



Kentsel Hava Sahasında İnsansız Hava Aracı Sistemleri Trafik Yönetimi için Verilmesi Gereken Hizmetler ve Kullanılabilecek Bazı Teknolojiler

Abdullah Yılmaz^{*1}, Hayri Ulvi²

¹Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trafik Planlaması ve Uygulaması ABD, Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler

HTY,
Hava Trafik Yönetimi,
İHA,
Kentsel Hava Hareketliliği,
İTY.

Öz

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 başlanmıştır. Yaşanan gelişmeler başta ulaşım ve havacılık sektörü olmak üzere diğer birçok sektörün de ilgisini çekmiştir. Dronlar, uzaktan pilotlu hava aracı sistemleri (UPHAS), otonom hava araçları, henüz konsept teknolojiler olarak karşımıza çıkan sürücülü ve sürücüsüz kişisel hava araçları (KHA) gelecekte günlük yaşantımızın bir parçası olarak insanların yaşadığı yerleşim yerleri ve civarında ciddi bir kentsel hava hareketliliği (KHH) oluşturacaktır. Kentsel hava sahasında gerçekleşecek olan bu hareketliliğin, mevcut hava trafik yönetimi (HTY) ile uyumlu bir şekilde yönetilmesi büyük önem arz etmektedir. İnsansız hava aracı sistemleri trafik yönetiminin (İTY) ihtiyaçları mevcut hava trafik yönetiminden farklıdır. Ancak mevcut teknolojilerle beraber yeni teknolojiler kullanılarak insansız hava araçları trafik yönetimi için çözümler sunulabilir. Bu çalışmada, kentsel hava sahasını kullanacak insansız hava araçlarının emniyetli ve düzenli trafik yönetimi için verilmesi gereken hizmetler ve kullanılabilecek bazı teknolojiler önerilerek kentsel hava hareketliliği sistem altyapısı için temel bir model oluşturulmaya çalışılmıştır.

Some Services to Be Provided and Technologies to Be Used for UAS Traffic Management (UTM) in Urban Airspace

Keywords

ATM,
Air Traffic Management,
UAV,
Urban Air Mobility,
UTM.

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 aircraft systems traffic management (UTM) needs are different from ATM. However, solutions for UTM can be offered by using new technologies together with existing technologies. In this study, it has been tried to create a basic model for urban air mobility system infrastructure by suggesting some services that should be provided and technologies that can be used for the safe and regular traffic management of unmanned aerial vehicles that will use the urban airspace.

* Sorumlu Yazar (*Corresponding Author)

^{*}(dumanharun63@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-9477-8248
(hayriulvi@gazi.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-2988-6215

Kaynak Göster (APA) / Cite this;

Yılmaz, A. & Ulvi, H. (2022). Kentsel Hava Sahasında İnsansız Hava Aracı Sistemleri Trafik Yönetimi için Verilmesi Gereken Hizmetler ve Kullanılabilecek Bazı Teknolojiler. Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 4(1), 08-18

1. GİRİŞ

Gün geçtikçe adını daha sık duymaya başladığımız insansız hava araçları (İHA) ve henüz konsept teknolojiler olarak karşımıza çıkan kişisel hava araçları (KHA) ile kent içi ulaşım sorunlarının büyük ölçüde çözülebileceği ve seyahat sürelerinin çok daha kısılacacağı düşünülmektedir. Sürdürülebilirlik açısından düşündüğümüzde, gelecekte kent içi ulaşımında mevcut sistemlerle birlikte yeni nesil teknolojilerin kullanılması kaçınılmaz görünmektedir.

Günümüzde “dron” ve “insansız hava aracı” isimleri çoğu zaman birbirinin yerine kullanılmaktadır. Ancak 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 (Kahveci, 2017). 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.

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

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 kullanılabilirdiği gibi eğlence ve hobi amaçlı olarak da kullanılmaktadır. Bu nedenle insanların yaşadığı yerleşim yerleri ve civarında, düşük seviyede gerçekleşecek hava trafiği, kentsel hava ulaşımı yerine kentsel hava hareketliliği olarak adlandırılmıştır.

