

İnsansız Hava Aracı (İHA) Sektöründe Trend: İHA Fotogrametrisi Bakışıyla

Abdulvahit Torun

Aperigae Bilgi Teknolojileri Danışmanlık, Ankara, Türkiye.
abdulvahit.torun@aperigae.com

Geliş Tarihi: 27.01.2017 ; Kabul Tarihi: 04.08.2017

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 itibarıyla yaklaşık 15 milyar USD genişlemeye ulaşması beklenmektedir.İHA fotogrametrisi (Structure from Motion-SfM) özellikle tarım, madencilik, havadan fotoğraflama, 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.

Anahtar kelimeler

İHA, fotogrametri,
harita, ölçme,
doğruluk, sektör

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 bulgular ortaya konmaktadır. Ayrıca uzun bir değerlendirme bölümü ile İHA fotogrametrisinin uygulamada mülkiyet ilişkisini belirlemede yaratacağı sakıncalar ve buna ortam hazırlaya çevresel koşullar tartışılmaktadır.

The Trend in Unmanned Aerial Systems: From the Perspective of UAV Photogrammetry

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.

Keywords

UAV, photogrammetry,
mapping, surveying,
accuracy, sector

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. Besides, a long evaluation chapter is dedicated to the the problems that would be faced with because of a neo-liberal and limitless UAV photogrammetry use in property measurement as well as the environment which creates this occasion.

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 Torun (2016)'da erişilebilir.

Bu çalışmada öncelikle İHA'nın kısa tarihi ve İHA'yı oluşturan alt parçalar hakkında kısa bilgi verildikten sonra Structure from Motion (SfM), İHA fotogrametrisi, İHA fotogrametrisinin uygulandığı alanlar, Dünya, Avrupa ve Türkiye'de İHA fotogrametrisi uygulamaları ve araştırmaları hakkında geniş bir literatür verilmekte ve Aperigae tarafından başlatılan çalışmanın çerçevesi ve diğer çalışmalardan olan farklılığı ortaya konmaktadır (Bölüm 2). Bölüm 3'te İHA fotogrametrisi ile ölçme, İHA fotogrametrisi ile geleneksel fotogrametri arasındaki genel farklılık ve hesaplama, dengeleme süreçlerinin karşılaştırılması, İHA fotogrametrisinin ölçme alanında sağlayabileceği katkı alanları, Aperigae tarafından yürütülmekte olan 'İHA Fotogrametrisinin Ölçede Kullanılabilirliği' konulu projenin çerçevesi, amaç, kapsam ve hedefleri ile bugüne kadar gerçekleştirilen aşamalar hakkında bilgi sunulmaktadır. Dördüncü Bölümde, İHA askeri ve sivil sektörü, Dünya ve Türkiye pazarının büyüklüğü, Dünya İHA sektöründe yönelimler, sektörün kısıtları hakkında bilgi sunulmaktadır. İHA hukuku, uluslararası ve ulusal hukuki altyapı, risk ve kazalarda sorunluluk ile Türkiye'de sektörde sağlanan hukuki düzenlemenin çerçevesi, amacı ve

etkileri tartışılmaktadır. Son Bölümde, Türkiye Haritacılık Sektörünün dışa kapalı karakteristiği, dışa kapalılığın İHA fotogrametrisinin mülkiyet ilişkilerinde kullanılmasında olduğu gibi aşırıya giden kontrolsüz uygulamaların altyapısını hazırlayan çevresel (environemnt) koşullar, gelişmiş ekonomisi olan Dünya ülkeleri ve Türkiye İHA sektörlerinin birbirinden farklılaşmasının altında yatan nedenler ortaya konmaktadır. Son olarak da, İAH fotogrametrisi uygulamasından çıkarılan derslerden yola çıkarak sektörün ana unsurlarının rolleri hatırlatılmaktadır.

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 (Canis, 2015; Colomina et.al., 2014).

Sivil İHA sektörü, II. Dünya Savaşından sonra gelişmekle birlikte model uçak kulüpleri ve hobi sahiplerinin talepleri ile gelişmiştir. Ancak; İHA'nın pratik sivil problemler için kullanımı konusu 2000'li yılların başından itibaren ABD NASA, ABD Pennsylvania Üniversitesi, İsviçre ETHZ ve başka birkaç araştırmacının öncülük ettiği çalışmalarla hız kazanmıştır (Altuğ et.al., 2002; Altuğ et.al., 2003,

Altuğ et.al., 2005, Eisenbeiss, 2004; Timothy et.al, 2004).

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; Torun, 2017-1; Torun, 2017-2).

İHA global ölçekte en yaygın olarak uygulama alanı bulunduğu ilk beş sektör; emlak ve inşaat, fotogrametri (havadan ölçme), film/hava fotoğrafçılığı, tarım ve havadan izleme (takip) faaliyetlerini içermektedir (Canis, 2015).

2.3.Geçmiş Çalışmalar ve Çalışmamızın Çerçevesi

SfM ve İHA fotogrametrisi konusunda, verimlilik, hesaplama yaklaşımları, matematiksel modelleme, İHA fotogrametrisinin geleneksel fotogrametri ile olan farklılıkları konularında 2000'li yılların başından bu tarafa özellikle bilgisayarlı görü (computer vision) alanında sayılamayacak çalışma yayımlanmıştır. İHA fotogrametrisinin, mühendislik ve yer bilimleri uygulamalarında kullanımına ilişkin çalışmalar ise genel olarak referans alınabilecek bir küme spot/noktasal veriye göre karşılaştırmaya dayanan doğruluk çalışmalarıdır. Haritacılık ve ölçme alanlarında İHA fotogrametrisinin kullanımına dönük test çalışmaları, 2000'li yılların sonu ve 2010'lu yılların başında literatürde yer alsa da, bunun geleneksel fotogrametriden ayrı olarak doğruluk yerine verimliliği öne almasından dolayı haritacılık, geomatik, fotogrametri disiplinlerinde ağırlığı olan ekip ve üniversitelerin araştırmaları arasında yer almamıştır. (Cramer et.al., 2013; Cryderman et.al, 2015;Haala, N, S. Cavegn, 2017; Draeyer et.al, 2014; Torun, 2016; UAS

PIEngineering, 2012; Torun, 2017-1; Torun, 2017-2).

