



**KENTSEL HAVA HAREKETLİLİĞİ İÇİN KARŞILAŞTIRMALI HAVA
SAHASI KAVRAMSAL MODELİ**

Abdullah YILMAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
TRAFİK PLANLAMASI VE UYGULAMASI ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN, 2022

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir

aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Abdullah YILMAZ

30/06/2022

KENTSEL HAVA HAREKETLİLİĞİ İÇİN KARŞILAŞTIRMALI HAVA SAHASI KAVRAMSAL MODELİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Abdullah YILMAZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2022

ÖZET

İnsansız hava araçları, günümüzde eğlence ve hobi amacıyla tercih edilmesinin yanı sıra, tarımsal faaliyetlerde, güvenlik amaçlı gözetlemede, arama-kurtarma faaliyetlerinde ve daha birçok alanda etkin bir şekilde kullanılmaya ve bu teknolojinin sağladığı faydalardan yararlanılmaya başlanmıştır. Yaşanan gelişmeler başta ulaşım ve havacılık sektörü olmak üzere diğer birçok sektörün de ilgisini çekmiştir. Dronlar, uzaktan pilotlu hava aracı sistemleri (RPAS), otonom hava araçları, henüz konsept teknolojiler olarak karşımıza çıkan sürücülü ve sürücüsüz kişisel hava araçları (PAV, DPAV) gelecekte günlük yaşamımızın bir parçası olarak insanların yaşadığı yerleşim yerleri ve civarında ciddi bir kentsel hava hareketliliği (Urban Air Mobility-UAM) oluşturacaktır. Kentsel hava sahasında gerçekleşecek olan bu hareketliliğin, mevcut hava trafik yönetimi (ATM) ile uyumlu bir şekilde yönetilmesi büyük önem arz etmektedir. İnsansız hava sistemleri trafik yönetiminin (UTM) ihtiyaçları ATM'den farklıdır. Ancak yeni teknolojilerle birlikte mevcut ATM teknolojileri ve hava sahası tasarım prosedürleri referans alınarak UTM çözümleri sunulabilir. Bu çalışmada, kentsel hava sahasının konsept modeli ve bu sahada gerçekleştirilecek operasyonlar için gerekli olan hizmetler ve sistemler, ATM sistemleri ve genel havacılık kuralları ışığında değerlendirilmiştir. İlk olarak kentsel hava hareketliliği ve dron operasyonları konusunda Avrupa'da ve Türkiye'de yaşanan gelişmelere özetle yer verilmiştir. Daha sonra konsept hava sahası tasarım önerisinde bulunulmuştur. Son bölümde kentsel hava sahasında verilmesi gereken hizmetler ve kullanılacak sistemlere yer verilmiştir.

Bilim Kodu : 80201
Anahtar Kelimeler : Kentsel Hava Hareketliliği, İnsansız Hava Aracı, ATM, UTM, RPAS, Hava Trafik Yönetimi
Sayfa Adedi : 69
Danışman : Doç. Dr. Hayri ULVİ

COMPARATIVE AIRSPACE CONCEPTUAL MODEL FOR URBAN AIR MOBILITY
(M. Sc. Thesis)

Abdullah YILMAZ

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2022

ABSTRACT

In addition to being preferred for entertainment and hobby purposes, unmanned aerial vehicles have begun to be used effectively in agricultural activities, security surveillance, search and rescue activities and many other areas. The developments have been experienced so far attracted the attention of many other sectors, especially the transportation and aviation sector. As a part of our daily life in the future, drones, autonomous air vehicles, remotely piloted aircraft systems (RPAS), and personal air vehicles (PAV, DPAV) that some are still concept technologies will create a serious urban air mobility (UAM) over and around settlements where people live. It is of great importance that this mobility, which will take place in the urban airspace, is managed in harmony with the existing air traffic management (ATM). Unmanned aerial systems traffic management (UTM) needs are different from ATM. However, UTM solutions can be offered by referencing existing ATM airspace design procedures, and technologies along with new ones. In this study, a concept model of urban airspace, and services and systems required for the operations in this field were evaluated in the light of ATM systems and general aviation rules. First, developments in Europe and Turkey on urban air mobility and drone operations are briefly mentioned. Then, a concept airspace design was proposed. In the last section, the services to be provided in urban airspace and the systems to be used are included.

Science Code	: 80201
Key Words	: Urban Air Mobility, Unmanned Aerial Vehicles, ATM, UTM, RPAS, Air Traffic Management
Number of Page	: 69
Supervisor	: Doç. Dr. Hayri ULVİ

TEŞEKKÜR

Fikir ve tecrübeleriyle çalışmama destek olan, yardımını esirgemeyen ve yol gösteren değerli hocam Doç. Dr. Hayri ULVİ'ye, değerli yorumları ve katkılarından ötürü Hava Sahası Tasarım Uzmanı Murat CANPOLAT'a, Merkez Hava Trafik Kontrolörü Suat YILDIRIM'a ve ATM Ar-Ge Mühendisi Yunus Emre DEMİRCİ'ye, teşviklerinden ötürü kıymetli arkadaşım Hava Trafik Sistemleri Çözüm Yöneticisi Gazihan IŞILDAK'a, çalışma süresince bana destek olmak için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan ve koşulsuz destek olan başta eşim Nurgül Betül YILMAZ olmak üzere tüm aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. İnsansız Hava Aracı Tanımı ve Çeşitleri	1
1.2. Kentsel Hava Hareketliliği Altyapısı Hazır Mı?	3
2. KENTSEL HAVA HAREKETLİLİĞİ VE DRON FAALİYETLERİ KONUSUNDA AVRUPA’DA YAŞANAN GELİŞMELER	7
2.1. U-space.....	8
2.2. SESAR 2020 Programı Uzaktan Pilotlu Hava Aracı Sistemleri (RPAS) Araştırma Çağrısı (H2020-SESAR-2016-1).....	10
2.3. Avrupa’da Son Durum	15
3. KENTSEL HAVA HAREKETLİLİĞİ VE DRON FAALİYETLERİ KONUSUNDA TÜRKİYE’DE YAŞANAN GELİŞMELER.....	17
4. KENTSEL HAVA HAREKETLİLİĞİ KONSEPT HAVA SAHASI.....	21
4.1. Kentsel Hava Sahası Sınırlarının Belirlenmesi	21
4.1.1. Üst limitin belirlenmesi.....	21
4.1.2. Alt limitin belirlenmesi	27
4.1.3. Yatay coğrafi limitlerin belirlenmesi	29
4.2. Kentsel Hava Sahası İçerisinde Kullanılacak Hava Koridorları	29

	Sayfa
4.3. Kentsel Hava Sahasında İniş-Kalkış Rotaları ve Park Alanları	31
4.4. Kentsel Hava Sahaları Arasında Ulaşım	32
5. KENTSEL HAVA SAHASINDA VERİLMESİ GEREKEN HİZMETLER VE KULLANILACAK SİSTEMLER	35
5.1. UAM Uçuş Bilgi Paylaşım Sistemi.....	35
5.2. Kentsel Hava Sahasında Hava Trafik Kontrol Arayüzü	36
5.3. Kentsel Hava Sahası Haberleşme, Seyrüsefer ve Gözetim (Communication Navigation Surveillance-CNS) Hizmetleri.....	38
5.3.1. ATM’de kullanılan gözetim sistemlerinden bazıları.....	39
5.3.2. Kentsel hava sahasını kullanan hava araçlarının pozisyon bilgisi ve kimlik tanımlaması (identification)	42
5.3.3. Kentsel hava sahası için gözetim sistemi	46
5.4. Kentsel Hava Sahası Emniyet Hizmetleri	48
5.4.1. Coğrafi çit (Geo-fencing).....	49
5.4.2. Algıla ve sakın (Detect and avoid-DAA).....	51
5.4.3. Çakışma çözümü (Deconfliction)	55
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR	61
EKLER.....	67
EK-1. Kentsel Hava Hareketliliği için Karşılaştırmalı Hava Sahası Kavramsal Modeli.....	68
ÖZGEÇMİŞ	69

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Uyulması gereken seyir seviyeleri.....	21
Çizelge 5.1. Multilateration tarafından kullanılan ana iletimler. Wide Area Multilateration Study Report on EATMP kaynağından uyarlanmıştır.....	43
Çizelge 5.2. GNSS Sistemleri ve ait oldukları ülkeler.....	45

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Dron ve insansız hava aracı sistemleri	2
Şekil 1.2. Çalışma metodolojisi	5
Şekil 2.1. SESAR Ortak Girişimi kuruluş yapısı.....	7
Şekil 2.2. U-space hizmet blokları.....	10
Şekil 3.1. Türkiye’de insansız hava aracı çalışmalarına ilişkin güncel durum.....	19
Şekil 4.1. Türkiye’de insansız hava aracı çalışmaları, kentsel hava hareketliliği üst limiti	23
Şekil 4.2. Kentsel hava sahasından geçen mevcut hava trafiğine ait iniş-kalkış rotaları	25
Şekil 4.3. Kentsel hava sahasında bulunan özel ve askeri bölgeler	26
Şekil 4.4. Kentsel hava sahasında uçuşa yasak bölgeyi belirleyen faktörler.....	28
Şekil 4.5. Kentsel hava sahası modeli.....	29
Şekil 4.6. RNP APCH (solda) ve RNP AR APCH (sağda) prosedür tasarım örneği	30
Şekil 4.7. Kentsel hava sahası içerisindeki hava koridorları	31
Şekil 4.8. Kentsel hava sahasında iniş-kalkış rotaları ve park alanları	32
Şekil 5.1. Hava trafik kontrol hizmetinin safhaları.....	37
Şekil 5.2. Birincil gözetim radarı (Primary Surveillance Radar - PSR)	39
Şekil 5.3. İkincil gözetim radarı (Secondary surveillance radar - SSR)	40
Şekil 5.4. Otomatik bağımlı gözetim yayını (ADS-B)	41
Şekil 5.5. Multilateration (MLAT)	42
Şekil 5.6. ADS-B extended squitter 1090 mesaj formatı.....	44
Şekil 5.7. Havalimanı ve civarında coğrafi çit uygulamaları.....	50
Şekil 5.8. Algı ve sakın (DAA) sistemleri	53
Şekil 5.9. Çakışma ve çakışma alanı.....	56

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 4.1. Atatürk Havalimanı standart iniş kalkış rotalarından bazıları	24

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklamalar
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (Otomatik Bağımlı Gözetim-Yayın)
AIM	Aeronautical Information Management (Havacılık Bilgi Yönetimi)
AIP	Aeronautical Information Publication (Havacılık Bilgi Yayını)
ANSP	Air Navigation Services Provider (Hava Seyrüsefer Hizmet Sağlayıcı)
ATM	Air Traffic Management (Hava Trafik Yönetimi)
BVLOS	Beyond visual line of sight
CNS	Communication Navigation Surveillance (Haberleşme Seyrüsefer Gözetim)
CONOPS	Concept of Operations
CORUS	Concept of Operations for European UTM Systems
CTR	Control Zone (Kontrol Sahası)
CWP	Controller Working Position
DAA	Detect and Avoid (Algıla ve Sakın)
DFS	Deutsche Flugsicherung GmbH (Almanya Hava Seyrüsefer Hizmet Sağlayıcı)
Dipul	Digitale Plattform Unbemannte Luftfahrt
DPAV	Driverless Personal Aerial Vehicle
DREAMS	Drone European AIM Study
EASA	European Union Aviation Safety Agency (Avrupa Birliği Havacılık Emniyeti Ajansı)
ES	Extended Squitter
EUROCAE	European Organization for Civil Aviation Equipment
EUROCONTROL	Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Teşkilatı
eVTOL	Electrical Vertical Take-off and Landing
FLARM	Flight Alarm (Hafif uçak ve planör gibi hava araçları arasındaki çarpışmaları önlemek için kullanılan cihaz).

Kısaltmalar	Açıklamalar
GNSS	Global Navigation Satellite System (Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemi)
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile
ICAO	International Civil Aviation Organization (Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı)
ICARUS	Integrated Common Altitude Reference system for U-space
IFR	Instrument Flight Rules
IMPETUS	Information Management Portal to Enable the Inegration of Unmanned Systems
İHA	İnsansız Hava Aracı
KUŞRAD	Kuş Tespit Radarı (Avian Radar)
LIDAR	Light Detection and Ranging
MEA	Minimum Enroute Altitude
MİA	Merkezi İş Alanı
MLAT	Multilateration (Varış zamanı ölçümüne dayalı konum belirleme teknîği)
MOCA	Minimum Obstacle Clearance Altitude (Asgari Mania Müsaade İrtifası)
MSA	Minimum Safe Altitude (Minimum Emniyet İrtifası)
PAV	Personal Air Vehicles (Kişisel Hava Aracı)
PCAS	Passive Collision Avoidance Systems
PODIUM	Proving Operations of Drones with Initial UTM Management
PSR	Primary Surveillance Radar
RADAR	Radio Detection and Ranging
RNP APCH	Required Navigation Performance Approach
RNP AR APCH	Required Navigation Performance-Authorization Required Approach
RNP	Required Navigation Performance
RPAS	Remotely Piloted Aircraft Systems (Uzaktan Pilotlu Hava Aracı Sistemleri)

Kısaltmalar	Açıklamalar
RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautics
RVSM	Reduced Vertical Separation Minima (Azaltılmış Dikey Ayırma Minimumu)
SAFIR	Safe and Flexible Integration of Initial U-space Services in a Real Environment
SERA	Standardized European Rules of the Air
SESAR JU	Single European Sky ATM Research Joint Undertaking (Tek Avrupa Hava Sahası ATM Araştırmaları Ortak Girişimi)
SID	Standard Instrument Departure
SSR	Secondary Surveillance Radar
STAR	Standard Arrival
TDOA	Time Difference of Interval (Varış zamanı farkı)
UAM	Urban Air Mobility
UAS	Unmanned Aircraft System
UAV	Unmanned Aerial Vehicle (İnsansız Hava Aracı)
UTM	Unmanned Aircraft System Traffic Management
VFR	Visual Flight Rules
VLL	Very Low Level
VLOS	Visual line of sight
VTOL	Vertical Take-off and Landing
WAM	Wide Area Multilateration

1. GİRİŞ

Kentleşme ile birlikte artan nüfus yoğunluğu kent içi ulaşımı günden güne daha zor bir hale getirmektedir. Artan nüfus yoğunluğunun yanı sıra, kentsel ulaşım planlamalarında yer alan üst yapı ve teknik alt yapı, nüfus artış oranını karşılayabilecek düzeyde geliştirilemiyorsa eğer, kent içi seyahat süreleri kentler arası seyahat sürelerinin üzerine çıkabilmektedir. Bu sorunu neredeyse tüm metropollerde görmek mümkündür. Gelişen teknoloji, hayatın her alanında olduğu gibi taşımacılık sektöründe de birçok yeniliğin önünü açmakta ve karşılaştığımız sorunlara yeni çözümler getirmektedir.

Günümüzde hava ulaşımı hem ulusal hem de uluslararası yük ve yolcu taşımacılığında çok önemli bir yere sahiptir ve her geçen gün daha çok tercih edilmektedir. Ancak büyük kentlerde çok az oranda da olsa helikopterler ile yapılan hava ambulans ve hava taksi gibi taşımacılık yöntemlerini saymazsak, hava ulaşımı henüz kent içi ulaşım türlerinden biri olarak görülmemektedir.

Hayatımıza çoktan girmiş bulunan insansız hava araçları (İHA) ve henüz konsept teknolojiler olarak karşımıza çıkan kişisel hava araçları (Personal Air Vehicles) ile kent içi ulaşım sorunlarının büyük ölçüde çözülebileceği ve seyahat sürelerinin çok daha kısaldığı düşünülmektedir. Sürdürülebilirlik açısından düşündüğümüzde, gelecekte kent içi ulaşımında mevcut sistemlerle birlikte yeni nesil teknolojilerin kullanılması kaçınılmaz görünmektedir.

1.1. İnsansız Hava Aracı Tanımı ve Çeşitleri

Günümüzde “dron” ve “insansız hava aracı” isimleri çoğu zaman birbirinin yerine kullanılmaktadır. Bazılarına göre ise bir insan kontrolü olmadan, otonom uçan araçlara dron; uzaktan kontrol edilebilenlere insansız hava aracı denir. Öte yandan, ilk çıkan dronlar genellikle askeri amaçlar doğrultusunda kullanıldığından dron kavramı olumsuz izlenim de bırakabilmektedir. Bu nedenle genellikle insansız hava aracı ifadesi tercih edilmektedir.

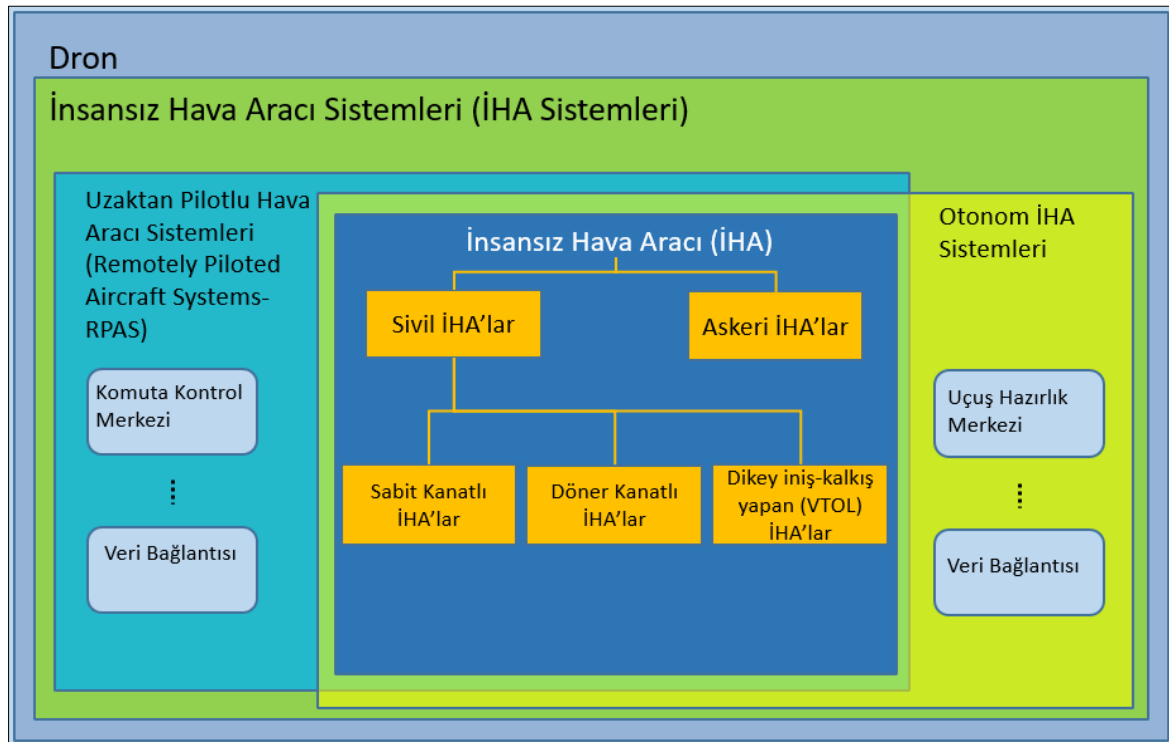
İçinde pilotu olmayan, tamamen otonom ya da uzaktan kontrollü, denizde veya havada seyahat edebilen her türlü araç aslında dron olarak kabul edilmektedir [1]. Dolayısıyla uzaktan kumanda ile kontrol edilebilen ya da otonom bir uçak veya gemi dron olarak

nitelendirilebilir. Havada seyahat edebilen dronlar da “İHA (insansız hava aracı)” ya da İngilizce kısaltması ile “UAV (unmanned aerial vehicle)” olarak adlandırılmaktadır.

İHA veya UAV yalnızca hava aracını ifade etmek için kullanılır. Hava aracı, veri bağlantısı, faydalı yükleri ve yerdeki kontrol birimi gibi tüm bileşenleri ifade etmek için “İHA sistemleri” veya “UAS (unmanned aerial systems)” isimleri kullanılmaktadır [1].

İHA sistemleri de kendi içinde otonom ve uzaktan pilotlu olarak ikiye ayrılır. Bir pilot tarafından, yerdeki bir operasyon merkezinden kontrol edilen İHA sistemleri, “uzaktan pilotlu hava aracı sistemleri” ya da RPAS (remotely piloted aircraft systems) olarak adlandırılır [2].

İnsansız hava araçları kullanım alanlarına göre sivil ve askeri olarak iki temel kategoriye ayrılır. Sivil İHA’lar da kanat yapılarına göre içinde sabit kanatlı, döner kanatlı ve dikey iniş-kalkış yapan (VTOL) İHA’lar olarak 3’e ayrılabilir.



Şekil 1.1. Dron ve insansız hava aracı sistemleri

İnsansız hava araçları kent içi hava taşımacılığının yanı sıra tarımsal faaliyetlerde, güvenlik amaçlı gözetlemede, arama-kurtarma faaliyetlerinde, doğal afetlerin, yangınların

izlenmesinde ve daha birçok alanda etkin olarak kullanılabildiği gibi eğlence ve hobi amaçlı olarak da kullanılmaktadır. Bu nedenle söz konusu yeni konsept, kentsel hava ulaşımı yerine kentsel hava hareketliliği olarak adlandırılmıştır.

1.2. Kentsel Hava Hareketliliği Altyapısı Hazır Mı?

Teknolojideki gelişmelere, yeni iş modellerine ve kentsel hava hareketliliğine yatırım yapan şirketlerin sayısına ve büyüklüğüne bakıldığında, 10 yıl gibi kısa bir sürede kent içi hava ulaşımının hayatımıza girmeye başlaması beklenmektedir. Hayatımıza girdikten sonra, yeni nesil teknolojilere olan ilgi, yeni yaşam tarzları ve daha çevreci bakış açısı sayesinde söz konusu ulaşım türünün çok hızlı bir ivme ile büyüyeceğini tahmin etmek de zor değildir.

Yukarıda da anıldığı gibi, günümüzde ulaşımdaki payı çok düşük de olsa büyük kentlerin birçoğunda hava taksi aracı, ambulans, arama-kurtarma, emniyet ve gözetim gibi amaçlarla helikopterler kullanılmaktadır. Ancak helikopterler geleneksel havacılık yöntemleriyle bu faaliyetlerini sürdürmektedir. Urban Air Mobility olarak bilinen kentsel hava hareketliliği ile yeni bir taşımacılık hedeflenmektedir.

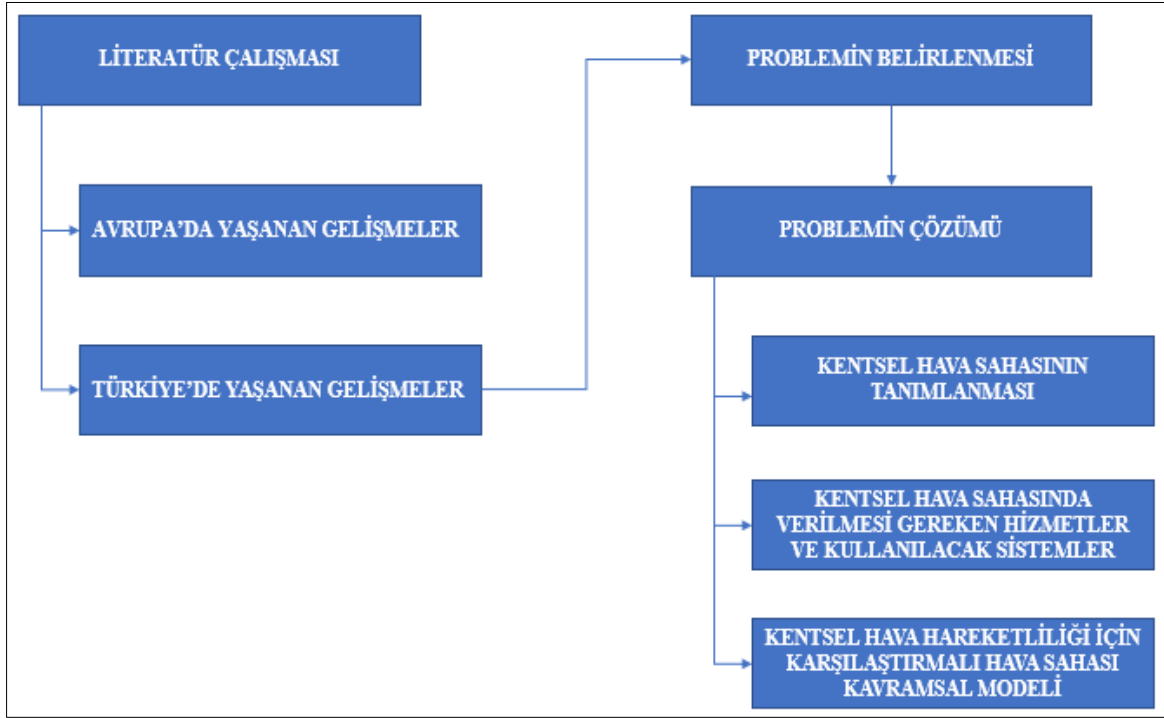
Dron olarak bilinen ve şehir içi yük/kargo taşımacılığında kullanılması planlanan otonom veya uzaktan kumandalı hava araçları; yolcu taşımacılığında kullanılması hedeflenen, 1-2-4 kişi kapasiteli, helikopterlere göre küçük ve çok daha hafif olan hava araçları, bunların iniş ve kalkışlarını gerçekleştirebilecekleri heliportlara benzer vertiportlar; kent üzerinde söz konusu hareketliliğin gerçekleşeceği ve günümüz hava araçlarının kullandığı kontrollü hava sahaları ve hava yolları ile çakışmayacak yeni hava sahaları ve rotalar düşünüldüğünde, konsept hava hareketliliği için çoğu şeyin baştan tasarlanması gerektiği açıktır. Çünkü insansız hava sistemleri trafik yönetiminin (UTM) ihtiyaçları, mevcut hava trafik yönetiminden (ATM) farklıdır.

