



Accuracy of Unmanned Aerial Vehicle Data in Topographic Maps Production

Ahmet Turan Altun^{1,a}, Önder Gürsoy^{1,b,*}

¹Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of , Surveying Engineering, Sivas, 58140, Türkiye

*Corresponding author

Research Article

History

Received: 07/12/2023

Accepted: 25/12/2023

Copyright



This work is licensed under
Creative Commons Attribution 4.0
International License

ABSTRACT

In recent years, many different options have been introduced in the acquisition of digital land data. One of them is the collection of numerical data from the land by installing non-metric cameras to Unmanned Aerial Vehicles. In this study, the historical development, characteristics and usage areas of UAVs will be discussed in detail and the techniques used in map production through UAVs will be discussed. This study consists of four chapters in which how the map production is realized by using UAVs and which materials and tools are used. In the introduction, which is the first part of the study, the concepts covered in the study and preliminary information about the study, the purpose and scope of the study are included. In the second part, information about unmanned aerial vehicle (UAV) is given. The third part of the study includes information about remote sensing. In this section, the digital elevation model (SYM) and related standards and methods are discussed in detail. In the fourth section, which is the last section of the study, the accuracy of the data obtained from the UAV in current map production was investigated.

Keywords: UAV, Photogrammetry, Topographic map

İnsansız Hava Aracı Verilerinin Topografik Harita Üretimindeki Doğruluğu

Süreç

Geliş: 07/12/2023

Kabul: 25/12/2023

Copyright

Öz

Son yıllarda sayısal arazi verilerinin elde edilmesinde çok farklı seçenekler kullanıma sunulmaya başlanmıştır. Bunlardan biri İnsansız Hava Araçlarına metrik olmayan kameraların monte edilmesi yoluyla araziden sayısal verilerin toplanmasıdır. Bu çalışma kapsamında, İHA'ların tarihsel gelişimi, özellikleri, kullanım alanları ayrıntılı şekilde ele alınarak, İnsansız Hava Araçları vasıtasıyla harita üretiminde hangi tekniklerden yararlandığı ele alınacaktır. İnsansız Hava Araçları yardımıyla topografik harita üretiminin nasıl gerçekleştirildiğini, hangi materyal ve araçlardan yararlandığının ele alındığı bu çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın ilk bölümü olan giriş bölümünde, çalışma kapsamında ele alınan kavramlar ve çalışma ile ilgili ön bilgiler, çalışmanın amacı ve kapsamı yer almaktadır. İkinci bölümde insansız hava aracı ile ilgili bilgilere yer verilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde uzaktan algılama ile ilgili bilgiler yer almaktadır. Bu bölüm içerisinde Sayısal Yükseklik Modeli ve ilgili standart ve yöntemlere ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Çalışmanın son bölümünde ise, İnsansız Hava Araçlarından elde edilen verilerin topografik harita üretimindeki doğruluğu araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: UAV, fotogrametri, topografik harita

^a aturanaltun@gmail.com

^b <https://orcid.org/0000-0002-1531-135X>

^b ogursoy@cumhuriyet.edu.tr

^b <https://orcid.org/0000-0002-1531-135X>

How to Cite: Altun AT, Gürsoy Ö (2023) Accuracy of Unmanned Aerial Vehicle Data in Topographic Maps Production, Journal of Engineering Faculty, 1(2): 55-65

Giriş

İnsansız hava araçları (İHA), öncelikli olarak askeri amaçlar için kullanılmaya başlanan önemli teknolojilerden biridir. Başta askeri amaçlar için kullanılan bu teknoloji günümüzde jeolojiden, meteorolojiye, haritacılıktan, afet yönetimine varana dek pek çok alanda kullanılmaya başlamıştır. Bu sayılanların dışında daha pek çok alanda kullanılan [1,2,3] İHA'lar son yıllarda bireysel olarak eğlence amaçlı da kullanılmaktadır. Bu hava araçlarına monte edilen dijital kameraların yardımıyla, erişilmesi oldukça zor olan, tehlikeli ve yüksek yerlerde gözlem ve ölçümler yapabilmektedirler. Bu hava araçlarıyla elde edilen görüntüler hassasiyet açısından yersel tekniklerle yarışabilecek niteliğe sahip oldukları geçmişte yapılan pek çok çalışma ve araştırmada gözler önüne serilmiştir [4,5]. Bu açıdan İHA'lar yersel ölçüm tekniklerine uygun olabilecek en gerekli ve önemli alternatiflerden biridir.

Yakın tarihte genel olarak uydulardan elde edilen veriler kullanılmaktaydı. Ancak uydu görüntülerinin hem görüntü kalitesi açısından hem de hızlilik açısından İHA'larla kıyaslandığında, İHA'ların uydu görüntülerine kıyasla bazı üstünlüklerinin olduğunu söylemekte yarar vardır. Optik Uydu görüntüleriyle imkânsız olan konumsal çözünürlükler, İHA'ların yardımıyla daha iyi görüntü elde edilebilmektedir. Ayrıca İHA'larla anında görüntü elde edilebilmektedir. Uydulardan görüntü elde edebilmek için bir takım prosedür, hava koşulları, maliyet, görüntü alma sırası vb. sebepler dikkate alındığında İHA'ların uydulara kıyasla daha avantajlı olduğu açık bir şekilde görülmektedir.