Lineer olmayan modellerin optimizasyonu ve SfM ile sahne geriçatımı konusunda, geometrik yaklaşımlar ve özellikle ışın demeti dengelemesinin lineer olmayan çözümleri ve kamera konum hataları konusunda Triggs, B. Et.al. (2010), Micheletti, N., et.al. (2015), Teunissen, P.J.G. (1985), Larsson, V. Et.al. (2016)ve bununla bağlantılı olarak SfM'in barındırdığı hatalara dair eleştiri Grun ve Akca, D. (2007) tarafından ortaya konmuştur.

Uygulamada, jeomorfoloji, orman, tarım, emlak alanlarında Mlambo, R. Et.al. (2017), Sung-Eon Hong (2016) tarafından da ortaya konan çok sayıda çalışma mevcuttur.

ETHZ'deki ilk İHA konusundaki tez olması bakımından Eisenbeiss, H. (2009) önem taşımaktadır. Ayrıca, Avrupa harita-kadastro kurumlarının tutumunu ortaya koyan proje ve test çalışmalarını Cramer, M. (2013), Crommelinck, S et.al. (2016), Manyoky, M. Et.al. (2011)'de sunulmaktadır.

Güney Amerika, Afrika ve Asya ülkelerinde kadastral uygulama için analizler, Ramadhani, S.A. (2016), Muneza J et.al. (2015), Volkmann, W, G.Barnes (2014), Kedzierski, M. (2015), Park, J.K., D.W. Park (2015) tarafından ortaya konmaktadır.

İHA fotogrametrisi ile elde edilen ürünlerin spot/noktasal bir referans kümesi ile karşılaştırılmasını içeren doğruluk ve bunun yer bilimlerinde kullanılabilirliği konusunda, Mesas-Carrascosa, F.J. (2014), James, M.R., S.Robson (2014), Westoby, M.J. et.al. (2012), Harwin, S., A.Lucieer (2012) tarafından yapılan çalışmalar mevcuttur.

Türkiye'de, sayısı çok olmakla birlikte hem uygulamada en uç düzeyi göstermesi, hem de bir kamu kurumu tarafından yapılan İHA fotogrametrisinden elde edilen ortofoto doğruluğunun yansıtıldığı test çalışması hakkında olması sebebiyle öne çıkan iki çalışma Ayyıldız, E.

Vd. (2015) ve Yılmaz, D. (2015) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Türkiye'deki literatür ve uygulamalara bakıldığında, İHA fotogrametrisinin 2013 yılından bu tarafa test, değerlendirme, doğruluk analizi başlıkları altında çok sayıda çalışma yapılmasına karşın, doğruluğun öne alındığı haritacılık, ölçme, dengeleme gibi alanların beklentilerini karşılar tarzda, SfM ve İHA fotogrametrisinin matematik, hesaplama ve modelleme temellerini dikkate almadığı kanısındayız.

Bunun yanı sıra, kamu kurumlarının harita, geo-enformasyon, geomatik ve diğer mekânsal bilgiye ilişkin ortak platformu niteliğindeki BHİKPK-BARKOK'un 2014 yılı görevleri arasında yer almasına (BHİKPK, 2014), 2014 yılı sonundan itibaren de HKMO yönetimine konuyla ilgili test yapılmasına ilişkin girişimler halen sonuçsuz durumdadır (HKMO, 2016).

Bu çalışmada, İHA fotogrametrisinin haritacılık ve haritacılık ölçmeleri bakımından dünyada konumlandırılması yapılmış olmakla birlikte, Türkiye'de bu alanda dikkate değer çalışma mevcut değildir. Var olan çalışmalar, geleneksel fotogrametri ve İHA fotogrametrisi arasındaki yaklaşım, matematiksel model, dengeleme ve hesaplama yaklaşımlarının farklılığını ortaya koymaktan çok, İHA fotogrametrisi ile elde edilen ürünlerden nokta bulutu ve ortofotonun referans alınan spot/noktasal bir küme ile karşılaştırılmasına yoğunlaşmıştır. Ayrıca, İHA fotogrametrisinin lokal minimaya dayalı optimizasyon yaklaşımının doğrusal ve topolojik ilişkiler üzerinde oluşturduğu etki genel olarak ele alınmamıştır.

Buradaki çalışmamızda, ilk aşamada olan çalışmamızın yukarıda boş bırakılan alanları doldurmak amacıyla yaptığı hazırlık ve ön analiz aşamaları sunulmuştur.

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 fotogrametrisinin 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. Diğer ise, geleneksel fotogrametriin global çözüm oluşturmada temel oluşturan sensör kamera merceği niteliği ve merceğin 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. Geleneksel Fotogrametri ve İHA Fotogrametrisi

Sonuç ürün odaklı yaklaşıldığında fotogrametri ile İHA fotogrametrisi (Structure from Motion) arasında fark gözlenmese 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; Torun, 2017-1; Torun, 2017-2). Geleneksel fotogrametriye ilişkin olarak, Ghilani, C.D., P.R. Wolf (2006), Wolf, P.R., B.A. Dewitt (2000), Mikhail, E.M., J.S. Bethel, J. C. McGlone(2001)'de genel dengeleme, lineer olmayan modellerin lineerleştirilmesi, dengelemede matematiksel ve stokastik model ve fotogrametriye yönelik ışın demetleri ile dengeleme -son iki referansta- verilmektedir.

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 kullanılabileceği şeklinde farklı yaklaşımlarını ortaya koymuştur (Cramer et.al., 2013).

3.1.1.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 yoğun 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 geri-çatım ile nesne yüzeyi ya da katı nesne modeli oluşturma,

- Oluşturulan yüzeye görüntü giydirme (texturing),

- İHA fotogrametrisi, SfM ile oluşturulan modelin referanslanarak geleneksel fotogrametrisinin de konusunu oluşturan ortofoto, sayısal yüzey modeli ve konum ve yöneltme parametreleri belirlenmiş fotoğrafların oluşturulmasıdır.

3.1.2.Geleneksel Fotogrametride Modelleme ve Hesaplama

Fotogramterik yaklaşımla mekânsal veri elde etme süreç bakımından; görüntü (fotoğraf) alımı, hava triangülasyonu (dengeleme) ve stereo veri çıkarma aşamalarından oluşmaktadır. Burada, doğruluk, tekrar edilebilirlik ve istatistiksel yaklaşımlarla ölçülerin hatalarının ve model ile uyumlarının kontrolü haritalama ve ölçme disiplinleri bakımından en önemli unsurdur. Bunlar;

Amaç: İstatistiksel olarak (normal dağılımda) kontrol edilebilir parametre tahmini yapmak.

