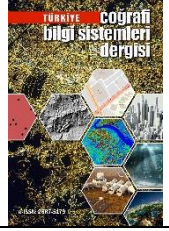




Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tucbis>

e-ISSN 2687-5179



İnsansız Hava Araçlarında Çarpışma Önleyici Sistem Optimizasyonu

Alper Evren Demir*¹, Metin Altan²

¹Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Ana Bilim Dalı, Eskişehir, Türkiye

²Eskişehir Teknik Üniversitesi, Astrofizik Eğitim ve Araştırma Birimi, Eskişehir, Türkiye

Anahtar Kelimeler:

İHA
Çarpışma Önleyici Sistem
Entegrasyon
CBS

ÖZ

Askeri ve sivil hava sahalarının ortak kullanım zorunluluğu, uçak sayısı ve seferlerindeki artış, teknolojik gelişmelere uyum süreci gibi problemlerin yanısıra, havacılık uygulamalarının bir başka mücadele konusu da uçuş güvenliğinin optimizasyonudur. İlgili sektörlerin Ar-Ge çalışmaları, fen ve mühendislik anabilim dallarından alınan çözüm odaklı fikirler, CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) ve yapay zeka benzeri analiz ve modelleme platformları, havacılık çalışmalarındaki sinerjiyi sürekli dinamik tutmaktadır. Özellikle İHA (İnsansız Hava Araçları), gerek sivil, gerekse askeri uygulamalarda bir çok ihtiyaca cevap vermekte, kapsamı giderek artmakta ve ekonomik yatırımlara açık bir pazar olarak görülmektedir. İHA sistemleri ayrıca, atmosferik değişkenliklerin takibi, 3D CBS destekli topoğrafik analiz ve modelleme ile anlık karar destek platformu içermesi, teknolojik gelişmelere kolay adapte olabilmesi, uzaktan erişimli kullanım kolaylığı ile can kaybı veya yaralanma riski oluşturmaması, güvenlik açısından riskli bölgelerde etkin kullanım gibi avantajlara sahiptir. Uygulama alanlarındaki artışa paralel olarak, kullanılan İHA'ların sayısı da hızla artmaktadır. Bu çalışmada, havada çarpışma olasılığını tetikleyen ve besleyen faktörler değerlendirilerek mevcut durum incelenmiş, çarpışma önleyici sistemlerin İHA entegrasyonu içerikli öngörü ve fikirler geliştirilmiş ve hava sahasının daha etkin ve güvenli kullanımına yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Anti-Collision System Optimization in Unmanned Aerial Vehicles

Keywords:

UAV
Anti-Collision System
Integration
GIS

ABSTRACT

In addition to problems such as the necessity of joint use of military and civil airspaces, the increase in the number of aircraft and flights, the adaptation process to technological developments, another challenge of aviation applications is the optimization of flight safety. R&D studies of relevant sectors, solution-oriented ideas from science and engineering departments, GIS (Geographical Information Systems) and artificial intelligence-like analysis and modeling platforms keep the synergy in aviation studies dynamic. Especially UAV (Unmanned Aerial Vehicles) respond to many needs in both civil and military applications, its scope is increasing gradually and it is seen as a market open to economic investments. UAV systems also have advantages such as monitoring atmospheric variability, including 3D GIS supported topographic analysis and modeling and instant decision support platform, easy adaptation to technological developments, ease of use with remote access, no risk of loss of life or injury, and effective use in risky areas in terms of security. Parallel to the increase in application areas, the number of UAVs used is also increasing rapidly. In this study, the current situation was examined by evaluating the factors that trigger and feed the possibility of air collision, foresight and ideas were developed for the integration of anti-collision systems to unmanned aerial vehicles, and suggestions were made for more effective and safe use of airspace.

*Sorumlu Yazar

(alpervrendemir@ogr.eskisehir.edu.tr) ORCID ID 0009-0000-3330-3444
(maltan@eskisehir.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-5247-887X

Kaynak Göster

Demir A E & Altan M (2023). İnsansız Hava Araçlarında Çarpışma Önleyici Sistem Optimizasyonu. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 5(1), 34-42.

1. GİRİŞ

Havacılık alanında yaşanan gelişmeler, bir önceki yıla göre giderek daha çok artış gösterirken, hava yolu şirketleri, sefer sayılarındaki artışa paralel olarak, hava sahalarındaki uçak kapasitelerini genişletmektedirler. Havada ve hava limanlarında uçakların düzenli ve kontrollü bir şekilde trafik emniyetinin sağlanabilmesi için, pilotların daha kapsamlı HTK (Hava Trafik Kontrol) hizmetlerini almaları gerekmektedir. Havacılık alanında yaşanan gelişmeler, HTK görevlilerinin iş yükünde artış yaşanmasına neden olmaktadır. Uçakların, planladıkları hedeflere emniyet ve güvenden ödün vermeden uçabilmeleri için, HTK görevlilerinin karşılaştıkları trafik işleyişine yönelik sıkıntılarının çözülmesi hedefinde çalışmalar sürdürülmektedir. Her geçen yıl, teknolojik gelişmeler desteği ile HTK hizmet kalitesinde artış gözlenmektedir.

Yazılım ve donanım odaklı çalışan bilim insanlarından oluşan Ar-Ge ekipleri, havacılık çalışma ve uygulamalarında karşılaşılan problemlerin çözümüne yönelik bilgisayar destekli sistemler geliştirmektedir. Uçakların çarpışmalarının azaltılması ve kazaya neden olacak etkenlerin önceden tahmin ve tespitinin yapılabilmesi için gerçekleştirilen araştırmalar artan öneme sahiptir. Teknolojik gelişmelere paralel güncellenen bu yazılım ve donanım sisteminin en yaygın olanı, uçaklar arası çarpışma ihtimali tespitini de uygulamaları arasına alan ve TCAS (Traffic Collision Avoidance System) olarak ifade edilen trafik ayırma ve uyarı sistemidir.

TCAS sistemi, uçakların arasındaki güvenli ayrılma mesafesinin korunabilmesi için, hem yatay hem de dikey eksenlerdeki trafik yoğunluklarının her koşulda anlık kontrolünü yapabilmektedir. Uçakların arasında bulunan göreceli mesafelerin ve irtifa bilgisinin yanı sıra, TCAS aynı zamanda muhtemel bir çarpışmaya kalan zamanın da hesaplanması için gerekli yazılım ve donanım altyapısına sahiptir. TCAS sistemi desteği ile uçakların irtifası değiştirilerek, çarpışmalarına yönelik risklerin azaltılma sürecinde, yatay ve dikey eksenlerde manevralara anlık çözüm önerileri geliştirilmektedir. Örneğin, önceden ayrılma destekli hava sahası sisteminde, muhtemel bir çarpışma anının üç dakika öncesinden saptanması ve bununla ilgili çözüm önerisi sunulması, çarpışma önleyici sistem güvenliği sağlanabilmektedir. Kurulum aşaması tamamlanarak etkin kullanım sürecine geçilen bir diğer sistem de otomatik hava sahası sistemidir.

