

İnsansız Hava Aracı (İHA) Sektörü Ve İHA Fotogrametrisinin Ölçme Bağlamında Konumlandırılması

The Sector of Unmanned Aerial Systems and Positioning UAS Photogrammetry Regarding Surveying Discipline

Abdulvahit Torun

Aperigae Bilgi Teknolojileri Danışmanlık, GMK Bulv 12-128, 06650 Kızılay, Ankara

Özet

İHA'nın yenilikçi bir iş modelinin öznesi ya da paydaşı olmasındaki yaygınlaşma, İHA (ile hava) fotogrametrisi, İHA (ile havadan) ölçme, İHA (ile) uzaktan algılama geomatik (harita, kadastro, jeodezi ve fotogrametri) uygulamalarının bir parçası haline geldiği artık kanıksanmış durumdadır. Büyüklüğü 10.1 milyar USD olan global İHA (İnsansız Hava Aracı/İnsansız Hava Sistemi) pazarının, genel ekonomik büyümenin aksine %8.12 seviyesinde büyüyerek 2020 itibariyle yaklaşık 15 milyar USD genişlemeye ulaşması beklenmektedir. İHA fotogrametrisi (Structure from Motion-SfM) özellikle tarım, madencilik, havadan fotoğrafçılık, emlak sektörlerinde kendine yer açmıştır. Harita, kadastro ve planlama işlerinde ise konunun mülkiyet hakkı ve bunun belirlenmesi olması sebebiyle daha temkinli davranılmakla birlikte, İHA'nın uygulama olanakları konusunda, özellikle doğruluk, uygunluk, ölçülebilirlik (izleme, kalibrasyon, kayıt vb.) bakımından çok sayıda kurum, firma ve araştırmacının derinlemesine çalışması sürmektedir. Bu arada, uygulamalardan edinilen tecrübelerle birlikte İHA kullanılarak ölçme konusunda kalite güvence ve altyapı oluşturma ihtiyacı hızla artmaktadır. Bu çalışmada, iki örnek İHA fotogrametrisi uygulamalarından yararlanarak ürün odaklı ve süreç odaklı yaklaşımla; geleneksel fotogrametri ile İHA fotogrametrisi arasında hesaplama yaklaşımları ve süreçleri arasındaki farklılıklar hakkında ilk bulunanlar ortaya konmaktadır.

Anahtar Sözcükler

İHA, fotogrametri, harita, ölçme, doğruluk, sektör

Abstract

Innovative Unmanned Aerial Systems (UAS) has been recognized as either subject or the content of multiple studies and applications in the field of UAS Photogrammetry (Structure from Motion-SfM), surveying from air, close distance remote sensing with UAS. The UAS sector with a market size of USD 10.1 billion, the growth rate of the sector is steadily increasing with a rate of 8.12 % despite the general growth characteristics of global economy. The UAS Photogrammetry has been open room in the surveying applications for the fields of agriculture, mining, filming, movie, real estate, urbanization. As the required accuracy and high control on survey procedures, UAS photogrammetry has been used as an ancillary source of data in surveying sector with conscious. Many institutions and researchers has been testing and evaluating UAS photogrammetry for the purpose of surveying. Besides, as the use and availability increases, the regulations for UAS surveying has been become an essential need. In this study, two particular UAS photogrammetry application has been conducted for comparing conventional photogrammetry techniques in order to evaluate the computation processes and results in surveying and UAS photogrammetry.

Keywords

UAV, UAS, photogrammetry, mapping, surveying, accuracy, sector

1. İnsansız Hava Aracı (İHA) Teknolojisindeki Gelişmeler

Gün geçmiyor ki İnsansız Hava Aracı (İHA'nın yenilikçi bir iş modelinin öznesi ya da paydaşı olmadığını duymayalım ya da okumayalım... Elbette İHA (ile hava) fotogrametrisi, İHA (ile havadan) ölçme, İHA (ile) uzaktan algılama geomatik (harita, kadastro, jeodezi ve fotogrametri) uygulamalarının bir parçası haline geldiği artık kanıksanmış durumdadır. Ekim 2016 ortasında Hamburg'da düzenlenen Intergeo fuar/konferansında katılımcı firmaların %25'ini İHA teknoloji firmaları oluşturması İHA'nın sektördeki yerini açıkça ortaya koymaktadır. Intergeo 2016 ardından ölçme, haritalama alandaki gelişmeler ve gelecek projeksiyonunu ortaya koyan rapora (<https://www.gim-international.com/content/article/integrating-geospatial-technologies-reflections-on-intergeo-2016>) adresinden erişilebilir (Torun 2016).

İHA fotogrametrisi, İHA uzaktan algılama, İHA verilerinin işlenmesi ve analizi, İHA verilerinin doğruluğuna ilişkin çok sayıda araştırma ve uygulama çalışmaları 2000'li yılların ilk yarısından itibaren dünyada, 2010'dan gelirken de Türkiye'de artarak sürmektedir. Dünya İHA fotogrametrisi literatüründe Literatürde deneyim, test, araştırma, inceleme yönelimli çok sayıda yayın bulunmaktadır.