Fotoğraf Çekimi (Görüntü Alma): Fiziksel ekipman, ekipmanın geometrik özellikleri ve model hakkında tam bilgi sahibi olarak görüntü almak.

Bağlama ve Kontrol Noktası Seçimi: Görüntü vebobje uzayı arasında ilişkiyi tanımlayan, manuel ya da eşleme algoritmaları yardımıyla nokta seçmek.

Matematik Model: Görüntü ve obje uzayı arasındaki ışınların ve algılayıcının fiziksel özellikleri (gerekmesi halinde genişletilmiş model) ortaya koyan ilişkiyi ko-linearite ve ko-planerite kabullerine dayanarak tanımlamak.

Stokastik Model: Ölçülerinkalitesi ve birbiriyle ilişkileri, ölçülerlineer bağımsız ve normal dağılımda olma özelliklerini tanımlamak.

Çözüm-Parametre Tahmini: Fotoğraf, algılayıcının fiziksel özellikleri (gerekli durumda) ve obje uzayındaki diğer bilinmeyenlerin, aralarındaki

ilişkiler stokastik model ile tanımlıyken, lineerleştirilmiş ölçü denklemlerini ışın demeti dengelemesinin en küçük kareler (Gauss Markof) yöntemiyle, global optimizasyonu sağlayan en iyi tahmini yapmaktadır.

Tahmin Edilenler: Fotoğraf konum bilgileri ve kamera ve diğer fiziksel olgulara ilişkin fiziksel büyüklüklere.

Hata ve İstatistiksel Metrikler: Global Modelin geçerliliği ve normal (Gauss) dağılım seçiminden dolayı hatalara duyarlılığı, tahmin edilen fiziksel parametrelerin anlamlılığı, ölçülerin uyumluluğu, bilinmeyenlerin hataları, ölçülerin dengelemeye olan katkılarını yansıtan güven ölçütlerini de içeren tüm hesaplama sürecinin istatistiksel olarak kontrol edilebilir şekilde izlenmesidir.

Yukarıda ortaya konan en küçük karelerle (EKK) ışın demeti dengelemesi (Gauss Markof Modeli), ölçülerin normal dağılımlı bir kümeden seçilmiş olma koşulunu sağlaması sebebiyle hatalara son derece duyarlıdır. Bundan dolayı, ölçülerin tahmin değerine yeterli yakınsamaması halinde, dengelemede yakınsamanın gerçekleşmemesi ya da modelin hatalı olması söz konusudur. EKK'in bu zayıf yanı, haritacılık ve ölçme disiplininin doğasından gelen düşük varyanslı ölçülerle oluşturulan matematik-stokastik modellerin beklenen doğruluğu sağlamasına katkıda bulunmaktadır.

3.1.3. İHA Fotogrametrisinde Modelleme ve Hesaplama

İHA fotogrametrisinin, geleneksel fotogrametriden ayıran temel unsurlar; fotogrametride doğruluğu yüksek veri elde etme amaçlı parametre tahmini hedeflenirken, İHA fotogrametrisinde nesneyi çevre saran fotoğraflardan (belirli bir geometri hedeflenmeden) nesnenin geri-çatımının hızlı ve verimli şekilde (re-construction) oluşturulmasıdır. Bu temel ayrışma, birinde doğruluk, diğerinde ise hızı öne alan iki ayrı yaklaşımının kullanılmasını getirmektedir. Aşağıda, İHA fotogrametrisinde izlenen hesaplama süreci ve bunun geleneksel fotogrametriden farkı ortaya konmaktadır.

Amaç: Parametre tahmini yerine, asıl, nesne geri çatımı ile panoramanın oluşturulması.

Seyrek Nokta Bulutu Oluşturma: Lineer olmayan modelde lokal minimumun hesabında hızlı yakınsamayı sağlamak amacıyla, önce eşleme, ardından anahtar nokta seçimi ve bunlar arasında filtreleme yaparak, kamera izdüşümü parametrelerinin tahmini için yaklaşık değer oluşturulması. Bu yaklaşık değerlerle, öncelikle resim çiftlerinden rastgele bir referans sisteminde nokta bulutu oluşturulması, ardından da ışın demeti dengelemesi ile nokta bulutlarının bütünlüğünü sağlamak. Burada, öncelikle, farklı filtreleme yaklaşımlarıyla çok boyutlu detay vektörü (feature vector) oluşturularak, eşleme yapılmakta ve yeterli anahtar nokta seçilmektedir. Bu aşama, İHA fotogrametrisinde, en öncelikli aşamadır; şöyle ki, burada elde edilen kamera parametreleri kullanılarak sonraki aşamalarda her bir piksel (grid) için yoğun nokta bulutu oluşturulacaktır.

Matematik Model: Görüntü üzerinde seçilen anahtar noktalar kullanılarak ve rastgele seçilen obje uzayında eşleşen noktalardan yararlanarak, kamera konum ve pozisyonu ile her bir poz için tanımlanabilen kamera fiziksel parametrelerinin tahminini yapmak.

Stokastik Model: Ölçüler ve kamera konumları (nokta projeksiyonu) için EKK yönteminde olduğu gibi, normal dağılımda olma koşulu yoktur.

Çözüm-Parametre Tahmini: Oluşturulan resim çifti nokta bulutlarının bütünleştirilmesi için ise lineer olmayan matematiksel model üzerinde ışın demeti dengelemesi metodu uygulanmaktadır. Burada, geleneksel fotogrametride varılan global çözümün aksine, lokal minima ile yakınsayan lineer olmayan denklem, hiyerarşik ve aşamalı çözüm yöntemlerinden Gradient Descent, Newton-Raphson, Gauss-Newton, Levenberg-Marquardt yöntemlerinden biri ya da yakınsama stratejisine ve anahtar nokta yaklaşık değerlerinin umut değere olan yakınlığına bağlı olarak birden fazla yöntem kullanılarak ışın demeti dengelemesi gerçekleştirilmektedir.

