



T.C.

**SIVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI VERİLERİNDEN ÜRETİLEN
ORTO-GÖRÜNTÜLERİN GEOMETRİK DOĞRULUĞUNUN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ahmet Turan ALTUN
(20169249008)**

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Önder GÜRSOY

**SIVAS
NİSAN 2019**

Ahmet Turan ALTUN'un hazırladığı ve **“İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI VERİLERİNDEN ÜRETİLEN ORTO-GÖRÜNTÜLERİN GEOMETRİK DOĞRULUĞUNUN İNCELENMESİ”** adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı	Dr. Öğr. Üyesi Önder GÜRSOY Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Tarık TÜRK Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Emre ÖZELKAN Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. İSMAİL ÇELİK
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.



Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından M-755 Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.



Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Ahmet Turan ALTUN, 2019

ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

05.04.2019

Ahmet Turan ALTUN

ÖZET

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI VERİLERİNDEN ÜRETİLEN ORTO-GÖRÜNTÜLERİN GEOMETRİK DOĞRULUĞUNUN İNCELENMESİ

Ahmet Turan ALTUN

Yüksek Lisans Tezi

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Önder GÜRİSOY

2019, 53+xii sayfa

Günümüzün gelişen teknolojisi olan İnsansız Hava Araçları hemen hemen her alanda varlığını hissettirmektedir. Gelişen ve değişen teknoloji harita mühendisliğini özellikle fotogrametri anabilim dalını yakından etkilemektedir. 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, İHA'lar vasıtasıyla harita üretiminde hangi tekniklerden yararlandığı ele alınmıştır. İHA'lar yardımıyla hâlihazırda 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 (İHA) ile ilgili bilgilere yer verilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde uzaktan algılama ile ilgili bilgiler yer almaktadır. Bu bölüm içerisinde sayısal yüzey modeli (SYM) ve ilgili standart ve yöntemlere ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Çalışmanın son bölümü olan dördüncü bölümde ise, İHA'dan elde edilen verilerin hâlihazır harita üretimindeki doğruluğu araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İnsansız Hava Aracı (İHA), Hâlihazır Harita Üretimi, Sayısal Yüzey Modeli (SYM)

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE GEOMETRIC ACCURACY OF ORTO-IMAGES PRODUCED BY UNMANNED AERIAL VEHICLES

Ahmet Turan ALTUN

Master Of Science Thesis

Department of Geomatics Engineering

Supervisor: Dr. Associate. Ins. Önder GÜRSOY

2019, 53+xii pages

Today's developing technology makes its presence felt in almost every area. Developing and changing technology closely affects map engineering, especially photogrammetry science. In recent years, many different options have been introduced in the acquisition of digital terrain data. One of them is the collection of numerical data from land by installing non-metric cameras to the Unmanned Aerial Vehicles (UAV). Within the scope of this study, historical development, characteristics and usage areas of UAVs will be discussed in detail. 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 surface model (DSM) 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: Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Current Map Production, Digital Elevation Model (DEM)

TEŞEKKÜR

Bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Önder GÜRSOY'a çok teşekkür ederim.

Ayrıca, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı'na da tezimize M-755 numaralı proje olarak verdikleri desteklerinden dolayı teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	3
1.2. Çalışmanın Kapsamı.....	3
2. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI (İHA)	4
2.1. Tanım.....	4
2.2. İHA'ların Gelişim Süreci.....	5
2.3. İHA'ların Kullanım Alanları	9
2.4. İHA'larla İlgili Tarihsel Çerçeve ve Yönetmelikler	10
2.5. İHA'ların Sınıflandırılması.....	12
2.5.1. Kullanım Alanlarına Göre İHA'lar	12
2.5.2. Motor Çalışma Prensibine Göre İHA'lar.....	13
2.5.3. Hareket Kabiliyetine Göre İHA'lar	13
2.5.4. Büyüklük, Yükseklik, Uçuş Süresi ve Faydalı Yük Kapasitesine Göre İHA'lar	14
2.5.5. Komuta Şekline Göre İHA'lar.....	15
2.5.6. Azami Kalkış Ağırlıklarına Göre Sınıflandırılmış İHA'lar.....	16
2.5.7. İHA'larda Uçuş İzni, Uçuşa Yasak Bölgeler ve Uçuş Şartları.....	17
2.5.7.1. Uçuşa yasak bölgeler	20
2.5.7.2. Uçuş Şartları ve Alan Gereklilikleri	21
2.5.7.3. Ayırma Sağlama ve Çarpışma Önleme	21
2.5.7.4. Acil Durum Usulleri	22
3. YÖNTEMLER	23
3.1. Fotogrametrik Yöntemler	23
3.1.1. Sayısal Yükseklik Modeli.....	26
3.1.1.1. Uydu Teknikleri.....	27
3.1.1.2. Coğrafi Analiz Sistemi (CAS).....	28
3.1.2. Ortofoto	30
4. İHA VERİLERİNDEN ÜRETİLEN ORTO-GÖRÜNTÜLERİN GEOMETRİK DOĞRULUĞUNUN İNCELENMESİ VE ÖRNEK UYGULAMA	32
4.1. Çalışma Alanı ve Yöntemi.....	32
4.2. Arazi ve Büro Çalışmaları	33

4.3. Kullanılan Alet, Yazılımlar ve İşlem Adımları	34
4.3.1. Pix4D Özellikleri	35
4.3.2. Agisoft Özellikleri	37
4.3.3. DJI Phantom 4 Pro Özellikleri.....	39
4.3.4. Yuneec H520 Özellikleri	40
4.3.5. Yuneec H520 ve Dji Phantom 4 Pro Karşılaştırma.....	41
4.4. Bulgular ve Tartışma	43
4.4.1. Bulgular	43
4.4.2. Tartışma	50
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	51
5.1. Sonuçlar	51
5.2. Öneriler.....	52
KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ.....	57
EKLER	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 İlk İHA'lerden bir örnek	5
Şekil 2.2 Lockheed Aquila (Demirkıran, 2010)	6
Şekil 2.3 Ryan SPA 147	7
Şekil 2.4 Scout İnsansız Hava Aracı	7
Şekil 2.5 ABD Tarafından Geliştirilen Predator	8
Şekil 2.6 a. Sabit kanatlı İHA b. Döner kanatlı İHA (Erdoğan, 2016).....	14
Şekil 2.7 a. Micro (Mini) insansız hava aracı, b. Küçük insansız hava aracı, c. Taktik insansız hava aracı, d. Operatif insansız hava aracı (Erdoğan, 2016).	15
Şekil 2.8 a. Otomatik pilotlu İHA b. Uzaktan kumandalı İHA (Erdoğan, 2016).....	15
Şekil 3.3 İHA'dan Sağlanan Verilerin CAS'a Aktarımı	29
Şekil 4.1 Çalışma Alanı.....	32
Şekil 4.2 Çalışma alanı içinde ve YKN ve Kontrol Noktalarının dağılımları.....	33
Şekil 4.3 İşaretlenen YKN görünümü	34
Şekil 4.4 İşaretlenen Kontrol Noktası görünümü	34
Şekil 4.5 Pix4D genel görünümü	35
Şekil 4.6 Pix4D ile üretilmiş DJI Phantom 4 Pro'ya ait ortofoto görüntüsü.....	36
Şekil 4.7 Pix4D ile üretilmiş Yuneec H520'ye ait ortofoto görüntüsü	36
Şekil 4.8 Agisoft Photoscan genel görünümü	37
Şekil 4.9 Agisoft Photoscan ile üretilmiş DJI Phantom 4 Pro'ya ait ortofoto görüntüsü ...	38
Şekil 4.10 Agisoft Photoscan ile üretilmiş Yuneec H520'ye ait ortofoto görüntüsü.....	38
Şekil 4.11 DJI Phantom 4 Pro Multikopter görünümü.....	39
Şekil 4.12 Yuneec Multikopter görünümü	40
Şekil 4.13 GNSS ile Pix4D (DJI Phantom 4 Pro)	45
Şekil 4.14 GNSS ile Agisoft PhotoScan (DJI Phantom 4 Pro)	45
Şekil 4.15 GNSS ile Pix4D (Yuneec H520).....	46
Şekil 4.16 GNSS ile Agisoft PhotoScan PhotoScan (Yuneec H520)	47

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Çeşitli Ülkelerde İHA'lar İçin Yapılan Yasalar ve Yönetmelikler (Nex ve Remondino, 2014)	11
Çizelge 4.1 İHA'lara ait uçuş sonrası bilgiler	33
Çizelge 4.2 DJI Phantom 4 Pro Özellikleri	39
Çizelge 4.3 Yuneec H520 Özellikleri	40
Çizelge 4.4 İHA sistemleri detaylı özellik karşılaştırması	41
Çizelge 4.5 Hassas GNSS Cors-Tr ile DJI Phantom 4 Pro Farkları.....	44
Çizelge 4.6 Hassas GNSS Cors-Tr ile Yuneec H520 Farkları	46
Çizelge 4.7 Kontrol noktalarına ait karesel ortalama hatalar (KOH).....	48
Çizelge 4.8 Multikopterlerin ve yazılımların karşılaştırılması.....	49
Çizelge 5.1 Kullanılan yazılımlara ait genel karesel ortalama hatalar	51

1. GİRİŞ

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 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 (Kurtarcan, 2010). Bu açıdan İHA'lar yersel ölçüm tekniklerine uygun olabilecek en gerekli ve önemli alternatiflerden biridir.

İHA'ların çok tanınması ve insanların İHA'ların üzerinde daha fazla durmasına ve araştırmasına neden olan faktörlerin başında, ABD'nin küresel ölçekte yürüttüğü 'terörle her yerde savaş' kapsamında değerlendirilen ve Taliban ve El-Kaide hedeflerine ve bu terör örgütünün yöneticilerinin öldürülmesine dönük yapılan operasyonlardır. Küresel bir terör örgütü olan El-Kaide örgütünün Pakistan'daki hedeflerinin nokta atışlarla ortadan kaldırılması amacıyla kullanılan İHA'lardan alınan görüntüler, bu araçların ne denli başarılı olduklarını gözler önüne sermiştir. ABD askeri alanda, bilhassa Afganistan ve Irak'ta olmak üzere pek çok terör yuvalanmalarını İHA'larla havadan görüntüleyerek, yerdeki kara birliklerine eşzamanlı olarak istihbarat sağlama görevlerinde de başarılı bir şekilde kullanılmış ve terörle mücadele konusunda ABD'ye oldukça önemli destek sağlamıştır (Yılmaz vd. 2013).

Askeri alanların dışında, diğer alanlarda da İHA'lardan önemli ölçüde yararlanılmaktadır. 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. 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 (Remondino vd., 2011).

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, hızlılık, 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.

1.1 Çalışmanın Amacı

Günümüzün gelişen teknolojisi hemen hemen her alanda varlığını hissettirtmektedir. Gelişen ve değişen teknoloji harita mühendisliğini özellikle fotogrametri anabilim dalını yakından etkilemektedir. 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 çalışmanın amacı; İHA'lar yardımıyla hâlihazırda harita üretiminin nasıl gerçekleştirildiğini, hangi materyal ve araçlardan yararlandığını, elde edilen verilerin nasıl değerlendirildiğini incelemektir.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışma kapsamında, İHA'ların tarihsel gelişimi, özellikleri, kullanım alanları ayrıntılı şekilde ele alınarak, İHA'lar vasıtasıyla harita üretiminde hangi tekniklerden yararlandığına vurgu yapılmıştır.

2. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI (İHA)

Çalışmanın bu bölümünde İHA'ların tanımı, önemi, gelişimi, özellikleri ve kullanım alanları üzerinde durulacaktır.

2.1 Tanım

İHA, ya da bir diğer adı ile “Drone” farklı boyutlara sahip, uzaktan kumanda edilen bir hava aracıdır. İHA ile ilgili olarak farklı kurum ve organizasyonlar birbirlerine benzer tanımlar yapmışlardır. Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü'nün (NATO) İHA tanımı; “içerisinde insan bulunmadığı, uzaktan kumanda ile ya da otonom bir şekilde kendisini yönlendirebilen motorlu itişe sahip olan, silah ya da yararlı yükleri ana gövdesine yükleyerek çıkarılabilen, görevi yerine getirdikten sonra, geri dönerek iniş yapan veya hedefte bir silah gibi kendini patlatarak imha edebilecek özelliğe sahip uçaklardır” (Pakkan ve Ermiş, 2010) şeklinde NATO tarafından kapsamlı bir tanım yapılmıştır.

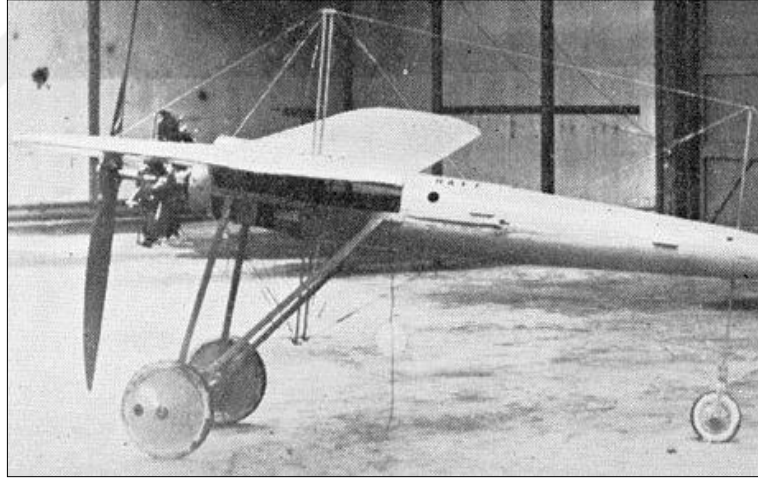
Ercan ve Cevriye (2013) göre İHA; “İnsan taşımayan otonom veya uzaktan kumanda edilebilen, harcanabilir veya geri kazanılabilir niteliğe sahip, hem öldürücü hem de öldürücü olmayan yararlı yükleri taşıyabilen, kendi kendine hareket kabiliyeti olan bir uçak” (Ercan ve Cevriye, 2013) şeklinde bir tanımlama yapmıştır.

İHA; “İnsansız hava araçları şeklinde bilinen Drone İngilizce erkek arı anlamını taşımaktadır. Uzaktan kumanda ya da yerdeki istasyon tarafından kontrolü sağlanan bu araçlar, belirli bir programa uygun bir şekilde uçuş görevini tamamlayarak, uçuşunu sonlandıran araçlardır” (Toprak, 2014) şeklinde tanım yapılmıştır.

Yukarıda yapılan tanımlar doğrultusunda, İHA'lara takılan kameralar ve diğer yardımcı donanımlar vasıtasıyla, dünyanın en ulaşılabilir ve zor noktalarında görüntüleme yapılabilmektedir. İHA'lar gerek düşük maliyetli olmaları, gerekse de gerçek zamanlı ve çözünürlüklü görüntüler elde edildiğinden, günümüzde pek çok sektör tarafından kullanılabilen bir araçtır. İzleyen başlıkta İHA'ların geçmişten günümüze kadar olan gelişimleri ele alınacaktır.

2.2 İHA'ların Gelişim Süreci

İlk İHA fikri yirminci yüzyıl başlarında ortaya atılmıştır. Bu fikrin uygulama süreci ilk olarak 1916 yılında tasarlanmıştır. Hewitt-Sperry işbirliği ile öne sürülen fikir ise, bu araçların bombardıman olarak kullanılması fikridir. Proje aşamasındaki bu fikri General Motors araştırma lideri Charles Ketterling'de desteklemiştir (The Guardian, 2013). Ertesi yılı olan 1917'de, "otomatik uçan uçak" olarak adlandırılan bu uçak, ABD güçlerinin insansız hava uçağı olmuş, ilk uçuşu da sonraki yıl olan 1918'de gerçekleştirmiştir. Her ne kadar bu uçağın I. Dünya Savaşı'nda kullanılması düşünülse de, savaşta bu uçağın kullanımı mümkün olmamıştır. İzleyen yıllarda bu projeyi hayata geçirmek için yapılan girişimler sonucunda önemli aşamalar kaydedilmiştir ama bu girişimler başarısız olmuştur. Ancak bu girişimler her ne kadar başarısız olsa da, yapılan deneyimler ve yanılgılar sonucunda, füze teknolojisinin gelişimine katkı sağladığını da söylemek mümkündür (Erdoğan, 2016).



Şekil 2.1 İlk İHA'lardan bir örnek

İHA'larla ilgili araştırma ve çalışmalar I. Dünya Savaşı ve sonrasında da sürmüştür, sırasıyla Vietnam, Afganistan ve Irak Savaş'larında kullanılmıştır. Günümüzde pek çok ülkenin silahlı kuvvetleri bu teknolojiye fazlasıyla yararlanmaktadır. Geçmişe dönelim olursak, bilhassa II. Dünya Savaşı sonrasında artan çalışmalar, yukarıda da belirtildiği üzere füze teknolojisine yarar sağlamış, bu da "Cruise", "Harpoon" ve "Tomahawk" gibi füzelerin geliştirilmesine katkı sağlamıştır (Kahveci ve Can, 2017).

1960'lı yıllar İHA'ların uçuşa geçtiği yıllardır. O yıllarda kullanılan İHA'lar daha ziyade "Causus Uçaklar" olarak nitelendirilmekteydi. Üzerinde kamera olan bu uçaklar, hem yerdeki kontrol istasyonundan hem de insanlı bir başka uçak tarafından kontrol edilebilen bir yapıya sahipti. Bu araçlar küçük olduğu için hem tespit edilmesi bir hayli zordu, hem de insanlı bir uçakta yer alan pilotun ele geçmesi durumunda ülkeler arasında ortaya çıkabilecek olası bir diplomatik krize daha az sebep olmaktaydı (Demirkıran, 2010).

Soğuk Savaş'ın kendini yoğun bir şekilde hissettirdiği 1970'li yıllarda bu araçlara daha kritik görevler verilmeye başlamıştır. Kısa mesafeler kullanılmak amacıyla tasarlanmış olan Lockheed Aquila da bu araçlardandır (Şekil 2.2). 1970'li yıllarda İHA geliştiricisi bir diğer ülke ise İsrail olmuştur. Arap devletleriyle yaşanan kriz ve savaşlarda avantaj yakalamak isteyen İsrail, ABD ile yaptığı gizli bir anlaşmayla 12 adet "Firebee" insansız hava aracı alan İsrail, bu araçları modifiye etmiş ve "Firebee 1241" adlı yeni bir İHA geliştirmişlerdir. Bu geliştirilen İHA'lar İsrail'in Mısır ile yaptığı "Yom Kippur" savaşında önemli görevleri yerine getirmiş ve İsrail'in Mısır'la yapmış olduğu bu savaşta avantaj sağlayarak İsrail'in Yom Kippur savaşındaki başarısında önemli bir pay sahibi olmuştur (Uyar, 2010).



Şekil 2.2 Lockheed Aquila (Demirkıran, 2010)

Gene 1970'li yıllar içerisinde ABD yapımı ve yüksek irtifaya dayanımlı olan İHA ise, Ryan SPA 147'dir (Şekil 2.3). Sözü edilen bu uçak 60 bin fitten fotoğraf almakta, 8 saatlik uzun sayılabilecek görevleri yerine getirebilmekteydi. Ryan SPA 147'ler, günümüzdeki İHA'ların atası olarak nitelendirilmektedir (Taslı, 2011).



Şekil 2.3 Ryan SPA 147

1980’li yıllarda küçük İHA niteliğindeki Scout İsrail tarafından yapılmıştır (Şekil 2.4). Bu küçük uçak 3,96 metrelik kanat açıklığı ve fiberglas gövdesiyle o dönemin radarlarına yakalanmayan ve küçük olmanın avantajı ile vurulmadan görevlerini başarıyla tamamlamıştır.