Türkiye’nin askeri İHA alanında gerçekleştirdiği atılımlar ülkemizdeki İHA sektörü açısından çok büyük öneme sahiptir. 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 artırılmış, 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 (SHGM, 2019), yeni bir sektörün doğuşuyla birlikte ortaya çıkan mevzuat ihtiyacını gidermenin yanı sıra İHA’ların kayıt altına alınmasını da sağlamaya çalışmaktadır.

Mevzuatı belirlemek, kullanılacak İHA’ları kayıt altına almak ve bir hava sahasını kullanım için belirlemek, insanlı/insansız hava araçlarının yerleşim yerleri üzerinde emniyetli şekilde uçurulabilmesi için yeterli değildir. Emniyetsiz bir hava sahası yalnızca uçuşu gerçekleştirenler ve hava araçları için değil; o yerleşim yerinin sakinleri açısından da büyük bir risk demektir.

Emniyetli bir kentsel hava hareketliliği sağlamak için ihtiyaç duyulan alt yapının da adım adım hazır hale getirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, kentsel hava sahasını kullanacak insansız hava araçlarının emniyetli ve düzenli trafik yönetimi için verilmesi gereken hizmetler ve kullanılacak bazı teknolojiler önererek kentsel hava hareketliliği sistem altyapısı için temel bir model oluşturmaktır.

2. KENTSEL HAVA SAHASINDA VERİLMESİ GEREKEN HİZMETLER VE KULLANILACAK SİSTEMLER

2.1 Kentsel Hava Hareketliliği (UAM) Uçuş Bilgi Paylaşım Sistemi

Mevcut hava trafik yönetimi için bir uçuştan önce, uçuş emniyetini etkileyebilecek önemli durumlarla ilgili yayımlanmış güncel bildirimler (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.

Bu açıdan, Kentsel Hava Hareketliliği için de uçuşlara ait planların sunulabileceği, plan kabul işlemlerinin yapılabileceği ve hava seyrüsefer yardımcı cihazları, uçuş rotaları, terminal sahaları, tahditli sahalarla ait birçok hava sahası bilgisi ile notamlı sahalarla ilişkin bilgilere erişilebilmeyi sağlayacak bir uçuş bilgi paylaşım sistemi ihtiyaç vardır.

Ocak 2022’de, Almanya Hava Seyrüsefer Hizmet Sağlayıcısı olan DFS (Deutsche Flugsicherung GmbH), insansız hava araçları için bir platform geliştirdiğini ilan etti. 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 (DFS, 2022).

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 olacak. Oluşturulan plan, kontrolör arayüzüne de servis edilecek.

Tek Avrupa Hava Sahası ATM Araştırmaları Ortak Girişimi (Single European Sky ATM Research Joint Undertaking [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 kullanılacağına ilişkin çalışmalar yapılmıştır. Sonuç olarak, bilgi paylaşım sistemi için, kullanıcı taleplerini karşılamak amacıyla büyüyen, büyüdükçe karmaşıklaşan 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 (SESAR IMPETUS, 2019).

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.

2.2 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.

Hava trafik yönetiminde benzer uçuş safhaları kentsel hava sahasındaki uçuşlar (VLL [Very Low Level]) için de olacaktır. Kentsel hava hareketliliğinde 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.

Sivil Havacılık Talimatı'na göre, İHA0 ve İHA1 sınıfındaki İHA'lar sadece görerek meteorolojik koşulların sağlandığı durumlarda, gündeğümü-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 (SHGM, 2019). Özetle, ilk aşamada kentsel hava

sahasında gerçekleştirilecek uçuşların, limitleri bu sahaya özgü olarak değişse de Görerek Uçuş Kurallarına (VFR) uçuş gerçekleşeceğinden, düşük görüşte veya gece uçuşa izin verilmeyecektir. Dolayısıyla ATM'deki gibi Aletli Uçuş Kurallarına (IFR) göre yapılan uçuşlara hizmet verilmediğinden, uçuşları kontrol yükümlüğü olmayacak, ayırma zorunluluğu olmayacak; yalnızca tavsiye hizmeti amacıyla kontrolörlük hizmeti verilecektir.

