

İHA ile Fotogrametrik Veri Üretiminde Maliyet Analizi

(The Cost Analysis of Photogrammetric Data Generation with UAV)

Melis UZAR , Iğın ÖZEMİR 

Yıldız Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü Fotogrametri Anabilim Dalı 34220 Davutpaşa, İstanbul
 auzar@yildiz.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 23.03.2018

Kabul Tarihi (Accepted): 07.12.2018

ÖZ

Modern teknolojinin gelişmesi ile insansız hava araçları (İHA) dünya çapında farklı alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. İHA'nın özellikle fotogrametrik çalışmalarda önemli bir platform olarak kullanılması hız, zaman ve maliyet avantajları dikkate alındığında ülkemizde de hızla yaygınlaşmıştır. Geleneksel yöntemlere alternatif olarak sunulan İHA ile yapılan çalışmalarda; zamansal ve mekansal çözünürlüğü yüksek ve aynı zamanda daha düşük maliyetli veri üretimi sağlanmaktadır. Bu çalışmada, günümüz modern teknolojisi İHA ile fotogrametrik veri üretimi gerçekleştirilerek maliyet analizi yapılmıştır. Gaziantep ili, Şehitkamil ilçesi, Başpınar mahallesi Organize Sanayi Bölgesi'nde 78.3 hektar çalışma alanı İHA sistemi ile test edilmiştir. Bu çalışma alanında İHA ile elde edilen hava fotoğrafları değerlendirilerek üç boyutlu model, ortofoto ve sayısal yüzey modeli üretilmiştir. İHA teknolojisi ve geleneksel yöntemlerin donanım, yazılım ve iş maliyeti gibi farklı kalemler karşılaştırılarak maliyet analizi yapılmıştır. Sonuçta, İHA ile fotogrametrik veri üretimiyle yüksek doğruluk, hızlı veri elde etme, tekrarlı ölçü imkanı ile yüksek zamansal çözünürlük ve düşük maliyet gibi avantajlara sahip olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İHA, Maliyet analizi, Ortofoto, Sayısal yüzey modeli, Üç boyutlu model

ABSTRACT

With the development of modern technology, unmanned aerial vehicles have begun to be used in different areas around the world. The use of UAV as an important platform especially in photogrammetric studies has been rapidly spreading in our country considering the advantages of speed, time and cost. The studies made with UAV presented as an alternative to traditional methods; high temporal and spatial resolution of data production and at the same time with lower cost data production is achieved. The aim of this study is cost analysis of photogrammetric data generation with the modern UAV technology of today. For this purpose, study area which was overall size 78.3 hectares at Organized Industrial Site in Baspınar neighbourhood in Şehitkamil district in Gaziantep province was tested. In this study area, the aerial photographs obtained by the UAV were processed to produce three dimensional models, orthophoto and digital surface models. In addition, cost analysis was performed by comparing different items such as hardware, software and costs analysis of UAV technology and traditional methods. As a result, it has been observed that high accuracy, fast data

acquisition, high temporal resolution with the possibility of repetitive measurement, and low cost have the advantages in photogrammetric data production with UAV.

Keywords: UAV, Cost analysis, Orthophoto, Digital surface model, Three dimension model

1. GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte harita mühendisliği'nin çalışma konusu olan fotogrametrik algılayıcılar ve taşıma platformları da hızlı bir şekilde gelişmektedir. 1858 yılından beri fotogrametrik veri elde etmek için kullanılan farklı platformlara alternatif olarak İnsansız Hava Aracı (İHA) platformu 1970'lerde ortaya çıkmıştır (Newhall, 1969; Whittlesley, 1970). 1970'li yıllardan günümüze kadar modern teknoloji ile balon, zeplin, model helikopter/uçak, döner/sabit kanatlı İHA'lar geliştirilmiştir. Bu gelişmeler, harita üretiminde; anlık görüntüleme, analiz ve denetleme alanlarında bilimsel açıdan katkı sağlamaya başlamışlardır.

İHA, bir uçuş planına bağlı olarak otomatik/yarı otomatik hareket edebilen veya istasyondan bir pilot tarafından uzaktan kumanda edilerek uçurulan bir ölçüm aracıdır (Ceylan, Döner ve Özdemir, 2014; Eisenbeiss, 2009). İHA platformu; sayısal kamera, GPS/INS entegrasyonundan oluşan bir sistemdir (Eisenbeiss, 2003). İHA'lar, fotogrametrik veri üretimi amacıyla anlık veri üretimi ve görüntülenmesini, hızlı veri analizi ve buna bağlı olarak zaman ve maliyet tasarrufu sağlamaktadır. İHA, klasik hava fotogrametrisi ve uydu görüntüleri ile yapılan uzaktan algılamaya göre düşük maliyet ve daha düşük irtifadan uçuşu sebebiyle daha yüksek çözünürlük olanaklarını sağladığı için gittikçe yaygınlaşan bir platformdur. Tüm bu sağladığı avantajlar ele alındığında İHA ile fotogrametrik veriden elde edilen Sayısal Yüzey Modeli (SYM), ortofoto ve üç boyutlu (3B) model üretimi gerçekleştirilebilmektedir.

İHA teknolojisinin kullanımı, geçmişten günümüze yaşanan gelişmeler doğrultusunda, kullanım alanlarını ve mevcut yöntemleri de değiştirmektedir (Eisenbeiss, 2009). Özellikle

bilinen ilk çalışmalar, radyo kontrolü ile entegre sistemlerin ortaya çıkması sayesinde sivil, askeri, haritacılık (Przybilla, ve Wester-Ebbinghaus, 1979; Wester-Ebbinghaus, 1980) ve arkeolojik çalışmalarda (Whittlesley, 1970) kullanılmak üzere belgeleme, görüntüleme amacıyla yapılmıştır.

Pritt (2014) çalışmasında, geniş alanlarda binlerce fotoğraf alımı gerektiren küçük İHA' lar ile yapılan çalışmalar için mozaikleme için kullanılan geleneksel yöntem olan blok dengeleme yerine daha hızlı çalışan iteratif bir algoritma geliştirmiştir. Chen, Chang, Sofia ve Tarolli (2015) çalışmasında, açık maden işletmelerinin jeomorfik özelliklerinin tanımlanması amacıyla fotogrametriden yararlanmıştır. İHA'lar ile açık maden işletmelerinin 3B modelleri hazırlamıştır. Açık maden işletmelerinin ortaya çıkardığı erozyon gibi sorunların giderilmesinde, jeomorfik karakterlerinin tanımlanmasının önemli bir adım olduğu vurgulamıştır. Krsak ve diğerleri (2016) çalışmasında, düşük maliyetli İHA kullanımı ile test bölgesi olarak seçilen maden alanında, fotogrametrik yöntemle üretilen sayısal yükseklik modelinin doğruluğunu araştırmıştır. Çalışmanın sonucunda aktif olarak çalışılan maden alanları gibi alanlarda İHA'ların, veri toplamadaki hız, ölçülen nokta sayısının yoğunluğu ve ölçümün ekonomik olması açısından klasik yersel ölçme yöntemlerine alternatif olarak kullanılabileceğini vurgulamıştır. Mizinski ve Niedzielski (2017) çalışmasında, kar kalınlığını belirlemek için tam otomatik bir sistem geliştirmiştir. İHA ile elde edilen fotoğraflar yer kontrol noktası kullanılmadan modellenmiştir. Böylece, İHA kullanımı ile yanına yaklaşılması tehlike arz eden çalışma bölgelerinde ne kadar etkili bir ölçüm yöntemi olduğunun üzerinde durulmuştur.