Şekil 2.4 Scout İnsansız Hava Aracı

İsrail ve Suriye arasında 1982’de ortaya çıkan Beka Vadisi Anlaşmazlığı’nda Scout’lar Suriye hava savunma sistemlerinin tespitinde ve vurulmasında büyük rol oynamıştır. Scout’un başarısı sonrasında İsrail Pioneer’i geliştirmiş ve bu alanda öncü ülkelerden biri olan ABD silahlı kuvvetlerine toplamda 20 tane satmıştır. ABD I. Körfez Savaşı’nda bu uçaklardan yararlanılmış ve bu savaşta 533 sorti yapmıştır. Bu uçaklar günümüzde İsrail ve balkanlardaki barış gücü tarafından kullanılmaktadır (Akyürek vd., 2012).

1990'lı yıllarda da İHA'ların gelişimi aralıksız sürdürmüştür. O yıllarda öne çıkan ABD yapımı "Predator" adlı İHA olmuştur. 1993 yılında orta irtifa kabiliyetine sahip ve keşif amaçlı dizayn edilen Predator operasyonel bir hale getirilmiştir. Predator'un diğer İHA'lara kıyasla öne çıkmasındaki en önemli faktörler diğer alanlardaki teknolojik gelişmelere bağlı olarak GPS (Global Positioning Systems) uydularını seyrüsefer amaçlı kullanabilmesi ve uydu teknolojisinin de yardımıyla görüş hattı ötesinde uçabilmesidir. Bunu geliştiren ABD, sonrasında Predator B diğer adıyla Reaper geliştirilmiştir (Şekil 2.5). Sonrasında geliştirilen Predator C ise radara yakalanmama özelliğine sahip versiyonu olmuştur (Demirkıran, 2010).



Şekil 2.5 ABD Tarafından Geliştirilen Predator

2000 sonrası İHA'lar gelişim kaydetmeyi sürdürmüştür. Artık burada sayamayacağımız kadar pek çok ülke kendi İHA'larını yapabilmektedir. Günümüzde İHA sistemlerinin çok farklı çeşit, şekil, boyut ve konfigürasyonda üretilmekte ve pek çok farklı amaca hizmet ettikleri görülmektedir. Ülkemizde ise, geçmişte ABD ve İsrail'den Heron insansız hava araçları temin etmiştir. Her ne kadar o dönem içerisinde bu iki ülkeden temin edilen insansız hava araçlarının başarılı olduğu bazı çevreler tarafından öne sürülse de, günümüzde yerli insansız hava araçlarının başarısı incelendiğinde, bu iki ülkeden temin edilen uçakların çokta başarılı olmadığı algısı toplumda yaygın bir düşünce olarak karşımıza çıkmaktadır (Taslı, 2011).

Türkiye bilhassa 2010 sonrası bu alanda önemli adımlar atarak, kendi İHA'ları olan ANKA, Bayraktar ve Karayel'i üretmeye başlamıştır. Yerli İHA'lar terörle mücadele konusunda yoğun olarak kullanılmaya başlanmış ve önemli başarılar elde edilmiştir. Özetle İHA'ları tarihsel açıdan ele aldığımızda, İHA sistemleri, gelişen pek çok teknolojiye olduğu gibi askeri amaçlı yapılmış, sonrasında zamanla ticari amaçlı da üretilmeye başlanmıştır (Akyürek vd., 2012).

2013 yılı sonrasında İHA sistemleri gelişim açısından ivme kazanarak, kullanım şemsiyesi tam olarak açılmaya başlanmış, farklı sektörlerde de ve farklı alanlarda yoğun olarak kullanılmaya başlamıştır. İnternet üzerinden yapılan aramalarda, Eylül 2013'te, arama motoru olan Google'da "İnsansız Hava Araçları" olarak yapılan aramalar neticesinde, ortalama olarak altı milyonun üzerinde giriş bulunmuştur. Kısaltma olarak aranıldığında "UAV" ise on iki milyon civarında giriş söz konusudur (Colomina ve Molina, 2014).

Google yardımıyla, 2013 yılında "UAV" kelimesinin İnternet kullanımının 2005 yılında kaydedilen düzeyin yarısına indiği görülmektedir. Aslında bunun başlıca sebebi, günden güne daha popüler hale gelen "Drone" teriminden kaynaklandığını söylemek mümkündür (Akyürek vd., 2012). Aslında bu "Drone" teriminin kullanılmasında ve hızlı yayılmasında, ABD hükümetinin, İran hava sahasında kaybolan insansız hava aracı için, İran hükümetine "İran kayıp Drone'u iade etmelidir" açıklamasının etkisi olduğunu söyleyebiliriz (Colomina ve Molina, 2014).

2.3 İHA'ların Kullanım Alanları

İHA'ların hem zor alanlarda başarılı bir şekilde kullanıldığını, hem de gerçek zamanlı görüntüleri hızlı bir şekilde ilettiğinden söz etmiştik. Kullanım alanı her geçen gün artan İHA'lar, öncelikle askeri alanda kullanılmaya başlamıştır. İHA'ların işlevleri ve kullanım alanları aşağıda sıralanmaktadır (Eisenbeiss, 2004):

- Dokulu 3D model çıkarma,
- Çevre felaketleri hakkında bilgi edinme,

- Ulaşımı zor olan alanlarda,
- Yaşanan uçak kazaları ile ilgili bilgi toplama,
- Arama ve kurtarma çalışmalarında,
- Yangın ile mücadele alanlarında,
- Tarımda zararlılarla mücadele alanlarında (Japonya),
- Volkan patlaması, doğa felaketleri vb.

durumlarda koordinasyonu sağlamak ve olay yeri ile ilgili alanlarda da İHA'lar büyük yarar sağlamaktadır. İHA'ların diğer uygulama alanlarını ise aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür (Erdoğan, 2016);

- Gayrimenkul çalışmalarında,
- Kültürel mirasın belgelenmesinde,
- Enerji ve boru hatlarının kontrolünde,
- Kadastro verilerinin ölçüm çalışmalarında,
- Mevcut harita ve ortofoto haritalarının üretimi,
- Hacim hesapları ve arkeolojik dokümantasyon

İHA'lar yukarıda sıralanan şıklarda da görüldüğü üzere pek çok kullanım alanına sahiptir. Örneğin kentsel alanlarda ulusal düzenlemelerin kartografik, haritalandırma ve kadastro uygulamaları için ve kentsel alanlarda gerekli görülebilecek tüm alanlarda kullanılabilir.

2.4 İHA'larla İlgili Tarihsel Çerçeve ve Yönetmelikler

İHA'lar boyutlarına, ağırlıklarına, fonksiyonlarına ve üretim teknolojisine göre şu anda farklı güvenlik seviyelerine sahiptir. Bu nedenle, her İHA'nın güvenlik kuralları, bir diğerine kıyasla farklılık gösterebilmektedir. Örneğin bu farklılıkları minimum ve maksimum irtifa, maksimum taşıma kapasitesi, incelenecek alan, kontrol noktası, araç bağlantısı vb. şeklinde sıralamak mümkündür. Bu kadar kapsamlı farklılıklardan dolayı, İHA operatörlerinin bazı eğitim ve vasıflara ihtiyaç duyduğunuz söyleyebiliriz (Nex ve Remondino, 2014).

Aşağıdaki Çizelge 2.1’de çeşitli ülkelerde sivillerin insansız hava araçlarının kullanımı için yapılan yasal düzenlemeler yer almaktadır.

Çizelge 2.1 Çeşitli Ülkelerde İHA’lar İçin Yapılan Yasalar ve Yönetmelikler (Nex ve Remondino, 2014)

	Yasalar ve Yönetmelikler
Avustralya	CASA Circular, <i>Juli 2002</i>
Belçika	Certification Specification, Rev. 00, <i>24.01.07</i>
Kanada	Approach to the Classification of Unmanned Aircraft, <i>19.10.10</i>
Danimarka	Regulations on unmanned aircraft not weighing more than 25 kg, Edition 3, <i>09.01.04</i>
Fransa	Decree concerning the design of civil aircraft fly without anyone on board, <i>August 2010</i>
İngiltere	CAP 722, <i>06.04.10</i> u. Joint Doctrin 2/11, <i>30.3.11</i>
Norveç	Operation of unmanned aircraft in Norway, <i>29.06.09</i>
İsveç	Flying with UAVs in airspace involving civil aviation activity, <i>25.03.03</i>
İsviçre	Verordnung des UVEK über Luftfahrzeuge besonderer Kategorien, <i>01.04.11</i>
Çek Cumhuriyeti	Czech aviation regulation L2 - Rules of the air, <i>25.08.11</i>
ABD	UAS Certification Status, 18.08.08; Fact Sheet - Unmanned Aircraft Systems, 15.7.10 und NJO7210.766, 28.3.11, 8.2.12 und FAA Bill

2.5 İHA'ların Sınıflandırılması

Çalışmanın bu kısmında İHA'ların sınıflandırılması kullanım alanlarına, motor çalışma prensibine, hareket kabiliyetine, büyüklük, yükseklik, uçuş süresi, faydalı yük kapasitesine ve komuta şekline göre olmak kaydıyla beş başlık altında ele alınacaktır.

2.5.1 Kullanım Alanlarına Göre İHA'lar

Kullanım alanlarına göre olan İHA'ları askeri İHA sistemleri ve Sivil İHA sistemleri olarak ikiye ayırmak mümkündür. Bunlarla ilgili özet bilgi aşağıdaki başlıklarda görülmektedir:

a) Askeri İHA Sistemleri: Askeri açıdan keşif, gözetleme ve istihbarat büyük önem taşımaktadır. Özellikle düşman hava sahasında elde edilen bilgiler, yapılacak operasyonların altlığına oluşturmaktadır. Bu konuyu ayrıntılı olarak biraz irdelemekte yarar vardır. Örneğin, PKK terör örgütüne karşı geçmişte ABD'den ve İsrail'den alınan sistemler kullanılmakta idi. Bu iki ülkeden sağlanan İHA'larla ilgili olarak gerek yazılı basında gerekse de bölgede görev yapan kişilerden elde edilen bilgilere dayanarak, bu iki ülkenin gelişmiş sistemleri yardımıyla elde edilen bilgilerin, korsan yazılımlar sayesinde anında terör örgütüne de verildiğini, böylece yapılan operasyonların boşa gittiğini söylemek mümkündür. Boşa giden bu ve benzer operasyonların yapılması esnasında pek çok Türk Silahlı Kuvvetleri (TSK) mensubu şehit olmuştur. Sonrasında ülkemiz bu alanda kendi İHA'larını yapmaya başlamış ve operasyonlar esnasında görevli askerlerin yaşamlarının tehlikeye atılmaması düşüncesi ve askerlerin dayanamayacağı kadar uzun süreli operasyonlarda daha üst düzey bir performans gerektiğinden, yerli yapım İHA'lar artık bu görevlerde vazgeçilmez araçlar haline gelmiştir.

b) Sivil İHA Sistemleri: Pek çok türde ve tipte İHA üretimi arttıkça, İHA'ların askeri alanda kullanımının dışında sivil uygulamalarda da kullanılabilir bir hale gelmiştir. Sözü edilen bu sivil uygulamaların bazıları;

- Haritacılık,
- Doğal afet izleme,
- Video çekimleri,
- Fotoğrafçılık

- Eğlence

vb. uygulamalar şeklinde sıralayabiliriz. Bu uygulamalar arasında, bu çalışmanın da başlığını oluşturan “harita üretimi” için yapılan kullanım büyük bir paya sahiptir. Örneğin (Toprak, 2014);

- Deformasyon izleme,
- Orman sınır tespiti,
- 3B modelleme,
- Hâlihazır harita üretimi,
- CBS için altlık veriler elde etme,
- Röleve çalışmaları

olmak üzere pek çok konuda sivil İHA sistemleri kullanıcılarına büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

2.5.2 Motor Çalışma Prensibine Göre İHA’lar

Havada uçuşuna olanak sağlayan motorların çalışma prensibine göre olan İHA’lar aşağıda sıralanmaktadır (Kılınçoğlu, 2016);

- İçten yanmalı İHA’lar,
- Elektrikli İHA’lar,
- Güneş enerji sistemli İHA’lar

olmak kaydıyla üçe ayrılmaktadırlar. İçten yanmalı İHA’lar, elektrikli İHA’lara kıyasla, uçuş süresi ve yük taşıma kapasitesi daha fazladır. Ancak uçuş platformunda sarsıntı yapabilmektedir (Kılınçoğlu, 2016).

2.5.3 Hareket Kabiliyetine Göre İHA’lar

Hareket kabiliyetine göre kullanılan İHA’lar aşağıda sıralanmaktadır. Bunlar (Erdoğan, 2016);

- Sabit kanatlı insansız hava araçları,
- Döner kanatlı insansız hava araçları

şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Sabit kanatlı olan İHA'lar araç takip sistemiyle karayolunda hızlanarak, fırlatma rampasından ya da el yardımıyla atılarak havalanmaktadır. Döner kanatlı İHA'lar ise fırlatmaya ihtiyaç duymaksızın, bulunduğu yerden havalanmakta ve kumanda yardımıyla yönlendirilen sistemlerdir (Toprak, 2014).



Şekil 2.6 a. Sabit kanatlı İHA b. Döner kanatlı İHA (Erdoğan, 2016).

2.5.4 Büyüklük, Yükseklik, Uçuş Süresi ve Faydalı Yük Kapasitesine Göre İHA'lar

Büyüklük, yükseklik, uçuş süresi ve faydalı yük kapasitesine uygun İHA'lar aşağıda sıralanmaktadır (Eisenbeiss, 2004);

- Taktik İHA'lar,
- Micro İHA'lar,
- Küçük İHA'lar,
- Operatif İHA'lar.



Şekil 2.7 a. Micro (Mini) insansız hava aracı, b. Küçük insansız hava aracı, c. Taktik insansız hava aracı, d. Operatif insansız hava aracı (Erdoğan, 2016).

2.5.5 Komuta Şekline Göre İHA'lar

Komuta şekline göre İHA'lar aşağıda sıralanmaktadır. Bunlar;

- Otomatik pilotlu insansız hava araçları,
- Uzaktan kumandalı insansız hava araçları,

olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.



Şekil 2.8 a. Otomatik pilotlu İHA b. Uzaktan kumandalı İHA (Erdoğan, 2016).

2.5.6 Azami Kalkış Ağırlıklarına Göre Sınıflandırılmış İHA'lar

Azami kalkış ağırlıkları referans alınarak İHA'lar 4 ayrı sınıfa ayrılmaktadırlar. Bunlar aşağıda sıralanmaktadır:

- İHA0: Azami kalkış ağırlığı 500 gr (dâhil) – 4 kg aralığında olan İHA'lar,
- İHA1: Azami kalkış ağırlığı 4 kg (dâhil) – 25 kg aralığında olan İHA'lar,
- İHA2: Azami kalkış ağırlığı 25 kg (dâhil) – 150 kg aralığında olan İHA'lar,
- İHA3: Azami kalkış ağırlığı 150 kg (dâhil) ve daha fazla olan İHA'lar.

Sivil havacılık genel müdürlüğü tarafından İHA'larda zorunlu teçhizatlar belirlenmiştir. Bu zorunluluklar aşağıda belirtilmiştir.

İHA0 sınıfındaki İHA'ların teknik olarak ekipman, sistem ve faydalı yük bileşenleriyle donatılması İHA işleticisinin/sahibinin/pilotunun ya da imalatçısının seçimine bağlıdır. İHA1 sınıfındaki İHA'lar en az aşağıdaki teknik özelliklerle, ekipmanlarla ve sistem bileşenleriyle donatılmış olmalıdır:

- a) Komuta ve kontrol veri bağıının kesilmesi durumunda acil durum iniş veya uçuş sonlandırma kabiliyeti,
- b) Batarya gücü/yakıt seviyesinin devamlı izlenebilmesi,
- c) Çakar lamba,
- ç) İHA'da veya yer kontrol istasyonunda otomatik uçuş kayıt sistemi.

İHA2 sınıfındaki İHA'larda, İHA1 sınıfı için gerekli teçhizatın yanı sıra aşağıdaki donanımlar ve karakteristikler olmalıdır:

- a) Çakar lamba yerine aydınlatma lambaları,
- b) Yedekli seyrüsefer sistemi veya yedekli uçuş kontrol sistemi ya da bilgisayarı,
- c) Yedekli komuta ve kontrol veri bağı,

ç) ATC ile İHA pilotunun veya operatörün iletişim kurması için yer kontrol istasyonunda ATC telsizi.

İHA3 sınıfındaki İHA'lar, İHA2 sınıfı için gerekli teçhizatın yanı sıra aşağıdaki sistem bileşenleriyle donatılmış olmalıdır:

- a) Mode-S transponder,
- b) TCAS veya ADS-B benzeri algıla ve sakın sistemi,
- c) Gürültü limitleri için, ICAO tarafından yayımlanmış Ek-16'nın ilgili bölümlerinin uygulanması.

2.5.7 İHA'larda Uçuş İzni, Uçuşa Yasak Bölgeler ve Uçuş Şartları

(1) İHA0 ve İHA1 sınıfı İHA'lar için;

a) Ticari faaliyetler dışında sportif ve amatör amaçla gerçekleştirilecek uçuşlarda 18'inci maddede yer alan bölgeler hariç Genel Müdürlükten uçuş izni alınması gerekmez. Bu sınıflar için uçuş izni ilgili mülki idare yetkisindedir.

b) Fotoğraf-film çekimi ve ticari amaçlı havacılık işi yapılan müsaade gerektiren uçuşlarda 10 iş günü öncesinden Genel Müdürlüğe bu Talimatın Ek-3'ünde yer alan "Uçuş İzni Talep Formu" ile başvuru yapılır. Başvurulara ilişkin ilgili sivil ve askeri kurumlardan olumlu görüş alınmasını müteakip söz konusu sahaların NOTAM ile tüm hava sahası kullanıcılarına duyurulması sağlanır. Söz konusu taleplere ilişkin ilgili kurumlardan olumsuz görüş alınması veya Genel Müdürlük tarafından uygun görülmemesi halinde uçuş izni verilmez.

c) Uçuş izni alınması halinde; işletici/pilot/şahıs tarafından Türkiye AIP'sinde yer alan hükümlere ve belirtilen diğer kurallara uyulması zorunludur.

(2) İHA2 ve İHA3 sınıfı İHA'lar için;

a) Ticari faaliyetler dışında sportif ve amatör amaçla gerçekleştirilecek uçuşlarda İHA ve sistemleri için ilgili Valiliklerden alınan izin ile birlikte gerekli koordinasyonun yapılabilmesi için 10 iş günü öncesinden Genel Müdürlüğe bu Talimatın Ek-3'ünde yer alan "Uçuş İzni Talep Formu" ile başvuru yapılır. Başvurulara ilişkin ilgili sivil ve askeri kurumlardan olumlu görüş alınmasını müteakip söz konusu sahaların NOTAM ile tüm hava sahası kullanıcılarına duyurulması sağlanır. Söz konusu taleplere ilişkin ilgili kurumlardan olumsuz görüş alınması veya Genel Müdürlük tarafından uygun görülmemesi halinde uçuş izni verilmez.

b) Fotoğraf-film çekimi ve ticari amaçlı havacılık işi yapılan müsaade gerektiren uçuşlarda 15 iş günü öncesinden Genel Müdürlüğe bu Talimatın Ek-3'ünde yer alan "Uçuş İzni Talep Formu" ile başvuru yapılır. Başvurulara ilişkin ilgili sivil ve askeri kurumlardan olumlu görüş alınmasını müteakip söz konusu sahaların NOTAM ile tüm hava sahası kullanıcılarına duyurulması sağlanır. Söz konusu taleplere ilişkin ilgili kurumlardan olumsuz görüş alınması veya Genel Müdürlük tarafından uygun görülmemesi halinde uçuş izni verilmez.

c) İHA işletmecisi veya sahibi, başvurunun onaylanmasını takiben uçuşların düzenleneceği NOTAM'lanmış hava sahasından sorumlu ATC ünitesi ile acil durumlar haricinde operasyondan en az bir gün önce uçuşa ilişkin usuller üzerinde mutabakat sağlar. Bu yetkilendirmeler, İHA operasyonları için geçerli olan Standart Harekât Usullerine dayalı olacaktır.