Hava araçlarının bir kısmının tamamen otonom, diğerlerinin de pilotlu veya uzaktan pilotlu olduğu UAM'de, hava trafik hizmeti de bir anlamda yarı otonom olacak, tüm trafıklere değil, yalnızca kurallara uygun uçuş gerçekleştirilmeyen (paylaştığı rotanın dışına çıkan, kendisi için belirlenmiş coğrafi çit (geo-fencing) sahasının dışına çıkan, girmemesi gereken bir coğrafi çit sahasına giren veya olması gerektiği seviyede uçmayan gibi...) trafıklere hizmet verilecektir.

Yalnızca gözetim ve uçuş planı verileri değil, uçuşa yardımcı coğrafi uçuş bölgelerine ait harita bilgileri, hava durumu verileri, çakışmalara ait anlık veriler (deconfliction) gibi diğer önemli veriler de hem kontrolör hem de hava aracı operatör arayüzü ile paylaşılmalıdır.

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

Hava trafik hizmetleri, hava sahasının gözetilmesi, uçak pozisyonlarının doğru bir şekilde belirlenmesi ve bu uçaklarla sağlıklı bir haberleşmenin sağlanması ile mümkündür. Haberleşme, seyrüsefer ve gözetim hizmetleri olarak adlandırılan bu hizmet mevcut hava sahası yönetiminde olduğu gibi kentsel hava sahası yönetiminde de verilmesi gereken hizmetlerden biridir.

Günümüzde hava trafik kontrol hizmetinin verilmesinde iniş-kalkış safhaları hariç genellikle gözetim (surveillance) hizmetlerinden yararlanılmaktadır (Büyük havalimanlarında iniş-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.



Şekil 1. Hava trafik kontrol hizmetinin safhaları

2.3.1 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 (DHMI,2022). Hava trafik hizmetlerinde kullanılan en yaygın gözetim sistemlerinden bazıları aşağıda belirtilmiş olup özellikleri hakkında kısaca bilgi verilmiştir.

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 2. Birincil gözetim radarı (Primary Surveillance Radar - PSR)

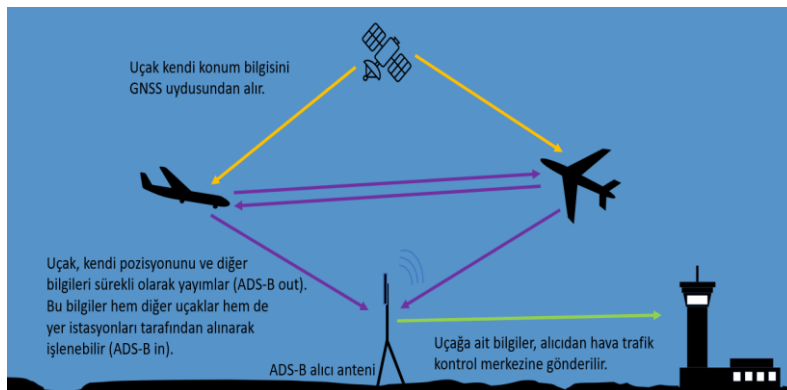
İkincil gözetim radarı (secondary surveillance radar-SSR): Bağımsız ama iş birlikçi olan (independent/cooperative) ikincil gözetim radarı vasıtasıyla bilgi alınması, hava aracında transponder cihazının bulunmasını gerektirir. Sistem sorgulama ve cevap mantığı ile çalışır. Radar tarafından gönderilen 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 3. İkincil gözetim radarı (Secondary Surveillance Radar - SSR)

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 (ICAO 4444, 2016). ADS-B, hava aracında transponder gerektiren, iş birlikçi (cooperative) bir sistemdir. İş birlikçi olduğu için hava aracından ihtiyaç duyulan tüm bilgiler kolayca alınabilmektedir. Pozisyon bilgisi hedef tarafından iletiğinden aynı zamanda bağımlı (dependent) bir sistemdir ve uydu tabanlı konum belirleme sisteminin (GNSS) devre dışı kalması durumunda uçağa ait bazı bilgiler paylaşılacaktır. 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) (Wang vd., 2020).



