



**ULAŞTIRMA, DENİZCİLİK VE HABERLEŞME
BAKANLIĞI**

**SÜRÜ HALİNDE GÖREV YAPAN İNSANSIZ
HAVA ARAÇLARI VE TEKNOLOJİLERİ**

HAVACILIK VE UZAY TEKNOLOJİLERİ UZMANLIĞI TEZİ

Hakan URAL

Havacılık ve Uzay Teknolojileri Uzman Yardımcısı

Havacılık ve Uzay Teknolojileri Genel Müdürlüğü

Nisan, 2018

Ankara



**ULAŖTIRMA, DENİZCİLİK VE HABERLEŖME
BAKANLIĞI**

**SÜRÜ HALİNDE GÖREV YAPAN İNSANSIZ
HAVA ARAÇLARI VE TEKNOLOJİLERİ**

HAVACILIK VE UZAY TEKNOLOJİLERİ UZMANLIĞI TEZİ

Hakan URAL

Havacılık ve Uzay Teknolojileri Uzman Yardımcısı

Havacılık ve Uzay Teknolojileri Genel Müdürlüğü

Prof. Dr. H. Nafiz ALEMDAROĞLU

Atılım Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu Müdürü

Nisan, 2018

Ankara

Görev Yaptığı Birim: Havacılık ve Uzay Teknolojileri Genel Müdürlüğü

Tezin Teslim Edildiği Birim: Personel ve Eğitim Dairesi Başkanlığı

T.C.

ULAŞTIRMA, DENİZCİLİK VE HABERLEŞME BAKANLIĞI

Hakan URAL tarafından hazırlanan ve sunulan “Sürü Halinde Görev Yapan İnsansız Hava Araçları ve Teknolojileri” başlıklı bu tezin uzmanlık tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. H. Nafiz ALEMDAROĞLU

Atılım Üniversitesi Sivil Havacılık

Yüksekokulu Müdürü

25.04.2018



Bu çalışma, tez savunma komisyonumuz tarafından Havacılık ve Uzay Teknolojileri Uzmanlık tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan	Ahmet Belçelik GERT Müsteşar Yardımcısı
Üye	Gündüz YENGÜL Genel Müdür V.
Üye	Hasan PEHLİVAN Genel Müdür
Üye	Ergün ÖZGÜR Genel Müdür Yardımcısı
Üye	Dr. Bülent DOĞAN Genel Müdür Yardımcısı V.
Tarih 05/07/2018	

Bu tez, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı tez yazım kurallarına uygundur.

TEŞEKKÜR

Çalıőmam boyunca göstermiş oldukları katkı ve desteklerinden dolayı başta danıőmanım Prof. Dr. H. Nafiz ALEMDAROĞLU olmak üzere, amirlerime, çalışma arkadaőlarıma ve aileme teőekkürü bir borç bilirim.

BEYAN

Bu belge ile sunduğum uzmanlık tezimidaki bütün bilgileri akademik kurallara ve etik davranış ilkelerine uygun olarak toplayıp sunduğumu; ayrıca, bu kural ve ilkelerin gereği olarak, çalışmamda bana ait olmayan tüm veri, düşünce ve sonuçları andığımı ve kaynağını gösterdiğimi beyan eder, tezimle ilgili yaptığım beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ise, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

25.04.2018

Hakan URAL

Havacılık ve Uzay Teknolojileri

Uzman Yardımcısı

ÖZET

Çalışmada, insansız hava aracı tanımından ve tarihsel gelişiminden başlayarak geleceğe yönelik pazar öngörülerini incelenmiş, sürü sistemleri hakkında bilgi verilmiş, başta otonomi ve kontrol olmak üzere sürü sistemlerinin yüksek performans verebilmesi için gerekli kritik konular gerek sahada gerekse de simülasyon ortamında yapılan çalışmalar kapsamında anlatılmış ve kullanım alanları hakkında mevcut uygulamalar tanıtılmıştır. Tüm bu teknolojik hususlar ve pazar eğilimleri göz önünde bulundurularak mevcut sistemler için çalışmada bahsedilen kontrol algoritmaları ve yaklaşımların güçlü yönleri kullanılarak oluşturulan mevcut bir algoritma daha da geliştirilmiş ve simülasyon ortamında test edilmiştir. Son olarak; her çeşit İHA sisteminin geliştirilebilmesi için bir mükemmeliyet merkezi altyapısı önerilmiş, kullanım alanlarının artırılması ve daha güvenli operasyonlar yürütülebilmesi amacıyla İHA sistemlerinin sivil hava sahasına entegrasyonu konusunda değerlendirmelerde ve önerilerde bulunulmuştur. Çalışmanın ana hedefi başta sürü İHA sistemleri olmak üzere her türlü İHA sisteminin en üst düzey kabiliyetlerle ülkemiz tarafından geliştirilmesinin ve uygulamaların yapılmasının altyapısının oluşturulmasıdır.

Anahtar Kelimeler: İnsansız Hava Aracı, Kontrol Algoritmaları, Çarpışmaların Önlenmesi, Otonomi Seviyesi.

ABSTRACT

Within the scope of the study, starting from the unmanned aerial vehicle definition and historical development future market prospects have been examined and information about swarm systems has been given, critical topics to prove high performance with swarm systems, especially autonomy and control, have been explained within the scope of work done in the field or simulation environment, and current applications have been introduced. Based on all these technological aspects and market trends; an algorithm, which is created by using the strengths of the control algorithms and approaches mentioned in the study for existing systems, has been developed more and tested in the simulation environment. Finally, an excellence center infrastructure has been proposed for the development of all types of UAV systems, also evaluations and suggestions have been made on the integration of UAV systems into the civilian airspace in order to increase their usage area and enable safer operations. The main objective of the study is to develop the infrastructure of the development of all kinds of UAV systems, especially swarm UAV systems by our country with the highest capabilities and implementation of them.

Key Words: Unmanned Aerial Vehicle, Control Algorithms, Avoiding Collisions, Autonomy Level.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	iii
BEYAN.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
TABLO LİSTESİ.....	xiii
KISALTMA LİSTESİ	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. İHA TANIMI, TARİHÇESİ, MEVCUT DURUM VE EĞİLİMLER	4
2.1. İHA Nedir?.....	4
2.2. İHA Sistemi Elemanları	5
2.2.1. İHA	5
2.2.2. Faydalı yükler	6
2.2.2.1. Haberleşme ve izleme	6
2.2.2.2. Uzaktan algılama sensörleri	7
2.2.2.3. Navigasyon sistemi ve otopilot	16
2.2.2.4. Fırlatma ve iniş ekipmanı.....	17
2.2.3. Kontrol istasyonu	19
2.2.4. Arayüzler	20
2.2.5. Diğer sistemlerle uyum arayüzleri.....	20
2.2.6. Destek ekipmanı	21
2.2.7. Nakliye.....	21
2.3. İHA Tarihçesi.....	21
2.4. İHA'ların Sınıflandırılması	25
2.4.1. SHGM sınıflandırması.....	25

2.4.2.	JAPCC (Joint Air Power Competence Centre - Müşterek Hava Gücü Mükemmeliyet Merkezi)	27
2.5.	İHA Sektörünün Mevcut Durumu, Geleceğe Dair Öngörüler ve Eğilimler	28
2.5.1.	Dünyada mevcut durum	28
2.5.2.	Ülkemizde mevcut durum	30
2.5.2.1.	TUSAŞ (Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.)	31
2.5.2.2.	Baykar Makine	32
2.5.2.3.	Vestel Savunma Sanayii	33
2.5.2.4.	Altınay Havacılık ve İleri Teknolojiler A.Ş.	34
2.5.2.5.	Lapis Havacılık Teknolojileri A.Ş.	35
2.5.2.6.	STM A.Ş. (Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş.)	36
3.	SÜRÜ HALİNDE GÖREV YAPAN İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI	38
4.	SÜRÜ HALİNDE GÖREV YAPAN İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDA KRİTİK KONULAR	44
4.1.	Otonomi	44
4.1.1.	Otonomi seviyesi	46
4.1.2.	Çarpışmaların önlenmesi	47
4.1.2.1.	Hava sahasındaki olası çarpışmaların önlenmesi	49
4.1.2.2.	Sürü içindeki olası çarpışmaların önlenmesi	50
4.1.3.	Yol planlaması	51
4.1.4.	Otonomide geliştirilmesi gereken diğer hususlar	52
4.2.	İtki Sistemleri ve Çözümler	54
4.2.1.	İçten yanmalı ve gaz türbin motorlar	55
4.2.2.	Elektrik motorları	56
4.2.2.1.	Batarya dolumu	56
4.2.2.2.	Batarya değişimi	61
4.2.2.3.	Yeni nesil pil teknolojilerinin kullanımı	62
4.2.3.	Hibrit elektrikli motorlar	64
4.2.4.	Yakıt hücreleri	65
4.2.5.	Güneş enerjisi	66

4.3.	Aksamalar ve Esneklik.....	68
4.3.1.	Aksamalar	68
4.3.2.	Uygulanabilir esneklik konseptleri	69
4.3.3.	Esneklik konseptlerine dair zorluklar	71
4.4.	Verilerin İşlenmesi	73
5.	KONTROL YAKLAŞIMLARI, ALGORİTMALAR.....	75
5.1.	Sürü İHA Kontrolüne Yönelik Yaklaşımlar.....	78
5.1.1.	Basit takım oluşturma yaklaşımı	78
5.1.2.	Mutabakat değişkeni yaklaşımı.....	81
5.1.3.	SPF (Stigmergic Potential Fields - Stigmerjik Potansiyel Alanlar) yaklaşımı	84
5.2.	Sürü İHA Kontrol Algoritmaları	86
5.2.1.	Paralel genetik algoritma.....	86
5.2.2.	Karma algoritması	89
5.2.3.	PSO (Particle Swarm Optimization - Parçacık Sürü Optimizasyonu) algoritması	92
6.	SÜRÜ HALİNDE GÖREV YAPAN İHA'LARIN KULLANIM ALANLARI.....	96
6.1.	Tarım.....	97
6.2.	Doğal Afet.....	99
6.3.	Sızıntı Tespiti	102
6.4.	Atmosferik Veri Toplama (Hava kirliliği, ozon tabakası incelmeleri vs.)	103
6.5.	Orman Yangını.....	105
6.6.	Alternatif Kullanım Alanları	107
7.	TESPİTLER VE ÖNERİLER	109
7.1.	Kontrol Algoritması Simülasyonu	109
7.2.	İHA Mükemmeliyet Merkezi	112
7.3.	İHA'ların Sivil Hava Sahasına Entegrasyonu.....	113
7.3.1.	Hukuk.....	113
7.3.2.	Hava trafiği	115
7.3.3.	Teknoloji.....	116

7.3.4. İHA'ların sivil hava sahasına entegrasyonunda çalışma yapılacak alanların yönetimi	118
8. SONUÇ VE GENEL DEĞERLENDİRME	120
KAYNAKLAR	126
ÖZGEÇMİŞ	134

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1: 2015 yılında gerçekleşen Nepal depreminin ardından alınmış bir görüntü.....	9
Şekil 2: Kızılötesi kameralarla alınmış bir şehir görüntüsü.....	10
Şekil 3: Multispektral kamera ile yapılan görüntüleme örneği.....	11
Şekil 4: Hiperspektral kamera ile yapılan görüntüleme örneği	12
Şekil 5: SAR ile yapılan görüntüleme örneği	13
Şekil 6: LIDAR ile yapılan görüntüleme örneği.....	14
Şekil 7: Alman ESG firmasının geliştirdiği CBRN sensörüne sahip İHA platformu.....	15
Şekil 8: Delft Teknik Üniversitesi tarafından geliştirilen otopilot	17
Şekil 9: İHA'nın katapulttan fırlatılması	18
Şekil 10: Fırlatma sistemi kullanımı.....	18
Şekil 11: İHA'nın iniş için paraşütünü kullanması.....	19
Şekil 12: Teledyne Ryan Q-2 Firebee.....	23
Şekil 13: Lightning Bug.....	23
Şekil 14: Pathfinder	24
Şekil 15: Sivil İHA pazarı tahmini (2016-2022)	28
Şekil 16: Ehang 184 hava aracı.....	30
Şekil 17: ANKA-S	32
Şekil 18: Bayraktar İHA	33
Şekil 19: Karayel İHA	34
Şekil 20: Altınay İHA	35
Şekil 21: Trogon İHA	36
Şekil 22: Kuş sürüsü	39
Şekil 23: Sürü İHA test uçuşu.....	41
Şekil 24: Sürü İHA gösterisi.....	42
Şekil 25: İHA burnuna yerleştirilmiş tespit sistemi.....	49
Şekil 26: İHA'ya giden lazer ışınının şematik gösterimi.....	57
Şekil 27: Sabit platform	58
Şekil 28: Uzatılmış menzil.....	58
Şekil 29: Uzun dayanım.....	59
Şekil 30: Mikro İHA için kablosuz şarj yönteminin şematik gösterimi	60
Şekil 31: Sistem donanımı ve alt bileşenleri.....	62
Şekil 32: Lityum nikel mangan kobalt oksit pil kullanan Solar Impulse 2 hava aracı.....	64
Şekil 33: Esnek sürü İHA sistemleri kavramsal çerçevesi	71
Şekil 34: A'dan B'ye görev	76
Şekil 35: Basit takım oluşturma yaklaşımı görevi	79
Şekil 36: İHA sistem mimarisi blok diyagramı	80
Şekil 37: Dolaylı olarak sağlanan örnek bir iletişim ağı.....	81
Şekil 38: Mutabakat değişkeni yaklaşımı senaryosu	83
Şekil 39: (a) Kendine çeken, (b) iten, (c) kompleks alanlar	84

Şekil 40: Hiyerarşik kontrol mimarisi	85
Şekil 41: Önerilen sistem için örnek bir uygulama alanı	87
Şekil 42: Dubins eğrisi kullanarak dönüşlerin yumuşatılması.....	88
Şekil 43: Bezier eğrileri kullanarak dönüşlerin yumuşatılması	88
Şekil 44: 4 İHA ve 196 kontrol noktasından oluşan yumuşatılmış yol	89
Şekil 45: Mikro İHA örnekleri.....	90
Şekil 46: İHA sürü sisteminin şematik gösterimi	93
Şekil 47: Algoritma kablosuz kanallara karar vermeden önce başlangıçtaki durum.....	94
Şekil 48: İlk bağlantının sağlandığı durum	94
Şekil 49: İptal olan bağlantının yerine kurulan yeni bağlantı	95
Şekil 50: Tüm bağlantılar tamamlandıktan sonra sürünün durumu	95
Şekil 51: Çalışma senaryosu	97
Şekil 52: Uçuş testi sonuçları.....	98
Şekil 53: Arama kurtarma görevi sistem bileşenleri.....	100
Şekil 54: Görev kapsamında tespit edilen kırmızı ceket.....	101
Şekil 55: İHA konumlarının zamana göre değişimi	103
Şekil 56: İki ve üç adet kirlilik kaynağı tespiti simülasyonu	105
Şekil 57: Verilerin tespitinin başlaması	110
Şekil 58: İkinci İHA'nın katılımı	111
Şekil 59: 4 İHA'lı sürünün görünümü.....	111
Şekil 60: İHA entegrasyonunda hukuksal düzenlemeler	114
Şekil 61: Hava trafiği kapsamındaki çalışmalar	115

TABLO LİSTESİ

Tablo 1: SHGM İHA Sınıflandırması.....	25
Tablo 2: JAPCC İHA Sınıflandırması	27
Tablo 3: ANKA Blok-B teknik özellikleri	31
Tablo 4: Bayraktar İHA teknik özellikleri.....	33
Tablo 5: Karayel İHA teknik özellikleri	34
Tablo 6: Altınay İHA teknik özellikleri.....	35
Tablo 7: Trogon İHA teknik özellikleri.....	36
Tablo 8: İHA Sistemlerinin Otonomi Seviyesi.....	47

KISALTMA LİSTESİ

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ACAS	: Airborne Collision Avoidance System – Havada Çarpışmayı Önleme Sistemi
ADS-B	: Automatic Dependent Surveillance Broadcast – Otomatik Bağımlı Gözetim Yayın
AGL	: Above Ground Level – Yer Seviyesinin Üstü
BLOS	: Beyond Line of Sight – Görüş Hattının Ötesi
CBRN	: Chemical, Biological, Radiological and Nuclear – Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik ve Nükleer
DHMİ	: Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü
EGNOS	: European Geostationary Navigation Overlay Service - Avrupa Yer Sabit Navigasyon Yer Paylaşımı Hizmeti
FAA	: Federal Aviation Administration - Federal Havacılık Kurulu
GAGAN	: GPS Aided GEO Augmented Navigation – GPS Destekli Yer Sabit Yörüngeye Dayalı Navigasyon
GNSS/GLONASS	: Global Navigation Satellite System – Küresel Navigasyon Uydu Sistemi
GPS	: Global Positioning System – Küresel Konumlandırma Sistemi
HALE	: High Altitude Long Endurance – Yüksek İrtifa Uzun Dayanım
INS	: Inertial Navigation System – Ataletsel Navigasyon Sistemi
ICAO	: International Civil Aviation Organization - Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü
İHA	: İnsansız Hava Aracı
İHAS	: İnsansız Hava Aracı Sistemi

JAPCC	: Joint Air Power Competence Centre – Müşterek Hava Gücü Mükemmeliyet Merkezi
KAIST	: Korea Advanced Institute of Science and Technology – Kore Gelişmiş Bilim ve Teknoloji Enstitüsü
LIDAR	: Light Detection and Ranging – Işık Algılama ve Mesafe Ölçümü
LOS	: Line of Sight – Görüş Hattı
MALE	: Medium Altitude Long Endurance – Orta İrtifa Uzun Dayanım
MIT	: Massachusetts Institute of Technology - Massachusetts Teknoloji Enstitüsü
MSAS	: Multi-functional Satellite Augmentation System – Çok Fonksiyonlu Uydu Destek Sistemi
MSL	: Mean Sea Level – Ortalama Deniz Seviyesi
NASA	: National Aeronautics and Space Administration – Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NATO	: North Atlantic Treaty Organization – Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü
NIIRS	: National Imagery Interpretability Rating Scale – Görüntülerin Yorumlanabilirliği Ulusal Değerlendirme Ölçeği
PSO	: Particle Swarm Optimization – Parçacık Sürü Optimizasyonu
RADAR	: Radio Detection and Ranging – Radyo ile Tespit Etme ve Menzil Tayini
RF	: Radio Frequency – Radyo Frekansı
SAR	: Synthetic Aperture Radar – Yapay Açıklıklı Radar
SBAS	: Satellite Based Augmentation Systems - Uydu Tabanlı Destek Sistemleri
SHGM	: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
SHT-İHA	: İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı

SINUS	: Self-Organizing Intelligent Networks of UAVs – İHA'ların Kendi Kendini Organize Eden Akıllı Ağları
SPF	: Stigmergic Potential Fields – Stigmerjik Potansiyel Alanlar
SSCB	: Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği
STM A.Ş.	: Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş.
TCAS	: Traffic Collision Avoidance System – Trafik İkaz ve Çarpışma Önleme Sistemi
WAAS	: Wide Area Augmentation System - Geniş Alan Güçlendirme Sistemi

1. GİRİŞ

1800'lü yıllarda saldırı amacıyla üretilen insansız balonlar ve uçurtmalar, insansız uçabilen makineler konseptini ortaya çıkarmıştır. Günümüz İHA'larına (İnsansız Hava Aracı) benzer platformların ortaya çıkışı ise Birinci Dünya Savaşı yıllarına denk gelmektedir. Askeri ihtiyaçlara bağlı olarak gelişimini sürdüren ve 1950'li yıllarda geliştirilen İHA'lar, modern anlamdaki İHA'ların atası olarak kabul edilmektedir. Özellikle Vietnam Savaşı İHA'lar için yeni bir çağın başlangıcı olarak değerlendirilmektedir. 70'li yıllardan 90'lı yıllara kadar yalnızca askeri keşif ve gözetleme amacıyla kullanılan İHA'ların, 90'lı yıllardan itibaren bilimsel çalışmalar başta olmak üzere sivil amaçlarla da kullanımı başlamıştır. 2000'li yılların başından itibaren ise gelişen teknolojiyle beraber artan kabiliyetleri sayesinde kullanımdaki İHA sayısı ve İHA'ların kullanım alanları hızla artış göstermiştir.

Benzer şekilde Türkiye'de de öncelikle askeri alanda yaygın olarak kullanılan İHA'ların, günümüzde sivil alanlarda kullanımı da hızlı bir şekilde artış göstermektedir. Dünyadaki yeni eğilim ise birden çok İHA'nın bir arada kullanıldığı sürü İHA sistemleridir. Bu sistemler her boyutta hava aracını barındırabilmekte, genellikle mikro, mini, küçük ve taktik sınıftaki hava araçlarının bir arada kullanımı tercih edilmektedir. Üst sınıflarda yer alan hava araçlarına göre faydalı yük taşıma kapasitesi ve havada kalış süreleri daha sınırlı olmasına rağmen bu kısıtlamaların aşılmasına yönelik geliştirilen alternatif çözümler sayesinde ve üretim ve işletme maliyetlerinin düşük olması gibi sebeplerle bu hava araçlarının bir arada kullanımı tercih sebebi olmakta ve böylece daha maliyet etkin ve zamandan tasarrufu mümkün kılan görevler gerçekleştirilebilmektedir.

Bu çalışmadaki amaçlar;

- Sürü İHA teknolojisinin ulaştığı noktayı görmek,
- Bu teknolojiye dünya ile eş zamanlı olarak sahip olabilmek için çalışma yapılması gereken alanları tespit etmek,
- Mevcut ve gelecekte ortaya çıkması beklenen kullanım alanlarını belirlemek,

- Tezde bahsedilen algoritmaların güçlü yönlerini kullanarak oluşturulan bir algoritmanın daha da geliştirilmesiyle ve mevcut İHA teknolojilerini de göz önünde bulundurarak bir bölgedeki sızıntıyı/kirliliği tespit etmek ve sürü İHA sistemi ile bu salınımın takibinin yapılmasını sağlamak,
- İHA teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik bir İHA mükemmeliyet merkezi tasarımı yapmak,
- İHA'ların sivil hava sahasına entegrasyonunun sağlanabilmesi amacıyla bir yol haritası ve çalışma yapılması gereken alanları belirlemektir.

Bu kapsamda çalışmanın birinci bölümünde, genel hatlarıyla çalışma hakkında bilgi verilmekte, çalışmanın amacından ve kapsamından bahsedilmektedir.

İkinci bölümde, İHA'ların ortaya çıkışı, çeşitli otoriteler tarafından yapılan sınıflandırmalar, İHA'ların alt sistem elemanları ve kullanılan sensörler, dünyada ve ülkemizde İHA sektörünün mevcut durumu ve yapılan pazar araştırmaları kapsamında geleceğe dair öngörüler sunulmaktadır.

Üçüncü bölümde, çalışmanın odak noktası olan sürü halinde görev yapan İHA'lar anlatılmakta, hangi ihtiyaca karşılık ortaya çıktığı açıklanmakta ve avantajlarından bahsedilmektedir.

Dördüncü bölümde, sürü İHA sistemleri geliştirilmesinde otonomi ve itki sistemleri gibi kritik konular ve üzerinde çalışma yapılması gereken alanlar hakkında bilgi verilmekte ve bu konularda gerçekleştirilen çalışmalar anlatılmaktadır.

Beşinci bölümde, sürü İHA sistemleri geliştirilmesinde kritik konulardan bir diğeri olan kontrol açıklanmakta, kontrole yönelik yaklaşımlar ve algoritmalar detaylandırılmaktadır.

Altıncı bölümde, söz konusu sistemlerin mevcut kullanım alanları anlatılmakta ve gelecekte ortaya çıkması beklenen veya önerilen kullanım alanlarından bahsedilmektedir.

Yedinci bölümde, sürü İHA sistemlerinde kullanılmak üzere önerilen algoritmanın Matlab ortamında simülasyonu gerçekleştirilmektedir. Yine bu bölümde hem tekli İHA'ların hem de sürü sistemlerindeki teknik eksikliklerin giderilmesi ve Ar-Ge faaliyetlerinin yürütülebilmesi amacıyla bir İHA mükemmeliyet merkezi oluşumu önerilmektedir. Ayrıca, İHA'larla ilgili her türlü faaliyetin güvenli bir şekilde yürütülebilmesi için sivil hava sahasına entegre edilmesi gerektiği göz önüne alınarak bu kapsamda kısa, orta ve uzun vadede çalışma yapılması önerilen alanlar belirlenmiştir.

Son bölümde ise konu ile ilgili genel değerlendirmelerin ortaya konulduğu sonuç bölümü yer almaktadır.

Sürü halinde görev yapan İHA'lar hakkında literatür incelendiğinde yabancı literatürde 90'lı yılların başından itibaren yapılan yoğun araştırmalara karşın yerli literatürde henüz çok az sayıda çalışma yapıldığı görülmektedir, dolayısıyla çalışmanın genelinde yabancı literatürden faydalanılmıştır. Dünya genelinde yapılan araştırmalar incelendiğinde, çalışmaların özellikle otonomi ve kontrol alanında yoğunlaştığı görülmektedir. Başta mikro İHA'lar gibi taşıma kapasitesi çok sınırlı olan hava araçları için olmak üzere kütlesi 150 kg ve altında olan tüm İHA'lar için daha verimli yeni nesil itki sistemlerinin ve yeni nesil pil teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik olarak yapılan çalışmalar dikkat çekmektedir. Kullanım alanları incelendiğinde ise sürü İHA'ların askeri kullanımına yönelik araştırmalarla daha çok karşılaşmakta olup son zamanlarda başta tarım ve doğal afet alanlarında olmak üzere sivil kullanıma yönelik araştırmaların ve uygulamaların sayısının artış gösterdiği görülmektedir.

2. İHA TANIMI, TARİHÇESİ, MEVCUT DURUM VE EĞİLİMLER

2.1. İHA Nedir?

ABD (Amerika Birleşik Devletleri) Savunma Bakanlığı Askeri ve İlgili Terimler Sözlüğüne göre İHA; bir güç sistemine sahip, üzerinde aracı kontrol eden herhangi bir insan taşımayan, aerodinamik kuvvetler sayesinde gerekli taşıma kuvvetini sağlayan, otonom bir şekilde uçabilen veya bir pilot/operatör tarafından uzaktan kontrol edilebilen, karşı tarafa zarar veren veya vermeyen faydalı yükler taşıyabilen hava aracı olarak tanımlanmaktadır. Balistik veya yarı-balistik füzeler, seyir füzeleri ve topçu mermileri İHA olarak nitelendirilmemektedir (Dictionary of Military and Associated Terms, 2005).

SHGM (Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü) tarafından yayımlanan SHT-İHA'da (İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı) ise İHA; İHA Sistemi'nin bir bileşeni olarak işletilen, aerodinamik kuvvetler aracılığıyla sürekli uçuş yapma yeteneğinde olan, üzerinde pilot bulunmaksızın uzaktan İHA pilotu tarafından kontrol edilerek veya otonom operasyonu İHA pilotu tarafından planlanarak uçurulan ya da havada kalabilen hava aracı olarak tanımlanmıştır. İHA Sistemi ise İHA ile kontrol istasyonu, komuta ve kontrol veri bağı, kalkış ve iniş sistemi gibi uçuşun sağlanması için gerekli olan, birbirinden ayrı sistem elemanlarının bütünü şeklinde tanımlanmıştır.

Sivil ve askeri alanda İHA kullanımını kaçınılmaz kılan bazı sebepler mevcuttur. Bunlar şu şekilde özetlenebilir:

- Pilotların yaşayabileceği yaralanmalar veya pilotların yaşamlarını kaybetmesinin önüne geçilmesi,
- Görevin kapsamına göre araçta bulunan insanların zorlanabileceği ani manevraların gerekebilmesi,

- İnsanların dayanamayabileceği atmosferik koşullarda görev yapılmasının gerekebiliyor olması,
- İnsanların karşılaşılabileceği fiziksel ve mental yorgunlukların sebep olacağı zorlukların üstesinden gelinmesi.

Ayrıca, insanlı hava araçlarının yerine İHA'ların tercih edilmesinin bir diğer sebebi de İHA'ların üretim, operasyon ve bakım masraflarının insanlı hava araçlarına göre çok daha uygun olmasıdır.

2.2. İHA Sistemi Elemanları

İHA birçok bileşenden oluşan geniş çaplı sistemin bir elemanıdır. Bu sistemin elemanları aşağıda verilmiştir;

- İHA,
- Faydalı yükler;
 - Uzaktan algılama sensörleri,
 - Haberleşme ve izleme,
 - Navigasyon sistemi ve otopilot,
 - Fırlatma ve iniş ekipmanı,
- Kontrol istasyonu,
- Arayüzler,
- Diğer sistemlerle uyum arayüzleri,
- Destek ekipmanı,
- Nakliye (Austin, 2010).

2.2.1. İHA

İHA'nın ana amacı, görev gereksinimleri uyarınca üzerinde taşıdığı faydalı yükü uygulama alanına götürmek, aynı zamanda operasyon için gerekli alt sistemleri de faydalı yükün beraberinde taşımaktadır. Bu alt sistemler ve faydalı yükler; haberleşme altyapısı, kontrol ekipmanları, sensörler, itki sistemi, temel hava aracı gövdesi ve iniş takımı, iniş takımının

olmadığı durumlarda hava aracının havalanabilmesi için gerekli fırlatma veya kalkış için gerekli ekipmanlar ile iniş için gerekli ekipmanlardan oluşmaktadır.

Hava aracının tasarımında en önemli konular operasyonel menzil, hız ve ihtiyaç duyulan uçuş dayanımıdır. Dayanım ve menzil gereksinimi, fosil yakıtlı İHA'larda hava aracının yakıt ağırlığını, elektrikli İHA'larda ise batarya ağırlığını artırarak doğrudan aracın ağırlığına etki etmektedir. Düşük güç tüketimi ve yüksek performans ise verimli bir itki sistemi ve aerodinamik açıdan uygun bir gövde yapısı ile sağlanmaktadır. Örneğin askeri keşif amacıyla kullanılacak uzun dayanım gerektiren bir İHA'nın yüksek irtifada görev yapacak şekilde yüksek kanat açıklık oranına sahip ve sabit kanatlı olması önemli bir gerekliliktir.

2.2.2. Faydalı yükler

2.2.2.1. Haberleşme ve izleme

İHA'larda yer alan haberleşme ve izleme sisteminin temel görevi kontrol istasyonu ile hava aracı arasındaki çift yönlü (kontrol istasyonundan hava aracına¹, hava aracından kontrol istasyonuna²) iletişimi sağlamaktır. Bu iletişim genellikle radyo frekansları ile sağlanırken lazer ışını ve fiberoptik üzerine de çalışmalar mevcuttur. İHA'larda kullanılan haberleşmenin içeriği şu şekildedir;

- a) Yukarı (kontrol istasyonundan hava aracına);
 1. Uçuş güzergahını iletmek (bu veriler daha sonra hava aracının otomatik uçuş kontrol sisteminde de depolanmaktadır),
 2. İnsan kontrolünde bir görev gerçekleştirileceği zaman gerçek zamanlı uçuş kontrol komutlarını otomatik uçuş kontrol sistemine iletmek,
 3. Kontrol komutlarını hava aracına bağlı faydalı yüklere iletmek,
 4. Güncellenmiş konum bilgilerini otomatik uçuş kontrol sistemine iletmek.
- b) Aşağı (hava aracından kontrol istasyonuna);
 1. Hava aracının konumunu kontrol istasyonuna iletmek,

¹ Uplink

² Downlink

2. Faydalı yükü ilgili verileri kontrol istasyonuna iletmek,
3. Hava aracıyla ilgili yakıt durumu, motor sıcaklığı gibi teknik verileri kontrol istasyonuna iletmek.

Haberleşme ve izleme sisteminin tasarımı;

- i. Kontrol istasyonu merkez olacak şekilde hava aracının operasyon menziline,
- ii. Faydalı yüklerden ve hava aracının sistemlerinden aktarılabacak verilerin karmaşıklığına,
- iii. Güvenlik gereksinimlerine

göre değişim gösterebilmektedir (Austin, 2010).

İHA görevleri RF (Radio Frequency – Radyo Frekansı) görüş hattı içerisinde veya RF görüş hattı ötesinde gerçekleştirilmektedir. Görüş hattı içerisinde haberleşme hava aracı ile kontrol istasyonu arasında radyo haberleşme ağı ile gerçekleşmektedir. Bu haberleşme türündeki mesafe genellikle 370 km ile sınırlıdır. Görüş hattının ötesindeki haberleşme ise uydu haberleşme servisleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Genellikle askeri amaçlar için kullanılan bu haberleşme yönteminde menzil 965 km seviyesine kadar ulaşabilmektedir (Kakar, 2015).

2.2.2.2. Uzaktan algılama sensörleri

İHA'lar kendilerine atanan görev kapsamında çok çeşitli sensörler bulundurmaktadır. Sivil İHA'lar ile yürütülen görevlerde bunlardan en yaygın olarak kullanılanları uzaktan algılama amacıyla kullanılan algılama sensörleridir. Bu sensörler, uzaktan algılama sisteminin temel bileşenidir. Görüntülemeye yönelik sensörler çok çeşitli spektral çözünürlüklere sahiptir ve spektral hassasiyetlerine göre gruplandırılırlar.

Sınıf I'de yer alan İHA'lar için günümüzde kullanılan veya gelecekte kullanılabilecek uzaktan algılama sensörlerinden en önemlileri 3 temel başlık altında sınıflandırılabilir:

- i. Elektro-optik sensörler;
 - a. Görünür spektrum kameraları,
 - b. Termal kızılötesi sensörler,
 - c. Multispektral ve hiperspektral kameralar.

- ii. Radyo dalgası sensörleri;
 - a. RADAR (Radio Detection and Ranging - Radyo ile Tespit Etme ve Menzil Tayini),
 - b. SAR (Synthetic Aperture Radar - Yapay Açıklıklı Radar),
 - c. LIDAR (Light Detection and Ranging – Işık Algılama ve Mesafe Ölçümü).
- iii. CBRN (Chemical, Biological, Radiological and Nuclear - Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik ve Nükleer) sensörleri.

Askeri amaçlarla kullanılan İHA’larda ise yine benzer sensör sistemleri kullanılmakla beraber çeşitli silah sistemleri de yer almaktadır.

Özellikle görüntüleme yapılan sensörlerde görüntüleme sistemlerinin kalitesini ve performansını tanımlamak amacıyla NIIRS (National Imagery Interpretability Rating Scale – Görüntülerin Yorumlanabilirliği Ulusal Değerlendirme Ölçeği) kullanılmaktadır. 0-9 arasında verilen bu değerler hava araçlarında kullanılacak faydalı yüklerin kabiliyetlerine karar verilmesi noktasında önemli bir ölçüttür.

2.2.2.2.1. Elektro-optik sensörler

Elektro-optik sensörler günümüzün çoğu İHA’sında görüntülemeye yönelik temel alt sistemlerden biri olarak görülmektedir ve en yoğun şekilde kullanılan sensörlerdir. Farklı sınıflardaki İHA’larda kullanımı mümkün olan elektro-optik sensörlerin en çok tercih edilen türleri görünür spektrum kameraları, termal kızılötesi kameralar, multispektral ve hiperspektral kameralardır.

2.2.2.2.1.1. Görünür spektrum kameraları

Dijital kameralar olarak da bilinen görünür spektrum kameraları, elektromanyetik spektrumun insan gözünün de algıladığı dalga boyu aralığı olan 390 nm (3,9 µm) - 750 nm (7,5 µm) dalga boyları arasında etkindir. Gün ışığı altında verimli olan bu görüntüleme yöntemi yüksek çözünürlük sağlar (Hongguang, Wenrui, Xianbin ve Chunlei, 2017). Başta atmosferik koşullar

olmak üzere uçuş sırasındaki hareketler, motor kaynaklı titreşimler vb. durumlar görüntü kalitesi üzerinde ciddi etkilere sahiptir.

Görünür spektrum kameralarının son yıllardaki hızlı gelişimi çeşitli teknolojilerin gelişimine de katkı sağlamıştır. Özellikle kameralardaki görüntüleme kalitesinin artmasına karşın kamera boyutlarında meydana gelen küçülme ve maliyetlerin düşmesi akıllı telefonlarda bu kameraların kullanımını yaygınlaştırmış, dolayısıyla İHA'ların görüntüleme sistemi olarak akıllı telefonların kullanımı dahi mümkün hale gelmiştir (Molina ve Colomina, 2014).

Şekil 1: 2015 yılında gerçekleşen Nepal depreminin ardından alınmış bir görüntü



Kaynak: <https://irevolution.files.wordpress.com/2015/05/nepal-aerial-image-copyright-medair-rob-fielding.jpg>

Kullanım amacından veya kameranın türünden bağımsız olarak kamera geometrik modellerinin hazırlanması gereklidir. Bu modeller lenslerden veya hava aracının hareketlerinden kaynaklı hataların giderilmesi, görüntüleri alınan 3 boyutlu nesnelerin 2 boyutlu görüntü haline getirilmesi veya haritalama yapılması gibi konularda çeşitli imkanlar sağlamaktadır. Kalibrasyon da bu kapsamda değerlendirilmektedir.

2.2.2.2.1.2. Termal kızılötesi sensörler

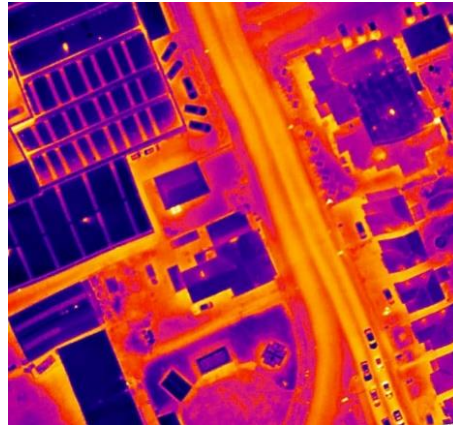
İHA'larda yaygın olarak kullanılan bir diğer görüntüleme sensörü termal kızılötesi sensörlerdir. Termal ve kızılötesi sensörler arasındaki fark sırasıyla yayılan ve yansıtılan enerjiden kaynaklanmaktadır. Termal kızılötesi sensörler, sıcaklıkları mutlak sıfırdan yüksek olan

nesnelerin dalga boyu ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak kızılötesi radyasyon yaydığı varsayımına dayanarak enerjiyi tespit eder.

Bu sensörler görünür spektrum kameralarına göre daha uzun dalga boylarında etkin ve kısa dalga (0,9-1,7 μm), orta dalga (3-5 μm) ve uzun dalga (8-12 μm) olmak üzere üç farklı aralıkta görüntüleme yapabilmektedir. Herhangi bir aydınlatma kaynağına ihtiyaç duymayan bu sensörler için hedefin kendisi bir aydınlatma kaynağıdır (Valavanis ve Vachtsevanos, 2015). Doğada yer alan maddelerin hepsinin farklı termal radyasyon özellikleri mevcuttur. Dolayısıyla jeolojik veya çevreyle ilgili çalışmalarda bu sensörlerin kullanımı büyük fayda sağlamaktadır.

Termal kızılötesi sensörler görünür spektrum kameralarının aksine atmosferik koşullardan etkilenmeyerek gözlem yaptıkları bölgedeki gizlenmiş olsa bile her türlü kaynaktan yayılan ısıları ve bu ısı değerlerindeki ufak değişimleri tespit etme yeteneğine sahiptir (Hongguang, v.d. 2017). Görüntüler üzerindeki her piksel sıcaklık değerlendirmesi için dönüştürülür. Bu kapsamda en parlak renkler en sıcak kısımları temsil etmektedir. Orta sıcaklıklar kırmızı ve sarı olarak gösterilirken soğuk kısımlar mavi renkle temsil edilmektedir.

Şekil 2: Kızılötesi kameralarla alınmış bir şehir görüntüsü



Kaynak: <http://www.pobonline.com/articles/98509-bluesky-launches-new-thermal-mapping-service>

Geçmişte kullanılan benzer görüntüleme sistemleri hacim olarak büyük ve pahalı soğutma sistemlerine sahip olmasına rağmen yeni nesil sensörler daha küçük boyutlu ve hafiftir. Fakat

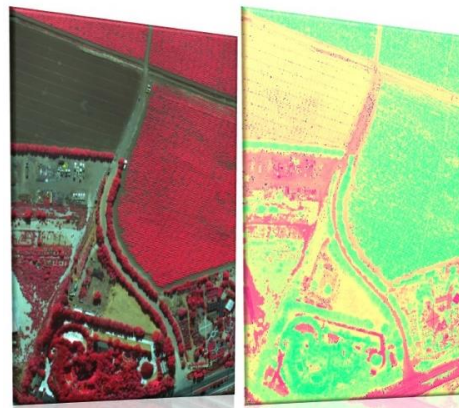
maliyet açısından bakıldığında İHA'lar için uygun boyutlardaki termal kızılötesi kamera fiyatları görünür spektrum kamera fiyatlarının çok üzerindedir (Whitehead ve Hugenholtz, 2014).

2.2.2.2.1.3. Multispektral ve hiperspektral kamera

Multispektral kameralar ile yapılan görüntülemelerde elektromanyetik spektrumun mor ötesi, görünür spektrum ve kızılötesi bölgelerinden birden fazla dalga boyunda (genellikle 3-15 arasında) görüntü alınmakta ve bu görüntüler uygun yazılımlarla işlenerek istenen görüntüye ulaşılmaktadır.

Multispektral görüntülemelerde daha önce bahsedilen görüntüleme yöntemlerinden farklı olarak alınan görüntünün tanımlanabilmesi için öncelikli olarak sınıflandırılması gerekmektedir. Bu sınıflandırma teknikleri denetimli ve denetimsiz olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Denetimli sınıflandırmada daha önce alınan benzer görüntülerden faydalanılması sebebiyle uzmanlık büyük önem arz etmektedir. Denetimsiz sınıflandırmada ise daha önceden alınmış bir görüntüye ihtiyaç duyulmamaktadır.