ç) Standart Harekât Usulleri; normal usulleri, planlanmamış durumlara ilişkin usulleri, hava aracının acil durumdan kurtarılmasına diğer bir deyişle uçuşun sona erdirilmesine ilişkin usulleri içerecektir.

d) Başvuru dosyası, uçuşun düzenleneceği ayrılmış hava sahasının koordinatlarını, bu sahada icra edilecek uçuşun saatlerini, ayrılmış hava sahasında kullanılacak uçuş seviyesini, acil durum usullerini, İHA ve sistemlerinde kullanılacak frekanslar gibi ilgili

bilgileri içerir. Genel Müdürlük ilgili diğer kurumlarla koordinasyon sonucunda uygun bulunması halinde uçuş müsaadesi ve NOTAM yayımlar.

e) Uçuş izni alınması halinde; işletici/pilot/şahıs tarafından Türkiye AIP'sinde yer alan hükümlere ve belirtilen diğer kurallara uyulması zorunludur.

(3) Bu Talimatın 18'inci maddede yer alan yasak bölgelerde uçuş yapılması talepleri gerekçeleri ile birlikte 20 iş günü öncesinden Genel Müdürlüğe Talimatın Ek-3'ünde yer alan "Uçuş İzni Talep Formu" ile iletilir.

Uçuş izni talep edilen sahanın; bu Talimatın 18'inci maddesinin 1'inci paragraf (a) ve (b) bentlerinde yer alan sahalar olması durumunda, tüm kategorideki İHA ve sistemlerini kullanacak şahısların en az PPL seviyesinde lisans sahibi olması zorunludur.

Yabancı İHA operasyonları;

a) Yabancı operator/işletici/pilot tarafından Türk Hava Sahasında uçuş gerçekleştirme talepleri gerekçeleri ile birlikte diplomatik kanallarla 20 iş günü öncesinden bu Talimatın Ek-4'ünde yer alan "Uçuş İzni Talep Formu-İngilizce" ile Genel Müdürlüğe iletilir.

b) Başvuru esnasında uçuş izni talep formunda talep edilen belgelerin asılları veya aslı gibidir yapılan kopyaları Genel Müdürlüğe gönderilir. Söz konusu belgelere ek olarak İHA ve sistemlerine ilişkin ilgili Sivil Havacılık Otoritesinin Olur yazısı operator/işletici/pilot tarafından alınır ve Genel Müdürlüğe gönderilir.

c) Söz konusu İHA ve sistemleri için Talimatın 10'uncu maddesinde yer alan sigorta gerekliliklerinin yerine getirilmesi bir zorunluluktur.

ç) Başvurulara ilişkin ilgili sivil ve askeri kurumlardan olumlu görüş alınmasını müteakip söz konusu sahaların NOTAM ile tüm hava sahası kullanıcılarına duyurulması sağlanır. Söz konusu taleplere ilişkin ilgili kurumlardan olumsuz görüş alınması veya Genel Müdürlük tarafından uygun görülmemesi halinde uçuş izni verilmez.

d) Uçuş izni alınması halinde; işletme/pilot/şahıs tarafından Türkiye AIP'sinde yer alan hükümlere ve belirtilen diğer kurallara uyulması zorunludur.

Arama, kurtarma ve afet gibi öngörülemeyen acil durumlarda; Genel Müdürlük ile telefon koordinasyonu kurularak da gerekli Uçuş İzni verilebilir.

2.5.7.1 Uçuşa yasak bölgeler

Madde 18 – (1) Aşağıda yer alan bölgelerde Sivil Havacılık Genel Müdürlüğünden izin alınmadan herhangi bir sınıftaki İHA ile uçuş yapılması yasaktır:

a) İrtifaya bağlı olmaksızın bir havalimanının belirlenmiş meydan referans noktası merkez alınarak 8 NM (15 km) yarıçaplı alan içerisinde pist merkez hattı boyunca her iki yöne 12 NM (22 km) uzunluğunda ve her iki taraftan 2 NM (3,75 km) genişliğindeki sahada

b) İrtifaya bağlı olmaksızın seyrüsefer yardımcı cihazları, heliport, heliped, hava parkı, Genel Müdürlük internet sitesinde yayınlanmış olan denize/iniş kalkış alanlar, vb. merkez olmak üzere 5 NM (9 km) yarıçaplı sahada,

c) İrtifaya bağlı olmaksızın çok kalabalık ve kalabalık bölgeler üzerinde,

ç) Türkiye AIP'si ENR 5.1 bölümünde yer alan “Yasak, Tahditli ve Tehlikeli Sahalar”,

d) Askeri yasak bölgelerde, cezaevi ve güvenlik kısıtlı alanlarda,

e) NOTAM ile ilan edilen sahalarda,

Arama, kurtarma ve afet gibi öngörülemeyen acil durumlarda; Genel Müdürlük ile gerekli koordinasyonun sağlanması kaydıyla istisnai olarak Uçuş İzni verilebilir.

2.5.7.2 Uçuş Şartları ve Alan Gereklilikleri

Madde 19 – (1) İHA0 ve İHA1 sınıfındaki İHA'lar ile;

a) Sadece görerek meteorolojik koşulların sağlandığı durumlarda, gündeğumu-günbatımı saatleri arasında, bulutsuz ve en az 2 km görüşe haiz havalarda uçuş gerçekleştirilebilir.

b) Yerden (AGL) 300 feet yüksekliğin üzerinde uçuş gerçekleştirilemez.

İHA2 ve İHA3 sınıfındaki İHA'lar;

a) Hava trafik usulleri açısında VFR uçuş gerçekleştirilen hava aracı statüsünde kabul edilmesi sebebiyle söz konusu İHA'lar uluslararası kurallar ve Türkiye AIP'sinde yer alan hükümler ve olabilecek diğer düzenlemeler dâhilinde uçuş gerçekleştirebilirler.

b) Gece VFR uçuş gerçekleştirilemez.

TMA/CTR içerisinde uçuş gerçekleştirecek ve/veya ilgili ATC ünitesi ile iletişimin zorunlu olduğu durumlarda tüm kategorilerdeki İHA ve sistemlerinin UHF ve VHF kanallarda iletişim sağlayan telsiz sistemi ile donatılması bir zorunluluktur.

İHA uçuşları için havaalanı, heliport ya da hava parkı gerekliliği yoktur. Bununla birlikte, sportif ve bireysel amaçlı uçuşlarda hava parkı ve veya belirlenmiş alanların kullanımı tercih edilmelidir.

2.5.7.3 Ayırma Sağlama ve Çarpışma Önleme

Madde 20 – (1) Uçuşlar esnasında, diğer hava araçları ile ayırmayı sağlamak ve çarpışmayı önlemek İHA pilotunun sorumluluğundadır.

(2) Gürültü limitleri için, ICAO tarafından yayımlanmış Ek-16'nın ilgili bölümleri esas alınacaktır. Minimum ayırma minimaları

Madde 21 – (1) Ayrılmış hava sahalarında operasyon yapan İHA'lar kendileri için tahsis edilen ve NOTAM'lanan sahaların dışında uçuş yapamazlar.

(2) Ayrılmış sahalara giriş ve çıkışlar dahil olmak üzere İHA'nın diğer hava araçları ve manialarla ayrılması sorumluluğu İHA pilotuna aittir.

2.5.7.4 Acil Durum Usulleri

Madde 22 – (1) İnsanlı uçaklara uygulanan Acil Durum usulleri mümkün olduğunca İHA'lar için de uygulanacaktır. Yerdeki insan ve diğer hava sahası kullanıcılarının emniyetini sağlamak için, ATC ile koordine edilerek emniyet gereklilikleri arttırılır.

(2) İHA sistemin uçuş yaptığı sorumluluk alanının büyüklüğüne göre yeterli sayıda mecburi iniş/düşürme bölgeleri işletme tarafından tespit edilmeli ve koordinatları Kontrol İstasyonunda bulundurulmalıdır.

3. YÖNTEMLER

3.1 Fotogrametrik Yöntemler

Fotogrametri; farklı türden hava araçlarına takılan metrik kamera, algılayıcı ve tarayıcılar yardımıyla havadan ya da uzaydan alınan fotoğraf veya görüntüler kullanılarak veri elde etmek ve aynı zamanda cisimler ile ilgili olarak da üç boyutlu geometrik bilgiler çıkarma görevini yapan hem ölçme, hem değerlendirme, hem de yorumlama yöntemidir (Esirtgen, 2010).

Bilhassa 2000'li yıllar sonrasında bir hayli geniş uygulama alanı bulan uydu görüntüleri ve uzaktan algılama gibi veriler yardımıyla söz konusu arazinin topoğrafik yapısı ile ilgili olarak geometrik, tematik ve öznitelik bilgilerinin çıkarılması hususu, uzaktan algılamanın ve sayısal görüntü işleme yöntemlerinin ilgi alanına girmesinin dışında, günümüzde fotogrametri ile uzaktan algılama yöntemlerinin birbirlerinden kesin çizgilerle ayırmak imkânsızdır (Kaya, 2010).

Fotogrametri yöntemi, günümüzde de hala SYM üretiminde en değerli veri kaynaklarının başında gelmektedir. Gerek büyük gerekse de orta ölçekte harita üretim niteliğine sahip olan fotogrametrik yöntemler, referans şeklinde değerlendirilecek nitelikte SYM üretimine imkân tanımaktadır.

Fotogrametri yöntemiyle sağlanan 3 boyutlu veri etkileşimli bir şekilde hem operatör tarafından ölçülebilmekte, hem de görüntü eşleme yöntemlerinin gelişmesi ile otomatik veya yarı otomatik şekilde de elde edilebilmektedir. Bu yöntem veri toplamanın en büyük avantajı, SYM oluşturmak amacıyla gereken minimum sayıda yükseklik noktasının seçilebilmesine imkân tanınmasıdır. Bilhassa sayısal aletlerin yardımıyla yapılan işlemlerde, yüzeydeki değişimlerin kısmen daha düzgün olduğu yerler için çok az sayıda dayanak noktası seçilmektedir. Ağırlık daha ziyade yüzey eğiminin değişime uğradığı kritik noktalara verilmektedir (Erdoğan, 2007).

Her alanda yaşanan gelişmelere paralel olarak, haritacılık alanında da önemli gelişmeler yaşanmaktadır. Bu bakımdan geçmişe kıyasla analog ve analitik fotogrametri yerini sayısal

(dijital) fotogrametriye bırakmıştır. Sayısal fotogrametriye geçişin temel nedenleri ise aşağıda sıralanmaktadır (Schenk, 1996):

- Fotogrametrik veri toplama işlemine daha çok zaman ayrılması,
- Maliyet açısından tasarruf sağlanması,
- Sayısal sistem yardımıyla sağlanan verilerin ve çıktılarının, analiz, yorum ve girdi verisi şeklinde kullanılabilmesi,
- Görüntü sıkıştırma, görüntü gevşetme gibi yöntemlerin donanım içinde yer alması,
- Ayrıntıları tanıma, çıkarma ve veri toplama aşamasında otomasyon sağlanması,
- Ortofoto, fotomozaik ve anaglif harita üretimi sağlanması,
- Görüntü işleme yöntemlerinin uygulanabilir olması,
- Bellek masraflarının asgari seviyede olması.

Yukarıdaki şıklarda da görüldüğü üzere, sayısal fotogrametriye geçişin temel nedenleri incelendiğinde, sayısal (dijital) fotogrametri haritacılığa önemli katkılar sağladığını söylemek mümkündür.

Fotogrametri yönteminin veri bakımından temel dayanağı, üç boyutlu görüntülerin oluşturulmasına imkân sağlayan hava fotoğrafları ve uydu görüntüleridir. Klasik fotogrametrik sistemler şeklinde tanımlanan analog ve analitik değerlendirme aletlerinde veri kaynağı, analog formdaki fotoğraf çiftleridir. Benzer şekilde dijital fotogrametrik sistemlerin de veri bakımından temel dayanağı, dijital görüntülerdir. Fotogrametrik yöntemle veri elde etme; nokta seçimi ve seçilen noktaların koordinatları ile kaydedilmesi üç yolla yapılabilmektedir (Sarbanoğlu, 1991).

- Seçerek örnekleme yöntemi,
- Uyum sağlayarak örnekleme,
- Otomatik korelasyonla örnekleme.

a) Seçerek Örnekleme Yöntemi: Koordinatları ile kaydedilecek olan noktalar hem veri toplamadan önce hem de veri toplama esnasında seçilebilmektedirler. Özelliğine uygun bir şekilde uygulama esnasında etkinlik kazanmıştır. Foto yorumu gerektirir. Seçerek örnekleme yöntemiyle; arazinin özelliğini göz önünde bulunduracak şekilde, bilgisayarla örnekleme duyarlılığını zayıflatan özelliklerden olan,

- Bulutlu,
- Su ile kaplı,
- Dağlık alan,
- Stereoskopik niteliği zayıf,
- Çok düzensiz veya çok düzenli

alanlarla ilgili normal yüzey özellikleri örneklenir. Her model için arazi cinsine paralel bir şekilde X, Y, Z elde edilir ya da bilgisayar destekli sistemlerle X, Y koordinatları hesaplanarak yalnızca Z koordinatları operatörün müdahalesiyle belirlenir. Elde edilen veriler vektör formatında depolanır (Kaya, 2010).

b) Uyum Sağlayarak Örnekleme Yöntemi: Bu yöntem adı ile aynı doğrultuda adaptasyon sağlama yöntemi olarak da nitelendirilebilir. Uyum sağlayarak örnekleme yönteminde veri toplamada; profiller boyunca, eşyükselti eğrileri boyunca ya da tespit edilen yüksekliklerin olduğu yerlerde arazinin örneklenmesi uygundur (Esirtgen, 2010).

c) Otomatik Korelasyonla Örnekleme: Fotogrametrik sistemler sayısal olduğundan, onunla uyumlu çalışabilmek amacıyla görüntülerin de aynı şekilde sayısal olması gerekliliği, 1972'den sonra uzaya gönderilmeye başlanan Landsat uydularındaki (uzaktan algılama amaçlı uydular) çok bantlı algılayıcılardan sağlanan sayısal görüntüleri, bu alanda ilk uygulama çalışmalarının temelidir. Sayısal yüzey model verilerinin, otomatik korelasyon yardımıyla stereo görüntülerden elde edilmesi yönündeki çalışmalar günümüzde önemli ölçüde gelişim kaydetmiştir (Kaya, 2010). Bir veri kaynağı şeklinde elde edilen sayısal görüntülerin paralaks farklarını tespit ederek, sayısal yüzey modelini elde etme şeklinde kullanılan otomatik korelasyon tekniği, görüntü çiftlerinin çakıştırılmasını gerekli kılmaktadır. Söz konusu geometrik model, görüntü korelasyonu

eşlenik (epipolar) hatlar boyunca oluşturulan kenar veya detay (feature) noktalarını esas alır. Stereo otomatik korelasyon tekniği ile SYM oluşturmada, üç ana işlem aşaması bulunmaktadır. Bunlar; iki görüntünün stereo çakıştırılması (matching), üç boyutlu yer koordinatlarını oluşturmak amacıyla uzay çift nokta geriden kestirmesi ve düzenli sayısal yüzey modeli matrisini sağlamak amacıyla yapılan enterpolasyon işlemidir (Erdoğan, 2007).

Yukarıda fotogrametrik yöntemle veri elde etme yöntemleri olan seçerek örnekleme, uyum sağlayarak örnekleme ve otomatik korelasyonla örnekleme yöntemlerinden özetle bahsedilmiştir. İzleyen başlıklarda sayısal yüzey modeli ve ortofoto ele alınacaktır.

3.1.1 Sayısal Yükseklik Modeli

Sayısal yükseklik modeli, bir kaç farklı yöntem yardımıyla bir bölgenin yüksekliği ile ilgili bilgi edinmeye yarayan bir modeldir. Sayısal yükseklik modelleri, Sayısal Arazi Modeli (SAM-DTM) ve Sayısal Yüzey Modelleri (SYM-DSM) şeklinde ikiye ayrılmaktadır.

Yeryüzü, matematiksel bir şekilde tanımlanamayacak görünüme sahiptir. Çünkü yerküre üç boyutlu ve düzensiz bir şekil görünümündedir. Net bir şekilde tanımlayabilmek amacıyla sonsuz sayıda noktaya ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat bu da söz konusu olmadığında, belirli âdete sahip nokta kümeleri seçilir ve yerkürenin yüzeyi bu noktalardan istifade edilerek temsil edilmeye çalışılır. Yeryüzünün optimum bir şekilde temsili, jeolojide, pek çok mühendislik alanında, askeri ve diğer pek çok yerde büyük bir ihtiyaç gibi gözükmektedir (Schenk, 1996). Fotogrametri bakımından SYM üretim görevi büyük bir öneme sahiptir. SYM'ler gerek ürün niteliğinde, gerekse de ortofoto gibi ikinci ürünlerin yaratılması amacıyla da kullanılmaktadır. Dijital fotogrametri, SYM'lerin otomatik bir şekilde toplanması açısından benzersiz bir ortamdır. Bilgisayarların gerek işlemci, gerekse de bellek açısından yeterli düzeyde olmaya başladığından beri araştırmacılar, otomatik SYM toplamak için gayret etmektedirler. Kabul gören tekniklerin varlığına karşın, bu sorun tam anlamıyla giderilmiş değildir. Örneğin büyük çaplı bir bölge ele alındığında, mevcut teknikler yeterli doğruluğa sahip SYM toplayamamaktadır. Son

dönemlerde, kullanıcıların geniş çaplı arazi analizi yapabilmeleri amacıyla SYM'ler sağlanabilmek ve aynı zamanda bu SYM'ler geliştirilmektedir (Erdoğan ve Toz, 2009).

SYM'ler yüzey tanımlama şeklinde tanımlanan genel bir sorunun parçası niteliğindedir. Bu husus hakkında bilgisayar ortamında sıkı çalışmalar yapılmıştır. SYM üretimi açısından geçerli metot olan stereo modellerden otomatik SYM üretimi aşağıda sıralanmış olan üç aşama ile oluşturulmaktadır (Schenk, 1996):

a) Görüntü Eşleme: Bu aşamada karşılıklı noktaların tespit edilir.

b) Yüzey Geçirme: Bu aşamada yüzeyin enterpolasyonu ve sıklaştırılması yapılır.

c) Kalite Kontrol: Son aşamada SYM'nin kontrolü ve düzeltilmesi yapılır.

3.1.1.1 Uydu Teknikleri

Teknoloji alanındaki gelişmelere paralel olarak, uyduların geometrik modellerinin her geçen gün geliştiği, görüntü alım özelliklerinin daha esnek bir hale geldiği ve yer ayırma gücünün arttığı gözlemlenmektedir. Burada görüntü alım özelliğinden kastedilen, algılayıcının olağanüstü alım yapabilme kabiliyetidir. Olağanüstü alım, yörüngede ya da yörünge dışı alım yaparak stereo görüntü oluşumuna da katkı sağlayan bir özelliktir (Esirtgen, 2010).

