



**İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ HAVA TRAFİĞİNE
ENTEGRASYONUNDAKİ POTANSİYEL PROBLEMLERİN TESPİTİ VE
ÇÖZÜMÜNE YÖNELİK BİR ARAŞTIRMA**

Doktora Tezi
Ahmet KÖKHAN
Eskişehir 2024

**İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ HAVA TRAFİĞİNE
ENTEGRASYONUNDAKİ POTANSİYEL PROBLEMLERİN TESPİTİ VE
ÇÖZÜMÜNE YÖNELİK BİR ARAŞTIRMA**

Ahmet KÖKHAN

DOKTORA TEZİ
Sivil Havacılık Yönetimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Öznur USANMAZ

Eskişehir
Anadolu Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Ocak 2024

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Ahmet Kökhan'ın “İnsansız Hava Araçlarının Hava Trafikğine Entegrasyonundaki Potansiyel Problemlerin Tespiti ve Çözümüne Yönelik Bir Araştırma” başlıklı tezi 15/01/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği”nin ilgili maddeleri uyarınca Sivil Havacılık Yönetimi Anabilim dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı):	Prof. Dr. Öznur USANMAZ	
Üye:	Prof. Dr. Ender GEREDE	
Üye:	Doç. Dr. Özlem ŞAHİN	
Üye:	Dr.Öğr.Üy. Ergün KAYA	
Üye:	Dr.Öğr.Üy. Tamer SAVAŞ	

.....

Enstitü Müdürü

ÖZET

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ HAVA TRAFİĞİNE ENTEGRASYONUNDAKİ POTANSİYEL PROBLEMLERİN TESPİTİ VE ÇÖZÜMÜNE YÖNELİK BİR ARAŞTIRMA

Ahmet KÖKHAN

Sivil Havacılık Yönetimi Anabilim Dalı

Anadolu Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ocak 2024

Danışman: Prof. Dr. Öznur USANMAZ

Bu çalışma, insansız hava araçlarının (İHA) hava trafiğine entegrasyonu sürecinde oluşan problemleri ortaya koymak, gelecekte oluşabilecek potansiyel problemleri tespit etmek ve bu problemlere çözüm üretmek amacıyla yapılmıştır. Çalışmada konu nitel paradigma yaklaşımı ile ele alınmıştır. Araştırma yaklaşımı olarak durum çalışması nitel araştırma deseni kullanılmıştır. NVivo yazılımından yararlanılarak tematik analiz yapılmıştır. Tematik analiz sonrası listelenen problemler Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHP) ile önem derecesine göre ağırlıklandırılmıştır. Problemlerin çözümü için Nominal grup görüşme tekniği kullanılarak alan uzmanlarından çözüm önerileri alınmış olup, önerilerin yorumlanması için yorumlayıcı bilimsel yaklaşım kuramsal temelinden yararlanılmıştır.

Çalışma sonuçları incelendiğinde, İHA paydaşlarının ortak görüşlerine göre yüzdesel olarak birinci sırada İHA pilotu eğitim eksikliği, ikinci sırada İHA'ların performans düşüklüğü ve üçüncü sırada ise İHA'ların hava trafiğini geciktirmesi en fazla ifade edilen problemler olarak öne çıkmaktadır. AHP yöntemi ile yapılan ağırlıklandırma işlemi sonucunda ilk üç ana problemin geometrik ortalamaya göre yüzdesel dağılımı havacılık emniyeti ve verimliliği problemleri %38.43, mevzuata yönelik problemler %33.27, İHA ve yer sistemi problemleri %28.3'dür. Ana problemler içerisinde önem ağırlığı en yüksek olan problemin havacılık emniyeti ve verimliliği olduğu görülmektedir. Çalışma sonunda Nominal grup tekniği kullanılarak araştırmada tespit edilen problemlere alan uzmanları tarafından çözümler önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hava trafik yönetimi, İnsansız hava araçları, Analitik hiyerarşi yöntemi, Tematik analiz, Hava sahası

ABSTRACT

A RESEARCH FOCUSED ON THE DETECTION AND RESOLUTION OF POTENTIAL ISSUES IN THE INTEGRATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES INTO AIR TRAFFIC

Ahmet KÖKHAN

Department Of Civil Aviation Management

Anadolu University, Institute of Postgraduate Education, January 2024

Supervisor: Prof. Dr. Öznur USANMAZ

This study has been conducted to identify the issues arising in the integration of unmanned aerial vehicle (UAV) operations into air traffic, detecting potential problems that may arise in the future, and providing solutions to the identified problems. In the study, the subject was discussed with a qualitative paradigm approach. A case study qualitative research design was used as the research approach. Thematic analysis was conducted using NVivo software. After the thematic analysis, the listed problems were weighted according to their importance using the Analytic Hierarchy Process (AHP) method. To solve the problems, solution suggestions were received from field experts using the Nominal group interview technique. The theoretical basis of the interpretative scientific approach was used to interpret the recommendations.

When the findings of the study are examined, according to the joint discussions of the UAV stakeholders, the problem of lack of UAV pilot training comes first in percentage terms, the problem of low performance of UAVs comes second, and the problem of UAVs delaying air traffic comes to the fore as the most frequently expressed problem. As a result of the weighting of the problems using the AHP method, the percentage distribution of the The first three main problems according to the geometric mean are 38.43% for aviation safety and efficiency problems, 33.27% for regulatory problems and 28.3% for UAV and ground system problems. It is seen that aviation safety and efficiency problems have the highest importance among the main problems. At the end of the study, field experts suggested solutions to the problems identified in the research using the Nominal group technique.

Keywords: Air traffic management, Unmanned aerial vehicles, Analytic hierarchy process, Thematic analysis, Airspace

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının tüm aşamalarında desteğini benden esirgemeyen, değerli vaktini ve bilgilerini benimle paylaşan başta kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Öznur USANMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca değerli katkılarıyla tez izleme jürimde ve çalışmamın tüm süreçlerinde yer alan saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Ender GEREDE, Doç. Dr. Özlem ŞAHİN ve Dr. Kübra Gülnaz BÜLBÜL'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmaya katkı sağlamayı kabul ederek, kıymetli zamanlarını ayıran ve değerli bilgiler paylaşan saygıdeğer hocalarım ve tüm katılımcılara ayrı ayrı teşekkür ederim.

Doktora ve diğer eğitim süreçlerimde her zaman yanımda olan ve desteğini benden esirgemeyen sevgili eşime teşekkür ederim.

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 edilemeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı” ile tarandığını 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 sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Ahmet KÖKHAN

İÇİNDEKİLER

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLOLAR DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Araştırma Problemi.....	2
1.2. Araştırmanın Amacı.....	2
1.3. Araştırmanın Önemi	2
1.4. Araştırmanın Sınırlılıkları.....	3
1.5. Araştırma soruları	3
1.6. Literatür İncelemesi	4
2. İNSANSIZ HAVA ARACI.....	28
2.1. İnsansız Hava Aracı (İHA) Kavramı	28
2.2. İHA Sistemi	28
2.3. İHA Sisteminin Tarihsel Gelişimi	31
2.4. İHA'ların Sınıflandırılması.....	33
3. HAVA TRAFİK SİSTEMİ	36
3.1. Hava Trafik Sistemi Kavramı.....	36
3.2. Hava Trafik Yönetimi.....	37
3.3. Hava Trafik Yönetiminin Bileşenleri	37
3.3.1. Hava Trafik Akış Yönetimi	38
3.3.2. Hava Sahası Yönetimi.....	39
3.3.3. Hava Trafik Hizmetleri	40
3.4. İHA'ların Hava Trafik Yönetimine Entegrasyonu	41

4. YÖNTEM	44
4.1. Araştırmanın Yöntemi.....	44
4.1.1. Araştırma evreni ve örneklem	45
4.1.2. Verilerin toplanması	46
4.1.2.1. Veri toplama araçları	46
4.1.2.2. Görüşmeler	46
4.1.3. Verilerin analizi	47
4.1.3.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)	47
4.1.3.2. Nominal Grup Görüşmesi	52
4.2. Geçerlilik ve Güvenirlilik.....	53
5. BULGULAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ	55
5.1. Bulgular.....	55
5.1.1. Hava trafik kontrolörü görüşmelerine yönelik bulgular	57
5.1.2. İnsanlı hava aracı pilotu görüşmelerine yönelik bulgular.....	59
5.1.3. İHA pilotu görüşmelerine yönelik bulgular	61
5.1.4. Tüm paydaş görüşmelerine yönelik bulgular	62
5.2. Bulguların Yorumlanması	69
5.3. Çözüm Önerileri.....	70
6. SONUÇ	75
KAYNAKÇA.....	81
EKLER	87

TABLÖLER DİZİNİ

Tablo 2.1.	Avrupa İHA sınıflandırması.....	34
Tablo 2.2.	ABD İHA sınıflandırması.	34
Tablo 4.2.	Katılımcılar ve veri toplama teknikleri	46
Tablo 4.3.	Random Index (RI) değerleri	49
Tablo 5.1.	Hava trafik kontrolörleri görüşmelerine göre problemlerin yüzdesel dağılımı	58
Tablo 5.2.	İnsanlı hava aracı pilotu görüşmelerine göre problemlerin yüzdesel dağılımı	59
Tablo 5.3.	İHA pilotu görüşmelerine göre problemlerin yüzdesel dağılımı	61
Tablo 5.4.	Tüm görüşmelere göre problemlerin yüzdesel dağılımı	63
Tablo 5.5.	AHP ağırlıklandırma işlemi sonuçları.....	67
Tablo 5.6.	Alt problemlerin (seviye-3) yüzdesel dağılımı	69
Tablo 5.7.	Alt problemler listesi (seviye-3)	71
Tablo 5.8.	Emniyetsiz uçuş operasyonları problemi ve çözüm önerileri	71
Tablo 5.9.	Koordinasyon problemleri ve çözüm önerileri	72
Tablo 5.10.	Uçuş gecikme problemleri ve çözüm önerileri	72
Tablo 5.11.	İHA personeli çalışma koşulları problemleri ve çözüm önerileri	73
Tablo 5.12.	Standardizasyon problemleri ve çözüm önerileri.....	73
Tablo 5.13.	İHA donanımsal ve yazılımsal problemler ve çözüm önerileri	74
Tablo 5.14.	Yer sistemleri problemleri ve çözüm önerileri	74

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	İHA sistemi ve bağlantılar.	29
Şekil 2.2.	Uzak pilot istasyonlarının potansiyel ağı	30
Şekil 2.3.	Radyo Görüş Hattı- Radio Line-of-Sight (RLOS).....	30
Şekil 2.4.	Radyo Görüş Hattı Dışı- Beyond Radio Line-of-Sight (BRLOS)	31
Şekil 3.1.	Hava trafik sistemi	36
Şekil 3.2.	Hava trafik yönetiminin bileşenleri	37
Şekil 3.3.	Hava sahası sınıflandırılması	40
Şekil 3.4.	Hava trafik hizmetleri bölümleri.....	40
Şekil 4.1.	Araştırma süreci basamakları.....	45
Şekil 4.2.	Geçerlilik ve güvenilirlik stratejileri	53
Şekil 5.1.	Kod kitabı.....	56
Şekil 5.2.	Hava trafik kontrolörlerine göre ilk 10 problemin dağılımı	58
Şekil 5.3.	Hava trafik kontrolörlerine göre ilk 10 problemin yüzdesel dağılımı	59
Şekil 5.4.	İnsanlı hava aracı pilotlarına göre ilk 10 problemin dağılımı.....	60
Şekil 5.5.	İnsanlı hava aracı pilotlarına göre ilk 10 problemin yüzdesel dağılımı.....	60
Şekil 5.6.	İHA pilotlarına göre ilk 10 problemin dağılımı	62
Şekil 5.7.	İHA pilotlarına göre ilk 10 problemin yüzdesel dağılımı	62
Şekil 5.8.	Tüm görüşmelere göre ilk 10 problemin dağılımı	63
Şekil 5.9.	Tüm görüşmelere göre ilk 10 problemin yüzdesel dağılımı	64
Şekil 5.10.	Cluster analizi	65
Şekil 5.11.	Listelenen ilk 10 problemin dağılımı	66
Şekil 5.12.	Listelenen ilk 10 problemin yoğunluğu	67

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AHP	: Analytic Hierarchy Process (Analitik Hiyerarşi Süreci)
ANSP	: Air Navigation Service Provider (Hava Seyrüsefer Hizmet Sağlayıcısı)
ATC	: Air Traffic Control (Hava Trafik Kontrol)
ATM	: Air Traffic Management (Hava Trafik Yönetimi)
ATPL	: Air Transport Pilot Licence (Havayolu Nakliye Pilotu Lisansı)
ATS	: Air Traffic Services (Hava Trafik Hizmetleri)
CPL	: Commercial Pilot License (Ticari Pilot Lisansı)
EASA	: European Union Aviation Safety Agency (Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı)
EUROCONTROL	: The European Organisation for the Safety of Air Navigation (Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Teşkilatı)
FAA	: Federal Aviation Administration (Federal Havacılık İdaresi)
FIR	: Flight Information Region (Uçuş Bilgi Bölgesi)
FUA	: Flexible Use of Airspace (Esnek Hava Sahası)
HALE	: High Altitude Long Endurance (Yüksek İrtifa Uzun Havada Kalış)
ICAO	: International Civil Aviation Organisation (Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu)
IFR	: Instrument Flight Rules (Aletli Uçuş Kuralları)
İHA	: İnsansız Hava Aracı
MALE	: Medium Altitude Long Endurance (Orta İrtifa Uzun Havada Kalış)
MTOW	: Maximum Takeoff Weight (Maksimum Kalkış Ağırlığı)
NASA	: National Aeronautics and Space Administration (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)
NATO	: North Atlantic Treaty Organization (Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü)
NextGen	: Next Generation Air Transportation System (Yeni Nesil Hava Taşımacılığı Sistemi)

PANS	: Procedures for Air Navigation Services (Seyrüsefer Hizmetlerine Yönelik Prosedürler)
PPL	: Private Pilot License (Hususi Pilot Lisansı)
RPA	: Remotely Piloted Aircraft Pilot (Uzaktan Kumandalı Hava Aracı)
RPAS	: Remotely Piloted Aircraft Systems (Uzaktan Kumandalı Hava Aracı Sistemleri)
SARPs	: Standards and Recommended Practices (Standartlar ve Tavsiye Edilen Uygulamalar)
SESAR	: Single European Sky ATM Research (Tek Avrupa ATM Araştırması)
SHGM	: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
UAS	: Unmanned Aircraft Systems (İnsansız Hava Aracı Sistemi)
UTM	: Unmanned Aircraft System Traffic Management (İnsansız Hava Aracı Trafik Yönetimi)
VFR	: Visual Flight Rules (Görerek Uçuş Kuralları)
VLL	: Very Low Level (Çok Düşük Seviye)

1. GİRİŞ

Bu çalışmada insansız hava araçlarının hava trafiğine entegrasyonundaki potansiyel problemlerin tespiti ve çözümüne yönelik bir araştırma yapılmıştır. Literatürde İnsansız Hava Aracı (İHA)'ların mevcut hava trafiğine entegrasyonu konusunda havacılık otoritelerinin çalışmaları yanı sıra akademik çalışmalar yer almaktadır. Bu çalışmalar büyük ölçüde uçuş emniyeti, uçuşa elverişlilik, sertifikasyon, komuta ve kontrol, algı ve kaçın sistemleri, otonom sistemler ve İHA'ların sivil hava trafiğine entegrasyonu gibi konulara odaklanmaktadır. Ayrıca bu çalışmalarda İHA'ların mevcut hava trafik sistemine yeni bir paydaş olarak sonradan dâhil olması ile hava sahasında çözüm bekleyen problemlerin varlığına yönelik değerlendirmeler yer almaktadır.

Hava trafik sistemi açısından İHA'ların hava trafiğine entegrasyonunda ortaya çıkan uçuş emniyeti ve verimliliğini olumsuz etkileyebilecek problemlerin hava trafiğinin emniyetli, düzenli, verimli akışının sağlanması ve gereksiz zaman kayıplarının önüne geçilmesi için sistematik yöntemlerle ortaya konulması ve bu problemlere çözüm üretilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada; İHA'ların hava trafiğine entegrasyonu paydaşları nasıl etkilemiştir? Problemler yaşanmakta mıdır? Mevcut ve potansiyel problemler nelerdir? ve bu problemlerin çözümü nasıl sağlanacaktır? Sorularına yanıt aranmıştır.

Araştırmada tespit edilen entegrasyon problemleri ve çözüm önerileri sayesinde hava trafik sistemi mikro ve makro çevresi araştırmanın bulgularından faydalanabilecektir. Ayrıca araştırma sayesinde paydaşlar ve araştırmacılar İHA'ların hava trafiğine entegrasyonu konusunda doğru problemlere odaklanarak, problemlerin çözümü için kullanılacak kaynaklarının doğru tahsis edilmesi ile gereksiz yatırımların ve zaman kayıplarının önüne geçebilecektir.

Çalışma altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde araştırma problemi, araştırmanın amacı, önemi, sınırlılıkları, araştırma soruları ve literatür incelemesi yer almaktadır.

İkinci bölümde; İnsansız hava aracı (İHA) kavramı, İHA sistemi, İHA'ların tarihsel gelişimi ve sınıflandırılması yer almaktadır.

Üçüncü bölümde; Hava trafik sistemi, hava trafik sisteminin yönetimi, bileşenler ve İHA'ların hava trafiğine entegrasyonu konuları ele alınmıştır.

Dördüncü bölümde; Araştırma yöntemi ve araştırmanın geçerliği ve güvenilirliği konu başlıkları yer almaktadır.

Beşinci bölümde; Araştırmanın bulguları, bulguların yorumlanması ve çözüm önerileri yer almaktadır.

Altıncı bölümde; Sonuç, değerlendirme ve öneriler yer almaktadır.

1.1. Araştırma Problemi

İHA'ların kullanım alanlarının hızla genişlemesi ve hava sahalarındaki yoğunluğunun artmasına karşın mevcut hava trafik sisteminde İHA entegrasyonu konusundaki gelişmelerin sektörün büyüme hızına göre yetersiz ve yavaş kalması, hava trafiğinin emniyetli, düzenli ve verimli yönetilmesi konularında bazı problemleri ortaya çıkarmıştır. Bu çalışma İHA entegrasyon sürecinde gelişen ve gelişmesi muhtemel olan problemleri kendi ortamları ve dinamikleri içerisinde birincil kaynaktan bilimsel yöntemlerle tespit etmek ve bu problemlere çözüm sağlayabilmek için İHA'ların hava trafiğine entegrasyonu konusunu ele almıştır.

1.2. Araştırmanın Amacı

Araştırmanın amacı, insanlı ve insansız hava araçlarının ihtiyaçlarına karşılık verebilen emniyetli ve verimli bir hava sahası ortamı oluşturulmasını sağlamak amacıyla İHA'ların hava trafiğine entegrasyonu sürecinde gelişen ve gelişmesi muhtemel olan problemleri tespit etmek ve bu problemlere çözüm üretmektir.

1.3. Araştırmanın Önemi

Hava trafik sisteme yeni bir paydaşın dâhil olması hava trafik hizmetlerini, hava sahası yönetimini, hava trafik akış ve kapasite yönetimini çeşitli yönleriyle etkilemektedir.

Literatürde yer alan çalışmalar İHA entegrasyon sürecinde hava trafiğinin emniyeti, verimliliği ve düzeni konularında çözülmesi gereken birçok ihtiyaç ve problemi beraberinde getirmiş olduğunu desteklemektedir.

Bu araştırma İHA'ların hava trafiğine entegrasyonundaki potansiyel problemleri tespit ederek hava trafik sisteminde oluşması muhtemel emniyetsiz durumların önüne

geçmeye ve tespit edilen problemlere çözüm sağlamaya yönelik olması yönüyle hava trafik sistemin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi için önemli bir yere sahiptir. Ayrıca araştırmanın, hava trafik yönetimi konusunda güncel bir problemi literatürde yer alan benzer çalışmalara kıyasla nitel bakış açısıyla ele alması ve bu probleme İHA operasyonu paydaşlarının görüşlerini alarak ortak bir çözüm önerisinde bulunması yönüyle literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

1.4. Araştırmanın Sınırlılıkları

Çalışma kapsamında;

- İHA3 kategori azami kalkış ağırlığı 150 kg (dâhil) ve daha fazla olan İHA'lar ele alınmıştır.
- Türkiye Uçuş Bilgi Bölgesi (FIR) içerisinde kontrollü hava sahasındaki uçuş faaliyetleri ele alınmıştır.
- Araştırma Türk hava sahasında gerçekleştirilen İHA faaliyetlerine yönelik ulusal çerçevede yapılmıştır.
- Araştırma Türk hava sahasında gerçekleştirilen İHA uçuşlarında yer alan paydaşları (İHA pilotları, insanlı hava aracı pilotları, hava trafik kontrolleri) kapsamaktadır.

1.5. Araştırma soruları

Araştırma kapsamında aşağıda yer alan sorulara yanıt aranmıştır.

1. İHA'ların hava trafiğine entegrasyon süreci paydaşları nasıl etkilemiştir?
2. İHA'ların hava trafiğine entegrasyonu sürecinde problemler yaşanmakta mıdır? Yaşamakta ise bu problemler nelerdir?
 - a. İHA'ların hava trafiğine entegrasyondaki mevcut problemlerin nedenleri nelerdir?
 - b. İHA'ların hava trafiğine entegrasyondaki problemler çözülmez ise sonuçları neler olabilecektir?
 - c. İHA'ların hava trafiğine entegrasyondaki potansiyel problemlerin nedenleri nelerdir?
 - d. İHA'ların hava trafiğine entegrasyondaki potansiyel problemler çözülmez ise sonuçları neler olabilecektir?

1.6. Literatür İncelemesi

İHA sistemleri üzerine yapılan ulusal ve uluslararası anlamdaki çalışmalar İHA'ların kullanım alanlarının ve sayılarının artışıyla beraber her geçen gün artmaktadır. Mevcut literatürdeki çalışmaların çoğu İHA'ların performans ve niteliklerini geliştirmeye, otonom çarpışma engelleyici sistemlere, kontrol sistemlerine, hava trafik yönetimine ve rota planlamalarına odaklanmaktadır. Literatür incelemesi bölümünde ilk olarak İHA sistemleri ile ilgili çalışma ve düzenleme yapan havacılık otoritelerindeki gelişmelere yer verilmiş, devamında ise ilgili konuda literatürde öne çıkan çalışmalar incelenmiştir.

ICAO (International Civil Aviation Organisation)- Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu İHA'ların hava trafiğine uyumlu şekilde entegre edilmesi için standartlar belirlenmekte, tavsiyelerde bulunmakta ve çeşitli düzenlemeler yapmaktadır. ICAO'nun genel görüşü ayrılmamış hava sahasında faaliyet gösteren İHA'ların entegrasyonu, teknolojik ilerlemelerle beraber ilgili prosedürlerin geliştirilmesine dayanan kademeli bir süreç olacağı yönündedir. Bu doğrultuda mevcut hava trafik sistemine yeni bir hava sahası kullanıcısı eklenirken, tüm hava sahası kullanıcılarına yönelik riskin en aza indirilmesi gerekmektedir.

ICAO, hava sahasının organize edilmesi, tahsisi ve kullanım erişimi eşitlik ilkelerine dayalı olarak yapılması gerektiği, bu doğrultuda, herhangi bir hava sahası hacminin kullanımına ilişkin kısıtlamaların geçici olarak değerlendirilmesi gerektiğini belirtmektedir. Bu doğrultuda tüm hava araçlarının mevcut ve potansiyel kullanımlarını barındıracak şekilde hava sahalarının organize edilmesi ve yönetilmesi gerektiğini vurgulamaktadır [01].

ICAO, İHA'ların, tamamen otonom veya bunların kombinasyonları olan tüm İHA'lar 7 Aralık 1944'te Chicago'da imzalanan Uluslararası Sivil Havacılık Sözleşmesi'nin 8. Maddesinin hükümlerine tabi olduğuna dikkat çekmektedir. İlgili madde; pilotsuz olarak uçulabilen hiçbir hava aracı, bir Akit Devletin toprakları üzerinde, o devletin özel izni olmadan uçamayacağını ve sivil uçaklara açık bölgelerde uçuş yapan ülkelere ait İHA'ların sivil uçaklara yönelik tehlikeyi önleyecek şekilde kontrol edilmesini sağlamayı taahhüt ettiğini ifade etmektedir [02].

ICAO, İHA'ların düzenlenmesinde küresel uyumlaştırmaya yönelik uluslararası bir düzenleyici çerçeve geliştirmeye yönelik ilk girişimlerden biri olarak kabul edilen 328

AN/190 sayılı genelgeyi 2011 yılında yayınlamıştır. ICAO'nun İHA'lara yönelik öncelikli hedefi, Standartlar ve Tavsiye Edilen Uygulamalar (SARPs) yoluyla, Hava Seyrüsefer Hizmetlerine Yönelik Prosedürler (PANS) ve kılavuz materyaller aracılığıyla uluslararası bir düzenleyici çerçeve sağlamak ve İHA'ların emniyetli bir şekilde entegrasyonuna destek sağlamak olmuştur [01].

ICAO, geçtiğimiz beş yıl boyunca İnsansız Hava Aracı Sistemi (UAS)'nin havacılık sistemine entegre edilmesi zorluğuna yardımcı olmak üzere küresel sivil havacılık otoritelerinden ve üye devletlerden talepler almıştır. Bu doğrultuda ICAO, UAS Trafik Yönetimi (UTM) konusunda güncel bilgi toplamak amacıyla birçok havacılık paydaşının yer aldığı küresel UAS sempozyumlarına (Drone Enable) ev sahipliği yapmıştır. 2017 yılında Montreal'de, 2018 yılında Çin Chengdu'da, 2019 Kanada'da, 2021 yılında online platformda, 2022 ve 2023 yılında Montréal'de sempozyumlar düzenlemiştir. Sempozyumlarda toplanan bilgiler, UTM sistemlerinin geliştirilmesini desteklemek, insansız sistemlerin uyumlu entegrasyonunu küresel olarak kolaylaştırmak ve paydaşlar ile ortak bir çerçeve sağlamak için kullanmaktadır [03].

İHA'ların temel varsayımı, hava sahalarına sorunsuz bir şekilde entegre edilebilmesi için, mümkün olduğu kadar, insanlı uçaklar için uygulanan mevcut operasyonel prosedürlere uymaları ve uçuş operasyonlarında diğer uçaklara, kişilere veya diğer unsurlara tehlike veya yük oluşturmaması gerektiğidir. İHA operasyonları için geçerli sayılabilecek temel varsayımlar şu şekilde açıklanmaktadır [04].

- Her bir İHA'nın o hava sahası için tanımlanan ilgili koşulları, düzenlemeleri, süreçleri ve ekipmanları karşılayabilmesi koşuluyla, hava sahasına erişim tüm kullanıcılara açık kalacaktır,
- İHA operasyon için alternatif hususlara, koşullara, düzenlemelere, süreçlere ve işletme prosedürlerine ihtiyaç duyabilir; amaç, yalnızca emniyetli uçuş operasyonunu sağlamak olmalıdır,
- İHA, hava sahası sınıfları ve havaalanları için belirlenmiş normal ve beklenmedik durum işletim prosedürlerini karşılayacak işlevsel yeterliliğe sahip olmalıdır,
- Uçuş faaliyeti, diğer hava sahası kullanıcılarını, hizmet sağlayıcıları, hava trafik yönetimini, havaalanlarını ve yerdeki üçüncü tarafları ve onların mülklerinin güvenliğini tehlikeye atmaması ve bunlara zarar vermemesi gerekmektedir,
- Hava kurallarına uygun olarak uçuş yapılmalıdır,

- İHA ve İHA pilotu geçerli sertifika/kayıt/onay gerekliliklerini karşılamalıdır,
- İHA pilotu, lisanslı ve emniyetli uçuş sorumluluğunu yerine getirebilecek yetkinlikte olmalıdır.

ICAO'ya göre İHA'lar, sivil havacılık sistemi için çeşitli risklere sebep olabileceğinden hava sahasının yeniden tasarlanması, yeni ekipman veya prosedürlerin uygulamaya konması gibi ihtiyaçlar ortaya çıkmıştır. Bu tehlikeler belirlenmeli ve bu çerçevede emniyet riskleri azaltılmalıdır [05].

ICAO doc. 10019, kontrollü hava sahasında aletli uçuş kurallarına uygun olarak İHA'ların ayrılmamış hava sahasına entegrasyonu konusunda rehberlik sağlamaktadır [06].

Uluslararası seyrüsefer yapan insanlı ve insansız hava aracı, tescil belgesi, uçuşa elverişlilik sertifikası, uçuş ekibi lisansları, kayıt defteri, radyo cihazı, yolcu ve yük manifestosunu taşıma hava aracında mümkün değilse elektronik versiyonlarını bulundurma zorunluluğu vardır. Ayrıca uluslararası seyrüsefer yapan İHA'lar insanlı uçaklarda olduğu gibi ICAO Annex 2'e uygun bir şekilde uçuş planı sunması gerekmektedir [01].

İHA'nın performans özellikleri geleneksel insanlı uçaklardan önemli ölçüde farklı olabilir. İHA pilotu, İHA'nın faaliyet gösterdiği devletin ve hava sahasının hava kurallarına uygun olarak uçmalıdır. Hava Trafik Hizmetleri- Air Traffic Service (ATS) birimleri tarafından sağlanan direktif ve talimatlara uyması gerekmektedir [05].

ICAO'a göre İHA'nın operasyonel ve ekipman gereklilikleri, insanlı havacılığa göre, faaliyet gösterecekleri hava sahası sınıfına göre ICAO Annex 11'de tanımlandığı şekliyle yönetilmelidir. İHA operasyonları iletişim, navigasyon ve gözetim gereksinimleri ve benzer hava sahası gereksinimlerine uygun olmalıdır [01].

İHA'ların performans özellikleri sebebiyle, hava trafik sistemine entegrasyonu sürecinde ek değerlendirme ve planlama gerektirmektedir. Çünkü insanlı trafiğe göre farklı performans ve davranış özelliklerine sahip olan İHA'lar, geleneksel hava trafiği ile beraber nasıl yönetilebileceği hava trafik hizmet sağlayıcıları tarafından önceden değerlendirmeli ve planlanmalıdır [01].

İHA pilotlarının Hava Trafik Kontrol- Air Traffic Control (ATC) iletişimine yönelik genel gereklilikleri, aynı hava sahasında faaliyet gösteren insanlı havacılık ile aynıdır. İHA'da yetkili makamlar tarafından belirlendiği şekilde, taşınacak minimum sayıda kısa veya uzun menzilli telsiz ekipmanı gerekliliklerini karşılamalıdır. İHA'lar

insanlı uçaklarla aynı şekilde faaliyet gösterdikleri hava sahası sınıfının gerekliliklerini karşılayacak şekilde mevcut transponder işletim kurallarına uymalıdır [01].

ICAO'a göre bir İHA pilotu ve insanlı bir uçağın pilotu, uçaklarının emniyetli bir şekilde uçuş gerçekleştirebilmesi konusunda aynı nihai sorumluluğa sahiptir. Bu nedenle tüm pilotlar hava hukuku, uçuş performansı, uçuş planlama ve yükleme, insan performansı, meteoroloji ve navigasyon ve temel havacılık konularında bilgi sahibi olmalıdır. Her iki pilotun da uçuş eğitimi alması, becerilerini sergilemesi, belli bir deneyim seviyesine ulaşması ve lisans alması gerekmektedir. Ayrıca telsiz için kullanılan dilde yetkin olmaları ve tıbbi uygunluk seviyelerini karşılamaları gerekir [05].

Hava trafik hizmet sağlayıcıları ile iletişim kurması gereken İHA pilotları ICAO Annex 1'deki dil yeterliliği gerekliliklerinde belirtilen seviyede konuşma ve anlama becerisini göstermeleri ve dil yeterliliğine dair belgeye sahip olmaları gerekir [01].

İHA pilotlarının görevlerini yeterli performans düzeyinde yerine getirebilmelidir. Bunu sağlamak için, bilimsel ilkelere dayalı olarak uçuş ve görev süresi, operasyon vardiya programları ve mürettebat dinlenme zamanlarına ilişkin politika ve prosedürler oluşturulması gerekir [01].

İHA sistemi, ICAO'nun devletler ve endüstrinin anlamaya, tanımlamaya ve nihayetinde entegre etmeye çalıştığı havacılık sisteminin yeni bir bileşenidir. Bu sistemler, havacılık ve uzay teknolojilerindeki en son gelişmelere dayanmakta olup, yeni ve gelişmiş sivil/ticari uygulamalara kapı açabilecek ilerlemelerin yanı sıra tüm sivil havacılığın emniyeti ve verimliliğinde iyileştirmeler sunmalıdır. İHA'ların ayrılmamış hava sahasına emniyetli entegrasyonu, birçok paydaşın çeşitli konularda uzmanlıklarını kattığı uzun vadeli bir faaliyettir [01].

Askeri bir İHA, state aircraft (devlet uçağı) kategorisinde olduğu için Chicago Konvansiyonu ve ICAO SARP'lerine tabi olmaması sebebiyle, devletler askeri İHA'ları hava sahalarına ve sivil uçaklar tarafından da kullanılan havaalanlarına entegre etmeye çalışırken bir ikilemle karşı karşıyadır. Bu nedenle, sivil uygulama için geliştirilen düzenleyici çerçeve, askeri uçuş faaliyetlerini kolaylaştırmada ek fayda sağlayabilmektedir.

