



**İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMLERİNİN AYRILMAMIŞ
HAVA SAHASINA ENTEGRASYONUNUN PİLOTAJ VE
HAVA TRAFİK YÖNETİMİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Hava Trafik Kontrol Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tamer SAVAŞ

Eskişehir 2019

**İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMLERİNİN AYRILMAMIŞ HAVA
SAHASINA ENTEGRASYONUNUN PİLOTAJ VE HAVA TRAFİK
YÖNETİMİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Tamer SAVAŞ

DOKTORA TEZİ

Hava Trafik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Öznur USANMAZ

İkinci Danışman: Prof. Dr. Mustafa CAVCAR

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Aralık 2019

Bu tez çalışması BAP komisyonu tarafından kabul edilen 1703F076 no.lu projesi ve Savunma Sanayii Başkanlığının DDISE1 no.lu Savunma Sanayii için Araştırmacı Yetiştirme Programı (SAYP) kapsamında desteklenmiştir.

JURİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Tamer SAVAŞ'ın “İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Ayrılmamış Hava Sahasına Entegrasyonunun Pilotaj ve Hava Trafik Yönetimi Açısından Değerlendirilmesi” başlıklı tezi 06/12/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği”nin ilgili maddeleri uyarınca, **Hava Trafik Kontrol** Anabilim dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

<u>Jüri Üyeleri</u>	<u>Unvanı Adı Soyadı</u>	<u>İmza</u>
Üye (Tez Danışmanı) :	Doç. Dr. Öznur USANMAZ
Üye	: Prof. Dr. Aydan CAVCAR
Üye	: Doç. Dr. Osman Nuri ÇELİK
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Nihat ADAR
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Özlem ŞAHİN

Prof.Dr. Murat TANIŞLI
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ÖZET

İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMLERİNİN AYRILMAMIŞ HAVA SAHASINA ENTEGRASYONUNUN PİLOTAJ VE HAVA TRAFİK YÖNETİMİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tamer SAVAŞ

Hava Trafik Kontrol Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Aralık 2019

Danışman : Doç. Dr. Öznur USANMAZ

İkinci Danışman: Prof. Dr. Mustafa CAVCAR

İnsansız Hava Araçları (İHA) sistemleri, üzerinde önemli araştırma ve yatırımların yapıldığı, üretimi ve kullanımı hızla artan geleceğin insansız sistemleridir. İHA'ların sivil alandaki kullanımına olan talep arttıkça, İHA uçuş operasyonlarının ayrılmamış hava sahasına entegre edilmesi zorunluluğu bir ihtiyaç haline gelmektedir. İHA'ların ayrılmamış hava sahasına entegrasyonu, jet motorlu uçakların kullanılmasından bu yana en önemli değişikliklerden biri sayılabilir. Çünkü mevcut hava trafik yönetimi (ATM) yapısı, insanlı hava araçlarının emniyetli uçuş operasyonlarının gerçekleştirilmesi amacıyla tasarlanmıştır. Bu nedenle yeni bir hava aracı olarak ATM sistemine giren İHA'ların, mevcut ve gelecekteki hava trafik kullanıcılarını ve yapısını etkilememesi beklenmektedir.

Bu çalışma kapsamında İHA sistemlerinin sivil alandaki potansiyel kullanımlarını artırmak ve sürdürülebilir bir ilerleme kaydetmek için mevcut insanlı havacılık kurallarının İHA'lara uygulanabilirliği ve tekrar edilebilirliği hava trafik kontrol ve pilotaj bakış açısıyla değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışmada İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasında insanlı hava araçları ile birlikte uçuş operasyonlarını içeren bir model önerisi sunulmuştur. İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına entegrasyonunda mevcut hava trafik yönetimine etkilerini incelemek ve model önerisinin geçerliliğini sağlamak

amacıyla, gerçek zamanlı simülasyon yöntemi kullanılmıştır. Hava trafik yönetimi ekosistemindeki insanlı ve insansız hava araçlarının emniyetli ve verimli operasyonları gerçekleştirebilecekleri model önerisi simülasyon ortamında uygulanmış ve ilgili paydaşlarca geçerliliği sağlanmıştır. Önerilen model neticesinde, aynı uçuş rotasını uygulayan İHA pilotu ve kontrolörlerin rutin uçuş operasyonları yaptıkları görülmüş, böylece ayrılmamış hava sahasına emniyetli ve verimli entegrasyon konusunda olumlu bir ilerleme kaydedilmiştir.

Bu çalışmada, insanlı havacılığın mevzuatlarında değişiklik yapmadan İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasındaki entegrasyonunu, kademeli şekilde entegre etmek amacıyla bir konsept sunulmuştur. İnsanlı ve insansız hava araçlarının eşdeğer bir emniyet katmanı farklı simülasyon senaryoları ile tanımlanmış ve doğrulanmıştır. Önerilen modeli icra eden bir İHA'nın toplam uçuş süresi, toplam uçuş mesafesi ve talimat sayılarında önemli azalışlar olduğu görülmüştür. Simülasyon sonuçları ve ayrıca saha ziyaretleri, insanlı ve insansız hava araçlarının var olduğu karma trafikli uçuş operasyonlarında, mevcut prosedürlerinin uygulanması ve uygun görev planlaması ile hava araçlarının asgari bir müdahale ile yürütülebildiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: İnsansız hava aracı sistemleri, İnsansız hava araçları, Hava trafik yönetimi, İHA trafik yönetimi

ABSTRACT

EVALUATION OF REMOTELY PILOTED AIRCRAFT SYSTEMS INTEGRATION INTO NON-SEGREGATED AIRSPACE IN TERMS OF PILOTAGE AND AIR TRAFFIC MANAGEMENT

Tamer SAVAŞ

Department of Air Traffic Control
Eskisehir Technical University, Institute of Graduate Programs, December 2019

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Öznur USANMAZ

Co-Supervisor: Prof. Dr. Mustafa CAVCAR

Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) systems are unmanned systems of the future, where significant research and investments are made and the production and usage of which are rapidly increasing. As demand for civilian use of RPAs increases, the requirement to integrate RPA flight operations into non-segregated airspace becomes a necessity. The integration of RPAs in non-segregated airspace could be considered one of the most important changes since the use of jet-powered aircraft. Because the existing air traffic management (ATM) structure is designed to perform safe flight operations of manned aircraft. Therefore, RPAs entering the ATM system as a new aircraft are not expected to affect current and future air traffic users and their structure.

In this study, it is aimed to evaluate the applicability and repeatability of existing manned aviation rules to RPAs from the point of view of air traffic control and pilotage to increase the potential use of RPAs in civil area and to make sustainable progress. For this purpose, a model proposal including flight operations with manned aircraft in the non-segregated airspace of RPA systems is presented. Real-time simulation method has been used to investigate the effects of RPA systems on the existing ATM and to ensure the validity of the model proposal in the integration of non-segregated airspace. The model proposal that manned and unmanned aerial vehicles in the air traffic management ecosystem can perform safe

and efficient operations was implemented in the simulation environment and validated by the relevant stakeholders. As a result of the proposed model, it is seen that the RPA pilot and controllers performing the same routine flight operations. Thus, positive progress has been achieved in safe and efficient integration into the non-segregated airspace.

In this study, a concept is introduced to gradually integrate the integration of RPA systems in non-segregated airspace without making changes in the legislation of manned aviation. An equivalent safety layer of manned and unmanned aerial vehicles has been identified and verified in different simulation scenarios. Significant reductions in the total flight time, total flight distance, and instruction numbers of a RPA performing the proposed model were observed. Simulation results, as well as field visits, showed that in mixed traffic flight operations where manned and unmanned aircraft existed, the aircraft could be carried out with minimum intervention by applying existing procedures and appropriate task planning.

Keywords: Remotely piloted aircraft systems, Remotely piloted aircraft, Air traffic management, RPA traffic management

TEŞEKKÜR

Yaptığım çalışmalar boyunca desteğini benden esirgemeyen, bu güne gelmemde büyük emeği olan, birlikte çalışmaktan onur duyduğum ve göstermiş olduğu hoşgörü ve ilgiden dolayı Sayın Hocam Doç. Dr. Öznur USANMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez çalışmalarım sırasında verdikleri faydalı öneriler ve yönlendirici eleştirileri ile sağladıkları katkılardan dolayı, çok değerli hocalarım Prof. Dr. Aydan CAVCAR ve Dr. Öğr. Üyesi Nihat ADAR'a teşekkür ederim. Simülasyon çalışmalarında katkıları olan Dr. Öğr. Üyesi Özlem ŞAHİN ve Dr. Öğr. Üyesi Ertan ÇINAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca Türk Havacılık ve Uzay Sanayi (TUSAŞ)'a ve Savunma Sanayi Başkanlığı'na SAYP projesi kapsamında tezimi desteklediği için teşekkür ederim. Bu proje kapsamında çalışma fırsatı bulduğum sanayici danışmanım Murat KARADERİLİ'ye teşekkür ederim.

Tanıştığım ilk günden beri beni sevgisi ile koşulsuz destekleyen bana sürekli moral veren, güler yüzü ve enerjisi ile hayatıma mutluluk katan sevgili eşim Şerife Beyza SAVAŞ'a ve evimizin neşe kaynağı olan, doktora sürecimde ihmal ettiğim kızım Ayşe İnci SAVAŞ'a ve hayatımıza anlam katacak oğluma sonsuz sevgilerimi sunarım.

Beni dünyaya getiren tüm yaşamım boyunca bana inanan ve beni destekleyen sevgili annem Türkan SAVAŞ ve babam S. Ali SAVAŞ'a teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımın gerçekleştirilmesi sırasında TÜBİTAK 2211-C Öncelikli Alanlara Yönelik Yurt İçi Doktora Burs Programı desteği ile bana burs sağlayan TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Tamer SAVAŞ

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığımı ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Tamer SAVAŞ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
BAŞLANGIÇ SAYFASI.....	i
JURİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
SEMBOLLER DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
1.2 İnsansız Hava Aracı Sistemleri.....	4
1.2.1. Tarihçe.....	5
1.2.2. İHA sistemi bileşenleri	6
1.2.3. İHA sınıflandırılması	9
1.2.4. Kuyruk türbülansı.....	11
1.2.5. Emniyetli ayırma	14
1.2.6. Hava sahası ve gereklilikler	16
1.2.7. Emniyet katmanları	19
1.2.8. Operasyonel kavramlar	20
1.2.9. Beklenmedik olaylar.....	21
1.2.10. Uluslararası çalışmalar ve yasal çerçeve	22
1.2.11. Entegrasyon temelleri	25
1.3 Literatür İncelemesi	28

	<u>Sayfa</u>
1.4 Problem Tanımı ve Çalışmanın Amacı.....	36
2. YÖNTEM.....	39
2.2 Gerçek Zamanlı Simülasyon.....	41
2.3 Varsayımlar	43
2.4 Radar Simülatörüne Hava Sahası ve İHA Tanımlaması	44
2.5 Uygulama Yöntemi	50
2.6 Deney Tasarımı	51
2.6.1. Birinci hazırlık ve gerçekleştirme aşaması.....	51
2.6.2. İkinci hazırlık ve gerçekleştirme aşaması	56
2.6.3. Nihai deney tasarımının hazırlık ve gerçekleştirme aşaması	57
3. BULGULAR.....	66
3.1 Orbit ve Bekleme Açısından Bulgular	67
3.2 Mesafe ve Süre Açısından Bulgular	69
3.3 Talimat Sayısı Açısından Bulgular.....	79
4. SONUÇ	81
KAYNAKÇA.....	87
EKLER	
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. İHA sistemleri uçuş operasyon yapısı	2
Şekil 1.2. Kuyruk girdaplarının genel görünümü	12
Şekil 1.3. 1983-2002 yılları arasındaki kuyruk türbülansına ait kaza oranları	13
Şekil 1.4. Hava sahasının örnek sınıflandırılması.....	17
Şekil 1.5. İHA sistemlerinin hava sahası sınıflandırılması	18
Şekil 1.6. İHA emniyet katmanları	19
Şekil 1.7. İnsanlı ve insansız sistemlerinin operasyonel kullanım karşılaştırması	29
Şekil 1.8. İHA'ların VFR kalkış geliş uçuş operasyonları.....	32
Şekil 1.9. Önerilen yeni uçuş kuralları gösterimi	34
Şekil 1.10. Döner kanatlı İHA'lara özgü uçuş fazları	35
Şekil 2.1. Doktora çalışmasının iş akış şeması	41
Şekil 2.2. Eskişehir Teknik Üniversitesi Hava Trafik Kontrol Bölümü radar simülatörü	43
Şekil 2.3. Hava aracı parametreleri.....	46
Şekil 2.4. OKİS radarı gösterimi	47
Şekil 2.5. Radar simülatöründe İHA sisteminin ekran görünümü	47
Şekil 2.6. Simülasyon çalışma aşamaları gösterimi.....	50
Şekil 2.7. Hazırlık aşaması deney tasarımı	52
Şekil 2.8. Karma trafikli uçuş senaryolarında İHA'ların arkasındaki trafiklerin toplam uçuş sürelerindeki ortalama artış miktarları.....	53
Şekil 2.9. Karma trafikli uçuş senaryolarında İHA'ların arkasındaki trafiklerin toplam uçuş sürelerindeki ortalama artış miktarları.....	54
Şekil 2.10. Karma trafikli uçuş senaryolarında İHA'ların arkasındaki trafiklerin toplam uçuş sürelerindeki ortalama artış miktarları.....	55
Şekil 2.11. Hazırlık aşaması kavramsal tasarım gösterimi	56
Şekil 2.12. Kavramsal tasarımın radar simülatöründeki gösterimi.....	57
Şekil 2.13. Model önerisi.....	59

Şekil 2.14. Model önerisi radar görünümü	59
Şekil 2.15. Orbit yerleşim tasarımı	60
Şekil 2.16. Orbit yerleşim tasarımı ($r = 0,5$ NM)	61
Şekil 2.17. Orbit yerleşim tasarımı ($r = 1$ NM)	61
Şekil 2.18. Orbit yerleşim tasarımı ($r = 1,5$ NM)	62
Şekil 2.19. Orbit ve bekleme konumlarının gösterimi (a) orbit (b)(c) bekleme	63
Şekil 2.20. İHA son yaklaşma noktası FAFİ gösterimi	64
Şekil 2.21. Önerilen modelde orbit noktalarının yerleşimi.....	65
Şekil 3.1. Önerilen modelde hava araçlarının süre ve mesafe bilgileri.....	69
Şekil 3.2. Karma trafikli başlangıç uçuş senaryosu	70
Şekil 3.3. M kategorideki uçakların başlangıç uçuş senaryosundaki yaklaşma profili.....	70
Şekil 3.4. Başlangıç uçuş senaryosunu uygulayan bir uçağın mesafe ve uçuş süresi bilgileri.....	71
Şekil 3.5. İHA'nın başlangıç uçuş senaryosundaki yaklaşma profili	72
Şekil 3.6. Başlangıç senaryoyu uygulayan bir iha'nın mesafe ve uçuş süresi bilgileri	73
Şekil 3.7. İHA'nın yaklaşma profili.....	75
Şekil 3.8. Önerilen modeli uygulayan bir İHA'nın mesafe ve uçuş süresi bilgileri	76
Şekil 3.9. Önerilen modeli uygulayan İHA'nın ve diğer uçakların toplam uçuş süreleri .	78
Şekil 3.10. Gerçek zamanlı İHA simülöründe uçuş doğrulama gösterimi.....	79

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1. MTOW ve risk temelli sınıflandırma önerisi.....	10
Çizelge 1.2. MTOW, menzil ve irtifa temelli sınıflandırma önerisi.....	10
Çizelge 1.3. Avrupa İHA sınıflandırması	11
Çizelge 1.4. Amerika İHA sınıflandırması	11
Çizelge 1.5. Türkiye'deki İHA sınıflandırması	11
Çizelge 1.6. ICAO kuyruk türbülans ayırması.....	13
Çizelge 1.7. Önerilen yeni hava aracı sınıfları.....	33
Çizelge 1.8. Önerilen yeni uçuş kuralları	33
Çizelge 2.1. Çalışma bölgesine ait yasak, tahditli ve tehlikeli sahalar	45
Çizelge 3.1. Farklı yarıçaplı bekleme oluşumunda mesafe ve süreler.....	67
Çizelge 3.2. 0,5 NM yarıçaplı bekleme oluşumunda mesafe ve süreler.....	68
Çizelge 3.3. Başlangıç uçuş senaryosunu uygulayan karma trafiklerin uçuş süresi bilgileri.....	71
Çizelge 3.4. Başlangıç senaryosuna İHA dâhil olduğunda hava araçlarının toplam uçuş süreleri	73
Çizelge 3.5. Başlangıç senaryosuna İHA dâhil olduğunda hava araçlarının uçuş süresi değişimi.....	74
Çizelge 3.6. Önerilen uçuş senaryoyu uygulayan karma trafikli hava araçlarının uçuş süresi bilgileri.....	76
Çizelge 3.7. İHA'nın O1 noktasından bekleme durumunda karma trafikli hava araçlarının uçuş süresi bilgileri	77
Çizelge 3.8. Başlangıç ve önerilen modeli uygulayan bir iha'nın süre ve mesafe bilgileri.....	77
Çizelge 3.9. İHA'nın dâhil olduğu başlangıç senaryosunda talimat sayısı değişimi	80

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ADS-B	: Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (Otomatik Bağımlı Gözetim)
AIP	: Aeronautical Information Publication (Havacılık Bilgi Yayını)
ANSP	: Air Navigation Service Provider (Yerel Hava Seyrüsefer Hizmet Sağlayıcı)
ASBU	: Aviation System Block Upgrades (Havacılık Sistemini Bloklayan Sınırlayan Güncellemeler)
ATC	: Air Traffic Controller (Hava Trafik Kontrolörü)
ATM	: Air Traffic Management (Hava Trafik Yönetimi)
ATS	: Air Traffic Service (Hava Trafik Hizmeti)
BFR	: Basic Flight Rules (Temel Uçuş Kuralları)
BVLOS	: Beyond Visual Line of Sight (Görsel Görüş Hattı Dışı)
CONOPS	: Consept Of Operations (Operasyonel Kavramlar)
CTR	: Control Zone (Kontrol Bölgesi)
EASA	: European Union Aviation Safety Agency (Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı)
EUROCAE	: European Organisation for Civil Aviation Equipment (Sivil Havacılık Ekipmanları için Avrupa Organizasyonu)
Eurocontrol	: Avrupa Hava Seyrüsefer Güvenliği Örgütü
FAA	: Federal Aviation Administration (Federal Havacılık İdaresi)
FAF	: Final Approach Fix (Son Yaklaşma Fiksi)
FAFi	: İHA Sistemleri İçin Son Yaklaşma Fiksi
FMS	: Flight Management System (Uçuş Yönetim Sistemi)
HALE	: High Altitude Long Endurance (Yüksek İrtifa Uzun Havada Kalış)
HFR	: High Flight Rules (Yüksek Seviyeli Uçuş Kuralları)
ICAO	: International Civil Aviation Organisation (Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu)
IAC	: Instrument Approach Chart (Aletli Yaklaşma Planı)
IFR	: Instrument Flight Rules (Aletli Uçuş Kuralları)
IMC	: Instrument Meteorological Conditions (Aletli Meteorolojik Şartlar)

ILS	: Instrument Landing System (Aletli İniş Sistemi)
İHA	: İnsansız Hava Aracı
JARUS	: Joint Authorities on Rulemaking for Unmanned Systems (İnsansız Sistemler için Kural Koyucu Müşterek Otoriteler)
LFR	: Low Flight Rules (Düşük Seviyeli Uçuş Kuralları)
MALE	: Medium Altitude Long Endurance (Orta İrtifa Uzun Havada Kalış)
MFR	: Managed Flight Rules (Yönetilen Uçuş Kuralları)
NASA	: National Aeronautics and Space Administration (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)
NM	: Nautical Mile (NM)
NOTAM	: Notice To Airmen(Havacılara Bilgi)
MRVC	: Minimum Radar Vectoring Altitude Chart (Minimum Vektör İrtifa Planı)
MTOW	: Maximum Takeoff Weight (Maksimum Kalkış Ağırlığı)
NextGen	: Next Generation Air Transportation System (Yeni Nesil Hava Taşımacılığı Sistemi)
OKİS	: Otomatik Kalkış ve İniş Sistemi (OKİS)
PIC	: Pilot in Command (Sorumlu Pilot)
RECAT	: Wake Vortex Re-categorisation (Kuyruk Türbülansı Yeniden Kategorilendirme)
RNP	: Required Navigation Performance (Gerekli Seyrüsefer Performansı)
RTCA	: Radio Technical Commission for Aeronautics (Havacılık Radyo Teknik Komisyonu)
SEAD	: Suppression of Enemy Air Defenses (Hava Savunma Sistemlerinin Bastırılması)
SESAR	: Single European Sky Atm Research (Avrupa Tek Hava Sahası Hava Trafik Yönetimi Araştırması)
SHGM	: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
SID	: Standard Instrument Departure (Standart Aletli Kalkış)
SIGINT	: Signal Intelligence (Sinyal İstihbaratı)
STAR	: Standard Arrival Route (Standart Geliş Rotası)

TCAS	: Traffic Collision Avoidance System (Trafik arpışma nleme Sistemleri)
TMA	: Terminal Manoeuvring Area (Terminal Kontrol Sahası)
TUSAŞ	: Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ő.
UTM	: UAS Traffic Management (İHA Trafik Yönetimi)
VFR	: Visual Flight Rules (grerek UuŐ Kuralları)
VHF	: Very High Frequency (ok Yüksek Frekans)
VHL	: Very High Level (ok Yüksek Seviye)
VLL	: Very Low Level (ok Düşük Seviye)
VLOS	: Visual Line of Sight (Görsel görüş hattı)
VMC	: Visual Meteorological Conditions (Görerek Meteorolojik Şartlar)
YKİ	: Yer Kontrol İstasyonu

SEMBOLLER DİZİNİ

KE_{max}	: Maksimum Kinetik Enerji
M_{mtow}	: Maksimum Kalkış Ağırlığı
V_{max}	: Maksimum İşletme Hızı
T_{g1}	: Yer Zeminine Etkinin Risk Değeri
ft	: feet
FL	: Flight Level (Uçuş Seviyesi)



1. GİRİŞ

İnsansız Hava Araçları (İHA) sistemleri, üzerinde önemli araştırma ve yatırımların yapıldığı, günümüzde üretimi ve kullanımı hızla artan geleceğin insansız sistemlerinden biridir. İHA sistemleri; insansız hava aracı, yer kontrol istasyonu, veri linki ve diğer alt sistemlerden oluşan sistemler sistemi olarak ifade edilmektedir [1-3]. Tarihteki geçmişi incelendiğinde, askeri alandaki kullanımı ile başlayan İHA sistemlerinin özellikle yazılım, haberleşme ve kontrol gibi alanlardaki hızlı teknolojik gelişmeler nedeniyle, monoton ve tehlikeli uygulamalarda insanlı sistemlerin yerine kullanıldığı görülmektedir [4-7] .

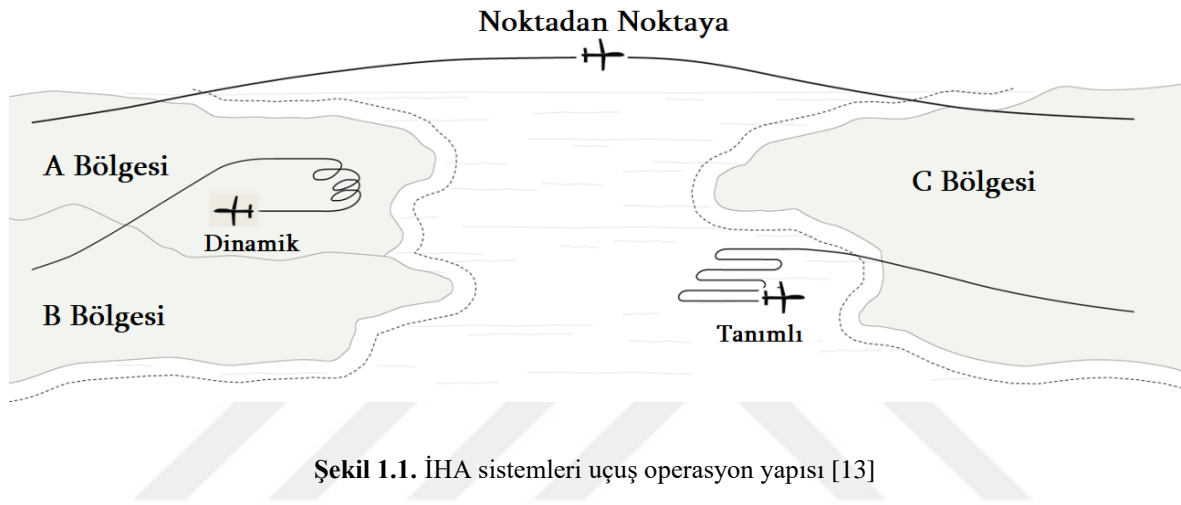
İHA sistemlerin temel kullanım alanlarının askeri amaçlı olduğu bilinmektedir. Havacılığın ilk yıllarından itibaren İHA sistemlerinin kullanımından söz edilebilirken, 20. yüzyılın son yıllarında özellikle askeri alandaki İHA'ların operasyonel kullanımı ve popüleritesi önemli ölçüde artmıştır. Çünkü insan odaklanmasının yitirileceği uzun süreli, aşırı dikkat gerektiren tehlikeli ve riskli ortamlarda kullanılan İHA sistemleri ile askeri alanda önemli avantajlar sağlanmaktadır. Bu avantajı İHA sistemlerinin kirli, zor ve tehlikeli görevlere yönelik tasarlanmasından kaynaklandığı söylenebilir [1,8]. İstihbarat, gözetleme ve keşif, sinyal istihbaratı (Signal Intelligence - SIGINT), hava savunma sistemlerinin bastırılması (Suppression of Enemy Air Defenses - SEAD), elektronik destek ve elektronik taarruz, karasal mayın algılama, hedef tespit, sınıflandırma ve tanımlama gibi askeri görevlerde İHA sistemlerinin kullanılması ile insanlı havacılığa göre maliyet etkin ve yüksek verimli uçuş operasyonları elde edilmektedir. Özellikle, askeri alanlarda gerçekleştirilen görevlerde; insan hayatının tehlikeye atılmaması ve insan yapısının dayanıksız kalacağı uzun sürelerde bile İHA'ların görev yapılabileceğinin fark edilmesi ile İHA'lar askeri uygulamalardaki en temel hava aracı haline gelmiştir. [4,9,10].

Geçmişten günümüze askeri alanda yapılan yatırımlar ve deneyimler, İHA sistemleri üzerindeki kabiliyet ve kazanımların gelişmesine neden olmuştur. Bu gelişme ayrıca İHA sistemlerinin sivil uygulamalardaki kullanımında önemli bir pazarın oluşmasını da tetiklemiştir. Teknolojik gelişmeler, maliyetler, operasyonel uygulamalar, mevzuatlar ve toplumun insansız sistemlere bakış açısı, İHA sistemlerinin gelişimini etkilemektedir.

İHA sistemlerinin sivil alandaki kullanımı, askerî alandaki uygulamalara benzer şekilde büyük ölçüde görüntü toplama, görüntü analizi ve görüntü kıymetlendirme üzerine kurulu olduğu görülmektedir. Havadan görüntüleme, kargo taşımacılığı, boru hatlarının izlenmesi, jeolojik araştırma çalışmaları, atmosfer araştırma çalışmaları, arama kurtarma,

yangınla mücadele, geniş bant iletişimi ve cep telefonu iletişimi sivil alandaki İHA uygulamalarına örnek olarak verilebilir [4,11,12].

Tüm olası İHA uygulamaları arasında gözetim görevleri belki de en yaygın olanıdır. Bu görevlerde, İHA sistemi noktadan noktaya operasyon yapan ticari uçaklar gibi çalışmamaktadır. İHA sistemleri; görev gereksinimlerine göre rotaları, uçuş sırasında dinamik olarak değişmekte, farklı tipte geleneksel olmayan manevralar (örneğin taramalar, çevre döngüleri vb.) yapmakta ve bazen belirli alanlarda kalıcı hareketler yapmaktadır (Şekil 1.1) [13].



Şekil 1.1. İHA sistemleri uçuş operasyon yapısı [13]

Bazı mevcut sivil İHA sistemleri, yoğun yerleşimli alanlarının uzağında veya hava trafiğine kapalı özel hava sahalarında (ayrılmış hava sahası) kullanılmaktadır. Bunun en önemli nedenleri, İHA sistemleri ile ilgili uçuşa elverişlilik, sertifikasyon ve mevzuat eksikliği olarak özetlenebilir. Sayısı ve sivil alandaki kullanım potansiyeli sürekli artan İHA sistemlerinin, mevcut Hava Trafik Yönetimi (Air Traffic Management- ATM) içerisinde etkili, verimli ve maliyet etkin uçuş operasyonlarını yapması için, bu sistemlerin ayrılmamış hava sahasında operasyon yapma gerekliliği ortaya çıkmıştır.

İHA sistemlerine ait sertifikasyon, uçuşa elverişlilik ve uçuş operasyonlarıyla ilgili düzenlemelerin eksikliği nedeniyle İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasında kullanımında hala kısıtlamalar bulunmaktadır. Bu kısıtlamalar nedeniyle İHA sistemleri genellikle uçuş operasyonlarını, ayrılmış hava sahasında icra etmektedir. Bundan dolayı İHA sistemlerinin potansiyel faydaları açığa çıkarmak için operasyonel konseptlerin tanımlanması ve ATM paydaşlarına etkilerinin detaylı incelenme ihtiyacı doğmaktadır.

Mevcut ATM yapısı, insanlı hava araçlarının emniyetli uçuş operasyonlarını gerçekleştirilmesi amacıyla tasarlanmıştır. Bu nedenle yeni bir hava aracı olarak ATM sistemine giren İHA sistemlerinin, mevcut ve gelecekteki ATM yapısına ve ATM kullanıcılarına olumsuz etki yapmaması beklenmektedir. Bu amaçla İHA sistemlerinin mevcut ve gelecekteki ATM sistemine rutin entegrasyonu, jet motorlu uçakların kullanılmasından bu yana en önemli değişikliklerden biri sayılabilir. Bu değişikliğin en önemli nedenlerinden biri uçuş operasyonunun emniyetli icra edilmesinden sorumlu İHA pilotunun hava aracında bulunmaması ile kontrol, kumanda ve iletişim gibi işlevlerin veri linki bağlantısıyla yapılması sayılabilir. Bu nedenle hava aracının uzaktan kontrol ve kumanda edilmesi, etraftaki trafiğin (gerektiğinde) algılanması ve uygun manevralar yapması, emniyetli İHA uçuş operasyonlarında önemli unsurlardır. Bundan dolayı İHA sistemlerinin bu tür unsurları icra edecek teknolojik gelişmelerin yapılmasının yanında ilgili mevzuatların geliştirilmesi ve bu tür işlemlerin standartlaştırılması önemli bir ihtiyaçtır.

Diğer taraftan İHA sistemlerinin ebat, performans ve uçuş operasyon yapısı (tanımlı, dinamik vb.) insanlı hava araçlarından önemli farklılıklar barındırmaktadır. Üstelik çoğu İHA sistemleri uçuş performansına göre ticari hava yollarında faaliyet gösteren insanlı hava araçlarından (seyir hızı, tırmanma / iniş performansı vb.) farklılık göstermektedir. Her ne kadar uçuş performansları geleneksel havacılıktaki hava araçlarına benzerlik göstermese de, İHA sistemleri ticari hava araçları ile benzer irtifalarda çalışacak ve böylece emniyetli ayrımının sağlanmasında karmaşıklık getirecektir [14-16] .

Günümüzde genel itibari ile 200 bin insanlı hava aracına karşın, hobi amaçlı kullanımdan büyük askeri hava araçlarına kadar 2 milyon İHA bulunduğu bilinmektedir. Ekonomik nedenler ve erişim kolaylığından dolayı bu hava araçlarının büyük bir çoğunluğunu 150 kg altındaki İHA sistemlerinin oluşturduğu görülmektedir. İnsanlı ve insansız hava araçlarındaki niceliksel artış nedeniyle, hava trafik kontrol birimlerinde bu sistemleri emniyetli ve verimli şekilde yönetme konusunda zorluk yaşatması beklenmektedir [17]. Bu nedenle mevcut ve gelecekteki hava sahasının etkili ve verimli kullanabilmesi açısından, İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına entegrasyon konusunun incelenmesi önemli bir ihtiyaç haline gelmektedir.

İHA sistemlerinin önümüzdeki 20 yıl içerisinde ayrılmamış hava sahasına entegre olacağı, ekonomiye büyük bir katkı ve ayrıca yüksek oranda doğrudan istihdam sağlayacağı öngörülmektedir. Bu nedenle İHA sistemlerinin insanlı hava sahasında rutin operasyonlarına

izin verilmeden önce bazı teknik ve düzenleyici engellerin çözüme kavuşması gerekmektedir. İHA sistemlerine özgü sorunları tanımlamak ve sorunlara karşı önlemler geliştirerek bunların insanlı havacılığa etkilerini en aza indirmek için düzenlemeler ve standartlar oluşturmak ve ayrıca teknolojiler geliştirmek; İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına entegrasyonu açısından önemli kilometre taşlarından olacağı görülmektedir.

Çalışma kapsamında İHA sistemlerinin sivil alandaki potansiyel kullanımlarını artırmak ve sürdürülebilir bir ilerleme kaydetmek için başta uçuş prosedürleri, emniyetli ayırma, hava araçlarının emniyet katmanlarının belirlenmesi ve bunların hava trafik kontrol ve pilotaj bakış açısıyla değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Günümüzdeki İHA sistemlerinin uçuşa elverişlilik ve sertifikasyon gibi nedenlerle ayrılmamış hava sahalarındaki uçuş faaliyetlerindeki kısıtlamalar, bu sistemlere ait operasyonel kavram ve uçuş profillerinin detaylı değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır. İHA sistemlerinin uçuş profillerinin gerçek uçuşlar ile test edilmesi ise maliyetli ve risklidir. Bu nedenle, bu çalışmada İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına entegrasyonu aşamalarında gerçek zamanlı simülasyon yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde İHA'ların ayrılmamış hava sahasına emniyetli ve verimli entegrasyonu için dikkate alınması gereken temel gereksinimler ve özellikler ile insanlı hava araçlarından benzer ve ayrışan yönleri temel düzeyde sunulmuştur. Çalışmanın ikinci bölümünde İHA'ların emniyetli entegrasyonu için önerilen modelin yöntemi detaylandırılmaktadır. Üçüncü bölümde gerçekleştirilen simülasyon deneyleri sunulmuş ve elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Son olarak, dördüncü bölümde sonuçlara ilişkin değerlendirilme yapılmıştır.

1.2. İnsansız Hava Aracı Sistemleri

İHA sistemlerinin sivil alandaki kullanımına olan talep arttıkça, İHA uçuş operasyonlarının ayrılmamış hava sahasına entegre etme zorunluluğu bir ihtiyaç haline gelmektedir. Bununla birlikte, gelecekte ATM sisteminde çok sayıda İHA'nın uçuş operasyon faaliyetlerini yürütmesi, birçok zorluğu beraberinde getirmesi beklenmektedir. İHA operasyonları insanlı uçakların çeşitli yönlerinden farklı olduğu için bu yeni paydaşa özgü terminolojinin ve ayrıca insanlı hava araçlarından benzer ve farklı özelliklerinin detaylı tanımlanması önemlidir.

Bu amaçla bu bölümde İHA'ların ayrılmamış hava sahasına entegrasyonu kavramının en temel gereksinimleri (operasyonel kavramlar, emniyet kavramı ve uçuş performansı vb.), ve temel özellikleri (iletişim, seyrişer ve gözetim hizmetleri veya algıla ve sakın yeteneği vb.) tanımlanmıştır.

1.2.1. Tarihçe

Bu kısımda İHA sistemlerinin gelişiminin tarihsel bir bakış açısıyla temel düzeyde sunulması amaçlanmıştır. Bilindiği gibi uğma fikri, tarih öncesi ve mitolojik zamanlardan beri her zaman insanlığın ilgisini çekmiştir. Geçmişten günümüze gelen süre içerisinde modern insanlı havacılık sisteminin 1700'lü yılların sonlarına doğru ortaya çıktığı görölmektedir [18]. Bu tarihten yaklaşık bir yüzyıl sonra havadan ağır hava araçları gökyüzünde yerini almaya başlamıştır [7]. İHA sistemlerinin tarihçesi ise insanlı havacılığa benzer şekilde uzun yıllar öncesine kadar uzanmaktadır. Bilinen ilk otonom uçan insansız hava aracı milattan önce 425 yılında Arhitas tarafından "Pigeon" ismiyle yapılmıştır. Bu tarihten itibaren kuşlara benzer birçok insansız sistem geliştirilmiştir. Ancak bunların hepsinin genelde tek kullanımlık ve kararsız bir yapıda olduğu söylenebilir [7,19].

Wright kardeşlerin tarihe geçen ilk modern insanlı hava aracı ile uçuşundan 15 yıl sonra, özellikle askeri alanda insansız hava araçlarının üretilmeye ve kullanılmaya başlandığı görölmektedir [3,7,20]. Diğer bir deyişle insansız hava araçlarının operasyonel ortamdaki kullanımı, günümüz insanlı havacılığın tarihiyle eşdeğerdendir denilebilir. Gerçek anlamdaki İHA sistemleri ise ilk olarak pilotsuz uçak ismiyle birinci dünya savaşında kullanılmıştır. 30 deniz milini aşan mesafesiyle ilk İHA, Sperry firmasınınca 1916 yılında, Alman yapımı Zeplinlere karşı hava torpidosu amacıyla üretilmiştir. Bu tarihlerde genellikle askeri personelleri eğitmek için uzaktan kontrollü ve sabit kanatlı torpido İHA'lar kullanılmıştır [19,21-23].

1930'lu yıllarda İngilizler'in "Quenn Bee" ismi ile geliştirdiği ve ürettiği insansız hedef araçları, günümüzde yaygın olarak kullanılan "drone" terimine ilham vermiştir. Dünyada silahlı kuvvetler kabiliyetleri içindeki İHA sistemlerinin öneminin artışı ise Vietnam ve İsrail'deki savaşlar ile ortaya çıkmıştır. Vietnam savaşı sırasında geliştirilen jet motorlu İHA'lar, askeri ortamlarda gözetim rolünü üstlenmesine neden olmuştur. Gözetim görevi hala günümüzdeki İHA'ların birincil görevlerden biri olarak yer almaktadır [20].

Birinci dünya savaşıyla başlayan ve ikinci dünya savaşıyla hızlanan İHA üretiminde otonomi ve uzaktan kumanda kavramları önem kazanmış ve hava araçları bugünkü konumuna gelmiştir. Özellikle 2000 yılından itibaren teknolojik ilerlemeler, maliyetlerin azalması ve bu alandaki ilginin artması ile Afganistan ve Irak'ta çok değişik görev ve ortamda, farklı büyüklüklerde onlarca İHA operasyonel olarak kullanılmıştır [4,20].

Geçmişten günümüze askeri alanda yapılan yatırımlar ve deneyimler, İHA sistemleri üzerindeki kabiliyet ve kazanımların geliştirmesine neden olmuştur. Bu gelişmeler ayrıca İHA sistemlerinin sivil uygulamalardaki kullanımında önemli ilerlemeler oluşmasını da tetiklemiştir. Teknolojik gelişmeler, maliyetler, operasyonel uygulamalar, mevzuatlar ve toplumun insansız sistemlere bakış açısı, bu ilerlemenin yönünü etkilemeye devam etmektedir.