Şekil 4. Otomatik bağımlı gözetim yayını (ADS-B)

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 birliği 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 (Akçam & Paşaoğlu, 2011). Bununla birlikte SSR gibi bir sorgulamaya ihtiyaç duymaz.

2.3.2 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 birliği olmayan) veya cooperative (iş birliği) biçimde belirlenebilmektedir. Bağımsız ve iş birliği 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.

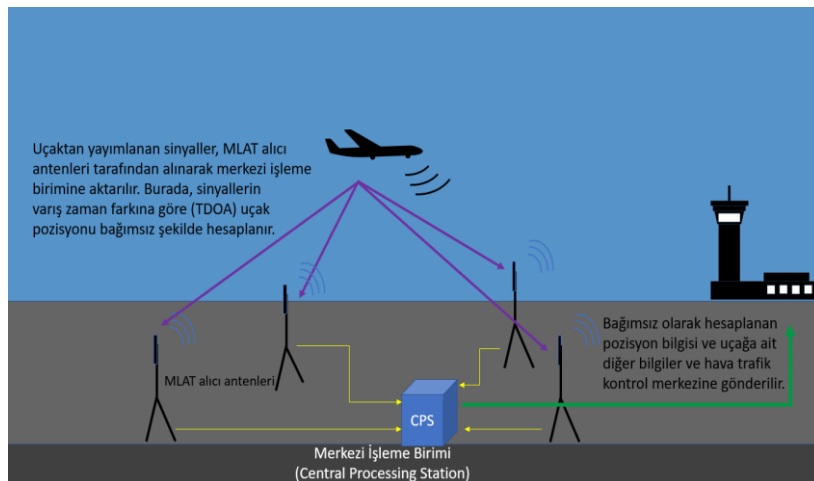
Hem SSR hem MLAT hem de ADS-B gözetim teknolojilerinin hedef kimlik tanımlaması için hava aracında transponder bulunması gerekir. Günümüzde bilinen dronların çoğunda bu aviyonik yer almadığından, zorunlu tutulması durumunda, uçuşa elverişli olamayacaklardır. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'nün

yayınlanmış olduğu İnsansız Hava Aracı Talimatına göre azami kalkış ağırlıkları referans alınarak İHA'lar 4 sınıfa ayrılır (SHGM, 2019):

- 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 algıla ve sakın sistemleriyle donatılmış olması zorunlu tutulmuştur (SHGM, 2019). 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 (BOUN, 2022). 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 (Sathyamoorthy vd., 2020). Ayrıca alıcının bulunduğu irtifa bilgisi de yine alınan sinyallerin üçgenleme (trilateration) veya trilaterasyon yöntemiyle hesaplanması sonucu elde edilebilir (Pilot Institute, 2021).



Şekil 5. Multilateration (MLAT)

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.

2.3.3 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 özelliklerinden de anlaşılacağı 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'nin 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 tespitinin 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 veya yalnızca GPS alıcısı bulunan ve GSM/GPRS alt yapısını kullanarak veri paylaşım 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 yapılabileceği gibi diğer kategorilerdeki İHA'lara ait veriler de aynı yöntemle alınabilir.

Günümüzde ATM'de kullanılan bir PSR radarın doğrudan kentsel hava sahası için kullanılması, özellikleri itibarıyla 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 (DHMI) 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 itibarıyla (TÜBİTAK, 2016) 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 (Defence Turkey, 2021). Kuş Radarı, hedef tespit ve takip algoritmaları dronlara uygun hale getirilerek ve bazı filtreleme ve arayüz değişiklikleri yapılarak Dron Tespit Radarına (DTR) dönüştürülebilir. 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 çözünürlüğü yatayda 20 metre, dikey de 6 metredir (20 fit) (Defence Turkey, 2021). Bu değerler, kentsel hava sahası ve hava koridorları için Bosson ve Lauderdale'nin, geliştirdikleri metodolojiyi simüle etmek için azaltılmış ayırma değeri olarak kullandıkları yatayda 0,1 mili, dikeyde 100 fiti karşılayabilecek niteliktedir (Bosson & Lauderdale, 2018).

