2010). Formation path following control of unicycle-type mobile robots. *Robotics and Autonomous Systems*, 58(5): 727–736.
- Giakoumidis, N., Bak, J. U. and Gomez, J. V. (2012). Pilot-Scale Development of a UAV-UGV Hybrid with Air-Based UGV Path Planning. *10th International Conference on Frontiers of Information Technology*, Islamabad, Pakistan, Aralık 17-19, 204-208
- Hui, C., Yousheng, C., Xiaokun, L. and Shing, W. W. (2013). Autonomous Takeoff, Tracking and Landing of a UAV on a Moving UGV Using Onboard Monocular Vision. *32nd Chinese Control Conference (CCC)*, Xi'an, China, Temmuz 26-28, 5895-5901

- Kazmi, W., Bisgaard, M., Garcia-Ruiz, F., Hansen, K. D. and Cour-Harbo, A. (2011). Adaptive Surveying and Early Treatment of Crops with a Team of Autonomous Vehicles. 5th European Conference on Mobile Robots, Örebro, Sweden, Eylül 7-9, 253-258
- Khaleghi, A. M., Xu, D., Wang, Z., Li, M., Lobos, A., Liu, J. and Son, Y.-J. (2013). A DDDAMS-based planning and control framework for surveillance and crowd control via UAVs and UGVs. *Expert Systems with Applications*, **40**: 7168–7183
- Kendoul, F., Yu, Z. and Nonami, K. (2010). Guidance and nonlinear control system for autonomous flight of minirotorcraft unmanned aerial vehicles. *Journal of Field Robotics*, **27**(3), 311–334
- Kim, H. J., Vidal, R., Shim, D. H., Shakernia, O. and Sastry, S. (2001). A Hierarchical Approach to Probabilistic Pursuit-Evasion Games with Unmanned Ground and Aerial Vehicles. 40th IEEE Conference on Decision and Control Orlando, Florida USA, Kasım 4-7, 634 – 639
- Kivelevitch, E., Sharma, B., Ernest, N., Kumar, M. and Cohen, K. (2013). A Market Based Solution to the Multiple Traveling Salesmen Problem. *Journal of Intelligent Robotic Systems*, **72**:21–40
- Leahy K., Zhou, D. Vasile, C.-I., Oikonomopoulos, K., Schwager, M. and Belta. C. (2016). Provably Correct Persistent Surveillance for Unmanned Aerial Vehicles Subject to Charging Constraints. *Experimental Robotics*, **109**: 605-619
- Liu, Y. and Jia, Y. (2012). An iterative learning approach to formation control of multi-agent systems. *Systems & Control Letters*, **61**(1), 148 – 154
- MacArthur, D. K. and Crane, C. D. (2007). Unmanned Ground Vehicle State Estimation using an Unmanned Air Vehicle. IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation, Jacksonville, FL, USA, Haziran 20-23, 473 – 478
- Mamdani, E.H. and Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, **7**(1), 1-13.

- Marzinotto, A. (2012). Cooperative Control of Ground and Aerial Vehicles. Master Thesis. School of Electrical Engineering, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- Mehta, A. J., Mehta, H. A., Manjunath, T. C. and Ardil, C. (2011). A Multi-layer Artificial Neural Network Architecture Design for Load Forecasting in Power Systems. *International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering*, **5(2)**: 207-220.
- Owen, M., Yu, H. McLain, T. and Beard. R.(2010). Moving Ground Target Tracking in Urban Terrain Using Air/Ground Vehicles. IEEE GLOBECOM Workshops (GC Wkshps). Miami, FL-USA, Aralık 6-10, 1816–1820
- Phan, C. and Liu, H.H.T. (2008). A Cooperative UAV/UGV Platform for Wildfire Detection and Fighting. Asia Simulation Conference - 7th International Conference on System Simulation and Scientific Computing, Beijing, China, Ekim 10-12, 494-498
- Perkins, T. and Murphy, R. R. (2013). Active and Mediated Opportunistic Cooperation Between an Unmanned Aerial Vehicle and an Unmanned Ground Vehicle. 2013 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR), Lipkoping, Sweden, Ekim 21-26, 1-8
- Rackliffe, N., Yanco, H. A. and Casper, J. (2011). Using Geographic Information Systems (GIS) for UAV Landings and UGV Navigation. 2011 IEEE Conference on Technologies for Practical Robot Applications, Woburn, MA, USA, Nisan 11-12, 145-150
- Saska M., Krajnik T. and Preucil, L. (2012-a). Cooperative μ UAV-UGV autonomous indoor surveillance, 9th international multi conference on systems signals and devices, Chemnitz, Germany, Mart 20-23, 141-147
- Saska, M., Vonasek, V., Krajnik, T. and Preucil, L. (2012-b). Coordination and navigation of heterogeneous UAVs-UGVs teams localized by a hawk-eye approach. International Conference on Intelligent Robots and Systems, Kasım 7-12, Vilamoura, Algarve, Portugal, 2166 -2171