İHA sistemlerinin sivil alandaki kullanımı, askerî alandaki uygulamalara benzer şekilde görüntü toplama ve görüntü analizi üzerine kurulu olduğu görülmektedir. Günümüzde en az 32 ülkenin İHA sistemlerini geliştirdiği, 41 ülkenin ise İHA sistemlerini kullandığı bilinmektedir. Japonya, tarımsal ilaçlama ve uygulamalar gibi sivil alanda yaklaşık 2,000 İHA kullanarak dünyadaki lider İHA kullanıcısı olduğu görülmektedir [22]. İHA'ların sivil alanda kullanımının artması, ayrılmamış hava sahasının kullanımını da gerektirmekte, bu da bazı teknik ve operasyonel zorlukları beraberinde getirmektedir.

1.2.2. İHA sistemi bileşenleri

İnsansız Hava Aracı (İHA) Sistemleri; Avrupa ve Amerika başta olmak üzere ülkeler ve bölgeler bazında önemli yatırımlar yapılan, monoton ve insan odaklanmasının yitireceği tehlikeli ve riskli ortamlarda insanlı araçların yerine kullanılabilen, geleceğin sistemleri olarak görülmektedir. Gelecek yıllarda İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasında kullanımının öngörülmesi ile birlikte İHA sistemlerinin sadece teknik açıdan incelenmesinin ve geliştirilmesinin yanında operasyonel mevzuatların incelenmesi ve geliştirilmesi önem kazanmaktadır.

Geçmişten günümüze İHA sistemlerine ilişkin yapılan çalışmalar incelendiğinde bu sistemleri tanımlamak için birden fazla terim kullanıldığı görülmektedir. İHA'lar için kullanılan "pilotsuz uçak" terimi ilk olarak 1944 yılında Chicago konvansiyonunda kayda geçmiştir [13]. Pilotsuz uçak, uzaktan kontrollü hava aracı, uzaktan pilotlu hava aracı ve insansız hava aracı günümüz İHA sistemleri için kullanılan terimler arasındadır. Bunlar

arasında en fazla kullanılan “insansız” terimi, hava aracını yönlendiren ve kontrol eden bir pilotun /operatörün hava aracı üzerinde bulunmadığını, bunun aksine uzaktan bir istasyon dâhilinde İHA’yı kumanda ve kontrol ettiğini ifade etmektedir [5,7,12,21].

Uluslararası kurum ve kuruluşlarca bir İHA, üzerinde pilot olmaksızın havada uçuş için amaçlanan veya kullanılan cihaz olarak tanımlamakta; uçak, helikopter ve hava balonu gibi geleneksel hava taşıtlarının insansız olabileceğini belirtmektedir. İHA sistemleri ise İHA’ların emniyetli uçuş operasyonlarını icra etmesi için aşağıda belirtilen gerekli bileşenleri içeren sistemler bütünüdür ifade etmektedir [12,13,24-25]. İHA Sistemleri, insan operatörünü üzerinde taşımayan, bunun yerine otonom veya uzaktan kumanda ile uçabilen ve ilişkili ekipmanları içeren bir sistemler sistemi olarak tanımlanmaktadır [1].

- İnsansız Hava Aracı
- Kontrol İstasyonu (yer tabanlı, deniz tabanlı veya hava tabanlı)
- Veri Linki
- Destek Ekipmanları
- Faydalı Yük
- Uçuş Sonlandırma Sistemi
- Kurtarma ve Fırlatma Ekipmanları vb.

Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) ise İHA sistemini en az bir İHA, komuta-kontrol ve işletilmesi için gerek duyulan yer sistemleri (sabit veya hareketli) ve hava ile yer haberleşmesini sağlayan tümleşik sistemleri ile kalkış ve iniş sisteminden oluşan bir bütün olarak tanımlamaktadır [26] . İHA sistemi üç ana özellikte oluşan sistemler bütünüdür: İnsansız Hava Aracı (İHA), Yer Kontrol İstasyonu ve Veri Linki. İHA sistemleri bir insanın bu hava aracını doğrudan yönetmesinin mümkün olmadığı yerlerde, tehlikeli ve riskli durumlarda kullanıldığından önemli avantajlar sunmaktadır [1,3,27-28].

İnsansız Hava Aracı

Bir insansız hava aracı (İHA) uzaktan kumanda edilmekte veya otonom şekilde uçuş operasyonlarını yürütebilmektedir. İHA’lar aslında ulusal ve uluslararası düzenleyici kurumlar tarafından insanlı hava araçlarına eşdeğer olarak kabul edilmektedir [11,13,26,29].

İHA'lara yönelik kullanılan terimler her ne kadar farklı olsa da, aslında ifade edilmek istenen bir pilotun/operatörün hava aracı üzerinde olmadan, herhangi bir hava aracını uzak bir istasyon vasıtası ile kontrol ve kumanda etmesidir [20].

Yer Kontrol İstasyonu

Yer Kontrol İstasyonu (YKİ), bir İHA pilotunun İHA'yı kontrol ve kumanda etmesi için gerekli alt bileşenleri içeren İHA sistemi bileşenidir. Yer kontrol istasyonu elde tutulan bir cihazdan, çok konsollu bir istasyona kadar değişik yapıda olabilir. Yer kontrol istasyonları sabit konumlu olabileceği gibi araç üzerinde, deniz üzerinde veya bir hava aracı üzerinde hareketli de olabilir [12-13,26,30]. Genel bir ilke olarak yer kontrol istasyonu, insanlı bir uçağın kokpit/uçak güvertesi ile aynı şekilde işlev görür ve bu nedenle İHA pilotuna, uçuşu komuta etme ve yönetme konusunda eşdeğer bir kabiliyet sunmaktadır [13].

Veri Linki

Veri linki, bir insansız uçuş operasyonunu yönetmek amacıyla İHA ile İHA kontrol istasyonunu birbirine bağlamaktadır. Tek yönlü veya çift yönlü olabilmektedir [12-13,19,30]. Görsel görüş hattı (Visual Line of Sight - VLOS), ek cihazların yardımı olmaksızın ilgili hava sahasında geçerli havacılık kurallarını uygulamak ve hava aracını yönetmek için uzaktaki pilotun hava aracı ile doğrudan görsel temasta kalarak operasyonları gerçekleştirdiği şartları ifade etmektedir. Diğer taraftan görsel görüş hattı dışı (Beyond Visual Line of Sight - BVLOS) ise, İHA pilotunun hava aracı ile sürekli olarak doğrudan görsel temas halinde kalmaya veya kullanılan hava sahasının geçerli uygulanabilir kurallarına uymaya imkân vermeyen belirli bir mesafeyi ifade etmektedir [26].

İHA pilotunun hava trafik kontrolörü ile haberleşmesindeki genel gereksinimler, aynı hava sahasında operasyonlarını sürdüren insanlı hava araçlarının gereksinimleriyle aynıdır. İHA operasyonlarında VHF (Very High Frequency – Çok Yüksek Frekans) ses kanalına ek olarak, Hava Trafik Kontrolör (Air Traffic Controller - ATC) veri linkini destekleyici ek ekipmanları da kullanılabilir. Hava trafik kontrol ünitesi ile İHA pilotu arasında ek olarak bağımsız iletişim kanallarının olması, İHA'ların uçuş operasyonlarının kesintisiz devamı için önemlidir. Birincil iletişim hattının başarısız olması halinde, yer tabanlı ve bağımsız

iletişim hatlarıyla, ATC ile İHA pilotunun iletişimi sağlanmaktadır. İletişim kanallarındaki oluşabilecek süre farklılığı ise gecikme (latency) olarak ifade edilmektedir [13,29].

1.2.3. İHA sınıflandırılması

İHA sistemlerini, dünya genelinde askeri ve sivil alanlarda farklı şekillerde sınıflandırmaktadır. Tez çalışması yalnızca sivil kullanımlı İHA sistemlerini kapsadığı için, bu bölümde sivil amaçlı İHA'ların sınıflandırılması verilmiştir.

İHA sistemlerinin sınıflandırılmasına yönelik sıklıkla karşılaşılan bir yaklaşım, havada kalış süresinin ve görev yapılan irtifanın temel alındığı sınıflandırma şeklindedir. Böyle bir sınıflandırmada öncelikli belirleyici olan unsur görev irtifasıdır. Bu irtifaya tırmanma süresi ve görev süresi toplam havada kalış süresini, bu süre de yakıt miktarını belirler. İrtifa ve görev süresi arttıkça, hava aracının kalkış ağırlığı da anlamlı şekilde artar [31].

Ortalama veya maksimum kalkış ağırlığı (Maximum Take-off Weight - MTOW), büyüklük, çalışma koşulları, yetenekler veya bunların ve diğer özelliklerin herhangi bir kombinasyonu dâhil olmak üzere, İHA sınıflandırmasında kullanılan çok sayıda metrik vardır. Bu metriklerin bazıları sistemin emniyet performansı gereklilikleri üzerinde minimum etkiye sahipken; bazıları ise operasyonel, ticari ve yasal bakış açısıyla önemli bir etkiye sahip olduğu unutulmamalıdır. Performans özelliklerine göre sınıflandırma; tasarımcılar, üreticiler ve potansiyel müşteriler için kullanışlıdır çünkü böylece İHA'ların performans yönleriyle ihtiyaçlarını eşleştirmelerini sağlamaktadır. Bahsi geçen performans özellikleri aşağıdaki gibidir [32]:

- Ağırlık
- Havada Kalma Süresi ve Menzil
- Maksimum İrtifa
- Kanat Yapısı
- Motor Tipi
- Güç / İtki

Günümüzde İHA sistemlerine özgü dünya genelinde genel kabul görmüş bir sınıflandırma hala mevcut değildir ve aynı anda birkaç yaklaşım önerilmektedir. Uluslararası havacılık otoriteleri tarafından kabul edilen ilk sınıflandırma yöntemi ise İHA'ların

maksimum kalkış ağırlığına dayanmaktadır [33]. Ayrıca, sertifikasyon amacıyla yapılan bir sınıflandırma ise İHA'ların oluşturacağı risk ile ilgilidir. İnsanlı hava araçlarında olduğu gibi İHA sistemleri için de birincil risk, etki meydana getirdiği yüzey üzerindeki enerjiyle ilişkilidir. ICAO'nun İHA sistemleriyle ilgili olarak 2011 yılında yayınladığı dokümanında [29] belirtildiği gibi, İHA sistemlerinin kinetik enerjilerinin karşılaştırılması ile sınıflandırma yapılabilir.

$$KE_{max} = \frac{1}{2} M_{mtow} V_{max}^2 \dots\dots\dots (1)$$

- * E_{max} Maksimum kinetik enerji
- * M_{mtow} Maksimum kalkış ağırlığı
- * V_{max} Maksimum işletme hızı

Dalamagkidis ve ark.[22] İHA'ların etki meydana getirdiği yüzey ile beklenen ölümcül kaza oranlarını tahmin etmek için bir model önermiştir. Çizelge 1.1'deki bu sınıflandırma önerisi, İHA'ların maksimum kalkış ağırlığından tahmin edilen kinetik enerjiye dayanmaktadır. Çizelge 1.2'de ise maksimum kalkış ağırlığı yanında irtifa ve mesafe bilgileri kombinasyonu ile sınıflandırma önerilmiştir [34].

Çizelge 1.1. MTOW ve risk temelli sınıflandırma önerisi [22]

Sınıf No	T_{g1}	MTOW	İsim
0	10^2	<1 kg	Mikro
1	10^3	~1 kg	Mini
2	10^4	>1 kg ve <13.5 kg	Küçük
3	10^5	>13.5 kg ve <242 kg	Hafif
4	10^6	>242 kg ve <4,332 kg	Normal
5	10^7	>4,332 kg	Büyük

* T_{g1} yer zeminine etkinin risk değerini ifade eder.

Çizelge 1.2. MTOW, menzil ve irtifa temelli sınıflandırma önerisi [22]

Sınıf	MTOW (kg)	Menzil Sınıfı	Maksimum İrtifa (ft)
0	≤ 25	Yakın	1,000
1	25-500	Kısa	15,000
2	501-2,000	Orta	30,000
3	>2,000	Uzun	>30,000

Diğer taraftan İHA sistemleri otonomi seviyelerine göre kategorize edilebilmektedir. Clough tarafından önerilen otonomi sevipleri 1'den 10'a kadar durumsal farkındalık, koordinasyon, karar verme ve operasyonel kabiliyet gereksinimleri temel alınarak önerilmiştir [35].

Özetlenen İHA sınıflandırmaları altında Amerika (Çizelge 1.3), Avrupa (Çizelge 1.4), ve Türkiye'deki (Çizelge 1.5) İHA'ların ağırlık, uçuş irtifası, maksimum kalkış ağırlığı, seyir hızı ve uçuş süresini temel alan sınıflandırmalar gösterilmektedir [4].

Çizelge 1.3. Avrupa İHA sınıflandırması [4]

Sınıf	Kalkış Ağırlığı (kg)	Uçuş İrtifası (ft)
Mikro	<7	<400
Mini	8-400	300-4,000
MALE	400-4,000	15,000 – 45,000
HALE	-	>45,000

Çizelge 1.4. Amerika İHA sınıflandırması [4]

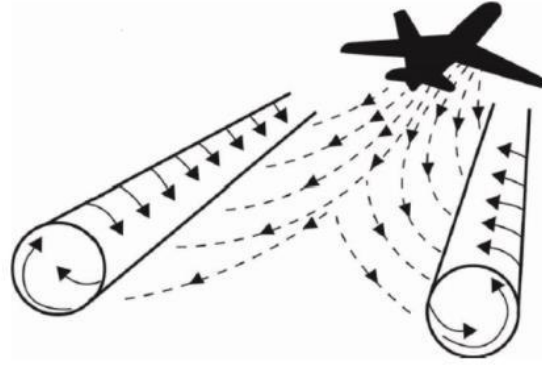
Sınıf	Maks. Kalkış Ağırlığı (kg)	Uçuş İrtifası (ft)	Seyir Hızı (kts)
Grup 1	<20	<1,200 AGL	<100
Grup 2	21-55	<3,500 AGL	<250
Grup 3	<1,320	<1,8000 MSL	<250
Grup 4	>1,320	<1,8000 MSL	Her Hız
Grup 5	>1,320	>1,8000 MSL	Her Hız

Çizelge 1.5. Türkiye'deki İHA sınıflandırması [26]

Sınıf	Maksimum Kalkış Ağırlığı (kg)
İHA 0	500 gr (dâhil) – 4kg
İHA 1	4 kg (dâhil) – 25 kg
İHA 2	25 kg (dâhil) – 150 kg
İHA 3	>150 kg

1.2.4. Kuyruk türbülansı

Kuyruk türbülansı, bir hava aracının uçmak için ürettiği taşıma kuvveti sonucunda uçağın arkasında oluşan hava kütleleri olarak tanımlanmaktadır. Kuyruk türbülansı herhangi bir uçuşun her safhasında birbirini takip eden uçaklar için tehlikeli bir durumdur (Şekil 1.2) [36].



Şekil 1.2. Kuyruk girdaplarının genel görünümü[36]

Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu (International Civil Aviation Organisation - ICAO) Doc 4444 dokümanında [37] “kuyruk türbülansı” terimini; hava kütlelerinin doğasını açıklayan “kuyruk girdabı” terimi referans alınarak, uçaklarının kanat uçlarının arkasından oluşan dönen hava kütlelerinin etkisini tarif etmek için kullanılmaktadır. ICAO emniyetli ve verimli uçuş operasyonlarını sağlamak amacıyla öndeki hava aracı ve onu izleyen uçaklar arasında olması gereken ayırma değerlerini belirtmektedir (Çizelge 1.6) [37-38]. Bu gösterim öndeki ve onu takip eden iki uçak arasındaki mesafeyi deniz mili (Nautical Mile - NM) cinsinden göstermektedir (1 NM = 1,852 km).

2008 yılında ICAO, Airbus A380'in arkasındaki kuyruk türbülansı ayırma minimasını arttırmak için ek rehberlik dokümanını yayımlayarak, “süper” olarak adlandırılan dördüncü kategoriyi tanımlamıştır. Kuyruk türbülansı kategorileri standartlarının herhangi bir şekilde değiştirilmesi ve uyumlaştırılmasının sorumluluğu ICAO'ya aittir. Bu yeniden kategorizasyon çalışmalarına iki araştırma kuruluşu öncülük etmektedir: Avrupa'daki Eurocontrol (Avrupa Hava Seyrüsefer Güvenliği Örgütü) RECAT-EU (European Wake Vortex Re-categorisation – Avrupa Kuyruk Türbülansı Yeniden Kategorilendirme) [39] ve ABD'deki FAA (Federal Aviation Administration - Federal Havacılık İdaresi) tarafından RECAT [40]. Kuyruk türbülansı yeniden kategorilendirme çalışmaları, ticari havayolu filosunu incelemekte ve küresel olarak 9 000'den fazla uçağı kapsayacak şekilde genişletilmektedir [41].

Çizelge 1.6. ICAO kuyruk türbülans ayırması [37]

		Arkadaki Uçak			
		Süper	Ağır	Orta	Hafif
Öndeki Uçak	Süper	MRS	6	7	8
	Ağır	MRS	4	5	6
	Orta	MRS	MRS	MRS	5
	Hafif	MRS	MRS	MRS	MRS

*MRS: Minimum Radar Ayırması (Minimum Radar Separation)

ICAO kuyruk türbülansı ayırma minimum değeri, aşağıdaki gibi maksimum kalkış ağırlığına göre bir uçak tipinin gruplandırılmasına dayanmaktadır [37-38]:

- H-Ağır: 136 000 kg veya daha ağır tüm hava aracı tipleri;
- M-Orta: 136 000 kg'dan daha az, 7000 kg'dan fazla hava araçları ;
- L-Hafif: 7 000 kg veya daha az hava araçları

Mesafeye dayalı ayırma standartları, gözetim teknolojileri (örneğin radar) kullanılan durumlarda 5 NM, terminal bölgelerinde 3 NM ve belirli durumlarda son yaklaşma için 2,5 NM'e kadar düşürülebilir. Kuyruk türbülansına bağlı olarak gerçekleşen kazaların % 90 'ı daha hafif uçakları (1300 kg'ın altında olanlar) içerirken, bunların yüzde doksan beşi düşük seviyelerde, örneğin uçuşun yaklaşma, kalkış ve manevra aşamalarında meydana geldiği görülmektedir. (Şekil 1.3)[42].



Şekil 1.3. 1983-2002 yılları arasındaki kuyruk türbülansına ait kaza oranları **A.** Hava aracı kategorisine göre **B.** Uçuş fazlarına göre [42]

Kuyruk türbülansının varlığının ve konumunun kesin olarak belirlenmesi zordur. Bir uçağın kuyruk türbülansının görsel olarak izlenmesine yardımcı olmak için hava aracının konumu, izi, irtifası ve hızı hakkında önceden bilgi sahibi olmak çok önemlidir. Atmosfer bilgileri, motor sesi ve titreşim (akustik imza), aydınlatma lambaları gibi kriterler bir uçağın tespit edilebilirliğini etkileyebilir. Pilotların durumsal farkındalığını destekleyen ve geliştiren bir dizi modern teknolojiler bulunmaktadır. Buna telsiz iletişimi, Otomatik Bağımlı Gözetim (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast- ADS-B), Trafik Çarpışma Önleme Sistemleri (Traffic Collision Avoidance System - TCAS) ve yerel hava seyrüsefer hizmet sağlayıcı (Air Navigation Service Provider – ANSP) tarafından sağlanan gözetim ve kontrol hizmetleri dâhildir. Bu sistemlere ek olarak kuyruk türbülansı etkilerinden kaçınmak için bir dizi yöntem uygulanabilmektedir [36]:

- Üreten uçağın uçuş yolunda ya da üstünde, ya da yanal olarak uçulmaması
- Geçiş yapan uçağın uçuş yoluna girmeden önce iniş veya kalkış yapılmaması
- Kuyruk türbülansının yoğunlukla yok olana kadar en az iki dakika beklenilmesi

ANSP, kuyruk türbülansı riskini en aza indirmek ve girdapların yeterince dağıldığından emin olmak için ayırma standartlarını uygulayarak katkıda bulunur. Hava trafiğinin içerisinde bu ayırma standartlarının uygulanması kontrollü hava sahası içerisinde kontrolörler tarafından yürütülmektedir. Geleneksel insanlı uçakların çoğundan daha hafif olan İHA'lar, kendisinden daha ağır uçakların ürettikleri kuyruk türbülansından etkilenme olasılığı daha fazladır. Kuyruk türbülansı İHA için kurtarılamayan bir tutum, taşıma kuvveti kaybı, güç kaybı ve havada çarpışmaya yol açabilecek gerçek bir tehlikedir [43].

1.2.5. Emniyetli ayırma

Uçuştaki her uçak, kuyruk girdapları üretmektedir. Bu girdaplara, seyir esnasında kanat uçlarından; yaklaşma ve iniş sırasında flapların dış uç kısımlarından gelen bir çift ters dönüşlü girdaplar neden olur. Bununla birlikte, jet motorun arkasındaki hava kütlesi de türbülansa katkıda bulunur, ancak bu ihmal edilebilir.

ATM Sisteminde hava araçlarının maksimum kalkış ağırlıklarına göre gruplandırılmış olan uçak çiftleri arasında aralıklar mesafe tabanlı olarak belirlenmiştir. Uygulanacak ayırma

minimaları, öndeki hava aracını takip eden hava araçlarının olası tehlikeleri azaltmayı amaçlanmaktadır. Kuyruk türbülansı uçağın üç boyutlu uçuş yolunun her bir noktasında yaklaşık üç dakikaya kadar devam eder ve yanal olarak 300 metreden (1000 ft) , 760 m (2 500 ft) kadar aşağıya doğru azalmaktadır [36].

Ayırma, hava araçlarının aynı alan içerisinde birbirleri ile çarpışma riskinin kabul edilebilir bir emniyetli seviyenin altındaki mesafelerde tutulduğu hava trafik hizmetlerinin (Air Traffic Service - ATS) bir parçası olan genel bir terimdir. Ayırmalar yatay ve dikey olarak uygulanabilmektedir. Yatay düzlemde ayırma, uzunlamasına (uçuş zamanı olarak ifade edilebilecek belli bir mesafe veya zaman) veya yanlamasına olarak (uçakları birbirinden belirli bir mesafede yan yana veya hava yolu merkez hattının her iki tarafındaki korunan hava sahasının genişliğini belirterek) sağlanabilir. Dikey ayırma ise irtifa veya uçuş seviyesi ile ifade edilen farklı seviyelerde uçuş operasyonu yürüten hava araçları arasında yapılmaktadır. Bazı özel durumlarda, yatay ve dikey ayırma birleştirilerek hava araçlarına uygulanabilir [44].

Uçuşun yapıldığı hava sahası sınıfı, kontrolörün hangi hizmeti vermesi gerektiğini belirlemektedir. ICAO hava sahasını A'dan G'ye yedi sınıfa ayırmış ve her bir sınıf için ayırma minimaları detaylandıran standartlar ve önerileri ilk olarak 1978'de yayınlanmıştır [37,41]. Uluslararası standartlar kontrolörün, takip eden uçağın Aletli Uçuş Kuralları (Instrument Flight Rules - IFR) altında uçtuğu zaman, bu uçağa bir ayırma sağlamasını gerektirir [45].Görerek Uçuş Kuralları (Visual Flight Rules - VFR) altında ise verilen hizmet, tavsiye hizmeti olup, VFR hava aracını manialardan ve diğer hava araçlarından emniyetli ayırma sorumluluğu pilota aittir.

Kuyruk türbülansına maruz kalan bir İHA, hızına ve irtifasına bağlı olarak taşıma kuvvetinde bir azalma veya bir taşıma kaybına neden olabilir. Kuyruk türbülansına maruz kalan bir İHA'da kontrol kaybı meydana gelirse, hava aracında risk altında olacak hiçbir yolcu olmaması nedeniyle sonuçlar daha az tehlikeli olabilir. Ancak böyle bir durumda diğer etkileşimlerin dikkate alınması önemlidir. İHA tarafından oluşacak bir çarpma, mülke veya insanların zarar görmesine neden olabilir. Kontrolsüz bir şekilde düşen İHA, inişi sırasında diğer uçaklarla çarpışabilir.

İnsanlı havacılıkta pilotların hava aracında yer alması, kuyruk türbülansı zarfını görmesi ve bir karşılaşma meydana gelirse duyuşal ve görsel duyularla tepki vermesi avantajına sahiptir. İHA pilotu ile hava aracının farklı yerlerde olması nedeniyle, İHA

pilotunun kuyruk türbülansına tepki verecek duyuşal ve görsel referanslara sahip değildir. Algıla ve sakın sistemlerinin, türbülanslı havanın konumunu değerlendirmek için İHA pilotuna yeterli bilgi sağlama olasılığı da düşüktür. Herhangi bir kuyruk türbülansı durumunda İHA pilotunun yanıt verme süresi, insanlı hava aracına göre daha yavaş olabilir [13].

İHA'lara özgü kuyruk türbülansı kategorisi henüz formüle edilmemiştir [13,43]. ICAO Cir 328 dokümanında [29], İHA sistemlerinin ATM sistemi içerisinde rutin hizmete girmesi için, mevcut kuyruk türbülansı kategorilerinin ve ilişkili ayırma standartlarının veya prosedürlerinin gözden geçirme ihtiyacı olduğu vurgulanmaktadır. İHA'ların ayrılmamış hava sahasında uçuş operasyonlarını ve sivil havacılık düzenlemelerindeki gereklilikleri yerine getirmek için etrafındaki hava trafiğini algılama ve bunlardan kaçınma yeteneklerine sahip olması gerekir. Bunu yerine getirmesi için geliştirilen algıla ve sakın işlevi, İHA'nın diğer uçaklardan emniyetli mesafede kalmayı sağlamaktadır [14,46-49].

1.2.6. Hava sahası ve gereklilikler

Hem insanlı hem insansız hava araçları ATM sistemindeki hava sahası kullanıcılarındandır. Burada ifade edilen hava sahası kullanıcıları terimi, temel olarak hava araçları, bunları işleten kuruluşları ve pilotlarını ifade eder. ATM operasyonel kavramı içerisinde, üç hava sahası kullanıcıları sınıflandırması göz önünde bulundurulur [50]:

- ICAO uyumlu insanlı uçuş operasyonları (bugüne kadarki en büyük segment);
- ICAO uyumlu olmayan insanlı uçuş operasyonları;
- İnsansız hava araçlarının uçuş operasyonları

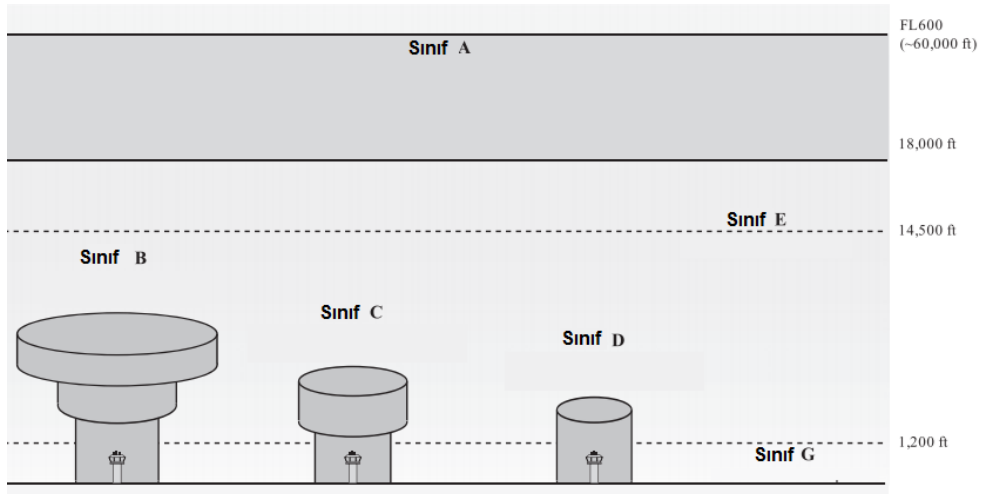
Büyüyen bir hava sahası kullanıcıları bölümü olan İHA uçuş operasyonları, İHA teknolojisinin hem sivil hem de askeri uygulamalarını içerir. Bazı durumlarda, İHA teknolojisi, geleneksel uçakların veya helikopterlerin kullanımından daha uygun maliyetli bir çözüm olarak görülmektedir. Bununla birlikte, sivil İHA'ların ayrılmamış hava sahasındaki uçuş operasyonları için ortaya çıkan gereksinimleri yenidir ve bu tür işlemler için genel kabul görmüş düzenleyici bir çerçeve hala tam gelişmiş değildir [50].

İHA sistemlerinin günümüzde ayrılmış hava sahaslarında uçuş operasyonları gerçekleştirmektedir. Buradaki ayrılmış hava sahası, İHA operasyonları

için NOTAM (Notice to Airmen) ile yayımlanmış belirli bir sahayı ifade etmektedir [26,45,51-52]. Diğer bir ifade ile ayrılmış hava sahası, ilgili uçuş bölgesinin İHA uçuşu için tahsis edilmesi yani bloklanmasıdır. Ayrılmış hava sahası dışında kalan alanlar ayrılmamış hava sahası olarak ifade edilmektedir. İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına entegrasyonunda, mevcut hava trafik yönetimi içerisindeki emniyet, kapasite ve uçuş operasyonlarını etkilemeden ve diğer kullanıcılara karşı bir risk oluşturmadan gerçekleştirilmesi beklenmektedir.

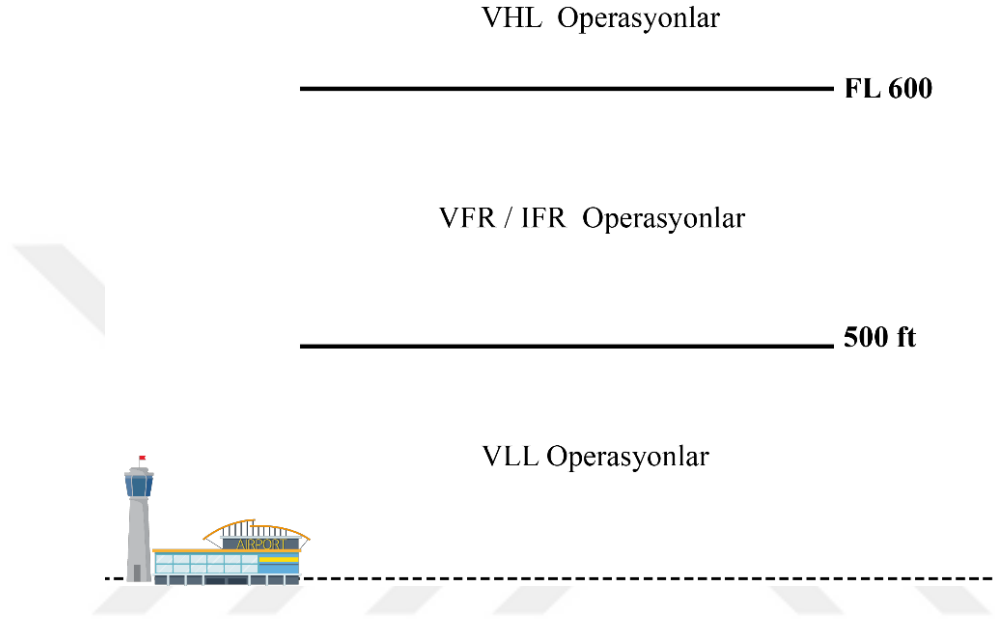
İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasındaki entegrasyonunun sağlamasındaki ilk adım, ilgili hava sahasının belirlenmesidir. ICAO Annex 11 [45] dokümanına göre, ICAO hava sahası sınıflandırmasında ilk beş sınıf (A,B,C,D,E) kontrollü hava sahaları iken, kalan iki tanesi (F,G) ise kontrolsüz hava sahasıdır. Bu yaklaşımda her hava sahası için hava trafik hizmeti ve uçuş gereklilikleri değişmektedir (Şekil 1.4). Hava sahalarının sınıflandırılmasında kullanılan başlıca kriterler şu şekildedir [45]:

- Emniyet
- IFR Trafik Hacmi
- Hava Trafik Hizmet Seviyesi
- Trafik Yoğunluğu
- Meteorolojik şartlar vb.



Şekil 1.4. Hava sahasının örnek sınıflandırılması [45]

Diğer taraftan Eurocontrol, İHA sistemleri için hava sahasını üçe ayırmaktadır. Şekil 1.5’de gösterilen bu yaklaşımda, ATM sisteminin, İHA’lara göre uyumlu olması değil, İHA sistemlerinin mevcut ve gelecekteki ATM sistemine uyumlaştırılması öngörülmektedir. Böylelikle mevcut ATM kullanıcılarına ek olarak risk ve iş yükü getirilmemesi amaçlanmaktadır [53-55] .



Şekil 1.5. İHA sistemlerinin hava sahası sınıflandırılması [54]

- **VHL (Very High Level) Operasyonlar:** FL600 üstü ve yörünge altı IFR operasyonlarını içermektedir.
- **IFR veya VFR operasyonlar:** İnsanlı havacılığa uygulanan benzer kuralları içermektedir.
- **VLL (Very Low Level) Operasyonlar:** 500 ft altında gerçekleştirilen operasyonları içermektedir.

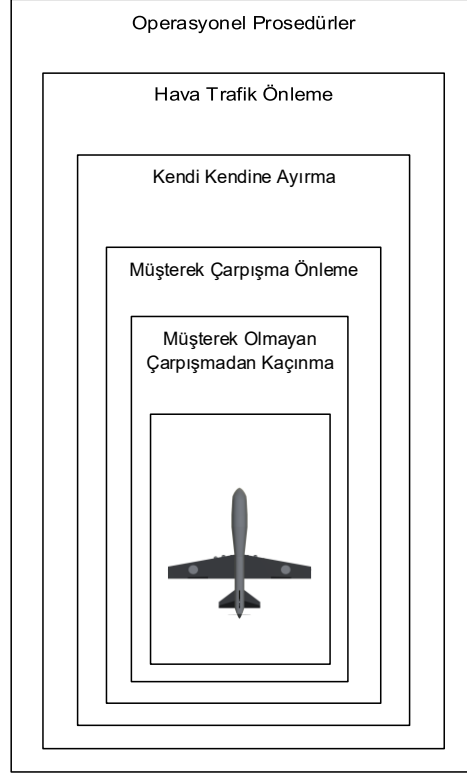
Diğer taraftan farklı boyut, tip ve konfigürasyondaki İHA sistemlerinin uçuş operasyonlarını gelecek konjonktürde 500 ft ile FL600 arasındaki yapacağı ve bunun sonucunda insanlı IFR/VFR operasyonlarını etkileyeceği değerlendirilmektedir. Bu etkinin olumsuz yönlerini en aza indirmek amacıyla, aşağıdaki hususların İHA’lar için incelenmesi ve geliştirilmesi, bu sistemlerin mevcut ve gelecekteki ATM sistemine emniyetli entegrasyonunda önemli olduğu değerlendirilmektedir [37,45,53-54,56-59].

- a) Emniyet Katmanları
- b) Operasyonel Kavramlar
- c) Beklenmedik Olaylar

1.2.7. Emniyet katmanları

İHA sistemlerinin diğer hava araçları ile çarpışma olasılığını azaltmak amacıyla sunulan farklı mekanizmalar Şekil 1.6'da gösterilmektedir. Bu gösterimde hava aracına en yakın iç iki katman, herhangi bir sebeple minimum ayırmanın kaybolduğu durumda, en yakınındaki hava aracından çarpışmayı önlemek amacıyla algılama (sense) ve sakınma (avoidance) mekanizmalarını içermektedir [59].

En temelde algı ve sakın sistemleri iki ayrı işlevin performansı olduğu söylenebilir: kendi kendine ayırma (self separation) ve çakışmadan kaçınma (collision avoidance). Kendi kendine ayırma, tamamen uçuş kurallarına uygun (right of ways) manevralar yoluyla, diğer uçaklardan emniyetli ayrılma yeteneğidir. Çakışmadan kaçınma yakın bir çakışmayı önlemek için yürütülen bir fonksiyondur ve tipik olarak daha agresiftir.



Şekil 1.6. İHA emniyet katmanları [59]

Dışardan içeriye doğru ilk emniyet katmanı ICAO tarafından tanımlanan uluslararası operasyonel prosedürler (IFR ve VFR) ile verilmiştir. Dahası ATC tarafından sunulan trafik bilgisi, geciktirme yöntemleri ile yol müsaadelerine ek olarak yer gözetimi hava trafik katmanını oluşturmaktadır. Şekil 1.6'daki diğer iki emniyet katmanı ise insanlı hava araçlarında kullanılan ADS-B ve TCAS gibi sistemlerin kullanıldığı teknolojik emniyet katmanıdır [15]. Son olarak, insanlı havacılıkta pilotun diğer trafiği görme ve onunla çarpışmayı önleme kabiliyeti, bu emniyet konsepti içinde en içteki katmanı oluşturmaktadır. İHA'lar için, en içteki katman ise zaman zaman İHA operatörlerini uyarmak için farklı sensör girişlerini, TCAS ve ADS-B verilerini ilişkilendiren, bunları algılayan ve önleyen teknolojiyle (örn. algıla ve sakın) sağlanabilir. İHA otomasyon seviyelerine bağlı olarak uygun kaçınma manevrasını otomatik olarak yapması beklenmektedir. Emniyet açısından insanlı ve insansız hava araçları arasındaki azami eşdeğerlilik beklentisi, insanlı hava araçlarındaki emniyet katmanlarının İHA sistemleri için de sahip olmasını gerektirmektedir [60]. Diğer taraftan İHA sistemlerinin gelecek talebini karşılamak ve hava sahasını etkin kullanabilmek amacıyla İHA sistemine özgü emniyet katmanının oluşturulması kapasite ve emniyet açısından önemli avantajlar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

1.2.8. Operasyonel kavramlar

İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına emniyetli entegrasyonu için yüksek dereceli önem taşıyan operasyonel kavramlar (Concept Of Operations – CONOPS), genel bir yaklaşımla gerekliliklerin ve uygulama sürecinin yer aldığı kısımlardır [12-13,25,61]. İnsansız Sistemler için Kural Koyucu Müşterek Otoriteler (Joint Authorities on Rulemaking for Unmanned Systems - JARUS) hazırladığı açıklayıcı tanımlamalar dokümanında [62] operasyonel kavramları şu şekilde tanımlamaktadır: “Bir kullanıcının bakış açısıyla önerilen bir sistem için, sistem özelliklerini tanımlayan kullanıcı odaklı bir belgedir. Bir CONOPS ayrıca, kullanıcı organizasyonunu, misyonunu ve hedeflerini bütünleşik bir sistem açısından açıklar ve paydaşlara genel olarak nicel ve nitel sistem özelliklerini iletmek için kullanılır”. İHA sistemleri için oluşturulan operasyonel kavramlar, İHA'ların üzerindeki sistemleri kadar değişkendir. Bu değişiklikler görev ihtiyaçları, istenen yetenekler, risk toleransı ve çevresel koşullar dâhil olmak üzere dikkate alınması gereklidir. Operasyonel kavramların içeriğinde bulunması gereken en temel bilgiler aşağıdaki şekilde sıralanmıştır.

- a) Genel Gereklilikler,
- b) Operasyonel Sistem Tanımlamaları,
- c) İHA Sistemleri ve Hava Sahalarının Tanımlanması,
- d) Emniyetli Ayırma Katmanlarının Tanımlanması,
- e) İHA Sistemlerinin Uçuş Operasyonlarının Tanımlanması,
- f) Beklenmedik Olay Uçuş Operasyonlarının Tanımlanması vb.

Operasyonel kavramlar, yer ve hava operasyonları olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Bu iki kısımın birlikte operasyonel kavramlar altında bir İHA sisteminin ilgili hava sahasındaki uçuş operasyonlarını nasıl yapılacağına cevap verir.