İHA'lara monte edilen dijital kameraların görüntü ve fotoğraf alımı için özel bir yazılım bulunmaktadır. Böylece görüntü ölçeği ve kamera odaklanacağı uzaklık ve yükseklik hesaplanıp sabitlendikten sonra uçuş gerçekleştirilir. Kamera perspektif noktaları, görüntü yönlendirme amacıyla kullanılır. Kalkış ve iniş işlemleri, kullanılan araç ve karakteristiklerle doğrudan bağlantılıdır. Genel olarak İHA'lar uzaktan kumanda ile yerden kontrol edilir. Uçuş sırasında, platform normal olarak pozisyon, hız, mesafe, yakıt durumu, rotor hızı vb. gerçek zamanlı uçuş verilerini gösteren bir kontrol istasyonundan gözlemlenir [6].

Pek çok avantajı ve maliyet açısından da İHA'ların hesaplı olması, askeri alanlar dışında, günümüz iş dünyası ve kamu kurum ve kuruluşları da İHA'lardan sık bir şekilde yararlanılmaktadır. Özetle; İHA'lar yardımıyla gerçek zamanlı ve çözünürlükleri yüksek olan fotoğrafların ve görüntülerin elde edilebilmesi mümkün olabilmektedir.

Teknolojinin gelişmesiyle beraber günümüzde uzaktan algılama ve fotogrametri ile elde edilen verilerde, üretim platformu olarak İHA'lar kullanılmaya başlanmıştır. Maliyetin düşük olması, hızlilik, yüksek çözünürlük ve tekrarlı uçuş kabiliyeti yardımıyla İHA'lar ulaşılması güç olan alanlarda da tercih edilmektedir. Ayrıca İHA'lar, insanların girmelerinin olanaksız ve tehlikeli olduğu yerlerde, kolay bir şekilde ölçüm yapılabilmesi için de tercih edilmektedir.

Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) Kavramı

SYM'ler topografya analizi için en temel veri kaynaklarının başında gelmektedir. SYM; yirminci yüzyılın ortalarında Profesör Miller tarafından ortaya atılan bir kavramdır. Miller

açısından SYM, topografik niteliğe sahip bir veri tabanıdır [7]. Günümüzde ise SYM'ler, hava fotoğrafları, eş yükseklik eğrileri, uydu verileri gibi oldukça zengin veri kaynakları yardımıyla üretilmektedir [8,9].

Ulusal Harita Doğruluk Standartları (NMAS-1947)

Bu standart 1947'de ABD tarafından haritaların doğruluklarının tespit edilmesi amacıyla geliştirilmiş olan standartlardan biridir. Kalite standartlarının ilk örneği olarak verilebilir ve daha sonraki standartların geliştirilmesinde de kaynak olarak gösterilmektedir. Bu standartlardan en önemli olanı, üzerinde yükseklik eğrisinin olduğu herhangi bir ölçekteki sahip haritalar da testi yapılan alanların maksimum olarak %10'unun hatası eğri aralık değerinin yarısından fazla olamaz [10].

Büyük Ölçekli Haritaların Doğruluk Standartları (ASPRS-1990)

Büyük ölçekli haritaların doğruluk standartları ABD Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliğinin Teknik Özellikler ve Standartlar komitesince geliştirilen standartlardan biridir. Büyük ölçekli haritaların doğruluk standartları, ulusal harita doğruluk standartlarının revize edilmesi sonrasında oluşturulan standartlardan biridir. Hem özel amaçlı hem de mühendislik uygulamaları için hazırlanan büyük ölçekli topografik haritaların ait mekânsal doğruluk tanımlarını da kapsamaktadır. Düşey doğruluğun yatay doğruluğun bir işlevi olduğu düşünülmektedir. Büyük ölçekli haritaların doğruluk standartlarının ana başlıkları kısaca aşağıda sıralanmaktadır [11].

- Bu standartlarda haritalar sınıflara ayrılmıştır,
- Hem yatay hem de düşey doğruluk amacıyla Karesel Ortalama Hata (KOH) hata limitlerinden yararlanır,
- KOH'taki hatalar uzunluk ölçüsü ile tespit edilir. Ulusal harita doğruluk standartlarındaki gibi feet veya metre ölçütlerinden yararlanır,
- Düşey hatalar aynı zamanda yatay hataların bir işlevidir,
- Test noktaları iyi seçilmiş olmalıdır.

Ulusal Mekânsal Veri Standartları (FGDC-1998)

ABD'deki kamu kuruluşlarının oluşturduğu Federal Coğrafi Veri Komitesince (FGDC) mekânsal verilerin doğruluğunun tespiti için hazırlanmış standartlardır. Faaliyet alanı haritalar, sayısal veriler, vektör ve nokta detaylarıdır. Ulusal mekânsal veri standartları "veri kullanılabilirlik standartları" şeklinde sınıflandırılmış ve veri kalitesi, değerlendirme, doğruluk araştırması ve raporlama teknikleri şeklinde de sıralanmıştır. Burada "Mekânsal Veri Doğruluğu İçin Standartlar" NSSDA şeklinde tanımlanmış ve kapsam olarak noktaların doğruluğu, uygulanan yöntemleri incelenmiştir. Ulusal mekânsal veri standartlarının ana başlıkları kısaca aşağıda sıralanmaktadır [10,11]

- NMAS gibi SYM kavramından önce tanımlanmamış, SYM tanımından sonra geliştirilen ve günümüzde de kabul gören doğruluk standartlarından biridir.
- Doğruluk değerleri KOH_z ve Doğruluk z şeklinde tanımlanmaktadır.