Ülkemizde ise 2013 yılında İTÜ Havacılık ve Uzay Fakültesi'nde Karakas, Koyuncu ve Inalhan (2013)'te yaptıkları çalışmada 20 m/s hız ile 3 saat seyir süresine sahip sabit kanatlı İHA tasarlanmıştır. 2015 yılında da Palandöken kayak merkezi pistlerinde yaralanan veya kaybolan kişilerin yerini belirlemede kullanılacak insansız güneş panelli hava aracı tasarımı projesi TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. 2015 yılında İTÜ'de çekirdek girişimci firması olan Maxwell Innovations ile yağmur, toz ve -30 dereceye varan soğuklardan etkilenmeden zorlu hava koşullarında görev yapabilen kurtarma ekiplerine yönelik olarak özel döner kanatlı İHA tasarımı gerçekleştirilmiştir. Gençerk (2016) yüksek lisans tezinde, İHA ile inşaat projesi imalat durumunun araştırılması konusunu ele alarak kübaj hesapları ve en kesit - boy kesit hesaplarının 3B nokta bulutu üzerinden yapılabilirliğini araştırarak

yapılabilirliğini belirlemiştir. Yakar ve Doğan (2017) çalışmasında döner kanatlı İHA kullanılarak Silifke ilçesindeki obruğun 3B model üretimini araştırmıştır.

Bu çalışmada, İHA kullanılarak elde edilmiş görüntülerden ortofoto, üç boyutlu model ve sayısal yüzey modeli gibi fotogrametrik ürünler üretilmiştir. Fotogrametrik ürünlerin doğruluk ve maliyet analizleri yapılmıştır.

2. METODOLOJİ

İHA fotogrametrisi, İHA kullanılarak hava fotoğraflarının elde edildiği bir fotogrametrik veri üretim yöntemidir. İHA'lar genel olarak dijital kamera, GPS/IMU ve mevcut ise lazer tarama verileri kullanılarak bir nesne ya da yüzeyin uzaklığını ölçen aktif algılama sensörü olan LiDAR entegrasyonundan oluşan bir platformdur (Eisenbeiss, 2003). İHA platformu ile fotogrametrik veri üretimi, klasik fotogrametride olduğu gibi temel yöntem olan merkezsel izdüşüme dayanmaktadır. Merkezsel izdüşüm arazi üzerindeki objeden gelen ışınların bir merkez olarak izdüşüm düzleminden geçirilmesi ile izdüşüm düzlemi üzerinde oluşturulan görüntünün matematiksel modelidir. Bu modele göre arazideki bir nokta, izdüşüm merkezi (projeksiyon merkezi) ve noktanın fotoğraftaki karşılığı aynı doğru üzerindedir. Bu koşula dayanılarak arazi ve fotoğraf noktaları arasında matematiksel bağıntılar geliştirilmiştir. Merkezsel izdüşüm denklemi ile iç yöneltme ve dış yöneltme yapılmaktadır. İç yöneltme ile piksel koordinat sisteminden görüntü koordinat sistemine geçilmektedir. Dış yöneltme ile görüntü koordinat sisteminden arazi koordinat sisteminde geçiş yapılmaktadır. Dış yöneltme iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama olan karşılıklı yöneltme, görüntü çiftlerinin birbiri ile eşleşmesiyle gerçekleşmektedir. İkinci aşama olan mutlak yöneltme ile ise eşleşmesi yapılan görüntü çiftlerinin 3B arazi koordinat sistemine aktarılması yapılmaktadır.

İHA ile uçuş planlamasından önce çalışma sınırı içerisinde mümkün mertebe dış köşelere yerleştirilmiş ve homojen bir şekilde dağılmış yer kontrol noktaları (YKN) tesis edilmektedir. YKN' ler GNSS sensörleri ile ölçülmektedir. Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği' ne göre YKN ölçümü standart sapması ± 2 cm' dir (Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği [BÖHHBÜY], 2005).

İHA uçuş planlamasından sonra İHA veri toplama aşaması yapılmaktadır. Bu aşamada görüntüler uçuş planı doğrultusunda elde edilmektedir. Görüntülerin çekim koordinatları da

bu esnada kaydedilmektedir. İHA'nın izdüşüm merkezinin koordinatını hesaplamak için Gerçek Zamanlı Kinematik (Real Time Kinematic (RTK)) GPS yöntemi kullanılmaktadır. Bu esnada IMU sensörü de görüntülerin çekim noktaları ve İHA'nın 3B eksen etrafındaki dönüklüklerini kaydetmektedir. GPS/IMU entegre sistemi ile elde edilen veriler Kalman filtreleme yöntemi kullanılarak füzyon işlemi gerçekleştirilir. Görüntülerin çekim noktaları ve İHA'nın 3B eksen etrafındaki dönüklükleri olan roll, pitch ve yaw açılarının hassas bir şekilde ölçülmektedir. Bu entegre sistem sayesinde, İHA ile elde edilen görüntülerin iç yönelme elemanları ile iç yönelme işlemi yapılmaktadır. Böylece, piksel koordinat sisteminden görüntü koordinat sistemine dönüşüm gerçekleşir. Merkezsel izdüşüm denklemleri yardımıyla dış yönelme elemanları da bu esnada elde edilir. Dış yönelme parametreleri GPS ve IMU sensörleri aracılığıyla gözlenmekte ve platforma entegre edilmektedir (Cramer, 2001). Bu çözümlenmeye; doğrudan sensör yönelmesi ya da görüntülerin coğrafi koordinatlandırması denilmektedir. Böylece, elde edilen görüntülerin coğrafi koordinatları, görüntü koordinat sisteminde ve arazi koordinat sisteminde elde edilir. İHA ile veri toplama aşaması gerçekleşirken İHA üzerine monte edilmiş GPS/IMU sensörleri sayesinde görüntülerin çekim koordinatları ve dönüklükleri kaydedilmektedir. Kaydedilen çekim koordinatları GNSS baz istasyonuna bağlanarak hesaplanmaktadır. GNSS/RTK alıcısı ile çalışma alanına kurulmuş GNSS baz istasyonu, yer kontrol istasyonu olan diz üstü bilgisayara takılmış model ve İHA'ya monte edilmiş GPS, RTK ve IMU sensörleri ile haberleşme sağlanmaktadır. Bu haberleşme sayesinde otonom uçuş esnasında İHA'nın hangi konumda görüntü alması gerektiği ve doğrudan sensör yönelmesi aşaması daha hassas bir şekilde çözülmektedir.