1.2.9. Beklenmedik olaylar

Hava trafik kontrolörleri uçuş operasyonları sırasında, hava araçlarının her zaman nasıl hareket edeceğini bilmek isterler. Hava trafik kontrolör bakış açısı ile en temel zorluk İHA sistemlerinin acil durum veya beklenmedik durumları icra ederken beklenmektedir. Çünkü İHA sistemlerinin herhangi bir olumsuz durumda otonom olarak nasıl manevra yapacağı hava trafik kontrolör tarafından tahmin edilebilir değildir. Beklenmedik durumlara en temel sorun pilot ile İHA ve pilot ile kontrolör arasındaki link kaybı verilebilir. Böyle bir durumda İHA sistemi “eve dön” moduna geçer. Bu tür manevralar ise hali hazırda tanımlanmış ve standartlaştırılmış değildir. Böyle bir beklenmedik durumda İHA sistemi aşağıdaki durumları gerçekleştirebilir:

- a) İHA kalktığı yere doğrudan uçar
- b) İHA ön tanımlı acil durum hava alanına doğrudan uçar
- c) İHA tekrar iletişim kurmak için tırmanma paternini uygular
- d) İHA acil durum sonlandırma yerine doğru uçar vb.

Bu tür teknolojik gelişmeler hala gelişme aşamalarında olduğundan insanlı hava araçları arasında daha büyük ayırma minimaları uygulanabilir (10 NM yatayda, 2,000 ft dikeyde) [60]. Ancak böyle bir durumda hava sahasının kapasitesinin önemli derecede etkilenecektir.

İlgili hava sahasındaki IFR/VFR trafiklerde operasyon yapan tüm İHA sistemlerinin, hava sahasındaki gereklilikleri, insanlı hava araçlarıyla aynı şekilde yerine getirmesi beklenmektedir. Eğer İHA sistemi mevcut standart geliş rotası (Standard Arrival Route - STAR) ve standart aletli kalkış prosedürlerini (Standard Instrument Departure – SID) icra edecek kabiliyetlere sahip değilse, ek geliş ve kalkış prosedürlerinin geliştirilebileceği vurgulanmaktadır [54]. Diğer taraftan, uçuş operasyonunu tehlikeye atabilecek herhangi bir İHA sistemi arızasında, beklenmedik olaylar uçuş prosedürleri ile uçuşun emniyetli ve verimli sonlandırılması amaçlanmaktadır. Bu prosedürler, uçuşun icra edilmeden önce uçuş planına yazılması beklenmektedir. Tüm sorumlu İHA uçuş ekibine, uçuş öncesi briefinglerinin bir parçası olarak beklenmedik durumlar hakkında bilgi verilmesi gerekmektedir. İHA sistemlerinin uçuşunu tehlikeye atacak bazı durumlar şu şekilde sıralanabilir [63]:

- a) Haberleşme linkinin kaybı
- b) Kontrol linkinin kaybı
- c) Kontrolör ile haberleşme linkinin kaybı
- d) Motor arızası
- e) Algı ve Sakın sisteminin kaybı vb.

1.2.10. Uluslararası çalışmalar ve yasal çerçeve

Günümüzde gerek sivil gerekse askeri alanda çeşitli kurum ve kuruluşlar, İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına entegrasyonu konusunda çalışma yürütmektedir [20]. İHA'ların askeri ve sivil operasyonlarda artan kullanımı ile birlikte kurumlar ve üniversiteler İHA'ların ayrılmamış hava sahalarında uçuş yapabilmeleri için ortak bir yönelim belirleyerek, sanayi ve devlet masraflarını azaltmak amacıyla yasal düzenlemelerin oluşturulmasında önemli ilerlemeler kaydetmektedir.

Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi NASA (National Aeronautics and Space Administration) tarafından geliştirilen UTM (İHA Trafik Yönetimi - UAS Traffic Management) kavramı, İHA sistemlerinin düşük irtifalardaki emniyetli ve verimli uçuşların sağlanması amacıyla oluşturulmuştur. Günümüzde İHA sistemleri kargo/ürün teslimatı, arama kurtarma, tarımsal izleme, altyapı gözlemleme vb. gibi sivil amaçlı birçok uygulamada kullanıldığı görülmektedir. Geliştirilen UTM kavramı ile NASA, İHA'ların

düşük irtifalardaki uçuş operasyonları için hava sahası tasarımı, dinamik coğrafi modelleme, tıkanıklık yönetimi ve manıadan kaçınma gibi konularda önemli araştırmalar yapmaktadır. UTM kavramında, her bir insansız hava aracının bir insan operatörü ile izlenmesi yerine, uçuşun başlama, devamı ve sonlandırılması aşamalarında stratejik karar gerektiren durumlarda İHA operatörlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumun sağlanması için de hava sahasında sadece kabul görmüş, doğrulanmış İHA'ların uçuş operasyonlarına izin verilmesi gerekliliğini doğurmaktadır. Bu kavramda, İHA'ların belirtilen hava sahasında otonom uçuş operasyonları için üç özellik öne çıkmaktadır. Bunlar [64-65]:

- a) Otonom Yapılanma
- b) Otonom En İyileme
- c) Otonom Korunma

NASA, yakın dönemde İHA sistemlerinin düşük irtifalı emniyetli uçuş operasyonları için sistem geliştirme, test ve uygulama çalışmalarını bir seri iş planı çerçevesinde yürütmektedir. NASA, yakın dönemli hedeflerini; 500 ft altında uygulamaların coğrafi ihtiyaçları göz önüne alarak, performans tabanlı hava sahasının kurallarının belirlenmesi ve coğrafi alanın statik ve dinamik olarak modellenmesi ile gerçekleştirmektedir. NASA uzun dönem hedefi ise İHA sistemlerinin artan kullanımını karşısında emniyet, verimlilik ve kapasitenin artırılmasının sağlanmasıdır [65].

İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına saydam ve emniyetli entegrasyonunda standartların geliştirilmesi aşamasının önde gelen gruplardan biri Havacılık Radyo Teknik Komisyonu RTCA (Radio Technical Commission for Aeronautics) SC-228 komitesidir (2004'de SC-203 olarak kurulmuş, 2013 yılında SC-228 adını almıştır). SC-228 komitesi ile İHA sistemleri için minimum operasyonel performans standartları (MOPS- Minimum Operational Performance Standards) çalışmaları yürütülmektedir. Türkiye'nin de temsilcilerinin bulunduğu komitenin çalışmaları iki alanda yoğunlaşmıştır: Algı ve Sakın ile Kontrol ve Haberleşme Veri Linkleri [66].

Tek Avrupa Hava Sahası Hava Trafik Yönetimi Araştırmaları SESAR (Single European Sky ATM Research) girişimi, Avrupa hava sahasında ileriki yıllarda planlanan İHA sistemlerinin sivil hava sahasına entegrasyonu kapsamında, Ar-Ge faaliyetleri yürütmektedir. SESAR tarafınca organize edilen çalışmalar sonucunda, ilgili çalışma

raporlarında, İHA sistemlerinin entegrasyonu sonucunda ortaya çıkabilecek sorunların giderilmesi, mevzuatların geliştirilmesi ve özellikle İHA pilotu ve hava trafik kontrolörün bakış açıları değerlendirilerek çözüm önerileri sunulmaktadır. SESAR, İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına entegrasyonunun Avrupa Birliğinin ATM master planı ve ICAO'nun Havacılık Sistemini Bloklayan/Sınırlayan Güncellemeler ASBU (Aviation System Block Upgrades) konseptine eş zamanlı yürütülmesini istemektedir. SESAR içerisindeki İHA sistemlerinin entegrasyon çalışmaları şu şekilde ilerlemektedir [67-68]:

- I. Tanımlama safhası
- II. Anahtar teknolojilerin araştırılması
- III. Konsept uygunluğunun desteklenmesi
- IV. Düzenleme çerçevesinin hazırlanması
- V. Konsept Transferi

Sivil Havacılık Ekipmanları için Avrupa Organizasyonu EUROCAE (European Organisation for Civil Aviation Equipment), WG-73 çalışma grubunda İHA sistemlerinin hava sahasının tümünde kapasiteyi azaltmadan ve mevcut emniyeti etkilemeden insansız uçuş operasyonlarının gerçekleştirilmesini hedeflemekte ve buna göre çalışmalar yürütmektedir. WG-73, geliştirdiği standartları Avrupa Havacılık Emniyet Ajansı EASA (European Aviation Safety Agency) ve Avrupa ulusal havacılık otoritelerine önermektedir. Başlangıçta, WG-73 grubu İHA sistemlerinin tüm hava sahasına entegrasyonundaki problemlerin çözümünü denemiştir. Fakat son çalışmalar bunun zor bir problem olduğunu kanıtlamıştır. WG-73, İHA sistemlerinin sadece A,B ve C hava sahasındaki entegrasyon çalışmalarını temel almaktadır [56,69].

Avrupa Birliği öncülüğünde havacılık otoriteleri ve sektörün paydaşlarının katılımıyla 2015 yılında Riga deklarasyonu yayınlanmıştır. Deklarasyonun amacı, ileride önemli iş ve pazar potansiyeli bulunan İHA sistemlerinin entegrasyonun emniyetli ve verimli gerçekleştirilmesi için ana başlıkların belirlenmesi ve bu çerçevede çalışmaların yürütülmesidir. Bu kapsamda beş başlıkta mutabık kalınmış ve deklarasyon yayınlanmıştır [70]:

- a) İHA'ların riske dayalı ilgili operasyonlarında, yeni bir hava aracı modeline benzer orantılı kurallara ihtiyacı vardır.

- b) İHA operasyonlarının emniyetinin sağlanması için Avrupa Birliği kurallarının şimdiden geliştirilmesine ihtiyaç vardır.
- c) İHA'ların tamamen Avrupa hava sahasına entegrasyonu için teknolojilerin ve standartların geliştirilmesi gerekmektedir.
- d) İHA hizmetlerinin gelişiminde kamunun (toplumun) kabulü anahtar bir rol üstlenmektedir.
- e) İHA kullanıcıları, İHA'ların kullanımından sorumludur.

Ülkemizdeki SHGM tarafınca yayımlanan en güncel İHA mevzuatı, İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatıdır (SHT-İHA). 2019 yılında üçüncü revizyonu çıkan talimat, Türk Hava Sahasında işletilecek veya kullanılacak sivil İHA sistemlerinin ithali, satışı, kayıt ve tescili, uçuşa elverişliliğin sağlanması, sistemleri kullanacak kişilerin sahip olması gereken nitelikleri, hava trafik hizmetleri ve İHA operasyonlarına ilişkin usul ve esasları belirlemek amacıyla hazırlanmıştır [26].

1.2.11. Entegrasyon temelleri

İHA sistemleri, insanlığa fayda sağlayan çok çeşitli sektörlerde, yenilikçi sivil uygulamalarda, büyük bir potansiyel ile birlikte yeni iş imkânları ve mesleklerin ortaya çıkmasına katkıda bulunmaktadır. Önümüzdeki 20 yıl içerisinde Avrupa'da İHA sektörünün 100 binden fazla kişiye doğrudan istihdam ve her yıl 10 milyar dolar ekonomik katkı oluşturması beklenmektedir [58].

ATM sistemi perspektifinden bakıldığında, gelecekteki İHA operasyonlarının benzersiz bir dizi etkileri olabileceği öngörülmektedir. Bu etkilerin temelinde birden çok faktör bulunmaktadır. İlk olarak, İHA tasarımları ve yetenekleri çok çeşitli olduğundan, performans özellikleri insanlı uçaklardan önemli ölçüde farklıdır. İHA'ların ağırlıkları birkaç gramdan binlerce kilograma kadar değişmektedir. Birçoğu manevra kabiliyetleri zayıf iken, diğerleri ise yüksek irtifada çok yüksek hızlarda çalışmaktadır. Havada kalma süreleri ise hava aracına ve göreve bağlı olarak saatler ve aylar mertebesine kadar uzanmaktadır. Birlikte ele alındığında, bu varyasyonlar hava trafik işlemlerini önemli ölçüde etkileme potansiyeline sahiptir, ancak geleceğin ATM sisteminde İHA ile ilgili ek karmaşıklığı yönetmek için daha iyi bir donanıma sahip olması beklenmektedir [3].

İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasında entegrasyonu, teknolojik ilerlemeler ve ilgili prosedürlerin geliştirilmesine dayanan kademeli bir süreçtir. Süreç hava sahasına sınırlı erişim ile başlaması beklenmektedir. Bu süreçte tüm İHA sistemlerinin entegrasyonu ise zor ve maliyetli olacağı belirtilmektedir. İnsanlı uçaklarda olduğu gibi, İHA sistemleri ICAO Annex 2'ye [58] uymakla yükümlüdür. Diğer uçakların üzerinden, altından veya önünden geçmekten kaçınmalıdırlar, aksi halde uçakların kalkış türbülansının etkisi hesaba katılmazsa emniyetli ayırma ihlal edilir. İHA sistemlerinin insanlı hava araçlarına nazaran küçük boyutu olması nedeniyle, pilotlar görsel temasta bulunmakta zorlanabilir [13].

İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına entegrasyonu konusundaki kilit teknolojilerin olgun ve standart hale gelmediğinden dolayı, dünyadaki tüm uzmanlar, bu entegrasyonun aşamalı ve evrimsel olacağı konusunda hemfikirdir. Diğer bir deyişle İHA sistemlerinin sivil uygulamalarının başlangıcında belirli şartlar altında kısıtlı erişim olması, daha sonra teknoloji ve düzenlemelerin ilerlemesi ile kısıtlamaların azaltılması ve en nihayetinde tam entegrasyon beklenmektedir. İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasındaki uçuş operasyonlarının ise (ATC operasyonları da dâhil olmak üzere) insanlı havacılık ile eşdeğer olması beklenmektedir [11].

Hava trafik kontrolörleri, ilgili hava sahasında uçuş operasyonu yapan İHA sistemlerinin performans özellikleri (hız, tırmanma-alçalma-dönüş oranları, havada kalma süresi, iletişim gecikmesi vb.) hakkında genel bir bilgiye sahip olmalıdır. Hava aracı üzerinde bir pilotun bulunmaması, İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına entegrasyonunda bazı özel/benzersiz prosedürler gerektirecektir. Prosedürler, uygulanabilir olan en geniş ölçüde, insanlı uçaklar için geliştirilmiş prosedürlerle özdeş olmalıdır [13].

İHA sistemleri mevcut havacılık kurallarına uymak zorundadır. Başka bir deyişle, İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına entegrasyonu, mevcut hava sahası kullanıcıları üzerinde olumsuz etki yapmaması ile gerçekleşmesi beklenmektedir. Emniyetin etkilenmesi, mevcut operasyonların aksamaması, ATC prosedürlerinin değişmemesi ve hava araçları üzerine ek zorunlu ekipman getirmemesi bu etkilere örnek verilebilir [11].

Günümüzde ayrılmış hava sahasının İHA sistemleri için ayrılması, ATM sistemi içerisindeki tüm kullanıcıların operasyonel kabiliyet ve limitlerini kısıtlamakta ayrıca operasyon esnekliğini de azaltmaktadır. Bu nedenle gelecekte hedeflenen emniyetli ve verimli bir entegrasyonun temelleri şu şekilde sıralanabilir [71-72]:

Genel

- a) İHA sistemleri mevcut ve gelecekteki düzenlemeler ve prosedürlere uymak zorundadır.
- b) İHA operasyonları diğer kullanıcılara risk oluşturmamalıdır.
- c) İHA sistemleri entegrasyonu diğer kullanıcılara ek ekipman gerekliliği getirmemelidir.
- d) Mümkün olduğunca İHA operasyonları insanlı hava araçlarına eşit olmalıdır.

ATM Entegrasyonu

- a) ATM entegrasyonu, hava sahasındaki diğer mevcut kullanıcılara olumsuz etkide bulunmamalıdır.
- b) ATM entegrasyonunda kontrolörler şeffaf şekilde uyumlaştırılmalıdır.
- c) İHA sistemleri ATC kural ve prosedürlerine, insanlı hava araçlarında olduğu gibi uymalıdır.
- d) İHA sistemleri uçuş operasyonlarını yapacakları (kontrollü ve kontrolsüz) hava sahasındaki gerekliliklere uymalıdır.
- e) İHA pilotları, İHA'ların iletişim ve haberleşme performanslarını kontrol istasyonundan sürekli takip etmelidir.

Diğer Gereksinimler

- a) Entegrasyon, mevcut havacılık emniyet seviyesine taviz vermemeli ve riski artırmamalıdır.
- b) İHA sistemleri uçuş operasyon yapacakları hava sahasında minimum gerekli ekipmanlara sahip olmalıdır.
- c) İHA sistemleri ayırma sağlayıcı ve çarpışma önleyici, onaylı metotlara sahip olmalıdır.
- d) Görüş hattı haricindeki tüm İHA uçuş operasyonlarında algıla ve sakın sistemleri olmayanlara izin verilmemelidir.

İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına olan talebe karşılık olarak ICAO Annex 2 [58] dokümanını, 2014 yılında yapılan Amendment 43 [73] ile güncellemiştir. Dokümanda genel İHA uçuş operasyon kuralları şu şekilde özetlenmiştir:

- a) Uluslararası uçuş operasyonlarında, İHA'nın kalkış yaptığı Devletin izni olmadan işletilmeyecektir.
- b) Bir İHA, uçuşun yürüteceği her devlet tarafından verilen özel bir izin olmadan başka bir ülkenin sınırları boyunca işletilemez. Bu izin, ilgili Devletler arasında anlaşmalar şeklinde olabilir.
- c) Uçuş planları uçuşun yürüteceği Devlet (ler) tarafından aksi belirtilmedikçe zorunlu kılınarak sunulacaktır.
- d) Uçuş operasyonunun yapılacağı hava sahası için İHA sistemi, performans ve ekipman taşıma gerekliliklerini yerine getirmelidir.
- e) İHA sistemleri, ulusal yönetmeliklere ve ICAO Annex 8 [74] hükümlerine uygun bir şekilde çıkarılan uçuşa elverişlilik sertifikasına sahip olmalıdır.
- f) İHA operatörü ulusal yönetmeliklere ve ICAO Annex 6 [75] hükümlerine uygun bir şekilde düzenlenmiş bir İHA operatör sertifikasına sahip olmalıdır.
- g) İHA pilotu, ulusal mevzuata ve ICAO Annex 1 [76] hükümlerine uygun bir şekilde lisanslı olmalı veya lisans geçerliliklerini korumalıdır.

Herhangi bir İHA'nın uluslararası uçuş operasyonları gerçekleştirmesi için yetkilendirme talebi Devletler tarafından aksi belirtilmediği sürece, İHA'nın amaçlanan uçuş tarihinden en az yedi gün önce işletilecek Devlet (ler) in ilgili makamlarına yapılır. İzin talebinde yer alması gereken bilgiler ilgili dokümanlarda belirtilmiştir [58,73].

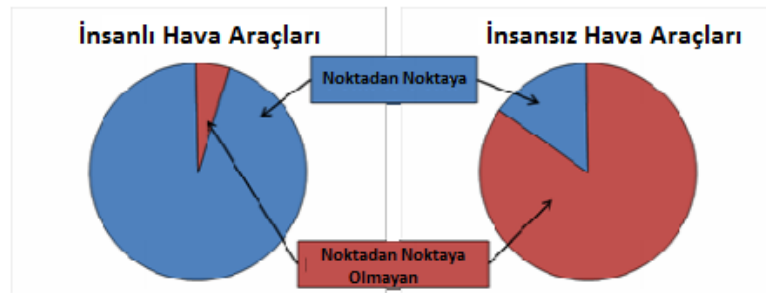
1.3. Literatür incelemesi

İHA sistemlerine olan ilgi dünya genelinde gün geçtikçe artmaktadır. İHA'ların kullanımı her ne kadar avantajları içinde barındırsa da sivil alandaki kullanımı, askeri alandaki kullanımına göre daha yavaş ilerlediği görülmektedir. Mevcut durumda, İHA'ların görevleri, emniyet ve güvenlik nedenleriyle sıkı bir yetkilendirme süreci ile sınırlandırılmış ve ayrılmış hava sahasında yapılması şeklinde yönlendirilmektedir. İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına entegrasyonu ise, gelecekte bu sistemlerin kabul görmesi açısından hala en büyük zorluklardan birisidir. İHA'ların geleneksel insanlı hava araçlarında olduğu gibi tercihen bazı operasyonel uygulamalara uyması, emniyetli entegrasyon için zorunludur. Bu nedenle İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına emniyetli ve verimli bir şekilde entegrasyonunun gerçekleştirilmesi amacıyla ulusal, bölgesel ve uluslararası

çalışmalar yürütülmektedir. En nihayetinde geliştirilen kavram ve prosedürlerin temeli, insanlı ve insansız hava araçları arasındaki azami eşdeğerliliğe dayanmaktadır [15].

ICAO, küresel sivil havacılığın sürdürülebilir gelişimi için İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına entegrasyonu konusunu önemli bir vizyon olarak görmektedir. Bu amaçla ICAO, İHA sistemlerinin ATM entegrasyonu sırasında mevcut emniyet seviyesinin ve çevresel etkilerinin korunmasına dikkat çekmektedir. ICAO, ASBU blokları [77] çerçevesinde 2030 yılına kadar uçuşa elverişlilik, sertifikasyon, insan performansı, lisanslandırma ve eğitim, algı ve sakın sistemleri, hava trafik yönetimi, çevre, emniyet, frekans spektrumu, kumanda ve kontrol, haberleşme gibi konularda zaman çizelgesi belirleyerek adım adım İHA sistemlerinin entegrasyonu ile ilgili konuları çözüme kavuşturmaya çalışmaktadır [67].

FAA; hava sahasının kapasite ve verimliliğinin artırılması, çevresel etkilerini azaltarak emniyetin sağlanması için konsept ve program geliştirme çalışmalarını NextGen (Next Generation Air Transportation System - Yeni Nesil Hava Taşımacılığı Sistemi) programı kapsamında yürütmektedir. NextGen programının amacı hava trafik operasyonlarının emniyet, güvenlik, kapasite ve verimliliğinin önemli derecede artırılması ve bunu yaparak ülkenin ekonomik refahın gelişmesini sağlamasıdır. Küçük boyutlu, piston motorlu İHA'ların çoğu öncelikli olarak kontrollü hava sahası dışında VFR koşullar altında, daha büyük boyutlu ve jet motorlu İHA'lar ise kontrollü hava sahası dâhilinde IFR kuralları altında operasyon yapması beklenmektedir. İHA sistemlerine ait yeni tipteki operasyon çeşidinde (noktadan noktaya olmayan), noktadan noktaya uçuşlardaki tekrarlanabilme ve tahmin edilebilme özelliklerinin olmayacağı öngörülmektedir (Şekil 1.7) [71]. Bu nedenle İHA sistemlerine ait operasyonel konseptlerin geliştirilmesinde bu özellikleri destekleyici bazı özgün önerilerin sunulması (ön tanımlı yollar, bekleme paternlerinin tanımlanması, beklenmedik olayların tanımlanması vb.) önemli bir ihtiyaç olarak görülmektedir.



Şekil 1.7. İnsanlı ve insansız sistemlerinin operasyonel kullanım karşılaştırması [71]

SESAR girişimine göre, İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına emniyetli entegrasyonunda ilk aşama haberleşme, seyrüsefer ve algıla sakın gibi sistemler için temel gerekliliklerin belirlenmesidir. İkinci aşama ise gelecek ATM sürecinde İHA pilotları, kontrolörler ve diğer hava sahası kullanıcıları arasındaki sorumluluk ve rollerin tanımlanmasıdır. Son olarak İHA sistemlerinin normal operasyonlarındaki uçuş fazlarının analizi için gerekli yüksek seviyeli ara yüzlerin kurulumunu içermektedir. SESAR girişimine göre ayrılmamış hava sahası iki gruba ayrılmaktadır: kontrollü ve kontrolsüz hava sahası. Burada dikkat edilecek husus, ATC ile İHA pilotu arasındaki haberleşme linkidir. Bu linkin insanlı hava araçlarında olduğu gibi benzer performanslara sahip olunması beklenmektedir. Kontrolsüz hava sahasındaki operasyonlarda ATM sisteminde ayırma tavsiyesi verilmez, tüm sorumluluk İHA pilotuna bırakılmıştır. Bu nedenle herhangi bir veri linki kaybında emniyet seviyesini artırıcı ek seçenekler düşünülmelidir. İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına genel bir yapı oluşturmak amacıyla İHA uçuşları üç faza ayrılmıştır [68]:

- a) Uçuşa Hazırlık
- b) Uçuş İcrası
- c) Uçuş Sonlandırması

İnsanlı havacılık sisteminde meydana gelen kazaların yüksek oranda insan kaynaklı olduğu bilinmektedir. İHA sistemlerinin kaza oranlarının ise insanlı havacılığın ilk yıllarındaki oranları ile eşdeğer olduğu görülmektedir. İHA kazalarının ilk yıllarında meydana gelen kazaların, her ne kadar ekipman kaynaklı olduğu belirtilse de, son yıllarda bu oran ağırlıklı bir şekilde operatör kullanımı kaynaklı olduğu görülmektedir [79]. İHA sistemlerinin kaza oranlarının insanlı havacılığa göre yüksek oranlı ve insan kaynaklı olma nedenlerinden bazıları şu şekilde sıralanabilir [80]:

- a) Motor sesinin duyulmaması,
- b) Vibrasyon, ivmelenme ve hareketlerinin hissedilmemesi,
- c) Yakıt kaçağının koklanamaması,
- d) Elektriksel hataların hissedilememesi,
- e) Kamera görüşü dâhilinde bazı görüntülerin gözden kaçması vb.

Schmitt ve ark. [81] çalışmalarında, İHA'ların dâhil olduğu Frankfurt terminal kontrol sahasındaki (Terminal Manoeuvring Area - TMA) kalkış operasyonları simülasyon ortamında gerçek kontrolörler ve pilotlarca yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, gerek pilotların gerekse kontrolörlerin iş yüklerinde hafif bir yükselişe neden olduğu gösterilmiştir.

İHA pilotu ile kontrolör arasındaki iletişim, insanlı hava araçlarındaki gibi olmalıdır [82]. Vu ve ark. [83] çalışmalarında İHA pilotları ve kontrolörler arasındaki sesli iletişimindeki gecikmelerin, emniyetli entegrasyon için önemini vurgulamaktadır. Çalışmada sesli iletişimde değişik sürelerde (1,5 sn ve 5 sn arasında) gecikmelere maruz kalan İHA pilotu ve kontrolörlerin tepkileri ölçülmüş, bu gecikmelerin kabul edilebilir seviyelerinin, kesin bir üst sınırı belirlenememiştir. Korn ve ark. [60] yaptığı çalışmada insanlı ve insansız hava araçlarının bulunduğu karma bir trafikte belirledikleri ayırma minimalarını, simülasyon ortamında uygulanarak çakışma olasılıkları incelenmiş, ayırma minimalarının artması çakışma olasılığını ve kontrolör iş yükünü azalttığı, diğer taraftan hava sahası kapasitesini ise azalttığı şeklinde yorumlanmıştır.

İHA'nın kalkışından inişine kadar izleme ve yönlendirme sorumluluğunu üstlenecek yeni bir kontrolör pozisyonu ve rolü tanımlanması öngörülmektedir. Bu yaklaşımla, sorumlu kontrolörün durumsal farkındalığı; İHA'ya odaklanmakta ve İHA operatörü ile arasındaki iletişim sürekli olarak korunmaktadır [15].

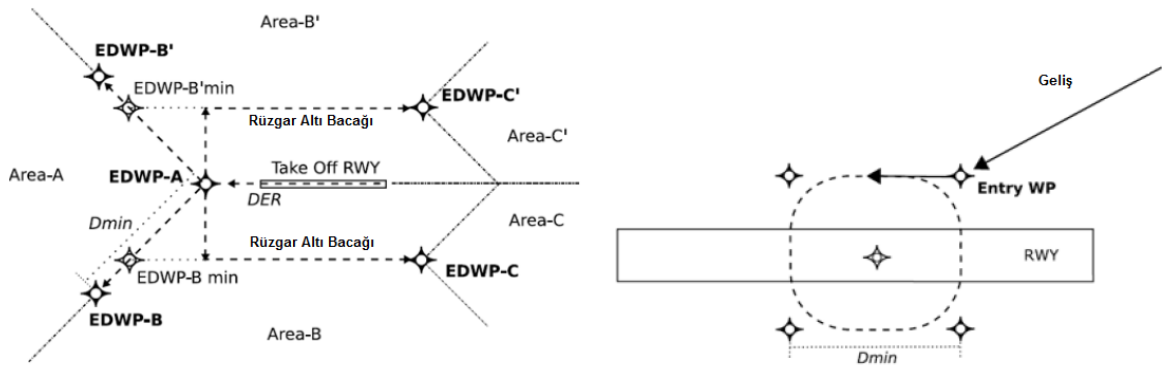
Royo ve ark. [84] çalışmasında, İHA'ların ayrılmamış hava sahalarındaki kısıtlamaların İHA'ların operasyonel kavram ve uçuş profillerinin detaylı değerlendirilmesini zorlaştırdığını belirtmektedir. Geister ve ark. [15] çalışmalarında simülasyon araçlarını kullanarak İHA sistemlerinin sadece devretme ve gözetleme uçuş operasyonlarında diğer hava araçları ile çakışma risk potansiyellerini ve kontrolörlerin iş yüklerini değerlendirilmiştir. Çalışmada bu tür operasyonların kontrolör iş yüklerinde hafif artışa neden olacağı vurgulanmaktadır.

Kamienski ve ark. [85] çalışmalarında kontrolörlerin, İHA uçuş operasyonlarında etkilendiği birçok alanın araştırılması gerekliliğini vurgulanmaktadır. Özellikle İHA uçuş profilinin insanlı hava araçlarına göre farklı olması ve uzun süreli (günler veya aylar mertebesinde) uçuş operasyonlarında kontrolörlerin uçuş planlarının doldurulmasında ek iş yükü getireceği belirtilmektedir. Diğer taraftan İHA sistemlerinin, kendine özgü yol noktaları ile dinamik rota tanımlama özelliği, kontrolörler için alışıla gelmiş bir durum olmadığı belirtilmekte ve diğer faktörlerin detaylı incelenmesi gerekliliği vurgulanmaktadır.

Çalışma sonuçları İHA sistemlerinin hava trafik kontrolörlerini beş önemli alanda etkilediği gösterilmiştir:

- İHA Sistemlerinin Uçuş Planlaması ve Otonomi
- İHA Sistemlerinin Veri Linki Kaybı
- İHA Sistemlerine Özgü Bilgi ve Prosedürler
- İHA Kontrolör Eğitimi
- İHA Sistemlerinin Ulusal Hava Sahasındaki Gelecek Etkileşimi

Finke ve Sinapius [86] çalışmalarında, İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına entegrasyonu konusunda daha çok algıla sakın sistemlerinin geliştirilmesi gibi tekniksel çözümlere odaklanıldığını belirtmektedir. Bunun yanında İHA'ların VFR ve IFR uçuş koşullarında, diğer ATM paydaşlarına etkisinin değerlendirilmesi gerekliliğini vurgulamaktadır. Prats ve ark. [59] çalışmalarında, ayrılmamış hava sahasındaki İHA sistemleri operasyonlarının başlangıçta yoğun trafikli hava alanları yerine, küçük hava alanlarında gerçekleştirilmesi muhtemel olduğu varsayılmaktadır. Bu yüzden bu tür küçük hava alanlarında IFR operasyonların yayınlanmamış olacağı düşünülerek, VFR koşullar altındaki İHA operasyonlarının yaklaşma ve kalkış fazları incelenmiştir. Bu çalışmada insanlı havacılığın mevcut bazı prosedürleri temel alınarak, İHA sistemleri için otonom ve ön tanımlı prosedürler önerilmiştir. Önerilen prosedürler gerek İHA pilotu ve kontrolörlerin iş yüklerinin gerekse mevcut hava trafik yönetiminin kapasite ve emniyetini en az etkileneceği şekilde tasarlanmıştır (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. İHA'ların VFR kalkış (solda) ve geliş (sağda) uçuş operasyonları [59]

Romero ve ark. [87] çalışmalarında İHA sistemlerinin ayırma minimalalarının belirlenmesinde kullanılmak üzere farklı hava aracı kategorileri önermişlerdir (Çizelge 1.7). Burada amaç bu sistemlerin ayrılmamış hava sahalarındaki uçuş operasyonlarının daha standart bir çerçevede yürütülmesinin sağlanmasıdır. Çalışmada ayrıca algıla ve sakın sistemlerinin, insanlı hava araçlarındaki TCAS sistemlerine benzer olduğu, dolayısıyla entegrasyonun vazgeçilmez teknolojilerinden biri olduğu belirtilmektedir.

Çizelge 1.7. Önerilen yeni hava aracı sınıfları [87]

Sınıf	Ağırlık
Birinci	150 kg eşit veya daha az İHA'lar
İkinci	150 kg ile 600 kg arasındaki İHA'lar
Üçüncü	600 kg üstündeki İHA'lar

Airbus firması 2018 yılındaki [88] raporunda İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına emniyetli ve verimli bir entegrasyonu için mevcut uçuş kurallarına ek olarak yeni uçuş kurallarının tanımlanabileceğini belirtmiştir. Bunlar:

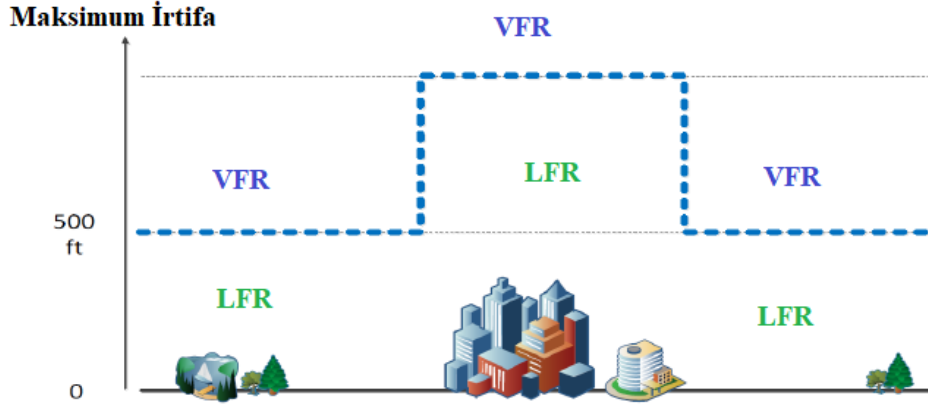
- a) BFR (Temel Uçuş Kuralları – Basic Flight Rules)
- b) MFR (Yönetilen Uçuş Kuralları – Managed Flight Rules)

BFR, bağımsız olarak hareket edilen alanları kapsayacaktır. İHA kullanıcıları hava aracının emniyetinde, yönlendirilmesinde ve diğer hava trafiğinden ayrılmasında tam sorumluluk alırlar. MFR ise bir trafik yönetimi hizmeti ile kendi yörüngesini koordine eden ve ayırmayı sürdürmek için rehberliğe gereksinim duyan uçuşlarda uygulanacaktır [88]. Diğer taraftan Eurocontrol, Çizelge 1.8 ve Şekil 1.9'daki gibi uçuş kurallarının İHA sistemlerine özgü olarak eklenebileceğini belirtmektedir [89].

Çizelge 1.8. Önerilen yeni uçuş kuralları [89]

Genel Uçuş Kuralları			
VFR	IFR	LFR	HFR

- * **LFR** : Low Flight Rules (Düşük Seviyeli Uçuş Kuralları)
- * **HFR** : High Flight Rules (Yüksek Seviyeli Uçuş Kuralları)



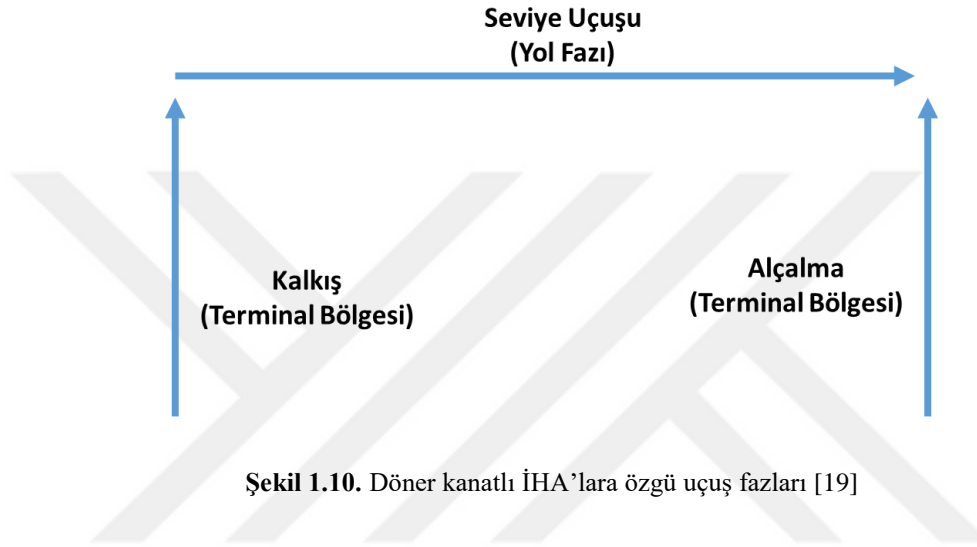
Şekil 1.9. Önerilen yeni uçuş kuralları gösterimi[89]

EASA'nın 2018 yılındaki raporuna [90] göre insanlı hava araçlarının insansız hava araçlarına göre geçiş üstünlüğüne (right of ways) sahip olduğu belirtilmektedir. Bir İHA, gelecekte arama kurtarma gibi uygulamalarda hayat kurtarıcı bir uçuş operasyonu üstlendiğinde, geçiş üstünlüğüne sahip olması beklenebileceği belirtilmektedir [89].

Sun ve ark. [91] çalışmalarında kargo / dağıtım amaçlı kullanılan bir İHA için RNP (Gerekli Seyrüsefer Performansı- Required Navigation Performance) seyrüsefer izleme gereksinimi önermiştir. Önerilen model, yol ve terminal alanı içerisindeki bir İHA'nın sivil uygulamalarda potansiyel faydaları ortaya çıkarması beklenmiş ve model önerisi simülasyon çalışmaları ile test edilmiştir. Öneride döner kanatlı İHA sistemleri temel alınmış olup uçuş fazları geleneksel havacılığa göre farklı olması beklenmiştir (Şekil 1.11). RNP tabanlı bu model önerisinde aşağıdaki unsurların hava aracı tarafından sağlanması gereklilikler arasındadır:

- Doğruluk (Accuracy)
 - Konum ve hız hatalarının istatistiksel dağılımına referans etmektedir.
- Bütünlük (Integrity)
 - Konum hatalarının limit aşımında geçerli ve zamanlı uyarılarını sağlama yeteneği

- Süreklilik (Continuity)
 - Sistemin konum hatalarının limit dışına çıktığında geçerli ve tutarlı uyarılarını sağlama yeteneği
- Uygunluk (Availability)
 - Sistem servislerinin kabul edilebilir süreler dahilinde kullanılabilir olduğu süredir



Alonso [92] yüksek lisans tezinde İHA sistemlerinin insanlı hava araçları ile ayırma kriterlerinin belirlenmesini irdelenmiş ve bu tür hava araçlarının Hafif- L kategoride olması veya “Çok Hafif” olarak yeni bir kategorinin yer alması vurgulamıştır. İHA'lara özgü gerçek uçuş deneyimlerinin yetersiz olması ve uçuş verilerinin ulaşılabilir olmaması nedeniyle, ayırma minimalarının insanlı hava araçlarına benzer şekilde (Örn. Hafif – L kategorisinde bir insanlı hava aracı) kategorilendirilmesi ve buna göre uzunlamasına, yatay ve dikey ayırma minimalarının uygulanması daha uygun olacağı değerlendirilmiştir.