Görüntü (fotoğraf, video, multi/hiper-spektral algılama) alımına kolaylık sağlayan İHA, savunma, askeri, sınır güvenliği, acil durum, afet, izleme vd. uygulamaların ötesinde emlak, haritacılık, planlama, ölçme, tarım, maden, heyelan, orman vd. alanlardaki faaliyetlerde de doğrudan ya da ikincil veri kaynağı olarak yaygın kullanım alanı kazanmıştır.

2. İHA Nedir? Kısa Tanım ve Kısa Tarihi

İHA; pilotsuz hava aracı sistemi, uzaktan pilotaj kontrol sistemi ve bu ikisi arasında komuta-kontrol iletişim ortamı olmak üzere oluşan üç bileşenden oluşan entegre sistemler bütünüdür. İHA'nın temel bileşenleri; (1) ana gövdeyi oluşturan iskelet, kanat, pervane, motor ve batarya, (2) kontrol birimini oluşturan elektronik algılayıcılar, haberleşme elektroniği, GNSS ve (3) kullanım amacına dönük sensör, kamera vd. algılayıcılar ile İHA planlama, uçuş ve yönetimi amaçlı haberleşme, yazılım ve donanımdan oluşmaktadır.

2.1 İHA Kısa Tarihi

İHA'nın 19'uncu yüzyılın ortalarında başlayan tarihsel gelişimi, iki Dünya Savaşı döneminde belirgin ilerleme göstermekle birlikte, soğuk savaş döneminde pilot kayıplarının azaltılması, keşif ve istihbarat amacıyla çok önemli bir gelişme sağlamıştır.

Sivil İHA sektörü, II. Dünya Savaşından sonra gelişmekle birlikte model uçak kulüpleri ve hobi sahiplerinin talepleri ile yaygınlaşmıştır. Ancak; İHA'nın pratik sivil problemler için kullanımı konusu 2000'li yılların başından itibaren ABD NASA, ABD Pennsylvania Üniversitesi, İsviçre ETHZ ve başka birkaç akademik-araştırmacının öncülük ettiği çalışmalar daha sonra; çevre, İHA fotogrametrisi, kent çalışmaları ve daha geniş kapsamıyla yer bilimi ve diğer alanları içeren dikey kesitte çok sayıda uygulama alanı bulmuştur.

2.2 İHA Teknolojisinde Gelişme ve Uygulama Alanları

Teknolojik gelişmeye bağlı olarak, kontrol ünitesinin yerine akıllı telefon ve tabletlerin kullanımı, uçuş operasyonunun GPS, wi-fi alıcıları, MEMS INS sensörlerinin yanı sıra görünür bant, multi-spektral, termal, hiper-spektral ve lazer vd. algılayıcıların düşük maliyetlerle erişilebilir olması İHA üretim maliyetlerini çok aşağı çekmiştir. GNSS teknolojisinde minimize donanım çözümleri sayesinde PPK (Post Processed Kinematic) GNSS ile gerçekleştirilen navigasyonun konumlandırılması daha doğru yapılabilmektedir (Colomina et.al, 2014)).

İHA global ölçekte en yaygın olarak uygulama alanı bulduğu ilk beş sektör; emlak ve inşaat, fotogrametri (havadan ölçme), film/hava fotoğrafçılığı, tarım ve havadan izleme (takip) faaliyetlerini içermektedir. İHA fotogrametrisi özellikle tarım, madencilik, havadan fotoğrafçılık, emlak sektörlerinde kendine yer açmıştır.



Şekil 1. Azami kalkış ağırlığı yüksek İHA

3. İHA Fotogrametrisi ile Ölçme

İHA fotogrametrisi (Structure from Motion-SfM, Görüntüden Yapısal Model Oluşturma) ve geleneksel fotogrametri matematiksel ve istatistiksel modelleri arasındaki farklılıklar mevcuttur. İHA fotogrametrisi 3B nesne geri çatımını oluşturmayı ve bu sebepten de doğruluktan ziyade verimlilik ve var olan tüm veriyi kullanarak lokal çözüm ve lokal optimizasyon ile geleneksel fotogrametrinin ışın demeti dengelemesi gibi modellerinden yararlanmaktadır. Oysa geleneksel fotogrametri, global tutarlılık, model geçerliliği, ölçülerin doğruluğu, uyumluluğu ve temel olarak bütüncül/global matematiksel model

ile çözüm aramaktadır. Bu önemli farklılık, İHA fotogrametrisinin havadan ölçme, 3B sayısal yüzey modeli oluşturma ve ortofoto yaratma aracı olarak kullanılmasında, uygulama alan ve disiplinlerini sınırlandırmaktadır. İHA fotogrametrisinin geleneksel fotogrametri yerine geçmesi iki alanda gelişme ile olabilecektir. Bunlardan ilki, İHA fotogrametrisinde kullanılan matematik/istatistik model ve bunların uygulama noktasının geleneksel fotogrametri ile uyumlandırılmasıdır. Diğeri ise, geleneksel fotogrametriin global çözüm oluşturmada temel oluşturan sensör kamera merceği niteliği ve mercek distorsiyonu hakkında sahip olunan bilgi sayesinde fiziksel koşulların bütüncül-global matematik model tasarlamaya sağladığı olanakların, İHA sensörleri için de geçerlilik kazanmasıdır (Cryderman et.al 2015, Draeyer et.al, 2014, Torun 2016, UAS PEngineering 2012).