EASA (European Union Aviation Safety Agency)- Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı, insansız araçlarının havacılık sistemine emniyetli ve öngörülebilir bir erişimi sağlayabilmek için çeşitli çalışmalar sürdürmektedir. EASA'nın ayrılmamış hava sahasına entegrasyona yönelik temel araştırma alanları şunlardır [08].

- Algıla ve kaçın sistemleri
- Hava sahası ve havaalanlarına erişim
- Komuta ve Kontrol (C2) iletişimleri
- İnsan faktörleri
- Acil durum faaliyetleri
- Uçuş emniyeti
- Özerklik

EASA, Açık, Özel ve Sertifikalı (Open, Specific and Certified) olarak İHA türleri için üç operasyon kategorisinin ve bunlarla ilgili düzenleyici rejimin oluşturulması önermektedir. İHA'ların Open, operasyon kategorisi, belirli koşul ve sınırlar dâhilinde uçuş için bir havacılık otoritesi tarafından yetkilendirme gerektirmeyen operasyonlar olarak tanımlanmıştır. Specific operasyon kategorisi, belirli operasyonel sınırlamalara sahip, risk değerlendirilmesi ve izin gerektiren kategoridir. Certified kategori, yüksek risk içeren operasyonlardır. Bu operasyonlar için algıla ve sakın ve benzer ilave ekipmanlara ihtiyaçların olduğunu belirtilmektedir. Bu operasyon kategorisine dâhil olan uçaklar, klasik havacılık anlayışıyla ele almaktadır. Bu kategoride olan İHA'lar için bazı özel sertifikaların verilmesi düşünülmektedir. İlerleyen yıllarda otorite tarafından İHA için tasarım, üretim ve bakım organizasyonu onayları, pilot ve bakım personeli lisanslandırılması, kontrol istasyonu ve komuta ve kontrol (C2) spesifikasyonları, çevre sertifikasyonu, uçuşa elverişlilik sertifikası ve gürültü sertifikasını da kapsayan bir tip sertifikası düzenlenmesi düşünülmektedir [08].

EASA, İHA faaliyetlerine ilişkin kural ve prosedürler hakkında 2019/947 uygulama yönetmeliği yayınlamıştır. Yönetmeliğe göre İnsansız hava araçları, kütlelerine bakılmaksızın, aynı Avrupa hava sahasında, insanlı hava araçlarıyla birlikte görev yapabilir fakat tüm hava araçları insanlı havacılığın mevcut kural ve prosedürleri uygulanması ve bunlara uygun özelliklere sahip olmalıdır. Sertifikalı kategorideki operasyonlar, AB 2019/945 uyarınca hava aracının sertifikasyonuna ek olarak, operatörün sertifikasyonu ve uzak pilotların lisanslanmasına ilişkin kurallara tabi olmalıdır [09].

EASA sertifikalı ve yüksek riskli kategorilerdeki İHA operasyonları için güvenli ve uyumlu bir şekilde geliştirilmesi ve konuşlandırılması için kapsamlı bir düzenleyici çerçeve geliştirmeye devam etmektedir. Bu kapsamda EASA, dünyanın ilk U-space/UTM düzenleme paketini (Avrupa komisyonu tarafından 22 Nisan 2021'de kabul

edilen komisyon uygulama düzenlemeleri (AB) 2021/664, 2021/665 ve 2021/666) hazırlamıştır [10]. 26 Ocak 2023, U-space düzenlemesinin yürürlüğe girdiği tarihtir. U-space düzenleme çerçevesinin uyumlaştırılmış uygulamasını destekleyen ilk AMC/GM seti, 20 Aralık 2022'de EASA tarafından yayınlanmıştır [11]. U-space, çok sayıda İHA için hava sahasına güvenli, verimli ve emniyetli erişimi desteklemek üzere tasarlanmış bir dizi yeni hizmet ve özel prosedürdür. Bu hizmetler yüksek düzeyde dijitalleştirilme ve otomasyonuna dayanır. U-space, rutin İHA operasyonlarını desteklemek için olanak sağlayan bir çerçevenin yanı sıra insanlı havacılık, ATM/ANS (4) hizmet sağlayıcıları ve yetkililerine açık bir arayüz sağlamaktadır.

İHA'ların seyrüsefer performansları geleneksel uçaklardan önemli ölçüde farklılık gösterebilmektedir. Ayrıca, komuta ve kontrol bağlantılarındaki gecikmenin yanı sıra yer kontrol istasyonu ve İHA arasındaki bağlantı kaybı olasılığı da beklenmedik durum ve acil durumlara sebep olabilmektedir. Bu sebeple RPAS'ların Avrupa hava sahasında entegrasyonuna yardımcı olmak amacıyla Instrument Flight Rules (IFR) RPAS'lar için algılama ve kaçınma yeteneklerini geliştirmeyi ve standartları uyumlu hale getirmeyi amaçlayan geliştirilmiş tespit ve kaçınma sistemleri üzerine çalışılmaktadır. Bu kapsamda tamamlanan projelerden biri olan ERICA projesi, uzaktan kumandalı uçak sistemlerinin (RPAS)'ın acil durumlarda kontrollü hava sahasında emniyetli bir şekilde uçuş yapmasına olanak tanıyan operasyonel ve teknik yetenekleri tanımlamayı amaçlamıştır. Proje, RPAS'ın kontrollü hava sahasına entegrasyonu kapsamında, sivil ve askeri RPAS'ın tek sistem altında insanlı trafiklerle ortak uçuşunu sağlayarak, Avrupa ayrılmamış hava sahalarında RPAS operasyonlarının geliştirilmesinin önünü açmıştır.

CORUS (European UTM Sistemleri için Operasyon Konsepti) projesi, Avrupa'daki hava sahası için düşük irtifa İHA'ları kapsayan referans bir operasyon konsepti geliştirmek üzere İHA paydaşları ve akademiden uzmanları bir araya getirmiştir [11]. Eurocontrol liderliğindeki SESAR 3 JU ECHO projesi tarafından sağlanan ConOps, kısa, orta ve uzun vadede daha yüksek hava sahası talebini desteklemek için gerekli olan gelecekteki operasyonel rolleri, sorumlulukları, prosedürleri ve altyapıyı tanımlamaktadır.

SORA projesi, belirli bir operasyon kategorisinde düşük irtifa İHA uçuşlarının oluşturduğu riskin sınıflandırılmasına ve hafifletici önlemlerin belirlenmesine yönelik bir çalışmadır. SORA, (AB) 2019/947 sayılı yönetmeliğin 11. maddesine göre kabul edilebilir uyumluluk aracı olarak yayınlanmıştır.

BUBBLES projesi, alçak seviye hava sahasında (VLL) uçuş yapan İHA'lar için ayırma minimumlarını tanımlamayı, genel performansı ve emniyeti iyileştirmeyi amaçlamaktadır [13].

EASA, IFR/VFR trafik olarak A-G hava sahası sınıflarında uçan tüm İHA'ların, insanlı uçaklarla aynı şekilde ilgili hava sahası kurallarına uyması gerektiğini varsaymaktadır. Ticari nakliye uçaklarının faaliyet gösterdiği hava sahasındaki operasyonlarında hız, reaksiyon süresi, dönüş performansı ve tırmanma/alçalma performansını kapsayan ilave operasyonel performans gereksinimleri gerektirebilir. İHA'ların VFR/IFR trafiğinin faaliyet gösterdiği hava sahasına entegrasyonuna ilişkin genel prensip, İHA'lar ile insanlı hava araçları arasındaki çarpışmaları önleyecek yeteneklerin mevcut olması gerektiğidir. Bu yeteneklerin bulunmadığı veya azaldığı durumlarda hava sahasının çarpışma riskinin olmayacağını garanti edecek şekilde düzenlenmesi ve tahsis edilmesi gerekmektedir [14].

Önümüzdeki yıllarda, Avrupa Komisyonu'nun Drone Stratejisi 2.0 sürecine katkıda bulunan EASA, ortak operasyon merkezli stratejisini uygulanmasıyla üye devletleri daha da geliştirip destekleyerek Avrupa'da bir İHA ekosisteminin gelişimini sağlamaya çalışmaktadır. Çevre korunması, güvenlik ve siber güvenliğe ilişkin toplumsal beklentileri de ele alan düzenleyici çerçevede teşvik edilmeye devam edilmektedir. Ayrıca uçak endüstrisi için, EASA halihazırda endüstriyel ihtiyaçlar ve planlanan operasyonel yeteneklerle orantılı bir düzenleme getirmeyi planlamaktadır [10].

JARUS (Joint Authorities For Rulemaking On Unmanned Systems), İHA sistemlerinin dünya genelindeki düzenlemelerini ve standartlarını ve koordinasyonunu sağlamak amacıyla oluşturulmuş uluslararası havacılık düzenleme uzmanları grubudur. İHA sertifikasyonu, link bağlantısı, personelinin lisanslaması ve yeterliliği, uçuşa elverişlilik, risk değerlendirme, İHA pilotu yeterliliğine ilişkin ulusal mevzuat değerlendirmesi, İHA operasyonları, İHA operasyonlarında otomasyon gibi konular üzerinde çalışmaktadır. JARUS, ülke temsilcileri ile iş birliği yaparak İHA'ların hava sahalarına entegrasyonunu ve dünya genelinde uyumlu olarak düzenlenmesi ve geliştirilmesini teşvik etmektedir.

European Regulation (EU) 2018/1139, İHA'ların tasarımı, üretimi, bakımı, işletimi, personel gereklilikleri ve bu faaliyetlerde yer alan kuruluşlar için temel gereklilikleri ortaya koymaktadır [15].

Eurocontrol, İHA sistemlerinin hava trafik yönetimine emniyetli ve verimli entegrasyonunu 21. yüzyılın ilk yarısı dönemi için havacılıktaki en önemli zorluklardan biri olarak görmektedir [4]. Eurocontrol, insanlı uçaklara göre çok daha hızlı teknolojik gelişmelerin yaşandığı İHA sistemlerini, günlük yaşamın bir parçası haline gelirken büyük ekonomik potansiyele sahip bir endüstri haline geldiğini ifade etmektedir. İnsanlı havacılık ile bir arada olmak zorunda olan bu sistemler için operasyonel anlamda UAS ATM operasyonel konseptine olan ihtiyacı belirtmiştir. Eurocontrol, IFR özellikli UAS'yi kontrollü hava sahasına entegre etmek için iki aşamalı bir yaklaşım tanımlanmıştır. İlk aşamada 2025 yılına kadar çoğunlukla Flexible Use of Airspace (FUA/AFUA) teknikleriyle bir entegrasyon sağlanırken 2025 yılı itibariyle gerekli Standards and Recommended Practices (SARPs) ile tam entegrasyon sağlamayı planlamaktadır. VFR için ise 2030 yılından önce tam entegrasyonun gerçekleşmesinin mümkün olmadığını ifade etmektedir [16].

Eurocontrol'un İHA entegrasyonu konusunda dâhil olduğu ve destek sağladığı projeler aşağıda yer almaktadır;

- CORUS (Concept of Operation for European UTM Systems), Eurocontrol tarafından koordine edilen, U-space hizmetlerinin ve çözüm önerilerinin entegre İHA uçuş operasyonlarını nasıl destekleyebileceğini gösteren büyük ölçekli bir gösteri projesidir.
- BUBBLES (Building Basic Blocks for a U-space Separation Management Service), U-Space sisteminin trafik ayrımı temel bileşenlerini geliştirmeyi ve bu sistemle ilgili teknolojileri araştırmayı amaçlayan projedir.
- DACUS (Demand and Capacity Optimisation in U-space), İHA'ların günlük bazda emniyetli operasyonları ve gelecekteki İHA operasyonlarının talep ve kapasitesini dengeleyebilmek amacıyla alçak irtifada hava sahası için talep kapasite araştırması yapan projedir.
- ICARUS (Integrated Common Altitude Reference system for U-space) İHA'lar için geçerli navigasyon gereksinimlerinin belirlenmesi ve yeni bir U-space hizmetinin tanımlanması yoluyla, düşük irtifadaki İHA'lar için GNSS tabanlı çözümler önermektedir.
- INVIRCAT (IFR RPAS Control in Airports and TMA), IFR İHA uçuşları için Terminal Manevra Alanı- Terminal Manoeuvring Area (TMA) içindeki mevcut

ATC prosedürlerine ve altyapılarına emniyetli ve verimli bir şekilde entegrasyonu için araştırma yapan projedir.

- URCLerED (Unified Integrated Remain Well Clear Concept in Airspace D-G Class), URClearED, D-G arası hava sahası sınıflarında IFR uçan sertifikalı İHA'lara yönelik bir tespit ve kaçınma sistemi Remain-Well-Clear (RWC)'i araştırması yapan projedir.
- AURA (ATM U-Space Interface), ATM ile U-space arasında ihtiyaç duyulan arayüzü destekleyecek prosedürler ve sistemler geliştirerek, U-space ve hava trafik yönetimi arasında kesintisiz bir iş birliği sağlamayı amaçlayan bir projedir.
- LABYRINTH (Unmanned Traffic Management 4d Path Planning Technologies for Drones) İHA'ların birbirleri ile iletişim kurarak çarpışmalarını önlemek için rotalarını düzenleyen merkezi planlama sistemlerini incelen projedir.
- U-ELCOMÉ projesi, İspanya, İtalya ve Fransa'daki 15 lokasyonda 8 adet TRL'ye kadar SESAR U1 ve U2 U-space çözümlerini geliştirmeyi, test etmeyi ve göstermeyi amaçlamaktadır [17].

Eurocontrol, İHA ile ilgili teknik ve operasyonel konularda üye devletleri çeşitli yönleriyle desteklemektedir. Örneğin; Estonya, İsrail, İtalya ve Letonya'ya hava sahası değerlendirmeleri, Moldova, Karadağ, Sırbistan ve Türkiye'de U-space uygulamalarına yönelik teknik rehberlik yapmaktadır. Ayrıca, Eurocontrol, gelecekteki bir İHA ve U-space sisteminin küresel ölçekte birlikte çalışabilirliğini teşvik etmek amacıyla Avustralya, Çin, Japonya ve Amerika Birleşik Devletleri gibi diğer coğrafi bölgelerle de bilgi alışverişinde bulunmaktadır [15].

2023 yılında başlayan Eurocontrol liderliğindeki 10 ortak ve iki bağlı kuruluştan oluşan Endüstriyel araştırma SESAR 3 JU Projesi IRINA, sivil ve askeri İHA'ların tüm hava sahası sınıflarında faaliyet göstermesini sağlamak için gereken altyapıyı, hizmetleri ve algı ve kaçınma işlevlerini tanımlama üzerine çalışmaktadır. Proje sivil ve askeri İHA topluluklarını, hava seyrüsefer hizmet sağlayıcılarını, hava trafik kontrolörlerini, hava sahası kullanıcılarını, uçuş ekibini, endüstriyi, Avrupa kurumlarını, ICAO'yu, standardizasyon ve düzenleme organlarını, bilimsel toplulukları dâhil etmeyi amaçlamaktadır. SESAR 3 ortak girişimi bu projenin gerçekleşmesine öncülük sağlamaktadır [18].

FAA (Federal Aviation Administration)- Federal Havacılık İdaresi, İHA sistemi operasyonlarının National Airspace System (NAS)'a entegrasyonu süreci, kontrollü ve

kontROLSÜZ hava sahalarında çeşitli sorunlar ve yeni zorlukları ortaya çıkaracağını ifade etmiştir. Bu anlamda FAA, İHA entegrasyonunun mevcut NAS sistemi ve prosedürlerine olan potansiyel etkilerine odaklanmaktadır. FAA süreci yönetmek için NASA ile RTT (Research Transition Team)- Araştırma Geçiş Ekibi oluşturmuştur. RTT ile FAA, konsept geliştirme ve diğer etkinliklerinin yanı sıra NASA'nın araştırma ve endüstri desteğinden yararlanarak, ortak operasyon planlama ve yürütmenin geliştirilmesi ve NAS paydaşlarına verimli bir hizmet sunmayı planlamaktadır. FAA, ulusal hava sahası sisteminde İHA entegrasyonu mümkün kılmak için Concept of Operations (ConOps)-uygulama programı geliştirmek için NASA ve havacılık endüstrisi ile birlikte çalışmaktadır [19].

ABD, 2012 yılında çıkardığı “FAA Modernizasyon ve Reform Yasası – FAA Modernization and Reform Act” FAA'yi İHA'ların NAS'e entegrasyonu için kapsamlı bir plan ve düzenleyici çerçeve geliştirmeye yönlendirmiştir. 2018 yılında İHA ile ilgili 50 hükmün ana hatlarıyla belirtildiği ulusal hava sahasında faaliyet gösteren tüm İHA'lar için tam FAA yetkisinin oluşturulması için “FAA Reauthorization Act” yasasını çıkarmıştır. FAA, İHA'ların ulusal hava sahasına emniyetli entegrasyonunu hızlandırmak için Entegrasyon Pilot Programı- Integration Pilot Program (IPP)'ı başlatmıştır. Program İHA operasyonlarına yönelik gerçek durumların test edilmesi ve değerlendirilmesini amaçlamaktadır. FAA program ile özel sektör ve ulusal hava sahası ortakları beraber entegrasyon ile ilgili zorlukları ortaya koyarak düzenleyici çerçeveler ve operasyonel prosedürler geliştirmektedir. 2023 yılında FAA, 2018 “Reauthorization Act” gereksinimlerine yanıt olarak UTM uygulama planını yayınladı. Bu plan, kısa ve uzun vadeli planları ve bu planlardaki boşlukları ele almaktadır.

FAA'nın, ICAO, Sivil Hava Seyrüsefer Hizmetleri Örgütü (CANSO), Küresel UTM Birliği (GUTMA), EASA ve birçok uluslararası kuruluşla bilgi paylaşımı konusunda devam eden görüşmeleri bulunmaktadır. FAA, gelişen ihtiyaçları karşılamak için yıllık Drone Enable sempozyumlarında olduğu gibi, grup üyeleri tarafından sunulan bilgilerle ICAO UTM çerçevesini geliştirmek ve iyileştirmek için bu forumlarda yer almaktadır. FAA, ağ bilgilerinin paylaşılması, UTM'nin gelişimini ve güvenli entegrasyon faaliyetlerini desteklemek için UAS topluluğuyla birlikte çalışmaktadır [15].

NASA (National Aeronautics and Space Administration)- Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi, gelecekteki UTM operasyonlarını desteklemek için UTM teknolojilerini araştırmak ve geliştirmek için NAS ihtiyaçlarını karşılayan bir UTM araştırma platformu

(UTM Research Platform) geliştirdi. UTM araştırma platformu, İHA'lar için operasyonel teknolojiler kullanıma sunulmadan önce UTM operasyonlarının ve teknolojilerinin geliştirilmesini ve test edilmesini destekleyen işlevlerin ve teknolojilerin araştırıldığı bir araştırma prototip uygulamasıdır. NASA, simölasyonlar ve saha denemeleri kombinasyonlarını kullanarak paydaşlar ile UTM konsept öğelerinin doğrulanması ve araştırılmasına destek vermektedir. Operasyonların etkinliğini, araştırma teknolojilerinin ve bileşenlerinin performansını ve UTM operasyonlarıyla ilgili insan faktörleri yönlerini değerlendirmek için simölasyonlar ile önemli veri toplamakta ve analiz edilmektedir [19].

NATO (North Atlantic Treaty Organization)- Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü, "Considerations for Harmonisation of UAS Regulations for Common NATO Operating Approvals" raporunda birçok ölkede sadece bazı otoritelerin İHA'ların kullanımına ilişkin uçuşa elverişlilik sertifikaları düzenlemiş olduğunu belirtmiştir. Ayrıca İHA'ların yabancı ölkelerde faaliyet göstermesinin özel izne tabi olması gerektiğini, halihazırda üreticiler ve hizmetler için standart bir resmi onay sürecinin olmadığını vurgulamıştır. Raporda İHA uçuş ve yer ekibinin lisanslandırılması ve uçuşa elverişliliğinin değerlendirmesi konusuna dikkat çekmektedir [20].

SHGM (Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü), Türk hava sahasında işletilecek veya kullanılacak sivil İHA'lar ile ilgili talimatı 22 şubat 2016 tarihinde yayımlanmış ve 12 Temmuz 2020 tarihinde güncellenmiştir. İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı (SHT-İHA), 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 içermektedir [21]. SHGM, uluslararası havacılık otoritelerindeki özellikle ICAO, EASA ve Eurocontrol'un İHA entegrasyonu konusundaki gelişmelerini yakından takip etmektedir. SHGM, İHA entegrasyonu için ulusal düzeyde İHA paydaşlarının yer aldığı ortak bir çalışma grubu oluşturmuştur. Bu kapsamda paydaşların yer aldığı İHA entegrasyon toplantıları düzenlemektedir. Bu toplantılarda İHA entegrasyon problemleri üzerine mevcut durumlar ele alınmakta ve kapsamlı bir İHA mevzuatının oluşturulması için çalışmalar yapmaktadır.

Son yıllarda, dünyanın stratejik açıdan en önemli üç yeni nesil ATM araştırma programları olan ABD'nin NextGen, Avrupa Birliği'nin SESAR Ortak Girişimi-European Union's SESAR Joint Undertaking (SJU) ve Japonya'nın Hava Taşımacılığı Sistemlerinin Yenilenmesi için İş birliği Eylemi- Japan's Collaborative Action for

Renovation of Air Transport Systems (CARATS) projeleridir. Bu projeler, UTM ve ATM entegrasyonu için en gelişmiş konseptler ve ayrıntılı yol haritaları sunmaktadır [22].

Özet olarak, ICAO, İHA operasyonları çerçevesinde SARPs'ın geliştirilmesi üzerinde çalışmaktadır. JARUS, sertifika gereklilikleri üzerinde de çalışmaktadır. Avrupa Komisyonu (EC), EASA, Avrupa Savunma Ajansı (EDA) ve SESAR Ortak Girişimi (SJU) arasındaki iş birliği ile tüm hava sahası sınıflarına emniyetli entegrasyon için yol haritası üzerine çalışmaktadır. Eurocontrol, EASA, ICAO, JARUS gibi farklı kuruluşlar tarafından geliştirilmekte olan veya hâlihazırda geliştirilmiş olan çeşitli İHA Operasyon Konseptleri bulunmaktadır. Büyük ölçüde bu konseptler IFR ve VFR uçuşların ilgili hava sahalarına tam entegrasyonu için hedeflenen tarihin 2030 yılı olduğunu vurgulanmaktadır [23].

Çalışmanın devamında araştırma konumuzla alakalı literatürde öne çıkan akademik çalışmalara yer verilmiş olup bu çalışmaların araştırmamızla benzerlikleri ve farklılıkları ifade edilmiştir.

Guan ve ark. [24] çalışmalarında, İHA'ların emniyetli ayırma standartlarına, çarpışma algılama sistemine, çarpışma riski tahminine ve çarpışmadan kaçınma konularına odaklanmıştır. Çalışmada İHA'ların kullandığı elektro optik, kızılötesi, radar, trafik uyarısı, çarpışma önleme sistemleri, ADS-B, farklı sensör modu donanımları çarpışmadan kaçınmak için kullanılan sistemler olarak öne çıkarken, çarpışma riskini azaltmak için ağ tasarımı, kapasite yönetimi, çarpışmadan kaçınma ekipmanları ve birçok kilit faktörün olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca haberleşme, seyrüsefer ve gözetleme sistemlerinin performansı da çarpışma riski ile yakından ilişki olduğu ifade edilmiştir. Sonuç olarak, emniyetli ve verimli uçuş faaliyetleri için donanımların, kuralların ve süreçlerin standartlaştırılması gerektiğini ifade etmektedir. Çalışma, İHA operasyonlarında standardizasyon gerekliliğine dikkat çekmesi yönüyle çalışmamız ile benzerlik göstermektedir.

Ho ve ark. [25] çalışmalarında, İHA'ların fiili kalkıştan önce, uçuş sürecini simüle ederek uçuş öncesi emniyetli yolların oluşturulması üzerine bir araştırma yapılmıştır. Japonya'da bir bölgede gerçekleştirilecek teslimatlar için İHA kullanımına yönelik planlanan uçuş operasyonunu simüle edebilen bir model geliştirilmiştir. Bu model 13 saat boyunca yaklaşık 21.000'e kadar uçuş talebini değerlendirebilmektedir. Model İHA operasyonları için Detection and Resolution (CDR) ve Multi-Agent Path Finding (MAPF) ile hava sahasında emniyetli yollar oluşturmaktadır. Çalışma, çok sayıda İHA'nın

gerçekleştireceği uçuş operasyonunda oluşabilecek emniyetsiz durumlara yönelik farklı bir çözüm üretmesi yönüyle dikkat çekmektedir.

Jenab ve Pineau [26] çalışmalarında, İHA kullanımının artması, genel hava trafiği için önemli bir risk teşkil ettiğini ve ATM sisteminde köklü bir değişiklik yapılmadığı takdirde, İHA'lar iş yükü ağır olan ATC ağına ilave ciddi bir yük daha olacağını ifade etmektedir. İHA kullanımında önümüzdeki yıllarda beklenen artış, bu sorunu daha da ağırlaştıracığı ve ciddi maddi hasar veya can kaybını içeren felaketlerin olabileceği ifade etmiştir. Çalışma artan hava trafiğinin emniyetli ve verimli şekilde devamlılığını sağlamak için ATC sistemini otonom hale getirmek amacıyla bulanık mantık ve yapay zekânın ATC sisteminde kullanılabilirliğini araştırmaktadır. Çalışma otonom İHA'dan ATC yer istasyonuna sinyal girişine ve çıkışına dayalı olarak uçaklar arası ayırım gerçekleştirmek için bir algoritma içermektedir. Bu algoritma ile uçuş operasyonunda çok sayıda uçağın ayırımı için en verimli değerleri bulmaya çalışmaktadır.

Ho ve ark. [27] İHA'lar için geliştirilmiş çarpışma tespiti ve çözümünü ele alan çalışmalarında, gelecekte düşük irtifa İHA'ların birden çok bağımsız uçuş operasyon hizmet sağlayıcısı tarafından yönetileceği, bu nedenle çarpışma engelleyici Detection and Resolution (CDR) yöntemlerin hava trafik kontrolünde önemli bir unsur olacağını vurgulamıştır. Çalışmada şimdiye kadar çoğunlukla teorik çalışmalarda kullanılan Optimal Reciprocal Collision Avoidance (ORCA) çarpışma kaçınma algoritmasını İHA operasyonlarına uyarlanmıştır. ORCA, parametreleri ileriye dönük zaman aralığı ve çarpışma mesafesini ayarlayarak, mevcut uçuş rotasından sapmaları en aza indirmektedir. Çalışmadaki ileri sürülen yaklaşım simülasyonla doğrulanmaktadır. Uçuş verimliliği ve emniyetine odaklanan bu çalışma, bağımsız merkezlerden yönetilen İHA'ların oluşturduğu emniyetsiz durumlara çözüm üretmektedir. Çalışmada ele alınan İHA'ların bağımsız merkezlerden yönetimi kaynaklı oluşan problemler konusu çalışmamızda da ele alınarak farklı bir yaklaşım ile çözüm önerisinde bulunulmuştur.

D'Amato ve ark. [28] çalışmalarında, sivil hava trafiğine İHA entegrasyonu süreci, uçuş emniyetsizliği problemi ve operasyonel zorlukların çözümünün ihtiyaç duyulan teknik yeteneklerin geliştirilmesi ile sağlanabileceğini savunmaktadır. Çalışmada, çarpışmadan kaçınmak için çarpışma önleme algoritması önerilmiştir. Önerilen algoritma, çarpışma tahmini, hız optimizasyonu ve navigasyon algoritmalarının kombinasyonundan oluşmaktadır. Algoritma çok sayıda İHA'nın bulunduğu bir ortamda

simülasyon ile test edilerek doğrulanmıştır. Çalışma İHA'lar için ihtiyaç duyulan teknik gereksinimlere dikkat çekmesi yönüyle çalışmamızı desteklemektedir.

Sándor, [29] çalışmasında, İHA'ların hava trafik yönetiminin zorlukları konusunu ele almıştır. Havacılık endüstrisinde yaşanan gelişmeler ile artan İHA'ların sayısı, yönetsel olarak hava trafik kontrolörlerine yeni zorluklar getirdiğini belirtmiştir. Ayrıca çalışmada insanlı ve insansız hava araçlarının bir arada bulunduğu bir ortamda hava trafik yönetimin kritik bir öneme sahip olduğunu ifade edilmektedir. Çalışma, İHA'lar kaynaklı uçuş emniyet problemlerini farklı başlıklar altında ele alınarak, insansız araçlarla gerçekleştirilecek emniyetli uçuş operasyonları için gerekli olan UTM sisteminin yapısı ve fonksiyonlarını tanımlanmıştır. İHA'ların mevcut hava trafik sistemine entegrasyonunda yaşanan zorluklar ve oluşabilecek emniyetsiz durumlara dikkat çeken bu çalışma, araştırma konumuz ile benzer niteliklere sahip olup, çalışmamızın kapsamı ve araştırma yöntemi açısından çalışmamız ile farklılık göstermektedir.

Domercant ve ark. [30] çalışmalarında, ulusal hava sahasına İHA sistemlerinin entegrasyonu süreci için bir değerlendirme yapmıştır. Araştırmacı hava trafik sisteminin uçak ve hava trafik kontrolü arasındaki etkileşimlerle tanımlanan karmaşık bir sistem olduğunu ifade etmektedir. İHA'ların sivil kullanımının artışı ile gelişen yeni sistemleri ve teknolojileri, ulusal hava sahası sistemine entegre sürecinde büyük zorluklarla karşı karşıya kalınacağını belirtmektedir. Çalışmanın amacı ise UAS ile NAS performansını etkileyen teknolojik gereksinimlerin uçuş emniyeti üzerindeki etkisini değerlendirerek karar vericilere yardımcı olmaktır. Çalışmada Agent Based Modeling and Simulation yaklaşımı kullanılarak, UAS'nin NAS'a gelecekteki entegrasyonuna yardımcı olacak bir değerlendirme yapılmıştır. Bu yaklaşım karar vericilerin, emniyetli operasyonlar için gerekli ayırma standartlarındaki değişikliklerin etkisini, sistem kapasitesini, yerdeki sivil unsurlar yönelik riskini ve NAS operasyonel verimliliğini iyileştirmede hangi düzenlemelerin ve teknolojik kombinasyonların en fazla etkiye sahip olduğunu tespit etmesine yardımcı olmaktadır. Çalışma, İHA'ların ulusal hava sahası sistemine entegrasyonunda yaşanabilecek zorlukları ele alması yönüyle, araştırma konumuz ile benzerlik gösterirken araştırma yöntemi ve kapsamı olarak çalışmadan ayrılmaktadır. Araştırmaz farklı olarak İHA entegrasyon zorluklarının ve problemlerinin tespiti için İHA operasyon sürecine dahil olan tüm paydaş görüşlerinden hareketle araştırma sürecine yön vermekte ve bu doğrultuda çözüm üretmektedir.

Ancel ve ark. [31] çalışmalarında İHA sistemi trafik yönetimi- Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM) için gerçek zamanlı bir risk değerlendirmesi yapmıştır. Çalışma, Bayesian Belief Networks (BBNs) modelini kullanarak İHA'ların yerdeki insanlara karşı oluşturduğu potansiyel tehlikelerin etki alanını ve risklerini değerlendirmektedir. Nüfus yoğunluğu ve çevre parametreleri üzerinden oluşturulan risk matrisi yardımıyla beklenen etki alanının görsel temsili pilot ve kontrolöre rota planlama konusunda yardımcı olmaktadır. Konseptin uygulanabilirliğini göstermek için basitleştirilmiş bir vaka çalışması yapılmış ve model doğrulanmıştır. Çalışma, İHA'ların mevcut hava trafik sistemine entegrasyonundaki uçuş emniyeti ve güvenlik gereksinimleri için insanlı uçaklara kıyasla daha farklı uygulamalara ihtiyaç duyulduğuna dikkat çekmektedir.

Vu ve ark. [32] çalışmalarında, İHA pilotları ve hava trafik kontrolörleri arasındaki iletişimin kesintiye uğraması operasyonel gecikmeleri nasıl etkilediği konusunu ele almıştır. Çalışmada, sekiz hava trafik kontrolü görev almıştır. İnsanlı hava aracı ve İHA uçuşu simüle edilerek (1,5 sn ve 5 sn arasında) hava trafik kontrolörü ve İHA pilotu sesli iletişim kesintisine maruz bırakılarak farklı gecikme koşulları için kabul edilebilirlik seviyesi ölçülmüştür. Bu çalışmanın amacı, İHA pilotu ve ATC arasında yaşanan gecikmelerin, geleneksel uçaklarla etkileşimlerini nasıl etkilediğini belirlemektir. Çalışma, İHA sistemlerinin, ulusal hava sahası sistemine entegre edilmesi için İHA sistemlerinin insanlı uçaklar için belirlenen emniyet gereksinimlerini karşılamasını ve İHA pilotlarının hava trafik kontrolörleri ile kabul edilebilir bir şekilde etkileşime girmesinin önemini vurgulamıştır. Çalışma sonucuna göre gecikmelerin kabul edilebilir seviye için kesin bir üst sınırı belirlenememiştir. Bu çalışma, araştırmamızda ele aldığımız en önemli İHA entegrasyon problemlerden biri olarak düşünülen ATC ile İHA arası kesintisiz iletişimin önemini vurgulamaktadır.