Ülkemizde en çok tercih edilen IKONOS ve SPOT uydu görüntüleri de bu özelliklere sahip olup aynı yörüngede olağanüstü görüntü alımı yapabilmektedir. Stereo uydu görüntülerinden SYM üretiminde dikkat edilecek ikinci önemli nokta da yer ayırma gücüdür. Yer örnekleme aralığı, görüntüdeki bir pikselin yerde karşılık geldiği değerdir. Uydu görüntülerindeki piksel değerlerinin yeryüzü detaylarını temsili arttıkça, SYM'deki konumsal doğruluk saptamalarının daha iyi duruma geleceğini söylemek mümkündür (Erdoğan, 2007).

Yakın bir zamana kadar kamu kurumları uydulardan elde edilen verilerden yararlanmakta idi. Uydu görüntülerinin gerek görüntü kalitesi, gerekse de zaman bakımından İHA'ların

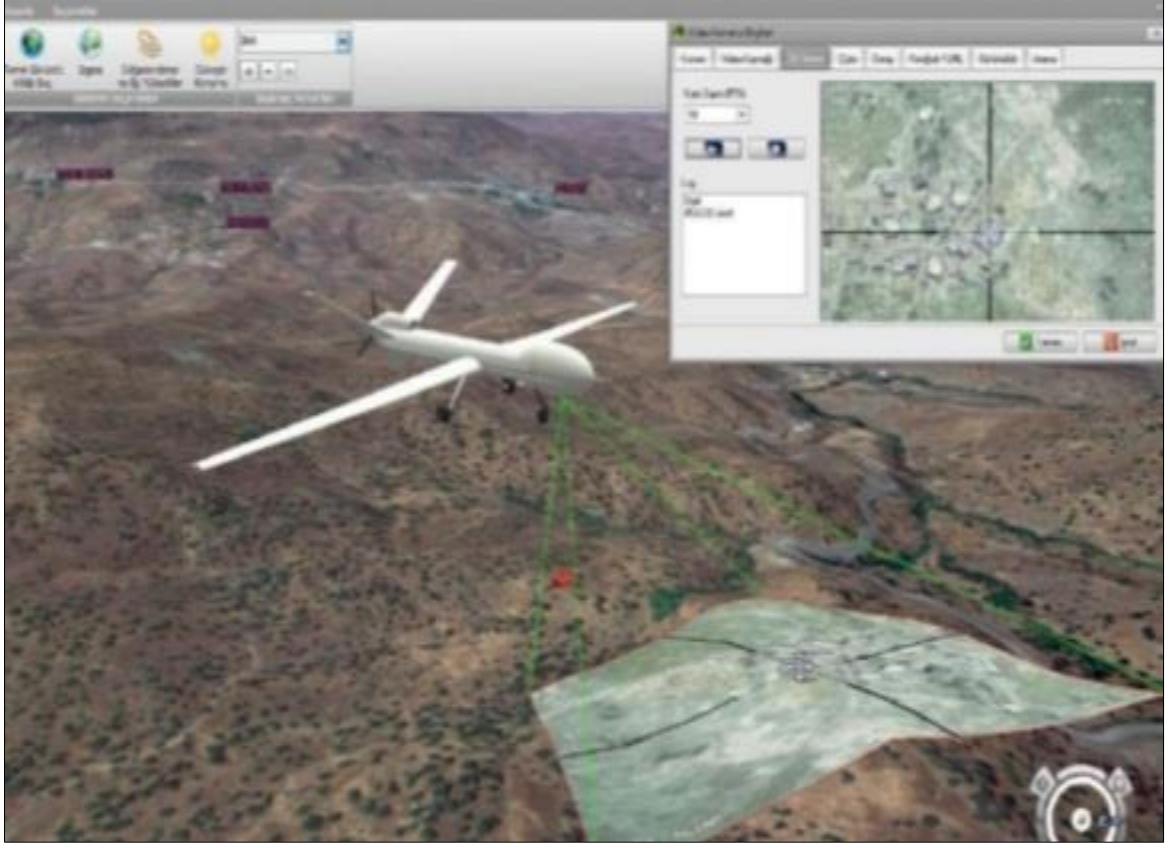
bir hayli gerisinde olduğunu söylemek mümkündür. Örneğin uydu ile görülmesi olanaksız olan, varılması ya da çıkılması imkânsız olan yerlerin konumsal çözünürlükleri İHA'ların yardımıyla sağlanabilmektedir. İHA'larla anında görüntü elde edilirken, uydulardan görüntü elde edebilme aşamasında bürokratik engellerle, prosedürlerle, hava şartlarıyla ve görüntü alma sırası gibi sorunlarla karşı karşıya kalma olasılığı da bir hayli fazladır. Bu ve benzer durumlar dikkate alındığında İHA'ların uydulara kıyasla bir hayli avantajlı olduğunu söylemek mümkündür.

3.1.1.2 Coğrafi Analiz Sistemi (CAS)

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), çözüm maksatlı olarak sosyal, çevresel, ekonomik vb. problemlere giderme amacıyla tasarlanmıştır. CBS, gerek mekân, gerekse de konum bilgisine ihtiyaç duyulan tüm karar verme süreçlerinde etkin bir şekilde kullanılabilir. CBS, genel bir kavram niteliğinde, farklı kullanım alanlarına ve farklı konulara dönük olarak geliştirilen uygulamalara sahip olmakla birlikte, kent, karayolları, orman, arazi tapu-kadastro, harita, lojistik, iç güvenlik, askeri coğrafya, vb. bilgi sistemlerinde kullanılabilir niteliktedir (Antenucci vd., 1991).

CAS; Harita Genel Müdürlüğü (HGM) tarafından geliştirilen ve şimdilik yalnızca Türkiye'den görüntü sunabilme yeteneğine sahip bir coğrafi bilgi sistemidir. CAS aynı zamanda pek çok kişi tarafından "Yerli Google Earth" olarak da tanımlanmaktadır. Çok yönlü niteliklere sahip olan CAS, kullanımı kolay olmakla birlikte görüntü kaliteleri de oldukça yüksektir. CAS 02 Mayıs 2017 tarihinde test maksatlı olarak halkın kullanıma açılmıştır. CAS'ın kullanıma açılması ile beraber bir hayli yoğun talebe maruz kalmıştır. HGK'ya yapılan pozitif geri bildirimler sonrasında uygulamanın hızlı ve etkin bir biçimde kullanılabilmesi amacıyla sistemin teknik altyapısında önemli sayılabilecek iyileştirmelerin yapıldığını söyleyebiliriz. Başta askeri amaçlı olarak geliştirilen CAS, İHA'lar yardımıyla elde edilen görüntü istihbaratı, hem durumsal farkındalığa hem de istihbarat geliştirme sürecine olumlu yarar sağlamaktadır. Bu bağlamda istihbarat personelinin CAS'a aktardığı istihbarat özeti, istihbarat raporu ve eldeki bilgilerin analizi sonrasında istihbarat boşluklarının bir kısmını gidermek maksadıyla, CAS'ta tespit edilen uçuş güzergâhlarında

İHA sistemleri görevlendirilerek görüntü ve bilgi toplanabilir (Göztepe ve Akdağ, 2015). Aşağıdaki Şekil 3.1’de İHA’dan elde edilen verilerin CAS’a aktarımı yer almaktadır.



Şekil 3.1 İHA’dan Sağlanan Verilerin CAS’a Aktarımı

CAS yardımıyla sayısal coğrafi verilerin kullanıcılara sanal küre mimarisi üzerinde 3D şeklinde hem kesintisiz hem de etkileşimli bir şekilde sunulmaktadır. Şekil 3.1’de görüldüğü üzere, İHA elde ettiği verileri CAS’a aktararak, yüksek çözünürlüğe sahip ortofoto görüntüleri, uydu görüntülerini, Türkiye ve civarındaki 1/25.000, 1/50.000, 1/100.000, 1/250.000 ölçekli temel topoğrafik haritaları, farklı vektörel verileri 3D ortamda simüle etmekte ve elde edilen bu verilerin paylaşımlarını da sağlamaktadır (Göztepe ve Akdağ, 2015).

3.1.2 Ortofoto

Ortofoto; perspektif resimlerdeki, eğiklik ve yükseklik farklarından ötürü görüntülerde karşılaşılan kaymalarının giderilmesi neticesinde elde edilen, harita gibi belli bir ölçüğe 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 ortofotolara ise “Ortofoto Mozaik” adı verilmektedir (HGKS 125–1, 2003). Genel olarak bu foto haritanın üzerine eşyükselti eğrileri de çizilmiştir. Bu haritalarda kullanıcıların kullanımlarını kolaylaştırmak amacıyla yazılar ve rakamlar ilave edilmiştir. İHA’lar ve diğer hava araçları üretilen bu tip haritalar alışılmış çizgi haritalar şeklinde de kullanıldığını söyleyebiliriz (Erden, 2006).

Geçtiğimiz yüzyılın son çeyreğinden sonra dijitalleşme adımlarından haritacılık sektörünün de etkilendiğini söylemek mümkündür. 1970’li yıllardan sonra dijital ortofotolar geliştirilmeye başlamıştır. Ancak o dönemde bilgisayar teknolojisi günümüzdeki seviyesinin çok altında olduğundan, dijital ortofotolar 2000’li yıllardan sonra yaygınlaşmıştır (Nacar, 2015).

Günümüzde, dijital ortofotolar, fotogrametrik yazılımlar ve görüntü işleme sistemleri vasıtasıyla yapılabilmektedir. Bu ürünler, genel olarak inşaat, mühendislik, şehir planlama vb. alanlara altlık olmaktadır. Dijital ortofotoların üretimi, arazi koordinat sisteminde yer alan üç unsurun merkezlerinin dönüşümü ile sürmektedir (Krause, 2000).

Tüm bu işlevlerden sonra dijital ortofotonun sağlamış olduğu imkânlar aşağıda sıralanmaktadır (Nacar, 2015):

1. Yerin yüzeyini temsil etmek amacıyla yakındaki noktalardan oluşan bir ağ kullanıldığından geometrik bakımdan doğruluk bir hayli yüksektir.
2. Dijital ortofoto, coğrafi bilgi sistemi açısından bir bilgi seviyesi şeklinde muhafaza edilebilir.

3. Dijital ortofotolar, multispektral gruplandırma, görüntü parçalama, ayrıştırma gibi yöntemler yardımıyla analiz edilebilir.
4. Vektör bilgileri ilave araştırmalar olmadan bilgisayar ortamında eş zamanlı olarak görüntülenebilir.
5. Ortofoto mozaiklerini sağlamak ve geniş bir alanı tek ortofotoyla temsil etmek amacıyla ortofotoların blok halinde birleştirilebilir.

Tüm ortofotolar belirli bir projeksiyona sahip olduğu için geometrik açıdan bir sorun ile karşı karşıya kalmamaktadır. Ancak birleştirilen ortofotoların parlaklık gibi değerlerinde farklılıklar olması haline yaşanan sorun, analitik yöntemde yalnızca uygun bir uçuş planıyla düzeltilebilirken, dijital fotogrametri açısından ise böyle herhangi bir sınırlama yoktur (Erden, 2006).

4. İHA VERİLERİNDEN ÜRETİLEN ORTO-GÖRÜNTÜLERİN GEOMETRİK DOĞRULUĞUNUN İNCELENMESİ VE ÖRNEK UYGULAMA

4.1 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 4.1). Çalışma alanı çerisinde nokta konum doğruluğunu ve farklı ticari yazılımların güvenilirliğini araştırmak amacıyla, 11 adet kontrol noktası işaretlenmiştir (Şekil 4.2). Görüntüler 60 m irtifada %80 boyuna ve %70 enine bindirme şeklinde iki farklı İHA ile uçuşlar yapılmıştır.



Şekil 4.1 Çalışma Alanı



Şekil 4.2 Çalışma alanı içinde ve YKN ve Kontrol Noktalarının dağılımları

4.2 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 4.1). 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 4.3 ve Şekil 4.4).

Çizelge 4.1 İHA'lara ait uçuş sonrası bilgiler

	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 4.3 İşaretlenen YKN görünümü



Şekil 4.4 İşaretlenen Kontrol Noktası görünümü

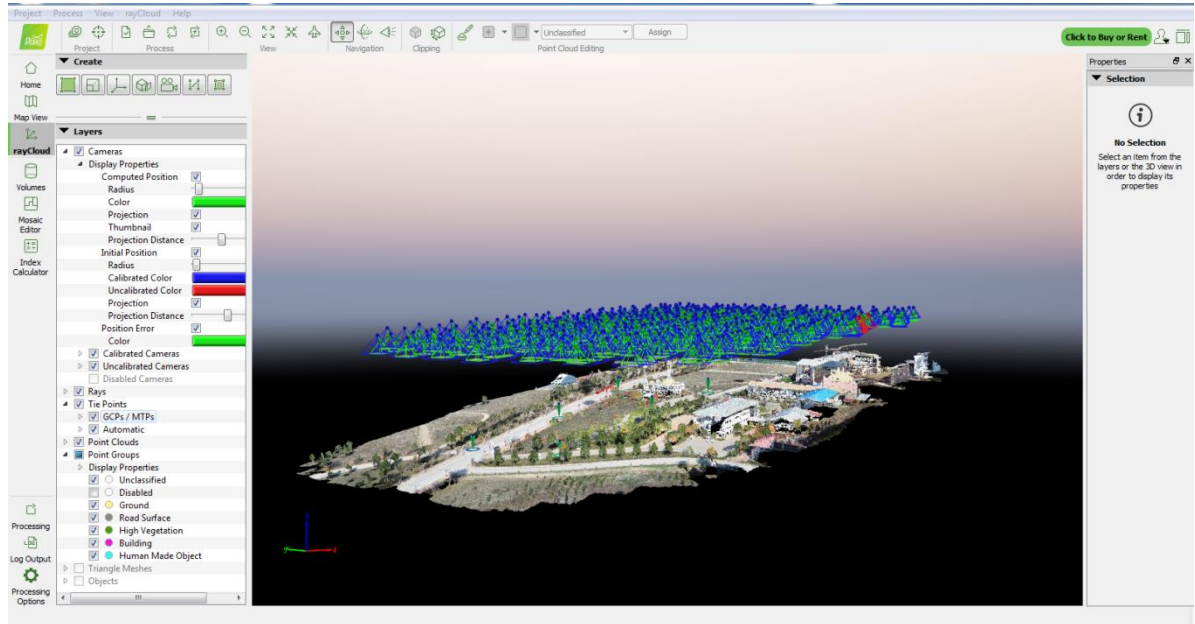
4.3 Kullanılan Alet, Yazılımlar ve İşlem Adımları

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. Ölçülen bu koordinatlar ITRF96 UTM Zone36-3⁰ projeksiyonunda tanımlanmıştır. Kullanılan yükseklik verileri ise elipsoidal yüksekliklerdir. 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 ortogörüntü haritaların doğruluğu açısından önemli rol oynamaktadır. Hem kullanılacak İHA cihazı hemde ticari yazılımların doğrulukları açısından kullanıcılara önemli ölçüde fikir vermektedir.

4.3.1 Pix4D Özellikleri

Pix4D Mapper yazılımında 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 yüzey modeli otomatik olarak elde edilmektedir. Bu aşamalar yapılırken yazılım kullanıcı dostu arayüzü ile gerekli işlem parametrelerinin isteğe göre değiştirilmesine olanak sağlamaktadır.



Şekil 4.3 Pix4D genel görünümü



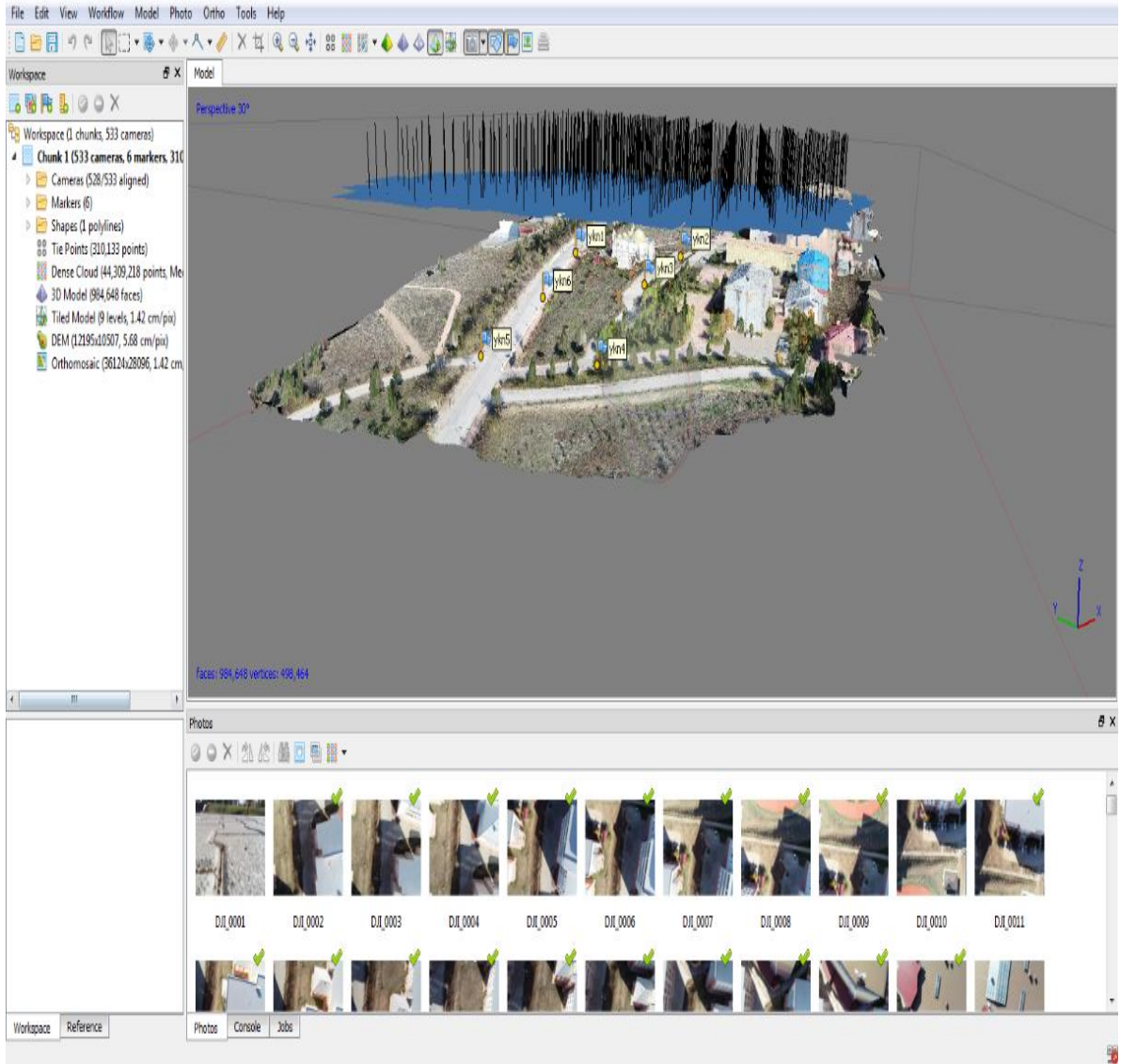
Şekil 4.4 Pix4D ile üretilmiş DJI Phantom 4 Pro'ya ait ortofoto görüntüsü



Şekil 4.5 Pix4D ile üretilmiş Yuneec H520'ye ait ortofoto görüntüsü

4.3.2 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 yazılımını 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 4.6 Agisoft Photoscan genel görünümü



Şekil 4.7 Agisoft Photoscan ile üretilmiş DJI Phantom 4 Pro'ya ait ortofoto görüntüsü



Şekil 4.8 Agisoft Photoscan ile üretilmiş Yuneec H520'ye ait ortofoto görüntüsü

4.3.3 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.



Şekil 4.9 DJI Phantom 4 Pro Multikopter görünümü

DJI Phantom 4 Pro Multikopterin genel olarak özellikleri ve parametreleri aşağıda görülmektedir.