- Sauter, J. A., Mathews, R. S., Yinger, A., Robinson, J. S., Moody, J. and Riddle, S. (2008). Distributed Pheromone-Based Swarming Control of Unmanned Air and Ground Vehicles for RSTA. Forthcoming in Proceedings of SPIE Defense & Security Conference, Mart 2008, Orlando, FL, USA, 1-21
- Seidabad, E. A., Vandaki, S., Kamyad, A. V. (2014). Designing Fuzzy PID Controller for Quadrotor. *International Journal of Advanced Research in Computer Science & Technology*, **2**(4): 221-227
- Selim, E., Uyar, E., Alcı, M. (2013). Quadrocopterin Matematiksel Modeli ve Kontrolü. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, Malatya, Türkiye, 26-28 Eylül 2013, 548-553
- Stegagno, P., Cognetti, M., Rosa, L., Peliti, P., Oriolo, G. (2013). Relative Localization and Identification in a Heterogeneous Multi-Robot System. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Karlsruhe, Germany, Mayıs 6-10, 1857 - 1864
- Suiçmez, E. C. ve Kutay, A., T. (2104). Dört rotorlu bir insansız hava aracının geridadımlama yöntemi ile yol takibi kontrolü. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, **7**(2), 1-13
- Suzuki K, Filho P and Morrison J. (2012). Automatic Battery Replacement System for UAVs: Analysis and Design. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, **65**: 563-586.
- Tan, R. and Kumar, M. (2014). Tracking of Ground Mobile Targets by Quadrotor Unmanned Aerial Vehicles. *Unammed Systems*, **2**(2): 157-173
- Tanner, H. G. and Christodoulakis, D. K. (2006). Cooperation between Aerial and Ground vehicle groups for Reconnaissance missions. *45th IEEE Conference on Decision and Control*, San Diego, USA, Kasım 13-15, 5918-923.
- Tayebi A. and McGilvray S. (2004). Attitude stabilization of a four-rotor aerial robot. 43rd IEEE Conference on Decision and Control, Paradise Island, Bahamas, 14-17 Aralık, 1216-1221
- Tokekar, P., Hook, J. V., Mulla, D. and Isler, V. (2013). Sensor Planning for a Symbiotic UAV and UGV system for Precision Agriculture. 2013 IEEE/RSJ

International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Tokyo, Japan, Kasım 3-7, 494-498

Xu, L., Xu Z. and Xu D. (2013). Exact and approximation algorithms for the min-max k-traveling salesmen problem on a tree. *European Journal of Operational Research*, 227: 284–292

Zengin, U. and Dogan, A. (2007). Real-time target tracking for autonomous UAVs in adversarial environments: A gradient search algorithm. *IEEE transactions on robotics*. **23(2)**, 294-307

İnternet Kaynakları:

1)<https://www.stm.com.tr/yayinlar/gelecegin-hava-kuvvetleri/gelecegin-hava-kuvvetleri.html>, 05.08.2015