İHA ile veri toplama aşamasından sonra elde edilen verilerin kalite kontrolü gerçekleştirilmektedir. Kalite kontrol aşamasında planlanan görüntülerin eksiksiz olarak elde edilmesi önemlidir. Hava fotoğrafları elde edilirken, fotoğraf çekim noktası 3 boyutlu koordinatlarının eksiksiz olarak elde edilmesinin kontrolü ile yapılmıştır. Ayrıca, elde edilen hava fotoğrafları koordinat ve dönüklüklerinin standart sapmaları ($\sigma = \pm 5$ cm) ve Yer Kontrol Noktaları'nın koordinat ve standart sapmaları ($\sigma = \pm 2$ cm) kabul edilebilir aralıkta bulunmaktadır. Yapılan kalite kontrol sonucunda verilerin işlenebilirliğine karar verilmiştir. Bu kalite kontrol aşamasında, elde edilmesi planlanan tüm görüntülerin ve bu görüntülerin koordinat ve dönüklük bilgilerinin kayıt işlemi gerçekleştirilmektedir. Verilerin kalite kontrolü

aşamasından sonra ise verilerin işlenmesi aşaması yapılmaktadır. Bu iş adımlarından elde edilen görüntüler sisteme aktarılmaktadır. Çalışma alanının bulunduğu referans koordinat sistemi tanımlanmaktadır. Bu aşamadan sonra, kamera kalibrasyon parametreleri ve görüntülerin elde edilmiş anındaki kamera koordinat ve dönüklük bilgileri sisteme aktarılmaktadır. Bir sonraki adımda ise görüntülerin yöneltilmesi yapılmaktadır. Görüntülerdeki ortak pikseller yakalanarak nokta bulutu üretimi gerçekleştirilmektedir. Nokta bulutu üretimi için yoğun görüntü eşleme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem; farklı ölçekte ve yönelimde, farklı açılardan elde edilmiş hava fotoğrafı üzerindeki objelerin bölgesel olarak çıkarılmasında kullanılan SIFT (Scale Invariant Feature Transform) algoritmasını kullanmaktadır. SIFT algoritması iki hava fotoğrafı arasında piksel bazında eşlemeyi sağlayan bir yöntemdir. Nokta bulutu üzerinde uçuş öncesi arazi üzerine tesis edilen YKN'ler ölçülmektedir. Yoğun nokta bulutu üretimi ile 3B nokta bulutu verisi elde edilmektedir. Yoğun nokta bulutu verisinden enterpolasyon ile yüzeyin üçgenlemesi yapılarak TIN (Triangulated Irregular Network) üretimi yapılmaktadır. TIN model arazi koordinatları, fabrika binaları, inşaat sahaları, üretim tesisleri gibi yüzeye ilişkin objelerin 3 boyutlu koordinatlarını içermektedir. Bu veri modeli üzerinden yüzey oluşturularak katı model üretimi gerçekleştirilmektedir. Katı model üzerine görüntüler giydirilerek doku üretimi gerçekleştirilmektedir. Üretilen yoğun nokta bulutu ile Sayısal Yüzey Modeli (SYM) oluşturulur. SYM ve yoğun nokta bulutu kullanılarak klasik ortofoto üretimi gerçekleştirilmektedir. Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği' ne göre yer örnekleme aralığı 1/1000 ölçekli ortofoto haritalar için 10 cm'nin; SYM için 10 m'nin altında olması gerekmektedir (BÖHHBÜY, 2005). Ortofoto ve SYM üretimi ile fotogrametrik veri üretimi iş akışı tamamlanmaktadır. Şekil 1'de İHA ile fotogrametrik veri üretim işlemleri iş akışı diyagramı olarak verilmiştir.

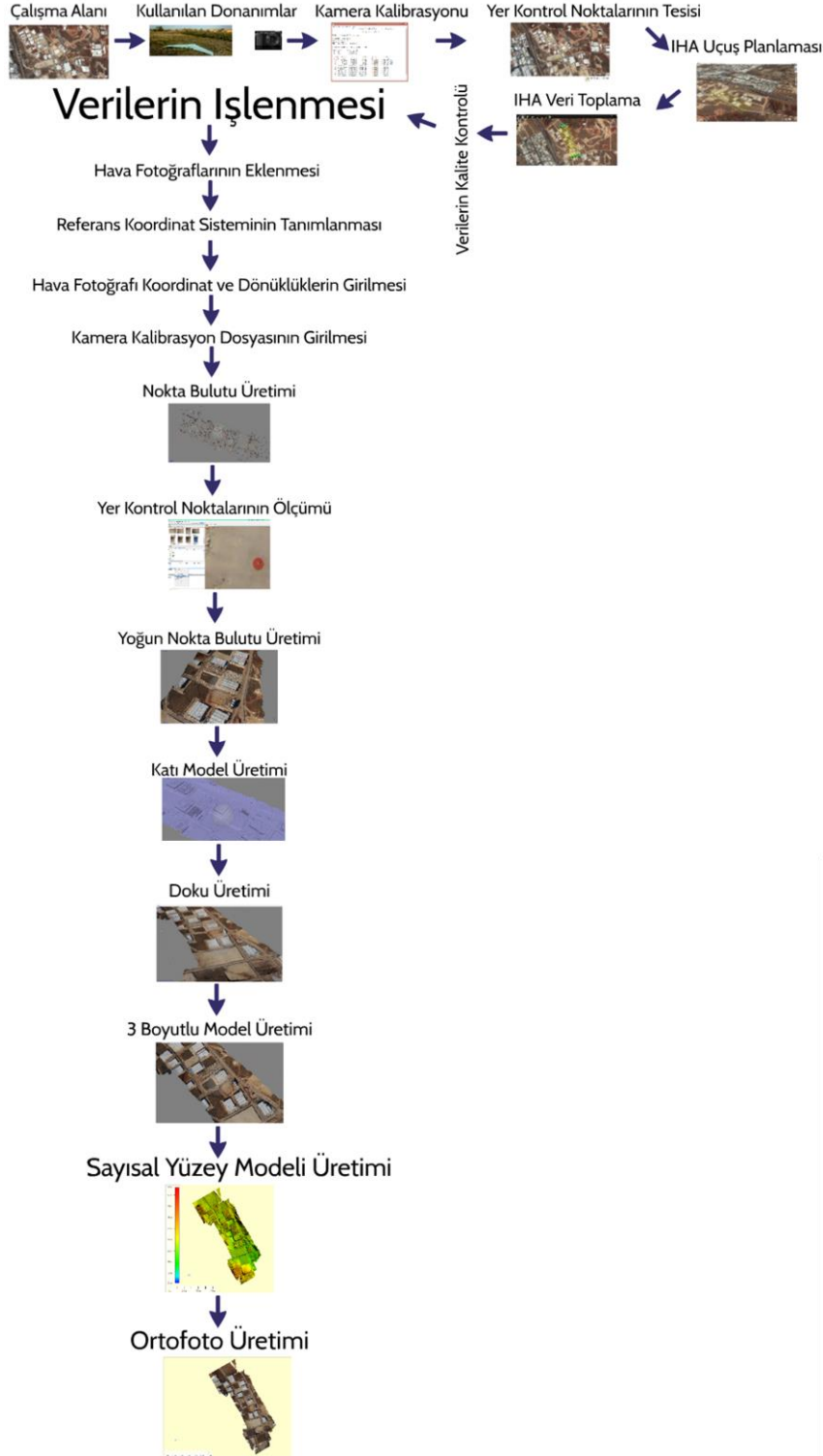
3. UYGULAMA

a. Çalışma Alanı ve Sistem Özellikleri

İHA ile fotogrametrik veri üretimi ve maliyet analizi için Gaziantep ili, Şehitkamil ilçesinde, Adana-Şanlıurfa otoyolu üzerindeki Gaziantep 5. Organize Sanayi Bölgesi'ne ait 78.3 hektarlık bir bölgede uygulama yapılmıştır. Şekil 2'de İHA uçuş planı tanımlanan çalışma alanı için Google Earth görüntüsü verilmiştir. Bu verilerin elde edilmesi aşamasında Piksel Harita firmasının kendi yapımı olan sabit kanatlı İHA kullanılmıştır. Ayrıca bu İHA platformunda, 14.2 MP tam kare