Çizelge 4.2 DJI Phantom 4 Pro Özellikleri

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 C°
Navigasyon	GPS/GLONASS

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.

4.3.4 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.



Şekil 4.10 Yuneec Multikopter görünümü

Yuneec H520 hegzakopterin genel olarak özellikleri ve parametreleri aşağıda görülmektedir.

Çizelge 4.3 Yuneec H520 Özellikleri

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 C°
Navigasyon	GPS/GLONASS

4.3.5 Yuneec H520 ve Dji Phantom 4 Pro Karşılaştırma

Çizelge 4.4 İHA sistemleri detaylı özellik karşılaştırması

ÖZELLİKLER	YUNEEC H520	DJI PHANTOM 4 Pro
Rüzgar Dayanımı	32 km / sa	29 km / sa
Kamera Konfigürasyonu	11 farklı kamera ile çalışma imkanı sunar. (RGB, Termal, 4K Video..)	Mevcut kamera sisteminin dışında herhangi bir kamera konfigürasyonu bulunmamaktadır.
Desteklediği Uydular	GPS, GLONASS	GPS, GLONASS
Pervane Sayısı	6 Pervaneli Rüzgârlı havalarda bile yüksek güvenlik ve stabilizasyon + hassasiyet Rüzgâr direnci pervane sayısı ile doğru orantılıdır. 6 pervaneli bu sistem yüksek rüzgârlı ortamlarda, kontrolün güvenilir olmadığı düşünüldüğünde dahi stabil uçuş gerçekleştirerek hassas sonuçlar elde etmemizi sağlar.	4 pervaneli Hakimiyet zorlaşır, uçuş için uygun koşullar bulmakta zorluk yaşanır. Uçuşlarda sürüklenmeler meydana gelir.
Engel Tanıma	Yaklaşma sensörleriyle otomatik engel tanıma ve çarpma sistemi sayesinde güvenli uçuşlar gerçekleştirir.	Engel tanıma sensörü yoktur.
Gimbal Sistemi	360 derece sonsuz döndürülebilir kamera gimbal'ı Çalışırken değiştirilebilir kamera/gimbal seçenekleri	3 eksenli
YGK (Yazılım Geliştirme Kiti)	Üçüncü parti yazılımlar ve kendi uygulamanızı uyarlamanız için YGK (Yazılım Geliştirme Kiti) mevcut	Mevcut değil
Boyut - Ağırlık	520 x 455 x 295 mm - 1633 gr	289,5x 289,5x196mm - 1388 gr
Çalışma Sıcaklığı	Çalışma sıcaklığı -20 ° C ila + 60 ° C	Çalışma sıcaklığı 0 ° C ila + 40 ° C

Batarya	4S 5250Mah 15,2V LiPo	LiPo 4S
Havada Kalma Süresi	25-30 dk arası (konfigürasyona göre farklılık gösterir)	Rüzgarsız havada maksimum 30 dakika
Ekstra Avantajları	<p>Mevcut tüm kamera sistemleri (E90, E50, CGOET ..) ile 2kg'ın altında kalkış ağırlığı</p> <p>Parlak turuncu rengi sayesinde kolay görünürlük</p> <p>Entegre 7 inç dokunmatik ekran, ses çıkışı ve çok dilli kapsamlı DataPilot yazılımı ile ST16S Yer Kontrol Yazılımı</p> <p>Canlı görüntüyü daha büyük ekranlara yansıtmak için ST16S'ten doğrudan HDMI sinyali</p> <p>İnşaat, çevre güvenliği, 3D taramalar, yüzey haritaları, alan denetimleri ve araştırma-geliştirme görevleri için uygun çapraz uçuşlar dahil olmak üzere ara nokta ve harita çıkarma görevleri</p> <p>Görevlerin aynı uçuş rotasının herhangi bir tekrarı için kaydedilebilir olması</p>	<p>Sabit Kamerası olduğu için değiştiremez.</p> <p>Beyaz renge sahiptir.</p> <p>E1 Ünitesinde ekran bulunmamakta olup, harici olarak ekran takılabilmektedir. (Tablet veya Cep Telefonu)</p>

**E90: 20 MP 1 inç sensör, 23 mm lens, +/- 0,02 ° hassasiyetle 3 eksenli gimbal

**E50: 12 MP 1/2,3 inç sensör, +/- 0.03 ° hassasiyetle 3 eksenli gimbal

**CGOET: 1080p düşük ışık kamerası, 360 ° dönebilen, 3 eksenli gimbal

4.4 Bulgular ve Tartışma

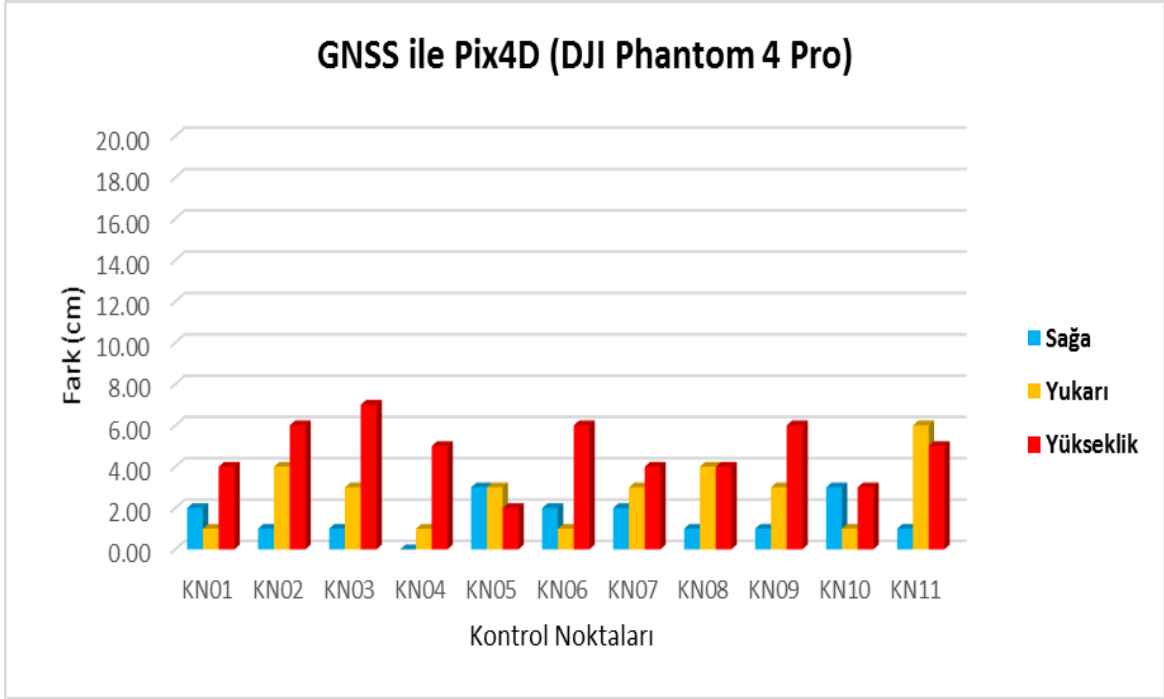
4.4.1 Bulgular

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.

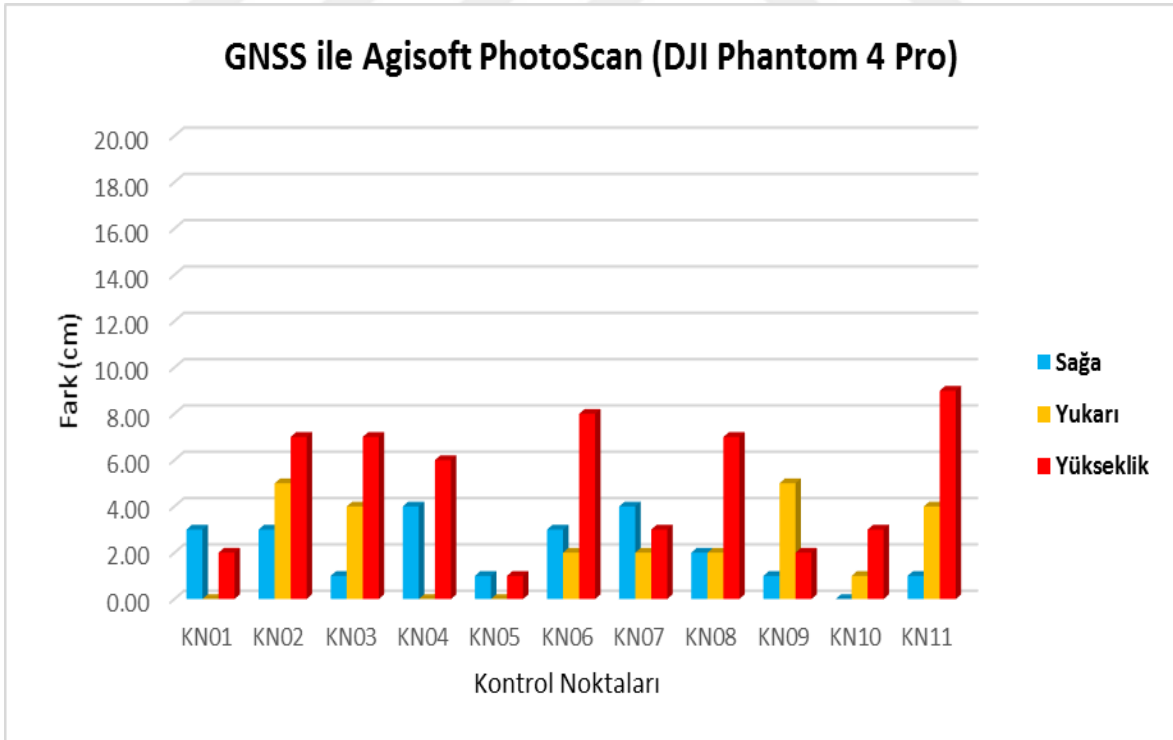
Yapılan bu tez çalışması sırasında farklı İHA sistemleri arasında rüzgâra karşı direnç özelliklerini sergilerken önemli tecrübeler edinmemizi sağlamıştır. DJI Phantom 4 Pro Yuneec'e göre daha küçük ve dört pervaneli olduğu için ani rüzgâr hareketlerine bağlı olarak stabilizasyon sorunları yaşarken, Yuneec 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 yer alan çizelge ve şekillerde multikopterler ve kullanılan yazılımların karşılaştırılması yapılmıştır.

Çizelge 4.5 Hassas GNSS Cors-Tr ile DJI Phantom 4 Pro Farkları

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



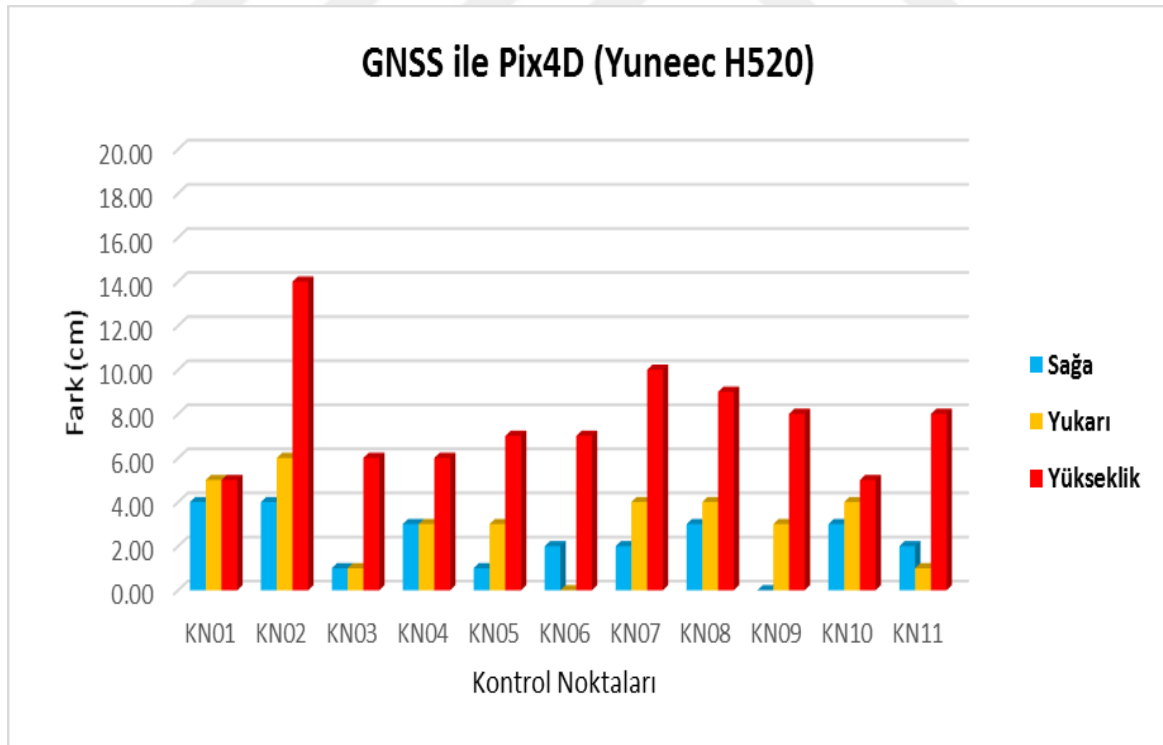
Şekil 4.11 GNSS ile Pix4D (DJI Phantom 4 Pro)



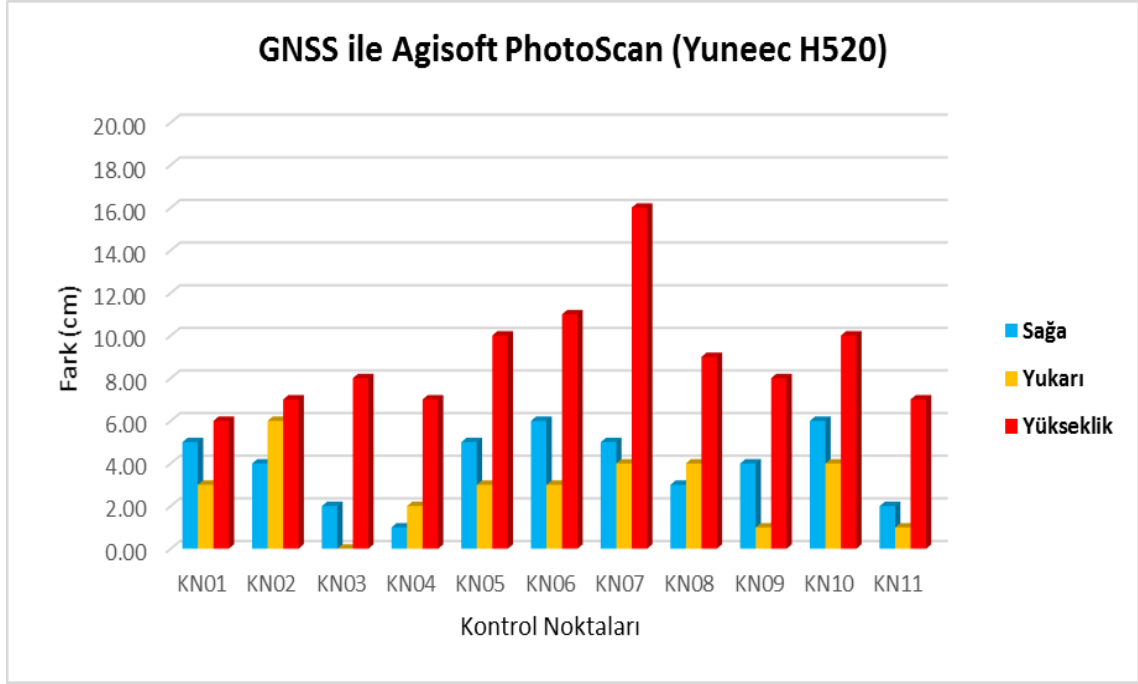
Şekil 4.12 GNSS ile Agisoft PhotoScan (DJI Phantom 4 Pro)

Çizelge 4.6 Hassas GNSS Cors-Tr ile Yuneec H520 Farkları

Kontrol Noktaları	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 4.13 GNSS ile Pix4D (Yuneec H520)



Şekil 4.14 GNSS ile Agisoft PhotoScan PhotoScan (Yuneec H520)

Verilerin değerlendirilmesi sonucu ortofoto ve sayısal yüzey 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.

$$Sağa_{KOH} = \sqrt{\sum (Sağa_{Hata}^2)/n}$$

$$Yukarı_{KOH} = \sqrt{\sum (Yukarı_{Hata}^2)/n}$$

$$Yatay_{KOH} = \sqrt{Sağa_{Hata}^2 + Yukarı_{Hata}^2}$$

$$Yükseklik_{KOH} = \sqrt{\sum (Yükseklik_{Hata}^2)/n}$$

KOH: Karesel Ortalama Hata n : Ölçü Sayısı

Çizelge 4.7 Kontrol noktalarına ait karesel ortalama hatalar (KOH)

Kontrol Noktaları	DJI Phantom 4 Pro				Yuneec H520			
	Pix4D		Agisoft Photoscan		Pix4D		Agisoft Photoscan	
	Yatay _{KOH}	Düsey _{KOH}	Yatay _{KOH}	Düsey _{KOH}	Yatay _{KOH}	Düsey _{KOH}	Yatay _{KOH}	Düsey _{KOH}
KN01	2.2	4.0	3.0	2.0	6.4	5.0	5.8	6.0
KN02	4.1	6.0	5.8	7.0	7.2	14.0	7.2	7.0
KN03	3.2	7.0	4.1	7.0	1.4	6.0	2.0	8.0
KN04	1.0	5.0	4.0	6.0	4.2	6.0	2.2	7.0
KN05	4.2	2.0	1.0	1.0	3.2	7.0	5.8	10.0
KN06	2.2	6.0	3.6	8.0	2.0	7.0	6.7	11.0
KN07	3.6	4.0	4.5	3.0	4.5	10.0	6.4	16.0
KN08	4.1	4.0	2.8	7.0	5.0	9.0	5.0	9.0
KN09	3.2	6.0	5.1	2.0	3.0	8.0	4.1	8.0
KN10	3.2	3.0	1.0	3.0	5.0	5.0	7.2	10.0
KN11	6.1	5.0	4.1	9.0	2.2	8.0	2.2	7.0
Tüm Noktalar İçin KOH	3.4	4.7	3.6	5.0	4.0	7.7	5.0	9.0

Çizelge 4.8 Multikopterlerin ve yazılımların karşılaştırılması

Kontrol Noktaları	Cors-Tr			Dji Phantom 4						Yuneec H520					
				Pix4D			Agisoft Photoscan			Pix4D			Agisoft Photoscan		
	Sağa	Yukarı	Yükseklik	Sağa	Yukarı	Yükseklik	Sağa	Yukarı	Yükseklik	Sağa	Yukarı	Yükseklik	Sağa	Yukarı	Yükseklik
KN01	587286.30	4397035.38	1304.07	587286.32	4397035.37	1304.11	587286.33	4397035.38	1304.09	587286.34	4397035.33	1304.02	587286.35	4397035.35	1304.13
KN02	587222.15	4397000.72	1303.00	587222.14	4397000.76	1303.06	587222.12	4397000.77	1303.07	587222.19	4397000.78	1303.14	587222.19	4397000.78	1303.07
KN03	587206.36	4396983.31	1302.51	587206.35	4396983.34	1302.58	587206.37	4396983.35	1302.58	587206.35	4396983.30	1302.57	587206.38	4396983.31	1302.43
KN04	587175.54	4396978.70	1301.20	587175.54	4396978.71	1301.25	587175.58	4396978.70	1301.26	587175.57	4396978.73	1301.26	587175.55	4396978.72	1301.27
KN05	587150.23	4396981.66	1299.31	587150.26	4396981.69	1299.33	587150.24	4396981.66	1299.30	587150.22	4396981.69	1299.38	587150.28	4396981.69	1299.41
KN06	587130.53	4397001.13	1298.21	587130.55	4397001.12	1298.27	587130.56	4397001.11	1298.29	587130.55	4397001.13	1298.14	587130.59	4397001.10	1298.32
KN07	587157.20	4397005.82	1298.55	587157.22	4397005.85	1298.59	587157.24	4397005.84	1298.52	587157.22	4397005.78	1298.45	587157.25	4397005.86	1298.39
KN08	587188.08	4397030.73	1298.71	587188.09	4397030.77	1298.67	587188.06	4397030.75	1298.78	587188.05	4397030.77	1298.62	587188.05	4397030.77	1298.62
KN09	587223.24	4397075.87	1298.87	587223.23	4397075.90	1298.81	587223.25	4397075.92	1298.89	587223.24	4397075.90	1298.95	587223.28	4397075.86	1298.95
KN10	587237.36	4397072.35	1298.85	587237.39	4397072.34	1298.88	587237.36	4397072.34	1298.82	587237.39	4397072.31	1298.80	587237.30	4397072.39	1298.75
KN11	587266.88	4397108.40	1299.10	587266.89	4397108.46	1299.15	587266.89	4397108.44	1299.19	587266.86	4397108.41	1299.18	587266.86	4397108.41	1299.17

4.4.2 Tartışma

Elde edilen verilerin değerlendirme aşamasında yapılabilecek hatalar (yer kontrol noktalarının işaretlenmesindeki hassasiyet) gözardı edildiğinde DJI phantom 4 Pro ile uçuş yapılmış ve Pix4D Mapper yazılımı ile değerlendirilmiş veriler daha doğru sonuç haritalarının üretilmesine olanak sağlamaktadır. Ancak Yuneec H520 ile yapılan uçuş esnasında ki meteorolojik şartlar göz önünde bulundurulursa aslında sonucun havanın bulutlu olmasından kaynaklandığı ve fotoğrafların eşleşme konusunda etkilendiği düşünülmektedir. Ayrıca Cors-TR ile ölçülmüş kontrol noktaları ortofoto üzerinden koordinatlar okunarak test edilmiştir.