Uçakların çarpışma ihtimalinin belirlenerek çözüm önerilerinin üretilmesine yönelik çalışmalar kapsamında iki öngörü üzerinde odaklanılmıştır. Deterministik yöntemde uçakların mevcut bilgileri ve konum bilgileri birlikte değerlendirilirken, olasılık içerikli yöntemde ise uçakların konumlarının belirlenmesinde ölçüm hataları gözönünde bulundurulur.

2. İHA SİSTEMLERİ

Uçmak fikri, tarih öncesi ve mitolojik zamandan beri insanlığın ilgisini çekmiş, modern insanlı havacılık sistemleri ise 1700'lü senelerin sonunda ortaya çıkmıştır. İHA tarihinde bilinen ilk uçaklar M.Ö. 425 senesinde Arhitas tarafından Pigeon ismi ile gerçekleştirilmiş ve günümüze kadar farklı amaçlara yönelik çok sayıda sistem geliştirilmiştir. İHA gelişim aşamalarının ilk

zamanlarında, genel olarak tek kullanımlık ve plansız uygulamalar gerçekleştirilmiştir (Valavanis & Vachtsevanos, 2014).

Wright kardeşlerin insanlık tarihine geçmiş olan ilk modernize edilen insanlı hava araçlarının uçuşundan 15 sene sonra, özellikle de askeri alanda İHA'ların üretimine başlanmış, gelişim süreçleri ise havacılık tarihi ile eşdeğer tutulmuştur (Barnhart, 2012). İHA sistemleri ilk etkin görevlerini birinci dünya savaşı sırasında almıştır. 30 deniz milini aşan mesafesi ile, ilk defa İHA Sperry şirketi tarafından 1916 yılında, Almanların yapmış olduğu zep-linlere karşılık olarak, hava torpidosu amacıyla üretilmiştir. Günümüze kadar uzaktan kontrollü ve sabit kanatlı torpidoda İHA'lar genellikle askeri personellerin eğitimi için kullanılmıştır (Szabolcsi, 2014).

1930'lu yıllarda İngilizlerin Quenn Bee ismi ile geliştirdikleri insansız araçlar, günümüzde yaygın kullanılan dronlar için tasarımcılara ilham vermiştir. Dünyada silahlı kuvvetlerin benimsediği İHA sistemleri, Vietnam ve İsrail'deki savaşlarda olduğu gibi, günümüzde de artan gereklilik ile kullanılmaya devam etmektedir. Askeri kullanımlarda geliştirilen jet motorlu İHA'lar, öncelikli sorumluluk tanımları kapsamında gözetim görevlerine destek vermiştir (DeGarmo, 2004).

Birinci ve ikinci dünya savaşları süresince gerçekleştirilen otonom ve uzaktan kumandalı İHA üretimleri, artan gereksinimler yelpazesinde günümüze kadar gelişerek küresel ölçekte büyük önem ve itibar kazanmıştır. Özellikle 2000 yılından başlayarak, güncel teknolojinin yazılım ve donanım gelişimine desteği ve üretim maliyetlerinin giderek azalması, ilgilerin odak noktasını üzerine çekmiş, Irak ve Afganistan'daki görevler ile başlayan etkin operasyonel kullanım gereklilikleri, artan ilgi ve destek ile günümüze taşınmıştır (DeGarmo & Nelson, 2004).

Öncelikle askeri uygulamalara yapılan yatırımlar, İHA sistemlerinin yeteneklerinin gelişmesine ortam hazırlamış, sivil kullanımlarına duyulan ihtiyaç bir çok alanda farkındalık yaratmış, havacılık, fen bilimleri ve mühendislik projelerinin uygulama aşamalarını tetiklemiş ve ileri safhalarını beslemiştir. Günümüze kadar süregelen teknolojik gelişmeler, operasyonel uygulamalar, üretim maliyetlerindeki olumlu gelişmeler, mevzuatların sadeleştirilerek uygulamalarda sağlanan kolaylık ve toplumların insansız sistemlere bakış açısındaki pozitif yaklaşım, İHA uygulamalarına desteği daha da arttırmıştır.

İHA sistemlerinin sivil alanlarda kullanımı, öncelikle görüntü toplama ve analiz etme çerçevesinde yoğunlaştı. 2004 yılı araştırma sonuçlarına göre bile, en az 32 ülkede İHA sistemleri geliştirilmekte, 41 devlette ise aktif olarak kullanılmaktaydı. Lider İHA kullanıcıları pozisyonundaki Japonya, özellikle tarımsal ilaçlama gibi uygulamalarda 2.000'den fazla İHA kullanmaktadır (DeGarmo, 2004). Günümüzde bir çok askeri, havacılık, fen ve mühendislik uygulamalarının vazgeçilemez bileşeni olan İHA'ların sivil amaçlı kullanımlarındaki artış nedeni ile ortak hava sahası paylaşımı zorunluluğu, teknik problem ve operasyonel riskleri de beraberinde getirmiştir.

3. ÇARPIŞMA ÖNLEYİCİ SİSTEMLER

Havacılık uygulamalarının yerel ve küresel ölçekte yaygınlaşması sürecinde, HTK hizmetine olan gereklilik de hızla artmaktadır. Bu süreçten beslenen sektörün de

tepki olarak kalitesini, yetkinliğini ve kapasitesini geliştirme çabalarında ihtiyaç duyduğu teknolojik güncelleme uygulamalarını zorunlu kılmıştır. Birbirini tetikleyen ve besleyen bu arz-talep dengesine dikkat çeken havacılık otoriteleri, gelecek yıllarda uygulama alanlarına çok daha fazla ihtiyaç duyulacağını vurgulamaktadır. Teknolojik gelişmeler desteği ile gerçekleştirilen havacılık uygulama kalitesindeki artış, hem yerde ve hem de havada verilmekte olan HTK desteğindeki artan hizmet kalitesi ile paralellik göstermektedir (Frost & Sullivan, 2001).