Exmor APS- C HD CMOS sensörlü 16 mm (kalibre edilmemiş hali) Sony Nex - 5 kamera kullanılmıştır. Şekil 3'de, kullanılan veri toplama platformu, sabit kanatlı İHA ve bu İHA üzerine monte edilmiş Sony Nex-5 marka dijital kamera gösterilmiştir. Tablo 1'de İHA'ya ve Tablo 2'de sayısal kameraya ait teknik özelliklerin detayı verilmiştir. Bu çalışmada Sony Nex-5 sayısal

kamera İHA'ya monte edilmeden önce kamera kalibrasyonu yapılmıştır. Bu kalibrasyon sonucunda kalibrasyon parametrelerini içeren kalibrasyon raporu oluşturulmuş ve iç yöneltme elemanları olan; 0.00522928 mm piksel büyüklüğü, 16.3644 mm odak uzaklığı ve distorsiyon hatalarını gösteren kamera kalibrasyon dosyası hazırlanmıştır.



Şekil 1. İHA ile fotogrametrik veri üretimi iş akışı



Şekil 2. Çalışma alanı için tanımlanan çalışma sınırının Google Earth üzerinde gösterimi



Şekil 3. Çalışma alanında veri toplamak için kullanılan sabit kanatlı İHA ve monte edilmiş dijital kamera

Tablo 1. Çalışma alanında kullanılan sabit kanatlı İHA'nın teknik özellikleri

Gövde ağırlığı	1.7 kg
Maksimum ağırlık	2.7 kg
Ortalama uçuş süresi	20 dk 50 km/sa,
GPS/IMU sistemi	Var (IMU yatay sensör isz500, düşey sensör idg500)
Motor	Var 400 watt elektrikli
Paraşüt desteği	Yok
Otopilot	Var
Menzil	20 km

Tablo 2. Sabit kanatlı İHA' ya monte edilmiş dijital kameranın teknik özellikleri

Çözünürlük	14.2 MP
Tam çerçeve görüntü penceresi	Var
Odak uzaklığı (kalibre edilmiş hali)	16.3644 mm
Piksel büyüklüğü	5.2µm X 5.2µm
Cx	0.01 mm
Cy	0.01 mm
K ₁	<0.01
K ₂	<0.01
K ₃	<0.01

b. Maliyet Analizi

Ticari firmalar, üniversiteler ve devlet kurumları İHA'ları fotogrametrik veri üretimi için kullanırken gelişen teknoloji ve düşük maliyetli sistemlere ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle, İHA'nın geleneksel yöntemlere kıyasla maliyet açısından düşük olması gözetilmektedir

(Fitzpatrick, 2015). Yapılan projelerin yeni bir teknolojiye sahip olması ve aynı hassasiyette geleneksel yöntemlere göre daha düşük maliyette yapılabilmesi İHA'nın kullanımının artmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada maliyet analizi aşamasında İHA ile üretilmiş fotogrametrik veri ve geleneksel yöntemler ile üretilmiş topografik harita üretim işi karşılaştırılmıştır. Maliyet analizi dört temel nokta açısından incelenmiştir. Bu aşamada;

- i. İHA ile veri toplama ve fotogrametrik veri işleme aşamaları için maliyet analizi
- ii. Örnek İHA, yazılım ve donanım maliyet analizi
- iii. Örnek GNSS ölçme sistemi ve yazılımı maliyet analizi
- iv. Geleneksel yöntem olan topografik harita üretimi ile maliyet analizinin irdelenmesi ele alınmıştır.

(1) İHA İle Fotogrametrik Veri İşleme İçin Örnek Maliyet Analizi

Maliyet analizi İLBANK A.Ş.' nin resmi internet sitesinde yer alan İller Bankası A.Ş. Yatırım Koordinasyon Dairesi Başkanlığı 2017 Yılı Sayısal Halihazır Harita Alım İşleri Birim Fiyat Cetveli esas alınarak hazırlanmıştır (Sayısal Halihazır Harita Alım İşleri Birim Fiyat Cetveli, 2017). İLBANK bu cetveli hazırlarken, Harita Genel Müdürlüğü resmi internet sitesinde bulunan birim fiyat cetvellerini kullanmıştır. Bu temel birim fiyat cetvellerinde %20 olarak öngörülen yüklenici karı ve %18 KDV tutarları Tablo 3 ve Tablo 4' de verilmiştir. GNSS sensörlerinin Tusaga - Aktif ağına bağlanarak ölçme işlemini yapabilmesi için gerekli ilk üyelik ve aylık abonelik ücretine KDV oranı dahildir. Aynı şekilde Sivil Havacılık tarafından alınması zorunlu olunan İHA Pilotu Lisansının fiyatına da KDV oranı dahildir. Yapılan maliyet analizinde KDV oranı eklenmemiş bölümlerde KDV tutarı tabloda eklenmiştir.

İller Bankası A.Ş. Yatırım Koordinasyon Dairesi Başkanlığı 2017 Yılı Sayısal Halihazır Harita Alım İşleri Birim Fiyat Cetveli'ne göre "Fotogrametrik Harita Alım İşlerine Ait Notlar" kısmında bulunan Sayısal Hava Kamerası ile Fotoğraf çekimi bölümü 5. maddesine göre standart görülen %30 enine bindirme oranından daha yüksek bir oran kullanılması halinde birim fiyatların 1.5 katı alınması gerektiği belirtilmektedir (Sayısal Halihazır Harita Alım İşleri Birim Fiyat Cetveli, 2017). Çalışma alanında, İHA uçuş planı hazırlanırken daha yüksek çözünürlüklü ortofoto üretimi için %80 enine, %70 boyuna bindirme oranı kullanılmıştır. Bu sebeple birim fiyatların 1.5 katı hesaplanmıştır.

İHA ile veri toplama ve veri işleme maliyet analizi çalışma bölgesinde tesis edilen fotogrametrik nirengi nokta ve elde edilen fotoğraf sayısı, sayısal ortofoto üretiminin 1/1000 ölçeğinde km²'ye, Tusaga Aktif ağına bağlanmak ve Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'nden İHA Pilotu Lisansı almak için verilen bedele bağlıdır. Çalışma alanı için bu iş kalemlerine göre 4 adet fotogrametrik nirengi, 435 adet hava fotoğrafı sayısı ve proje alanının km² biriminde büyüklük parametreleri girilerek hesaplanmıştır. Tablo 3'de çalışma alanı için İHA ile fotogrametrik veri üretimi maliyet analizi fiyatı 10,780.10 TL'dir.