Şekil 3: Multispektral kamera ile yapılan görüntüleme örneği



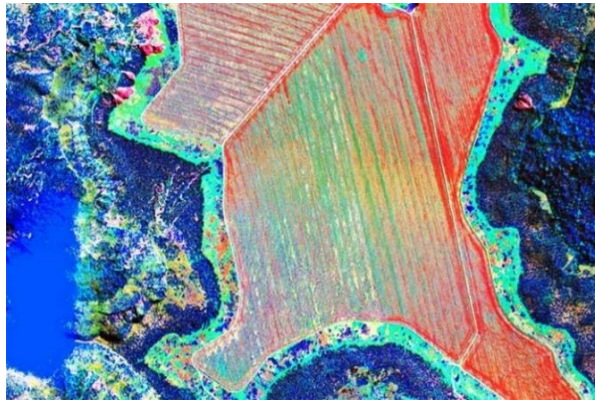
Kaynak: <http://www.altoy.com.tr/assets/service-images/multispectral.jpg>

Hiperspektral kameralarla yapılan görüntülemelerde de multispektral görüntülemeye benzer şekilde mor ötesi, görünür bölge ve kızıl ötesi bölgelerinden birden fazla dalga boyunda görüntü

alınmakta ve bu görüntüler uygun yazılımlarla işlenerek istenen görüntüye ulaşılmaktadır. Fakat buradaki farklılık çok daha dar aralıklı ve çok daha fazla sayıda bant (200 ve üstü) seçilmesi sonucu çok daha detaylı görüntülerin elde edilebilmesidir. Son zamanlarda gelişen hiperspektral kamera teknolojisi sayesinde İHA'larla metre altı (20 cm'ye kadar) çözünürlüklerde görüntüleme rahatlıkla yapılabilmektedir (Pajares, 2015).

Bu kameralarla yapılan görüntülemelerde veri fazlalığından dolayı verilerin işlenmesi ve yorumlanması aşamasında bu görüntülemelerde ne tür verilerin elde edildiği ve sensörlerden gelen ölçümlerle gerçek verilen nasıl ilişkilerindeleceği hususları önem arz etmektedir. Örneğin, görüntülenen cisimlerin farklı dalga boylarında farklı parlaklık/yoğunluk değerleri olmaktadır. Daha önceden edinilmiş bir ön bilgiyle bu cisimlerin türünü veya malzeme içeriğini tanımlamak mümkün olabilmektedir (Valavanis ve Vachtsevanos 2015).

Şekil 4: Hiperspektral kamera ile yapılan görüntüleme örneği



Kaynak: https://gamaya.com/wp-content/uploads/2016/02/Inside_field.jpg

Bu teknolojinin en büyük iki dezavantajı maliyet ve karmaşıklığıdır. Hiperspektrumlu veri kümelerinin boyutları düşünüldüğünde depolamanın üçüncü bir dezavantaj olarak ortaya çıktığı görülmektedir. Güçlü grafik işleme birimlerinin bulunması, bu teknolojinin daha yaygın şekilde kullanımının önünü açabilecektir. Bununla birlikte, hiperspektral görüntülemenin tüm potansiyelini açığa çıkarmaya yönelik olarak analitik teknikler ve algoritmaların geliştirilmesi için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Valavanis ve Vachtsevanos 2015).

2.2.2.2.2. Radyo dalgası sensörleri

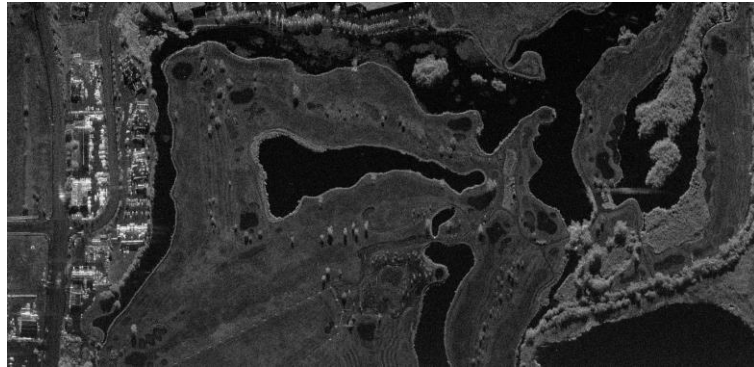
2.2.2.2.2.1. RADAR

RADAR, elektromanyetik dalga olarak radyo dalgalarının ve mikrodalga sinyallerinin verici anten vasıtasıyla gönderilmesi ve bu yansımaların anten ve alıcı yardımıyla alınması sonucu çevredeki cisimlerin uzaklığını, yüksekliğini, yönünü ve hızını tespit etmeye yarayan bir sensör çeşididir. Elektromanyetik dalgaların yayılması için herhangi bir maddeye ihtiyaç duyulmaması sebebiyle radar sistemleri özellikle atmosfer ve dünya dışı görevlerde yoğun olarak tercih edilmektedir. Radarlar yüksek enerji tüketiminin yanı sıra ağırlık ve boyut olarak da İHA'lar için kullanımı uygun olmadığından henüz tercih edilmemektedir. Fakat son yıllarda geliştirilen SAR teknolojisi Radar sistemlerinin İHA'larda kullanımını mümkün kılar hale getirmiştir. (Valavanis ve Vachtsevanos 2015).

2.2.2.2.2.2. SAR

SAR, olabilecek en büyük antenin ve yayın açıklık yüzeyinin elektronik simülasyonunu yapabilen bir sistemdir. SAR Sistemleri, keşif ve gözetleme temel amacıyla hava koşullarından bağımsız olarak günün her saatinde uzun menzilden yüksek çözünürlüklü görüntü oluşturabilen gelişmiş radar sistemleridir (Liu ve Mason, 2016).

Şekil 5: SAR ile yapılan görüntüleme örneği



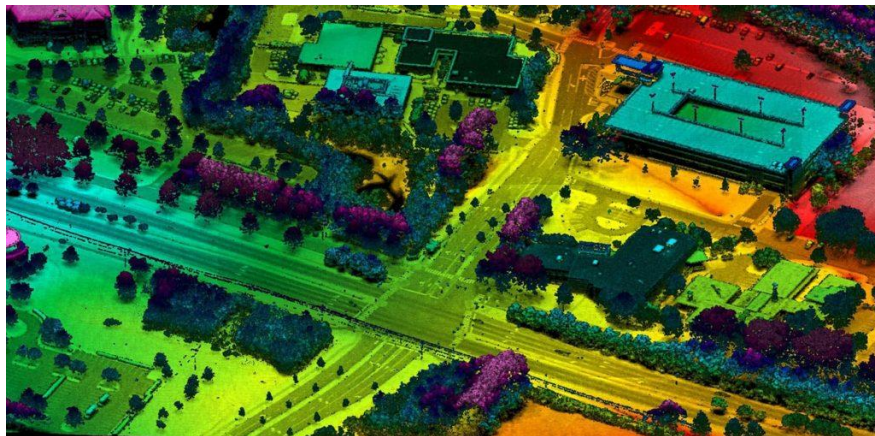
Kaynak: <http://tacticaldefensemedia.com/wp-content/uploads/2014/10/SAR-golf-1024x495.png>

Çoğu radar teknolojisinde olduğu gibi SAR sistemlerinin de temel kullanım alanı askeri uygulamalardır. Gece/gündüz farketmeksizin her türlü hava koşulunda kullanılabilmesi sebebiyle halihazırda istihbarat, keşif ve gözlem amaçlarıyla askeri kaynaklar tarafından yoğun olarak kullanılmaktadır. SAR sistemlerinin askeri kullanımının yanı sıra afet durumları sırasında, haritacılıkta ve tarım alanları başta olmak üzere sivil kullanım alanları da çok geniştir. SAR sistemleri Sınıf I kapsamındaki İHA'lar için hala geliştirilme aşamasında olsa da Sınıf II ve Sınıf III'te yer alan İHA'lar için görev tanımına uyduğu takdirde aktif olarak kullanılmaktadır.

2.2.2.2.3. LIDAR

LIDAR, bir kaynaktan gönderilen ışınların karşılaştıkları nesnelere çarpması ile bu ışınların kaynağa geri dönmesi arasında geçen süre kullanılarak her nokta için aradaki mesafe değerinin hesaplanması temeline dayanan, mor ötesi, görünür veya kızılötesi dalga boylarından faydalanan bir uzaktan algılama teknolojisidir (Pajares, 2015). Uzaktan algılamanın yapıldığı bölgede ışık sabit hızla hareket ettiğinden ve bu hız bilindiğinden, LIDAR sensörleri hedefle arasındaki mesafeyi yüksek doğruluk oranlarıyla tespit edebilmektedir.

Şekil 6: LIDAR ile yapılan görüntüleme örneği



Kaynak: http://apogeospatial.com/wp-content/uploads/2017/02/Harris_Intersections_3D-1024x506.jpg

Bir ışın, bitki örtüsü, enerji hatları veya bina gibi nesnelere çarptıktan sonra birden fazla yansıma sinyali kaydedilir. Yansıyıp gelen ilk sinyal nesnenin maksimum noktasını ifade eder. Sonraki alınan sinyaller ise bir ağaca ait gövde veya dallarına ya da bir bitki örtüsünün farklı tabaklarına çarpıp daha sonra kaydedilen yansıma sinyalleridir. Son gelen sinyal ise taban zemininden yansıyıp gelen sinyaldir (Liu ve Mason, 2016).

2.2.2.2.3. CBRN sensörleri

CBRN sensörleri ve algılayıcıları kimyasal, biyolojik, radyoaktif ve nükleer tehditleri tespit etmek üzere özelleşmiş sistemlerdir. Fabrikalarda veya güç santrallerinde meydana gelen arızalar, tehlikeli maddelerin nakliyesi sırasında gerçekleşen kazalar, terörizm ve sabotaj, beklenmedik kimyasal, biyolojik, radyoaktif veya nükleer felaketler yaratma potansiyeline sahiptir. Bu yıkıcı olaylar, hızlı ve etkili müdahale ve kurtarma çabaları gerektirir fakat müdahale edecek ekipler için son derece tehlikeli ve güvensizdir.

Şekil 7: Alman ESG firmasının geliştirdiği CBRN sensörüne sahip İHA platformu



Kaynak: <https://www.cbrneportal.com/wp-content/uploads/2013/10/Bruker660x400.jpg>

İHA'lar, insanların bu sağlıksız ve tehlikeli ortamlara maruz kalmasını önemli ölçüde azaltırken, en olumsuz koşullarda bile sürekli olarak durumu izleme imkanı ve veri akışı sağlamakta, bu sayede de yoğun olarak tercih edilmektedir (Pajares, 2015). Bu sensörlerin tamamı tek bir İHA üzerinde bulundurulabileceği gibi, görevin gerçekleştirildiği bölgeye ve durumun aciliyetine göre çok sayıda İHA'nın kullanıldığı bir görev kapsamında her İHA'ya farklı sensörler entegre edilmesi mümkündür.

2.2.2.3. Navigasyon sistemi ve otopilot

İHA'nın anlık olarak konumunun bilinmesi operatör için en önemli konulardan birisidir. Ayrıca hava aracının görevin herhangi bir bölümünde kısmen veya tamamen otonom uçuş yapması gerekiyorsa, konum bilgisi yine yüksek derecede önem arz etmektedir. Bu durum görev planlarının bir kısmı için ya da İHA ile kontrol istasyonu arasındaki bağlantının kopması durumunda "üsse dönüş" için gerekli olabilmektedir.

Çoğu İHA navigasyon sisteminin merkezinde başta GPS (Global Positioning System – Küresel Konumlandırma Sistemi) olmak üzere GNSS (Global Navigation Satellite Systems - Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri) ve INS (Inertial Navigation System - Ataletsel Navigasyon Sistemi) bulunur. Bu sistemler birbirlerinin tamamlayıcısı olarak kabul edilmişlerdir ve sonuç olarak GPS ve INS sensörleri, otopilot sistemlerinin çoğunluğu için tercih edilen bir sensör çifti haline gelmiştir.

Bir INS donanımında birbirine dik üç eksene yerleştirilmiş ivmeölçerler kullanılarak bu eksenler boyunca sisteme etki eden kuvvetler ölçülür. Yine bu eksenlere yerleştirilmiş üç adet jiroskop, sistemin her bir eksen etrafındaki dönüş hızını ölçer. Bu ölçümler işlenerek yerküreye göre konum, hız ve yönelim bilgileri elde edilir.

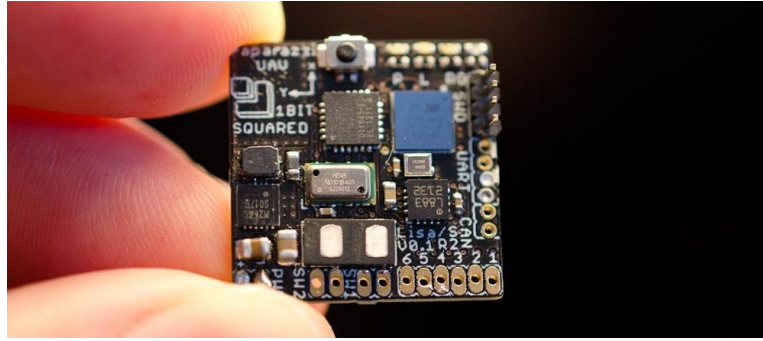
INS sensörlerinin maliyeti ve doğruluğu arasındaki dengenin sağlanabilmesinde zorluklara ve GPS'in özellikle askeri alanda karşılaşılabileceği engellemelere karşı alternatif sensör kombinasyonlarına olan ilgi artış göstermiştir. WAAS (Wide Area Augmentation System - Geniş Alan Güçlendirme Sistemi), EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service - Avrupa Yer Sabit Navigasyon Yer Paylaşımı Hizmeti), GAGAN (GPS-Aided GEO Augmented Navigation – GPS Destekli Yer Sabit Yörüngeye Dayalı Navigasyon) ve MSAS (Multi-functional Satellite Augmentation System – Çok Fonksiyonlu Uydu Destek Sistemi) gibi SBAS (Satellite Based Augmentation Systems - Uydu Tabanlı Destek Sistemlerinin) sağladığı düşük maliyetli seçeneklerin gelecekte yoğun bir şekilde kullanılabilir olacağı fazlasıyla mümkün görünmektedir. Galileo, Compass'ın devreye sokulması ve GLONASS'ın modernizasyonu ile sivil kullanıcılar için metre altı hassasiyet de mümkün olacaktır. Bu da,

önümüzdeki yıllarda sistemlerin birlikte çalışabilirliğini teşvik edecektir (Valavanis ve Vachtsevanos 2015).

Otopilot içinde yer alan navigasyon sisteminde kullanılan sensörler yalnızca GPS ve INS değildir. Araç konumuna dair tahminlerin doğruluğunu artırabilmek amacıyla barometrik basınç sensörü ve hava hızı sensörü gibi sensörler de kullanılabilir. Ayrıca özellikle üzerinde batarya taşıyan İHA sistemlerinde kalan enerjinin hesaplanabilmesi amacıyla otopilot üzerinde voltaj ve akım sensörlerinin yer alması önemlidir.

Son yıllarda tüm sistemlerde olduğu gibi otopilot sistemlerinde de kabiliyetler artarken boyutlar küçülmüş ve ağırlıklar azalmıştır. 2013 yılında Delft Teknik Üniversitesi tarafından geliştirilen otopilot 2x2 cm boyutlarına sahip olup 1,9 gram kütleye sahiptir (New Atlas, 2013).

Şekil 8: Delft Teknik Üniversitesi tarafından geliştirilen otopilot



Kaynak: <https://img.newatlas.com/smallestautopilot-13.jpg?auto=format%2Ccompress&fit=max&h=670&q=60&w=1000&s=d6dc78d7ef88b1339dfddc788adcdfdd>

2.2.2.4. Fırlatma ve iniş ekipmanı

a) Fırlatma

- i. **Katapult ile havalanma:** Dikey kalkış yeteneğine sahip olmayan hava araçlarının katapult sistemine entegre edilebilmesi için gövdenin altında ek aparatlar yer almaktadır.

Şekil 9: İHA'nın katapulttan fırlatılması



Kaynak: http://www.infodefensa.com/archivo/images/ScanEagle_US%20Marines%20Corps.jpg

- ii. **Fırlatma sistemi ile havalanma:** Katapult ile havalanma yönteminin bir benzeri olarak füze fırlatma sistemleri İHA'lar için de kullanılabilir. Buradaki önemli nokta, kanat ve kuyukları fırlatmadan önce kapatılarak fırlatıcının içine yerleştirilebilir boyutlara gelen hava aracının kanat ve kuyuklarının fırlatmadan sonra açılarak geleneksel tasarıma sahip uçaklar şeklinde görevini gerçekleştirebilmesidir.

Şekil 10: Fırlatma sistemi kullanımı



Kaynak: https://www.popsci.com/sites/popsci.com/files/styles/1000_1x_/public/locuststill.jpg

- b) **İniş:** Üzerinde iniş takımı bulunduran hava araçlarının haricinde, fırlatma sistemlerine benzer şekilde iniş için gerekli ekstra ekipmanlar da dikey iniş yeteneğine sahip olmayan hava araçları için gereklidir. Bu ekipmanlar genellikle hava aracı üzerinde yer alan paraşütlerdir ve uygun bir yükseklikte açılarak hava aracının güvenli bir şekilde iniş yapmasını sağlamaktadırlar. Ayrıca hava yastığı veya kırılabilir malzemeler de iniş sırasında hava aracının yerle temas edecek kısımlarına monte edilerek çarpma sonucunda ortaya çıkacak enerjinin emilimi sağlanabilmektedir.

Şekil 11: İHA'nın iniş için paraşütünü kullanması



Kaynak: https://static.wixstatic.com/media/a5143f_c1b209003205417981e5fd83523b3dfc~mv2.jpg

2.2.3. Kontrol istasyonu

Genellikle yerde konuşlu olmasına rağmen, görev gereksinimlerine bağlı olarak gemilerde veya uçaklarda da konuşlandırılabilen, operasyonun kontrol merkezidir. Görev planlamalarının da gerçekleştiği merkez olması dolayısıyla görev planlama ve kontrol merkezi olarak da adlandırılabilir. Bazı durumlarda ise görev ana komuta merkezinde tanımlanır ve görevin gerçekleştirilmesi için veriler kontrol istasyonuna gönderilir.

Kontrol istasyonunda yer alan İHA kullanıcısı, haberleşme sistemi aracılığıyla kontrol istasyonu ile İHA arasında bağlantı kurarak uçuşu yönetmek ve İHA'nın taşıdığı fadalı yük ile

görevlerini gerçekleştirmesini sağlamak gibi eylemlerde bulunmaktadır. Hava aracı yine haberleşme sistemi aracılığıyla kontrol istasyonuna benzer şekilde bilgi ve görüntü aktarmaktadır. Bu bilgi faydalı yüklerle ilgili veriler, hava aracının alt sistemleriyle ilgili durum bilgileri veya hava aracının konum bilgisini içerebilmektedir.

Kontrol istasyonu aynı zamanda İHA sistemi haricindeki sistemler ile iletişim kurabilmek için de alt sistemlere sahiptir. Bu sistemler meteoroloji verilerinin alınması, ağdaki diğer araçlarla iletişim kurulması, daha geniş kapsamlı bir görev için faaliyet yürütüldüğünde üst birimlere veri aktarımı sağlanması veya yetkili otoritelere uçuş bilgilerinin raporlanması gibi eylemler için kullanılmaktadır.

2.2.4. Arayüzler

İHA'da yer alan tüm bu sistemlerin veya alt sistemlerin bir arada çalışması, tüm sistemin başarıyla çalışması için mecburidir. Bu sistemlerden bazıları tek başına da kullanılabilir sistemler olmasına rağmen bir sistemin içerisinde alt sistem olarak kullanıldıklarında diğer alt sistemlerle uyum içinde çalışmaları gerekmektedir. Örneğin, kontrol istasyonu ve İHA üzerinde yer alan haberleşme sistemleri, bunların alt birimleri ve bağlı oldukları ana sistemler aynı protokollerde görev yapmalıdır, bu da ortak bir arayüzle sağlanmaktadır. İHA sistemleri farklı ülkelerde farklı radyo frekanları ve güvenlik kodlamalarıyla çeşitli amaçlarla (sivil veya askeri) kullanılabilir. Dolayısıyla İHA sisteminde yer alan alt sistemlerin farklı operatörler tarafından da kullanılabilir olması gerekmekte olup, bu durum ortak arayüzlerin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır (Austin, 2010).

2.2.5. Diğer sistemlerle uyum arayüzleri

İHA'ların üstlendikleri görev kapsamında bir dış kaynaktan bilgi alıp istenilen verileri bu dış kaynağa belirli zaman aralıklarında veya görevin bölümleri sonunda raporlaması gerekebilmektedir (Austin, 2010).

Askeri alanda bu ihtiyaç diğer İHA sistemleri, uydular, yerde konuşlu birlikler, gemiler veya insanlı hava araçlarıyla iletişim kurulması olarak ortaya çıkmakta olup sivil alanda da kullanımı gerekli olabilmektedir. Örneğin İHA'larla yangın tespiti görevlerinde bölgede yer alan itfaiyelerle iletişim halinde olmak yangına müdahale süresini büyük ölçüde kısaltacaktır. Bu kapsamda kaydedilen verilerin paylaşılabilmesi ve dış kaynaklarla iletişim kurulabilmesi amacıyla çeşitli ekipmanlar gerekmektedir.

2.2.6. Destek ekipmanı

İHA sistemleri tanımlanırken unutulmuş birimlerden birisi destek ekipmanlarıdır. Küçük İHA'lar için küçük destek ekipmanı yeterli olabiliyorken, büyük sistemler için önemli bir destek birimine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ekipmanlar operasyon ve bakım kitapçıklarından özel test ekipmanlarına ve güç sağlama sistemlerine kadar geniş bir yelpazede yer almaktadır (Austin, 2010).

2.2.7. Nakliye

İHA sistemleri genellikle mobil sistemlerdir. Dolayısıyla yukarıda bahsedilen sistem elemanlarının her birinin nakliyesi de gereklidir. Dikey iniş ve kalkış yapabilen küçük boyutlu bir İHA'nın nakliyesi için bir araç ve iki kişilik bir ekip yeterli olabiliyorken, iniş takımlarına sahip ve kalkış için bir piste ihtiyaç duyan, yüksek irtifa uzun dayanıma sahip bir İHA için 10 kişilik bir ekip ve 6 araçlık bir katile gerekebilmektedir. İHA sistemleri sabit merkezlerden kontrol ediliyor olsa bile uçuşlar arası yapılacak bakımlar için yedek parça ihtiyacı gibi çeşitli nakliye ihtiyaçları bulunmaktadır (Austin, 2010).

2.3. İHA Tarihçesi

İHA'larla ilgili olarak yapılan çeşitli çalışmalar incelendiğinde İHA tarihçesinin 4 aşama halinde sınıflandırılabilceği görülmektedir (Karakoc, Ozerdem, Sogut, Colpan, Altuntas, Açıkcalp, 2016).

Aşama 1:

“İnsansız uçabilen makineler” konsepti üzerine ilk çalışmalar bu aşamada gerçekleşmiştir. 1800’lü yıllarda saldırı amacıyla insansız balonlar ve uçurtmalar kullanılmıştır (Monash Üniversitesi, 2017).

Aşama 2:

Günümüzün İHA’larının benzerleri ilk olarak Birinci Dünya Savaşı yıllarında askeri alandaki gelişmelere bağlı olarak ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu dönemde üretilen balistik füzeler, seyir füzeleri veya benzeri silahlar İHA tanımına uygun düşmemesine rağmen bu alanlarda yapılan çalışmalar modern İHA’ların ortaya çıkmasında önemli bir role sahiptir (Dictionary of Military and Associated Terms, 2005).

Birinci Dünya Savaşı süresince Birleşik Krallık, Almanya ve ABD tarafından benzer “güdümlü bombalar” üzerine araştırma ve geliştirme programları sürdürülmüştür. Fakat Birinci Dünya Savaşı’nın sona ermesinin ardından güdümlü bombalara yönelik araştırma ve geliştirme çalışmaları azalmış ve bu ilgi 1930’lu yıllarda radyo kontrollü hedef İHA’ların geliştirilmesine kadar yeniden canlanamamıştır (Monash Üniversitesi, 2017). İkinci Dünya Savaşı yıllarında ise her ne kadar ABD ve Birleşik Krallık tarafından nispeten küçük boyutlu İHA’lar üretilmiş olsa da insansız havacılık teknolojileri alanında en büyük gelişmeyi gerçekleştiren ülke sahip olduğu çeşitli silah programları sayesinde Almanya olmuştur (DeGarmo, 2004).

Aşama 3:

Modern anlamda İHA konsepti Aşama 3’te ortaya çıkmaya başlamıştır. 1950’li yılların başlarında ABD’nin havadan havaya ve yerden havaya füze geliştirme çalışmaları kapsamında hedef İHA alanında büyük gelişmeler kaydedilmiştir. Bu kapsamda, Teledyne Ryan Q-2 Firebee geliştirilmiştir (Karakoc, v.d. 2016).

Şekil 12: Teledyne Ryan Q-2 Firebee



Kaynak: https://i.kinja-img.com/gawker-media/image/upload/s--SCfeFjcF--/c_fit,fl_progressive,q_80,w_636/18xtstwpafc7ojpg.jpg

Firebee, günümüzde kullanılan İHA'lar da olduğu gibi farklı görevlere uyarlanabilirlik ve tekrar tekrar görev yapabilme özelliklerini taşıması sebebiyle modern İHA konseptinin atası olarak kabul edilmektedir. Soğuk savaş zamanlarında, özellikle U2 casus uçağının 1960 yılında SSCB'de (Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği) düşmesi üzerine ABD ve NATO (North Atlantic Treaty Organization - Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü) başta keşif amacıyla olmak üzere İHA'lar üzerine geniş kapsamlı çalışmalar yapmıştır. 1964 yılında Vietnam Savaşı'nda Lightning Bug isimli İHA keşif ve istihbarat amacıyla yoğun bir şekilde kullanılmıştır (Gizmodo, 2017).

Şekil 13: Lightning Bug



Kaynak: <https://understandingempire.files.wordpress.com/2013/12/lightning-bug.png>

1970'li yıllarda İsrail ABD'den 12 adet Firebee İHA satın alarak bunları keşif ve saldırı amaçlarıyla kullanmak üzere modifiye etmiş ve 1973 yılında gerçekleşen Arap-İsrail Savaşı'nda³ kullanmıştır. Vietnam ve Arap-İsrail Savaşlarından 10 yıl kadar sonra İsrail Scout

³ Yom Kippur Savaşı olarak da bilinir.

ve Pioneer İHA'larıyla mini İHA'larla keşif alanında dünyanın lideri konumuna yükselmiştir (Barnes, 2009). 1991 yılında gerçekleşen Körfez Savaşı ve 90'lı yıllarda Balkanlardaki sıkıntılar İHA'ların askeri alanda kullanımının iyice yaygınlaşmasına sebep olmuştur (Valavanis, 2007). Ayrıca, 90'lı yıllarda İHA sistemlerinin barışçıl amaçlarla kullanımı da artış göstermiştir. Bu dönemde İHA'larla özellikle çevresel gözlem yapılabiliyor olması bilimsel çalışmalar için ideal bir eylem olarak görülmüştür. Yenilikçi akımlar bu alanda da kendini göstermiş ve 90'lı yılların sonunda NASA (National Aeronautics and Space Administration - Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi) ve Aerovironment Corporation tarafından Pathfinder ve Helios gibi güneş enerjisiyle çalışan İHA'lar geliştirilmiştir.

Şekil 14: Pathfinder



Kaynak: https://www.avinc.com/images/uploads/general/8/524x275_pathfinderplus_bg.jpg

Bu aşamada söz konusu ülkelerin dışındaki ülkeler tarafından da çeşitli İHA çalışmaları yürütülmüştür. Örneğin, Avustralya'da geliştirilen Aerosonde Laima isimli İHA çok düşük yakıt tüketimiyle Atlantik Okyanusu'nu otonom olarak geçen ilk İHA olmuştur (DeGarmo, 2004).

Aşama 4:

2000'li yılların başından itibaren ABD'nin yanı sıra diğer birçok ülke kendi özgün İHA'larını tasarlamış, geliştirmiş ve üretmiştir. Avrupa'da Türkiye, İngiltere, Fransa, Almanya, İspanya ve İtalya bu alanda önde gelen ülkeler olurken Asya-Pasifik bölgesinde Güney Kore, Japonya ve özellikle Çin sivil ve askeri İHA pazarında büyük paya sahip ülkeler olarak ortaya çıkmışlardır. Bu aşamada İHA teknolojisinin gelişimi mini/mikro İHA boyutlarında devam

etmiş olmasına rağmen özellikle 11 Eylül saldırısı, Afganistan ve Irak'taki savaş durumları İHA konseptini tamamen değiştirmiştir ve bu araçların askeri amaçlar haricinde günlük yaşamda da kullanılabilir olması tartışılır hale gelmiştir.

Günümüzde İHA'ların askeri kullanım alanları istihbarat, gözlem, keşif, hava savunma, radar, elektronik harp vb. olarak sınıflandırılabilir. Sivil kullanım alanları ise tarıma yönelik uygulamalar, hava fotoğrafçılığı, hava durumu tahminleri, çevrenin gözlenmesi, afet durumlarında acil müdahale, atmosferin durumu ile ilgili veri toplama, haritalama vb. olmakla beraber gelişen teknolojiye paralel olarak hem sivil hem de askeri alanda yeni kullanım alanları ortaya çıkmaktadır.

2.4. İHA'ların Sınıflandırılması

İHA'lar birçok parametre altında sınıflandırılmaktadır. Fakat yaygın olarak kullanılan evrensel sınıflandırma parametresi kütedir. İHA'lar görev tanımına göre çok küçük boyutlardan başlayarak çeşitli büyüklüklerde tasarlanmakta ve üretilmektedir. Dolayısıyla kütleleri de büyüklüğüyle doğru orantılı olarak değişim göstermektedir.

2.4.1. SHGM sınıflandırması

SHGM tarafından 21 Nisan 2016 tarihinde yayınlanan SHT-İHA'ya göre İHA'lar azami kalkış kütlelerine göre 4 sınıf altında toplanmıştır;

Tablo 1: SHGM İHA Sınıflandırması

Sınıf	Kütle
İHA0	500 gr (dâhil) – 4kg aralığı
İHA1	4 kg (dâhil) – 25 kg aralığı
İHA2	25 kg (dâhil) – 150 kg aralığı
İHA3	150 kg (dâhil) ve daha fazla

Kaynak: SHT-İHA, 2016

SHT-İHA bu temel sınıflandırmanın yanında bu sınıflarda yer alan İHA'ların bulundurulması gereken zorunlu teçhizatları da belirlemiştir. Buna göre;

- a) **İHA0** sınıfındaki İHA'nın teknik olarak ekipman, sistem ve faydalı yük bileşenleriyle donatılması İHA işleticisinin/sahibinin/pilotunun ya da imalatçısının seçimine bağlıdır.
- b) **İHA1** sınıfındaki İHA en az aşağıdaki teknik özelliklerle, ekipmanlarla ve sistem bileşenleriyle donatılmış olmalıdır:
 - a. Komuta ve kontrol veri bağıının kesilmesi durumunda acil durum iniş veya uçuş sonlandırma kabiliyeti,
 - b. Batarya gücü/yakıt seviyesinin devamlı izlenebilmesi,
 - c. Çakar lamba,
 - d. İHA'da veya yer kontrol istasyonunda otomatik uçuş kayıt sistemi.
- c) **İHA2** sınıfındaki İHA'da, İHA1 sınıfı için gerekli teçhizatın yanı sıra aşağıdaki donanımlar ve karakteristikler olmalıdır:
 - a. Çakar lamba yerine aydınlatma lambaları,
 - b. Yedekli seyrüsefer sistemi veya yedekli uçuş kontrol sistemi ya da bilgisayar,
 - c. Yedekli komuta ve kontrol veri bağı,
 - d. Hava trafik ünitesi ile gerektiğinde haberleşmeyi sağlayacak uygun haberleşme sistemleri,
- d) **İHA3** sınıfındaki İHA'da, İHA2 sınıfı için gerekli teçhizatın yanı sıra aşağıdaki sistem bileşenleriyle donatılmış olmalıdır:
 - a. Mode-S transponder,
 - b. TCAS (Traffic Collision Avoidance System - Trafik İkaz ve Çarpışma Önleme Sistemi) veya ADS-B (Automatic Dependent Surveillance Broadcast - Otomatik Bağımlı Gözetim Yayın) benzeri algı ve sakın sistemi.

Ayrıca, ticari amaçla uçurulmak istenen İHA0 sınıfına dâhil olan İHA, en az İHA1 sınıfına ait teknik özelliklerle, ekipmanlarla ve sistem bileşenleriyle donatılmış olmalıdır.

2.4.2.JAPCC (Joint Air Power Competence Centre - Müşterek Hava Gücü Mükemmeliyet Merkezi)

Askeri alanda ise JAPCC tarafından hazırlanarak Ocak 2010 tarihinde yayınlanan NATO tarafından da onaylanan sınıflandırma genel kabul görmektedir. Bu sınıflandırmada da temel etken kütle olup, İHA'lara ait görev yüksekliği ve görev yarıçapı gibi özellikler sınıflar arasında geçişlere sebep olmamaktadır. 150 kg altında yer alan mikro, mini ve küçük İHA'lar Sınıf I, 150-600 kg arasında yer alan Taktik İHA'lar Sınıf II ve 600 kg üzerinde yer alan MALE (Medium Altitude Long Endurance - Orta İrtifa Uzun Dayanım), HALE (High Altitude Long Endurance - Yüksek İrtifa Uzun Dayanım) ve Saldırı/Muharebe kategorisindeki İHA'lar Sınıf III'ü oluşturmaktadır. Aşağıdaki tabloda görev yüksekliği ve görev yarıçapını da içerecek şekilde sınıflandırmanın detayları yer almaktadır.

Tablo 2: JAPCC İHA Sınıflandırması

Sınıf	Kategori	Kütle	Görev Yüksekliği (m)	Görev Yarıçapı (km)
Sınıf I (<150 kg)	Mikro	< 2 kg	<60,96 (AGL - Above Ground Level – Yer Seviyesinin Üstünde)	5 (LOS – Line of Sight – Görüş Hattı)
	Mini	2-20 kg	<914,4 (AGL)	25 (LOS)
	Küçük	20-150 kg	<1.524 (AGL)	50 (LOS)
Sınıf II (150-600 kg)	Taktik	150-600 kg	<3.048 (AGL)	200 (LOS)
Sınıf III (>600 kg)	MALE	>600 kg	<13.716 (MSL - Mean Sea Level – Ortalam Deniz Seviyesi)	Limitsiz (BLOS – Beyond Line of Sight – Görüş Hattının Ötesi)
	HALE	>600 kg	<19.812	Limitsiz (BLOS)
	Saldırı / Muharebe	>600 kg	<19.812	Limitsiz (BLOS)

Kaynak: JAPCC, 2010

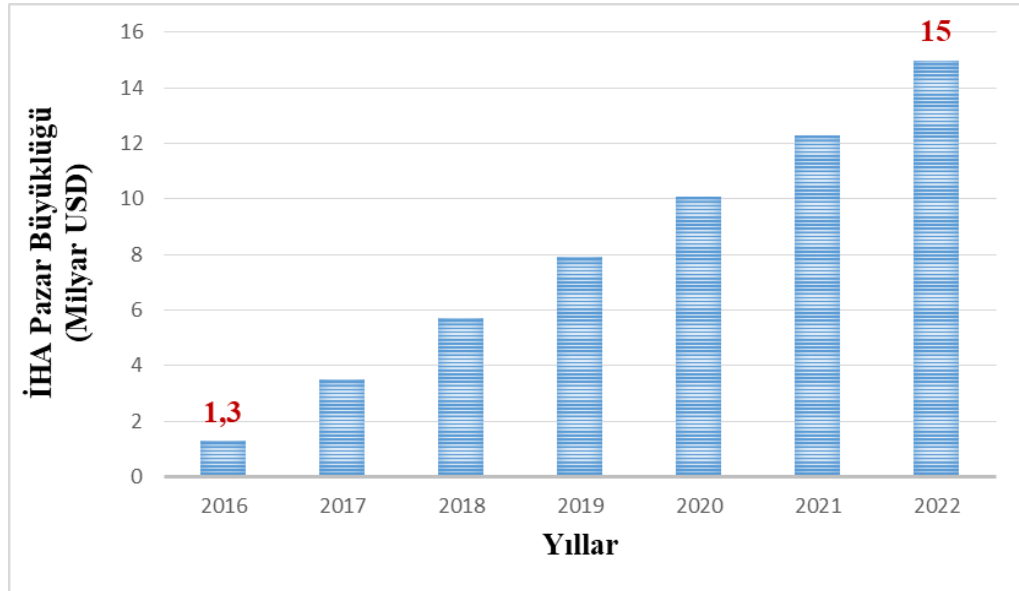
2.5. İHA Sektörünün Mevcut Durumu, Geleceğe Dair Öngörüler ve Eğilimler

2.5.1. Dünyada mevcut durum

Geleceğe dair yapılan pazar öngörülerini teknolojinin ne yöne doğru gelişeceğini göstermek açısından önemlidir. Bu kapsamda, sivil İHA'lara yönelik olarak yapılan pazar tahminleri incelenmiştir.

2022 yılına kadar olan süreçte sivil İHA pazarının büyük bir gelişim ve değişime uğraması beklenmektedir. 2016 yılında 1,3 Milyar USD olan pazar büyüklüğünün keskin bir artış göstererek 2022 yılında 15 Milyar USD seviyesine geleceği öngörülmektedir. Bu büyümeden sadece İHA tedarikçileri değil, aynı zamanda alt sistem ve yazılım tedarikçileri de büyük fayda sağlayacaktır (Newswire, 2017).

Şekil 15: Sivil İHA pazarı tahmini (2016-2022)



Kaynak: Newswire, 2017

Bölgesel olarak bakıldığında ise Çin ve ABD'nin bu pazarda en büyük paya sahip 2 ülke olacağı değerlendirilmektedir. ABD bu pazarın %31'ini elinde tutarken, Çin %19'luk bir pay alacak ve tüm pazarın %50'si bu 2 ülkede olacaktır.

Sınıf bazında bakıldığında ise Sınıf II ve III'te yer alan İHA'ların toplam pazar payları ile Sınıf I'de yer alan İHA'ların pazar payı günümüzde yaklaşık olarak aynı iken 2022 yılında pazarın yaklaşık olarak %80'inin Sınıf I'deki İHA'lara ait olacağı öngörülmektedir. Özellikle kolay kurulum ve kolay taşıma gibi avantajları sayesinde çoklu döner kanatlı platformların kullanımının yıldan yıla büyük bir hızla artış göstermesi beklenmektedir.

Sivil kullanımdaki bu yönelimin aksine askeri kullanımda daha çok Sınıf II ve III'de yer alan daha uzun dayanım ve daha uzun menzile sahip olan, taşınacak mühimmatlar ve faydalı yükler de göz önünde bulundurulduğunda daha fazla yük taşıma kapasitesine sahip İHA'lar tercih edilmektedir.

Yine 2022 yılına kadar yapılan İHA pazarı öngörülerinde önemli noktalardan birisi de itki sistemlerindeki eğilimdir. 2016 yılında yaklaşık 100 Milyon USD'lik pazar payına sahip elektrikli itki sistemleri, 2022 yılında da yine pazardan en fazla payı alan sistem olacak ve pazardan yaklaşık 260 Milyon USD pay alacaktır. Hibrit sistemler de 2016 yılında olduğu gibi 2022 yılında da pazarda en yoğun talep gören ikinci itki sistemi olacaktır.

Dikey iniş kalkış kabiliyetine sahip olan İHA pazarı incelendiğinde ise 2017 yılında 1,43 milyar USD olan pazarın 2023 yılında 2,34 milyar USD'ye yükselmesi beklenmektedir (Business Tactics, 2018).

Sürü İHA sistemleri geliştirilirken sürüde yer alacak İHA'ların hangi sınıfa ait olması gerektiğine karar verilmesi aşamasında pazar verileri ve eğilimler göz önünde bulundurulmuştur. Sonuç olarak, Sınıf I'de yer alan dikey iniş kalkış kabiliyetine sahip İHA'ların sürüde kullanımı temel alınmıştır.

Şekil 16: Ehang 184 hava aracı



Kaynak: <http://ir-ia.com/news/wp-content/uploads/2016/01/ehang-human-flying-drone-2016-690x370.jpg>

Son zamanlarda İHA'ların günlük hayatta kullanımına yönelik olarak da çeşitli gelişmeler meydana gelmektedir. Bu kapsamda Amazon firması bir kargoyu 7 Aralık 2016 tarihinde İHA ile müşterisine başarıyla ulaştırmıştır. Günümüzde hala devam eden bu teslimat yönteminin özellikle erişimin zor olduğu bölgelere teslimat konusunda şirketin maliyetlerinde büyük düşüşler sağladığı açıklanmıştır (BBC, 2016). Bir diğer önemli gelişme ise Volocopter firmasının geliştirdiği iki yolcu taşıma kapasitesine sahip hava aracıdır. 18 pervaneye sahip aracın ticari olarak Dubai'de yolcu taşıma amacıyla kullanılması kapsamında ilk test uçuşu 26 Eylül 2017 tarihinde gerçekleştirilmiştir (BBC, 2017). Yine yolcu taşıma amacıyla Dubai'de 2018 yılının yaz aylarında kullanılması planlanan Ehang 184 isimli hava aracı ise tek yolcu kapasitesine sahiptir. Gerçekleştirilen uçuş testlerine göre, 4G mobil internet ile kontrol edilebilen hava aracı yaklaşık saatte 100 km seyir hızına sahiptir ve 25 dakika havada kalabilmektedir (Fortune, 2017).