Avrupa’da, Amerika’da ve gelişmiş uzak doğu ülkelerinde UTM çalışmaları ve akademik araştırmaları 2015 yılından itibaren hız kazanmaya başlamıştır. Ancak Türkiye’de, bu alanda çok az sayıda makale yazılmış olup herhangi bir tez çalışması bulunmamaktadır. Ulusal Tez Merkezi’nde yapılan aramalarda Kentsel Hava Hareketliliği, UTM ve UAM ile ilgili herhangi bir sonuç çıkmamaktadır. Bu çalışma, kentsel hava hareketliliği konusunda Türkiye’de yapılan ilk tez çalışması olma niteliğine sahiptir.

Bu tezin amacı, kentsel hava sahasının sınırlarını belirlemek, bu sahada gerçekleştirilecek operasyonlar için gerekli olan hizmetleri ve sistemleri tanımlamak ve kentsel hava hareketliliği için kavramsal bir model oluşturmaktır. Bu çerçevede, genel olarak ulusal ve uluslararası literatürden, özellikle de Avrupa'daki araştırmalar ve proje sonuçları ile elde edilen tecrübe ve çıkarımlardan yola çıkılarak Türkiye'de henüz pek çalışma yapılmamış kentsel hava hareketliliği konusuna hem hava sahası tanımlaması hem de verilecek hizmetler açısından bütünsel bir bakış getirilmektedir. Yöntem olarak, yeni teknolojilerle birlikte mevcut ATM teknolojileri ve hava sahası tasarım prosedürleri referans alınarak UTM çözümleri sunulmuştur. Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Teşkilatı'nın (Eurocontrol) genel yaklaşımı da güvenli entegrasyonu sağlamak için ATM sisteminin UTM'e uyarlanması değil, UTM'in ATM sistemine uyarlanması şeklindedir [2]. Bu nedenle, kentsel hava sahasının sınırları ile bu sahanın emniyeti ve sürdürülebilirliği için gerekli olan hizmetler ve sistemler, mevcut ATM sistemleri ve genel havacılık kuralları ışığında değerlendirilmiştir.

Dünya'da sivil havacılık, temelde Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı'nın (ICAO) belirlediği kurallar çerçevesinde yürütülse de uygulamalar bölgelere göre değişiklik göstermektedir. Türkiye, Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Teşkilatı'nın bir üyesidir ve uygulamaları itibari ile Avrupa hava sahası ile uyumludur. Bu nedenle tez çalışması için Amerika'da ya da uzak doğuda yapılan araştırmalar yerine daha çok Avrupa'da yapılan araştırmalardan ve proje sonuçlarından yararlanılmıştır.

Bu tez çalışmasında izlenen yöntem Şekil 1.2. özetle ifade edilmiştir.



Şekil 1.2. Çalışma metodolojisi

Dronlar hayatımıza girmeye başladıktan sonra neredeyse her alanda kullanılmaya ve bu teknolojinin sağladığı faydalardan yararlanılmaya başlanmıştır. Bu durum başta ulaşım ve havacılık sektörü olmak üzere birçok sektörün ilgisini çekmiştir.

2016 yılında AB Araştırma ve Yenilik Programı olan Horizon 2020 kapsamında “SESAR 2020 Programı Uzaktan Pilotlu Hava Aracı Sistemleri (RPAS) Araştırmaları” çağrısı açılmıştır [6]. Benzer şekilde, ulaşımdan sorumlu Avrupa Komisyonu birimi tarafından aynı yıl yayımlanan Varşova Deklarasyonu ile insansız hava araçlarının ekonomik ve toplumsal faydalar sağlamaya yönelik potansiyeline vurgu yapılarak bu potansiyelin ortaya çıkarılması için çalışma yapmak ve karmaşık dron operasyonları için hızlı, güvenli ve verimli trafik akışı sağlamak amacıyla bir çerçeve sunmak üzere U-space kavramı ilk kez ortaya atılmıştır [7].

Avrupa Komisyonu, dronların hava sahasına güvenli ve emniyetli entegrasyonunu sağlamayı amaçlayan bir girişim olan U-space ile Avrupa çapında insansız hava araçlarının uyması gereken kural ve düzenlemelerin yanı sıra teknik ve operasyonel gereksinimlere yönelik araştırma ve geliştirme faaliyetlerini yürütme görevini söz konusu deklarasyon ile SESAR ortak girişimine vermiştir [7].

SESAR JU vakit kaybetmeden çalışmalara başlamış ve Haziran 2017’de “U-space Blueprint” adını verdiği, dronlara ilişkin temel hizmetlerden tam entegre operasyonlara kadar tüm adımları tanımlayan gelecek vizyonu içeren bir U-space Planı yayımlamıştır [8].

2.1. U-space

U-space, yüksek otomasyon seviyesine sahip karmaşık dron operasyonlarında hava sahasının emniyetli, verimli ve güvenli kullanımını desteklemek üzere tasarlanmış bir dizi hizmet ve prosedürlerin bütünüdür. Bu hizmetler ister hava aracında olsun ister yer tabanlı olsun, yüksek düzeyde bir dijitalleşme ve otomasyona dayanmaktadır. U-space, dron operasyonları için bir çerçeve sunmanın yanı sıra, mevcut hava trafik yönetimi (Air Traffic Management, ATM) için hava seyrüsefer hizmet sağlayıcılarına (Air Navigation Services Provider, ANSP) da etkin bir ara yüz sağlamaktadır. Dolayısıyla U-space yalnızca, izole edilerek dronların kullanımına tahsis edilen, sınırları belirlenmiş bir hava sahası gibi düşünülmemelidir [9].

U-space Blueprint dokümanında hem U-space ile ilgili anahtar prensipler belirlenmiş hem de entegrasyon hedefine aşamalı şekilde nasıl geçileceğine dair bir yöntem belirlenmiştir. Buna göre, aşamalı tam entegrasyon 4 hizmet bloğuna ayrılmıştır. Bu hizmet bloklarının kullanılabilirliği ölçüsünde U-space'in aşamalı gelişimi de sağlanmış olacaktır. Zamanla, insanlı ve insansız hava araçları otomasyon seviyesi arttıkça dijital bilgi ve veri alışverişi de artacak ve böylece U-space hizmetleri gelişecektir.

U1 (u-space temel hizmetleri)

Hava araçlarının kayıtlı olması (e-registration), tanımlanabilmeleri için her araca bir kimlik numarası verilmesi (e-identification) ve hava araçlarının coğrafi çit (geo-fencing) yeteneğine sahip olması temel gerekliliklerdir. Bu nedenle ilk olarak tüm hava araçlarının bunları sağlaması gerekir.)

U2 (u-space başlangıç düzeyi hizmetleri)

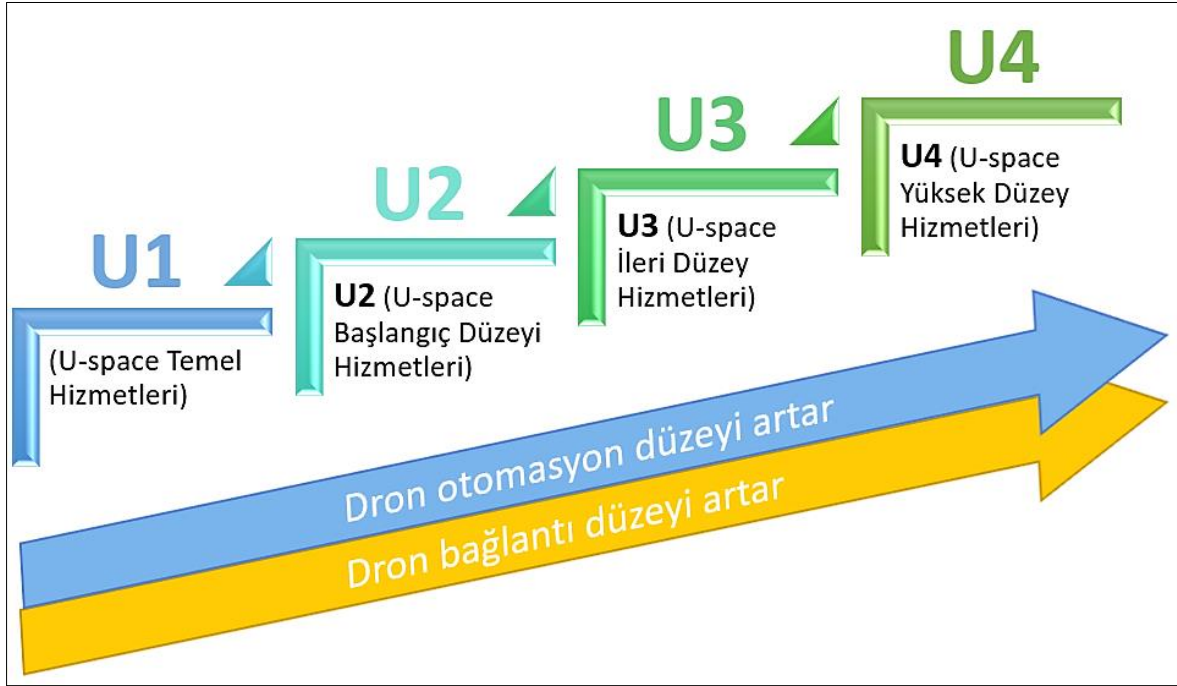
Operasyonlara ilişkin uçuş planları, uçuş onayları, izleme, hava sahası dinamik bilgisi ve hava trafik kontrol ile bilgi alışverişi U2 düzeyinde hizmet tanımı içerisinde değerlendirilmektedir.

U3 (u-space ileri düzey hizmetleri)

Yoğun alanlarda karmaşık operasyonları destekleyen kapasite yönetiminin yapılabilirdiği, çakışma tespiti, “algıla ve kaçın” (DAA) gibi fonksiyonların kullanılabildiği hizmet düzeyidir.

U4 (u-space yüksek düzey hizmetleri)

Özellikle insanlı hava araçlarının da büyük ölçüde dahil olduğu operasyonlarda, yukarıda anılan tüm hizmetleri sunmanın yanı sıra çok yüksek düzeyde bir otomasyon ve dijitalleşmeye dayanan tam entegre bir U-space sistemi hedeflenmektedir. Dokümanda ayrıca U-space Hizmetlerinin hayata geçirilmesi durumunda Avrupa toplumuna ve ekonomisine sağlayacağı faydalar da sıralanmıştır.



Şekil 2.2. U-space hizmet blokları. SESAR Ortak Girişimi: *U-space Blueprint* kaynağından uyarlanmıştır [9]

2.2. SESAR 2020 Programı Uzaktan Pilotlu Hava Aracı Sistemleri (RPAS) Araştırma Çağrısı (H2020-SESAR-2016-1)

Ufuk2020 (Horizon2020) Araştırma ve Yenilik Programı kapsamında ve SESAR JU (Tek Avrupa Hava Sahası Hava Trafik Yönetimi Araştırmaları Ortak Girişimi) sorumluluğunda açılan SESAR 2020 Programı ile aslında hava trafik yönetimine ilişkin araştırma ve yenilik projelerinin tamamının desteklenmesi amaçlanmaktadır. SESAR 2020 Programı altında açılan uzaktan pilotlu hava aracı sistemleri (RPAS) araştırmaları çağrısı ise yalnızca bu alandaki keşif araştırmaları ve sergileme projelerine yöneliktir.

Teknik şartnamesi Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı (EASA) ile birlikte hazırlanan çağrının destek bütçesi 9 milyon avro olarak belirlenmiştir. Çağrı kapsamında destek sunulmuş konuların başlıkları aşağıda yer almaktadır [10].

- RPAS-01: SESAR UTM Concept Definition
- RPAS-02: Drone information management
- RPAS-03: Aircraft systems
- RPAS-04: Ground-based technology
- RPAS-05: Datalink

- RPAS-06: Security & cyber-resilience
- RPAS-07: Science for higher levels of automation

Söz konusu çağrıya ilişkin Teknik Özellikler dokümanı SESAR tarafından 2016 yılında yayınladıktan sonra başvurular kabul edilmeye başlanmıştır. Bu kapsamda, 2017 ve 2018 yıllarında U-space hizmetlerini hayata geçirebilmek adına gerekli hizmetleri ve teknolojik yetenekleri araştırmayı amaçlayan toplam 19 keşif araştırma ve sergileme projesi başlatılmıştır. Projeler, yaklaşık 25 Avrupa havalimanını, 25 hava seyrüsefer hizmet sağlayıcısını, 11 üniversiteyi, 65'ten fazla start-up'ı ve işletmeyi ve ayrıca EUROCAE ve EASA dahil olmak üzere standardizasyon ve düzenleyici kurumlarla yakın iş birliği içinde çalışan 800 uzmanı bir araya getirmiştir [8]. Yapılan çalışmalara ilişkin SESAR tarafından “Avrupa'da Emniyetli ve Güvenli Dron Operasyonlarının Desteklenmesi (Supporting Safe And Secure Drone Operations in Europe)” adıyla, 2020 yılında, bir U-space araştırma ve inovasyon sonuçları raporu yayımlanmıştır.

Program kapsamında geliştirilen projelerden bazıları aşağıda belirtilmiş olup kapsamı hakkında kısaca bilgi verilmiştir.¹

CORUS (Concept of operations for european UTM systems)

CORUS (Avrupa UTM Sistemleri için Operasyon Konsepti) Projesi, Avrupa'daki VLL (Very Low Level) hava sahasında UTM (UAS Trafik Yönetimi) için bir referans doküman olarak “Concept of Operations (CONOPS)” geliştirmek üzere hem ATM hem UTM havacılık sektöründen hem de akademik çevreden birçok uzmanı bir araya getirmeyi amaçlamıştır [11].

CORUS projesi ile U-space Operasyon Konsepti (CONOPS) için geniş bir uzlaşma sağlanmıştır. Söz konusu proje, temel bir U-space mimarisi sundu ve hizmetin güvenli ve verimli olması amacıyla çok düşük seviyeli dron operasyonları için kullanılacak hava sahası türlerinin ve bu sahalarda verilecek olan hizmetlerin ayrıntılı bir tanımını yapmıştır. CORUS

¹ Türkiye’de Ufuk2020’ye ilişkin koordinasyon, bilgilendirme ve destek gibi tüm faaliyetler TÜBİTAK tarafından yürütülmektedir.

Projesi ile ortaya çıkan CONOPS, ilk kez, kolayca anlaşılabilir ve Avrupa'daki U-space uygulamasının temelini oluşturabilecek eksiksiz bir U-space resmi sunmuştur [8].

SAFIR (Safe and flexible integration of initial U-space services in a real environment)

Kamu ve özel toplam 13 organizasyondan oluşan ve Unifly Şirketi tarafından yönetilen SAFIR konsorsiyomu Belçika'daki çok çeşitli dron faaliyetleri için entegre dron trafik yönetimini göstermek üzere SESAR tarafından seçildi. SAFIR'in amacı, insansız hava araçları konusunda AB mevzuat sürecine ve Avrupa'da birlikte çalışabilir, uyumlu ve standartlaştırılmış dron hizmetlerinin uygulanmasına katkıda bulunmaktır [12].

Bu projede ilk test çalışmaları Belçika'nın Sint-Truiden kentindeki DronePort'ta yapıldı ve başarıyla tamamlandı. Daha sonra çalışmaların gerçekçi bir ortamda uygulanabilirliğini test etmek amacıyla operasyonlar Antwerp şehri ve limanı civarına taşındı.

Üç U-space servis sağlayıcı (USSP) ve bir hava seyrüsefer hizmet sağlayıcı (skeyes, Belçika) hava sahasını ortaklaşa kontrol ederek entegre dron trafiğinin zorlu bir ortamda emniyetini ve ekonomik uygulanabilirliğini göstermiş oldu [13]. Böylece bir sergileme (demonstration) projesi olan SAFIR, birlikte çalışabilir, uyumlu ve standartlaştırılmış U-space hizmetlerinin Avrupa genelinde emniyetli ve verimli şekilde kullanılabileceğinin ilk sinyallerini de vermiş oldu.

DREAMS (Drone european aeronautical information management study)

Bir uçuş için uçuş emniyetini etkileyebilecek önemli durumlarla ilgili yayımlanmış güncel bildiriler, hava durumu, hava sahası kısıtlamaları ve yönetmelikleri havacılık bilgileri hakkında bilgi sahibi olmak çok önemlidir. İnsanlı havacılıkta olduğu gibi, insansız uçuşlar da doğru havacılık bilgilerine dayanılarak gerçekleştirilir. Ancak dron operasyonlarının çeşitliliği ve karmaşıklığı, bu havacılık bilgilerini yönetmek için farklı bir yaklaşım gerektirir. DREAMS projesi, insanlı havacılık tarafından kullanılan mevcut bilgiler ve U-space ile birlikte ortaya çıkan yeni ihtiyaçlar arasındaki boşlukları belirlemek amacıyla başlatılan bir araştırma projesidir [14].

DREAMS Projesi ile paydaşlar, hava sahası yapısı, dron verileri, uçuş planı, mânialar ve hava durumu dâhil olmak üzere olası birçok U-space verisini ve ilgili hizmetleri belirlemek

maksadıyla operasyonel ve teknik yönleri, çevresel senaryoları, teknolojileri, emniyet ve güvenlik etkilerini analiz etti. Çalışma, simülasyonlar aracılığıyla doğrulandı ve bilginin nasıl elde edilebileceği, yönetilebileceği ve yayımlanabileceği araştırıldı. Ayrıca, geo-eskrim ve uçuş planlama yönetimi işlevleri gibi uzaktan pilotlu uçuşları desteklemek için gereken teknolojilere de proje kapsamında incelendi. Proje ile bugün mevcut olan havacılık bilgilerinin, bazı genişletmeler veya uyarlamalar ve ek araştırmalar olmaksızın U-space operasyonel ihtiyaçlarını desteklemek için yetersiz olduğu sonucuna varılmıştır. U-space hizmetlerinin, geo-fencing (geo-eskrim) ve geo-caging (bir dronun nerede uçabileceğini belirlemek için), geo-vectoring (nasıl uçulacağını) ve hız vektörleri gibi yeni havacılık özelliklerine ihtiyaç duyacağı belirtilmiştir [15].

PODIUM (Proving operations of drones with initial UTM management)

Eurocontrol tarafından koordine edilen PODIUM projesi, 10 üye, 17 üçüncü taraf kuruluş ve 4 alt yükleniciyi bir araya getiren bir UTM demonstrasyon projesidir. U-space hizmetlerini operasyonel senaryolarla test etmek amacıyla Danimarka, Fransa ve Hollanda'da büyük ölçekli demonstrasyonlar planlanmıştır. Dron aktörlerini (UTM Hizmet Sağlayıcıları, dron operatörleri, dron üreticileri...), ATM aktörlerini (Hava seyrüsefer hizmet sağlayıcıları, ATM sistem geliştiricileri ve diğerlerini) ve alt yapı sağlayıcılarını (dron gösterim merkezlerini, dron portları, telekomünikasyon ağları) bir araya getiren proje ile bu topluluklar arasındaki bağlantıların gelişmesi ve böylece dron operasyonlarının Avrupa hava sahasına entegrasyonuna katkıda bulunulması hedeflenmiştir [16].

Proje kapsamında farklı senaryolarla beş büyük gösteri gerçekleştirilmiş, uçuş öncesi ve uçuş esnasındaki hizmetlerin performansını test edilmiştir. Ayrıca gösterilerden sonra katılımcılardan cevaplamaları beklenen anketlerle de veriler toplanmış ve brifingler düzenlenmiştir. Elde edilen veriler analiz edilerek sonuçlar, gelecek çalışmalara, düzenlemelere ve standartlara ışık tutmak üzere değerlendirilmiştir. Proje, uçuş süresince emniyetin, verimliliğin ve durumsal farkındalığı artmasına katkı sağlayan, ayrıca dron uçuşları için uçuş yetkilendirmesini kolaylaştıran U-space hizmetlerine, tüm paydaşlardan ciddi bir talep olduğu ispatlanmıştır [17].

Uzaktan Pilotlu Hava Aracı Sistemleri (RPAS) Araştırma çağrısı 24 aylık bir proje süresi belirlemiş ve program kapsamında 2019 yılına 19 proje geliştirilmiştir. Program 2019

yılında sonra ermiş olsa da yine Avrupa Komisyonu tarafından finanse edilen ve SESAR gözetiminde yürütülen halen devam etmekte olan U-space ile ilgili birçok proje bulunmaktadır. Bunlardan biri de insanlı hava araçları ve dron operasyonları için ortak bir irtifa referans sistemi sunan ICARUS projesidir.

ICARUS (Integrated common altitude reference system for U-space)

Günümüz havacılığında irtifa adı verilen yerden veya deniz seviyesinden yükseklik ölçümü hava aracında bulunan barometrelerden alınan basınç ölçümleri ile bulunduğu bölgenin lokal basınç ölçümleri arasındaki farklar hesaplanarak belirlenmektedir. İnsansız hava araçları ise genellikle GNSS tabanlı irtifa bilgisini kullanmaktadır. Bu iki hesaplama yönteminin her biri kendi başına güvenli bir şekilde ayırmayı sağlayabilecek olsa da iç içe kullanılmaları durumunda birbirinden farklı yükseklik değerleri de verebilmektedir. Çünkü doğrulanma düzeyleri ve referansları farklıdır. İnsansız hava araçları hemen her yere inebildiğinden ve çok yükseğe çıkamadıklarından irtifa değerleri büyük önem arz etmemektedir. Ancak gelişmiş ve yoğun insanlı havacılık ve dron operasyonlarının ortak yapıldığı bir hava sahasında irtifa değerleri tüm hava araçları için hayati bir öneme sahip olacaktır. Çünkü hava sahasının kullanıcıları arasında yeterli emniyetli ayırmayı sağlamak için, bu uçakların tümünün irtifaları, ortak bir referans aracılığıyla hatasız bir şekilde bilinmelidir.

ICARUS projesi, çok düşük seviyeli (VLL) hava sahalarında kullanılabilecek ortak bir irtifa referans sistemi için yenilikçi bir çözüm getirmeyi hedeflemektedir. Proje kapsamında yeni bir U-space hizmeti tanımlanacak ve gerçek bir operasyonel ortamda doğrulanacaktır. Böylece dron trafik yönetimi hizmeti, bir arayüz vasıtasıyla insansız hava aracının fiili konumlandırmasına dayalı olarak bir operatör tarafından verilebilecektir [18].

Kısaca, yeni hava sahasının tüm aktörlerinin ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla genel havacılık kullanıcıları için herhangi bir ek ekipman (aviyonik) gerektirmeden ortak bir irtifa referans sistemi (mevcut havacılık aktörleri için irtifa çeviri hizmeti) oluşturulması hedeflenmektedir [19].

2.3. Avrupa’da Son Durum

2016 yılında Avrupa Komisyonu’nun AB Araştırma ve Yenilik Programı olan Horizon 2020 kapsamındaki çağrısı ve SESAR JU ile yaptığı ortak çalışmalar neticesinde Avrupa’da dron operasyonları, kentsel hava sahası sistemleri ve bunlar için verilecek hizmetlere ilişkin birçok proje başlamış ve önemli gelişmeler kaydedilmiştir. 9’u araştırma, 10 tanesi de demonstrasyon olan toplam 19 proje söz konusu çağrı kapsamında başlatılarak 24 aylık süre içerisinde tamamlanmıştır. Bunların yanı sıra çağrı kapsamında olmayan birçok proje de başlamış, bir kısmı halen devam etmektedir.