(2) İHA, Yazılım ve Donanım Örnek Maliyet Analizi

İHA'ları oluşturan temel donanımların yaklaşık olarak maliyeti, projenin amacına göre değişmektedir. Fotogrametrik veri üretimi için kullanılan İHA'lar yüksek çözünürlüklü kamera sistemlerine sahip olmalıdır. Fotogrametrik veri üretimi için kullanılacak İHA'nın sahip olması gereken donanımlar; İHA, sayısal kamera ve GNSS alıcısıdır. Bu donanımlar ile örnek maliyet analizi fiyatı 40,600.00 TL olarak hesaplanmıştır (Tablo 4).

Tablo 3. Çalışma alanı için maliyet analizi

İş	Birim	Birim Fiyat (BF)	BF*1.5	Çarpan	Fiyat (tl)
Fotogrametrik Nirengi Noktası	adet	339.37	509.055	4	2,036.220
Fotoğraf alımı	adet	5.27	7.905	435	3,438.675
Sayısal Ortofoto Üretimi	1/1000 tl/km ²	2,684.39	4,026.585	0.783	3,152.816
Ara Toplam					8,627.11
KDV(%18)					1,552.99
Ara Toplam					10,180.10
Tusaga Aktif İlk Abonelik (kdv dahil) bir defa	tl	150			150.00
Tusaga Aktif Ağ Rtk (kdv dahil) aylık	tl	100			200.00
Sivil Havacılık İHA Pilotu Lisansı	tl				250.00
Toplam					10,780.10

Tablo 4. İnsansız Hava Aracı örnek donanım maliyet analizi

Ürün/Hizmet Açıklaması	Adet	Birim Fiyat	Fiyat (tl)
DJI-MATRICE 600 İHA	1	20,000.00	20,000.00
NIKON D5300 KAMERA+ NIKON 50mm F/1. LENS	1	3,600.00	3,600.00
DJI-RTK-GNSS ALICISI	1	17,000.00	17,000.00
Toplam			40,600.00

İHA ile elde edilmiş yüksek çözünürlüklü görüntülerden, yoğun görüntü eşleme işleminin hızlı bir şekilde yapılabilmesi için grafik işlem ünitesi (GPU) kullanılması gerekmektedir. Elde edilen verilerin işlenebilmesi ve fotogrametrik veri üretimi için iş istasyonunda lisanslı görüntü işleme yazılımlarının olması gerekmektedir. Bu çalışmada en yaygın kullanılan görüntü eşleme programları Pix4d ve Agisoft PhotoScan Professional ele alınmıştır. Ayrıca bu yazılımlara bağlı kalınmadan kendi özgün kodu yazılarak soruna çözüm sağlanabilir. Bu çalışmada maliyet analizi için kullanılan yazılım ve donanımların görüntü işlenmesi için örnek maliyet analizi Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Yazılım ve donanım maliyet analizi

Ürün/Hizmet Açıklaması	Adet	Birim Fiyat	Fiyat (tl)
PIX4D Yazılımı	1	32,500.00	32,500.00
AGISOFT Yazılımı	1	13,000.00	13,000.00
İş İstasyonu MSI GT80S CORE İ7 6920HQ 2.9GHZ-64GB- 2x256SSD+1TB-18.4"-SLI 2xGTX980M 8GB-W10	1	19,000.00	19,000.00
Pix4D		Toplam	51,500.00
Agisoft PhotoScan		Toplam	32,000.00

(3) Örnek GNSS Ölçme Sistemi ve Yazılımı Maliyet Analizi

İHA fotogrametrisi yönteminde ve geleneksel yöntem ile topografik harita üretim yöntemlerinin her ikisinde de GNSS ölçme aletleri kullanılmaktadır. İHA fotogrametrisi ile veri üretiminde koordinat sisteminde 3B koordinatları ölçülmesi için TUSAGA Aktif ağına bağlanılarak bu ölçme aletleri kullanılmıştır. Geleneksel yöntem ile topografik harita üretiminde ise tamamen TUSAGA Aktif ağına bağlanılarak ölçüm gerçekleştirilmektedir. İki yöntemde de ölçme aleti olarak GNSS sensörlerini bulunduran aletler kullanılmaktadır. Tablo 6'da örnek GNSS ölçme aleti yaklaşık maliyet hesabı gösterilmektedir. Bu tabloya göre GNSS ölçme aleti ve alet sehvası maliyeti 46,850.00 TL'dir. Verilerin işlenmesinde kullanılan Trimble' a ait yazılımın maliyeti ise 19,000.00 TL'dir. Maliyet analizi sonucunda KDV dahil GNSS ölçme aleti ve işleme yazılımı 77,703.00 TL olduğu örnek olarak gösterilmiştir.

Tablo 6 GNSS Ölçme aleti ve GNSS verilerini işleyebilen yazılım maliyet analizi örneği

Ürün/Hizmet Açıklaması	Adet	Birim Fiyat	Fiyat (tl)
Trimble R10 GNSS Alıcı	1	46,850.00	46,850.00
Alet sehpası	1	(GNSS fiyatına dahil)	-
Trimble GNSS verilerinin İşlendiği Yazılım	1	19,000.00	19,000.00
Ara Toplam			65,850.00
KDV (%18)			11,853.00
Toplam			77,703.00

(4) Geleneksel Yöntem İle Maliyet Analizinin İrdelenmesi

Topografik haritalar, arazi ölçmeleri, hesap ve çizim yöntemleri ile oluşturulan yeryüzünde veya yeryüzüne yakın bulunan doğal ve yapay noktalar ile bunların oluşturduğu cisimlerin belirli bir referans sisteminde düzlem ya da yüzeye göre konumlarının saptanması ve belirli bir oran (ölçek) ile küçültülerek sayısal ortamda gösterilmesidir (Sayısal Halihazır Harita Alım İşleri Birim Fiyat Cetveli, 2017). Ortofoto ise eğiklik, dönüklük ve diferansiyel alanlarda yükseklik etkileri giderilmiş, ölçeklenmiş bir haritanın geometrik niteliklerine sahip yeniden örneklenmiş bir fotoğraf veya görüntü olarak tanımlanabilir. Ortofoto üretimi ile geleneksel topografik harita üretimi arasındaki temel fark arazinin mevcut durumunun fotoğraf ile gösterilmesidir. Topografik haritalar sayısal ortamda sadece çizgi, nokta ve poligon ile arazinin durumunu gösterirken; ortofoto aynı zamanda dik izdüşüm haline gelmiş görüntülerden oluşmaktadır. Topografik harita üretimi için maliyet analizi, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası' nın (HKMO) resmi internet sayfasında hazırlanmış olduğu ara yüz hesaplama aracı ile yapılmıştır (Halihazır Harita Yaklaşık Maliyet Hesabı, 2016). Fakat yapılan analizde C2 derecesinde nirengi sayısı sorulmaktadır. Proje kapsamında kullanılan fotogrametrik nirengiler C2 derecesinde değildir. Şekil 4'te çalışma alanı için 78.3 hektar yüz ölçümü gayrimeskun alanına girilerek yaklaşık maliyet bedelinin hesaplandığı gösterilmektedir. İnternet ara yüz programı ile yapılan maliyet analizi sonucunda 35,916.00 TL bedel çıkmıştır. Bu topografik harita üretimi maliyeti hesabında, çalışma alanında C2 derecesinde nirengi tesis edilmediği için kullanımı uygun görülmemiştir. Maliyet hesabında en güncel dönem olan 2016 dönemi seçilmiştir. Toplamda 4 adet olan fotogrametrik nirengi sayısı girilmiştir. Çalışma alanı için 35,916.00 TL yaklaşık maliyet hesabı elde edilmiştir.