2.5.2. Ülkemizde mevcut durum

Dünyada sivil İHA sektöründe gelişmelere ve büyüme eğilimlerine karşın ülkemizde İHA teknolojilerine yönelik geliştirme çalışmaları genellikle askeri uygulamalar üzerine yoğunlaşmıştır. Son zamanlarda ise dünyadaki genel eğilime ülkemiz havacılık firmaları da

ayak uydurmuş ve Sınıf I’de yer alan İHA’ların tasarımı ve geliştirilmesine yönelik çalışmalar başlatılmıştır. 2022 yılında 15 milyar USD’ye ulaşması beklenen sivil İHA pazarından daha fazla pay alınabilmesi için küçük boyutlu İHA’ların geliştirilmesine yönelik eğilimin devam etmesi ve alt sistem geliştirilmesi için destekler verilmesi gerekmektedir. Ülkemizin savunma güçleri tarafından güvenlik amacıyla kullanılan ve yine askeri amaçlarla geliştirilmesine rağmen sivil amaçlar için de kullanılabilecek İHA’lardan bazıları teknik özellikleri ile beraber aşağıda yer almaktadır. Söz konusu İHA’ları üreten şirketlerin sürü sistemlerini de üretebileceği değerlendirilmektedir.

2.5.2.1. TUSAŞ (Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş)

TUSAŞ tarafından MALE sınıfında geliştirilen, farklı versiyonları bulunan ve silahlı olarak da kullanılabilen ANKA’nın yurtiçi teslimatları devam etmektedir. ANKA’nın teslim edilen temel versiyonu olan ANKA Blok-B’nin teknik özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3: ANKA Blok-B teknik özellikleri

Kanat açıklığı (m)	17,5
Uçuş süresi (saat)	24
Servis irtifası (km)	9,144
Menzil (km)	200
Faydalı yük taşıma kapasitesi (kg)	200
Motor tipi	Pistonlu (Dizel)
Taşınan faydalı yükler	<ul style="list-style-type: none">• Elektro Optik Gündüz Kamerası• Gündüz / Kızılötesi / Lazer Mesafe Bulucu & Lazer İşaretleyici ve Spotter Faydalı Yüğü• SAR/MTI-ISAR Faydalı Yüğü

Kaynak: <https://www.tai.com.tr/urun/anka>

ANKA'nın son geliştirilen versiyonu olan, uydu üzerinden ve Türk Silahlı Kuvvetleri Muhabere Sistemi üzerinden mesafe bağımsız kontrol yeteneği bulunan ANKA-S sisteminde otonomi özellikler artırılmakta, yeni nesil milli yüksek çözünürlüklü gece ve gündüz kamerası ve telsiz rölesi faydalı yükleri ile görev kabiliyeti üst seviyeye çıkartılmaktadır.

Kullanımda olan ANKA İHA'ların motorları ithal olarak tedarik edilmektedir. Bu kapsamda ülkemizde İHA motoru geliştirilmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir. Eskişehir'de yer alan TEI (TUSAŞ Engine Industries, Inc. – TUSAŞ Motor Sanayii A.Ş.) tarafından geliştirilen ve uçuş testleri devam eden PD-170 isimli motor ANKA'nın servis irtifasında mevcut motordan daha fazla güç üretirken yaklaşık %10 daha az yakıt tüketmektedir. PD-170 motoru ile ANKA'nın servis irtifasının daha da artırılması hedeflenmektedir (C4 Defence, 2018).

Şekil 17: ANKA-S



Kaynak: http://www.ehaber724.com/images/resize/100/656x400/haberler/2018/03/anka_s_iha_tsk_ya_iki_adet_teslim_edildi_h1228_43341.jpg

2.5.2.2. Baykar Makine

Milli ve özgün uçuş kontrol özelliklerine (taksi, kalkış, seyir, iniş ve park) sahip Bayraktar, keşif ve gözetleme amacıyla Baykar Makine tarafından geliştirilmiştir. Silahlı versiyonları da bulunan sistemin teknik özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Ülkemizin güvenlik güçlerinin envanterindeki toplam Bayraktar İHA sayısı Mart 2018 itibarıyla 46'ya ulaşmıştır. Bu sistemlerin 23 tanesi silahlı versiyondur.

Tablo 4: Bayraktar İHA teknik özellikleri

Menzil (km)	<150
Seyir hızı (km/s)	130
Azami hız (km/s)	250
Operasyonel irtifa (km)	6,86
Servis irtifası (km)	8,23
Uçuş süresi (saat)	>24
Kanat açıklığı (m)	12
Maksimum kalkış kütlesi (kg)	650
Faydalı yük taşıma kapasitesi (kg)	<55

Kaynak: http://baykarmakina.com/wp-content/uploads/2017/07/Taktik_brosur_TR_2017_05_04.pdf

Şekil 18: Bayraktar İHA



Kaynak: <http://c4defence.com/ImageM/e5204c2d-0f7c-4394-a1e4-1d5d084f66f2.jpg>

2.5.2.3. Vestel Savunma Sanayii

Vestel Savunma Sanayii tarafından geliştirilen Karayel Üzerinde taşıdığı faydalı yükü ile hedef tespit etme ve üzerindeki işaretleyici sistemler ile lazer güdümlü mühimmata yol gösterebilme kabiliyetine sahiptir. Herhangi bir pilot müdahalesi gerekmeden, iniş, kalkış ve tanımlanan görevi otonom olarak gerçekleştirebilmektedir. Sistemin teknik özellikler aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Tablo 5: Karayel İHA teknik özellikleri

Menzil (km)	>150
Seyir hızı (km/s)	130
Azami hız (km/s)	150
Operasyonel irtifa (km)	6,86
Uçuş süresi (saat)	20
Kanat açıklığı (m)	10,5
Maksimum kalkış kütlesi (kg)	550
Faydalı yükler	<ul style="list-style-type: none">• Gündüz Kamerası• Gece Kamerası• Lazer Mesafe Ölçer• Lazer Hedef Güdümleyici• Lazer İşaretleyici

Kaynak: <http://www.vestelsavunma.com/views/web/vestelsavunma/downloads/tr/urunler/KARAYELTacticalUAVeng-tr.pdf>

Şekil 19: Karayel İHA



Kaynak: http://i2.haber7.net/haber/haber7/photos/2017/46/dubai_airshowda_karayel_iha_icin_anlasma_1511071467_0825.jpg

2.5.2.4. Altınay Havacılık ve İleri Teknolojiler A.Ş.

Altınay Havacılık ve İleri Teknolojiler A.Ş. tarafından askeri amaçlı keşif ve gözetleme görevleri için üretilen ve tamamen otonom uçuş yapabilme kabiliyetine sahip 3 motorlu çoklu döner kanatlı İHA'nın teknik özellikleri aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Tablo 6: Altınay İHA teknik özellikleri

Menzil (km)	3
Azami hız (km/s)	54
Operasyonel irtifa (km)	3
Maksimum uçuş süresi (saat)	1,5
Kanat açıklığı (m)	10,5
Maksimum kalkış kütlesi (kg)	40
Faydalı yükler	<ul style="list-style-type: none">• Entegre 9 Dof Array Sensörü• Entegre Barometreli Altimetre• Entegre Lazerli Altimetre (İsteğe Bağlı)• Hareket Akışı Sensörü (İsteğe Bağlı)

Kaynak: <http://www.altinay-advanced.com/tr/coezuemler/insansiz-sistemleri/insansiz-hava-araci-ih/#1454970857567-18b6c07d-c18d>

Şekil 20: Altınay İHA



Kaynak: <http://www.altinay-advanced.com/wp-content/uploads/2016/02/5N7A8278-1024x682-200x200.jpg>

2.5.2.5. Lapis Havacılık Teknolojileri A.Ş.

Lapis Havacılık Teknolojileri A.Ş. tarafından tamamen özgün ve milli donanım ve yazılıma sahip olacak şekilde tasarlanan, geliştirilen ve üretilen Trogon başta keşif, gözetleme ve istihbarat olmak üzere yol güvenliği, sınır güvenliği, petrol/doğalgaz boru hatları güvenliği,

haritalama ve tarımsal uygulamalar gibi çok çeşitli amaçlarla kullanılabilir. Sistemin teknik özellikleri aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Tablo 7: Trogon İHA teknik özellikleri

Kütle (kg)	1,15 (faydalı yük dahil)
Uçuş süresi (dk)	>30
Uçuş hızı (km/s)	54
Menzil (km)	3
İrtifa (MSL) (km)	3,048
İrtifa (AGL) (km)	0,914

Kaynak: [http://lapishavacilik.com.tr/kaynaklar/urun_dosyalar/LAPIS%20TROGON%20BROSUR%20%C4%B0%C3%87%20SAYFA%20SON\(3\).jpg](http://lapishavacilik.com.tr/kaynaklar/urun_dosyalar/LAPIS%20TROGON%20BROSUR%20%C4%B0%C3%87%20SAYFA%20SON(3).jpg)

Şekil 21: Trogon İHA



Kaynak: http://lapishavacilik.com.tr/kaynaklar/urun_fotograflar/LAP%C4%B0S%20CR-01%20TROGON.JPG

2.5.2.6. STM A.Ş. (Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş.)

Yakın zamanda STM A.Ş. tarafından çeşitli sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemler genellikle savunma sanayisi için geliştirilmiş olsa da kullanılan alt sistemler, edinilen bilgi birikimi ve

tasarım kabiliyeti gibi hususlar sivil sistemlerin geliştirilmesinde de kullanılabilir. Bu sistemler hakkında özet bilgiler aşağıda verilmektedir (STM A.Ş., 2018).

- **Kargu:** Asimetrik harp veya anti-terör alanlarında kullanılmak üzere tek er tarafından taşınabilen, otonom veya uzaktan kumanda ile çalışabilen, döner kanatlı milli vurucu İHA çözümdür.
- **Alpagu:** Asimetrik harp veya anti-terör alanlarında kullanılmak üzere tek er tarafından taşınabilen ve lançerden ateşlenebilen, otonom veya uzaktan kumanda ile çalışabilen, keşif, gözetleme ve küçük ölçekli tehditleri etkisiz hale getirebilen sabit kanatlı milli vurucu İHA çözümdür.
- **Togan:** Genel maksatlı keşif ve gözetleme görevlerinde kullanılmak üzere özgün görev planlama yazılımı, otonom zekâ ve harekât kabiliyetine sahip, otonom veya uzaktan kumanda ile tek personel tarafından taşınabilen ve kullanılabilen çok-rotorlu döner kanatlı milli İHA çözümdür.

3. SÜRÜ HALİNDE GÖREV YAPAN İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI

İHA'lar için geleceğe dair yapılan öngörülerde günümüzün merkezileşmiş kontrol ve operasyonları yürütme konseptinin tamamen farklı olacağı beklenmektedir. Görev sırasında toplanan bilgi yoğunluğunun artması, sistemlerin boyutlarının küçülmesi ve malzemelerin işlevselliğinde meydana gelen ilerlemeler ileri derecede otonomiye sahip sistemlerin geliştirilmesini ve birkaç büyük sistem yerine bir arada çalışabilen birçok küçük bileşenin tercih edilmesini mümkün kılmıştır. Birbirleriyle haberleşerek işbirliğine yönelik davranışlar sergileme kabiliyetine sahip İHA'lar, tek başlarına oldukları zaman günümüz İHA'larından daha düşük yeteneklere sahip olmalarına rağmen bir araya geldiklerinde günümüz İHA'larının kabiliyet ve davranışlarını aşan özellikler gösterebilmektedir. Bu bir arada çalışma yöntemi, hava araçlarının kabiliyetlerini büyük ölçüde artırırken maliyetlerin düşmesine imkân tanımaktadır.

Günümüzde ülkelerin üzerinde yoğun çalışma yapmaya başladıkları sürü İHA teknolojisindeki anahtar kavram; yapay zeka seviyesi nispeten daha düşük olan İHA'ların arasındaki basit etkileşimlerden daha kompleks davranışların ortaya çıkması ve tanımlanan görevlerin bu şekilde gerçekleştirilmesidir. Özellikle 70'li yılların başlarından itibaren küçük robotlar ve küçük kara araçları üzerine başlayan sürü çalışmaları 90'lı yılların başlarına kadar İHA'lar için düşünülmemiştir. Başta göç eden kuşların hareketleri ile sürü halinde hareket eden arıların görüntüsü ve uyum içindeki hareketi olmak üzere doğadaki çeşitli canlıların benzer davranışları sürü İHA fikrinin ortaya çıkmasında etkili olmuştur (Miller, 2006).

Bir görev kapsamında faaliyet gösteren bir İHA sürüsü, bir sistemler sistemi şeklinde tanımlanabilir. Bir sistemler sistemi, görev gereksinimlerini karşılamak için bir araya getirilen bağımsız sistemler içermektedir. Bu sistemlerin kendi özgün özellikleri olabileceği gibi benzer özelliklere sahip olması da mümkündür, böylece belirli bir görev için gerekli olan yeni bir yetenek yaratmak amacıyla sistemler sistemi olarak bir araya getirilirler.

Şekil 22: Kuş sürüsü



Kaynak: https://www.sott.net/image/s12/249735/full/flock_birds_1573997i.jpg

İHA'ların çoklu olarak kullanımında özetle iki farklı yöntem vardır (Abatti, 2005):

- İlk yöntemde farklı faydalı yükler taşıyarak farklı amaçlar için özelleşmiş birbirleriyle sürekli haberleşebilen çeşitli İHA'ların kompleks bir görevi yerine getirebilmek için bir arada kullanımı söz konusudur. Bu yöntemde sürünün elemanları kısa/uzun mesafe haberleşme, düşük/yüksek çözünürlüklü görüntüleme sistemleri, farklı amaçlara hizmet eden sensörler gibi çeşitli faydalı yükler bulundurması sayesinde çok kapsamlı görevler çok daha düşük maliyetlerle ve daha kısa sürelerde yerine getirilmektedir.
- Diğer bir yöntem ise maliyeti düşürmek adına daha düşük kabiliyetlere sahip fakat birbirinin tamamen aynısı birçok İHA'dan oluşan sistemlerin kullanılmasıdır. Bu yöntemde büyük bir İHA kullanılması yerine maliyeti düşük çok sayıda daha düşük boyuta ve ağırlığa sahip İHA kullanılarak görevlerin yerine getirilmesi mümkündür.

Sürü İHA sistemlerinde her bir İHA tüm görevde sınırlı bir role sahip bağımsız bir sistemdir. Birden fazla İHA'yı sistemler sistemi şemsiyesi altında bir araya getirmek, amaçlanan bir görevi yerine getirmek için yeni bir yetenek yaratmaktadır. Bu nedenle, sürü İHA ile yürütülen

görevlerde görevden tek bir araç sorumlu değildir. Aksine, görevin başarıyla yürütülmesinden tüm sistem sorumludur. Örneğin, yüksek çözünürlüklü kameralarla bir keşif görevi gerçekleştirmek üzere tasarlanan bir İHA veriyi daha yüksek hızda iletme kabiliyetine sahip bir İHA ile entegre edildiğinde, görüntülerin daha hızlı bir şekilde yer istasyonuna iletilmesini sağlayan yeni bir yetenek yaratılmaktadır. Bu örnekte, her iki özelliikle (yüksek çözünürlüklü kamera ve yüksek veri aktarım hızı) tek bir sistem tasarlamak zaman alıcı ve masraflı olabilir. Heterojen¹ sürüde bu iki İHA'ya dağıtılmış yetenekler daha düşük maliyetli bir sonuç ortaya çıkarmaktadır.

Bir sürü İHA sisteminin organize edilebilmesi için birden fazla yol vardır. Sürüde bir yer istasyonu tarafından komuta edilen bir lider ve bu liderin alt elemanları veya kontrol edilen birden fazla lider yer alabilir. Tek bir lider ile yürütülen görevlerde kalan elemanlarından birisi önceden lider olarak tanımlanmamışsa ortaya çıkabilecek herhangi bir hata durumunda görevin başarısızlığa uğraması çok olasıdır. Öte yandan bir liderin bulunması yer istasyonu ile sistem arasındaki ve sistemin kendi içindeki haberleşmeyi kolaylaştırır. Tüm İHA'ların yer istasyonu ile ve birbirleriyle iletişim halinde olması veri paylaşımını sıkıntıya sokarak işlevselliğin azalmasına sebep olmaktadır.

Sürü İHA'ların gerek sivil kullanımda gerekse de askeri kullanımda tekli İHA'lara göre en büyük avantajı daha fazla alanı daha kısa sürede tarayarak hem enerji açısından hem de zaman açısından tasarruf sağlamasıdır. Bu kapsamda 2004 yılında İsrail Teknoloji Enstitüsü² araştırmacıları görevlerin normalde gerektirdiği karmaşık hesaplama yöntemleri olmaksızın görev sırasındaki karşılaştığı farklılıkları anlayabilen sezgisel bir algoritma geliştirmek amacıyla çalışmalarda bulunmuşlardır. Araştırmalar, çoğu çalışmanın ortaya çıkardığı algoritmaların görevlerde çok iyi sonuçlar verebilecek olmasına rağmen kompleks hesaplamalara sahip olduğunu ve bu algoritmaların bir çoğunun sürünün kabiliyetlerindeki herhangi bir değişime veya sürü elemanlarından birinin veya birkaçının kaybedilmesine doğru tepkiler veremediğini ortaya koymuştur. Ayrıca bu algoritmaların geliştirilmesinin ortaya

¹ Döner kanat ve sabit kanat gibi farklı özelliklere sahip İHA'ların sürüde bir arada kullanılması.

² Technion

çıkardığı maliyetlerin görev maliyetlerini çok yükselttiği belirlenmiştir. Bu çalışmada temelde üç konu üzerine odaklanılmıştır;

- Sürüde yer alan İHA sayısı,
- Sürüdeki İHA'ların birbirleriyle haberleşebilecekleri en uzak mesafe,
- Sürüdeki İHA'ların birbirleriyle paylaşabilecekleri veri miktarı.

Bu çalışma kapsamında ortaya çıkan algoritmalarla aynı görev için kullanılan çok daha fazla sayıda İHA'nın maliyetleri ve görevin gerçekleştirilme süresini azalttığı görülmüştür. Ayrıca İHA'lar arasındaki iletişimin kuvvetli olması görevin verimliliğini artırdığı sonucuna varılmıştır (Kivelevitch ve Gurfil, 2005).

Sürü İHA sistemlerinin bilinirliğini artıran birkaç önemli gelişme olmuştur. Bunlardan ilki ABD Deniz Kuvvetleri'ne ait bir F/A-18 uçağından bırakılan 103 adet yarı otonom İHA'nın oluşturduğu sürüyle gerçekleştirilen test uçuşudur. 16,51 cm boyu ve 29,97 cm kanat açıklığı olan bu hava araçları kendi aralarında kurdukları ağ ile görev sırasında haberleşebilmekte ve görev değişikliklerine uyum sağlayabilmektedir (The Avionist, 2018).

Şekil 23: Sürü İHA test uçuşu

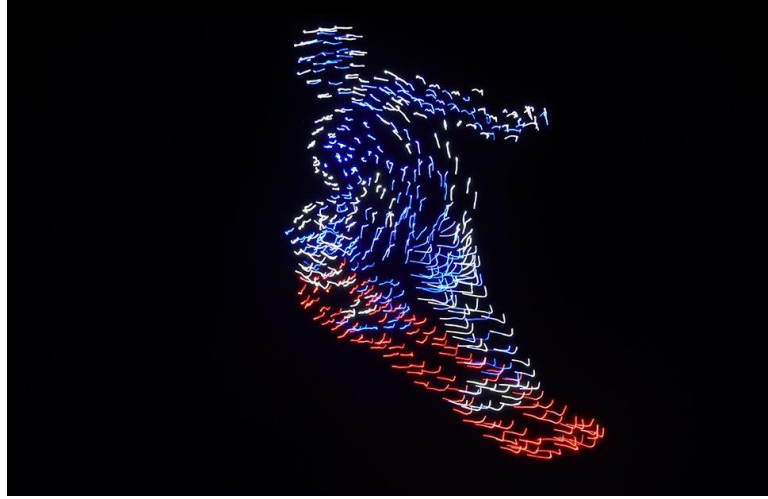


Kaynak: <https://theaviationist.com/wp-content/uploads/2017/01/Minidrones-released.jpg>
<https://theaviationist.com/wp-content/uploads/2017/01/perdix-drones-swarm-over-the-desert-without-human-intervention.jpg>

Bir diğer çalışma ise Intel firması tarafından üretilen çoklu döner kanatlı İHA'ların çeşitli görseller oluşturmak amacıyla kullanılması faaliyetleridir. Son olarak, 9-25 Şubat 2018 tarihleri arasında düzenlenen ve Güney Kore'nin ev sahipliği yaptığı 23. Kış Olimpiyat Oyunları açılış

töreninde sürü İHA'larla bu kapsamda bir gösteri düzenlenmiştir. Gösteride 1.218 adet çoklu döner kanatlı İHA kullanılmıştır (Automation World, 2018).

Şekil 24: Sürü İHA gösterisi



Kaynak: <https://www.automationworld.com/olympic-drones-break-their-own-records>

İHA'ların sürü halinde hareket etmesinin tek başına görev yapan insansız sistemlere göre sunduğu önemli avantajlar şu şekilde özetlenebilir:

- Sürü içinde yer alan her bir İHA'nın çok sayıda sensöre aynı anda sahip olması yerine, sürü içindeki İHA'ların her birinin farklı özelliklere sahip sensörlere ve farklı kabiliyetlere sahip olması hem İHA'ların boyutlarının küçülmesini hem de çok farklı verilerin aynı anda toplanabilmesini sağlamaktadır. Görevlerin gerçekleşme süresini büyük ölçüde kısaltma potansiyeline sahip olan bu durum, özellikle afetler ve arama kurtarma faaliyetleri gibi sürenin kısıtlı olduğu durumlarda sürü İHA'ların tercih edilebilirliğini artırmaktadır.
- Sürüde görev yapan İHA'ların bir kısmının teknik arızalar, güç yetmezliği gibi çeşitli sebeplerle görevini yapamaz hale gelmesi durumunda diğer İHA'lar görevi tamamlayabilme kabiliyetine sahiptir.
- Sürüden bir unsurun tespit ettiği bir bilgi, diğer sürü üyeleriyle anında paylaşılabilir. Bu sayede anlık durum değerlendirilerek tüm sürü için anlık görev değişiklikleri belirlenebilir.

- Yalnızca bir operatör tarafından sürüdeki tüm elemanlar kontrol edilebilir. Alternatif olarak bu kontrol sürüde belirlenen bir lider aracılığıyla da sağlanabilir.
- Sürüden bir unsurun yeni öğrendiği bir davranış, diğer sürü üyelerince de değerlendirilerek kısa sürü içinde sürü davranışına dönüştürülebilir.
- Sürü üyeleri kuvvetli yönleri sayesinde benzer yükümlülöklere sahip diğer sürü üyelerinin zayıf yönlerini kapatabilir.
- Sürü elemanlarının çevrede yer alan diğer platformlar ile koordineli bir şekilde görev yapması mümkündür.
- Sürü üyeleri koordineli olarak saldırı ve savunma yapabilir. Düşman savunmasının hassas noktaları anlık olarak belirlenerek kabiliyetler buraya odaklanabilir.

4. SÜRÜ HALİNDE GÖREV YAPAN İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDA KRİTİK KONULAR

Sürü İHA sistemleri kullanıcıya getirdiği avantajların yanı sıra bazı zorluklar ile geliştirilmesi gereken teknolojileri de beraberinde getirmektedir. Bu konular başlıca gruplar altında toplandığında şu şekilde özetlenebilir:

- Otonomi seviyesi artırılarak sistemde insana bağımlılığın azaltılması ve bu sayede hata payının ve kayıpların önüne geçilmesi, çarpışmaların önlenmesi ve güzergâhın planlanması,
- Bu çalışmada odak noktası olan Sınıf I kapsamındaki İHA'ların karşılaştığı en büyük problemlerden birisi olan enerji sorununa çözüm önerileri getirilmesi,
- Görev sırasında sürünün karşılaşılabileceği aksamalar ve bu gibi durumların üstesinden gelinmesi için gerekli esneklik konseptleri,
- Görev sonunda elde edilecek verilerin bir anlam taşıyabilmesi için gerekli veri kıymetlendirme çalışmalarının yapılması.

Bir sonraki bölümde ise otonomi seviyesi arttıkça daha gelişmiş versiyonlarına ihtiyaç duyulacak kontrol yaklaşımları ve algoritmaların geliştirilmesi konularında bilgi verilecektir.

4.1. Otonomi

İHA fikri; tehlikeli veya yüksek maliyetli görevlerin insanlara zarar gelmeyecek şekilde ve maliyet-etkin bir şekilde yürütülmesini sağlamak amacıyla ortaya çıkmıştır. Bu sistemlerin ilk nesli, operasyonel durumlarını etkileyen oldukça sınırlı yeteneklere sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Görevin gerçekleştirilmesinde sorumluluk/yetki sahibi operatör ile görevi yerine getiren hava aracı arasındaki fiziksel ayırım sistem üzerinde bazı zayıflıkları ortaya çıkarmıştır. Bu durum ise İHA sistemlerinde otonominin gerekliliği ile ilgili tartışmaların başlamasına yol açmıştır.

İHA sistemlerinde otonominin tercih edilmesinin başlıca sebepleri şunlardır:

- Komuta ve kontrol sağlayan iletişim bağlantısı, operatörün geri bildirim sağlaması gereken görev gereksinimleri ile belirlenmiş sınırlı tepki süresinin aşılmasına sebep olarak gecikmelere yol açabilmektedir. Ayrıca, veri bağlantısı bant genişliği görev sırasında toplanan verilerin ve bilgilerin operatör tarafından analiz, kullanım ve dağıtımının ne derece mümkün olacağını sınırlandırabilmektedir.
- İletişim bağlantısı, görevlerin kritik aşamaları sırasında kullanılabilirliğini sınırlayabilecek kasıtlı veya kasıtlı olmayan karıştırmalara¹ karşı hassastır ve sorunlar yaşanması mümkündür.
- Yapılan analizler kazalarda İHA sisteminden kaynaklanan problemlerden daha çok operatörlerden kaynaklı kazaların meydana geldiğini göstermiştir.
- Hava aracının operatörle etkileşiminin sınırlı olması, iletişim bağlantısının kopmasına karşı hava aracının öngörülebilir bir davranışını garanti eder, bu sayede sistemin genel güvenliğini destekler.

Yukarıda belirtilen sebepler doğrultusunda sorunların ve eksikliklerin üstesinden gelebilmek için olası çözümler arasında İHA'ların otonom hareketinin sağlanması en uygulanabilir yol olarak tespit edilmiştir.

Otonominin sağlanabilmesi için hava araçlarının aşağıdaki örnek fonksiyonlara sahip sistemlerle donatılması gerekmektedir:

- Optimize edilmiş güzergâhın uygulanmasına olanak tanıyan sensör,
- Hava aracının iletişim kaynaklarının kullanımını optimize etmesini sağlayan iletişim sistemi yönetimi,
- Hava aracının olası arızalara otonom olarak kontrol etmesine izin veren hava aracı sağlık yönetimi,
- Hava aracının arıza durumunda çözümü tanımlamasına ve uygulamasına izin veren hava aracı acil durum planının tanımlanması ve yönetimi,

¹ Jamming.

- Hava aracının görev sırasında meydana gelen herhangi bir olay durumunda tanımlanmış bilgi veya harici olarak verilen veriler temelinde, mevcut durum farkındalığına dayalı olarak görevini yeniden planlamasına izin veren genel araç görev yönetimi (Protti, Barzan, 2007).

İHA’larda otonomi için gerekli olan donanımlar ve yazılımlar sağlandığında ortaya çıkan avantajlara rağmen geliştirilmesi gereken bir takım temel hususlar bulunmaktadır. Bunlar, görevin niteliğine bağlı olarak otonomi seviyesi, uçuş sırasında olası çarpışmaların önlenmesi, hava araçlarının planlanan güzergâha uygun şekilde hareket etmesi ve diğer hususlar şeklinde sınıflandırılabilir.

4.1.1. Otonomi seviyesi

Sürü İHA sisteminin otonomi seviyesinin belirlenmesinde en temel konu gerçekleştirilecek görevin niteliğidir. Karar verme aşamasında sınırlı esneklik sağlayan ve başarısızlık ihtimalinin düşük olduğu görevler için otonomi seviyesinin yüksek olması genellikle en iyi çözüm olarak değerlendirilmektedir. Fakat çok fazla hareketli dış etkenin bulunduğu dinamik bir ortamda gerçekleşen görevlerde karar verme aşamasındaki eksiklikler ve ortaya çıkabilecek beklenmedik durumlardan dolayı otonomi seviyesinin yüksek olması günümüzde henüz yoğun olarak tercih edilmemektedir.

İHA sistemi ile insan iletişiminin değişkenlik göstermesinin temel nedeni insanın karar verme aşamasındaki yeteneklerinin sistem performansı üzerinde büyük bir etkiye sahip olmasıdır. Eğer ki otonomi uygun değilse ve buna rağmen otonomi seviyesinin yüksek olmasında ısrarcı olunursa, sürü İHA’nın gerçekleştireceği görevin başarısının otonomi seviyesi düşük olan göreve göre daha başarısız olması mümkündür (Finn, Kabacinski, Drake, 2007).

Modern İHA’lar son 20-30 yılda gerçekleşen teknolojik gelişmelere bağlı olarak hızlı bir gelişme ve büyüme göstermiştir. Örneğin, güçlü işlemci üniteleri, hafif malzemeler, navigasyon sistemindeki gelişmeler ve iletişim yetenekleri, gelişmiş maliyet-etkin İHA’ların geliştirilmesine imkân sağlamıştır.

Aşağıdaki tabloda görüldüğü üzere İHA sistemlerinin otonomi durumu 10 seviyeye ayrılarak gösterilebilir. Ölçeklendirme, otomatik sistemin belirli bir görevi kararlaştırmak ve yerine getirmek için bir operatörden talep ettiği yardım/iş yüküne, yani sistemin karar verme ve yetki açısından yeteneğine dayanır.

Tablo 8: İHA Sistemlerinin Otonomi Seviyesi

Seviye	Otonomi Seviyesine Göre Sistemin Kararları	Yetki
10	Tüm kararları verir, operatöre danışmaz.	Tamamen otonom
9	Kararlar ve eylemler için operatöre danışılıp danışılmayacağına karar verir.	Tamamen otonom
8	Talep gelmesi durumunda kararlar ve eylemler hakkında operatörü bilgilendirir.	Tamamen otonom
7	Otomatik olarak eylemleri yerine getirir fakat operatörü kararlar ve eylemler konusunda sürekli olarak bilgilendirir.	Tamamen otonom
6	Eğer operatör belirli bir süre içinde red cevabı vermezse, operatörü bilgilendirir ve eylemleri otomatik olarak yerine getirir.	Onay durumuna göre otonom
5	Eylemlere karar verir fakat operatör tarafından onay verilmedikçe bu eylemleri gerçekleştirmez.	Yarı otonom
4	Operatöre 1 alternatif eylem önerir ve operatör bu öneriyi kabul eder veya reddeder.	Danışma
3	Alternatif eylem seçeneklerini daraltır ve operatörün hangi eylemin gerçekleştirilmesine karar vermesi için yardımcı olur.	Danışma
2	Tüm alternatif eylemleri operatöre sunar ve operatörün hangi eylemin gerçekleştirilmesine karar vermesi için yardımcı olur.	Danışma
1	Operatör tüm kararları ve eylemleri kendisi gerçekleştirmek zorundadır.	Yok

Kaynak: Oskoei, 2014

4.1.2. Çarpışmaların önlenmesi

Hava araçlarının birbirlerine problem çıkarmadan kalkış noktasından varış noktasına hem sistemlere hem de canlılara zarar vermeden güvenli bir şekilde ulaşabilmeleri kontrolörlerin yönlendirmeleri ve gelişen sistemlerin varlığıyla mümkün olmaktadır (UTED, 2017).

Havada çarpışmaların önlenmesi amacıyla sistem geliştirme çalışmaları 1950'li yıllarda ABD'de başlamıştır. 1978 yılında San Diego şehrinde bir yolcu uçağı ile küçük bir uçağın çarpışmasından 3 yıl sonra FAA (Federal Aviation Administration - Federal Havacılık Kurulu) tarafından TCAS geliştirilmiş ve 1989'dan itibaren Amerikan hava sahasında bazı kategorideki Amerikan ve yabancı uçakların TCAS cihazı taşıması ve kullanılması zorunlu hale getirilmiştir. TCAS konusundaki bütün bu çalışmalara paralel olarak 1980'lerin başında ICAO (International Civil Aviation Organization - Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü) da, ACAS (Airborne Collision Avoidance System – Havada Çarpışmayı Önleme Sistemi) konusunda standartlar geliştirmeye başlamıştır. Günümüzde TCAS'ın gelişmiş versiyonu olan TCAS II, ICAO ACAS standartlarını karşılayabilen tek uygulamadır. Bu nedenle "ACAS II" terimi standartlar ve yapıyı temsil ederken, "TCAS II" terimi ise kullanılan cihaz uygulamasını temsil etmektedir. Özerk bir yapıya sahip olan TCAS cihazı, hava aracındaki seyrüsefer sistemlerinden ve hava trafik kontrol hizmetlerinde kullanılan yer cihazlarından bağımsız olarak çalışacak şekilde tasarlanmıştır. TCAS cihazı hava aracında yer alan antenler aracılığıyla etrafında ICAO standartlarındaki bütün transponderları sorgular. Gelen bilgiler baz alınarak eğim mesafesi, irtifa ve uçuş yönü hesaplanır. Bu sistemlerde iki çeşit ikaz üretilmektedir;

- Trafik İkazı: Bu ikaz diğer trafiklerle ilgili olarak pilotu uyararak pilotun potansiyel bir kaçınma tavsiyesine hazır olmasını sağlamaktadır.
- Kaçınma İkazı: Bu ikaz pilotun dikey olarak kaçınmalar yapmasını sağlamaktadır.

Uluslararası otoritelerce belirlenen ve SHGM tarafından da kabul edilen İHA sınıflandırmalarında görüleceği üzere 150 kg ve üzeri kalkış kütlesine sahip İHA'larda TCAS bulundurulması zorunludur. Fakat diğer sınıflar için böyle bir zorunluluk tanımlanmamıştır.

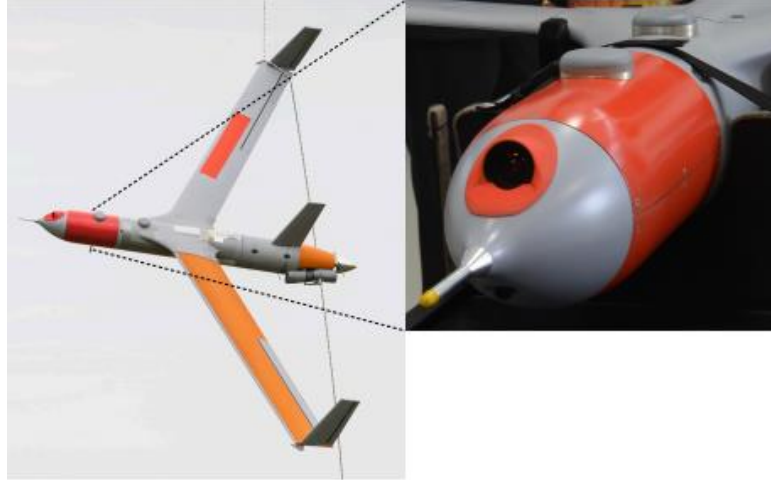
Sürü İHA konsepti ile otonom olarak gerçekleştirilen görevlerin başarıya ulaşabilmesi için üstesinden gelinmesi gereken en önemli konulardan birisi çarpışmaların önlenmesidir. Bu çarpışmalar sürüdeki İHA'ların birbirleriyle yakınlaşmasından kaynaklanabileceği gibi hava sahasında yer alan diğer hava araçlarıyla da çarpışmaların gerçekleşmesi olasıdır. Başarılı bir sürü faaliyeti yürütmek için hem İHA'ların birbirleriyle çarpışması önlenmeli, hem de planlanan veya anlık olarak değişen rotalarda insanlı hava araçları ya da diğer İHA'larla

çarpışma riski minimum seviyeye düşürülmelidir. Otonomi seviyesi arttıkça bu gibi çarpışmaların gerçekleşme ihtimali de artmaktadır.

4.1.2.1. Hava sahasındaki olası çarpışmaların önlenmesi

İHA'larla yürütülen görevlerde uçuş sırasında meydana gelebilecek engellerden biri olan hava sahasında meydana gelebilecek olası çarpışmalar otonom olarak gerçekleştirilen görevlerde görevin aksamasına veya tamamen başarısız olmasına sebep olabilecek bir problemdir. Bu çarpışmaların önlenmesi için algı ve sakın sistemleri kullanılmaktadır. Sınıf I'deki İHA'larda bu sistemlerinin kullanımı değerlendirilecek olursa; boyut, ağırlık ve güç kısıtlamaları göz önünde bulundurulduğunda görmeye dayalı algı ve sakın sistemlerinin kullanımı mümkün görünmektedir.

Şekil 25: İHA burnuna yerleştirilmiş tespit sistemi



Kaynak: Bratanov, Mejias, Ford, 2017

İHA'larda algı ve sakın sistemlerinin kullanımına yönelik olarak yapılan en güncel çalışmalardan birisi ile ScanEagle İHA'sının burnuna takılan ve görüntüleme sensörünün yanı sıra görüntüyü işlemeyi ve tehditleri belirlemeyi sağlayan alt sistemleri de bünyesinde barındıran tespit sistemi sayesinde Cessna uçağının minimum 1,5 km mesafeden tespit edilmesine yönelik başarılı uçuş testleri gerçekleştirilmiştir. Kullanılan İHA ve alt sistem yukarıda şekilde görülmektedir (Bratanov, Mejias, Ford, 2017). Benzer algı ve sakın

sistemlerinin uçuş güzergahındaki sabit engellerin tespit edilmesi için kullanımı da mümkün görünmektedir.

4.1.2.2. Sürü içindeki olası çarpışmaların önlenmesi

İHA'ların karşılaşılabileceği çarpışma probleminin bir diğer çeşidi de sürü içindeki elemanların birbirleriyle çarpışması ihtimalidir. Sürüde çok sayıda İHA bulunmasından dolayı bu ihtimal hava sahasında çarpışma meydana gelmesi kadar güçlü bir ihtimaldir.

2003 yılında KAIST (Korea Advanced Institute of Science and Technology - Kore Gelişmiş Bilim ve Teknoloji Enstitüsü) tarafından sürü içerisinde yer alan bir İHA'nın hareketinin koordine edilebilmesi amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada araştırmacılar sürüdeki her bir İHA'nın merkezi olmayan bir kontrol ile bireysel hareket ettiğini, İHA'ların tüm sürüyü görmediklerini, sürünün diğer elemanlarıyla çarpışmamak için basit manevralar yaptıklarını varsaymışlardır. Bu düşünce kalabalık bir otoyolda araba süren bir sürücünün durumu ile benzerlik göstermektedir. Araç sürücüsü otoyoldaki diğer tüm araçları görememesine rağmen sadece çevresindeki araçlarla mesafesini koruyarak olası çarpışmaların önüne geçebilmektedir. KAIST araştırmacıları çarpışmayı önleme düşüncesini hız eşitleme² ve sürü hareketi³ davranışlarıyla birleştirerek, kuş ve arı sürülerindeki karmaşık davranışları simüle etmiş ve sürü İHA'lara uygulamışlardır. Araştırma sonucunda İHA'lar arasında bir İHA'nın kendi boyutunun 5 ila 15 katı büyüklüğünde bir güvenlik mesafesi bırakılması durumunda çarpışmanın önlenildiği tespit edilmiştir. Bir İHA'nın başka bir İHA'nın güvenlik alanına girmesi durumunda ise her iki İHA da kendi güvenlik bölgelerini oluşturacak şekilde manevralarını gerçekleştirmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında geliştirilen uygulama sayesinde bir İHA'nın her iki yanındaki İHA'larla arasındaki mesafesini koruması, önündeki İHA'ya çarpmayacak kadar yavaş ve arkadaki İHA'nın kendisine çarpmayacağı kadar hızlı hareket etmesi sağlanmıştır (Park, Tahk, Bang, 2003).

² Sürüdeki tüm İHA'ların aynı hızda uçuşması.

³ İHA'ların birbirinin etrafında uçuşması.

İtalya'nın Padua Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmada ise sürüde yer alan İHA'lara monte edilen kameraların çarpışmayı nasıl önleyeceği üzerine çalışılmıştır. Kuş sürülerinin hareketleri bilgisayar ortamında analiz edildiğinde KAIST ekibinin araştırmasına benzer şekilde kuşların basit kurallara sadık kalarak sürü içinde birbirlerine yakın hareket ettikleri fakat herhangi bir çarpışmanın gerçekleşmediği gözlenmiştir. Padua Üniversitesi araştırmacıları, kuşların görüş açılarına bağlı olarak sürüyle uyumlu hareket ettikleri teorisine bağlı kalarak sürü içinde yer alan İHA'lara kamera yerleştirilmesini simule eden bir geometrik model yaratmışlardır. Araştırmacılar, kameranın görüş açısı ile algılayabildiği mesafenin artışına bağlı olarak sürünün kabiliyetlerinin arttığını tespit etmişlerdir. KAIST araştırmacılarının yaptığı çalışmaya benzer şekilde Padua çalışmasında da eşit veya yakın hızlarda hareket edilmesi, sürü elemanlarının sürünün merkezine yakın hareket etmesi ve güvenlik mesafesi bırakılmasının çarpışmayı önlemede etkili olduğu sonucuna varılmıştır (Cortelazzo, Clark, Woods, 2003).