- KOH₂ ve Doğruluk z değerleri metre veya feet olarak belirtilir. NMAS da inch olarak sunulmaktadır.
- Doğruluğun raporlanması %95 güven aralığında olur.
- Hatalar normal dağılımlı olduğunda NMAS Düşey doğruluk için verdiği kriter KOH₂ cinsinde NMAS = 3.2898 × KOH₂ şeklinde hesaplanmaktadır.
- Düşey hatalar NMAS ve ASPRS' deki gibi ötelenerek giderilemez.

Uzaktan Algılama ile Harita Üretimi Hakkında Yönetmelik (FEMA-2003)

Uzaktan Algılama ile Harita Üretimi Hakkında Yönetmelik'e geçmeden önce uzaktan algılama teknolojisini de ele almakta yarar vardır. Herhangi bir uzaktan algılama teknolojisinin amacı, belirli bir zaman veya zaman diliminde bir haritalama kapsamındaki bazı fiziksel parametrelerin gözlemlenmesini sağlamaktır. Fiziksel alan geniş bir şekilde tanımlanmıştır ve dünyanın biçiminden insan yapımı nesnelere, bitki örtüsüne, atmosferik parametreler gibi pek çok şeyi içermektedir. Mekânsal ve zamansal çözünürlük açısından, benzer geniş bir aralık vardır [12].

Topografik Harita

Bir yerin doğal özellikleri, yapay özellikleri ve topografik yapısının yer aldığı ve belirli ölçeklere sahip olan haritalara Hâlihazır harita ya da diğer adıyla "Durum Haritası" adı verilmektedir. Hâlihazır haritalarda doğal alanlar olan orman, nehir, dere vb. alanların ve yapay alanlar olan demir ve kara yolu, enerji nakil hatları, kanallar, binalar vb. alanların topografik yapısı yer almaktadır. Hâlihazır haritalar; yol, su, altyapı (kanalizasyon) ve imar vb. projelerinin düzenlenmesi ve uygulanması, hidroelektrik santral işlemleri, plansız alanlarda yapılaşma ve daha pek çok iş kolu açısından büyük öneme sahip olan altlık haritalardır [13].

Ortofoto

Ortofoto; perspektif resimlerdeki, eğiklik ve yükseklik farklarından ötürü görüntülerde karşılaşılan kaymalarının giderilmesi neticesinde elde edilen, harita gibi belli bir ölçeğe sahip fotografik görüntü olarak tanımlanmaktadır. Üzerine kartografik bilgiler olan harita kenar bilgileri, gridler, eş yükselti eğrileri, isimler vb. eklenen ortofotolar, "Ortofoto Harita" şeklinde tanımlanmaktadır. Birçok ortofoto ile oluşturulan tek bir altlığa sahip olan ortofotolar ise "Ortofoto Mozaik" adı verilmektedir. Genel olarak bu foto haritanın üzerine eşyükselti eğrileri de çizilmiştir. Bu haritalarda kullanıcıların kullanımını kolaylaştırmak amacıyla yazılar ve rakamlar ilave edilmiştir. İHA'lar ve diğer hava araçları üretilen bu tip haritalar alışılmış çizgi haritalar şeklinde de kullanıldığını söyleyebiliriz [13].

Çalışma Alanı ve Yöntemi

Çalışma alanı Cumhuriyet Üniversitesi Yerleşkesi içinde yaklaşık 3 hektarlık alan test sahası olarak seçilmiştir. Çalışma alanı içerisinde Phantom 4 Pro ve Yuneec F520 markalı iki insansız hava aracı kullanılmış ve test alanı içerisinde 6 adet yer kontrol noktası (YKN) işaretlenmiştir (Şekil.1). Çalışma alanı içerisinde nokta konum doğruluğunu ve farklı ticari yazılımların güvenilirliğini araştırmak amacıyla, 11 adet kontrol noktası işaretlenmiştir (Şekil.2). Görüntüler 60 m irtifada %80 boyuna ve %70 enine bindirme şeklinde iki farklı İHA ile uçuşlar yapılmıştır.

Arazi ve Büro Çalışmaları

Arazi çalışmaları sırasında daha önce planlanan YKN noktaları arazide tesis edilmiştir (Şekil 14). Daha sonra sırası ile DJI Phantom 4 Pro ve Yuneec Typhoon H520 kullanılarak uçuş yapılmış ve hava fotoğrafları elde edilmiştir (Çizelge.1). Daha sonra Pix4D ve Agisoft Photoscan yazılımlarında değerlendirme işlemleri yapılmıştır. Çalışma alanını kapsayan uçuşlar yapılmadan önce Yer Kontrol Noktaları (YKN) tesisi ve ölçümleri yapılmıştır. Alan içinde 6 adet YKN ve 11 adet Kontrol Noktası işaretlenmiştir (Şekil.3 ve Şekil.4).

Kullanılan Alet, Yazılımlar ve İşlem Adımları

Uygulamada ticari İHA fotogrametri yazılımlarının ortofoto üretimi konusunda kullanılabilirlikleri ve sonuç ürünlerinin doğruluğu açısından kıyaslanması gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma yapılmak üzere geniş haritacılık sektöründe kabul edilmiş ve kullanıcı sayısı olarak kendini kanıtlamış iki ticari yazılım olan Agisoft Photoscan ve Pix4D Mapper yazılımları tercih edilmiştir. Her bir yazılım ile belirlenen bir veri setinde bulunan hava fotoğraflarından Yer Kontrol Noktaları (YKN) kullanılarak ortofoto üretilmiştir. Üretilen verilerin doğrulukları için çalışma alanı içerisinde 11 adet kontrol noktaları GNSS Cors-TR ile ölçülmüştür. Daha sonra farklı İHA cihazları ile elde edilmiş hava fotoğrafları iki farklı ticari yazılımda değerlendirilmiş ve noktaların konum doğrulukları test edilmiştir. Yapılan bu çalışma fotogrametrik yöntemle üretilen topografik haritaların doğruluğu açısından önemli rol oynamaktadır. Hem kullanılacak İHA cihazı hemde ticari yazılımların doğrulukları açısından kullanıcılara önemli ölçüde fikir vermektedir.