Pasaoğlu [33] çalışmasında, yeni bir hava trafik yönetimi konsepti için otonom Hava Trafik Kontrolör (HTK) modellemesi ile bir uçuş yönetim sistemi geliştirmiştir. Hava trafik kontrolörü düşünce mekanizması üç boyutlu ve gerçekçi olarak çarpışmadan kaçınma manevraları ile ayırma garantisi oluşturmaktadır. Bu çalışmada, artan kontrolör iş yükü ile hava trafik kontrol hizmetlerinde yeni sistemlere ve uygulamalara ihtiyaç duyulduğu vurgulanmış ve kontrolör iş yükü kaynaklı problemlerin çözümü için bir otonom model geliştirilmiştir.

Baum ve ark. [34] çalışmalarında, İHA'ların ulusal hava sahası sistemine entegrasyonunu göz önünde bulundurarak simülasyonlar aracılığıyla yaşanabilecek olası senaryolar ile hava trafik kontrolörü iş yükünü değerlendirmektedir. Çalışmanın amacı kontrolör iş yüklerini kabul edilebilir bir seviyede tutmak esastır. Bu kapsamda beş adet vaka incelemesi yapılarak vakalara göre kontrolör iş yükünün derecelendirilmesi yapılmıştır. Çalışmada tüm deneylerden elde edilen iş yükü ve standart sapma değerleri karşılaştırılmış olup, deneylerden kabul edilemez iş yükü seviyeleriyle sonuçlanan değerler gözlemlenmiştir. Çalışma temel İHA sistemlerinin ulusal hava sahası sistemine entegrasyonunun kademeli olarak yapılması gerektiğini vurgulamaktadır. Çalışma İHA entegrasyon sürecinde mevcut hava trafik sisteminin artan talebi her geçen gün karşılamakta zorlandığı, uçuş emniyeti ve verimliliğinin kabul edilebilir seviyelerde tutulabilmesi için artan talebi karşılayabilecek donanımsal ve yazılımsal ihtiyaçların olduğuna dikkat çekmiştir. Çalışmada vurgulanan uçuş emniyeti ve verimliliğini olumsuz etkileyebilecek ihtiyaçların tespiti ve çözümü araştırmamızın ana konu başlıklarından birini oluşturmaktadır.

Musavi ve ark. [35] çalışmalarında, pilot etkileşimli karar verme süreci ele alınmıştır. Bu süreç, dinamik seviye-k akıl yürütme konsepti ve yaklaşık pekiştirmeli öğrenme kullanılarak modellenmiştir. Bu çalışmada pilotların zamana bağlı kararlarını 3B manevralarla modellemek için yaklaşık bir pekiştirmeli öğrenme yöntemi olan Neural Fitted Q Iteration kullanılmıştır. Çalışmada UAS entegrasyonu, insanlı hava aracı algılama ve kaçınma algoritmaları ile donatılmış tam otonom UAS ile sağlanabileceği örnek bir 3D senaryo ile gösterilmektedir. Çalışma, İHA'ların ulusal hava sahası sistemine entegrasyonun olası etkileri görebilmek için İHA'ların erişimine izin vermeden önce uçuş faaliyetlerinin simülasyon çalışmaları ile ele alınması gereken ifade etmektedir. Bu araştırma, çalışmamızda ele aldığımız İHA entegrasyon problemlerinden biri olan çarpışmadan kaçınma konusunu farklı bir yaklaşımla ele almış, problemin çözümü için uçuş faaliyetinden önce uçuş operasyonu sürecini simüle ederek oluşabilecek emniyetsiz durumları önceden tespit edebilmeyi amaçlamıştır. Çalışma İHA'ların hava trafik sisteminde entegrasyonda insanlı uçaklar ile emniyetsiz durumların yaşanmaması için ilave düzenleme ve uygulamalara ihtiyaç duyulduğu düşüncesini desteklemesi yönüyle çalışmamız ile ortak paydada buluşmaktadır.

Vempati ve ark. [36] çalışmalarında, insanlı hava aracı pilotlarının UAS entegre operasyonları ile farklı hava sahası sınıflarında operasyon yapma konusundaki

tutumlarını ele almaktadır. Pilotların UAS entegre hava sahasında uçmaya ilişkin tutumlarına ait veriler, varsayımsal senaryolar ve açık uçlu çoktan seçmeli sorular aracılığıyla kullanılarak toplanmıştır. Karışık varyans analizinden elde edilen sonuçlar, B Sınıfı hava sahası, operasyonları için en yüksek puan ve G Sınıfı operasyonlar için en düşük puan ile isteklilik üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma, elde edilen sonuçlar İHA faaliyetlerinin gerekli eğitimler ile geliştirilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Çalışma, İHA entegrasyonu problemlerinden önemli biri olarak görülen İHA eğitim standardizasyonu gerekliliği ve konusunu vurgulamaktadır.

Daniel ve ark. [37] çalışmalarında, İHA sistemleri ve diğer hava araçları arasında çarpışma olasılığını doğru tespit edebilmek için öznel ve niteliksel bir risk değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmada UAS'nin NAS'a entegrasyonundan kaynaklanan çarpışma riskinin daha objektif, kapsamlı ve risk dağılımları arasındaki farklılıkları istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme ile İHA entegrasyonu ile ilişkili hava sahası riskinin belirlenmesi süreci hızlanmakta ve tanımlanan risklerin kabul edilebilir bir düzeye indirilmesine yardımcı olmaktadır. Çarpışma ve emniyetsiz durumlarının meydana gelmemesini önlemek veya kabul edilebilir seviyede tutmak için yapılan bu çalışma, İHA entegrasyonunda ihtiyaç duyulan uçuş öncesi uçuş faaliyetinin değerlendirilmesi ve gerekli koordinasyonun sağlanması konularına dikkat çekmektedir.

Truong ve ark. [38] çalışmalarında, İHA sistemlerinin, ulusal hava sahası sisteminde diğer hava araçları ile çarpışma riskinin azaltılması ve ihlallerin önlenmesi için bir model geliştirmiştir. Çalışmada 2088 örneklem büyüklüğüne sahip FAA'nın UAS gözlem verilerinden faydalanılarak, olası emniyetsiz olayların riskini tahmin etmek için yedi adet makine öğrenimi algoritması kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, Gradient Boosting makine öğrenimi tekniği en iyi tahmine dayalı sonucu verebilmektedir. Bu model ile İHA emniyetsiz olaylarının yüzde 95,7 doğrulukla tahmin edebildiğini göstermiştir. Çarpışma ve emniyetsiz durumlarının meydana gelme olasılığı tahmin edebilmek üzerine yapılan bu çalışmada, İHA'ların entegrasyonunda uçuş emniyeti ve verimliliğine yönelik donanımsal ve yazılımsal ihtiyaçların olduğu vurgulanmaktadır. Araştırmamız, İHA'ların hava trafiğine entegrasyonunda İHA'ların donanımsal ve yazılımsal ihtiyaçlarının tespit edilmesi konusunu kapsamaktadır.

Zhang ve ark. [39] çalışmalarında, İHA sistemlerinin trafik yoğunluğu ve tıkanıklığını yönetmek için bir tahmin modeli geliştirmiştir. Çalışmada anlık trafiği tahmin edebilen bir Derin Sinir Ağları- Deep Neural Networks (DNN) modeli

önerilmiştir. Her katman için en iyi sıkıştırma oranını arayan bir sinir mimarisi optimizasyon çerçevesi geliştirilen model ile trafik tahminin ve yoğunluğun yönetiminin daha sistematik yapılması amaçlanmaktadır. Çalışma, İHA entegrasyonunda, hava trafik yönetimi için sistematik bir çözüm üretmektedir. Çalışma, artan İHA ve diğer hava araçlarının sayısı ile hava trafik yönetiminin emniyetli ve verimli sürdürülebilmesi için yeni sistemlerden ve uygulamalardan faydalanılması gerekliliğine dikkat çekmektedir.

Neff, P.S. [40] çalışmasında İHA3 kategori İHA operasyonlarını Ekip Kaynak Yönetimi konusunda ele almıştır. Çalışmada, çeşitli İHA kazalarındaki risk faktörleri incelemiştir. Çalışma, araştırmamızda ön plana çıkan problemlerden olan iletişim, koordinasyon ve iş yükü yönetiminin İHA kazalarındaki kritik faktörler olduğunu desteklemektedir.

Decker ve Chiambaretto [41] çalışmalarında mevcut UTM ve ATM altyapılarını değerlendirecek büyük ölçekli İHA operasyonları için ekonomik düzenleyici çerçevelerin ne ölçüde uyumlu hale getirilmesi gerektiği araştırmıştır. ICAO, EASA ve FAA'ın İHA operasyonlarının yönetimi için uyguladıkları konseptleri karşılaştırmıştır. Sonuç olarak İnsansız hava araçlarına yönelik teknolojik gelişmeler, insanlı havacılığa kıyasla çok daha hızlı ilerlemesine rağmen, İHA'ları yönetecek evrensel bir sistem henüz mevcut olmadığı, bu sebeple UTM konsepti ve politika çerçevesinin gelişim ihtiyacı ile olduğu sunucuna varmıştır. Ayrıca UTM yaklaşımının geleneksel ATM politikasından önemli yönlerden farklılık gösterdiğini, merkezi olmayan, topluluk temelli trafik yönetimi sistemine dayandığını ifade etmiştir.

Kováčová ve ark. [42] çalışması, İHA sistemlerinin hava trafiğine kademeli, entegrasyonu sürecine ilişkin bilgileri özetlemektedir. Entegrasyon sürecinde, sürecin diğer ülkeler, özellikle de komşu ülkelerdeki gelişmeler ile takip edilmesi ve gelecekte uluslararası İHA uçuşlarını önemli ölçüde kolaylaştırmak için standardizasyon ve iş birliğinin sağlanması gerektiğini vurgulamıştır.

Jung ve ark. [43] çalışmalarında, gerçek zamanlı ATC simülasyonu kullanarak radar yönlendirme ve yörünge tabanlı operasyonları incelemiştir. C2 bağlantı gecikmesi ve kaybının etkisine odaklanmıştır. Çalışma, bağlantı kesildiği durumu, uçuş emniyeti, verimliliği ve ATC iş yükü olmak üzere üç perspektifte analiz edilmiştir. C2 bağlantı gecikmesi ve kaybı nedeniyle ATCo müdahaleleri gerçekleştirilmiş senaryoda varış süresinde önemli ölçüde gecikme meydana geldiği ortaya konulmuştur.

Neto ve ark. [44] araştırma, İHA sistemlerinin ulusal hava sahası sistemine entegrasyonundaki gelişmeleri farklı açılardan kapsamlı olarak incelemiştir. Çalışma İHA entegrasyonunun etkilerini beş ana alanda yoğunlaştığını ifade etmektedir. İHA uçuş planlaması ve otomasyonu, İHA kontrol bağlantısı (gecikmeler ve kesinti), İHA'ya özgü bilgi ve prosedürler, ATC eğitimi ve gelecekteki NAS ile İHA etkileşimi olarak sıralanmıştır. Ayrıca İHA entegrasyonu ATC'nin zorluklarını ve ATCo iş yükünü etkilenen bir metrik olarak görmektedir.

Zhang ve ark. [45] çalışmalarında, İHA'ların ayrılmamış hava sahasındaki operasyonlarını ele almıştır. İHA'lar için çatışma bölgelerine dayalı bir çarpışma risk modeli oluşturulmuş insanlı ve insansız hava araçları arasındaki çarpışma riski araştırılmıştır. Risk analizi sonuçlarına göre deneysel koşullar altında, ADS-B, TCAS ve diğer havadan algılama sistemleri ile donatılmış büyük İHA'lar izole edilmemiş hava sahasına girdiklerinde, özellikle hava sahasındaki uçak sayısı fazla olduğunda önemli ölçüde hava sahasındaki emniyet düzeyini artacağını vurgulamıştır.

Pérez-Castán ve ark. [46] çalışmalarında İHA'ların ayrılmamış hava sahasına entegrasyonunun uçuş emniyet seviyesine etkilerini araştırmıştır. Çalışmada kullanılan Monte Carlo (MC) simülasyonları, insanlı uçakların mevcut operasyonuna dayalı olarak hedef emniyet düzeyi- Target Level of Safety (TLS)'i belirlemiş ve İHA'larla ilişkili emniyet düzeyini hesaplamıştır. Çalışmanın sonuçları, MC simülasyonları, İHA entegrasyonunun toplam uçak sayısında bir azalma gerektirdiğini doğrulamaktadır. İnsanlı uçaklarla aynı sayıda İHA, ortalama çatışma sayısında %90'ın üzerinde ve ortalama çatışma süresinde %300'ün üzerinde bir artış görülmüştür.

Reyes-Muñoz ve ark. [47] çalışmalarında İHA'ların ayrılmamış hava sahasına entegrasyonunun yönetilmesinde görev alan hava trafik kontrolörlerinin, insansız bir araç beklenmedik bir durumla karşılaştığında nasıl etkilendiğini analiz etmiştir. Beklenmedik durumlar simüle edilerek, karmaşık trafik senaryolarını yönetirken kontrolörlerin iş yükünün nasıl arttığını belirlenmeye çalışılmıştır. İHA en önemli iki beklenmedik durumlardan olan komuta ve kontrol bağlantısının kaybı ve motor arızası ile karşı karşıya bırakılmıştır. Sonuçlar, İHA beklenmedik bir duruma maruz kaldığında, hava trafik kontrolörünün algısı ve iş yükünde makul derecede artışlar gözlemlenmiştir.

Carbo [48] çalışmasında, insanlı ve insansız hava araçları arasındaki önemli hız ve performans farklılıkları nedeniyle uçak performansının emniyetli ayırma konusunda kritik bir konu olduğu ifade edilmiştir. Örneğin, yüksek uçuş seviyelerine alçalış ve

tırmanışlarda daha düşük hızlarda uçan yüksek irtifa İHA'lar insanlı hava araçlarının yüksek hızlarda seyrettiği seviyelerden geçebilmektedir. Bu durum karma bir ortamda ayırma zorlukları doğurmaktadır. Bu nedenle çalışma İHA davranışını gerçekçi bir şekilde modelleme ihtiyacı olduğunu belirtmektedir.

Vidović ve ark. [49] İHA'ların kontrollü hava sahasına emniyetli bir şekilde entegrasyonu ile ilgili ortaya çıkan sorunları belirlemeye çalışmıştır. Çalışmaya göre İHA'ların kontrollü hava sahasına dahil edilmesi, İHA pilotların lisanslanması ve tıbbi yeterliliği, tespit ve kaçınma sistemleri teknolojileri, frekans spektrumu, ayırma standartları ve düzenleyici bir çerçevenin geliştirilmesi gibi çeşitli konulardaki tartışmaları gündeme getirmiştir. Araştırma en yüksek dikkatin, İHA'ların uçuşa elverişliliği, operatörlerin eğitimi ve lisanslanması, havalimanlarının idaresi, yer kontrol istasyonları, uçaklar, operatörler ve hava trafik kontrolü arasındaki iletişim ve bağlantılara odaklanıldığını ifade etmektedir. Çalışmaya göre böyle bir ortamın gerektirdiği standartlar ve normlar henüz kesin olarak belirlenmemiş olduğundan, kontrollü hava sahasındaki tüm İHA operasyonlarının emniyet standartlarına tam uygun olarak gerçekleştirilmesi şu anda mümkün değildir. Çözüm olarak belirlenen olası İHA entegrasyonu sorunlarını azaltmak için önerilen en iyi yaklaşım, risk temelli modelin uygulamaya konulması olacaktır. Bu model, kontrollü hava sahasında İHA entegrasyonu öncesinde ve sırasında karşılaşılabilecek tüm risklerin belirlenmesini sağlayacak ve belirlenen risklere yönelik tüm tedbirleri bir çıktı olarak tanımlayacaktır.

Kamienski ve Semanek [50] çalışmalarında, hava sahalarında uçuş emniyetinin sağlanabilmesi için bir İHA sadece hava sahasında yeterli ekipman ihtiyacını karşılayabilecek yeterliliğe sahipse, insanlı hava araçlarının bulunduğu alanlarda da uçabileceğini ifade etmiştir. Ayrıca ATC'nin kendi sektöründe uçan İHA'nın görevlerine özgü tüm bilgilere sahip olması gerektiğini de ifade etmiştir. Çalışmada ihtiyaç duyulan tüm bu bilgilerin otomasyon, eğitim, referans kılavuzlar ve diğer yöntemlerle sağlanabileceğini vurgulamaktadır.

Neubauer ve ark. [51] çalışmalarında, İHA'ların ve insanlı uçakların yer aldığı Killen-Fort Hood Regional Airport'da İHA ve insanlı uçakların faaliyetleri incelenmiştir. Emniyetli İHA operasyonlarını sağlamak için, yeterli görüş alanı oluşturmak ve link kayıplarını önlemek için havalimanına kapsayıcı iletişim anteni yerleştirilmiştir. Link kaybı olması durumunda İHA'nın inişi havalimanı trafiğini etkilemeyecek şekilde genellikle yerleşim olmayan bir alan seçilerek yapılması gerektiği ifade edilmiştir.

Çalışmada, birçok yer operasyon personelinin İHA havacılık geçmişi olmadığı ve bir İHA insanlı hava aracı ile aynı tesisi kullanırken ihtiyaç duyulan ek güvenlik prosedürlerinin tam olarak farkında olmaması sebebiyle ilave eğitimlerin gerektiğini vurgulamıştır. İlave olarak çalışma NAS ve havaalanlarındaki İHA operasyonları nedeniyle ortaya çıkabilecek tehditlerin büyük ölçüde operasyonların türüne, UAS kategorisine ve yeterli standart operasyon prosedürlerinin mevcudiyetine bağlı olduğunu belirtilmiştir. İHA'ları NAS'a emniyetli bir şekilde entegre edebilmek için risk ve tehlikelerin değerlendirmesi, risk analizlerinin gerektiği, yenilikler, iyileştirmeler, düzenlemeler ve mevzuat gereksinimlerinin olduğu çalışmada açık şekilde ifade edilmiştir.

Chauhan [52] çalışmasında, İHA kazaları ve olaylarını incelemiş, faktör analizi yapmıştır. Faktör analizi sonucunda, insan faktörünün İHA olay ve kazalarına katkıda bulunan ana faktör olduğu ifade edilmiştir. Kaza ve olayların alt faktörleri incelendiğinde, 40 prosedür ihlali, 40 hava sahası ihlali, 15 ATC sorunu, 11 irtifa ihlali, 10 çarpışma sistemi, 9 ekipman problemi, 9 klerans problemi ve 7 link kaybı olduğu dikkat çekmektedir. En çok kaza ve olayın A sınıfı hava sahasında ve düz uçuş safhasında meydana geldiğini görülmüştür. Ayrıca çalışmada pilot eğitimi, yetersiz risk yönetimi süreci, görev çizelgeleme, ilgili iş yükü, pilotun düzenleme ve güvenli işletim uygulamaları konusundaki eksik bilgisi ve Ekip Kaynak Yönetimi (CRM) teknikleri kaza ve olaylardaki önemli etkenler olarak vurgulanmıştır.

Serebryakov ve ark. [53] araştırmalarında, İHA operasyonlarının Rusya hava sahasına entegrasyonu konusunu ele almıştır. Araştırmaya göre İHA'ların Rus hava sahasına entegrasyonunu sağlamanın ana hedefi, yerleşik uçuş emniyet seviyesini sağlamak ve İHA uçuşlarının gerçekleştirilmesiyle ilgili riskleri azaltmaktır. Bu sorunu çözmek için devlet havacılık düzenleme otoriteleri tarafından İHA kullanımının operasyonel risklerinin ve özelliklerinin değerlendirilmesine dayalı olarak İHA'ların tasarımı, üretimi ve operasyonel onayı, kuralları ve operasyonel prosedürlerine yönelik yöntem ve kriterler oluşturması gerekmektedir. Bu entegrasyon uygulanması, hava ve yer ekipmanlarının geliştirilmesi, hava trafiğini organize etmeye yönelik operasyonel prosedürlerin belirlenmesi, hava trafik kontrolörlerinin ve pilotların eğitimi, düzenleyici yasal ve teknik düzenlemelerin geliştirilmesi, yeni teknolojilerin oluşturulması ve tüm ilgili tarafların katılımını kapsayan sistematik ve aşamalı bir çalışma yapılmalıdır.

Rajawat ve ark. [54]. Sıcaklık, nem, sis, yağış, sert rüzgarlar gibi olumsuz hava koşullarında deneysel İHA'nın uçuş performansı incelenmiştir. İHA'nın deneysel uçuşları

normalden şiddetli yağmura, sıcaktan soğuğa, sakın ve rüzgarlı duruma, nem ve sis gibi farklı hava koşullara göre test etmiştir. Çalışma olumsuz hava koşulları UAS ile operatörü arasındaki sinyal bağlantısının kesilmesine neden olabileceğinin altını çizmiştir.

Gao ve ark. [55] çalışmalarında İHA'ların hava koşullarına dayanıklı olmadığını yağmurlu, sisli veya karlı havalarda arızalanabileceğini ve kısa devre riskinin yüksek olduğunu öne sürüyor. İzin verilen en kötü hava koşulları belirten açık düzenlemeler ve çalışma kılavuzları olmadığında, olumsuz hava koşullarının yarattığı açık bir emniyet riskinin söz konusu olduğunu ifade etmektedir.

Stastny ve ark. [56] insansız havacılık alanında ortaya çıkan, ATM emniyetine yönelik hızla artan büyük tehditleri analiz etmiştir. Araştırmaya göre hem Avrupa'da hem de ABD'de İHA'lara yönelik temel operasyon konseptleri ileri düzeyde geliştirilme aşamasındadır. Çalışma emniyet yönetimi mevzuatta ve yayınlanmış kılavuzlarda henüz tam olarak ele alınmadığı ifade etmiştir. Araştırma, ATM risklerini tanımlamanın ve kontrol etmenin temel yolu SMS olduğunu vurgulamaktadır.

Ferreira ve ark. [57] çalışmada, ayrıştırılmamış hava sahasında gerçekleştirilen İHA'ların operasyonlarında meydana gelebilecek spesifik problemlerin risk analizi yapmıştır. İHA operasyonu ile ilgili belirli tehlikelere odaklanan bu analiz hem niteliksel hem de niceliksel perspektiflerden yürütülmüş ve olayların olasılıkları, literatür taramasından ve simülasyonlardan elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, İHA'ların insanlı hava araçlarıyla aynı hava sahasını paylaşmasına izin vermek için iletişim sistemleri problemleri gibi emniyetsiz durumlara yol açan potansiyel sorunların çözülmesi gerektiğini ifade etmiştir.

Weldon ve ark. [58] çalışmalarında İHA'ların entegrasyonuna ve İHA insan faktörü uygulamalarına yönelik kapsamlı literatür taraması yapılmıştır. Son 20 yılda insan hatası ve insan faktörlerine ilişkin araştırmalar, insanlı havacılığı tartışan tüm araştırmaların %3'ünü oluştururken, insan faktörleri, İHA'yı tartışan tüm araştırmaların %0,026'sını oluşturuyor. Literatürün mevcut durumu, İHA operasyonlarının insan faktörleri bileşeni üzerine yapılan araştırmaların eksikliğini göstermektedir.

Liu, ve ark. [59] çalışmalarında, ulusal hava sahasında İHA operasyonları için hava seyrüsefer hizmet sağlayıcı perspektifinden bir araştırma yapmıştır. Çalışma, İHA sistemlerinin teknolojik olarak gelişimine ve son yıllarda katlanarak artışına dikkat çekmektedir. İnsansız hava aracı sistemlerinin gelişimi ile birlikte İHA'ların hava sahalarında faaliyetinin yoğunlaşması uçuş emniyeti endişelerini de beraberinde

getirdiğini ifade etmektedir. Çalışma, uçuş emniyeti ve verimliliğine odaklanarak hava seyrüsefer hizmet sağlayıcı Air Navigation Service Provider (ANSP) perspektifinden bir anket çalışması yürütmüştür. Çalışmanın amacı her tür İHA operasyonunu kolaylaştırmak için ideal UTM mimarisinin ne olduğunu açıklamak, hava sahası emniyet düzeyinin ileri seviyeye taşınması için ANSP değerlendirmesi ve gelecekteki yol haritasını çizmek olmuştur.

Çalışma, ANSP görüşü çerçevesinde, İHA sistemi operasyonların daha emniyetli ve verimli bir ortam sağlanması için aşağıda sıralanan konu başlıklarına dikkat çekmektedir;

- İnsansız hava aracı merkezli bir yönetim sistemi geliştirilmesi gerekliliği,
- Kontrollü hava sahası mevcut sınıflandırılmanın iyileştirilmesi,
- Standart bir bilgi alışveriş protokolünün oluşturulması,
- Veriye dayalı dinamik bir yönetimin anlayışı,
- Operasyon sonrası verilerin analizi ile trafik davranışı ve gelecek tahmini,
- Stratejik, taktik ve operasyonel planlama,
- Kapasite dengesini sağlayan otonom bir karar destek sistemi,
- İnsansız hava aracı Haberleşme, Seyrüsefer, İzleme (Communications, Navigation and Surveillance-CNS), Komuta Kontrol (Command and Control - C2) ve Algıla ve Kaçın (Sense and Avoid-SAA) yeteneklerinde iyileştirme,
- Siber güvenlik, uydu tabanlı navigasyon,
- Uzay-hava-yer entegre ağı aracılığıyla İHA sistemlerinin iletişim kabiliyetini geliştirmek,
- Küresel uydu seyrüsefer sistemi (Global Navigation Satellite Systems-GNSS) entegrasyonu yoluyla sivil İHA'lar için uyumlu bir seyrüsefer mimarisi geliştirmek,
- Havacılık verilerini toplayan etkili bir veri birleştirme algoritması,
- Entegrasyonuna yönelik standardizasyon ve düzenleme çalışmaları,
- İHA sistemlerine özgü hava trafik kontrol (Air Traffic Control –ATC) prosedürlerinin genel ilkelerinin olması,
- ATC eğitim ihtiyacının giderilmesidir.

Havacılık otoritelerindeki gelişmeler ve literatürde öne çıkan güncel çalışmalar incelendiğinde, İHA'ların mevcut hava trafik sistemine entegrasyonu sürecinde çeşitli

zorlukların ve problemlerin yaşandığı, mevcut sistemin emniyet seviyesini düşürmeyecek şekilde bir entegrasyonun olması gerektiği, donanımsal ve yazılımsal ihtiyaçların ortaya çıktığı, kademeli bir entegrasyonun olması gerektiği yönünde ortak noktada buluşulmaktadır. Bu ihtiyaçları, problemleri ve zorluları bilimsel anlamda kendi ortamı ve kendi dinamiği içerisinde ele alan ve çözüm üreten çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Literatür incelendiği kadarı ile bu alanda ki boşluk dikkat çekmektedir. Entegrasyon sürecinde ortaya çıkan bu problemleri kaynağında tespit etmek ve gelecekte oluşabilecek problemleri tahmin edip, önlem alabilmek ve çözüm üretebilmek çalışmamızın ana motivasyon kaynağını oluşturmaktadır.



2. İNSANSIZ HAVA ARACI

2.1. İnsansız Hava Aracı (İHA) Kavramı

İHA, İnsansız Hava Aracı Sistemi (İHAS)'ın bir bileşeni olarak işletilen, aerodinamik kuvvetler aracılığıyla sürekli uçuş yapma yeteneğinde olan, üzerinde pilot bulunmaksızın uzaktan İHA pilotu tarafından kontrol edilerek veya otonom operasyonu İHA pilotu tarafından planlanarak uçuşurulan ya da havada kalabilen hava aracıdır [21].

İHA'lar uzun yıllar daha çok askeri amaçlı keşif, gözetleme, taarruz, elektronik harp, sınır güvenliği, kaçakçılık ile mücadele ve benzer görevler için kullanılırken zaman içerisinde sivil kullanımındaki artış dikkat çekmektedir. Günümüzde İHA'lar sivil anlamda izleme ve gözetim görevleri, arama ve kurtarma, orman yangını tespiti, doğal afet izleme, kirlilik ölçümü, haberleşme, karayolu trafiği gözetimi, enerji ve boru hattı denetimi, toprak gözlemi ve benzer görevlerde yer alır [5]. Ayrıca, atmosferik araştırmalar, doğal yaşamın izlenmesi, ekolojik gözlemler, iklim değişikliği çalışmaları, jeolojik araştırmalar, vb. ticari ve ticari olmayan birçok araştırma faaliyetlerinde aktif olarak kullanılmaktadır.

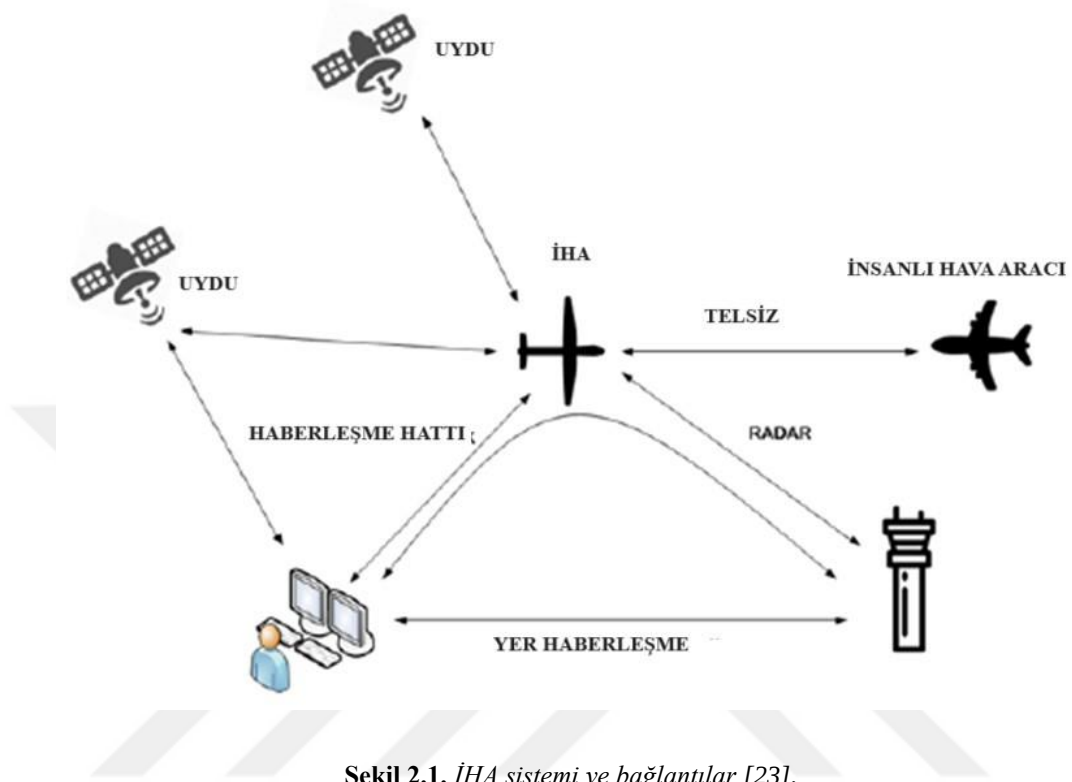
İHA'ların uzun süre havada kalabilme yeteneği ve pilotun artık uçağın içinde yer almaması nedeniyle insanlı uçaklara göre farklı tasarımlara ve özelliklere sahip olabilmektedir [4]. İHA insanlı bir uçağın pilotu için yorucu veya tehlike gerektiren görevlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, ticari, bilimsel ve güvenlik uygulamalarını da içeren çok daha geniş bir potansiyel kapsamı bulunmaktadır [5].

2.2. İHA Sistemi

İHA sistemi- Unmanned Aircraft Systems (UAS), İHA ile kontrol istasyonu, komuta ve kontrol veri bağı, kalkış ve iniş sistemi gibi uçuşun sağlanması için gerekli olan, birbirinden ayrı sistem elemanlarının bütünüdür [21]. Bir UAS üç temel bileşenden oluşur: [17].

- Pilot olmadan çalışabilen insansız bir hava aracı,
- Pilotun İHA'nın uçuşunu uzaktan kontrol etmesine ve izlemesine olanak tanıyan bir yer kontrol sistemi,

- İHA ile yer kontrol sistemi arasında kontrol, durum ve diğer ilgili bilgileri sağlayan çift yönlü bir bağlantı araçlarıdır. Şekil 2.1’de İHA sistemi ve bağlantılar gösterilmiştir.



Şekil 2.1. İHA sistemi ve bağlantılar [23].

Uzaktan kumandalı uçak sistemi- Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) ise UAS'nin bir alt kümesidir. UAS terimi, daha büyük bir sistemin parçası olarak, pilotsuz uçulan tüm uçakları kapsamaktadır. [04].

Bir RPAS, uzaktan kumandalı bir hava aracı- Remotely Piloted Aircraft (RPA), Uzak Pilot İstasyonu- Remote Pilot Station (RPS), Komuta ve Kontrol Bağlantısı- Command and Control Link (C2) ve tip tasarımında belirtilen diğer bileşenlerden oluşur.