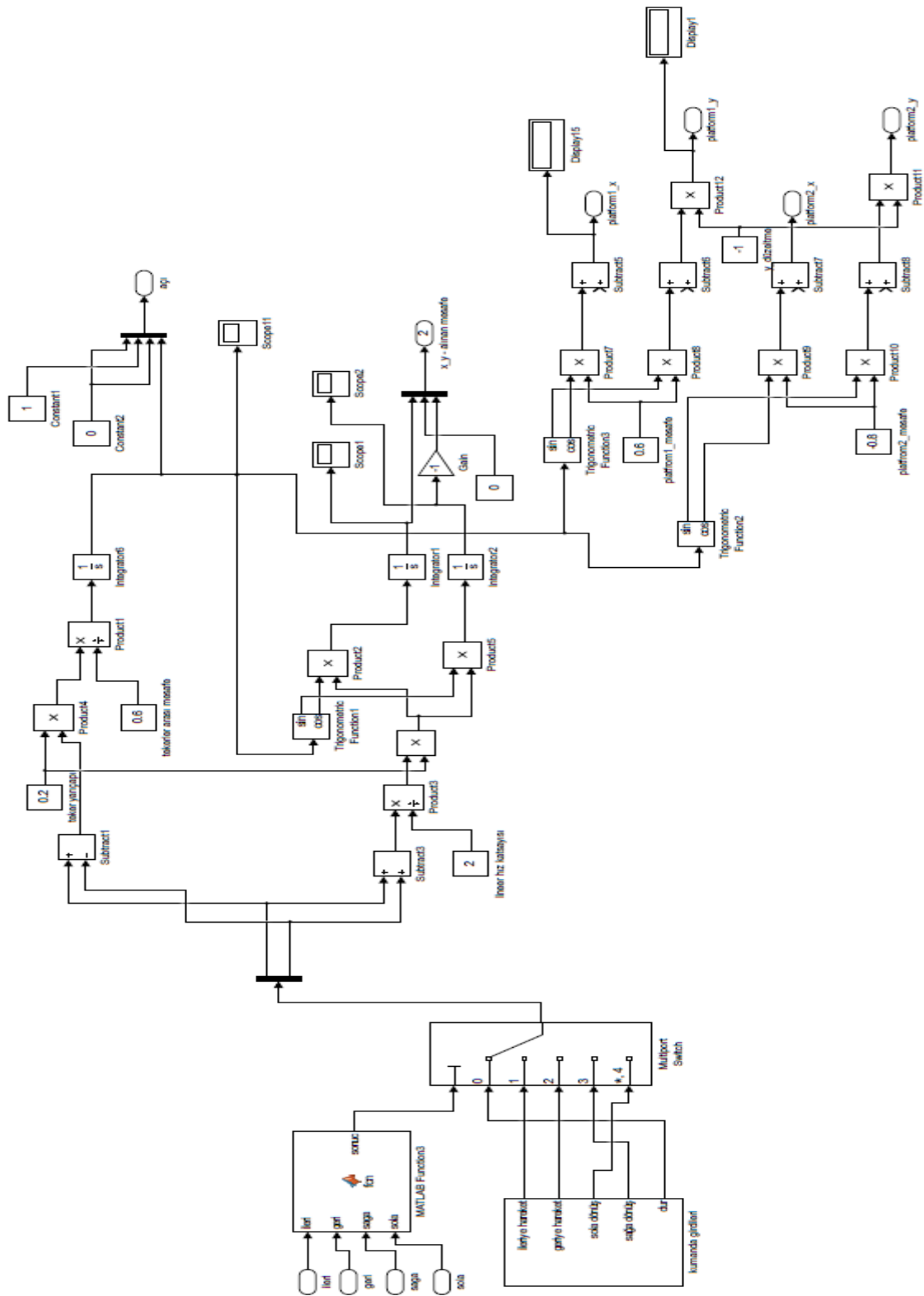
2) <http://www.hho.edu.tr/uzhaf/pdf/OguzBAL.pdf>, 03.09.2015