Şekil 4. HKMO' nun internet sitesinde bulunan topografik harita yaklaşık maliyet bedeli hesaplama ara yüzü (Halihazır Harita Yaklaşık Maliyet Hesabı, 2016)

HKMO'nun internet sitesinde yer alan Mühendislik Hizmetleri Ücret Cetveli, (2017)'ye göre yatayda ve düşeyde her 5 metrede 1 üç boyutlu koordinat ölçümü yapılarak belirli bir referans koordinat sistemine tanımlanmış, plankote maliyet analizi yapılmıştır. Bu hesaba göre 100.000 m²'ye kadar 1,730.00 TL bedel hesaplanmaktadır. Proje kapsamındaki çalışma alanı 100.000 m²'den büyüktür. Her 100.000 m² den büyük alanlar için her hektar için 1,000.00 TL birim fiyat eklenmesi yapılmaktadır. Çalışma alanı için plankote maliyet analizi Tablo 7'de gösterilmiştir. Çalışma alanı için 5 metre aralıklı plankote maliyet hesabı %18 KDV tutarı dahil 94,435.40 TL elde edilmiştir.

İLBANK A.Ş. 2017 Yılı Sayısal Halihazır Harita Alım İşleri Birim Fiyat Cetveli'ne göre 1/1000 ölçeğinde gayrimeskun alanlar için sayısal harita üretimi hesaplanmıştır (Sayısal Halihazır Harita Alım İşleri Birim Fiyat Cetveli, 2017). Tablo 8'de ise çalışma alanı için topografik harita üretimi gösterilmektedir. Bu maliyet hesabında %20 yüklenici karı ve %18 KDV oranları eklenmiştir.

Tablo 7. 5m aralıklı plankote üretim maliyet hesabı

İş	Birimi	Birim Fiyat (tl)	Çarpan	Fiyat (tl)
5m*5m aralıklı plankote yapımı	hektar	1,000.00	78.3	78300.00
İlk 500 m ² için		1,730.00		1730.00
Ara Toplam				80030.00
KDV (%18)				14405.40
Toplam				94435.40

Tablo 8. 1/1000 ölçeğinde sayısal topografik harita üretimi maliyet hesabı

İş	Birimi	Birim Fiyat (tl)	Çarpan	Fiyat (tl)
1/1000' lik Gayrimeskun Alan	hektar	440.00	78.3	34452.00
Ara Toplam				34452.00
Yüklenici Karı (%20)				6890.40
Ara Toplam				41342.40
KDV (%18)				7441.63
Toplam				48784.03

Bu uygulamada çalışma alanı için yapılan maliyet hesabı analizi 4 farklı bölümde ele alınmıştır. Maliyet analizinde, İHA ile fotogrametrik veri üretimi maliyeti ile geleneksel yöntem olan topografik harita üretimi, maliyeti karşılaştırılmıştır. Çalışma alanı için İHA ile fotogrametrik veri üretimi toplam maliyet analizi Tablo 9'da gösterilmiştir. Bu tabloya göre 78.3 hektar olan çalışma alanı için maliyet analizi 161,083.10 TL'dir. Bu analizde de görüldüğü üzere 2., 3. ve 4. maddeler bir defa satın alındığı takdirde yeniden satın alınması gerekmemektedir. Bu sebeple Tablo 9'da yer alan 10,780.10 TL gerekli donanım ve yazılıma sahip bulunduğu varsayıldığındaki durumda maliyet analizi bedelidir. Tablo 9'a dayalı olarak oluşturulan Tablo 10'da ise gerekli donanım ve yazılımın satın alındığı ve önceden satın alındığı varsayılan maliyet analizleri gösterilmiştir.

Tablo 9. İHA ile toplam maliyet analizi örneği

İş	Fiyat (tl)
1. İHA ile Veri Toplama ve İşleme Maliyet Analizi	10780.10
2. İHA Donanım	40600.00
3. İHA Verisi İşleme Yazılımı ve İş İstasyonu (Agisoft PhotoScan Professional)	32000.00
4. GNSS Ölçme Aleti ve İşleme Yazılımı	77703.00
Toplam	161083.10

Tablo 10. İHA ile fotogrametrik veri üretimi donanım, yazılımın satın alındığı ve ilk defa tüm sistemin satın alındığı durumlardaki maliyet analizi örneği

2., 3., 4. Maddeler Önceden Satın Alındığı Durumu Fiyatı	Tüm Sistemin İlk Defa Satın Alınması Durumu Fiyatı
10780.10 (tl)	161083.10 (tl)

İHA ile fotogrametrik veri üretimi yüksek mekansal ve zamansal çözünürlüklü veri elde edilmesini sağlamaktadır. Bu sistem için gerekli yazılım ve donanım maliyeti yüksektir (Tablo 10). Çalışma alanı için yazılım ve donanım maliyeti proje toplam maliyetinin %93'ünü oluşturmaktadır.

Geleneksel yöntemler kullanıldığında ise Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası'nın yayınlamış olduğu Mühendislik Hizmetleri Ücret Cetveli, (2017)'ye göre 5 m aralıklı plankote ve İbank A.Ş.'nin yayınlamış olduğu 2017 Yılı Sayısal Halihazır Harita Alım İşleri Birim Fiyat Cetveli, (2017)'ye göre 1/1000 ölçeğinde topografik harita üretimi maliyet analizi yapılmıştır. Tablo 11'de 78.3 hektar olan çalışma alanı için 5 metre aralıklı plankote üretimi ve Tablo 12'de topografik harita üretimi maliyet analizi verilmiştir. Tablo 11'deki analize göre 5 metre aralıklı plankote üretimi yöntemi için çalışma alanında yazılım ve donanım ihtiyaçları toplam proje bedelinin %45'ini oluşturmaktadır. Çalışma alanında topografik harita üretimi yöntemi için yazılım ve donanım ihtiyaçları toplam proje bedelinin %61'ini oluşturmaktadır (Tablo 12).

Tablo 11. Geleneksel yöntem ile 5 m aralıklı plankote üretimi maliyet analizi örneği

Çalışma Alanı	Fiyat (tl)
1. GNSS Ölçme Aleti ve İşleme Yazılımı	77703.00
2. 5 m Aralıklı Plankote Üretimi	94435.40
Toplam	172138.40

Tablo 12. Geleneksel yöntem ile 1/1000 ölçeğinde topografik harita üretimi maliyet analizi örneği

Çalışma Alanı	Fiyat (tl)
1. GNSS Ölçme Aleti ve İşleme Yazılımı	77703.00
2. 1/1000' lik Topografik Harita Üretimi	48784.03
Toplam	126487.03

Tablo 13. Farklı geleneksel yöntemlerin maliyet analizi örneği (donanım ve yazılım dahil)

5 m Aralıklı Plankote Üretimi Fiyatı	Topografik Harita Üretimi Fiyatı
172138.40 (tl)	126487.03 (tl)

Geleneksel yöntemlerin çalışma alanı için maliyet analizi Tablo 13'de gösterilmiştir. Tablo 13, Tablo 11 ve Tablo 12'den türetilerek geleneksel yöntemlerin donanım ve yazılım ihtiyaçları ilk defa satın alındığı varsayılarak toplam maliyet analizini göstermektedir. Bu analize göre plankote üretimi topografik harita üretiminden daha yüksek fiyatlı bir geleneksel yöntemdir. Tablo 14'te ise geleneksel yöntemlerin gerekli yazılım ve donanım ihtiyaçlarının daha önceden satın alındığı varsayılarak çalışma alanı için maliyet analizi verilmiştir.