4.1.3. Yol planlaması

İHA'lar uçuşa başladıkları andan itibaren bir alanı taramak, hedefe varmak veya hangi görev için harekete geçmişse onu yerine getirmek için hazır hale gelmiş demektir. Bir İHA kendisine atanan görevi gerçekleştirebilmek için çeşitli engeller, tehdit içeren bölgeler, İHA kinematiği gibi farklı kısıtlamaları içinde barındıran karmaşık bir görev bölgesinde çalışmak zorundadır. Aynı zamanda, otonomiden kaynaklı olarak bu görev bölgesinde bazı kontrol noktalarını kontrol etmek zorundadır. Bu nedenle İHA'ların yol planlama sorunu en önemli araştırma alanlarından birisidir.

Yol planlaması, herhangi bir sivil veya askeri uygulamanın gereklerini karşılayabilmek için bazı kontrol noktalarını kontrol etmeyi amaçlayan görevler için gerekli bir süreçtir. Bu işlemin genel amacı, göreve özgü kısıtlamalara sadık kalarak bir başlangıç noktası ile bir varış noktası arasında en uygun ya da buna en yakın yolu bulmaktır. Bu gibi görevlerde böyle bir yolun bulunması çok karmaşık bir görev değildir. Bununla birlikte, özellikle kontrol noktalarının sayısı yüksekse, çok yüksek hesaplama zamanı gerekmektedir. Bu nedenle, birçok durumda, kabul edilebilir bir zamanda uygun bir yolun bulunması yol planlamasında asıl önemli konu olarak değerlendirilmektedir

2005 yılında Shaanxi Motor Tasarım Enstitüsü, Hebei Elektrik Güç Keşif Tasarım Akademisi ve Northwestern Politeknik Üniversitesi sürü İHA'ların en uygun yolu kullanması için sürüye önderlik edecek İHA'lara algoritma geliştirmek amacıyla karınca kolonilerinin koordinasyonu üzerine çalışmalarda bulunmuştur. Araştırmacılar, ilk karınca ve onu takip eden karıncaların hedeflerine giden ve koloniye geri dönen yolları izlemek için bir olasılık denklemi uygulamışlardır. Daha sonra yiyecek bulmak için karıncalar tarafından kullanılan güzergâhlar (yiyeceğin bulunduğu en yakın ağaç gibi en yakın mesafeyi tanımlayacak görsel hedefler kapsamında) gözlemlenmiştir. Karıncaların buldukları yiyecekleri yuvalarına taşımaları sırasında bıraktıkları kimyasallar karıncalar arasında bir iletişim ağı olarak kabul edilmiş ve İHA'ların da belirli kontrol noktalarını kullanarak diğer İHA'ların uğraması gereken veya gerekmeyen bölgeleri işaretlemelerinin mümkün olabileceği değerlendirilmiştir. Karıncaların seçtiği rotalar sayesinde oluşturulan algoritmaların düşük hata payı sağlaması ve kabul edilebilir ölçülerde mesafe belirlemesi nedeniyle İHA'lar için en uygun rotanın belirlenmesinde yöntem olarak değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır (Wei, Wei, 2009).

Hollanda'nın Delft Üniversitesi araştırmacıları ise bu konuyu askeri alanda incelemiş ve düşman bölgesinde tehdit barındırmayan bölgeleri tespit ederek sürü için en uygun yolun bulunması konusunda çalışmada bulunmuşlardır. Çalışmada askeri İHA'ların en kısa zamanda ve en uygun rotayı takip ederek belirlenmiş hedeflere ulaşabilmesi amacıyla bir algoritma oluşturulmuştur. Bu algoritma sayesinde İHA'ların yük taşıma kapasitelerine ve sensör kabiliyetlerine bağlı olarak yok edilecek veya gözlem yapılacak tesisler/merkezler belirlenmiştir. Ayrıca bu algoritma sayesinde İHA'ların izleyeceği güzergâhların sebep olacağı yakıt tüketimi ve bu sebeple ortaya çıkacak maliyetler de hesaplanmıştır. Çalışma Sınıf II ve Sınıf III'te yer alan askeri İHA'lar için yapılmış olsa da sivil amaçlar ve Sınıf I kapsamındaki İHA'lar için de kullanılabileceği değerlendirilmiştir (Vandermeersch, Chu, Mulder, 2005).

4.1.4. Otonomide geliştirilmesi gereken diğer hususlar

Yukarıda bahsedilen hususların haricinde otonominin tam anlamıyla uygulanabilmesi için üzerinde durulması gereken başka konular da bulunmaktadır (Finn, Kabacinski, Drake, 2007).

Bu konulardan ilki sistemde aşırı veya eksik bilgi yüklemesinin meydana gelmesidir. Sürülerde görev yapan İHA'ların topladıkları verileri birleştirerek ortak bir durumsal farkındalık resmi oluşturması gerekmektedir. Daha sonra bu bilginin filtrelenmesi, düzenlenmesi ve hem sürünün tüm elemanlarıyla hem de operatör (eğer mevcutsa) ile hızlı bir şekilde değerlendirilecek biçimde paylaşılması önem arz etmektedir. Bunu gerçekleştirmek için gereken yapay zekâya yönelik kaynaklar görev talebini aşarsa, sistem performansı yeterli eşik değerinin üzerinde kalır. Aksi durumda ise -kaynaklar talebe yanıt veremezse- sistemin performansı gerekli sonuçları veremez ve görev başarısızlıkla sonuçlanabilir.

Diğer bir konu ise işbirliğine yönelik dinamik bir kontrol altyapısı gerekliliğidir. İHA'lar önceden planlanan yörüngelerinde uçmaya başladıktan sonra hedeflerin ve tehditlerin durumuna göre otonom ve dinamik bir şekilde tepki verebilmelidir. Bu tepkiler, İHA'ların kendi yerleşik sensörleri veya sürüdeki diğer İHA'ların sensörlerinden alınan verilerle ortaya çıkabilir. Alternatif olarak sürüyü takip eden operatörler tarafından verilen emirlere bağlı olarak öncelik değişikliğine gidilmesi taleplerine İHA'ların yanıt verebilmesi gereklidir. Bunları gerçekleştirebilmek için her İHA'nın hedefleri ve öncelikleri atanmış olmalıdır, bu da (bireysel ve toplu olarak) durumların ve olayların değerlendirilmesini sağlayan bir dizi ölçüm gerektirir. Bu ölçümler, İHA'ların hedefler arasında seçim yapmasını, görev için kaynak tahsisi yapmasını ve kazançları en yükseğe çıkarırken maliyetleri en aza indiren öncelikler oluşturmasını sağlamaktadır. Sürü İHA sistemlerinde kullanılan veya kullanılması öngörülen kontrol altyapıları ve algoritmalarının önemli örnekleri sonraki bölümlerde detaylı olarak anlatılacaktır.

Üzerinde durulması gereken bir diğer husus ise sürünün sağlık durumunun sürekli gözlenmesidir. Operatörün bir pilottan farkı, pilotun kullanabileceği bir dizi duyu sinyalinin mevcut olmasına rağmen operatörün bunlardan yoksun olmasıdır. Dolayısıyla operatör, yerleşik sensörler tarafından sağlanan bu sinyalleri direkt olarak hava aracından veya hava aracının bulunduğu ortamdan almak yerine yalnızca bir veri bağlantısı yoluyla almaktadır ve bu durum özellikle arızalar gerçekleştiğinde operatörün İHA üzerinde tam hakimiyet sağlayamaması durumunu ortaya çıkarabilmektedir. Bu "duyusal eksikliği" gidermek için, İHA'lardaki sensörlerden ve sistemlerden önemli miktarda veri yer kontrol istasyonunda yer alan operatörlere iletilmelidir. Otonomi seviyesi arttıkça bu bildirimler sadece bilgi verme

amaçlı olarak gerçekleşmektedir. Hava aracı, üzerinde yer alan sensörlerin ve alt sistemlerin durumuyla ilgili bilgileri otonom bir şekilde işleyerek yorumlayabilmeli, bir sonraki hareketine karar verebilmeli, gerekirse “eve dön” komutuyla kalkış noktasına veya güvenli bir noktaya iniş gerçekleştirebilmeli ve durumuyla ilgili olarak bilgilendirmede bulunmalıdır.

Söz konusu hususların dışında; dinamik bir ortamda görev yapmasından dolayı otonom sistemin güvenilirliğinin zamanla değişebilir olması, sürünün her daim mevcut olan dağılma potansiyeli, otonom sistemlerin kullanılmasından dolayı ortaya çıkabilecek hukuki durumlar üzerinde çalışılması gereken detaylar olarak ortaya çıkmaktadır.

4.2. İtki Sistemleri ve Çözümler

İHA'ların havada kalış süresi olarak da adlandırılan dayanımları; görev gereksinimleri, tasarımları, itki sistemleri gibi çeşitli parametrelere bağlı olarak değişmektedir. İHA sınıflarına göre genel bir değerlendirme yapıldığında; sürü İHA'lar için daha yoğun olarak kullanılması öngörülen Sınıf I'de yer alan İHA'ların dayanım süreleri değişkenlik göstermektedir. Mini/mikro İHA'lar için genellikle elektrik motorları kullanılmakta olup dayanım süreleri birkaç saatle sınırlı olurken, sınıfın diğer elemanı olan küçük İHA'lar için elektrik motorlarının yanı sıra büyük oranda içten yanmalı motorlar kullanılmakta ve uzun dayanım süreleri elde edilebilmektedir.

İçten yanmalı ve gaz türbin motorlar üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, daha düşük yakıt tüketimine sahip, kullandığı yeni nesil malzeme teknolojileri sayesinde daha hafif olan ve tüm bunların sayesinde daha uzun dayanım sağlayabilen gaz türbin ve içten yanmalı motorlar geliştirilmesine yönelik çalışmalar sürdürüldüğü görülmektedir.

Elektrik motorlarındaki kritik konular değerlendirildiğinde ise, batarya dolun süreleri, bataryanın bağlantılarından ayrılarak şarj edilmeye hazır hale getirilmesi ve uçuşa tekrardan hazırlanabilmesi aşamaları da hesaba katıldığında görevin işleyişini aksatacak derecede uzundur. Bu kapsamda, İHA'ların dayanımlarını artırabilmek için çeşitli çalışmalar yapılmakta ve yeni sistemler geliştirilmektedir. Bu çalışmalardan en dikkat çekenlerini elektrik motoru

kullanan İHA'ların bataryalarının havadayken lazerle veya yere iniş yaparak kısa sürede dolununun sağlanması, bataryası boşalan İHA'ların sürüden ayrılarak bir aparat yardımıyla kısa sürede batarya değişikliği yapması ve batarya teknolojilerini geliştirmeye yönelik yapılan çalışmalar şeklinde gruplandırmak mümkündür.

İHA'larda itki sistemleri ve enerji çözümlerine yönelik olarak yukarıda bahsedilen çalışmaların dışında hibrit elektrikli motorlar, yakıt hücreleri ve güneş enerjisi kullanımına yönelik olarak da önemli gelişmeler kaydedilmiştir.

4.2.1. İçten yanmalı ve gaz türbin motorlar

Günümüzde Sınıf I'de yer alan ve fosil yakıt kullanan İHA'ların büyük bir kısmında düşük ağırlığa sahip olması ve ağırlığına oranla sağladığı yüksek güç sebepleriyle içten yanmalı motorlar kullanılmaktadır. Dolayısıyla da içten yanmalı motorlar, üzerinde en yoğun geliştirme çalışması yapılan itki sistemlerinden birisi haline gelmiştir.

Bu kapsamda, söz konusu yeni nesil içten yanmalı motorların kullanıldığı, 2017 yılında MIT (Massachusetts Institute of Technology - Massachusetts Teknoloji Enstitüsü) tarafından geliştirilen Jungle Hawk Owl isimli İHA, yaklaşık 68 kilogramlık ağırlığı ve 7 metrenin üzerindeki kanat açıklığıyla, 5 bin metre irtifada 5 günden uzun süre havada kalmayı başarmıştır. Söz konusu İHA 4,5 kg'dan 9 kg'a kadar haberleşme ekipmanı taşıyabilmektedir. (Chu, 2017).

Gaz türbin motorlar arasında ise İHA'lar için en yoğun tercih edilen tür turbojet motorlardır. Gaz türbin motorlar sınıfının en basit versiyonu olan turbojet motorlar düşük ağırlığı ve bu ağırlığa oranla çok yüksek güç sağlayabilmesiyle beraber bu motorların yüksek yakıt tüketimi söz konusu avantajları azaltabilmektedir. Son yıllarda turbojet motorların boyutları mini/mikro İHA'lar için bile uygun hale gelmiştir. Örneğin, Kolibri T15 ve Jet Central Bee II Kero Start gibi motorlar sahip oldukları düşük kütle (1 kilogramın altı) ve boyutlarla mini/mikro İHA'larda kullanılabilen ve uzun süreli dayanımlar sağlayabilmektedir (Dutczak, 2016).

4.2.2. Elektrik motorları

Elektrik motorları özellikle sınıf I'de yer alan mikro ve mini İHA'lar tarafından itki sistemi olarak tercih edilmektedir. Elektrik motorlarının basit bir mimarisinin olması, kolaylıkla tedarik edilebilmesi, düşük maliyeti ve bakım masraflarının düşük olması bu tercihin temelini oluşturmaktadır. Elektrik motorlarına yönelik yapılan çalışmalar motorların ihtiyaç duyduğu enerjiyi sağlayan bataryaların dolumu, değişimi ve yeni nesil pil teknolojilerinin geliştirilmesi konularına yoğunlaşmıştır.

4.2.2.1. Batarya dolumu

Elektrik motoruna sahip İHA'lardaki enerji probleminin çözümüne yönelik olarak çalışılan alanlardan birisi, sistemde yer alan bataryaların sistemden ayrılmadan dolumunun sağlanmasıdır. Bu kapsamda uçuş sırasında ve iniş gerçekleştikten sonra batarya dolumunu sağlamaya yönelik farklı sistemler geliştirilmiş ve gerçek uçuş ortamında testleri gerçekleştirilmiştir.

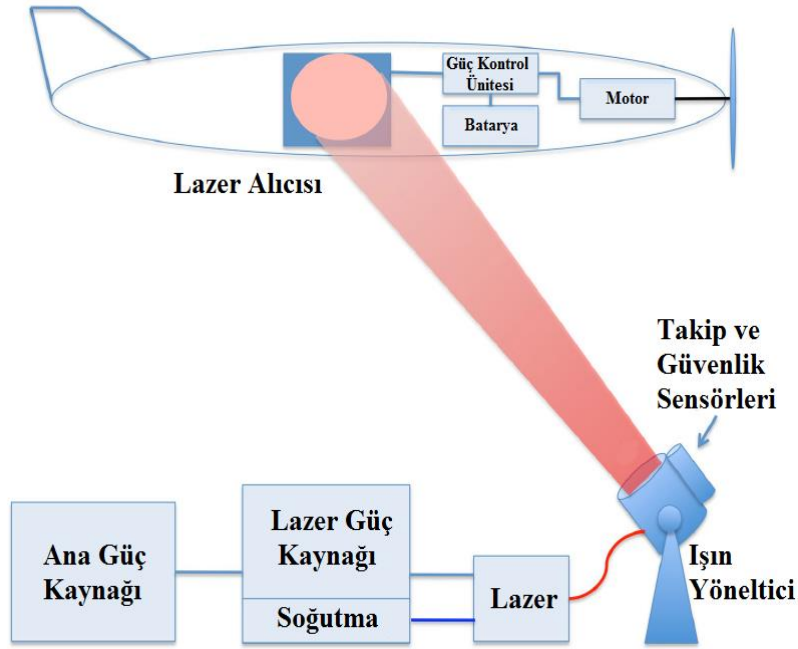
4.2.2.1.1. Uçuş sırasında batarya dolumu

2008 yılında yapılan bir çalışma kapsamında yüksek enerjili lazer ışınları ile uçuş anında bir İHA'nın bataryasının şarj edilmesi konsepti üzerinde durulmuştur. Kurulan sistemde lazer verici birincil bir kaynaktaki gücü monokromatik⁴ bir ışık demetine dönüştürmektedir. Sistemin işleyişi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Nugent, Kare, 2010). Yakın zamanda gerçekleştirilen benzer çalışmalarda tercih edilen lazer teknolojisi, yakın kızılötesi lazer diyot dizileridir. Lazer diyot dizileri, verimli olup nispeten ucuzdur ve saha kullanımı için yeterince güvenilirdir.

⁴ Tek dalgaboylu.

Alıcıda, lazer dalga boyuna ve lazer ışını yoğunluğuna uyan özel fotovoltaik hücreler⁵ lazer ışığını yeniden elektrik enerjisine dönüştürür. Lazer ışını bulutlar gibi atmosferik koşullar kaynaklı engeller nedeniyle kesilebilir olduğundan, çoğu uygulama yardımcı güç kaynağı gerektirir. Bu güç kaynağı lazer ışınlarının menzili dışında gerçekleştirilen İHA görevlerini destekleyeceği gibi İHA'nın kendisinden veya faydalı yüklerinden gelen yoğun talepler için de güç sağlayabilir.

Şekil 26: İHA'ya giden lazer ışınının şematik gösterimi



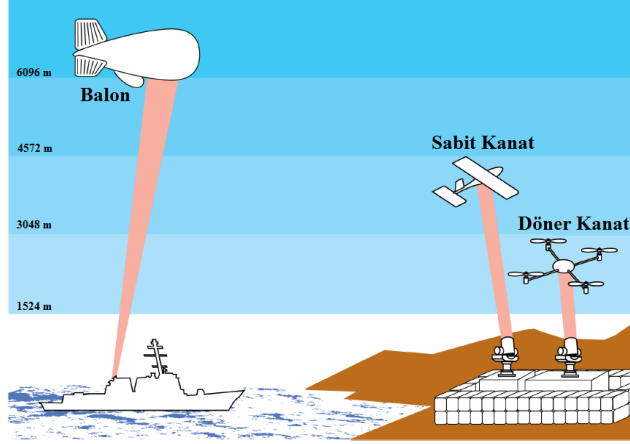
Kaynak: Nugent, Kare, 2010

Böyle bir sistemin verimli olabilmesi için 3 farklı senaryonun uygulanmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir. Bu senaryolar;

- i. Konumu sabit bir istihbarat, gözlem ve keşif platformunun enerji ihtiyacının lazer ışınlarından sağlanması.

⁵ Güneş hücrelerine benzer lazer hücreleri.

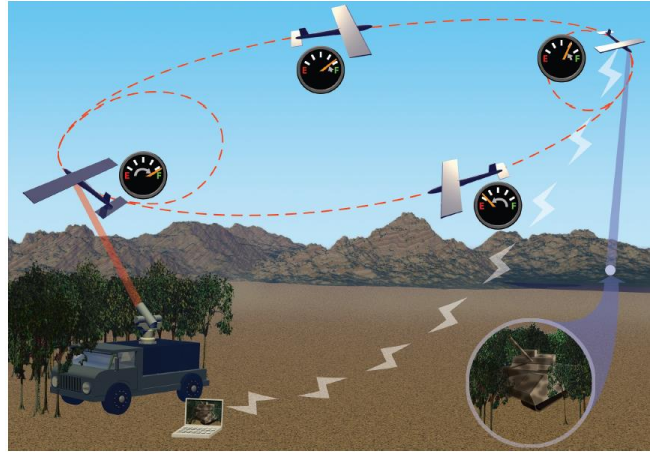
Şekil 27: Sabit platform



Kaynak: Nugent, Kare, 2010

- ii. Görüş hattının daha da ilerisinde görev yapacak bir İHA'nın görüş hattı dışında görevini sürdürecektir kadar enerjisi bataryasında muhafaza etmesi, lazer sisteminin görüş alanına girdiğinde ise enerjisini lazer ışınlarından sağlaması.

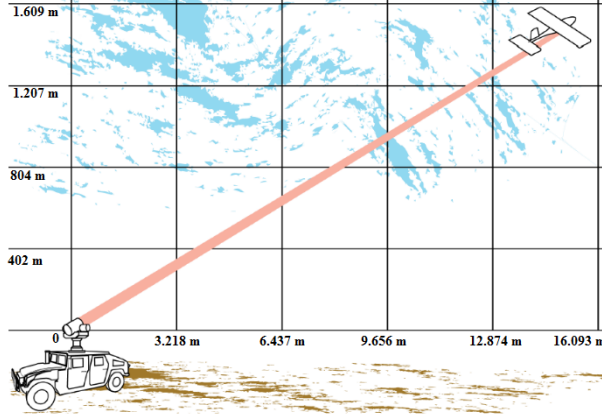
Şekil 28: Uzatılmış menzil



Kaynak: Nugent, Kare, 2010

- iii. İHA'nın lazer sisteminin görüş alanı içerisinde sürekli olarak görevine devam etmesi (Yapılan çalışmada 16.093 m menzil, 1.609 m irtifa koşulu bulunmaktadır).

Şekil 29: Uzun dayanım



Kaynak: Nugent, Kare, 2010

Lazer ışınlarıyla batarya dolumuna yönelik yapılan bir diğer çalışmada ise bu uygulamanın gerçekleşebilmesi için gereken kritik teknolojiler ve zorluklar değerlendirilmiştir (Cui, Hua, Liu, Guo, Yan, 2017). Bu kapsamda en kritik noktanın sistemde lazer ışınlarının elektrik enerjisine dönüştürülmesindeki verimlilik oranı olduğu ifade edilmiştir. Verimliliği etkileyen temel faktörler ise şu şekilde sınıflandırılmıştır:

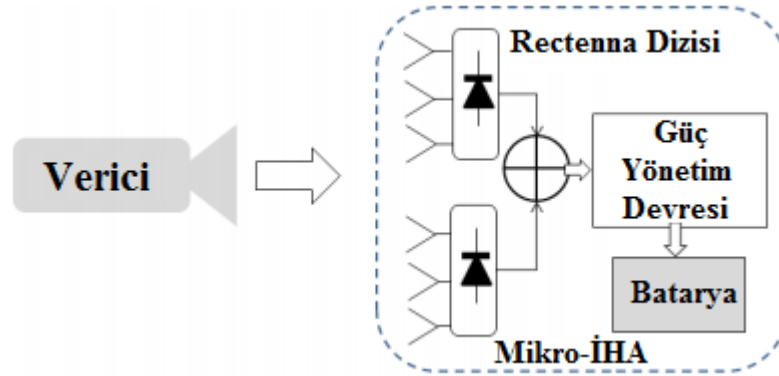
- i. İHA'ların boyutları küçüldükçe takip etmesi zorlaşmaktadır. Lazer ışınlarının İHA'yı hedeflerken ortaya çıkan hata payı verimliliğin büyük oranlarda düşmesine sebep olabilmektedir. Dolayısıyla yüksek hassasiyetli izleme ve hedefleme sisteminin tasarlanması gereklidir.
- ii. Günümüzde ticari fotovoltaik hücreler genellikle %20 oranında düşük dönüşüm verimliliğine sahiptir. Eğer ışın kalitesi de düşükse dönüşüm verimliliği çok daha düşük oranlarda gerçekleşmektedir. Işın kalitesi ve ihtiyaç duyulan enerjiye uygun fotovoltaik hücreler kullanılması gereklidir.
- iii. Güç yönetimi de bir diğer önemli konudur. Lazer ışınları elektrik enerjisine dönüştürüldükten sonra pile, alt sistemlere ve motora iletimi yapılmaktadır. Koşullara göre sabit voltaj gelmeyeceği de değerlendirilerek planlama yapılmalıdır.

Bu hususların haricinde kullanılacak lazer çeşidi, ışınların iletilme yöntemi ve atmosferik koşullar da verimli bir dönüşüm gerçekleşmesi için üzerinde durulması gereken konular olarak değerlendirilmiştir.

4.2.2.1.2. Yerde batarya dolumu

İHA'ların bataryalarının dolumunu gerçekleştirmenin bir başka yolu da yerde kurulacak mobil veya sabit batarya şarj istasyonlarında kablosuz hızlı şarj teknolojisi kullanarak İHA'ların tam kapasiteyle kısa sürede uçuşa hazır hale getirilmesidir. Bu sistemler sayesinde İHA'ların bataryasının çıkarılıp değiştirilmesine gerek kalmamakta, sistemin enerji ihtiyacı otonom bir şekilde karşılanmakta, zamandan tasarruf edilmesi mümkün olmakta ve olası kazalar büyük ölçüde önlenmektedir. Bu kapsamda, farklı türlerde İHA'lar için çalışmalar yapılmış ve çeşitli sistemler geliştirilmiştir.

Şekil 30: Mikro İHA için kablosuz şarj yönteminin şematik gösterimi



Kaynak: Dunbar, Wenzl, Hack, Hafeza, Esfeer, Defay, Prothin, Bajon, Popovic, 2015

Colorado Üniversitesi tarafından 2015 yılında yapılan bir çalışmada, üniversite tarafından geliştirilen tilt rotor⁶ mikro İHA'nın kablosuz bir şekilde şarj edilebilmesi amacıyla bir sistem geliştirilmiştir. Sistemin İHA üzerinde yer alan kısmı, İHA'nın her iki kanadına monte edilmiş hafif ve esnek birer rectenna⁷ dizisi ve bataryanın etkin bir şekilde şarj olmasını sağlayan güç yönetim devresini kontrol eden mikro denetleyiciden oluşmaktadır. Bu sistem sayesinde İHA yere inişini gerçekleştirmesinin ardından hızlı şarj özelliğiyle kısa sürede tekrar uçuşa hazır hale gelmektedir (Dunbar, v.d. 2015).

⁶ Dikey kalkıştan sonra itki sistemi yön değiştirerek geleneksel uçaklar şeklinde hareket sağlamaktadır.

⁷ Rectenna, elektromanyetik enerjiyi doğru akım elektriğe dönüştürmek için kullanılan özel bir anten türüdür. Radyo dalgaları ile güç aktaran kablosuz güç iletim sistemlerinde kullanılır.

İHA'nın yere inmesinin ardından bataryanın hızlı bir şekilde dolununun gerçekleştirilmesi amacıyla yürütülen çalışmaların son yıllarda asıl odak noktası döner kanatlı sistemler olmuştur. Bu kapsamda, en güncel çalışmalardan birisi Kyushu Üniversitesi tarafından yapılmıştır. Otonom uçuş sırasında İHA'nın görev yapacağı bölgede iniş yaparak batarya dolumunu gerçekleştirebileceği birkaç adet şarj istasyonu kurulmuştur. Bu istasyonlarda da yakın mesafeden güç iletimi sağlanacağından dolayı kapasitif güç aktarımı kabiliyetine sahip İHA'lara özel kablosuz şarj sistemi geliştirilmiştir. Bu uygulamada, gücü alan taraf olan İHA üzerinde yer alan devrenin küçük ve hafif olması önem arz etmektedir. Sistem sayesinde tamamen otonom bir şekilde geleneksel şarj yöntemlerine göre %50 daha hızlı bir şekilde batarya dolumu gerçekleşmiştir (Mostafa, Muharam, Hattori, 2017)

4.2.2.2. Batarya değişimi

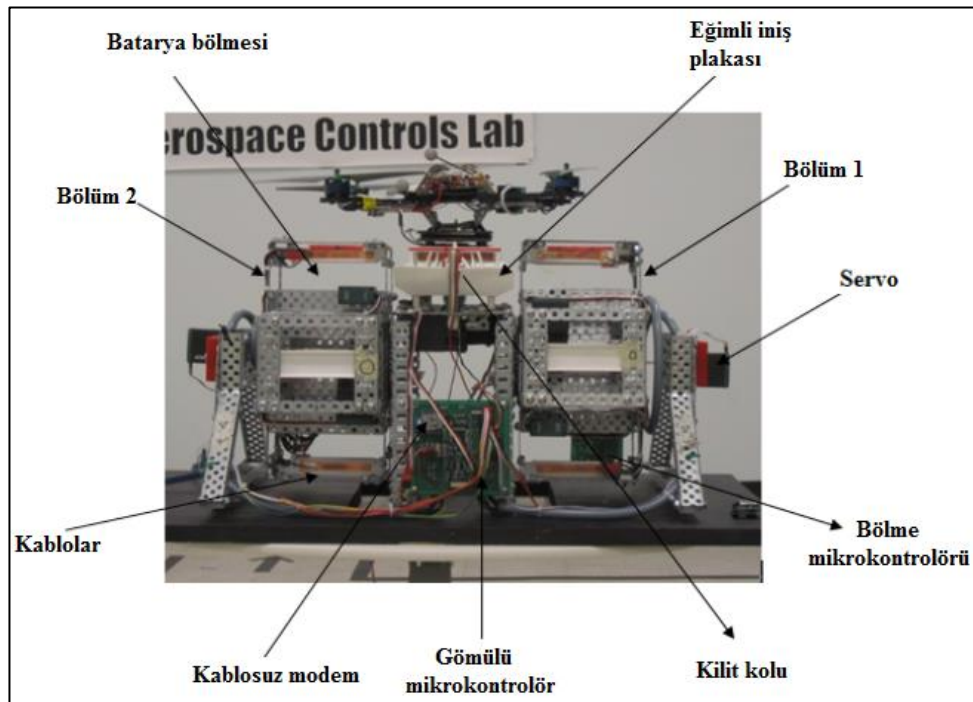
Özellikle sürü İHA sistemlerinde yer alan İHA'lar için yapılan bir çalışma ise sürüde yer alan hava araçlarının bataryalarının yerde konuşlanmış bir platform aracılığıyla otomatik bir şekilde değişmesini ve bu değiştirilen boş bataryaların platform tarafından bir sonraki kullanım için doldurulmasını sağlamak üzerine gerçekleştirilmiştir (Toksoz, Reddingy, Michiniz, Michini, How, Vavrinak, Vian, 2011).

Sistemin işleyişi ise şu şekildedir;

1. İHA, sistemin merkezinde yer alan plakaya inişini gerçekleştirir, motorlarını kapatır, bir kontrol yazılımı aracılığıyla inişin tamamlandığını platforma bildirir.
2. Platformun kontrol yazılımı aracılığıyla platformun kenarlarında yer alan servo motorlarını kullanarak İHA'nın yerleşmesini ve kilitlenmesini sağlar.
3. İHA'nın platforma düzgün bir şekilde yerleşmesi ve kilitlenmesi tamamlandıktan sonra kontrol yazılımı her raftaki voltaj seviyelerini ölçer, boş olanları ve dolu olanları belirler. Komutlar, bataryaları taşıyan kenarlardaki çarkları harekete geçirmek için değiştirme istasyonuna gönderilir.
4. Çarklar uygun şekilde konumlandığında değiştirme istasyonuna dolu bataryayı çarktan İHA'ya yerleştirmek ve boş bataryayı İHA'dan çarka aktarmak üzere kontrol yazılımından komutlar gelir.

5. Şarjı dolu batarya İHA'nın uygun bölmesine yerleştiğinde platform durur ve kilitler açılır.
6. Kilitler açıldığında kontrol yazılımı İHA'ya kalkışın uygun olduğuna dair mesaj gönderir. Bu İHA'nın daha büyük bir sistemin parçası olması durumunda (sürü gibi) sistemin görev yöneticisinin kararına bağlı olarak İHA'nın kalkışına izin verilir.

Şekil 31: Sistem donanımı ve alt bileşenleri



Kaynak: Toksoz, v.d. 2011

Geliştirilen platform sayesinde İHA'ların batarya değişimi insana gerek kalmadan otonom bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Böylece özellikle Sınıf I'de yer alan İHA'larda ortaya çıkan enerji probleminin verimli ve taşınabilir bir sistemle üstesinden gelinmektedir.

4.2.2.3. Yeni nesil pil teknolojilerinin kullanımı

Lityum iyon pillerin bir çeşidi olan ve Li-Poly veya Lipo olarak da bilinen Lityum Polimer piller günümüzün İHA'larında en yaygın kullanılan pil türüdür. İHA'ların itki sisteminin ana güç kaynağı ve/veya elektronik alt sistemler için ikincil bir güç kaynağı olarak yaygın olarak

kullanılmaktadırlar. Lipo piller küçük hacimlerde daha fazla enerji depolama kapasitesine sahip olduklarından elektrikli hava araçlarında en fazla kullanılan pil çeşididir. Ayrıca ağırlıklarına göre verdikleri enerji ve kolayca şekillendirilebilir olmaları sebebiyle lityum iyon piller yerine tercih edilmektedirler. Bununla birlikte, doğru kullanılmadıkları veya muhafaza edilmedikleri takdirde kolayca hasar görebilir veya hatta yangın tehlikelerine neden olabilmektedirler. Ayrıca daha uzun dayanım sağlayabilmek için daha ağır Lipo piller kullanılması gerekliliği, daha uzun dayanımlı ve daha hafif İHA yaratmayı hedefleyen üreticileri farklı arayışlara itmiş, bu arayışlar da yeni nesil pil teknolojilerinin ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Bu kapsamda yapılan çalışmaların en önemlilerinden birisi SION Power ve QinetiQ firmalarının işbirliğiyle gerçekleştirilmiştir. HALE sınıfında yer alan ve otonom olarak çalışabilen bir İHA üzerinde gerçekleştirilen çalışmada Lityum Sülfür yeniden şarj edilebilir batarya sistemi kullanılmıştır. İlk olarak Lipo pillerle gerçekleştirilen uçuş yaklaşık 1 saat 10 dakika sürerken Lityum Sülfür pillerle gerçekleştirilen uçuşun süresi 2 saati geçmiştir. Daha uzun süreli görevlerin gerçekleştirilmesini mümkün kılan Lityum Sülfür bataryalar, aynı zamanda Lipo pillere göre %60'a varan oranlarda daha hafif olması sayesinde daha fazla faydalı yük taşınmasına imkan sağlamaktadır (White, Jost, 2016). Lipo pillere göre hem ağırlık yönünden hem de sağladığı güç bakımından avantajlı durumda olan Lityum-Sülfür pillerin günümüzde daha küçük boyutlara sahip olan mikro/mini İHA'lar için kullanımı mevcut değildir. Fakat bu sınıfta yer alan İHA'ların kullanımının artışı ve daha fazla dayanım sürelerine duyulan ihtiyaç göz önünde bulundurulduğunda, Lityum-Sülfür pil teknolojisi önümüzdeki yıllarda üzerine daha fazla çalışılacak bir alan olarak görünmekte ve bu pillerin boyutlarının daha da küçüleceği öngörülmektedir.

Güneş enerjisinden aldığı güçle dünya turunu tamamlayan Solar Impulse 2 hava aracı enerjisi depolayabilmek için Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit içeriğine sahip bataryaları kullanmıştır. %96 gibi çok yüksek bir verimlilik oranına sahip bu bataryalar kg başına sağladıkları enerji miktarıyla Lipo pilleri geride bırakmıştır. Solar Impulse 2 projesinde kullanımı sırasında bataryalar zaman zaman tasarımda planlanan maksimum batarya sıcaklığını aşmış olmasına rağmen kapasitede kayda değer bir düşüş gerçekleşmemiştir. Hâlihazırda taktik ve daha üst sınıflardaki İHA'lar için kullanımı düşünülen bu bataryaların daha küçük boyutlu

İHA'lar için de yakın zamanda kullanımının mümkün olabileceği değerlendirilmektedir (Teschler, 2016).

Şekil 32: Lityum nikel mangan kobalt oksit pil kullanan Solar Impulse 2 hava aracı



Kaynak: Cuthbertson, 2016

Yukarıda bahsedilen geliştirmelerin yanı sıra bataryanın sahip olduğu kg başına 2 kat daha fazla enerji sağlayabilen Lityum-Tiyonil-Klorür ve 7 kat daha fazla enerji sağlayabilen Lityum-Hava bataryaları mevcuttur. Fakat bu ürünler özellikle yüksek maliyeti sebebiyle genellikle askeri platformlar için tercih edilmektedir (DRONEII, 2017).

4.2.3. Hibrit elektrikli motorlar

İHA'lar için kullanımı yaygınlaşan bir diğer itki sistemi ise içten yanmalı veya gaz türbin motorlarından birisi ile elektrik motorunun bir arada kullanımı ile ortaya çıkan hibrit elektrikli motorlardır. Bu motorlar her iki sistemin avantajlarını birleştirerek, yüksek performanslı, uzun dayanımlı ve sessiz bir uçuş sağlamaktadır. Çok çeşitli hibrit elektrikli motor mevcut olmasına rağmen en yaygın kullanılan tür içten yanmalı motor, jeneratör ve elektrik motoru üçlüsünü bir arada bulunduran sistemdir. İçten yanmalı motordan gelen mekanik enerji jeneratör aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülmekte, bu enerji de elektrik motorunun çalışmasını ve bu sayede pervanenin dönmesini sağlamaktadır. Ayrıca jeneratörden çıkan elektrik enerjisi ile yedek olarak kullanılacak bir bataryanın beslenmesi de mümkündür.

Hibrit elektrikli motorlar günümüzde 150 kg altındaki İHA'lar için yaygın olarak kullanılan bir teknoloji haline gelmiştir. Bu kapsamda Quaternium firması tarafından geliştirilen çoklu döner kanatlı Hybrix-20 isimli İHA 20 kg'lık tam yüklü ağırlığıyla 2 saat havada kalabilmektedir (Quaternium, 2018).

4.2.4. Yakıt hücreleri

İHA'lar için kullanımı üzerinde çalışılan alternatif itki sistemleri arasında yakıt hücrelerine dayanan sistemler bulunur. Yakıt hücreleri, ağırlık, hacim ve maliyet düşüşünde etkisi olacağı düşünülen halen olgunlaşmamış ancak gelişen bir teknolojidir. Yakıt hücreleri, yakıtlardaki kimyasal enerjiyi direkt olarak elektrik enerjisine dönüştüren elektrokimyasal sistemlerdir. Sistem hidrojen ile beslendiğinde, sera gazı üretmemekte, sadece su ve ısı açığa çıkmaktadır. Ayrıca motorun gürültü seviyesi düşüktür. Su ve ısının yanı sıra egzozdan atılan ve düşük oksijen içeren hava, yakıt hücresinin ürünleridir ve özellikle büyük İHA'larda diğer alt sistemler için su temini veya buz çözme gibi ağırlığın dezavantajlarını telafi edecek başka uygulamalar gerçekleştirilmesi mümkündür.

Pillerin aksine, bir yakıt hücresinin şarj edilmesi gerekmemektedir. Yakıt ve oksitleyici dışarıdan sağlandığı sürece sistem çalışmaya devam etmektedir. Yakıt hücresinin kendisi, yakıtın enjekte edildiği bir anottan (genellikle hidrojen, amonyak veya metanol) ve bir elektrolit iyonik iletkeni ile ayrılmış bir oksidanın (genellikle hava veya oksijen) girdiği bir katottan oluşmaktadır. Genellikle yakıt pilleri düşük voltaj üretmektedir ve çoğu İHA uygulamasında gereken gücü elde etmek için bir yakıt hücresi grubu içine monte edilmesi gerekmektedir. Yakıt hücreleri, doğaları gereği modüler cihazlar oldukları için, güçleri mikrodalgadan megawatt'a kadar gidebilir ve bu durum yakıt hücrelerini çok çeşitli uygulamalar için kullanışlı hale getirmektedir.

Her bir yakıt hücresi iki bileşene ihtiyaç duymaktadır. Birincisi güç üreten birimin ana gövdesi, diğeri hidrojen ya da başka herhangi bir gaz veya sıvı içeren yakıt deposudur. Bununla birlikte, yakıt hücreleri havadaki oksijeni tepkimenin yarısı için kullandığından, enerji yoğunluğu pillere göre çok daha gelişmiş durumdadır.

Yakıt hücresiyle çalışan elektrik motorlarının avantajları ve dezavantajları aşağıda detaylı bir şekilde sınıflandırılmaktadır.

Avantajları:

- i. Fosil yakıt teknolojilerinden daha verimlidir.
- ii. Daha uzun dayanım anlamına gelen yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir.
- iii. Az sayıda hareketli parça yer almasından dolayı güvenilirlik yüksektir.
- iv. Yanma olmadan doğrudan enerji dönüşümü gerçekleşmektedir.
- v. İhmal edilebilir düzeyde gürültü ve titreşim, düşük veya sıfır emisyon açığa çıkmaktadır.

Dezavantajları:

- i. Henüz olgun bir teknoloji olmaması ve katalizör olarak platin gibi pahalı malzemeleri kullanmasından dolayı maliyeti yüksektir.
- ii. Motor içinde yakıt kaynaklı oluşabilecek kirliliğe karşı pahalı filtreleme sistemleri gerekmektedir.
- iii. Yakıt hücrelerinde kullanılan yakıtlardan biri olan H₂, doğal haliyle bol miktarda değildir. Bir enerji kaynağı olmaktan ziyade bir enerji taşıyıcısı olarak tanımlanmakta olup suyun elektrolizi veya hidrokarbon dönüşümü yoluyla elde edilmelidir. Ayrıca şu an için dağıtım altyapısı bulunmamaktadır.
- iv. Söz konusu ticari yakıt hücrelerini kullanan çok az sayıda İHA bulunmaktadır. Uygulamalar hala çok yenidir ve teknolojinin olgunlaşması gerekmektedir. Ticari kullanım için güvenilirliğinin kanıtlanması gerekmektedir.
- v. H₂ tedariki ve depolanması ile ilgili güvenlik sorunları (hidrojen gazı ile hava, patlayıcı karışımlar oluşturur) bulunmaktadır (Espasandín, Leo, Arévalo, 2014).