İHA ile fotogrametrik halihazır harita yapımında en önemli etken zaman ve maliyettir. Bu yüzden, Aktaş v.d. 2016 'nın çalışmasında vurguladığı gibi kullanılacak yazılımın ve donanımların zaman ve maliyet açısından etkileri ortaya konulmuştur.

Maliyet bakımından da genel olarak bir değerlendirme yapacak olursak, bir yıl süreli Agisoft yazılımı ticari kullanım lisansı 3499 dolar iken Pix4D yazılımı ticari kullanımı ise 3500 dolardır. Öte yandan, Pix4D yazılımının sınırsız kullanım ücreti Nisan 2019 fiyatlarına göre 4990 dolardır ve bu yazılım iki bilgisayarda da kurulabilen özelliğe sahiptir. Agisoft ise Nisan 2019 fiyatlarına göre tek kullanıcı lisanslı 3499 dolardır. Bu çalışma kapsamında da yapılan değerlendirmelerin neticesinde Pix4D yazılımının hem doğruluk, hem maliyet, hem de kullanım kolaylığı ve sonuca kısa sürede erişim bakımından Pix4D yazılımının kullanılacak yazılımlar arasında daha uygun bir yazılım olduğu kanaatine varılmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Yapılan bu tez çalışmasında farklı ticari fotogrametri yazılımları ve farklı İHA sistemleri ile hâlihazır harita yapımına altlık olarak kullanılacak olan ortogörüntü verilerinin 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 5.1 Kullanılan yazılımlara ait genel karesel ortalama hatalar

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

Genel olarak İHA ile fotogrametrik haritalama çalışmalarında meteorolojik etkenler ve yazılımların performansının sonucu etkilediği ortaya konulmuştur. Ayrıca Yuneec H520 İHA sisteminden elde edilen hava fotoğrafları DJI Phantom 4 Pro'ya göre daha net çıkmıştır. Bunun nedeni Yuneec sistemi altı pervaneli olduğundan daha stabil uçuş gerçekleştirmesidir.

Bu tarz test çalışmalarında İHA'ların kamera özelliğinin ve stabilizasyonunun önemli bir faktör olduğu, çalışma yapılırken hava şartları, bulutluluk oranını, arazinin topografik durumu, sonuçların doğruluğu konusunda önemli olduğu kanaatine varılmıştır. Değerlendirme programı olarak kullanılan programlar içerisinde Pix4D yazılımının daha uygun fiyatlı olması, daha kısa zamanda sonuçlar almamız ve kullanım kolaylığı konusunda daha iyi bir kıymetlendirme programı olduğu kanaatine varılmıştır.

5.2 Öneriler

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 zaman diliminde güneş ışığının iyi kullanılması için, bulutluluk oranı hava sıcaklığı ve nem gibi meteorolojik parametrelerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.
- İleriki çalışmalarda aynı GSD değerinde yapılan uçuşların kullanılması, yapılacak karşılaştırmaların daha iyi sonuç vermesini sağlar.

KAYNAKLAR

- Akyürek S., Yılmaz M.A. ve Taşkiran M.** (2012). İnsansız hava araçları: Muharebe alanında ve terörle mücadelede devrimsel dönüşüm. Bilge Adamlar Stratejik Araştırmalar Merkezi. Rapor No: 53., Ankara
- Aktaş, H., Çınar, M. C., Birdal, A. C., ve Türk, T.** (2016). İnsansız hava araçları (iha) ile elde edilen verilerin değerlendirilmesinde yaygın kullanılan yazılımların karşılaştırılması. 6. *Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu* (Uzal-Cbs 2016), 5-7 Ekim 2016, Adana
- Arslanbek L.** (2009). Farklı kaynaklardan elde edilen sayısal yükseklik modellerinin ortofoto doğruluğuna etkilerinin araştırılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Afyonkarahisar.
- Colomina, I. ve Molina, P.** (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A Review *Isprs Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing*, No: 92, Ss.79-97.
- Demirkıran Z. K.** (2010). Uçan torpidodan günümüze insansız hava araçlarının gelişimi. *Bilim Ve Teknik Dergisi*, Aralık, Ss.28-31.
- Eisenbeiss H.** (2004). A mini unmanned aerial vehicle (uav): system overview and image acquisition processing and visualization Using Highresolution Imagery Workshop.
- Ercan C. ve Gencer C.** (2013). İnsansız hava sistemleri rota planlaması dinamik çözüm metotları ve literatür araştırması, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1(2), Issn: 2147-9364, Ss.51-72.
- Erden, Ö.** (2006). Hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri ile dijital ortofoto üretimi ve kentsel gelişimin izlenmesi., *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (Yüksek Lisans Tezi)*. Trabzon.

- Erdoğan A.** (2016). Şeritvari haritaların insansız hava araçları ile üretimi , *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (Yüksek Lisans Tezi), Konya.
- Erdoğan, M. ve Toz, G.** (2009). Sayısal yükseklik modeli (sym) doğruluk ve üretim maliyetleri Harita Genel Müdürlüğü Fotogrametri Dairesi.
- Esirtgen F.** (2010). Farklı veri kaynakları ile elde edilen sayısal yükseklik modellerinin doğruluk analizi ve kalite değerlendirmesi *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul.
- HGKS 125–1** (2003). “*Haritacılık Terimleri Sözlüğü*”, Harita Genel Müdürlüğü Matbaası, Dikimevi, Ankara.
- Kahveci M. ve Can N.** (2017). İnsansız hava araçları: tarihçesi, tanımı, dünyada ve Türkiye'deki yasal durumu, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 5(4), Ss.511.535.
- Kaya M.** (2010). Sayısal hava kamerası ve analog hava kamerası kullanılarak üretilen fotogrametrik sayısal yükseklik modellerinin karşılaştırılması. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul.
- Kılınçoğlu, D.B.** (2016). Farklı insansız hava araçları ile elde edilen görüntülerin otomatik fotogrametrik yöntemlerle değerlendirilmesi ve doğruluk analizi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul.
- Krause, K.** (2000). Photogrammetry: fundamentals and standard processes, Peter Waldhausl And Peter Stewardson, 4. Editon, Dümmler, Vienna Austria.
- Kurtdarcan B.** (2010). İnsansız Hava Araçlarının (İha) Kısa Tarihi.
- Nacar, F.** (2015). Türkiye’deki kadaströ yenileme çalışmalarında ortofoto ve yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin kullanılabilirliğinin araştırılması. *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (Doktora Tezi), Konya.

- Nex, F. ve Remondino, F.** (2014). Uav for 3d mapping applications: *A Review Società Italiana Di Fotogrammetria E Topografiai*, Issue 1, Vol: 6, Italy, Ss.1-27.
- Pakkan B. ve Ermiş M.** (2010). İnsansız hava araçlarının genetik algoritma yöntemiyle çoklu hedeflere planlanması, *Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 4(3), Ss.77-84.
- 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.
- Sarbanoğlu H.** (1991). Coğrafi bilgi sistemleri için veri toplama yöntemleri. *Harita Dergisi*, Sayı: 106, Harita Genel Komutanlığı, Ankara.
- Schenk A. F.** (1996). Automatic generation of dem's digital photogrammetry: *An Addendum To The Manual Of Photogrammetry American Society For Photogrammetry And Remote Sensing*, (Ed: C. Greve), Maryland, Ss.145-150.
- Şahin İ.** (2007). Farklı kaynaklardan elde edilen sayısal yükseklik modellerinin ortofoto doğruluğuna etkilerinin araştırılması. *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (Yüksek Lisans Tezi), Konya.
- Taşlı İ. T.** (2011). Terörle mücadelede insansız hava araçları (İha) , Bilge Adamlar Stratejik Araştırmalar Merkezi. The Guardian (2013). The Secret History Of Drones Monday-February 10, International Edition.
- Toprak A. S.** (2014). Fotogrametrik Tekniklerin İnsansız Hava Araçları İle Mühendislik Projelerinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.

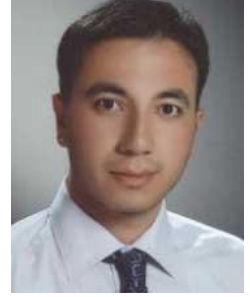
Toth C. ve Jozkow G. (2016). Remote Sensing Platforms And Sensors: A Survey
Isprs Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing, No: 115, Ss.22–36.

Uyar T. (2010). Anka başarısı ve insansız hava araçları savunma sanayisi Haberleri
Sitesi.

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.

Yılmaz V., Akar A., Akar Ö., Güngör O., Karşlı E. Ve Gökalp E. (2013).
İnsansız hava aracı ile üretilen ortofoto haritalarda doğruluk analizi. *Türkiye
Ulusal Fotogrametri Ve Uzaktan Algılama Birliği Vıı. Teknik Sempozyumu,*
23-25 Mayıs, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Ss.1-6.

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Ahmet Turan ALTUN
Doğum Yeri ve Tarihi	Sivas, 01.03.1981
Medeni Hali	Evli
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Yenidoğan mahallesi Hayri Sığırcı Cad. No: 146/10 SİVAS
E-posta Adresi	aturanaltun@gmail.com

Eğitim ve Akademik Durumu

Önlisans	Gazi Üniversitesi Harita Kadastro Bölümü 2001
Lisans	Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme Bölümü, 2011 Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Geomatik Mühendisliği Bölümü, 2015
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği, 2017

- !** **Important:** Click on the different icons for:
- ?** Help to analyze the results in the Quality Report
 - i** Additional information about the sections

💡 Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary i

Project	dji_grid
Processed	2018-12-07 01:53:44
Camera Model Name(s)	FC6310_8.8_4864x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	1.46 cm / 0.58 in
Area Covered	0.112 km ² / 11.2309 ha / 0.04 sq. mi. / 27.7665 acres
Time for Initial Processing (without report)	02h:22m:17s

Quality Check i

? Images	median of 52317 keypoints per image	✓
? Dataset	526 out of 532 images calibrated (98%), all images enabled	✓
? Camera Optimization	0.11% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
? Matching	median of 15335.8 matches per calibrated image	✓
? Georeferencing	yes, 6 GCPs (6 3D), mean RMS error = 0.015 m	✓

? Preview i

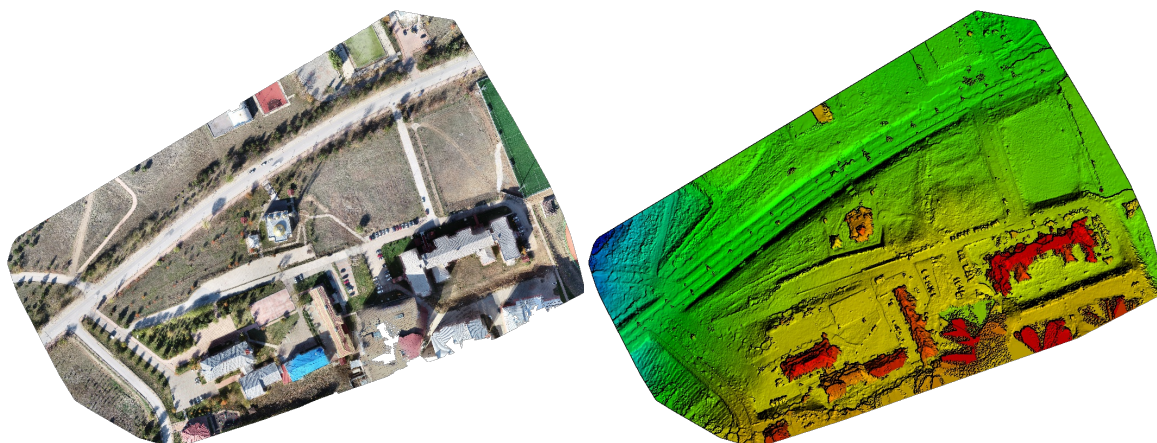


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details i

Number of Calibrated Images	526 out of 532
Number of Geolocated Images	532 out of 532

Initial Image Positions

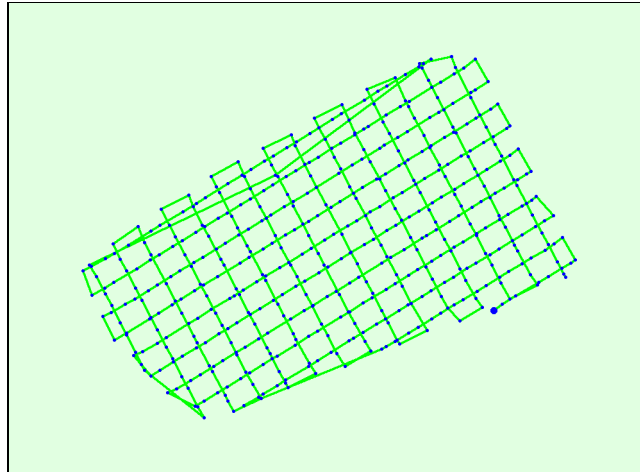
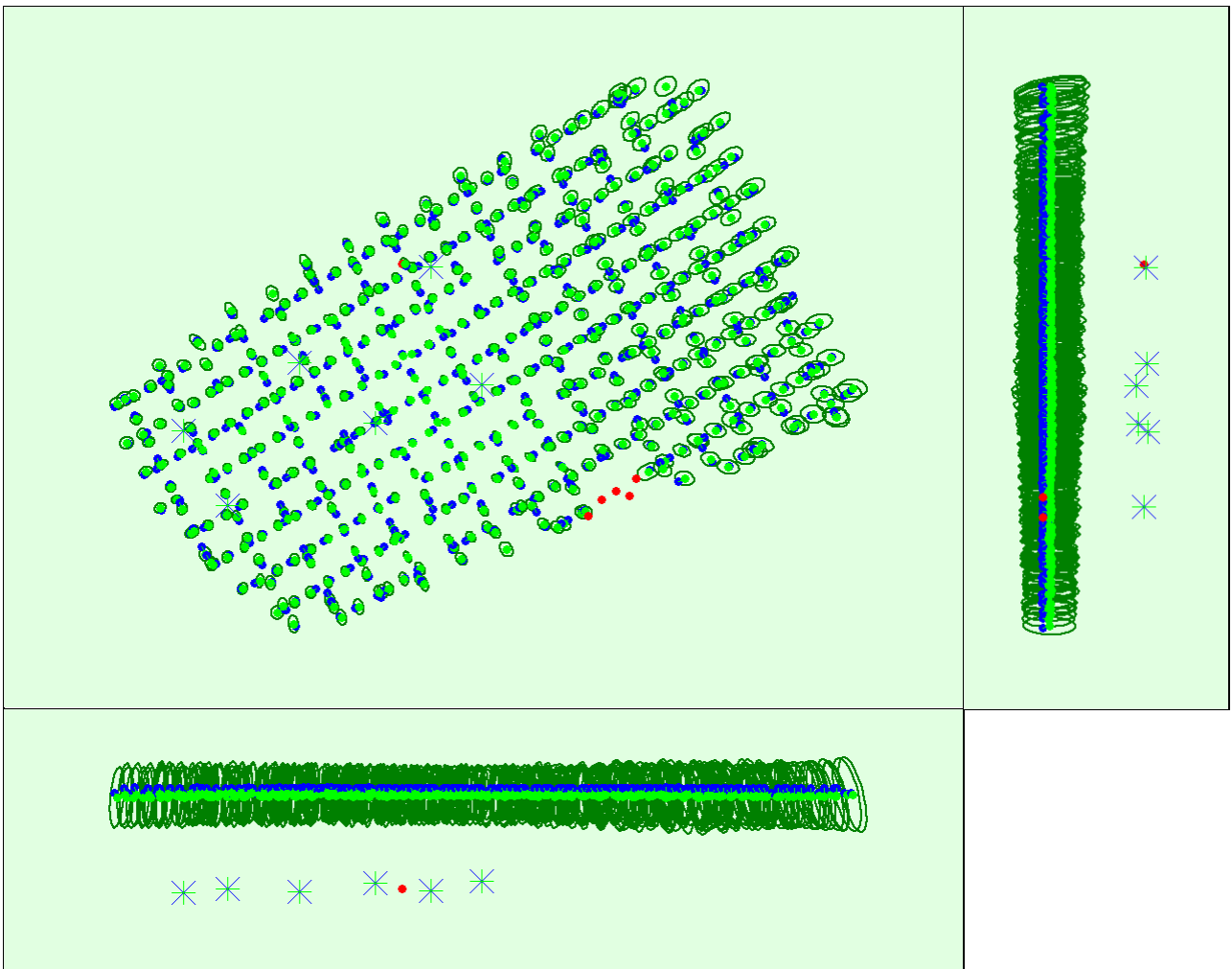


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



Uncertainty ellipses 500x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Red dots indicate disabled or uncalibrated images. Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

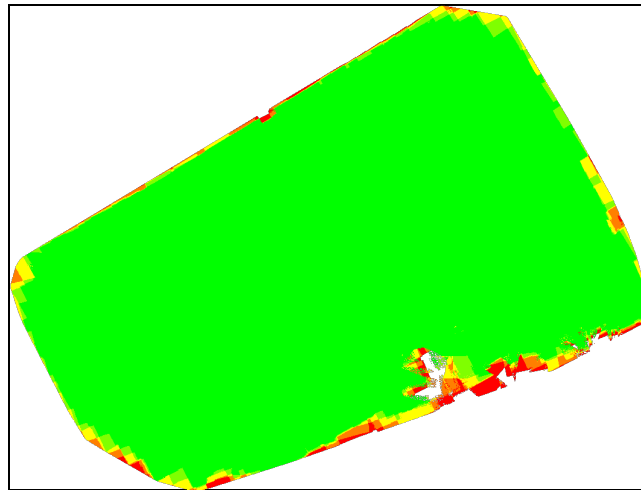
Absolute camera position and orientation uncertainties