Diğer taraftan, özel durum, uygulama alanı ve koşullarda, İHA fotogrametrisi ile gelişme sağlayan model ve hesaplama yaklaşımları geleneksel fotogrametrisinin hesaplama verimliliğinin artmasına katkı sağlamaktadır.

3.1 İHA Fotogrametrisinin Hedefi ve İşlem Adımları

Bilgisayarlı görü (computer vision) alanındaki gelişmelerin katkısıyla geniş uygulama alanı bulan İHA fotogrametrisi (Structure from Motion-SfM, Görüntüden Yapısal Model Oluşturma) yaklaşımında aşağıdaki hesaplama ve işlem süreci gerçekleştirilir;

- Çok boyutlu nitelik vektörleri (feature vector) ile eşleme yaparak oğun nokta bulutu (seyrek/sık) oluşturma,
- böylece üçgen yüzey ağı ya da piramidal katı model (TIN/TEN model, TIN: Triangulated Irregular Network; TEN: Tetrahedronized Irregular Network) oluşturma,
- TIN/TEN yüzey ve 3B modelden geriçatım ile nesne yüzeyi ya da katı nesne modeli oluşturma,
- Oluşturulan yüzeye görüntü giydirme (texturing) (fotogrametri ve uzaktan algılamada ortofoto)

3.2 Geleneksel Fotogrametri ve İHA Fotogrametrisi

Sonuç ürün odaklı yaklaşıldığında fotogrametri ile İHA fotogrametrisi (Structure from Motion) arasında fark gözlenmesi de hesaplama yaklaşımları ve süreçleri arasında belirli farklılık mevcuttur. Bu farklılık, fotogrametrisinin olgunlaşmış geometrik, istatistiksel ve matematik temellere dayanması; İHA fotogrametrisinin ise bilgisayarlı görü (computer vision) alanında nesne tanıma, çok sık nokta bulutundan katı model oluşturma amaçlı görüntü eşleme ve geometrik dönüşüm algoritmalarına ve modellerine dayanmasından kaynaklanmaktadır. Bu farklılıktan ötürü, planlama, kurgu ve hesaplama dikkate edilmemesi durumunda iki yaklaşım arasında belirli koşullarda önemli farklılık oluşması kaçınılmazdır (Cryderman et.al 2015, Draeyer et.al, 2014, Torun 2016, UAS PEngineering 2012).

2013 yılında EuroSDR şemsiyesi altında Almanya, İngiltere, Fransa, Hollanda, İsviçre, Finlandiya, İrlanda'nın harita ve kadaströ kurumlarının katılımıyla gerçekleştirilen İHA'nın harita ve kadaströ çalışmalarında kullanılması test çalışmasında elde edilen sonuçlar, ülkelerin mevzuat ve izlenen süreçlerinden kaynaklanan farklılıkları yayımlanmıştır. Özet olarak ülkeler; İHA fotogrametrisinin sağladığı olanak ve gelişmelerin izlendiği, İHA fotogrametrisinin büyük ölçekli çalışmalarda kullanılan hava fotogrametrisinin yerini henüz alamayacağı, altlık veri olması halinde, İHA verisinin kadastral, arazi yönetimi gibi konularda lokal olarak güncellenmede kullanılabilmesi şeklinde farklı yaklaşımlarını ortaya koymuştur (Cramer et.al., 2013).

3.3 İHA Fotogrametrisinin Ölçme Çalışmalarına Katkısı

İHA fotogrametrisi özellikle tarım, madencilik, havadan fotoğraflama, emlak sektörlerinde kendine yer açmıştır. Harita, kadaströ ve planlama işlerinde ise konunun mülkiyet hakkı ve bunun belirlenmesi olması sebebiyle daha temkinli davranılmakla birlikte, İHA'nın uygulama olanakları konusunda, özellikle doğruluk, uygunluk, ölçülebilirlik (izleme, kalibrasyon, kayıt vb.) bakımından çok sayıda kurum, firma ve araştırmacının derinlemesine çalışması sürmektedir. Bu arada, uygulamalardan edinilen tecrübelerle birlikte İHA kullanılarak ölçme konusunda kalite güvence ve altyapı oluşturma ihtiyacı hızla artmaktadır.

Bu çalışmada, bir örnek İHA fotogrametrisi uygulamasından yararlanarak ürün odaklı ve süreç odaklı yaklaşımla; geleneksel fotogrametri ile İHA fotogrametrisi arasında hesaplama yaklaşımları ve süreçleri arasındaki farklılıklar ortaya konmaktadır. Bu farklılıkların gözetilmemesi halinde ortaya çıkabilecek konumsal, kesit ve yüzey doğruluklarında oluşabilecek sonuçlar tartışılmaktadır.