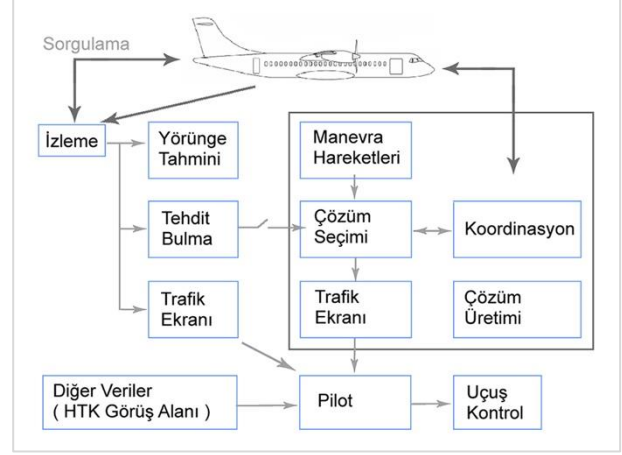
Uçakların uçuş süreçlerindeki her aşamada birbiriyle ve manialar ile çarpışmalarının önlenmesi ve hava akışının düzenli olarak devam etmesinin sağlanabilmesi için, HTK görevlilerinin uçaklarla iletişim halinde olması gereklidir. Pilotların, radar kontrol ve kokpit personel hizmeti veren HTK görevlilerinin yönlendirme ve talimatlarına uymaları, yaptıkları manevraların ardından durumlarını sesli biçimde rapor etmeleri, hava trafiğinin problemsiz işlenmesi açısından gereklilik ötesi bir zorunluluktur. Fakat çok acil ve maduriyet içeren sıradışı durumlarda maruz kalınan HTK hizmeti zafiyeti durumunda pilotlar ancak "gör ve kaçın" (see and avoid) uygulaması ile çarpışmadan kaçabilmektedirler (Kuchar & Drumm, 2007). Günümüzde çoğunlukla yerden yürütülen HTK hizmetlerinin yanında, uçakları havadan yönlendirerek ayrılma işleminin gerçekleştirilmesi yönündeki sorumlulukların bir kısmının pilotlara verilmesi çalışmaları yürütülmektedir.

1950'li yıllarda gör ve kaçın olgusuna yönelik güvenin azalması nedeni ile, çarpışma önleyici sistem düşüncesi ortaya atılmış. Uçaklar arası mesafe ve yaklaşma süreçleri dikkate alınarak yapılan hesaplar sonucunda öngörülen gerekli uyarıların uçaklara iletilmesi hedeflenmiş. 1956 yılında ABD'de gerçekleşen Grand Canyon Kazası'nın ardından, hava yolları ve havacılık otoriteleri tarafından, çarpışma önleyici sistemlerin tasarısı ve kısa sürede etkin kullanımına yönelik geliştirilmesi amaçlı çalışmalara önem ve hız kazandırılmış. 1960-70'li yıllarda geliştirilen uyarı sistemleri desteği ile, ilk kez çarpışma önleyici sistem uygulamaları, sivil hava yolu firmaları tarafından aktif olarak denenmiş. İlk denemelerde, birçok kez gereksiz uyarılar ile pilotlar tedirgin ve meşgul edilmiş. 1970'li yıllarda Beacon Uçak Çarpışma Önleyici Sistem (Beacon Collision Avoidance System) kullanılmaya başlanmış. 1980'li yıllarda ise TCAS sistemiyle çalışmalara geçilmiş, ilk aşamalarda, kokpitte bir radar ekranının etrafında diğer uçakların izlenmesi üzerinde odaklanılmış. 1986 yılında ABD'de alınan bir karar ile TCAS ekipmanlarının uçaklarda bulundurulması zorunlu hale getirilmiş (EUROCONTROL, 2012).

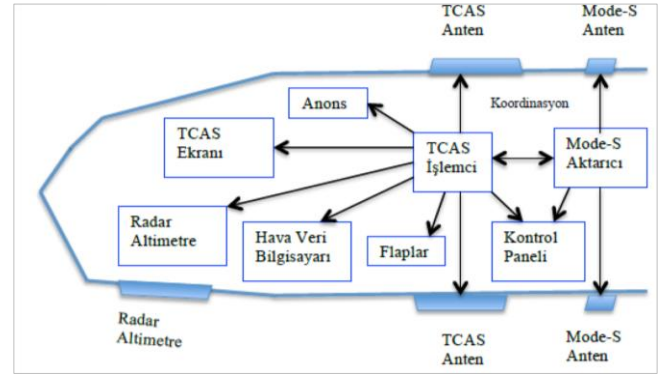
TCAS sistemi hem normal pilot, hem de oto pilot kontrolündeki uçaklar ile çalıştırılabilir. İkazlar kokpit içerisinden hem sesli hem de yazılı olarak iletilir. TCAS Sistemi; TA (Trafik Alert) trafik uyarı ve RA (Resolution Advisory) çözüm önerisi olarak iki tür yapılandırılabilir.

Trafik ikazı öncelikle, kokpitte oluşabilecek bir tehlike için ekibin hazır olması ve uçağın çevresindeki trafiğin kontrol altında tutulması gerekliliklerini içerir. Trafik ikazları ayrıca, oluşması muhtemel bir tehlikeye karşı kokpit ekibinin daha kısa zamanda tepki vermesini ve verdiği çözüm önerisi doğrultusunda, uygulaması gerekli olan komutların algılanmasını sağlar. Çözüm önerileri komutla birlikte uçuş esnasında eş zamanlı olarak verilir

ve pilotların beş saniye içerisinde uygulaması beklenir (Kuchar & Drumm, 2007). Koruma alanlarının ihmal edildiği durumlarda, birden fazla uçakta TCAS sistemi bulunuyorsa, uçaklar tek taraflı olarak TA ikazı verir. TCAS sistemi güncel teknoloji destekli ekipmanlar ve belirlenen hedeflere yönelik geliştirilen çalışma prensipleri içerir (Şekil 1 ve 2).



Şekil 1. TCAS çalışma mekanizması (Kuchar & Drumm, 2007).



Şekil 2. TCAS ekipmanları (EUROCONTROL, 2012).

TCAS işlemcisinin çalışması sürecinde alınan tüm veriler sistem yazılımı tarafından değerlendirilir ve alınan sonuçlar doğrultusunda verilmesi gereken bütün uyarılar kokpit personeli için yazılı ve sesli olarak yapılır. TCAS sistemi, uçakların çevrelerinin izlenebilmesi için kullanılan iki antene sahiptir. TCAS sistemi kapsamında gerekli haberleşmelerin yapılabilmesi için Mode S aktarıcılarının kullanılması gereklidir. Sistem ile izlenen uçaklar Mode-S aracılığı ile yakınlık miktarına duyarlı sorgulanır ve 1030 MHz frekansından veri gönderilmesi, 1090 MHz frekansından da veri alınması gerçekleştirilir. Bu sorgu sıklığı 1 dakikadan saniye mertebesine kadar kısaldır. Uçakların yapması öngörülen çözüm önerileri Mode S aktarıcıları tarafından uçaklara gönderilir. Mode S aktarıcıları 24-Bit uzunluğunda, kendilerine özgü adreslere sahiptir. Aktarıcıdaki bu adreslere gönderilen mesajların başka uçaklara iletilmesi mümkün değildir.