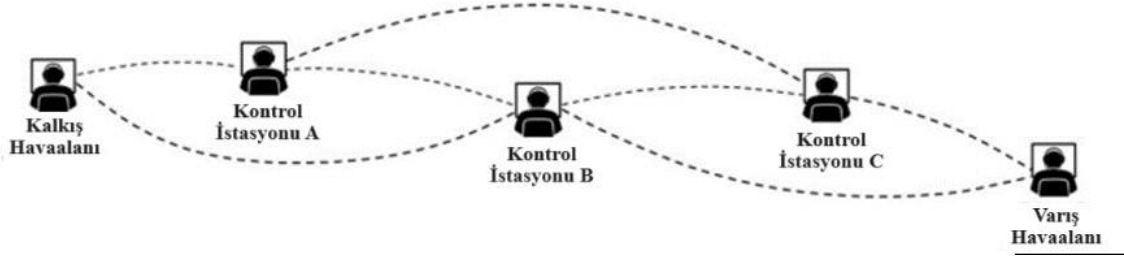
Uzaktan kumandalı bir hava aracı- Remotely piloted aircraft (RPA),

RPA, RPAS'ın bir alt elemanı olarak RPS'den kontrol edilen insansız hava aracıdır. Çok çeşitli RPA türleri vardır. Birçoğu geleneksel uçakların tasarımlarını ve uçuş özellikleriyle benzerdik göstermektedir.

Uzak pilot istasyonu - Remote pilot station (RPS)

RPS, RPA'nın uçuşunu komuta etmek, kontrol etmek ve izlemek için kullanılan ekipmanlardan oluşur. Tasarımları basit elde taşınan cihazlardan karmaşık, ağ bağlantılı, çoklu konsol konfigürasyonlarına kadar değişebilmektedir. RPS, bir binanın içine veya dışına yerleştirilebilir sabit veya hareketli olabilir (bir araca/gemiye/uçağa monte

edilebilir). Bir RPA Şekil 2.2’de görüldüğü gibi farklı yerlerde yer alan RPS’lerden yönetilebilmektedir [04].

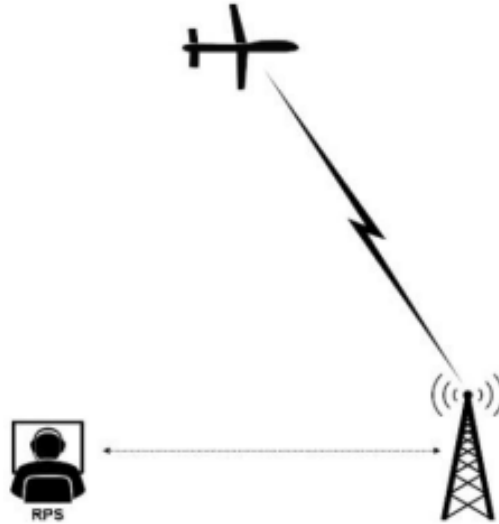


Şekil 2.2. Uzak pilot istasyonlarının potansiyel ağı [04].

Komuta ve kontrol bağlantısı- Command and control link (C2)

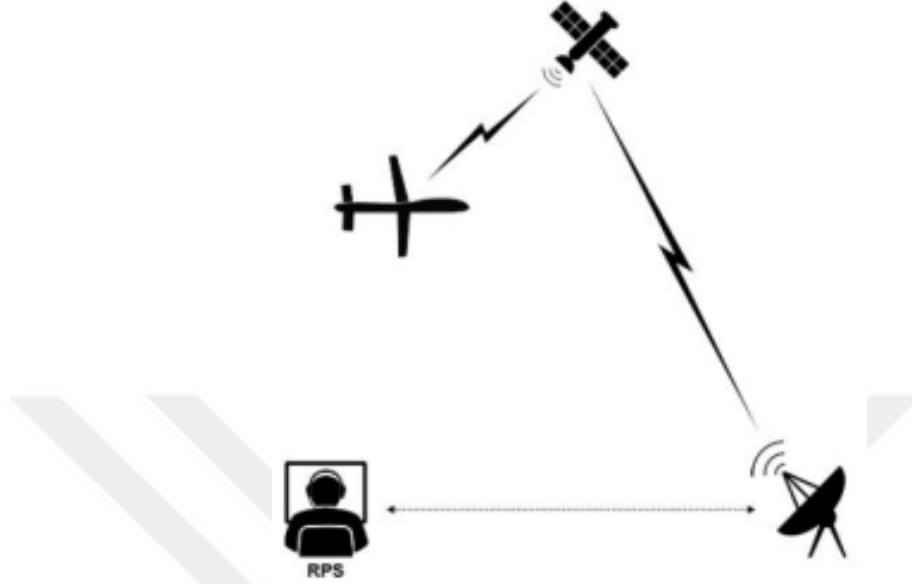
Komuta ve kontrol (C2) bağlantısı, uzaktan kumanda edilen hava aracı ile uzak pilot istasyonu arasındaki uçuşun yönetilmesi amacıyla veri bağlantısıdır.

RPA operasyonları genel olarak, Radyo Görüş Hattı- Radio Line-of-Sight (RLOS) ve Radyo Görüş Dışı- Beyond Radio Line-of-Sight (BRLOS) ile gerçekleşir. RLOS, uzak vericinin RPA'ya iletimlerini belirli bir sürede tamamlanması koşuluyla, vericiler ve alıcıların karşılıklı radyo bağlantısı kapsama alanı içinde olduğu, doğrudan veya karasal bir ağ aracılığıyla iletişim kurabildiği durumu ifade eder [04].



Şekil 2.3. Radyo Görüş Hattı- Radio Line-of-Sight (RLOS) [04].

BRLOS, uzak vericinin RPA'ya iletimlerini belirli bir sürede tamamlayamaması koşuluyla uydu sistemleri üzerinden bir veya daha fazla yer istasyonu ile iletişim kurulduğu durumu ifade eder [04].



Şekil 2.4. *Radio Görüş Hattı Dışı- Beyond Radio Line-of-Sight (BRLOS) [04].*

İHA sistemi içerisindeki tüm alt sistemler; hava aracının havada kalma süresi, faydalı yük kapasitesi, seyir-maksimum hızı, operasyonel irtifası, haberleşme menzili ve diğer imkân ve kabiliyetlerinin belirleyicisidir. İHA'ların kullanım amaçlarının çeşitlenmesi İHA'ların sayısını hızla artırırken İHA sistemi alt sistemlerinin imkân ve kabiliyetlerini de şekillendirmektedir.

2.3. İHA Sisteminin Tarihsel Gelişimi

İHA'ların tarihsel gelişimi incelendiğinde, İHA'lara benzer niteliklere sahip tek kullanımlı hava araçlarının tarihi milattan öncesine kadar gitmektedir. Pilotsuz ilk hava aracı ise Nikola Tesla ve Lawrence Sperry gibi mucitlerin ve havacılık öncülerinin uzaktan kumandalı uçak fikrini denediği 19. yüzyılın sonlarına ve 20. yüzyılın başlarına kadar uzanmaktadır.

1917'de Elmer Sperry ve Peter Hewitt'in 80 km mesafeden uçabilen ve 135 kg'a kadar patlayıcı taşıyabilen kontrol edilebilir bir Hewitt-Sperry otomatik uçak tasarlamıştır [60].

İkinci Dünya Savaşı sırasında, ABD, hedef İHA olarak yaygın şekilde kullanılan "Radioplane OQ-2"yi geliştirdi. ABD ordusu 1950'li ve 1960'lı yıllarda gözetleme, istihbarat toplama ve benzer görevler için birçok RPAS geliştirdi. Jet motorlu Firebee ilk yarı görünmez İHA olup Japonya, Vietnam ve Tayland'da hem gündüz hem de gece yaklaşık 34.000 sorti göreve çıkmıştır. Firebee projesi sonrası geliştirilen ilk başarılı stratejik İHA'lerden olan Ryan SPA 147 olmuştur. ABD üretimi olan bu İHA 60.000 feetten görüntü alabilme yeteneği ve yaklaşık 8 saatlik havada kalabilme özellikleri ile günümüzdeki İHAS'ların temelini oluşturmaktadır.

İHA'ların askeri amaçlı yaygın kullanımlarından bir Vietnam savaşıdır. ABD tarafından yaklaşık 1000 adet İHA Kuzey Vietnam ve Çin ordusunun lojistik ağlarının haritasını çıkarmak amacıyla kullanılmıştır.

1980'lerde İsrail tarafından üretilen Scout İHAS 3,96 metre kanat açıklığı, fiberglas gövdesi ve eş anlık görüntü aktarabilen kamerası ile İHAS'ların gelişiminde önemli bir yere sahiptir.

İHA'ların ticari olarak kullanımı 1980'lerin sonlarına doğru haritalama, gözlem ve fotoğrafçılık gibi görevlerde de kullanılmaya başlandı. İHA'lar modern anlamda 21. yüzyılda İHA'ların hem askeri hem de sivil amaçlarla kullanımında çarpıcı bir artış görüldü. ABD ordusunda MQ-1 Predator ve MQ-9 Reaper gibi dronlar çeşitli askeri faaliyetlerde önemli roller oynadı. Sivil sektörde İHA'lar tarım, inşaat, çevresel izleme ve lojistik dâhil olmak üzere çeşitli sektörlerde uygulama alanı buldu. Şirketler, paket teslimatı, altyapı denetimi ve afet müdahalesi gibi görevlerde İHA'ların kullanımını artırdı. Mini ve mikro boyutlu İHA'lar sivil kullanım için daha yaygın hale geldi.

2000'li yıllarda üretilen ve çok yüksek irtifalara çıkabilen Global Hawk stratejik İHAS olarak askeri keşif görevlerinde aktif olarak kullanılmaktadır.

ABD yapımı diğer bir İHAS olan X-47B uçak gemisinden kalkış/iniş yapabilen ve havada yakıt ikmali yapabilen özelliklere sahiptir.

Günümüzde, İHA'lar otonom uçuş, engellerden kaçınma ve daha uzun dayanıklılık gibi özelliklerle daha gelişmiş hale geldi. Yapay zekâ, makine öğrenimi ve otomasyon sistemlerindeki gelişmeler, minimum insan müdahalesiyle karmaşık görevleri yerine getirebilen daha otonom İHA'ların geliştirilmesini mümkün kılmıştır.

İHA'lar yalnızca klasik havacılık şirketleri tarafından değil aynı zamanda havacılık dışı küçük ve orta büyüklükteki işletmeler tarafından da geliştirilmektedir. EASA üyesi ülkelerde, maksimum kalkış kütlesi (MTOM) 150 kg'a kadar olan çok küçükten küçüğe

2495 operatör ve 114 RPAS üreticisi bulunmaktadır. 150 kg'ın üzerinde MTOM'ye sahip RPAS ile ilgili olarak, Avrupa Komisyonu tarafından gerçekleştirilen bir ankete katılanların %76'sı, bu tür İHA'ların önümüzdeki yıllarda hızlı bir şekilde geliştirilmesinin muhtemel olduğunu düşündüklerini belirtmiştir [08]. Hızla gelişen İHA teknolojisi sayesinde ilerleyen yıllarda İHAS'ların insanlı uçakların yerini alması kaçınılmazdır.

Ülkemizde İHA sistemlerinin gelişimi ele alındığında Savunma Sanayi Müsteşarlığı (SSM)'nin İHA sistemleri yol haritasında belirtilen; Türkiye'deki İHA sistemleri ve teknolojilerinin gelişimi, İHA sistemleri için altyapı gereksinimleri, yeni İHA sistemi projeleri, İHA mevzuatının gelişimine yönelik çalışmalar, kritik teknolojilerin gelişimi, geliştirilmesi gereken teknolojik alanlar, sistem ihtiyaç ve gereksinimleri, tahmin edilen risklere yönelik çalışmalar, alt teknolojilerin değerlendirilmesi ve analizleri, geleceğe yönelik ihtiyaçların planlanması çalışmaları devam etmektedir [61].

2.4. İHA'ların Sınıflandırılması

İHA'ların sınıflandırılması hava araçlarının performans özelliklerine (hız, irtifa, boyut, ağırlık, vb.), kullanım alanlarına göre mikro, mini, taktik, operasyonel gibi isimlerle ve özelliklerle farklı şekillerde gruplanmasıdır. İHA'ların farklı sistemleri, çeşitli yetenekleri, boyutları ve çalışma özellikleri farklılıkları nedeniyle, şu anda yaygın olarak kabul edilen ortak bir sınıflandırması bulunmamaktadır [61].

İHA'ların sınıflandırılması ülkelere ve çeşitli otoritelere göre değişkenlik göstermektedir. Mikro, mini ve benzer isimler İHA'ların kullanım amacı konusunda bir fikir verirken; MALE, HALE, VTOL gibi isimlendirmeler farklı niteliklere sahip hava araçlarını tanımlamaktadır. Hava araçlarını çalışma irtifası ve ağırlığına göre gruplamak tasarım olarak bir ayrım sağlarken, kullanım amacına göre sınıflandırmalar büyük ölçüde çeşitlilik göstermektedir. Genel olarak çoğu İHA, maksimum brüt kalkış ağırlığı, dayanıklılık ve irtifa, operasyonel donanımları, kullanım amacı, gerçekleştirilen görev ve operasyon gereksinimlerine göre sınıflandırılmaktadır.

Bu sınıflandırmalardan bazıları olan Avrupa'da Amerika'da ve Türkiye'deki İHA sınıflandırılması aşağıdaki gibidir.

Tablo 2.1. Avrupa İHA Sınıflandırması [61].

	Kalkış Ağırlığı (kg)	Uçuş irtifası (ft)
Mikro	<7	<400
Mini	8-400	300-4000
Döner Kanat		
MALE	400-4000	15000-45000
HALE		>45000

Tablo 2.2. ABD İHA Sınıflandırması [61].

Sınıf	Maks. Kalkış Ağırlığı (lb)	Uçuş İrtifası (ft)*	Seyir Hızı (kts)	Örnek Platform
Grup 1	< 20	< 1200 AGL	< 100	WASP III, BATCAM, Pointer, Aqua/Terra Puma
Grup 2	21-55	< 3500 AGL	< 250	ScanEagle, Silver Fox, Aerosonde
Grup 3	< 1320	< 18000 MSL	< 250	RQ-7B, RQ-15
Grup 4	> 1320	< 18000 MSL	Her hız	MQ-5B, MQ-8B, MQ-1A/B/C
Grup 5	> 1320	> 18000 MSL	Her hız	MQ-9A, RQ-4, RQ-4N, Global Observer

Türkiye’de İHA sınıflandırması azami kalkış ağırlıkları referans alınarak İHA’lar 4 ayrı sınıfa ayrılır [21].

- İHA0: Azami kalkış ağırlığı 500 gr (dâhil) – 4kg aralığında olan İHA’lar,
- İHA1: Azami kalkış ağırlığı 4 kg (dâhil) – 25 kg aralığında olan İHA’lar,
- İHA2: Azami kalkış ağırlığı 25 kg (dâhil) – 150 kg aralığında olan İHA’lar,
- İHA3: Azami kalkış ağırlığı 150 kg (dâhil) ve daha fazla olan İHA’lar.

NATO, yüksek irtifalarda çalışabilen ve uzun süre havada kalabilen İHAS için HALE (high-altitude long endurance UAV), orta ve uzun süreli havada kalan İHAS için MALE (Medium-altitude long-endurance UAV) olarak sınıflandırma yapmaktadır.

EASA, Açık, Özel ve Sertifikalı (Open, Specific and Certified) olarak İHA türleri için üç operasyon kategorisinin ve bunlarla ilgili düzenleyici rejimin oluşturulması önerilmektedir. İHA’ların Open, operasyon kategorisi, belirli koşul ve sınırlar dâhilinde uçuş için bir Havacılık Otoritesi tarafından yetkilendirme gerektirmeyen operasyonlar olarak tanımlanmıştır. Specific operasyon kategorisi, operasyona uyarlanmış belirli

sınırlamalara sahip bir Operasyon İzni gerektiren uçuşlardır. "Sertifikalı" operasyonlar, daha yüksek risk içeren operasyonlardır. Bu operasyonlar ve bunlara dahil olan uçaklar, klasik havacılık anlayışıyla ele alınmaktadır [08].

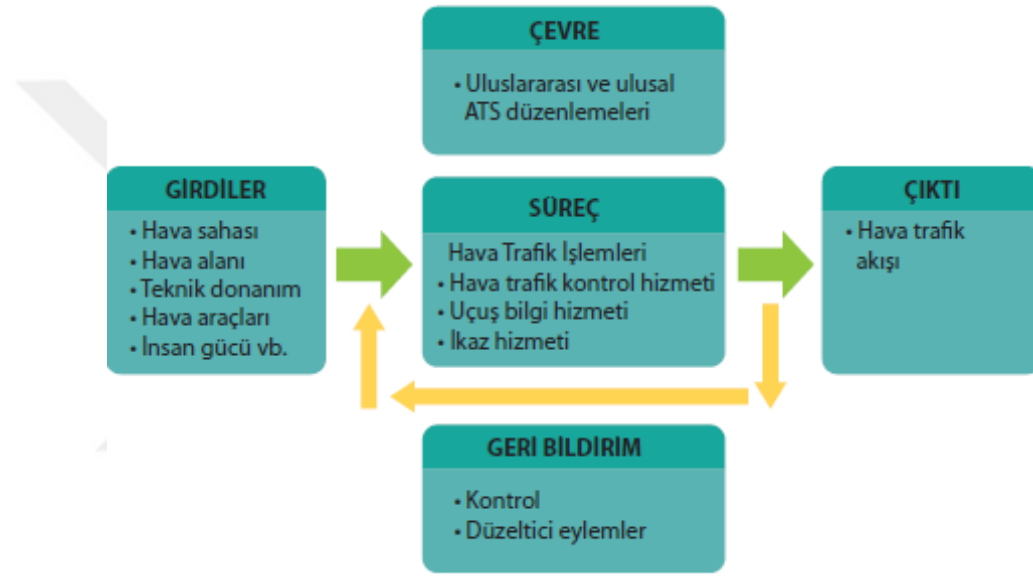
Genel olarak İHA sınıflandırması havacılık otoriteleri ve ülkelerde çeşitlilik göstermektedir. ICAO'a göre bir İHA, Maksimum Kalkış Ağırlığı -Maximum Takeoff Weight (MTOW), çeşitli performans kriterleri, operasyon türü/alanı, yetenekleri gibi kriterlere göre kategorize edilebilir [01].



3. HAVA TRAFİK SİSTEMİ

3.1. Hava Trafik Sistemi Kavramı

Hava trafik sistemi, hava trafik hizmetlerinin sağlanması için hava araçları, havaalanı, seyrüsefer donanımları, hava sahası ve insan gücünü birleştiren bir hizmet üretim sistemidir [63]. Hava trafik sistemi; gerekli girdileri sisteme dâhil eden ve bu girdileri belirli süreçlerden geçirdikten soran çıktılar sunan bir sistemdir. Girdi-süreç-çıkış süreci bakımından hava trafik sistemi Şekil 3.1’de gösterilmiştir [63].



Şekil 3.1. Hava Trafik Sistemi [6].

Ulusal ve uluslararası anlamda hava trafik hizmetleri mevzuatları hava trafik sisteminin çerçevesini oluşturmaktadır. Ulusal düzenlemeler büyük ölçüde uluslararası düzenlemelere uyum içerisindedir. Hava trafik sistemi bütün olarak düşünüldüğünde bu sistem insan-makine sistemi olduğu görülmektedir. Hava trafik sistemi çevresi ile sürekli iletişim halinde olması sebebiyle açık sistem özelliği taşımaktadır. Hava trafik sisteminin havayolu ulaştırma sistemi içerisindeki yeri ele alındığında hava trafik sistemi havayolu ulaştırma sisteminin amaçlarını gerçekleştirmesi için önemli bir yere sahip olan bir alt sistemdir. Havayolu sisteminin büyümesi ve gelişimi hava trafik gelişimi ile direk bağlantılıdır. Havayolu ulaştırma sisteminin gelişme gösterebilmesi için hava trafik sistemi artan talebi karşılayabilmelidir. Bu doğrultuda hava trafik sistemi, havayolu ulaştırma sisteminin gelişimi ile paralellik göstermelidir. Etkin bir hava trafik sistemi

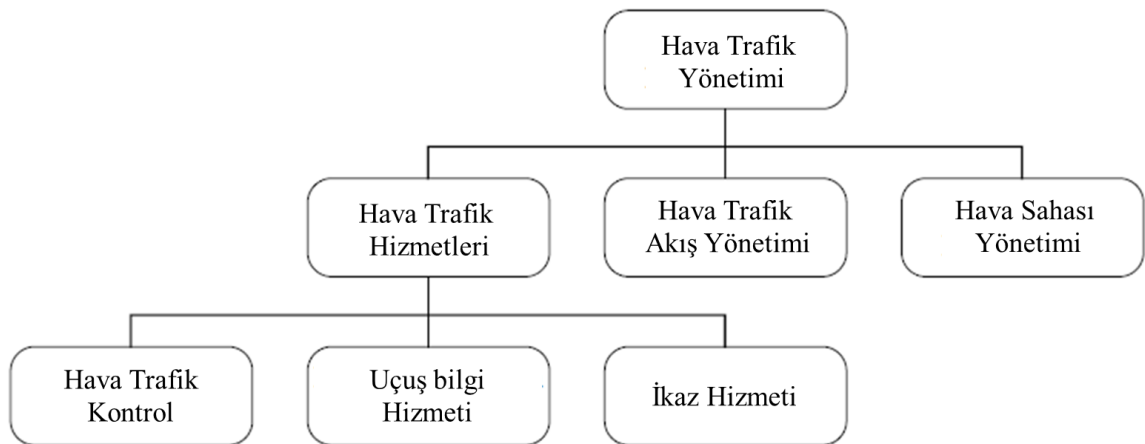
belirli zaman aralığında bir hava sahasına giren veya havalimanından kalkış/iniş yapan tüm hava araçlarına hizmet verebilmelidir. Aksi durumda gecikmeler veya aksaklıklar ortaya çıkar. Bu durum maliyetleri artırırken uçuş emniyetini de olumsuz etkileyebilmektedir. Hava trafik sistemi teknolojik değişimlere ayak uydurması gerekmektedir. Hava trafik sisteminin yetersiz olması hava ulaştırma sisteminin gelişimini yavaşlatmaya neden olabilmektedir [63].

3.2. Hava Trafik Yönetimi

Hava Trafik Yönetimi- Air Traffic Management (ATM); hava trafik hizmetleri, hava sahası yönetimi ve hava trafik akış yönetimi dahil olmak üzere hava trafiğinin ve hava sahasının, tüm taraflarla iş birliği içinde hava ve yerdeki fonksiyonları içeren tesislerin ve kesintisiz hizmetlerin sağlanması yoluyla emniyetli, ekonomik ve verimli bir şekilde dinamik entegre yönetimidir [64].

3.3. Hava Trafik Yönetiminin Bileşenleri

Hava Trafik Yönetimi (ATM:Air Traffic Management); Hava Sahası Yönetimi (ASM:Airspace Management), Hava Trafik Hizmetleri (ATS:Air Traffic Services) ve Hava Trafik Akış Yönetimi (ATFM:Air Traffic Flow Management) bölümlerinden oluşmaktadır [65].



Şekil 3.2. Hava trafik yönetiminin bileşenleri [65].

3.3.1. Hava Trafik Akış Yönetimi

ATFM, ATC kapasitesinin mümkün olan en üst düzeyde kullanılmasını ve trafik kapasitesinin ATS otoritesi tarafından beyan edilen kapasitelerle uyumlu olmasını sağlayarak, hava trafiğinin emniyetli, hızlı ve düzenli akışını sağlamak amacıyla oluşturulmuş bir hizmettir [64].

Bir ATS sisteminin kapasitesi, ATS rota yapısı, hava sahasını kullanan uçağın navigasyon doğruluğu, hava durumuyla ilgili faktörler ve kontrolörün iş yükü dahil olmak üzere birçok faktöre bağlıdır. ATS otoritesi yoğun trafiğini karşılayacak yeterli kapasiteyi sağlamak için gerekli önlemleri alması gerekmektedir.

ATFM Stratejik planlama (Strategic planning), Taktik öncesi planlama (Pre-tactical planning), Taktik operasyonlar (Tactical operations) olarak üç aşamada gerçekleştirilmektedir [64].

Stratejik planlama: ATC ve uçak operatörleri ile birlikte yapılmaktadır. Gelecek sezon için talebin incelenmesi, talebin mevcut ATC kapasitesini nerede ve ne zaman aşmasının muhtemel olduğunun değerlendirilmesi ve dengesizliği çözmek için aşağıdaki adımların atılmasından oluşmalıdır:

- a) İhtiyaç duyulan kapasitenin sağlanması için ATC ile anlaşma yapılması,
- b) Belirli trafik akışlarının yeniden yönlendirilmesi (trafik yönelimi),
- c) Uçuşların uygun şekilde planlanması veya yeniden planlanması,
- d) Taktik ATFM önlemlerine olan ihtiyacın belirlenmesi.

Taktik öncesi planlama:

Taktik öncesi planlama, güncel talep verileri ışığında stratejik planın daha kısa vadede değerlendirildiği aşamadır. Bu aşamada:

- a) Belirli trafik akışları yeniden yönlendirilebilir,
- b) Yük boşaltma yolları koordine edilebilir,
- c) Taktik tedbirlere karar verilir,
- d) Bir sonraki güne ait ATFM planının ayrıntıları yayınlanır ve ilgili herkesin erişimine sunulur.

Taktik operasyonlar

Taktik ATFM operasyonları aşağıdakilerden oluşmaktadır;

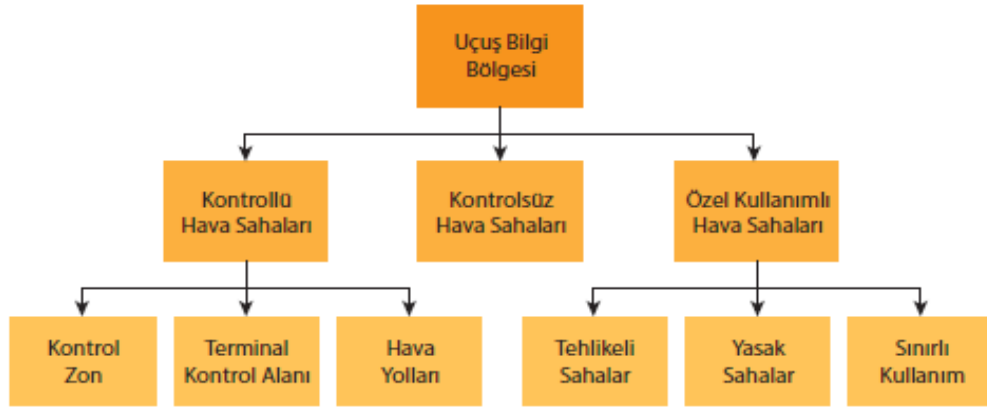
- a) Talebin kapasiteyi aşacağı durumlarda hava trafik akışı sağlayabilmek için mutabakata varılan taktik önlemlerin uygulanması,

- b) ATFM önlemlerinin istenen etkiye sahip olmasını sağlamak, uzun süreli gecikmeler raporlandığında, trafiğin yeniden yönlendirilmesi ve irtifa tahsisi ve iyileştirici önlemlerin alınması için hava trafiği durumunun gelişimi izlenerek mevcut ATC kapasitesini maksimum düzeye çıkarılmasıdır.

Trafik talebinin belirli bir sektörün veya havaalanının kapasitesini aşması durumunda, sorumlu ATC ünitesi, ATFM ünitesine ve ilgili diğer ATC ünitelerine bilgi vermektedir. Etkilenen bölgede uçuşu planlanan hava araçlarının işleticilerine mümkün olan en kısa sürede, beklenen gecikmeler ve uygulanacak kısıtlamalar konusunda bilgi verilmektedir [64].

3.3.2. Hava Sahası Yönetimi

Hava sahası yönetimi, hizmet sağlanan hava sahasında bir zaman aralığında hava sahasının kullanımını üst seviyeye ulaşmasını sağlamak için yapılan faaliyetlerdir [6]. Hava sahasının verimliliği hava sahasında yaşanan gecikme düzeyi, yakıt sarfıyatı, uçuş emniyeti seviyesi ile yakında ilişkilidir. ASM ile mevcut hava sahası bugün ve gelecekte hava trafik talebini karşılayabilecek nitelikte olmalıdır. Hava sahası yönetimi uzun vadeli planlama ve karar verme faaliyetidir. Hava sahasında yaşanan tıkanıklık ve darboğazların çözümü için yapılan araştırmalar ve analizler gelecekte oluşabilecek talebi karşılayabilecek nitelikte olmadır [63]. Hava sahaları insanlı ve insansız hava araçlarının uçuş faaliyetini gerçekleştirdiği alanlardır. Hava trafik hizmeti verilen en büyük sorumluluk alanı uçuş bilgi bölgesi (FIR: Flight Information Region)'dir. FIR içerisinde kontrollü, kontrolsüz ve özel kullanımlı hava sahalarını barındırır. Kontrollü hava sahaları; hava yolları, terminal kontrol alanları ve kontrol zonları içerir. Özel kullanımlı sahalar ise; tehlikeli sahalar, yasak sahalar, sınırlı kullanım sahalarını içermektedir. Aşağıdaki Şekil 3.3'de hava sahası sınıflandırılması gösterilmiştir.

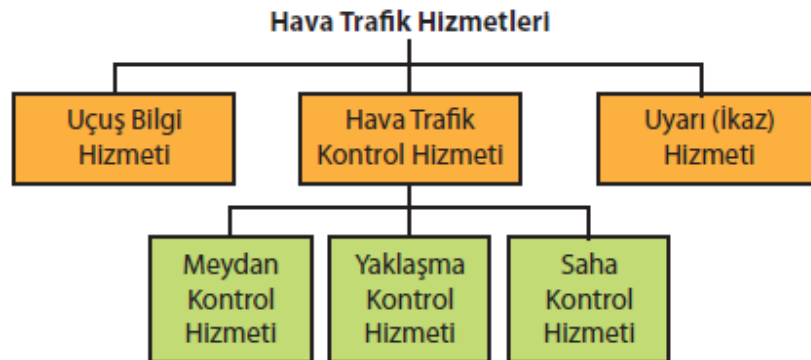


Şekil 3.3. Hava Sahası Sınıflandırılması [63].

ASM'nin amacı hava sahasını askeri-sivil hava sahası olarak değil bir bütün olarak sınıflandırarak hava sahasının etkin ve verimli kullanımını sağlamaktır. Bu anlamda hava sahasının esnek kullanım konsepti uygulanmaktadır.

3.3.3. Hava Trafik Hizmetleri

Hava trafik hizmetleri; hava araçlarına verilen hava trafik kontrol hizmeti, uçuş bilgi hizmeti ve uyarı-ikaz hizmetlerini kapsamaktadır. Hava trafik hizmetinin amacı hava araçlarının çarpışmasını engellemek, düzenli, hızlı ve emniyetli bir akış sağlamak, ihtiyaç durumunda arama kurtarma için ilgili kuruluşları uyarmak, ikazda bulunmak ve tavsiye bilgilerini aktarmaktır. Hava trafik kontrol hizmetleri ise meydan kontrol, yaklaşma kontrol ve saha kontrol hizmetlerini içermektedir. Hava trafik hizmetlerinin bölümleri Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Hava Trafik Hizmetleri Bölümleri [63].

3.4. İHA'ların Hava Trafik Yönetimine Entegrasyonu

İHA'lar sivil ve askeri birçok ihtiyaca insanlı uçaklara göre daha avantajlı ve düşük maliyetli olarak karşılık verebilmesi yönüyle çeşitli alanlardaki kullanımları son yıllarda ciddi oranlarda artış göstermiştir. İHA'lar yalnızca kayda değer verimlilik ve kullanım kolaylığı kazanımları sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda artan ekonomik bir öneme de sahiptir [15].

SESAR'a göre Avrupa'da eğlence amaçlı İHA sayısının 2016'da 1,5 milyondan 2035'e kadar yaklaşık 7 milyona çıkması, ticari ve kamu görevlerinde kullanılan İHA sayısının ise 10.000'den 395.000'e çıkması bekleniyor. Avrupa'da İHA'lar önümüzdeki yıllarda yılda yaklaşık 10 milyar Euro'yu aşan bir ekonomik etkiyi öngören tahminlerle ekonomik kalkınmanın itici gücü olarak görülüyor [41, 66].

BIS Research, tüm dünyadaki İHA piyasa değerinin 2018 yılında yaklaşık 25 milyar dolardan 2029 yılında 70 milyar dolara çıkacağını öngörmektedir. [15].

İHA teknolojisi geliştikçe, olgunlaştıkça ve tanımlanmış standartları ve düzenlemeleri karşılayabilir hale geldikçe, İHA operasyonları kargo ve muhtemelen yolcu taşımacılığını da içeren operasyonları kapsayacak şekilde daha da genişleyebilecektir [05].

EASA'a göre İHA'lar mevcut havacılık sistemine emniyetli ve orantılı bir şekilde entegre edilmelidir. Bu entegrasyon, yenilikçi ve rekabetçi bir Avrupa İHA endüstrisini teşvik ederek, özellikle KOBİ'ler için istihdam ve büyüme yaratmalıdır. Önerilen düzenleyici çerçeve, toplum tarafından kabul edilebilir olmalı İHA endüstrinin gelişmesi ve olgunlaşması için yeterli esneklik sunmalıdır [08].