Bu sayede, yeni teknolojilere uyum ve uygulamanın mevzuattaki gelişmelerin önünde ilerlemesi, arada oluşan boşluğun doldurulması konusunda ülke haritacılık sektöründe belirleyici olan kurum ve birlik ve derneklerin geliştirecekleri düzenlemelere katkı verilmesi hedeflenmiştir. Bunun yanı sıra, İHA sektörü, düzenlemeler ve mevzuata dair tam ve açık bilgiye sahip özel sektörün yatırım ve kararlarında; global ve ulusal İHA sektörünün yönelimi, uluslararası ve ulusal havacılık alanındaki var olan düzenlemelerin bağlayıcılığı ve ülkenin genel güvenlik ve savunma koşullarının dikkate alınması yoluyla kaynaklarını yerinde kullanmaları, ticari karar ve faaliyetlerinin beklenen sonucu vermesine altyapı oluşturulmasına yardımcı olunması amaçlanmıştır.

3.4 İHA Fotogrametrisinin Ölçme Çalışmalarına Katkısının Belirlenmesi Amaçlı Test Tasarımı

İHA Fotogrametrisi ile elde edilen nokta bulutu, sayısal yükseklik modeli ve ortofoto ürünlerinin ölçme çalışmalarına ek olarak kullanılabilirliği konusunda iki ayrı deney tasarlanmıştır. Bunlardan ilkinde nispeten düz, eğimi az, bitki örtüsü kaplaması düşük, yapılaşması orta yoğunlukta bir alan seçilmiştir. İkinci test bölgesinde ise, alansal su rezervuarı, yüksek boy, geniş taçlı ve yoğun örtülü orman alanı, kısmi yapılaşma ve orta yükseklikte binaların olduğu bir bölge seçilmiştir. Söz konusu ikinci bölgede ayrıca 1:1000 ölçekli halihazır harita verileri de üretilerek, ayrıntılı analiz için altyapı oluşturulmuştur.

Tasarlanan deneylere ait kamera, uçuş bilgileri Tablo 1’de sunulmuştur. Bu deneylerde kullanılacak veriler ve ön analizler tamamlanmıştır. Bu deneylerde, İHA fotogrametrisinde kullanılan hesaplama süreci, matematiksel-istatistiksel model, dengeleme hesap yaklaşımı ile doğruluk ve ölçü güvenilirliğinin beklendiği geleneksel fotogrametri arasındaki farklılıklar ortaya konmaktadır.

Tablo 1: İHA Fotogrametrisinin Ölçmede Kullanılabilirliği Amaçlı Tasarlanan Deney İstatistikleri

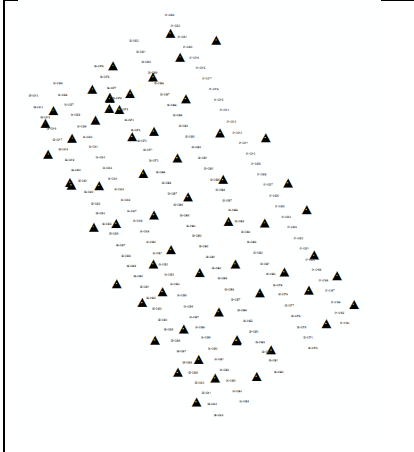
Bilgi		
Kamera	Sony A6000	Sony IMX377
Sensör (mm)	23 x 16	6.20 x 4.65
Odak Uzaklığı (mm)	20.527	20
Sensör Büyüklüğü	6000 x 4000	4000 x 3000
Kolon	5	~ 100
Blok	1	14
Bindirme %	60	60-80
Ort. Zemin Yüksekliği	1200	1350
Ort. Uçuş Yüksekliği	1470	1440
Ort. Ölçek	13000	4500
Alan km	1.8 x 3	3.5 x 3
Fotograf	151	~ 1500
YKN	60	~200
Bölge	Ankara	Bolu

Burada, temel olarak bütüncül ve global bir çözüm sağlayan fotogrametrik dengelemede hedeflenen global modele dair hataların toplamına ilişkin optimizasyon fonksiyonunun minimizasyonu, ölçülerin uyumsuzluğunun belirlenmesi ve ölçülerin güvenilirliklerinin tespiti, ölçülerin dengeleme modeline katkıların, dengeleme modelinde bilinmeyenlerin anlamlılık ölçütleri gibi konuların İHA fotogrametrisinde (SfM) hesaplama sürecinde nasıl yer bulduğu ortaya konmaktadır. Diğer taraftan, lokal gerçeğin verimli bir şekilde yapılmasını amaçlayan SfM hesaplama yaklaşımının geleneksel fotogrametrisinin aynı doğru ve aynı düzlemde var olmaya ilişkin matematik model ve ışın demetleri dengelemesinden nasıl yararlandığı ve geleneksel fotogrametriden ne yönde farklılaştığı tartışılmaktadır. İfade edilen bu farklılıkların, hangi koşul ve çerçevede ölçme disiplininde beklenen doğruluk ve koşulları sağlayacağı ifade edilmektedir.