Uçakların etrafında bulunan hava trafik durumu anlık olarak, hava trafik alıcılarının aracılığı ile, uçağın trafik ekranında pilotlar tarafından gerçek zamanlı olarak takip edilebilir. Problem içermesi muhtemel durumlarda pilotlar bu ekrandan, kritik durum özelinde verilecek trafik çözüm öneri ve ikazlarını eş zamanlı olarak

değerlendirebilir. Pilotlar bu ekran aracılığı ile, ihtiyaç duydukları bilgileri ve geri bildirimleri belli bir süre ekranda tutar. Pilotların görevlerini daha verimli yapmalarına yönelik geliştirilen bu aktif uygulamaların etkin desteği ile, uzun mesafeli uçuşlar çok daha rahat, güvenli ve kontrol altında gerçekleştirilebilmektedir. Uçuş sırasında oluşan olumsuz durumlar arasında yüksek risk oluşturabilecek en muhtemel probleme öncelik vererek, pilotların ilk aşamada doğru noktaya çözüm hedefli odaklanabilmesi için, sistem belirlediği öncelikli asıl tehdidin daraltılmış alanını ekrana yansıtılır (Şekil 3 ve 4) (EUROCONTROL, 2012).

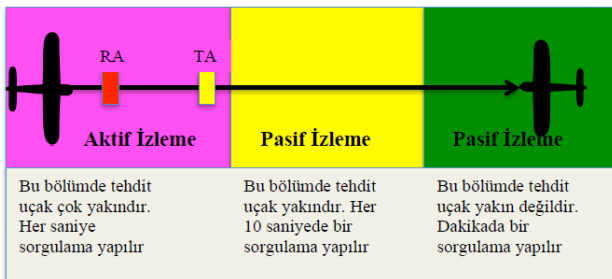


Şekil 3. Trafik ekranı örneği 1



Şekil 4. Trafik ekranı örneği 2

Yabancı bir uçağın trafik ikaz ekranında görüntülenmesi için, uçakların aralarında yaklaşık 2700 feet kadar göreceli bir irtifanın bulunması gerekir. Yatay olarak incelenen durumda, göreceli mesafenin 4-6 deniz mili arasında olması gerekir (Kuchar & Drumm, 2007).



Şekil 5. TCAS izleme

Uçuş sürecinde pilotlar TCAS sistemi kullanarak yakın hava sahalarını hassas şekilde denetim altında tutabilirler. Uçaklar birbirine çok yaklaştığında, tehdit unsurunun beslediği risk artar ve her saniye sorgulama yapılan aktif izleme gerektirir. Potansiyel tehdit içeren uçak yakın olduğunda her 10 saniyede bir sorgulama

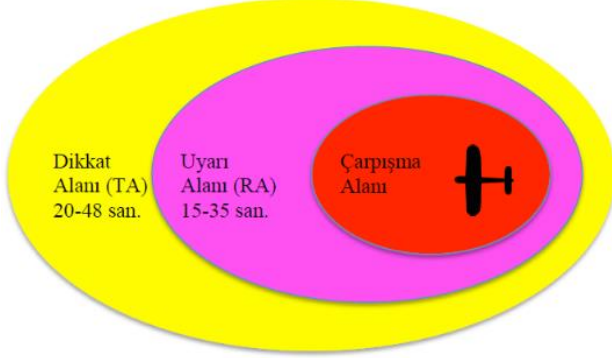
yapılır. Yabancı uçak risk oluşturma potansiyeline sahip olmayacak yeterli mesafede ise, dakikada bir sorgulama yeterli olur (Şekil 5) (EUROCONTROL, 2012).

TCAS için hangi değerlerin TA ve RA eşik değeri olduğu, Eurocontrol'un 2012 tarihli yayınında ayrıntıları ile belirtilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. TCAS eşik değerleri

İrtifalar	SL	Kalan zaman (sn)		Düşük Hız zamanı (sn)		Yatay Mesafe Eşik Değeri (Nm)		Yatay Mesafe Eşik dEğeri (feet)		En az İrtifa Farkı (feet)
		T.A	RA	RA	T.A	RA	T.A	RA		
0-1000 ft. AGL	2	20	Yok	Yok	0.30	Yok	850	Yok	Yok	
1000-2350 ft. AGL	3	25	15	15	0.33	0.20	850	600	300	
FL50-FL1100 ft. AGL	4	30	20	18	0.48	0.35	850	600	300	
FL1100-FL200 ft. AGL	5	40	25	20	0.75	0.55	850	600	350	
FL100-FL200 ft. AGL	6	45	30	22	1.00	0.80	850	600	400	
FL200-FL420 ft. AGL	7	48	35	25	1.30	1.10	850	700	600	
FL200-FL420 ft. AGL	7	48	35	25	1.30	1.10	1200	800	700	

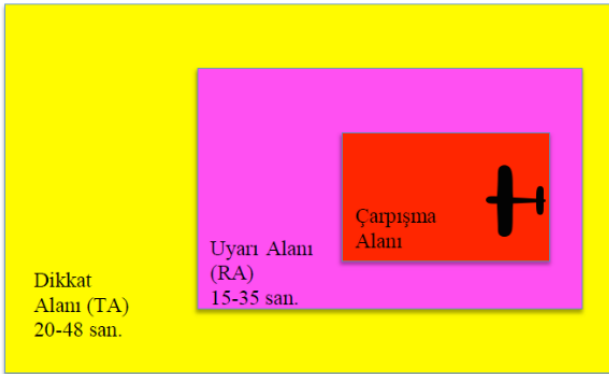
TCAS sisteminin çalışma prensibinin odak noktası, uçaklar arasında muhtemel çarpışmayı önlemeye yönelik geliştirilen işlem adımları uygulama sürecidir. Öngereklilik olarak, TCAS sistemine sahip uçakların aralarında muhtemel bir çarpışma tehlikesinin saptanabilmesi için, mesafe ve zaman kavramlarının aynı algı çerçevesinde olması gerekir.



Şekil 6. Yatay koruma alanı.

Bu aşamada, zaman ve mesafe değişkenlerinin hantisi için eşik değeri aşılsa, kalan zamana ve mesafeye bağlı olarak öngörülen farklı seviyelerdeki risk limitlerine istinaden gerekli uyarı ve talimatlar pilotların dikkatine sunulur (Tablo 1). Eşik değerleri aşıldığında öngörülen işlem adımları, konumsal yatay ve dikey değişkenlikler gözönünde bulundurularak değerlendirilir (Şekil 6 ve Şekil 7) (EUROCONTROL, 2012).