Pix4D Özellikleri

Pix4D Mapper yazılımda İHA ile elde edilen hava fotoğrafları yazılım iş planına göre üç aşamada değerlendirilmektedir. Bunlardan ilki fotoğrafların eşleştirilme aşamasıdır. Daha sonra eşleştirilen pikseller ikinci aşama olan nokta bulutu üretimi ile uçuş yapılan alana ait nokta bulutu verileri üretilmektedir. Üçüncü ve son aşama olan ortomozayik ve SYM üretiminde nokta bulutuna ait yükseklik verileri ile yine nokta bulutuna ait RGB değerleri kullanılarak ortomozayik ve sayısal yükseklik modeli otomatik olarak elde edilmektedir (Şekil.5-7).

Çizelge 1. İHA'lara ait uçuş sonrası bilgiler[4]

Table 1. Post-flight information about UAVs[4]

| | DJI Phantom 4 Pro | Yuneec H520 |
|-------------------------|-------------------|-------------|
| Çekilen Fotoğraf Sayısı | 526 adet | 326 adet |
| GSD | 1.46 cm | 1.76 cm |
| GCPs KOH | 1.5 cm | 3.6 cm |



Şekil 1. Çalışma Alanı [4]
Figure 1. Workspace [4]



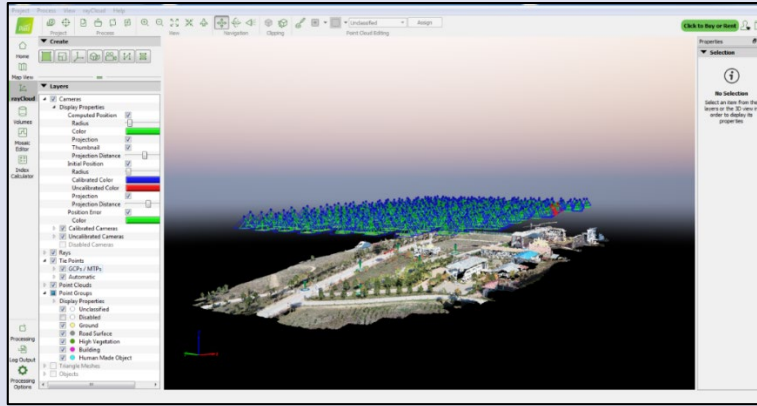
Şekil 2. Çalışma alanı içinde ve YKN ve Kontrol Noktalarının dağılımları [4]
Figure 2. Distribution of GCP and Control Points within the work area [4]



Şekil 3. İşaretlenen YKN görünümü [4]
Figure 3. Marked GCP view [4]



Şekil 4. İşaretlenen Kontrol Noktası görünümü [4]
Figure 4. İşaretlenen Kontrol Noktası görünümü [4]



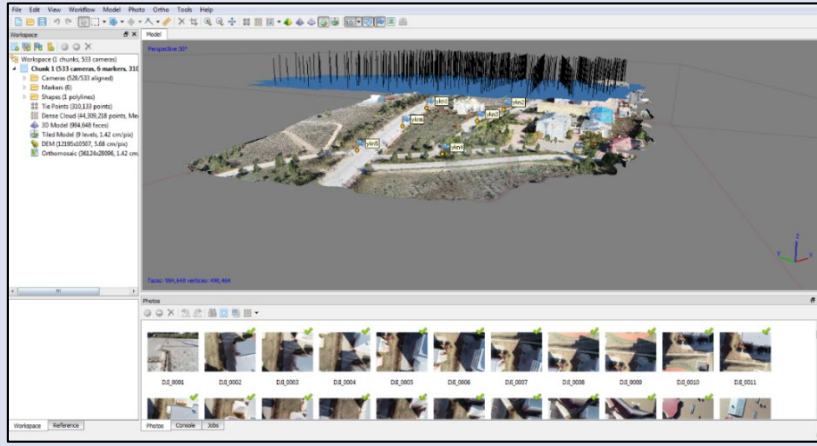
Şekil 5. Pix4D genel görünümü [4]
Figure 5. Pix4D overview [4]



Şekil 6. Pix4D ile üretilmiş DJI Phantom 4 Pro'ya ait görüntü [4]
Figure 6. Image of DJI Phantom 4 Pro produced with Pix4D [4]



Şekil 7. Pix4D ile üretilmiş Yuneec H520'ye ait görüntü [4]
Figure 7. Image of Yuneec H520 produced with Pix4D [4]



Şekil 8. Agisoft Photoscan genel görünümü [4]
Figure 8. Agisoft Photoscan overview [4]



Şekil 9. Agisoft Photoscan ile üretilmiş DJI Phantom 4 Pro'ya ait görüntü [4]
Figure 9. Image of DJI Phantom 4 Pro produced with Agisoft Photoscan [4]