Yapılan çalışma sonucunda, hesaplama yaklaşımlarındaki farklılıkların yanı sıra;

- Geleneksel spot(noktasal) konumsal doğruluk (yatay ve düşey)
- Yükseklik modelinde noktasal ve kesit doğrulukları,
- Komşuluk ve geometrik ilişkilerin korunması

gibi hususlarda metrikler ortaya konacaktır.



Şekil 2.a Fotograf ve YKN Dağılımı



Şekil 2.b Ortofoto ve YKN Dağılımı



Şekil 2.c Ortofoto

3.5 İki Deney Bölgesinde Yapılan İHA Uçuşları

Ankara bölgesinde İHA ile çekilen fotoğraflar Şekil 2.a, oluşturulan nokta bulutu Şekil 2.b ve ortofoto Şekil 2.c'de sunulmuştur.

Bolu bölgesinde İHA ile çekilen fotoğraflardan bir bloka ait nokta bulutu Şekil 3.a, fotoğrafların dağılımı Şekil 3.b'de sunulmuştur.

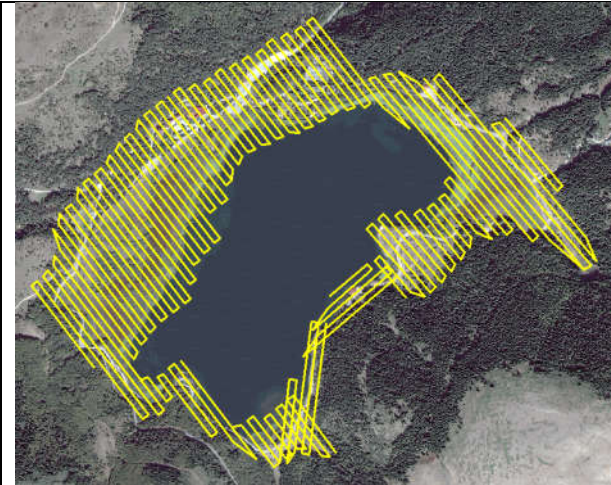


Şekil 3.a Nokta Bulutu

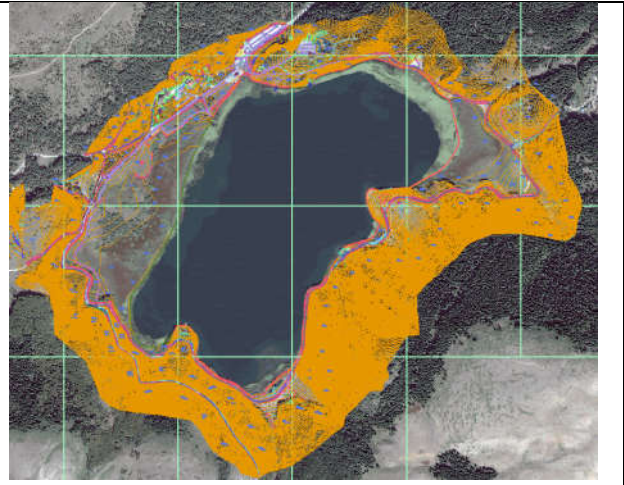


Şekil 3.b Blok tasarımı

Bolu bölgesinde İHA uçuş planı Şekil 4.a, 1:1000 ölçekli halihazır harita kaplama sahası Şekil 3.4'de sunulmuştur.



Şekil 4.a Uçuş Planı



Şekil 4.b Halihazır Harita

4. Global ve Ulusal İHA Pazarı ve Yönelimler

4.1 Global İHA Pazarı: Savunma ve Sivil Sektör

2015 yılı itibariyle 10.1 Milyar USD olan İHA pazarının 2015-2020 döneminde %8.12 büyümeyeyle 14.9 Milyar USD seviyesine çıkacağı değerlendirilmektedir. Burada, talepteki büyük pay askeri, emniyet ve acil durumu da içine alan savunma ve güvenlik sektörlerince oluşturulmaktadır. Her ne kadar pazarın %65'ten fazla bir bölümü ABD tarafından yaratılsa da, İsrail, Çin, İngiltere, Avustralya, Kanada, Fransa ve Türkiye diğer önemli pazar oyuncularındır. İstihdam bakımından önümüzdeki 10 yıl içinde AB'de 150000 yeni iş olanağını yaratacağı yönündeki değerlendirmenin global ve ülkemizde de kuşkusuz benzer gelişme yaratacağıdır (COM 207, 2014; Juul, 2015, UAV Market, 2015).

Sivil sektör İHA pazarının 2015 itibariyle 0.6 milyar USD olduğu ve 5 yıllık dönemde %17 ortalama yıllık büyüyerek yaklaşık 1.5 milyar USD seviyesine geleceği beklenmektedir. Burada, tarım ve kamu uygulamaları tüm sivil İHA sektörünün yarısından fazlası oluşturmaktadır. Bu gelişmeler sonucunda, 2020 itibariyle dünyada 4.7 milyon adet İHA aracının olması beklenmektedir.