Dron Tespit Radarı ile birlikte ikinci gözetim sistemi olarak yine bir radar sistemi olan SSR'nin kullanılması kapsama alanı genişliği açısından fayda getirirse de (SSR

menzili genellikle 200-250 mil arasındadır) kentsel hava sahası için ihtiyacımız olan bu değildir. SSR'a göre kapsamı 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 (Paşaoğlu,2010). 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 transponderi kapalı tüm hava araçları ise DTR ile tespit edilerek mesafe ve irtifa bilgileri hesaplanacaktır. İki sistemden ve GSM'den alınan bilgiler için veri kaynaştırması 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 kullanılabilir.

2.4 Kentsel Hava Sahası Emniyet Hizmetleri

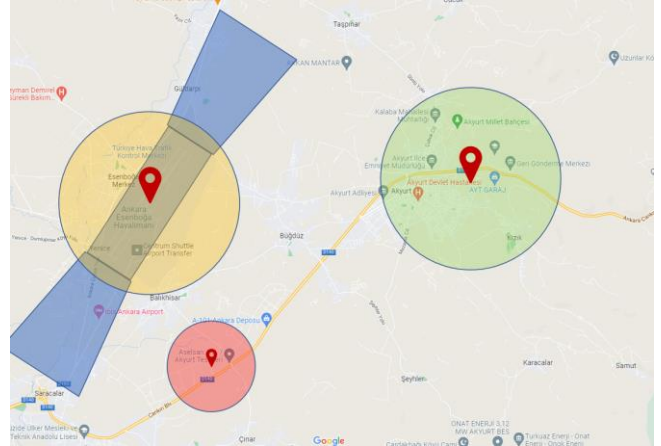
Hava trafik yönetimi (ATM), tüm operasyon safhaları boyunca uçakların emniyetli ve etkin olarak hareket edebilmeleri için gerekli, hava trafik hizmetleri, hava sahası yönetimi ve hava trafik akış idaresi dâhil yer temelli ve havadaki fonksiyonların toplamını ifade eder (SHGM SHT65-04, 2005). Hava trafik yönetimi içerisinde verilen hizmetlerin öncelikli amacı emniyeti sağlamaktır. Genel havacılığın, uzun yıllara dayanan bir deneyim ve yaşanan emniyet olaylarından çıkarılan derslerle birlikte uçuşa elverişliliği sağlayan tasarım ve üretim gibi kalite testleri, kokpit otomasyonu, ATC sistemleri ve emniyet ağları sayesinde kabul edilebilir derecede emniyetli olduğu düşünülmektedir (Eurocontrol UAS ATM Integration, 2018). 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 gerçekleştirildiği 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.

2.4.1 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 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.

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 çitlerde kapsama alanı daha düşük ancak konum doğruluk oranı daha yüksek olan bluetooth teknolojisi tercih edilebilir.



Şekil 6. Havalimanı ve civarında coğrafi çit uygulamaları

Coğrafi çit uygulamalarının, emniyet riskini azaltmak için kentsel hava sahasında kullanılması hem SESAR hem de Avrupa havacılık endüstrisi standartları geliştirme kuruluşu (EUROCAE) tarafından önerilmiştir (SESAR U-SPACE, 2017; EUROCAE, 2017). Havalimanları, hapishaneler, askeri bölgeler, yüksek gerilim direkleri gibi tehlikeli veya tahditli bölgeler ile notamlı sahalarda için coğrafi çitler çizilerek hava araçlarının o bölgelere girmemeleri veya yaklaşık bilgilendirilmeleri sağlanabilir. Coğrafi çit ile yalnızca girilmemesi gereken sahalarda sınırları değil; bir hava aracı için çıkılmaması gereken bir sahanın da sınırları belirlenebilir (geo-caging). Bu durumda sahanın dışına çıkan hava aracı kullanıcıya, kontrolöre veya ilgili otoritelere uyarı mesajı gider.