Kenny [72] tez çalışmasında İHA sistemlerine göre ayırmanın devredilmesi (delegation of separation) konusunu irdelenmiştir. Çalışmada ayırmanın devredilmesi hava seyrüsefer hizmet sağlayıcılarının ilgili pilot veya uçuş operatörüne insanlı veya insansız hava araçları arasındaki ayırmanın sağlanması için sorumluluğun transferi şeklinde tanımlanmıştır. Böyle bir durumda hava trafik kontrolörü tarafında; iş yükünde bir azalma, uçaklar ve kontrolörler arasındaki telsiz haberleşmelerinin sayısında bir azalma ve kontrolörler tarafından gerçekleştirilen müdahalelerin miktarında bir azalma

beklenmektedir. Diğer taraftan ise pilota ayırmanın devredilmesi durumunda hava aracı tarafından gerçekleştirilen manevraların miktarında bir düşüş, aynı zamanda, uçuş başına kullanılan yakıtın miktarı ve maliyetinde azalma, sektör başına trafik verimindeki artış ve pilot ve uçuş ekibi durumsal farkındalığında bir artış yaratması beklenmektedir.

Paşaoğlu [93] doktora tezinde, uzun bir geçmişe sahip olan ve sürekli teknolojik gelişmelerin üzerinde uygulandığı İHA sistemlerinin, ulusal hava sahalarına entegre olmasıyla pilot ve hava trafik kontrolörlerin sorumlulukları ve iş yüklerinin artacağı, dolayısıyla otonom sistemlerin geliştirilmesini gerekliliğini vurgulayıp, büyük gövdeli İHA'ların ulusal hava sahalarına entegrasyonu için yaklaşma ve saha kontrol seviyesinde bir hava trafik kontrolör karar mekanizması geliştirmiş, anılan mekanizma hibrid otomat yöntemi ile yazılıma dökülmüş, daha sonra hali hazırdaki gerçek verilerle trafik akışları kontrol edilip yazılımsal testler yapmıştır. Ayrıca küçük İHA'ların ulusal hava sahalarına entegrasyonu için çok katmanlı otonom modları olan özel bir Uçuş Yönetim Sistemi (FMS-Flight Management System) kartı özgün olarak geliştirmiştir.

Kendi [52] çalışmasında, İHA'ların sivil hava sahasına entegrasyonu konusunda operasyonel, emniyet, sertifikasyon ve gizlilik gibi gereksinimlerin karşılanabilmesi için ciddi ve karmaşık bir faaliyet içerisine girilmesi gerekliliğini vurgulamaktadır. Ayrıca bu gereksinimlerin karşılanması için teknolojik birikim ve havacılık mevzuatının güncellenmesi gibi gereksinimin karşılanması da yoğun çaba ve kurumlararası eş güdüm gerekliliğini belirtmektedir.

Yakın gelecekte İHA sistemlerinin insanlı hava araçları gibi veya daha fazla emniyetli operasyonlar gerçekleştirmesi beklenmektedir. Bu durum, İHA sistemlerinin insanlı hava araçlarına uygulanan emniyet gerekliliklerinin mevcut uygulamaları etkilemeden sağlanması ile olabilir. İHA'ların operasyonel kavram ve uçuş operasyonlarının gerçek uçuş koşullarında denenerek yapılması ise maliyetli ve zordur. Tüm bu kısıtlamalarla birlikte İHA'ların operasyonel kavramların simülasyon ortamlarında geliştirilmesi bir ihtiyaç haline gelmektedir.

1.4. Problem Tanımı ve Çalışmanın Amacı

İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına entegrasyonu ile ilgili çalışmalar incelendiğinde; coğrafik konum, hava alanı yapısı, manialar, hava aracı performansı gibi

parametreler göz önünde tutularak, her ülkenin kendine has sorunlar için özgün çözüm önerilerinin sunulmasının önemli olduğu değerlendirilmektedir. Birçok ülke, endüstri, araştırma ve akademik girişimler, İHA sistemlerine özgü sorunları tanımlamak ve bunların insanlı havacılığa etkilerini en aza indirmek için düzenlemeler ve standartlar oluşturmakta ve ayrıca teknolojiler geliştirmektedirler. İHA sisteminin standart havacılık prosedürlerini kullanan insanlı havacılığa ve hava trafik sistemine emniyetli entegrasyonu, gelecekte bu sistemlerin kabulü için önemli bir araştırma geliştirme ihtiyacını beraberinde getirmektedir.

Sertifikasyon, birlikte çalışabilirlik, haberleşme, uçuşa elverişlilik ve uçuş operasyonları ile ilgili eksiklikler, İHA sistemlerinin sivil alanda kullanım potansiyelini sınırlandırmaktadır. Bu eksikliklerden dolayı günümüzde İHA sistemlerinin uçuş operasyonlarını ayrılmış hava sahasında yapmalarına yönelmektedir. İHA uçuş operasyonlarının potansiyel faydalarını açığa çıkarmak için, mevcut insanlı trafikle beraber uçması kaçınılmazdır. Gelecek yıllarda İHA sistemlerinin sivil uygulamalarında kullanım potansiyelinin daha da artacağı düşünüldüğünden, bu sistemlerin görevlerini ayrılmamış hava sahasında yapılmasını gerekli kılmaktadır. Dolayısıyla bu sistemlerin mevcut hava trafik yönetimine etkilerinin özellikle hava trafik kontrolörü ve pilotaj bakış açısıyla incelenmesi, değerlendirilmesi ve olumsuz etkilerini minimize edecek çözüm önerilerinin sunulması; İHA sistemlerinin mevcut insanlı hava trafik yönetimine emniyetli entegrasyonu için önem arz etmektedir.

Günümüzdeki İHA'ların ayrılmamış hava sahalarındaki kısıtlamaları ve ayrıca İHA sistemlerinin uçuş profillerinin gerçek uçuşlar ile test edilmesinin maliyetli ve riskli olması, İHA'ların operasyonel kavram ve uçuş profillerinin detaylı değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır. Şimdiye kadar birçok İHA uçuş operasyonu ayrılmış hava sahasında gerçekleştirildiğinden, diğer trafikten emniyetli ayırma ve ATM etkisi gibi konularda endişe duyulmamıştır. Dolayısıyla, İHA sistemlerinin uçuş operasyonlarının test ve doğrulama işlemlerinde mevcut insanlı trafiği de içeren uçuşlardan önce simülasyon tekniklerinin kullanılması, ayrılmamış hava sahasındaki faktörlerin incelenmesi açısından önemli bir ihtiyaç olarak değerlendirilmektedir.

Bu nedenle çalışmada, İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına entegrasyonunda mevcut hava trafik yönetimine etkilerini incelemek, özgün öneriler sunmak, geçerliliğini sağlamak amacıyla, gerçek zamanlı simülasyon yöntemi kullanılmıştır. Simülasyon

sistemleri kullanılarak İHA sistemlerinin diğer insanlı hava araçlarına etkileri, oluşturulan uçuş senaryoları ile değerlendirilmiştir.

Bu çalışmasının temel amacı, hava trafik yönetimi ekosistemindeki insanlı ve insansız hava araçlarının emniyetli ve verimli operasyonları gerçekleştirebilecekleri bazı temel prosedürlerinin, simülasyon platformlarını etkin şekilde kullanarak geliştirilmesi, özgün önerilerin sunulması ve ilgili paydaşlarca geçerliliğinin sağlanmasıdır. Bu çalışma kapsamında; Mürted hava sahasında, SHGM'ye göre İHA-3 kategorisindeki İHA sistemi için geliş ve yaklaşma fazlarındaki uçuş operasyonlarına özgü senaryoların geliştirilmesi, prosedürlerin tanımlanması ve geçerliliğinin sağlanması amaçlanmaktadır.

Bu çalışmada İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasında insanlı hava araçları ile birlikte uçuş operasyonları içeren model önerisi sunulmaktadır. İHA'ların operasyonel kapsamını daha da etkinleştirmek için, karma trafiğin olduğu hava sahalarında örnek uçuş senaryoları ile test ve denemelerin yapılması, insansız havacılığın gelişimi için önemli kilometre taşlarından biri olduğu değerlendirilmektedir. Burada farklı simülasyon senaryolarının tasarlanması ile karma trafikte bulunan İHA'ların değişik uçuş fazlarında, mevcut ATC prosedürlerinin uygulanabilirliği pilotaj ve hava trafik kontrol bakışıyla değerlendirilmiştir.

Simülasyon çalışmaları ile İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasındaki entegrasyonunu, insanlı havacılığın mevzuatlarında belirgin değişiklikler yapmadan yenilikçi bir çerçeve sunulması amaçlanmıştır. İnsanlı ve insansız hava araçları arasındaki emniyetli ayırma prosedürleri farklı simülasyonlar ile uygulanmış ve değerlendirilmiştir. Bu çalışma ile insanlı ve insansız hava araçlarını içeren karma trafik içerisinde eşdeğer emniyet seviyesi fikri temel alınarak, ayrılmamış hava sahasındaki İHA sistemlerinin kademeli entegrasyonu imkânları araştırılmıştır. Araştırmalarda dikkat edilen en önemli husus, mevcut ATM kuralları ve uygulamaları dışına çıkılmayarak insanlı hava araçlarına ek donanım getirilmemesi ve uçuş prosedürlerinde değişiklik yapılmamasıdır.

2. YÖNTEM

Hava araçlarının manevra sahası üzerinde veya uçuşun herhangi bir safhasında birbirleriyle ve manialarla çarpışmalarını önlemek; hızlı ve düzenli hava trafik akışını sağlamak amacıyla hava trafik kontrol hizmeti verilmektedir [94]. Haberleşme, seyrüsefer ve gözetim; ATM sisteminin ayrılmaz teknolojik parçalarındandır. Gözetim sistemlerinin en önemli teknik donanımlarından biri ise radarlardır. Radar, radyo dalgaları ile cisimlerin varlığını ve yerini belirleyen bir sistem olması nedeniyle hava trafik kontrolde kullanılan temel teknolojik donanımların başında gelmektedir.

Radar ekranı başındaki hava trafik kontrolörünün görevlerini; planlama, koordinasyon, haberleşme ve kontrol oluşturmaktadır. Hava trafik kontrolörleri radar ekranları ile birbirine problem oluşturabilecek hava araçlarını yönlendirerek, emniyetli uçuş operasyonlarının yürütülmesini sağlamaktadır. Bu tür pratikler ise gerçek uçuşlardan önce radar simülatörlerinde yapılmaktadır. Radar simülatörlerinde hava araçlarının konum ve performans verileri sürekli alınır. Hava trafik kontrolörleri hava araçlarının emniyetli ve verimli uçuş operasyonları için hava araçlarının aşağıdaki üç parametresini değiştirmektedir:

- a) Hava aracının hızı
- b) Uçuş başı veya yönü
- c) Hava aracının irtifası/uçuş seviyesi

Kontrollü hava sahaları içerisinde aletli uçuşlara uçuş bilgi ve ikaz hizmeti ile kontrol hizmeti verilmektedir. Kontrolsüz hava sahaları, içerisinde hava trafik kontrol hizmetinin verilmediği; sadece uçuş bilgi ve ikaz hizmetinin sağlandığı hava sahalarıdır [37]. Kontrollü bir hava sahası sektöründe ayrılmamış bir uçuşta insan faktörü kilit rol oynamaktadır. Bu durumda iki insan rolü vardır: pilotlar (insanlı veya insansız) ve hava trafik kontrolörleri (ATCo). Kontrolörler, hava sahası hacminin genel resmine sahiptir ve uçuşun devamı için pilotlara izin/clerans verirler. Pilotlar uçuş bilgilerini ATC'ye sunar ve kontrolörler tarafından önerilen manevraları uygular. Günümüzde, kontrollü hava sahasında hava araçları arasındaki ayırma tipik olarak hava trafik kontrolörünün sorumluluğundadır.

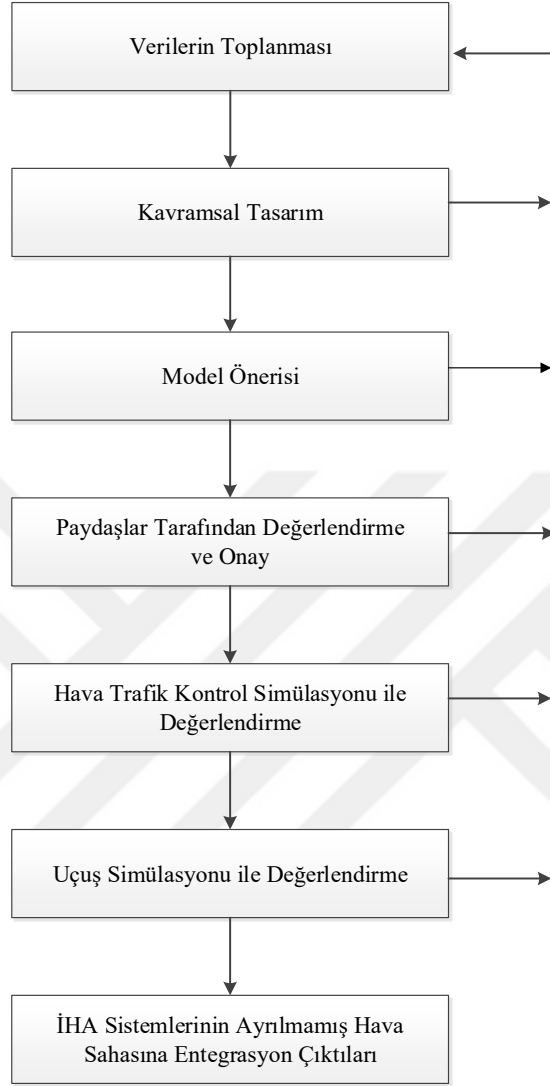
İHA sistemlerinin olası uygulamaları arasında, gözetim misyonları yoğunlukla kullanılan görevlerden biridir [22]. Bu görevlerde, İHA'lar mevcut ticari hava yolu uçakları gibi çalışmayacaktır, yani noktadan noktaya uçamayacaktır. İHA'ların görev ihtiyaçları

doğrultusunda, uçuş planları uçuş sırasında dinamik olarak değişecektir. Üstelik, İHA'lar çoğu ticari uçaklara göre daha düşük uçuş performansına sahip olmasına rağmen benzer irtifalarda çalışılabilecektir [95].

Çalışmada mevcut ATM sistemi içerisindeki ayırma kriterlerinin İHA sistemlerine uygulanabilir olup olmamasına ve uygulamanın diğer hava araçlarına ve paydaşlara etkilerine odaklanılmıştır. Uçuş performansı bakımından önemli farklılıkları barındıran insanlı ve insansız hava araçlarının mevcut ayırma kriterlerinin uygulanabilirliği, tekrar edilebilirliği ve tahmin edilebilirliği amacıyla tasarım ve analiz faaliyetleri gerçek zamanlı simülasyon ortamında gerçekleştirilmiştir.

Günümüzün ve geleceğin önemli teknolojilerinden biri olan İHA sistemlerinin ayrılmış hava sahası ortamında uçuş operasyonlarını yaptığı, birinci bölümde gerekçeleri ile sunulmuştur. Bu gerekçelerden hareketle herhangi bir operasyonel önerinin analiz edilmesine veya değerlendirilmesine yardımcı olan neredeyse hiçbir pratik deneyim yoktur ya da erişim imkânı kısıtlıdır. Bu kısıtlamayı telafi etmek ve entegrasyonun doğru temeller üzerine kurulmasını sağlamak için tasarım ve doğrulama çalışmalarında gerçek zamanlı simülasyon yöntemi kullanılmıştır. Çalışmasının uygulama yöntemine ait iş akış şeması Şekil 2.1'de gösterilmiştir.

Çalışma öncelikle verilerin (İHA ve çalışma bölgesi vb.) toplanması ve kavramsal tasarımın oluşturulması ile başlamıştır. Ön çalışmalar ve simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesi neticesinde model önerisi gerçekleştirilmiş ve paydaşlarca değerlendirilmiştir. İlgili paydaşlarca geri dönüşlerin alınması ile model önerisi son halini alarak simülasyon ortamında çalıştırılmış ve entegrasyon çıktıları elde edilmiştir.



Şekil 2.1. Doktora çalışmasının iş akış şeması

2.2. Gerçek Zamanlı Simülasyon

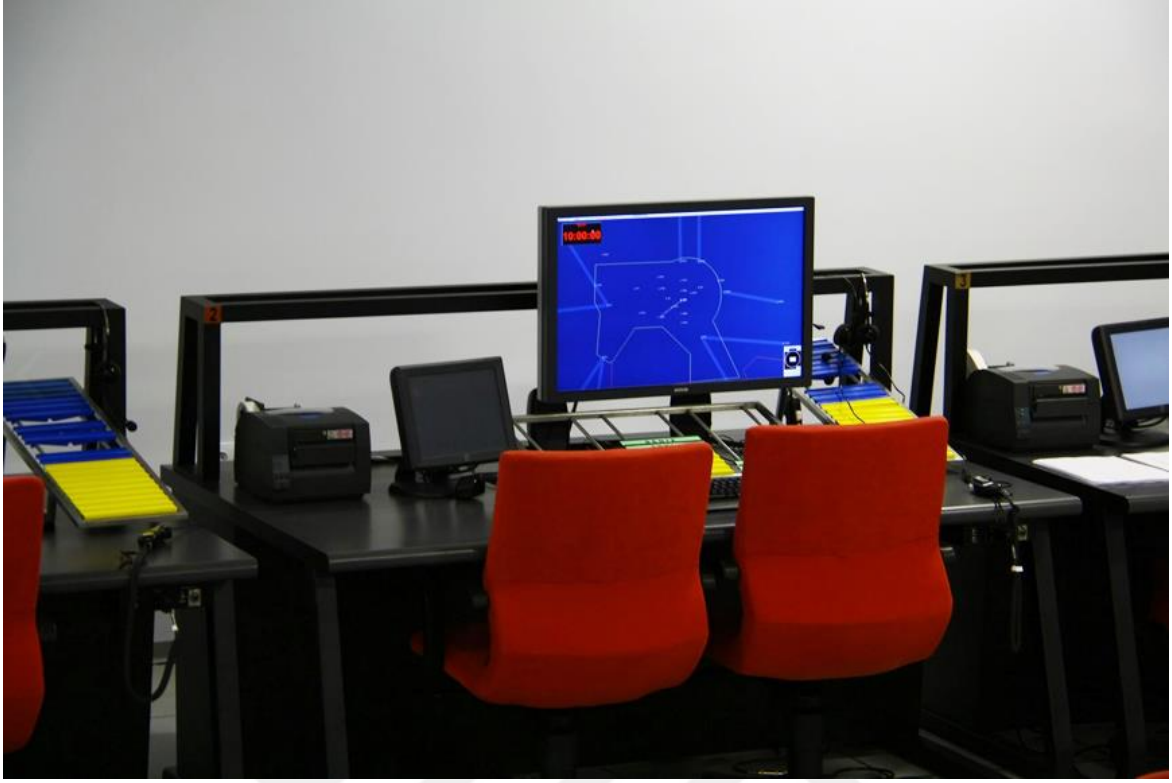
Simülasyon gerçekte mevcut olan görevlerin, ilişkilerin, ekipmanların, davranışların ya da bazı bilişsel aktivitelerin taklit edilmesi şeklinde tanımlanmaktadır [96]. Hava trafik kontrol operasyonları birbirinden bağımsız birçok değişkeni ve belirsizliği içeren ve karmaşık gerçek dünya sistemlerinin davranışlarını incelemek için kullanılan simülasyon yöntemi, özellikle hava trafik kontrol ile ilgili çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Hava sahasına yönelik değişim önerileri öncelikle simülasyonlar doğrultusunda geçerlilik kazanarak operasyonel kullanıma geçilmektedir [97].

Simülasyon sistemleri gerçek zamanlı veya hızlı zamanlı olabilir. Gerçek zamanlı sistemler, belirli bir işlevi veya görevi önceden belirlenmiş bir sürede ve bu süre zarfında doğru bir şekilde gerçekleştirmeleri gereken sistemler olarak tanımlanmaktadır. Gerçek zamanlı sistemlerde zaman önemli bir husustur. Hızlı zamanlı simülasyon sistemlerinde ise zaman kısıtı söz konusu değildir [98], [99]. Gerçek zamanlı simülasyonlar çalışma ortamının daha gerçekçi ve detaylı olması yönüyle hızlı zamanlı simülasyonlardan ayrılmaktadır [97]. Gerçek zamanlı simülasyon sistemlerine verilebilecek en güzel örnek havacılıkta sıkça kullanılan simülatörlerdir [100].

Çalışmada gerçek zamanlı simülasyon sistemleri kullanılarak İHA'ların diğer insanlı hava araçlarına etkileri, oluşturulan uçuş senaryoları ile değerlendirilmiş ve değerlendirme sonuçlarına göre önerilen modelin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Gerçek zamanlı simülasyon altyapısı olarak, Eskişehir Teknik Üniversitesi Hava Trafik Kontrol Bölümü'nde hava trafik kontrolörü eğitiminde kullanılan radar simülatörleri (Şekil 2.2) kullanılmıştır. Micronav [101] firmasınınca geliştirilen Best Radar simülatörü, karma trafiklerin yeniden üretilebildiği ve değerlendirilebildiği, yüksek güvenilirliğe sahip gerçek zamanlı bir simülasyon ortamıdır.

Hava trafik kontrol hizmeti meydan kontrol, yaklaşma kontrol ve saha kontrol hizmeti olarak üçe ayrılmaktadır. Yaklaşma kontrol hizmeti iniş veya kalkış yapan kontrollü uçuşlara verilen hava trafik kontrol hizmetidir. Yaklaşma kontrol ofisinin kontrol ettiği hava sahası, terminal kontrol sahası olarak isimlendirilir. Teoride bir TMA alanı, genelde 60 NM yarıçaplı dairesel bir alandan oluşmaktadır. Terminal kontrol sahasında verilen yaklaşma kontrol hizmeti radarlı veya radarsız olarak ikiye ayrılır. Radarlı yaklaşma kontrol hizmetinde hava araçlarının hareketleri radar kontrolörü tarafından radar ekranı üzerinde izlenir ve buna göre uçaklara talimatlar ve izinler verilir [37,59].



Şekil 2.2. Eskişehir Teknik Üniversitesi Hava Trafik Kontrol Bölümü radar simülatörü [101]

2.3. Varsayımlar

İHA sistemleri için geliştirilecek standart prosedür ve uygulamaların, mevcut hava trafik sisteminin emniyetini ve diğer paydaşları olumsuz etkilememesi gerekliliği bir önceki bölümde irdelenmiştir. Ancak, İHA sistemlerinin görevlerine göre boyut, performans ve konfigürasyon yapılarının çok değişkenlik göstermesi, bu sistemlere uygun standart prosedür ve uygulamaların geliştirilmesini zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına entegrasyonunun incelenmesi, değerlendirilmesi ve özgün önerilerin geçerliliğinin sağlanması için çalışma kapsamının net olarak tanımlanması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında belirlenen varsayımlar şu şekilde özetlenebilir:

- İHA Kategorisi: İHA-3
- Hava Sahası Türü: TMA içinde ayrılmamış hava sahası
- Uçuş Fazları: Geliş ve Yaklaşma
- Uçuş Kuralı: IFR

- Verilen Hizmet: Radarlı kontrol hizmeti
- Uçuş Karması: İnsanlı ve İHA Trafikleri

Çalışma ayrılmamış hava sahasında, İHA-3 kategorisindeki İHA sistemi için aletli uçuş koşulları altında, ICAO havaalanı kodu LTAE olan Mürted Havaalanına geliş ve yaklaşma yapacak İHA'lar için model önerisini ve modelin geçerliliğinin sağlanmasını içermektedir. Çalışma kapsamında, havacılığın en temel mevzuatları ile mevcut prosedürler ve kuralların İHA sistemleri üzerine uygulanabilirliğinin ve tahmin edilebilirliğinin gösterilmesi hedeflenmiştir (rüzgâr sakin kabul edilmiştir).

2.4. Radar Simülatörüne Hava Sahası ve İHA Tanımlaması

Çalışma kapsamında temel alınan Mürted Havaalanı ve içinde yer aldığı Ankara terminal manevra sahasındaki diğer havaalanları, seyrüsefer yardımcıları, rapor noktaları, yollar, tahditli sahalarda Türkiye AIP'sinde (Aeronautical Information Publication - Havacılık Bilgi Yayını) (Çizelge 2.1) [102] yer alan koordinat ve kısıtlar dikkate alınarak gerçeğe bire bir uygun olacak şekilde radar simülatörüne tanımlanmıştır.

Çizelge 2.1. Çalışma bölgesine ait yasak, tahditli ve tehlikeli sahalar [102]

Yasak Sahalar	
Tanım	Üst Limit
	Alt Limit
LT-P6 ANKARA	<u>5000 FT AMSL</u> SFC
Tahditli Sahalar	
Tanım	Üst Limit
	Alt Limit
LT-R1 GÖLBAŞI 1	<u>7000 FT AMSL</u> SFC
LT-R2 GÖLBAŞI 2	<u>5500 FT AMSL</u> SFC
LT-R5 (ULUCAN CTR)	<u>5500FT AMSL</u> SFC
LT-R9 ANKARA	<u>20000FT AMSL</u> SFC
LT-R30 ANKARA BEŞTEPE	<u>5500FT AMSL</u> SFC (For IFR) <u>10000FT AMSL</u> SFC (For VFR)
Tehlikeli Sahalar	
Tanım	Üst Limit
	Alt Limit
LD-D10 POLATLI	
LD-D20 ANKARA / MÜRTEDE	<u>12000 FT AMSL</u> SFC
LD-D24 ANKARA /FİŞEKSAN	<u>5000 FT AMSL</u> SFC

İHA sisteminin aşağıda belirtilen bazı uçuş performans verileri, simülasyon çalışmalarının hazırlık aşamasında radar simülatörüne tanımlanmıştır (Şekil 2.3).

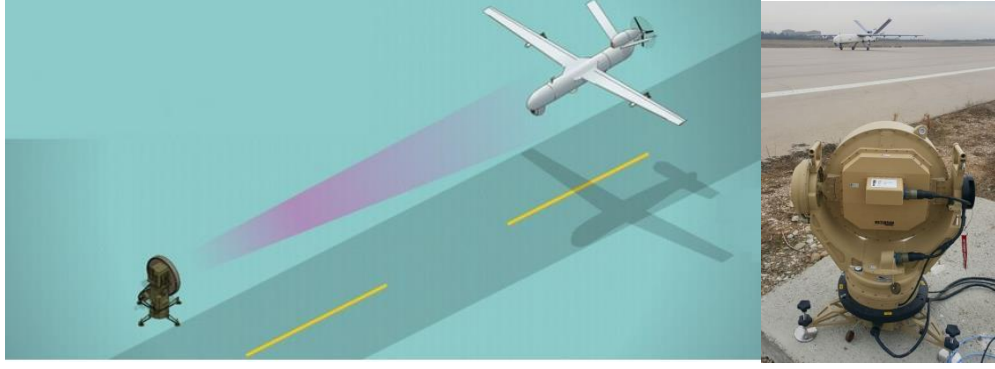
- Tavan İrtifası
- Tırmanma Açısı
- Maksimum Tırmanma Açısı
- Alçalma Açısı
- Maksimum Alçalma Açısı
- Maksimum Hız
- Minimum Hız vb.

Type Editor													
Type Name		Vehicle Category		Vortex Wake Category		Performance Group							
PIGEON3		Air Vehicle		L		156 : PIGEON3							
Air Performance													
Max MACH		Ceiling		Partial Power Ceiling		Number of Engines		Hold IAS					
0.257		F250		F000		1		91					
Level	RDC	Max RDC	RDD	Max RDD	Power Off RDD	Max Spd	Min Spd	Take Off Spd	Climb Spd	Cruise Spd	Holding Spd	Descent Spd	
F250	100	100	500	1410	795	108	79	82	91	91	91	91	
F200	235	235	470	1300	730	108	79	82	91	91	91	91	
F150	325	325	470	1210	675	108	79	82	91	91	91	91	
F100	560	560	525	1100	620	108	79	82	91	91	91	91	
F050	590	590	575	1030	575	108	79	82	91	91	91	91	
F001	620	620	535	970	535	108	79	82	91	91	91	91	

Şekil 2.3. Hava aracı parametreleri

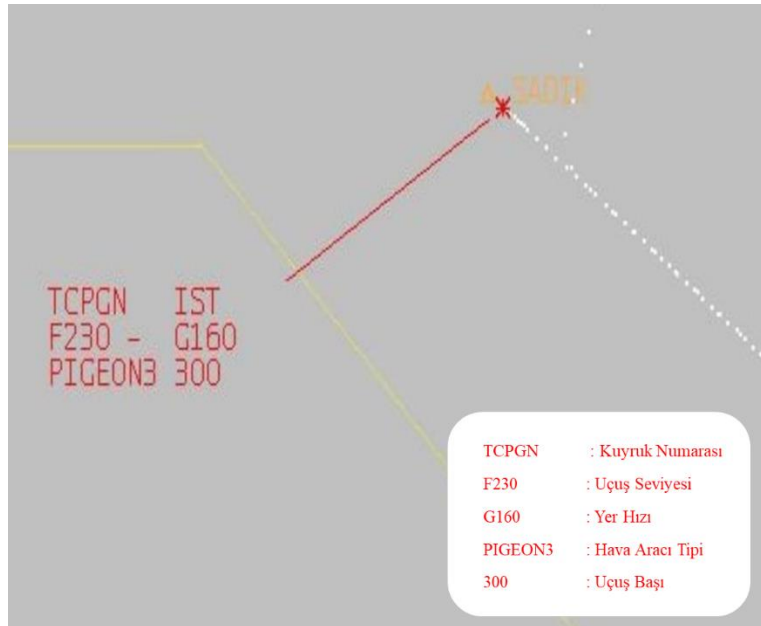
Çalışma kapsamında Mürted havaalanı İHA uçuş operasyonlarının, özellikle Ankara TMA içerisindeki uçuş fazları incelenmiştir. Türkiye’de İHA sistemlerinde yaklaşma fazında, Aletli İniş Sistemine (Instrument Landing System – ILS) benzer olarak yer alan Otomatik İniş ve Kalkış Sistemi (OKİS) kullanılmaktadır. OKİS, İHA iniş ve kalkışında kullanılan üç boyutlu tek darbe transponder takip radarıdır. İHA’lar üzerinde yer alan transponder ve antenini içeren OKİS hava birimi ile pistte konuşlu tek darbe sorgulama radarından oluşan OKİS yer birimi olmak üzere iki ana birimden oluşmaktadır. OKİS hava birimi, küçük boyut ve ağırlığı ile hemen her kategorideki İHA’larda faydalı yük kapasitesine önemli bir etkisi olmadan kullanılabilir. OKİS yer birimi, takip ettiği OKİS hava birimi sayesinde İHA’nın üç boyutlu (mesafe, yatay ve yükseklik) bilgilerini iyi bir hassasiyetle İHA yer kontrol istasyonunu besleyerek İHA’nın emniyetli ve hassas kalkış ve inişine imkân sağlamaktadır (Şekil 2.4). Özellikle yaklaşma fazında kritik öneme sahip OKİS sisteminin ayırma minimalalarının belirlenmesinde fayda sağlayacağından teknik özellikleri aşağıdaki gibi özetlenmiştir [103] :

- Maksimum Menzil: 10 km
- Pozisyon Doğruluğu: 1m ~30 cm
- Frekans Aralığı: Ka Band (35 GHz)



Şekil 2.4. OKİS radarı gösterimi [103]

Çalışma kapsamında literatür çalışmalarında olduğu gibi [72,104-107] İHA kategorisinin insanlı hava araçlarına benzer şekilde (Hafif – L kategoride hava aracı) belirlenmesi (Şekil 2.5) ve buna göre uzunlamasına, yatay ve dikey ayırma minimalarının uygulanması uygun olacağı değerlendirilmiştir. Bununla birlikte karma trafikte yer alan diğer insanlı hava araçları ise orta (Medium- M : Maksimum kalkış ağırlığı 136 000 kg'dan daha az, 7000 kg'dan fazla hava araçlarını kapsamaktadır) kategorideki yolcu uçaklarından oluşmaktadır. Çalışmada temel alınan İHA'ya, tarihteki ilk insansız hava araçlarından biri sayılan Pigeon (TCPGN) ismi verilmiş olup hava aracı modeli ise Pigeon3 olarak radar simülatorüne tanımlanmıştır.



Şekil 2.5. Radar simülatoründe İHA sisteminin ekran görünümü

Hava trafik kontrol hizmetinde, uçuş şartları ve hava sahası sınıfı olmak üzere iki temel faktör etkilidir. Uçuş şartları uçağın uçuğu meteorolojik koşullara göre belirlenir ve aşağıdaki gibi ikiye ayrılmaktadır [37,58]:

- a) Görerek Meteorolojik Şartlar (VMC-Visual Meteorological Conditions)
- b) Aletli Meteorolojik Şartlar (IMC-Instrument Meteorological Conditions)

VMC, VFR uçuş için Türkiye AIP sisteminde yer alan minimum değerlere eşit ya da bu değerlerden daha iyi hava şartlarını ifade etmektedir. Diğer bir deyişle VMC’de VFR uçuş kuralları uygulanır. VFR uçuşta temelde gör ve görün ilkesine dayanmakta olup pilot etrafını görerek uçuşunu sürdürür [37], [59], [114].

IMC ise bulut tavanı, bulutlardan uzaklık, görüş mesafesi gibi belirtilen ve aletle uçuş yapılmasını gerektiren en düşük değerleri ifade etmektedir. VMC’ye benzer şekilde, IMC’de seyrüsefer yardımcı cihazları kullanılarak IFR uçuş gerçekleştirilir. IFR, IMC şartlar altında uçuşun idaresini sağlayan kurallar bütünü olarak tanımlanmaktadır [108] .

VFR ile uçuşunu gerçekleştiren pilotlar, uçuş sırasında kokpit dışında gördüklerine tamamen güvenirlir. Bununla beraber diğer hava araçlarından emniyetli ayırma işlemlerinde bu görsel referanslar kullanılmaktadır. Tam aksine, IFR ile uçuşunu gerçekleştiren pilotlar ise hava aracını kontrol ve kumanda etmek için hava aracı üzerindeki birçok ekipmanı kullanmaktadırlar ve diğer hava araçlarından ayırma işlemleri hava trafik kontrol hizmetince sağlanmaktadır. Her türlü VFR operasyonlarında, emniyetin sağlanması için kontrolör ve diğer pilotlar arasında sesli haberleşme yüksek derecede önemlidir.

VFR uçuşlar havacılığın en başından beri kullanılmış olsa bile; öngörülebilirlik, rota muhafaza doğruluğu ve tekrarlanabilirlik eksikliği nedeniyle İHA uçuş operasyonlarında önemli zorlukları barındırmaktadır. Bu nedenle tahmin edilebilme, rota muhafaza doğruluğu eksikliği ve pilotun hava aracı içerisinde olmamasından dolayı İHA’ların VFR operasyon gerçekleştirmesi zordur. Diğer taraftan, İHA operatörü İHA’yı kumanda ve kontrol etmek, nerede olduğunu ve bir sonraki hedefini bilmek için harici görsel referanslar yerine, yer kontrol istasyonunda bulunan otopilot ve uçuş planlama yetenekleri ile donatılmış ekipmanları referans almaktadır. Tüm bu gerekçelerden dolayı İHA uçuş operasyonları, IFR koşullar altındaki operasyonlarına göre icra edilmektedir. Otonom seviyesi, hava trafik kontrol hizmetleri ve diğer hava sahası kullanıcıları ile yüksek dereceli etkileşim kabiliyeti

nedeniyle, İHA'ların IFR uçuşlarının daha kolay gerçekleşmesini sağlamaktadır. Fakat tüm hava alanları IFR uçuş prosedürlerini sunmamaktadır.

IFR şartlar altında uçmakta olan bütün uçaklar daha önceden yetkili otorite tarafından tasarlanmış ve onaylanmış olan bir özel prosedüre riayet etmektedir. Bu nedenle IFR uçuşları kabul eden bir hava alanı birden fazla aletli kalkış, geliş ve yaklaşma prosedürü yayımlayabilir.

Kontrolsüz hava sahalarında, hava aracının diğer trafikten asgari ayırmanın sağlanması her zaman sorumlu pilotun (PIC:Pilot In Command) görevidir. Bu durumda, ilgili alandaki tüm pilotlar önemli noktadaki durumlarını ve niyetlerini rapor ederek kendi aralarındaki koordinasyonu sağlamaktadırlar [37]. Ancak hava sahasında tüm hava araçlarının hassas ve tahmin edilebilir prosedürleri icra etmesi beklendiğinden, İHA'ların uçuş operasyonlarının kontrollü hava sahasında ve IFR şartlar altında insanlı hava trafiği ile benzer şekilde gerçekleştirmesi beklenmektedir.

Çalışma kapsamında, uygulama bölgesi olarak seçilmiş olan Mürted Havaalanına yapılan yaklaşımlarda ulusal AIP'de [102] belirtilen (Ek 1: LTAE IAC-1, Ek 2: LTAE IAC-2 ve Ek 3: LTAE IAC-3) 03 pisti için aletli yaklaşma prosedürleri, karma trafikli senaryo tasarımlarında temel alınmıştır. Karma trafikli uçuş senaryolarının tasarımında örnek aletli uçuş prosedürlerine ek olarak aşağıdaki hususlar dikkate alınmıştır:

- Öngörülebilirlik,
- Rota muhafaza doğruluğu,
- Tekrarlanabilirlik,
- Mevcut uçuş operasyonlarına daha az müdahale,
- Mevcut uçuş operasyonlarına daha az frekans meşguliyeti vb.

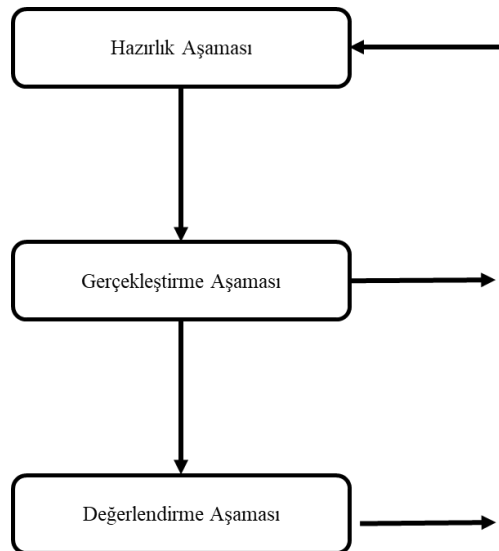
Çalışmada belirli İHA performans ve ekipmanlara göre her zaman uyarlanabilir ve değiştirilebilir temel prosedür olarak hizmet verecek şekilde deney tasarımları oluşturulmuştur. Bu kapsamda Mürted havaalanının fiziksel özelliklerine birebir uygun olacak şekilde radar simülatörüne tanımlanması gerçekleştirilmiştir.

Mürted Havaalanı 03/21 pist oryantasyonunda, pist uzunluğu 3,350 metre ve 03 pist eşiği 2,767 ft rakımlı fiziksel özelliklere sahiptir. IFR/VFR koşullarda askeri hava araçlarına meydan kontrol hizmeti vermektedir. Mürted Havaalanı ICAO kodu LTAE olan ve Ankara

merkeze 25 NM uzaklıkta olan bir havaalanıdır. Mürted Havaalanı, 401323N-0324726E ve 395037N-0322821E koordinatlarını birleştiren hattın doğusu hariç olmak üzere 400356N-0323358E merkezli ve 14 NM yarıçaplı daire biçiminde kontrol bölgesi (CTR: Control Zone) içerisinde. Dikey irtifa limiti 12,000 ft ve geçiş irtifası ise 10,000 ft'dir (Ek 3 –AIP LTAE-MRVC). Yaklaşma hizmetini ise Esenboğa yaklaşma kontrol birimi sağlamaktadır [102] (Ek 4 – AIP LTAE-En ve Ek 5 – AIP LTAE-ADC).