Şekil 10. Agisoft Photoscan ile üretilmiş Yuneec H520'ye ait görüntü [4]
Figure 10. Image of Yuneec H520 produced with Agisoft Photoscan [4]

Çizelge 2. DJI Phantom 4 Pro Özellikleri

Table 2. DJI Phantom 4 Pro Features

| Parametre | Özellikleri |
|----------------------|---------------------------------------|
| Ağırlık | 1388 Gram |
| Max Hız | 72 km/s |
| Pervane Sayısı | 4 Tane |
| Kamera | 20 MP – 1" CMOS Sensör ile |
| Fotoğraf Çözünürlüğü | 5472x3648 |
| Uçuş Süresi | Yaklaşık 30 Dk (5870 mAh batarya ile) |
| Menzil | 3500 m |
| Çalışma Sıcaklığı | 0-40 Co |
| Navigasyon | GPS/GLONASS |

Çizelge 3. Yuneec H520 Özellikleri

Table 3. Yuneec H520 Features

| Parametre | Özellikleri |
|----------------------|------------------------------------------|
| Ağırlık | 1633 Gram |
| Max Hız | 72 km/s |
| Pervane | 6 Tane |
| Kamera | 20 MP - 1" CMOS Sensör ile |
| Fotoğraf Çözünürlüğü | 5464x3640 |
| Uçuş Süresi | Yaklaşık 25-30 Dk (5250 mAh batarya ile) |
| Menzil | 1600 m |
| Çalışma Sıcaklığı | -20 +60 Co |
| Navigasyon | GPS/GLONASS |

Agisoft Özellikleri

Agisoft Photoscan yazılımında ise İHA ile elde edilen hava fotoğrafları daha basit arayüzü ile kullanıcılara temel fotogrametri işlem adımlarını sırası ile yapma olanağı sunarak herhangi bir karışıklıkta işlemlerin bitmeden müdahale olanağı sağlamaktadır. Agisoft Photoscan yazılımı iş planına göre üç ana aşamada değerlendirilmektedir. Bunlardan ilki fotoğrafların eşleştirilme aşamasıdır. Daha sonra eşleştirilen pikseller

ikinci aşama olan nokta bulutu üretimi ile uçuş yapılan alana ait nokta bulutu verileri üretilmektedir. Pix4D yazılımından farklı olarak üretilecek verilerin işlem adımları ayrı ayrı seçilip dışa aktarılır (Şekil. 8-10).

DJI Phantom 4 Pro Özellikleri

Çalışmada kullanılan İHA sistemi DJI Phantom 4 Pro markalı bir multikopterdir. Pratik, kolay kullanımlı ve düşük maliyetli bir İHA olduğu için küçük alanların görüntü

alımlarında tercih edilmektedir. Yüksek kalitede kameraya sahip olması ve multikopter olarak stabilizasyonun iyi sağlamasından bu araştırmada tercih edilmiştir.

Ayrıca kullanılan İHA sistemi Pix4D Capture yazılımı ile otonom uçuş yapılmış ve hava fotoğrafları koordinatlı (geotag) şekilde elde edilmiştir. Koordinatlı fotoğraflar ortofoto üretimindeki işlem süresini azalttığı için ve fotoğraflardaki eşleşme olasılığını arttırdığı için önemli bir özelliktir.

Yuneec H520 Özellikleri

Çalışmada kullanılan diğer İHA sistemi ise Yuneec H520 marka hegzakopterdir. Bu İHA sistemi de DJI Phantom 4 Pro gibi oldukça pratik, kolay kullanımlı ve düşük maliyetli bir İHA sistemi olduğu için küçük alanların görüntü alımlarında tercih edilmektedir. Yüksek kalitede kameraya sahip olması ve hegzakopter olarak stabilizasyonun DJI Phantom 4 Pro'ya göre daha iyi sağlamasından bu araştırmada kullanılmıştır.

Bulgular ve Öneriler

Uygulama için seçilen test sahasında yapılan arazi çalışmalarında yer kontrol noktalarının tesisi sonucu uçuşlar gerçekleştirilmiştir. Bölgede bina, yollar ve ağaçlar gibi detayların yoğun oluşu uçuş planlaması yaparken daha iyi modelleme oluşturmak için çift yönlü (grid) olarak uçuş gerçekleştirilmiştir. Bu tarz çözümler üretilen verilerin kalitesi ve verimliliği açısından önem taşımaktadır. İHA ile haritalama yöntemlerinde en önemli özellik hızlı ve ekonomik çözümler sunmasıdır. Bunun içinde iş planlaması çok önemli bir süreçtir. İHA ile haritalamada en uygun ve doğru iş akışı aşağıda verilmiştir.

- Çalışma yapılacak alana ait yükseklik modelleri ve uydu görüntüleri ile uçuş öncesi bölgenin durumunu belirlemek.