3) <http://baykarmakina.com/sistemler/bayraktar-mini-ihai/>,14.09.2016

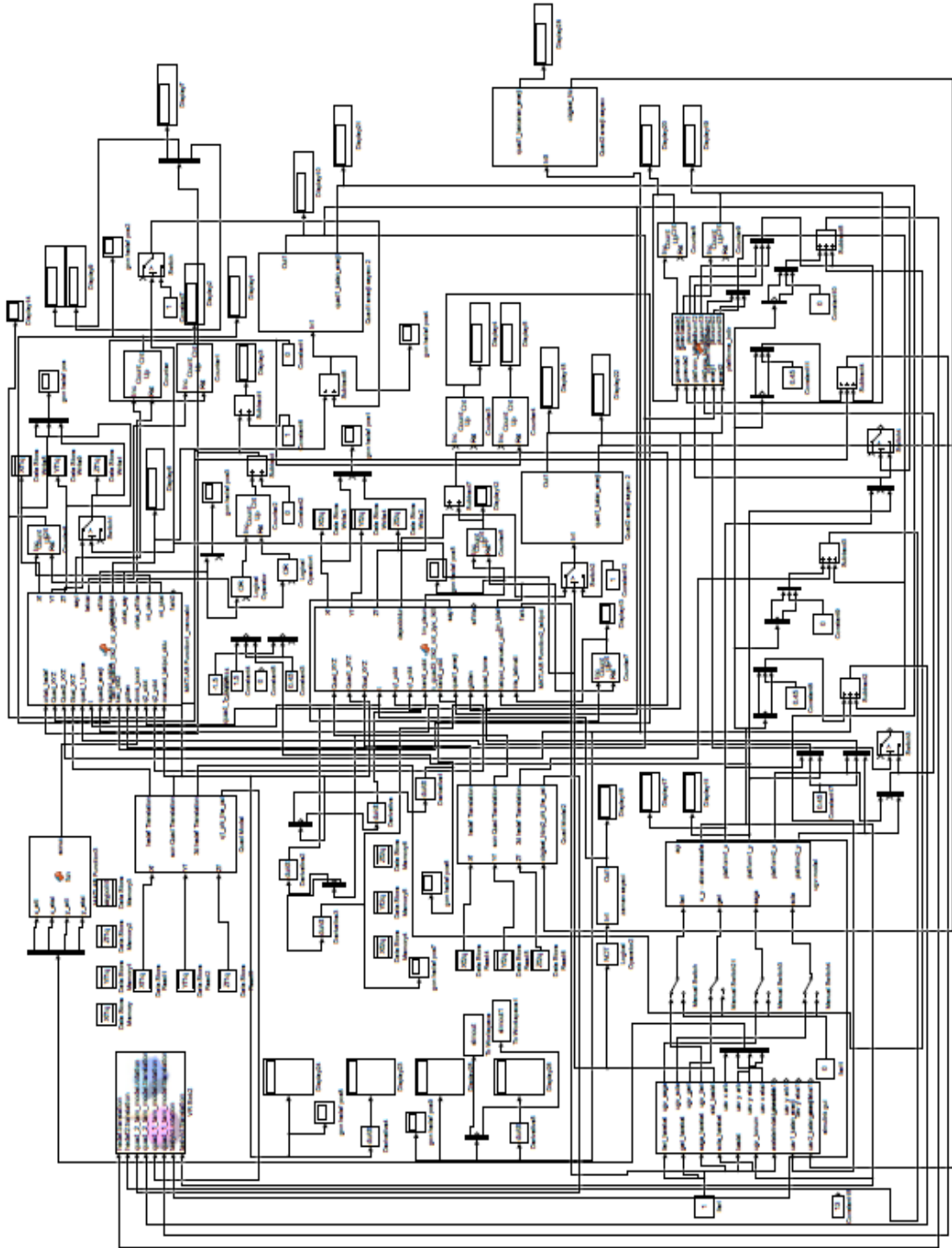
4)<http://www.aselsan.com.tr/tr-tr/cozumlerimiz/insansiz-sistemler/insansiz-araclar/kaplan-insansiz-kara-araci-ailesi>,02.09.2016

5)<https://2023turkiyesi.wordpress.com/2014/03/06/izci-insansiz-kara-araci-aselsan/>, 23.08.2016

Ek-2 İKA'ya ait Simulink modeli:



Ek-3 Önerilen sisteme tamamını içeren Simulink modeli:



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Serkan ÇAŞKA
Doğum Yeri ve Tarihi : Manisa, 21.01.1986
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0530 584 25 29 / serkancaska@aku.edu.tr

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Dündar Çiloğlu Anadolu Lisesi (1997-2004)
Lisans : Fırat Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği (2004-2009)
Yüksek Lisans : Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bil. Ens. Mekatronik Mühendisliği A. B. D. (2009-2011)
Doktora : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bil. Ens. Mekatronik Mühendisliği A. B. D. (2012-2016)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

SPD Otomasyon : Nisan 2009 - Kasım 2009
Vestel Dijital A.Ş. : Ocak 2010 – Şubat 2011
Afyon Kocatepe Üni. : Şubat 2011 – devam ediyor

Yayımları (SCI ve diğer) :

Arıkan Y., Çaşka S., Gayretli A., Oğuz Y. 2015. Dört Pervaneli İnsansız Hava Aracının Kontrolü için PID Kontrol Algoritmaları Geliştirilmesi ve Yörünge Takibi Uygulaması Yapılması. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, Denizli, Türkiye, 10-12 Eylül, 926-930.