Kentsel hava sahasında kullanılacak coğrafi çit uygulamaları, SESAR'a göre gelişimi itibariyle farklı düzeylerde kullanılabilir. İlk olarak 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. İkinci düzeyde, operatör tarafında (uçuş bilgi paylaşım sistemi veya kontrolör arayüzünde) girilmiş olan coğrafi çit bilgilerinin uçuş esnasında değiştirilebilmesi sağlanabilir (tactical geo-fencing). Böylece hava aracına direkt aktarılmaması da operatör tarafında uçuş planının güncellenmesi, uyarı, bildirim gibi eylemler, güncel duruma göre tetiklenir. Son düzeyde ise taktik coğrafi çit hedefine ek olarak yapılan değişikliklerin bir veri bağlantısı yoluyla hava aracına aktarılması ve uçuşun da buna göre güncellenebilmesi sağlanabilir (dynamic geo-fencing) (SESAR U-SPACE, 2017).

2.4.2 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 conflict) önce, talimat vererek uçakların yönlerini, seviyelerini veya hızlarını değiştirir, uçakları yatay veya dikey olarak birbirinden ayırır. Böylece uçaklar seviye ve pozisyon olarak birbirlerine tehlike teşkil etmeyecek şekilde belli kriterler göz önüne alınarak uçurulmuş olurlar (separation). Hava trafik kontrolörlerinin bu hizmeti verdikleri sistemlerde, çakışmalardan 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 (Seyrüseferim, 2020).

Son olarak, ICAO Annex 2-Havacılık Kuralları'na göre yol hakkı kuralları şu şekildedir: "İki hava aracı zıt ya da yaklaşık olarak böyle yönlerden birbirlerine yaklaşırken, aralarında çarpışma riski varsa, her iki hava aracı da uçuş başını sağa çevirmelidir." "İki hava aracı birbirlerinin rotalarını, yaklaşık olarak aynı seviyede kat ediyorsa, diğerini sağında gören hava aracı yol verir." (Baran, 2011). CORUS projesi ile ortaya çıkarılan "Concept of Operations" a göre mevcut yol hakkı kuralları yalnızca VFR trafikler için değil, dronlu VLL uçuşlar için de geçerlidir. Bununla birlikte, görsel görüş hattı (Visual line of sight-VLOS) uçuşlarında, uzaktaki pilot için başka bir uçağın kendi uçağına yaklaşp yaklaşmadığını, her iki uçağın da aynı seviyede olup olmadığını veya birinin diğerini kontrol edip etmediğine karar vermesi zor olabilir (SESAR CORUS, 2019).

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 (SHGM, 2019). İHA'ların kentsel hava sahasına emniyetli bir şekilde uçuş yapmasını sağlayarak diğer hava araçları, kuşlar, binalar ve elektrik direkleri gibi engellerle çarpışmalarını önleyen teknolojilerdir. Bu sistemler, İHA civarındaki çevreyi sürekli olarak gözlemleyerek bir çarpışmanın yakın olup olmadığına karar verir ve çarpışmayı önlemek için yeni bir uçuş güzergâhı oluşturur. İHA-SHT talimatına göre de İHA3 sınıfının TCAS veya ADS-B benzeri algıla ve sakın sistemleriyle donatılmış olması zorunlu tutulmuştur (SHGM, 2019). 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 birliği (cooperative) veya iş birliği olmayan (non-cooperative) olarak ya da aktif veya pasif sistemler şeklinde kategorize edilebilir.



Şekil 7. Algıla ve sakın (DAA) sistemleri

İş birliği (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.