2.5. Uygulama Yöntemi

Hava trafik kontrolör eğitimi ve uygulamalarında şimdiye kadar geliştirilen tüm pratik gerçek zamanlı simülasyon çalışmalarının altında yatan ilke, ilk gelene ilk hizmet (FCFS-First Come First Service) prensibidir. Bu prensipte öncelikli olmayan hava araçları normal koşullar altında, pist veya hava sahasında giriş sırasına göre işleme alınmaktadır [37,45]. İlk gelene ilk önce hizmet esasına dayanan hava trafik kontrol hizmeti yöntemi, ATM sisteminde uzun süredir devam eden bir uygulamadır [109]. Bu nedenle çalışma kapsamında oluşturulan karma trafiklerde, mevcut ATM sisteminde uygulanan ilk gelene ilk hizmet yöntemi simülasyon çalışmaları ile değerlendirilmiş, elde edilen sonuçlara göre nihai deney tasarımının oluşmasında önemli bir rol oynamıştır. Çalışma kapsamındaki simülasyon deney tasarımlarında, uygulama yöntemi olarak üç aşamalı bir süreç takip edilmiştir (Şekil 2.6) :



Şekil 2.6. Simülasyon çalışma aşamaları gösterimi

- Hazırlık Aşaması
 - Simülasyon Platformunun Kurulması
 - Senaryoların Hazırlanması
 - Doğrulama Testleri
- Gerçekleştirme Aşaması
 - Uçuş Simülasyonu
- Değerlendirme Aşaması
 - Analiz ve Raporlama

Hazırlık aşaması, simülasyon platformunun İHA'lara uygun olarak kurulması, ilgili senaryoların hazırlanması ve doğrulama testlerinin icra edilmesinden oluşmaktadır. Bir sonraki aşama, uçuş senaryolarının gerçekleştirilmesi ile model önerisinin güncellenmesi ve son halini almasını içermektedir. Son aşama ise analiz ve raporlama kısmından oluşmaktadır. Tüm bu aşamalarda paydaşlardan alınan geri dönüşler ile model önerisinin iyileştirilmesi yapılmıştır.

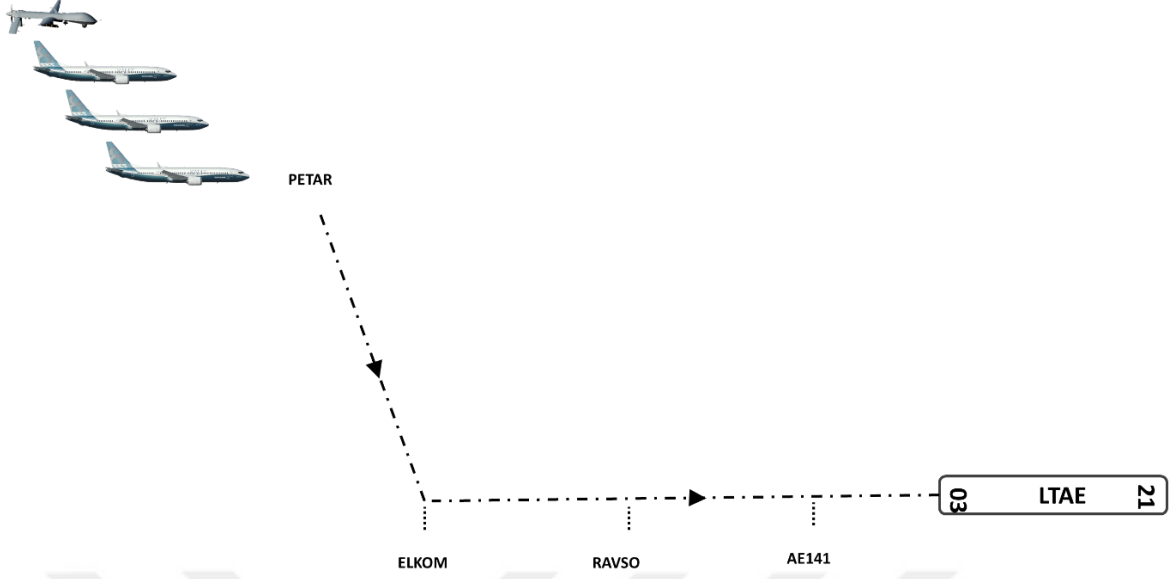
2.6. Deney Tasarımı

Bu bölümde insanlı ve insansız hava araçlarının bulunduğu karma trafikli model önerilerinin hazırlık, gerçekleştirme ve değerlendirme aşamaları anlatılmıştır. Son olarak nihai model önerisinin kavramsal tasarım ve diğer gerçekleştirme aşamaları gösterilmiştir.

2.6.1. Birinci hazırlık ve gerçekleştirme aşaması

Hazırlık aşamasındaki deney tasarımında (Şekil 2.7), İHA sistemlerinin uçuş operasyonlarının mevcut ATM sisteminin etkilerini inceleyebilmek için hava araçlarının sıralamasında aşağıda verilen üç adet yöntem farklı önceliklerle denenmiştir. Belirtilen bu yöntemler ile hava araçlarının PETAR noktasından pistte teker koyma anına kadar geçen toplam uçuş süreleri incelenmiştir:

- Bekleme öncelikli uçuş senaryoları
- Vektör öncelikli uçuş senaryoları
- Hız Tahdidi (Hız artırma veya azaltma) öncelikli uçuş senaryoları

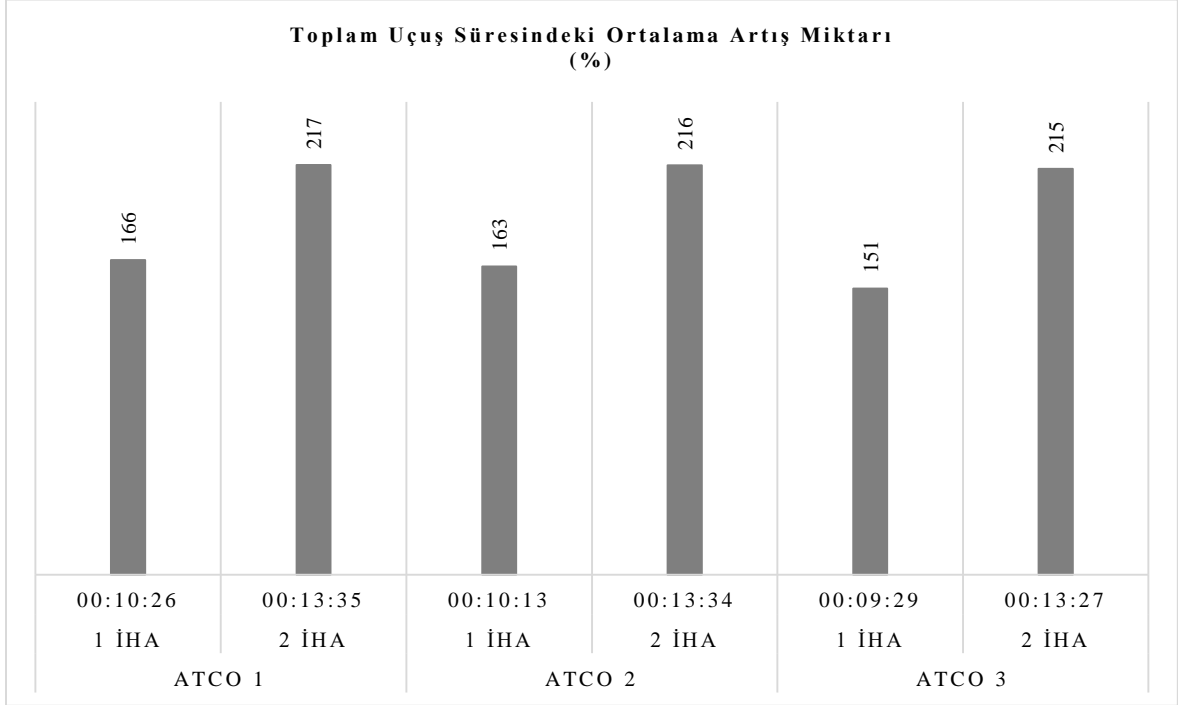


Şekil 2.7. Hazırlık aşaması deney tasarımı

Mürted 03 pistine iniş için aynı noktadan terminal kontrol sahasına giriş yapan İHA ve insanlı hava araçları (Boeing 737-800) ELKOM – RAVSO- AE141 fikslerini takip edecek şekilde örnek uçuş senaryoları Şekil 2.7’deki gibi oluşturulmuştur. Bu aşamada insanlı ve insansız hava araçları aynı noktadan (PETAR yol noktası) ve zaman ayırması olacak şekilde tasarlanmıştır. Seçilen insanlı hava aracı modeli, Türkiye de en fazla kullanılan hava aracı modelidir (Devlet Hava Meydanları İşletmesi DHMİ’nin verilerine göre Boeing 737-800 modeli, Türkiye’de yolcu taşımacılığında kullanılan uçaklar arasında ilk sırada yer almaktadır [110]). Boeing 737-800 tipli uçakların terminal kontrol sahasına girişleri arasında 90 saniyelik bir ayırma ile karma trafikli senaryolar tanımlanmıştır. PETAR yol noktasından gelen hava araçlarının azami 12,000 ft irtifada olacak şekilde tasarımları gerçekleştirilmiştir. Trafikler belirlenen rota üzerinden son yaklaşma fiksine gelmektedir.

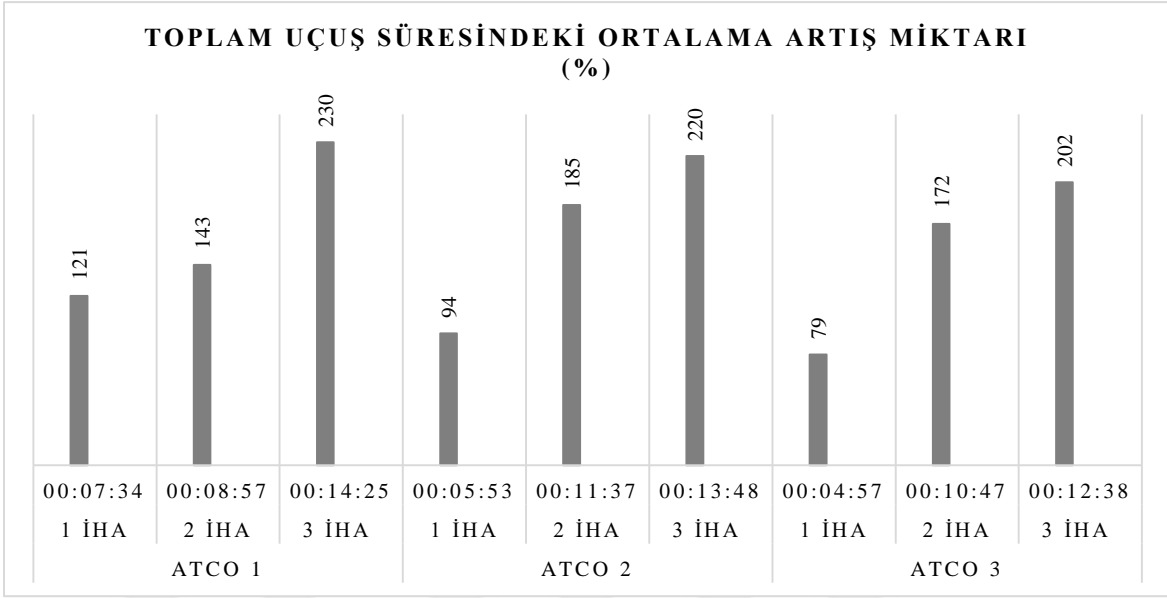
Mürted hava sahası temel alınan hazırlık aşamasında, 10 adet insanlı hava aracının olduğu uçuş senaryosu, kontrolörler tarafından radar simülatöründe yönetilmiştir. Her bir kontrolör çalışmada ATCO 1, ATCO 2 ve ATCO 3 olarak isimlendirilmiştir. Hız azaltma, bekleme ve vektör yöntemleri ile trafiklerin emniyetli ayırmasını sağlamıştır. Aynı uçuş senaryolarına, İHA sistemi birer artırılarak dâhil edilmiştir. Gerçekleştirilen uçuş senaryoları, İHA sistemi dâhil olmadan (base-line trafik) alınan veriler ile toplam uçuş

süreleri bakımından karşılaştırılmıştır. Bekleme öncelikli uçuş senaryolarında İHA, ilk dört uçaktan sonra senaryoya dâhil edilmiştir.



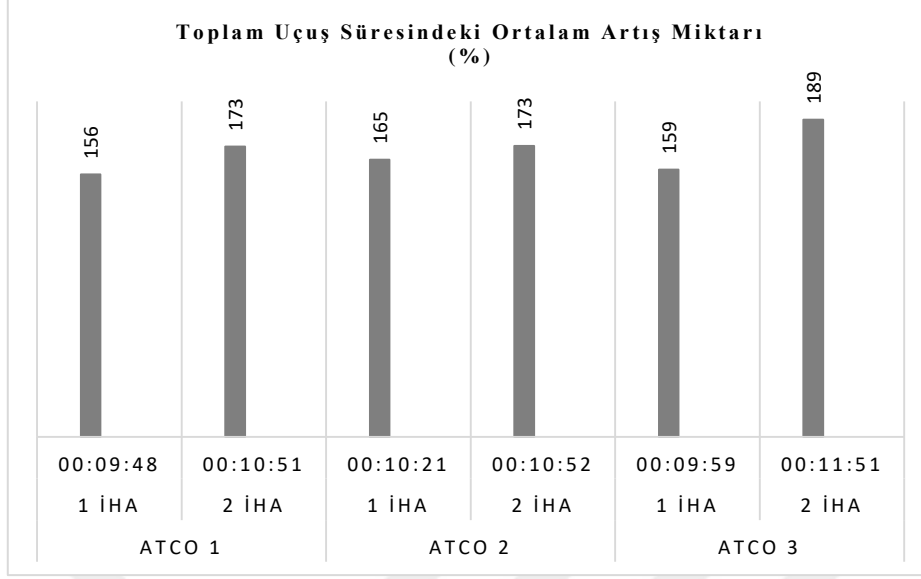
Şekil 2.8. Karma trafikli uçuş senaryolarında İHA'ların arkasındaki trafiklerin toplam uçuş sürelerindeki ortalama artış miktarları (bekleme öncelikli)

Şekil 2.8'de kontrolörlerin (ATCO 1, ATCO 2, ATCO 3) karma trafikli uçuş senaryolarında, hava araçlarının sıralamasında öncelikli olarak bekleme yöntemi uyguladığında, İHA'ların arkasındaki her bir uçağın toplam uçuş süresinde meydana gelen ortalama ek süreler ve artış oranı gösterilmektedir. Veriler incelendiğinde, ilk gelene ilk hizmet uygulanan karma trafikli yapıda, özellikle İHA'ların arkasında kalan insanlı hava araçlarının toplam uçuş sürelerinde ATM sistemi olumsuz etkileyecek önemli artışlar görülmüştür.



Şekil 2.9. Karma trafikli uçuş senaryolarında İHA'ların arkasındaki trafiklerin toplam uçuş sürelerindeki ortalama artış miktarları (vektör öncelikli)

Şekil 2.9'da kontrolörlerin (ATCO 1, ATCO 2, ATCO 3) karma trafikli uçuş senaryolarında, hava araçlarının sıralamasında öncelikli olarak vektör yöntemi uyguladığında, İHA'ların arkasındaki her bir uçağın toplam uçuş süresinde meydana gelen ortalama ek süreler ve artış oranı gösterilmektedir. Vektör öncelikli uçuş senaryolarında İHA, ilk üç uçaktan sonra senaryoya dâhil edilmiştir. Veriler incelendiğinde, ilk gelene ilk hizmet uygulanan karma trafikli yapıda, özellikle İHA'ların arkasında kalan insanlı hava araçlarının toplam uçuş sürelerinde ATM sistemi olumsuz etkileyecek önemli artışlar görülmüştür. Diğer taraftan senaryoya dahil edilen İHA sayısı arttıkça, insanlı hava araçlarının toplam uçuş sürelerinin ortalama artış miktarını artırdığı gözlemlenmiştir.



Şekil 2.10. Karma trafikli uçuş senaryolarında İHA'ların arkasındaki trafiklerin toplam uçuş sürelerindeki ortalama artış miktarları (hız tahdidi öncelikli)

Şekil 2.10'da kontrolörlerin (ATCO 1, ATCO 2, ATCO 3) karma trafikli uçuş senaryolarında, hava araçlarının sıralamasında öncelikli olarak hız tahdidi yöntemi uyguladığında, İHA'ların arkasındaki her bir uçağın toplam uçuş süresinde meydana gelen ortalama ek süreler ve artış oranı gösterilmektedir. Hız tahdidi öncelikli uçuş senaryolarında İHA, ilk beş uçaktan sonra senaryoya dâhil edilmiştir. Veriler incelendiğinde, ilk gelene ilk hizmet uygulanan karma trafikli yapıda, özellikle İHA'ların arkasında kalan insanlı hava araçlarının toplam uçuş sürelerinde ATM sistemi olumsuz etkileyecek önemli artışlar görülmüştür.

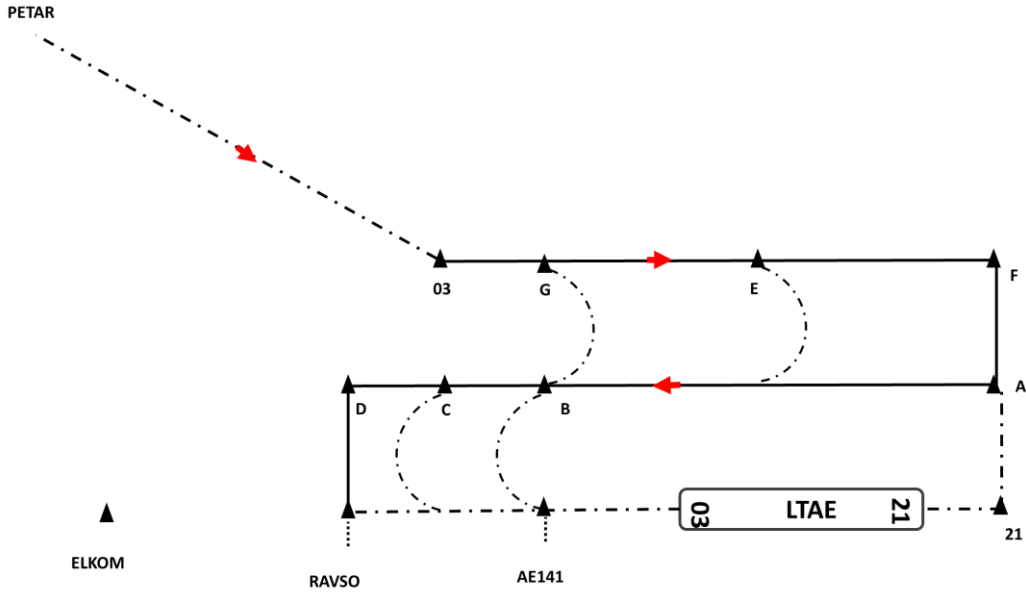
Şekil 2.8 ile Şekil 2.10 arasındaki ilgili grafikler incelendiğinde, her bir uygulamada İHA'nın arkasından gelecek insanlı hava araçlarının toplam uçuş sürelerinde, mevcut ATM yapısını etkileyecek düzeyde artışlar gözlemlenmiştir. İnsanlı trafiğe birer artırılarak dahil edilen İHA'ların inişine izin verildikten sonra, arkadaki trafiklerde % 79 ile %230 arasındaki oranlarda toplam uçuş sürelerine ek bir süre getirdiği görülmüştür. Toplam uçuş sürelerindeki artış, aynı zamanda pilot ile kontrolör arasındaki frekans meşguliyeti ve çevresel etki bakımından önemli bir değişikliğe de neden olacağı değerlendirilmiştir. Diğer taraftan İHA'ların insanlı hava araçlarına nazaran manevra ve performans açısından daha düşük seviyelerde olması nedeniyle, İHA'lardan sonra gelen trafiklerde gecikmelere

sebebiyet verdiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle farklı yapıda uçuş prosedürlerinin tekrar tasarlanması gerekli görülmüştür.

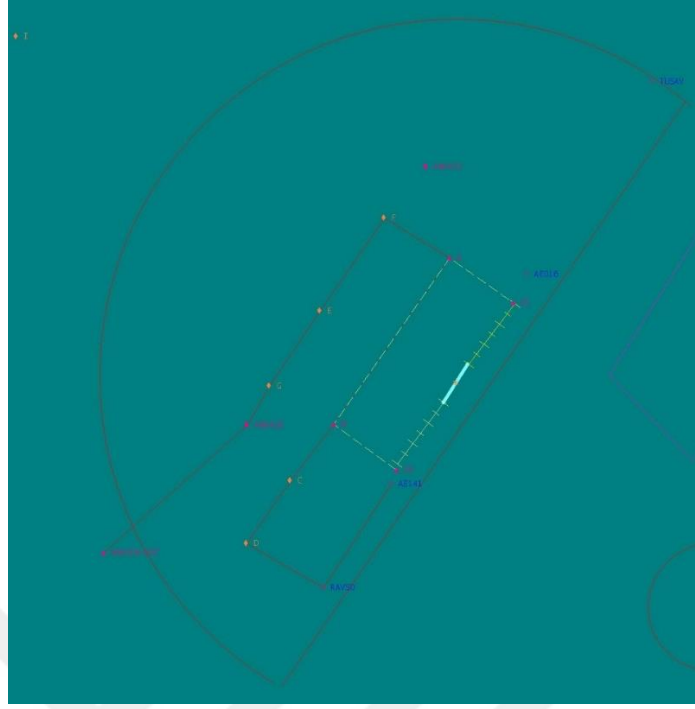
2.6.2. İkinci hazırlık ve gerçekleştirme aşaması

Bir önceki kısımda oluşan gecikmeleri gidermek için alternatif olarak geliştirilen uçuş prosedürü Şekil 2.11'deki gibi tasarlanmıştır. Bu deney tasarımı insanlı hava araçlarında trambon olarak isimlendirilen manevralardan esinlenerek oluşturulmuştur. Bu prosedürler ATC'ye net bir trafik görüntüsü sunar, böylece TMA içerisinde nispeten yüksek kapasite elde edilir [111].

Şekil 2.12'de gösterildiği gibi PETAR noktasından çıkan insanlı ve insansız hava araçlarının dâhil olduğu karma trafiğin 03 noktası ile başlayan ve AE141 fiksinde biten trambon şeklindeki bir kavramsal tasarım gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda bu iki nokta arasında koordinatları belli noktalar (G, E, F, A, B, C, D, 21) tanımlanmış, trafiğin yoğunluğuna göre kontrolörün (G, E, B, C) yol noktalarında vektör vermesi ile uçuş operasyonunu tamamlaması öngörülmüştür. Bu kapsamdaki kavramsal tasarımın radar simülatörüne tanımlanmış hali Şekil 2.12'de gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Hazırlık aşaması kavramsal tasarım gösterimi



Şekil 2.12. Kavramsal tasarımın radar simülatöründeki gösterimi

İhtiyaç halinde modelde uygulanacak gecikmelerin, modelin bacak uzunluğu ile sınırlı olması ve irtifa kısıtlarının elverişli olmaması nedenleri ile modelin İHA'ların uçuş operasyonları için uygun olmadığı görülmüştür. Diğer bir deyişle uçuş prosedürün uzunluğu, uçuş verimliliği açısından dezavantajlara neden olacağı değerlendirilmiştir. Bu gerekçeler doğrultusunda farklı bir deney tasarıma ihtiyaç doğmuştur.

2.6.3. Nihai deney tasarımının hazırlık ve gerçekleştirme aşaması

Daha önceki çalışmalar neticesinde İHA sistemleri için farklı bir yapıda uçuş senaryolarının oluşturulma ihtiyacı doğmuştur. Çünkü aynı noktadan çıkacak şekilde tasarlanan karma trafikli uçuş operasyonlarında, İHA sistemlerinin düşük performans özellikleri nedeniyle (düşük performans, düşük manevra kabiliyeti ve düşük hız), insanlı hava araçlarının toplam uçuş sürelerini önemli derecede artırdığı görülmüştür. Bu nedenle karma trafik için yeni model oluşturma ihtiyacı, aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

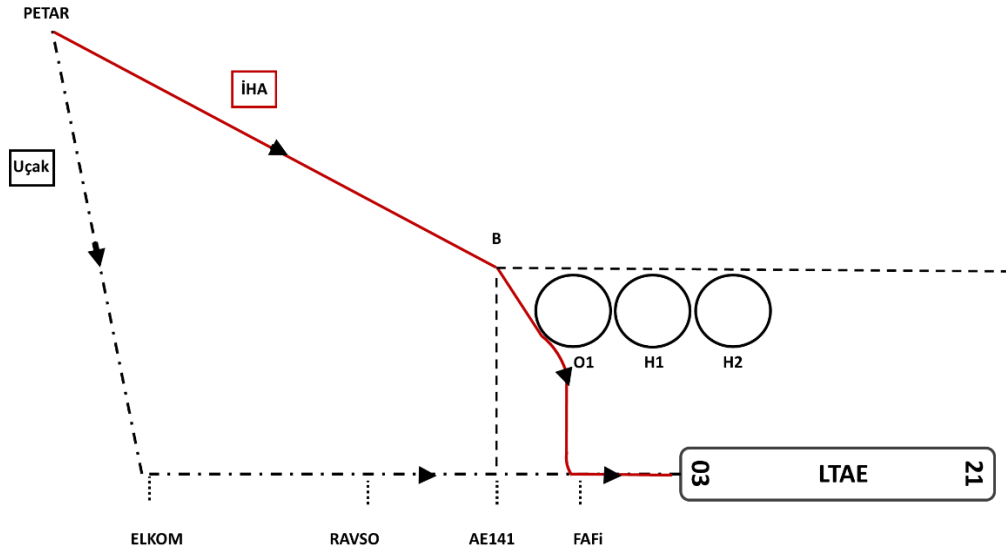
- Kullanılan İHA sisteminin insanlı hava araçlarına göre düşük performanslı olması

- İHA sistemleri üzerinde insan olmamasından kaynaklı önceliklerin her zaman insanlı hava araçlarında olması
- Aynı rotayı takip eden karma trafikli senaryolarda her koşulda insanlı hava araçlarının İHA sistemlerini geçmesi
- İlk gelene ilk hizmet yöntemi uygulandığında İHA'ların arkasından gelen insanlı hava araçlarının toplam uçuş sürelerinin önemli derecede artması,

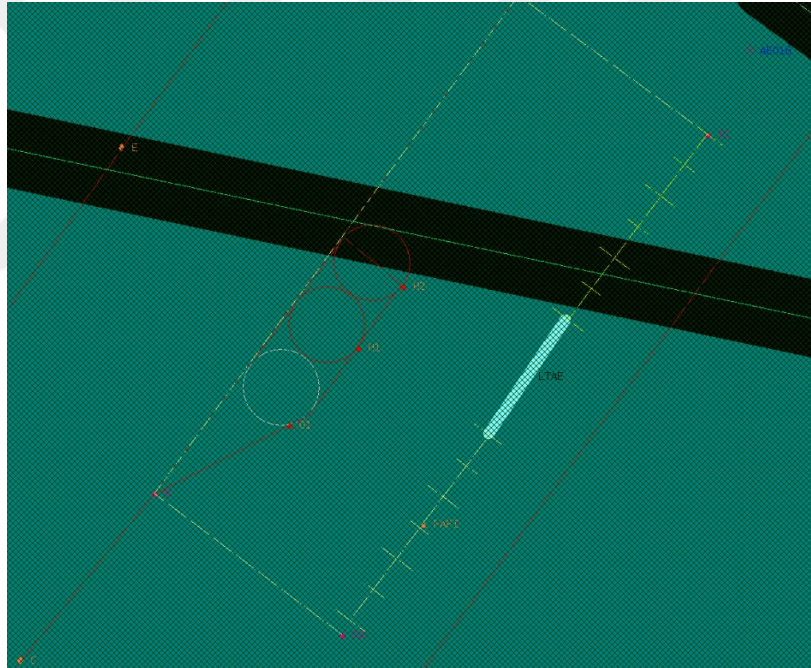
Yukarıda bahsi geçen dezavantajlardan dolayı İHA sistemlerine özgü senaryoların oluşturulmasında vektör, bekleme ve hız tahdidi yöntemlerine ek olarak orbit noktalarının belirlenmesi önerilmiştir. Bu noktaların belirlenmesinde amaç İHA sistemlerinin son yaklaşma fazına daha emniyetli ve verimli bağlanmasını ve ayrıca diğer insanlı trafiğin toplam uçuş sürelerindeki artışın azalmasını sağlamaktır.

Bu kapsamda Mürted 03 pisti yakınlarında uçuş operasyonlarını etkilemeyecek şekilde bekleme noktası ve uçuş güzergâhı seçilerek yeni bir deney tasarımı yapılmıştır. Şekil 2.13'de ve Şekil 2.14'de gösterimi yapılan tasarımda İHA sisteminin, koordinatları belirli noktaya kadar insanlı hava araçlarından farklı bir rotada (kırmızı çizgili) ilerlemesi öngörülmüştür.

Kullanılan İHA sisteminin insanlı hava araçlarına göre düşük performanslı olması ve düşük öncelikli hava sahası kullanıcısı olarak kabul edilmesi nedeniyle Şekil 2.13'deki gibi nihai model tasarımı yapılmış ve radar simülatörüne tanımlanmıştır. Bu tür bir kavramsal tasarımda altındaki fikir ise ICAO 10019 [13] dokümanında belirtildiği gibi, alternatif İHA uçuş rotalarının hava alanları yakınlarında tanımlanabilmesidir [57].



Şekil 2.13. Model önerisi

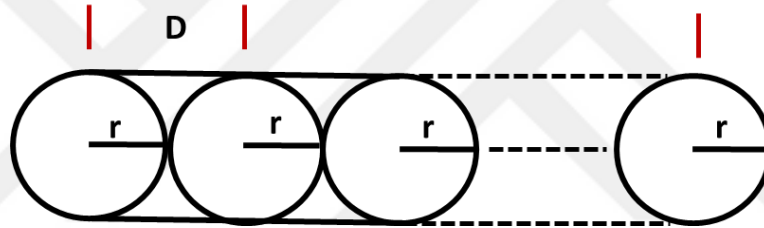


Şekil 2.14. Model önerisi radar görünümü

Mürted havaalanına yaklaşma ve iniş fazı temel alınan ve Şekil 2.13’de gösterilen son modelde 8 adet M kategorideki insanlı hava araçlarının olduğu uçuş senaryosu, kontrolörler tarafından radar simülatöründe yönetilmiştir. Her bir kontrolör gerektiğinde geciktirme yöntemleri kullanarak trafiklerin emniyetli ayırmasını sağlamıştır. İlgili senaryonun olumsuz yönlerini gidermek amacıyla model önerisi ile İHA’lar ek olarak orbit şeklinde

bekleme önerilmiştir. Bu noktaların belirlenmesinde amaç İHA sistemlerinin son yaklaşma fazına daha emniyetli ve verimli entegrasyonu sağlamaktır.

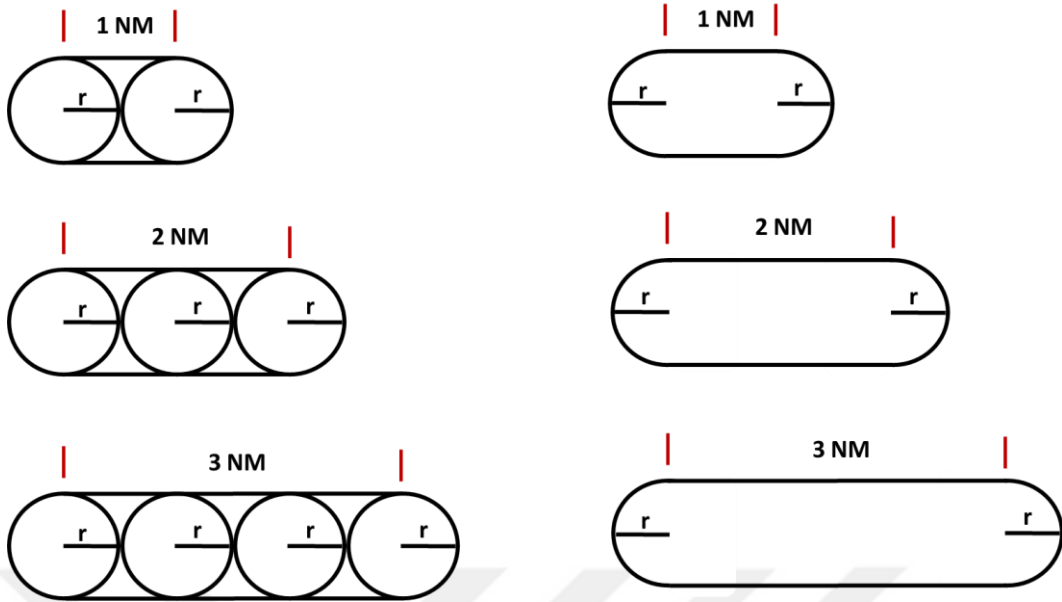
Geleneksel bekleme yöntemlerinin İHA sistemlerine göre zaman ve mesafe olarak avantajlı olmadığı, üzerinde insan olmayan İHA sistemlerinin yolcu konforu gibi özelliklerini de göz ardı ederek, belirli bir yarıçapta dönüşünü kısa sürede ve kısa zamanda sağlaması için orbitler ile bekleme paternlerinin oluşturulması önerilmiştir (Şekil 2.15). Hava aracı performansı ve pistin trafik yoğunluğuna göz önüne alınarak yarıçap miktarları 0,5 NM, 1 NM ya da 1,5 NM olabilecek şekilde belirlenmiştir. Böylece, kontrolörler pist yoğunluğuna göre ihtiyacı olan süre kadar, İHA pilotarından kaç NM mesafeli bekleme paterni yapacağını söyleyecektir (Şekil 2.15 – Şekil 2.18). İHA pilotu da buna göre orbitleri kullanarak, otonom bir şekilde İHA'ları beklemeye alacaktır. Böylelikle kontrolör ve İHA pilotları arasında basit ve anlaşılır bir sistemin oluşturulması hedeflenmiştir.



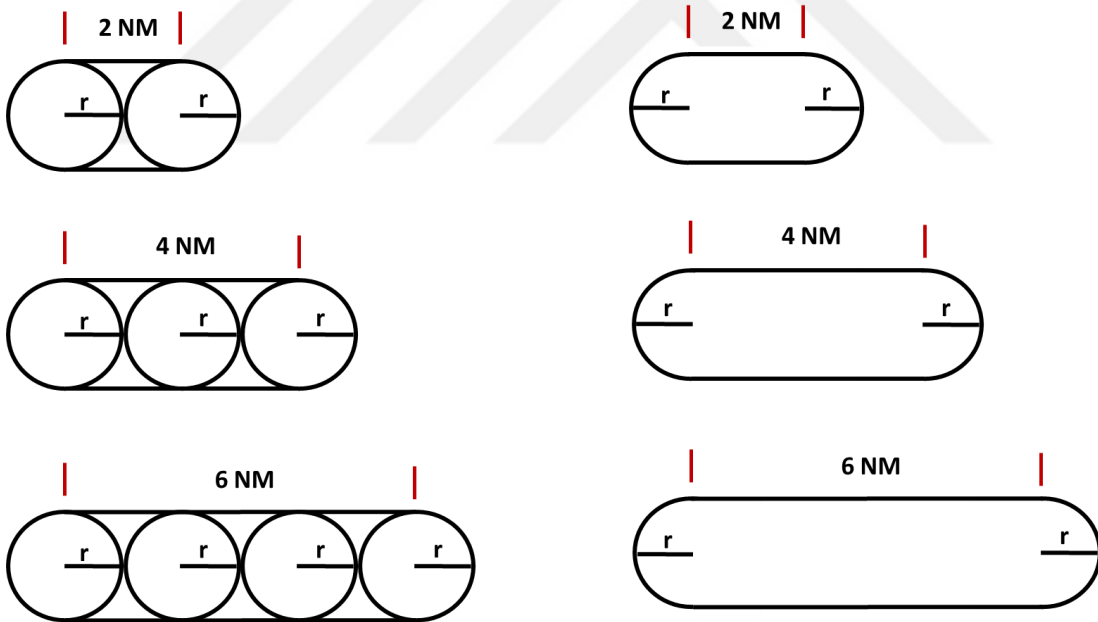
Şekil 2.15. Orbit yerleşim tasarımı

*r : Yarıçap

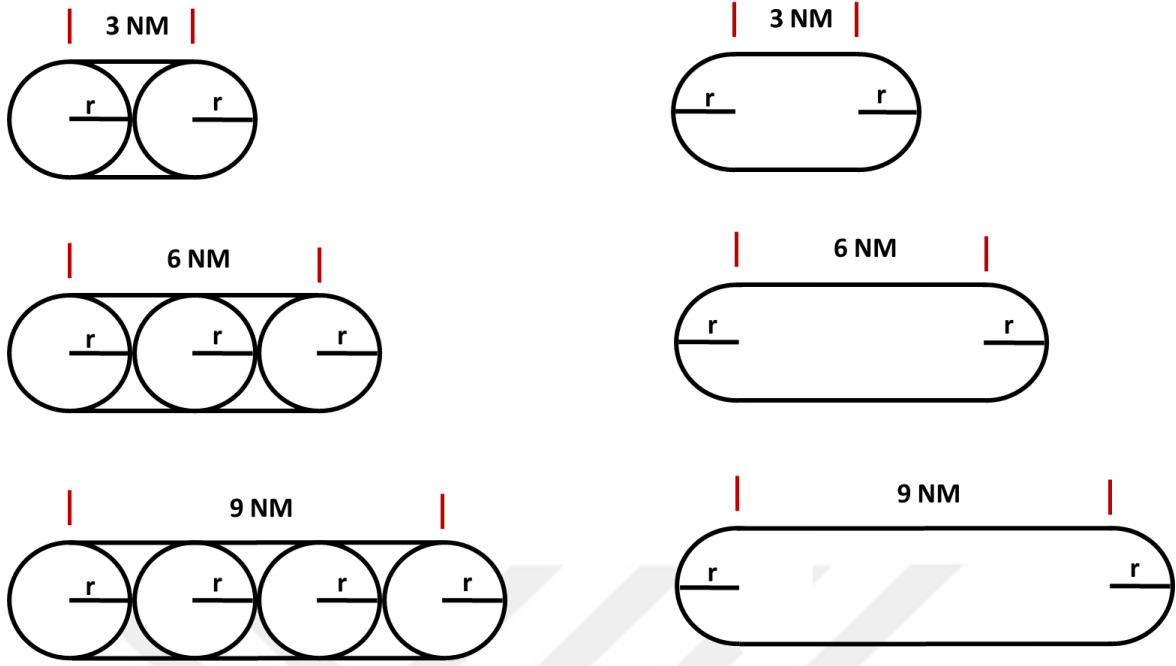
*D: Uzaklaşma Bacağı (Outbound Leg)



Şekil 2.16. Orbit yerleşim tasarımı ($r = 0,5 \text{ NM}$)

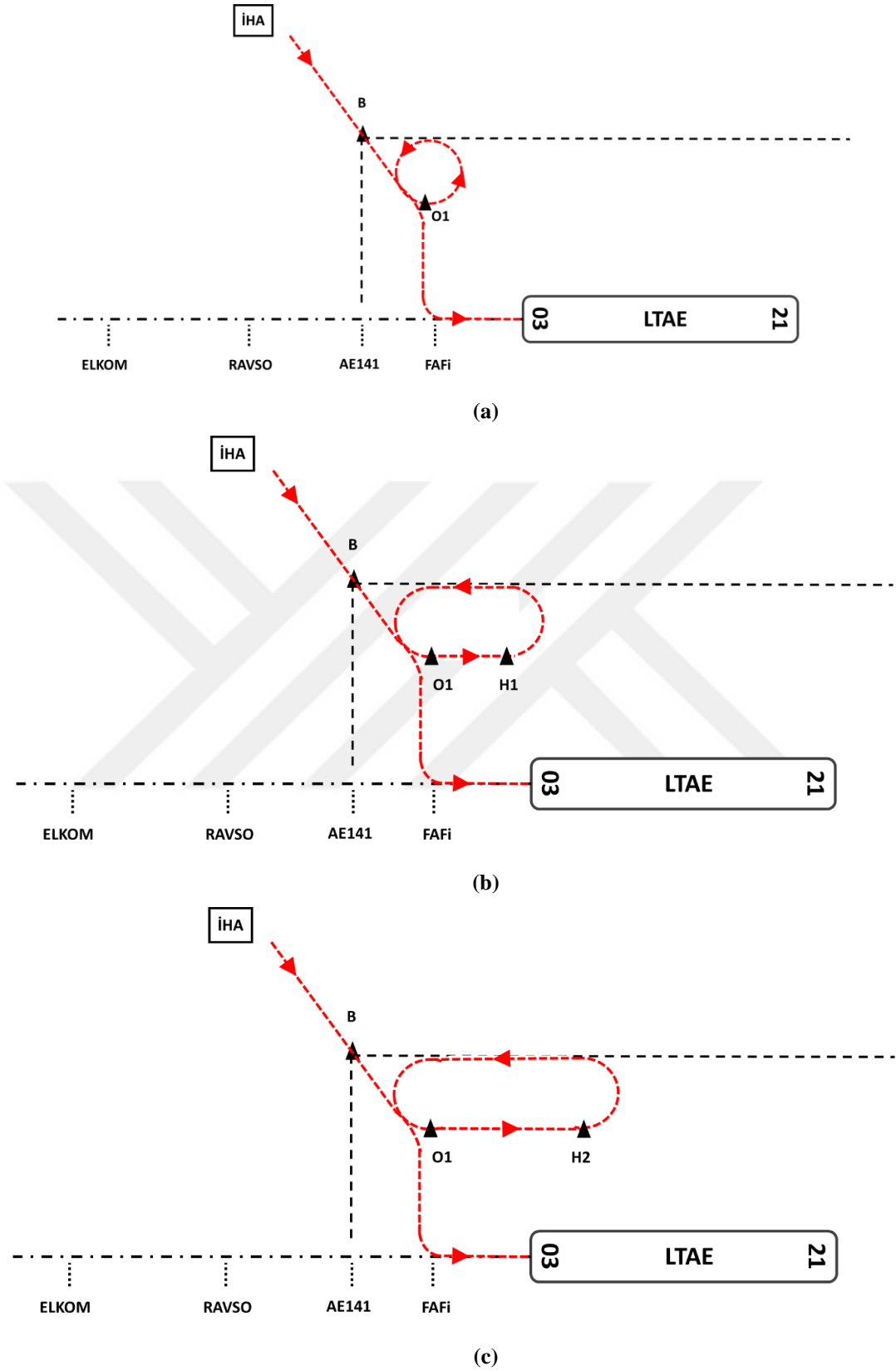


Şekil 2.17. Orbit yerleşim tasarımı ($r = 1 \text{ NM}$)



Şekil 2.18. Orbit yerleşim tasarımı ($r = 1,5 \text{ NM}$)

Nihai modelde, İHA sistemi B noktasına kadar insanlı hava araçlarından bağımsız olarak gelmesi ve 03 pistinin trafik yoğunluğuna göre O1 noktasında orbite alınması amaçlanmıştır (Şekil 2.19-a). Diğer taraftan, trafik yoğunluğuna göre İHA'nın H1, H2 veya daha fazla orbit sayısının eklenmesi ile elde edilecek noktalardan beklemeye girmesi hedeflenmiştir (Şekil 2.19-b ve Şekil 2.19-c). Gerçek uçuşlarda İHA sistemi 15° yatış açısı ile 2 dk'da, $7,5^\circ$ yatış açısı ile 4 dk da bir orbiti tamamladığı ölçülmüştür. Simülasyon çalışmalarında İHA sisteminin 15° yatış açısı ile bir orbit etrafında tam dönüşünü 117 sn'de yaptığı ölçülmüştür. Böylece gerçek uçuş verileri ile simülasyon verilerinin birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir.