4.2 Türkiye İHA Pazarı: Savunma ve Sivil Sektör

Türkiye İHA sektöründe 1990'ların ilk yıllarında başlayan çalışmalar 2004 yılından sonra ivmelenerek, Turna, Keklik, Gözcü, Anka, Çaldıran, Bayraktar, Malazgirt gibi izleme, keşif, görüntüleme ve operasyonel olmak üzere 4.5 kg-1600 kg

aralığında yük kapasiteli (MTOW-Azami Kalkış Yüğü) farklı amaç ve kullanım alanlarına dönük İHA'lar üretilmiştir (Kahvecioğlu et.al. , 2014). Türkiye'de İHA sektörünün büyüklüğü 2015-2020 döneminde 300 milyon USD'den 400 milyon USD'ye çıkması beklenmektedir (Janes, 2010).

Sivil amaçlı İHA üretme çabaları, hem savunma sanayi firmaları hem de devam etmekle birlikte, Pazar büyüklüğü hakkında bilgi mevcut değildir. Sivil amaçlı İHA sektörünün gelişimi, savunma alanında yaratılacak yerel bilgi ve teknolojinin uyarlanması ile olabileceği değerlendirilmektedir.

4.3 İHA Sektöründe Lider Firmalar ve Yönelimler

Sektörde yenilikçilikleri ile pazar oluşturan ve önde gelen üreticiler genellikle son 10-15 yıl içinde start-up olarak başlayan firmalardır. Örnek vermek gerekirse, DJI (Çin), Parrot (Fransa) ABD'de AeroVironment (ABD), 3D Robotics (ABD), Titan Aerospace (ABD), Aurora Flight Sciences (ABD) sektörde liderlik yapan firmalardır (Canis, 2015).

Üretici firmalarca geliştirilen İHA yazılımlarına ek olarak uçuş planlama, uçuş kontrol, sensör kontrol ve veri transferine dönük açık kaynak İHA yazılım platformları Intel ve Linux'un da yer aldığı açık kaynak platformlarınca geliştirilmektedir. Ayrıca, İHA sektöründeki hızlı gelişme standartlaştırma ihtiyacını da ortaya çıkarmıştır. Bu çerçevede ETHZ tarafından geliştirilen İHA yazılımının temel standart olması amacıyla çalışma başlatılmıştır.

Google'ın geliştirdiği İHA teknolojisi, haritalama, iletişim ve internet erişimi amaçlı çok-çok büyük boyutu (yolcu uçağından büyük), güç kaynağını güneş enerjisinden alan, Troposferin ötesinde, Stratosfer (~ 20 km) içinde seyir yeteneğine sahip olmanın yanı sıra yeni kullanım alanı açacaktır.

4.4 İHA Pazar Gelişimini Etkileyen Faktörler

Her ne kadar pazar ve uygulamaya düzenleme getiren ulusal ve uluslararası (ICAO, FAA, AB) mevzuat oluşumları sebebiyle uzun dönemli projeksiyon yapmada belirsizlik yaratsa da pazardaki büyümenin %10 seviyesinde gerçekleşeceği görülmektedir.

İHA sektörünün gelişim hızını belirleyen üç ana faktör; (1) yetkili ulusal/uluslararası organizasyonlar tarafından yapılan İHA test ve sertifikasyonu, (2) özel hayatın gizliliğine dair hukuki sınırlamalar, (3) çarpışmadan kaçınma ve karmaşık hava sahası yönetimi sistemlerindeki gelişmeleri içermektedir.

5. İHA Hukuki Altyapısı

5.1 İHA Güvenliği ve Kazalar

2015 yılında Beyaz Saray'a yanlışlıkla inen İHA'nın yanı sıra Atatürk Havalimanı gibi çok sayıda havaalanı çevresinde ve üzerinde uçurulan ve terör eylemlerinde kullanılan İHA'ların güvenliği ne ölçüde tehdit ettiği açıktır. Savunma ve askeri amaçlı İHA'larda, açık kaynak bilgi ile elde edilen 2007-2014 dönemindeki kaza sayısı 200'ün üzerindedir. 2012 yılında Güney Kore'de GPS sinyali karıştırılması sonucunda gerçekleşen kazada iki kişinin ölmesi, 2014'te Alman başbakanının karşılaştığı İHA saldırısı, 2016'da İngiltere'de trafikteki bir aracın İHA ile takip edilmesi sonucunda ölümlü kaza olması İHA'nın genel güvenlik, toplum güvenliği ve bireysel güvenlik açılarından dikkatle irdelenmesini zorunlu kılmıştır.

Yalnızca gerçekleşen ya da gerçekleşmesi olası kazalar dolayısıyla İHA sektörünün hukuki altyapısının oluşturulması dahi elzem bir ihtiyaç iken; bunun ötesinde, sigorta, ticaret, sertifikasyon, güvenlik vd. alanları içeren daha kapsamlı mevzuata ihtiyaç olduğu gerçeği göz ardı edilemez.