Havacılık endüstrisi, uçak türleri, boyutları ve uçuş yetenekleri hızla gelişirken bu büyümeye hizmet verebilmek için hava trafik yönetimine yönelik daha modern ve ölçeklenebilir bir yaklaşıma ihtiyaç vardır [15].

İHA entegrasyonuna ATM sistemi açısından bakıldığında, İHA'ların hava trafiğine entegrasyonu kontrollü ve kontrolsüz hava sahalarında farklı şekilde gelişme göstermektedir. Kontrollü sahasında İHA'lar uçuş faaliyetini gerçekleştirdiği Uçuş Bilgi Bölgesi (Flight Information Region: FIR)'dan sorumlu Hava Seyrüsefer Hizmet Sağlayıcı (ANSP: Air Navigation Service Provider) tarafından verilen talimatlar ile yönetilmektedir. Kontrollü bir hava sahasında uçuş icra eden her İHA farklı yer, hava veya deniz kontrol istasyonlarından kurulan iletişim veya GNSS bağlantısı ile kontrol

edilmektedir. ICAO'a göre IFR operasyon gerçekleştiren bir İHA, kontrollü hava sahasındayken ATC ile iletişim kurmalı ve talimatlara uymalıdır [04].

İHA'ların kontrolsüz hava sahalarındaki uçuş faaliyetlerinde ise ANSP hava trafik kontrolü tarafından ayırma tavsiyesi veya talimat aktarımı söz konusu olmadığından tüm kontrol ve sorumluluk İHA pilotuna bırakılmıştır. Genellikle kontrolsüz hava sahasında İHA'lar arası ayırmalar İHA otonom sistemleri ile sağlanmaya çalışmaktadır. Özellikle kontrolsüz hava sahasında İHA sayılarının hızlı artış dikkat çekicidir. İHA'ların insanlı hava araçlarına göre işletme maliyetlerinin daha düşük olması yakın gelecekte İHA'ların daha yoğun kullanılacağı hatta çoğu insanlı hava araçlarının yerini alacağı ön görülmektedir. Bu çerçevede havacılık otoritelerinin çalışmaları ve literatürde yer alan akademik çalışmalar hız kazanmıştır.

İHA'ların kontrollü ve kontrolsüz hava sahalarında hava trafiğine entegrasyonu kapsamında ICAO, EASA, FAA, Eurocontrol ve diğer havacılık otoriteleri çeşitli çalışmalar yürütmektedir. Havacılık otoriteleri ve ülkeler genel anlamda İHA'ların mevcut havacılık kurallarına uyarak insanlı hava araçları gibi uçuş faaliyeti gerçekleştirmeleri yönündeki düşüncesi çerçevesinde entegrasyon çalışmalarını yürütmektedir.

Sivil havacılığın yüzleşmesi gereken en büyük zorluklardan biri İHA'ların ayrılmamış hava sahasına sistematik entegrasyonudur. Günümüzde birçok kuruluş, şirket, idare ve düzenleyici bu entegrasyonun geliştirilmesi için sürekli olarak baskı yapmaktadır [70]. İHA'ların daha da geliştirilmesi ve bunların ayrılmamış hava sahasına entegrasyonu yeni zorluklar doğuracaktır. Günümüzde tek bir İHA'nın, ayrılmamış hava sahasında insanlı uçaklarla uçuşması, uygun koordinasyon ve özel prosedürlerle gerçekleştirilebilirken, sayının artması ile koordinasyon daha karmaşık olacak ve ek önlemler gerektirecektir [08].

İHA sistemlerinin ayrılmamış hava sahasına entegrasyonu konusundaki kilit teknolojilerin standart hale gelmediğinden dolayı, otoriteler ve uzmanlar, bu entegrasyonun aşamalı ve evrimsel olması gerektiği 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 [68].

İHA'ların hava trafiğe entegrasyonu uzun süreli ve kademeli bir süreç olduğu havacılık otoriteleri tarafından ifade edilmektedir. Mevcut durumda özellikle İHA ve yer sistemleri kaynaklı problemler, havacılık emniyet ve verimliliği problemleri ve mevzuat kaynaklı problemler hava trafiğinin emniyetini, verimliliğini ve düzenli akışını çeşitli yönleriyle etkilemesi konusunda öne çıkmaktadır. Bu problemler için havacılık otoriteleri ve devletler tarafından ortak noktada buluşulması ve rasyonel çözümler sağlanması gerekmektedir.

İnsansız hava aracı teknolojisi hızla gelişirken ve her geçen gün yeni İHA'lar hava trafiğine dâhil olurken bu hava araçlarının yönetimi ve mevcut hava trafik sistemine entegrasyonu anlamında mevcut uygulamalarda yeteri kadar ilerleme kaydedilemediği, emniyetsiz ve verimsiz durumların olduğu yapılan akademik çalışmalarda ve raporlanan hava trafik hadiselerindeki artışlarda açık şekilde görülmektedir. İHA'ların hava trafiğine entegrasyon sürecinde ortaya çıkan problemler çözülmediğinde daha fazla emniyetsiz durumun oluşacağı ve gecikmelerin daha çok yaşandığı verimsiz bir hava sahası ortamı oluşacağı literatürdeki çalışmalarla desteklenmektedir. Bu durum İHA operasyonlarının hava trafiğine entegrasyonundaki problemlerin tespitine ve çözümüne yönelik olan bu çalışmanın motivasyon kaynağını oluşturmaktadır.

4. YÖNTEM

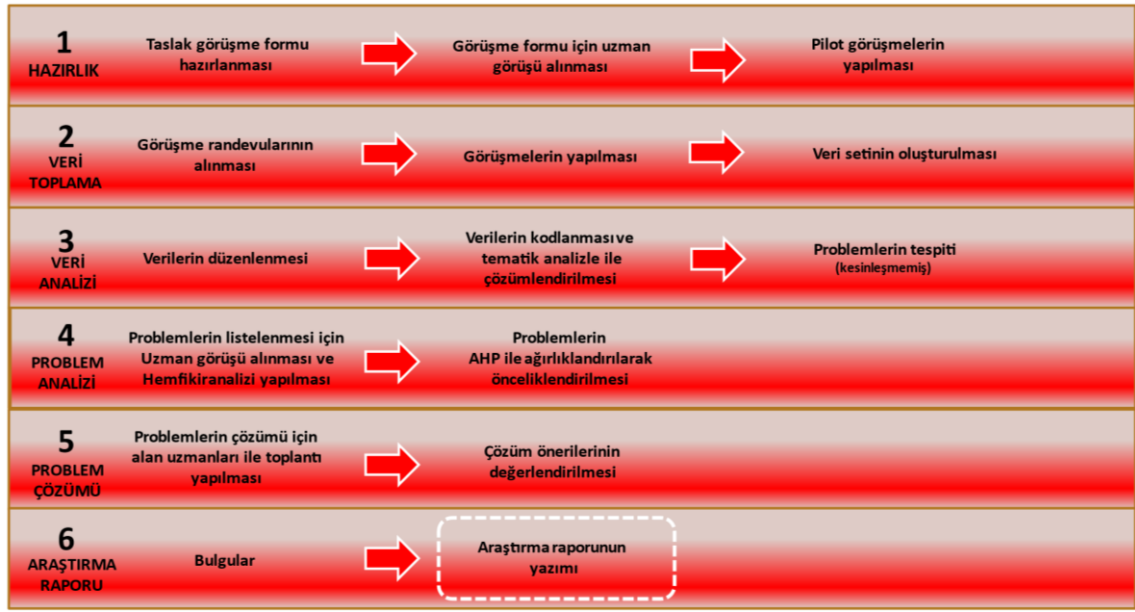
4.1. Araştırmanın Yöntemi

Araştırma, insansız hava araçlarının hava trafiğine entegrasyonundaki problemleri tespit etmek ve bu problemlere çözüm üretmek için konuyu nitel paradigma yaklaşımı ile ele almaktadır. Araştırmada nitel paradigmanın tercih edilmesinin sebebi ise problemi kendi ortamı ve kendi dinamiği içerisinde tespit etmek, ele almak ve çözüm üretebilmektir. Çalışmada, araştırma yaklaşımı olarak durum çalışması nitel araştırma deseni kullanılmıştır. Durum çalışmaları, bir konuyu, problemi veya meseleyi en iyi şekilde anlamak ve derinlemesine bir anlayış sunmak amacı ile yapılan çalışmalardır.

Araştırma kapsamında veriler, uzman görüşü alınarak ve pilot çalışma yapılarak oluşturulmuş yarı yapılandırılmış görüşme ve literatür taraması yoluyla toplanmıştır.

- Araştırma evreni çerçevesinde, İHA operasyonları için faaliyet gösteren 39 paydaş ile yarı yapılandırılmış görüşmeler yapılmıştır.
- Toplanan veriler NVivo programında Tümevarımsal (In Vivo Coding), Kavram Kodlama (Concept Coding) ve Eksensel Kodlama (Axial Coding) yöntemleri kullanılarak kodlama işlemleri yapılmış, Kod, Kategori ve Temalar ortaya konularak kod kitabı oluşturulmuştur. Veri seti, Tematik Analiz yöntemi ile çözümlendirilmiştir.
- Nihai problemlerin listelenmesi için Hemfikir analizi toplantısı yapılarak uzman görüşü alınmıştır.
- Tespit edilen problemler Analitik Hiyerarşi Süreci- AHP (Analytic Hierarchy Process) ile önem derecesine göre ağırlıklandırma işlemi yapılmıştır. Bu kapsamda her grubu temsil eden toplam 6 paydaş ile tekrar görüşme yapılarak ikili karşılaştırma tabloları ile paydaş görüşleri alınmıştır.
- Problemlerin çözümü için her paydaş grubunu temsil eden alan uzmanları bir araya getirilerek toplantı yapılmıştır. Toplantıda Nominal Grup Tekniği kullanılarak araştırmada tespit edilen problemlere alan uzmanları tarafından çözümler üretilmiştir.

Araştırma süreci ve basamakları aşağıda yer alan Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Araştırma süreci basamakları

Alan uzmanlarının çözüm önerileri değerlendirilmesi ve yorumlanması için yorumlayıcı bilim yaklaşımı kuramsal temelinden faydalanılmıştır. Yorumlayıcı yaklaşım insanı odak alan çalışmaların değerlendirilebilmesi için insana ait değerlerin, zaafların, deneyimlerin ve bunun gibi doğrudan gözlemlenemeyen, sayısal veri haline getirilmesi imkânsız olan durumların incelenmesi gerektiği düşüncesini savunmaktadır. Bu açıdan nitel araştırmalar insanların günlük yaşam pratiklerini, düşüncelerini, kararlarını, tecrübelerini, gerçeklere yükledikleri anlamları, kavrayışları ve süreçleri derinlemesine ortaya koymayı amaçlayan bir eylemdir [71].

Bu araştırma nitel araştırma yönteminden etkili bir şekilde faydalanabilmek açısından “çoklu teknik kullanımı” ile gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda araştırma süreci boyunca doküman incelemesi ve yarı yapılandırılmış görüşme tekniklerinden faydalanılmıştır.

4.1.1. Araştırma evreni ve örneklem

Araştırma evreni, Türkiye’de hava trafik sistemi içerisinde, Türkiye FIR (Flight Information Region) Uçuş Bilgi Bölgesinde yer alan kontrollü hava sahasında İHA uçuşları için faaliyet gösteren paydaşlardır. Araştırma evreninden örneklem seçiminde olasılığa dayalı olmayan Amaçsal Örneklem ve Karpotu Örneklem tekniği kullanılmıştır.

Katılımcılar

Tablo 4.2. *Katılımcılar ve veri toplama teknikleri*

S/N	KATILIMCI	VERİ TOPLAMA TEKNİĞİ
1	İHA pilotları	Görüşme
2	İnsanlı hava aracı pilotları	Görüşme
3	Hava trafik kontrolörleri	Görüşme

4.1.2. Verilerin toplanması

Verilerin toplanması sürecinde görüşmelerin bir kısmı yüz yüze, bir kısmı ise online görüşmeler ile gerçekleştirilmiştir.

4.1.2.1. Veri toplama araçları

Araştırmada, havacılık otoritelerinin İHA mevzuatlarından, ilgili alandaki literatürden faydalanılarak ve uzman görüşü alınarak hazırlanan ve pilot uygulama yapılarak düzenlenen yarı yapılandırılmış görüşme formu kullanılmıştır.

4.1.2.2. Görüşmeler

Araştırma kapsamında, Türkiye’de hava trafik sistemi içerisinde, İHA operasyonları için faaliyet gösteren 24 hava trafik kontrolörü, 7 insanlı uçak pilotu, 8 İHA pilotu olmak üzere toplam 39 paydaş ile Amaçsal ve Kartopu örnekleme tekniği kullanılarak görüşmeler yapılmıştır.

Yapılan görüşmelerde katılımcılara problem tespitine yönelik aşağıda yer alan sorular yöneltilmiştir.

- 1- İnsansız hava araçları operasyonlarının hava trafiğine entegrasyon süreci mevcut hava trafik sistemini nasıl etkilemiştir?
- 2- İnsansız hava araçları operasyonlarının hava trafiğine entegrasyon sürecinde problemler yaşanmakta mıdır?
 - a. Yaşanan problemleri nelerdir?
 - i. Bu problemin nedenleri yani kaynağı nelerdir?

- ii. Bu problemin sebep olabileceği potansiyel problemler nelerdir?
- iii. Bu konudaki deneyimleriniz nelerdir?
- iv. İlgili problemi ne sıklıkla yaşamaktasınız?

4.1.3. Verilerin analizi

Toplanan veriler NVivo programında Tümevarımsal (In Vivo Coding), Kavram Kodlama (Concept Coding) ve Eksensel Kodlama (Axial Coding) yöntemleri kullanılarak kodlama işlemleri yapılmış, Kod, Kategori ve Temalar ortaya konularak kod kitabı oluşturulmuştur. Veri seti, Tematik Analiz yöntemi ile çözümlendirilmiştir.

Tespit edilen problemler Analitik Hiyerarşi Süreci- AHP (Analytic Hierarchy Process) ile önem derecesine göre ağırlıklandırma işlemi yapılmıştır.

4.1.3.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)

Analitik Hiyerarşi Süreci- Analytic Hierarchy Process (AHP), karar verme sürecinde temel bir yaklaşımdır. Çeşitli kriterleri dikkate alarak değerlendirilen alternatifler arasından rasyonel ve sezgisel olarak en iyiyi seçebilmek için tasarlanmış karar verme yöntemidir [72, 73].

AHP, karmaşık yapıya sahip, birden fazla kriter içeren karar verme sürecinde yaygın olarak kullanılan, çok kriterli bir yöntemdir. Bu yöntem, karmaşık ve çok boyutlu olsa bile olguları ele alma ve analiz etme yeteneğine sahiptir. 1970'li yıllarda Saaty tarafından geliştirilen AHP unsurları, bir amaç, kriterler, alt kriterler ve alternatiflerden oluşan güçlü bir hiyerarşik yapı ile temsil edilmektedir. Her düzeydeki faktörlere ilişkin değerlendirmeler ikili karşılaştırmalar şeklinde yapılır. Hiyerarşiyi kullanmanın nedenlerinden biri, anlamlı bir karar vermek için kesinlikle gerekli olan her unsurun ayrı ayrı değerlendirilmesine olanak sağlamasıdır. Bir yargıyı güçlendirmek için en etkili yaklaşım, diğer unsurları veya özellikleri dikkate almaya gerek kalmadan her bir unsuru tek bir özellik için karşılaştırmaktır [74].

AHP'nin adımları aşağıdaki gibidir [74];

- Karar probleminin ve amacının belirlenmesi,
- Etkileyen faktörlerin yukarıdan aşağıya doğru her seviye için hiyerarşik olarak belirlenmesi,

- Her hiyerarşi seviyesi için faktörler arası ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması,
- Her matris için faktöriyel özdeğerler aracılığıyla ağırlıkların göreceli önemlerinin belirlenmesi,
- Tutarlılık analizinin yapılmasıdır.

AHP yönteminde faktörlerin ikili karşılaştırmalı matrislerini oluşturmak için Saaty tarafından önerilen 9 puanlık ölçek kullanılmaktadır. Bu ölçekte alınan puanlara göre bir faktör diğer bir faktörle eşit öneme sahipse 1, faktör diğerine göre mutlak öneme sahipse 9 atanır [74].

AHP yönteminin algoritmik adımları aşağıda yer almaktadır.

Adım 1: Problem tanımlanır.

Karar verme süreci için gerekli kriterler belirlenerek, bu kriterlerin öncelikleri tespit edilir.

Adım 2: Hiyerarşik yapı oluşturulur.

Yapıda en üst seviyesinde amaç yer alır. Amacın alt seviyesinde temel ve alt kriterler yer alır.

Adım 3: İkili karşılaştırmalar matrisi oluşturulur.

1-9 arasında yer alan değerler kullanılarak seçeneklerin birbirleri ile kıyaslandığı matrisler oluşturulur.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} = 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} = 1/a_{1n} & a_{n2} = 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Adım 4: İkili karşılaştırma matrisleri normalize edilir.

Matriste yer alan her bir değer kendi sütunu toplamına bölünerek, normalize edilmesi sağlanır. Normalize edilmiş matrisin her bir sütununun toplamın 1 değerini alır.

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} , i, j = 1, 2, \dots, n$$

Adım 5: Öncelik vektörünün hesaplaması yapılır.

Normalize işlemi yapılmış her bir matrisin satır toplamı, matrisin boyutuna bölünerek ortalaması alınır. Bulunan bu değerler önem ağırlıklarıdır. Bu ağırlıklar, öncelik vektörünü oluşturmaktadır.

$$w_i = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{j=1}^n a_{ij} , \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

Adım 6: Tutarlılık oranı hesaplanır.

Tüm seçeneklerin karşılaştırmalarının yapılması ve önceliklerinin hesaplanması sonrası karşılaştırma matrislerinin tutarlılıkları Tutarlılık indeksi (Consistency Index-CI) kullanılarak kontrol edilir.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i} \right)$$

$$A \times W = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} = 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} = 1/a_{1n} & a_{n2} = 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

$$d_i = \frac{x_i}{w_i} , \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$$

Tutarlılığın hesaplanabilmesi için “Rassal Indeks (Random Index-RI)” değerinin bilinmesi gerekir. RI değerleri Tablo 4.3’de yer almaktadır.

Tablo 4.3. Random Index (RI) değerleri [73]

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

CI ve RI değerleri dikkate alınarak “Tutarlılık Oranı (Consistency Ratio- CR)” hesaplaması yapılır.

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

CR değerinin 0.10’dan küçük çıkması durumunda matrisin tutarlı olduğu anlaşılr.

Literatürde araştırma kapsamında AHP’yi kullanan öne çıkan çalışmalar

- Petrovic ve ark. [75] İHA’ların hava trafik kontrolünü olumsuz etkileyebilecek durumları önleyebilmek amacıyla hava trafik radarlarının konumlarını uzman görüşü ile belirlenen kriterlere göre önceliklendirmek için AHP’den faydalanmıştır.
- Castelli ve ark. [76] Havayolu işletmeleri, havaalanı işletmeleri ve Air Navigation Service Provider (ANSP) ler tarafından uçuş faaliyetinden önce uçuşun planlama ve icra safhalarında uçuş verimliliği için bağımsız kriterler belirlenmiştir. Bu kriterler birbirleri ile karşılaştırılarak uzmanlar tarafından ağırlıkları AHP ile belirlenmiş ve tüm paydaşları için en iyi alternatifler bulunmuştur.
- Weijun ve ark. [77] hava trafik yönetim sisteminin hizmet kalitesini iyileştirmek için hava trafik hizmet sürecinin kalitesini etkileyen faktörleri insan, makine, çevre ve yönetim faktörleri yönüyle ele almıştır. Hava trafik kontrol sistemi emniyet performansı değerlendirme göstergeleri ekipman faktörleri, hizmet etkinliği, hizmet verimliliği, iş yükü ve meteorolojik faktörler olarak alt bölümlere ayrılmış faktörlerin hava trafik hizmet kalitesindeki indeks ağırlıkları belirlemek için AHP kullanılmıştır.
- Akyurt ve ark. [78] Türkiye’de faaliyet gösteren bir havayolu kargo firmasını ele alınmıştır. Kargo uçağı seçim kriterlerini belirlemek için literatür incelemesi ile 22 başlık oluşturulmuştur. Bu başlıklar için uzman görüşü alınmış 3 ana kriter ve 16 alt kritere ayrılmıştır. Kargo uçak seçiminde kullanılacak olan kriterlerin önem ağırlıklarının belirlenmesi için AHP kullanılmıştır.
- Ancheta ve ark. [79] olumsuz hava koşulları gibi çeşitli faktörler nedeniyle hava sahasının kısıtlı olduğu durumlarda kalkış gecikmelerini en aza indirmek için, en iyi seçeneği seçme problemi için AHP yöntemini kullanarak hesaplanan ağırlıklara dayalı olarak alternatiflerin önem sıralaması yapılmıştır.

- Sah ve ark. [80] Lojistik sektöründe İHA'ların sorunsuz bir şekilde kullanılmasının önündeki potansiyel engeller araştırmıştır. Başlangıçta, kapsamlı literatür taraması ve uzman görüşü alınarak Fuzzy delphi method (FDM) ile 34 engel belirlenmiş, devamında ise belirlenen tüm engeller AHP tekniği ile engellerin kritikliklerine göre önceliklendirilmesi yapılmıştır.
- Gravio, ve ark. [81] hava trafik yönetimi emniyet performansını değerlendirmek ve emniyet risklerini ortaya koymak amacıyla raporlanan emniyetsiz olayları ele almış, emniyetsiz olayları operasyonel emniyet performansına etkisini AHP ile ağırlıklandırarak operasyonel emniyet risklerini derecelendirmiştir.
- Özdemir ve Sağır [82] hava trafik kontrol bölümüne öğrenci seçim süreci mülakat sınavının AHP ile desteklenmesi amacıyla araştırma yapılmıştır. Çalışmada kriterlerin ağırlıklandırılması uzman görüşü ile belirlenmiştir. Mevcut ve önerilen sıralamalar karşılaştırılarak adaylar AHP'ye göre sıralanmıştır.
- Ergün ve Bülbül [82], havalimanı güvenlik hizmetlerinin optimum düzeyde sunulmasına yardımcı olmak için güvenlik hizmetlerinde kilit rol oynayan faktörlerin göreceli önem derecelerini AHP çok kriterli karar verme tekniğini kullanarak belirlemeye çalışmıştır. Çalışmada belirlenen ana faktörler ve alt faktörler uzman görüşü ve literatür incelenmesi ile oluşturulmuştur. Havalimanının çeşitli kademelerinde görev yapan uygulayıcı ve yöneticilerin yer aldığı güvenlik personeli katılımcı olarak seçilmiştir. Sonuçlar havacılık literatüründeki diğer araştırma bulgularıyla da desteklenen insan kaynakları faktörünün diğer faktörlere göre daha önemli olduğu görülmüştür.

AHP'nin çalışma ile ilişkisi

Çalışmada, belirtilen araştırma yöntemi ile tespit edilen problemlerin önem derecesine göre ağırlıklandırılması için AHP çok kriterli karar verme yönteminden faydalanılmıştır.

4.1.3.2. Nominal Grup Görüşmesi

Nominal grup tekniği; bir grubun belirli bir konudaki fikirlerini birbirinden bağımsız olarak ortaya koymak ve bu fikirleri değerlendirerek ortak paydada çözümler üretmek ve fikir birliği sağlayabilmek amacıyla kullanılan bir yöntemdir.

Nominal grup görüşmeleri, grubun tüm üyelerinin fikirlerini ortaya çıkarmak ve nihai karar verme sürecinde uzlaşmayı sağlamak için yapılmaktadır [69].

Nominal Grup Tekniğinin aşamaları;

Adım 1 (Fikir üretme): katılımcılardan fikir üretilmeye veya çözüm sağlanmaya çalışılan konu hakkında kendi düşüncelerini kartlara yazmaları istenir,

Öncelikle katılımcılara bir konu veya sorun verilir ve buna ilişkin düşüncelerini, önerilerini belli bir süre içinde sessizce anahtar sözcük biçiminde kartlara yazmaları istenir,

Adım 2: Katılımcılar tarafından kartlara yazılan fikirler panolara asılır,

Adım 3: Katılımcılar üretilen tüm fikirleri görerek bu fikirlerin üstünden tekrar geçer, fikir üretme süreci gerektiği kadar tekrarlanır,

Adım 4 (Yorumlama ve açıklama): Fikir üretme aşaması bittiğinde her fikir tüm detaylarıyla yorumlanır, açıklanır, değerlendirilir ve ortak özellikleri belirtilir.

Adım 5: Fikirler listelenir ve kaydedilir,

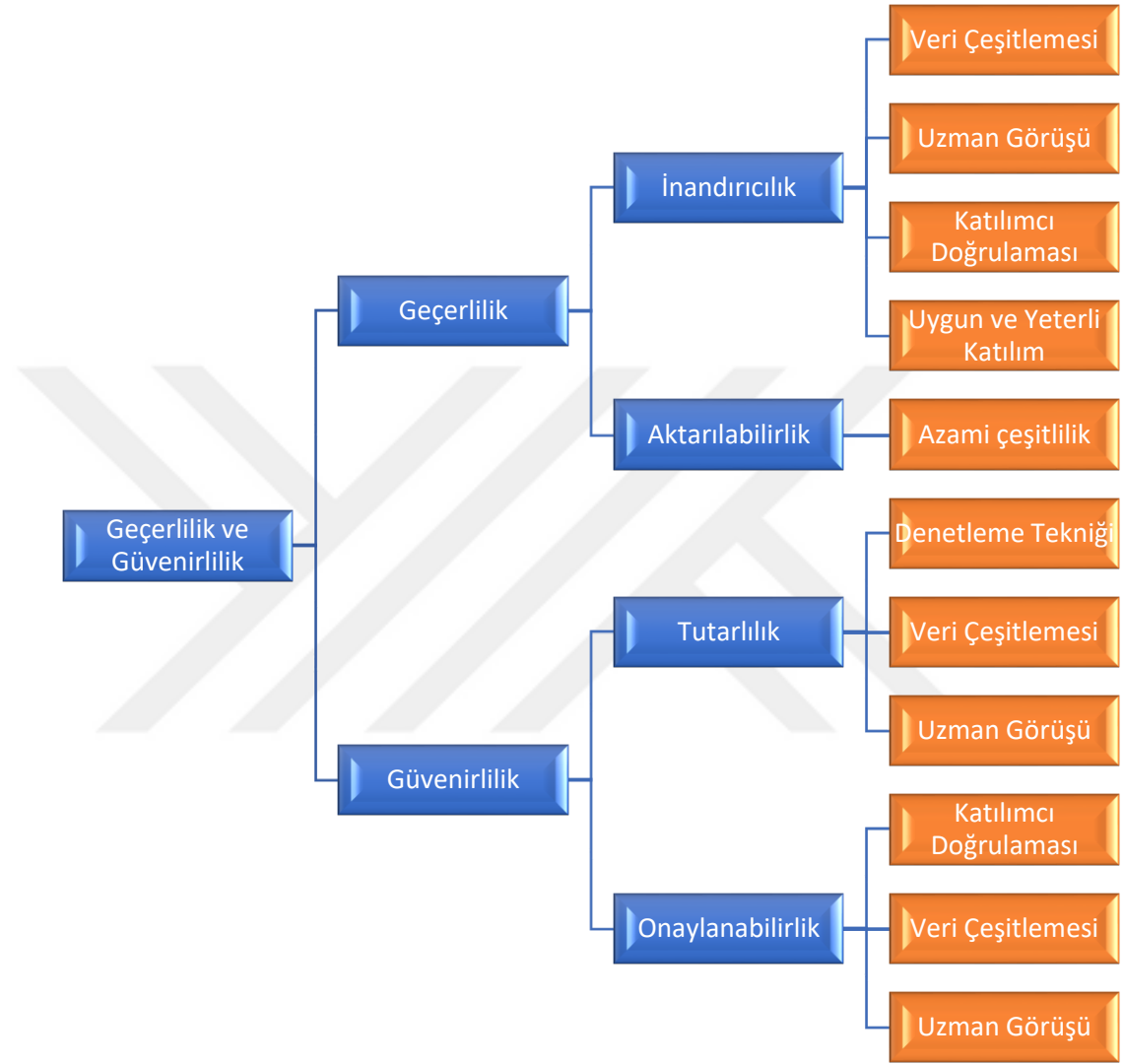
Adım 6 (Son tartışma): Bu adımda sonuçlar üzerinde tartışma yapılır ve tartışma sonucunda uzlaşmaya varılmaya çalışılır.

Toplantı katılımcılarına aşağıda yer alan 7 problem (alt tema) tek tek açıklanmış ve katılımcılardan ilgili problemlere Nominal grup tekniği adımlarını takip ederek çözüm önerisinde bulunması istenmiştir.

1. P2.1 Emniyetsiz uçuş operasyonları
2. P1.2 Standardizasyon problemleri
3. P3.1 İHA donanımsal ve yazılımsal problemler
4. P1.1 İHA personeli çalışma koşulları
5. P3.2 Yer sistemleri problemleri
6. P2.2 Koordinasyon problemleri
7. P2.3 Uçuş gecikmeleri

4.2. Geçerlilik ve Güvenirlilik

Araştırma sürecinin her aşamasında araştırmanın geçerliliği ve güvenirliliği için Şekil 4.2’de yer alan stratejilerden yararlanılmıştır [83].



Şekil 4.2. Geçerlilik ve güvenirlilik stratejileri

a- Veri Çeşitlemesi

Tespit edilen bulguların doğruluk ve gerçekliğinin kontrolü için çoklu veri (görüşme ve doküman incelemesi) toplama yöntemi kullanılmıştır. Çoklu veri toplama stratejisi ile verilerin tutarlılığının sağlanması ve daha nitelikli veri toplanması hedeflenmiştir.

b- Katılımcı Doğrulaması

Toplanan verilerin ayrıştırılıp, sınıflandırılması, kategorize edilmesi ve yorumlama işleminden sonra verilerin toplandığı katılımcılar içinde yer alan odak grup ile çıkarımlar ve yorumlar paylaşılarak doğrulama işlemi yapılmıştır. Katılımcı doğrulaması araştırmacının elde ettiği verileri yanlış yorumlamasından kaçınmak ve daha objektif olabilmek için yapılmıştır.

c- Uygun ve Yeterli Katılım

Veri toplama aşamasında olasılığa dayalı olmayan yöntemler (Amaçsal Örneklem ve Karpotu Örneklem) ile seçilen katılımcılar, ilgili sürecinin gözlemlenmesi sonucu İHA operasyonu ile ilişki düzeyi önceliği dikkate alınarak araştırmada kullanılan yöntemler ile belirlenmiştir. Araştırmada sahada yapılan gözlem sonucu İHA operasyonları ile 1. Derece ilişki her paydaş grubun temsilcisine ulaşılmıştır.

d- Azami Çeşitlilik

Araştırma bulgularının çeşitlilik sağlaması için paydaş grupları içerisinde farklı birimlerde çalışan katılımcılar tercih edilmiştir.

e- Uzman Görüşü

Araştırma sürecinde tercih edilen yöntemlerin çalışmaya uygunluğu ve bulguların doğrulanması konusunda alan uzmanları ile görüşmeler yapılmıştır.

f- Denetleme Tekniği

Araştırma sürecinde alınan kararlar, takip edilen adımlar ve tüm işlemler kayıt altına alınmış ve belirli zamanlarda geriye dönük kontroller yapılmıştır.

Tüm bu stratejilerle beraber araştırmacı, araştırma sürecinde karşılaştığı tüm karmaşık durumlarla ve kolayca açılanamayan kalıplarla baş edebilmek ve gerçeği olabildiğince yansıtabilmek için araştırmanın doğal ortamında uzun süreli bulunmuş, gözlemler yapmış, alan uzmanları ve paydaşların görüşlerini alarak, veri kaynaklarını karşılaştırmıştır. İlave olarak çalışmanın veri analizi aşamasında araştırmacı verileri kodlama yaparken öznel davranıştan kaçınmak için alanda uzman farklı kodlayıcılar ile fikir birliği yapılarak veriler kodlanmıştır.

5. BULGULAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

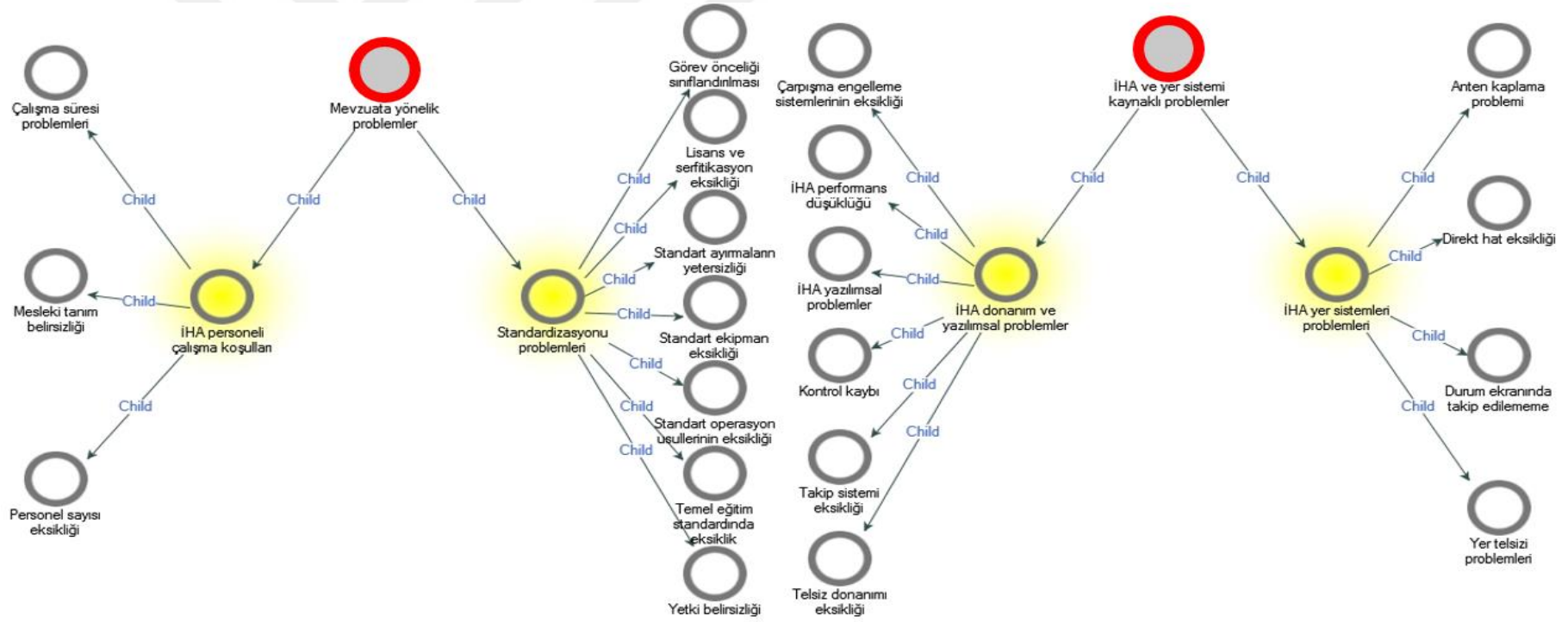
5.1. Bulgular

İHA operasyonlarının hava trafiğine entegrasyonundaki potansiyel problemlerin tespiti ve çözümüne yönelik bir araştırma yapılmıştır. Araştırmada aşağıda yer alan sorulara yanıt aranmıştır.

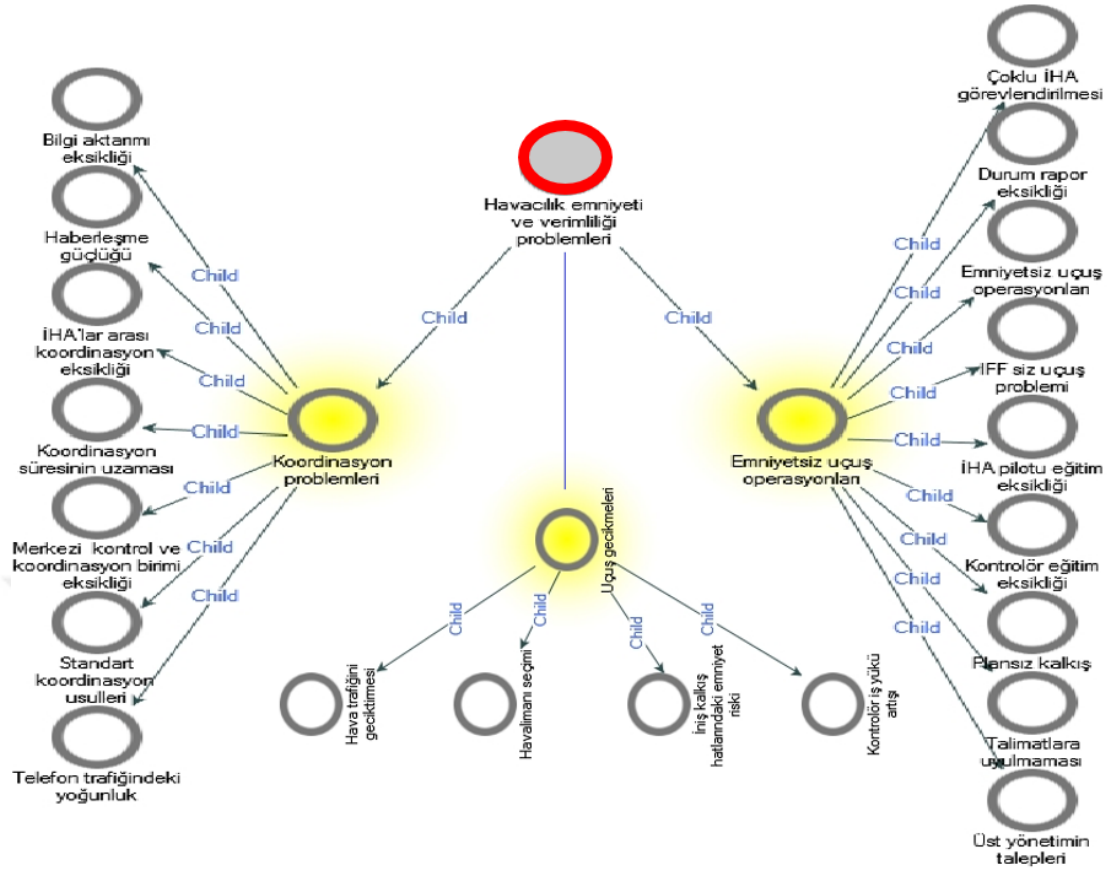
- İHA operasyonlarının hava trafiğine entegrasyon süreci paydaşları nasıl etkilemiştir?
- İHA operasyonlarının hava trafiğine entegrasyonu sürecinde problemler yaşanmakta mıdır? Yaşanmakta ise bu problemler nelerdir?
 - i. Problemin nedenleri (kaynağı) nelerdir?
 - ii. Problemin sebep olabileceği potansiyel problemler nelerdir?

Araştırma evreni çerçevesinde paydaşlar ile yapılan görüşmeler ile toplanan veriler NVivo programında Tümevarımsal (In Vivo Coding), Kavram Kodlama (Concept Coding) ve Eksensel Kodlama (Axial Coding) yöntemleri kullanılarak kodlama işlemleri yapılmış, Veri seti, Tematik Analiz yöntemi ile çözümlendirilmiştir. Nihai problemlerin listelenmesi için Hemfikir analizi toplantısı yapılarak uzman görüşü alınmıştır. Tespit edilen problemler Analitik Hiyerarşi Süreci- AHP (Analytic Hierarchy Process) ile önem derecesine göre ağırlıklandırma işlemi yapılmıştır. Araştırma süreci sonrası ortaya çıkan bulgular ilerleyen bölümlerde yer almaktadır.

Çalışmanın kod kitabının görseli Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Kod kitabı-1



Şekil 5.1. Kod kitabı-2

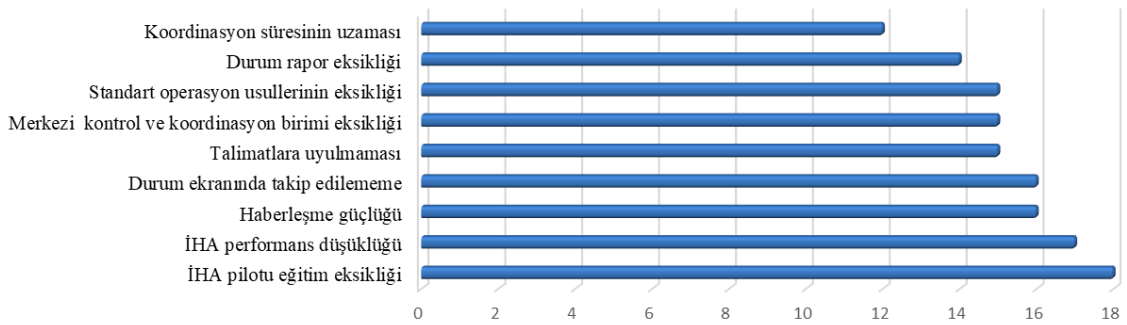
5.1.1. Hava trafik kontrolörü görüşmelerine yönelik bulgular

Araştırma kapsamında, Türkiye’de hava trafik sistemi içerisinde, İHA operasyonları için faaliyet gösteren 24 hava trafik kontrolörü ile Amaçsal ve Kartopu örnekleme tekniği kullanılarak görüşmeler yapılmıştır. Görüşme sonrası elde edilen veri seti araştırma yöntemi süreci ve basamaklarından geçtikten sonra aşağıda yer alan bulgulara ulaşılmıştır. Tablo 5.1’de hava trafik kontrolörleri ile yapılan görüşmeler sonucunda ortaya çıkan problemlerin araştırma kod kitabına göre sıralaması ve yüzdesel dağılımı gösterilmektedir.

Tablo 5.1. Hava trafik kontrolörleri görüşmelerine göre problemlerin yüzdesel dağılımı

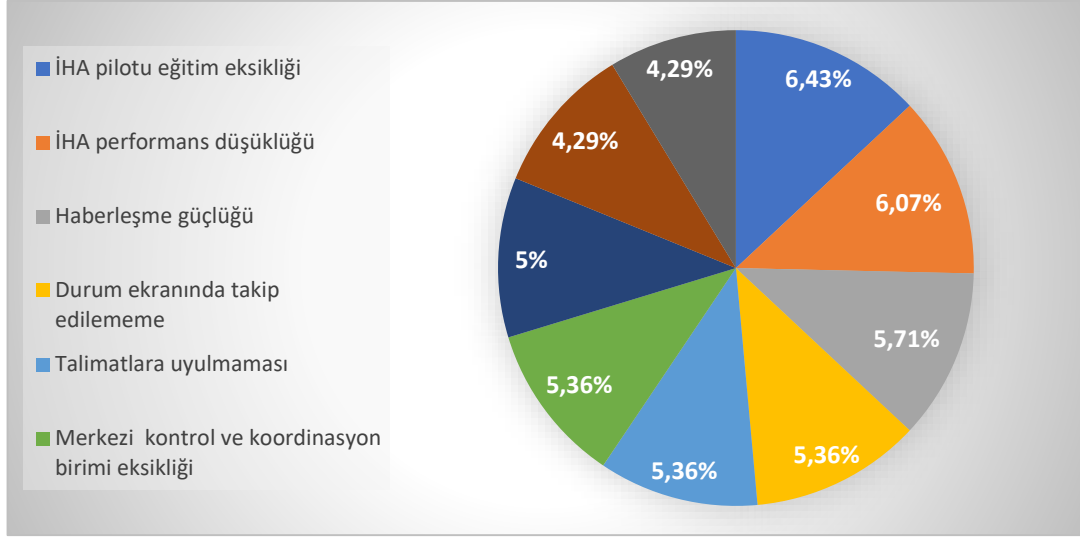
1	İHA pilotu eğitim eksikliği	6,43%	21	Üst yönetimin talepleri	1,79%
2	İHA performans düşüklüğü	6,07%	22	Standart ayırmaların yetersizliği	1,79%
3	Haberleşme güçlüğü	5,71%	23	Çoklu İHA görevlendirilmesi	1,43%
4	Durum ekranında takip edilememe	5,71%	24	Kontrolör eğitim eksikliği	1,43%
5	Talimatlara uyulmaması	5,36%	25	İHA'lar arası koordinasyon eksikliği	1,43%
6	Merkezi kontrol ve koordinasyon birimi eksikliği	5,36%	26	Telefon trafiğindeki yoğunluk	1,43%
7	Standart operasyon usullerinin eksikliği	5,36%	27	Lisans ve sertifikasyon eksikliği	1,07%
8	Durum rapor eksikliği	5,00%	28	Emniyetsiz uçuş operasyonları	0,71%
9	Koordinasyon süresinin uzaması	4,29%	29	IFF siz uçuş problemi	0,71%
10	İniş kalkış hatlarındaki emniyet riski	4,29%	30	Takip sistemi eksikliği	0,71%
11	Kontrol kaybı	3,93%	31	Anten kaplama problemi	0,71%
12	Görev önceliği sınıflandırılması	3,57%	32	Yer telsizi problemleri	0,71%
13	Bilgi aktarımı eksikliği	3,21%	33	Standart ekipman eksikliği	0,71%
14	Kontrolör iş yükü artışı	3,21%	34	Temel eğitim standardında eksiklik	0,71%
15	Telsiz donanımı eksikliği	3,21%	35	İHA yazılımsal problemler	0,36%
16	Standart koordinasyon usulleri	2,86%	36	Yetki belirsizliği	0,36%
17	Hava trafiğini geciktirmesi	2,86%	37	Çarpışma engelleme sistemlerinin eksikliği	0,00%
18	Havalimanı seçimi	2,86%	38	Çalışma süresi problemleri	0,00%
19	Plansız kalkış	2,50%	39	Mesleki tanım belirsizliği	0,00%
20	Direkt hat eksikliği	2,14%	40	Personel sayısı eksikliği	0,00%

Hava trafik kontrolörlerine göre İHA pilotu eğitim eksikliği 6,43% ile ilk sırada, İHA performans düşüklüğü 6,07% ile ikinci sırada, haberleşme güçlüğü problemi ise 5,71% ile üçüncü sırada İHA'ların hava trafiğine entegrasyonundaki en çok bahsedilen problemlerdir. Aşağıda yer alan Şekil 5.2'de hava trafik kontrolörlerine göre ilk 10 problemin dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Hava trafik kontrolörlerine göre ilk 10 problemin dağılımı

Aşağıda yer alan Şekil 5.3'de hava trafik kontrolörlerine göre ilk 10 problemin kod kitabı içerisinde yer alan yüzdesel payı gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Hava trafik kontrolörlerine göre ilk 10 problemin yüzdesel dağılımı

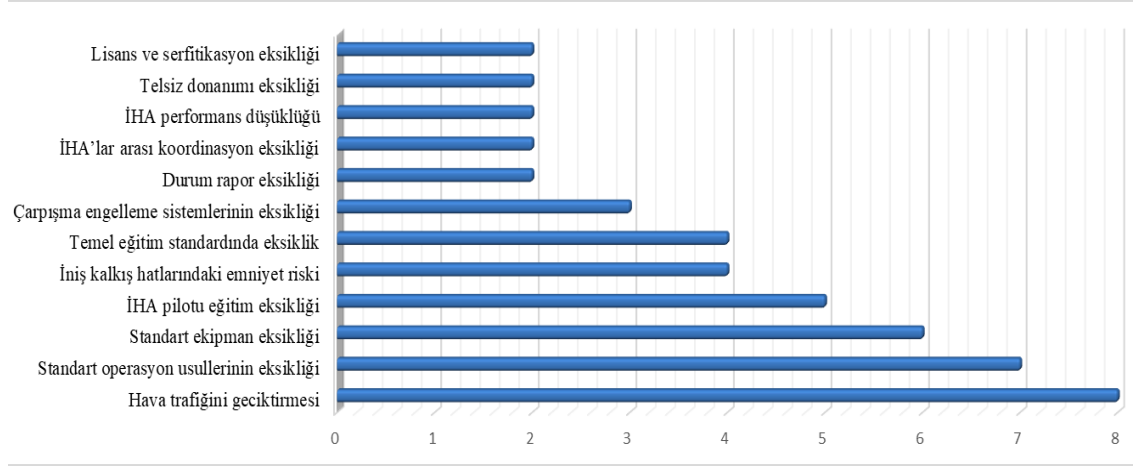
5.1.2. İnsanlı hava aracı pilotu görüşmelerine yönelik bulgular

Araştırma kapsamında, Türkiye’de hava trafik sistemi içerisinde faaliyet gösteren 7 insanlı hava aracı pilotu ile Amaçsal ve Kartopu örnekleme tekniği kullanılarak görüşmeler yapılmıştır. Görüşme sonrası elde edilen veri seti araştırma yöntemi süreci ve basamaklarından geçtikten sonra aşağıda yer alan bulgulara ulaşılmıştır. Tablo 5.2’de insanlı hava aracı pilotu ile yapılan görüşmeler sonucunda ortaya çıkan problemlerin araştırma kod kitabına göre sıralaması ve yüzdesel dağılımı gösterilmektedir.

Tablo 5.2. İnsanlı hava aracı pilotu görüşmelerine göre problemlerin yüzdesel dağılımı

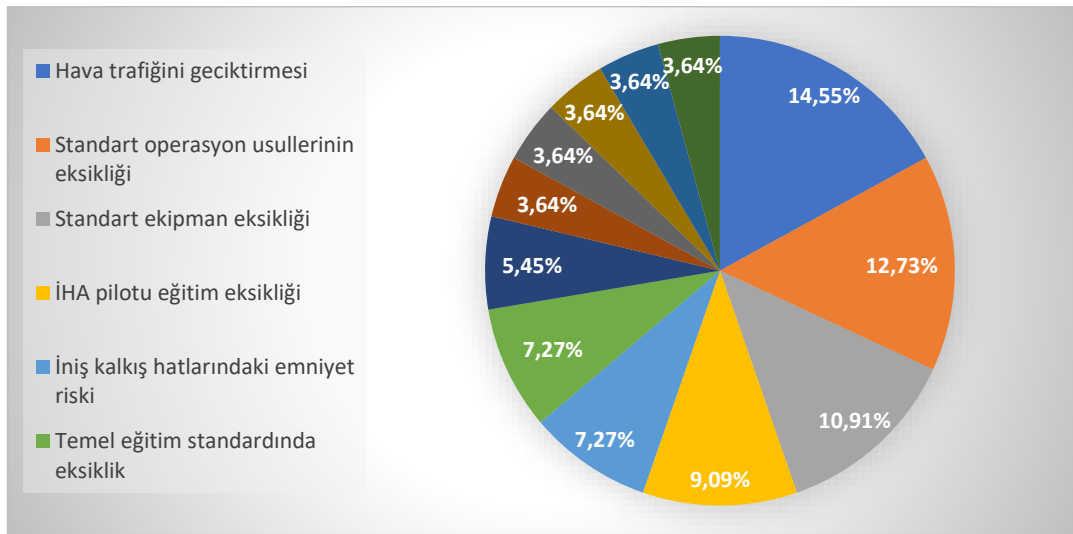
1 Hava trafiğini geciktirmesi	14,55%	21 IFF siz uçuş problemi	0,00%
2 Standart operasyon usullerinin eksikliği	12,73%	22 Kontrolör eğitim eksikliği	0,00%
3 Standart ekipman eksikliği	10,91%	23 Plansız kalkış	0,00%
4 İHA pilotu eğitim eksikliği	9,09%	24 Talimatlara uyulmaması	0,00%
5 İniş kalkış hatlarındaki emniyet riski	7,27%	25 Bilgi aktarımı eksikliği	0,00%
6 Temel eğitim standardında eksiklik	7,27%	26 Koordinasyon süresinin uzaması	0,00%
7 Çarpışma engelleme sistemlerinin eksikliği	5,45%	27 Merkezi kontrol ve koordinasyon birimi eksikliği	0,00%
8 Durum rapor eksikliği	3,64%	28 Standart koordinasyon usulleri	0,00%
9 İHA’lar arası koordinasyon eksikliği	3,64%	29 Telefon trafiğindeki yoğunluk	0,00%
10 İHA performans düşüklüğü	3,64%	30 Havalimanı seçimi	0,00%
11 Telsiz donanımı eksikliği	3,64%	31 Kontrolör iş yükü artışı	0,00%
12 Lisans ve sertifikasyon eksikliği	3,64%	32 İHA yazılımsal problemler	0,00%
13 Çoklu İHA görevlendirilmesi	1,82%	33 Takip sistemi eksikliği	0,00%
14 Emniyetsiz uçuş operasyonları	1,82%	34 Anten kaplama problemi	0,00%
15 Üst yönetimin talepleri	1,82%	35 Direkt hat eksikliği	0,00%
16 Haberleşme güçlüğü	1,82%	36 Yer telsizi problemleri	0,00%
17 Kontrol kaybı	1,82%	37 Çalışma süresi problemleri	0,00%
18 Durum ekranında takip edilememe	1,82%	38 Personel sayısı eksikliği	0,00%
19 Mesleki tanım belirsizliği	1,82%	39 Standart ayırmaların yetersizliği	0,00%
20 Görev önceliği sınıflandırılması	1,82%	40 Yetki belirsizliği	0,00%

İnsanlı hava aracı pilotlarına göre hava trafiğini geciktirmesi 14,55% ile ilk sırada, 12,73% ile standart operasyon usullerinin eksikliği ikinci sırada, Standart ekipman eksikliği problemi ise 10,91% ile üçüncü sırada İHA'ların hava trafiğine entegrasyonundaki en çok bahsedilen problemlerdir. Aşağıda yer alan Şekil 5.4'de insanlı hava aracı pilotlarına göre ilk 10 problemin dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 5.4. İnsanlı havaaracı pilotlarına göre ilk 10 problemin dağılımı

Aşağıda yer alan Şekil 5.5'de insanlı uçak pilotlarına göre ilk 10 problemin kod kitabı içerisinde yer alan yüzdesel payı gösterilmiştir.



Şekil 5.5. İnsanlı uçak pilotlarına göre ilk 10 problemin yüzdesel dağılımı

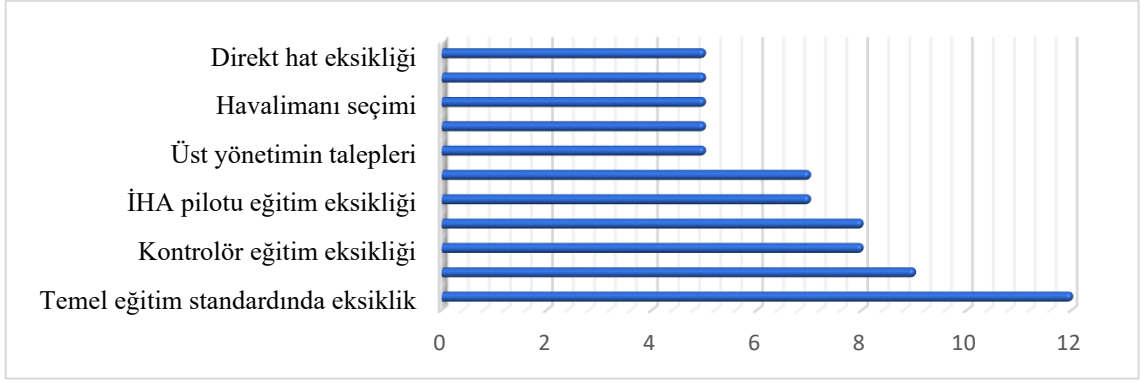
5.1.3. İHA pilotu görüşmelerine yönelik bulgular

Araştırma kapsamında, Türkiye’de hava trafik sistemi içerisinde faaliyet gösteren 8 İHA pilotu ile Amaçsal ve Kartopu örnekleme tekniği kullanılarak görüşmeler yapılmıştır. Görüşme sonrası elde edilen veri seti araştırma yöntemi süreci ve basamaklarından geçtikten sonra aşağıda yer alan bulgulara ulaşılmıştır. Tablo 5.3’de İHA pilotu ile yapılan görüşmeler sonucunda ortaya çıkan problemlerin araştırma kod kitabına göre sıralaması ve yüzdesel dağılımı gösterilmektedir.

Tablo 5.3. İHA pilotu görüşmelerine göre problemlerin yüzdesel dağılımı

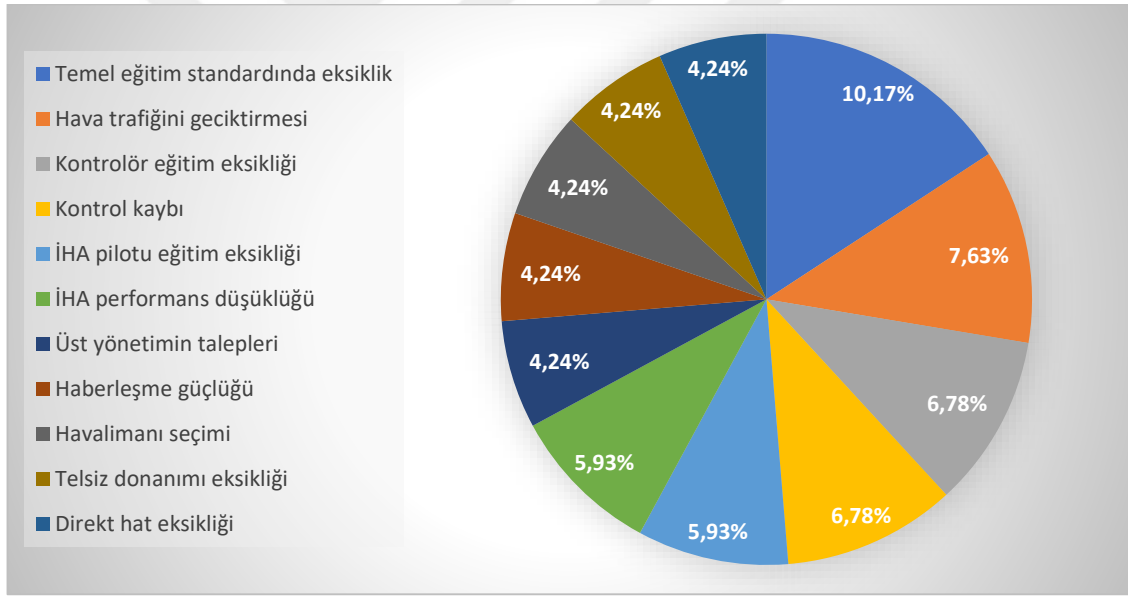
1	Temel eğitim standardında eksiklik	10,17%	21	Anten kaplama problemi	1,69%
2	Hava trafiğini geciktirmesi	7,63%	22	Çalışma süresi problemleri	1,69%
3	Kontrolör eğitim eksikliği	6,78%	23	Çoklu İHA görevlendirilmesi	0,85%
4	Kontrol kaybı	6,78%	24	Durum rapor eksikliği	0,85%
5	İHA pilotu eğitim eksikliği	5,93%	25	IFF siz uçuş problemi	0,85%
6	İHA performans düşüklüğü	5,93%	26	Bilgi aktarımı eksikliği	0,85%
7	Üst yönetimin talepleri	4,24%	27	İHA’lar arası koordinasyon eksikliği	0,85%
8	Haberleşme güçlüğü	4,24%	28	Koordinasyon süresinin uzaması	0,85%
9	Havalimanı seçimi	4,24%	29	Standart koordinasyon usulleri	0,85%
10	Telsiz donanımı eksikliği	4,24%	30	Kontrolör iş yükü artışı	0,85%
11	Direkt hat eksikliği	4,24%	31	Takip sistemi eksikliği	0,85%
12	Standart ekipman eksikliği	4,24%	32	Durum ekranında takip edilememe	0,85%
13	Merkezi kontrol ve koordinasyon birimi eksikliği	3,39%	33	Yer telsizi problemleri	0,85%
14	Mesleki tanım belirsizliği	2,54%	34	Görev önceliği sınıflandırılması	0,85%
15	Personel sayısı eksikliği	2,54%	35	Plansız kalkış	0,00%
16	Standart operasyon usullerinin eksikliği	2,54%	36	Talimatlara uyulmaması	0,00%
17	Emniyetsiz uçuş problemi	1,69%	37	Telefon trafiğindeki yoğunluk	0,00%
18	İniş kalkış hatlarındaki emniyet riski	1,69%	38	Lisans ve serifikasyon eksikliği	0,00%
19	Çarpışma engelleme sistemlerinin eksikliği	1,69%	39	Standart ayırmaların yetersizliği	0,00%
20	İHA yazılımsal problemler	1,69%	40	Yetki belirsizliği	0,00%

İHA pilotlarına göre temel eğitim standardında eksiklik 10,17% ile ilk sırada, 7,63% ile Hava trafiğini geciktirmesi ikinci sırada, Kontrolör eğitim eksikliği problemi ise 6,78% ile üçüncü sırada İHA’ların hava trafiğine entegrasyonundaki en çok bahsedilen problemlerdir. Aşağıda yer alan Şekil 5.6’da İHA pilotlarına göre ilk 10 problemin dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 5.6. İHA pilotlarına göre ilk 10 problemin dağılımı

Aşağıda yer alan Şekil 5.7’de İHA pilotlarına göre ilk 10 problemin kod kitabı içerisinde yer alan yüzdesel payı gösterilmiştir.



Şekil 5.7. İHA pilotlarına göre ilk 10 problemin yüzdesel dağılımı

5.1.4. Tüm paydaş görüşmelerine yönelik bulgular

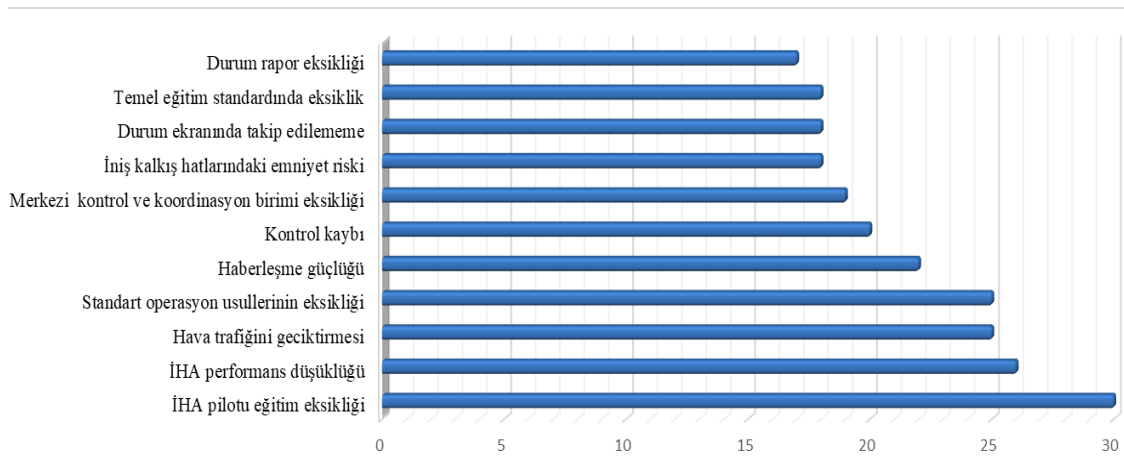
Araştırma kapmasında, Türkiye’de hava trafik sistemi içerisinde, İHA operasyonları için faaliyet gösteren 24 hava trafik kontrolörü, 7 insanlı uçak pilotu, 8 İHA pilotu olmak üzere toplam 39 paydaş ile Amaçsal ve Kartopu örnekleme tekniği kullanılarak görüşmeler yapılmıştır. Görüşme sonrası elde edilen veri seti araştırma yöntemi süreci ve basamaklarından geçtikten sonra aşağıda yer alan bulgulara

ulaşılmıştır. Tablo 5.4’de tüm paydaş görüşmeleri sonucunda ortaya çıkan problemlerin araştırma kod kitabına göre sıralaması ve yüzdesel dağılımı gösterilmektedir.