X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
------	------	------	----------------	--------------	----------------

Mean	0.008	0.007	0.034	0.007	0.007	0.002
Sigma	0.003	0.002	0.003	0.002	0.002	0.001

Overlap



Number of overlapping images: 1 2 3 4 5+

Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details



Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	7791666
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	2524546
Mean Reprojection Error [pixels]	0.124

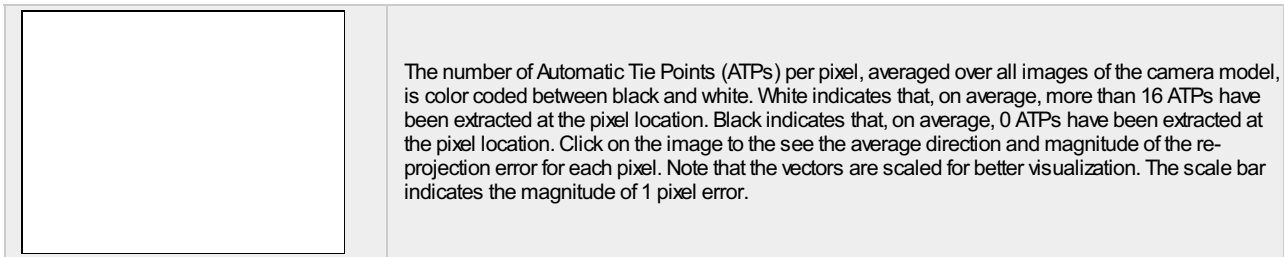
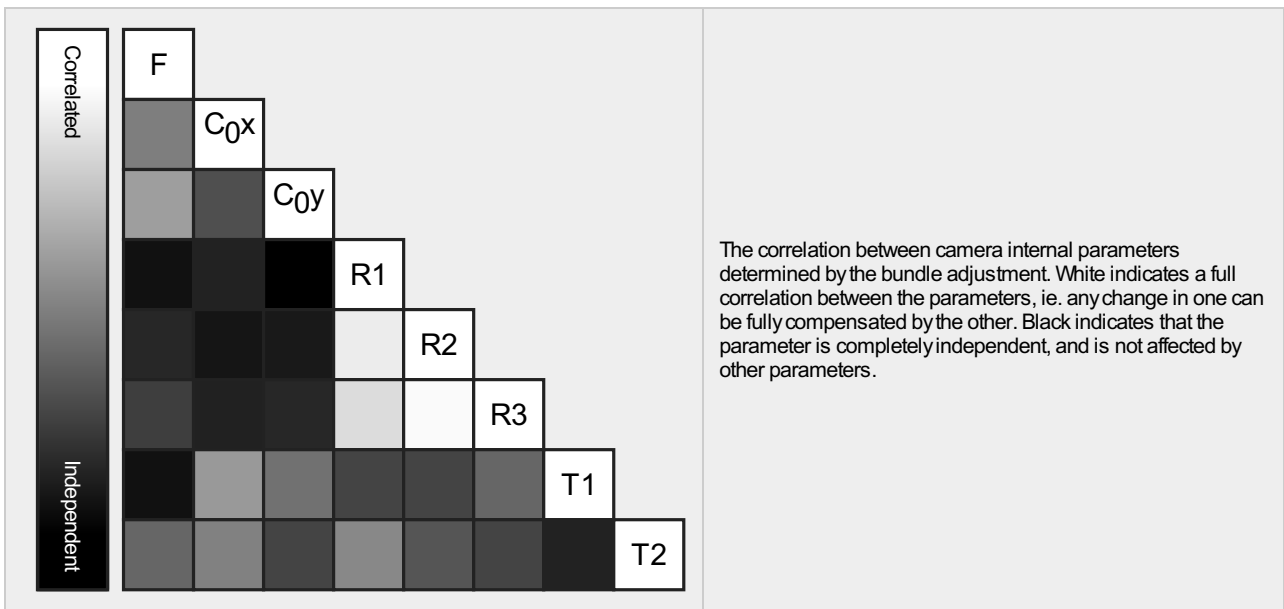
Internal Camera Parameters

FC6310_8.8_4864x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 11.407 [mm] x 8.556 [mm]



EXIF ID: FC6310_8.8_4864x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3666.955 [pixel] 8.600 [mm]	2432.001 [pixel] 5.704 [mm]	1823.999 [pixel] 4.278 [mm]	0.004	-0.017	0.019	-0.000	0.000
Optimized Values	3671.281 [pixel] 8.610 [mm]	2434.270 [pixel] 5.709 [mm]	1827.212 [pixel] 4.285 [mm]	0.002	-0.016	0.018	-0.000	0.000
Uncertainties (Sigma)	2.247 [pixel] 0.005 [mm]	0.073 [pixel] 0.000 [mm]	0.069 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



? 2D Keypoints Table

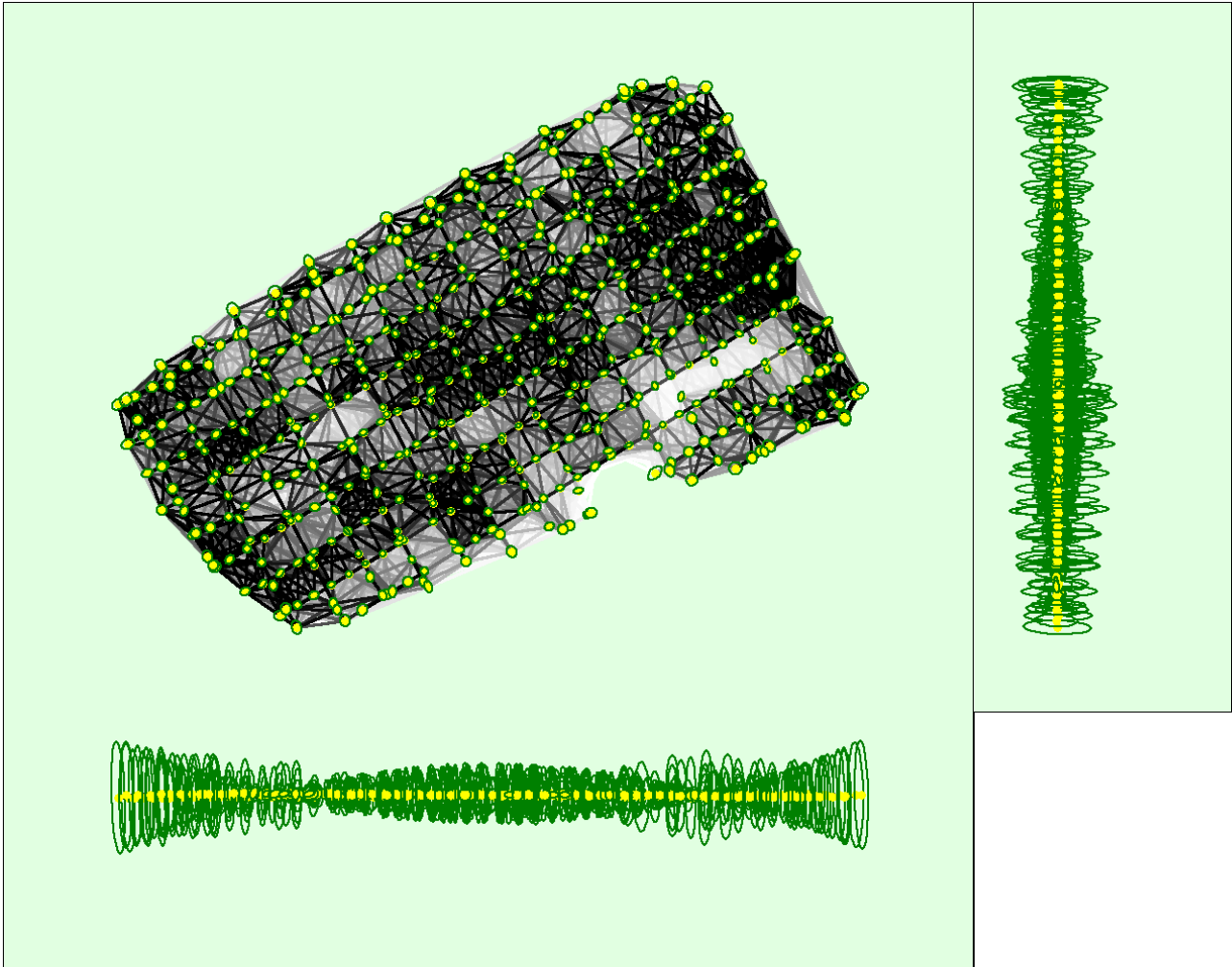
	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	52317	15336
Mn	29884	307
Max	78767	26575
Mean	52929	14813

? 3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	1449537
In 3 Images	506434
In 4 Images	236931
In 5 Images	117694
In 6 Images	66588
In 7 Images	43855
In 8 Images	29077
In 9 Images	19195
In 10 Images	13908
In 11 Images	9811
In 12 Images	7151
In 13 Images	5404
In 14 Images	4142
In 15 Images	3223
In 16 Images	2633
In 17 Images	2212
In 18 Images	1826
In 19 Images	1456
In 20 Images	1102
In 21 Images	802
In 22 Images	578

In 23 Images	396
In 24 Images	240
In 25 Images	179
In 26 Images	85
In 27 Images	49
In 28 Images	27
In 29 Images	10
In 30 Images	1

2D Keypoint Matches



Uncertainty ellipses 500x magnified

Number of matches

25 222 444 666 888 1111 1333 1555 1777 2000

Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.005	0.005	0.022	0.017	0.023	0.002
Sigma	0.001	0.001	0.013	0.010	0.012	0.001

Geolocation Details

Ground Control Points



GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
yn2 (3D)	0.020/ 0.020	0.022	-0.025	0.005	0.623	19 / 19
yn3 (3D)	0.020/ 0.020	0.010	-0.013	0.010	0.713	25 / 25
yn4 (3D)	0.020/ 0.020	0.026	0.017	-0.012	0.759	17 / 20
yn6 (3D)	0.020/ 0.020	-0.014	0.019	-0.011	0.572	25 / 25
yn5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.015	0.001	0.012	0.615	28 / 28
yn1 (3D)	0.020/ 0.020	-0.030	0.001	-0.005	0.567	19 / 19
Mean [m]		0.000020	0.000003	-0.000000		
Sigma [m]		0.020749	0.015414	0.009696		
RMS Error [m]		0.020749	0.015414	0.009696		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Absolute Geolocation Variance



Mn Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	4.75	7.03	0.00
-3.00	0.00	45.44	43.35	55.70
0.00	3.00	44.11	40.68	44.11
3.00	6.00	5.70	8.94	0.19
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		0.062355	-0.141220	2.409856
Sigma [m]		1.879593	2.089752	1.506159
RMS Error [m]		1.880627	2.094518	2.841817

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	0.062355	-0.141220	2.409856

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	0.571
Phi	0.601
Kappa	3.855

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Initial Processing Details


System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-6700HQ CPU @ 2.60GHz RAM: 16GB GPU: Intel(R) HD Graphics 530 (Driver: 21.20.16.4860), NVIDIA GeForce GTX 950M (Driver: 25.21.14.1694), RDPDD Chained DD (Driver: unknown), RDP Encoder Mirror Driver (Driver: unknown), RDP Reflector Display Driver (Driver: unknown)
Operating System	Windows 7 Ultimate, 64-bit

Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	ITRF96 / TM36
Output Coordinate System	ITRF96 / TM36

Processing Options

Detected Template	 3D Maps
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, no

Point Cloud Densification details

Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	no
LOD	Generated: no
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	02h:03m:46s
Time for Point Cloud Classification	NA
Time for 3D Textured Mesh Generation	NA

Results

Number of Processed Clusters	2
Number of Generated Tiles	4

Number of 3D Densified Points	54030019
Average Density (per m ³)	1163.13

DSM, Orthomosaic and Index Details



Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (1.46 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Time for DSM Generation	41m:16s
Time for Orthomosaic Generation	01h:21m:45s
Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s



Important: Click on the different icons for:



Help to analyze the results in the Quality Report



Additional information about the sections



Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary



Project	yuneec_grid
Processed	2018-12-07 16:48:37
Camera Model Name(s)	E90_8.3_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	1.76 cm / 0.69 in
Area Covered	0.076 km ² / 7.5809 ha / 0.03 sq. mi. / 18.7424 acres
Time for Initial Processing (without report)	01h:41m:24s

Quality Check



Images	median of 47016 keypoints per image	
Dataset	326 out of 326 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	0.02% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 23044.1 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, 6 GCPs (6 3D), mean RMS error = 0.036 m	

Preview

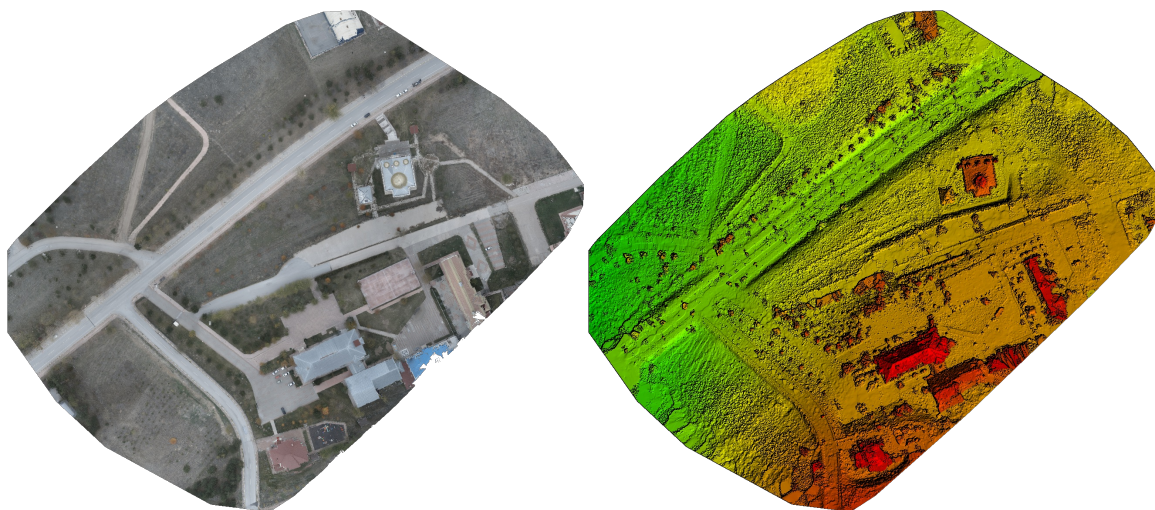


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details



Number of Calibrated Images	326 out of 326
-----------------------------	----------------

Initial Image Positions

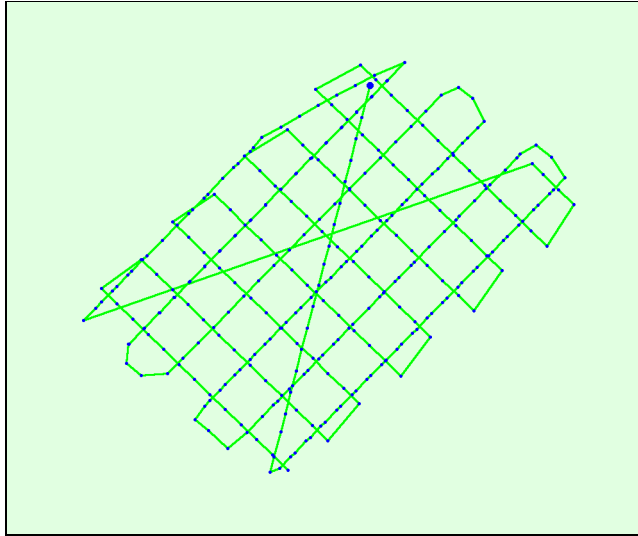
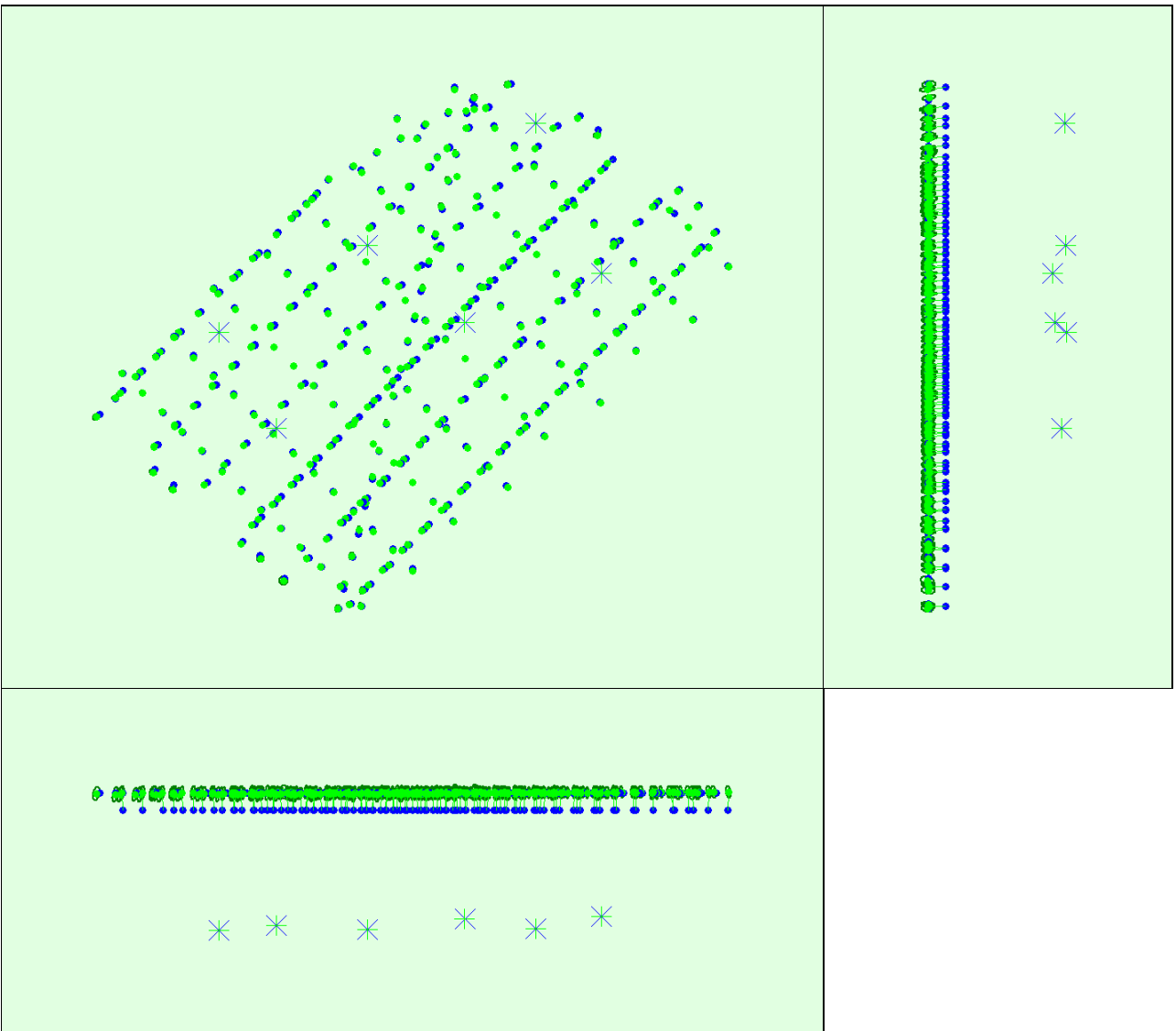


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



Uncertainty ellipses 100x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

? Absolute camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.009	0.009	0.029	0.007	0.008	0.003
Sigma	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001