Tablo 14. Farklı geleneksel yöntemlerin donanım ve yazılım dahil olmadan maliyet analizi

5 m Aralıklı Plankote Üretimi Fiyatı	Topografik Harita Üretimi Fiyatı
94435.40 (tl)	48784.03 (tl)

Tablo 15. Donanım ve yazılımın ilk defa satın alındığı İHA ile fotogrametrik ve geleneksel yöntemlerin maliyet analizi

İHA ile Fotogrametrik Yöntem	Geleneksel Ölçme Yöntemleri	
İHA ile Fotogrametrik Veri Üretimi Fiyatı	5 m Aralıklı Plankote Üretimi Fiyatı	Topografik Harita Üretimi Fiyatı
161083.10 (tl)	172138.40 (tl)	126487.03 (tl)

Tablo 16. Donanım ve yazılımın daha önceden satın alındığı varsayılarak İHA ile fotogrametrik ve geleneksel yöntemlerin maliyet analizi

İHA ile Fotogrametrik Yöntem	Geleneksel Ölçme Yöntemleri	
İHA ile Fotogrametrik Veri Üretimi Fiyatı	5 m Aralıklı Plankote Üretimi Fiyatı	Topografik Harita Üretimi Fiyatı
10780.10 (tl)	94435.40 (tl)	48784.03 (tl)

Donanım ve yazılımların ilk defa satın alındığı varsayılarak geleneksel yöntemler ve İHA ile fotogrametrik veri üretimi yöntemi için maliyet analizi Tablo 15'te verilmiştir. Tablo 16'da ise gerekli olan donanım ve yazılımlar daha önceden satın alındığı varsayılarak Tablo 13 ve Tablo 14'ten türetilen maliyet analizi verilmiştir. Bu analize göre yazılım ve donanım ihtiyaçları daha önceden satın alındığı varsayılarak İHA ile fotogrametrik veri üretimi ve geleneksel yöntemlerin maliyet analizi yapıldığında İHA'nın daha düşük maliyete sahip olduğu tespit edilmiştir. Tablo 15 ve Tablo 16'da İHA ile fotogrametrik veri üretiminde proje maliyetini donanım ve yazılım ihtiyaçları artırmaktadır. Bu maliyet analizine göre yazılım ve donanım ihtiyaçları göz önüne alındığında geleneksel yöntemin İHA ile fotogrametrik veri üretimine göre daha düşük maliyete sahip olduğu tespit edilmiştir. Bir diğer açıdan ele aldığımızda bu ihtiyaçlar daha önceden tedarik edilmiş ise İHA ile fotogrametrik veri üretimi, geleneksel yöntemlere göre en düşük maliyete sahip yöntem olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca İHA ve geleneksel yöntemler için bir yıllık amortisman maliyeti Tablo 17 ve Tablo 18'de verilmiştir. Bu tablolar T.C. gelir idaresi başkanlığının güncel amortisman oranları baz alınarak hazırlanmıştır. Bu maliyet analizine göre İHA ile fotogrametrik veri üretiminde Pix4d Yazılımı kullanıldığında bir yıl için hesaplanan maliyet 17.698 TL iken Agisoft yazılımı için bu maliyet 12.368 TL'dir. Geleneksel yöntem için bir yıllık amortisman dikkate alındığında ise 15.703 TL'dir.

Tablo 17. İHA ile fotogrametrik yöntem için bir yıllık amortisman maliyeti

Amortisman a Tabi İktisadi Kıymetler	Faydalı Ömür (Yıl)	Normal Amortisman Oranı (%)	KDV Hariç Fiyat	Amortisman Tutarı
İHA	10	10	16400	1640
Kamera-Lens	6	16.66	2952	492
İş istasyonu	4	25	15580	3895
GNSS	5	20	13940	2788
PIX4D Yazılımı	3	33.33	26650	8883
AGISOFT Yazılımı	3	33.33	10660	3553

Tablo 18. Geleneksel yöntem için bir yıllık amortisman maliyeti

Amortisman a Tabi İktisadi Kıymetler	Faydalı Ömür (Yıl)	Normal Amortisman Oranı (%)	KDV Hariç Fiyat	Amortisman Tutarı
GNSS Ölçme Aleti	5	20	46850	9370
Yazılım	3	33.33	19000	6333

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı, günümüzün modern teknolojisi olarak sunulan İHA ile fotogrametrik veri üretiminde maliyet analizidir. Çalışmada, modern teknoloji olan İHA platformu kullanılarak hızlı, ekonomik ve doğruluğu yüksek fotogrametrik veri üretiminin sağlanabilirliği seçilen bir çalışma alanında test edilmiştir. Gaziantep ili, Şehitkamil ilçesi, Başpınar mahallesi Organize Sanayi Bölgesi olarak seçilen çalışma alanında, İHA ile elde edilen hava fotoğrafları değerlendirilerek 3B model, ortofoto ve SYM üretilmiştir. Bu sonuç ürünlerin doğruluk ve maliyet analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı için Yer Örnekleme Aralığı (YÖA) 3.06 cm ortofoto ve YÖA 7.06 cm SYM üretimi yapılmıştır. Zaman açısından verilerin elde edilmesi dikkate alındığında; 78 hektarlık bir çalışma alanı için 32 dakika gibi kısa bir sürede ölçüm gerçekleştirilmiştir. Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği'ne göre yer örnekleme aralığı 1/1000 ölçekli ortofoto haritalar için 10 cm'nin; SYM için 10 m'nin altında olması gerekmektedir (BÖHHBÜY, 2005). Çalışma alanı için yapılan doğruluk analizi sonucunda üretilen ortofoto ve referans veriler arasındaki farkın cm düzeyinde olduğu görülmüştür. Böylece, İHA'nın fotogrametrik veri üretimi için kullanılabilir bir platform olduğu test edilmiştir. Çalışma alanı için örnek maliyet analizleri fotogrametrik veri üretimi ve geleneksel yöntemler karşılaştırılarak yapılmıştır. Analizler sonucunda, gerekli donanım ve yazılımların önceden tedarik edilmesi halinde fotogrametrik veri üretiminin 5 metre aralıklı plankote üretimine göre %89 ve 3B topografik

harita üretimine göre %78 daha düşük maliyete sahip olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak İHA kullanılarak fotogrametrik veri üretiminin, 5 metre aralıklı plankote üretimin yönteminden 8 kat, topografik harita üretimine göre 4.5 kat daha düşük maliyete sahip olduğu tespit edilmiştir.