5.2 İHA Sektörünü Düzenleyen Hukuki Altyapı

5.2.1. İHA'nın Uluslararası Hukuki Altyapı ve Referanslar

İHA mevzuatları temel olarak, ulusal mevzuata ek olarak Şikago Konferansı (UN Chicago Convention-1944) ile ortaya konan Uluslararası Sivil Havacılık Sözleşmesi ile buna dayalı kurulan (1947) Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (International Civil Aviation Organization-ICAO) yayınları ve uluslararası sözleşmelere dayanmaktadır (Cary, et.al., 2011, UAS ICAO, 2011).

İHA mevzuat oluşturma bakımından ICAO'nun 2011 yılında yayımladığı düzenlemenin ardından; ABD, AB, Avustralya, İsveç, İngiltere, Kanada vd. bazı ülkelerin mevzuat uygulama ve deneyimleri takip etmiştir.

5.2.2. Türkiye'de İHA Hukuki Altyapısı

Öncesinde, Türkiye sivil havacılık alanını düzenleyen 5431 ve 2920 sayılı kanunlar esas alınırken, 2010'lardan itibaren başlayan yasal zemin oluşturma ve mevzuat çalışmaları, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) tarafından 5431 ve 2920 sayılı kanunlara istinaden "İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Ayrılmış Hava Sahalarındaki Operasyonlarının Usul ve Esaslarına İlişkin Talimat (SHT-IHA)" 30 Ekim 2013 yılında yayımlanarak daha özel bir hukuki altyapı oluşturulmuştur.

Bu düzenlemedeki eksiklikler ile zaman içinde oluşan deneyimin de yansıtıldığı ikinci özel düzenleme 22 Şubat 2016 tarihinde yine SHGM tarafından ‘İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı (SHT-İHA)’ yayımlanmıştır (Dikmen, 2015; SHT-İHA 2013; SHT-İHA 201;).

SHT-İHA Talimatı ile, havacılık hukukunun temel üç konusu olan; hava sahasına entegrasyon/hava trafik yönetimi, uçuşa elverişlilik sertifikasyonu, İHA pilot/operatör lisansı ve sertifikasyonu konularına açıklık getirilmiştir. Bunun yanı sıra, kaza durumunda sorumluluk, amaç dışı kullanıma, özel hayatın gizliliğine karşı koruma ve İHA’ların meskun ve kalabalık alanlara yakın bölgede kullanımına sınırlama getirilmiştir.

Türkiye’de olduğu gibi, İHA konusunda hukuki düzenleme gerçekleştirmiş çok sayıda ülkede 25-30 kg üzeri ağırlıklı İHA sivil havacılık mevzuatına tabidir. Bunun altındaki ağırlıktaki İHA’lar ise kamu kurumları ya da yerel yönetimlerin gözetim ve iznine tabidir. SHGM tarafından Türkiye’de de uygulanabilirliği olan ve ICAO sözleşmelerinde konan limitleri de dikkate alarak hazırlanan söz konusu talimat çerçevesinde; azami kalkış ağırlığı 500 gr’dan daha az, uçabilen oyuncaklar hariç tüm diğer kategoriler için sırasıyla ithalat, kayıt, uçuş izni, sertifikasyon, pilotaj, sigorta ve sivil havacılık kurallarına uygun operasyona doğru genişleyen operatif ve izin sınırlamaları konmaktadır. Tablo’2 de ağırlığına göre sınıflandırılan İHA’lara uygulanan prosedürlere ilişkin özet verilmiştir.

Tablo 1: İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı (SHT-İHA)’ Özet Tablosu

Tablo 2: SHGM, ‘İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı (SHT-İHA)’ Özet Tablosu

TÜR	Min-Ağırlık (kg)	Maks-Ağırlık (kg)	İthalat	Kayıt	Uçuş İzin	Uçuşa Elverişlilik Sertifikası	Pilot, Lisans	Sigorta	NOTA M
Kategori Dışı	...	0.5			-	-	-	Sorumlu	
IHA0	0.5	4	Katalog, standart	Kayıt	-, Uçuş Operasyon El Kitabı	-	Eğitim, Kayıt	Sorumlu	Meskun
IHA1	4	25	Katalog, standart	Kayıt, Acil durum iniş	+, Uçuş Operasyon El Kitabı	+	Eğitim, Kayıt	Sorumlu	Meskun
IHA2	25	150	Uçuşa Elverişlilik Sertifikası	Tescil, Hava trafik ünitesi ile haberleşme	+, Onaylı Uçuş Operasyon El Kitabı	+	Pilot Eğitim, Lisans	Sorumlu, Sigorta	Tüm
IHA3	150	...	Uçuşa Elverişlilik Sertifikası, Test	Tescil, Algı, sakın	+, Onaylı Uçuş Operasyon El Kitabı	3 yılda yenileme, Servis bülteni, bakım	Pilot Eğitim, Lisans	Sorumlu, Sigorta	Tüm

6. Sonuçlar

Burada, İHA tanımı, kısa tarihçesi, teknolojisi, harita ve kadaströ ölçmelerinde kullanılması, sektör büyüklüğü, sektör yönelimi, hukuki altyapı konularında özet bilgi sunulmuştur.