Şekil 6 ve 7 gözönünde bulundurulduğunda, Yer gerçeklerinin, yakın atmosfer koşullarının ve topoğrafik yapının da dikkate alınarak sentezlendiği çok bileşenli sisteme entegre edilecek dinamik yapı hareketliliği (insanlı, insansız, askeri, sivil, hareketli ve hareketsiz doğal yaşam bileşenleri) konumsal analiz ve modelleme tekniklerinden destek almayı gerektirir. Bu süreç, tüm bileşenlerin eş zamanlı denetlenmesinin yanı sıra hareketli cisimlerin birbirleri, yakın çevresi ve mekanlar ile etkileşim dinamiklerini de beraberinde getirir.



Şekil 7. Dikey koruma alanı

Bu yaklaşım, zamana bağımlı dinamik bir konumsal ilişkilendirme, sentez, analiz ve konumsal optimizasyon odaklı anlık karar destek sistemi ihtiyacını doğurur. Havacılık uygulamalarında sık kullanılan CBS teknikleri bu ihtiyacı karşılama sürecinde hem uçuş yönetim sistemleri çalışanlarına hem de aktif görevdeki pilotlara yardımcı olan konumsal dinamik değişkenli görsellik sunmaktadır.

4. UÇUŞ EMNİYETİNE YÖNELİK ÇARPIŞMA ÖNLEYİCİ SİSTEMLER ENTEGRASYONU

4.1. İHA Sistemleri

Sadece uçuşları gösteren bir öngörü platformu olarak değerlendirilen İHA kavramı, başlangıçta "İHA Platformları" olarak isimlendirilmiş, daha sonra ilgili tüm sistemleri kapsamı gözönünde tutularak, "İHA Sistemleri" ifadesi ile terminolojiye alınmış ve kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde 2 gram ile 15 ton aralığında değişen ağırlık ölçeğine sahip İHA Sistemleri, bir çok farklı kategoride çözüm odaklı uygulamalar içeren hava araçları, görev sistemleri, yer sistemleri ve hava/yer tümleşik sistemler olarak 4 bileşenden oluşur (Şekil 8). İHA sistemlerinin kullanım süreçlerinde bileşenlerin sistem içeriği veya boyutlarında değişiklik görülebilir (Savunma Sanayii Müsteşarlığı, 2012).



Şekil 8. İHA Sistemlerinin bileşenleri

İHA sistemlerini, insanlı uçak sistemlerine göre daha avantajlı ve ekonomik yapan en önemli özelliği, "kirli, sıkıcı ve tehlikeli" şeklinde adlandırılan 3 kritik durumla ilgili olarak "etkin, verimli, ekonomik ve emniyetli" çözümler sunmasıdır. Binlerce km uzunluğu bulunan bir petrol boru hattının kontrolünün sağlanması veya terör unsurlarının bulunduğu öngörülen bir mekanda günlerce devam eden gözetleme, "Sıkıcı (dull)" görevlere örnek olarak verilebilir (Harrington, 2007).

İHA sistemlerinin en önemli ortak özellikleri şunlardır:

- Füze, kamera, bomba ve benzeri faydalı yükün üzerinde taşınabilmesi,
- İHA sistemleri arasında ve harici unsurlar ile iletişim sağlayan muharebe sistemlerinin entegre edilebilmesi,
- Görevlerin planlanmasında, icra edilmesinde ve koordinasyonunda kullanılan "komuta-kontrol" unsuru içermesi,
- Destek unsurları niteliğinde yer sistemlerine ve teçhizatlara sahip olması,
- İHA pilotlarından bakım personellerine kadar sistemlerin işlenmesinde görev alan nitelikli insan içermesi, (Karaağaç, 2014).

İHA sistemleri, savaş potansiyeline sahip tüm bileşenleri ile askeri hedeflere ulaşabilme yeteneği sayesinde, muharebe unsurlarına etkin bir şekilde destek sağlar. İnsan faktörü açısından yüksek risk içeren tehlikeli gö-

revlerin uygulanmasında öncelikli tercih edilen bir destek platformu oluşturur. Planlama, uzaktan erişimli interaktif yönlendirme, yönetim ve uygulama aşamalarının yakın temas insan faktörü içermemesi nedeni ile, insan sağlığına ve varlığına yönelik yüksek risk içermez. İHA sistemleri; istihbarat, gözetleme, keşif, hedef belirleme, lazer işaretleme, hasar belirleme, mayın tespiti, bomba atma ve benzeri askeri ve fen ve mühendislik projeleri odaklı bir çok sivil amaç için de tercih edilmekte ve etkin şekilde kullanımı artmaktadır (AF/ST, 2010).

4.2. İHA Sistemlerini Etkileyen Kısıtlar

İletişim süreçlerinde kesintilerin olması, olumsuz atmosfer koşulları, İHA özeline tahsisli frekanslarda bandların olmaması, haberleşme bağlantılarına gereksinim duyulması, sivil hava sahası entegrasyonu eksikliği, pilotların durum farkındalıklarının yetersizliği, gör ve kaçın uygulanmasında gecikme yaşanması gibi etkenler, İHA sistemlerinin etkin kullanımını kısıtlamaktadır. Bu ve benzeri problemlerin çözümüne yönelik yapılan küresel ölçekteki çalışmalar, gelişen teknolojiye paralel olarak hızlanırken, İHA'ların sivil hava sahasına entegrasyonuna dair yerel ve uluslararası araştırmalar 2010'lu yılların başında artan yoğunlukta önem kazanmıştır. Sivil ve askeri İHA'ların ortak hava sahası kapsamında eş zamanlı görev yaptıkları platformların küresel ölçekte oluşturulması ve paylaşılmasına yönelik, sürekli optimize edilmekte olan kalıcı niteliğe sahip olacak usuller geliştirilmektedir.

Ulusal Güvenlik çerçevesinde gerçekleştirilmesi gerekli olan ani askeri İHA uçuşları, sivil hava sahasında geçici optimizasyon, yeni düzenleme ve geçici yasak bölge yapılandırma müdahalelerini zorunlu kılmaktadır. Tüm yaşanmakta olan ve aciliyet gerektiren müdahaleler ve problemler gözönünde bulundurularak 2030 yılına kadar askeri ve sivil hava sahası entegrasyonu ve eş zamanlı İHA uçuş platformu optimizasyonunun tamamlanması öngörülmektedir.