Tahmin Edilenler: Önce Kamera konumu, dilendiği takdirde her bir poz durumu için ayrı kamera bilinmeyenleri (fiziksel büyüklük) belirlenmekte

ardından da iteratif ve hiyerarşik bir yaklaşımla seyrek nokta bulutları hesaplanmakta, daha sonra da bunların uyuşturulması ve bütünleştirilmesi yukarıda ifade edilen yöntemler kullanılarakın demeti dengelemesi ile yapılmaktadır.

Yoğun Nokta Bulutu Oluşturma: İteratif ve hiyerarşik bir yaklaşımla kamera konumları (dilendiği takdirde her bir poz ayrı kamera olarak tanımlanabilir.) ile seyrek nokta bulutu kullanılarak yoğun nokta bulutu hesaplanmaktadır.

Dönüşüm: Önceki aşamalarda rastgele tanımlı bir referans sistemi ile gerçekleştirilen hesaplama ve parametre tahminine dayanarak oluşturulan yoğun nokta bulutu, obje uzayında tanımlı bir küme referans nokta (Yer kontrol noktası kümesi) ile seçilen bir dönüşüm yöntemi kullanılarak, hedef referans sistemine dönüştürülmektedir. Dönüştürülen bu hedef referans sisteminde, sayısal yüzey modeli ve ortofoto oluşturulmaktadır.

İstatistiksel Analiz: Hesaplamalarda ölçülerin istatistiksel özelliklerini belirleme, uyuşumsuz ölçülerin elenmesi, güven ölçütleri gibi ölçü, model ve bilinmeyenlerin doğruluğuna ilişkin bir yaklaşım ve hesaplama panoramanın geri çatımı amacını taşıyan İHA fotogrametrisinde öncelik değildir. Ölçülerin alındığı universal kümenin, global model testi için gerekli dengeleme öncesi ve sonrası ölçülerin aynı normal dağılımlı universal kümeden alınması koşulu, parametrelerin, ölçülerin, tutarlılık, anlamlılık, uyuşumluluk ve güveniliğine ilişkin metrik ve ölçütler, amacı geriçatım olan İHA fotogrametrisinde temel beklenti değildir.

3.2.İHA Fotogrametrisinin Ölçme Çalışmalarına Katkısı

İHA fotogrametrisi özellikle tarım, madencilik, havadan fotoğraflama, 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 araştırmacıların 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 almaları yoluyla kaynaklarını yerinde kullanmaları, ticari karar ve faaliyetlerinin beklenen sonucu vermesine altyapı oluşturulmasına yardımcı olunması amaçlanmıştır.

3.3.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.

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 geriçatımın verimli bir şekilde yapılmasını amaçlayan SfM hesaplama yaklaşımının geleneksel fotogrametrisinin aynı doğru ve aynı düzlemde var olmaya ilişkin matematiksel model ve ışın demetleri dengelemesinden nasıl yararlandığı ve geleneksel fotogrametriden ne yönde farklılaştığı tartışılmaktadır. İfade edilen bu farklılıkların, hangi koşul ve çerçevede ölçme disiplini beklenen doğruluk ve koşulları sağlayacağı ifade edilmektedir.

Yapılan çalışma sonucunda, hesaplamayaklaşımlarındaki 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.

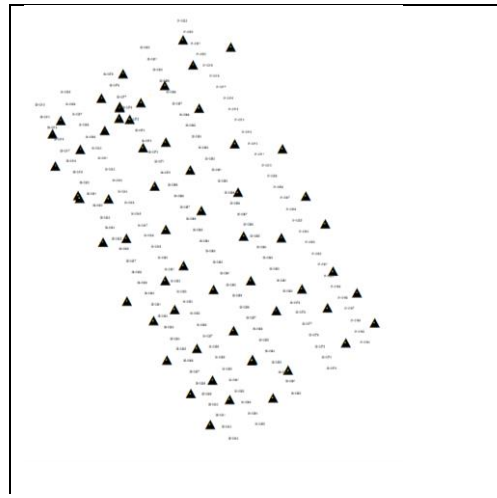
Tablo 1. İHA Fotogrametrisi Analizi Amaçlı Tasarlanan Deney İstatistikleri

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
Fotoğraf	151	~ 1500
YKN	60	~200
Bölge	Ankara	Bolu

3.4.İki Deney Bölgesinde Yapılan İHA Uçuşları ve Projenin Kısa Çerçevesi

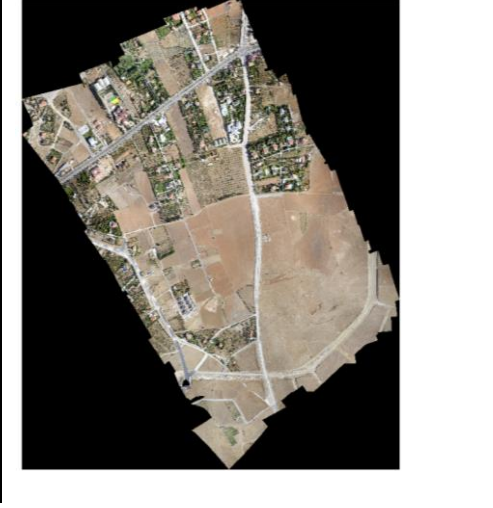
Ankara bölgesinde İHA ile çekilen fotoğraflar Şekil 1.a, oluşturulan nokta bulutu Şekil 1.b ve ortofoto Şekil 1.c’de sunulmuştur.



Şekil 1.a Fotoğraf ve YKN Dağılımı



Şekil 1.b Ortofoto ve YKN Dağılımı



Şekil 1.c Ortofoto

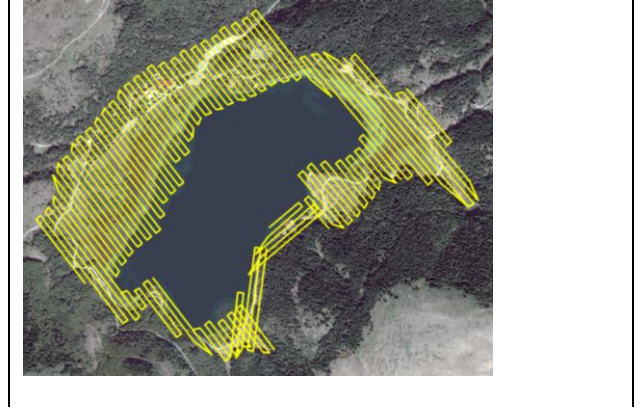
Bolu bölgesinde İHA ile çekilen fotoğraflardan bir bloka ait nokta bulutu Şekil 2.a, fotoğrafların dağılımı Şekil 2.b’de sunulmuştur.