4.2.5. Güneş enerjisi

Güneş enerjisinin dönüşümünden elde edilen elektrikle çalışan İHA'lar hava taşıtlarındaki dayanımı önemli ölçüde artırmayı taahhüt etmektedir. Elektriğe dönüştürülen güneş enerjisi ile çalışan bir İHA, pillerini şarj etmek için toplanan aşırı miktardaki güneş enerjisini

kullanılmaktadır. Bununla birlikte, uygun bir tasarım ve uygun çevresel koşullar göz önüne alındığında, depolanan enerji gece boyunca ve potansiyel olarak sonraki gece/gündüz döngüleri sırasında İHA'yı havada tutmak için bile yeterli olabilmektedir. Sürekli uçuş kabiliyeti olarak adlandırılan bu durum, veri toplanması gereken uygulamalarda güneş enerjisini kullanan İHA'ların ideal bir aday olmasını sağlamaktadır (Oettershagen, Melzer, Mantel, Rudin, Lotz, Siebenmann, Leutenegger, Alexis, Siegwart, 2015).

İlk olarak büyük boyutlu İHA'ların fosil yakıtlara bağımlılığını bitirmek hedefiyle başlayan güneş enerjisinin kullanımına yönelik çalışmalar güneş enerjisinin Sınıf I'deki İHA'lar için de ticari olarak kullanılabilir hale gelmesini sağlamıştır. Bu kapsamda, AtlantikSolar firması tarafından geliştirilen İHA, 2015 yılında gerçekleştirdiği 81 saatlik sürekli uçuşuyla 50 kg altında kalkış ağırlığına sahip İHA'lar arasında dünya rekorunun sahibi olmuştur. Yalnızca 6,3 kg kütleyle sahip İHA, gerekli güneş enerjisini toplayabilmek için güneş panelleriyle kaplanmış 5 metre kanat açıklığına sahiptir. Elden fırlatılma özelliğine sahip İHA'da iniş takımı olmaması büyük ağırlık avantajı yaratmaktadır. Ayrıca üzerinde faydalı yük olarak yüksek çözünürlüklü dijital kamera taşıyabilmektedir (Venkataramanan, 2015).

Yine Sınıf I'de yer alan mikro/mini İHA'lar kapsamındaki döner kanatlı platformlar için de güneş enerjisinin kullanılabilir hale gelmesi ve dayanım sürelerinin artırılabilmesi amacıyla çalışmalar yürütülmektedir. Fakat bu çalışmalar daha çok deneysel aşamada olmakla beraber yakın gelecekte ticari kullanımının mümkün olabileceği değerlendirilmektedir. Bu platformlarda bu teknolojinin henüz kapsamlı bir şekilde uygulanamıyor oluşunun en önemli sebebi ise sabit kanatlı platformlardaki gibi güneş hücrelerinin yerleştirileceği bir yapının olmamasıdır.

İtke sisteminin temelinde güneş enerjisini kullanan İHA'larla yürütülen görevlerde fosil yakıt kullanılmamasının getirdiği büyük bir operasyonel maliyet düşüşü mevcuttur. Ayrıca hava şartlarının durumuna bağlı olarak da bu oran değişebilmektedir. Bu sistemler, yine hava şartlarına da bağlı olmakla birlikte uygun koşullar altında çok uzun süreler aralıksız olarak görev yapabilmektedir. Fakat yine burada da en büyük problem olarak piller göze çarpmaktadır. İHA'ların geceleri veya güneş ışığının yetersiz kaldığı durumlarda da görev yapabilmesi için

güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürüldükten sonra bataryalarda depolanması gerekmektedir. Mevcut bataryaların depolama kapasiteleri ve ağırlıkları göz önünde bulundurulduğunda bataryaların uçuş süreleri üzerindeki sınırlayıcı etkisi çok yüksektir. Bu kapsamda daha önce de bahsedilen yeni nesil pil teknolojilerinin geliştirilmesi ve ticari kullanımının yaygınlaşması güneş enerjisinin daha yoğun bir şekilde kullanımının önünü açacaktır.

4.3. Aksamalar ve Esneklik

Sürü İHA sistemleri dış etkilere maruz kalabilecek açık ortamlarda görev yaptığı için beklendik veya beklenmedik çeşitli aksamalarla karşılaşması mümkündür. Bu aksamalar sistemin işleyişini bozmakta, genel sistem performansını olumsuz etkilemekte ve ileri düzeylere ulaştığında görevlerin gerçekleştirilmesine engel olmaktadır. Bu aksamalar karşısında kabul edilebilir düzeyde performans sergileme kabiliyeti esneklik olarak tanımlanmaktadır. Esnekliği yüksek olarak tasarlanması gereken sürü İHA sistemleri, tek bir İHA'nın üstesinden gelemeyeceği aksama problemleriyle çok daha başarılı bir şekilde mücadele etmesi mümkündür.

4.3.1. Aksamalar

Genel olarak; harici, sistematik ve insan kaynaklı olmak üzere üç farklı aksaklık kategorisi bulunmaktadır. Operasyonel bağlamda var olan potansiyel aksaklıkların erken tanımlanması, esnekliğin gerekli olduğu kilit alanların tanımlanmasına imkân sağlamaktadır (Ordoukhanian, Madni, 2016).

- Harici aksamalar, büyük ölçüde çevresel engeller ve olaylarla ilişkilendirilmektedir. Bu sorun çoğunlukla rastgele olup vereceği zararlar ve etki etme sürelerinin tahmin edilmesi mümkün değildir. Örneğin, sürü İHA sisteminde yer alan İHA'lar arasındaki iletişimin bir kuş sürüsü tarafından engellenmesi harici bir aksama olarak görülebilir.
- Sistemik aksamalar, bileşenlerin işlevselliği, kabiliyeti veya kapasitesi performans düşüşüne neden olduğunda ortaya çıkar. Bir bileşen arızasının İHA'nın veya sistemin tamamının işlevselliğini etkilemesi teknolojik sistemlerde en kolay tespit edilebilen

sorundur. Örneğin, İHA iletişim cihazında meydana gelen dâhili bir arıza aracın koordinatlarını komşu aracına göndermesine izin vermez ve kazaya neden olabilir.

- İnsan kaynaklı aksamalar, sistem sınırlarının içindeki veya dışındaki operatörler ile ilişkilendirilmektedir. Operatörün rolü görevi komuta etmek ve faaliyetleri izlemekle sınırlı kalsa bile, insan kaynaklı aksamalara karşı sürünün sağlığı garanti değildir. Sürü İHA sistemleri, yüksek adaptasyon özelliğine sahip ve oldukça karmaşık sistemlerdir. Sistemin koşullara insanlardan daha hızlı uyum sağlaması, insan kaynaklı bozulmaların meydana gelmesinin başlıca sebebidir. Bu sebepten dolayı, sürü İHA'ların geliştirilmesine yönelik çalışmalarda insanları kontrol ve karar verme döngüsünden tamamen veya kısmen yok etmek üzerine yoğunlaşmıştır.

Aksamaların içeriği sistemin durumunu ve mevcut operasyonel kullanımını yansıtmaktadır. Söz konusu aksamaların süresi ise bu durumu meydana getiren olayın geçici veya kalıcı olup olmadığını belirlemektedir. Bazı durumlarda ise geçici aksama koşulları, sistem hatasına neden olmadığı sürece göz ardı edilebilmektedir. Kalıcı aksamalarda uygun bir direnç yanıtının tetiklenebilmesi için koşulların takip edilmesi gerekmektedir. Hızlı olması gereken tepkilerin İHA'lar tarafından otonom bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekirken daha az zaman kritik tepkiler operatörün de dâhil olduğu döngüler aracılığıyla gerçekleştirilebilir veya önceden planlanmış olabilir (Ordoukhanian, Madni, 2016).

4.3.2. Uygulanabilir esneklik konseptleri

Sürü İHA sisteminde esneklik, sistemin çalışmasında meydana gelen aksamalara karşı kabul edilebilir düzeyde performans elde edilebilmesidir. Aynı zamanda esneklik, bireysel sistem performansındaki belirsizliklere rağmen hızlı bir şekilde gerçekleştirilen yeniden yapılandırma veya zamanında değiştirme yoluyla sistemin farklı alternatiflerle görevlerde etkili bir şekilde hizmet verme kabiliyeti olarak da tanımlanabilir. Esnek sistemlerde kaza/aksaklıklar öngörülebilir, kurtarma yoluyla aksamalar atlatılabilir veya adaptasyon yoluyla yeni şartlara uyum sağlanabilir. Esneklik dört temel kavramdan oluşmaktadır (Ordoukhanian, Madni, 2016):

- Uyum: Aksamadan önce, aksama sırasında ve sonrasında yeniden yapılandırma,

- Plan: Bir aksamayı engellemek veya aksamaya karşı sistemi korumak için gerekli tasarım/mühendislik,
- Emilim: Aksama sırasında tam veya kısmi olarak işlevselliğin korunması,
- Kurtarma: Aksamadan sonra sistemin tam veya kısmi olarak işlevselliğini yeniden kazanması.

Sürü İHA sistemleri ile yürütülen görevlerde belirsizlikler (çevre, engeller vb. ile ilgili) oldukça büyük olma eğilimindedir. Bu nedenle, sistemde esneklik sağlamak için başarısızlıklardan çıkarım yaparak öğrenmek zorunluluktur. Sistem aksamının türünü, operasyonel bağlamını ve kurtarma için alınan önlemlerini bu şekilde öğrenecektir. Sistem daha uzun süre çalıştıkça, gelecekteki aksamalardan en düşük seviyede etkilenmek için yeterli "deneyim" kazanacaktır.

Sürü İHA sistemlerinde kullanılabilecek çok sayıda esneklik yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları;

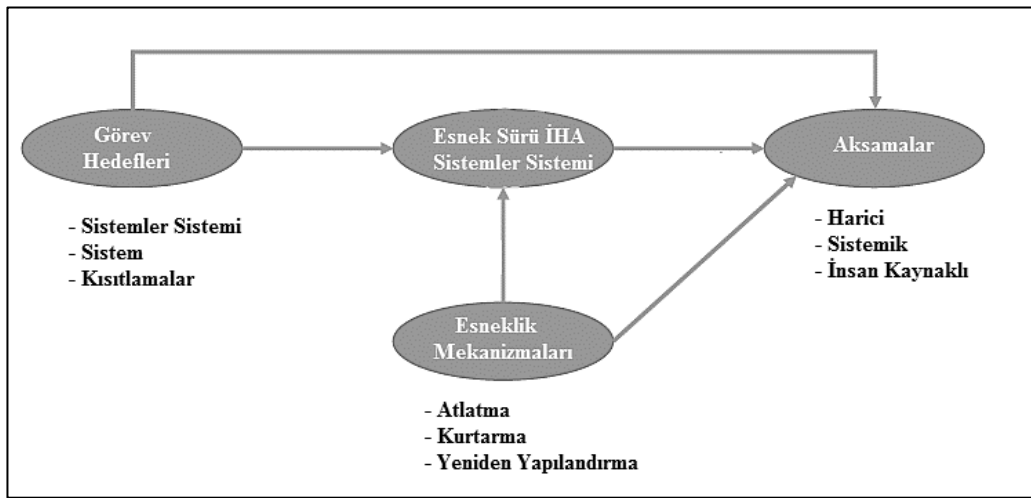
- Fiziksel yedeklilik: Lider İHA'nın mevcut olduğu bir sistemde bu hava aracı herhangi bir sorunla karşılaştığında aynı özelliklere sahip yedek bir İHA'nın kullanılabilmesi.
- İşlevsel yedeklilik: Benzer birden fazla görevin sistemdeki heterojenlik sayesinde farklı İHA'lar tarafından gerçekleştirilebilmesi.
- Yönelim düzeltme: Aksamının meydana gelmesinden önce esneklik önlemlerinin başlatılabilmesi.
- İşlevselliğin yeniden tahsisi: Bir İHA görev dışı kaldığında kalan İHA'lar arasında görevlerin yeniden dağıtılması.

Ayrıca, sürünün esnekliğinin sağlanabilmesi için mimari esneklik ve adaptasyon yeteneğinin mevcut olması gerekmektedir. İHA'lar arasında zamanında ve öngörülebilir etkileşimlerin olması da esnekliği sağlayabilmek için bir ön koşuldur, bu kapsamda her bir İHA'nın diğer İHA'larla iletişim kurma ve işbirliği yapma yeteneğine sahip olması önemlidir.

Aşağıdaki şekil esnek sürü İHA sistemleri için kavramsal bir çerçeve sunmaktadır. Şekilden de görüleceği gibi görev hedefleri, sistemler sistemi seviyesi (sürü İHA), sistem seviyesi (her bir İHA) ve operasyonel ortamın dayattığı kısıtlamalar olmak üzere üç seviyeye ayrılabilir. Sürü

İHA sistemi görev hedeflerini yerine getirirken aynı zamanda aksamalara da yanıt verebilmelidir. Bu kapsamda esnek sürü İHA sistemi esneklik mekanizmaları tarafından da desteklenmektedir. Söz konusu esneklik mekanizmaları atlatma, kurtarma ve yeniden yapılandırma'dır. Esneklik mekanizmaları, sistemin karşılaşılabilecek olası aksamların tipini göz önüne almaktadır.

Şekil 33: Esnek sürü İHA sistemleri kavramsal çerçevesi



Kaynak: Ordoukhanian, Madni, 2016

4.3.3. Esneklik konseptlerine dair zorluklar

Esnek sürü İHA sisteminin oluşturulmasına yönelik gereksinimler hem maliyeti hem de geliştirme süreçlerini önemli ölçüde etkilemektedir. Her türlü aksama ile mücadele edebilecek bir sistem geliştirilmesi pratik olmamasının yanı sıra yüksek masraflar ortaya çıkarmaktadır. Dolayısıyla adaptasyon veya yeniden yapılandırma yoluyla otonom bir şekilde aksamaların üstesinden gelen bir sistem geliştirilmesi gerekmektedir. Özellikle heterojen hava araçlarından oluşan bir sistemde esnekliğin sağlanması İHA'ların farklı özelliklerinden (uçuş karakteristiği, şekil, boyut vb.) dolayı daha da zorlu bir süreçtir (Ordoukhanian, v.d. 2016).

İHA sayısı arttıkça sürü sisteminin karmaşıklığı da artmaktadır. Sistemdeki karmaşıklık seviyesinin artışı ise daha savunmasız ve daha az güvenilir bir sistemin ortaya çıkmasına sebep

olmaktadır. Bu nedenle, kurtarma yeteneği sistemin tasarımında önemli bir detaydır. Bu durumda kilit nokta, sistemin aksama olayından ne kadar çabuk kurtulduğu ve hangi seviyedeki aksama olaylarına dayanabileceğidir.

Sürü İHA sistemler sisteminde, sürüde yer alan sistemler arasında iyi tanımlanmış bir iletişim protokolüne sahip olmak, ağır karmaşıklığın azaltılması yolunda önemli bir adımdır. Bununla birlikte, sistemdeki protokollerin getirdiği sınırlamalar ile kurtarma sırasındaki sistem performansı arasında bir uyumsuzluk ortaya çıkması mümkündür. Örneğin, önceden belirlenmiş iletişim yollarıyla sistemin karmaşıklığını azaltan protokollerin, sistem kendisini bir aksamadan kurtarmaya çalışırken sistemin aleyhine çalışma potansiyeli mevcuttur.

Sürü İHA sistemleri ile yürütölen görevlerde başarısızlık riskini en aza indirmek için sistemdeki her türlü tasarım ve entegrasyon konusunun modellenmesi ve simölasyonu da üzerinde durulması gereken konulardan birisidir. Esnek bir yapı oluşturulabilmesi için öncelikle sistemin operasyonel bağlamı tam olarak anlaşılmalıdır. Ayrıca, bu modellemeler ve simölasyonlar oluşturulurken aksamaların sistem üzerinde ne gibi etkilerinin olabileceğinin belirlenmesi gerekmektedir. Hava araçlarının çevreden gelen etkilere nasıl tepki verebileceğinin tam olarak tanımlanması zorlu bir süreçtir.

Esnek bir sürü İHA sistemler sisteminin doğrulması ve etkin bir şekilde faaliyet yürütebilirliğinin onaylanması zaman alıcı ve masraflı bir süreçtir. Başarılı ve etkin bir çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için, yalnızca bireysel sistemlerin (yani İHA'lar) değil aynı zamanda sistemler sisteminin de İHA'lar arasındaki etkileşimler nedeniyle hızla karmaşık hale gelebilecek doğrulama ve onaylama kriterlerini geçmesi gerekmektedir.

Sürüdeki durumsal farkındalık, sistemdeki heterojenlik ve belirsizlikler sebebiyle zorlayıcı bir seviyede olabilir. Aksamalar sırasında doğru davranışların sergilenebilmesi için mevcut durumun ve gelecekteki (arzu edilen) durumun projeksiyonunun iyi bir şekilde değerlendirilmesi kritik önem taşımaktadır. Bu durum operasyonel ortamda ve sistem içinde ortaya çıkacak belirsizlikler sırasında daha da zorlayıcı bir hale gelmektedir.

4.4. Verilerin İşlenmesi

Daha önce bahsedilen uzaktan algılama sensörleri ile yapılan ölçümlerin ve alınan görüntülerin anlam kazanabilmesi için bir dizi düzenlemeden geçmesi gerekmektedir.

Örneğin, görünür spektrumda etkin olan dijital kameralarla yapılan görüntülemeler ile elde edilen fotoğraflarda meydana gelen eğiklikler ve arazideki yükselti farklarından ortaya çıkan hataların giderilmesi gerekmektedir. Bu hatalar düzeltildikten sonra dik izdüşüm haline getirilen sayısal görüntüler ortofoto olarak adlandırılmaktadır. Bu düzenleme işleminin gerçekleştirilmesi aşağıdaki aşamaların sırasıyla tamamlanmasıyla sağlanır:

- i. Uçuş öncesinde arazide belirlenen kontrol noktaları kullanılan yazılıma girilir. Yazılımın türüne göre hava aracının uçuş bilgileri de kontrol noktaları yerine kullanılabilir.
- ii. Hava araçlarının uçuş güzergahları belirlendikten sonra ilk değerlendirmelerin yapıldığı ve yapılan işlemin kalitesi, çözünürlüğü, ortaya çıkacak verilerin ön izlemesi, kalibrasyon detayları gibi bilgileri içeren analiz raporunun oluşturulduğu Başlangıç Düzeyinde Veri İşleme aşaması başlar. Bu aşamada üretilen raporun, yüksek kapasiteli bilgisayarlarla bile uzun saatler sürebilecek veri işlemlerinden önceki son aşama olduğu için dikkatle incelenmesi ve hataların tespit edilmesi gerekmektedir.
- iii. Daha sonraki aşama olan Nokta Bulutu Üretimi aşamasında görüntüler üzerinde eşleşen bütün pikseller kullanılan yazılım tarafından nokta olarak kaydedilir ve bütün piksellere bu işlem yapıldıktan sonra çalışma alanına ait nokta bulutu elde edilir.
- iv. Bir sonraki aşama olan Sayısal Yüzey Modeli ve ortomozaik üretimi aşamasında ilk olarak, ortofoto görüntülerin elde edilmesinde altlık olarak kullanılacak olan Sayısal Yüzey Modelleme oluşturulmaktadır. Daha sonra oluşturulan bu ortofoto görüntüler birleştirilerek çalışma alanının tamamına ait ortomozaik görüntü elde edilmektedir (Avdan, Şenkal, Çömert, Tuncer, 2014).

İHA'larda kullanılan tüm görüntüleme sensörlerinden alınan veriler dijital kameralarla elde edilen görüntülerin işlenmesine benzer şekilde uygun ticari yazılımlarla düzenlenmektedir. İHA'nın boyutlarına ve yük taşıma kapasitesine bağlı olarak bu işleme süreçleri İHA üzerinde

gömülü sistemlerde gerçekleştirileceği gibi görev sırasında yer kontrol istasyonları aracılığıyla veya görevin ardından verilerin aktarılacağı gelişmiş bilgisayarlar aracılığıyla gerçekleştirilebilmektedir. Sürü İHA'larda ise İHA'ların boyutları küçölse bile benzer veri işleme kabiliyetlerine sahip çok sayıda İHA ile bu süreçler görev sırasında daha kolay bir şekilde kısa sürede gerçekleştirilebilmektedir.

İHA'lar ile toplanan verilerin işlenmesi aşamasında bazı kritik noktalar bulunmaktadır:

- Özellikle düşük çözünürlüğe sahip görüntüleme sistemleriyle veya düşük kalitede alınmış görüntüler,
- GPS veya INS sistemlerinin yeterince hassas olmaması ve alınan görüntülerin konumlarının doğru tespit edilememesi,
- Kalibre edilmemiş görüntüleme sistemlerinin kullanılması,
- Uçuşta meydana gelebilecek stabilite problemlerinin yarattığı titreşimlerin görüntülerde meydana getireceği bozukluklar

görev sonunda elde edilecek nihai görüntülerin kalitesine doğrudan etki etmektedir.

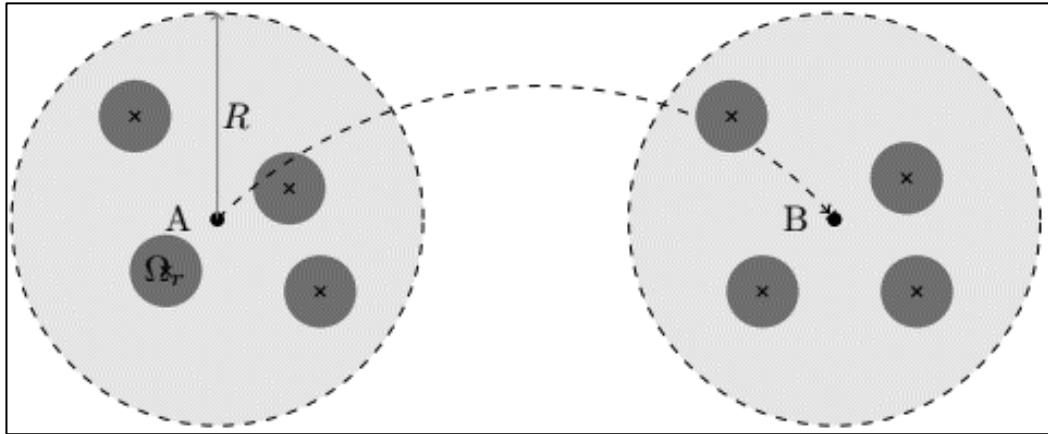
5. KONTROL YAKLAŞIMLARI, ALGORİTMALAR

İHA'larda uçuş kontrolünü oluşturmak için çeşitli yöntemler mevcuttur. Sürü İHA bağlamında ise iki ana kategori bulunmaktadır: merkezi kontrol ve merkezi olmayan kontrol. Merkezi kontrol, her sürü elemanının merkezi bir operatör tarafından kontrol edildiği bir kontrol yöntemidir. Sürü elemanları, merkezi operatörün kontrol girdilerine tamamen bağımlıdır. Bir oluşum için bu, her bir üyenin merkezi kontrolör tarafından sağlanan kendine özgü yörüngesi boyunca yönlendirildiği anlamına gelmektedir. Merkezi olmayan kontrollerde, her bir üyenin kendi kontrol altyapısı bulunmaktadır. Bu durum, sürü üyelerinin otonom olmasını sağlamaktadır. Merkezi bir operatörün planladığı bir rotayı izlemek yerine, üyeler güvenli bir şekilde amaçlarına ulaşmak ve olası kazalardan uzak durabilmek için diğer üyelerin hareketlerine tepki verecek şekilde hareket etmektedir (Vries, Subbarao, 2011). Ayrıca üçüncü bir seçenek olarak da hem merkezi hem de merkezi olmayan kontrol yöntemlerinin bir arada kullanıldığı hibrit kontrol yöntemleri mevcuttur.

İHA sürülerinin yönetilebilirliği, disiplinlerarası alanların kesişiminde yeni zorluklar ortaya koymaktadır. Birinci sorun, karmaşık görev senaryolarında yer alan İHA'ların tasarımındaki gelişmelere ilişkindir. Bu görevlerde kullanılması planlanan hava araçlarının küçültülmüş boyutları, algılama ve çalıştırma yeteneklerini sınırlar ve başarılı görevler gerçekleştirilebilmesi için birlikte çalışmayı gerektirir. İkinci sorun ise sürüdeki her bir İHA için tek bir operatöre ihtiyaç duyulmaması sebebiyle tekli ve çoklu İHA'ların otonom hareketinden kaynaklanmaktadır. Söz konusu ilk sorun, sürü İHA sistemiyle ortadan kaldırılabilenken, otonomi ihtiyacı dolayısıyla ortaya çıkan kontrol probleminin çözümüne yönelik olarak günümüzde İHA'larla gerçekleştirilen görevlerde genellikle merkezi ve merkezi olmayan kontrol birlikte uygulanmaktadır. Bu, araçların kontrolünün merkezi bir operatör ile bir yerel kontrol altyapısı arasında paylaşıldığı anlamına gelmektedir.

Örneğin, dört İHA'nın yer aldığı basit bir "A'dan B'ye" görevi düşünülebilir. Görev kapsamında dört adet İHA R yarıçapına sahip bir bölge içinde ve her bir İHA olası çarpışmaları engellemek amacıyla Ω_r ölçülerinde bir hareket alanı içinde kalırken, bir A noktasından bir B noktasına uçuş temsil edilmektedir. Merkezi ve merkezi olmayan kontrollerin bir karışımı halinde gerçekleştirilen görevde, merkezi kontrol sürünün A noktasından B noktasına hareketini sağlarken yerel kontrol altyapısı düzeni korumak ve güvenli mesafe gereksinimini sağlamakla yükümlüdür. Bu şekilde yürütülen görevlerde merkezi bir kontrol ile sağlanması gereken bilgi en aza indirilmişken güvenlik en üst seviyede sağlanabilmektedir. Ayrıca herhangi bir iletişim kaybında yıkıcı sonuçların ortaya çıkmasının da önüne geçilmektedir.

Şekil 34: A'dan B'ye görev



Kaynak: Vries, Subbarao, 2011

Sürülerin bu görevleri gerçekleştirebilmesi için görev başlangıcından önce görev planlaması yapılması gerekmektedir (Zhou, Wang, Wang, Li, Li, 2017). Bu görev planlaması, farklı görev tipleri ve İHA'nın yüküne bağlı olarak, önceden ayarlanmış veya gerçek zamanlı olarak belirlenmiş tamamlanması gereken görevlere yönelik planlamaları ifade eder. Ana hedef; İHA performansı, varış zamanı, yakıt tüketimi, tehlikeler ve hava sahası koşulları, başlangıç noktasından hedef noktaya bir veya birden fazla güzergâh planlaması, yük yapılandırması, İHA'nın görevinin başarılı bir şekilde tamamlanması ve güvenli bir şekilde üsse geri dönmesi için gerekli planlamaların yapılmasını içermektedir. İHA sürüsüne yönelik görev planlaması, tek bir İHA'nın görev planlamasıyla çeşitli benzerlikler göstermekle birlikte İHA sayısının

fazla olmasından dolayı verimliliği sağlayabilmek amacıyla bazı komuta ve kontrol yöntemleri uygulanmalıdır. Sürü İHA'ların görev planlamasının içeriği 4 temel bileşenden oluşmaktadır.

Bunlar:

- Rota planlaması: İHA'ların başlangıç noktalarından hedef noktalara giden yolunun planlanması ve planlamanın denetiminin gerçekleştirilmesi işlemi ifade etmektedir. Planlanan güzergâhlar İHA'ların ve belirlenmiş görevlerin performans gereksinimlerini karşılamalı, aynı zamanda hem her bir İHA hem de sürünün tamamı açısından iyi bir güvenlik sağlamalıdır. Bilgi toplama, toplanan bilgileri işleme ve değerlendirme, karşılaşılabilecek beklenen engeller, planlama algoritması vb. bu planlamanın içeriğini oluşturur.
- Görev yükü planlaması: İHA'larda yer alan her türlü yükün ve cihazın görev durumlarının ve çalışma koşullarının belirlenmesi, bu kapsamda uygun tercihlerin yapılması anlamına gelmektedir.
- Veri bağlantısı planlaması: Kontrol frekansı ve görev ortamının özelliklerine bağlı olarak farklı uçuş safhalarında telemetri ve komuta bağlantısının izlenmesinin kullanım politikalarını ifade etmektedir. Veri bağlantısı planlaması, görüş hattı veya uydu bağlantıları, çalışma frekansı bant genişliği, zaman kullanımı, güç kontrolü, kontrol aktarımı vb. seçimini içermektedir.
- Acil durum planlaması: İHA'ların kalkışından inişine kadar olan sürede, acil durum yollarının planlanması, dönüş güzergâhları, iniş yapılabilecek alternatif pistler ve bağlantı problemlerine acil müdahale gibi ortaya çıkabilecek acil durumlara yönelik planlamaları ifade etmektedir.

Bu kapsamda, sürü şeklinde görev yapan İHA'larda görevin planlanması ve yerine getirilmesi sırasında hem sürünün tamamının hem de sürüdeki her bir İHA'nın güvenliğinin sağlanabilmesi amacıyla çeşitli yaklaşımlar ve algoritmalar bulunmaktadır. Bu yaklaşımlar ve algoritmalar sürünün kontrolünü sağlamanın yanı sıra daha önce bahsedilen çarpışmaların önlenmesi, yol planlaması gibi sürülere özgü problemlerin üstesinden gelinmesini de mümkün kılmaktadır. Aşağıda hem merkezi hem de merkezi olmayan kontrol kapsamında geliştirilmiş yaklaşımlar ve algoritmalar derlenmiştir. Ayrıca, sürü İHA'ların kullanım alanlarına bağlı olarak da çeşitli

algoritmalar ve kontrol yöntemleri geliştirilmiştir. Bir sonraki bölümde bu kullanım alanları özetlenirken kontrole yönelik bilgiler de verilecektir.

5.1. Sürü İHA Kontrolüne Yönelik Yaklaşımlar

5.1.1. Basit takım oluşturma yaklaşımı

Sürü İHA sistemlerinin kontrolüne yönelik yaklaşımlardan ilki basit takım oluşturma yaklaşımı olarak tanımlanmaktadır. Bu yaklaşımdaki genel amaç, sınırlı yeteneğe sahip küçük ve ucuz hava araçlarının işbirliği yapması sonucunda karmaşık görevlerin gerçekleştirilmesi kabiliyetine sahip olmaktır. Bu kapsamda, kontrol sistemi de düşük hesaplama gücüne sahip olacak şekilde basit ve düşük maliyetli olmalıdır. Aynı zamanda dinamik bir ortama uyum sağlayacak düzeyde esnek olmalıdır (Bamberger, Watson, Scheidt, Moore, 2006). Bu yaklaşımda üç ana teknik hedef belirlenmiştir:

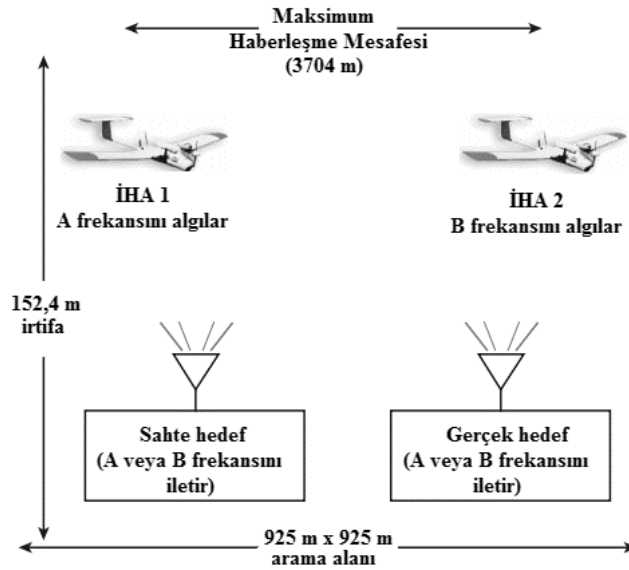
- i. Birden çok İHA'nın işbirliği içerisinde otonom bir şekilde görev yapması.
- ii. Basit ve kullanımı kolay bir araç mimarisi geliştirilmesi.
- iii. Sistem entegrasyonunun sağlanması (Gövde, otopilot, görev kontrol işlemcisi, sensörler ve iletişim).

Basit takım oluşturma yaklaşımını uygulayabilmek amacıyla referans olarak değerlendirilebilecek bir görev geliştirilmiştir. Bu görevde RF işareti şeklinde seçilen hedefin araştırılması, konumunun belirlenmesi ve tanımlanması için iki adet otonom İHA görevlendirilmiştir. Her bir İHA farklı frekansa ayarlanmış bir RF sensörü bulundurmaktadır. Görev sahasına yerleştirilmiş sahte hedefler ile gerçek hedef farklı sinyaller göndermektedir. Bu nedenle, gerçek hedefi diğer sahte hedeflerden ayırmak her iki aracın işbirliğini gerektirmektedir. RF sensörlerinin yanı sıra tespit edilen hedefin görüntülerinin alınabilmesi için düşük çözünürlüklü ve küçük boyutlu bir video kamera İHA'ların birisine entegre edilmiştir.

Görev başlamadan önce bir operatör tarafından her iki araca da bir görev tanımlaması yapılmaktadır:

1. Araçlar uçuşa geçtikten sonra planlamalar doğrultusunda ve belirlenen alanda arama yapmaya başlarlar.
2. Araçlardan herhangi biri bir hedef saptadığında o hedefin konumunu belirler ve konumunu kaydeder.
3. Daha sonra tanımlayıcı İHA, ikinci İHA'nın aramayı bırakmasını ve kendisinin yaptığı tanımlamayı hedef olarak kabul etmesi veya reddetmesi için bu alana yönlennesini talep eder.
4. Eğer ikinci İHA bunun sahte bir hedef olduğunu tanımlarsa her iki İHA da başlangıçtaki arama hedeflerine geri döner.
5. Eğer ikinci İHA bu hedefin gerçek hedef olduğunu tanımlarsa üzerinde kamera bulunduran İHA hedefin görüntüsünü alır ve her iki İHA da kalkış noktalarına geri döner.

Şekil 35: Basit takım oluşturma yaklaşımı görevi



Kaynak: Bamberger, v.d. 2006

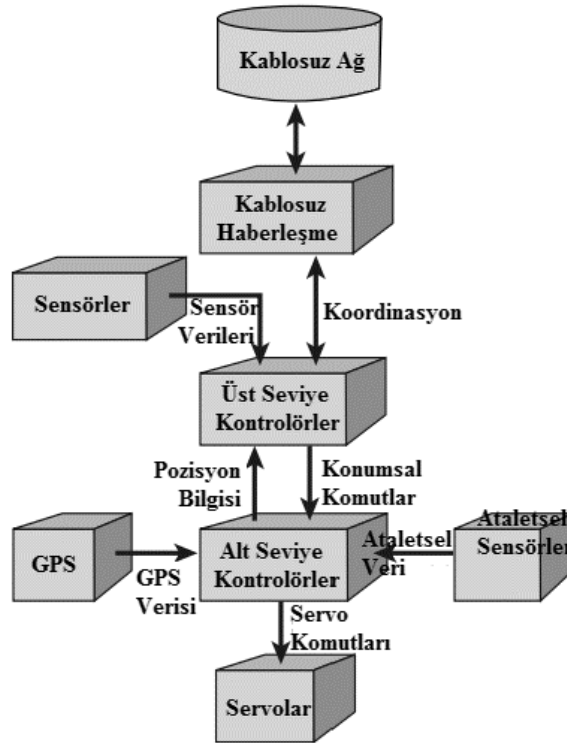
Arama modeli önceden programlanmışken hedef noktalar belirlenmemiştir. Bu görevde başarı, hedefin yerinin belirlenmesi gibi öngörülemez faktörlerin üstesinden gelmek için hazırlıklı olmak zorunda kalan iki araç arasında işbirliğini gerektirmektedir. Ayrıca, İHA'lar görev

tanımını aldıktan sonra, görevler operatör talimatı ve uçuş kontrolü olmadan gerçekleştirilmektedir.

Yaklaşımın tam anlamıyla uygulanabilmesi amacıyla küçük bir platform için hesaplama yapmaya uygun, nispeten daha az hesaplama gücüne sahip bir görev kontrol yazılımı geliştirilmiştir. Görev kontrol yazılımının temel görevleri şunlardır:

- Operatörden komutları almak,
- Sensörlerden işlenmiş veriyi almak (örneğin RF sensörlerinden alınan frekans bilgileri),
- Diğer araçlarla ve yer kontrol istasyonu ile veri alışverişinde bulunmak,
- Aracın durumu ile ilgili gerekli değişikliklere karar vermek,
- Sensörlere ve otopilota gerekli komutları göndermek.

Şekil 36: İHA sistem mimarisi blok diyagramı



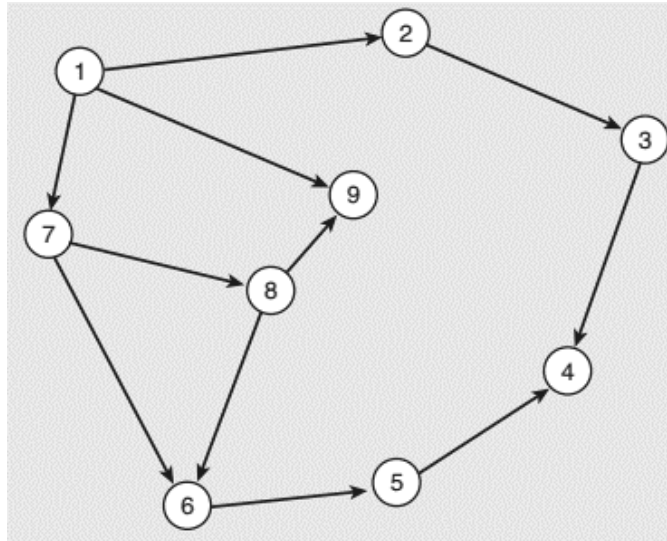
Kaynak: Bamberger, v.d. 2006

Çalışmada kullanılan İHA'ların üzerlerinde taşıdıkları donanımlar ve bu donanımlarda kullandıkları veriler ile haberleşme yöntemlerini gösteren sistem mimarisi yukarıda gösterilmektedir. Benzer görevlerin gerçekleştirilebilmesi amacıyla; otonom navigasyon ve uçuş kontrolünün sağlanabilmesi için alt seviye kontrolörler, hava araçlarıyla yer istasyonu arasında olduğu gibi iki hava aracı arasında bilgi alışverişi sağlanabilmesi için kablosuz haberleşme cihazı, operatörlerle iletişim kurmak, sensör verilerini yönetmek ve tüm sistemin koordinasyonunu sağlamak amacıyla üst seviye kontrolörler, araçların konumlarının belirlenmesine yönelik konum sensörleri ve etraftaki verileri toplayan çevresel sensörler (bu görevde RF sinyallerini algılayan alıcılar yer almaktadır) sistemde bulunmaktadır.

5.1.2. Mutabakat değişkeni yaklaşımı

Otonom sürü hava aracı davranışlarına dair bir diğer yaklaşım, son zamanlarda üzerinde yoğunlaşılan bir konu olan çok elemanlı bir işbirliği üzerine kurulmuştur. Bu yaklaşım, sürü elemanları arasındaki mutabakat değişkeni kavramının paylaşımına dayanmaktadır (Bamberger, v.d. 2006).

Şekil 37: Dolaylı olarak sağlanan örnek bir iletişim ağı



Kaynak: Bamberger, v.d. 2006

Koordineli davranışlar için gereken minimum bilgi miktarının mutabakat veya fikir birliği değişkeni olarak adlandırılan zamana bağlı bir vektör olduğu varsayılmaktadır. Her bir eleman mutabakat değişkeninin kendisine ait olan yerel değerini taşımakta ve bu değeri elemanın iletişim kurabileceği diğer elemanlar tarafından tutulan değerlere dayanarak güncellemektedir. Bu yaklaşımın gerçekleşebilmesi için her bir elemanın diğer her elemanla doğrudan iletişim kurmasını gerektirmeyen fakat en azından dolaylı olarak tüm elemanlarla iletişim kurabildiği bir yapı gereklidir. Bu yaklaşımın araç sayısından bağımsız bir şekilde çok sayıda araçla yürütülen görevlerde uygulanması mümkündür.

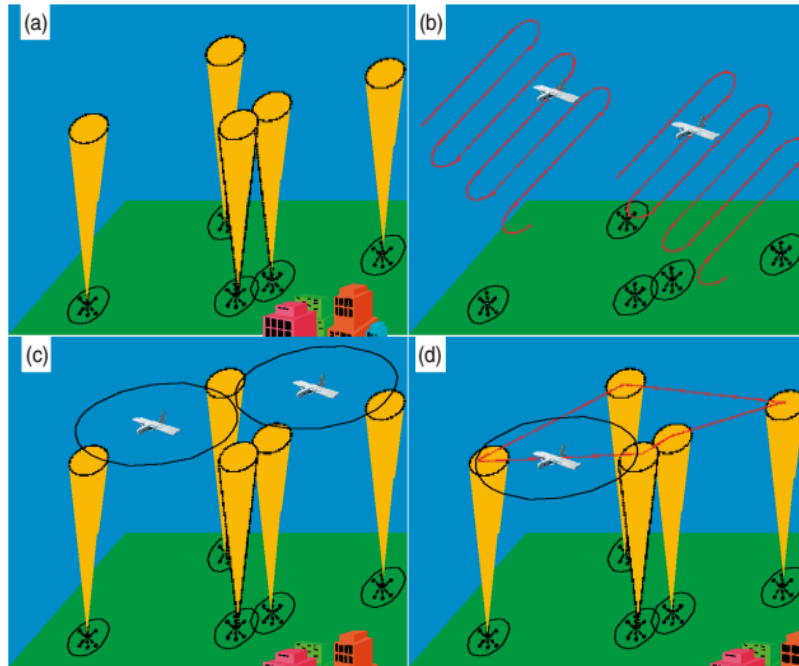
Yaklaşımın uygulanabilmesi amacıyla kentsel bir ortama dağıtılmış yer sensörlerinden oluşan bir ağdan verileri toplayan İHA sürüsünden oluşan Dinamik Gözetim Ağı isimli bir senaryo geliştirilmiştir. Sensör verilerini en iyi biçimde değerlendirebilmek amacıyla çok sayıda İHA'nın arama yaptığı, konum belirlediği ve dolaylı da olsa birbirleriyle iletişim kurduğu bir uçuş gerçekleştirilmiştir. Bu uçuşta görüş alanı içinde sadece sensörlerden İHA'lara giden bir iletişim ağı olduğu varsayılmış, fakat uçuşun gerçekleştiği tüm alanda bu iletişime izin verilmemiştir. İHA'ların sadece belirli bir alanda sensörlerden veri almasına müsaade edilmiştir.