ABD Ulusal Havacılık Otoritesi (FAA), İHA odaklı yasal düzenlemelere yönelik talimatlar geliştirmiştir. Azami kalkış kütlesi 150 Kg'dan ve azami hızları saatte 50 knot'dan çok olan, aynı azami irtifada 100 feet'i geçen İHA'lar için bu talimatlar geçerlidir. Fakat, kapalı model uçaklar ve kapalı mekanlarda kullanım izni olan oyuncak uçaklar veya araçlar bu talimat kapsamı dışında tutulur.

Benzer şekilde Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, İHA'larla ilgili yasal düzeltmelere yönelik 30 Ekim 2012 yılında bir talimat yayınlamıştır.

Azami kalkış kütlesi 4 Kg'dan ve azami hızlarıysa saatte 50 km'den çok olan, aynı zamanda azami irtifaları da yer yüzeyinden 100 metreyi geçen İHA'ların bu talimata tabi olması öngörülmüştür. Model uçakların ve kapalı mekanlarda kullanımı üzerine üretilen uçan oyuncak araçlar da bu talimatlar kapsamı dışında tutulmaktadır.

Etkin kullanımlardaki kolaylık ve uygulamalardaki verim ve anlık problemlere acil çözüm üretme başarısı, İHA sistemlerini, sivil ve ticari uygulamaların vazgeçilmez ve öncelikli gereklilik listesinin başına taşımıştır. Gelecekte kullanım alanlarının farklı boyutlarda gelişmesini desteklemek amacı ile İHA sistemlerinin gereklilik içeren alanlara emniyetli bir şekilde entegrasyonunun

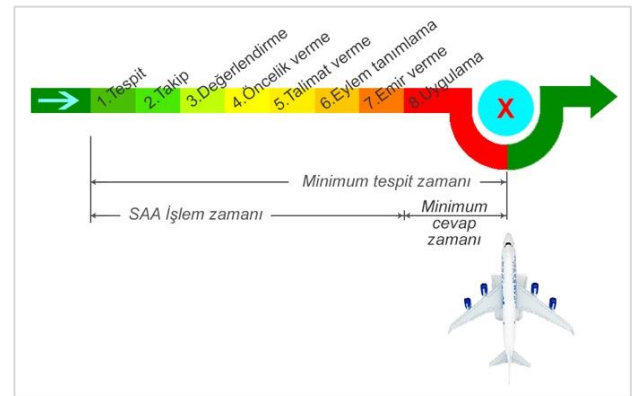
yapılması gereklidir. Bu süreçte teknolojik ilerlemelere paralel bazı uygulamalar için zemin hazırlanmalıdır. İHA uygulaması için gerekli kuralların belirlenmesi ve düzenlenmesi için uygulanması öngörülen alanlara yönelik hukuksal yaklaşımlar değerlendirilmelidir.

4.3. İHA'larda Uçuş Emniyeti

Küresel ölçekte kullanılmakta olan İHA sistemlerine yönelik önkoşul niteliğindeki gereklilik, uçuşlara elverişli ve sertifikasyon standartlarında olma zorunluluğudur. NATO'nun yayımlamış olduğu STANAG 4672, bu kapsamda değerlendirilen en önemli dokümanlardan birisidir (Acar, 2013). NATO, EASA gibi küresel ölçekli organizasyonlar, bu kapsamda bir çok ülkede çalışmalarını sürdürmekte olduğundan, yakın gelecekte İHA sistemleri için de benzer standardizasyon yönergelerinin hazırlanması beklenmektedir.

Uçuş emniyeti açısından, İHA sistemlerinin kullanımı operatör/pilot kontrolü çerçevesinde gerçekleştirilmektedir. Gelecekteki kullanımları için ise, İHA sistemlerinin hareket ortamında belli seviyede otonom görev yapma yeteneğine sahip olmaları öngörülmektedir. Araştırmaların yoğunlaştığı bu kapsamda, ABD'de yapılandırılan DARPA, belirlenen hedefler odağında İHA'ların takım halinde görev yapmasına yönelik CODE (Collaborative Operations in Denied Environments) Ar-Ge çalışmaları 2014 yılında uygulanmaya başlanmıştır.

Yer Kontrol İstasyonu içerisinde görev yapmakta olan veya yerden kumanda ile kontrolü sağlayan İHA pilotlarının görsel algılama imkanı ve dolayısı ile durumsal farkındalığı son derecede düşüktür. Otonom sistem uygulamalarında, bu durum çok daha karmaşık bir hal alacaktır. İHA üstünde bulunan kameralar ile çevre kontrolü kasıtlı olarak yapılabilir. Bu sebeple, muhtemel bir hava çarpışması durumunda, pilotun müdahalesi olmadan otomatik bir biçimde yapılacak olan TCAS trafik uyarısı ve çarpışmadan kaçınma sistemine benzeyen gör ve kaçın sistemine ihtiyaç duyulur (Şekil 9).



Şekil 9. Örnek Algı ve Sakın Sistemi Çalışması

4.4. Çarpışma Önleyici Sistemler

Gelişen teknolojiye paralel güncellenen ve küresel ölçekte bir çok alandaki kullanımları yaygınlaşan İHA sistemleri, günümüzde fen ve mühendislik uygulama alanlarının vazgeçilemez bileşeni oldu. Gerek askeri ve gerekse sivil hava sahalarında risk potansiyeli yüksek uçuşlar için emniyet odaklı ve anlık çarpışma önleyici sistemlere du-

yulan gereksinimin yerel ölçekteki boyutları her uygulama alanı için farklı olsa da, kullanım tercihleri giderek artmaktadır. Bu kapsamda;

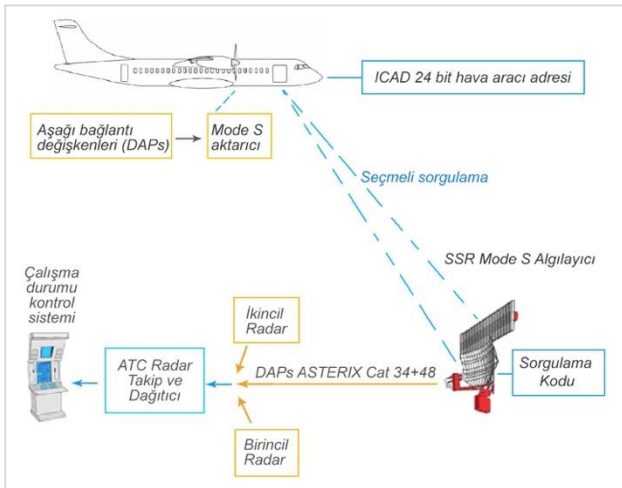
- Mode-S Aktarıcı
- TCAS
- ADS-B (Otomatik-Bağımlı-Gözetleme ve Yayın Sistemi) sistemleri ön plana çıkmıştır.