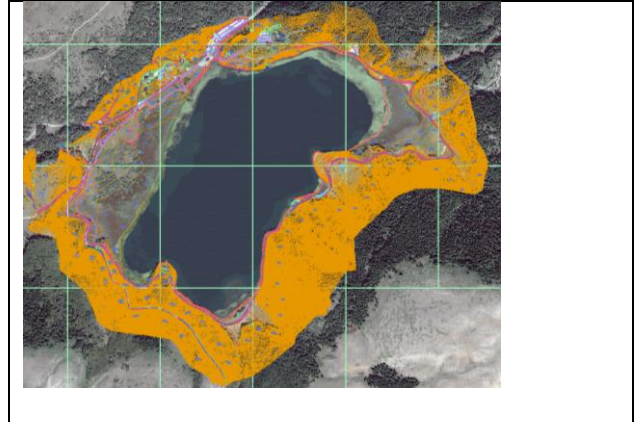
Şekil 2.a Nokta Bulutu



Şekil 2.b Blok tasarımı



Şekil 3.a Uçuş Planı



Şekil 3.b Halihazır Harita

3.5.İHA Fotogrametrisinin Haritalama ve Ölçmede Kullanılmasının Testi Projenin Kısa Çerçevesi

Amaç: İHA Fotg, Ölçmede Kullanılabilirliğinin Belirlenmesi.

Hedef: Uygulama Alanı Belirleme

- Kadastral, Halihazır haritalamada
- Arazi Modeli, Ortofoto oluşturmada
- Diğer Disiplin ve Uygulamalarda, İHA fotogrametrisinin kullanılabilirliğinin belirlenmesi.

Çerçeve: SfM, İHA Fotogrametrisi, Matematik-İstatistik Model ve Yaklaşım Analizi

- Matematik, İstatistik Model, Hesaplama Yaklaşımı (Kısmi gerçekleştirildi),
- Sonuç Veri Karşılaştırma: Spot (Nokta), Çizgisel, Alansal, Topolojik İlişkiler bakımlarından ayrıntılı analiz yapılması (Şekil 4).

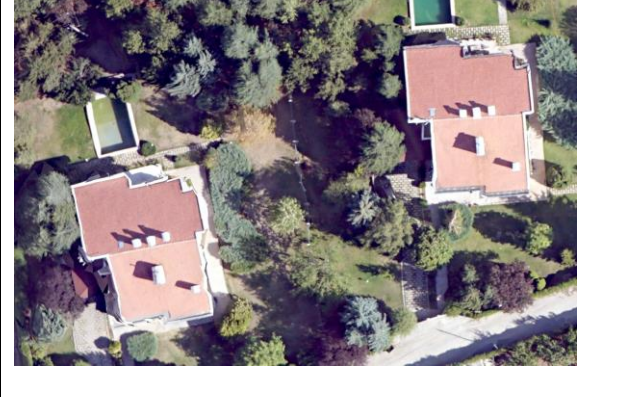
Deney: Test Bölgesi Oluşturma

- YKN ve Kontrol Noktalarının seçimi ve ölçülmesi (gerçekleştirildi)

- Aynı alanda diğer tekniklerle (yersel ölçme) güncel halihazır üretilmesi (gerçekleştirildi)
- Farklı kamera ve uçucu platformlarla veri toplama (gerçekleştirildi) işlemlerinin yapılması.

Hesaplama, Analiz, Karşılaştırma

- Yazılım: İHA görüntü işleme, fotogrametri, açık kaynak, bilimsel yazılımlarla değerlendirme,
- Geleneksel Fotogrametri Yaklaşımıyla çözüm yapılması.



Şekil 4. Uçuş Planı

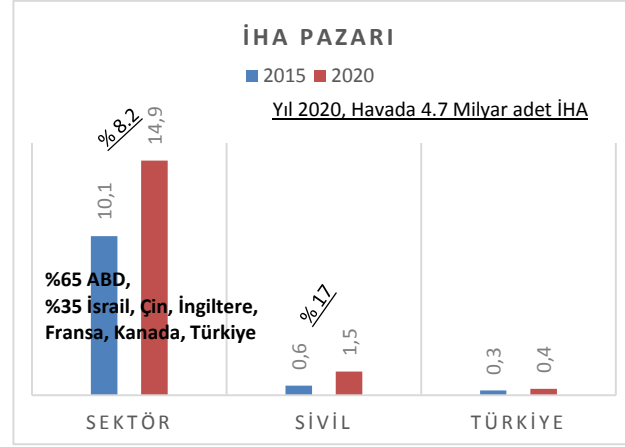
4. Global ve Ulusal İHA Pazarı ve Yönelimler

4.1. Global İHA Pazarı: Savunma ve Sivil Sektör

2015 yılı itibariyle 10.1 Milyar USD olan İHA pazarının 2015-2020 döneminde %8.12 büyümeyle 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 (Şekil 5).



Şekil 5. İHA Pazarı Büyüklüğü ve Trend

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 (Kahvecioglu 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 yanlılıkla 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

2015 yılında Beyaz Saray'a yanlılıkla inen İHA'nın yanı sıra Atatürk Havalimanı gibi çok sayıda

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-İHA)" 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 2016;).

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 meskûn 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.

6. Tartışma, Değerlendirme ve Sonuçlar

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

Bildiri kapsamında, Aperigae tarafından yürütülen ve ilk aşaması hakkında bilgi sunulan İHA fotogrametrisinin ölçme çalışmalarında nasıl yere alabileceğine ilişkin çalışmamızın 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.

6.1.İHA Sektöründeki Gelişmelerin Değerlendirilmesi ve Geleceğe İlişkin Projeksiyon

İHA teknolojisi alanında hızlı gelişme sürerken, pazara giren firmaların el değiştirmesi, geo-enformasyon alanında uygulamada liberalizasyon beklentilerin oluşmaması sebebiyle pazar stratejisi değiştiren firmalardan dolayı, pazarda ve sektörde stabilizasyon gözlenmektedir.