Tablo 5.4. Tüm görüşmelere göre problemlerin yüzdesel dağılımı

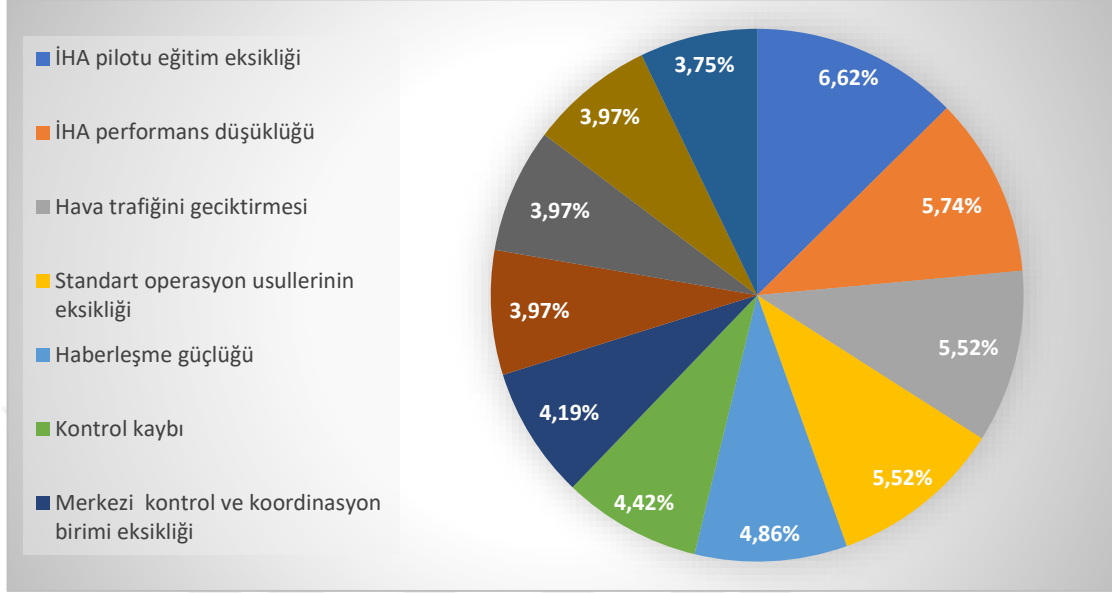
1 İHA pilotu eğitim eksikliği	30	6,62%	21 Bilgi aktarımı eksikliği	10	2,21%
2 İHA performans düşüklüğü	26	5,74%	22 Kontrolör iş yükü artışı	10	2,21%
3 Hava trafiğini geciktirmesi	25	5,52%	23 Standart koordinasyon usulleri	9	1,99%
4 Standart operasyon usullerinin eksikliği	25	5,52%	24 Plansız kalkış	7	1,55%
5 Haberleşme güçlüğü	22	4,86%	25 İHA'lar arası koordinasyon eksikliği	7	1,55%
6 Kontrol kaybı	20	4,42%	26 Çoklu İHA görevlendirilmesi	6	1,32%
7 Merkezi kontrol ve koordinasyon birimi eksikliği	19	4,19%	27 Emniyetsiz uçuş problemi	5	1,10%
8 İniş kalkış hatlarındaki emniyet riski	18	3,97%	28 Çarpışma engelleme sistemlerinin eksikliği	5	1,10%
9 Durum ekranında takip edilememe	18	3,97%	29 Lisans ve sertifikasyon eksikliği	5	1,10%
10 Temel eğitim standardında eksiklik	18	3,97%	30 Standart ayırmaların yetersizliği	5	1,10%
11 Durum rapor eksikliği	17	3,75%	31 Telefon trafiğindeki yoğunluk	4	0,88%
12 Telsiz donanımı eksikliği	16	3,53%	32 Anten kaplama problemi	4	0,88%
13 Talimatlara uyulmaması	15	3,31%	33 Mesleki tanım belirsizliği	4	0,88%
14 Koordinasyon süresinin uzaması	13	2,87%	34 İFF siz uçuş problemi	3	0,66%
15 Havalimanı seçimi	13	2,87%	35 İHA yazılımsal problemler	3	0,66%
16 Standart ekipman eksikliği	13	2,87%	36 Takip sistemi eksikliği	3	0,66%
17 Kontrolör eğitim eksikliği	12	2,65%	37 Yer telsizi problemleri	3	0,66%
18 Görev önceliği sınıflandırılması	12	2,65%	38 Personel sayısı eksikliği	3	0,66%
19 Üst yönetimin talepleri	11	2,43%	39 Çalışma süresi problemleri	2	0,44%
20 Direkt hat eksikliği	11	2,43%	40 Yetki belirsizliği	1	0,22%

Tüm paydaş görüşmelerine göre İHA pilotu eğitim eksikliği 6,62% ile ilk sırada, 5,74% ile İHA performans düşüklüğü ikinci sırada, İHA’ların hava trafiğini geciktirmesi ve standart operasyon usullerinin eksikliği problemleri ise 5,52% ile üçüncü sırada İHA’ların hava trafiğine entegrasyonundaki en çok bahsedilen problemlerdir. Aşağıda yer alan Şekil 5.8’de tüm paydaşlara göre ilk 10 problemin dağılımı gösterilmiştir.



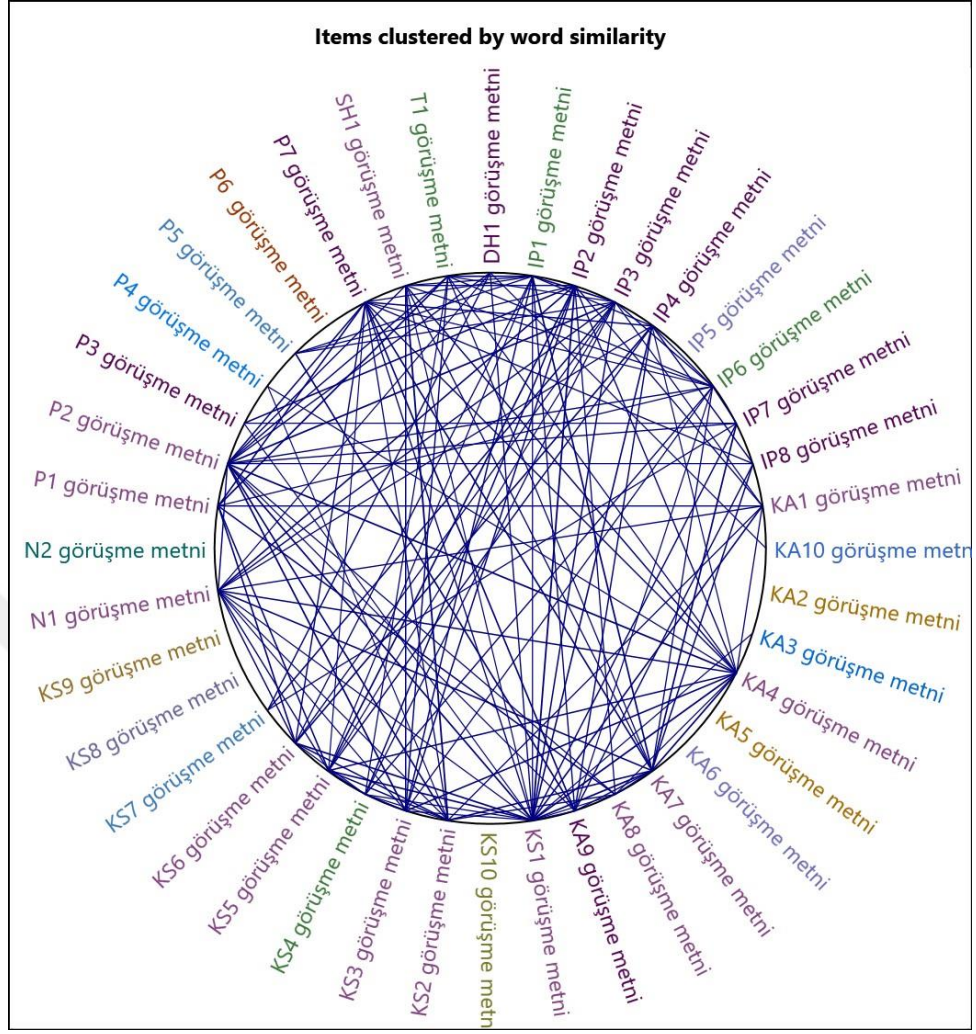
Şekil 5.8. Tüm görüşmelere göre ilk 10 problemin dağılımı

Aşağıda yer alan Şekil 5.9’de tüm paydaşlara göre ilk 10 problemin kod kitabı içerisinde yer alan yüzdesel payı gösterilmiştir.



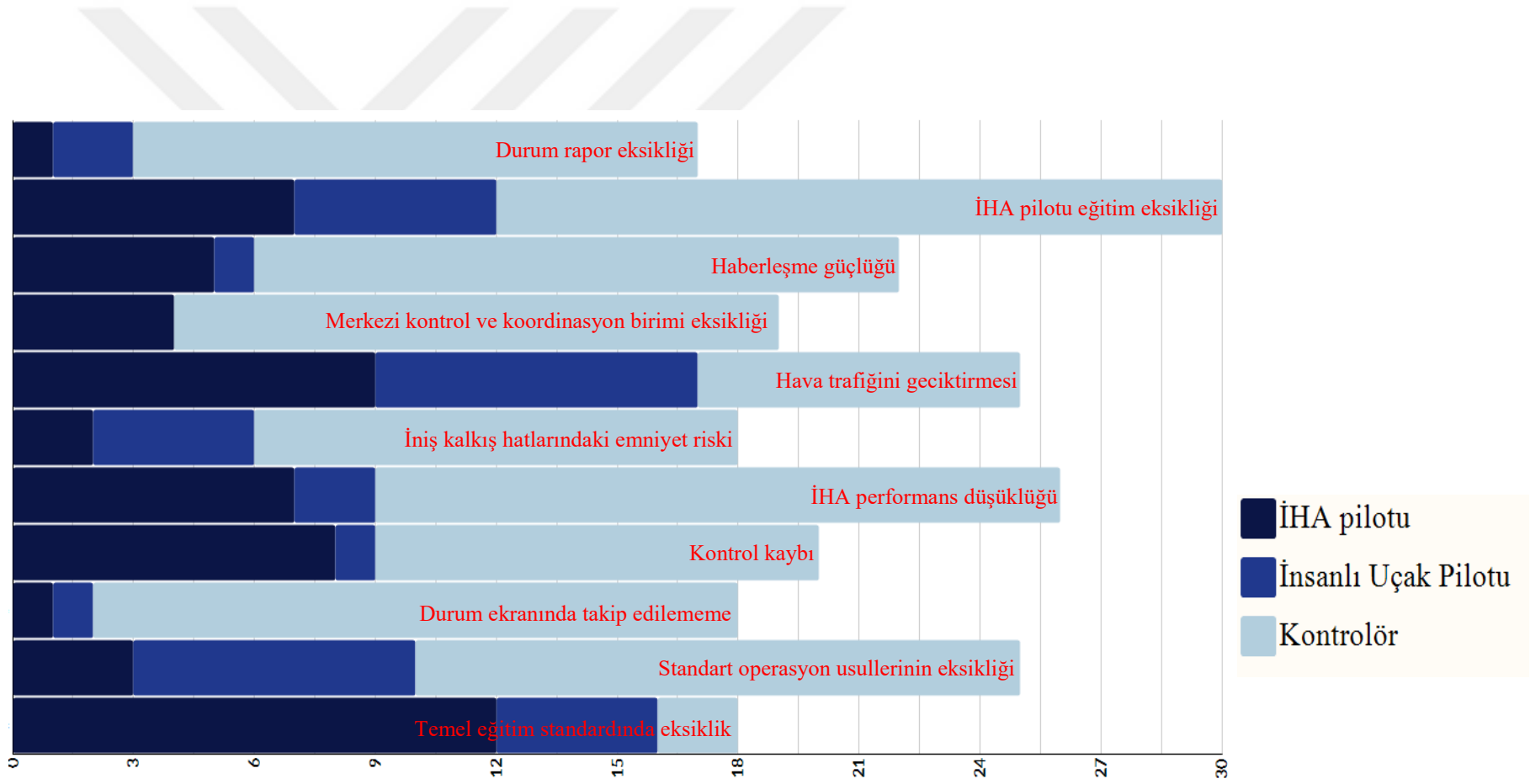
Şekil 5.9. Tüm görüşmelere göre ilk 10 problemin yüzdesel dağılımı

Aşağıda yer alan Şekil 5.10’da tüm görüşmelerdeki kelime benzerliği dikkate alınarak yapılan cluster analizi görseli yer almaktadır.

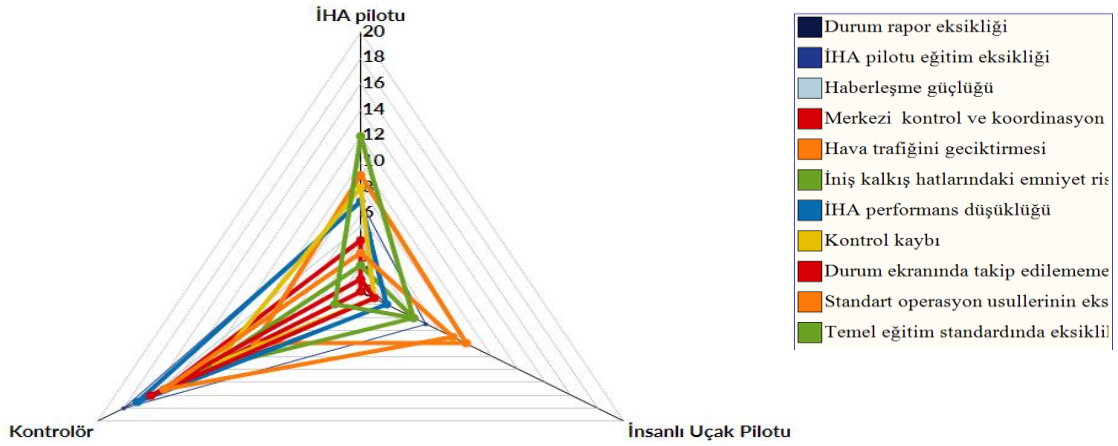


Şekil 5.10. Cluster analizi

Aşağıda yer alan Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de tüm paydaşlara göre ilk 10 problemin paydaşlar arasındaki dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Listelenen ilk 10 problemin dağılımı



Şekil 5.12. Listelenen ilk 10 problemin yoğunluğu

İHA entegrasyon problemlerinin listelenmesi sonrası paydaşlar ile tekrar görüşmeler yapılarak ikili karşılaştırma matrisleriyle ile dört seviyede AHP ile ağırlıklandırma işlemi yapılmış ve geometrik ortalamaya göre hesaplanan dağılım Tablo 5.5’de gösterilmiştir.

Tablo 5.5. AHP ağırlıklandırma işlemi sonuçları

Amaç Seviye-1	Ana problem (Tema) Seviye-2	Alt problem (Alt Tema) Seviye-3	Problem (Kod) Seviye-4
İHA entegrasyon problemlerinin önem derecelerinin belirlenmesi	1. Havacılık emniyeti ve verimliliği problemleri (0.38)	1.1 Emniyetsiz uçuş operasyonları (0.64)	1.1.1 Çoklu İHA görevlendirilmesi (0.03)
			1.1.2 Emniyetsiz olarak gerçekleştirilen uçuşlar (0.18)
			1.1.3 İFF siz uçuş problemi (0.14)
			1.1.4 Talimatlara uyulmaması (0.22)
			1.1.5 Durum rapor eksikliği (0.09)
			1.1.6 Plansız kalkış (0.05)
			1.1.7 İHA pilotu eğitim eksikliği (0.15)
			1.1.8 Kontrolör eğitim eksikliği (0.05)
			1.1.9 Üst yönetimin talepleri (0.08)
		1.2 Koordinasyon problemleri (0.27)	1.2.1 Merkezi kontrol ve koordinasyon birimi eksikliği (0.44)
			1.2.2 Bilgi aktarımı eksikliği (0.13)
			1.2.3 Telefon trafiğindeki yoğunluk (0.03)
			1.2.4 İHA’lar arası koordinasyon eksikliği (0.08)
			1.2.5 Haberleşme güçlüğü (0.13)
			1.2.6 Standart koordinasyon usulleri (0.14)
			1.2.7 Koordinasyon süresinin uzaması (0.05)

Tablo 5.5. (Devamı) AHP ağırlıklandırma işlemi sonuçları

Amaç Seviye-1	Ana problem (Tema) Seviye-2	Alt problem (Alt Tema) Seviye-3	Problem (Kod) Seviye-4
		1.3 Uçuş gecikmeleri (0.09)	1.3.1 İniş kalkış hatlarındaki emniyet riski (0.69)
			1.3.2 Hava trafiğini geciktirmesi (0.12)
			1.3.3 Kontrolör iş yükü artışı (0.09)
			1.3.4 Havalimanı seçimi (0.10)
	2. Mevzuata yönelik problemler (0.33)	2.1 İHA personeli çalışma koşulları (0.43)	2.1.1 Çalışma süresi problemleri (0.32)
			2.1.2 Personel sayısı eksikliği (0.33)
			2.1.3 Mesleki tanım belirsizliği (0.36)
		2.2 Standardizasyon problemleri (0.57)	2.2.1 Standart ayırmaların yetersizliği (0.13)
			2.2.2 Standart ekipman eksikliği (0.24)
			2.2.3 Temel eğitim standardında eksiklik (0.16)
			2.2.4 Lisans ve sertifikasyon eksikliği (0.06)
			2.2.5 Görev önceliği sınıflandırılması (0.09)
			2.2.6 Yetki belirsizliği (0.15)
			2.2.7 Standart operasyon usullerinin eksikliği (0.17)
	3. İHA ve yer sistemi problemleri (0.28)	3.1 İHA donanım ve yazılımsal problemler (0.55)	3.1.1 Çarpışma engelleme sistemlerinin eksikliği (0.10)
			3.1.2 Kontrol kaybı (0.43)
			3.1.3 Telsiz donanımı eksikliği (0.21)
			3.1.4 Takip sistemi eksikliği (0.09)
			3.1.5 İHA yazılımsal problemler (0.13)
			3.1.6 İHA performans düşüklüğü (0.04)
		3.2 Yer sistemleri problemleri (0.45)	3.2.1 Anten kaplama problemi (0.53)
			3.2.2 Yer telsizi problemleri (0.08)
			3.2.3 Durum ekranında takip edilememe (0.31)
			3.2.4 Direkt hat eksikliği (0.08)

Tablo 5.6’da AHP ile ağırlıklandırma işlemi yapılan alt problemlerin global ağırlıkları yer almaktadır.

Tablo 5.6. Alt problemlerin (seviye-3) yüzdesel dağılımı

Alt problem (Alt tema) Seviye-3		
1	P1.1 Emniyetsiz uçuş operasyonları	24,32%
2	P2.2 Standardizasyon problemleri	18,81%
3	P3.1 İHA donanım ve yazılımsal problemler	15,40%
4	P2.1 İHA personeli çalışma koşulları	14,19%
5	P3.2 Yer sistemleri problemleri	12,60%
6	P1.2 Koordinasyon problemleri	10,26%
7	P1.3 Uçuş gecikmeleri	3,42%

5.2. Bulguların Yorumlanması

Çalışmada hava trafik kontrolörleri, İHA pilotları ve insanlı hava aracı pilotlarına yönelik bulgulara yer verilmiştir. Hava trafik kontrolörleri için İHA pilotu eğitim eksikliği, İHA performans düşüklüğü ve haberleşme güçlüğü en sık ifade edilen ilk üç problemidir. İnsanlı hava aracı pilotları için İHA’ların hava trafiğini geciktirmesi standart operasyon usullerindeki eksiklikler ve İHA’ların standart ekipman eksikliği problemleri öne çıktığı görülmektedir. İHA pilotları için ise İHA pilotları temel eğitim standardındaki eksiklik, İHA’ların hava trafiğini geciktirmesi ve hava trafik kontrolörü eğitim eksikliği öne çıkan problemlerdir. Paydaşlar ile yapılan görüşmeler sonucunda elde edilen bulgularda havacılık emniyeti konusundaki hassasiyet benzerlikler göstermektedir. Paydaş görüşmelerindeki farklılıkların temel sebebi ise her paydaşın problemleri daha çok kendi mesleği ve yaşamış olduğu olaylar açısından değerlendirmesi olduğu düşünülmektedir. Tüm paydaş görüşlerine ait bulgular ortak olarak incelendiğinde yüzdesel olarak birinci sırada İHA pilotu eğitim eksikliği problemi öne çıkmaktadır. Ülkemizde çok sayıda kurum ve kuruluşun İHA pilotu hava sahalarında uçuş faaliyeti gerçekleştirmektedir. Her İHA pilotunun almış olduğu eğitim kullandığı hava aracına ve mensubu olduğu kurum ve kuruluşa göre değişiklik göstermektedir. İHA pilotları için İnsanlı hava araçları gibi havacılık otoritesi tarafından belirlenen müfredat ve eğitim programı dahilinde standart bir eğitim verilmediğinden temel havacılık, iletişim, terminoloji, hava trafik kuralları, uçuş prosedürleri, standart koordinasyon usulleri, uçuş

emniyeti ve benzer konularda eksikliklerden kaynaklanan problemler paydaşlar tarafından en sık ifade edilen problemlerdir.

İkinci öne çıkan problem ise İHA'ların performans düşüklüğü problemidir. İHA'ların hızlanma, tırmanma davranışlarının, manevra kabiliyetlerinin insanlı uçaklara göre farklı olması ve meteorolojik hassasiyetlerinin insanlı uçaklara göre daha fazla olması kaynaklı problemler paydaşlar tarafından ifade edilmiştir. Havacılıkta olayların anlık geliştiği ve reaksiyon sürelerinin kısa olması gerektiği düşünüldüğünde ihtiyaç duyulan ani reaksiyonlarda İHA'lar yavaş kalabilmektedir.

Üçüncü sırada yer alan problem ise İHA'ların hava trafiğini geciktirmesi durumudur. İHA'ların performans düşüklüğü, operasyon usullerinin standart olmayışı, İHA koordinasyon sürelerinin uzun olması, haberleşme güçlüğü, İHA'ların ekipman eksiklikleri, hava trafik yoğunluğu ve hacmi fazla olan havaalanlarına İHA konuşlandırılması, havalimanları yaklaşma, kalkış ve pas geçiş hatlarındaki İHA uçuşları ve benzer sebeplerle insanlı hava trafiğinde gecikmelere sebep olabildiği paydaşlar görüşmelerinde ifade edilmiştir.

Problemlerin önem düzeylerinin belirlenmesi için AHP yöntemi ile yapılan ağırlıklandırma işlemi sonuçları incelendiğinde kod kitabında yer alan üç ana problemin geometrik ortalamaya göre yüzdesel dağılımı havacılık emniyeti ve verimliliği problemleri %38.43, Mevzuata yönelik problemler %33.27 ve İHA ve yer sistemi problemleri %28.3'dür. Üç ana problemten önem ağırlığı en yüksek olan Havacılık emniyeti ve verimliliği problemleri olduğu görülmektedir. Bunun sebebi İHA operasyon paydaşlarının tümünde havacılık emniyeti ve verimliliğinin birinci öncelik olduğu düşüncesidir. Çalışmanın çözüm önerileri bölümünde her grubun temsilcilerinin yer aldığı alan uzmanları ile yapılan nominal grup görüşmesi sonunca kod kitabı seviye-3'de yer alan problemlere çözüm önerilerinde bulunulmuştur.

5.3. Çözüm Önerileri

Araştırmada tespit edilen problemlerin çözümü için her paydaş gurubunu temsil eden alan uzmanlarının yer aldığı bir toplantı yapılmıştır. Toplantıda katılımcılarına aşağıdaki Tablo 5.7'de yer alan 7 problem (alt tema) tek tek açıklanmış ve katılımcılardan ilgili problemlere Nominal grup tekniği adımlarını takip ederek çözüm önerisinde bulunması istenmiştir. Alan uzmanları problemlere çözüm üretirken problemlerin altında yer alan kodları dikkate alarak önerilerde bulunmuştur.

Tablo 5.7. Alt problemler listesi (seviye-3)

1	P1.1 Emniyetsiz uçuş operasyonları
2	P1.2 Koordinasyon problemleri
3	P1.3 Uçuş gecikmeleri
4	P2.1 İHA personeli çalışma koşulları
5	P2.2 Standardizasyon problemleri
6	P3.1 İHA donanımsal ve yazılımsal problemler
7	P3.2 Yer sistemleri problemleri

Emniyetsiz uçuş operasyonları

İlk olarak ana problemler içerisinde %38 ağırlığa sahip havacılık emniyeti ve verimliliği problemleri temasının altında yer alan ve alt problemler grubunda %64 ağırlığa sahip **Emniyetsiz uçuş operasyonları problemleri** için alan uzmanları tarafından çözüm önerilerinde bulunulmuştur. Çözüm üretilen problem, bu probleme ait kodlar, ana problem ve çözüm önerileri Tablo 5.8’de yer almaktadır.

Tablo 5.8. Emniyetsiz uçuş operasyonları problemi ve çözüm önerileri

Ana problem (Tema)	Alt problem (Alt Tema)	Problem (Kod)
1. Havacılık emniyeti ve verimliliği problemleri (0.38)	1.1 Emniyetsiz uçuş operasyonları (0.64)	1.1.1 Çoklu İHA görevlendirilmesi (0.03)
		1.1.2 Emniyetsiz uçuş problemi (0.18)
		1.1.3 IFF siz uçuş problemi (0.14)
		1.1.4 Talimatlara uyulmaması (0.22)
		1.1.5 Durum rapor eksikliği (0.09)
		1.1.6 Plansız kalkış (0.05)
		1.1.7 İHA pilotu eğitim eksikliği (0.15)
		1.1.8 Kontrolör eğitim eksikliği (0.05)
		1.1.9 Üst yönetimin talepleri (0.08)
ÇÖZÜM ÖNERİLERİ		
Ç1.1.1 Hava trafik kontrolörü eğitim müfredatında temel İHA eğitiminin yer alması		
Ç1.1.2 İnsanlı hava aracı pilotu eğitim müfredatına temel İHA eğitimi eklenmesi		
Ç1.1.3 Ulusal güvenlik kurumları İHA pilotu eğitim müfredatının standart bir biçimde oluşturulması		
Ç1.1.4 Mevcut ilgili operasyonel personele (Kontrolör/pilot/İHA pilotu/yönetim) yönelik standart bir temel/tazeleme/farkındalık İHA eğitim müfredatının hazırlanması		
Ç1.1.5 Ulusal güvenlik kurumları için merkezi bir İHA denetim mekanizmasının oluşturulması		
Ç1.1.6 İnsanlı hava araçlarının tatbik ettiği tüm kurallara İHA'larında uymasının sağlanması (ulusal güvenlik durumları hariç)		
Ç1.1.7 İHA pilotu ve kontrolörün empati yapabilmesi için çalışma pozisyonlarına ziyaretlerin yapılması		

Koordinasyon problemleri

Ana problemler içerisinde %38 ağırlığa sahip havacılık emniyeti ve verimliliği problemleri temasının altında yer alan ve alt problemler grubunda %27 ağırlığa sahip

Koordinasyon problemleri için alan uzmanları tarafından çözüm önerilerinde bulunulmuştur. Çözüm üretilen problem, bu probleme ait kodlar, ana problem ve çözüm önerileri Tablo 5.9’da yer almaktadır.

Tablo 5.9. *Koordinasyon problemleri ve çözüm önerileri*

Ana problem (Tema)	Alt problem (Alt Tema)	Problem (Kod)
1. Havacılık emniyeti ve verimliliği problemleri (0.38)	1.2 Koordinasyon problemleri (0.27)	1.2.1 Merkezi kontrol ve koordinasyon birimi eksikliği (0.44)
		1.2.2 Bilgi aktarımı eksikliği (0.13)
		1.2.3 Telefon trafiğindeki yoğunluk (0.03)
		1.2.4 İHA’lar arası koordinasyon eksikliği (0.08)
		1.2.5 Haberleşme güçlüğü (0.13)
		1.2.6 Standart koordinasyon usulleri (0.14)
		1.2.7 Koordinasyon süresinin uzaması (0.05)
ÇÖZÜM ÖNERİLERİ		
Ç1.2.1 Tüm İHA paydaşlarının yer aldığı komuta, kontrol ve denetim merkezinin oluşturulması		
Ç1.2.2 Merkezi koordinasyon biriminin organizasyon yapısının oluşturulması		
Ç1.2.3 Standart frezyolojinin ve terminolojinin iki yöllü haberleşmede kullanılması		

Uçuş gecikmeleri

Ana problemler içerisinde %38 ağırlığa sahip havacılık emniyeti ve verimliliği problemleri temasının altında yer alan ve alt problemler grubunda %9 ağırlığa sahip **Uçuş gecikme problemleri** için alan uzmanları tarafından çözüm önerilerinde bulunulmuştur. Çözüm üretilen problem, bu probleme ait kodlar, ana problem ve çözüm önerileri Tablo 5.10’da yer almaktadır.

Tablo 5.10. *Uçuş gecikme problemleri ve çözüm önerileri*

Ana problem (Tema)	Alt problem (Alt Tema)	Problem (Kod)
1. Havacılık emniyeti ve verimliliği problemleri (0.38)	1.3 Uçuş gecikmeleri (0.09)	1.3.1 İniş kalkış hatlarındaki emniyet riski (0.69)
		1.3.2 Hava trafiğini geciktirmesi (0.12)
		1.3.3 Kontrolör iş yükü artışı (0.09)
		1.3.4 Havalimanı seçimi (0.10)
ÇÖZÜM ÖNERİLERİ		
Ç1.3.1 Havalimanı kapasite planlamalarına İHA trafiğinin de dahil edilmesi		
Ç1.3.2 İHA'ların konuşlandırılması öncesinde planlanan yerler için fayda/maliyet analizlerinin yapılması		
Ç1.3.3 İHA'lara yönelik uçuş prosedürleri oluşturularak, bu prosedürler için hava sahası kullanıcılarına erişim sağlanması		
Ç1.3.3 Havalimanları yaklaşma, kalkış ve pas geçiş hatlarının İHA'lar tarafından katedişlerde tahditli bölgelerin belirlenmesi		

Mevzuata yönelik problemler

Ana problemler içerisinde %33 ağırlığa sahip Mevzuata yönelik problemler temasının altında yer alan ve alt problemler grubunda %43 ağırlığa sahip **İHA personeli çalışma koşulları problemleri** için alan uzmanları tarafından çözüm önerilerinde bulunulmuştur. Çözüm üretilen problem, bu probleme ait kodlar, ana problem ve çözüm önerileri Tablo 5.11’de yer almaktadır.

Tablo 5.11. İHA personeli çalışma koşulları problemleri ve çözüm önerileri

Ana problem (Tema)	Alt problem (Alt Tema)	Problem (Kod)
2. Mevzuata yönelik problemler (0.33)	2.1 İHA personeli çalışma koşulları (0.43)	1.1.1 Çalışma süresi problemleri (0.32)
		2.1.2 Personel sayısı eksikliği (0.33)
		2.1.3 Mesleki tanım belirsizliği (0.36)
ÇÖZÜM ÖNERİLERİ		
Ç2.1.1 İHA personel sayısının ihtiyaç analizi yapılarak artırılması		
Ç2.1.2 İHA personeli iş profilinin ve özlük haklarının iyileştirilmesi		
Ç2.1.3 İHA personeli çalışma ve dinlenme zamanının mevzuat ile belirlenmesi		

Standardizasyon problemleri

Ana problemler içerisinde %33 ağırlığa sahip Mevzuata yönelik problemler temasının altında yer alan ve alt problemler grubunda %57 ağırlığa sahip **Standardizasyon problemleri** için alan uzmanları tarafından çözüm önerilerinde bulunulmuştur. Çözüm üretilen problem, bu probleme ait kodlar, ana problem ve çözüm önerileri Tablo 5.12’de yer almaktadır.

Tablo 5.12. Standardizasyon problemleri ve çözüm önerileri

Ana problem (Tema)	Alt problem (Alt Tema)	Problem (Kod)
2. Mevzuata yönelik problemler (0.33)	2.2 Standardizasyon problemleri (0.57)	2.2.1 Standart ayırmaların yetersizliği (0.13)
		2.2.2 Standart ekipman eksikliği (0.24)
		2.2.3 Temel eğitim standardında eksiklik (0.16)
		2.2.4 Lisans ve sertifikasyon eksikliği (0.06)
		2.2.5 Görev önceliği sınıflandırılması (0.09)
		2.2.6 Yetki belirsizliği (0.15)
		2.2.7 Standart operasyon usullerinin eksikliği (0.17)
ÇÖZÜM ÖNERİLERİ		
Ç2.2.1 İHA'ların standart ayırma, standart ekipman, temel eğitim standardı, görev önceliği, yetki ve sorumluluklarını içeren müşterek bir mevzuatın oluşturulması		
Ç2.2.2 Tarafların belirlenen periyotlarda bir araya gelip, ihtiyaçları gözden geçirerek mevzuat revizyon çalışması yapması		

İHA donanımsal ve yazılımsal problemler

Ana problemler içerisinde %28 ağırlığa sahip İHA ve yer sistemi problemleri temasının altında yer alan ve alt problemler grubunda %55 ağırlığa sahip **İHA donanımsal ve yazılımsal problemleri** için alan uzmanları tarafından çözüm önerilerinde bulunulmuştur. Çözüm üretilen problem, bu probleme ait kodlar, ana problem ve çözüm önerileri Tablo 5.13’de yer almaktadır.

Tablo 5.13. *İHA donanımsal ve yazılımsal problemler ve çözüm önerileri*

Ana problem (Tema)	Alt problem (Alt Tema)	Problem (Kod)
3. İHA ve yer sistemi problemleri (0.28)	3.1 İHA donanımsal ve yazılımsal problemler (0.55)	3.1.1 Çarpışma engelleme sistemlerinin eksikliği (0.10)
		3.1.2 Kontrol kaybı (0.43)
		3.1.3 Telsiz donanımı eksikliği (0.21)
		3.1.4 Takip sistemi eksikliği (0.09)
		3.1.5 İHA yazılımsal problemler (0.13)
		3.1.6 İHA performans düşüklüğü (0.04)
ÇÖZÜM ÖNERİLERİ		
Ç3.1.1 Kontrol kaybına karşı arındırılmış bölgelerin oluşturulması		
Ç3.1.2 Standart ekipman listesinin oluşturulması standart ekipman listesine telsiz ve transponder donanımının eklenmesi		
Ç3.1.3 Yazılım kaynaklı yaşanan problemler için raporlama mekanizmasının oluşturulması		

Yer sistemleri problemleri

Ana problemler içerisinde %28 ağırlığa sahip İHA ve yer sistemi problemleri temasının altında yer alan ve alt problemler grubunda %45 ağırlığa sahip **Yer sistemleri problemleri** için alan uzmanları tarafından çözüm önerilerinde bulunulmuştur. Çözüm üretilen problem, bu probleme ait kodlar, ana problem ve çözüm önerileri Tablo 5.14’de yer almaktadır.