4.4.1. Mode-S Aktarıcı

Mode-S aktarıcı, özgün biçimde hava sahasındaki uçakların konumsal sorgusunu yapan ikincil gözetim radarının bir türevidir. Mode-S aktarıcı olan uçaklara, ICAO (International Civil Aviation Organization) tarafından 24 bitlik kimlik bilgisi verilir. İkincil radarlar tarafından yapılan genel sorgunun ardından, uçaklardan alınan ID bilgisi kullanarak, sadece ilgili uçakların sorgulaması yapılabilir. Böylece hava sahasında olan uçakların trafik kontrolörü tarafından birbirlerinden ayrı bir şekilde izlenebilmesi ve yönlendirilebilmesi sağlanır.

FAA'den (ABD Ulusal Havacılık Otoritesi) ilk uçuşa elverişi sertifikaları bulunan yüksek irtifada uzun bir süre havada kalabilen Global Hawk İHA FAA Order 7610.4'e göre, ulusal hava uçak kimlik bilgilerinin desteği ile, hava sahasındaki tek uçuş için bile sorgu yapılabilme imkanı olan Mode-S aktarıcıların İHA'lara entegre edilmesi ile yapılmış olan takip sistemleri kullanılarak izlenmesi sağlanmaktadır.

ABD Silahlı Kuvvetleri, operasyonda eskort uçak olarak kullanılan Global Hawk'ların yer radar sistemlerindeki uçuş emniyetlerini arttırmıştır. Bu çerçevede, takip sürecindeki İHA pilotlarının arasındaki anlık haberleşmenin sağlanması için, İHA'da telsiz röle özelliğinin olması gerekmektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Mode-S Aktarıcı Haberleşme Diyagramı (Billingsley, 2006)

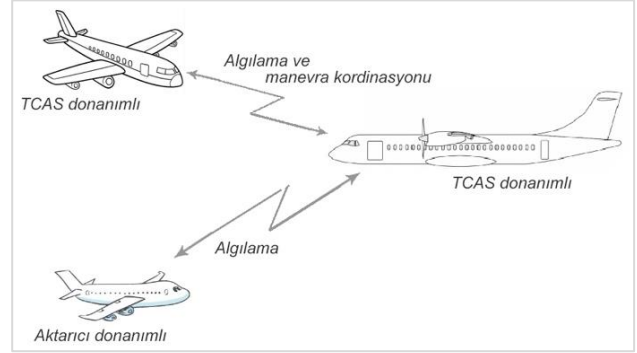
4.4.2. TAS (Trafik Uyarı ve Kaçınma Sistemi)

TCAS, herhangi bir uçağın seyir halindeyken etrafından olan uçakların Transponderlant sorgulaması yapılarak, aynı hava sahasını kullanmış olan diğer uçakların yüksekliği, uzaklığı ve rotasındaki bilgilerin tespitini yapan sistemler olarak tanımlanır. TCAS, bir saniyelik periyotlarla sorgulama yaparken, pilotlara anlık olarak hava

sahası durumu ile ilgili değerlendirme sunar. TCAS, yaptığı hesaplamalara göre, hava sahasına giren uçakların tehlike oluşturduğu 2 tür alarm üretir (Meyer vd., 2014).

Bunlar:

- TA; hava sahasına bir uçağın girdiğini gösterir ve ekrandan takip edilmesini sağlar.
- RA; tehlike oluşturan uçağı izlemenin yanı sıra, iki uçak arasındaki yüksekliği arttırmaya yönelik manevra önerileri üretir (Şekil 11).



Şekil 11. TCAS Haberleşme Şeması (Meyer vd., 2014).

İHA prensipleri kapsamında tasarlanan Hava araçlarının anlık kontrolünün sağlanmasına yönelik geliştirilen sistem yazılımına, otonom uçuş sürecine destek niteliğinde, TCAS verilerini işleme kabiliyeti eklenmektedir. İHA kontrolünün pilotta olduğu durumda, verilerin TCAS ara yüzü üzerinden pilot tarafından değerlendirilerek Çözüm Danışmanı'na (Resolution Advisors) göre önlem alınması gereklidir (Meyer vd., 2014).

Mode-S aktarıcıda görüldüğü gibi, yerden trafik kontrolüne ihtiyaç duyulması nedeniyle, TCAS çok geniş bir alanda kullanım sağlar. TCAS destekli insanlı uçaklar baz alınarak İHA'lara TCAS entegrasyonu yapıldığında, uçuş anında devamlı dışarı bakarak gözlem yapan bir pilotun olması, durumsal farkındalığı artırır. İHA'lar içinde etrafı anlık gözetleyen pilot bulunmadığı için, durumsal farkındalık zayıflar. Uzaktan kumanda ile müdahalelerdeki anlık güncelleme gecikmeleri de eklendiğinde, güvenlik açısından anlık karar verme sürecindeki endişe düzeyi artar. Bu olumsuz durumun önemini vurgulamak için havacılık otoritesi, sadece TCAS ekran verisinin yeterli güven sağlamadığını ifade etmektedir. Uçaklarda kontrolün pilotlarda olduğu, görüş dışında olunması durumunda haberleşmenin uydularla sağlandığı süreçte yaşanabilecek gecikmenin göz önünde bulundurulması gerekir.

ADS-B; uçakların GPS (Küresel Konum Belirleme Sistemleri) üzerinden kendi pozisyon bilgisini alarak, hız, yön, irtifa, uçuş numarası ve benzeri bilgilerin de eklenmesi ile derlenen bilgilerin verici anten yardımıyla diğer uçaklara ve yer istasyonlarına aktarılmasını sağlayan bir sistem olarak geliştirilmiştir (Meyer vd., 2014).

4.4.3. ADS-B

TCAS sistemine sahip İHA'larda olduğu gibi, ADS-B sistemi ile donatılmış İHA'larda da durumsal farkındalık zafiyeti söz konusudur. Havada çarpışma önleyici sistemlerin teknolojik açıdan geliştirilmesine yönelik yapılan çalışmalar, İHA sistemlerindeki uçuş emniyetinin artırıl-

ması odak noktasında yoğunlaşmaktadır. İhtiyaçların belirlenmesi, sınıflandırılması, anlık gelişen problemlere kalıcı çözüm önerilerinin zenginleştirilmesi gibi gereklilikler gündemi ile ortak paydada buluşan, küresel ölçekteki teknolojik çözüm ortaklıkları yaygınlaşmaktadır. Örneğin, Sagatech şirketi ve Kansas Devlet Üniversitesi paydaşlığında, İHA'larda kullanılması hedefli, kredi kartı büyüklüğünde Mode-S aktarıcı ve ADS-B Out özelliklerine sahip bir kart tasarlanmıştır. Çoklu fonksiyon döstergesi veya uçuş ADS-B entegrasyonu yapılarak kullanım şekliyle aktarıcı, bir anten ile uçak üzerine sabitlenmiş. Pilotsuz ADS-B sistemleri ile donatılmış İHA'larda da anlık durumsal algı ve analiz hakimiyeti zayıftır. Ayrıca, TCAS sisteminde olduğu gibi ADS-B sisteminde de hacim ağırlığı, güç tüketimi ve ücret etkinlikleri gibi nedenlerden dolayı bütün platformlara bu sistemlerin takılması tercih edilmemektedir (Meyer vd., 2014).