- Bu arazi çalışması öncesi veriler kullanılarak uygun geometri ve topografyaya bağlı olarak yer kontrol noktalarının (YKN) dağılımları belirlenmelidir.
- Kullanılacak veri kalitesine göre uçuş yüksekliği ve uçuş türü belirlenmelidir.
- Yüksek eğimli arazilerde yer kontrol noktalarının dağılımları ve konumları verilerin doğruluğu açısından önem arz etmektedir.
- Arazide tesis edilen YKN'ler hassas GNSS cihazları ile ölçüm yapılmalıdır. Kullanılan Cors-TR sistemlerindeki doğruluk hassasiyetinden daha az GSD'ye sahip uçuşlar sonucu elde edilen verilerin konum doğrulukları Cors-TR'ninki kadar olacağından fazladan veri yüküne gerek olmaması için bu bilgiler ışığında uçuş yapılması gerekmektedir.
- Uçuşlar gerçekleştirilirken mutlaka kullanılan İHA sistemi görüş açısında olmalıdır.
- Uçuş yapılması planlanan gün içinde güneş ışığının iyi kullanılması bulutluluk oranı, hava sıcaklığı ve meteorolojik durum göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

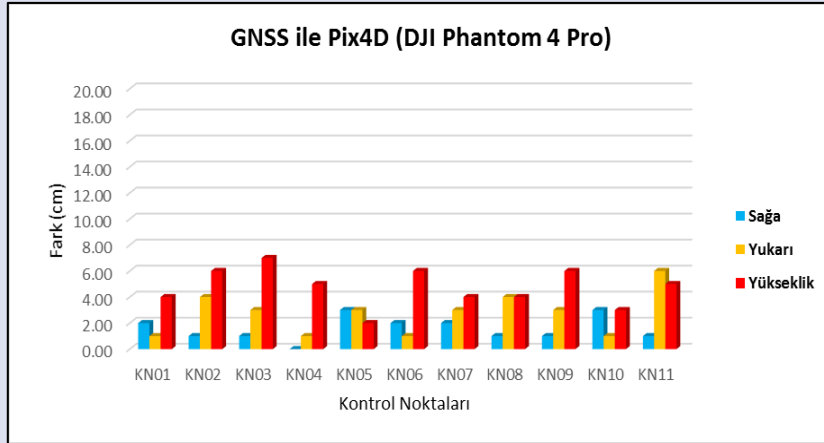
Yapılan çalışma sırasında farklı İHA sistemleri arasında rüzgara karşı direnç özelliklerini sergilerken önemli tecrübeler edinmemizi sağlamıştır. DJI Phantom 4 Pro Yuneec'e göre daha küçük ve dört pervaneli olduğu için ani rüzgar hareketlerine bağlı olarak stabilizasyon sorunları yaşarken, Yuneec H520 daha dirençli duruş sergilemiştir. Bunun en önemli sebebi 6 pervaneli oluşu ve DJI Phantom 4 Pro'ya göre daha ağır oluşudur. Bu artışı sayesinde fotoğraflar daha dengeli ve titreşimsiz çekilmiştir.

Aşağıda multikopterler ve kullanılan yazılımların karşılaştırılması noktasal bazda yapılmıştır (Çizelge 4-5 ve Şekil 11-14)

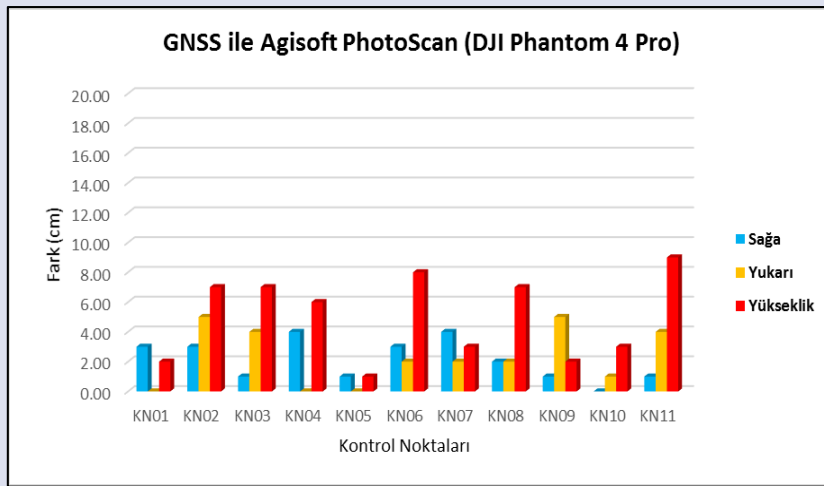
Çizelge 4:Hassas GNSS Cors-Tr ile DJI Phantom 4 Pro Farkları [4]

Table 4. Differences between Precision GNSS Cors-Tr and DJI Phantom 4 Pro [4]

| Kontrol Noktaları | Farklar (cm) | | | | | |
|-------------------|--------------|--------|-----------|-------------------|--------|-----------|
| | Pix4D | | | Agisoft Photoscan | | |
| | Sağa | Yukarı | Yükseklik | Sağa | Yukarı | Yükseklik |
| KN01 | 2.00 | 1.00 | 4.00 | 3.00 | 0.00 | 2.00 |
| KN02 | 1.00 | 4.00 | 6.00 | 3.00 | 5.00 | 7.00 |
| KN03 | 1.00 | 3.00 | 7.00 | 1.00 | 4.00 | 7.00 |
| KN04 | 0.00 | 1.00 | 5.00 | 4.00 | 0.00 | 6.00 |
| KN05 | 3.00 | 3.00 | 2.00 | 1.00 | 0.00 | 1.00 |
| KN06 | 2.00 | 1.00 | 6.00 | 3.00 | 2.00 | 8.00 |
| KN07 | 2.00 | 3.00 | 4.00 | 4.00 | 2.00 | 3.00 |
| KN08 | 1.00 | 4.00 | 4.00 | 2.00 | 2.00 | 7.00 |
| KN09 | 1.00 | 3.00 | 6.00 | 1.00 | 5.00 | 2.00 |
| KN10 | 3.00 | 1.00 | 3.00 | 0.00 | 1.00 | 3.00 |
| KN11 | 1.00 | 6.00 | 5.00 | 1.00 | 4.00 | 9.00 |