Sivil İHA teknolojisindeki maliyet düşmesi, erişebilirlik ve üretim ölçeklendirmelerine karşın; İHA üretim kriterleri, sertifikasyon ve kalibrasyon test alanlarının sınırlılığı, uluslararası ve ulusal İHA mevzuatının sıkı havacılık mevzuatına uyumundan ve İHA uçuş güvenliğini sağlayacak teknoloji ve bilgi tamlığının yetersizliğinden dolayı, İHA sayısındaki yaygınlaşmaya rağmen iş İHA'nın süreçlerinde yer alması birkaç sektör dışında beklenen gelişmeyi sağlayamamaktadır.

Kaza, güvenlik ve sigortalama alanlarında yeterli gelişme oluşturulamadığından, İHA hukuki altyapısı, gün geçtikçe daha sıkı hale gelmektedir.

6.2.İHA Fotogrametrisinin Türkiye ve Dünyadaki Durumun Değerlendirilmesi

Belediye teknik işleri, planlama altlıkları demiryolu projeleri, baraj projeleri, yol projeleri ve diğer benzer 1:1000 ve 1:5000 büyük ölçekli haritalama işlerinde, öncesinde gayri resmi, ardından da idarelerin cesur tavırları ile resmi yollardan, 2012 yılından bu tarafa (İnternet kaynaklarından edinilen bilgi çerçevesinde) İHA fotogrametrisinin mülkiyet ilişkisinin de belirlendiği haritalama faaliyetlerinde kullanıldığı açıktır.

Bu durum, Türkiye'yi erişim, teknoloji, bilgi birikimi, yetişmiş insan kaynağı ve kadastrolama faaliyetlerinin olmadığı Afrika ve Asya ülkelerinin dahi ötesine yerleştirmektedir. Oysa Avrupa ve Kuzey Amerika ülkelerinde, SfM, İHA fotogrametrisi konularında on binlerce yayın, çalışma, araştırma

olmasına karşın, İHA fotogrametrisinin mülkiyet ilişkisi olan konularda hiçbir şekilde uygulanmamaktadır. İHA fotogrametrisinin resmi olarak uygulandığı tek ülke olan İsviçre’de, arazi kullanımı ve arazi örtüsü sınırlamada yalnızca kırsal alanda kullanılmaktadır (Manyoky et.al. 2011).

6.3. Türkiye Haritacılık Sektörünün Dışa Kapalı Karakteristiği

Türkiye’de haritacılık/geomatik ve ölçme sektörü, korumacı yapısı tüm ülkelerde benzer olan hukuk alanı dahil Türkiye’deki diğer tüm sektörlerden daha fazla ve bir ölçüde tamamen dışa kapalıdır. Bu yapısı, büyük çoğunlukla, eğitimden kamuya, özel sektörden sivil toplum kuruluşlarına kadar bir zemini kapladığından, dış teknoloji transferi ve tecrübe alış/verişi dışındaki mevzuat, metodoloji, süreçler, standartlar ve sertifikasyon bakımından sektörün kapalı karakteri ve üretilen bilginin mülkiyet hukukuna altyapı sağlamasından dolayı büyük ölçüde de korumacı bir yapıya sahiptir. Akademik, araştırma alanlarında açıklık, diğer disiplin ve dış ortaklarla işbirliklerinin hem sektör akademiya ilişkisinin gevşekliği hem de kapalı yapıdaki profesyonel uygulama alanına bunun yansımaması bu yapının süregiderliğini değiştirememektedir.

6.4. Sonuçlar

Türkiye’de 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.

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.

Ülkemizde, nispeten daha yaygın ve daha popüler çalışma alanlarının içinde geri plana düşen

fotogrametri gibi geleneksel haritacılık/geomatik disiplinleri, günümüz nümerik hesap olanakları, paralelleştirme, dağıtık hesaplama ve bulut teknolojisi/hesaplama ile yeniden ön plana çıkmaktadır. Ancak, kritik bir konu olan mülkiyet ilişkisine dair ölçme konusunda otorite olabilecek bilgi birikiminin var olmaması ülkemiz için önemli bir kayıp niteliğindedir.

6.5. Öneriler ve Yapısal Reform İhtiyacı

Gelişmiş ülkelerde yer bulmamasına karşın, İHA fotogrametrisinin Türkiye’de mülkiyet ilişkilerinin belirlendiği haritalama ve ölçme işlerinde sınırlamasız, kontrolsüz ve bilinçsiz şekilde uygulanması, buna bir ölçüde akademik ve araştırma kamuoyunun da yayınladıkları çalışmalar ve teknik görüşleri ile zemin hazırlamaları, açık tecrübe edilen bir gerçektir. Bu durum, Türkiye’deki uygulamaları gelişmiş dünyanın tam tersi bir yere taşımaktadır.

Derinliği olan bu problem, sektörde tecrübe edilen benzer sorunlar gibi birden fazla konuda önlem alınması, planlama yapılması ve bunun takibini gerektirmektedir. Bu alanlar; üniversite ve araştırma kurumlarınca yapılabilecek hususlar, özel sektör derinliğinin sığ olmasından dolayı halen sektöre yön veren kamu kurumlarınca alınabilecek önlem ve sürdürülebilecek politikalar ve sektörün hizmet üreten kesimini oluşturan özel sektör ve bunların oluşturduğu sivil toplum örgütleri tarafından uygulanabilecek konulardan oluşmaktadır.

Sektöre yetişmiş insan kaynağı, bilgi ve teknoloji sağlayan üniversite ve araştırma kurumlarında, temel bilimlerin fotogrametri, uzaktan algılama, ölçme, matematik-istatistik modelleme alanlarında yapılacak araştırmaların harita (geomatik, geo-enformatik, jeodezi ve fotogrametri) mühendisliği bilimlerine katkısını artıran, büyük veri (big data) analiz ve hesaplamalarında verimlilik ve yeni yaklaşımları ortaya çıkaran araştırmaların desteklenmesi, bu alanlara ilişkin eğitim altyapısı ve ders programlarının ele alınmasının yararlı olacağı değerlendirilmektedir.