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

İş birliği 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 birliği 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 güzergâhı 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 mânia mesafelerine ilişkin tahminleri daha az doğrudur (UST,2022).
- **Radar Teknolojisi:** Gözetim sistemlerinde olduğu gibi algıla ve sakın sistemlerinde de radar teknolojilerinden sıkça yararlanılmaktadır. Elektromanyetik dalganın hedeflere çarpıp yansıması

ve yansıyan sinyalin radar tarafından tekrar alınarak işlenmesi mantığı ile çalışır. Hedefin pozisyonu ve mesafesi, yönü ve hızı bu şekilde belirlenebilir. 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 teknolojisidir. 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 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 (EMBENTION, 2021).

2.4.3 Çakışma Çözümü (Deconfliction)

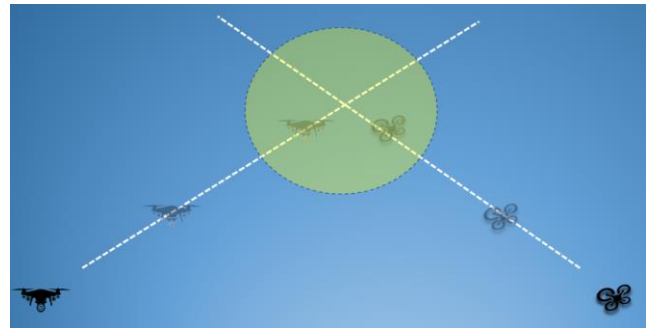
Hava araçları arasında meydana gelebilecek, belirlenmiş minimum ayırma kriterlerinin altındaki karşılaşmalara çakışma (confliction); hava trafik kontrolörlerinin hava araçlarını yatay veya dikey ekseninde yönlendirmesi veya hızlarını ayarlaması ile aralarındaki mesafenin minimum ayırma kriterleri üzerinde 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 ağları 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 "algı 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 (Reinquin & Dallard 2018).

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 oluşturmuştur.



Şekil 8. Çakışma ve çakışma alanı

Bu veri tabanı birçok çalışmada, simülasyonlarda, hatta gerçek ATM sistemlerinde rota tahmini ve performans hesaplamaları için kullanılabilir. 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 itibari 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 trafiklere benzer davranışlar sergilemesi beklenmektedir (SESAR Roadmap for the Safe Integration of Drones, 2018). 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.

3. SONUÇLAR

Yeni teknolojiler, beraberinde yeni ihtiyaçları da getirir. Bu açıdan insansız hava aracı sistemleri trafik yönetimi (İTY), mevcut hava trafik yönetiminden (HTY) farklı olacaktır. Ancak yeni teknolojilerle birlikte mevcut HTY teknolojileri, İTY ihtiyaçları için çözümler sunabilir. Mümkün olduğunca uzun yıllar deneyimlenmiş ve doğrulukları test edilmiş teknolojilerin kullanımı, 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 hareketliliğinin emniyeti için gerekli olan hizmetler ve sistemler, mevcut HTY sistemleri ışığında değerlendirilmiştir.

Daha emniyetli ve etkin bir kentsel hava sahası için gerekli olan hizmetlerden çakışma çözümü için kullanılan yörünge 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 şarttır. Örneğin komuta-kontrol veri bağlantısında yaşanacak bir sorun hava aracının kontrol 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 çalışma ile insansız hava araçlarının havacılığa açmış olduğu yeni ve çok geniş alanın bir parçası olan kentsel hava hareketliliğine ilişkin bazı ihtiyaçlara, yeni teknolojilerle birlikte HTY perspektifinden çözüm sunulmaya çalışılmıştır. Çalışmalara, bahse konu araçlar hayatımıza girmeden önce başlamak, çağın ve teknolojinin gerisinde kalmamak adına büyük önem arz etmektedir.