Şekil 11. GNSS ile Pix4D (DJI Phantom 4 Pro) [4]
Figure 11. Pix4D with GNSS (DJI Phantom 4 Pro)[4]

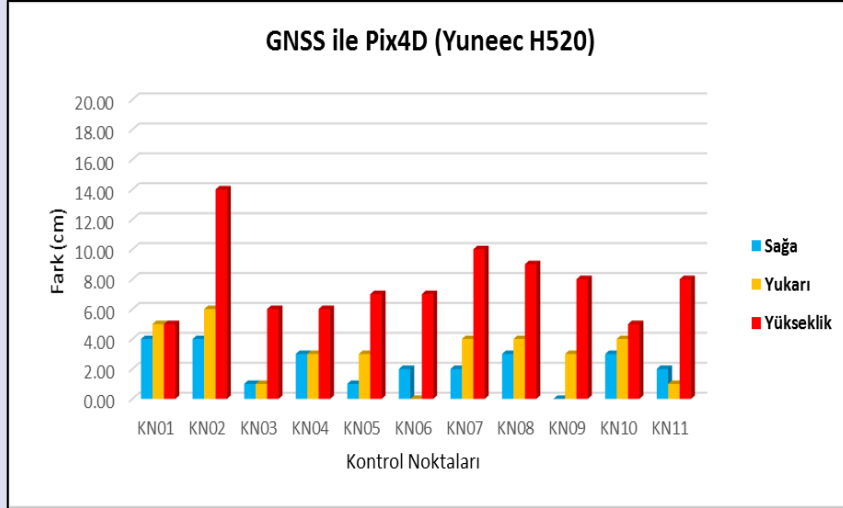


Şekil 12. GNSS ile Agisoft PhotoScan (DJI Phantom 4 Pro) [4]
Figure 12. Agisoft PhotoScan with GNSS (DJI Phantom 4 Pro) [4]

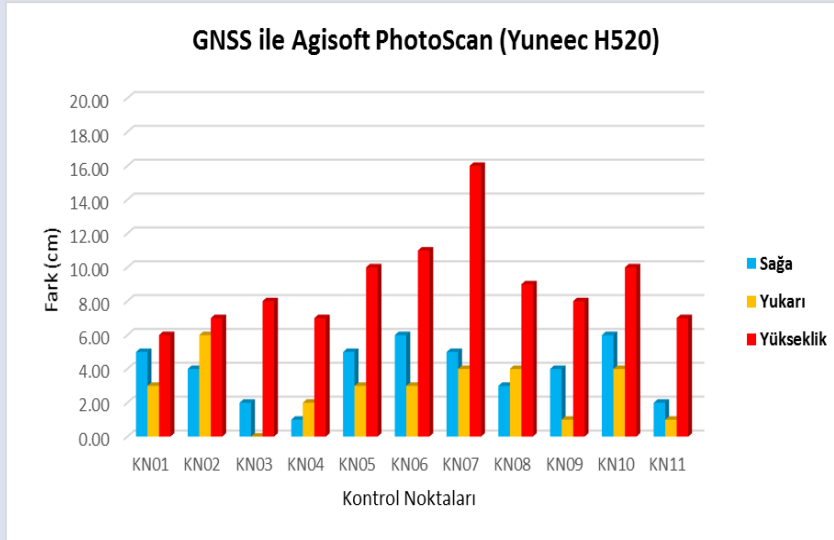
Çizelge 5: Hassas GNSS Cors-Tr ile Yuneec H520 Farkları [4]

Table 5. Differences between Precision GNSS Cors-Tr and Yuneec H520 [4]

| Kontrol Noktası | Farklar (cm) | | | | | |
|-----------------|--------------|--------|-----------|-------------------|--------|-----------|
| | Pix4D | | | Agisoft Photoscan | | |
| | Sağa | Yukarı | Yükseklik | Sağa | Yukarı | Yükseklik |
| KN01 | 4.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 3.00 | 6.00 |
| KN02 | 4.00 | 6.00 | 14.00 | 4.00 | 6.00 | 7.00 |
| KN03 | 1.00 | 1.00 | 6.00 | 2.00 | 0.00 | 8.00 |
| KN04 | 3.00 | 3.00 | 6.00 | 1.00 | 2.00 | 7.00 |
| KN05 | 1.00 | 3.00 | 7.00 | 5.00 | 3.00 | 10.00 |
| KN06 | 2.00 | 0.00 | 7.00 | 6.00 | 3.00 | 11.00 |
| KN07 | 2.00 | 4.00 | 10.00 | 5.00 | 4.00 | 16.00 |
| KN08 | 3.00 | 4.00 | 9.00 | 3.00 | 4.00 | 9.00 |
| KN09 | 0.00 | 3.00 | 8.00 | 4.00 | 1.00 | 8.00 |
| KN10 | 3.00 | 4.00 | 5.00 | 6.00 | 4.00 | 10.00 |
| KN11 | 2.00 | 1.00 | 8.00 | 2.00 | 1.00 | 7.00 |



Şekil 13. GNSS ile Pix4D (Yuneec H520) [4]
Figure 13. Pix4D with GNSS (Yuneec H520) [4]



Şekil 14. GNSS ile Agisoft PhotoScan PhotoScan (Yuneec H520) [4]
Figure 14. Agisoft PhotoScan PhotoScan with GNSS (Yuneec H520) [4]

Çizelge 6. Kullanılan yazılımlara ait genel karesel ortalama hatalar [4]