Projeler, çok güçlü paydaşları bir araya getirmektedir. Dron operatörleri, yerel yetkililer, kolluk kuvvetleri, araştırma enstitüleri, havalimanı operatörleri, hava seyrüsefer hizmet sağlayıcıları, üniversiteler, start-up ve işletmeler gibi birçok aktör bu çalışmalara dahil olmuştur. Ayrıca Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı, EASA ve Avrupa havacılık endüstrisi standartları geliştirme kuruluşu EUROCAE’in (European Organisation for Civil Aviation Equipment) katılımlarıyla projeler, standardizasyon, yönetmelik ve mevzuat çalışmaları için yol gösterici olmaktadır [8].

2018’de Avrupa Komisyonu, SESAR JU gibi araştırma kurumlarının ve EASA gibi düzenleyici kurumların çalışmalarını desteklemek ve bilgi paylaşmak ve daha geniş katılım sağlamak için European Network of U-space Demonstrators (Avrupa U-space Göstercileri Ağı) forumunu kurdu. Avrupa Komisyonu, EUROCONTROL, EASA ve SESAR JU eş başkanlığındaki bu ağ, insanlı ve insansız hava araçlarının hava sahasını paylaşması ile ilgili sağlam bir çerçeve oluşturması konusunda daha fazla aktörü bir araya getirmeyi ve katılımı genişletmeyi amaçlamaktadır [8].

2021 yılında, Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı (EASA) tarafından U-space çalışmaları ile ilgili “U-space düzenlemesini desteklemek için kabul edilebilir uyumluluk araçlarının ve rehberlik materyalinin geliştirilmesi (Development of acceptable means of compliance and guidance material to support the U-space regulation)” adıyla bir yönetmelik önerisi yayımlandı [20]. Bu, Avrupa hava sahasındaki dron operasyonları ve kentsel ulaşım hizmetlerinin omurgasını oluşturacak olan U-space hizmetleri ile ilgili ilk yönetmelik oldu. Ocak 2023’te yasalaşacak olan kurallar, Avrupa dron hizmetleri pazarını daha da genişletecektir [21].

3. KENTSEL HAVA HAREKETLİLİĞİ VE DRON FAALİYETLERİ KONUSUNDA TÜRKİYE’DE YAŞANAN GELİŞMELER

Türkiye son yıllarda askeri insansız hava araçları konusunda ciddi atılımlar gerçekleştirmiş, adından sıkça söz ettirmeyi başarmıştır. Hatta askeri İHA sistemleri ihracatı yapan sayılı ülkeler arasına girmiştir. Bu endüstrinin gelişmesiyle birlikte hem kamuda hem de özel sektörde İHA teknolojisine yönelik yeni çalışmalar yapılmaya başlanmış, akademik çalışma ve araştırmalar da hız kazanmıştır. Çok sayıda çalışma yapılmasına ve ar-ge faaliyetleri açısından öne çıkan konulardan biri olmasına rağmen Türkiye’de İHA sistemlerine ilişkin, askeri uygulamalarda elde edilen başarı ve ivme, sivil uygulamalarda henüz elde edilememiştir [22]. İHA sistemlerinin sivil alandaki kullanımının, birçok avantaj vadetmesine rağmen, askeri alandaki kullanımına göre daha yavaş ilerlediği görülmektedir [23]. Bununla beraber, dron satışlarına, kayıtlı İHA sayısına ve İHA pilot lisansına sahip kişi sayısına bakıldığında Türkiye’nin sivil dron operasyonlarına olan ilgisinin, çoğunluğu hobi amaçlı olsa da büyük olduğunu söyleyebiliriz. Türkiye’nin Havacılık, Uzay ve Teknoloji Festivali olan TEKNOFEST’te her sene insansız hava araçları ile ilgili farklı kategorilerde düzenlenen pek çok yarışmaya olan ilgi de bunun bir göstergesidir.

Söz konusu ilginin ve potansiyelin farkına varan Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, Türkiye’nin sivil havacılık otorite kuruluşu olarak bu konuda ihtiyaç duyulan mevzuat çalışmalarına başlamış ve 22 Şubat 2016 tarihinde “İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı-SHT-İHA” adıyla Türk hava sahasında işletilecek veya kullanılacak sivil insansız hava araçlarıyla ilgili ilk talimatı yayınlamıştır. Daha sonra birkaç kez revize edilen Talimat, sivil insansız hava aracı (İHA) sistemlerinin ithali, satışı, kayıt ve tescili, uçuşa elverişliliğin sağlanması, sistemleri kullanacak kişilerin sahip olması gereken nitelikleri, hava trafik hizmetleri ve İHA operasyonlarına ilişkin usul ve esasları belirlemek amacıyla hazırlanmıştır [24].

İHA Talimatı ile azami kalkış ağırlığı 500 gr ve üstü olan İHA’lar için kayıt ve tescil zorunluluğu, kullanıcıları için lisans alma zorunluluğu getirilmiştir. Eylül 2021 tarihi itibarıyla İHA pilot lisansına sahip kişi sayısı rekor kırarak 567 bin 65’e, kayıtlı dron sayısı 55 bin 725’e yükselmiş, İHA eğitimi veren kuruluşların sayısı ise 54’e ulaşmıştır [25]. İnsansız hava araçlarına ilişkin iş ve işlemler, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü’nün ilgili

birimlerince takip edilmekle birlikte, söz konusu çalışmaların koordinasyonu için ayrıca İnsansız Hava Aracı ve Amatör Havacılık Koordinatörlüğü kurulmuştur [26].

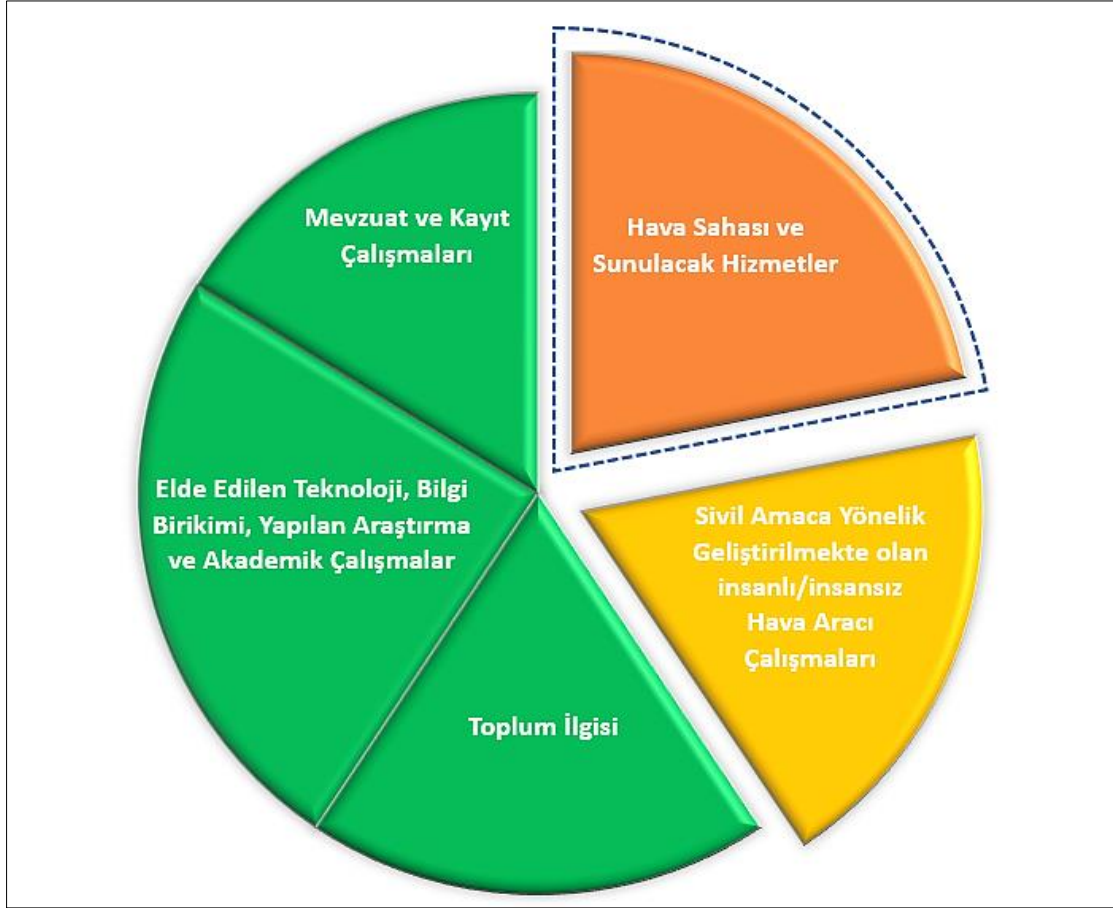
Türkiye'nin askeri İHA alanında gerçekleştirdiği atılımlar ülkemizdeki İHA sektörü açısından çok büyük öneme sahip olsa da askeri amaçlı İHA sistemleri ve bunlara ilişkin konular çalışmamızın kapsamı dışındadır. Ancak askeri İHA çalışmalarıyla birlikte gelişen endüstride tedarikçi ve alt yüklenici firma sayısı artmış, elde edilen teknoloji ve bilgi birikiminin sanayi sektöründe de yayılması sağlanarak paydaş sayısı arttırılmış, bunlara paralel olarak yapılan araştırma ve akademik çalışmalar ciddi oranda artış göstermiştir. Tüm bunların, sivil insansız hava araçları alanındaki gelişmelere de ivme kazandıracığı açıktır.

Öte yandan, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü tarafından yapılmış olan çalışmalar ve yayınlanmış olan İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı, yeni bir sektörün doğuşuyla birlikte ortaya çıkan mevzuat ihtiyacını gidermiş, İHA'ların kayıt altına alınmasını sağlamakla birlikte pek çok soruna çözüm getirmiştir.

Ülkemizde İHA satışlarının yüksek olduğunu; Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü verilerine göre kayıtlı İHA sayısında büyük bir artış yaşandığını, İHA pilot lisansına sahip kişi sayısının yarım milyonu geçtiğini biliyoruz. Bunlar, Türkiye'de İHA'lara olan ilginin büyük olduğunun birer kanıtıdır.

Peki, Türkiye'nin bu alanda ne eksiği var? Yukarıdaki gelişmelere ve yüksek ilgiye rağmen İHA sistemlerinin sivil alandaki kullanımı neden beklenen seviyede değil? Öncelikle, tarımsal faaliyetlerde, güvenlik amaçlı gözetlemede, arama-kurtarma faaliyetlerinde, doğal afetlerin, yangınların izlenmesinde ve daha birçok alanda etkin olarak kullanılabilecek insanlı/insansız hava araçlarının geliştirilmesi gerekir. Bu konuda Türkiye'deki girişim sayısı Avrupa'ya kıyasla azdır. İkincisi, yukarıdaki faaliyet alanları dışında gelecekte kentsel hava ulaşımında kullanılabilmesi için geliştirilecek olan insanlı/insansız hava araçlarının yanı sıra, ihtiyaç duyulan alt yapının da adım adım hazır hale getirilmesi gerekmektedir. Çalışma kapsamında, ihtiyaç duyulan hava sahası alt yapısına odaklanılacaktır (Bkz. Şekil 3.1.). Türkiye'nin özellikle yerleşim yerleri üzerinde insanlı/insansız hava araçları için kullanabileceği hava sahası çalışması bulunmamaktadır. Bir hava sahasını kullanım için belirlemek elbette yeterli değildir. Bu hava sahasını kullanacak hava araçları ile veri alışverişinin nasıl olacağı, kullanılabilecek rotaların çiziminde hangi yöntemlerin

kullanılabileceği, araçlar arasındaki olası çarpışmaların nasıl önlenebileceği gibi pek çok konu bu hava sahasının tasarımı kapsamında değerlendirilmelidir.



Şekil 3.1. Türkiye’de insansız hava aracı çalışmalarına ilişkin güncel durum

Türkiye’de İHA’ların uçuş gerçekleştirebileceği sahalar genellikle yerleşim alanlarından uzaktır. İnsanlı/insansız hava araçlarının sivil alandaki kullanımlarının yaygınlaşması, büyük ölçüde yaşam alanlarında kullanılabilmelerine bağlıdır. Bu çalışmanın amacı, insanlı/insansız hava araçları konusunda Türkiye’de ve Avrupa’da yapılan çalışmalar ve yaşanan gelişmeler ışığında Türkiye için kentsel hava hareketliliğinin gerçekleştirileceği bir Konsept Hava Sahası Tasarımı oluşturmaktır. Konsept Hava Sahası, içerisinde verilecek olan hizmetler ve bu hizmetler için sunulan öneriler ile birlikte bir bütün olarak ele alınmalıdır.

4. KENTSEL HAVA HAREKETLİLİĞİ KONSEPT HAVA SAHASI

Yerleşim yeri üzerinde kentsel hava hareketliliğinin gerçekleştirilebileceği ve günümüz hava araçlarının kullandığı kontrollü hava sahaları ve hava yolları ile çakışmayacak yeni bir hava sahası (bundan böyle Kentsel Hava Sahası olarak anılacaktır) tasarlanacaktır. Bu sahasının sınırları, içerisinde kullanılacak rotalar, iniş-kalkış noktaları ve hava araçları için park alanları belirlendikten sonra hava sahasının emniyetli, verimli ve güvenli kullanımını desteklemek üzere hava sahasında verilecek hizmetler ve altyapı ihtiyaçları ifade edilecektir.

4.1. Kentsel Hava Sahası Sınırlarının Belirlenmesi

4.1.1. Üst limitin belirlenmesi

Kentsel hava sahası sınırları belirlenirken ilk olarak üst limitin (çıkılabilecek en yüksek irtifa) ne olacağına karar verilmesi gerekir. Çünkü bu sahayı, var olan hava trafik sahasından ayıran sınır budur ve üst limit arttıkça hava trafiği ile çakışan nokta, bölge ve hava yolu sayısı artacaktır. Bu da hava trafik yönetiminin (ATM) insansız hava trafik yönetimi ile (UTM) ile entegrasyonunu daha karmaşık hale getirecektir.

Çizelge 4.1. Uyulması gereken seyir seviyeleri. Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO), *Annex 2, Rules of the Air* kaynağından uyarlanmıştır [27]

SEYİR SEVİYELERİ											
İrtifa için fit kullanılan yerlerde, bölgesel hava seyrüsefer anlaşmalarına uygun olarak, FL 290 ve FL 410 (dahil) arasında minimum 1 000 fit dikey ayırma uygulanır.											
000 ile 179 dereceler arası						000 ile 179 dereceler arası					
IFR Uçuşlar İrtifa			VFR Uçuşlar İrtifa			IFR Uçuşlar İrtifa			VFR Uçuşlar İrtifa		
Uçuş Seviyesi (FL)	Fit Cinsinden	Metre Cinsinden	Uçuş Seviyesi (FL)	Fit Cinsinden	Metre Cinsinden	Uçuş Seviyesi (FL)	Fit Cinsinden	Metre Cinsinden	Uçuş Seviyesi (FL)	Fit Cinsinden	Metre Cinsinden
010	1 000	300	—	—	—	020	2 000	600	—	—	—
030	3 000	900	035	3 500	1 050	040	4 000	1 200	045	4 500	1 350
050	5 000	1 500	055	5 500	1 700	060	6 000	1 850	065	6 500	2 000
070	7 000	2 150	075	7 500	2 300	080	8 000	2 450	085	8 500	2 600
090	9 000	2 750	095	9 500	2 900	100	10 000	3 050	105	10 500	3 200
110	11 000	3 350	115	11 500	3 500	120	12 000	3 650	125	12 500	3 800
130	13 000	3 950	135	13 500	4 100	140	14 000	4 250	145	14 500	4 400
150	15 000	4 550	155	15 500	4 700	160	16 000	4 900	165	16 500	5 050
170	17 000	5 200	175	17 500	5 350	180	18 000	5 500	185	18 500	5 650
190	19 000	5 800	195	19 500	5 950	200	20 000	6 100	205	20 500	6 250
210	21 000	6 400	215	21 500	6 550	220	22 000	6 700	225	22 500	6 850
230	23 000	7 000	235	23 500	7 150	240	24 000	7 300	245	24 500	7 450
250	25 000	7 600	255	25 500	7 750	260	26 000	7 900	265	26 500	8 100
270	27 000	8 250	275	27 500	8 400	280	28 000	8 550	285	28 500	8 700
290	29 000	8 850				300	30 000	9 150			
310	31 000	9 450				320	32 000	9 750			
330	33 000	10 050				340	34 000	10 350			
350	35 000	10 650				360	36 000	10 950			
370	37 000	11 300				380	38 000	11 600			
390	39 000	11 900				400	40 000	12 200			
410	41 000	12 500				430	43 000	13 100			
450	45 000	13 700				470	47 000	14 350			
490	49 000	14 950				510	51 000	15 550			

Günümüzde aletli uçuş kurallarına göre uçan (IFR) iki uçak arasında dikey ayırma, ICAO kurallarına göre 1000 fittir (non-RVSM hava sahalarında FL290'dan sonra 2000 fittir) [28]. Görerek uçuş kurallarına (VFR) göre uçan uçakların diğer hava araçları ile minimum ayırma kriterleri, ICAO'nun hava sahası sınıflandırmalarına göre [29] değişiklik gösterse de uçuş gerçekleştirdikleri seviyeler temel olarak Çizelge 4.1.'de gösterilmiştir.

Ayrıca yine ICAO Annex 2 Havacılık Kuralları dokümanına göre;

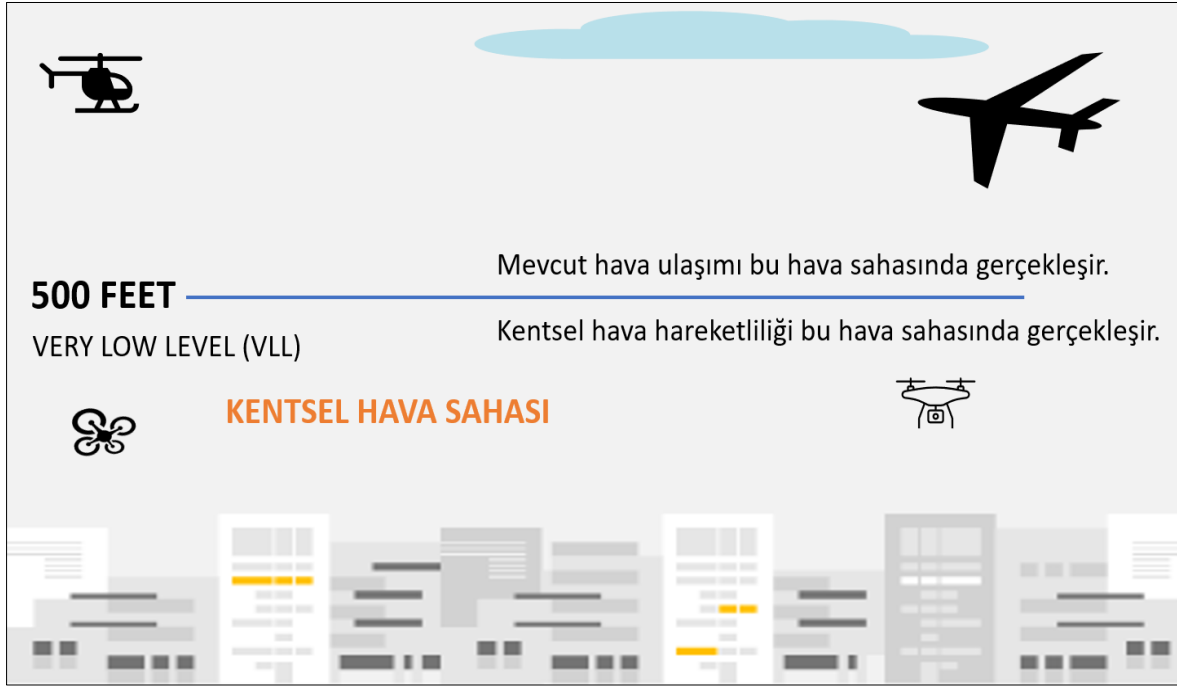
VFR uçuşlar iniş kalkış safhaları ve özel durumlar (ilgili otoriteden izin alınması gibi) hariç;

- a) Yerleşim bölgelerinin bulunduğu veya açık hava etkinliklerinin yapıldığı yerlerde hava aracı merkez olmak üzere 600 metre yarıçaplı bir dairedeki en yüksek manianın 1000 fit (300 metre) üzerinde olmadıkça yapılamaz.
- b) Yukarıda belirtilen durumlar dışında su ve karadan itibaren 500 fit yükseklik olmadıkça yapılamaz [27].

Yerleşim yeri olmayan yerlerde ICAO'nun belirlediği minimum emniyet irtifası ise 500 fittir (b). Bu iki kural hem ülkemizde hem Avrupa'da aynı şekilde uygulanmaktadır (Standardized European Rules of the Air, SERA).

İnsanlı ve insansız hava operasyonlarının güvenli bir şekilde bir arada yürütülebilmesi için yer ile en düşük VFR emniyet irtifası olan 500 fit arasındaki hava sahası Çok Düşük Seviye (Very Low Level, VLL) hava sahası olarak adlandırılır [30].

Kentsel hava sahası yerleşim bölgelerinin üzerinde olacağından, ICAO'nun belirlediği kurala (a) göre kentsel hava sahası üst sınırı olarak 1000 feet altında bir seviyenin belirlenmesi, mevcut hava trafiği ile çakışmayı büyük ölçüde önleyecektir. Ancak hem minimum emniyet irtifasının yerleşim yeri olmayan bölgeler için 500 fitten başladığını, hem de yerleşim yerleri üstünde, en yüksek manianın tam olarak 1000 fit üzerinde seyir halinde olan hava araçları ile daha düşük seviyede uçuş gerçekleştirecek olan VLL operasyonları arasında minimum ayırmanın da 500 fit olması gerektiğini düşünürsek, yer seviyesinden itibaren 500 fit kadar bir hava sahası çakışma ihtimalini daha da düşürecektir. Dolayısıyla kentsel hava sahası üst limiti ilk fazda 500 fit olarak belirlenebilir.



Şekil 4.1. Türkiye’de insansız hava aracı çalışmaları, kentsel hava hareketliliği üst limiti

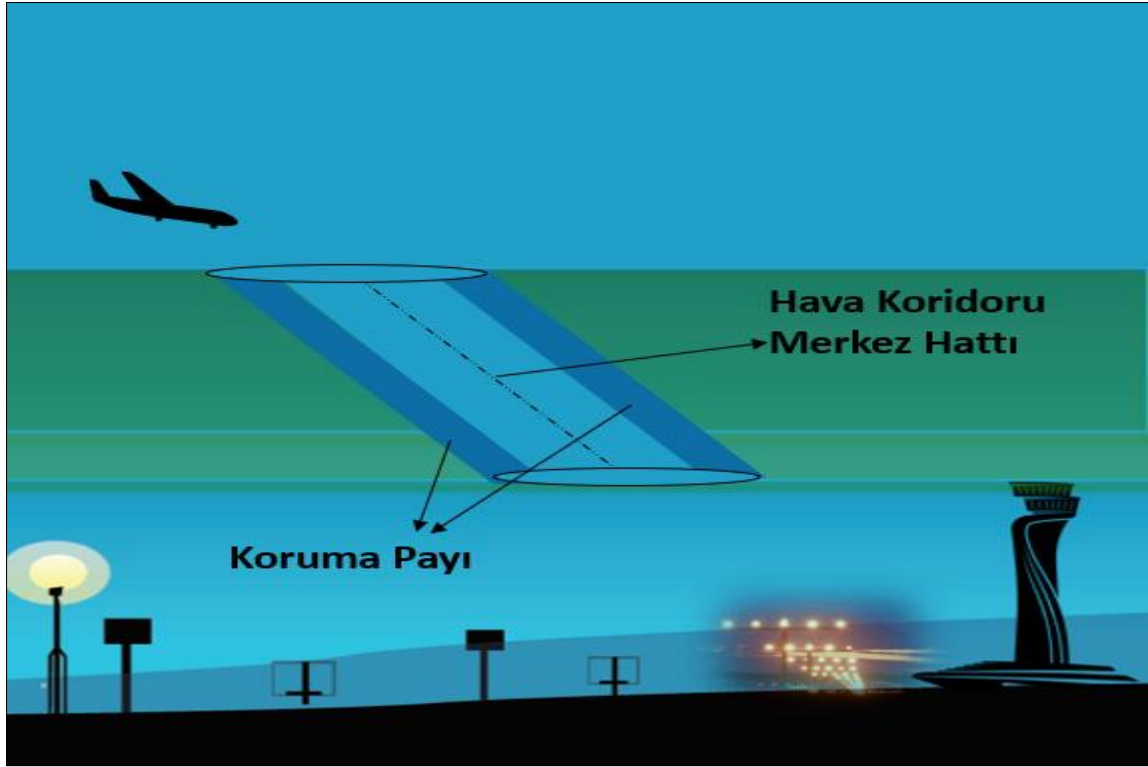
Peki 500 fit ve altında mevcut hava trafiği ile ne gibi çakışmalar yaşanabilir?