Çaşka, S. , Demir, G. 2012. Design And Control Of Siliconizing-Carrying Robot For LCD Panel Manufacturing Process, International Manufacturing Systems Conference-2012, September, Antalya/Turkey, 467-477

- Şişman, B., Çaçka, S. , Gayretli, A. 2012. Türkiye’deki Kobi’lerin Teknolojik Yenilik (İnovasyon) Ve Yeni Ürün Geliştirme Üzerine İncelenmesi”, Business Administration And Corporate Social Responsibility, 23-25 November, Baku/Azerbaijan
- Gayretli, A. , Akcin, Y. , Ariol, H. , Çaçka, S. 2013. Innovation and Research&Development Perspective of SMEs in Turkey, The 4th International Symposium on Sustainable Development, 24-26 May, Sarajevo/Bosnia and Herzegovina
- Aysal, F. E., Bayrakçeken, H., Aksoy F., Yıldırım, H., Çaçka, S. 2013. Farklı Bitkisel Yağlardan Üretilen Metil Esterlerin Kinematik Viskozitelerinin İncelenmesi, 7th International Advanced Technologies Symposium (IATS 13), 238-24
- Çengelci B., Çaçka S. 2013. Frekans Kestiriminde Sıfır Geçişlerin Lagrange İnterpolasyon ile İyileştirilmesi, 7th International Advanced Technologies Symposium (IATS 13), 949-954
- Çaçka, S, Gayretli, A. 2014. A Survey of UAV/UGV Collaborative Systems” CIE44 & IMSS’14 Proceedings, İstanbul/Turkey, 453-463
- Çaçka, S, Gayretli, A. 2015. An Algorithm for Collaborative Patrolling Systems with Unmanned Air Vehicles and Unmanned Ground Vehicles, 7th International Conference on Recent Advances in Space Technologies-RAST2015, İstanbul/Turkey, 660-663.
- Aysal F. E., Çaçka S., Aksoy F. , Örs İ. , Aksoy L., Güzel M. H. 2015. Estimating of Kinematic Viscosity of Alternative Fuels by Using ANN, International Conference on Environmental Science and Technology, 163-168

Gayretli A., Akçin Y., Arıol H., Çaşka S. (2014) Innovation and Research & Development Perspective of SMEs in Turkey. IBU Journal of Science and Technology, **2 (1)**, 117-132

Diğer konular:

Tez çalışması kapsamında yapılan yayınlar:

Çaşka, S and Gayretli, A. 2014. A Survey of UAV/UGV Collaborative Systems. CIE44 & IMSS'14 Proceedings, İstanbul, Turkey, 14-16 Ekim, 453-463

Çaşka, S and Gayretli, A. 2015. An Algorithm for Collaborative Patrolling Systems with Unmanned Air Vehicles and Unmanned Ground Vehicles. 7th International Conference on Recent Advances in Space Technologies-RAST2015, İstanbul, Turkey, 660-663.

Çaşka, S. and Gayretli, A. 2016. An Algorithm for Collaborative Surveillance Systems with Unmanned Aerial and Ground Vehicles. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, **33(5)**: 208-212.

Çaşka, S. and Gayretli, A. 2016. An Unmanned Ground Vehicle-aided Task Exchange System Of Small Air Vehicles For Remote Surveillance Missions. *International Journal of Engineering Research and General Science*, **4(2)**: 873-883.

Arıkan Y., Çaşka S., Gayretli A, Oğuz Y. 2015. Dört Pervaneli İnsansız Hava Aracının Kontrolü için PID Kontrol Algoritmaları Geliştirilmesi ve Yörünge Takibi Uygulaması Yapılması, Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, Denizli, Türkiye, 10-12 Eylül, 926-930.