Sektörde hem mevzuat hem de iş yaratma bakımlarından düzenleyici ve belirleyici olan kamu kurumlarının, yeni gelişen teknoloji ve yöntemlerin uygulamaya girmeden önce, diğer gelişmiş ülkelerde olduğuna benzer araştırma kurumları vasıtası ile ya da bunlara üyelik (Örneğin EuroSDR) yoluyla, belirleyici test, deney yaparak sektöre teknik bakımdan yön vermeleri, tüm sektörü ilgilendiren konularda yapılacak test ve alınacak kararların yetkin akademisyen, araştırmacı, profesyonel, kurum, firma vd. yapıların katıldığı daha geniş platformlarda alınmasına özen gösterilmesinde yarar olduğu düşünülmektedir.

Sektörde, hizmet ve üretimde ağırlığı giderek artan hizmet üreten, teknoloji üreten ve teknoloji transferi yapan özel sektör (firmalar), profesyoneller ve bunları temsil eden odalar, dernekler vd. kurum mensuplarının, kapasite gelişimi ve diğer yatırım kararlarını doğru vermeleri, sektöre standart, etik ve mevzuata uygun bilgi ve hizmet üretmelerinde gelişmeyi sağlamaları amacıyla, sürekli kapasite gelişimi, sertifikasyon ve sektörde her seviyede nitelikli eleman varlığının sağlanması için strateji geliştirmeleri, bunlara kamu, üniversite/araştırma kurumların sürekli ve sürdürülebilir desteğini sağlamalarına ihtiyaç olduğu değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak, stratejik planlama ve uygulamadan yoksun durumdaki sektörde önlem alınmaması

halinde, ortaya çıkan sonuç sektörü ilgilendirir ölçeğin çok ötesine geçerek, Türkiye’de yapılan her türlü proje ve yatırımın altyapısında kontrolü mümkün olmayan bilgi girişi oluşturacağı bir gerçektir.

Ayrıca, diğer mühendislik disiplinlerce geliştirilen hizmet ve ürünler (yapı, bina, araç, eşya vd.) zaman içinde ömürlerini doldurarak kullanımdan çekilirken, haritacılıkla ilgili yapılan mühendislik faaliyetinin mülkiyet hukuk kurulmasına temel oluşturmasından dolayı yüzyıllarca uygulamanın içinde kalacağı göz önünde tutularak, bu alanda yapılması gerekli hususların aciliyetinin kavranmasının zaruri olduğu açıktır. Bu aciliyetin, gelişmiş ekonomilerde mekânsal verinin süreç içinde yer alması ve sürdürülebilirliğin sağlanması için geliştirilen ve uygulanan ‘stratejik planlama ve uygulamalar’ doğrultusunda; açık veri politikaları, sektörel derinliğin artırılması, mekânsal veri alanındaki inovasyon ve ürün geliştirmenin özendirilmesi, standardizasyon, araştırma/kamu/özel-sektör işbirliği platformlarına işlerlik kazandırılması, diploma ile kazanılan mesleki ayrıcalıkların zamana bağımlı sertifikasyon ve ayrıcalıklarla bütünleştirilmesi gibi değişimlere benzer ‘yapısal dönüşümlerin’ Türkiye ihtiyaç, koşul ve uygulama ortamına uygun şekilde hayata geçirilmesinde yarar olduğu değerlendirilmektedir.

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, Algıla, sakın	+, Onaylı Uçuş Operasyon El Kitabı	3 yılda yenileme, Servis bülteni, bakım	Pilot Eğitim, Lisans	Sorumlu, Sigorta	Tüm

Teşekkür

Bolu test verilerinin elde edilmesinde Sn. Ahmed Siddique ve Ankara test verisini kullanmamıza açan Sn.İsmail Sayar'a teşekkür ederiz.

7. Kaynaklar

Akca, D. (2007): Least Squares Matching of 3D Surfaces, Matching, 4th Smposium of Turkish SPRS, 2007

Altuğ, E, J. Ostrowski, V.Kumar (2002): Design and Control of a Quadrotor Helicopter, University of Pennsylvania PENN Graduate Research Symposium, 2002.

Altuğ, E (2003): Vision Based Control of Unmanned Aerial Vehicles with Applications to an Autonomous Four Rotor Helicopter, Quadrotor, Ph.D. Dissertation, Department of Mechanical Engineering and Applied Mechanics, University of Pennsylvania, U.S.A., December 2003.

Altuğ, E, Jostrowski, C.J.Taylor, Control of a Quadrotor Helicopter Using Dual Camera Visual Feedback, The International Journal of Robotics Research, Vol. 24, No. 5, 329-341, 2005.

Ayyıldız, E. Vd. (2015): İnsansız Hava Aracı (İHA) ve Uçak Platformlarından Elde Edilen Görüntülerin Ortofoto Üretiminde Karşılaştırılması, *TUFUAB 8. Tek. Sempozyumu*, 21-23 Mayıs 2015 Konya

BHİKPK (2014): Bakanlıklararası Harita İşlerini Koordinasyon ve Planlama Kurulu (BHİKPK), Bilimsel Araştırma ve Koordinasyon Komisyonu (BARKOK) 2014-2015 Yılı Görevleri, BHİKPK 2014 Yılı Toplantısı, Toplantı Sonuç Raporu

Canis, B (2015): Unmanned Aircraft Systems (UAS): 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*

Crommelinck, S et.al. (2016): Review of Automatic Feature Extraction from High-Resolution Optical Sensor Data for UAV-Based Cadastral Mapping, *Remote Sens.* 2016, 8, 689

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*

Cramer, M. (2013): The UAV@LGL BW Project – A NMCA Case Study, Dieter Fritsch (Ed.), *Photogrammetric Week '13*, Wichmann/VDE Verlag, Belin & Offenbach, 2013

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 Bakımından 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*