- I. İniş-kalkış safhalarında bulunan hava araçları
- II. İlgili otoritelerden müsaade alınarak yapılan özel uçuşlar
- III. Kentsel hava sahasında VFR uçuşlar

I. İniş-kalkış safhalarında bulunan hava araçları

Bu hava araçlarının kullandığı iniş ve kalkış rotaları her havalimanı için belirlenmiş olup ilgili ülkenin Havacılık Bilgi Yayını (AIP, Aeronautical Information Publication) ile ilan edilmektedir. Uçuş gerçekleştirecek olan pilotlar uçuştan önce bu dokümandan kalkış veya iniş yapacakları havalimanı prosedürlerine erişerek operasyonlarını ona göre gerçekleştirirler (Kalkış için: Standart Instrument Departure, SID; iniş için: Standart Arrival, STAR). Kısaca önceden belirlenmiş ve yayımlanmış rotalardır. Aşağıda, Türkiye AIP’sinden alınan, İstanbul Atatürk Havalimanı için yayımlanmış standart iniş rotalarından bazıları bulunmaktadır.

Çözüm olarak kentsel hava sahası, mevcut iniş-kalkış rotaları (STAR-SID) ile çakıştığı yerde, ICAO'nun hava sahası tasarım dokümanlarında (DOC 8168, DOC 9905, DOC 9613) belirtilen kriterlere uygun şekilde rotaların çevresinde bir koruma payı bırakılarak tasarlanabilir.



Şekil 4.2. Kentsel hava sahasından geçen mevcut hava trafiğine ait iniş-kalkış rotaları

II. Askeri bölgeler ve ilgili otoritelerden müsaade alınarak yapılan özel uçuşlar

Özel uçuş izin başvuruları Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü tarafından sivil (Hava seyrüsefer hizmet sağlayıcı kurum olarak Devlet Hava Meydanları İşletmesi) ve askeri kurumlarla koordine edilerek yürütülmektedir [32]. Özel izin gerektiren uçuşlar dışında ayrıca yerleşim yerleri ve civarında bulunan askeri veya özel bölgelerde eğitim uçuşları yapılabilmektedir. Örneğin, 11. Hava Ulaştırma Üs Komutanlığı bünyesinde bulunan Etimesgut Askeri Havalimanı, Ankara şehir merkezinde bulunan ve askeri hava taşımacılığının yanı sıra yoğun eğitim uçuşlarının yapıldığı bir havalimanıdır. Etimesgut havalimanı ayrıca Türk Hava Kurumu Üniversitesi'nin Pilotaj Bölümü eğitim uçuşları için de kullanılmaktadır. Etimesgut Havalimanı'nda gerçekleştirilen iniş-kalkış operasyonları ile askeri ve sivil eğitim uçuşlarını etkilemeden bir kentsel hava sahası tasarlanması gerekir. Dolayısıyla Etimesgut Havalimanı Kontrol Sahası (Control Zone, CTR), çevresinde yine koruma payı bırakılarak kentsel hava sahasından tamamen izole edilmelidir. Böylece kentsel hava hareketliliği operasyonları ile Etimesgut hava trafik operasyonları arasında olası çakışmalar önlenmiş olur.



Şekil 4.3. Kentsel hava sahasında bulunan özel ve askeri bölgeler

III. Kentsel hava sahasında VFR uçuşlar

Kent içi ulaşımında hava taksi olarak kullanılan helikopterler, arama-kurtarma çalışmalarında kullanılan helikopterler ile gözetim ve devriye amaçlı emniyet helikopterleri ve ambulans helikopterleri gibi trafikler, kentsel hava sahasında uçuş gerçekleştiren genel havacılık uçuşlarına örnek verilebilir. Bu tür uçuşların kentsel hava sahasındaki uçuşlarla ayırması, önceden tanımlı bir hava yolu veya kendileri için belirlenmiş bir kontrol bölgesi içerisinde olmadıklarından daha karmaşık olacaktır. Bu noktada genel havacılıktaki “Right-of-way” (yol hakkı) kuralından yola çıkarak (Bkz. Bölüm 5.4.2) “VLL uçuşlar (dron veya kişisel hava araçları), diğer uçuşlara yol verecektir” gibi bir kural belirlenebilir. Eurocontrol’ün koordinatörlüğünü yaptığı CORUS projesi ile ortaya çıkarılan “Concept of Operations”a göre mevcut yol hakkı kuralları yalnızca VFR trafikler için değil dronlu VLL uçuşları için de geçerlidir ve;

- Dron uçuşları, mürettebat bulunan uçuşlara yol verecektir.
- Yolcusuz dron uçuşları, yolcu bulunan dron uçuşlarına yol verecektir.
- Dron uçuşları, mürettebat veya yolcu taşıma durumu belirsiz olan tüm uçuşlara yol verecektir [33].

İkinci olarak, hava trafiği anlık durum bilgisi, kentsel hava sahası kullanıcıları ile paylaşarak yukarıda belirtilen özel amaçlı uçuşların rotaları veya uçuş yapacakları bölgeler, uçuş zamanı ve uçuş süresi gibi veriler UTM uçuş bilgi paylaşım sistemine aktarılabilir ve dronlar için oluşturulacak uçuş planlarında dikkate alınması sağlanabilir.

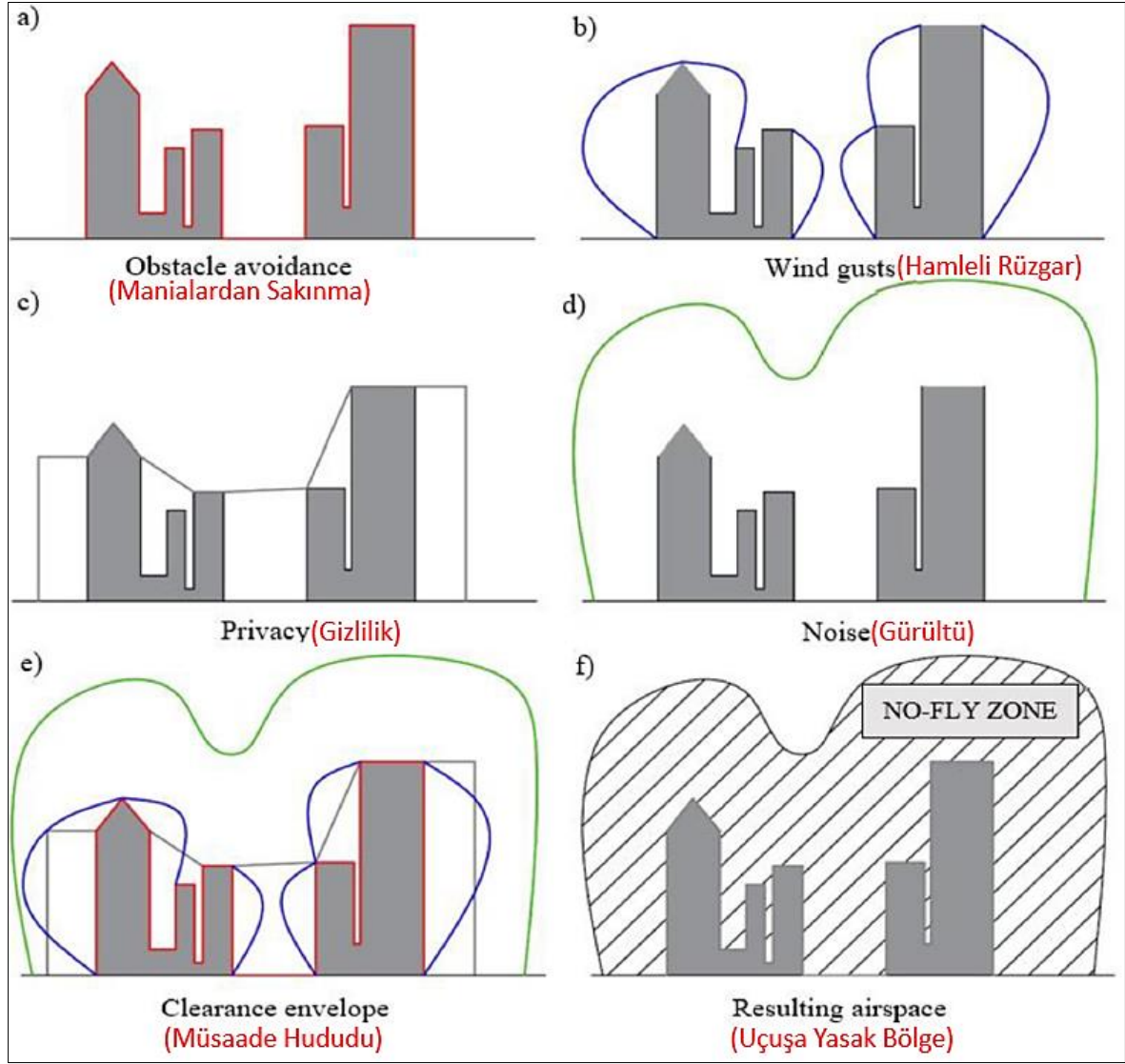
4.1.2. Alt limitin belirlenmesi

Kentsel hava sahası üst limiti belirlendikten ve 500 fit altında mevcut hava trafiği ile ne gibi çakışmalar yaşanabileceği değerlendirildikten sonra alt limitin belirlenmesi konusuna geçilebilir. ATM hava sahası alt limitleri belirlenirken (minimum yol irtifası [MEA]), minimum emniyet irtifası [MSA], asgari mania müsaade irtifası [MOCA]) genellikle en yüksek manianın 300 m (1000 fit), 150 m (500 fit) üstü gibi değerlerle ifade edilir. Yaklaşma geliş safhasının en kritik bölgelerinde bile MOCA, 250 fit altına düşmez. Oysa dikeyde yerden en fazla 500 fit yüksekliğe sahip olacak bir UAM (Urban Air Mobility) hava sahası için bu değerler çok yüksektir. En yüksek binanın 250 fit üstü demek bazı yerlerde belirlenmiş UAM hava sahasının üst limitini bile aşmak anlamına gelebilir.

Kentsel hava sahası alt limitinin belirlenmesinde en önemli faktör asgari mania müsaade irtifasıdır (minimum obstacle clearance altitude, MOCA). MOCA, maniadan arınmak için gerekli olan minimum irtifa değeridir [34].

Dronlar ve kişisel hava araçları için belirlenen asgari mania müsaade irtifası değeri mevcut hava araçları için belirlenmiş olan değerlere göre çok daha düşük olabilir. Çünkü dronların ve kişisel hava araçlarının hız ve boyutlarından ötürü, manevra kabiliyetleri çok daha yüksektir.

Bauranov ve Rakas'a [35] göre binalar uçuşun olamayacağı uçuşa yasak bölgelerdir (no-fly zones) ve bunlar dışında kalan alanlar uçuş için kullanılabilir. Ayrıca uçuşa yasak bölgelerin dış sınırlarını belirleyen faktörler birden çoktur; kaçınılması gereken manianın kendisi, hamleli rüzgâr, gizlilik ve gürültü. Daha fazla faktör ekledikçe, no-fly zone da genişler. Ortaya çıkan hava sahası, dikkate alınan tüm faktörlerin farklı sınırlarının üst üste bindirilmesiyle oluşturulan uçuşa yasak bölgenin ötesindeki boşluğu doldurur.



Şekil 4.4. Kentsel hava sahasında uçuşa yasak bölgeyi belirleyen faktörler. *Designing airspace for urban air mobility: A review of concepts and approaches. Progress in Aerospace Sciences* kaynağından uyarlanmıştır [35]

Bauranov ve Rakas'ın önerisi, kentsel hava sahasının alt sınırlarını belirlemede kullanılacak tüm faktörleri kapsayıcı, emniyetli ve güvenli bir yöntemdir. Bu yöntem, hava araçlarının binalara ve diğer manialara çarpmasını engellemenin yanı sıra, yüksek binaların çevresinde oluşan farklı rüzgâr akımlarından hava araçlarını ve binaları korumayı, bölgede yaşayan insanları gürültü kirliliğinden korumayı ve o insanlar için özel hayatın gizliliğini sağlamaktadır. Bu yöntem ile kentsel hava sahamızın alt sınırlarını belirleyecek olursak tasarımıımız aşağıdaki gibi olacaktır:



Şekil 4.5. Kentsel hava sahası modeli

4.1.3. Yatay coğrafi limitlerin belirlenmesi

Kentsel hava taşımacılığının gerçekleştirileceği hava sahası yatay sınırı, yerleşim sınırı ile belirlenebilir. Burada dikkat edilmesi gereken iki husus bulunmaktadır. Birincisi, yerleşim bölgeleri küçük ve birbirine yakın ise birden çok yerleşim yeri için tek bir hava sahası belirlenebilir. Bu durum, ilgili yerleşim yerlerine ait kentsel hava sahalarının kontrolünü kolaylaştırırken, aralarında oluşabilecek çakışma durumlarını da minimize eder. İkincisi, yerleşim yeri çok büyük ise (mega kent, metropol) bu kent için birbirine komşu birden çok hava sahası tanımlanması veya hava sahasının sektörlere bölünmesi gerekebilir. Çünkü hava sahası hizmeti verilirken saha tek bir yerden yönetilemeyecek kadar büyük olabilir.

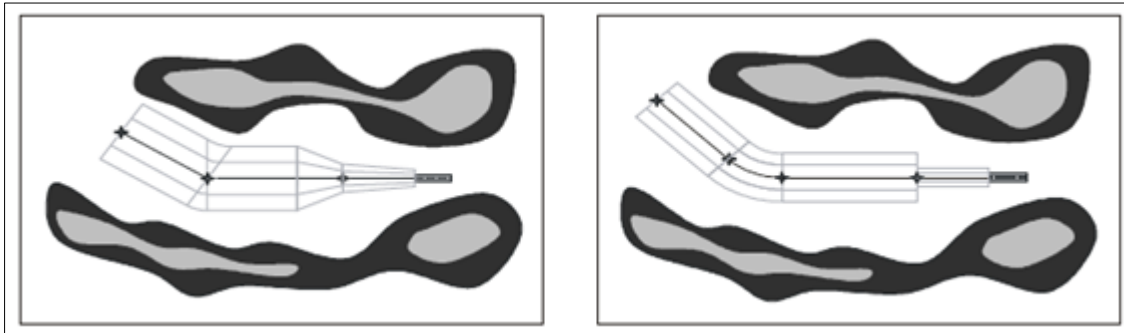
4.2. Kentsel Hava Sahası İçerisinde Kullanılacak Hava Koridorları

Hava trafik kontrol hizmetlerinde birçok ayırma yöntemi bulunmasına rağmen uygulamada iki ayırma yöntemi çok daha yaygın olarak kullanılır. Bunlar dikey ayırma ve yatay ayırmadır. Dikey Ayırma (Vertical Separation), seyir seviyeleri tablosuna (Bkz. Çizelge 4.1.) göre farklı seviyeler tahsis edilerek yapılan ayırma şeklidir. Dikeyde 1000 fitlik bir fark gözetilir. Yatay Ayırma (Horizontal separation) ise aynı, kesişen veya karşılıklı rotalarda iki uçak arasında zaman veya mesafe esasına dayalı olarak (Uzunlamasına ayırma [longitudinal separation]) ya da uçakların farklı rotalarda veya farklı coğrafi alanlarda uçmalarını

sağlayarak (Yanlamasına ayırma [lateral separation]) yapılan ayırma yöntemidir [36]. Ülkemizde hâlihazırda kullanılan yanlamasına ayırma limiti seyir (enroute) safhasında 5 mil (9,25 km); yaklaşma safhasında 3 mil (5,5 km) olarak uygulanmaktadır.

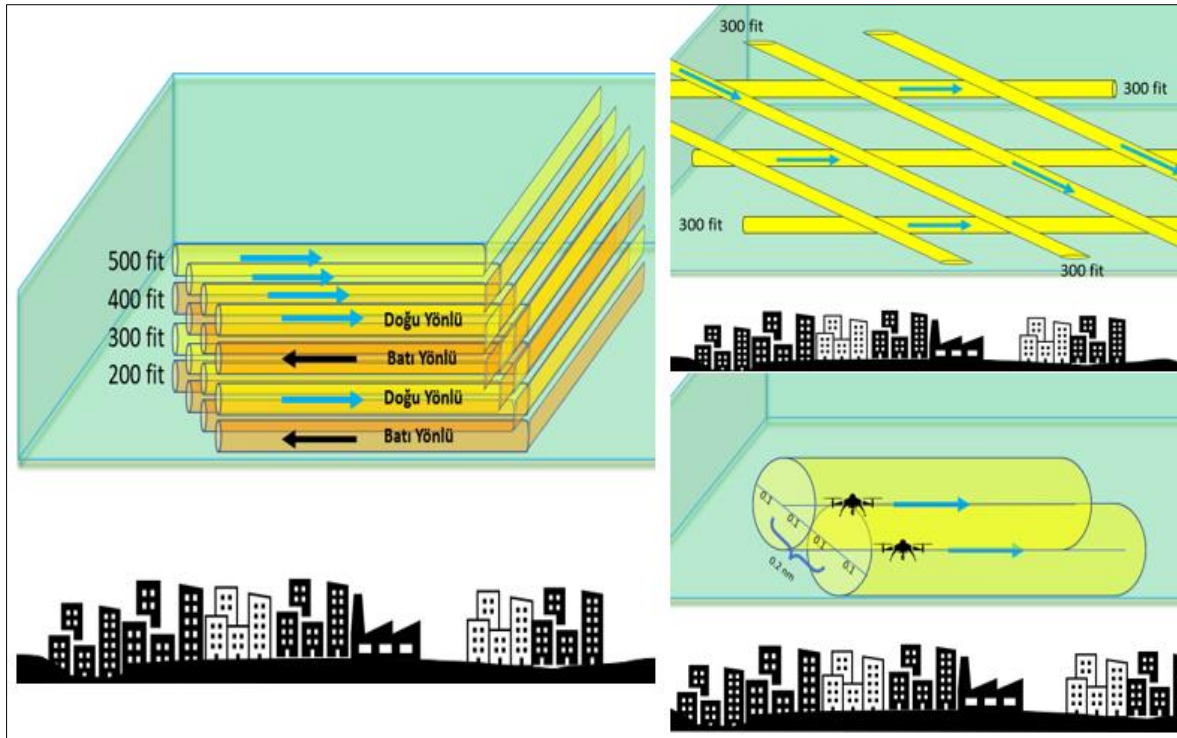
Daha önce ifade edildiği gibi dronlar ve kişisel hava araçları hız ve boyutlarından ötürü çok daha çevik ve atik olabildiklerinden manevra kabiliyetleri çok yüksektir. Bu nedenle diğer hava araçları gibi dikeyde veya yatayda geniş bir ayırmaya ihtiyaç duymazlar. Bosson ve Lauderdale (2018) geliştirdikleri metodolojiyi simüle etmek için yatayda 0,3 mil, dikeyde 100 fiti referans değer; 0,1 mil ve 100 fiti de azaltılmış ayırma değeri olarak kullandılar [37]. Neto, Baum ve arkadaşları (2019) ise IFR trafiklerin yaklaşma safhası için kullanılan 3 millik ayırmanın yoğun kentsel hava sahası operasyonları için uygun olmadığını belirterek çalışmalarında ayırma minimumlarını, yatayda pilotlu hava araçları için 0,25 mil, uzaktan kumanda edilen (Remotely Piloted Aircraft Systems, RPAS) veya tamamen otonom (self-piloted) olan hava araçları için 0,50 mil; dikeyde ise 200 fit olarak uygulamışlardır [38]. Kentsel hava sahası simülasyonlarına ilişkin başka çalışmalarda, ayırma minimumları için daha farklı değerler de kullanılmıştır.

Öte yandan ICAO, performans bazlı seyrüsefer (PBN) kılavuzunda [39] mevcut hava trafik yaklaşma operasyonları için iki tür seyrüsefer sunmaktadır. Bunlardan daha yüksek performans gerektiren dolayısıyla daha hassas olan “RNP AR APCH (Required Navigation Performance, Authorization Required Approach”dir. Yaklaşma için kullanılan bu yöntem ile sağdan ve soldan 0,1 mil olmak üzere iniş rotası çizilebilmektedir. Böylece arazi koşulları elverişsiz olan bölgelerde çok hassas iniş rotaları tasarlanabilmektedir.



Şekil 4.6. RNP APCH (solda) ve RNP AR APCH (sağda) prosedür tasarım örneği [39]

Hem dronlar ve kişisel hava araçlarının VLL operasyonlarına ilişkin yapılan çalışmalar hem de mevcut hava trafiklerinin iniş operasyonlarında hava sahası tasarımının geldiği nokta (RNP AR APCH 0,1) göz önünde bulundurulduğunda yatayda 0,1 millik; dikeyde 100 fitlik ayırma minimumlarının gerçeğin çok ötesinde olmadığı anlaşılmaktadır. Bununla birlikte kentsel hava sahası içerisinde kullanılacak hava koridorlarının RNP AR 0,1 düzeyinde tasarlanması aynı seviyede tam olarak yan yana seyir halinde bulunan iki hava aracı arasında 0,2 millik bir doğal ayırma sağlayacaktır. Elbette belirlenen minimaların sağlanabilmesinde gözetim hizmetlerinin türü ve kalitesi de belirleyici olacaktır. Yine ATM’de olana benzer şekilde (Bkz. Çizelge 4.1.) çift sayı başlayan seviyeler (200, 400) batı yönlü; tek sayı ile başlayan seviyeler (300, 500) doğu yönlü olarak kullanılabilir.



Şekil 4.7. Kentsel hava sahası içerisindeki hava koridorları

4.3. Kentsel Hava Sahasında İniş-Kalkış Rotaları ve Park Alanları

Kentsel hava sahasını kullanacak olan otonom, kumandalı veya pilotlu dronlar ve kişisel hava araçları her şeyden önce dikey iniş-kalkış yapabilme yeteneğine sahip VTOL (vertical take-off and landing) ya da eVTOL (electrical vertical take-off and landing) araçlar olacaktır. Bu hava araçlarının iniş-kalkış yapabilecekleri, park edebilecekleri, bakım ve şarj istasyonlarının olduğu, yolcu ve yük alınması gibi yer operasyonlarını

gerçekleştirilebilecekleri havalimanları ve heliportlara benzer dronportların ve vertiportların tesis edilmesi gerekir. Bu alanlar üzerinde iniş-kalkış operasyonlarının yapılacağı dikey hava koridorlarının da tasarlanması gerekir. Özellikle dikey inişlerde, daha hızlı seviye kaybedebilmek adına bazı hava araçları spiral bir iniş tercih edebilir. Neto, Baum ve arkadaşları simülasyon çalışmalarında bu iniş yöntemini kullandılar [38]. Hem spiral inişe hem de birden çok hava aracının aynı anda iniş veya kalkış yapabilmesine imkân verebilmek adına, dizayn edilecek dikey iniş-kalkış koridorlarının, yatay seyir rotalarına göre daha geniş olması gerekir. EASA'nın 24 Mart 2022'de yayınladığı, VTOL hava araçlarına hizmet verecek olan vertiportlar için "Prototip Teknik Tasarım Dokümanı" bu konudaki belirsizliklere büyük ölçüde açıklık getirmektedir.



Şekil 4.8. Kentsel hava sahasında iniş-kalkış rotaları ve park alanları

4.4. Kentsel Hava Sahaları Arasında Ulaşım

Günümüzde kentler arası hava ulaşımı, hava trafiğini oluşturan yük ve yolcu taşımacılığının yüksek seviyelerde olduğu ve talebin hızla arttığı ulaşım türüdür. Ancak bu taşımacılık yüksek seviyelerde (genellikle 20.000-40.000 fit arasında) hava trafik kontrol ve havalimanı operasyon hizmetleri ile gerçekleştirilebilmektedir (IFR). Bunun dışında fotoğraf çekimi,

tapu kadastro çalışmaları, ilaçlama vb. hizmetleri yerine getirmek veya şahsi hava aracıyla, gerekli izinleri almak koşuluyla, bir kentten bir başka kente hava ulaşımı gerçekleştirilmektedir. Bu uçuşlar ise daha çok VFR görerek uçuş kuralları) uçuşlardır ve uçuşlarını minimum yerden 500 fit yükseklikte (genellikle 3500-9500 fit arasında) uçak dışındaki görsel referanslara göre (dağ, dere, şehir, yol...) gerçekleştirirler.