Yazarların Katkısı

Bu makalede yazarların katkısı eşittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Baran, M. (2011). Hava Trafik Hizmetleri Ders Notları (ICAO Annex 2). Ankara: DHMİ Genel Müdürlüğü, Seyrüsefer Dairesi Başkanlığı, 10-11.
- 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.
- Boun (Boğaziçi Üniversitesi) Jeodezi Anabilim Dalı. (2022). https://jeodezi.boun.edu.tr/sites/jeodezi.boun.edu.tr/files/dosyalar/files/GPS_BUKRDAE_GED.pdf (Erişim tarihi: 23.02.2022)
- Defence Turkey (2021). Düşük RKA'lı Hava Hedefi Tespitinde KUŞRAD'dan GÖZCÜ'ye Giden Süreç. <https://www.defenceturkey.com/tr/icerik/tu-bitak-bilgem-radar-teknolojileri-4500> (Erişim tarihi: 10.02.2022)
- DFS (Deutsche Flugsicherung) (2022). Digital platform for unmanned aviation. <http://www.dipul.de/> (Erişim tarihi: 01.03.2022)
- DHMİ Genel Müdürlüğü (2022). Elektronik Dairesi Başkanlığı. <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/ElektronikHizmetleri/RadarSistemleriSbMd/Sistemler.aspx> (Erişim tarihi: 20.02.2022)
- EMBENTION (2021). Detect&Avoid-DAA: The power of combining multiple sensors. Web: <https://www.embention.com/news/detect-avoid/> (Erişim tarihi: 12.03.2022)
- EUROCAE (2017). Working Group 105 (Unmanned Aircraft Systems – UAS), Focus Area UTM - Report: Identification and Geo-Fencing for Open and Specific UAV Categories. Paris, Fransa.
- EUROCONTROL (Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Teşkilatı) (2018, Kasım). UAS ATM Integration Operational Concept. Brüksel: Eurocontrol, Directorate of European Civil-Military Aviation (DECMA), 5-45.
- ICAO (Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı) (2016). Doc 4444 Procedures for Air Navigation Services - Air Traffic Management (16. baskı). Montreal, Kanada: ICAO, 6.
- 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. 40.
- Paşaoğlu, C. (2010). Uçak Transponder Sinyalleriyle Uçak Pozisyonunun Hiperbolik Konumlandırılması.

- Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 26.
- Paşaoğlu, C. & Akçam, N. (2011). Uçak Transponder Sinyalleriyle Uçak Pozisyonunun Hiperbolik Konumlandırılması. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 4(2), 36.
- Pilot Institute (2021). How Accurate Are Drone Altimeters? <https://pilotinstitute.com/drone-altimeters/> (Erişim tarihi: 01.03.2022)
- Reinquin, P. & Dallard, H. (2018). CLASS (Clear Air Situation For UAS): Tactical Deconfliction Report, 8-25. CORDIS, EU Research Results.
- 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)*, 8, 121-128.
- 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
- SESAR IMPETUS (2019). Information Management Portal to Enable Integration of Unmanned Systems. <https://www.sesarju.eu/projects/impetus> (Erişim tarihi: 01.03.2022)
- SESAR JU (Joint Undertaking). (2019, Eylül). CORUS (Concept of Operations for European UTM Systems): U-space Concept of Operations Enhanced Overview. Brüksel: Eurocontrol, 4-13. 62.
- SESAR U-Space Blueprint (2017). Brüksel: SESAR Joint Undertaking, 2-5.
- Seyrüseferim (2020). <https://seyruseferim.com/tcas-nedir/> (Erişim tarihi: 12.03.2022)
- SHGM (Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü) (2019). İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı (SHT-İHA), 1-20.
- SHGM (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.
- TÜBİTAK, BİLGEM (2016). KUŞRAD-Kuş Tespit Radarı. <https://bilgem.tubitak.gov.tr/tr/icerik/kusrad-kus-tespit-radari> (Erişim tarihi: 28.02.2022)
- UST (Unmanned System Technology) (2022). Sense and Avoid Systems Overview. <https://www.unmannedsystemstechnology.com/expo/sense-avoid-systems/> (Erişim tarihi: 12.03.2022)
- Wang, J., Zou, Y., & Ding, J. (2020). ADS-B spoofing attack detection method based on LSTM. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 160(2020), 1.



© Author(s) 2022.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>