- Eisenbeiss, H. (2004): A mini unmanned aerial vehicle (UAV): System overview and image acquisition. International workshop on processing and visualization using high resolution imagery. Pitsanulok, Thailand, International archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVI-5/W1
- Eisenbeiss, H. (2009): UAV Photogrammetry, PhD Thesis, Zurich, ETHZ
- Ghilani, C.D., P.R. Wolf (2006): Adjustment Computations: Spatial Data Analysis, Fourth Edition, John Wiley and Sons
- Haala, N, S. Cavagn (2017): High Density Aerial Image Matching: State-Of-The-Art And Future Prospects, *Special Session 12 – EuroSDR*, 12 - 19 July 2016
- Harwin, S., A. Lucier (2012): Assessing the Accuracy of Georeferenced Point Clouds Produced via Multi-View Stereopsis from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery, *Remote Sens.* 2012, 4, 1573-1599
- HKMO (2016): 45. Dönem Mesleki Standartlar ile İlgili Yasal Düzenlemelerin İncelenmesi Komisyonu, Komisyon Toplantı Tutanağı
- Kahvecioğlu, 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
- James, M.R., S. Robson (2014): Mitigating systematic error in topographic models derived from UAV and ground-based image networks, *EARTH SURFACE PROCESSES AND LANDFORMS*, *Earth Surf. Process. Landforms* 39, 1413–1420 (2014)
- Janes DS Forecast (2010): COTS, *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 Parliament, EPRS | European Parliamentary Research Service*, October 2015
- Kedzierski, M. (2015): Cadastral Mapping Based on UAV Imagery, *15 th International Scientific and Technical Conference*, October 26-29, 2015, Yucatan, Mexico
- Larsson, V. Et.al. (2016): Outlier Rejection for Absolute Pose Estimation with Known Orientation, *British Machine Vision Conference 2016*
- Manyoky, M. Et.al. (2011): Unmanned Aerial Vehicle In Cadastral Applications, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXVIII-1/C22, 2011
- Mesas-Carrascosa, F.J. (2014): Positional Quality Assessment of Orthophotos Obtained from Sensors Onboard Multi-Rotor UAV Platforms, *Sensors* 2014, 14, 22394-22407
- Mikhail, E.M., J.S. Bethel, J. C. McGlone (2001): Introduction to Modern Photogrammetry, 1st Ed., John Wiley and Sons
- Micheletti, N., et.al. (2015): Structure from Motion (SfM) Photogrammetry, *British Society for Geomorphology, Geomorphological Techniques*, Chap. 2, Sec. 2.2 (2015)
- Mlambo, R. Et.al. (2017): Structure from Motion (SfM) Photogrammetry with Drone Data: A Low Cost Method for Monitoring Greenhouse Gas Emissions from Forests in Developing Countries, *Forests* 2017, 8, 68
- Muneza J et.al. (2015): A photogrammetric approach for map updating using UAV in Rwanda, *GeoTechRwanda 2015 – Kigali*, 18-20 November 2015
- Nasrullah, A.R. (2016): Systematic Analysis of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Derived

- Product Quality, *MSc Thesis*, Univ of Twente, Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation
- Park, J.K., D.W. Park (2015): Application of the Ortho Image for the Cadastral Survey, *Advanced Science and Technology Letters, Vol.100 (Architecture and Civil Engineering 2015)*, pp.113-117
- Ramadhani, S.A. (2016): Using Unmanned Aircraft System Images to Support Cadastral Boundary Data Acquisition in Indonesia, *MSc Thesis*, Univ of Twente, Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation
- Ramadhani, S. et.al. (2016): Unmanned Aerial Systems for Cadastral Applications, Testing a Fit-for-purpose Land Administration Approach in Indonesia, *November 2016, GIM International*, <https://www.gim-international.com/content/article/testing-a-fit-for-purpose-land-administration-approach-in-indonesia>
- SHT-İHA 2013 (2013): İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Ayrılmış Hava Sahalarındaki Operasyonlarının Usul Ve Esaslarına İlişkin Talimat (Sht-lha), Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
- SHT-İHA 2016 (2016): İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı, *Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü*, Ankara
- Sundheim, E., H. Andresen(2016): Pilot project in Moldova for use of drone for production of orthophoto data, *LIN 12020*, Statens kartverk / Agency for Land Relations and Cadastre of Moldova (ALRC)
- Sung-Eon Hong (2016): Boundary Line Extraction of Forest Land for Cadastral Resurvey Using UAV and GIS, *Indian Journal of Science and Technology*, Vol 9(41)
- Teunissen, P.J.G. (1985): The Geometry of Geodetic Inverse Linear Mapping and Non-Linear Adjustment, Netherlands Geodetic Commission, Publications On Geodesy, New Series , Volume8 Number 1
- Timothy H. Cox, et.al (2004): Civil UAV Capability Assesment, December 2004, NASA
- Triggs, B. Et.al. (2010): Bundle Adjustment, A Modern Synthesis, HAL Id: inria-00548290, <https://hal.inria.fr/inria-00548290>, Submitted on 20 Dec 2010
- Torun, A.(2015): İnsansız Hava Sistemleri, Haritacılık, Fotogrametri Uygulamaları ve Hesaplama Süreci, *HKMO İHA Fotogrametri Eğitimi Notları (Yansılar)*, Ankara
- Torun, A. (2016): Integrating Geospatial Technologies: Reflections on Intergeo 2016, *GIM International, November 2016* (<https://www.gim-international.com/content/article/integrating-geospatial-technologies-reflections-on-intergeo-2016>)
- Torun, A.(2017-1): İnsansız Hava Aracı (İHA) Sektöründe Trend: İHA Fotogrametrisi Bakışıyla, *9. TUFUAB Teknik Sempozyumu, Bildiriler*, 2017, Afyon
- Torun, A.(2017-2): İnsansız Hava Aracı (İHA) Sektörü Ve İHA Fotogrametrisinin Ölçme Bağlamında Konumlandırılması, *TMMOB HKMO, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 3-6 Mayıs 2017*, Ankara
- UAV Market-2015 (2015): The Global UAV Market 2015–2025, *Ref Code: 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*
- Torun, A. (2016): Integrating Geospatial Technologies: Reflections on Intergeo 2016, *GIM International, November 2016*

Volkman, W, G.Barnes(2014): Virtual Surveying: Mapping and Modeling Cadastral Boundaries Using Unmanned Aerial Systems (UAS), *FIG Congress 2014*, Kuala Lumpur, Malaysia 16-21 June 2014

Westoby, M.J. et.al. (2012): Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications, *Geomorphology* 179 (2012) 300–314

Wolf, P.R., B.A. Dewitt (2000): Elements of Photogrammetry, with Application in GIS, Third Edition, McGraw Hill

Yılmaz, D. (2015): Fast Survey of a High-speed Railway Line, Surveying a 140km Corridor with a UAV for Railway Planning, Turkey, December 2015, GIM International, <https://www.gim-international.com/content/article/fast-survey-of-a-high-speed-railway-line>