Kişisel hava aracıyla kent içi hava sahasından çıkıp bir başka kente seyahat edecek bir kişi veya bir kentten bir başka kente faydalı yük taşıyacak olan bir insansız hava aracının yukarıda anılan trafiklerle karşılaşmayacak, onlara ve kendisine risk oluşturmayacak şekilde bir rotada uçuşu uçuş emniyeti açısından şarttır. Dolayısıyla kentsel hava sahaları arasında belirlenecek olan rotaların, VFR uçuşlar ile 100 fitlik ayırma kabul edilebilirse en fazla yerden 400 fit yükseklikte olması gerekir. VFR trafikler ile 100 fitlik ayırmanın kabul edilebilir olmadığı düşünülürse kentler arası VLL operasyonlarının gerçekleştirileceği rotaların yukarıdan 500 fitlik sağdan ve soldan 0,5 veya 1 millik güvenlik payı bırakılarak tasarlanması gerekir. Her ne kadar deniz seviyesinden değil yer seviyesinden 400 fit olarak planlansa da rotaların (hava yolu) çizileceği bölgelerin yer şekilleri ve yükseltileri de dikkate alınmalıdır. Ayrıca rotalar, olağandışı durumlar, arıza veya teknik sorunlar nedeniyle acil iniş yapmış hava araçlarına kolay ulaşabilmek adına yerleşim yerlerinden ve yollardan çok uzak bölgelerde oluşturulmamalıdır. Böylece ihtiyaç durumunda, bir araziye iniş yerine rota üzerinde bulunan en yakın dronporta veya vertiporta iniş yapabilmek de mümkün olabilecektir.

Kentsel hava sahasında olduğu gibi çift sayı başlayan seviyeler (200, 400) batı yönlü; tek sayı ile başlayan seviyeler (300, 500) doğu yönlü olarak kullanılabilir. Ancak kent içi hava sahasından farklı olarak, yollar daha geniş tasarlanabilir (ör; sağdan ve soldan 0,1 mil yerine 0,5 mil). Ayrıca dikey olarak gidiş ve geliş birbirinden ayrılmış olsa da birbirine paralel iki veya daha fazla yol tasarlanması durumunda bunlardan bazıları tamamen gidiş bazıları tamamen geliş şeklinde kullanılabilir. Her ne kadar ATM'deki yaklaşma ve alçalma safhasına benzer bir safhaya ihtiyaç olmasa da (hem çok düşük seviyelerde seyir halinde olmalarından hem de dikey iniş kalkış yeteneklerinden ötürü) daha emniyetli ve uyarı mekanizmaların daha az devreye girdiği bir kentler arası hava yolu tasarımı için paralel yollar önem arz etmektedir.

5. KENTSEL HAVA SAHASINDA VERİLMESİ GEREKEN HİZMETLER VE KULLANILACAK SİSTEMLER

5.1. UAM Uçuş Bilgi Paylaşım Sistemi

Bir uçuştan önce, uçuş emniyetini etkileyebilecek önemli durumlarla ilgili yayımlanmış güncel bildiriler (notam), hava sahası kısıtlamaları gibi bilgilere sahip olmak uçuşun sorunsuz gerçekleştirilebilmesi açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle hava yolu işleticilerinin veya özel uçuş gerçekleştirecek olanların söz konusu bilgilere bir paylaşım ortamı vasıtasıyla erişebilmesi, kullanıcılar için büyük kolaylık sağlamaktadır. Türkiye’de bazı uçuşlara ait planların sunulması ve kabul işlemlerinin daha kolay ve etkin yapılabilmesi amacıyla “DHMİ AIS Portal” kullanılmaktadır. Bu portaldan ayrıca hava seyrüsefer yardımcı cihazları, uçuş rotaları, terminal sahaları, tahditli sahalar gibi birçok hava sahası bilgisine ve notamlı sahalarla ilişkin bilgilere erişilebilmektedir.

ATM’de olduğu gibi UAM’de de bir uçuş bilgi paylaşım sistemi ihtiyacı kaçınılmazdır. Ocak 2022’de, Almanya Hava Seyrüsefer Hizmet Sağlayıcısı olan DFS (Deutsche Flugsicherung GmbH), insansız hava araçları için bir platform geliştirdiğini ilan etti [40]. Dipul (Digitale Plattform Unbemannte Luftfahrt) adı verilen bu platform, Almanya’daki dron operasyonlarına ilişkin tüm bilgi, kural ve prosedürleri tek bir merkezde bir araya getirmenin yanı sıra coğrafi bölgelere ait veriler, hava saha verileri ve dron verileri gibi önemli bilgileri de sağlamaktadır. 2022 yılı sonuna kadar hava durumu ve rota planlayıcı gibi yeni araçların eklenmesi hedeflenmektedir [41].

Kentsel hava sahası daha küçük ve daha dinamik olacağı için söz konusu bilgi paylaşım sisteminin de daha ayrıntılı, daha dinamik ve interaktif olması gerekir. Hava sahası bilgileri, notamlı sahalar, rotalar, hava durumu, dron verileri, uçuş planı verileri, manialar, rotaların kullanım kapasitesi ve doluluk oranları gibi birçok bilgiyi barındırması gereken UAM Bilgi Paylaşım Sistemi hem kullanıcıların hem de hizmet sağlayıcıların operasyonel ihtiyaçlarını karşılayacaktır. Örneğin, kullanıcı sisteme giriş yaptıktan sonra uçuşa ait bazı bilgileri girecek (tarih, saat, amaç...), daha sonra harita üzerinden bir uçuş rotası oluşturacak. Sistem tarafından rotanın kapasitesi, doluluk oranı ve uygunluk durumu anlık olarak paylaşılacak, rota uygun değil ise alternatif bir rota önerilecek. Kullanıcının onaylaması durumunda söz

konusu uçuşa ait rota dâhil tüm veriler sisteme işlenmiş ve uçuş planı oluşturulmuş olacaktır. Oluşturulan plan, kontrolör arayüzüne de servis edilecektir.

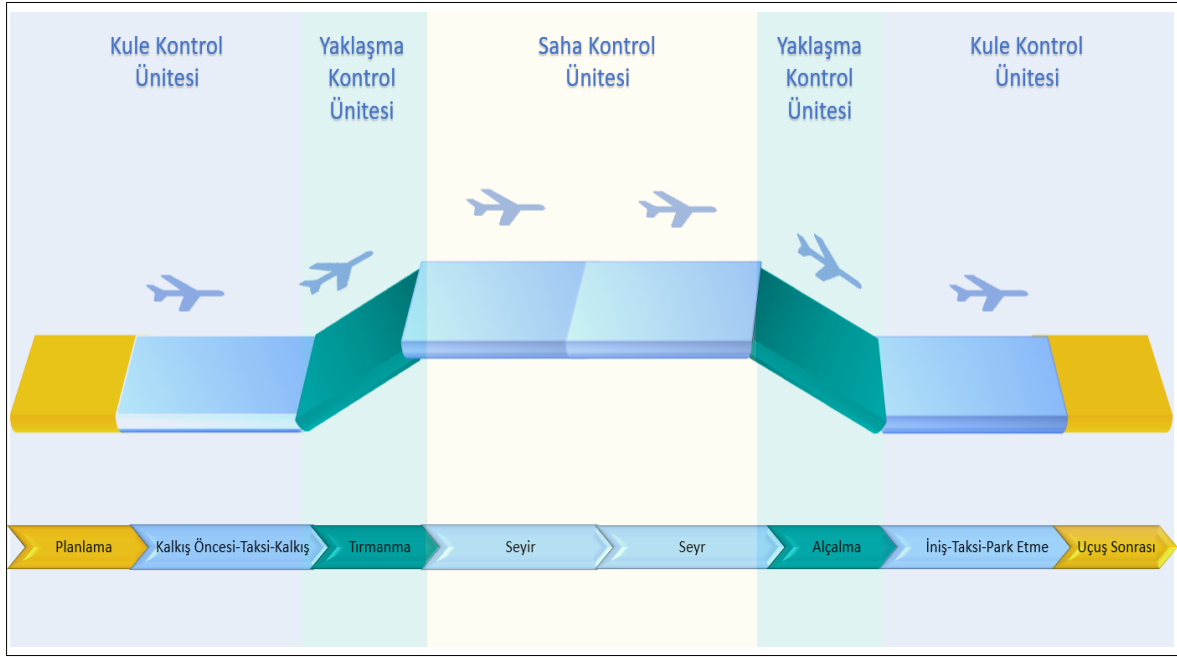
SESAR 2020 Programı Uzaktan Pilotlu Hava Aracı Sistemleri (RPAS) Araştırma Çağrısı kapsamında başlatılan araştırma projelerinden biri olan IMPETUS (Information Management Portal to Enable the Inegration of Unmanned Systems) ile hava araçlarının hangi bilgilere ihtiyaç duyduğuna, bu bilgilerin nasıl elde edileceğine ve kullanacağına ilişkin çalışmalar yapılmıştır. Sonuç olarak, bilgi paylaşım sistemi için, kullanıcı taleplerini karşılamak amacıyla büyüyen, büyüdükçe karmaşıklaştan tek tip, tek programlama dili kullanılarak geliştirilmiş monolitik bir yapı yerine; küçük, bağımsız ancak yüksek düzeyde bağlantılı (interoperable) hizmetlere dayalı bir mimarinin (microservices) uygun olacağı önerilmiştir [42].

Günümüzde ATM tarafından kullanılan mevcut bilgiler ile UTM'in ortaya çıkardığı yeni ihtiyaçlar arasındaki boşluğu belirlemekle başlayan DREAMS (Drone European AIM Study) Projesi kapsamında, mevcut havacılık bilgilerinin, bazı genişletmeler, uyarlamalar ve ek çalışmalar olmaksızın U-space operasyonel ihtiyaçlarını desteklemek için yetersiz olduğu sonucuna varılmıştır. U-space'te ihtiyaç duyulan bilgiler ve etkileri, simülasyonlar aracılığıyla doğrulanarak bilginin hangi kaynaklardan elde edileceği, nasıl yönetileceği ve paylaşılacağı incelenmiştir [15].

İçeriği, kapsamı, sunulacak hizmetler ve mimari yapısı ile ilgili yapılan çalışmalar ışığında hazırlanacak olan UAM Uçuş Bilgi Paylaşım Sistemi'nin profesyonel ve amatör tüm pilotların, işleticilerin ve hizmet sağlayıcıların, kısaca tüm paydaşların ihtiyaçlarına cevap verebilecek, başka sistemlerle esnek çalışabilecek dinamik bir yapıda olması şarttır.

5.2. Kentsel Hava Sahasında Hava Trafik Kontrol Arayüzü

Genel havacılık için hava trafik kontrol hizmeti (Air traffic control, ATC), hava araçları arasında ve manevra sahasındaki hava araçları ile manialar arasında çarpışmaları önlemek ve düzenli hava trafik akışını hızlandırmak ve sürdürmek için sağlanan hizmettir. Bu hizmet bir hava aracının inişinden kalkışına kadar aşağıdaki safhalardan oluşur.



Şekil 5.1. Hava trafik kontrol hizmetinin safhaları

Kentsel hava hareketliliğinde de emniyetli, güvenli ve hızlı bir trafik akışı için dron, kişisel hava araçları ve hava sahasını kullanacak diğer tüm insanlı/insansız hava araçlarının gerçek zamanlı izlenmesi ve görüntülenmesi gerekir. Genel havacılıkta olduğu gibi izleme (tracking) için radar veya başka gözetim sensörlerine; görüntüleme (monitoring) için de bir kontrolör arayüzüne ihtiyaç vardır.

ATM’de kontrolör arayüzü ya da diğer adıyla kontrolör çalışma pozisyonu (controller working position-CWP), hava trafik kontrol hizmeti operasyonlarında insan makine arayüzünün temel ögesidir. Hava trafiğini kontrol edebilmek için ihtiyaç duyulan verilerin (hava aracıya ait pozisyon, çağrı adı, irtifa, hız gibi gözetim verileri, uçuş planı verisi, uçuş rotası, iniş kalkış meydana...) uygulama ve planlama kontrolörlerine sunulduğu bir sistemdir. Ancak UAM için ihtiyaç olan kontrol arayüzü, ATM’de kullanılanlardan daha farklı olacaktır:

- Sivil Havacılık Talimatı’na göre, İHA0 ve İHA1 sınıfındaki İHA’lar sadece görerek meteorolojik koşulların sağlandığı durumlarda, gündoğumu-günbatımı saatleri arasında ve en az 2 km görüşe açık havalarda uçuş gerçekleştirilebilir, İHA2 ve İHA3 sınıfındaki İHA’lar ise hava trafik usulleri açısından VFR uçuş gerçekleştirilen hava aracı statüsünde kabul edilirler [24]. Özetle, ilk aşamada kentsel hava sahasında gerçekleştirilecek uçuşların, limitleri bu sahaya özgü olarak değişse de VFR koşullarda olacağından, düşük

görüŖte veya gece uçuŖa izin verilmeyecektir. Dolayısıyla ATM'deki gibi IFR uçuŖa hizmet verilmediğinden, uçuŖları kontrol yükümlüğü olmayacak, ayırma zorunluluğı olmayacak; yalnızca tavsiye hizmeti verilecektir.

- Hava araçlarının bir kısmının tamamen otonom, diğerslerinin de pilotlu veya uzaktan pilotlu olduğı UAM'de, hava trafik hizmeti de bir anlamda yarı otonom olacak, tüm trafıklere değıl, yalnızca kurallara uygun uçuŖ gerçekleŖtirmeyen (paylaştığı rotanın dışına çıkan, kendisi için belirlenmiŖ coğrafi çit (geo-fencing) sahasının dışına çıkan, girmemesi gereken bir coğrafi çit sahasına giren veya olması gerektiğı seviyede uçmayan gibi...) trafıklere hizmet verilecektir.
- Yalnızca gözetim ve uçuŖ planı verileri değıl, uçuŖa yardımcı coğrafi uçuŖ bölgelerine ait harita bilgileri, hava durumu verileri, çakışmalara ait anlık veriler (deconfliction) gibi diğers önemli veriler de hem kontrolör hem de hava aracı operatör arayüzü ile paylaşılmalıdır.

5.3. Kentsel Hava Sahası Haberleşme, Seyrüsefer ve Gözetim (Communication Navigation Surveillance-CNS) Hizmetleri

Hava trafik hizmetleri, hava sahasının gözetlenmesi, uçak pozisyonlarının doğıru bir şekilde belirlenmesi ve bu uçaklarla sağılıklı bir haberleşmenin sağılanması ile mümkündür. Haberleşme, seyrüsefer ve gözetim hizmetleri olarak adlandırılan bu hizmet mevcut hava sahası yönetiminde olduğı gibi kentsel hava sahası yönetiminde de verilmesi gereken hizmetlerden biridir.

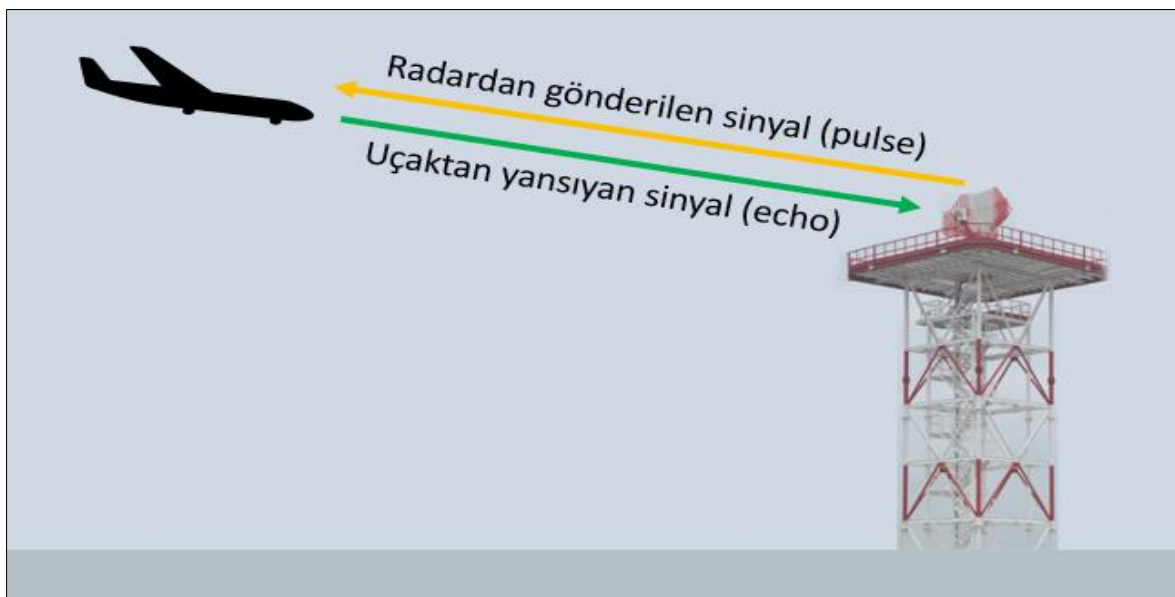
Günümüzde hava trafik kontrol hizmetinin verilmesinde iniŖ- kalkış safhaları hariç genellikle gözetim (surveillance) hizmetlerinden yararlanılmaktadır (Büyük havalimanlarında iniŖ- kalkış safhaları ve yer hareketleri için de yine gözetim hizmetlerinden yararlanılabilmektedir). Gözetim hizmeti, genellikle hava trafik radarları (PSR, SSR) veya ADS-B, MLAT gibi gözetim sensörlerinden elde edilen verinin kaynaştırılması (data fusion) yoluyla ortaya çıkan gerçek zamanlı hava resminin hava trafik kontrolörüne sunulmasını ifade eder. Radarlı hava trafik hizmeti olarak da bilinen bu yöntem havacılık için hayati öneme sahiptir.

5.3.1. ATM’de kullanılan gözetim sistemlerinden bazıları

Gözetim teknolojileri esas itibariyle hedef pozisyonunun hesaplanma şekline göre bağımsız (pozisyon, gözetim sistemi tarafından hesaplanır) ve bağımlı (pozisyon, hedef tarafından iletilir) olarak ve hava aracında bir teçhizat (transponder) gerektirip gerektirmesine bağlı olarak non-cooperative ve cooperative olarak sınıflandırılır [43]. Hava trafik hizmetlerinde kullanılan en yaygın gözetim sistemlerinden bazıları aşağıda belirtilmiş olup özellikleri hakkında kısaca bilgi verilmiştir.

I. Birincil gözetim radarı (primary surveillance radar-PSR)

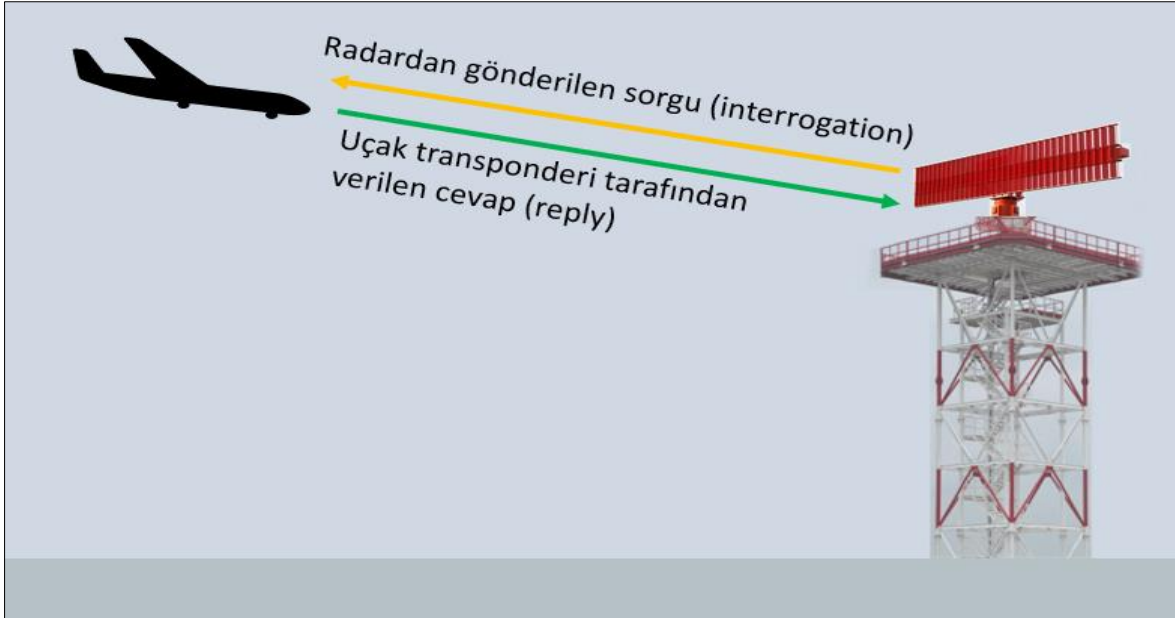
Gözetim sistemlerinin en eski ama aynı zamanda en vazgeçilmez teknolojisi olan PSR radarlar elektromanyetik dalganın hedeflere çarpıp geri dönmesi mantığı ile çalışır. Dalganın gidiş dönüş süresi ve hızı (300.000 km/sn) bilindiğinden hedefin mesafesi hesaplanabilir. Ayrıca antenin o andaki yönü de uçağın istikametinin hesaplanmasında belirleyicidir. Böylece bir hava aracının pozisyonu bu radar ile belirlenebilir. Ancak seviyesi veya hava aracına ait diğer bilgiler, hava aracı ile herhangi bir veri bağlantısı kurulmadığından (non-cooperative) elde edilemez. Kısaca PSR, iş birlikçi olmayan/bağımsız (non-cooperative/independent) radarlar olduğu için kritik bölgelerde yalnızca pozisyon, hız ve yön bilgisi almak için tercih edilirler ancak hava aracı tanımlaması ve irtifa bilgisi gibi diğer bilgileri alamazlar.



Şekil 5.2. Birincil gözetim radarı (Primary Surveillance Radar - PSR)

II. İkincil gözetim radarı (secondary surveillance radar-SSR)

Bağımsız ama iş birlikçi olan (independent/cooperative) ikincil gözetim radarı vasıtasıyla bilgi alınması, hava aracında transponder cihazının bulunmasını gerektirir. Sistem sorgulama ve cevap mantığı ile çalışır. Radar tarafından gönderilen sorgular (interrogation, 1030MHz), hava aracında bulunan transponder tarafından cevaplanır (reply, 1090MHz). Cevabın alındığı süre ile sorgunun yapıldığı süre arasındaki farktan hedefin mesafesi (range); antenin yönü ile de uçağın istikameti (bearing) hesaplanır. Alınan cevabın içerisinde kimlik kod bilgisi (Mode A) ve irtifa bilgisi (Mode C) yer alır. Sonuç olarak uçağın pozisyon, hız ve yön bilgisinin yanı sıra irtifası ve tanımlama için gerekli olan kimlik kodu da alınmış olur.