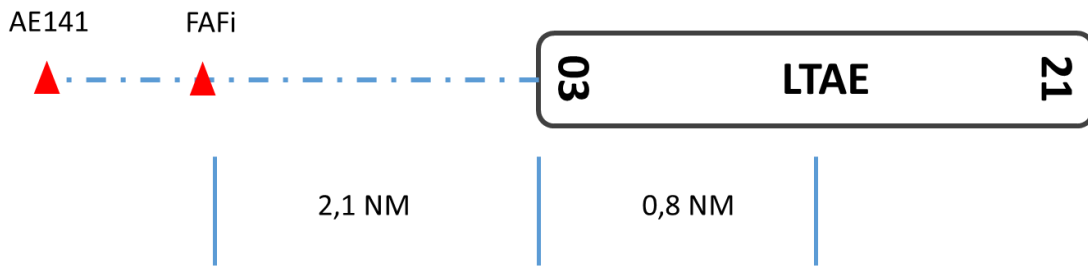
Şekil 2.19. Orbit ve bekleme konumlarının gösterimi (a) orbit (b)(c) bekleme

Orbit ve beklemler ile oluşturulan karma trafikli nihai modeldeki uçuş senaryosu aşağıdaki koşullara göre tasarlanmıştır:

1. İHA, 03 pisti iniş için uygun irtifada olduğunda orbit veya bekleme alınmadan doğrudan son yaklaşma fiksinde bağlanacaktır.
2. Karar fiksi ELKOM temel alınarak trafik olması halinde O1 noktasından orbit yapıp akabinde İHA için son yaklaşma fiksi olan FAFi'ye (İHA Sistemleri İçin Son Yaklaşma Fiksi) bağlanacaktır.
3. 03 pistine geliş yapan trafiğin yoğun olması halinde orbit sayısı artırılacak ve İHA H1 veya H2 noktalarına göre bekleme alınacaktır.
4. İHA yüksek uçuş seviyesinde ise H1 veya H2 noktasından bekleme alınıp hem süre hem mesafe kazancı sağlanacaktır.

Böylelikle İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasının geliş ve yaklaşma fazındaki uçuş operasyonlarının standartlaştırılması ve ihtiyaç halinde esnek kullanımı amaçlanmıştır.

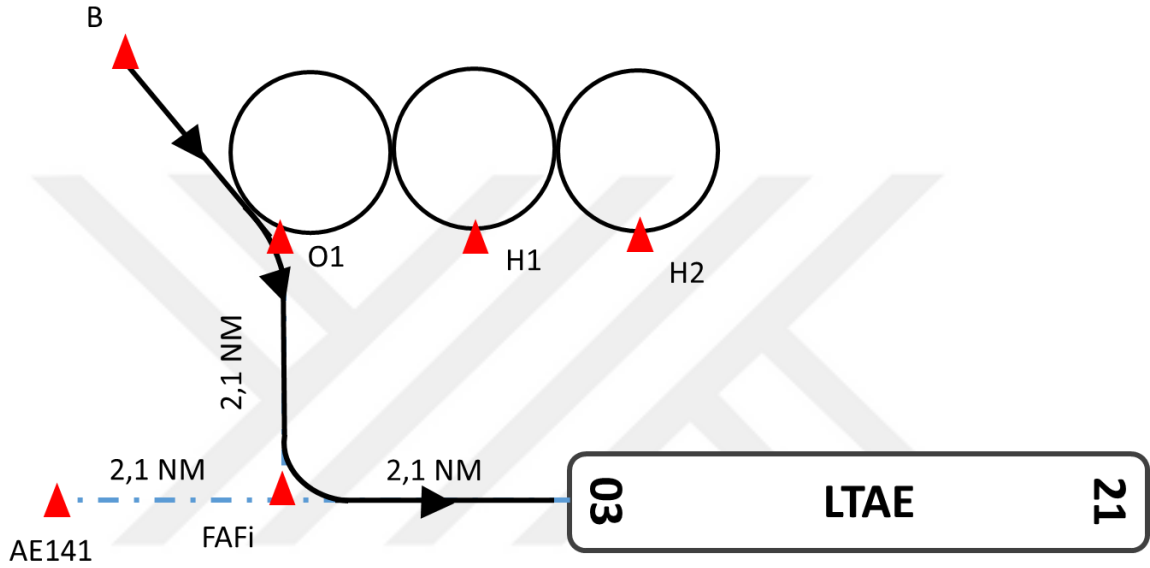
Nihai model ile oluşturulan karma trafiklerde, insanlı (M kategoride 8 uçak) ve insansız (L kategoride) hava araçları PETAR yol noktasından uçuşa başlaması ve İHA'nın FAFi noktasına kadar ayrı bir rotadan uçuşunu tamamlaması önerilmiştir. İngilizce son yaklaşma noktası olan FAF kısaltmasının sonuna, insansız kelimesinin baş harfi 'i' yi ekleyerek oluşturulan FAFi noktası, OKİS sisteminin teknik özellikleri temel alınarak, pist orta noktasından 2,9 NM olacak şekilde konumlandırılmış hayali bir noktadır (Şekil 2.20).



Şekil 2.20. İHA son yaklaşma noktası FAFİ gösterimi

Deney tasarımı, orbit noktalarının (O1, H1, H2 vb.) yerinin tespiti için FAFi fiksi, ELKOM fiksi ve ilgili İHA sisteminin 1 dk. kat edeceği mesafe değerleri dikkate alınmıştır.

FAFi noktası İHA sisteminin otomatik inişini gerçekleştirmesi açısından önemlidir. Diğer taraftan radarlı kontrol hizmeti veren kontrolörün, İHA sisteminin iniş iznini ELKOM fiksinden önce veya sonrasında hava aracı olup olmamasına göre karar vermesi açısından, ELKOM fiksi önemlidir. Model tasarımında ELKOM fiksi, önerilen yeni uçuş rotasının standartlaştırılması ve rutin işlemlerin gerçekleştirilmesi açısından karar fiksi olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 2.21. Önerilen modelde orbit noktalarının yerleşimi

Çalışmada temel alınan İHA-3 kategorideki Pigeon isimli İHA'nın, FAFi ile 03 pisti arasındaki mesafesi (2,1 NM) 1,5 dk. olarak belirlenmiştir. Tasarımda sistematik bir yaklaşım ve standartlaşmayı sağlaması açısından, O1 ve diğer orbit noktaları pistten yatay olarak 2,1 NM mesafe uzaklığına yerleştirilmiştir (Şekil 2.21).

3. BULGULAR

Çalışmada eşdeğer emniyet seviyesine sahip insanlı ve insansız hava araçlarının bulunduğu karma trafiklerin senaryo bazlı üretilmesi ve analizi ile kademeli entegrasyon imkânları değerlendirilmiştir. Mevcut ATM prosedürlerinin İHA sistemine uygulanabilirliği ve ATM paydaşlarına etkilerinin incelenmesindeki en kritik nokta, ilgili hava sahasındaki diğer kullanıcıların emniyet seviyelerinin olumsuz etkilenmemesidir. Bu amaçla gerçekleştirme aşamasında birden fazla senaryo oluşturularak mevcut prosedürlerin İHA'lar üzerinde uygulanabilirliği tartışılmıştır.

Başlangıç senaryosu ve önerilen modeldeki karma trafiklerin koşturulmasında kullanılan sınırlandırmalar şu şekilde özetlenmiştir:

- Hava araçları arasındaki yatay ayırma 3 NM
- İHA'nın çıkış zamanı 1. dk
- İlk uçağın çıkış zamanı 8. dk.
- Uçaklar arasındaki zamana dayalı ayırma 1,5 dk.
- FAFi noktası pist ortasından 2,9 NM uzaklıkta
- Uçakların çıkış irtifası 15,000 ft.
- İHA'ların çıkış irtifası 9,000 ft.
- Hava araçları arasındaki dikey ayırma 1,000 ft.

Kavramsal tasarım ve karma trafikli uçuş senaryolarının icra edilmesi ile insanlı ve insansız hava araçlarının terminal kontrol sahasına giriş zamanları, bekleme uygulanması durumunda beklemeye giriş ve çıkış zamanları, kontrolör talimat sayıları, son yaklaşma fiksi geçiş zamanları ve toplam uçuş süreleri ile mesafeleri gibi parametreler gerçek zamanlı radar simülatörü kullanarak ölçümler alınmıştır.

Oluşturulan insanlı (IFR1'den IFR8'e kadar isimlendirilmiş M kategoride 8 adet uçak) ve insansız hava araçlarının dâhil olduğu karma trafiklerde, aşağıda belirtilen kıstaslar dikkate alınarak veriler toplanmıştır.

- Her Bir Hava Aracının Toplam Uçuş Süresi
- Her Bir Hava Aracının Toplam Uçuş Mesafesi

- Kontrolörün Talimat Sayıları

Toplanan veriler ışığında nihai model önerisine ilişkin elde edilen bulgular, bu bölümün alt başlıklarında sunulmuştur.

3.1. Orbit ve Bekleme Açısından Bulgular

Çalışmada temel alınan İHA'nın, bekleme fazındaki hız miktarı (80 knot) dikkate alınarak, farklı uzaklaşma bacağına sahip Şekil 2.16 ile Şekil 2.18 arasındaki tasarımlar simülasyon ortamında tanımlanmıştır. Bu durumda İHA'ların kat ettiği mesafe ve toplam uçuş süreleri ölçülmüş ve Çizelge 3.1 oluşturulmuştur.

Çizelge 3.1. Farklı yarıçaplı bekleme oluşumunda mesafe ve süreler

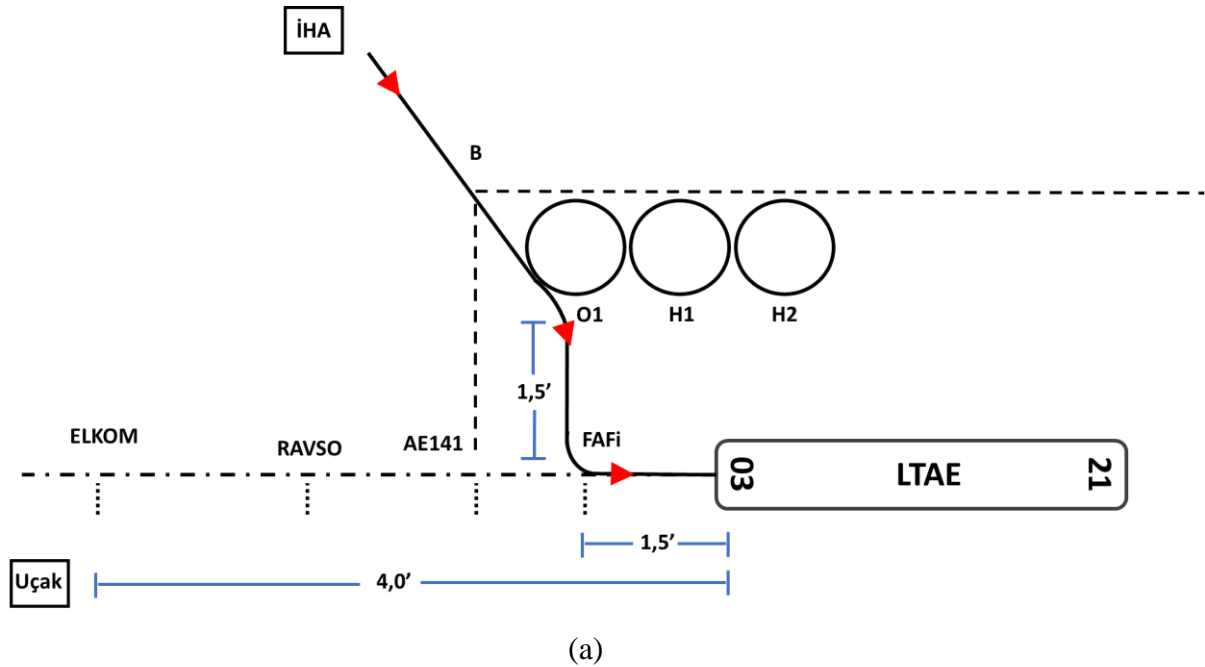
r (Orbit Yarıçapı) (NM)	D (Uzaklaşma Bacağı) (NM)	Toplam Kat Edilen Mesafe (NM)	Tamamlama Süresi (dk)
0.5	1	5,14	3,8
	2	7,14	5,3
	3	9,14	6,8
1	2	8,28	6,2
	4	10,28	7,7
	6	12,28	9,2
1.5	3	11,42	8,5
	6	13,42	10,0
	9	15,42	11,5

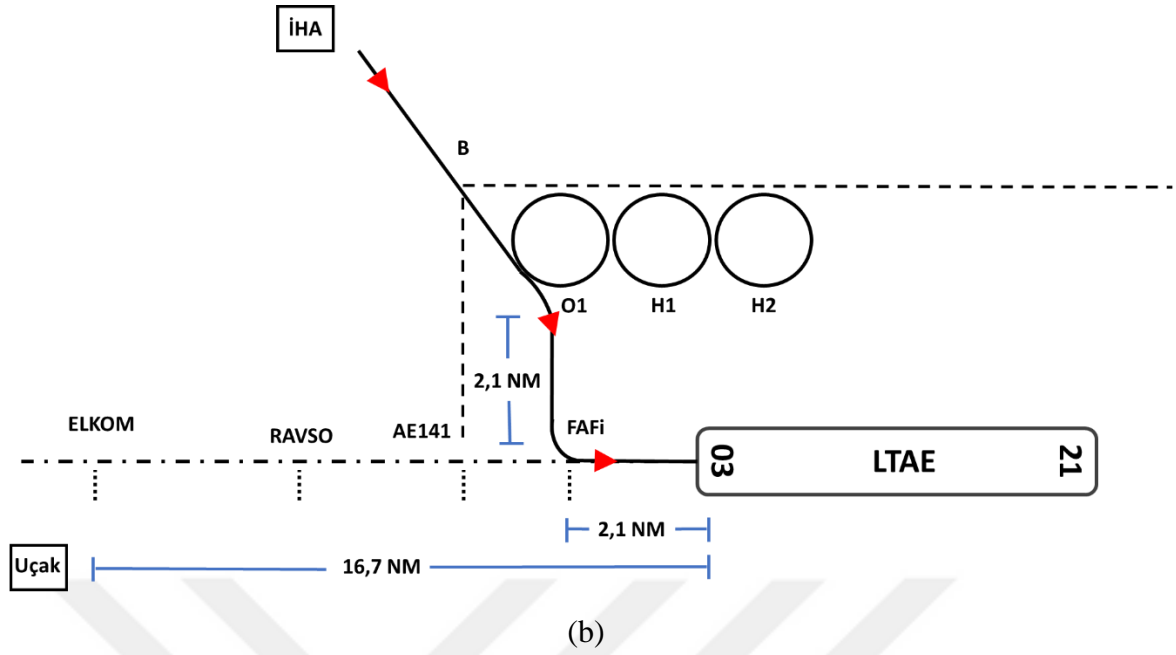
Orbit yarıçap uzunluğu arttığında kat edilen mesafe ve süre arttığından, bu çalışma kapsamında, 0,5 NM yarıçaplı orbit yerleşimi tercih edilmiştir. 0,5 NM yarıçaplı orbitler ile yapılabilecek bir bekleme paterni uygulayan İHA'nın, toplam kat ettiği mesafe ve toplam uçuş süreleri simülasyon ortamında ölçülmüştür (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. 0,5 NM yarıçaplı bekleme oluşumunda mesafe ve süreler

r (Orbit Yarıçapı) (NM)	D (Uzaklaşma Bacağı) (NM)	Toplam Kat Edilen Mesafe (NM)	Tamamlama Süresi (dk)
0,5	1	5,14	3,8
	2	7,14	5,3
	3	9,14	6,8
	4	11,14	8,3
	5	13,14	9,8
	6	15,14	11,3

Orbit ve bekleme uygulamasının sistematik bir şekilde gerçekleştirilmesi için, pist yapısı dikkate alınarak konumları belirlenmiştir. Diğer bir değişle O1 noktasının FAFi'den uzaklığı, FAFi 'nin 03 pisti ile uzaklığına eşit olacak şekilde yerleştirilmiştir. Önerilen modeldeki O1 fiksinden inişine izin verilen bir İHA, yaklaşık 3 dakikada inişini tamamlamaktadır. Böyle bir uçuş senaryosunda kontrolör, karar fiksi olan ELKOM yol noktasına göre insanlı ve insansız hava araçları arasında hem süre (Şekil 3.1-a) hem de mesafe (Şekil 3.1-b) ayırımı gerçekleştirmektedir.



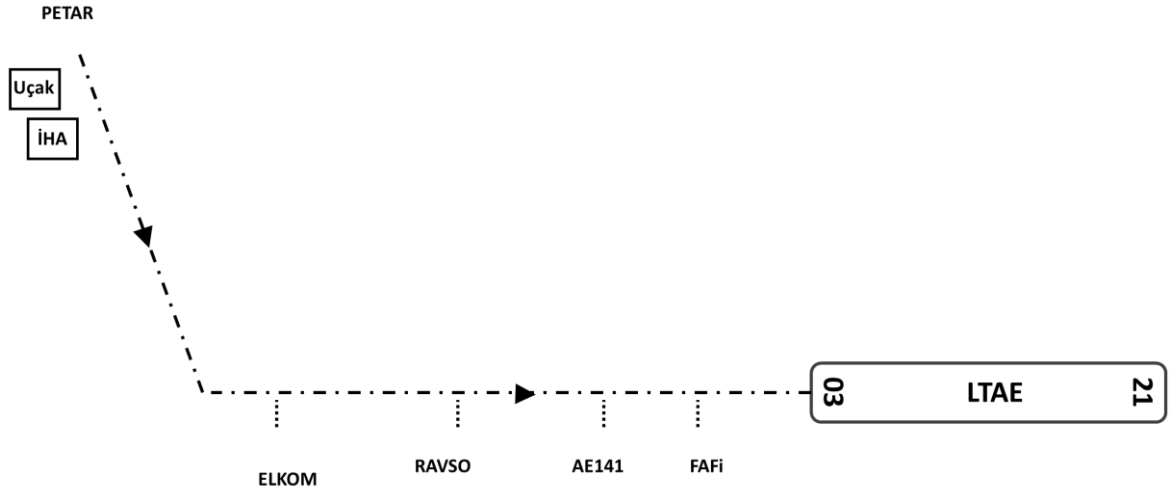


Şekil 3.1. Önerilen modelde hava araçlarının (a) süre bilgileri (b)mesafe bilgileri

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi İHA, O1 ile 03 pist başı arasındaki 4,2 NM’lik mesafeyi ortalama 3 dk’da almaktadır. Buna karşın M kategorideki bir uçak ise ELKOM ile 03 pisti arasındaki 16,7 NM’lik bir mesafeyi yaklaşık 4 dk’da almaktadır. Böylece kontrolör İHA’ya iniş izni vermeden ELKOM noktasını bir karar noktası olarak kullanarak insanlı ve insansız hava araçları arasındaki ayırmayı sağlamaktadır.

3.2. Mesafe ve Süre Açısından Bulgular

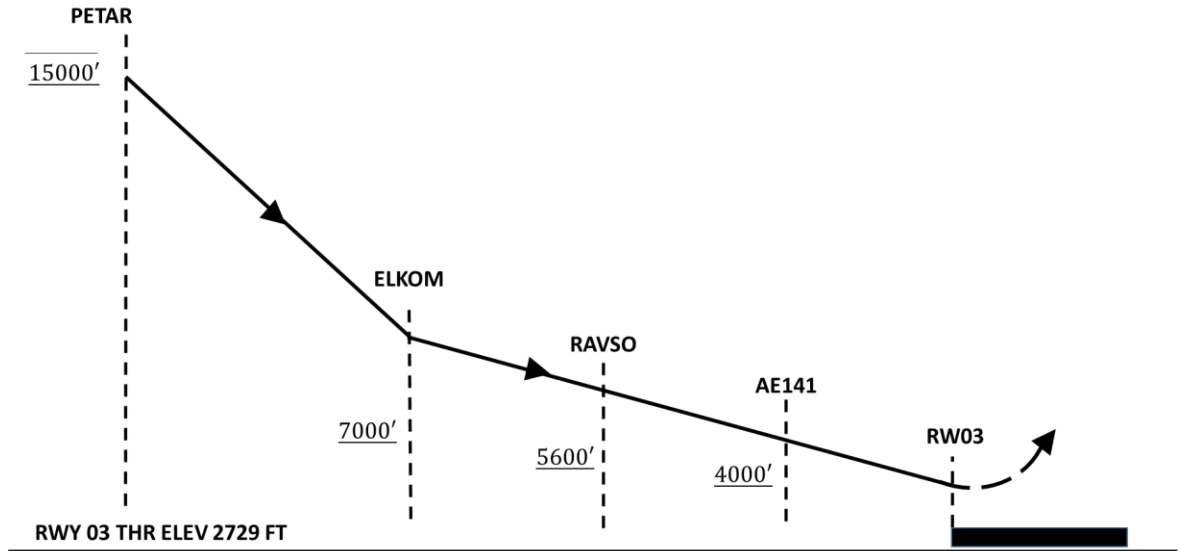
Önerilen modelde, İHA’ların ayrılmamış hava sahasına entegrasyonunun mevcut uçuş operasyonlarına etkilerinin incelenmesi için öncelikle başlangıç senaryosu (base-line) oluşturulmuştur. Oluşturulan başlangıç senaryosunun (Şekil 3.2), Şekil 2.7’de gösterilen senaryodan farkı ilk olarak İHA’nın uçuşa başlamasıdır. Başlangıç senaryosu içerisine daha önce tanımlaması yapılan Pigeon isimli İHA dâhil edilerek uçuş verileri toplanmıştır. Nihai olarak önerilen model uygulandıktan sonra başlangıç senaryosu ile karşılaştırılmıştır. Şekil 3.2’deki karma trafikli başlangıç uçuş senaryosunda insanlı ve insansız hava araçları PETAR noktasından uçuşlarına başlamaktadır. Ardından hava araçlarının sırasıyla PETAR ELKOM RAVSO yol noktalarını izlemesi ve son yaklaşma noktası olan AE141 ile inişini tamamlamasını sağlayacak, yaklaşma prosedürü radar simülatörüne tanımlanmıştır.



Şekil 3.2. Karma trafikli başlangıç uçuş senaryosu

Başlangıç Uçuş Senaryosu Uygulayan Uçakların Mesafe ve Süre Bilgileri

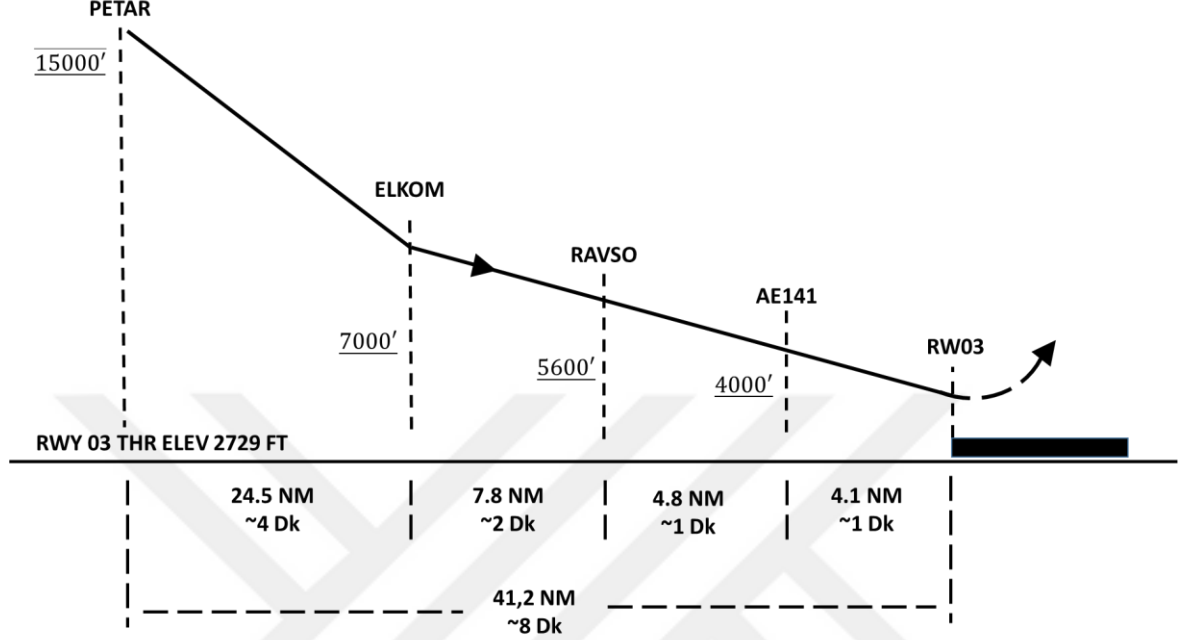
M Kategoride ve B737-800 tipindeki bir uçağın PETAR yol noktasından inişine kadar izleyeceği uçuş rotası ve her bir noktadaki irtifa kısıtları Şekil 3.3’de gösterilmektedir.



Şekil 3.3. M kategorideki uçakların başlangıç uçuş senaryosundaki yaklaşma profili

Şekil 3.3’e göre hareket eden bir uçağın, mesafe ve uçuş süreleri Şekil 3.4’de ve Çizelge 3.3’de gösterildiği gibi ölçülmüştür. Başlangıç uçuş senaryosunda uçaklar 90 sn.

aralıklarla uçuşa başladıklarından, ek olarak herhangi bir ayırma hizmeti (bekleme, vektör ve hız tahdidi vb.) yapılmasına gerek duyulmamıştır.



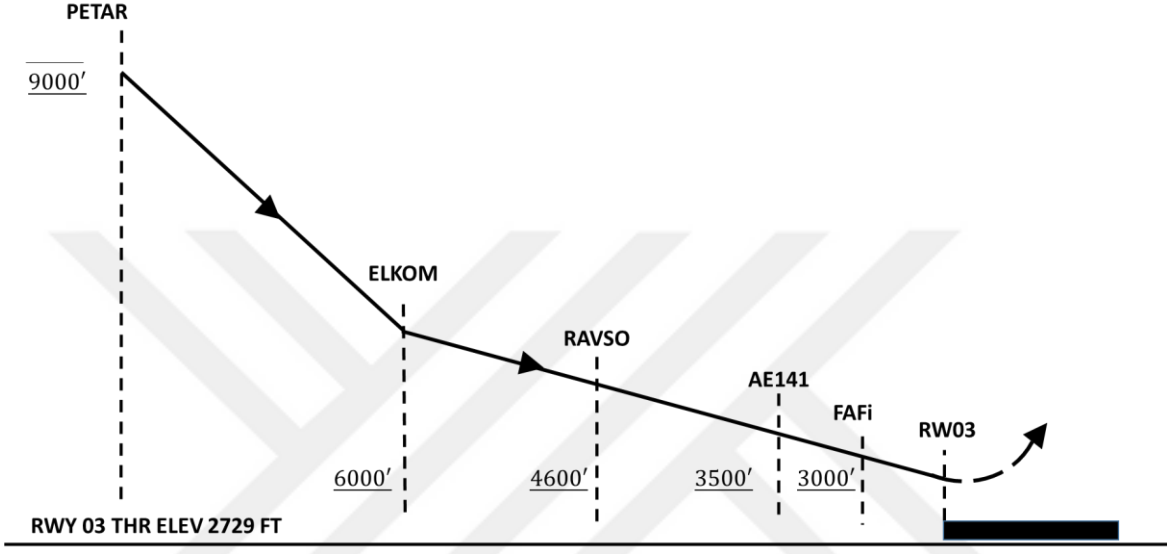
Şekil 3.4. Başlangıç uçuş senaryosunu uygulayan bir uçağın mesafe ve uçuş süresi bilgileri

Çizelge 3.3. Başlangıç uçuş senaryosunu uygulayan karma trafiklerin uçuş süresi bilgileri

Uçak Sıralaması	PETAR (dk)	ELKOM (dk)	RAVSO (dk)	AE141 (dk)	İniş (dk)	Toplam Uçuş Süresi (dk)
IFR1	8,00	12,10	14,10	15,30	16,45	8,45
IFR2	9,30	14,00	15,45	16,50	18,20	8,90
IFR3	11,00	15,30	17,10	18,30	20,00	9,00
IFR4	12,30	16,45	18,50	20,00	21,20	8,90
IFR5	14,00	18,30	20,15	21,20	23,00	9,00
IFR6	15,30	20,00	21,50	23,00	24,30	9,00
IFR7	17,00	21,20	23,15	24,20	25,30	8,30
IFR8	18,30	23,00	24,40	26,00	27,25	8,95

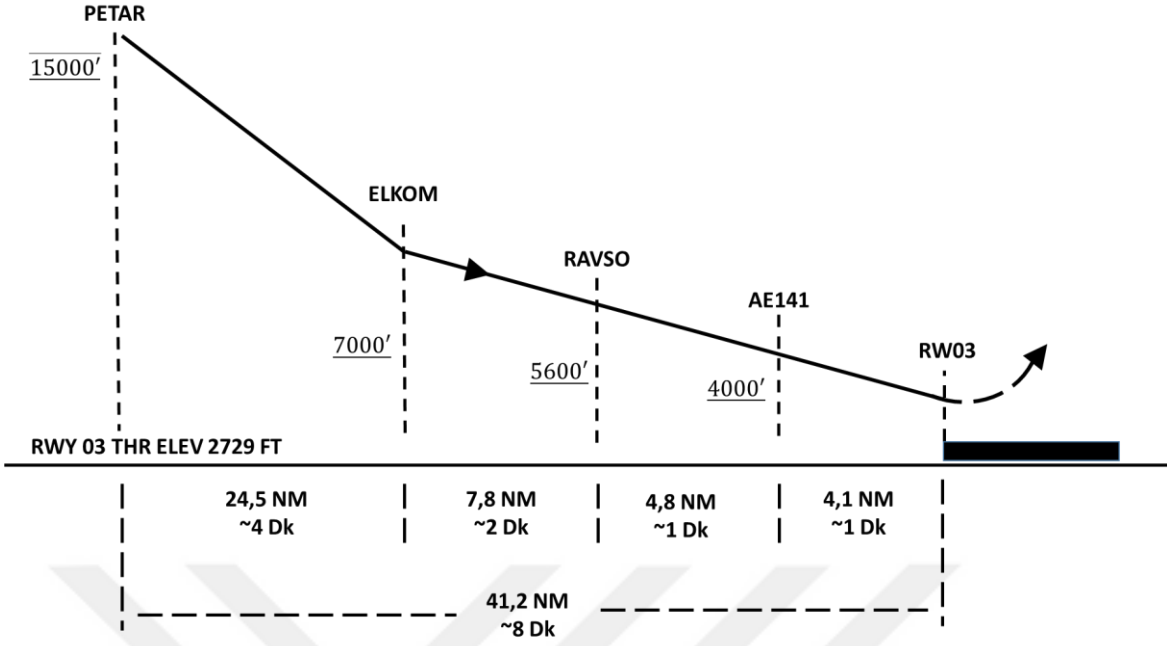
Başlangıç Uçuş Senaryosu Uygulayan İHA'nın Mesafe ve Süre Bilgileri

Başlangıç senaryosu içerisinde dâhil edilen İHA'nın yaklaşma profili Şekil 3.5'de gösterilmektedir. Bu uygulamada İHA ilk olarak uçuşa başlamış ve PETAR, ELKOM, RAVSO ve AE141 yol noktalarını izleyerek 03 pistinin orta noktasına teker koyaark inişini tamamlanmaktadır.



Şekil 3.5. İHA'nın başlangıç uçuş senaryosundaki yaklaşma profili

Başlangıç uçuş senaryosuna dâhil edilen bir İHA'nın, mesafe ve toplam uçuş süreleri Şekil 3.6 ve Çizelge 3.4'deki gibi gösterilmektedir. Böyle bir senaryoda İHA'nın inişine izin verildiğinde, kontrolör emniyetli ayırmayı sağlamak amacıyla IFR7 ve IFR8 hava araçlarına (son iki uçak) bekleme ve hız kesme yöntemleri uygulamıştır. IFR7 ve IFR8 hava araçlarına hız tahdidi (hız kesme) uygulayarak ve bu iki uçağın ELKOM yol noktasından beklemeye alınarak emniyetli ayırma sağlanmıştır.



Şekil 3.6. Başlangıç senaryoyu uygulayan bir İHA'nın mesafe ve uçuş süresi bilgileri

Çizelge 3.4. Başlangıç senaryosuna İHA dâhil olduğunda hava araçlarının toplam uçuş süreleri (a) son iki uçak beklemeye alındığında (b) son iki uçağın hızı kısıldığında

(a)

Uçak Sıralaması	PETAR (dk)	ELKOM (dk)	RAVSO (dk)	AE141 (dk)	İniş (dk)	Toplam Uçuş Süresi (dk)
İHA	1,00	15,10	20,20	23,40	26,50	25,50
IFR1	8,00	12,10	14,10	15,30	16,45	8,45
IFR2	9,30	14,00	15,45	16,50	18,20	8,90
IFR3	11,00	15,30	17,10	18,30	20,00	9,00
IFR4	12,30	16,45	18,50	20,00	21,20	8,90
IFR5	14,00	18,30	20,15	21,20	23,00	9,00
IFR6	15,30	20,00	21,50	23,00	24,30	9,00
IFR7	17,00	21,20	29,20	30,30	31,30	14,30
IFR8	18,30	23,00	30,50	32,00	33,50	15,20

(b)

Uçak Sıralaması	PETAR (dk)	ELKOM (dk)	RAVSO (dk)	AE141 (dk)	İniş (dk)	Toplam Uçuş Süresi (dk)
İHA	1,00	15,10	20,20	23,40	26,50	25,50
IFR1	8,00	12,10	14,10	15,30	16,45	8,45
IFR2	9,30	14,00	15,45	16,50	18,20	8,90
IFR3	11,00	15,30	17,10	18,30	20,00	9,00
IFR4	12,30	16,45	18,50	20,00	21,20	8,90
IFR5	14,00	18,30	20,15	21,20	23,00	9,00
IFR6	15,30	20,00	21,50	23,00	24,30	9,00
IFR7	17,00	21,20	23,15	29,30	30,55	13,55
IFR8	18,30	23,00	24,40	31,00	32,20	13,90

Bir İHA'nın dahil olduğu başlangıç uçuş senaryosunda, Çizelge 3.5'de gösterildiği gibi son iki uçağın toplam uçuş süreleri %50 ile %72 arasında arttığı görülmüştür.

Çizelge 3.5. Başlangıç senaryosuna İHA dâhil olduğunda hava araçlarının uçuş süresi değişimi

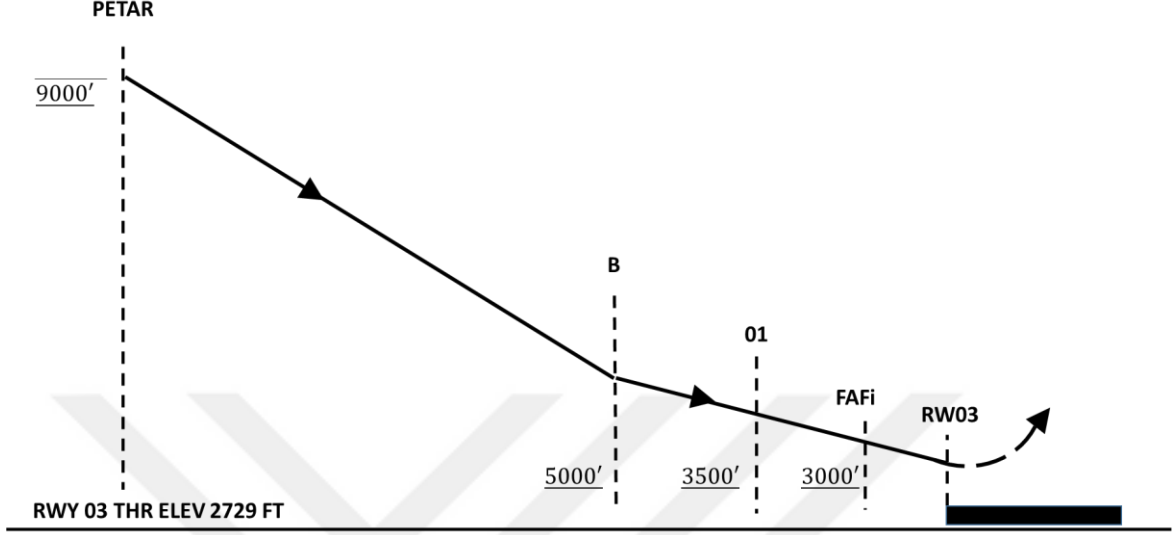
Etkilenen Hava Araçları	Toplam Uçuş Süresindeki Artış	
	Bekleme	Hız Kesme
IFR7	72%	63%
IFR8	70%	55%

Böyle bir senaryoda kontrolör ilk gelene ilk hizmet prensibini uyguladığında, İHA'ların inişine izin verildikten sonra, arkasında insanlı hava araçlarına ait uçuş trafiğinde yığılma olduğu gözlemlenmiştir. Başlangıç senaryosundaki bir İHA'nın bulunduğu karma trafikli gerçek zamanlı simülasyon çalışmalarında elde edilen bulgular neticesinde, İHA'dan sonra gelen trafiğin %55 'in üzerinde gecikmeye sebebiyet vermiştir. Bu da mevcut ATM sisteminde kapasiteyi olumsuz etkileyecektir.