Aşağıdaki şekilde de gösterilen senaryonun işleyişi şu şekildedir:

- a) Kurulum: Sensörler yerleştirilir. Sensörlerin birbirleriyle iletişim kurmayacağı varsayılmaktadır.
- b) Sensör keşfi: Operatör kalkıştan önce İHA'lara sensörleri bulma görevi verir. Her bir İHA bilinen sensör sayısına ve bunların yaklaşık konumlarına bağlı olarak en uygun çizgi tarama problemini çözer. Daha sonra İHA'lar, her bir İHA'nın uygulayacağı uçuş modelini kararlaştırmak için kendi aralarında iletişim kurarlar. Sonuçta İHA'lar uçuş modellerine bağlı olarak buldukları sensörlerin konumlarını kaydederler.
- c) Veri aktarımı (toplama ve aktarma): İHA'lar sensörleri keşfettikten sonra kendilerince en uygun hareketi gerçekleştirerek kapsama problemini çözerler. Daha sonra bu çözümü temel alarak mutabakat birliği yaklaşımıyla en uygun bireysel uçuş modelini oluştururlar.

- d) Uyum: Dinamik Gözetim Ağı sistemi aynı zamanda ağdaki değişikliklere de uyum sağlamaktadır. Eğer sensörlerden bir tanesi devre dışı kalırsa İHA'lar bunu tespit eder ve otonom olarak duruma uygun şekilde yeniden yapılandırılırlar. Uyum, İHA'lardan herhangi biri bölgeyi terk etmesi durumunda da gerçekleşir. Örneğin, İHA'lar aralarından bir tanesinin merkez istasyona dönmesi ve verileri iletmesi konusunda periyodik olarak fikir birliğine varmışlardır. Bu fikir birliği gerçekleştiğinde, diğer İHA'lar kullanılabilir kaynakların sayısını varsayarak uçuş modelini yeniden yapılandırır. İlk başta oluşturulan ortak uçuş modeli merkez istasyona giden İHA'nın geri dönmesi ve sürüye yeniden katılmasıyla kaldığı yerden devam eder.

Şekil 38: Mutabakat değişkeni yaklaşımı senaryosu



Kaynak: Bamberger, v.d. 2006

Bu senaryonun seçilmesindeki temel amaç kentlerde yürütülen askeri operasyonlardır. Söz konusu operasyonlarda güvenlik güçlerine zamanında, yerel olarak ve harekete geçirici operasyonel istihbarat sağlamak için artan bir talep mevcuttur. Bununla birlikte, güvenilir olmayan iletişim bağlantıları nedeniyle ve bu algılayıcılar engellenmiş bir alan içerisinde olabileceğinden, bir operatör ya da askerle doğrudan iletişim kurulması mümkün

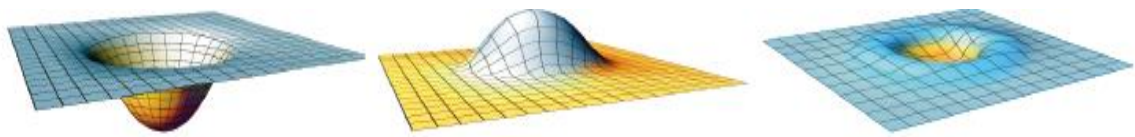
olamamaktadır. Bu noktada mikro/mini boyutlarda maliyeti düşük İHA'lar bu kritik iletişim bağlantısını sağlayan sağlam ve geçici mobil hava ağı oluşturabilir.

5.1.3.SPF (Stigmergic Potential Fields - Stigmerjik Potansiyel Alanlar) yaklaşımı

SPF yaklaşımı, yukarıda bahsedilen basit takım oluşturma ve mutabakat değişkeni yaklaşımlarından tamamen farklı bir içeriğe sahiptir. Her iki yaklaşımda da sürü elemanları arasındaki görüşmeler yoluyla veya göreve yönelik olarak tasarlanan denetleyici kontrol yöntemleri ile araç eylemleri koordine edilmektedir. SPF'de ise sürü elemanları eylemlerin ortak bir şekilde gerçekleştirilmesi için doğrudan görüşmede bulunmazlar. Stigmerji, potansiyel alan formüllerine dayalı yerel olarak yürütülen kontrol politikalarının kullanılmasıyla gerçekleştirilir. SPF olarak adlandırılan bu formüller sürünün hareketini, geçici eylemleri ve görev dağılımını koordine etmek için kullanılır. Önceki yaklaşımlar teorik olarak daha ideal sürü davranışları üretmesine rağmen, stigmerji olaylara daha hızlı tepki veren davranışları ortaya çıkarabilmekte ve daha fazla sayıda hava aracı içeren sürüleri destekleyebilmektedir (Bamberger, v.d. 2006).

SPF ile sanal bir potansiyel alanla araçlarda yerel olarak düzenlenen bir model içerisinde yer alan bütün oluşumlar ilişkilendirilir. Bu modeller tipik olarak benzer araçları ve benzer araçlar tarafından etkilenen unsurları içerir. Bu alanlar, araç hareketini etkilemek için kullanılır. Alanlarla ilişkili kuvvetler kendine çeken (aracı bir noktaya doğru yönlendirir), iten (aracı bir noktadan uzaklaştırır) veya kompleks (iten ve kendine çeken alanların bir birleşimi) olabilir. Herhangi bir zamanda, bir araç üzerindeki toplam kuvvet kendine çeken, iten ve kompleks kuvvetlerin toplamıdır.

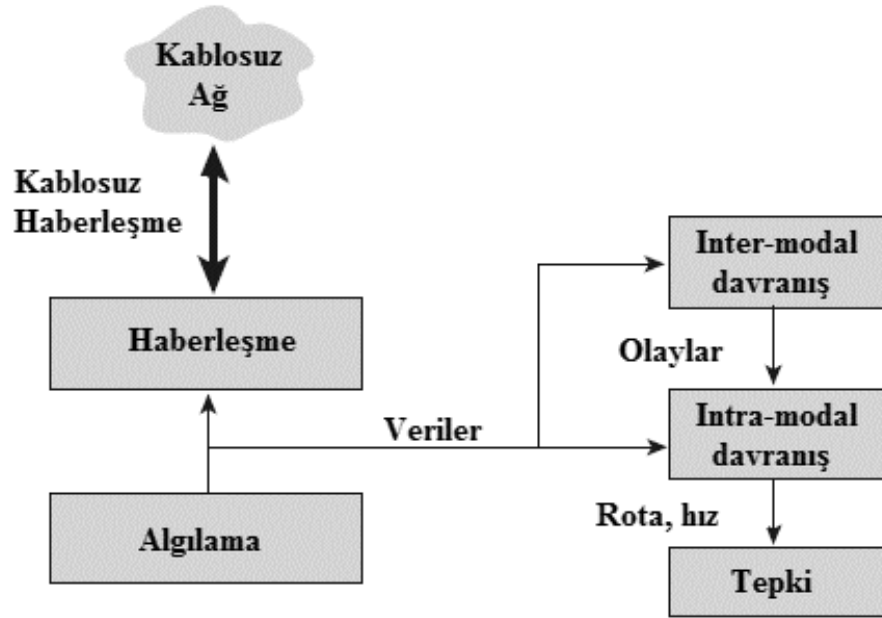
Şekil 39: (a) Kendine çeken, (b) iten, (c) kompleks alanlar



Kaynak: Bamberger, v.d. 2006

SPF yaklaşımının sürü İHA’larda uygulanabilmesi amacıyla yapılan bir çalışma kapsamında 5 önemli katmandan oluşan bir hiyerarşik kontrol mimarisi geliştirilmiştir. Üst katmanlar, alt katların amaçlarını asenkronize şekilde değiştirerek alt katmanları kontrol eder. En üst düzeyde inter-modal davranış düzeyi diğer davranışlar arasındaki geçişleri kontrol eder. Intra-modal davranış seviyesi, geçici eylemlerin düzenlenmesi (örneğin, araç güzergâhı ve hız) gibi davranışsal işlevleri gerçekleştirir. Tepkisel davranışsal katman, intra-modal katman tarafından sağlanan rotayı izlerken çarpışmaların önlenmesini ve manevra yapılmasını sağlar.

Şekil 40: Hiyerarşik kontrol mimarisi



Kaynak: Bamberger, v.d. 2006

Sürü üyeleri arasındaki bilgi paylaşımı SPF yaklaşımının temelini temsil etmektedir. “Veriler” bir sürü üyesinin çevredeki cisimler hakkındaki bilgisini, aynı zamanda kendi konumunu ve durumunu temsil eder. Bu nesnelere hareketli veya hareketsiz olabilir. Hareketli nesnelere bilinmeyen araçları, tanımlanabilir hedefleri ve insanları içerebilir. Hareketsiz nesnelere ise topografik engelleri içerebilir.

Veriler, fiziksel sensörler kullanılarak çevrenin ve araç durumunun algılanması sonucu elde edilir. Algılama katmanı tarafından sağlanan bu veriler, aracın inter-modal, intra-modal ve

haberleşme katmanlarına iletilir. Haberleşme katmanı, bu verileri sürünün diğer üyelerine aktarır, aynı zamanda sürünün diğer üyelerinden verileri alır. Aracın kendi algılama katmanından elde edilen veriler ve diğer sürüler üyelerinden gelen veriler, SPF üreten algoritmalara temel girdiyi oluşturur.

5.2. Sürü İHA Kontrol Algoritmaları

5.2.1. Paralel genetik algoritma

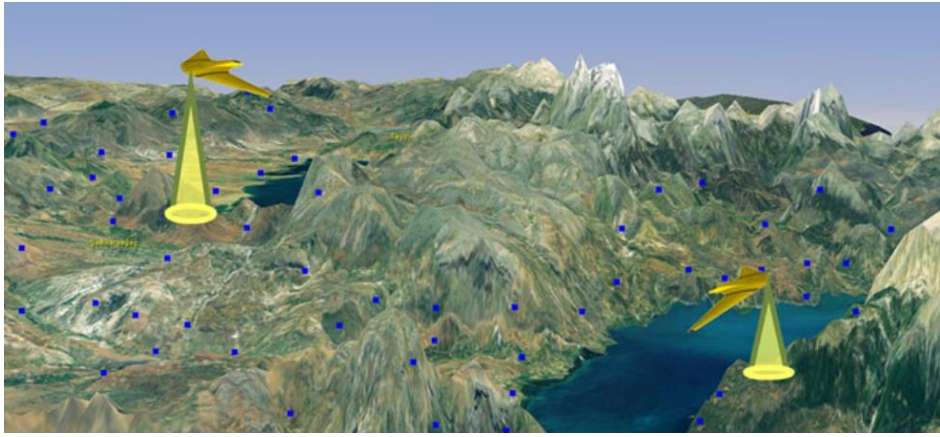
İHA'ların kompleks çalışma alanları ve gerçekleştirilecek görevler kapsamındaki kısıtlamalar nedeniyle bu kısıtlamalara uyum sağlayacak ve görev bölgesinde oluşturulan kontrol noktalarını kontrol edecek şekilde çevrimiçi veya çevrimdışı olarak oluşturulan güzergahları takip ederek uçmaları gerekmektedir. Kontrol noktaları ve kısıtlamaların sayısının artması durumunda görev alanında uygun bir çözüm bulunması uzun zaman almaktadır. Bu durumda sürü İHA kullanımı operasyonun tamamlanma süresini azaltmakta, bununla birlikte takip edilebilir bir güzergâh bulma konusunda karmaşıklığı artırmaktadır.

Canlıların yapılarında var olan bir takım özellikler sanal ortamda taklit edilerek modeller geliştirilmeye ve bu modellerle de karşılaşılan problemlere çözümler bulunmaya çalışılmaktadır. Bu modellerin en popülerlerinden biri olan genetik algoritmalar canlıların çevreye uyumu ve genetik özelliklerinin araştırılmasıyla geliştirilmiştir. Genetik algoritma, doğadaki evrim mekanizmasını örnek alarak kullanan bir arama yöntemidir ve genellikle geniş kapsama sahip bir veri grubunun içindeki özel bir veriyi bulmak için tercih edilmektedir (Sahingoz, 2014). Genetik algoritma, optimizasyon problemlerinin birden çok kriterli değerlendirmesini de desteklemektedir. Çok çekirdekli ve çok işlemcili yapılarda paralel olarak uygulanabilmektedir.

Paralel genetik algoritmanın simülasyon ortamında test edilebilmesi amacıyla bir senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryoda, çoklu İHA sistemi kullanılarak görev bölgesinde yer alan sensörlere bağlı olarak izlenecek en uygun yolun bulunabilmesi üzerinde çalışılmıştır.

Görevde yer alan İHA'ların altında kamera bulunmaktadır. Sadece sensörlerin bulunduğu bölgelerden görüntü almak yeterli değildir, aynı zamanda görev kapsamında gerekli verilerin bu sensörlerden toplanması da gerekmektedir. Bu sensörlerin her biri çevresinden veri toplayan birbirinden bağımsız sensörler olabileceği gibi daha fazla enerji ve/veya güçlü anten gibi bazı belirgin özelliklere sahip kablosuz sensör ağı kümesinin üyesi bir sensör de olabilir.

Şekil 41: Önerilen sistem için örnek bir uygulama alanı



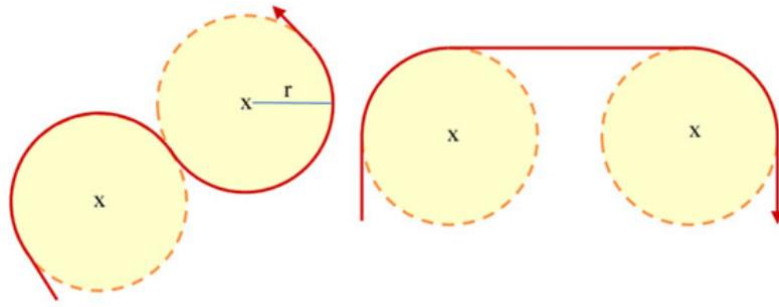
Kaynak: Sahingoz, 2013

Küçük boyutlu İHA'lar elden veya bir fırlatıcıdan atılabiliyorken daha büyük boyutlu olanlar ise kalkış için piste ihtiyaç duymaktadırlar. Bu çalışmada maliyetin düşük tutulabilmesi amacıyla inişler ve kalkışlar için tüm İHA'ların sadece tek bir pisti kullanacağı varsayılmaktadır. Ayrıca uydulardan ve diğer hava araçlarından alınan verilerle oluşturulan bölge topografyası ile sensörler/kontrol noktalarının konumları uçuştan önce İHA'larla paylaşılmaktadır. Algoritmanın temel amacı, sürü İHA sisteminde yer alan her bir İHA tarafından kontrol edilmesi gereken maksimum/minimum kontrol noktası¹³ sayısı gibi sistem kısıtlamalarını karşılayacak uygulanabilir dolaşım yollarını belirlemektir. Bu kısıtlamalar, her İHA için uçuş yollarının minimum uzunluğu, statik/dinamik engeller, tehlike bölgeleri, İHA kinematiği gibi yenileri eklenerek genişletilebilmektedir.

¹³ Her bir İHA'nın katetmesi gereken yol olarak da tanımlanabilecek minimum kontrol noktası sayısı ve İHA'ların katedebileceği mesafenin üst limitini tanımlayan maksimum kontrol noktası sayısı İHA'ların benzer mesafeler katetmeleri için koyulmuş sınırlardır.

Önerilen sistemde, paralel genetik algoritmalar kullanılarak yollar belirlenmektedir. Bununla birlikte, bu yollar düz çizgi parçaları içermekte olup kinematik ve dinamik kısıtlamaları nedeniyle İHA'lar tarafından genellikle takip edilemez. Bu nedenle İHA'lar için uygun hale getirmek amacıyla keskin dönüşlerin yumuşatılması gerekmektedir. Bu kapsamda bugüne kadar yapılan araştırmalarda aşağıdaki şekilde görülen Dubins eğrisi algoritması tercih edilen yöntemlerden birisi olmuştur (Lim, Ryoo, Choi, Cho, 2010).

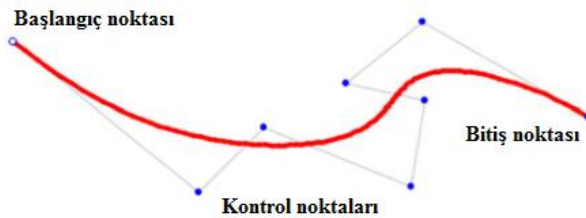
Şekil 42: Dubins eğrisi kullanarak dönüşlerin yumuşatılması



Kaynak: Sahingoz, 2013

Bu çalışmada ise İHA'ların dönüşlerini yumuşatabilmek amacıyla Bezier Eğrileri kullanılmıştır. Her bir İHA'nın her bir sensörün tam üzerinden geçmesi gerekmediğinden bu yöntem tercih edilmiştir. İHA'lar görev alanını sensörleri aracılığıyla kontrol edebilmekte ve kablosuz iletişim sayesinde sensör/kontrol noktalarıyla veri alışverişinde bulunabilmektedir.

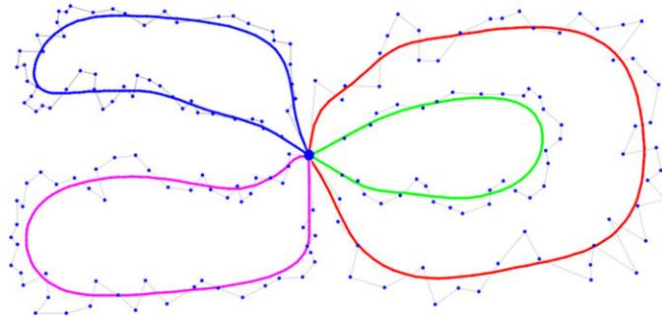
Şekil 43: Bezier eğrileri kullanarak dönüşlerin yumuşatılması



Kaynak: Sahingoz, 2013

Söz konusu çalışmada uygulanan simülasyonda 4 adet İHA ve 196 adet kontrol noktası kullanılmıştır. Öncelikle her bir İHA için kullanılabilir bir güzergâh belirlenmiş ve daha sonra Bezier Eğrileri kullanılarak daha gerçekçi güzergâhlar oluşturulmuştur. Sonuçlara göre, tek bir İHA ile yapılabilecek göreve göre %8,38 daha fazla maliyete sahip olan sürü, tüm kontrol noktalarını %29 daha kısa sürede kontrol etmiştir.

Şekil 44: 4 İHA ve 196 kontrol noktasından oluşan yumuşatılmış yol



Kaynak: Sahingoz, 2013

5.2.2. Karma algoritması

Mikro İHA'lar, daha önce de bahsedildiği üzere en küçük boyuta ve kütleye sahip İHA'lardır. Dolayısıyla sınırlı bilgi işleme, iletişim ve algılama yeteneğine sahiptirler. Mikro İHA çalışmalarında birkaç santimetrelilik böcek boyutlarına sahip çırpınan kanatlı hava aracı konseptleri son zamanlarda üzerinde en yoğun çalışılan konulardan biri olmuştur. Bu durumun en temel sebebi ise gövde yapımında, uçuş dinamiği ve kontrolünde, sensör tasarımında yüksek yoğunluğa sahip güç kaynaklarında meydana gelen gelişmelerdir. Böcek ölçekli mikro İHA platformlarının yukarıda bahsedilen sınırlamaları, araç üzerinde yürütülebilecek işlemleri kısıtlamaktadır (Dantu, Kate, Waterman, Bailis, Welsh, 2011).

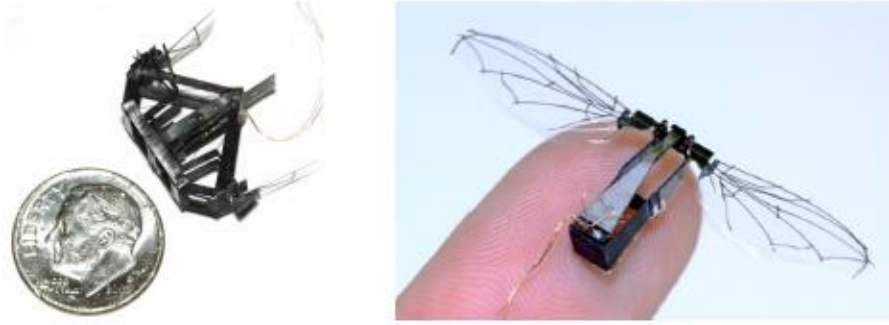
Özellikle aşağıdaki sorular, bu gibi kısıtlamaların nasıl aşılacağına dair çözüm önerileri geliştirilmesinde yol haritası sunmaktadır:

- Kaynak kısıtlamaları da göz önünde bulundurularak mikro İHA'ların davranışları nasıl basitleştirilebilir?

- Sürü seviyesindeki görevleri gerçekleştirebilmek için mikro İHA'ların basit davranışları nasıl birleştirilebilir?
- Düşük seviyedeki mikro İHA koordinasyonu yükü son kullanıcının üzerinden nasıl kaldırılabilir?

Aşağıdaki şekilde 2 adet mikro hava aracı görülmektedir.

Şekil 45: Mikro İHA örnekleri



Kaynak: Dantu, v.d. 2011

Söz konusu sorular ışığında, sürülerin hedeflerini gerçekleştirmek için gereken basit algılama ve işleme görevlerini yerine getiren mikro İHA'ların oluşturduğu “Kovan Modeli”ne dayanan bir sistem mimarisi geliştirilmiştir. Bu mimaride İHA'ların birbirleriyle iletişim kuramadıkları varsayılmış, dışarıdan sağlanan konum verileri haricinde konumu hakkında başka bir bilgiye sahip olmayan İHA'larla operasyon yürütüldüğü kabul edilmiştir. Bu kısıtlamalar İHA programlarını basitleştirmekte ve sürüyü yönetmek için gereken algılama, hesaplama ve depolama kabiliyetlerini içeren merkezi bir kovan tarafından koordine edilen sürü davranışlarını mümkün kılmaktadır. Bu sayede mikro İHA üzerindeki yük azalırken karar verme noktasında daha başarılı sonuçlar alınabilmektedir. Kovan Modeli'nde hava araçları fiziksel olarak ortamda var olan ve hava araçlarının pillerini şarj etme kabiliyetine sahip olan kovan olarak adlandırılmış merkeze yerleştirilmiştir. Kovanda yer alan bilgisayar sürünün hedeflerinin gerçekleştirilmesini için hava araçlarının nasıl kullanılması gerektiğini belirlemekte ve görev planlamaları yaparak hava araçlarını görev bölgelerine göndermektedir.

Kovan Modeli'nin sağladığı faydalar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Basitleştirilmiş programlama: Sistemde hava araçlarının kendi aralarında koordine olmalarına, kararlar almalarına veya görev sırasında kaybedilen hava araçlarıyla meşgul olmalarına gerek yoktur. Bu durum yazılımlardaki karmaşıklığı büyük ölçüde azaltmaktadır.
- Daha iyi karar verme kabiliyeti: Merkezi kovan, sahip olduğu hesaplama gücü sayesinde İHA'ların daha basitleştirilmesi mümkün kılınmakta ve hava araçlarının birbirleriyle iletişim kurmasına gerek kalmamaktadır. Bunların yanı sıra topladığı daha geniş kapsamlı bilgi sayesinde sürüdeki her bir hava aracına göre daha mantıklı kararlar verme kabiliyetine sahiptir.

Kovan modelinin etkin bir şekilde uygulanabilmesi için ise Karma adı verilen bir kaynak yönetim sistemi geliştirilmiştir. Karma, verilerin saklandığı veri deposu haricinde üç bileşeni içinde barındırmaktadır;

- Kovan Kontrol Birimi, genel yöneticidir ve gerektiğinde diğer modüllerin harekete geçmesini sağlamaktadır. Bir kullanıcı Karma sistemine bir uygulama gönderdiğinde Kontrol Birimi hedef kümeyi belirlemekte ve kullanılabilir İHA'ları kendisine tahsis etmek için Zamanlayıcıyı etkin hale getirmektedir. Kontrol Birimi her işlemin ilerleyişini izlemekte ve etkin herhangi bir işlem kalmadığında uygulamanın tamamlandığı sonucuna varmaktadır.
- Zamanlayıcı, her aktif sürece İHA tahsis etmek için Kontrol Birimi tarafından periyodik olarak uyarılmaktadır.
- Gönderici, fiziksel kaynakların (mikro İHA'lar) durumunu izlemekten sorumludur. Bu kapsamda, verilen görevle ilgili olarak uçuş öncesi İHA'ları programlamakta, sürünün büyüklüğünü takip etmekte, İHA'lardan herhangi biri kovana geri döndüğünde ve yeniden uçuş için hazır olduğunda Kontrol Birimine haber vermektedir.

Çalışma sonucunda elde edilen bulgular göstermiştir ki, bir kaynak yönetim sistemi olan Karma algoritması kullanılarak farklı koşullara uyumlu ve hatalara/sorunlara karşı dayanıklı mikro İHA sürüleri oluşturulması ve çok daha verimli görevler gerçekleştirilmesi mümkündür.

5.2.3. PSO (Particle Swarm Optimization - Parçacık Sürü Optimizasyonu) algoritması

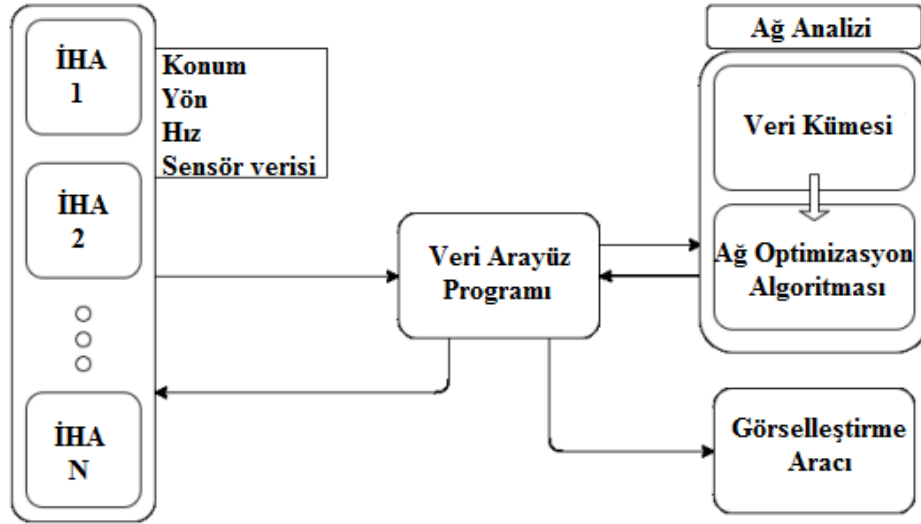
PSO algoritması sürü halinde hareket eden canlı gruplarının davranışları örnek alınarak geliştirilen ve sürü zekasına dayanan bir optimizasyon yöntemidir. Bu algorithmada sürüde bulunan her bir eleman parçacık olarak adlandırılmaktadır. (Özsağlam, Çunkaş, 2008). Algoritmanın her tekrarlanışında sürüde yer alan her parçacık hızını ayarlamak için 3 farklı seçeneğe sahiptir; parçacıklar komşu parçacıkların konumlarını keşfedebilir, daha önceden kendisi tarafından keşfedilen en iyi kişisel konumuna ilerleyebilir veya o ana kadar sürünün tamamında keşfedilen en iyi konuma ilerleyebilir. Bazı uygulamalarda üç seçenekten herhangi birisi doğrudan seçilirken bazı uygulamalarda ise her olasılığın toplam hız üzerindeki etkileri incelenerek seçim yapılmaktadır. Her parçacık bireysel olarak keşfedilen en iyi konumunu belleğinde tutma kapasitesine sahiptir ve bu veriler sürünün en iyi konumunu bulmak için kullanılır. Birçok yinelemenin ardından parçacıklar en iyi konuma yaklaşma eğiliminde olacaktır. PSO'nun bir dezavantajı ise algoritmanın en uygun konumu bulup bulmadığını test etmenin bir yolu yoktur ve dolayısıyla algoritmayı durdurmak için bir yöntem uygulanmalıdır. Bu yöntem genellikle toplam yineleme sayısının belirlenmesi şeklinde uygulanmaktadır.

Doğadan esinlenilerek oluşturulan bu algoritma günümüz teknolojisinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Benzer şekilde sürü İHA platformları için de PSO için pek çok uygulama alanı bulunmaktadır. Pil ömrünü en üst düzeye çıkarabilmek amacıyla katedilecek güzergâhın optimize edilmesi, görev yapılan bölgede maksimum sayıda sensörün taranması için en iyi dağılımın sergilenmesi, sürüdeki İHA'lar arasında en uygun kablosuz haberleşmenin sağlanabilmesi gibi çeşitli amaçlar için PSO algoritmasının kullanılması mümkündür.

Sürü İHA kapsamında bu algoritmayı temel alan bir çalışma yapılmıştır. Çalışmanın amacı, işbirliğine dayalı bir ortamda çalışmak üzere İHA sürüsü için benzetilmiş bir model oluşturmak ve birimler arasındaki en etkili iletişim kanallarını bulmak için kontrollü sürülerin özelliklerini kullanmaktır. Bu kapsamda kablosuz kanallar incelenip modellenmiş ve sürü ağını test etmek için bir optimizasyon programı oluşturulmuştur (Hahn, Peterson, Downey, Noghianian, Ranganathan, 2015).

Aşağıdaki şekilde görüleceği üzere, sistem üç ana alt sistemi birleştiren bir veri arayüzü programından oluşur: veri kümesi, ağ optimizasyon algoritması ve görselleştirme aracı.

Şekil 46: İHA sürü sisteminin şematik gösterimi

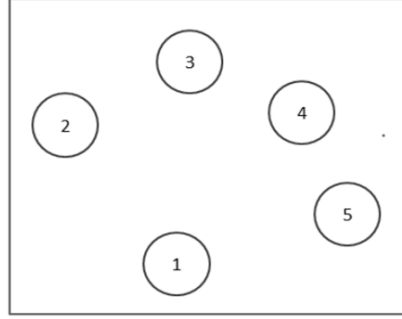


Kaynak: Hahn, v.d. 2015

Sürüdeki İHA'lar, sürünün her bir üyesi arasında en verimli bağlantıların nasıl yapılabileceğine karar verebilecek özelliklere sahiptir. Bunu, sürüdeki tüm muhtemel bağlantılar hakkında kablosuz kanal bilgisi içeren veri kümesini sorgulayarak yapmaktadırlar. Bunlar test yatağı içerisinde önceden hesaplanmıştır. En verimli kanallar PSO tarafından belirlendikten sonra, etkin ağ bağlantıları ve sürüdeki her bir elemanın konumunu da içeren ağın sonuçtaki yapısını özetleyen bir ağ dağıtım dosyası oluşturmak için görselleştirme aracıyla etkileşim kurulur. Söz konusu sürünün çıkış ağını elde etmek için bu görüntü kullanılan görselleştirme aracı tarafından gösterilir.

Çalışmada kullanılan ağ optimizasyon algoritması, sürüdeki elemanlar arasındaki kablosuz kanal bağlantılarını belirlemek için yinelemeli bir yaklaşım olan PSO'yu kullanmaktadır. Aşağıdaki şekil sürü elemanlarının başlangıçtaki bağlantısız durumunu göstermektedir.

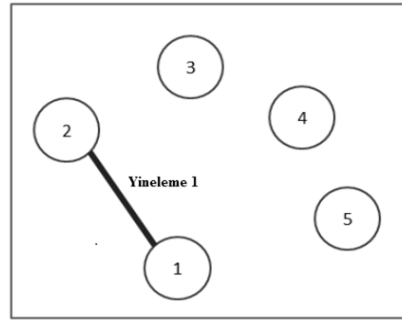
Şekil 47: Algoritma kablosuz kanallara karar vermeden önce başlangıçtaki durum



Kaynak: Hahn, v.d. 2015

Algoritma, İHA 1 ve İHA 2 olarak belirlenen ilk hedefler arasındaki bağlantı ile başlar. İHA 1 ve İHA 2 arasındaki bağlantı, algoritma karakteristiğine göre belirlenir. Eğer gerekli karakteristik belirlenmiş eşiğin sınırların içerisinde ise, doğrudan bağlantı kriterleri sağlanmış olur ve aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi onaylanır.

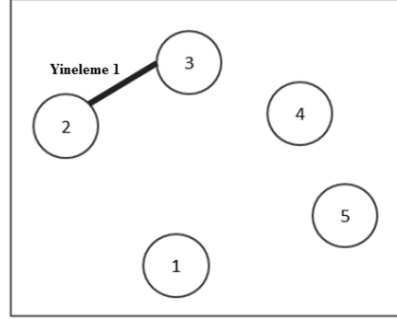
Şekil 48: İlk bağlantının sağlandığı durum



Kaynak: Hahn, v.d. 2015

Bağlantı kriterleri sağlanamamış olursa, hedef ile bağlantının başka bir yol kullanılarak sağlanması gereklidir. Hedef İHA ile sürüde yer alan diğer İHA'lar arasındaki karakteristik parametreler hangi bağlantının kriterlere uyum yönünden daha iyi sonuç verdiğini belirlemek amacıyla karşılaştırılır. Aşağıdaki şekil bu tipte bir bağlantının örneğini göstermektedir. Algoritmanın bu noktasında, daha önce oluşturulmuş bağlantının üzerine bir bağlantı kurulmamakta, aksine yineleme yöntemiyle en uygun bağlantının kurulması yönünde denemeler yapılmaktadır.

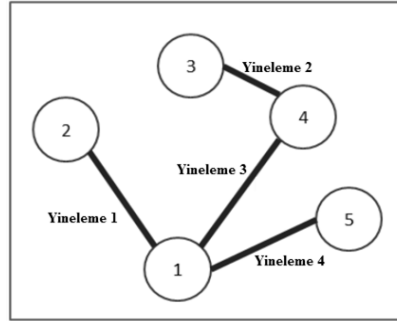
Şekil 49: İptal olan bağlantının yerine kurulan yeni bağlantı



Kaynak: Hahn, v.d. 2015

İlk hedef İHA için bir bağlantı sağlandıktan sonra, algoritma İHA'ların geri kalanını da benzer yineleme yöntemiyle bağlar. Bu bağlantıların oluşturulması sırasında hata denetimi de gerçekleştirilmekte, bu sayede hem İHA'lar arasında birden fazla bağlantı kurulması engellenmekte hem de tüm İHA'ların doğrudan veya dolaylı olarak birbirleriyle bağlı olduğu garanti altına alınmaktadır.

Şekil 50: Tüm bağlantılar tamamlandıktan sonra sürünün durumu



Kaynak: Hahn, v.d. 2015

Bu çalışma ile bir ağ iyileştirme algoritması geliştirilmiş, diğer bileşenlerle beraber simülasyon ortamında test uçuşları gerçekleştirilmiş, bir İHA sürüsünde yer alan her hava aracı arasındaki optimum iletişimi sağlanmış ve birden fazla aracın hareketini koordine etmek için kullanılan enerjinin miktarında büyük düşüş gözlenmiştir.

6. SÜRÜ HALİNDE GÖREV YAPAN İHA'LARIN KULLANIM ALANLARI

Günümüzde birçok alanda, uzaktan algılama yöntemleri ile elde edilen ve işlenerek anlamlı hale getirilen veriler kullanılmaktadır. Bu amaca yönelik olarak yakın zamana kadar helikopterler, uçaklar, insanlı hava platformları veya uydular kullanılmıştır. Son yıllarda ise İHA'lar bu platformların yerini almaya başlamış ve kullanım yoğunluğu günden güne artmaktadır. İHA'ların tercih edilmesinin sebeplerine bakılacak olursa:

- İHA'ların tasarım, üretim, operasyon ve bakım maliyetleri diğer araçlara göre çok daha düşüktür. Özellikle tekrar tekrar görüntüleme yapılması gereken görevlerde uçaklarla yapılan görüntülemeler büyük maliyetler ortaya çıkarmaktadır.
- Hava aracının veya uydunun üzerindeki görüntüleme sensörlerine de bağlı olarak atmosferik koşullar (özellikle yoğun bulutlu havalar) görüntülemenin önünde büyük bir engel olarak durmaktadır.
- Uzaktan algılama uyduları sürekli olarak farklı noktalardan geçmekte ve istenilen bölgeden istenilen zamanda görüntü alınması mümkün olmamaktadır.
- Özellikle askeri alanda insan sağlığını da tehlikeye atabilecek zor koşullar altında İHA'ların kullanımı daha uygundur.
- İnsanlı uçuşlarda gerçekleştirilmesi mümkün olmayan çok daha uzun uçuşlar İHA'larla aralıksız bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.
- Yüksek otonomi seviyesi sayesinde yer kontrol istasyonu ile iletişim kopsa bile görevin tamamlanması ve İHA'ların güvenli bir şekilde iniş gerçekleştirilmesi mümkündür.
- İHA'lar boyutlarına da bağlı olarak elden atılabilir veya kısa pistlerden kalkış yapabilir hava araçlarıdır. Dolayısıyla uçaklar kadar uzun pistlere ihtiyaç duymazlar.

İHA'ların kullanımının getirdiği bu avantajların yanı sıra, İHA'ların bir arada kullanımı sonucu ortaya çıkan sürü İHA sistemlerinin daha önce bahsedilen avantajları da eklenince birçok alanda bu sistemlerinin kullanımının mümkün olduğu değerlendirilmektedir. Kullanım alanları ise tarım uygulamalarından orman yangınlarına, doğal hayata yönelik insan etkilerinin incelenmesinden askeri uygulamalara kadar geniş bir alanı kapsamaktadır. Aşağıdaki başlıklarda bu alanlar hakkında detaylı bilgiler verilmektedir.

6.1. Tarım

İHA'ların sivil alanda en yoğun kullanıldığı alanlardan birisi tarımdır. Tarım özelinde değerlendirildiğinde ise farklı uygulamalar yapılmaktadır. Tohumların olgunluklarının izlenmesi, tarlaların izlenmesi, özellikle Asya'da pirinç alanlarının verimliliğinin takip edilmesi, sağlıklı ve hastalıklı alanların belirlenmesi, tarım ilaçlaması yapılması gibi farklı uygulamaların gerçekleştirildiği görülmektedir. Yine benzer uygulamaların sürü İHA sistemleri ile daha kısa sürede, daha düşük maliyetlerle gerçekleştirilebileceği değerlendirilmektedir. Sunulabilecek en pratik çözüm birden çok İHA'nın seçilen tarım alanı üzerinde birbirlerine paralel şekilde daha önceden belirlenmiş güzergâhı takip ederek otonom uçuş gerçekleştirilmesi ve görüntüleme yapmasıdır. Bu kapsamda, Çin'de gerçekleştirilen tarımsal ilaçlamaya yönelik bir çalışmada bu yaklaşımın temelinde bir optimizasyon probleminin mevcut olduğu belirtilmiş ve bu problemin çözümüne yönelik çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada üzerinde durulan senaryo aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Li, Zhao, Zhang, Dong, 2016).

Şekil 51: Çalışma senaryosu



Kaynak: Li, v.d. 2016

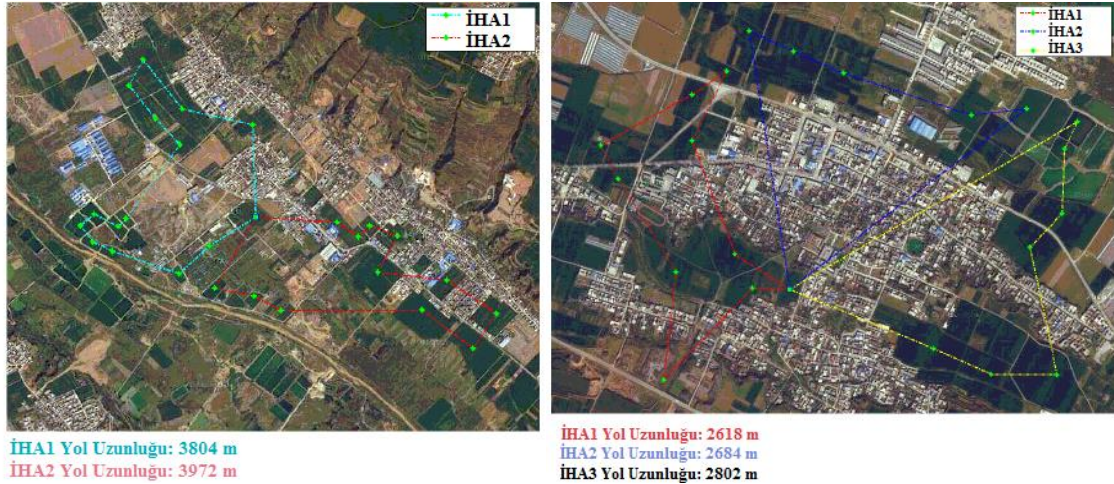
Kurgulanan senaryoya göre İHA'lar, genellikle yerleşim yerinin merkezinde oluşturulan sevk merkezinde hazırlanmaktadır. Günlük ilaçlama talepleri rapor edildikten sonra, hedef bloklar belirlenmektedir. Blokların yerleri ve diğer ilgili bilgiler, sevk merkezindeki sunucuya

kaydedilmekte, sürüdeki İHA sayısı ve her İHA için yollar hesaplanmaktadır. Ardından ana görev, her bir İHA'nın optimum alan ve sürede ilaçlama yapmak üzere hedef bloklarda çalışmaya gönderilmesidir. İHA'lar her bir görev tamamlandıktan sonra bir sonraki görev için güç depolamak ve ilaç yüklemesi yapılmak üzere sevk merkezine dönmektedirler. Çalışmada 15 litre kimyasal ilaç taşıma kapasitesine sahip İHA'lar kullanılmıştır.