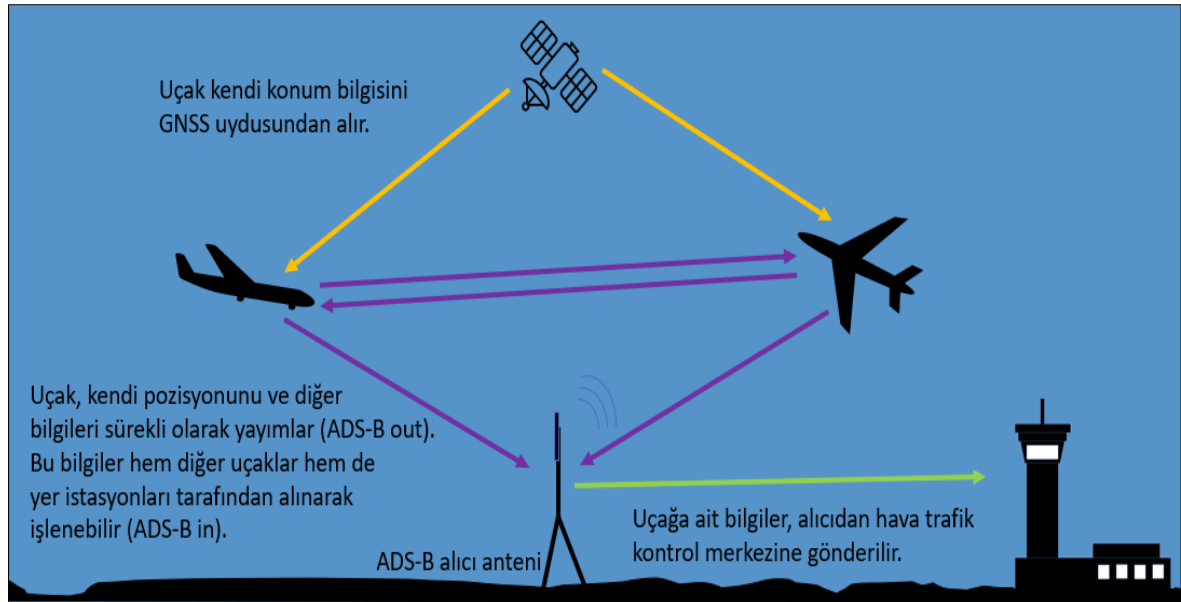


Şekil 5.3. İkincil gözetim radarı (Secondary surveillance radar - SSR)

III. Otomatik bağımlı gözetim-yayın (ADS-B)

Radar sistemlerine göre çok daha düşük maliyetli olan ve günümüzde yaygın şekilde kullanılan bir diğer gözetim yöntemi ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) teknolojisidir. Yer veya hava kullanıcılarına, talep edilmesi durumunda uçakların ve havalimanındaki yer araçlarının, kimlik, konum hız gibi bilgilerini belirli aralıklarla veri bağlantısı aracılığıyla bir yayın modunda otomatik olarak iletebileceği ve/veya alabileceği bir yöntemdir [28]. ADS-B, hava aracında transponder gerektiren, iş birlikçi (cooperative)

bir sistemdir. İş birlikçi olduğu için hava aracından ihtiyaç duyulan tüm bilgiler kolayca alınabilmektedir. Poizsyon bilgisi hedef tarafından iletiildiğinden aynı zamanda bağımlı (dependent) bir sistemdir ve uydu tabanlı konum belirleme sisteminin (GNSS) devre dışı kalması durumunda uçağa ait bazı bilgiler paylaşılammaktadır. Bir diğer sorun, ADS-B yayınında herhangi bir şifreleme veya kimlik doğrulama yoktur. Mesajlar, dinleme, karıştırma, değiştirme ve sızma gibi saldırılara açık bir biçimde yayınlanır. Ayrıca, uçak ve hava trafik kontrol (ATC) üniteleri, ADS-B mesajlarını göndermeden önce kimlik doğrulaması yapmaz, dolayısıyla yetkili olanlar yetkisiz olanlardan ayırt edilemez. Tüm bu faktörler, ADS-B sistemini çeşitli saldırılara karşı son derece savunmasız hale getirir (ADS-B Spoofing attacks) [44].

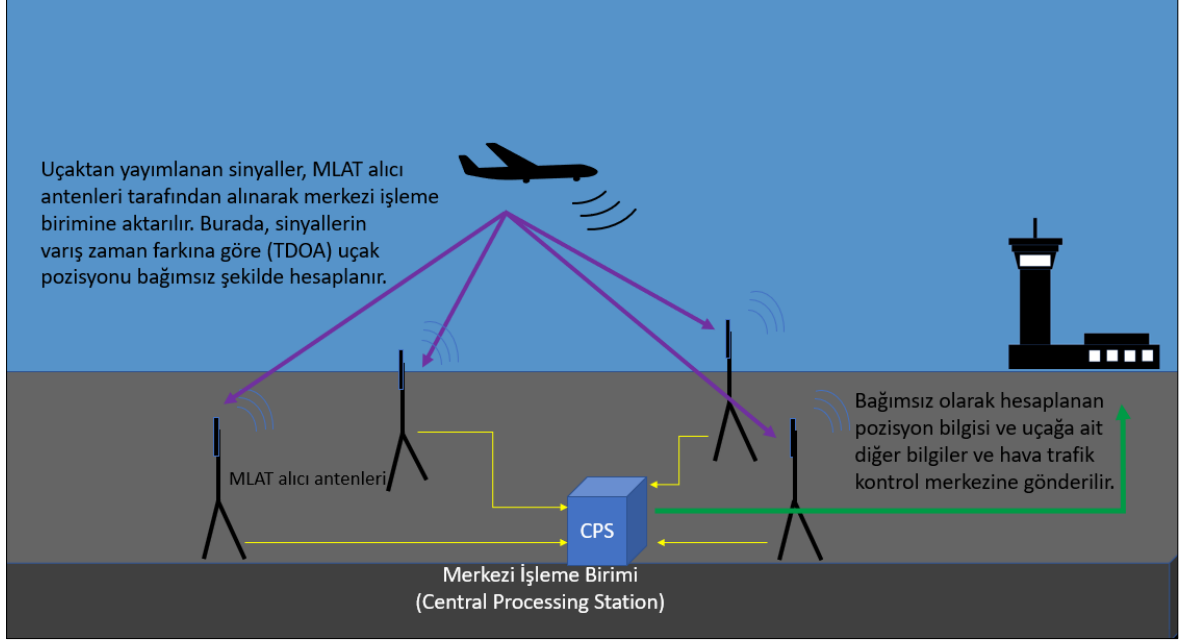


Şekil 5.4. Otomatik bağımlı gözetim yayını (ADS-B)

IV. Multilateration (MLAT)

Bir başka gözetim tekniği ise multilateration (MLAT) olarak bilinen, hava araçlarının herhangi bir sorgulayıcıya cevaben veya transponderlerinden otomatik olarak yapılan ADS-B yayını ile gelen sinyallerin, en az 3 alıcı anten tarafından işlenerek ulaşım zamanı farkı (TDOA- Time Difference Of Arrival) yöntemi kullanılarak uçak pozisyonunun bulunması temeliyle çalışan sistemlerdir. MLAT, bağımsız (ulaşım zaman farkının hesaplanması işlemi hava aracından bağımsız, yerdeki MLAT sistemi ile hesaplanarak uçağın pozisyonu elde edilir) ama iş birlikçi bir gözetim tekniğidir. Bu açıdan SSR radar ile benzer özelliktedir. Ancak SSR radarlarla kıyaslandığında kapsamaların gerçekten çok zor, çetin ve maliyetli

olabileceği hava sahalarında bu tür sistemler hem daha ucuz hem de daha kesin bilgiler verirler. Hatta radar kapsamalarında oluşabilecek boşluklar da bu sistemler sayesinde giderilebilir [45]. Bununla birlikte SSR gibi bir sorgulamaya ihtiyaç duymaz.



Şekil 5.5. Multilateration (MLAT)

5.3.2. Kentsel hava sahasını kullanan hava araçlarının pozisyon bilgisi ve kimlik tanımlaması (identification)

Transponder

Yukarıda ifade edildiği gibi genel havacılıkta hava aracının pozisyonu, hesaplanma yöntemine göre bağımlı veya bağımsız olarak; hava aracında transponder gerektirip gerektirmemesine göre ise non-cooperative (iş birlikçi olmayan) veya cooperative (iş birlikçi) biçimde belirlenebilmektedir. Bağımsız ve iş birlikçi olmayan sistemlerle (PSR) pozisyon bilgisi elde edilebilmesine rağmen kimlik tanımlaması yapılamamaktadır. Kimlik tanımlaması için transponder cihazı zorunludur. Hava aracında bulunan transponder, radyo frekansla bir sorgulama aldığı anda yanıt üreterek yayımlayan bir cihazdır. 1030 MHz ile aldığı sorguları 1090MHz’de cevaplar. Cevap sinyalleri kimlik kodu, irtifa, 24 bitlik uçak adresi gibi birçok bilgiyi içerir.

Aşağıdaki tabloda 1090MHz’de gönderilen ve multilateration sistemi tarafından kullanılabilen sinyal türleri ve taşıdıkları bilgiler verilmiştir. Multilateration sisteminin, pozisyon hesaplamasını bağımsız şekilde yerdeki antenler vasıtasıyla (TDOA tekniği) yaptığını belirtmiştik. Bunun yanında, tabloda gösterilen tüm mesaj türlerini işleme kabiliyetine sahip olduğundan uçaktan alınan, tablodaki tüm bilgilere MLAT ile erişilebilmektedir.

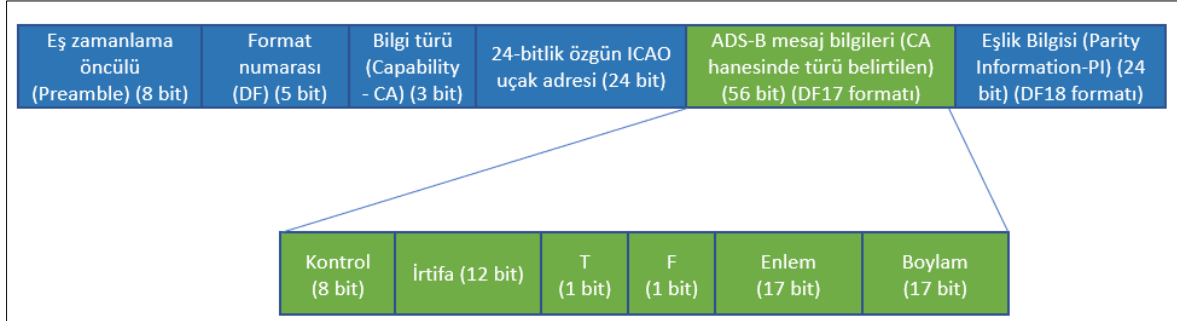
Çizelge 5.1. Multilateration tarafından kullanılan ana iletimler. Wide Area Multilateration Study Report on EATMP kaynağından uyarlanmıştır [46]

Yayın Türü	Veri Formatı (DF)	Bilgi Türü
Mode A		Kimlik (Squawk Kodu)
Mode C		İrtifa
Mode S acquisition squitter	11	24-bitlik uçak adresi
Mode S extended squitter	17	24-bitlik uçak adresi, İrtifa, Kimlik, ADS-B
Mode S kısa ACAS	0	24-bitlik uçak adresi, İrtifa
Mode S uzun ACAS	16	24-bitlik uçak adresi, İrtifa, hava-hava koordinasyonu
Mode S kısa gözetim	4,5	24-bitlik uçak adresi, İrtifa, Kimlik
Mode S uzun gözetim	20,21	24-bitlik uçak adresi, İrtifa, Kimlik, Data Link

Sinyallerin gidiş-geliş süreleri kullanarak hava aracına ait pozisyon bilgisini yerdeki anten yardımıyla hesaplayan SSR sistemi ise yukarıdaki tabloda yer alan Mode A (kimlik bilgisi) ve Mode C (irtifa bilgisi) cevap sinyallerini işleyerek (SSR-Mode S olan radar sistemleri Mode S sinyallerini de işleme kabiliyetine sahiptir) uçağın kimlik tanımlamasını yapmakta ve irtifa bilgisini almaktadır [47].

ADS-B ise veri formatı (DF) 17 kullanan, hava aracı transponderi tarafından belli aralıklarla yayımlanan sinyal türlerinden Mode S veri çoğuşması (extended squitter-ES) yayını kullanmaktadır. 112 bitlik ES mesajında 24-bitlik özgün uçak adresinin yanı sıra 56 bitlik ADS-B mesajı ve başka bilgiler bulunmaktadır. ADS-B mesajında hangi bilgilerin yer aldığını belirlemek için mesajın ilk 5 bitini oluşturan tip koduna (Bkz. Şekil 5.6. Kontrol hanesi içinde) bakmamız gerekir. Tip koduna göre mesaj içeriği değişmekte olup hava

aracının yatay pozisyonu (latitude/longitude), irtifa değeri, uçak hız vektörleri, uçuş statüsü gibi bilgiler bulunmaktadır.



Şekil 5.6. ADS-B extended squitter 1090 mesaj formatı

Görüldüğü üzere hem hem SSR hem MLAT hem de ADS-B gözetim teknolojilerinin hedef kimlik tanımlaması için hava aracında transponder bulunması gerekir. Günümüzde bilinen dronların çoğunda bu aviyonik yer almadığından, zorunlu tutulması durumunda, uçuşa elverişli olamayacaklardır. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'nün yayınlamış olduğu İnsansız Hava Aracı Talimatına göre azami kalkış ağırlıkları referans alınarak İHA'lar 4 sınıfa ayrılır [24]:

- 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.

Talimata göre bunlardan yalnızca İHA3 sınıfının Mode-S transponder ile TCAS veya ADS-B benzeri algı ve sakın sistemleriyle donatılmış olması zorunlu tutulmuştur [24]. Diğer İHA türlerinin de transponder cihazıyla donatılması ise operasyonları gerçekleştirecek kişiler, işleticiler ve şirketler için ciddi bir ek maliyet getirecektir. Aviyoniklerin hava araçlarına entegrasyonu, uzun süren ve maliyetli testler gerektiren bir iş olup sertifikasyonları zorunludur.

Küresel seyrüsefer uydu sistemi (Global navigation satellite system-GNSS)

Dünyanın yörüngesinde bulunan GNSS uydu antenlerinden yayılan sinyaller, bir alıcı tarafından okunur. Okunan sinyallerin varış süreleri kullanılarak alıcı kendi konumunu

hesaplayabilmektedir. Jeodezideki en eski tekniklerden biri olan “geriden kestirme” esasına dayanan bu sistemde konumu bilinmeyen bir noktadan, konumu bilenen noktalara yapılan gözlem ve hesaplar ile bulunulan noktanın konumu kestirilmektedir. Matematikte 3 bilinmeyenli bir denklemin çözümü için 3 bilinen yetse de burada saat hatalarını ortadan kaldırmak için en az 4 bilinene ihtiyaç vardır [48]. Özetle, en az 4 uydudan alınan sinyallerin varış zamanının ölçülmesi ile alıcının konumu belirlenebilir. Uydular hassas zamanlama sinyalleri yanında, mesaj iletimi sırasındaki uydunun konumunu da bildirir. Hareketli bir GNSS alıcısının hızı ve yönü de bilinen iki pozisyon farkı yöntemi veya doppler kayması yöntemi ile bulunabilir [49]. Ayrıca alıcının bulunduğu irtifa bilgisi de yine alınan sinyallerin üçgenleme (trilateration) veya trilaterasyon yöntemiyle hesaplanması sonucu elde edilebilir [50].

Konum, hız ve zaman belirleme amaçlı kullanılan, farklı ülkelerin geliştirmiş olduğu GNSS sistemleri aşağıdaki gibidir. Bunlardan en yaygın olanı ABD’ye ait olan Küresel Konumlama Sistemidir (Global Positioning System-GPS).

Çizelge 5.2. GNSS Sistemleri ve ait oldukları ülkeler: *Geospatial World* kaynağından uyarlanmıştır [51]

ÜLKE	GNSS
Amerika	GPS
Avrupa	Gelileo
Çin	Beidou/Compass
Rusya	GLONASS
Japonya	QZSS
Hindistan	IRNSS

Günümüzde uçaklar, cep telefonları, tabletler, akıllı saatler ve arabalarda olduğu gibi dronlarda ve daha birçok teknolojik üründe GPS alıcısı bulunmaktadır. GPS yardımıyla bulunulan konum haritada gösterilebilir, cihazın uzak bir yerde olması durumunda yeri, başka bir cihazdan tespit edilebilir veya konum paylaşımı yapılabilir. Tüm İHA’ların transponder bulundurması zor iken, GPS alıcısı gibi hâlihazırda birçoğunda var olan, çok daha ucuz ve yaygın bir teknolojiyi bulundurmaları çok daha kolaydır. Ancak bir GPS alıcısı tarafından alınan sinyallerin hesaplanarak elde edilen bilgilerin yalnızca o cihazda kalması,

uçurulan hava araçlarının uzaktan tespit ve takibi için tek başına yeterli olmayıp bir iletişim altyapısına ihtiyaç vardır. Çok yüksek irtifalarda uçuş gerçekleştiren uçaklar da GPS yardımıyla birçok bilgiyi elde edebilmektedir ancak bu bilgi yine transponder aracılığıyla hava trafik kontrol merkezlerine iletilmektedir. Burada kentsel hava sahası kullanıcıları yararına çok önemli bir fark bulunmaktadır. Kentsel hava sahasının sınırları, GSM operatörlerinin kapsama alanlarının içerisinde kaldığından altyapı ihtiyacı, mevcut GSM şebekesi kullanılarak karşılanabilir.

Hava aracı, üzerinde bulunan GPS ile uydulardan aldığı sinyallere göre konum yön hız ve irtifa bilgilerini, varsa hava aracı üzerindeki sıcaklık, basınç, barometrik altimetre gibi sensörlerden gelen bilgilerle birlikte GSM/GPRS şebekesi üzerinden anlık olarak UAM uçuş bilgi paylaşım sistemine ve kontrolör arayüzüne gönderebilir.

5.3.3. Kentsel hava sahası için gözetim sistemi

Ulusal otoriteler, güvenlik endişesi ile kentsel hava araçlarının pozisyon bilgisi ve kimlik tanımlanmasını GPS bağımlılığı olmadan bağımsız bir biçimde de tespit etmek isteyebilir. Yukarıda anılan gözetim sistemlerinin özelliklerinde de anlaşılabacağı üzere her birinin avantajları ve dezavantajları vardır. Kullanıldığı yere ve kullanım amacına göre farklı gözetim sistemleri tercih edilebilir. Örneğin; sadece kullanıcılarına uçuş bilgisi sağlamak amacıyla geliştirilen bir uygulama için yalnızca ADS-B (bağımlı) teknolojisi yeterli iken; hava sahasının gözetimi, emniyetli, kesintisiz ve güvenli bir hava trafik kontrol hizmeti için ADS-B yeterli olmayacaktır. Hava trafik hizmetinin ifasında bağımsız sensörler büyük önem arz etmektedir.

Kentsel hava sahasını kullanacak hava araçlarının izlenebilmesi amacıyla kurulacak ve yalnızca ADS-B'lerden oluşan (en ucuz ve en kolay yöntem olarak) bir gözetim altyapısı, ADS-B'lerin (bağımlı ve iş birlikçi olması nedeniyle) hava araçlarında transponder gerektirmesi ve yapılan yayınların spoofing saldırılarına açık olması nedeniyle tek başına yeterli olmayacaktır. MLAT gözetim tekniğinin ve SSR'ın bağımsız olması, uçaklara ait pozisyon bilgisinin gözetim sistemleri tarafından hesaplanması, ADS-B'lere göre bu sistemleri çok daha güçlü kılmaktadır. Ancak bu sistemlerin de hava aracına ait bilgileri almak için yapılan sorgulara (interrogation) hava aracından cevap (reply) verilmesini sağlayacak veya doğrudan yayın yapacak olan transponder cihazına ihtiyacı vardır. Dahası

transponder cihazı tüm hava araçları için zorunlu tutulsa bile herhangi bir arıza durumunda cihazın servis dışı kalması veya istenildiğinde bu cihazın bilinçli olarak kapatılması hava aracının izlenmesini engeller. Bu da kent üzerindeki bir hava sahası için büyük bir risk ve tehlike demektir.

Kentsel hava sahasının, hava aracına ait diğer bilgiler alınsın ya da alınmasın her şeyden önce hedef tespiti kesin olarak yapıldığı PSR sistemi ile aynı prensipte çalışan bağımsız ve iş birlikçi olmayan bir gözetim sistemine ihtiyacı vardır. Bu gözetim sistemi ile birlikte, transponder cihazı olan hava araçlarına ait bilgilerin de alınabileceği ikinci bir sistem kullanılarak her iki sistemden gelen verinin kaynaştırılması (data fusion) yoluyla pozisyon bilgisi kesin olarak belirlenmiş zengin bir gözetim verisi elde edilebilir. Böylece Sivil Havacılık Talimatı gereği transponderin zorunlu tutulduğu ve kentler üzerindeki uçuşlarda görece olarak daha büyük tehlike oluşturabilecek boyutlardaki İHA3 (150 kg ve daha ağır) sınıfındaki hava araçlarının tespiti ve takibi kesin olarak yapılabilecektir.

Günümüzde ATM’de kullanılan bir PSR radarın doğrudan kentsel hava sahası için kullanılması özellikleri itibariyle pek uygun görünmemektedir. Çünkü uçak, helikopter gibi büyük hava araçlarının tespit edilmesi amacıyla geliştirilen PSR sistemleri çözünürlük (PSR menzil çözünürlüğü = 200 metre), radar kesit alanı (RKA, PSR için 1 metrekare) ve tarama hızı (4 saniyede 1 tarama) açısından kentsel hava sahası ihtiyaçlarını karşılayacak bir tasarıma sahip değildir. Bunun yerine, Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMİ) ve TÜBİTAK Bilişim ve Bilgi Güvenliği İleri Teknolojiler Araştırma Merkezi iş birliğiyle havalimanı civarındaki kritik sahalarda bulunan hareketli kuş ve kuş sürülerinin tespiti, izlenmesi ve uçuş güvenliği açısından değerlendirilmesi amacıyla geliştirilmiş, yine aynı prensiple çalışan KUŞRAD (Kuş Tespit Radarı), özellikleri itibariyle [52] kentsel hava sahasının gözetimi için daha uygundur. 2016 yılında Atatürk Havalimanı’na kurulan KUŞRAD, düşük radar kesit alanına sahip hava hedeflerinin tespitinde son derece etkilidir. Test sürecinde de kuşları simüle etmek için dronların kullanıldığı bu radar ile RKA’sı 0,01 metrekare olan dronlar 3-4 km mesafeden tespit edilebilmiştir [53]. Bazı değişiklikler ve yapılandırmalar yardımıyla Dron Tespit Radarına (DTR) dönüştürülebilecek bu sistemin en önemli özelliği ise yatay ve dikey tarama yapan iki ayrı alt bileşenden oluşmasıdır. Yatay tarama ile hedefin mesafesi bulunurken, dikey tarama ile hedefin irtifası belirlenmektedir. Dolayısıyla hava hedeflerinin üç boyutlu hacimsel tespiti ve takibi yapılabilmektedir. 40 km yarıçapındaki bir alanda tarama yapabilen bu sistemin tarama hızı 3 saniyeden küçük olup

            yatayda 20 metre, dikey de 6 metredir (20 fit) [53]. Bu değerler, yukarıda kentsel hava sahası ve hava koridorları için   nerilen yatayda 0,1 millik (185,2 metre); dikeyde 100 fitlik ayırma minimumlarını sağlayabilecek niteliktedir.

Dron Tespit Radarı ile birlikte ikinci gözetim sistemi olarak yine bir radar sistemi olan SSR'ın kullanılması kapsama alanı genişliği açısından fayda getirse de (SSR menzili genellikle 200-250 mil arasındadır) kentsel hava sahası için ihtiyacımız olan bu değildir. SSR'a göre kapsaması zor olan alanlarda (Kent içinde yüksek binalar, kuleler ve doğal manialar olacaktır. Bina etkilerinin katılması ile radar kapsama diyagramlarında kötüleşme olacaktır.) daha etkin ve daha az maliyetli olan MLAT sisteminin tercih edilmesi daha uygun olacaktır. Radar kapsamalarında oluşabilecek boşluklar da bu sistem sayesinde giderilebilir. 20-30 mil çapındaki bir sahanın gözetimi için MLAT yeterli olurken daha geniş hava sahaları için genellikle Geniş Alan MLAT (Wide Area Multilateration-WAM) tercih edilir. WAM ile 200 mile kadar gözetim sağlanabilir ve genellikle yol kontrol amaçlı kullanılır [54]. Ancak kentsel hava sahasının çok geniş olacağı mega kentlerde MLAT yerine WAM tercih edilebilir.

Böylece transponder taşıyan hava araçları MLAT veya WAM ile tespit edilip gerekli bilgiler alınacak; transponder taşıyan, taşımayan veya transponderı kapalı tüm hava araçları ise DTR ile tespit edilerek mesafe ve irtifa bilgileri hesaplanacaktır. İki sistemden alınan bilgiler için veri kayna tırması yapılarak kontrolör arayüzüne ve UAM uçuş bilgi paylaşım sistemine aktarılacaktır. Elde edilen veriler yalnızca tespit (identification), takip (tracking) ve görüntüleme (monitoring) için değil istatistiksel analiz, hava sahası ve rota yoğunluğu hesaplamalarında da kullanılabilecektir.