5. SONUÇ

Güvenlik ve kısa zaman öncelikli ulaşım gereksiniminin giderek arttığı günümüzde, gerek sivil gerekse askeri uygulamalarda ortak hava sahası kullanımı zorunlu hale gelmiş, dolayısıyla anlık trafik yoğunluğu artmıştır. Bu aşamada maliyet, güvenlik, zaman, kolaylık, rahatlık gibi unsurlar, amaç ve hedeflere yönelik havacılık uygulamalarının niteliğine göre önem ve öncelik kazanır. Pilotların görev tanımları kapsamında eş zamanlı aldıkları HTK hizmetlerinin yönetsel ve çözüm odaklı yönlendirme başarısı ile, bu unsurların niteliği ve kalitesi artar. Teknolojik eklentiler ve güncellemeler desteği ile beslenen ve paralel olarak uygulama alanları ve işlevsellikleri artan İHA'ların bu çerçeveye girmesi ile, özellikle bahsi geçen güvenlik odaklı uygulamalara çok farklı bir boyut kazandırmıştır. Güncel teknoloji destekli İHA'ların askeri uygulamalarının yanısıra, keşif, savunma, zirai, kargo, gözetleme içerikli fen ve mühendislik projelerinin bir çok aşamasında da etkin olarak kullanımı artmıştır. Günümüz koşullarında hem yerel ve hem de küresel ölçekte, ileri düzey risk potansiyeli nedeni ile, içinde aktif pilotun görev aldığı uçakların kullanımının azaltılması öngörülmektedir. Bu süreçteki kayıpların telafisine yönelik, İHA kullanımının artırılması hedeflenmiştir. Tam, yarı ve manuel otonom modlar, alçak, yüksek ve orta irtifada düşük ve yüksek süratte görev yapan İHA sistemine TCAS entegrasyonu, hava sahalarının güvenliği açısından zorunluluk haline gelmiştir. Geleceğe yönelik küresel ölçekteki havacılık uygulamaları içerikli tüm planlamalarda, özellikle ön planda tutulan güvenlik unsuruna yatırım ekseninde, havada çarpışma önleyici sistem geliştirme çalışmaları bulunmaktadır. Yazılım ve donanım odaklı teknolojik gelişmelerin desteği ile kullanım ve uygulama alanları artışında ivmeli bir süreç yaşayan TCAS Sistemi, ülkemizin sivil ve askeri havacılık uygulamalarının vazgeçilemeyen ve sürekli gelişim ve güncelleme sürecinde olan bileşeni konumunda yer almaktadır.

BİLGİLENDİRME/TEŞEKKÜR

Kullanılan verilerin gizliliği ve güvenliği açısından getirilen kısıtlamalar nedeni ile, hazırlık sürecinde yapılan deneyimleme, saha ve uygulama aşamalarının ayrıntılarına makalede yer verilememiştir.

Yazarların Katkısı

Yazar1: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Görselleştirme, Analiz ve Modelleme.

Yazar2: İnceleme, Düzenleme, Doğrulama.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Acar Ö B (2013). İnsansız Hava Araçları ve Sertifikasyon Çalışmaları STANAG 4671 & STANAG 4702, 29-54.
- Barnhart R K (2012). Introduction to Unmanned Aircraft Systems. *CRC Press*, ISBN: 978-1-4398-3521-0.
- Billingsley T B (2006). Safety analysis of TCAS on Global Hawk using airspace encounter models. *Doctoral dissertation*, Massachusetts Institute of Technology, 66p.
- DeGarmo M T & Nelson G (2004). Prospective Unmanned Aerial Vehicle Operations in the Future National Airspace System. *AIAA 4th Aviation Technology, Integration and Operations (ATIO) Forum*. Chiago, USA.
- DeGarmo M T (2004). Issues Concerning Integration of Unmanned Aerial Vehicles in Civil Airspace. Center for Advanced Aviation System Development. *Virginia*, 9-25.
- EUROCONTROL (2012). "Airborne Collision Avoidance System II (incorporating version 7.1) GUIDE, [Erişim Tarihi: 01.01.2023], <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2022-03/eurocontrol-safety-acas-guide-4-1.pdf>
- Frost & Sullivan (2001). ATC: Problems to be solved. *The Journal Of Global Airspace Avionics*, 34-36.
- Harrington C (2007). USAF contemplates unmanned jet option, [Erişim Tarihi 01.01.2023], http://www.janes.com/news/defence/air/jdw/jdw07_1024_2_n.shtml <https://www.sasad.org.tr/etiket/savunma-sanayi-mustesarligi>
- Karaağaç C (2014). Geleceğin Harekât Ortamında İHA Sistemleri: Askeri Uygulamalar & Teknoloji Gereksinimleri. *III. Ulusal Havacılıkta İleri Teknolojiler Konferansı*, İstanbul, Türkiye.
- Kuchar J E & Drumm A C (2007). The traffic alert and collision avoidance system. *Lincoln Laboratory Journal* 16(2), 277.
- Meyer J, Göttken M, Vernaleken C & Schärer S (2014). Automatic traffic alert and collision avoidance system (TCAS) onboard UAS. *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*, ISBN : 978-90-481-9706-4.
- Savunma Sanayii Müsteşarlığı (2012). İHA Sistemleri Yol Haritası (2011-2030), [Erişim Tarihi: 01.01.2023],

Szabolcsi, R. (2014). A new approach of certification of the airworthiness of the UAV automatic flight control systems. *Land Forces Academy Review*, 19(4), 423-431.

USAFCS (2010). United States Air Force Chief Scientist (USAFCS) AF/ST-TR-10-01-PR Technology Horizons: A Vision for Air Force Science &

Technology During 2010-2030, [Erişim Tarihi: 01.01.2023],
https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/AUPress/Books/B_0126_TECHNOLOGYHORIZONS.pdf

Valavanis K P & Vachtsevanos G J (2014) Handbook of Unmanned Aerial Vehicles. *Springer*, ISBN: 978-9048197064.



© Author(s) 2023.

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