Önerilen tekniğin özünde, minimum görev süresi ile sürü İHA'nın optimum yollarını tanımlamak bulunmaktadır. Bu sebeple, bir yerel arama tekniği olan Değişken Komşu Arama algoritması ile güçlendirilmiş PSO algoritması kullanılmıştır.

Algoritmanın uygulandığı gerçek saha testlerinde sonuçların çok başarılı olduğu görülmektedir. Aşağıdaki şekillerde görüleceği üzere 2 ve 3 otonom İHA'dan oluşan gruplar ile farklı bölgelerde gerçekleştirilen benzer görevlerde her bir görevdeki İHA'lar benzer mesafeler taramışlardır. Her iki görev de tek bir İHA ile gerçekleştirilen göreve göre çok daha kısa sürmüştür.

Şekil 52: Uçuş testi sonuçları



Kaynak: Li, v.d. 2016

Klasik PSO algoritmasında, sürünün bir elemanı her yenilemede, kendi yerel en iyi değeri ile sürünün en iyi değeri arasında bir yer değiştirme yapmaktadır. Böylece her aşamada hedefe

biraz daha yaklaşıarak belli bir yenilemeden sonra ulaşabileceği en optimum sonuca ulaşmaktadır. Fakat bu algoritmada ilk aşamada seçilen rastgele değerlere göre algoritmanın başarısı çok etkilenmektedir. Bu başarı oranını artırabilmek amacıyla hibrit algoritma kullanılması üzerinde çalışılmış ve sonuçların da başarılı olduğu görülmüştür. Bu veya benzer algoritmalar kullanılarak sürü İHA kullanımının tarım alanında daha da yaygınlaşabileceği değerlendirilmektedir.

6.2. Doğal Afet

Afetler meydana geldikten sonra ortaya çıkan kargaşa ortamında binaların, yolların ve yaya trafiğinin havadan alınmış görsel verileri, yeni bir güvenli harita oluşturmak için çok önemli bilgilerdir. Ayrıca alınan veriler gerçek zamanlı izleme sistemi oluşturulmasını sağlar. Tüm bunların sayesinde acil yardım gereken bölgeler belirlenebilir ve şartlar normale dönene kadar insanların konumlanabileceği güvenli bölgeler tespit edilebilir.

Özellikle deprem, sel, tsunami gibi kara araçlarının etkinliğinin büyük ölçüde azaldığı, insanların kabiliyetlerinin sınırlandığı durumlarda günümüzde ilk seçeneklerden birisi olarak İHA'lar kullanılmakta ve yöntem olarak tek bir İHA'nın görüntü alması tercih edilmektedir. Fakat görev sahasında gerçekleştirilmesi gereken birden fazla görev olması veya tek bir görevin çok kısa sürede gerçekleştirilmesi gereken durumlarda sürü İHA'ların kullanılması işlevselliği artırmak ve çözümlerin kısa sürede geliştirilmesi açısından önemlidir.

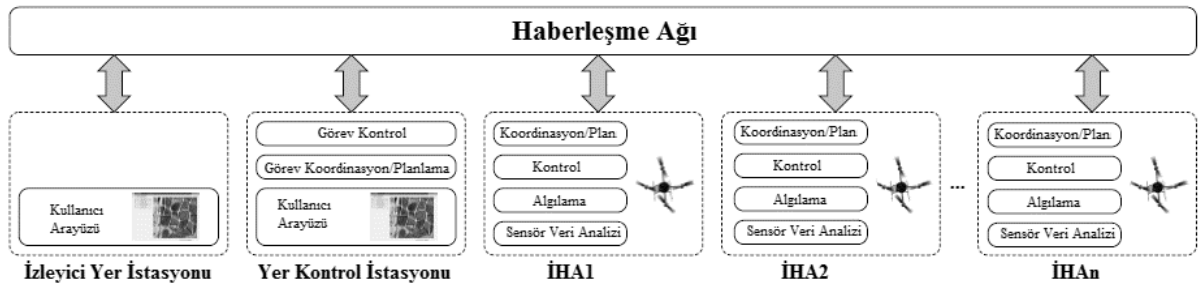
Afet yönetiminde üzerinde çalışılabilecek konular şu şekilde sınıflandırılabilir:

- İzleme ve erken uyarı sistemleri,
- Afet bilgi sistemi ve paylaşımı,
- Durumsal farkındalık ve lojistik,
- Bağımsız iletişim sistemi,
- Arama ve kurtarma görevleri,
- Hasar tespiti.

Yukarıda yer alan konular içerisinde özellikle arama ve kurtarma görevlerine yönelik yapılan çalışmaların yoğunluğu dikkat çekmektedir. Arama ve kurtarma görevlerinde sürü İHA kullanılmasına yönelik yapılan çalışmaların bir örneği 2015 yılında Avusturya’da SINUS (Self-Organizing Intelligent Networks of UAVs - İHA’ların Kendi Kendini Organize Eden Akıllı Ağları) projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir (Scherer, Yahyanejad, Hayat, 2015).

Görevde İHA’lar ile kablosuz ağ üzerinden iletişim kuran iki tip yer istasyonu kullanılmıştır. İzleyici yer istasyonu sensörlerin verilerini almak için sisteme bağlanmayı sağlamaktadır. Devam eden görevin geri bildirimini sağlanabilmesi için (örneğin, İHA’ların harita üzerindeki mevcut konumları, alınan görüntüler, pil durumu vb.) birden fazla sayıda izleyici yer istasyonu bulunabilir. Diğer bir yer istasyonu olan yer kontrol istasyonu ise sistemin çeşitli yönlerden kontrolünün gerçekleştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Bu yer istasyonunda görev bölgesi, kullanılacak İHA sayısı gibi ilk görev parametreleri kullanıcı tarafından tanımlanmaktadır. Kullanıcı aynı zamanda bu yer istasyonu aracılığıyla görevi denetleyerek gerek duyulması durumunda göreve müdahale edebilir. Sistemin ana bileşenleri aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

Şekil 53: Arama kurtarma görevi sistem bileşenleri



Kaynak: Scherer, Yahyanejad, Hayat, 2015

Görev sırasıyla aşağıdaki aşamalarla gerçekleşmektedir:

- i. Görev planlaması: Operatör kontrol istasyonuna arama bölgesini tanımlar. Bölgeyi taramak için gereken sürenin azaltılması amacıyla tüm alternatif güzergâhlar hesaplanır. Ziyaret edilmesi gereken kontrol noktaları da dahil olmak üzere geliştirilen tüm planlar İHA'lara gönderilir.

- ii. Arama: Bu aşamada İHA'lar yer yüzeyini tararken aynı zamanda kontrol noktalarını da otonom olarak takip eder. Algılama, çarpışmaların önlenmesi ve sık sık görüntü transferinin gerçekleştirilmesi bu aşamada etkindir. Her İHA, çekilen görüntüleri gerçek zamanlı olarak tarayan ve belirli özellikler veya desenler (örneğin renk, metin veya şekil) arayan bir algılama algoritması kullanır.

Şekil 54: Görev kapsamında tespit edilen kırmızı ceket



Kaynak: Scherer, Yahyanejad, Hayat, 2015

- iii. Algılama: Bir hedef tespit edildikten sonra, diğer İHA'lar iletişim için yeni bir yerleşime geçerken algılamayı gerçekleştiren İHA olduğu yerde bekler.
- iv. Yeniden konumlanma: İHA'lar arama modundan yayın moduna geçer. Sürünün şekli değiştirilir ve görüntüleme yapan yer istasyonlarının durumu değerlendirmesine izin vermek için bağlantı kurulur. Hedefin konumu, görüntüleme yapan yer istasyonunda belirtilir.
- v. Akış: İHA'lar, yer kontrol istasyonundan emir gelene kadar hedefi takip ederek videoları veya fotoğrafları iletir.

Çalışmada uygulanan sistemin çeşitli olayların ardından ihtiyaç duyulan arama kurtarma operasyonlarında kullanılabilmesi özellikle otonomi seviyesinin tamamen operatör tarafından belirlenebilir olması sebebiyle mümkün görünmektedir. Görevin yürütüleceği alanın büyük olabileceği de dikkate alındığında sürü kullanımı, kısa sürede kurtarılmayı bekleyen insan veya diğer canlılar için hayati öneme sahiptir.

6.3. Sızıntı Tespiti

Doğal afetlerin bir sonucu veya insan hatası kaynaklı olarak ortaya çıkan ve insan hayatı için tehlikeli konulardan birisi de sızıntılardır. Bunlar gaz sızıntıları olabileceği gibi nükleer tesislerde meydana gelen ve insanlarda nesiller boyunca kalıcı hasarlara sebep olma ihtimali bulunan nükleer sızıntılar da olabilir. Özellikle insan sağlığı açısından son derece yüksek riskler barındıran bu sızıntılar İHA'lar tarafından çok daha güvenli bir şekilde tespit edilebilmekte ve yaşam alanlarının korunumu sağlanabilmektedir. Bu görevler çoklu İHA sistemleri kullanılarak gerçekleştirildiğinde ise sızıntı kaynağının tespit süresi önemli ölçüde azalmaktadır.

Daha önce bahsedilen PSO algoritmasının kullanıldığı bir çalışmada gerçekleştirilen simülasyon testlerine göre gaz sızıntılarının tespiti mümkün hale gelmiştir. Çalışmada 25 cm boyunda döner kanatlı mini platformlar kullanılmış ve her bir İHA'nın üzerine gaz dedektörü monte edilmiştir. Çalışmada kullanılan algoritma ile aşağıdaki adımlar gerçekleştirilmiştir:

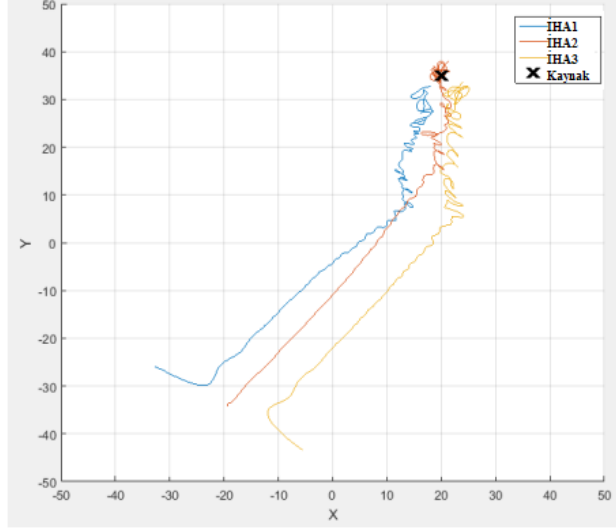
- i. GPS ve diğer sensör verileri ile İHA'nın kendi konumunu tespit etmesi,
- ii. Diğer İHA'lardan alınan verilerle komşu İHA'ların yerlerinin tespit edilmesi,
- iii. Hareket edilecek yönün belirlenmesi amacıyla uygun davranışın belirlenmesi.

Söz konusu davranışa yönelik olarak 4 temel yöntem belirlenmiştir;

- Ayrılma kuralı; İHA'ları diğer İHA'lardan uzaklaştırarak çarpışmanın engellenmesini sağlamaktadır.
- Hizalanma kuralı; tüm İHA'ların aynı rotada hareket etmesini sağlamaktadır.
- Uyum kuralı; tüm İHA'ların birbirlerine yaklaşmasını sağlamaktadır.
- Gaz takip kuralı; İHA'ların sızıntının kaynağına yönelmesini sağlamaktadır.

Simülasyonda ise İHA'lar ilk önce uyum kuralını uygulamış ve İHA'ların birbirlerine yaklaştıkları gözlemlenmiştir (Braga, Silva, Ramos, Camino, 2017). Daha yakın konuma gelmez ayrılma kuralı devreye girmiş ve birbirleriyle iletişim kurabilecekleri maksimum mesafede konumlanmışlardır. Ardından hizalama kuralı ve gaz takip kuralı uygulanmış ve İHA'lar gazın kaynağına doğru birlikte hareket etmeye başlamışlardır. Kaynak tespit edildikten sonra tüm sürü rastgele ufak salınım hareketleriyle kaynak üzerinde konumlanmışlardır.

Şekil 55: İHA konumlarının zamana göre değişimi



Kaynak: Braga, v.d. 2017

Sızıntı kaynağının tespitine yönelik olarak gerçekleştirilen çalışmalardan bir diğeri ise dünyada yaygın olarak bulunan nükleer tesislerde meydana gelen sızıntıları sürü İHA'larla belirlemek üzere uygulanmıştır (Han, Xu, Di, Chen, 2012). 2011'de Japonya'da meydana gelen deprem ve arkasından Fukuşıma nükleer santralının etkilenmesi sonucu santralden atmosfere radyoaktif madde salınımı başlamıştır. Japonya'daki nükleer sızıntı, nükleer santrallerin güvenliğinin sağlanmasının ne kadar önemli olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca meydana gelecek kazalarda bölgedeki radyasyon seviyesinin izlenmesinin güvenlik sağlanacak bölgelerin belirlenebilmesi ve buna göre önlemlerin alınabilmesi için ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmıştır. Bunun yanı sıra özellikle şehirlerde radyoaktif maddelerin taşınması sırasında atmosferdeki radyasyon miktarının tespiti açısından büyük önem taşımaktadır. Gaz sızıntısı kaynağının tespitine benzer bir kontrol algoritması kullanılan çalışma ile nükleer sızıntının kaynağı tespit edilmiştir.

6.4. Atmosferik Veri Toplama (Hava kirliliği, ozon tabakası incelenmesi vs.)

Ülkemizde ve dünya genelinde çevre bilinci her geçen gün daha da artmaktadır. Dolayısıyla atmosferdeki kirlilik seviyelerini değerlendirmek, kontrol altına alabilmek ve azaltabilmek amacıyla yapılması gerekenleri belirlemek için bir ihtiyaç ortaya çıkmıştır. Bu amaçla uydu

tabanlı izleme sistemlerinden şehirlerdeki tipik yerel istasyonlara veya toplu taşıma araçlarına varıncaya kadar çok çeşitli sistemler geliştirilmiştir. Söz konusu sistemlerin büyük çoğunluğu zemin seviyesinde veya uydularda olduğu gibi çok daha geniş alanlarda kirlilik seviyesini tespit etmek için kurgulanmıştır. Örneğin orman yangınları veya fabrikalardan kaynaklı kirlilikler yerde konumlanmış sistemler tarafından doğru olarak ölçülememekte ve genellikle ihmal edilmektedir. Burası İHA'lara dayalı izleme sistemlerinin kullanılabileceği yerdir.

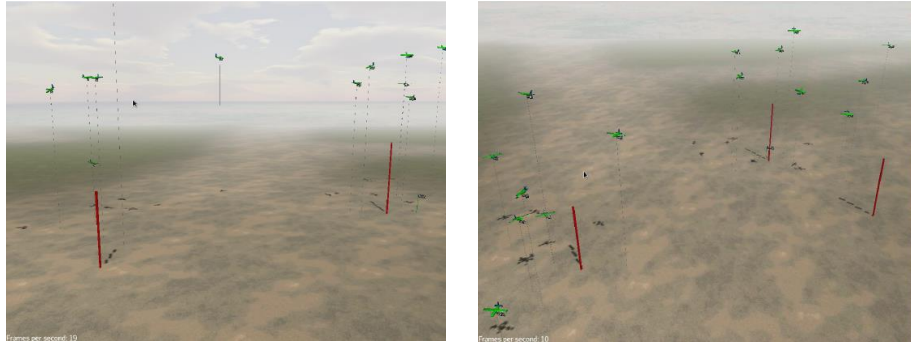
Atmosferdeki kirliliğin otonom bir şekilde görev yapan sürü İHA'larla tespitine yönelik olarak bir senaryo geliştirilmiştir. Senaryoda sabit kanatlı İHA'lar kullanılmıştır. Atmosferik verilerin algılanması aşamasında soruna yol açmaması için İHA'larda pervaneler özellikle gövdenin arka tarafına bağlanmıştır. Görev kirliliğin ölçümüne yönelik olduğundan NO_x, CO, CO₂ ve SO₂ gibi en yaygın hava kirletici maddeler ile sıcaklık ve nem miktarlarını ölçme yeteneğini de içeren algılama sistemleri kullanılmıştır (Varela, Caamaño, Orjales, Deibe, Peña, Duro, 2011).

Çalışmada her bir İHA'nın otonom hareket ettiği ve çevreyi ve kirlilik kaynaklarını tespit etmek için çevresindeki diğer İHA'larla işbirliği yaptığı bir yaklaşım kullanılmıştır. Görev üç aşamada gerçekleştirilmektedir. Kalkıştan hemen sonra çevrenin keşfedilmesi için İHA'ların doğru konumlara yerleşebilmesini içeren ilk aşama, yayılma aşaması başlar. Yayılma aşaması tamamlandıktan sonra izleme aşaması başlar. Bu aşamada yine İHA'lar arasındaki mesafeler korunarak eşik değerini aşarak havayı kirleten maddelerin tespiti yapılır. Toplanan veriler haberleşme kanalı aracılığıyla yakındaki İHA'lar ile paylaşılır. İHA'lardan birisinin eşik değerinin üzerinde bir kirlilik tespit etmesi durumunda arama aşaması başlar ve İHA'lar arasındaki işbirlikleri bu noktada artış gösterir. Öncelikle her bir İHA kendi verileri ile çevresindeki İHA'lardan aldığı verileri birleştirir, daha sonra bu verileri bulunduğu konumun kirlilik değeriyle karşılaştırır. İHA'nın elindeki veri daha küçükse bölgenin verisini de ekleyerek güncelleme yapar ve farklı noktalarda ölçüm yapmak için yoluna devam eder. Bu şekilde tüm bölgede yinelemeli bir yaklaşımla kirliliğin kaynağı tespit edilir.

Gerçekleştirilen çalışmada birden fazla kirlilik kaynağının olması durumunda İHA'ların nasıl hareket edeceği üzerinde de testler gerçekleştirilmiştir. Kullanılan algoritma sayesinde, kaynak sayısı kadar gruplara ayrılan İHA'lar eş zamanlı ve otonom görevler gerçekleştirmiştir.

Aşağıdaki şekillerde kirlilik kaynağı sayısına göre gerçekleştirilen simülasyonlar gösterilmektedir.

Şekil 56: İki ve üç adet kirlilik kaynağı tespiti simülasyonu



Kaynak: Varela, v.d. 2011

Çalışma sonuçlarına göre hava aracı sayısının kaynağın tespitinde büyük etkisinin olduğu görülmüştür. İki İHA ile gerçekleştirilen görevlerde kaynağın bulunma oranı %60 ile %80 arasındayken, üç İHA ve daha fazlası ile yapılan görevlerin tamamında kirliliğin kaynağı tespit edilmiştir. Ayrıca kirlilik kaynağının tespit edilme süresi de İHA sayısının artması ve kaynak ile İHA'ların kalkış noktası arasındaki mesafenin azalmasına bağlı olarak kısalmaktadır. Birden fazla kirlilik kaynağı olması durumunda ise ihtiyaç duyulan İHA sayıları da artış göstermektedir; iki kirlilik kaynağı için sekiz adet İHA gerekirken üç kirlilik kaynağı için on adet İHA gerekmektedir.

6.5. Orman Yangını

Orman yangınları, çevre üzerinde olumsuz etkisi olan ve hem insan hayatını hem de ülkelerin ekonomik durumunu olumsuz yönde etkileyen bir felakettir. Bu felaketin ortaya çıkışı orman türü ve hava koşulları gibi doğal faktörlerin yanı sıra insanların davranışlarına da doğrudan bağlıdır. Etkilediği alanın hızla genişlemesi ihtimali de göz önünde bulundurulduğunda orman yangınlarının ciddi sonuçlar doğurması olasıdır. Ülkemizde ise orman yangınları Ege ve Akdeniz bölgelerinin kıyı kesimlerinde yaygın bir olaydır. Özellikle yaz aylarında sıcaklığın artması ve yağış miktarının düşmesi nedeniyle orman yangınlarının sayısında da ciddi bir artış

meydana gelmektedir. Bu durum hem doğal hayatı hem de insan yaşamını ciddi şekilde tehdit etmektedir. Orman yangınlarının önüne geçilebilmesi amacıyla son yıllarda İHA sistemleri öncelikli olarak tercih edilmekte ve erken tespit sayesinde alınan önlemlerle kayıplar büyük ölçüde azaltılabilmektedir. Daha geniş alanlarda kullanılabilen sürü İHA sistemleri ile çok daha büyük orman alanları eş zamanlı olarak izlenebilmekte ve korunabilmektedir.

Orman yangınlarının erken tespitine yönelik sürü İHA uygulamalarından birisi yine orman yangınlarından büyük zarar gören ülkelerden olan İspanya'da gerçekleştirilmiştir (Merino, Caballero, Dios, Ferruz, Ollero, 2006). Çalışmada kullanılan hava araçlarında navigasyon sensörlerinin yanı sıra dijital kamera, termal kızılötesi kamera ve yangın sensörleri kullanılmıştır. Bu sensörler yangınların tespitinde kullanılan 185-260 nm dalgaboyları bandında ölçüm yapma kabiliyetine sahiptir.

Çalışmanın saha testleri 3 aşamadan oluşmaktadır: yangın arama, yangın onayı ve yangın gözlemi. Yangın arama aşaması gözlem yapılan bölgede olası yangınların aranmasıyla başlar. Bu aşamada İHA'lerden sadece bir tanesi kullanılır. Yangının aranması için otonom algoritma bölgede izlenecek bir güzergâh planlar ve olası yangınları tespit etmek için yangın sensörleri kullanılır. Bir veya birkaç yangın ibaresi tespit edilirse yangın onayı aşaması başlar. Bu aşamada ilk İHA'nın görevi yeniden planlanır ve İHA yangını güvenli bir uzaklıktan izlemeye devam eder. Bu durumda termal kızılötesi kamera kullanan başka bir İHA yangın onayı için bölgeye gönderilir. Eğer alarm yanlışsa yangın arama aşamasına geri dönlür. Alarmın doğru olduğu onaylanırsa yangın gözlemi aşaması başlar ve her iki İHA için de görevler yeniden planlanır; her iki İHA da yangın bölgesinde kalarak izlemeye devam ederler ve farklı açılardan bölgenin fotoğraflarını kontrol istasyonuna göndermeye başlarlar.

Çalışmada kullanılan yaklaşım daha önce detaylı bir şekilde bahsedilen basit takım oluşturma yaklaşımı ile benzerlikler göstermektedir. Aynı yaklaşımın onay gerektiren benzer uygulamalarda da kullanımı mümkün görünmektedir.

6.6. Alternatif Kullanım Alanları

Yukarıda bahsedilen ve simülasyon veya gerçek uygulamalarla test edilen sürü İHA kullanım alanlarının yanı sıra bu araçların sivil ve askeri kullanım alanlarının çok daha çeşitlendirilmesi mümkündür. Bunlardan bazıları;

- İnsanların erişiminin zor olduğu bölgelerde meydana gelen uçak veya helikopter kazalarında bölgenin kısa sürede taranması ve arama-kurtarma faaliyetlerinin yürütülmesi,
- Sızıntı tespitinin bir diğer ayağı olarak denizlerde meydana gelen kazaların ardından ortaya çıkan ve doğal yaşam için büyük riskler barındıran petrol, yağ ve yakıt sızıntılarının takip edilmesi,
- Şehirlerin farklı bölgelerindeki trafik yoğunluklarının tespit edilmesi,
- Haberleşme imkanlarının kısıtlı olduğu bölgelerde (altyapının hiç olmaması veya hasar görmesi gibi durumlar) yayın platformu olarak sürülerin kullanılması,
- Geniş alanlara yayılmış mülteci hareketlerinin takibi.

Tüm bu sivil kullanım alanlarının yanı sıra uzak gelecekte farklı kullanım alanlarının ortaya çıkması da mümkündür. Bunlara örnek olarak derin uzay araştırmalarında gezegenlere dair yapılan araştırmalarda farklı ölçümlerin yapılabilmesi amacıyla İHA sürüleri kullanılabilir. Bu sayede, özellikle bu gezegenlerin atmosferlerine yönelik olarak yapılan ölçümlerde büyük gelişmeler sağlanabilecektir.

Alternatif kullanım alanlarında askeri kullanım tarafında ise ilk sırada güvenlik ve savunma gelmektedir. Küresel güvenliğin ortaya çıkardığı riskler, malzeme, enerji ve bilginin üretimi ve taşınması için gerekli tüm altyapıyı etkilemektedir. Güvenlik için bu gibi risklerin ortaya çıkması, insansız araçlar baz alınarak kurulabilecek uzaktan algılama ve izleme sistemlerinin geliştirilmesine yönelik bir motivasyondur. Bu da, ortak bir görev üzerinde işbirliği yapan aynı ağa bağlı heterojen bir sistemin koordine edilebilmesi için güçlü otonom kontrol teknolojilerinin geliştirilmesini gerektirmektedir. Çoklu heterojen sistemler ve uzaktan algılayıcıların gerçekçi uygulamalarla koordine edilmesi bu sorunun çözümüne yönelik olarak ümit vaat eden bir yaklaşımdır. Özellikle sınır güvenliğinin sağlanabilmesi ve meydana

gelebilecek saldırılara karşı hava savunma sistemi benzeri bir yapının oluşturulması konularında İHA'ların oluşturduğu sürülerin kullanımının mümkün olduğu değerlendirilmektedir.

7. TESPİTLER VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında yapılan incelemelerde;

- Yüksek otonomi seviyesine erişilmesinin önünde hala bir takım engeller olduğu ve kontrol algoritmalarının zayıf yönlerinin olduğu görülmüştür. Her iki husus da görevlerin yarım kalması, çevreye veya canlılara zarar verilmesi gibi olumsuz durumlara yol açma potansiyeline sahiptir.
- İHA sistemlerindeki teknolojik altyapının sürü performansını ciddi derecede etkilediği görülmüştür. Dolayısıyla eksik olunan noktalarda Ar-Ge çalışması yapılması, yeni nesil sistemler üretilmesi, bu sistemlerin yer ve uçuş testlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.
- Sürü İHA sistemlerinin çok sayıda İHA bulundurmasından dolayı görev sırasında diğer hava araçlarına tehlike yaratma potansiyeli çok yüksektir. Bu sebeple sivil hava sahasına entegrasyon konusunda çalışma yapılması gerekmektedir.

Tüm bu gereksinimler kapsamında üç adet öneri belirlenmiştir ve aşağıda detayları ile bahsedilmektedir.

7.1. Kontrol Algoritması Simülasyonu

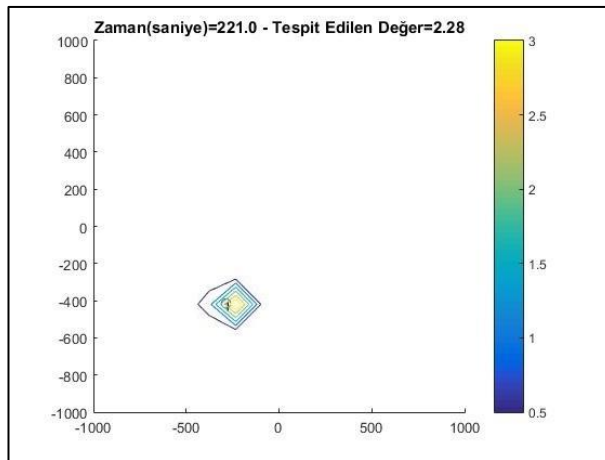
Bölüm 5’te bahsedilen kontrol yöntemlerinin her birinin birtakım zayıf yönleri mevcuttur ve bu durum otonom görev yürütecek sürü sistemlerinde ciddi bir performans kaybına sebep olabilmektedir. Algoritma kaynaklı olarak yaşanan daha büyük aksaklıklarda ise görevin tamamen başarısız olması ve sistemlerin kullanılamaz hale gelmesi mümkündür. Bu kapsamda günümüz teknolojisine sahip gelişmiş mikro İHA’ları içeren bir sürü sisteminin belirli bir bölgedeki sızıntı/kirlilik düzeyini ölçebilmesi oluşturulan bir algoritma yeniden düzenlenerek daha da geliştirilmiştir. Bu algoritmada aşağıdaki sınırlamalar kullanılmıştır;

- İHA’ların havada kalış süresi 30 dakikadır. Bu süre dolduğunda merkeze dönerek batarya değişimi yoluyla göreve geri döner veya ayrılan aracın yerine göreve farklı bir İHA’nın devam etmesi sağlanır.

- Görev belirli bir alanda anormal düzeyde artış gösteren değerlerin tespitine yönelik oluşturulmuştur. Bu artışın sızıntı, emisyon, sıcaklık vb. sebeplerle olabileceği varsayılmış ve birim değer olarak 1 birim seçilmiştir. Bu miktarın üzerinde değerler İHA'ları harekete geçirmektedir ve takip gerçekleştirilmektedir.
- Tespit edilen değerler tüm İHA'lar tarafından tespit edilen değerlerin aritmetik ortalaması şeklinde ekrana yansıtılmaktadır.
- İzlenen bölgenin genişliği İHA başına 100 metreyi geçtiği an yeni bir İHA merkezden hareket etmekte ve takibe katılmaktadır.
- İHA'ların her birinin algı ve sakın sistemlerine sahip olduğu varsayılmıştır.
- Her bir İHA'nın kendi konum verilerini hem diğer İHA'larla hem de kontrol istasyonu ile paylaştığı kabul edilmiştir.
- Gerçekleştirilecek görevlerde kontrol noktalarına ihtiyaç duyulmamaktadır. Dolayısıyla bölgenin önceden keşfedilmesine veya güzergâh planlaması yapılırken hedef noktaların belirlenmesine gerek yoktur.
- Tanımlanan 2.000x2.000 m'lik alanın orta noktası İHA'ların da kalkış noktası olarak tanımlanmıştır.
- Her bir İHA'nın hızı 10 m/s olarak belirlenmiştir.

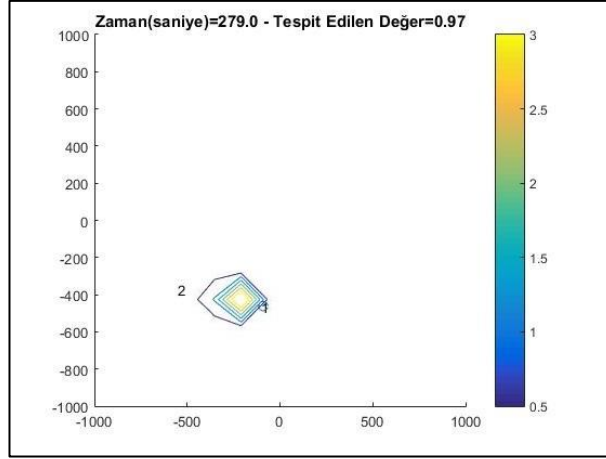
Yüksek değerlerdeki verilerin tespit edilmesi ilk olarak görev başladıktan yaklaşık 221 saniye sonra gerçekleşmektedir.

Şekil 57: Verilerin tespitinin başlaması

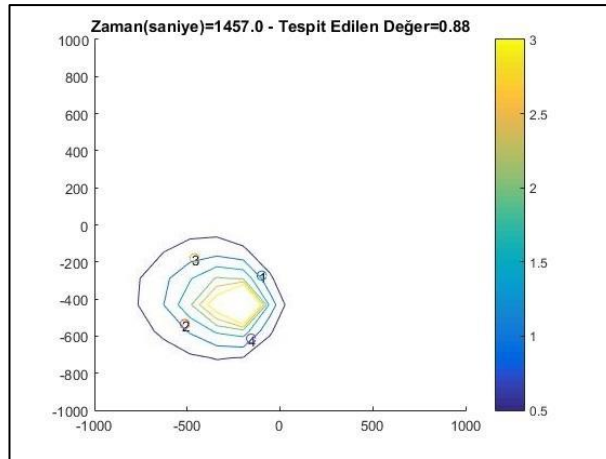


Anormal değerlerin ölçüldüğü alanın genişliği 100 metrenin üzerine çıktığı anda ikinci İHA merkezden ölçümün yapıldığı yere doğru hareketine başlamaktadır.

Şekil 58: İkinci İHA'nın katılımı



Şekil 59: 4 İHA'lı sürünün görünümü



Daha önce de belirtildiği üzere İHA'ların dayanımları 30 dakika olarak kabul edilmiştir. Dolayısıyla 1800. saniyede ilk İHA enerji ihtiyacını karşılamak üzere sürüden ayrılmaktadır. Bu noktada iki seçenek ortaya çıkmaktadır; İHA, bataryasını değiştirerek görevine geri döner veya yeni bir İHA sürüye katılır. Her iki ihtimal de göz önünde bulundurularak takibi

kolaylaştırabilmek adına bu İHA 6 numara ile numaralandırılmıştır. Görevin önemine göre bu seçeneklerden herhangi birisi tercih edilebilir.

Gerçekleştirilen simülasyonda 1 saatlik görev sonunda İHA'ların birbirleriyle hiçbir koşulda çarpışmadıkları, aralarındaki mesafeyi korudukları, bataryası boşalan İHA'nın pilini doldurarak, değiştirerek veya başka İHA ile yer değiştirerek görevin aksamasına engel olduğu ve eşik değerini İHA'lar tarafından görev süresi boyunca takip edildiği görülmüştür. Bu algoritmanın daha da geliştirilerek benzer veya farklı görevler için uyarlanabileceği ve uygulanabileceği değerlendirilmektedir.

7.2. İHA Mükemmeliyet Merkezi

Çalışma kapsamında yapılan literatür araştırmaları sonucunda dünyada ve ülkemizde İHA sektörünün mevcut durumu, İHA teknolojilerindeki mevcut durum, sürü İHA sistemleri hakkında genel bilgi, bu sistemlerin zayıf yönleri ve kullanım alanları anlatılmıştır. Hem tekli İHA'lara yönelik teknolojilerin geliştirilmesi hem de sürü sistemlerinin önündeki teknolojik engellerin kaldırılmasına yönelik olarak hem özel sektör hem de akademi tarafından kullanılacak İHA Mükemmeliyet Merkezi kurulumu önerilmektedir. Kurulması önerilen merkezin çalışma alanları aşağıdaki gibi olacaktır:

- **Araştırma ve Geliştirme:** Aerodinamik, mekanik ve hidrolik sistemler, sistem entegrasyonu ve sertifikasyon, haberleşme, modelleme ve simülasyon, uzaktan algılama sistemleri, aviyonikler, otopilot, itki sistemleri, yeni nesil batarya teknolojileri, malzeme, veri işleme, iniş takımı, çevresel faktörler (buzlanma, güneş radyasyonu, vb.) algı ve sakın sistemi, kontrol algoritmaları gibi konularda farklı sınıflardaki İHA'lara yönelik olarak çalışma yapılabilir.
- **Üretim:** Merkezde tekli ve sürü İHA sistemlerinin prototip üretimleri gerçekleştirilebilir.
- **Alt Sistem ve Platform Testleri:** Geliştirilen alt sistemlerin ve farklı sınıflardaki İHA'ların yer ve uçuş testleri gerçekleştirilebilir. İhtiyaç duyan İHA'ların kullanılabilmesi amacıyla pistler de tesis içinde yer alacaktır.

- **Eğitim:** Hem simülasyon ortamında hem de gerçek uçuş testleriyle İHA pilotluğu eğitimleri verilebilecektir. Aynı zamanda, düzenlenecek çalıştaylar ve ücretsiz eğitimler ile toplumun da İHA'lar konusunda bilgilenmesi sağlanacaktır.

Yüksek maliyet gerektirebileceğinden dolayı merkezin kurulmasının kamu tarafından gerçekleştirilmesi, işletmesinin ise kamu sahipliğinde olmak kaydıyla ülkemizde İHA üretimi gerçekleştiren firmalardan oluşturulacak ve kamunun da dahil olduğu bir konsorsiyum tarafından yapılmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir. Merkezde yapılacak çalışmalar kapsamında ortaya çıkacak yeni teknolojilerin ve ürünlerin fikri mülkiyet ve kullanım haklarının tamamen Bakanlığımıza ait olması önerilmektedir.

7.3. İHA'ların Sivil Hava Sahasına Entegrasyonu

İHA'ların sivil hava sahasını güvenli bir şekilde kullanılabilmesi amacıyla bazı çalışmalar yapılması gerekmektedir. Bu çalışmalar; hukuk, hava trafiği ve teknoloji şeklinde 3 temel başlık altında toplanabilir (FAA, 2013). Aşağıda detayları ile anlatılan bu alanlarda Bakanlığımızın önderliğinde yapılacak çalışmalar, verilecek destekler ve oluşturulacak altyapılar ile her çeşit İHA'nın sivil hava sahasını kullanımını mümkün olacaktır.

7.3.1. Hukuk

Uygun bir İHA çerçevesine sahip olabilmek için;

- 14/10/1983 tarihli ve 2920 sayılı Türk Sivil Havacılık Kanunu,
- 22/02/2016 tarihli İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı,
- 18/04/2014 tarihli Hava Sahasının Esnek Kullanımı Yönetmeliği
- 20/08/2013 tarihli Hava Aracı ve İlgili Ürün, Parça ve Cihazın Uçuşa Elverişlilik ve Çevresel Sertifikasyonu Yönetmeliği (SHY-21),
- 25/11/2013 tarihli Hava Aracı ve İlgili Ürün, Parça ve Cihazın Uçuşa Elverişlilik ve Çevresel Sertifikasyonu Talimatı,
- 20/12/2012 tarihli Sürekli Uçuşa Elverişlilik ve Bakım Sorumluluğu Yönetmeliği,
- 10/06/2013 tarihli Sürekli Uçuşa Elverişlilik Ve Bakım Sorumluluğu Talimatı,

gibi birçok düzenlemenin İHA entegrasyonuna özel olarak ele alınması ve gözden geçirilmesi gerekmektedir. Aşağıdaki şekilde düzenleme yapılması gereken alanlar detaylandırılmaktadır.

Şekil 60: İHA entegrasyonunda hukuksal düzenlemeler

Pilot	Kontrol İstasyonu	Veri Bağlantısı	İHA
<ul style="list-style-type: none"> Sertifikasyon gereksinimleri Operasyonel standartlar Prosedürler Düzenlemeler Rehber dokümanlar Eğitim gereksinimleri Tıbbi standartlar Test standartları 	<ul style="list-style-type: none"> Sertifikasyon gereksinimleri Teknik standartlar Uçuşa elverişlilik standartları Düzenlemeler Birlikte çalışabilirlik gereksinimleri Rehber dokümanlar Sürekli uçuşa elverişlilik 	<ul style="list-style-type: none"> Sertifikasyon gereksinimleri Teknik standartlar Uçuşa elverişlilik standartları Birlikte çalışabilirlik gereksinimleri Rehber dokümanlar Standart hale gelmiş kontrol mimarileri Performans ölçütleri Güvenlik gereksinimleri 	<ul style="list-style-type: none"> Sertifikasyon gereksinimleri Teknik standartlar Uçuşa elverişlilik standartları Prosedürler Düzenlemeler Rehber dokümanlar Performans ölçütleri Sürekli uçuşa elverişlilik Test standartları

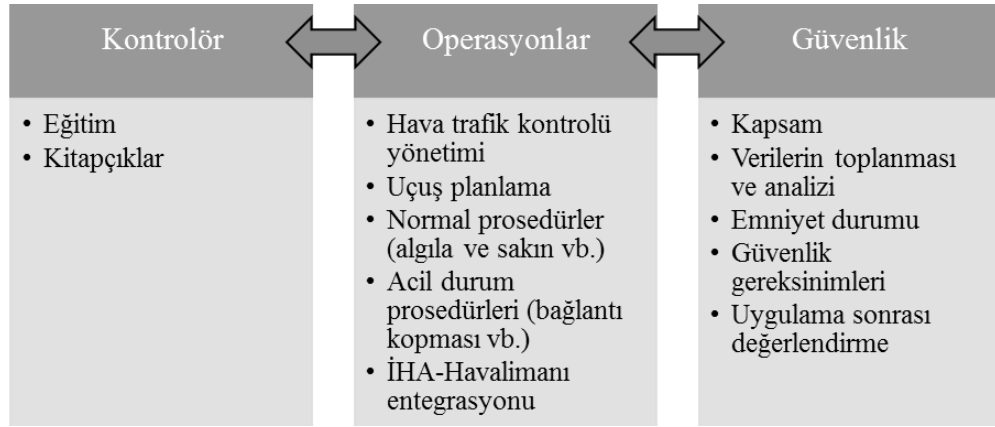
Yukarıdaki şekilde listelenen hususlar incelendiğinde asıl zorluğun bu listenin tamamını kapsayan İHA düzenlemelerini oluşturmak olduğu görülmektedir. Bu liste haricinde, düzenlemeler aşağıdaki hususları da içermelidir;

- Tanımlanan hava sahası içerisinde mevcut veya yeni düzenlemelerde yer alan gereksinimleri karşılayacak algı ve sakın ile kontrol ve haberleşme için minimum standartların geliştirilmesi,
- İHA görevlerinin gizliliğini, güvenliğini ve çevresel etkilerinin anlaşılması ve İHA'lar ile ilgili düzenlemeler yaparken ilgili birimler ve kurumlar ile birlikte çalışılması,
- Uçak büyüklüğünü, performansını, kontrol yöntemini, görev koşullarını ve görev kritikliğini dikkate alan kabul edilebilir İHA tasarım standartlarının geliştirilmesi.