5.4. Kentsel Hava Sahası Emniyet Hizmetleri

Hava trafik yönetimi (ATM), tüm operasyon safhaları boyunca uçakların emniyetli ve etkin olarak hareket edebilmeleri için gerekli, hava trafik hizmetleri, hava sahası yönetimi ve hava trafik akış idaresi dâhil yer temelli ve havadaki fonksiyonların toplamını ifade eder [55]. Hava trafik yönetimi içerisinde verilen hizmetlerinin öncelikli amacı emniyeti sağlamaktır. Genel havacılı ın, uzun yıllara dayanan bir deneyim ve yaşanan emniyet olaylarından çıkarılan derslerle birlikte u u a elveri lili i sağlayan tasarım ve üretim gibi kalite testleri, kokpit otomasyonu, ATC sistemleri ve emniyet a ları sayesinde kabul edilebilir derecede

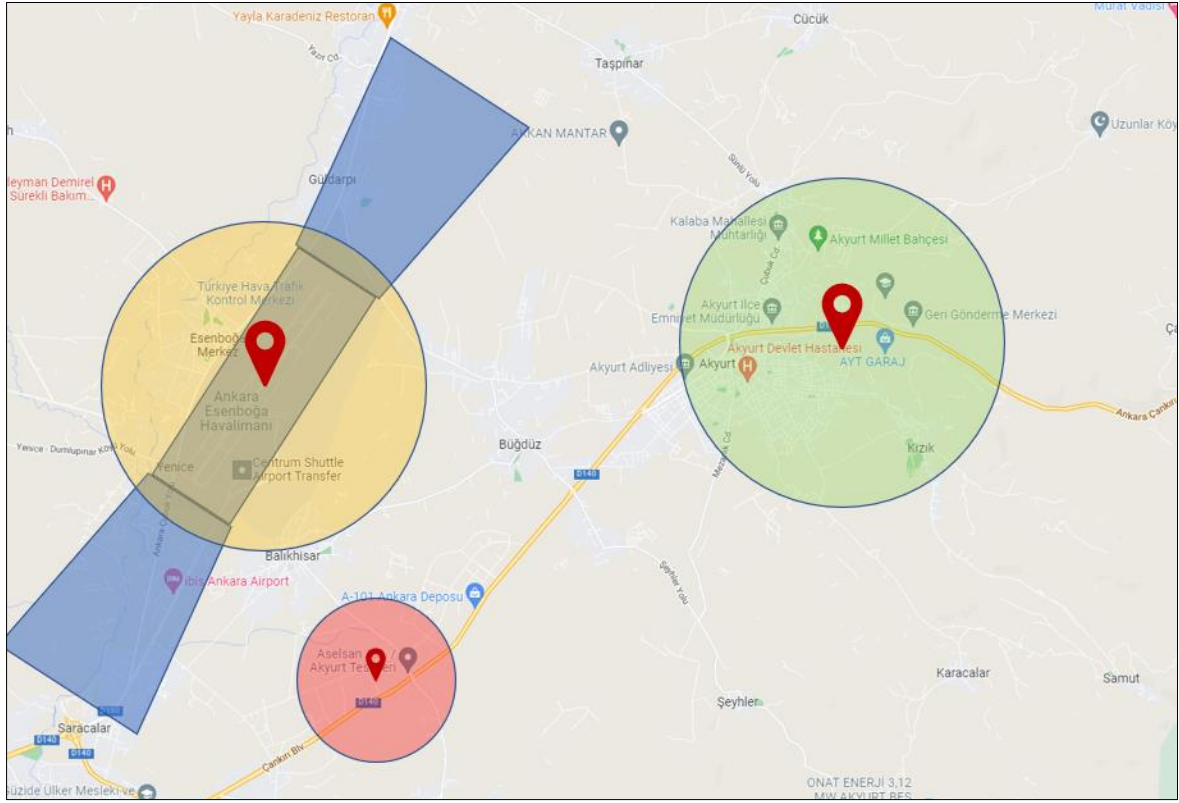
emniyetli olduğu düşünölmektedir. (UAS ATM Integration) Ancak küçük bir alanda, hızları görece olarak düşük, manevra kabiliyetleri çok daha yüksek dron, uzaktan pilotlu, kişisel veya otonom hava araçları gibi farklı tip ve boyutlardaki hava araçları ile çok sayıda uçuşun gerçekleştirildiğı kentsel hava sahası yönetiminin, günümüz hava trafik yönetiminden çok daha farklı olacağı açıktır. Kentsel hava sahası trafik yönetiminde emniyeti sağlamak adına yeni yöntemlerin yanı sıra hava trafik emniyetini artırmak için ATM sistemlerinde kullanılan emniyet ağlarından (safety nets) da yararlanılabilir.

5.4.1. Coğrafi çit (Geo-fencing)

Coğrafi eskrim ya da coğrafi çit olarak bilinen geo-fence, coğrafi bir bölgenin çevresinde tanımlanmış sanal bir sınırdır. Bu teknoloji, tanımlanmış coğrafi alana giren veya çıkan etkin bir cihazda, önceden programlanmış bir eylemi (uyarı, mesaj, bildirim gibi) tetiklemek için GPS, Wi-Fi, RFID, bluetooth veya hücresel verilerin (LTE, 5G) kullanıldığı konum tabanlı bir hizmettir (Location-Based Service-LBS). Kullanıcı cihazında konum bilgisi, yukarıda anılan farklı kaynaklardan sürekli olarak güncellenir. Cihaz, güncellenmiş konum bilgisinden coğrafi eskrim alanına girip girmediğini kontrol eder. Alana girmiş olan cihazda ilgili eylem tetiklenir.

Bir alışveriş merkezine girildiğinde mağazaların yaptığı kampanyalarla ilgili mesaj gelmesi, kaza yapma riski yüksek bir yerden geçildiğinde emniyet müdürlüğünden mesaj gelmesi, lojistik firmasına ait nakliye araçlarının lokasyon sınırına girmesiyle işçilere bildirim gitmesi coğrafi çit uygulamalarına örnek olarak verilebilir. Bir mağaza bu yöntemle, müşterilerinin mağazaya ne sıklıkla girdiğini, hangi reyonda ne kadar süre harcadıklarını belirleyebilir ve bir kullanıcı alışkanlıkları veri tabanı oluşturarak daha sonraki gelişlerinde uzun süre harcadıkları reyonlardan ürün önerileri sunabilir ya da kısa süre harcayan reyonların yerini değiştirerek öne çıkarabilir.

Kullanım amacına göre tercih edilecek konumlandırma türü değişiklik gösterecektir. Örneğin açık havada ve daha geniş alanlarda coğrafi çit alanları oluşturmak için GPS tercih edilirken, bir mağaza içerisinde reyonlar için oluşturulacak coğrafi çitler için kapsama alanı daha düşük ancak konum doğruluk oranı daha yüksek olan bluetooth teknolojisi tercih edilebilir.



Şekil 5.7. Havalimanı ve civarında coğrafi çit uygulamaları

Coğrafi çit uygulamalarının, emniyet riskini azaltmak için kentsel hava sahasında kullanılması hem SESAR [9] hem de EUROCAE [56] tarafından önerilmiştir. Havalimanları, hapishaneler, askeri bölgeler, yüksek gerilim direkleri gibi tehlikeli veya tahditli bölgeler ile notamlı sahalar için coğrafi çitler çizilerek hava araçlarının o bölgelere girmemeleri veya yaklaşıncı bilgilendirilmeleri sağlanabilir. Coğrafi çit ile yalnızca girilmemesi gereken sahaların sınırları değil; bir hava aracı için çıkılmaması gereken bir sahanın da sınırları belirlenebilir (geo-caging). Bu durumda sahanın dışına çıkan hava aracı kullanıcısına, kontrolöre veya ilgili otoritelere uyarı mesajı gider.

Kentsel hava sahasında kullanılacak coğrafi çit uygulamaları, U-space'in kademeli gelişim hedefleri doğrultusunda belirlenen dört hizmet bloğunun ilk üçünde farklı düzeylerde yerini almıştır [57]. U1'de (Temel hizmetler) beklenen, girilmesine izin verilmeyen bölgeler için önceden coğrafi çit alanlarının belirlenmiş olması ve operatöre uçuş hazırlığı sürecinde diğer coğrafi bilgilerle birlikte önceden tanımlanmış bu coğrafi çit bilgilerinin sağlanmasıdır (pre-tactical geo-fencing). Bu bilgiler her uçuş öncesi en başta girilir ancak uçuş esnasında değiştirilemez. U2'de (Başlangıç düzeyi hizmetleri), operatör tarafında (uçuş bilgi paylaşım sistemi veya kontrolör arayüzünde) girilmiş olan coğrafi çit bilgilerinin uçuş esnasında

değiştirilebilmesi hedeflenmektedir (tactical geo-fencing). Böylece hava aracına direk aktarılamasa da operatör tarafında uçuş planın güncellenmesi, uyarı, bildirim gibi eylemler, güncel duruma göre tetiklenir. U3'te (İleri düzey hizmetler), U2'deki taktik coğrafi çizim hedefine ek olarak yapılan değişikliklerin bir veri bağlantısı yoluyla hava aracına aktarılması ve uçuşun da buna göre güncellenebilmesi hedeflenmektedir (dynamic geo-fencing).

5.4.2. Algıla ve sakın (Detect and avoid-DAA)

Hava sahasında çarpışmaların önlenmesi için hava trafik hizmeti verilmekte ve çeşitli sistemler kullanılmaktadır. Hava trafik kontrolörleri, belirlenmiş minimum ayırma kriterlerinin altında uçaklar arasında meydana gelecek karşılaşmalardan (aircraft confliction) önce, talimat vererek uçakların yönlerini, seviyelerini veya hızlarını değiştirir, uçakları yatay veya dikey olarak birbirinden ayırmış olur. Böylece uçaklar seviye ve pozisyon olarak birbirilerine tehlike teşkil etmeyecek şekilde belli kriterler göz önüne alınarak uçurulmuş olurlar (separation). Hava trafik kontrolörlerinin bu hizmeti verdikleri sistemlerde, çarpışmalardan ve tehlikelerden önce kontrolörleri uyararak önlem alınmasını sağlayan emniyet-ağları (safety-nets) ve yardımcı sistemler (ATC tools) bulunmaktadır.

Çarpışma tehlikesine karşı bir başka önlem uçaklarda bulunan Trafik Çarpışma Önleme Sistemidir (Traffic Collision Avoidance System-TCAS). TCAS sistemi, transponder ile donatılmış uçaklar arasında çalışarak çarpışma tehlikesine karşı dikey bir ayırma tavsiyesi (yüksel veya alçal) üretir. TCAS sistemine sahip hava araçları birbirlerini belirlenmiş bir mesafe içinde 1030Mhz frekansından yayın yaparak sorgular ve 1090Mhz frekansından karşılık gelir. Alınan cevap işlenerek karşı trafiğin pozisyonu, mesafesi, irtifası ve yönü gibi bilgiler üretilir ve TCAS ekranında gösterilir [58].

Son olarak, ICAO Annex 2-Havacılık Kuralları'na göre "İki hava aracı zıt ya da yaklaşık olarak böyle yönlerden birbirilerine yaklaşıırken, aralarında çarpışma riski varsa, her iki hava aracı da uçuş başını sağa çevirmelidir." "İki hava aracı birbirilerinin rotalarını, yaklaşık olarak aynı seviyede kat ediyorsa, diğerini sağında gören hava aracı yol verir." [59]. CORUS projesi ile ortaya çıkarılan "Concept of Operations"a göre mevcut yol hakkı kuralları yalnızca VFR trafikler için değil, dronlu VLL uçuşları için de geçerlidir (Bkz. Bölüm 4.1.1.). Bununla birlikte, görsel görüş hattı (Visual line of sight-VLOS) uçuşlarında, uzaktaki pilot için başka bir uçağın kendi uçağına yaklaşıp yaklaşmadığını, her iki uçağın da

aynı seviyede olup olmadığını veya birinin diğerini kontrol edip etmediğine karar vermesi zor olabilir [33].

Mevcut hava trafiğinde çarpışmaları önlemek için kullanılan sistemler gibi kentsel hava sahasını kullanacak hava araçlarının çarpışmalarını önlemek için de algıla ve sakın sistemleri önerilmektedir. Algıla ve sakın (DAA) sistemi, üzerinde pilot bulunan bir hava aracında olması beklenen görme ve sakınma işlevine eşdeğer bir şekilde görev yapan, pilota hava aracını ayırıştırma yeteneği kazandırabilecek sistemdir [24]. İnsansız hava araçlarının (UAV) kentsel hava sahasına emniyetli bir şekilde uçuş yapmasını sağlayarak diğer hava araçları, kuşlar, binalar, elektrik direkleri ve diğer engellerle çarpışmayı önleyen teknolojilerdir. Bu sistemler, UAV civarındaki çevreyi sürekli olarak gözlemleyerek bir çarpışmanın yakın olup olmadığına karar verir ve çarpışmayı önlemek için yeni bir uçuş güzergâhı oluşturur. U-space'e göre algıla ve sakın sistemleri, ileri düzey hizmetlerin verileceği U3 hizmet bloğunda yer alır. İHA-SHT talimatına göre de İHA3 sınıfının TCAS veya ADS-B benzeri algıla ve sakın sistemleriyle donatılmış olması zorunlu tutulmuştur [24]. Algıla ve sakın sistemleri ile ilgili, Amerika'nın havacılık endüstrisi standartlarını geliştiren RTCA (Radio Technical Commission for Aeronautics) kuruluşu ve EUROCAE tarafından performans standartları dokümanları yayınlamıştır (RTCA: DO-365, EUROCAE: ED-267).

Algıla ve sakın sistemleri farklı teknolojiler kullanılarak geliştirilebilir. Kullanılan yöntemlere göre, radarlarda olduğu gibi iş birlikçi (cooperative) veya iş birlikçi olmayan (non-cooperative) olarak ya da aktif veya pasif sistemler şeklinde kategorize edilebilir.



Şekil 5.8. Algıla ve sakın (DAA) sistemleri

İş birlikçi (Cooperative) algıla ve sakın sistemleri

Uçaklarda bulunan ve transponder sorgu/cevap yöntemiyle çalışan TCAS sistemi veya aktif sorgulama gerektirmeyen, hava aracından yayımlanan sinyallere bağlı, pasif bir TCAS benzeri sistem marifetiyle (ADS-B veya küçük hava araçlarında PCAS, FLARM gibi) çalışan algıla ve sakın sistemleridir. TCAS ve ADS-B hibrit şekilde de kullanılabilir. Çünkü TCAS algoritması, diğer hava aracının mesafe ve seviye bilgilerini kullanarak bir çakışma olup olmadığını hesaplar. ADS-B ise konum bilgisini GPS üzerinden alır, bu nedenle daha doğru bir konum bilgisi sunar. Günümüzde avantajlarından ötürü mevcut TCAS sistemleri ile birlikte ADS-B de kullanılmaktadır. Böylece TCAS sorgu sayısı da azalabilmektedir. Hibrit kullanıma ilişkin performans standartları dokümanları mevcuttur [60,61].

Algıla ve sakın sistemlerinde bu çözüm yüksek bir doğruluk ve emniyet düzeyine sahiptir. Ancak iş birlikçi sistemler olduğundan her iki hava araçlarında ilgili cihazların bulunması zorunludur. Ayrıca bu yöntemle hava aracı olmayan diğer engellere karşı (bina, direk, kuş vb.) da bir çözüm üretilmemektedir.

İş birlikçi olmayan (Non-cooperative) algıla ve sakın sistemleri

VLL uçuşlar düşük irtifalarda gerçekleştiğinden, belki de hava araçlarından daha fazla bina, yüksek gerilim direkleri, kuleler, kuş ve diğer engellerle karşılaşacaklardır. Bu engellerden sakınmak için iş birlikçi olmayan (non-cooperative) algıla ve sakın sistemlerine ihtiyaç vardır. Bu tür algıla ve sakın sistemleri için kullanılan en yaygın teknolojiler görsel veya kızılötesi kameralar, radar ve lidar teknolojileridir.

Kameralar

Hava aracı üzerinde bulunan kameralarla sağlanan görüntünün (görsel, kızılötesi veya termal) işlenerek manianın veya hava aracının tespit edilmesi ve çarpışmayı önlemek için yeni bir uçuş güzergahı oluşturması mantığı ile çalışır. Kameraya dayalı algıla sakın sistemlerinin performansı atmosfer koşullarına, ışığa ve görüş mesafesine bağlıdır. EO/IR (elektro optik/kızılötesi) sensörler gibi pasif sensörler tipik olarak daha küçüktür, daha hafiftir, daha az güç tüketir ve çok hızlı tarama hızı ve yüksek çözünürlük sunabilir. Ancak, yansıyan sinyal ölçümü ve uçuş süresi verilerinin olmaması nedeniyle, bunların mania mesafelerine ilişkin tahminleri daha az doğrudur [62].

Radar teknolojisi

Gözetim sistemlerinde olduğu gibi algıla ve sakın sistemlerinde de radar teknolojisinden sıkça yararlanılmaktadır. Elektromanyetik dalganın hedeflere çarpıp yansması ve yansıyan sinyalin radar tarafından tekrar alınarak işlenmesi mantığı ile çalışır. Hedefin pozisyonu ve mesafesi, yönü ve hızı bu şekilde belirlenebilir (Bkz. Bölüm 5.3.1). Bir elektromanyetik dalganın gönderilmesi söz konusu olduğundan aktif sensör olarak adlandırılır. Kameralar gibi hava koşullarına bağımlılığı yüksek değildir. Dolayısıyla sert koşullarda da çalışabilirler.

Lidar teknolojisi

Hedefin pozisyon ve mesafe tespiti için lazer darbelerinin kullanıldığı algılama tekniğidir. Çalışma prensibi, radar ile aynıdır. Ancak radarda radyo sinyalleri kullanılırken, lidarda lazer ışınları kullanılmaktadır. Bu teknoloji ile hedef tespiti çok daha hassas şekilde yapılabilir. Fakat radarlara göre hem daha dar bir görüş alanı sağlar.

Algı ve sakın sistemleri, hem pilotun görüş hattı içerisinde kalan (VLOS), hem de görsel görüş hattının ötesindeki (Beyond visual line of sight-BVLOS) uçuşlarda emniyeti sağlamak açısından büyük önem arz etmektedir. Yukarıda da ifade edildiği gibi kullanılan teknolojilerden her birinin avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu nedenle farklı teknolojilerin birlikte kullanılması ve elde edilen verilerin kaynaştırılarak kullanılması ile güçlü yönler öne çıkarılabilir, dezavantajlar da minimize edilebilir [63].

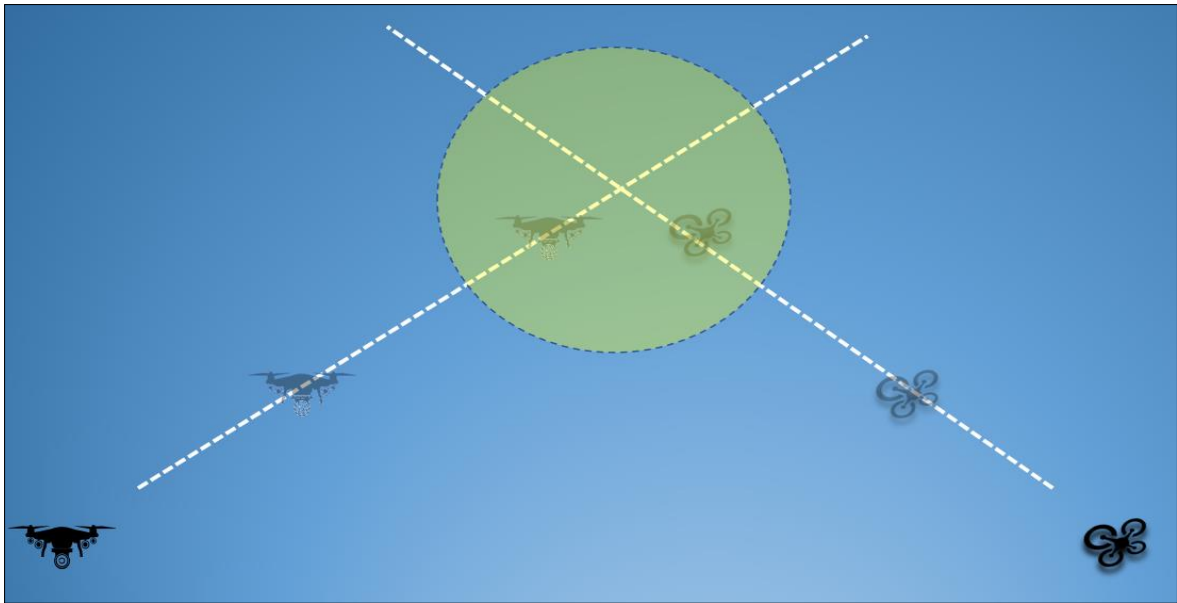
5.4.3. Çakışma çözümü (Deconfliction)

Hava araçları arasında meydana gelebilecek, belirlenmiş minimum ayırma kriterlerinin altındaki karşılaşmalara çakışma (confliction); hava trafik kontrolörlerinin hava araçlarını yatay veya dikey ekseninde yönlendirmesi veya hızlarını ayarlaması ile aralarındaki mesafenin minimum ayırma kriterleri üzerinde kalmasını sağlamasına ise ayırma (separation, deconfliction ya da conflict resolution) denir. Hava trafik sistemlerinde, daha emniyetli bir kontrol imkânı sunmak amacıyla, çakışmalardan önce kontrolörleri uyaran emniyet ağırları ve yardımcı sistemler olduğu daha önce ifade edilmişti. Bunlardan biri orta vadeli çakışma tespit aracıdır (Medium term conflict detection-MTCD). MTCD, iki hava aracı arasında, genellikle 20 dakika içerisinde oluşabilecek potansiyel çakışmayı hesaplayarak kontrolörü uyaran yardımcı bir sistemdir. Bir diğer örnek ise kısa vadeli çakışma ikazıdır (Short term conflict alert -STCA). STCA, kısa süre içerisinde iki hava aracı arasında oluşacak çakışmayı gösteren emniyet ağıdır. Öneme binaen yalnızca görsel değil, sesli uyarı da sağlamaktadır. Süre parametresi değiştirilebilir olup genellikle 3 veya 5 dakika aralığındadır.

MTCD veya STCA gibi ATM'de kullanılan çakışma önleme araçları, insansız hava araçları arasında oluşacak çakışmaları önlemede ATM'de olduğu gibi iki şekilde kullanılabilir. Bunlardan biri uçuş planında girilen rotaya göre bir yörünge (trajectory) hesaplaması yaparak oluşacak çakışmaları uzun süre önce tespit eder. Buna stratejik veya taktik öncesi çakışma tespiti adı verilir (MTCD, stratejik çakışma tespit aracıdır). Ancak gerçekte hava araçları, çoğu zaman hava koşulları, direk rota verilmesi veya ayırma yapılması gibi nedenlerle, uçuş planlarıyla tamamen örtüşen bir uçuş gerçekleştiremezler. Bu sebeple ikinci yöntem olarak stratejik çakışma çözme sistemlerinin yanı sıra STCA gibi çakışmaya kısa süre kala çakışmayı tespit etme araçları kullanılmaktadır. Bunlara taktik çakışma tespit aracı adı verilir. Taktik araçlar uçuş planındaki rotaya göre belirlenmiş yörüngeye değil, uçakların anlık pozisyonlarına göre hesaplama yapar. Ne tür bir çakışma aracı kullanılırsa kullanılsın,

önce çakışmanın tespit edilmesi (conflict detection), daha sonra çözülmesi (deconfliction) gerekir.

Konuya ilişkin CLASS (Clear air situation for UAS) projesi kapsamında simülasyon dahil, detaylı bir çalışma yapılmıştır. Çalışma, uçuş planları olmayan ve dolayısıyla yörüngeleri bilinmeyen dron uçuşları ile yapılmış, bu nedenle öncelikle dronlar için bir yumuşatma algoritması (linear regression) yardımıyla 60-90-120 saniyelik yörünge tahminlerinde (trajectory prediction) bulunulmuştur. Ardından çakışma tespit algoritmaları kullanılarak gerçekleşen çakışmalar tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan simülasyonlarda, ATM sistemlerinde kullanılan çakışma tanımının dronlara tam olarak uyarlanamadığı sonucuna varılarak, iki dron arasındaki mesafenin kaybolması olarak tanımlanan çakışma kavramının “çakışma alanı” olarak değiştirilmesine karar verilmiştir. Algoritma, çakışan bölgeyi bularak her iki dronda bir uyarı verilmesini sağlamaktadır. Ancak tahmin edilen yörünge kısa olduğundan, uyarıdan sonra müdahale için 20 saniyeden daha kısa bir süre kalmaktadır. Bu süre uygun bir çözüm bulunması ve uygulanması için yeterli değildir. Sonuç olarak, yörüngesi önceden bilinmeyen dronların kaçınmasını sağlamanın tek yolunun hava aracına entegre bir “algıla ve sakın” sistemi olduğu; dolayısıyla insansız hava araçları arasındaki çakışmaları taktik olarak önlemenin çok zor olduğu ancak, uçuş planı olan İHA’lar arasında yörünge tahminleri daha kolay yapılabileceğinden stratejik bir çakışma tespit aracının kullanılabileceği ifade edilmiştir [64].