Yapılan analizlerin sonucunda fotogrametrik veri üretimi için İHA'ların yüksek doğruluk sunma, kısa sürede veri elde edebilme, tekrarlı ölçü imkanı ile yüksek zamansal çözünürlüğe sahip olma, düşük maliyet ile uygulama gerçekleştirme gibi avantajlara sahip olduğu gözlenmiştir. Büyük ölçekli harita üretimi çalışmalarında elde edilmesi planlanan verilerin çokluğu ve alanda harcanacak zaman dikkate alındığında sabit kanatlı İHA sistemleri klasik ölçme işlemine göre çok daha tercih edilebilir konumdadır.

İHA'nın yaygın kullanımı ülkemizde de özellikle Harita Mühendisliği'nin çalışma konusu haline gelmiştir. Son zamanlarda İHA ile ilgili yeni yönetmeliğe ihtiyaç duyulması bunun ispatıdır. İHA fotogrametrisi ile insan yaşamı için tehlikeli ortamlarda uzaktan veri toplama (afet yönetiminde yangın, deprem, patlama ya da volkanik hareketlerin incelenmesi gibi) imkânı sayesinde, anında çözüm üretecek gerçek zamanlı veri kontrolünü ve üretimini sağlamaktadır. Çalışma alanlarına ait 3B model kent ve arazi yönetimi için gerekli olan analizlerin yapılması mümkündür. Tüm bu avantajlar göz önüne alındığında İHA platformu, diğer uzaktan algılama ve fotogrametri verisi elde etme platformlarından üstün kılmaktadır. Ayrıca, elde edilen veriler kullanılarak arkeolojik belgeleme, afet yönetimi, orman alanlarının tespiti ve orman envanterinin çıkarılması, trafik yoğunluğunun harita üretimi, kaçak yapı tespiti, gürültü ve hava kirlilik analizi gibi çalışmalar yapılabilir.

TEŞEKKÜR

YTÜ, BAP, YÜLAP 2015-05-03-YL03 nolu Bilimsel Araştırma Projesi ile desteklenmiştir. Piksel Harita'ya veri üretimi ve desteği için teşekkür ederiz.

ORCID

Melis UZAR  <https://orcid.org/0000-0003-0873-3797>

Ilgın ÖZEMİR  <https://orcid.org/0000-0002-7401-3280>

KAYNAKLAR

Ceylan, M., Döner, F. ve Özdemir, S. (2014, Ekim). *İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Veri Toplama ve Haritalama Çalışmalarında Kullanımı*. V. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, İstanbul, Türkiye.

Chen, J., Li K., Chang, K., Sofia, G. ve Tarolli, P. (2015). Open-Pit Mining Geomorphic Feature Characterisation. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 42, 76–86. doi: org/10.1016/j.jag.2015.05.001

Cramer, M. (2001). *Genauigkeitsuntersuchungen zur GPS/INS. Integration in der Aerophotogrammetrie*. Deutsche Geodätische Kommission, München, p. 122. Erişim adresi: http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/dissertationen/Cramer_Diss.pdf

Eisenbeiss, H. (2003). *Positions und Orientierungsbestimmung eines autonomen Helikopters - Vergleich zwischen direkter Georeferenzierung und Aerotriangulation mit Videobilddaten*. Diploma Thesis, Institute for Photogrammetry and Remote Sensing, University of Technology, 86, Dresden, Germany.

Eisenbeiss, H. (2009). UAV Photogrammetry. ETH Zurich for the degree of Doctor of Science, Zurich, Switzerland.

Fitzpatrick, B. P. (2015). *Unmanned Aerial Systems For Surveying And Mapping: Cost Comparison Of Uas Versus Traditional Methods Of Data Acquisition*. Faculty Of The Usc Graduate School University Of Southern California In Partial Fulfillment Of The Requirements For The Degree Master Of Science, Los Angeles, USA.

Gençerk, E. Y. (2016). *İnsansız Hava Aracı Fotogrametrisi Uygulaması İle İnşaat Projesi İmalat Durumunun Araştırılması (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi)*. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Karakas, H., Koyuncu, E. ve Inalhan, G. (2013). ITU Tailless UAV Design. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 69,1-4, 131-146.

Krsak, B., Blišťan, P., Pauliková, A., Puškárová, P., Kovanič, L., Palková, J. ve Zelizňaková, V. (2016). Use of low-cost UAV photogrammetry to analyze the accuracy of a digital elevation model in a case study. *Measurement*, 91, 276-287. doi: 10.1016/j.measurement.2016.05.028

Mizinski, B. ve Niedzielski, T. (2017). Fully-automated estimation of snow depth in near real time with the use of unmanned aerial vehicles without utilizing ground control points. *Cold Regions Science and Technology*, 138, 63-72. doi: 10.1016/j.coldregions.2017.03.006

Newhall, B. (1969). *Airborne camera: The world from the air and outer space*. Hasting House, Trowbridge & London, 144.

- Pritt, M. D. (2014). Fast Orthorectified Mosaics Of Thousands Of Aerial Photographs From Small Uavs. Imagery Pattern Recognition Workshop (AIPR), IEEE, Washington, DC, USA. doi: 10.1109/AIPR.2014.7041928
- Przybilla, H.J. ve Wester-Ebbinghaus, W. (1979). Bildflug mit ferngelenktem Kleinflugzeug. In: Bildmessung und Luftbildwesen, Zeitschrift fuer Photogrammetrie und Fernerkudung, 47, 5, 137-142. Erişim adresi: <https://elib.uni-stuttgart.de/DissertationNiethammerPub.pdf>
- Wester-Ebbinghaus, W. (1980). Aerial Photography by radio controlled model helicopter. *The Photogrammetric Record*, 10, 55, 85-92. doi.org/10.1111/j.1477-9730.1980.tb00006.x
- Whittlesley, J. H. (1970). Tethered Balloon for Archaeological Photos. *Photogrammetric Engineering*, 36, 2, 181-186. Erişim adresi: https://www.asprs.org/wpcontent/uploads/pers/1970journal/feb/1970_feb_181-186.pdf
- Yakar, M., Doğan, Y. (2017, Nisan). Silifke Aşağı Dũnya Obruđunun İHA Kullanılarak 3B Modellenmesi. *Tũrkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliđi Teknik Sempozyum*, Afyonkarahisar.
- Bũyũk Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Őretim Yönetmeliği. (2005). Erişim adresi (23 Mart 2018):http://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/42a58f0b7c9e0ab_ek.pdf
- Sayısal Halihazır Harita Alım İşleri Birim Fiyat Cetveli, (2017). İller Bankası A.ř. Yatırım Koordinasyon Dairesi Başkanlığı. Erişim adresi (23 Mart 2018): <http://www.ilbank.gov.tr/dosyalar/BirimFiyatCetvelleri/2017/Say%C4%B1sal%20Halihaz%C4%B1r%20Harita%20Al%C4%B1m%C4%B1%20%C4%B0%C5%9Fleri%20Birim%20Fiyatlar%C4%B1.pdf>
- Halihazır Harita Yaklaşık Maliyet Hesabı, (2016). Erişim adresi (22 Kasım 2018): http://www.hkmo.org.tr/birim_fiyatlar/index_halihazir.php
- Mũhendislik Hizmetleri Őcret Cetveli, (2017). Erişim adresi (23 Mart 2018): http://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/f45aa9535c5f1dc_ek.pdf?tipi=29&turu=X&sube=0