7.3.2. Hava trafiği

Sivil hava sahasındaki İHA uçuşlarına izin verilebilmesi için hava trafik ürünleri, politikaları, prosedürleri ve düzenlemeleri gözden geçirilmeli ve geliştirilmelidir. Ayrıca çeşitli yöntemler kullanılarak hava trafiğinin en önemli parçalarından biri olan insan faktörünün hata yapma ihtimali mümkün olan en düşük düzeeye indirilmelidir. Aşağıdaki şekilde gözden geçirilmesi gereken hususlar alt başlıklarıyla birlikte verilmektedir.

Şekil 61: Hava trafiği kapsamındaki çalışmalar



İHA'ları diğer hava araçlarından ayrı tutmadan, gecikmelere yol açmadan veya aktarmalara sebebiyet vermeden sivil hava sahasına entegre etme hedefi yukarıdaki şekilde belirtilen başlıklarda önemli zorluklar doğurmaktadır. Ayrıca;

- Hava trafik kontrolörlerinin insanlı hava araçlarıyla alakalı talimatlarına uyum sağlanabilmesine yönelik İHA gereksinimleri belirlenmelidir (özellikle küçük boyutlu İHA'ların düşük görünürlüğü konusunda önlem alınması gerekmektedir),
- İHA pilotları, hava trafik kontrolörleri ve hava sahasının diğer kullanıcıları arasında ses ve veri aktarımının güvenli bir şekilde yapılabilmesi için prosedürler ve teknikler oluşturulmalıdır,
- İHA'lara özgü girdap ve türbülans önleme kriterleri oluşturulmalıdır,
- Çevresel gereksinimler gözden geçirilmelidir.

7.3.3. Teknoloji

Günümüzde İHA'lar geliştirilirken insanlı hava araçları için oluşturulan uçuşa elverişlilik standartlarına uyum sağlamak gibi bir amaç taşımamaktadır. Aynı zamanda bu uçuşa elverişlilik standartları da İHA operasyonlarının birçok kısmını kapsamamaktadır. Malzeme özellikleri, yapısal tasarım standartları, sistem güvenilirlik standartları ve temel İHA tasarımı için gereken minimum performans gereksinimleri mevcut uçuşa elverişlilik standartlarına uygun olarak yeniden değerlendirilmelidir. Bugüne kadar İHA teknolojileri konusunda çok önemli ilerlemeler sağlanmış olsa da İHA operasyonlarının sivil hava sahasındaki etkisini tam olarak anlayabilmek için kritik araştırmalar gerekmektedir. Özellikle İHA uçuşa elverişlilik sertifikasyonu için gerekli ekipmanların tasarımı konusunda çok fazla çalışma yürütülmemiştir. İHA'ların sivil hava sahasına entegrasyonunun sağlanabilmesi için İHA araştırmalarının 10 yıla kadar olan süreçte teknolojik eksikliklerin tamamlanmasına yoğunlaşması gerekmektedir.

İnsanlı hava araçları için geliştirilen ve uygulanan standartlar pilotların, yolcuların ve uçuş güzergâhı ile çevrede bulunan insanların güvenliğinin sağlanmasına yöneliktir. Fakat bu standartların uzaktan kontrol edilen hava araçları için birebir aynı şekilde uygulanması mümkün değildir. Pilotun hava aracı içerisinde yer almaması, hava sahasında mevcut güvenli operasyonlar üzerindeki potansiyel etkiyi belirlemek için her yönüyle araştırılması ve anlaşılması gereken bir dizi değerlendirmeyi ortaya çıkarmaktadır;

- İHA pilotu hava aracı içerisinde değildir ve insanlı hava aracı pilotunun sahip olduğu duyuşal ve çevresel imkanlara (titreşim, canlı görme kabiliyeti vb.) sahip değildir,
- Algıla ve sakın sistemleri henüz mevcut operasyonel kurallara uygun olmadığından İHA pilotu için zorluklar bulunmaktadır,
- Uçuş tamamen otonom olarak gerçekleşiyor olsa bile İHA pilotunun devamlı olarak bir veri bağlantısına sahip olması gerekmektedir. Bu durum hem acil durumlar hem de hava trafik kontrolörleri ile iletişim için gereklidir,
- Boyutlarından dolayı İHA'ların hava trafik kontrolörleri tarafından tanınması zor olabilmektedir,
- Çok farklı türde İHA olması sebebiyle hava trafik kontrolörleri tarafından denetlenmesi gereken çok fazla yetenek mevcuttur (boyut, hız, türbülans kriterleri vb.),

- Bazı İHA sistemleri'nin kalkış ve iniş metotları insanlı hava araçlarından farklıdır ve bu sebeple insan eliyle yürütülecek işlemler gerekebilmektedir (İHA'nın piste taşınması, elden fırlatılması, fırlatıcıya yerleştirilmesi vb.).

Bu nedenlerden dolayı yeni ya da gözden geçirilmiş düzenlemeler/prosedürler ve operasyonel kavramlar geliştirmek, standartlar oluşturmak ve insanlı ve insansız hava araçlarının aynı hava sahasında güvenli bir şekilde çalışmasını sağlayacak teknolojik gelişmeyi teşvik etmek gerekmektedir. Bu konuda teknolojik zorluklar iki kritik alanı içermektedir:

- 1. Algı ve sakın kabiliyeti:** Kabul edilebilir bir güvenlik düzeyini karşılamak üzere algı ve sakın sistemleri İHA ve diğer hava araçları arasında kendiliğinden ayrılma eylemini gerçekleştirirken çarpışmaların önlenmesini sağlamak zorundadır. Günümüzde algı ve sakın sistemleri henüz olgunlaşmamıştır. İnsanlı uçuşlarda görme ve kaçınma, radar, ayrılma standartları, kanıtlanmış çok çeşitli teknolojiler ve iyi tanımlanmış pilot davranışları güvenli operasyon gerçekleştirebilmek amacıyla bir araya gelmektedir. İnsansız uçuşlar, halihazırda insanlı hava aracının gerektirdiği operasyonel kurallara alternatif bir yöntem olarak algı ve sakın sistemlerinin kullanımını düzenlenmesi için yeni veya revize edilmiş operasyonel kurallara ihtiyaç duyacaktır. İHA'lara hem kendiliğinden ayrılma hem de çarpışmayı önleme kabiliyeti kazandırabilmek için sistem standartları oluşturulmalıdır. Algı ve sakın sistemine sahip İHA ile diğer hava ve yer tabanlı çarpışma önleme sistemleri arasında güvenli etkileşimlerin sağlanabilmesi için birlikte çalışabilirlik kısıtlamaları tanımlanmalıdır.
- 2. Kontrol ve haberleşme:** İHA'ların sivil hava sahasına entegre olabilmesi için kontrol ve haberleşme açısından ihtiyaç duyulan sistem performans gereksinimleri belirlenmelidir. Ortaya çıkacak gereksinimler daha yüksek seviyeli İHA'lar için gerekebilecek performans ve emniyet gereksinimlerini de içerecek şekilde tanımlanmalıdır. Yapılacak düzenlemelerde üçüncü taraf servis sağlayıcıların da katılımı geliştirilecek kontrol ve haberleşme sistemlerinin niteliğinin belirlenebilmesi açısından önem arz etmektedir.

7.3.4. İHA'ların sivil hava sahasına entegrasyonunda çalışma yapılacak alanların yönetimi

Söz konusu zorlukları yönetme yaklaşımı özetle aşağıdaki birbirine bağlı konulara odaklanmaktadır:

- Standartlar,
- Kurallar ve düzenlemeler,
- İHA'ların sertifikasyonu,
- Prosedürler ve hava sahası,
- Eğitim (Pilot, mühendis, kontrolör vb.),
- Ar-Ge ve teknoloji.

Yukarıda belirtilen alanlara yönelik Araştırma, Entegrasyon ve Uyum aşamalarını ele alan bir yol haritası oluşturulmuştur. Bu yol haritası kısa, orta ve uzun vadeli hedefler içermekte ve İHA'ların sivil hava sahasına entegrasyonu konusunda bakış açısı sağlamaktadır.

Aşama 1: Araştırma (5 yıl). Mevcut İHA'ların özel düzenlemeler ve prosedürler aracılığıyla sivil hava sahasına güvenli bir şekilde sınırlı erişiminin sağlanacağı aşamadır. Sivil hava sahasındaki İHA operasyonları duruma özgü bir şekilde değerlendirilmektedir. Araştırma aşaması yakın zamanda yoğunlaşacak, orta vadede entegrasyon aşaması başladığında ve geliştiğinde önemli ölçüde yavaşlayacak, fakat yine de sivil hava sahasına erişimde herhangi bir performans açığını azaltmak için uygun kısıtlamalar ile anlamlı bir araç olmaya devam edecektir. 5 yıl olarak planlanan kısa vadede zorlukları tespit etmek, uyum sağlama stratejileri belirlemek ve İHA'ların sivil hava sahasına entegrasyonunu sağlayacak fırsatları keşfetmek amacıyla araştırma ve geliştirme faaliyetleri yürütülmeye devam edecektir.

Aşama 2: Entegrasyon (10 yıl). İHA'ların sivil hava sahasına erişimini artıracak eşik performans gereksinimlerinin karşılanması entegrasyonun temelini oluşturmaktadır. Orta-uzun vadede rutin sivil hava sahası operasyonlarını desteklemek için yeni veya revize edilmiş yönetmelikler, düzenlemeler, prosedürler, rehber dokümanlar, eğitim metotları

oluşturulmalıdır. Entegrasyonun kısa-orta vadede sınıf 1'deki İHA'larla başlaması ve zamanla (orta-uzun vade) tüm İHA'ları içerecek şekilde daha da kapsamlı olması gerekmektedir.

Aşama 3: Uyum (15 yıl). Gerekli tüm düzenlemeler, yönetmelikler, prosedürler, rehber dokümanlar, teknolojiler ve eğitim zaman içinde geliştikçe sivil hava sahasında İHA operasyonlarını desteklemek için düzenli olarak güncellenmektedir. İHA sektörünün sivil hava sahasının statik olmadığının farkında olması ve önümüzdeki 13-15 yıl için planlanan birçok iyileştirmenin olduğu anlayışını sürdürmesi önemlidir. Bu kapsamda yapılan çalışmaların anlamını yitirmemesi için İHA geliştiricilerinin sivil hava sahasına dair gelişmeleri takip etmesi ve günümüz koşullarında entegrasyonun nasıl sağlanacağı konularına eş zamanlı olarak odaklanmaları gerekmektedir. İlk uçuşa elverişlilik ve sürekli uçuşa elverişlilik standartları ile eğitim ve sertifikasyon standartları 15 yıl olarak planlanan bu süreç içerisinde insanlı hava araçlarına yönelik düzenlemelerle aynı seviyeye erişebilecektir.

8. SONUÇ VE GENEL DEĞERLENDİRME

Savaş ortamında balonla patlayıcıların taşınması şeklinde ortaya çıkan ve geçmişte daha çok askeri amaçlarla kullanılan İHA'lar, teknolojik gelişmelerin bu alana uygulanması sayesinde sivil amaçlar için de yoğun olarak kullanılır hale gelmiştir. 2022 yılına kadar olan kısa vadeli pazar tahminlerinde dahi İHA kullanımının katlanarak artacağı öngörülmektedir. Bu durum itki sistemleri ve batarya gibi birçok yan sektörün gelişimini de beraberinde getirecektir.

İHA teknolojisindeki bu gelişimin bir yan etkisi olarak da yine askeri alanda savunma amacıyla sürü halinde görev yapan insansız hava araçları fikri ortaya çıkmıştır. Özellikle yazılım sektöründe ve haberleşme teknolojilerinde meydana gelen son dönemlerdeki hızlı gelişim birbirleriyle sürekli haberleşebilen, hem yer kontrol istasyonu ile hem de birbirleriyle büyük veri paylaşımları yapabilen, ileri seviyede otonom hareket kabiliyetine sahip olabilen İHA sistemlerinden oluşan bir sistemler sistemi olan sürü İHA konseptinin uygulanmasını mümkün kılmıştır.

Sürüyü oluşturan İHA'lar sistemlerin boyutlarının küçülmesi sayesinde, uzun süre havada kalabilen yüksek maliyetli bir veya birkaç büyük sistemle gerçekleştirilen çeşitli görevleri daha düşük maliyetlerle, daha kısa sürede ve daha güvenli bir şekilde gerçekleştirme kabiliyetine sahiptir. Sürüde yer alan her bir İHA aynı alt sistemleri bulundurabileceği gibi farklı sensörler kullanılarak sürünün kabiliyetinin artırılması mümkündür. Ayrıca herhangi bir İHA'nın teknik bir aksaklık yaşayarak göreve devam edememesi görevin tamamlanmasına bir engel değildir. Otonomi seviyesine de bağlı olarak sürü operatörden bağımsız bir şekilde hareket edebileceği için dinamik bir görev ortamında sürü üyeleri arasındaki haberleşme sayesinde anlık güzergâh, görev vb. değişiklikler yapılması mümkündür.

Sürü İHA teknolojisinin kullanımının getireceği önemli avantajlara rağmen hala geliştirilmesi ve üzerinde çalışılması gereken alanlar mevcuttur. Özellikle sistemdeki insan etkisinin azaltılması ve uzun süreli görevlerin daha güvenli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için otonominin önemi büyüktür. Otonomi seviyesi arttıkça ortaya çıkan çarpışma riskinin düşürmek veya tamamen ortadan kaldırmaya yönelik önlemler alınması, yine İHA'ların izleyeceği güzergâhların da iyi planlanması gerekmektedir. Ayrıca sürünün sağlık durumunun sürekli olarak takip edilmesi, yine otonomiden kaynaklı olarak sistemde aşırı veri oluşması veya arzu edilen verilerin toplanamaması olasılığı hususlarının da üzerinde durulması gerekmektedir.

Gelişim sağlanması gereken bir diğer alan ise sürüde yer alan İHA'ların sahip olacağı itki sistemleri ve enerji depolanma yöntemleridir. Fosil yakıt kullanan itki sistemleri değerlendirildiğinde, yeni nesil, yüksek verimliliğe sahip, uzun süre dayanım sağlayan içten yanmalı motorların geliştirildiği görülmektedir. Başta turbojet motorlar olmak üzere gaz türbin motorlarının ise boyutları ve ağırlıkları mikro İHA'lar için dahi uygun hale gelmiştir. Fakat İHA'ların asıl kullanım amacının savunmaya yönelik olması ve fosil yakıtlı itki sistemlerinin bıraktığı izler (sıcaklık, emisyon vb.) dolayısıyla İHA'ların takip edilebilirliğini artırması, ayrıca fosil yakıtların çok uzak olmayan bir tarihte tükenecek olması farklı çözümler geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Bu kapsamda elektrik motorları özellikle sınıf I'deki İHA'lar için en fazla tercih edilen itki sistemi olmuştur.

Elektrik motorlarından aldığı güçle hareketini gerçekleştiren İHA'larda ise en büyük sorun batarya/pil kapasitesinden kaynaklı dayanım problemleridir. Özellikle İHA'ların küçülen boyutlarının taşıma kapasitesini de düşürmesi, uzun süre dayanım sağlayacak pillerin kullanılmamasına sebep olmaktadır. Bu kapsamda pillerin dolumunu sağlayacak sistemler ve yeni nesil pil teknolojileri geliştirilmektedir. Dolumun gerçekleştirilmesi uçuş sırasında lazer aracılığı ile gerçekleştirilebilirken, İHA yere indiğinde otonom platformlar aracılığıyla pil değişikliği gerçekleştirilebilmekte ve boşalan pillerin dolumu yapılarak değişime hazır hale getirilmektedir. Böylece zaman kaybı yaşanmamaktadır. Yeni nesil pil teknolojileri konusunda ise Lipo pillerin yerini alma potansiyeline sahip olan Lityum-Sülfür ve Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit pilleri sivil alanda, Lityum-Tiyonil-Klorür ve Lityum-Hava pilleri ise askeri

alanda denenmekte ve yakın zamanda kullanım oranının artış göstereceği değerlendirilmektedir.

Hibrit elektrikli motorlar da içten yanmalı ve gaz türbin motorlar ile elektrik motorlarının avantajlarını bir araya getiren ve kullanımı gün geçtikçe artan bir itki sistemi olarak İHA'lar için önemli bir teknolojidir. Dayanımı artırmaya yönelik alternatiflerden bir diğeri ise yakıtlardaki (genellikle hidrojen tercih edilmektedir) kimyasal enerjiyi direkt olarak elektrik enerjisine dönüştüren elektrokimyasal sistemler olan yakıt hücreleridir. H₂ tedariki ve depolanması ile ilgili güvenlik sorunları ve yüksek maliyet gibi dezavantajlarına rağmen fosil yakıt teknolojilerinden daha verimli ve yüksek enerji yoğunluğuna sahip olması sebebiyle yakıt hücreleri gelişime açık bir alan olarak değerlendirilmektedir. Bir diğeri alternatif ise son yıllarda üzerinde en çok çalışılan yenilenebilir teknolojilerden olan güneş enerjisinin dönüşümü ile elde edilen elektrikle çalışan İHA'lardır. Bu İHA'ların pillerinde depolanan enerji gece boyunca ve potansiyel olarak sonraki gece/gündüz döngüleri sırasında İHA'yı havada tutmak için bile yeterli olabilmektedir. Güneş panelleri ve pil teknolojilerinde meydana gelen/gelecek gelişmeler güneş enerjisinin de daha verimli bir şekilde kullanılabilmesini sağlayacaktır.

Sürü İHA sistemlerine dair kritik konulardan bir diğeri ise görev sırasında meydana gelebilecek aksaklıklar ve sürü elemanlarının bu aksaklıklara ne derece karşı koyabileceğidir. Kalıcı veya geçici olarak ortaya çıkan, harici, sistematik veya insan kaynaklı olabilen bu aksamalar görevin bir kısmının veya tamamının yerine getirilmesinin önünde büyük bir engel oluşturabilmektedir. Dolayısıyla sürü elemanlarının aksamalara cevap verebilecek sistem yedekliliği başta olmak üzere çeşitli esneklik kabiliyetlerine sahip olmaları gerekmektedir.

Sürüde yer alan hava araçlarıyla elde edilen görüntülerin nasıl işleneceği ise bir diğeri kritik konudur. Sürüde çok sayıda hava aracı bulunmasından dolayı fazla sayıda ve büyük boyutlu veriler ortaya çıkacağı için yerde gerçekleştirilecek işlemler için haberleşme altyapısının ve bilgisayarların kapasitesinin buna uygun olması gerekmektedir. Havada gerçekleştirilecek işlemler için ise İHA'ların yük taşıma kapasitelerine uygun veri işleme sistemlerine ihtiyaç vardır.

Sürü halinde görev yapan İHA'lar ile ilgili en kritik konulardan birisi de sürünün kontrolüne yönelik yaklaşımlar ve kullanılacak kontrol algoritmalarıdır. Sınırlı yeteneğe sahip küçük ve ucuz hava araçlarının işbirliği yapması sonucunda karmaşık görevlerin gerçekleştirilmesini sağlayan ve en çok tercih edilen yaklaşım olan basit takım oluşturma yaklaşımı, koordineli davranışlar için gereken minimum bilgi miktarının mutabakat değişkeni olarak adlandırılan zamana bağlı bir vektörün sistemdeki tüm araçların birbirleriyle aynı anda iletişim kurmasını gerektirmeyen bir haberleşme altyapısı kullanılarak paylaşıldığı mutabakat değişkeni yaklaşımı, eylemlerin ortak bir şekilde gerçekleştirilmesi için sürü elemanlarının doğrudan görüşmede bulunmadığı ve sürünün hareketini, geçici eylemleri ve görev dağılımını koordine etmek için kullanılan potansiyel alan formüllerine dayalı yerel olarak yürütülen kontrol politikalarının kullanılmasıyla gerçekleştirilen stigmerjik potansiyel alanlar yaklaşımı sürü İHA kontrolüne yönelik yaklaşımların önde gelenleridir. Algoritma olarak ise; canlıların yapılarında var olan özelliklerin sanal ortamda taklit edilmesiyle ortaya çıkan bir arama yöntemi olan, çok çekirdekli ve çok işlemcili yapılarda paralel olarak uygulanabilen paralel genetik algoritma, kabiliyetleri sınırlı mikro İHA'lardan oluşan sürünün yönetilebilmesi amacıyla merkezi bir kontrol imkânı sağlayan kovan modelini ve bu modelin uygulanabilmesi için karma adı verilen bir kaynak sistemini kullanan karma algoritması, sürü halinde hareket eden canlı gruplarının davranışları örnek alınarak geliştirilen, sürü zekasına dayanan yinelemeli bir optimizasyon yöntemi olan parçacık sürü optimizasyon algoritması bulunmaktadır.

Sürü İHA sistemlerinin hem sivil hem de askeri alanda geniş bir yelpazede kullanım alanı mevcuttur. Tarım alanında tohumların olgunluklarının izlenmesi, tarlaların izlenmesi, verimlilik takibi ve tarım ilaçlaması yapılması; afetlerde izleme ve erken uyarı, afet bilgi sistemi ve paylaşımı, durumsal farkındalık ve lojistik, bğımsız iletişim sistemi, arama ve kurtarma görevleri, hasar tespiti; nükleer ve doğalgaz sızıntılarının tespiti; hava kirliliğinin tespiti gibi atmosferik verilerin toplanmasına yönelik çalışmalar; ormanların durumunun takip edilmesi ve orman yangınlarının erkenden tespiti sürü İHA'ların kullanıldığı durumlardır. Askeri alanda ise hava savunma sistemi şeklinde yapılandırılacak sürülerin güvenlik konusunda büyük fayda sağlayacağı değerlendirilmektedir. Bu kullanım alanlarının ihtiyaçlara göre daha da çeşitlendirilmesi mümkündür.

Sürü İHA teknolojisi konusunda incelenen tüm konular değerlendirildiğinde mevcut durumda ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar belirlenmiştir.

Mevcut İHA ve sürü İHA teknolojisi kapsamında, daha önce geliştirilen algoritmaların güçlü yönleri kullanılarak oluşturulan yeni bir algoritma üzerinde çalışılarak daha da geliştirilmiştir. Otuz dakika havada kalabilen İHA'lerden oluşan bir sürü İHA sisteminin belirli bir bölgede sızıntı/kirlilik tespitine yönelik olarak görev yapmasını sağlayan algoritmanın bilgisayar ortamında gerçekleştirilen simülasyonunun gerçek uygulamalar için de kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Bu algoritmanın uyarlanarak sürü İHA'larla gerçekleştirilecek her türlü görev için uygulanabilmesi mümkündür. Sürü İHA sistemlerinin kontrolüne yönelik olarak yapılacak bu ve benzeri çalışmalar yapay zeka konusunda ülkemizin ileri seviyelere erişimini sağlayacaktır. Yapay zeka sayesinde İHA'lar kendi kendilerine karar verme ve insandan bağımsız olarak öğrenme kabiliyetine sahip olacaklardır. Bu gelişim, havacılığın yanı sıra otomotiv (sürücüsüz araçlar) ve tıp (otonom bir şekilde ameliyat gerçekleştiren cihazlar) gibi sektörlerde de ülkemizin atılım yapmasına katkı sağlayacaktır.

Hem tekli İHA'lara yönelik teknolojilerin geliştirilmesi hem de sürü sistemlerinin önündeki teknolojik engellerin kaldırılmasına yönelik olarak hem özel sektör hem de üniversiteler tarafından kullanılabilecek bir İHA Mükemmeliyet Merkezi kurulumu önerilmektedir. Kurulması önerilen merkezin çalışma alanlarının araştırma & geliştirme, üretim, alt sistem ve platform testleri ve eğitim şeklinde olması planlanmaktadır. İHA'ların kalkış yapabileceği bir piste sahip olması önerilen merkezin tasarım aşamasından uçuş testlerine kadar İHA üretiminin her aşamasında önemli bir rol oynayacağı değerlendirilmektedir. Bakanlığımız tarafından kurulumu gerçekleştirilecek ve Bakanlığımız ile ülkemizde İHA sektöründe faaliyet gösteren firmaların işbirliğiyle yönetilecek olan merkezde geliştirilen ürünlerin ve ortaya çıkan teknolojilerin fikri ve sınai mülkiyet hakları Bakanlığımıza ait olacaktır.

Sürü İHA sistemlerinin çok sayıda hareketli araç içermesi hava sahasının güvenliği açısından tehdit oluşturmaktadır. Bu kapsamda İHA'ların sivil hava sahasına entegrasyonu ve İHA'ların insanlı hava araçları ile aynı koşullar altında sivil hava sahasını kullanabilmesi konusunda çalışmalar yapılması önerilmektedir. Hukuk, hava trafiği ve teknoloji başlıkları altında

sınıflandırılan bu çalışmaların teknoloji ayağı İHA Mükemmeliyet Merkezinde aracılığıyla yürütülürken, hukuksal düzenlemelerin sektör temsilcileri ile Bakanlığımız yetkililerinden oluşacak bir komisyon aracılığıyla yapılması, hava trafiğine yönelik çalışmaların ise İHA Mükemmeliyet Merkezi ve Bakanlığımız işbirliği ile yürütülmesi önerilmektedir. Entegrasyonun kısa (5 yıl), orta (10 yıl) ve uzun (15 yıl) vadede aşama aşama gerçekleştirilmesinin İHA'ların ve insanlı hava araçlarının ortak kullandığı güvenli bir hava sahası oluşturulması açısından önemli olduğu değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

ABATTI, J.M. (2005): Small Power: The Role of Micro and Small UAVs in the Future. Alabama: Air University, 176-177.

AUSTIN, R. (2010): Unmanned Aircraft Systems. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 9-15.

BAMBERGER, R.J., WATSON, D.P., SCHEIDT, D.H. ve MOORE, K.L. (2006): Flight Demonstrations of unmanned Aerial Vehicle Swarming Concepts. Johns Hopkins Apl Technical Digest, 27(1), 41-55.

BARNES, O. (2009): Air Power UAVs: The Wider Context. London: Ministry of Defence, 23-25.

BRAGA, R.G., SILVA, R.C., RAMOS, A.C.B. ve CAMINO, F.M. (2017): UAV Swarm Control Strategies: a Case Study for Leak Detection. 18th International Conference on Advanced Robotics (ICAR), Hong Kong, 173-178.

COLOMINA, I. ve MOLINA, P. (2014): Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 92, 79-97.

CORTELAZZO, G.M., CLARK, A.F. ve WOODS, J.C. (2003): Flocking of UAVs Software Model and Limited Vision Simulations. University of Padova, 65-83.

CUI, Z.H., HUA, W.S., LIU, X.G., GUO, T. ve YAN, Y. (2017): Key technologies of laser power transmission for in-flight UAVs recharging. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 61(1), 2-3.

DANTU, K., KATE, B., WATERMAN, J., BAILIS, P. ve WELSH, M. (2011): Programming Micro-Aerial Vehicle Swarms With Karma. SenSys '11 Proceedings of the 9th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems. 121-134.

DEGARMO, M.T. (2004): Issues Concerning Integration of Unmanned Aerial Vehicles in Civil Airspace. Virginia: The MITRE Corporation, 2-4. DUNBAR, S., WENZL, F., HACK, C., HAFEZA, R., ESFEER, H., DEFAY, F., PROTHIN, S., BAJON, D. ve POPOVIC, Z. (2015): Wireless far-field charging of a micro-UAV. 2015 IEEE Wireless Power Transfer Conference (WPTC), Boulder, CO, 1-4.

- DUTCZAK, J. (2018): Micro turbine engines for drones propulsion. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 1-10.
- ESPASANDÍN, Ó.G., LEO, T.J. ve ARÉVALO, E.N. (2014): Fuel Cells: A Real Option for Unmanned Aerial Vehicles Propulsion. The Scientific World Journal, 2014, 1-12.
- FAA. (2013): Integration of Civil Unmanned Aircraft Systems (UAS) in the National Airspace System (NAS) Roadmap.
- FINN, A., KABACINSKI, K. ve DRAKE, S.P. (2007): Design Challenges for an Autonomous Cooperative of UAVs. Defence Science & Technology Organisation. 160-168.
- HAHN, J., PETERSON, C., DOWNEY, R., NOGHANIAN. S. ve RANGANATHAN, P. (2015): UAV Swarm. 1-15.
- HAN, J., XU, Y., DI, L. ve CHEN, Y. (2012): Low-cost Multi-UAV Technologies for Contour Mapping of Nuclear Radiation Field. J Intell Robot Syst, 70, 401–410.
- HONGGUANG, L., WENRUI, D., XIANBIN, C. ve CHUNLEI, L. (2017): Image Registration and Fusion of Visible and Infrared Integrated Camera for Medium-Altitude Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing. Remote Sensing, 9(5), 2-4.
- KARAKOC, T.H., OZERDEM, M.B., SOGUT, M.Z., COLPAN, C.O., ALTUNTAS, O. ve AÇIKKALP, E. (Editörler). (2016): Sustainable Aviation. Springer International Publishing, 325-327.
- Joint Air Power Competence Centre. (2010): Strategic Concept of Employment for Unmanned Aircraft Systems in NATO. Kalkar: Joint Air Power Competence Centre. 3-6.
- KAKAR, J.A. (2015): UAV Communications: Spectral Requirements, MAV and SUAV Channel Modeling, OFDM Waveform Parameters, Performance and Spectrum Management, Yüksek Lisans Tezi, Virginia Politeknik Enstitüsü ve Devlet Üniversitesi, Blacksburg, 16-17.
- KIVELEVITCH, E. ve GURFIL, P. (2005): Taxonomy of Mission Performance for Diverse and Homogenous UAV Flocks. San Francisco: AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit. 5823-5828.
- LI, X.H., ZHAO, Y., ZHANG, J. ve DONG, Y. (2016): A Hybrid PSO algorithm based Flight Path Optimization for Multiple Agricultural UAVs. 2016 IEEE 28th International Conference on Tools with Artificial Intelligence, 691-697.

LIM, C.W., RYOO, C.K., CHOI, K. ve CHO, J.H. (2010): Path Generation Algorithm for Intelligence, Surveillance and Reconnaissance of an UAV. SICE Annual Conference 2010, 1974-1977.

LIU, J.G. ve MASON, P.J. (2016): Image Processing and GIS for Remote Sensing. WILEY Blackwell, 427-439, 2.Baskı.

MERINO, L., CABALLERO, F., DIOS, J. R. M., FERRUZ, J. ve OLLERO, A. (2006): A cooperative perception system for multiple UAVs: Application to automatic detection of forest fires. Journal of Field Robotics, 23(3-4), 165-184.

MILLER, P.M. (2006): Mini, Micro, and Swarming Unmanned Aerial Vehicles: A Baseline Study. Library of Congress, 14.

MOSTAFA, T. M., MUHARAM, A. ve HATTORI, R. (2017): Wireless battery charging system for drones via capacitive power transfer. 2017 IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power Transfer (WoW), Chongqing, 1-6.

OETTERSHAGEN, P., MELZER, A., MANTEL, T., RUDIN, K., LOTZ, R., SIEBENMANN, D., LEUTENEGGER, S., ALEXIS, K. ve SIEGWART, R. (2015): A solar-powered hand-launchable UAV for low-altitude multi-day continuous flight. 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Seattle, 3986-3993.

ORDOUKHANIAN, E. ve MADNI, M.A. (2016): Resilient Multi-UAV Operation: Key Concepts and Challenges. 54th AIAA Aerospace Sciences Meeting, San Diego, California, USA. 1-7.

OSKOEI, E.E. (2014): Swarm of UAVs: Search & Rescue Operation in Chaotic Ship Wakes. School of Engineering Sciences (SCI), Aeronautical and Vehicle Engineering, Royal Institute of Technology. Stockholm, 3-4.

ÖZSAĞLAM, M.Y. ve ÇUNKAŞ, M. (2008): Optimizasyon Problemlerinin Çözümü için Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması. Journal of Polytechnic, 11(4), 299-305.

PARK, C.S., TAHK, M.J. ve BANG, H. (2003): Multiple Aerial Vehicle Formation Using Swarm Intelligence. AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit, 1-6.

PAJARES, G. (2015): Overview and Current Status of Remote Sensing Applications Based on Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 81(4), 281-329.

PROTTI, M. ve BARZAN, R. (2007): UAV Autonomy – Which level is desirable? – Which level is acceptable? *Alenia Aeronautica Viewpoint*. Alenia Aeronautica, 2-5.

SAHINGOZ, O.K. (2014): Generation of Bezier Curve-Based Flyable Trajectories for Multi-UAV Systems with Parallel Genetic Algorithm. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 74(1-2), 499-511.

SCHERER, J., YAHYANEJAD, S. ve HAYAT, S. (2015): An Autonomous Multi-UAV System for Search and Rescue. *DroNet '15 Proceedings of the First Workshop on Micro Aerial Vehicle Networks, Systems, and Applications for Civilian Use*, Florence, Italy. 33-38.

Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü. (2016): İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı. Ankara: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü. 4-6.

TOKSOZ, T., MICHINI, B., REDDING, J., MICHINI, M., HOW, J., VAVRINA, M. ve VIAN, J. (2011): Automated Battery Swap and Recharge to Enable Persistent UAV Missions. *Infotech Aerospace 2011*. St. Louis, Missouri, 1-10.

TOTH, C. ve JÓZKÓW, G. (2016): Remote sensing platforms and sensors: A survey. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115, 22-36.

VALAVANIS, K.P. ve VACHTSEVANOS, G.J. (Editörler). (2015): *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*. Dordrecht: Springer, 385-390.

VANDERMEERSCH, B., CHU, Q. ve MULDER, J.A. (2005): Design and Implementation of a mission planner for Multiple UCAVs in a SEAD mission. *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit*. 1-10.

VARELA, G., CAAMAÑO, P., ORJALES, F., DEIBE, A., PEÑA, F.L. ve DURO, R.J. (2011): Swarm Intelligence based Approach for Real Time UAV Team Coordination in Search Operations. *2011 Third World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing*, Salamanca, 365-370.

VRIES, E.D. ve SUBBARAO, K. (2011): Cooperative Control of Swarms of Unmanned Aerial Vehicles. *49th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition*, Florida, 1-23.

WEI, L. ve WEI, Z. (2009): Path Planning of UAVs Swarm Using Ant Colony System. *Fifth International Conference on Natural Computation*, Tianjin, 288-292.

ZHOU, X., WANG, W., WANG, T., LI, X. ve LI, Z. (2017): A Research Framework On Mission Planning of the UAV Swarm. 12th System of Systems Engineering Conference, 1-6.

İnternet Kaynakları

Automation World. (2018). “Olympic Drones Break Their Own Records” Erişim 8 Mart, 2018. <https://www.automationworld.com/olympic-drones-break-their-own-records>

BBC. (2016). “Amazon makes first drone delivery” Erişim 27 Mart, 2018. <http://www.bbc.com/news/technology-38320067>

BBC. (2017). “Dubai tests drone taxi service” Erişim 28 Mart, 2018. <http://www.bbc.com/news/technology-41399406>

CHU, J. (2017). “Engineers design drones that can stay aloft for five days” Erişim 12 Aralık, 2017. <http://news.mit.edu/2017/drones-stay-aloft-five-days-0607>

CUTHBERTSON, A. (2016). “Zero-Fuel Solar Impulse to Complete Round-the-World Flight” Erişim 28 Temmuz, 2017. <http://www.newsweek.com/zero-fuel-solar-impulse-complete-round-world-trip-483692>

DICTIONARY OF MILITARY AND ASSOCIATED TERMS. “unmanned aerial vehicle.” Erişim 21 Nisan, 2017. <http://www.thefreedictionary.com/unmanned+aerial+vehicle>

DRONEII. “Drone Energy Sources – Pushing the Boundaries of Electric Flight” Erişim 12 Ağustos, 2017. <https://www.droneii.com/drone-energy-sources>

Fortune. “This MegaDrone Will Be a Self-Flying Air Taxi in Dubai This Summer” Erişim 29 Mart, 2018. <http://fortune.com/2017/02/16/dubai-travel-drones-air-taxi-ehang-184/>

GIZMODO. “The Ryan Firebee: Grandfather to the Modern UAV” Erişim 21 Nisan, 2017. <https://gizmodo.com/the-ryan-firebee-grandfather-to-the-modern-uav-1155938222>.

Monash Üniversitesi. “Remote Piloted Aerial Vehicles: An Anthology.” Erişim 21 Nisan, 2017. http://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/rpav_home.html.

New Atlas. “TU Delft has developed the world’s smallest autopilot” Erişim 29 Mart, 2018. <https://newatlas.com/tu-delft-worlds-smallest-autopilot/28845/>

NEWSWIRE. “2017-2022: General Report on Market Forecast of Commercial Unmanned Aerial Vehicle” Erişim 12 Kasım, 2017. <https://www.newswire.com/news/2017-2022-general-report-on-market-forecast-of-commercial-unmanned-20008436>

Quaternium. “The First Petrol-Electric Multicopter” Erişim 23 Mart, 2018. <http://www.quaternium.com/uav/hybrix-20/>

TESCHLER, L. (2016). “Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide batteries help solar plane circle the globe” Erişim 27 Temmuz, 2017. <https://www.powerelectronicstips.com/lithium-nickel-manganese-cobalt-oxide-batteries-solar/>

The Avionist. (2017). “U.S. Navy F/A-18 Hornets released a swarm of 103 Perdix semi-autonomous drones in flight” Erişim 22 Kasım, 2017. <https://theaviationist.com/2017/01/11/watch-u-s-fa-18-hornets-unleash-swarm-of-mini-drones-in-first-test/>

UTED (2017). “Yardımcı Radar Fonksiyonları” Erişim 6 Nisan, 2018. <http://www.uteddergi.com/tr/yazarlar/gonca-demiroz/mayis-2017-yardimci-radar-fonksiyonlari.htm>

VENKATARAMANAN, M. (2015): “Solar-powered drone breaks record with 81-hour flight” Erişim 28 Ekim, 2017. <http://www.wired.co.uk/article/solar-powered-drone-world-record>

WHITE, B. ve JOST, M. (2016). “UAV Flight Time Increased By 80% Using New High Energy Battery System” Erişim 27 Temmuz, 2017. <http://www.sionpower.com/pdf/articles/QinetiQ%20and%20SION%20Zephyr%20Flight%2011-21-06%20News%20Relea.pdf>

C4 Defence. “ANKA yerli motora kavuştu” Erişim 10 Temmuz, 2018. <http://www.c4defence.com/Gundem/anka-yerli-motora-kavustu/5753/1>

https://i.kinja-img.com/gawker-media/image/upload/s--SCfeFjcF--/c_fit,fl_progressive,q_80,w_636/18xtstwpafc7ojpg.jpg

<https://understandingempire.files.wordpress.com/2013/12/lightning-bug.png>

https://www.avinc.com/images/uploads/general/8/524x275_pathfinderplus_bg.jpg

<https://irevolution.files.wordpress.com/2015/05/nepal-aerial-image-copyright-medair-rob-fielding.jpg>

https://www.pobonline.com/ext/resources/article_images/BS-Thermal2010.jpg

<http://www.altoy.com.tr/assets/service-images/multispectral.jpg>

https://gamaya.com/wp-content/uploads/2016/02/Inside_field.jpg

<http://tacticaldefensemedia.com/wp-content/uploads/2014/10/SAR-golf-1024x495.png>

http://apogeospatial.com/wp-content/uploads/2017/02/Harris_Intersections_3D-1024x506.jpg

http://www.infodefensa.com/archivo/images/ScanEagle_US%20Marines%20Corps.jpg

https://static.wixstatic.com/media/a5143f_c1b209003205417981e5fd83523b3dfc~mv2.jpg

https://www.nasa.gov/sites/default/files/images/693260main_graphic1176_882.jpg

<http://ir-ia.com/news/wp-content/uploads/2016/01/ehang-human-flying-drone-2016-690x370.jpg>

https://www.sott.net/image/s12/249735/full/flock_birds_1573997i.jpg

<https://theaviationist.com/wp-content/uploads/2017/01/Minidrones-released.jpg>

<https://theaviationist.com/wp-content/uploads/2017/01/perdix-drones-swarm-over-the-desert-without-human-intervention.jpg>

<https://www.automationworld.com/olympic-drones-break-their-own-records>

https://www.popsci.com/sites/popsci.com/files/styles/1000_1x_/public/locuststill.jpg

<https://img.newatlas.com/smallestautopilot-13.jpg?auto=format%2Ccompress&fit=max&h=670&q=60&w=1000&s=d6dc78d7ef88b1339dfddc788adcdffd>

http://www.ehaber724.com/images/resize/100/656x400/haberler/2018/03/anka_s_iha_tsk_ya_iki_adet_teslim_edildi_h1228_43341.jpg

<https://www.tai.com.tr/urun/anka>

http://baykarmakina.com/wp-content/uploads/2017/07/Taktik_brosur_TR_2017_05_04.pdf

<http://c4defence.com/ImageM/e5204c2d-0f7c-4394-a1e4-1d5d084f66f2.jpg>

<http://www.vestelsavunma.com/views/web/vestelsavunma/downloads/tr/urunler/KARAYELTacticalUAVeng-tr.pdf>

http://i2.haber7.net//haber/haber7/photos/2017/46/dubai_airshowda_karayel_iha_icin_anlasma_1511071467_0825.jpg

<http://www.altinay-advanced.com/tr/coezuemler/insansiz-sistemleri/insansiz-hava-araci-ihai/#1454970857567-18b6c07d-c18d>

<http://www.altinay-advanced.com/wp-content/uploads/2016/02/5N7A8278-1024x682-200x200.jpg>

<https://www.stm.com.tr/tr>

<https://thebusinesstactics.com/135883/latest-vtol-uav-market-report-2018/>

ÖZGEÇMİŞ

Adı : Hakan

Soyadı : Ural

Doğum Tarihi : 03/04/1991

Doğum Yeri : Çankaya/Ankara

Lise : (2005 – 2009), Ankara Lisesi (Anadolu)

Lisans : (2009 – 2014), Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Mühendisliği

Çalıştığı Kurum : (2015 – devam ediyor), Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Genel Müdürlüğü