Şekil 5.9. Çakışma ve çakışma alanı

İnsansız hava araçları, uçaklar gibi öngörülebilir performans değerlerine sahip değildir. Hızları düşük olduğundan çok daha iyi manevra yapabilir, aniden hızlanıp yavaşlayabilir, kolayca yükselip alçalabilirler. Bu nedenle öngörülebilirlikleri (predictability) çok daha zordur. Örneğin, Eurocontrol, uçak performans modeli BADA (Base of aircraft data) ile hava araçlarının gerçek performans değerlerine ait bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veri tabanı birçok çalışmada, simülasyonlarda, hatta gerçek ATM sistemlerinde rota tahmini ve performans hesaplamaları için kullanılabilmektedir. Oysaki insansız hava araçları ile ilgili böyle bir veri tabanı henüz oluşmuş değildir. Öngörülebilirliklerinin zor olması ve performansları ile ilgili bir veri tabanının henüz oluşmamış olması nedeniyle yörünge tahminleri ve çakışma tespitleri tahminleri için kullanılan yöntemler etkin bir şekilde kullanılamayabilir. Ancak CLASS projesi kapsamında çakışma ile ilgili yapılan çalışmalardan elde edilen sonuç itibarı ile kentsel hava sahasını kullanacak İHA'ların bir uçuş planına ve rotaya sahip olması, çakışmaları daha doğru ve daha erken tahmin edebilmeyi mümkün kılacaktır. Ayrıca büyük dronların, IFR koşullarda uçuş gerçekleştiren VFR trafıklere benzer davranışlar sergilemesi beklenmektedir [59]. Çünkü manevra kabiliyetleri küçük dronlar kadar kolay olmayacaktır. Bu da çarpışmaları durumunda küçüklere göre daha büyük tehlike oluşturabilecek boyutlardaki İHA'ların çakışmalarını erken tahmin etmede avantaj sağlayacak, müdahale için daha uzun bir süre bırakacaktır. Özetle, yörünge tahmini, çakışma tespiti ve çakışma çözümü yapan sistemlerin kullanılması kentsel hava sahası emniyetini artıracaktır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yaşam kalitemizi doğrudan etkileyen kent içi trafik yoğunluğu, metropollerin ortak sorunudur. Tıpkı merkezi is alanlarında (MİA) yaşanan trafik sıkışıklıklarına çözüm olarak, raylı sistemler vasıtasıyla trafiğin bir kısmının yer altına alınması gibi; gelecekte yeni bir çözüm olarak, trafiğin bir kısmının da kentsel hava sahasına taşınması beklenmektedir. Kargo ve yolcu taşımacılığında, sağlık ve medikalde, güvenlik amaçlı gözetlemede, trafik akışını kontrol etmede, arama kurtarma faaliyetlerinde, doğal afetlerin ve yangınların izlenmesinde ve daha birçok alanda etkin olarak kullanılacak dronların ve kişisel hava araçlarının oluşturacağı kentsel hava hareketliliği, hem kent içi trafik sorunlarını hem de buna paralel olarak gelişen hava kirliliği, gürültü kirliliği gibi çevresel sorunları azaltan; hızlı ve sürdürülebilir bir seçenek olarak görülmektedir.

Yeni teknolojiler, beraberinde yeni ihtiyaçları da getirir. Bu açıdan insansız hava sistemleri trafik yönetimi (UTM), mevcut hava trafik yönetiminden (ATM) farklı olacaktır. Ancak yeni teknolojilerle birlikte mevcut ATM teknolojileri ve hava sahası tasarım prosedürleri referans alınarak UTM ihtiyaçları için çözümler sunulabilir. Mümkün olduğunca uzun yıllar deneyimlenmiş ve doğrulukları test edilmiş kuralların ve teknolojilerin kullanımı, insansız hava araçları trafik yönetimine ve bu alanda kullanılacak yeni sistemlere olan güveni de artıracaktır.

Bu çalışmada, insansız hava araçlarının ve ileride hayatımıza girmesi beklenen kişisel hava araçlarının yerleşim yerleri üzerinde oluşturacağı kentsel hava hareketliliği için mevcut hava trafiği ile uyumlu bir konsept hava sahası modeli sunulularak bu hava sahasının emniyeti için gerekli olan hizmetler ve sistemler, genel havacılık kuralları ve mevcut ATM sistemleri ışığında değerlendirilmiş ve kavramsal bir model oluşturulmuştur (Bkz. EK-1).

Konsept hava sahası tasarımında üst limitin, ICAO'ya göre en düşük VFR irtifası olan 500 fit şeklinde belirlenmesi kentsel hava sahası ile mevcut hava trafiğinin gerçekleştiği hava sahası arasında doğal bir sınır oluştursa da özel izinler, emniyet ve ambulans gibi çeşitli görevlerle 500 fit altında uçuş gerçekleştiren VFR trafikler ile İHA'lar arasında ayırmaların nasıl gerçekleştirileceği konusunda daha detaylı bir çalışma gerekir.

İlk aşamada kentsel hava sahası, 500 fit ve altı olarak belirlense de kentsel hava trafiğinin artması ile birlikte ileriki aşamalarda üst limitin arttırılması kaçınılmaz görünmektedir. Üst limit olarak en düşük VFR irtifası belirlenmesine rağmen mevcut hava trafiğinden tamamen arındırılmayan kentsel hava hareketliliği için gelecekte üst limitin 1000, 2000 fitlere çıkarılması ATM hava sahası ile çakışmaları artıracığından UTM'in ATM'e entegrasyonu farklı yaklaşımlarla ele alınmalıdır.

Daha emniyetli ve etkin bir kentsel hava sahası için gerekli olan hizmetlerden çakışma çözümü için kullanılan yörüngenin tahmini, çakışma tespiti ve sunulacak çözümü için farklı makine öğrenmesi yöntemleri ve farklı algoritmalar kullanılarak sonuçlar karşılaştırılabilir. Yörünge tahmininde doğrusal regresyon yerine kalman filtresi, çakışma tespitinde ve çözümlerinde konvolüsyonel veya tekrarlayan sinir ağları gibi derin öğrenme yöntemleri kullanılarak farklı çalışmalar yapılabilir.

Otonom, yarı otonom ve uzaktan pilotlu gibi birçok türü bulunan kentsel hava sahası araçlarının kontrolü, yüksek yüzeyde bir veri iletimi gerektireceğinden ve söz konusu hava sahası yerleşim yerleri üzerinde olacağından, siber saldırılara karşı yüksek düzeyde güvenlik önlemlerinin alınması da bir başka önemli husustur. Örneğin komuta-kontrol veri bağlantısında yaşanacak bir sorun hava aracının kontrolden çıkmasına neden olabilirken; ADS-B yayınlarının spoofing saldırılarına açık olması, yalnızca konum ve tanımlama sorunlarını değil, algı ve sakın sistemleri ile ilgili sorunları da beraberinde getirebilir.

Bu tez çalışması ile insansız hava araçlarının havacılıkta açmış olduğu yeni ve çok geniş alanın bir parçası olan kentsel hava hareketliliğine ilişkin bazı ihtiyaçlara ATM perspektifinden çözüm sunulmaya çalışılmıştır. UTM ile ilgili temel bir çalışma olup tez kapsamında işlenen hizmetlerin hayata geçirilebilmesi durumunda Avrupa'nın U-space U3 hedeflerini karşılayabilecek düzeyde bir hava sahası oluşturulabilir. Çalışmalara, bahse konu araçlar hayatımıza girmeden önce başlamak, çağın ve teknolojinin gerisinde kalmamak adına büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

1. Kahveci, M., Can, N. (2017). İnsansız Hava Araçları: Tarihçesi, Tanımı, Dünyada ve Türkiye’deki Yasal Durumu. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 5(4), 2-5.
2. Eurocontrol (Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Teşkilatı) (2017, Şubat). RPAS ATM CONOPS. Brüksel: Eurocontrol, 2-10.
3. Council Regulation (EC). (2004). Laying down the framework for the creation of the single European sky (the framework Regulation). *Official Journal of the European Union*, 549.
4. Council Regulation (EC). (2007). The establishment of a Joint Undertaking to develop the new generation European air traffic management system (SESAR), *Official Journal of the European Union*, 219.
5. SESAR Joint Undertaking. (2009). Annual Report 2007-2008: Today’s Partners for Tomorrows Aviation. *SESAR Joint Undertaking*. Brüksel, 5.
6. European Commission. (2016). *SESAR 2020 RPAS Exploratory Research Call (H2020-SESAR-2016-1)*. European Commission Horizon 2020, Brüksel, 1.
7. Warsaw Declaration. (2016). *Drones as a leverage for jobs and new business opportunities*, High Level Conference, Warsaw, 1-3.
8. SESAR Joint Undertaking. (2020). *U-space research innovation results document: U-space Supporting Safe and Secure Drone Operations in Europe*. Brüksel: SESAR Joint Undertaking, 7-32.
9. SESAR Joint Undertaking. (2017). *U-Space Blueprint*. Brüksel: SESAR Joint Undertaking, 2-5.
10. İnternet: Ufuk Avrupa TÜBİTAK (2016). SESAR 2020 programı Uzaktan Pilotlu Hava Aracı Sistemleri Araştırmaları Çağrısı. Web: <https://ufukavrupa.org.tr/tr/node/377> 1 Şubat 2022’de alınmıştır.
11. İnternet: European Commission (2017). CORUS (Concept of Operations for European UTM Systems): Objective. Web: <https://cordis.europa.eu/project/id/763551> 3 Şubat 2022’de alınmıştır.
12. İnternet: UNIFLY (2018). SAFIR (Safe and Flexible Integration of Initial U-space Services in a Real Environment). Web: <https://www.unifly.aero/news/safir> 3 Şubat 2022’de alınmıştır.
13. İnternet: SESAR Joint Undertaking. (2021). U-Space 2021 Awards: Supporting Document. Web: https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/awards2021/Safir_3fold.pdf 3 Şubat 2022’de alınmıştır.
14. İnternet: DREAMS (2017). Drones European AIM Study Project (DREAMS). Web: <https://www.u-spacedreams.eu/38-2/> 5 Şubat 2022’de alınmıştır.

15. İnternet: SESAR Joint Undertaking. (2017). Drones European AIM Study Project (DREAMS): Drones need essential aero nautical information to fly safely Web: <https://www.sesarju.eu/projects/dreams> 3 Şubat 2022'de alınmıştır.
16. İnternet: European Commission (2018). Proving Operations of Drones with Initial UTM Management (PODIUM): Objective. Web: <https://cordis.europa.eu/project/id/783230> 12 Şubat 2022'de alınmıştır.
17. İnternet: SESAR Joint Undertaking. (2018). Proving Operations of Drones with Initial UTM Management (PODIUM): Putting U-space services to the test in operational scenarios Web: <https://www.sesarju.eu/projects/dreams> 12 Şubat 2022'de alınmıştır.
18. İnternet: European Commission (2020). Integrated Common Altitude Reference System For U-Space (ICARUS): Web: <https://cordis.europa.eu/project/id/894593> 14 Şubat 2022'de alınmıştır.
19. İnternet: ICARUS (2020). Integrated Common Altitude Reference System For U-Space. Web: <https://www.u-spaceicarus.eu/> 14 Şubat 2022'de alınmıştır.
20. Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı (EASA) (2021). *Development of acceptable means of compliance and guidance material to support the U-space regulation (NPA 2021-14)*. Köln, Almanya: EASA.
21. İnternet: Global UTM Association (2021, April). U-Space Regulation officially adopted by the European Commission. Web: <https://gutma.org/blog/2021/04/22/u-space-regulation-officially-adopted-by-the-european-commission/> 15 Şubat 2022'de alınmıştır.
22. Yiğit, E., Yazar, İ., Karakoç, T. H. (2018). İnsansız Hava Araçları (İHA)'nın Kapsamlı Sınıflandırması Ve Gelecek Perspektifi. *Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 10-19.
23. Savaş, T., Karaderili, M., Usanmaz, Ö. (2018). İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Ayrılmamış Hava Sahasına Entegrasyonu ile İlgili Mevzuatların Değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 59 (691), 1-14.
24. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (2019). *İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı (SHT-İHA)*. Ankara: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, 1-20.
25. İnternet: Türkiye'deki kayıtlı drone sayısı 55 bini aştı. *Yenişafak* (28 Kasım 2021). Web: <https://www.yenisafak.com/gundem/turkiyedeki-kayitli-drone-sayisi-55-bini-asti-3723429> 7 Mart 2022'de alınmıştır.
26. İnternet: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (2019). Hakkımızda. Web: <https://iha.shgm.gov.tr/public/hakkimizda> 24 Şubat 2022'de alınmıştır.
27. Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO) (2005, Temmuz). *Annex 2 Rules of the Air (10. Baskı)*. Montreal, Kanada: ICAO, 5-15.
28. Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO) (2016). *Doc 4444 Procedures for Air Navigation Services - Air Traffic Management (16. Baskı)*. Montreal, Kanada: ICAO, 6-72.

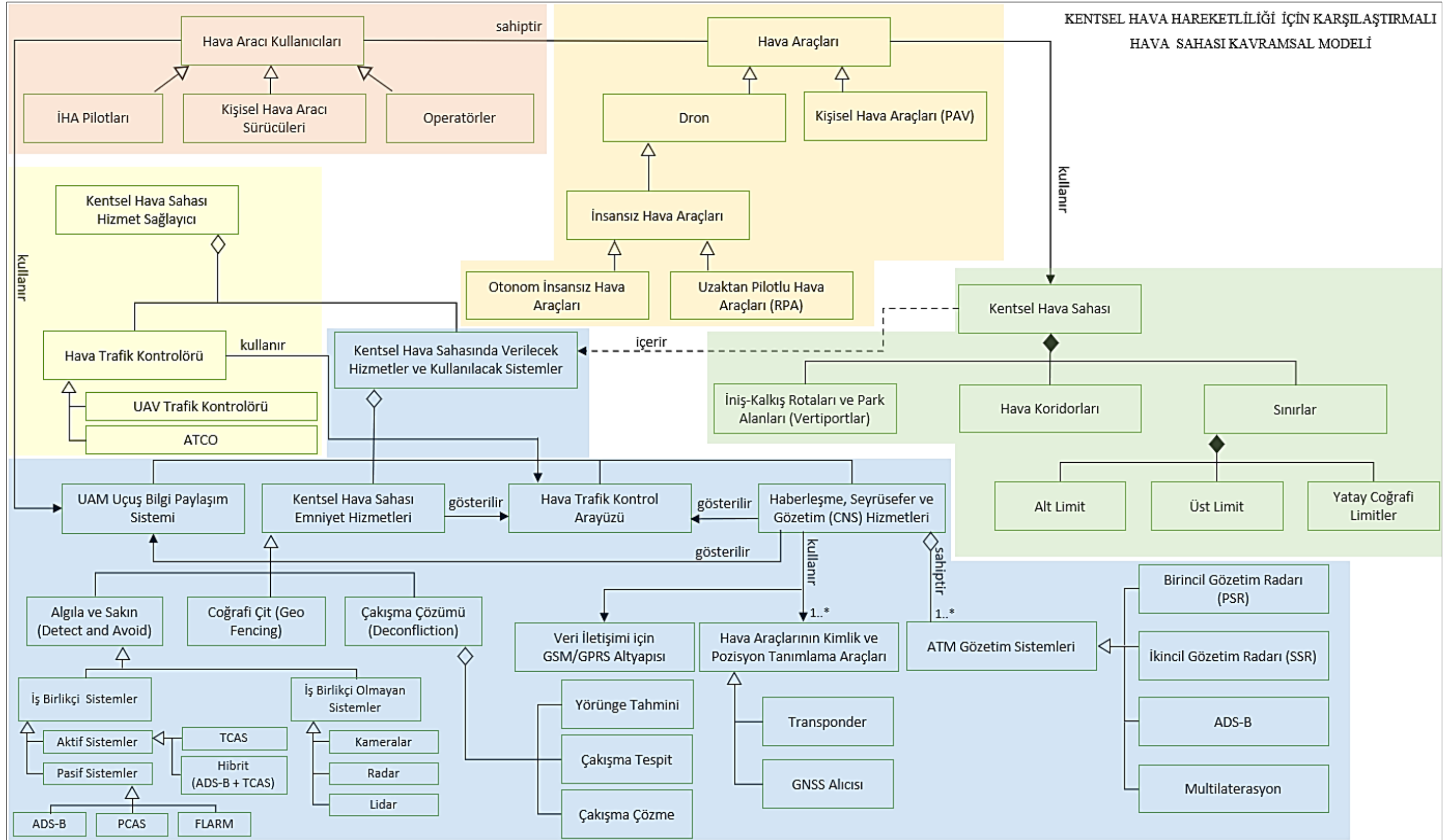
29. Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO) (2016, Temmuz). *Annex 11 Air Traffic Services (14. Baskı)*. Montreal, Kanada: ICAO, 34.
30. Eurocontrol (Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Teşkilatı) (2018, Kasım). *UAS ATM Integration Operational Concept*. Brüksel: Eurocontrol, Directorate of European Civil-Military Aviation (DECMA), 5-45.
31. DHMİ Genel Müdürlüğü (2022). *Havacılık Bilgi Yayını (AIP)*. Ankara: DHMİ Genel Müdürlüğü, Seyrüsefer Dairesi Başkanlığı.
32. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (2019). *Uçuş İzinlerine İlişkin El Kitabı*. Ankara: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü.
33. SESAR Joint Undertaking. (2019, Eylül). *CORUS (Concept of Operations for European UTM Systems): U-space Concept of Operations Enhanced Overview*. Brüksel: Eurocontrol, 4-13.
34. Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO) (2016, Temmuz). *Doc 8168 PANS-OPS (Procedures For Air Navigation Services Aircraft Operations)*. Montreal, Kanada: ICAO.
35. A. Bauranov and J. Rakas, (2021). Designing airspace for urban air mobility: A review of concepts and approaches. *Progress in Aerospace Sciences*, 125, 100726, 2021.
36. Arcak, M. (2010). *Hava Trafik Hizmetleri Ders Notları (ICAO Annex 11)*. Ankara: DHMİ Genel Müdürlüğü, Seyrüsefer Dairesi Başkanlığı, 34-36.
37. Bosson, C.S., Lauderdale, T.A. (2018). *Simulation Evaluations of an Autonomous Urban Air Mobility Network Management and Separation Service*. 2018 Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, Atlanta, ABD 6-10.
38. Neto, E. C. P., Baum, D. M., Almeida, J. R., Camargo, J. B., Cugnasca, P. S. (2019) Trajectory-Based Urban Air Mobility (UAM) Operations Simulator (TUS). *Arxiv Computer Science*, 4(1), 5-26.
39. Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO) (2008). *Doc 9613 Performans Based Navigation (PBN)*. Montreal, Kanada: ICAO.
40. İnternet: Deutsche Flugsicherung (DFS) (2022). Digital platform for unmanned aviation launched. Web: https://www.dfs.de/dfs_homepage/en/Press/Press%20releases/2022/19.01.2022.-%20Digital%20platform%20for%20unmanned%20aviation%20launched/ 1 Mart 2022'de alınmıştır.
41. İnternet: Digitale Plattform Unbemannte Luftfahrt (dipul) (2022). Web: <https://www.dipul.de/homepage/de/> 1 Mart 2022'de alınmıştır.
42. İnternet: SESAR Joint Undertaking. (2019). Information Management Portal to Enable the Integration of Unmanned Systems (IMPETUS). Web: <https://www.sesarju.eu/projects/impetus> 1 Mart 2022'de alınmıştır.

43. İnternet: DHMİ Genel Müdürlüğü. Elektronik Dairesi Başkanlığı. Web: <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/ElektronikHizmetleri/RadarSistemleriSbMd/Sistemler.aspx> 20 Şubat 2022’de alınmıştır.
44. Wang, J., Zou, Y., Ding, J. (2020, August). ADS-B spoofing attack detection method based on LSTM. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 160(2020), 1.
45. Akçam, N., Paşaoğlu, C. (2011). Uçak Transponder Sinyalleriyle Uçak Pozisyonunun Hiperbolik Konumlandırılması. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 4(2), 36.
46. Neven, W.H.L., Quilter, T.J., Weedon, R., Hogendoorn, R.A. (2005, August). Wide Area Multilateration Study Report on EATMP TRS 131/04. *National Aerospace Laboratory (NLR)*. Hollanda, 32-40.
47. Soyertem, H. (2008). *ATS Gözetim Sistemleri ve Hizmetleri*. Ankara: DHMİ Genel Müdürlüğü, Seyrüsefer Dairesi Başkanlığı, 9.
48. İnternet: Boğaziçi Üniversitesi Jeodezi Anabilim Dalı. Global Konum Belirleme Sistemi. Web: https://jeodezi.boun.edu.tr/sites/jeodezi.boun.edu.tr/files/dosyalar/files/GPS_BUKRDAE_GED.pdf 23 Şubat 2022’de alınmıştır.
49. Sathyamoorthy, D., Shafii, S., Amin, Z.F.M., Jusoh, A.; Ali, S.Z. (2015). Evaluation of the accuracy of global positioning system (GPS) speed measurement via GPS simulation. *Science & Technology Research Institute for Defence (STRIDE), Ministry of Defence*, 8, 121–128.
50. İnternet: Pilot Institute (2021, July). How Accurate Are Drone Altimeters? Web: <https://pilotinstitute.com/drone-altimeters/> 6 Mart 2022’de alınmıştır.
51. İnternet: Geospatial World (2019, November). What are various GNSS systems? Web: <https://www.geospatialworld.net/blogs/what-are-the-various-gnss-systems/> 8 Mart 2022’de alınmıştır.
52. İnternet: TÜBİTAK, BİLGEM (2016). KUŞRAD-Kuş Tespit Radarı. Web: <https://bilgem.tubitak.gov.tr/tr/icerik/kusrad-kus-tespit-radari> 28 Şubat 2022’de alınmıştır.
53. İnternet: Sünnetçi, İ. (2021). Defence Turkey: Düşük RKA’lı Hava Hedefi Tespitinde KUŞRAD’dan GÖZCÜ’ye Giden Süreç. Web: <https://www.defenceturkey.com/tr/icerik/tubitak-bilgem-radar-teknolojileri-4500> 10 Şubat 2022’de alınmıştır.
54. Paşaoğlu, C. (2010). *Uçak Transponder Sinyalleriyle Uçak Pozisyonunun Hiperbolik Konumlandırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 26.
55. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (2005). *Hava Seyrüsefer Hizmet Sağlayıcıları Tarafından Risk Değerlendirme ve Azaltma Yöntemlerinin Kullanılmasına Dair Talimat (SHT 65-04)*. Ankara: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, 1.

56. EUROCAE (2017). Focus Area UTM - Report: Identification and Geo-Fencing for Open and Specific UAV Categories. *Working Group 105 (Unmanned Aircraft Systems, UAS)*. Paris, 4-47.
57. SESAR Joint Undertaking. (2018). *European ATM Master Plan - Roadmap for the Safe Integration of Drones into All Classes of Airspace*. Brüksel: SESAR JU, 8-29.
58. İnternet: Seyrüseferim: TCAS Nedir? (2022). Web: <https://seyruseferim.com/tcas-nedir/> 12 Mart 2022'de alınmıştır.
59. Baran, M. (2011). *Hava Trafik Hizmetleri Ders Notları (ICAO Annex 2)*. Ankara: DHMİ Genel Müdürlüğü, Seyrüsefer Dairesi Başkanlığı, 10-11.
60. RTCA (Radio Technical Commission for Aeronautics) (2013). *DO-300, Minimum Operational Performance Standards (MOPS) for Traffic Alert and Collision Avoidance System II (TCAS II) Hybrid Surveillance*. Vaşington: RTCA.
61. EUROCAE (2015). *ED-221A - Minimum Operational Performance Standards (MOPS) for Traffic Alert and Collision Avoidance System II (TCAS II) Hybrid Surveillance*. Paris: EUROCAE.
62. İnternet: UST (Unmanned System Technology). Sense and Avoid Systems Overview. Web: <https://www.unmannedsystemstechnology.com/expo/sense-avoid-systems/> 12 Mart 2022'de alınmıştır.
63. İnternet: EMBENTION (2021). Detect&Avoid-DAA: The power of combining multiple sensors. Web: <https://www.embention.com/news/detect-avoid/> 12 Mart 2022'de alınmıştır.
64. Reinquin, P., Dallard, H. (2018, Aralık). CLASS (Clear Air Situation For UAS): Tactical Deconfliction Report. *CORDIS, EU Research Results*. Brüksel, 8-25.

EKLER

EK-1. Kentsel Hava Hareketliliği için Karşılaştırmalı Hava Sahası Kavramsal Modeli





GAZİ GELECEKTİR...