Yeni Modeli Uygulayan İHA'nın Mesafe ve Süre Bilgileri

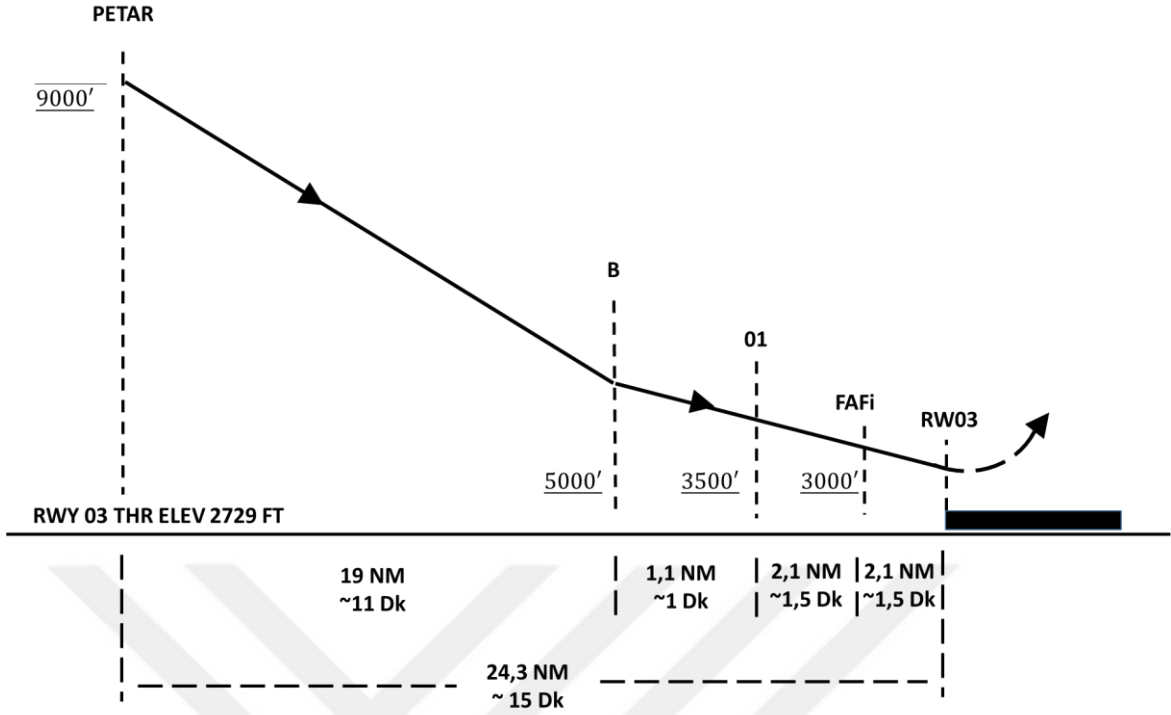
ICAO 10019 [13] dokümanında belirtildiği gibi, alternatif İHA uçuş rotalarının hava alanları yakınlarında tanımlanabildiğinden [58], Şekil 2.14'deki gibi önerilen yeni model uygulanmıştır. Yeni model önerisi ile İHA'ların belirli bir noktaya kadar insanlı hava

araçlarından ayrı bir rotada gelecek şekilde geliştirilmiştir. Modele göre bir İHA'nın uygulayacağı yaklaşma profili Şekil 3.7'de gösterildiği gibi oluşturulmuştur.



Şekil 3.7. İHA'nın yaklaşma profili

Bu tasarıma özgü senaryoların oluşturulmasında vektör, bekleme ve hız kesme yöntemlerine ek olarak orbit noktalarının belirlenmesi ile model özgünleştirilmiştir. Orbit noktaları ile İHA sistemlerinin son yaklaşma fazına daha emniyetli ve verimli bağlanmasını sağlanmış ve en önemlisi İHA uçuş operasyonlarına standart getirilerek pilot ve kontrolörün öngörüsü sağlamıştır. Bu yeni model ile elde edilen mesafe ve toplam uçuş süreleri Şekil 3.8'de ve Çizelge 3.6'da gösterildiği gibi ölçülmüştür.



Şekil 3.8. Önerilen modeli uygulayan bir İHA'nın mesafe ve uçuş süresi bilgileri

Çizelge 3.6. Önerilen uçuş senaryoyu uygulayan karma trafikli hava araçlarının uçuş süresi bilgileri

Uçak Sıralaması	PETAR (dk)	B (dk)	O1 (dk)	FAFi (dk)	ELKOM (dk)	RAVSO (dk)	AE141 (dk)	İniş (dk)	Toplam Uçuş Süresi (dk)
İHA	1,00	12,30	13,10	14,40	-	-	-	16,20	15,20
IFR1	8,00	-	-	-	12,50	15,10	16,40	17,45	9,45
IFR2	9,30	-	-	-	14,40	17,00	18,45	19,45	10,15
IFR3	11,00	-	-	-	15,30	16,45	19,20	20,40	9,40
IFR4	12,30	-	-	-	16,45	18,50	20,00	21,20	8,90
IFR5	14,00	-	-	-	18,30	20,15	21,20	23,00	9,00
IFR6	15,30	-	-	-	20,00	21,50	23,00	24,30	9,00
IFR7	17,00	-	-	-	21,20	23,15	24,20	25,30	8,30
IFR8	18,30	-	-	-	23,00	24,40	26,00	27,25	8,95

Bu uygulamada ilk olarak İHA'ya iniş izni verilmiş, IFR1-IFR3 hava araçlarının hızları azaltılarak emniyetli ayırma sağlanmıştır (Çizelge 3.6). Önerilen modeli uygulayan farklı bir senaryoda ise İHA, O1 orbit noktasında beklemeye alınmış, bu sırada IFR2-IFR4

hava araçlarının hızları azaltılarak emniyetli ayırma sağlanmış böylece İHA, IFR 1'den sonra inişine izin verilmiştir ve ölçümler Çizelge 3.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. İHA'nın O1 noktasından bekleme durumunda karma trafikli hava araçlarının uçuş süresi bilgileri

Uçak Sıralaması	PETAR (dk)	B (dk)	O1 (dk)	FAFI (dk)	ELKOM (dk)	RAVSO (dk)	AE141 (dk)	İniş (dk)	Toplam Uçuş Süresi (dk)
İHA	1,00	12,30	13,10	16,40	-	-	-	18,30	17,30
IFR1	8,00	-	-	-	12,10	14,10	15,30	16,45	8,45
IFR2	9,30	-	-	-	14,30	15,45	18,20	19,25	9,95
IFR3	11,00	-	-	-	16,00	18,40	20,00	21,05	10,05
IFR4	12,30	-	-	-	17,00	19,30	20,54	22,00	9,70
IFR5	14,00	-	-	-	18,30	20,15	21,20	23,00	9,00
IFR6	15,30	-	-	-	20,00	21,50	23,00	24,30	9,00
IFR7	17,00	-	-	-	21,20	23,15	24,20	25,30	8,30
IFR8	18,30	-	-	-	23,00	24,40	26,00	27,25	8,95

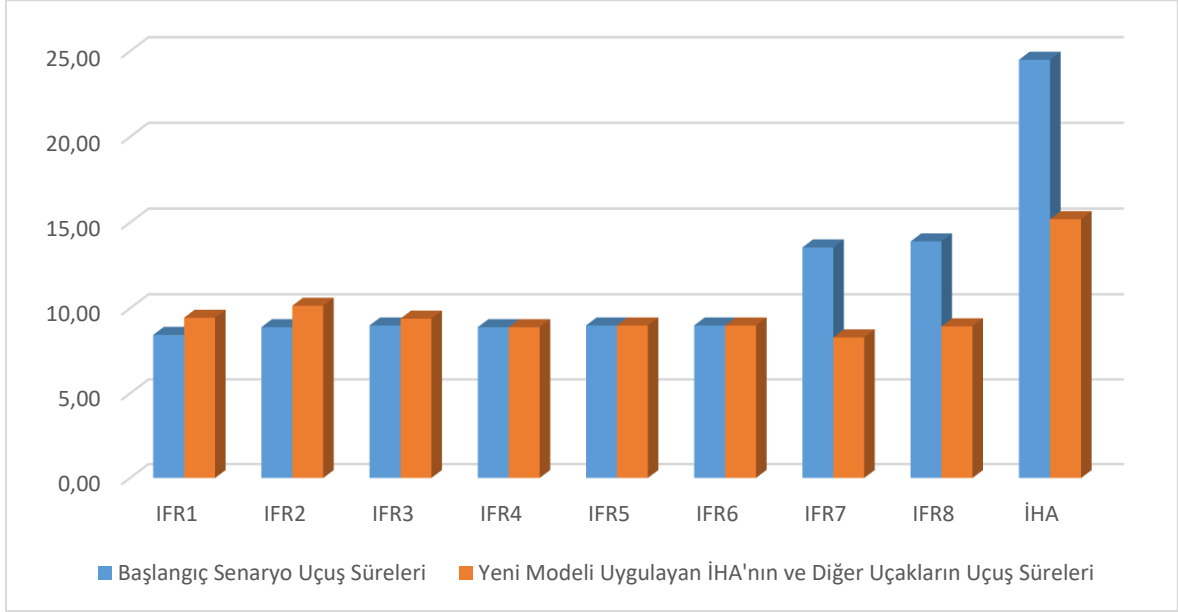
Standart İHA uçuş operasyonlarının sağlanması için önerilen model uygulandığında, başlangıç senaryosuna göre İHA'nın ve diğer etkilenen insanlı hava araçlarının kat ettiği mesafe ve süre bakımından avantaj sağladığı görülmüştür. Önerilen modeli uygulayan bir İHA'nın toplam uçuş süresi ve kat edeceği mesafeler sırasıyla % 38 ve %41 oranında bir azalma olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8. Başlangıç ve önerilen modeli uygulayan bir iha'nın süre ve mesafe bilgileri

	Toplam Uçuş Süresi (dk)	Toplam Kat Ettiği Mesafe (NM)
Başlangıç Senaryo	24,5	41,2
Önerilen Model	15,2	24,4

Önerilen modeli uygulayan bir kontrolör, sıralamada İHA'dan sonra gelen sadece ilk üç uçağa hız tahdidi uygulanmıştır. Bunun sonucunda bu üç uçağın toplam uçuş süreleri sırasıyla % 10, %12 ve %0,5 oranında bir artış gözlemlenmiştir. Diğer taraftan başlangıç senaryosunda ise İHA'ya iniş izni verildiğinde arkasında kalan iki uçak etkilenmiş ve

yaklaşık %50 ile %72 arasında toplam uçuş sürelerinde artış gözlemlenmiştir. İHA'nın kattığı toplam uçuş süresi bakımından ise %38 oranında bir düşüş gerçekleşmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Önerilen modeli uygulayan İHA'nın ve diğer uçakların toplam uçuş süreleri

Önerilen modele göre uygulanan senaryonun radar simülöründe elde edilen bulgular ile ilgili kontrolörlerden olumlu geri dönüşler alınmıştır. Elde edilen bulgular ve geri dönüşlerin, mevcut ve gelecek ATM sistemine etkileri ve önerilen modelin İHA sistemlerinin uçuş operasyonlarına katkısı bir sonraki sonuç bölümünde açıklanmıştır. Çalışmasının yöntem kısmında da açıklandığı gibi, gerçek zamanlı radar simülöründe geliştirilen model kontrolör ve pilotaj bakımından değerlendirilmesi amacıyla, gerçek zamanlı uçuş simülöründe uçuş doğrulaması yapılmıştır (Şekil 3.10). Uçuş doğrulama işlemi, TUSAŞ (Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.) tesislerinde bulunan sistem entegrasyon laboratuvarındaki İHA simülör ortamında gerçek İHA pilotlarınca gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.10. Gerçek zamanlı İHA simülöründe uçuş doğrulama gösterimi

Uçuş denemeleri öncesinde önerilen modeldeki yol noktaları ve bekleme noktalarının (D1,D2,D3 vb. merkezli 0,5 NM yarıçaplı orbit alanları) koordinat verileri ile yol noktası tipleri gerçek zamanlı İHA uçuş simülörüne tanımlanmıştır. Ayrıca sistemin İHA pilotlarınca yapılan uçuş denemeleri ile elde edilen geri dönütler de sonuç bölümde açıklanmıştır.

3.3. Talimat Sayısı Açısından Bulgular

İHA ile diğer hava araçlarının yatay ve dikey emniyetli ayırmasını sağlamak için kontrolörlerin talimat sayıları aşağıdaki veriler dikkate alınarak simülasyon çalışmaları süresince ölçülmüştür:

- Uçuş seviyesi
- Uçuş başı
- Hız

Çalışma kapsamında, karma trafikli başlangıç senaryosu (Şekil 3.2) ile yeni modeli uygulayan karma trafikli uçuş senaryosu (Şekil 2.13), yukarıda bahsedilen kriterler dikkate alınarak talimat sayısı bakımından karşılaştırılmıştır. Her iki durumda da İHA'nın inişine izin verildiğinde, İHA'nın arkasında trafik yoğunluğu oluşmakta, bu nedenle kontrolör ile pilotlar arasındaki talimat sayısı arttığı gözlemlenmiştir. Ancak yeni modeli uygulayan karma trafikli bir uçuşta talimat sayısı, başlangıç senaryosuna göre %33 oranında bir azalış olduğu görülmüştür (Çizelge 3.9).

Çizelge 3.9. İHA'nın dâhil olduğu başlangıç senaryosunda talimat sayısı değişimi

	Talimat Sayısı
Başlangıç Senaryosu	15
Yeni model	10

4. SONUÇ

Mevcut ATM yapısı, insanlı hava araçlarının emniyetli uçuş operasyonlarının gerçekleştirilmesi amacıyla tasarlanmıştır. Bu nedenle yeni bir hava aracı olarak ATM sistemine giren İHA sistemlerinin, mevcut ve gelecekteki ATM yapısına ve ATM kullanıcılarına olumsuz etki yapmaması beklenmektedir. Emniyetin etkilenmesi, mevcut operasyonların aksaması, ATC prosedürlerinin değişmesi ve hava araçları üzerine ek zorunlu ekipman getirilmesi bu etkilere örnek verilebilir. Bu etkiler ATM sistemi içerisindeki tüm kullanıcıların operasyonel kabiliyet ve limitlerini ve ayrıca operasyonel esnekliğini azaltabilir. Bu nedenle İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasındaki uçuş operasyonlarının insanlı havacılık ile eşdeğer olması beklenmektedir.

İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına entegrasyonunun gerçekleşmesi konusunda ele alınması gereken önemli araştırma boşlukları bulunmaktadır. Bunların en başında, emniyetli entegrasyon sırasında mevcut sistemlerin uygulanabilirliğinin gösterilmesi için metodolojilerin geliştirilmesi ve bunların doğrulanması yer almaktadır. Bu doğrultuda prosedürel gereklilikleri belirlemek, geliştirmek ve uygulamak ise emniyetli entegrasyonunun önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Yeni hava sahası kullanıcıları olarak İHA sistemleri, mevcut ve gelecek ATM sistemine yeni zorluklar ve fırsatlar sunmaktadır. Bu zorluklardan en önemlisi hava sahası kullanıcılarına beklenen etkisidir. Çünkü İHA sistemlerinin çoğu, ticari uçaklara göre benzer irtifalarda uçmalarına rağmen, insanlı hava araçlarına göre düşük hava aracı performanslarına sahiptirler.

İHA uçuş operasyonları günümüzde genellikle ayrılmış hava sahasında faaliyet gösterdiğinden, diğer trafikten emniyetli ayırma ve ATM etkisi gibi konularda endişe duyulmamıştır. Bu nedenle, bu sistemlere ait operasyonel kavram ve uçuş profillerinin detaylı değerlendirilmesi kısıtlıdır. Ayrıca İHA sistemlerinin uçuş profillerini gerçek uçuşlar ile test edilmesi maliyetli ve risklidir. Kademeli entegrasyon sürecinde tüm İHA sistemlerinin entegrasyonun ise zor ve maliyetli olacağı tahmin edilmektedir. İHA sistemlerinin, algıla sakın sistemleri ile dinamik rota tanımlama özelliği, kontrolörler için alışıla gelmiş bir durum olmadığı bilinmekte, bu tür teknolojik sistemlerin devreye alınmadan önce simülasyon ve alan testlerinin yapılması önemli olmaktadır.

İHA sistemlerinin insanlı hava araçlarından ayıran en önemli iki farkı pilotun hava aracı üzerinde olmaması ve ayrıca kontrol ve kumandanın veri linki vasıtasıyla yapılmasıdır.

Bu nedenle, İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına entegrasyonunda bazı özel/benzersiz prosedürler geliştirilmesi kaçınılmazdır. Önerilen prosedürlerin ya da model tasarımların ise uygulanabilir olması ve insanlı uçaklar için geliştirilmiş prosedürlerle özdeş ya da benzer olması beklenmektedir.

Bu çalışma kapsamında İHA sistemlerinin sivil alandaki potansiyel kullanımlarını artırmak ve sürdürülebilir bir ilerleme kaydetmek için başta uçuş prosedürleri, emniyetli ayırma, hava araçlarının emniyet katmanlarının belirlenmesi ve bunların hava trafik kontrol ve pilotaj bakış açısıyla değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ancak İHA sistemlerine özgü gerçek uçuş deneyimlerinin yetersiz olması ve uçuş verilerinin ulaşılabilir olmaması en önemli zorluklar olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer taraftan İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına entegrasyonu ile ilgili çalışmalar incelendiğinde; coğrafik konum, hava alanı yapısı, manialar, hava aracı performansı gibi parametreler göz önünde tutularak, her ülkenin kendine has sorunlar için özgün çözüm önerilerinin sunulmasının önemli olduğu değerlendirilmektedir. Bu zorlukları gidermenin en etkili yöntemi ise simülasyon teknolojilerinin kullanılmasıdır.

Bu nedenle, çalışmada İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına entegrasyonu aşamalarında gerçek zamanlı simülasyon araçları kullanılmıştır. Simülasyon ortamında, eşdeğer emniyet seviyesine sahip insanlı ve insansız hava araçlarının bulunduğu karma trafiklerin simülasyon bazlı üretilmesi ve analizi ile kademeli entegrasyon imkânlarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında insanlı ve insansız hava araçlarının yer aldığı karma trafikli bir uçuş ortamının mevcut ve gelecekteki ATM sistemine pozitif katkı sağlamak amacıyla model önerisi sunulmuştur. Etkinlik, verimlilik ve emniyet parametreleri temel alınarak önerilen model tasarımı, gerçek zamanlı radar ve uçuş simülatörlerinde gerçek kontrolör ve İHA pilotlarınca uygulanmış ve bulgular bir önceki bölümde sunulmuştur.

Genel olarak değerlendirildiğinde, İHA sistemlerinin teknolojik eksiklikleri (algıla sakın vb.), kuyruk türbülansı ve pilot-kontrolör arasındaki iletişim endişeleri entegrasyonu zorlayan faktörler arasındadır. Diğer taraftan emniyetli entegrasyonun temelinde hava sahasını kullanan paydaşların işbirliği, koordinasyon ve etkili iletişim bulunmaktadır. Bu kısıtlamalar göz önüne alınarak önerilen model ile incelenen TMA içerisinde, mevcut ATM uçuş operasyonlarının usul ve esaslarının İHA sistemlerine uygunluğu değerlendirilmiştir.

Hava aracı performansı bakımından diğer insanlı hava araçlarına göre önemli farklılıkları barındıran İHA sistemlerinin, mevcut ayırma kriterlerinin uygulanabilirliği, tekrar edilebilirliği ve tahmin edilebilirliği amacıyla tasarım ve analiz faaliyetleri gerçek zamanlı simülasyon ortamında gerçekleştirilmiştir. Günümüzün standart ayırma stratejilerinin İHA sistemleri üzerinde uygulandığında mevcut ATM sistemine ne tür etkileri olacağı irdelenmiştir.

Model önerisindeki karma trafikli senaryoların oluşturulmasında, geleneksel yöntemlere ek olarak orbit noktaları belirlenmiştir. Burada amaç İHA sistemlerinin uçuşun son yaklaşma fazına emniyetli ve verimli geçişini sağlamak ve insanlı hava araçlarının emniyetli, etkin ve verimli trafik akışını garanti altına almaktır. Şekil 2.14’de gösterimi yapılan nihai model önerisinde, İHA sistemi koordinatları belirli bir noktaya kadar farklı bir rotada ilerlemesi öngörülmüştür.

Son yaklaşma noktası, hava araçlarının emniyetli uçuş operasyonları için önemlidir. İnsanlı hava araçları için belirlenmiş son yaklaşma noktası, bu çalışma kapsamında İHA sistemleri için uygulanabilir olmadığı görülmüştür. Çünkü İHA sistemleri üzerinde ILS sistemlerine benzer OKİS sistemi bulunmaktadır. OKİS sisteminin teknik özellikleri ile piste yerleşimleri incelenerek İHA sistemlerine özgü FAFi ve orbit noktaları belirlenmiştir.

Orbitlerin oluşumundaki temel amaç, kontrolör ve İHA pilotları arasındaki iletişimin standart ve sistematik hale gelmesidir. Bu kapsamda kontrolör İHA pilotuna kaç dakikalık bir gecikmeye ihtiyacı olduğunu veya pist durumuna göre kaç NM’lik bir bekleme gerekli olduğunu, İHA sisteminin operasyonel kavramlarına bakarak kolaylıkla verebilecektir. Diğer taraftan İHA pilotu ise kontrolörden bekleme ile ilgili talimat aldığı anda, nasıl bir bekleme uygulayacağını kolayca uygulayabilecektir.

Pilotlar ile kontrolörler arasındaki frekans meşguliyetini etkileyen konulardan birisi de kontrolörün talimat sayılarıdır. Bu kapsamda önerilen model ile başlangıç senaryosundaki talimat sayıları karşılaştırıldığında, uygulanan modelin talimat sayılarında % 33 oranında azalış gösterdiği görülmüştür. Bu da önerilen modelin, İHA’ların ayrılmamış hava sahasına entegrasyonunda uygulanabilir olacağı şeklinde değerlendirilmiştir.

Elde edilen bulgulara göre, model önerisi ile herhangi bir geciktirme yöntemine maruz kalmayan bir İHA’nın toplam uçuş süresi ve kat edeceği mesafeler sırasıyla % 38 ve %41 oranında bir azalma olduğu belirlenmiştir. Simülasyon sonuçları, İHA’ların karma trafikli bir uçuş operasyonu sırasında, mevcut ayırma gereksinimlerine göre asgari bir müdahale ile

yürütülebildiğini göstermiştir. Diğer taraftan model önerisinin, temel uçuş senaryosuna göre avantajlarını şu şekilde özetleyebiliriz:

- İHA'nın toplam uçuş süresinde ve mesafesinde azalma
- İHA'ya iniş izni verirken kontrolörün taktiksel karar vermede kolaylık
- İHA'nın uçuşundan etkilenen uçakların toplam uçuş sürelerinde azalma
- Toplam talimat sayısında azalma

Model önerisi ile birlikte İHA'ların ve buna bağlı olarak İHA'dan etkilenen diğer uçakların toplam uçuş sürelerinde bir azalma sağlanmıştır. Böylece ilgili hava sahası paydaşları için belirli bir TMA içerisinde uçuş faaliyetleri yürüten İHA'ların, insanlı hava araçlarının uçuş rotalarından ayrılması, emniyetli entegrasyonun olumlu yönde etkileyeceği birçok avantajlar sağladığı doğrulanmıştır.

Saha ziyaretlerinde ve simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler neticesinde, İHA sistemlerinin insanlı operasyonlara kıyasla bazı durumlarda farklı uygulamalar gerektirdiği değerlendirilmiştir. Bu nedenle çalışma kapsamında önerilen model ile birden fazla simülasyon bazlı senaryolar oluşturularak, mevcut prosedürlerin İHA sistemleri üzerinde uygulanabilirliği pilotaj ve kontrolör bakış açısıyla değerlendirilmiştir. Önerilen modelin gerek kontrolörlerin verdiği talimat sayıları açısından, gerek süre ve mesafe bakımından önemli ölçüde azalışların görülmesi, kontrolör bakış açısıyla mevcut ve gelecek ATM sistemi için olumlu olacağı değerlendirilmiştir.

İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına entegrasyonu sırasında öngörülebilirlik, rota muhafaza doğruluğu ve tekrarlanabilirlik konuları, endişe duyulan konular arasında karşımıza çıkmaktadır. Kontrolörler çalışma sahası içerisindeki İHA sistemlerinin bir sonraki manevrasının nasıl olacağını bilmek ve ona göre komut vermek istemektedir. Bu nedenle önerilen model ile bu tür endişeler giderilmiş ve kontrolörlerin ilgili hava sahasını etkili ve verimli kullanmasını sağlanmıştır.

Hava sahasının tek, kullanıcıların ise birden fazla olduğu mevcut ATM sisteminde, İHA pilotları tarafınca uygulanan modelin, temel senaryoya göre zaman ve mesafe bakımından avantaj sağlaması olumlu karşılanmıştır. Bunun yanında aynı prosedürün kontrolör ve İHA pilotları tarafından tatbik edilmesi, entegrasyonun ilerlemesi açısından önemi vurgulanmıştır. Çünkü mevcut uygulamalarda kontrolörlerin İHA sistemlerine ait

uçuş performanslarını tam olarak bilmediklerinden, İHA'ların alçalma, tırmanma ve bekleme safhalarında insanlı hava araçlarına göre yapmalarını beklemektedir. Bu tür bir uçuşta, uçuş performanslarından kaynaklı gecikmeler ise kontrolörler tarafından olumsuz karşılanmaktadır. Diğer taraftan İHA'ların uçuş prosedürleri konusunda yeterli bilgiye sahip olmayan bir kontrolör, İHA pilotlarından daha fazla ayırma yapmalarını istemekte bu da zaman, kat edilen mesafe ve ayrıca hava sahasının verimli kullanımı bakımından dezavantajlı olmaktadır. Bu nedenlerle önerilen model neticesinde, aynı uçuş rotasını uygulayan İHA pilotu ve kontrolörlerin rutin uçuş operasyonları yaptıkları görülmüş, böylece ayrılmamış hava sahasına emniyetli ve verimli entegrasyon konusunda olumlu bir ilerleme kaydedilmiştir.

Model önerisinin uygulanması ve değerlendirilmesi sonrasında İHA pilotları ve kontrolörler, herhangi bir İHA uçuş operasyonunda aşağıdaki dört hususun sağlanması konusunda hemfikir olmuştur:

- Mevcut ATM sisteminde emniyet kaybı olmaması
- Mevcut uçuş operasyonlarında kesinti olmaması
- Mevcut ATC / uçuş prosedürlerinde eklenti/değişiklik olmaması
- İHA sistemlerinin neden olduğu ek zorunlu ekipman olmaması

Kontrolörler, İHA pilotlarına ayırma amaçlı talimatlarda bulunmaktadırlar. Bu ise pilot ve kontrolör arasındaki sesli bir kanaldan yapılmaktadır. Buradaki iletişim kanalı İHA yer kontrol istasyonu ile kontrolör arasındaki direk bir hat ile, yer altyapısı ile veya doğrudan radyo kanalı ile yapılmaktadır. Bu tür haberleşme yöntemleri harici bir sistem olduğundan İHA üzerinde ekstra bir donanım gerektirmemektedir. İHA sistemlerinin başka sektörlerle geçmesi ve pilotun diğer hava trafik kontrol ünitesi ile haberleşmesi daha karmaşıktır. Bu durumda, yer kontrol istasyonu ve İHA arasında linki kaybetme olasılığına karşın emniyet seviyesinin otonom sağlanması, sinyal gecikmeleri de dikkate alınarak diğer mania ve trafikten minimum ayırma limitlerinde kalınması gerekmektedir.

İHA pilotlarının yer kontrol istasyonunda İHA sistemlerini kontrol ve kumanda etmesi özellikle durumsal farkındalığın geliştirilmesi açısından önemli bir konudur. Deney tasarımlarının değerlendirilmesi sırasında İHA pilotları, uçuş operasyonlarının yürütülmesine imkân verecek teknolojik altyapının olması gerekliliğini vurgulamıştır. Diğer

tarafından link kaybı yaşandığında, İHA'nın kontrol ve kumandanın sağlanması açısından acil durum prosedürlerini uygulayan teknolojik yapının var olması İHA pilotları ve kontrolörler açısından önemi tekrar belirtilmiştir.

İHA sistemlerine olan ilgi dünya genelinde gün geçtikçe artmakta ve ayrılmamış hava sahasındaki İHA operasyonlarının emniyetli ve düzenli yapılması açısından çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Çalışmalarda, emniyet ve prosedürel endişeler nedenleriyle İHA sistemleri görevlerini sınırlandırılmış hava sahalarında yaptığı görülmektedir. Aynı şekilde İHA sistemlerinin mevcut ATM sistemi içerisindeki uçuş operasyonlarının, geleneksel insanlı hava araçlarına benzer ya da eşdeğer olması beklenmektedir. Bu nedenle çalışmanın odak noktası, önerilen kavram ve prosedürlerin uygulamasında, insanlı ve insansız hava araçları arasındaki maksimum eşdeğerliktir.

Bu çalışmada, insanlı havacılığın mevzuatlarında değişiklik yapmadan İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasındaki entegrasyonunu, kademeli şekilde entegre etmek amacıyla bir konsept sunulmuştur. İnsanlı ve insansız hava araçlarının eşdeğer bir emniyet katmanı değişik simülasyon senaryoları ile tanımlanmış ve doğrulanmıştır. Simülasyon sonuçları ve ayrıca saha ziyaretleri, insanlı ve insansız hava araçlarının var olduğu karma trafikli uçuş operasyonlarında, mevcut ATC prosedürlerinin uygulanması ve uygun görev planlaması ile hava araçlarının asgari bir müdahale ile yürütülebildiğini göstermiştir.

Gelecek çalışmalarda ise önerilen modelin farklı sınıftaki İHA'lara uygulanmasının yanı sıra diğer uçuş fazlarında (kalkış, yol vb.) ve normal olmayan durumlardaki İHA uçuş operasyonlarında (acil durum, sinyal kaybı vb.) uygulanması ve elde edilecek çıktıların ATM paydaşlarınca değerlendirilmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Gupta, S. G., Ghonge, M. M. ve Jawandhiya, D. P. M. (2013). Review of Unmanned Aircraft System (UAS). *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)*.2 (4). 1646-1658.
- [2] Valavanis, K. P., Oh, P. ve Piegler, L. (2008). *Unmanned Aircraft Systems. International Symposium On Unmanned Aerial Vehicles, UAV'08*. Springer Science & Business Media.
- [3] DeGarmo, M. ve Nelson, G. (2004). Prospective Unmanned Aerial Vehicle Operations in the Future National Airspace System. *AIAA 4th Aviation Technology, Integration and Operations (ATIO) Forum*. Şikago.1-8
- [4] Savunma Sanayi Başkanlığı (2011). *Türkiye İnsansız Hava Aracı Sistemleri Yol Haritası (2011-2030)*. Ankara.
- [5] Newcome, L. R. (2004). *Unmanned Aviation: A Brief History of Unmanned Aerial Vehicles*. American Institute of Aeronautics and Astronautics
- [6] Gallington, R. W. Berman, H. Entzminger, J. ve Francis, M. S. (1997). *Unmanned Aerial Vehicles*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 251-295
- [7] Valavanis, K. P. (2014) *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*. New York. Springer,
- [8] Nolin, P. C. (2012). *Unmanned Aerial Vehicles: Opportunities And Challenges For The Alliance*. NATO Parliamentary Assembly. Belçika
- [9] Marques, M. M. (2012). *STANAG 4586–Standard Interfaces of UCS for NATO UAV Interoperability*. NATO Standardization Agency. Portekiz.
- [10] Bras, M., Richards, J. ve Suleman, A. *Unmanned Air Systems Part 1: An Introduction*. NATO Standardization Agency. Kanada
- [11] European RPAS Steering Group. (2013). *Roadmap for The Integration of Civil Remotely-Piloted Aircraft Systems into the European Aviation System*. Köln
- [12] Federal Aviation Administration. (2012). *Integration of Unmanned Aircraft Systems into the National Airspace System-Concept of Operations*. Washington
- [13] International Civil Aviation Organization. (2015). *Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS)*. Montreal
- [14] Weibel, R., Edwards, M. ve Fernandes, C. (2011). Establishing a Risk-Based Separation Standard for Unmanned Aircraft Self Separation. *11th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Conference*. VA.1-7

- [15] Geister, D. ve Korn, B. (2013). Operational integration of UAS into the ATM System. *AIAA Infotech@Aerospace (I@A) Conference*, Boston, MA.1-13
- [16] Prevot, T. Rios, J. Kopardekar, P. Robinson J. E. Johnson, M. ve Jung, J. (2016). UAS Traffic Management (UTM) Concept of Operations to Safely Enable Low Altitude Flight Operations. *16th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference*. Washington, D.C.1-16
- [17] http-1 : <https://www.eurocontrol.int/news/rpas-dashboard>. (Erişim tarihi: 10.01.2019)
- [18] Turan, D. *Uçak Bilgisi ve Uçuş İlkeleri*. Anadolu Üniversitesi. Eskişehir
- [19] Barnhart, R. K. (2012). *Introduction to Unmanned Aircraft Systems*. CRC Yayınevi
- [20] DeGarmo, M. T. (2004). *Issues Concerning Integration of Unmanned Aerial Vehicles in Civil Airspace*. Center for Advanced Aviation System Development. Virginia
- [21] Jha, A. R. (2016). *Theory, Design, and Applications of Unmanned Aerial Vehicles*. CRC Press,
- [22] Dalamagkidis, K., Valavanis, K. P. ve Piegł, L. A. (2011). *On Integrating Unmanned Aircraft Systems Into The National Airspace System: Issues, Challenges, Operational Restrictions, Certification, And Recommendations*. Springer Science & Business Media.
- [23] Szabolcsi, A. (2014). New Approach of Certification of The Airworthiness of The UAV Automatic Flight Control Systems. *Land Forces Academy Review*, 19(4). 423-431
- [24] Davis, K. D. (2008). *Unmanned aircraft systems operations in the US national airspace system 08-01*. Washington.
- [25] Federal Aviation Administration (FAA). (2011). *Concept of Operations for the Next Generation Air Transportation System*. Joint Planning and Development Office. Washington
- [26] Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM). (2019). *İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı (SHT-İHA)*. Ankara.
- [27] Austin, R. (2010). *Unmanned Aircraft Systems: UAVS Design, Development and Deployment*. UK: John Wiley & Sons, Ltd.
- [28] Digman, K. L. (2009). *Unmanned Aircraft Systems in a Forward Air Controller (Airborne) Role*. Defense Technical Information Center, Fort Belvoir, VA.
- [29] International Civil Aviation Organization (ICAO). (2011). *Unmanned aircraft systems: UAS*. Montréal.

- [30] European Aviation Safety Agency (EASA). (2015). *Concept of Operations for Drones A Risk Based Approach To Regulation of Unmanned Aircraft*. Köln
- [31] Haser, A. B. (2010). Bu İnsansız Hava Aracı'ndan Daha Önce Yapmamış mıydık?. *Bilim Ve Teknik Dergisi*. 32-37.
- [32] Agostino, S., Mammone, M., Nelson, M. ve Zhou, T. (2006). *Classification of Unmanned Aerial Vehicles*. Adelaide Üniversitesi. Avusturya
- [33] Mutuel, L. H. (2013). What Makes Unmanned Aircraft Systems so Complex to Certify for Civil Operations? *Aviation Technology, Integration, and Operations Conference*, Los Angeles, CA.1-12
- [34] CARE Innovative Action. (2001). *Integration of Unmanned Aerial Vehicles into Future Air Traffic Management*. Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft mbH Yayınevi.
- [35] Clough, B. T., Afb, W.P. ve Clough, B. (2002). *Metrics, Schmetrics! How The Heck Do You Determine A UAV's Autonomy Anyway*. Air Force Research Lab
- [36] Federal Aviation Administration (FAA). (2014). *Advisory Circular - Aircraft Wake Turbulance*. Washington.
- [37] International Civil Aviation Organization (ICAO). (2007). *Doc 4444 Air Traffic Management*. Montreal.
- [38] Gerz, T., Holzäpfel, F., Bryant, W., Köpp, F., Frech, M., Tafferner, A. ve Winckelmanns, G. (2005). Research towards a wake-vortex advisory system for optimal aircraft spacing. *Comptes Rendus Physique*, 501-523.
- [39] Eurocontrol. (2015). *European Wake Turbulence Categorisation and Separation Minima on Approach and Departure*. Brüksel.
- [40] Federal Aviation Administration (FAA). (2016). *Wake Turbulence Recategorization*. Washington.
- [41] Lang, S., Tittsworth, J., Bryant, W., Wilson, P., Lepadatu, C., Delisi, D. ve Greene, G. (2010). Progress on an ICAO wake turbulence re-categorization effort. *AIAA Atmospheric and Space Environments Conference*, Toronto, Canada,
- [42] Airbus (2005). *Wake Turbulence Awareness / Avoidance*. Hollanda.
- [43] Guerin, D. (2015). Consideration of Wake Turbulence During the Integration of Remotely Piloted Aircraft into the Air Traffic Management System. *International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, Denver, USA. 926-935.

- [44] International Civil Aviation Organization (ICAO). (1998). *Manual On Airspace Planning Methodology For The Determination of Separation Minima*. Montreal.
- [45] International Civil Aviation Organization (ICAO). (1994). *Air Traffic Services Planning Manual*. Montreal.
- [46] Consiglio, M., Chamberlain, J., Muñoz, C. ve Hoffler, K. (2012). Concept of Integration for UAS Operations in the NAS. *28th International Congress of the Aeronautical Sciences*. 1-13. Avustralya.
- [47] Jang, D.S., Ippolito, C. A., Sankararaman, S. ve Stepanyan, V. (2017). Concepts of Airspace Structures and System Analysis for UAS Traffic flows for Urban Areas. *AIAA Information Systems-AIAA Infotech @ Aerospace*, Grapevine, Texas.
- [48] Cook, S. P., Brooks, D., Cole, R. Hackenberg, D. ve Raska, V. (2015). Defining Well Clear for Unmanned Aircraft Systems. *AIAA Infotech @ Aerospace*. Florida.
- [49] Lee, S. M., Park, C., Johnson, M. A. ve Mueller, E. R. (2013). Investigating Effects of Well Clear Definitions on UAS Sense-And-Avoid Operations in Enroute and Transition Airspace. *Aviation Technology, Integration, and Operations Conference*. Los Angeles, CA.
- [50] International Civil Aviation Organization (ICAO). (2005). *Doc 9854 Global Air Traffic Management Operational Concept*. Montreal.
- [51] Savaş, T. Karaderili, M.ve Usanmaz, Ö. (2018). İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Ayrılmamış Hava Sahasına Entegrasyonu ile İlgili Mevzuatların Değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makine Dergisi*. 59(691).
- [52] Kendi, A. (2015). İnsansız Hava Araçlarının Ayrılmamış Hava Sahalarına Entegrasyonu. *VIII. Ulusal Uçak, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Kurultayı*. Eskişehir
- [53] Eurocontrol (2004). *European Organisation for the Safety of Air Navigation*. Brüksel
- [54] Eurocontrol (2017). *RPAS ATM CONOPS*. Brüksel
- [55] International Civil Aviation Organization (ICAO). (2017). *Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) Concept of Operations (CONOPS) for International IFR Operations*. Montreal
- [56] Euteneuer, E. A. ve Papageorgiou, D. G. (2011). UAS Insertion Into Commercial Airspace: Europe And US Standards Perspective. *IEEE/AIAA 30th Digital Avionics Systems Conference*. Washington.5C5 1-12.