Yeni teknolojilere uyum ve uygulamanın mevzuattaki gelişmelerin önünde ilerlemesi, arada oluşan boşluğun doldurulması konusunda ülke haritacılık sektöründe belirleyici olan kurum, birlik ve birliklerin yeterli ölçüde rol almaması gelecekte telafisi güç sonuçlar doğurması muhtemeldir. Bildiri kapsamında ilk aşaması hakkında bilgi sunulan İHA fotogrametrisinin ölçme çalışmalarında nasıl yere alabileceğine ilişkin çalışmanın Türkiye ölçeğinde, İHA uygulamalarındaki belirsizliğin giderilmesine katkı sağlanması beklenmektedir.

Bu çerçevede, EuroSDR’ın deneyimine benzer şekilde, İHA fotogrametrisinin (SfM) ölçme çalışmalarına katkısını belirlemek amaçlı tasarlanan iki deney için İHA ile fotoğraf çekimi, ilk analizler hakkında bilgi verilmiştir.

Bu arada, özel sektör yatırım ve kararlarında; global ve ulusal İHA sektörünün yönelimi, uluslararası ve ulusal havacılık alanındaki var olan düzenlemelerin bağlayıcılığı ve ülkenin genel güvenlik ve savunma koşullarının dikkate alınmaması kaynakların yerinde kullanılmaması, ticari karar ve faaliyetlerin beklenen sonucu vermemesine sebep olabileceği değerlendirilmektedir.

Kaynaklar

Canis, B (2015): Unmanned Aircraft Systems 8UAS): Commercial Outlook for New Industry, Congressional Research Service, CRS Report, 7-5700 , R44192

Cary, L, J. Coyne (2011): ICAO Unmanned Aircraft Systems (UAS), Circular 328, 2011-2012 UAS Yearbook - UAS: The Global Perspective – 9th Edition - June 2011 - Blyenburgh & Co © - www.uvs-info.com - Page: 112/216

- Colomina, I., P. Molina (2014): Unmanned Aerial System for Photogrammetry and Remote Sensing, ISPRS JOURNAL OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, JUNE 2014
- COM (2014) 207 (2014): A new era for aviation Opening the aviation market to the civil use of remotely piloted aircraft systems in a safe and sustainable manner, EUROPEAN COMMISSION, Brussels, 8.4.2014, COM(2014) 207 final
- Cramer, M et.al. (2013): On The Use of RPAS in National Mapping – The EuroSDR Point of View, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W2, 2013, UAV-g2013, 4 – 6 September 2013, Rostock, Germany
- Cryderman, C, A. Shufletoski (2015): Evaluation of UAV Photogrammetric Accuracy for Mapping and Earthworks Computations, GEOMATICA Vol. 68, No. 4, 2014 pp. 309 to 317
- Dikmen, M. (2015): İnsansız Hava Aracı (İHA) Sistemlerinin Hava Hukuku Bakiminden İncelenmesi, Savunma Bilimleri Dergisi, The Journal of Defense Sciences Mayıs/May 2015, Cilt/Volume 14, Sayı/Issue 1, 145-176.
- Draeyer,B., C. Strecha (2014): White paper: How accurate are UAV surveying methods? Pix4D White paper, February 2014
- Kahvecioglu, S., H. Oktal (2014): Turkish UAV capabilities as a new competitor in the market, International Journal of Intelligent Unmanned Systems, Vol. 2 Iss 3 pp. 183 – 191
- Janes DS Forecast (2010): COTS Journal, The Journal of Military Electronics and Computing, Volume 12 Number 3 March 2010, RTC Group Publication
- Juul, M (2015): Civil drones in the European Union, European Parliment, EPRS | European Parliamentary Research Service, October 2015
- SHT-İHA 2013 (2013): İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Ayrılmış Hava Sahalarındaki Operasyonlarının Usul Ve Esaslarına İlişkin Talimat (Sht-İha), Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
- SHT-İHA 2015 (2015): İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, Ankara
- Timothy H. Cox, et.al (2004): Civil UAV Capability Assesment, December 2004, NASA
- Torun, A.(2015): İnsansız Hava Sistemleri, Haritacılık, Fotogrametri Uygumaları ve Hesaplama Süreci, HKMO İHA Fotogrametri Eğitimi Notları (Yansılar), Ankara
- Torun, A. (2016): Integrating Geospatial Technologies: Reflections on Intergeo 2016, GIM International, November 2016
- Torun, A. (2017): İnsansız Hava Aracı (İHA) Sektöründe Trend: İHA Fotogrametrisi Bakışıyla, TUFUAB Sempozyumu, Afyon
- UAV Market-2015 (2015): The Global UAV Market 2015–2025, Ref Cpde: DF0060SR, Jan 2015
- UAS ICAO (2011): Unmanned Aircraft Systems (UAS), Cir 328 AN/190, International Civil Aviation Organization
- UAS PIEngineering (2012): Aspects of Accuracy in UAS Photogrammetry, White Paper Version 1.0.PIEngineering Ltd