Tablo 5.14. *Yer sistemleri problemleri ve çözüm önerileri*

Ana problem (Tema)	Alt problem (Alt Tema)	Problem (Kod)
3. İHA ve yer sistemi problemleri (0.28)	3.2 Yer sistemleri problemleri (0.45)	3.2.1 Anten kaplama problemi (0.53)
		3.2.2 Yer telsizi problemleri (0.08)
		3.2.3 Durum ekranında takip edilememe (0.31)
		3.2.4 Direkt hat eksikliği (0.08)
ÇÖZÜM ÖNERİLERİ		
Ç3.2.1 Hava trafik koordinesi gereken ilgili birimler arasında direk hatların kurulması		
Ç3.2.2 İHA takip sistemi oluşturulması		
Ç3.2.3 İHA yer sistemleri alt yapısının güçlendirilmesi		
Ç3.2.4 Yer kontrol istasyonları için gerekli zorunlu ekipmanların belirlenmesi		
Ç3.2.5 İHA'lar ile kesintisiz haberleşmenin sağlanması için hava/yer ve yer/yer telsiz haberleşme alt yapısının kurulması		

6. SONUÇ

İnsansız hava araçlarının kullanım alanlarının genişlemesi ve İHA endüstrisindeki teknolojik gelişmelerle beraber İHA sayısı özellikle son yıllarda belirgin şekilde artış göstermiştir.

İHA sistemlerinin gelişimine ilişkin tahminler göz önüne alındığında, dünyanın birçok yerindeki otoriteler, İHA operasyonlarının hava sahalarında nasıl etkili bir şekilde yönetilebileceği sorusuyla karşı karşıyadır. Bu durum için ilk seçenek, insanlı uçaklar için kullanılan geleneksel hava trafik yönetim sistemleri kabiliyetlerini genişletmek ve kullanmak olabilir. Bununla birlikte, mevcutta yaşanan ve gelecekte oluşabilecek birçok problemden dolayı, kural koyucu ve düzenleyici otoriteler ATM sistemlerinin İHA operasyonlarını karşılayabilecek şekilde 'ölçeklenemeyeceği' ve ilerleyen yıllar için beklenen İHA trafiği hacmi göz önüne alındığında yeni bir kavramsal paradigmanın geliştirilmesi gerekeceğini değerlendirmektedir.

İHA'ların mevcut havacılık sistemine dahil olması sistem altyapısını zorlamakta ve birçok soruyu gündeme getirmektedir. İHA operasyonları, tasarım ve operasyonlar açısından havalimanı operasyonlarını etkileyecek şekilde yeni altyapı gerektirecektir. Mevcut havacılık sistemi unsurlarının (altyapı, prosedürler, uygulamalar sistemler, vb.), İHA'ları içeren geniş yelpazedeki yeni yetenekleri destekleyecek şekilde değiştirilmesi gerekebilir. Bu değişim İHA operasyonlarının mevcut hava sahası kullanıcıları ve hizmet sağlayıcıları üzerinde gereksiz bir yük oluşturmada ve emniyetten ödün vermeden mevcut havacılık sistemi içerisine entegre edilmedir.

Hava sahası sınırlı bir kaynak olduğundan, Devletlerin kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayan ve uyumlu hale getiren dengeli bir yaklaşım benimsemeleri gerekmektedir. Bu kapsamda mevcut SARP'ler ve PANS'lar insanlı uçaklar ile beraber İHA'ları da içerecek şekilde revize edilmeli, değiştirilmeli ve geliştirilmelidir.

İHA'nın uçuş faaliyeti boyunca kesintisiz bir operasyon sağlayabilmesi için bir İHA pilotunun kalkış, tırmanma, seyir, yaklaşma ve iniş gibi uçuşun farklı aşamalarına ilişkin sorumluluklarını bileceği ve yerine getirebileceği prosedürler oluşturmalıdır. Bu prosedürlerin İHA operasyon personeline rehberlik sağlayabilecek nitelikte olması gerekir. Emniyetli uçuş operasyonları için İHA'ların uçuşun farklı aşamalarındaki ATC haberleşmesi, insanlı hava trafiği ile aynı olmalıdır. İHA pilotların ATC ile ses veya veri iletişimi yoluyla temas kurması gerekmektedir. İHA pilotu hava trafik akış yönetimi

(ATFM) usullerine uyması, gerekli tüm raporları ATC'ye iletmesi ve gerektiği şekilde ATC talimatlarına uyması gerekmektedir. İHA operasyonları için hava sahalarında yeni uygulamaların oluşturulması yeni ATC prosedürlerinin, tekniklerinin ve araçlarının ortaya çıkmasına neden olabilir. Bu değişiklikler, hava trafik kontrolörleri için ek eğitim ihtiyacı doğuracaktır. Ayrıca hava trafik kontrolörleri kontrol ettikleri trafikle ilgili belirli uçuş verilerine erişmek için uygun insan makine arayüzlerini kullanmaları gerekir. İHA'ların performans özellikleri, rota planlamaları, uzun süreli havada kalmaları ve insanlı uçaklardan farklı olan diğer özellikleri sebebiyle daha fazla bilgi gereksinimi getirebilir.

Radar tespitine dayanan geleneksel hava trafik yönetimi İHA'lar için uygun değildir. Bu nedenle birçok otorite şu anda hızlı bir şekilde bir mevzuat ve politika çerçevesi geliştirmeye çalışmaktadır.

İHA'nın uygun iletişim kanalı üzerinden sürekli sesli iletişim sağlaması ve uygun ATS otoritesi tarafından aksi belirtilmedikçe, uygun hava trafik kontrol ünitesi ile gerektiği şekilde iki yönlü iletişim kurması gerekmektedir. İletişim yöntemleri, geleneksel hava-yer radyo, uydu veya karasal röleler, veri iletişimleri, internet tabanlı sistemler vb. gibi diğer araçlar aracılığıyla olabilir.

ICAO'a göre İHA'lar faaliyet gösterdikleri hava sahası sınıfının gerekliliklerine uyabilmelidir. Bu gereklilik hem donanım hem de operasyonel parametreleri (transponder, ATC ile iki yönlü iletişim vb.) içerir. Bir İHA, hava seyrüsefer hizmet sağlayıcı ile alternatifler üzerinde anlaşmaya varılmadığı sürece, yayınlanmış aletli kalkış ve varış prosedürlerini uygulayabilme kapasitesine sahip olmalıdır. İHA'nın, faaliyet göstermeyi planladığı hava sahasının gerektirdiği şekilde gerekli navigasyon performansı, gerekli iletişim performansı ve gerekli gözetim performansı açısından gerekli operasyonel onaylara sahip olması ve donatılması gerekecektir. İHA ayrıca ATC ve hava sahası kullanıcı sistemleriyle birlikte çalışabilmelidir.

ATC navigasyon sistemleri, gözetleme sistemleri, insanlı uçak, İHA, yer kontrol istasyonu ve İHA pilotlarına ATC haberleşmesini ve verileri yerdeki telekomünikasyon sistemleri aracılığıyla iletebilen ve aktarabilen sistemlerin arayüzleri performans ve işlevsellik açısından birlikte çalışabilmesi gerekir.

İHA uçuş operasyonunu, uçağın gerekli donanımlara sahip olması, kullanılan her hava sahası sınıfına yönelik prosedürlerin takip etmesi ve hava kurallarının karşılanabilmesi koşuluyla bu mümkün olmalıdır. İHA'ların insanlı uçaklara göre farklı

uçuş profilleri ve performans özelliklerinin olması hava sahası yönetimi açısından çözülmesi gereken bazı zorluklar ortaya çıkarabilir.

İHA sayısındaki yüksek büyüme oranlarıyla beraber emniyet standartları ile teknolojik yenilik arasındaki dengeyi bulmak kritik önem taşımaktadır. İHA operasyonlarının risklerinin anlaşılması, yeni teknolojilerin ve operasyonların öngörülebilir şekilde dikkate alınması, emniyet yönetimi ilkelerine bağlılığı her zamankinden daha önemlidir. Emniyet yönetimi ilkelerinin İHA operatörleri tarafından uygulanması, İHA operasyonlarıyla ilişkili emniyet risklerinin diğer hizmet sağlayıcılar üzerindeki potansiyel etkisinin değerlendirilmesine katkıda bulunacaktır. Bir İHA operatörünün emniyet yönetimi sistemi, İHA operasyonunun kapsamı, ölçeği ve karmaşıklığı ile orantılı olmalıdır. Emniyet yönetim sisteminin İHA kurum ve kuruluşları tarafından uygulanması, denetlenmesi, bir Devletin havacılık emniyetini etkili bir şekilde yönetmesine katkıda bulunacaktır.

EASA'a göre sivil ve askeri İHA'lardaki hızlı büyüme, ayrılmamış hava sahasına erişim talebini artırmıştır. Uçakta bir pilotun bulunmaması, uçağın ayrılmamış hava sahasına entegre edilmesi için teknik çözümlerin ve prosedürlerin geliştirilmesi gerektiği anlamına gelmektedir. İnsanlı havacılığın, bir pilotun bu tehlikeleri "görme ve bunlardan kaçınma" yeteneği aracılığıyla, diğer hava sahası kullanıcılarıyla olası çarpışmalar, şiddetli hava koşulları, yer operasyonlarındaki problemler ve diğer tehlikeli durumları yönetmesi beklenmektedir. Uçakta bir pilotun bulunmaması, anlık gelişen problemleri tespit etme ve bu problemleri çözebilme yeteneğine sahip donanım ve yazılımların İHA'lara kazandırılmasını zorunlu hale getirmiştir.

İHA'ların acil durum ve beklenmedik durumları için ilgili ANSP'ler ile koordine edilmesi gereken prosedürler oluşturulmalı, tanımlanan prosedürlere ve hava sahası gerekliliklerine insanlı ve insansız hava araçları uyması gerekmektedir. Beklenmedik durum prosedürü boyunca meteoroloji veya operasyonel kısıtlamalar değiştiğinde, başlangıçta planlanan rota veya acil iniş meydanı olanaksız hale gelebilir, bu durumda diğer alternatifler de mevcut olmalıdır. Link bağlantısının tamamen kaybolması durumunda, İHA uçuş yönetim sistemi bu beklenmedik durumu anlık olarak tespit edebilmeli ve aracın çalışmasını tamamen otonom moda döndürebilmelidir. Bu tür beklenmedik durumlarda uçuş rotaları, tüm hava sahası kullanıcılarının emniyetini sağlayacak şekilde öngörülmelidir.

Hava trafik kontrolörleri genel olarak insanlı hava araçlarının acil durumlarındaki hareket tarzları konusunda İHA'lara göre daha eğitimli ve daha çok tecrübelidir. Bu sebeple İHA acil durumlarına yönelik eğitim ihtiyacı oluşabilmektedir.

Bunun yanı sıra, İHA'ların yavaş olması sebebiyle insanlı trafiğini İHA etrafından yönlendirmek insanlı trafikler için yakıt tüketiminin artmasına, hava trafik akışının yavaşlamasına ve gecikmelere yol açabilmektedir. İnsanlı hava trafiğinin noktadan noktaya operasyonlarıyla İHA operasyon faaliyetleri karşılaştırıldığında İHA'ların görev odaklı uçuş rotalarının uzaması ve rotalarının belirsizliği de kontrolörlerin iş yükünü artırabilmektedir.

Yoğun iş yükü gerektiren İHA operasyonları, pilot için aktif yorgunluğa neden olabilmektedir. Ayrıca İHA operasyonu, geleneksel pilotları etkileyen fiziksel yaralanma korkusu gibi bazı önemli stres faktörlerinden muaf olsa da uçuş süresinin uzunluğu, düşük görev yükünden kaynaklanan hareketsizlik ve uzun görev süresince sistemle etkileşimin az olması sebepleriyle psikolojik olarak daha yoğun ve yorucu olabilmektedir. İHA pilotunun yorgunluğu istenmeyen hataların oluşmasına, hava sahası ihlallerine, usullerin atlanmasına, irtifa uyuşmazlıklarına ve havada çarpışma riskinin artmasına neden olabilmektedir.

Gelişen teknoloji ve hızla büyüyen endüstriye karşın İHA'ların mevcut hava trafiğine entegrasyonundaki gelişmelerin aynı hızda olmayışı ihtiyaç ve problemlerin oluşmasının ana sebebi olduğu düşünülmektedir. Bu problemlerin tespiti ve çözümü için yapılan çalışma sonucunda entegrasyon sürecinde gelişen havacılık emniyeti ve verimliliği problemleri, İHA ve yer sistemi problemleri ve mevzuata yönelik problemler ana problemler olduğu değerlendirilmektedir.

İHA'ların hava trafiğine entegrasyonu konusunda havacılık otoritelerinin ve literatürde yer alan çoğu akademik çalışmanın genel görüşü İHA'ların insanlı hava araçlarının tabi olduğu tüm kurallara tabi olmaları ve bu doğrultuda hareket etmeleri yönündedir.

ATM sistemine sonradan dahil olan İHA'lar havacılık emniyeti ve verimliliğini etkileyen bazı problemlere sebep olabilmektedir. Bu durumun temel sebepleri İHA pilotlarının, kontrolörlerin ve üst yönetimin eğitim eksiklikleri, havacılık kurallarına riayet etmeme, koordinasyon problemleri ve uçuş gecikmeleri olarak sıralanmaktadır. Çalışmada bu probleme çözüm olarak İHA pilotu eğitim müfredatının standart bir biçimde oluşturulması, hava trafik kontrolörü ve insanlı hava aracı pilotu eğitim

müfredatında temel İHA eğitiminin yer alması, mevcut ilgili operasyonel personele (hava trafik kontrolörü/pilot/İHA pilotu/yönetim) yönelik standart bir temel/tazeleme/farkındalık İHA eğitim müfredatının hazırlanması, merkezi bir İHA denetim mekanizmasının oluşturulması ve standart frezyolojinin ve terminolojinin iki yöllü haberleşmede kullanılması havalimanı kapasite planlamalarına İHA trafiğinin de dahil edilmesi, İHA'ların konuşlandırılması öncesinde planlanan yerler için fayda/maliyet analizlerinin yapılması, İHA'lara yönelik uçuş prosedürleri oluşturularak, bu prosedürler için hava sahası kullanıcılarına erişim sağlanması, havalimanları yaklaşma, kalkış ve pas geçiş hatlarının İHA'lar tarafından kat edişlerde tahditli bölgelerin belirlenmesinin katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Ülkemizde kullanılan 150 kg üzeri İHA'lar donanım, yazılım ve yer sistemleri anlamında kontrollü hava sahasında uçuş gerçekleştiren insanlı hava araçları ile kıyaslandığında; bazı İHA'lar için eksiklik ve yetersizliklerin olduğu görülmektedir. Çalışmada bu probleme çözüm olarak, İHA ve kontrol istasyonu için standart ekipman listesinin oluşturulması, kontrol kaybı durumlarında arındırılmış bölgelerin oluşturulması, raporlama mekanizmasının oluşturulması, hava trafik koordinesi gereken ilgili birimler arasında direk hatların kurulması, İHA takip sistemi oluşturulması, İHA yer sistemleri alt yapısının güçlendirilmesi, İHA'lar ile kesintisiz haberleşmenin sağlanması için hava/yer ve yer/yer telsiz haberleşme alt yapısının kurulmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir.

Ülkemizde ulusal çerçevede kapsamlı bir İHA mevzuatına ihtiyaç duyulmaktadır. İHA entegrasyonu konusunda mevzuata yönelik problemler incelendiğinde, İHA personeli çalışma koşulları ve standardizasyon problemleri öne çıkmaktadır. Bu problemlere çözüm olarak İHA personel sayısının ihtiyaç analizi yapılarak artırılması, İHA personeli iş profilinin ve özlük haklarının iyileştirilmesi, İHA personeli çalışma ve dinlenme zamanlarının mevzuat ile belirlenmesi, İHA'ların standart ayırma, standart ekipman, temel eğitim standardı, görev önceliği, yetki ve sorumluluklarını içeren müşterek bir mevzuatın oluşturulması, Tarafların belirlenen periyotlarda bir araya gelip, ihtiyaçları gözden geçirerek mevzuat revizyon çalışması yapması önemli görülmektedir.

Çalışma, hava trafik yönetimi konusunda güncel bir problemi literatürde yer alan benzer çalışmalara kıyasla nitel bakış açısıyla ele alması, araştırmada kullanılan verilerin birincil kaynaktan kendi ortamı ve dinamiği içerisindeki İHA operasyon paydaşlarının

görüşlerini alarak sağlanması ve tespit edilen problemlere alan uzmanları ile ortak bir çözüm önerisinde bulunması yönüyle literatüre katkı sağlayacak niteliktedir.

İHA'ların hava trafiğine entegrasyonundaki potansiyel problemlerin tespiti ve çözümüne yönelik yapılan araştırma sonucunda oluşturulan kod kitabı seviye-4'de yer alan her bir problem araştırma konusu olarak incelenebilir. Ulusal boyutta ve İHA3 kategorisinde ele alınan araştırma problemi farklı boyut ve kategorilerde incelenerek yeni araştırmalar yapılabileceği gelecek çalışmalar için önerilmektedir.



KAYNAKÇA

- [01] International Civil Aviation Organization (ICAO). (2015). *Doc 10019 AN507 Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS)*, Montreal.
- [02] International Civil Aviation Organization (ICAO). (2005). *Doc 9854 AN-458 Global Air Traffic Management Operational Concept*.
- [03] International Civil Aviation Organization (ICAO). (2023). *Request for Information (RFI)- Drone Enable 2023 symposium*.
- [04] International Civil Aviation Organization (ICAO). (2017). *RPAS Concept of Operations*.
- [05] International Civil Aviation Organization (ICAO). (2011). *Cir 328, Unmanned Aircraft Systems (UAS)*.
- [06] International Civil Aviation Organization (ICAO). (2022). *Unmanned aircraft systems (UAS) report on the global regulatory standards situation*.
- [07] International Civil Aviation Organization (ICAO). (2022). *Annex 1 Personnel Licensing*.
- [08] European Aviation Safety Agency (EASA). (2015). *Concept of Operations for Drones*.
- [09] European Aviation Safety Agency (EASA). (2022). *Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems*.
- [10] European Aviation Safety Agency (EASA). (2023). *European Plan for Aviation Safety (EPAS)*.
- [11] European Aviation Safety Agency (EASA). (2023). *Back to the future of safe UAS operations*.
- [12] Single European Sky ATM Research (SESAR). (2020). *Catalogue of generic ConOps BUBBLES Project*.
- [13] European Union (EU). (2019). *Commission Delegated Regulation (EU) 2019/495 of the European Parliament and of the Council*.
- [14] European Aviation Safety Agency (EASA). (2018) *UAS ATM Integration Operational Concept*.
- [15] ECAC (2021). *Unmanned Aircraft Systems Shaping the future of our skies. ECAC News #73*.
- [16] Eurocontrol. (2018). *UAS ATM Integration Operational Concept Edition: 1.0*.
- [17] European Union (EU). (2023). *Unmanned Aircraft Systems integration into European airspace and operation over populated areas*.

- [18] Eurocontrol. (2023). *IFR RPAS Integration into European Airspace IRINA Partners*.
- [19] Federal Aviation Administration (FAA) and National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2020). *UAS Traffic Management (UTM) Research Transition Team (RTT) plan*.
- [20] NATO, (2020). *STO Technical Report TR-AVT-278, Considerations for Harmonisation of UAS Regulations for Common NATO Operating Approvals*.
- [21] Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM), (2020). *Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı (SHT-İHA)*. Ankara.
- [22] Liu, Y., Zhang, X., & Guan, X. (2018). Framework Design of Unmanned Aerial Systems (UAS) Integration in the National Airspace System (NAS). *2018 13th World Congress on Intelligent Control and Automation*.
- [23] European Aviation Safety Agency (EASA). (2019). *Accommodation of military IFR RPAS under GAT – Airspace classes A-C*.
- [24] Guan, X., Lyu, R., Shi, H., & Chen, J. (2020). A survey of safety separation management and collision avoidance approaches of civil UAS operating in integration national airspace system. *Chinese Journal of Aeronautics*, 33, 2851-2863.
- [25] Ho, F., Geraldès, R., Gonçalves, A., Rigault, B., Oosedo, A., Cavazza, M., & Prendinger, H. (2019). Pre-Flight Conflict Detection and Resolution for UAV Integration in Shared Airspace: Sendai 2030 Model Case. *IEEE Access*, 7, 170226-170237.
- [26] Jenab, K., & Pineau, J. (2018). Automation of Air Traffic Management Using Fuzzy Logic Algorithm to Integrate Unmanned Aerial Systems into the National Airspace. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 8, 3169-3178.
- [27] Ho, F., Geraldès, R., Gonçalves, A., Cavazza, M., & Prendinger, H. (2019). Improved Conflict Detection and Resolution for Service UAVs in Shared Airspace. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68, 1231-1242.
- [28] D'Amato, E., Notaro, I., & Mattei, M. (2018). Distributed Collision Avoidance for Unmanned Aerial Vehicles Integration in the Civil Airspace. *2018 International Conference on Unmanned Aircraft Systems*.
- [29] Sándor, Z. (2017). Challenges Caused by the Unmanned Aerial Vehicle in the Air Traffic Management. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 47, 96-105.
- [30] Domercant, J.C., Pinon-Fischer, O.J., Knisely, N.C., & Mavris, D. (2014). An Evaluation Framework for Unmanned Aircraft Systems Integration in the National Airspace System.

- [31] Ancel, E., Capristan, F.M., Foster, J., & Condotta, R.C. (2017). Real-Time Risk Assessment Framework for Unmanned Aircraft System (UAS) Traffic Management (UTM).
- [32] Vu, K., Chiappe, D., Morales, G., Strybel, T., Battiste, V., Shively, J., & 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, 49-80.
- [33] Pasaoğlu, C. (2016). İnsansız Hava Araçlarının Ulusal Hava Sahalarına Entegrasyonu ve Yeni Hava Trafik Yönetimi Konsepti İçin Otomatik HTK Modellemesi ile Uçuş Yönetim Sistemi Geliştirilmesi. Doktora Tezi.
- [34] Baum, D.M., Neto, E.C., De Almeida, J.R., Camargo, J.B., & Cugnasca, P.S. (2020). A Mindset-Based Evolution of Unmanned Aircraft System (UAS) Acceptance Into the National Airspace System (NAS). *IEEE Access*, 8, 30938-30952.
- [35] Musavi, N., Manzoor, A., & Yildiz, Y. (2021). A 3D Game Theoretical Framework for the Evaluation of Unmanned Aircraft Systems Airspace Integration Concepts. *ArXiv*, *abs/1802.07218*.
- [36] Vempati, L., Winter, S.R., Rice, S., Gawron, V.J., & Robbins, J. (2021). Pilots' Willingness to Operate in Unmanned Aircraft System Integrated Airspace. *The International Journal of Aerospace Psychology*, 31, 343 - 359.
- [37] Daniel, B.J., & Verma, A. (2020). Likelihood of Unmitigated Collision Risks for Uas in Defined Airspace Volumes. *2020 Integrated Communications Navigation and Surveillance Conference (ICNS)*, 2F2-1-2F2-7.
- [38] Truong, D., & Choi, W. (2020). Using machine learning algorithms to predict the risk of small Unmanned Aircraft System violations in the National Airspace System. *Journal of Air Transport Management*, 86, 101822.
- [39] Zhang, Z., Luo, C., Gursay, M.C., Qiu, Q., Caicedo, C., Solomon, A., & Basti, F. (2021). Neural Network Architecture Search and Model Compression for Fast Prediction of UAS Traffic Density. *2021 Integrated Communications Navigation and Surveillance Conference (ICNS)*, 1-9.
- [40] Neff, P.S. (2019). Crew Resource Management for Large Unmanned Aircraft Systems Operations. *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*.
- [41] Decker, C., & Chiambaretto, P. (2022). Economic policy choices and trade-offs for Unmanned aircraft systems Traffic Management (UTM): Insights from Europe and the United States. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*.
- [42] Kováčová, M., Gravio, G.D., & Patriarca, R. (2022). Unmanned aerial systems: Status and Forthcoming challenges for Safety Risk Management. *Transportation Research Procedia*.

- [43] Jung, H., Moon, W., Kang, J., Choi, K. (2019). RPAS Integration in Non segregated Airspace within Comparison between Radar Vectoring and Trajectory Based Operation Using a Real Time ATC Simulation.
- [44] Neto, E.C., Baum, D.M., Almeida, J.R., Camargo, J.B., & Cugnasca, P.S. (2022). UAS in the Airspace: A Review on Integration, Simulation, Optimization, and Open Challenges. *ArXiv*, *abs/2211.15330*.
- [45] Zhang, Z., Zhang, J., Wang, P., & Chen, L. (2018). Research on Operation of UAVs in Non-isolated Airspace.
- [46] Pérez-Castán, J.A., Comendador, F.G., Rodríguez-Sanz, Á., Valdés, R.M., & Alonso-Alarcón, J.F. (2020). Safe RPAS integration in non-segregated airspace. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 92, 801-806.
- [47] Reyes-Muñoz, A., Barrado, C., Pastor, E., & Royo, P. (2023). ATC Human Factors Involved in RPAS Contingency Management in Non-Segregated Airspace. *Applied Sciences*.
- [48] Carbo, L. (2015). Approach to the Introduction of RPAS in BADA 3 Aircraft Performance Model; Technical Report; Eurocontrol.
- [49] Vidović, A., Mihetec, T., Wang, B., & Štimac, I. (2019). Operation of drones in controlled airspace in Europe. *International Journal of Traffic and Transportation Engineering*.
- [50] Kamienski, J., & Semanek, J.L. (2015). ATC Perspectives of UAS Integration in Controlled Airspace. *Procedia Manufacturing*, 3, 1046-1051.
- [51] Neubauer, K.P., Fleet, D.D., Grosoli, F., & Verstynen, H.A. (2015). Unmanned Aircraft Systems (UAS) at Airports: A Primer. *ACRP Report*.
- [52] Chauhan, B. (2019). Unmanned Aerial System Integration into National Airspace System and Airports: Risk Mitigation using Content Analysis Methodology.
- [53] Serebryakov, A.T., Raduntsev, M., Prosvirina, N., & Zamkovo, A. (2023). Strategies for Passing Regulatory Procedures during the Operational Phase of Unmanned Aircraft Systems. *Drones*.
- [54] Rajawat, M. (2021). Weather Conditions and Its Effects on UAS. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*. ISSN: 2582-5208.
- [55] Gao, M., Hugenholtz, C.H., Fox, T.A., Kucharczyk, M., Barchyn, T.E., & Nesbit, P.R. (2021). Weather constraints on global drone flyability. *Scientific Reports*, 11.
- [56] Stastny, P., & Stoica, A.M. (2021). Safety Management for Unmanned Aviation. *INCAS BULLETIN*.
- [57] Ferreira, R.B., Baum, D.M., Neto, E.C., Martins, M.R., Almeida, J.R., Cugnasca, P.S., & Camargo, J.B. (2018). A Risk Analysis of Unmanned Aircraft Systems

- (UAS) Integration into non-Segregate Airspace. *2018 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, 42-51.
- [58] Weldon, W.T., Hupy, J., Lercel, D.J., & Gould, K. (2021). The Use of Aviation Safety Practices in UAS Operations: A Review. *Collegiate Aviation Review International*.
- [59] Liu, Z., Cai, K., & Zhu, Y. (2020). Civil unmanned aircraft system operation in national airspace: A survey from air navigation service provider perspective. *Chinese Journal of Aeronautics*.
- [60] Ivančik, R., & Nečas, P. (2022). Theoretical and Terminological View of Unmanned Aircraft. *INCAS BULLETIN*.
- [61] Savunma Sanayi Müsteşarlığı (SSM). (2011). *Türkiye İnsansız Hava Aracı Sistemleri Yol Haritası (2011-2030)*. Ankara.
- [62] Gupta, S., Ghonge, M.M., & Jawandhiya, P.M. (2013). Review of Unmanned Aircraft System (UAS).
- [63] Cavcar, A., Uslu, S., Canarslanlar A. O., Özgür, M. (2016) *Hava Trafik Kontrol Hizmetleri*. Anadolu Üniversitesi Yayını No:3293.
- [64] International Civil Aviation Organization (ICAO). (2007). *Doc 4444 Air Traffic Management*. Montreal.
- [65] International Civil Aviation Organization (ICAO). (2022). *This Air Traffic Management Automation System Implementation and Operations Guidance Document*.
- [66] European Union (EU). (2016). *European Drones Outlook Study*.
- [67] BIS Research, (2019). *Global Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Market - Analysis and Forecast, 2019-2029*.
- [68] Savaş, T. (2019). İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Ayrılmamış Hava Sahasına Entegrasyonu ile İlgili Mevzuatların Değerlendirilmesi. Eskişehir.
- [69] Dowling, K.L., & Louis, R.D. (2000). Asynchronous implementation of the nominal group technique: is it effective? *Decis. Support Syst.*, 29, 229-248.
- [70] Pérez-Castán, J.A., Comendador, F.G., Rodríguez-Sanz, Á., Valdés, R.M., & Torrecilla, J. (2019). Conflict-resolution algorithms for RPAS in non-segregated airspace. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*.
- [71] Neuman, W. L. (2017). Toplumsal Araştırma Yöntemleri Nitel ve Nicel Yaklaşımlar.
- [72] Saaty, T.L. (1986). Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Management Science*, 32, 841-855.

- [73] Saaty, T.L., & Vargas, L.G. (2012). Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process.
- [74] Ergün, N., & Bülbül, K.G. (2018). An assessment of factors affecting airport security services: an AHP approach and case in Turkey. *Security Journal*, 32, 20-44.
- [75] Petrovic, I.K., & Kankaraš, M. (2020). A Hybridized IT2FS-DEMATEL-AHP-TOPSIS Multi-Criteria Decision Making Approach: Case Study of Selection and Evaluation of Criteria for Determination of Air Traffic Control Radar Position.
- [76] Castelli, L., & Pellegrini, P. (2011). An AHP analysis of air traffic management with target windows. *Journal of Air Transport Management*, 17, 68-73.
- [77] Weijun, P., Jie, R., & Run-dong, W. (2019). Air Traffic Management Process Quality Assessment Model Based on Improved Fuzzy Matter Element Analysis. *Journal of Physics: Conference Series*.
- [78] Akyurt, I.Z., & Kabadayi, N. (2020). Bulanık AHP ve Bulanık Gri İlişkiler Analizi Yöntemleri ile Kargo Uçak Tipi Seçimi: Bir Türk Havayolu Firmasında Uygulama. *Journal of Yasar University*, 15, 38-55.
- [79] Ancheta, R.A., Bongo, M.F., Ocampo, L.A., Kilongkilong, D.A., Amit, M., Cuizon, O.A., & Arda, N.J. (2018). DEMATEL-AHP technique to minimise departure delays due to airspace congestion: a case in Mactan-Cebu International Airport. *Int. J. Syst. Syst. Eng.*, 8, 365-386.
- [80] Sah, B., Gupta, R., & Bani-Hani, D. (2020). Analysis of barriers to implement drone logistics. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 24, 531 - 550.
- [81] Gravio, G.D., Mancini, M., Patriarca, R., & Costantino, F. (2015). Overall safety performance of the air traffic management system: Indicators and analysis. *Journal of Air Transport Management*, 44, 65-69.
- [82] Özdemir, M., & Sağır, M. (2021). Application of the ANP in the interview phase of air traffic controller candidate selection process. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*.
- [83] Başkale, H. (2016). Nitel Araştırmalarda Geçerlik, Güvenirlik ve Örneklem Büyüklüğünün Belirlenmesi.

EKLER

EK 1: Etik Kurul Belgesi

Evrak Kayıt Tarihi: 27.10.2022

Protokol No: 427148

Tarih: 22.11.2022



ANADOLU ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL VE BEŞERÎ BİLİMLER BİLİMSEL ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ KURULU
KARAR BELGESİ

ÇALIŞMANIN TÜRÜ:	Doktora Tez Çalışması
KONU:	Sosyal Bilimler
BAŞLIK:	İnsansız Hava Araçları Operasyonlarının Hava Trafikğine Entegrasyonundaki Potansiyel Problemlerin Tespiti ve Çözümüne Yönelik Bir Araştırma
PROJE/TEZ YÜRÜTÜCÜSÜ:	Prof. Dr. Öznur USANMAZ
TEZ YAZARI:	Ahmet KÖKHAN
ALT KOMİSYON GÖRÜŞÜ:	-
KARAR:	Olumlu

EK 2: Yarı Yapılandırılmış Görüşme Soruları

- İnsansız hava araçları operasyonlarının hava trafiğine entegrasyon süreci mevcut hava trafik sistemini nasıl etkilemiştir?
- İnsansız hava araçları operasyonlarının hava trafiğine entegrasyon sürecinde problemler yaşanmakta mıdır?
 - Yaşanan problemleri nelerdir?
 - Bu problemin nedenleri nelerdir?
 - Bu konudaki deneyimleriniz nelerdir?
 - İlgili problemi ne sıklıkla yaşamaktasınız?

EK 3: Toplantılar Hakkında Bilgi

Tarih:

27 Eylül 2023 Çözüm önerileri toplantısı birinci oturum

06 Ekim 2023 Çözüm önerileri toplantısı ikinci oturum

Yer:

Eskişehir Teknik Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi Dekanlık Toplantı salonu

Teknik:

Nominal Grup Çalışması Tekniği

Program:

1.oturum

*14.00-14.30: Araştırma hakkında genel bilgiler verilmesi ve toplantıda uygulanacak teknik hakkında bilgilendirme

*14.30-17.00: Birinci Oturum- Nominal Grup Çalışması

2.oturum

*13.00-13.30: Araştırma hakkında genel bilgiler verilmesi ve toplantıda uygulanacak teknik hakkında bilgilendirme

*13.30-17.00: İkinci oturum- Nominal Grup Çalışması