- [57] Lippitsch G. ve Daa, R. (2015). Detect and Avoid. *Remotely Piloted Aircraft System–Symposium*. Montreal.
- [58] International Civil Aviation Organization (ICAO). (2005). *Annex 2: Rules of the Air*. Montreal
- [59] Prats, X., Delgado, L., Royo, P., Pérez-Batlle, M. ve Pastor, E. (2011). Departure and Approach Procedures for Unmanned Aircraft Systems in a Visual-Flight-Rule Environment. *Journal of Aircraft*. 48(4).1280-1290.
- [60] Korn, B. Tittel, S. ve Edinger, C. (2012). Stepwise Integration of UAS in Non-segregated Airspace - The Potential of Tailored UAS ATM Procedures. *Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference*, VA, USA
- [61] European RPAS Steering Group. (2013). *Annex 2: A Strategic R&D Plan for The Integration of Civil RPAS into the European Aviation System*. Brüksel
- [62] JARUS. (2017). *JARUS guidelines on SORA Annex I Glossary of Terms*. Montreal
- [63] Federal Aviation Administration (FAA). (2013). *Integration of Unmanned Aircraft Systems (UAS) into the National Airspace System (NAS) Roadmap*. Washington
- [64] National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2015). *UTM: Air Traffic Management for Low-Altitude Drones*. Washington
- [65] <https://utm.arc.nasa.gov/> (Erişim tarihi: 26.11.2018)
- [66] <http://www.rtca.org/content.asp?contentid=178> (Erişim tarihi: 26.06.2018)
- [67] Koehl, D. (2015). SESAR Initiatives for RPAS Integration. *ICAO Remotely Piloted Aircraft Systems Symposium*, Montreal.
- [68] Cordón, R. R., Nieto, F. J. S. ve Rejado, C. C. (2014). RPAS Integration in Non-segregated Airspace: the SESAR Approach. *Fourth SESAR Innovation Days*. İspanya
- [69] The European Organisation for Civil Aviation Equipment (EUROCAE). *WG-73 Unmanned Aircraft Systems (UAS): Concept of RPAS Required Communication Performance Methodology for the Command, Control and Communication Link*. İsviçre
- [70] Avrupa Birliği (2015). *Riga Declaration on Remotely Piloted Aircraft (drones) "Framing the Future of Aviation"*. Brüksel
- [71] DeGarmo, M. ve Maroney, D. (2008). NextGen and SESAR: Opportunities for UAS Integration. *26th Congress of ICAS*. Alaska

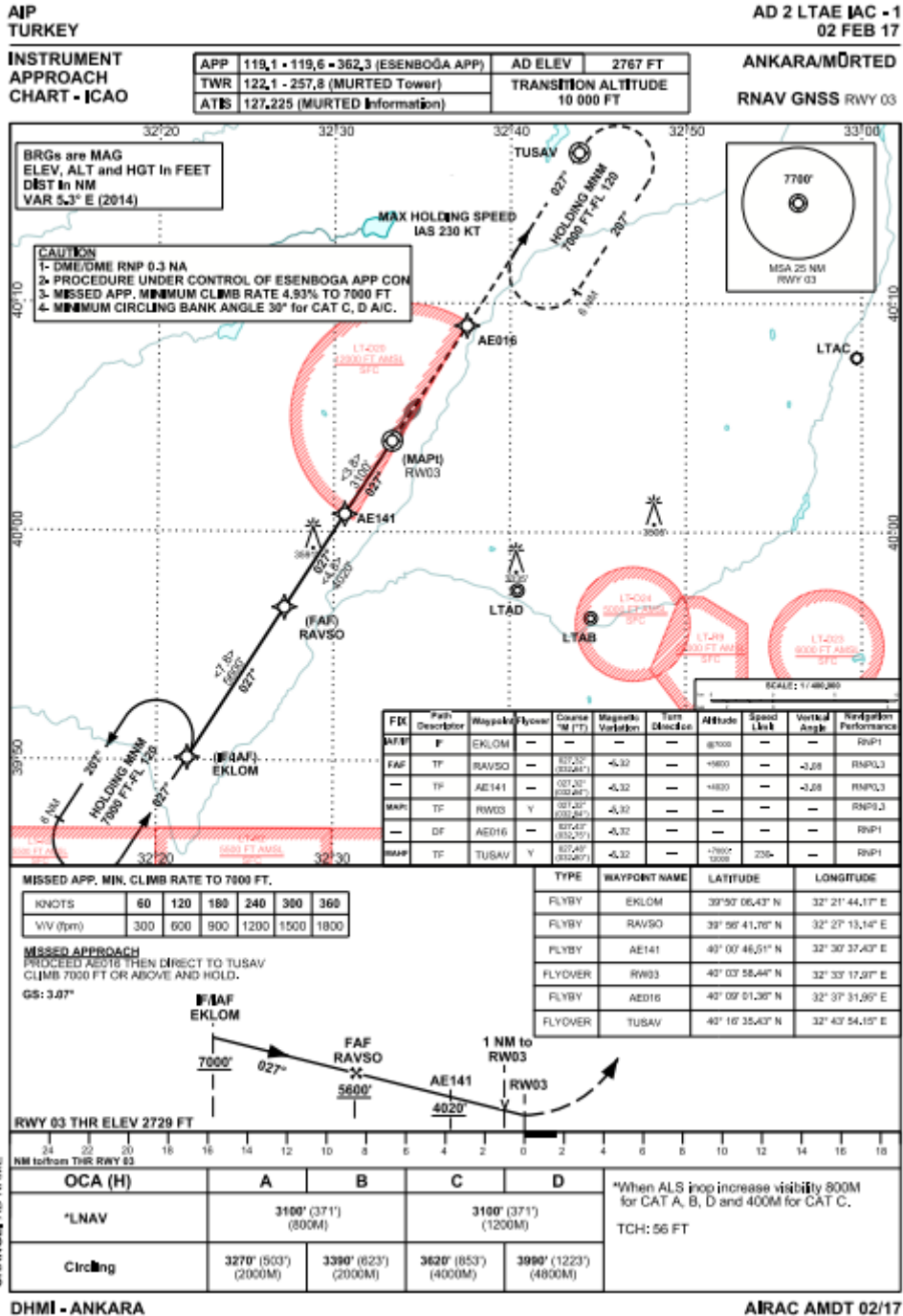
- [72] Kenny, C. A. (2013). *Unmanned Aircraft System (UAS) Delegation Of Separation In Nextgen Airspace*. San José State Üniversitesi.
- [73] International Civil Aviation Organization (ICAO). (2012). *Adoption of Amendment 43 to Annex 2*. Montreal
- [74] International Civil Aviation Organization (ICAO). (2010). *Annex 8 : Airworthiness of Aircraft*. Montreal.
- [75] International Civil Aviation Organization (ICAO). (2010). *Annex 6: Operation of Aircraft Part I*. Montreal.
- [76] International Civil Aviation Organization (ICAO). (2011). *Annex 1: Personnel Licensing*. Montreal.
- [77] International Civil Aviation Organization (ICAO). (2013). *Aviation System Block Upgrades*. Montreal
- [78] Radu, C. (2015). ICAO Vision. *Remotely Piloted Aircraft Systems Symposium*. Montreal
- [79] Weibel, R. E. ve Hansman, R. J. (2005). *Safety Considerations For Operation of Unmanned Aerial Vehicles in The National Airspace System*. Massachusetts
- [80] Shively, J. (2015). Human Performance Issues in Remotely Piloted Aircraft Systems. *Remotely Piloted Aircraft Systems Symposium*. Montreal
- [81] Schmitt, D. R., Kaltenhäuser, S. ve Keck, B. (2008). Real Time Simulation of Integration of UAV's Into Airspace. *28th International Congress of the Aeronautical Sciences*. 1-5. Avustralya.
- [82] Ramalingam, K., Kalawsky, R. ve Noonan, C. (2011). Integration of Unmanned Aircraft System (UAS) in Non-segregated Airspace: A Complex System of Systems Problem. *IEEE International Systems Conference*. Montreal.448-455.
- [83] Vu, K. P. L., Chiappe, D., Morales, G., Strybel, T. Z., Battiste, V., Shively, J. ve Buker, T. J. (2014). Impact of UAS Pilot Communication and Execution Latencies on Air Traffic Controllers' Acceptance of UAS Operations. *Air Traffic Control Quarterly*, 22(1). 49-80.
- [84] Royo, P., Barrado, C. ve Pastor, E. (2013). ISIS+: A Software-in-the-Loop Unmanned Aircraft System Simulator for Nonsegregated Airspace. *Journal of Aerospace Information Systems*. 10(11), 530-543.

- [85] Kamienski, J. ve Semanek, J. (2015). ATC perspectives of UAS integration in controlled airspace. *Procedia Manufacturing*, 3, 1046-1051.
- [86] Finke, M. ve Sinapius, P. B. (2016). Application of Visual And Instrument Flight Rules to Remotely Piloted Aircraft Systems: A Conceptual Approach. *35th Digital Avionics Systems Conference (DASC)*. USA.1-10.
- [87] Romero J. ve Gomez, L. (2017). Proposal for RPAS integration into non-segregated Airspaces. *Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS)*. 6C2 1-10. Virginia USA.
- [88] Airbus (2018). *The Roadmap for the Safe Integration of Autonomous Aircraft*. Hollanda
- [89] European Aviation Safety Agency (EASA). (2018). *UAS ATM Flight Rules*. Köln
- [90] European Aviation Safety Agency (EASA). (2018). *Introduction of A Regulatory Framework for the Operation of Unmanned Aircraft Systems in the 'Open' And 'Specific' Categories*. Köln
- [91] Sun, R., Zhang, Y., Ye, B. ve Ochieng, W. Y. (2018). A Required Navigation Performance Based Approach to Monitor the Accuracy and Integrity Performance of UAVs for Delivery Applications. *China Satellite Navigation Conference*. 675-688. Singapur.
- [92] Alonso, C. M. (2014). *UAS Sensitivity To Wake Turbulence For Establishing Safety Distance Requirements*. Katalonya Politeknik Üniversitesi
- [93] Paşaoğlu, C. (2016). *İnsansız Hava Araçlarının Ulusal Hava Sahalarına Entegrasyonu Ve Yeni Hava Trafik Yönetimi Konsepti İçin Otomatik Htk Modellemesi İle Uçuş Yönetim Sistemi Geliştirilmesi*. Gazi Üniversitesi.
- [94] Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM). (2007). *Hava Trafik Kontrol Hizmetleri Personeli Lisans ve Derecelendirme Yönetmeliği (SHY 65-01)*. Ankara
- [95] Pastor, E., Perez-Battle, M. Royo, P. Cuadrado, R. ve Barrado, C. (2014). Real-time Simulations to Evaluate the RPAS Integration in Shared Airspace. *4th SESAR Innovation Days*. İspanya
- [96] Lammers, R. L. (2007). Simulation: The New Teaching Tool. *Annals of Emergency Medicine*.49 (4). 505-507.

- [97] Özdemir M. ve Usanmaz, Ö. (2017). Simülasyon Araçlarının Hava Trafik Kontrol Alanında Kullanımı. *Yedinci Ulusal Savunma Uygulamaları Modelleme Ve Simülasyon Konferansı*. Ankara.
- [98] Özkalp, B. ve Saygılı, Ü. (2015). The Effectiveness of Simulator Usage in the Paramedic Education. *Procedia - Soc. Behav. Sci.*174. 3150-3153.
- [99] Demirci, M. (2006). *Donanım İçeren Simülasyon Sistemleri ve Simülatör Tasarımı*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [100] Savaş T. (2015). *İnsanlı ve İnsansız Hava Araçlarının Matlab/Simulink Ve X-Plane Kullanılarak Benzetim Ortamının Geliştirilmesi*. Anadolu Üniversitesi
- [101] http-4: <http://www.micronav.co.uk/products/best-atc-simulation/best-radar/> (Erişim tarihi: 26.01.2019)
- [102] http-5: <http://ssd.dhmi.gov.tr/ANSLogin.aspx?mn=41> (Erişim tarihi: 04.04.2019)
- [103] http-6: <http://www.meteksan.com/algilayici-sistemler/otomatik-kalkis-ve-inis-sistemi-okis>. (Erişim: 18.01.2018)
- [104] Persiani C. A. ve Bagassi, S. (2013). Route Planner for Unmanned Aerial System Insertion in Civil Non-Segregated Airspace. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part G J. Aerosp. Eng.*, 227 (4). 687-702.
- [105] Smith C. J. ve Taylor, N. W. (2013). Controlling UAS Flight Operations In A Mixed-Mode Environment Today. *Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS)*. ABD
- [106] Pastor, L. E., Pérez B. M., Royo C. P., Cuadrado S. R., Barrado M. C. ve Prats M. X. (2013). On the design of UAS Horizontal Separation Maneuvers. *Proceedings of the 2nd SESAR Innovation Days*. Almanya
- [107] Perez, B. M., Marcos, M. ve Pastor, E. (2016). Effects of En-route Wake Vortex on RPAS Operations. *6th SESAR Innovation Days*. Hollanda
- [108] http-7: <https://ssd.dhmi.gov.tr/Documents/28.PDF>. (Erişim tarihi: 05.04.2019)
- [109] Secen, A. (2013). Evolution of First Come, First Served to Best Capable, Best Served. *Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS)*, ABD. 1-12.
- [110] Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMİ). (2014). *DHMİ İstatistik Yıllığı*. Ankara.
- [111] Eurocontrol (2018). *European Route Network Improvement Plan*.Brüksel

EKLER

Ek 1 – LTAE IAC 1



Ek 2 – LTAE IAC 2

AD 2 LTAE IAC - 2
02 FEB 17

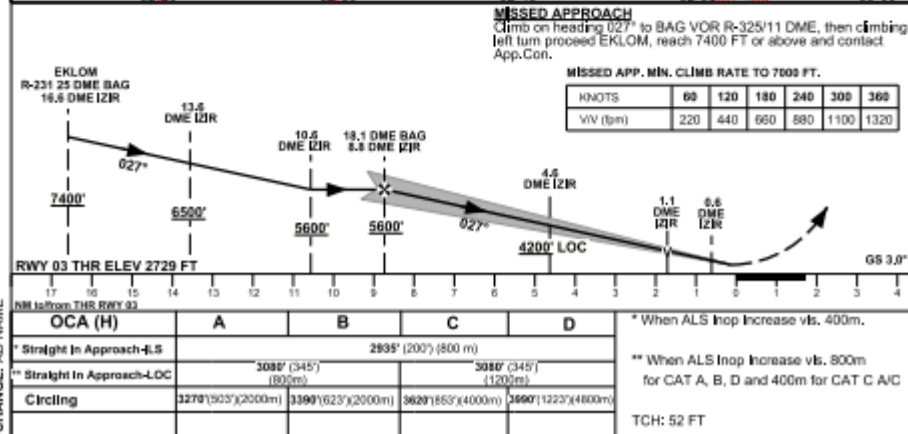
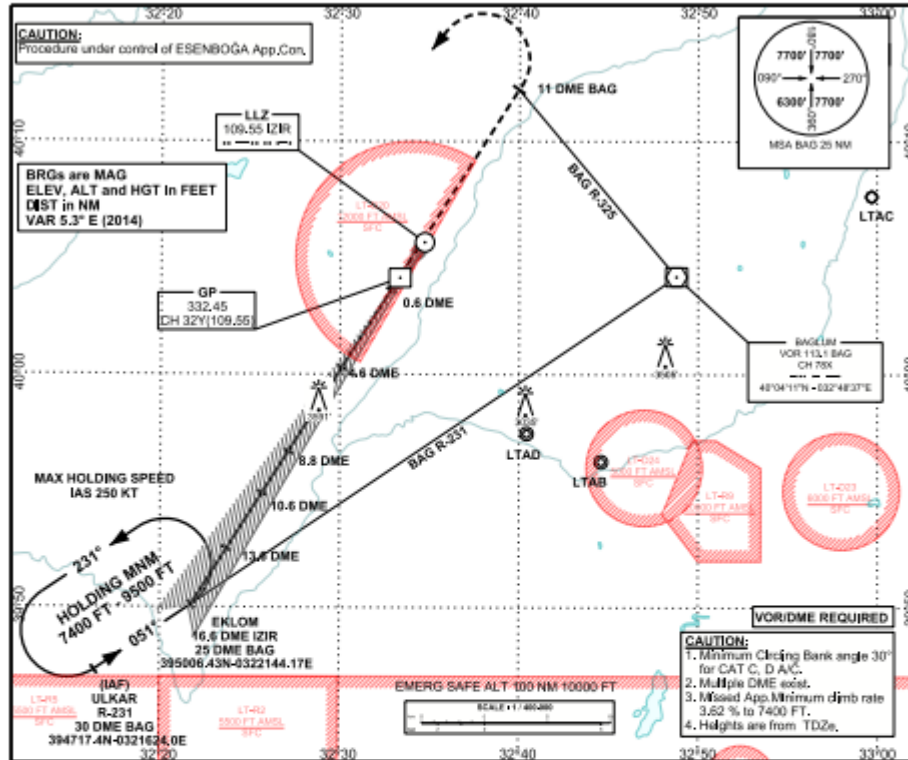
AIP
TURKEY

ANKARA/MURTED

APP	119.1 - 119.6 - 362.3 (ESENBOĞA APP)	AD ELEV	2767 FT
TWR	122.1 - 257.8 (MURTED Tower)	TRANSITION ALTITUDE	10 000 FT
ATIS	127.225 (MURTED Information)		

INSTRUMENT
APPROACH
CHART - ICAO

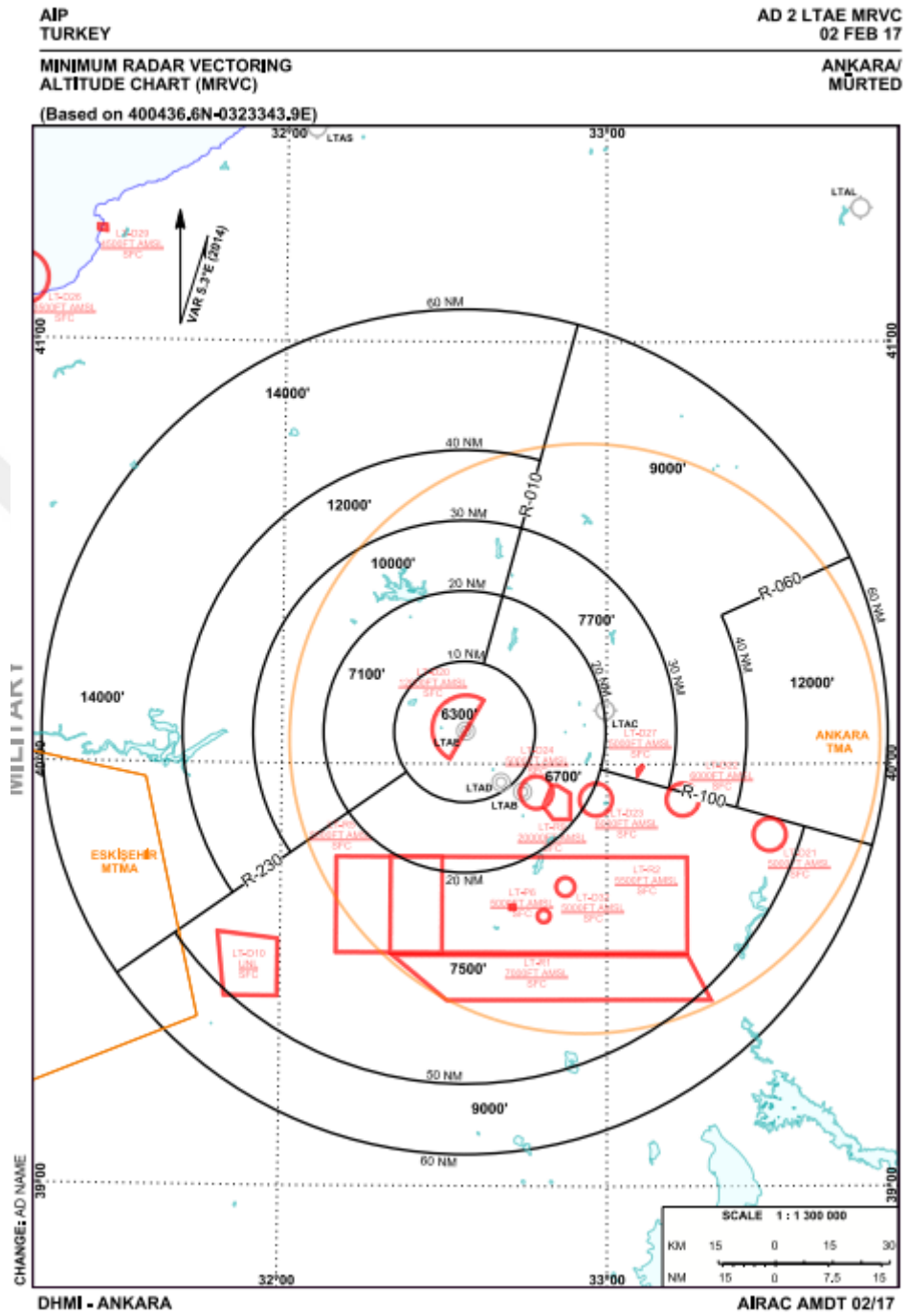
ILS or LOC Y RWY03



AIRAC AMDT 02/17

DHM - ANKARA

Ek 3 – LTAE MRVC



Ek 4 – AD LTAE

AIP
TURKEY

AD 2 LTAE-1
30 MAR 17

LTAE AD 2.1 AERODROME LOCATION INDICATOR AND NAME

LTAE - ANKARA / MÜRTED

LTAE AD 2.2 AERODROME GEOGRAPHICAL AND ADMINISTRATIVE DATA

1	ARP coordinates and site at AD	400444N - 0323356E
2	Direction and distance from (city)	25 NM W of ANKARA
3	Elevation/Reference temperature	2767 FT
4	MAG VAR/Annual change	5.3° E (2014) / 0.09° increasing.
5	AD Administration, address, telephone, telefax, telex, AFS	Mürted Hava Meydan K.İği 06980 Kahramankazan/ ANKARA Tel : 0.312.811 28 84 Fax : 0.312.811 14 02
6	Types of traffic permitted (IFR/VFR)	IFR / VFR
7	Remarks	Sivil Havacılık İşletmelerince uçuş planlanması durumunda Hava Kuvvetleri Komutanlığından ön müsaade alınması gerekmektedir. / Aircraft operators who will file flight plans are required first to obtain the authorization of the Turkish Air Force Headquarter in advance.

LTAE AD 2.3 OPERATIONAL HOURS

1	AD Administration	H24
2	Customs and immigration	-
3	Health and sanitation	-
4	AIS Briefing Office	-
5	ATS Reporting Office (ARO)	Opr. by NOTAM PPR.
6	MET Briefing Office	H24
7	ATS	H24
8	Fueling	-
9	Handling	-
10	Security	H24
11	De-icing	-
12	Remarks	NIL

LTAE AD 2.4 HANDLING SERVICES AND FACILITIES

1	Cargo-handling facilities	-
2	Fuel/voil types	JP-8
3	Fuelling facilities/capacity	-
4	De-icing facilities	Not available
5	Hangar space for visiting aircraft	Not available
6	Repair facilities for visiting aircraft	Not available
7	Remarks	NIL

DHMI - ANKARA

AIRAC AMDT 03/17

LTAE AD 2.5 PASSENGER FACILITIES

1	Hotels	In Ankara
2	Restaurants	In Ankara
3	Transportation	Public transportation (bus), taxi.
4	Medical facilities	1 ambulance available during operational hours, Medical Room and First-aid at AD. Hospitals in Ankara.
5	Bank and Post Office	At AD
6	Tourist Office	In Ankara
7	Remarks	NIL

LTAE AD 2.6 RESCUE AND FIRE FIGHTING SERVICES

1	AD category for fire fighting	Category 9 (only on operational hours)
2	Rescue equipment	4 fire fighting vehicles with foam-water/Dry chemical powder units, 2 fire fighting vehicles with foam-water units, 1 rescue vehicle
3	Capability for removal of disabled aircraft	Wrench Available
4	Remarks	Category 9 is ensured by the support of TAI Fire Fighting department

LTAE AD 2.7 SEASONAL AVAILABILITY - CLEARING

1	Types of clearing equipment	1 snow plough, 2 Snow removals and blowers, 1 loader and beko-loader
2	Clearance priorities	RWY, TWY, parking areas
3	Remarks	NIL

LTAE AD 2.8 APRONS, TAXIWAYS AND CHECK LOCATIONS DATA

1	Apron surface and strength	Surface: Concrete and Asphalt
2	Taxiway width, surface and strength	TWY 1,5: Surface: Concrete Width: 48 M, LCN 50 TWY 2 : Surface: Asphalt Width: 35M, LCN 50 TWY 3,4: Surface: Asphalt Width: 21 M, LCN 50
3	ACL location and elevation	-
4	VOR/INS checkpoints	-
5	Remarks	NIL

LTAE AD 2.9 SURFACE MOVEMENT GUIDANCE, CONTROL SYSTEM AND MARKINGS

1	Use of aircraft stand ID signs, TWY guide lines and visual docking/parking guidance system of aircraft stands	Taxiing guidance signs lighted and available at all intersections with TWY, RWY. Aircraft stand numbers unavailable at Apron. Marshalling service is provided for all stands.
2	RWY and TWY markings and LGT	RWY : Edge, THR, End, centerline, TDZ as appropriate marked. For LGT see item 2.14. TWY: Edge and centerline as appropriate marked. For LGT see item 2.15.

3	Stop bars	-
4	Remarks	NIL

LTAE AD 2.10 AERODROME OBSTACLES

Obstacle Type	Coordinates		Elevation at top (FT)	Height (FT)	Obstacle Lighting	Type and color of lighting
Antenna	400414.4N	0323333.8E	2871	50	Yes	Red
Antenna	400411.3N	0323331.2E	2754	23	Yes	Red
Net Barrier Shelter	400358.2N	0323315.0E	2735.3	7.7	No	-
Net Barrier Shelter	400356.4N	0323318.6E	2735.3	7.7	No	-
Net Barrier Shelter	400530.0N	0323437.2E	2775.1	7.7	No	-
Net Barrier Shelter	400531.8N	0323433.6E	2775.1	7.7	No	-
Hook Barrier Shelter	400410.8N	0323326.4E	2740.0	7.7	No	-
Hook Barrier Shelter	400409.0N	0323329.4E	2740.0	7.7	No	-
Hook Barrier Shelter	400509.6N	0323433.0E	2767.5	7.7	No	-
Hook Barrier Shelter	400520.4N	0323424.0E	2767.5	7.7	No	-
Hook Barrier Shelter	400523.4N	0323417.4E	2766.9	7.7	No	-
Hook Barrier Shelter	400522.8N	0323419.2E	2766.9	7.7	No	-
Building	400530.0N	0323429.4E	2775.4	8.5	No	-
Building	400400.6N	0323312.0E	2737.2	8.5	No	-
Building	400442.0N	0323403.0E	2760.0	11.4	No	-
RSU Shelter	400400.6N	0323324.0E	2745.0	14.0	No	-
RSU Shelter	400529.4N	0323429.4E	2781.0	14.0	No	-
Rapcon Antenna	400436.6N	0323343.8E	2766.7	23.0	Yes	Red
Rapcon Building	400437.8N	0323342.6E	2760.8	15.1	Yes	Red
Concrete Barrier	400424.0N	0323318.0E	2750.0	14.4	No	-
Shelter	400410.2N	0323309.6E	2762.2	35.0	No	-
Shelter	400400.0N	0323321.0E	2762.2	35.0	No	-
Shelter	400524.0N	0323422.8E	2795.0	35.0	No	-

LTAE AD 2.11 METEOROLOGICAL INFORMATION PROVIDED

1	Associated MET Office	ANKARA / Mürted
2	Hours of service MET Office outside hours	H24
3	Office responsible for TAF preparation Periods of validity	ANKARA / Mürted 9 HR

4	Type of landing forecast Interval of issuance	TREND 1 HR
5	Briefing/consultation provided	Personel consultation
6	Flight documentation Language(s) used	Charts abbreviated plain language text. EN/TU
7	Charts and other information available for briefing or consultation	Surface and upper air actual and prog. Charts. SIGWX, UL W/T, Model TA-M
8	Supplementary equipment available for providing information	Telefax, VSAT, ADSL PC connection
9	ATS units provided with information	Mürted Control Tower
10	Additional information (limitation of service, etc.)	Aerodrome Warnings

LTAE AD 2.12 RUNWAY PHYSICAL CHARACTERISTICS

Designations RWY NR	TRUE BRG	Dimensions of RWY (M)	Strength (PCN) and surface of RWY and SWY	THR coordinates	THR elevation and highest elevation of TDZ of precision APP RWY	
1	2	3	4	5	6	
03	032.77°	3350X45	Asphalt LCN 50	400358.44N- 0323317.97E	THR 2729 FT / 831.8 M TDZ 2735 FT / 833.6 M	
21	212.78°	3350X45	Asphalt LCN 50	400529.77N- 0323434.52E	THR 2767 FT / 843.4 M TDZ 2767 FT / 843.4 M	
Slope of RWY-SWY	SWY dimensions (M)	CWY dimensions (M)	Strip dimensions (M)	RESA	OFZ	Remarks
7	8	9	10	11	12	13
% 0.35	50X45	175X45	3570X65	170X90	-	NIL
% 0.35	50X45	144X45	3570X65	150X90	-	

LTAE AD 2.13 DECLARED DISTANCES

RWY Designator	TORA (M)	TODA (M)	ASDA (M)	LDA (M)	Remarks
1	2	3	4	5	6
03	3350	3525	3400	3350	NIL
21	3350	3494	3400	3350	

LTAE AD 2.14 APPROACH AND RUNWAY LIGHTING

RWY Designator	APCH LGT type LEN INTST	THR LGT color WBAR	VASIS (MEHT) PAPI	TDZ, LGT LEN	RWY Centre Line LGT Length, spacing, color, INTST	RWY edge LGT LEN, spacing color INTST	RWY End LGT color WBAR	SWY LGT LEN (M) color	Remarks
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
03	Simple APP, 915 M, LIH, NATO Standard	Green	PAPI 3 DEG	-	-	3352 M White LIH	Red	-	NIL
21	Simple APP, 430 M, LIH Non-NATO Standard	Green	PAPI 2.7 DEG	-	-	3352 M White LIH	Red	-	NIL

LTAE AD 2.15 OTHER LIGHTING, SECONDARY POWER SUPPLY

1	ABN/WIBN location, characteristics and hours of operation	ABN at top of TWR. W.G SS-SR
2	LDI location and LGT Anemometer location and LGT	WDI / LDI: LGTD, in front of TWR Anemometer: In front of TWR
3	TWY edge and centre line lighting	Edge
4	Secondary power supply/switch-over time	Available, (0) second.
5	Remarks	NIL

LTAE AD 2.16 HELICOPTER LANDING AREA - NIL**LTAE AD 2.17 ATS AIRSPACE**

1	Designation and lateral limits	CTR 401323N-0324726E ve 395037N-0322821E koordinatlarını birleştiren hatın doğusu hariç olmak üzere 400356N-0323358E merkezli ve 14NM yarıçaplı daire. / Circle radius 14 NM centered on 400356N-0323358E, except that part of the circle east of a straight line joining 401323N-0324726E and 395037N-0322821E
2	Vertical limits	12.000 FT AMSL/SFC
3	Airspace classification	-
4	ATS unit call sign Language(s)	Mürled Tower TU-EN
5	Transition altitude	10000 FT
6	Remarks	APP service is provided by Esenboğa APP Control.

LTAE AD 2.18 ATS COMMUNICATION FACILITIES

Service designation	Call sign	Channel	Hours of operation	Remarks
1	2	3	4	5
TWR/ RAPCON	Mürted Tower/ RAPCON	122.1 MHZ 257.8 MHZ 362.3 MHZ 121.5 MHZ 243.0 MHZ	See NOTAM	Emergency Emergency
SAR	-	123.1 MHZ 282.8 MHZ	SAR is provided by Eskişehir (include Güvercinlik on Tuesday and Thursday)	
ATIS	Mürted information	127.225 MHZ	H24	-

LTAE AD 2.19 RADIO NAVIGATION AND LANDING AIDS

Type of aid, CAT of ILS/MLS (For VOR/ILS/MLS, give VAR)	ID	Frequency	Hours of operation	Site of transmitting antenna Coordinates	Elevation of DME transmitting antenna	Remarks
1	2	3	4	5	6	7
TACAN	ZIR	CH92X	H24	400510.3N 0323433.6E	857 M	At field
LLZ 03 ILS CAT I	IZIR	109.55 MHZ	H24	400539.9N 0323443.0E		
GP		332.45 MHZ	H24	400408.4N 0323320.3E		3* RDH 50 FT
DME	IZIR	CH32Y	H24	400408.4N 0323320.3E	833 M	

LTAE AD 2.20 LOCAL TRAFFIC REGULATIONS - NIL

LTAE AD 2.21 NOISE ABATEMENT PROCEDURES - NIL

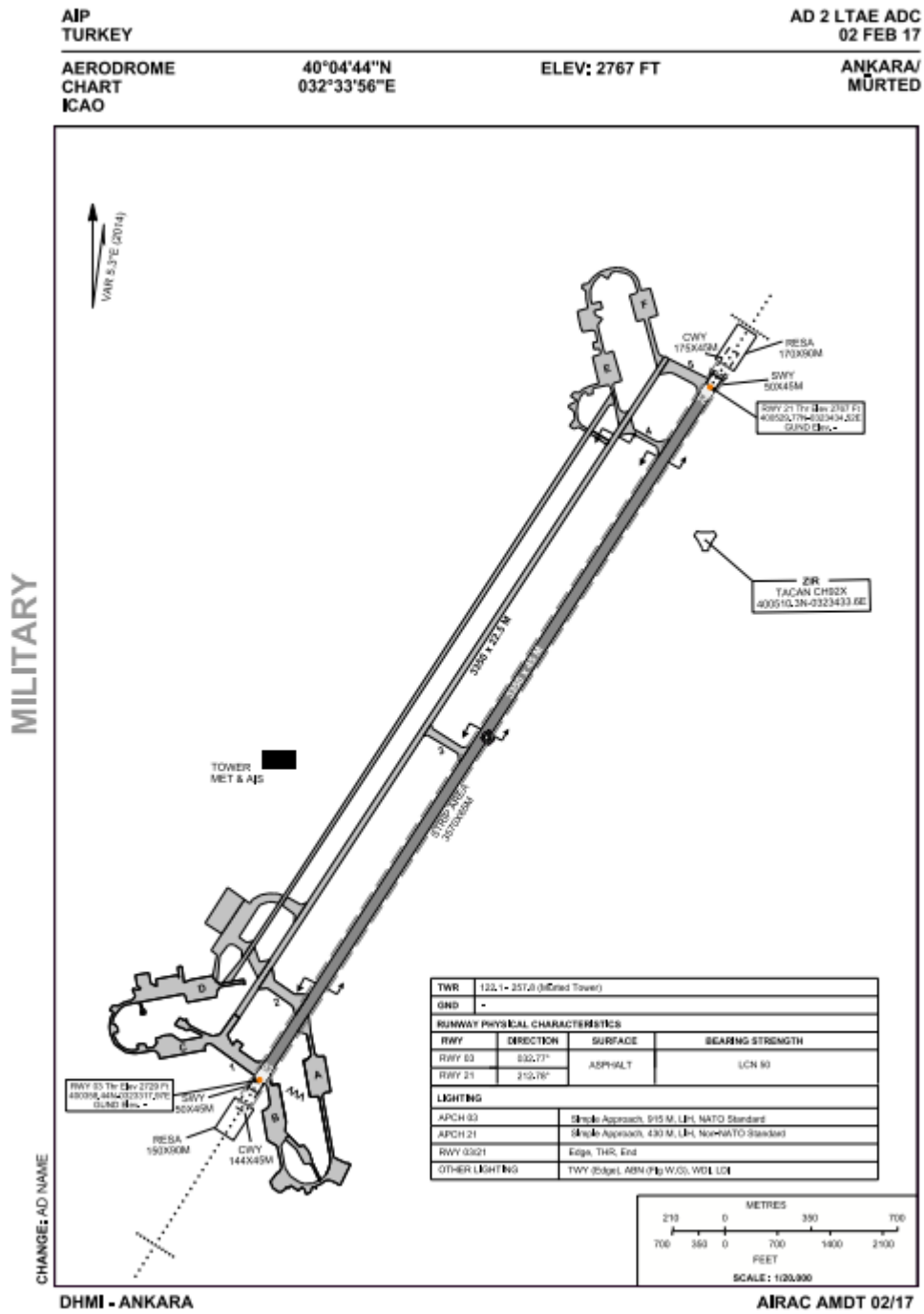
LTAE AD 2.22 FLIGHT PROCEDURES - NIL

LTAE AD 2.23 ADDITIONAL INFORMATION - NIL

LTAE AD 2.24 CHARTS RELATED TO ANKARA / MÜRTED AERODROME

Aerodrome Chart	AD 2 LTAE ADC
Instrument Approach Chart RNAV (GNSS) RWY 03	AD 2 LTAE IAC-1
Instrument Approach Chart ILS or LOC Y RWY 03	AD 2 LTAE IAC-2
Instrument Approach Chart ILS or LOC Z RWY 03	AD 2 LTAE IAC-3
Minimum Radar Vectoring Altitude Chart	AD 2 LTAE MRVC

4.1. Ek 5 – LTAE ADC



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Tamer SAVAS

Yabancı Dil : İngilizce

Doğum Yeri ve Yılı : Ankara/1987

E-Posta : tsavas@eskisehir.edu.tr

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2013-2015, Anadolu Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Pilotaj Bölümü (Yüksek Lisans)
- 2008-2011 Anadolu Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi Havacılık Elektrik Elektronik Bölümü (Lisans-Çift Anadal)
- 2005-2010 ,Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği (Lisans)
- 2001-2005, Kalaba Süper Lisesi, Keçiören –Ankara, Fen Bilimleri.

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

A. Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (Proceedings) basılan bildiriler:

A1. Savas T. ve Usanmaz, Ö. “Assessment Of Principles For RPAS Integration Into Non-Segregated Airspace”, 9th Ankara International Aerospace Conference-AIAC, AIAC-2017-087, Ankara, 20-22 Eylül 2017

B. Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (Proceedings) basılan bildiriler:

B1. Savas T, Usanmaz Ö “İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Ayrılmamış Hava Sahasına Entegrasyonu ile İlgili Mevzuatların Değerlendirmesi” IX. Ulusal Uçak, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Kurultayı, UHUM sf. 49-61, Ankara, 5-6 Mayıs 2017

B2. Savas T, Usanmaz Ö, Cavcar M. “Havacılık Eğitiminde Benzetim Araçlarının Etkin Kullanımı” VI. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, UHUK-2016-120, Kocaeli, 28 Eylül 2016

C. Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

C2. Savas T, Usanmaz O, “İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Ayrılmamış Hava Sahasına Entegrasyonu ile İlgili Mevzuatların Değerlendirmesi” Mühendis ve Makine Dergisi, Sayı 691, Nisan-Haziran 9018