Table 6. General mean square errors of the software used [4]

| KOH | DJI Phantom 4 Pro | Yuneec H520 |
|-------------------|-------------------|-------------|
| Pix4D Mapper | 0.015 m | 0.036 m |
| Agisoft Photoscan | 0.063m | 0.087m |

Verilerin değerlendirilmesi sonucu ortofoto ve sayısal yükseklik modelleri üzerinden elde edilen kontrol noktalarının koordinatları ve Cors-TR ile yapılan ölçümler karşılaştırılmış aralarındaki karesel ortalama hata (KOH) belirlenmiştir. Bu yöntem ölçülerin doğruluk derecesi hakkında en doğru yaklaşımı yapmaktadır. Bu hesaplamada hataların kareleri alındığı için ölçüm içindeki büyük hataların ortalama üzerindeki etkisi daha büyük

olmakta ve bu sayede büyük hataların tüm ölçüm üzerindeki etkisi belirlenebilmektedir.

Yapılan bu çalışmada farklı ticari fotogrametri yazılımları ve farklı İHA sistemleri ile topografik harita yapımına uygunlukları araştırılmıştır. İncelemeler neticesinde aynı bilgisayarda farklı İHA sistemlerinden DJI Phantom 4 Pro ve Yuneec H520 verileri değerlendirildiğinde ticari yazılım olarak Pix4D yazılımı daha iyi sonuç vermektedir (Çizelge 6).

Verilerin değerlendirilmesi sonucu ortofoto ve sayısal yükseklik modelleri üzerinden elde edilen kontrol noktalarının koordinatları ve Cors-TR ile yapılan ölçümler karşılaştırılmış aralarındaki karesel ortalama hata (KOH) belirlenmiştir. Bu yöntem ölçülerin doğruluk derecesi hakkında en doğru yaklaşımı yapmaktadır. Bu hesaplamada hataların kareleri alındığı için ölçüm içindeki büyük hataların ortalama üzerindeki etkisi daha büyük olmakta ve bu sayede büyük hataların tüm ölçüm üzerindeki etkisi belirlenebilmektedir.

Yapılan bu çalışmada farklı ticari fotogrametri yazılımları ve farklı İHA sistemleri ile topografik harita yapımına uygunlukları araştırılmıştır. İncelemeler neticesinde aynı bilgisayarda farklı İHA sistemlerinden DJI Phantom 4 Pro ve Yuneec H520 verileri değerlendirildiğinde ticari yazılım olarak Pix4D yazılımı daha iyi sonuç vermektedir (Çizelge 6).

Teşekkür

Bu çalışmaya M-755 Numaralı proje ile destek sağlayan SCÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığına teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Yaghoubi, M.; Ahmed, K.; Miao, Y., (2022) Wireless Body Area Network (WBAN): A Survey on Architecture, Technologies, Energy Consumption, and Security Challenges. *J. Sens. Actuator Netw.*
- [2] Cvetković, A.; Blagojević, V.; Manojlović, J., (2023) Capacity Analysis of Power Beacon-Assisted Industrial IoT System with UAV Data Collector. *Drones*, 7, 146.
- [3] Guevara, B.S.; Recalde, L.F.; Varela-Aldás, J.; Andaluz, V.H.; Gandolfo, D.C.; Toibero, J.M., (2023) A Comparative Study between NMPC and Baseline Feedback Controllers for UAV Trajectory Tracking. *Drones* 2023, 7, 144.
- [4] Altun A.T., (2019). İnsansız Hava Araçları Verilerinden Üretilen Ortogörüntülerin Geometrik Doğruluğunun İncelenmesi Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2019)
- [5] Kahveci, M. ve Can, N. (2017). İnsansız Hava Araçları: Tarihiçesi, Tanımı, Dünyada ve Türkiye’de Yasal Durumu, Selçuk Üniversitesi Mühendislik ve Teknik Dergisi, 5(4), 511-535.
- [6] Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M. Ve Sarazzi, D. (2011). Uav Photogrammetry For Mapping And 3d Modeling: Current Status And Future Perspectives International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences, 38(22), Isprs Zurich 2011 Workshop, 14-16 September 2011, Zurich, Switzerland, Ss.25-31.
- [7] Miller, C.L. and Laamme, R.A. (1958) The Digital Terrain Model-: Theory & Application. MIT Photogrammetry Laboratory, Cambridge, MA, 20.
- [8] Şahin İ. (2007). Farklı Kaynaklardan Elde Edilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Ortofoto Doğruluğuna Etkilerinin Araştırılması Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- [9] Arslanbek L. (2009). Farklı kaynaklardan elde edilen sayısal yükseklik modellerinin ortofoto doğruluğuna etkilerinin araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar.
- [10] Esirtgen F. (2010). Farklı Veri Kaynakları İle Elde Edilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluk Analizi Ve Kalite Değerlendirmesi Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [11] Yastıklı N. ve Esirtgen F. (2011). Sayısal Yükseklik Modellerinde Kalite Değerlendirme Ve Doğruluk Analizi Tmmob Harita Ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel Ve Teknik Kurultayı 1822 Nisan 2011, Ankara.
- [12] Toth C. ve Jozkow G. (2016). Remote Sensing Platforms And Sensors: A Survey Isprs Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing, No: 115, Ss.22–36.
- [13] Erden, Ö. (2006). Hava Fotoğrafları Ve Uydu Görüntüleri İle Dijital Ortofoto Üretimi Ve Kentsel Gelişimin İzlenmesi Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.