? Overlap

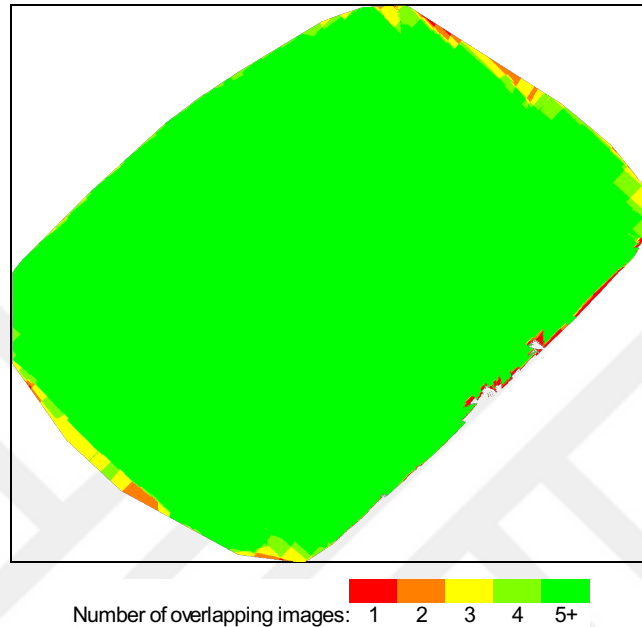


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

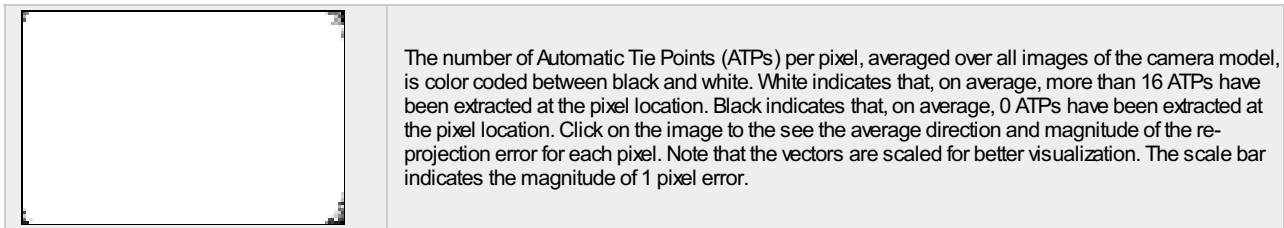
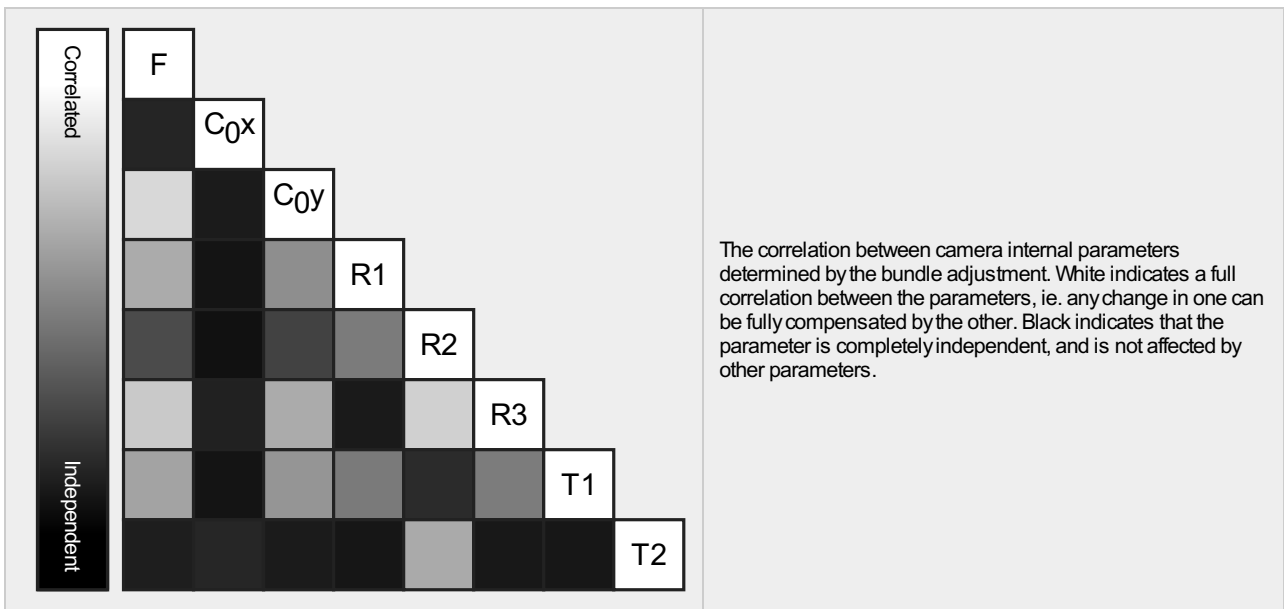
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	7829229
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	1942813
Mean Reprojection Error [pixels]	0.359

? Internal Camera Parameters

E90_8.3_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 13.133 [mm] x 8.755 [mm]

EXIF ID: E90_8.3_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3545.850 [pixel] 8.510 [mm]	2716.790 [pixel] 6.520 [mm]	1819.630 [pixel] 4.367 [mm]	0.016	-0.048	0.038	0.001	-0.001
Optimized Values	3544.841 [pixel] 8.508 [mm]	2691.591 [pixel] 6.460 [mm]	1828.022 [pixel] 4.387 [mm]	-0.098	-0.049	0.102	0.000	0.000
Uncertainties (Sigma)	1.697 [pixel] 0.004 [mm]	0.100 [pixel] 0.000 [mm]	0.179 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	47016	23044
Mn	32102	7295
Max	71634	37918
Mean	48072	24016

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	1134500
In 3 Images	295745
In 4 Images	139060
In 5 Images	81450
In 6 Images	53559
In 7 Images	38234
In 8 Images	28679
In 9 Images	22358
In 10 Images	18442
In 11 Images	15055
In 12 Images	12964
In 13 Images	11165
In 14 Images	9491
In 15 Images	8457
In 16 Images	7403
In 17 Images	6617
In 18 Images	5751
In 19 Images	5197
In 20 Images	4820
In 21 Images	4342
In 22 Images	3950
In 23 Images	3633

In 24 Images	3318
In 25 Images	3100
In 26 Images	2810
In 27 Images	2635
In 28 Images	2332
In 29 Images	2087
In 30 Images	1761
In 31 Images	1667
In 32 Images	1425
In 33 Images	1379
In 34 Images	1229
In 35 Images	1107
In 36 Images	1087
In 37 Images	953
In 38 Images	811
In 39 Images	755
In 40 Images	705
In 41 Images	655
In 42 Images	529
In 43 Images	373
In 44 Images	311
In 45 Images	234
In 46 Images	189
In 47 Images	164
In 48 Images	100
In 49 Images	68
In 50 Images	53
In 51 Images	36
In 52 Images	23
In 53 Images	21
In 54 Images	6
In 55 Images	5
In 56 Images	5
In 57 Images	6
In 58 Images	1
In 61 Images	1

 2D Keypoint Matches



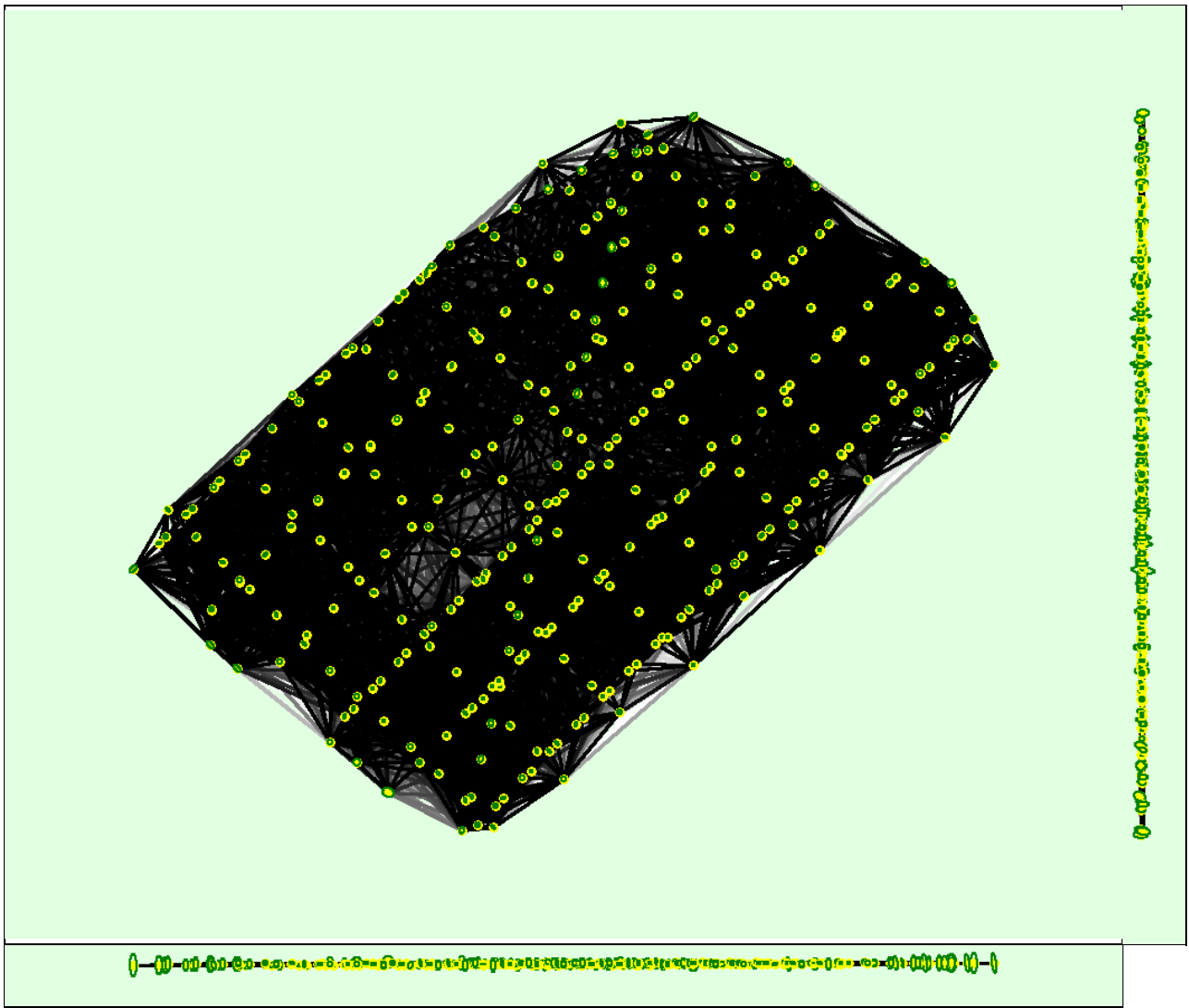


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.007	0.007	0.010	0.017	0.014	0.002
Sigma	0.002	0.002	0.006	0.009	0.007	0.001

Geolocation Details

Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X[m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
yn1 (3D)	0.020/ 0.020	-0.008	-0.060	-0.002	1.462	30 / 32
yn2 (3D)	0.020/ 0.020	0.024	0.015	-0.002	1.140	43 / 43
yn3 (3D)	0.020/ 0.020	0.045	-0.033	-0.008	1.444	44 / 46
yn4 (3D)	0.020/ 0.020	0.079	0.020	0.016	1.145	45 / 48

yn5 (3D)	0.020/0.020	-0.059	0.022	-0.033	1.168	41 / 41
yn6 (3D)	0.020/0.020	-0.082	0.034	0.029	1.379	50 / 50
Mean [m]		-0.000137	-0.000270	0.000158		
Sigma [m]		0.056555	0.033965	0.019462		
RMS Error [m]		0.056555	0.033966	0.019463		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

🔍 Absolute Geolocation Variance



Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	33.13
-3.00	0.00	49.69	42.33	0.00
0.00	3.00	50.31	57.67	54.91
3.00	6.00	0.00	0.00	11.96
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		0.748627	0.485203	-2.568294
Sigma [m]		0.801405	0.582380	3.789359
RMS Error [m]		1.096674	0.758016	4.577704

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	0.748627	0.485203	-2.568294

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

🔍 Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Initial Processing Details



System Information




Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-6700HQ CPU @ 2.60GHz RAM: 16GB GPU: Intel(R) HD Graphics 530 (Driver: 21.20.16.4860), NVDIA GeForce GTX950M (Driver: 25.21.14.1694), RDPDD Chained DD (Driver: unknown), RDP Encoder Mirror Driver (Driver: unknown), RDP Reflector Display Driver (Driver: unknown)
Operating System	Windows 7 Ultimate, 64-bit

Coordinate Systems i

Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	ITRF96 / TM36
Output Coordinate System	ITRF96 / TM36

Processing Options i

Detected Template	 3D Maps
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

Point Cloud Densification details i

Processing Options i

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	02h:53m:36s
Time for Point Cloud Classification	NA
Time for 3D Textured Mesh Generation	20m:19s

Results i

Number of Processed Clusters	2
Number of Generated Tiles	4
Number of 3D Densified Points	38342855
Average Density (per m ³)	697.14

DSM, Orthomosaic and Index Details i

Processing Options i

DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (1.76 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Time for DSM Generation	30m:45s
Time for Orthomosaic Generation	01h:10m:12s
Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s



Agisoft PhotoScan

Processing Report
13 November 2018



Survey Data

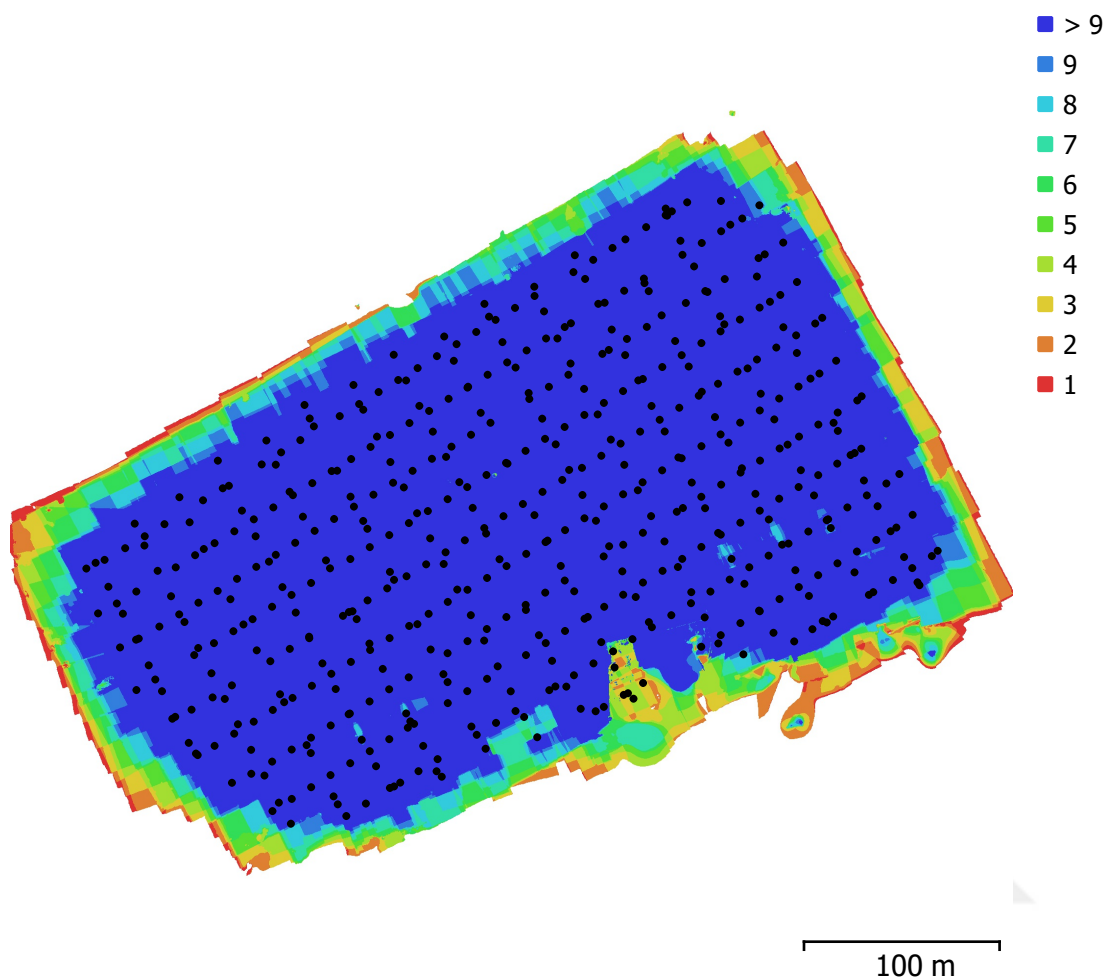


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	533	Camera stations:	528
Flying altitude:	53 m	Tie points:	310,133
Ground resolution:	1.42 cm/pix	Projections:	1,762,744
Coverage area:	0.115 km ²	Reprojection error:	1.25 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310 (8.8mm)	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 μ m	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

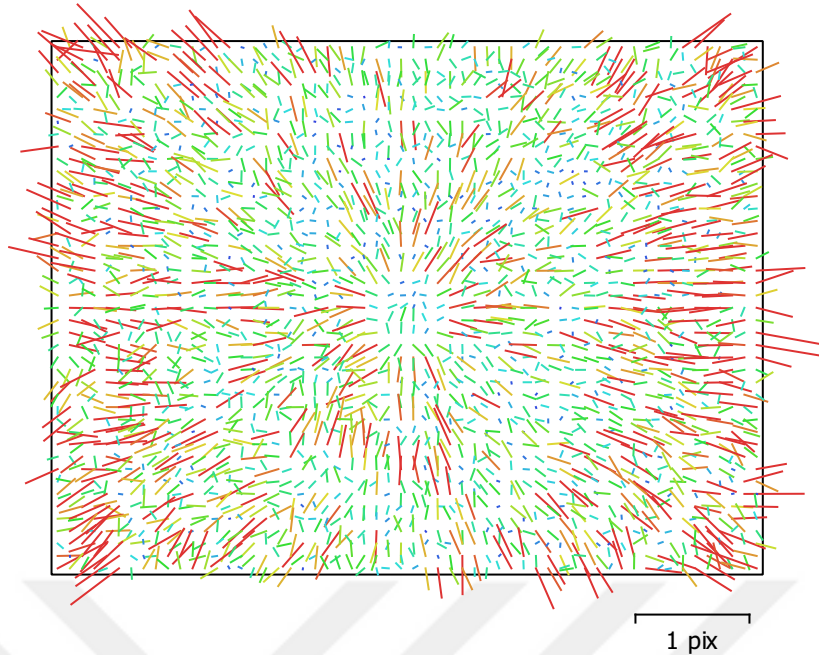


Fig. 2. Image residuals for FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)

533 images

Type
Frame

Resolution
4864 x 3648

Focal Length
8.8 mm

Pixel Size
2.61 x 2.61 μ m

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	P1	P2
K4	-0.0533665											
F	3305.08	1.2	1.00	0.41	-0.52	-0.08	0.05	-0.58	0.56	-0.55	0.04	-0.07
Cx	-2.5803	0.04		1.00	-0.21	-0.09	0.06	-0.24	0.23	-0.23	0.33	-0.04
Cy	10.615	0.036			1.00	-0.01	-0.08	0.30	-0.29	0.29	-0.02	0.31
B1	-0.241809	0.003				1.00	-0.01	0.06	-0.09	0.10	-0.00	-0.00
B2	-0.316086	0.003					1.00	-0.02	0.02	-0.03	0.02	-0.02
K1	0.00978613	3.4e-05						1.00	-0.95	0.91	-0.00	0.03
K2	-0.0557839	8.8e-05							1.00	-0.99	0.02	-0.04
K3	0.0945575	7.3e-05								1.00	-0.02	0.04
P1	0.000220292	1.7e-06									1.00	-0.01
P2	-0.000257425	1.5e-06										1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

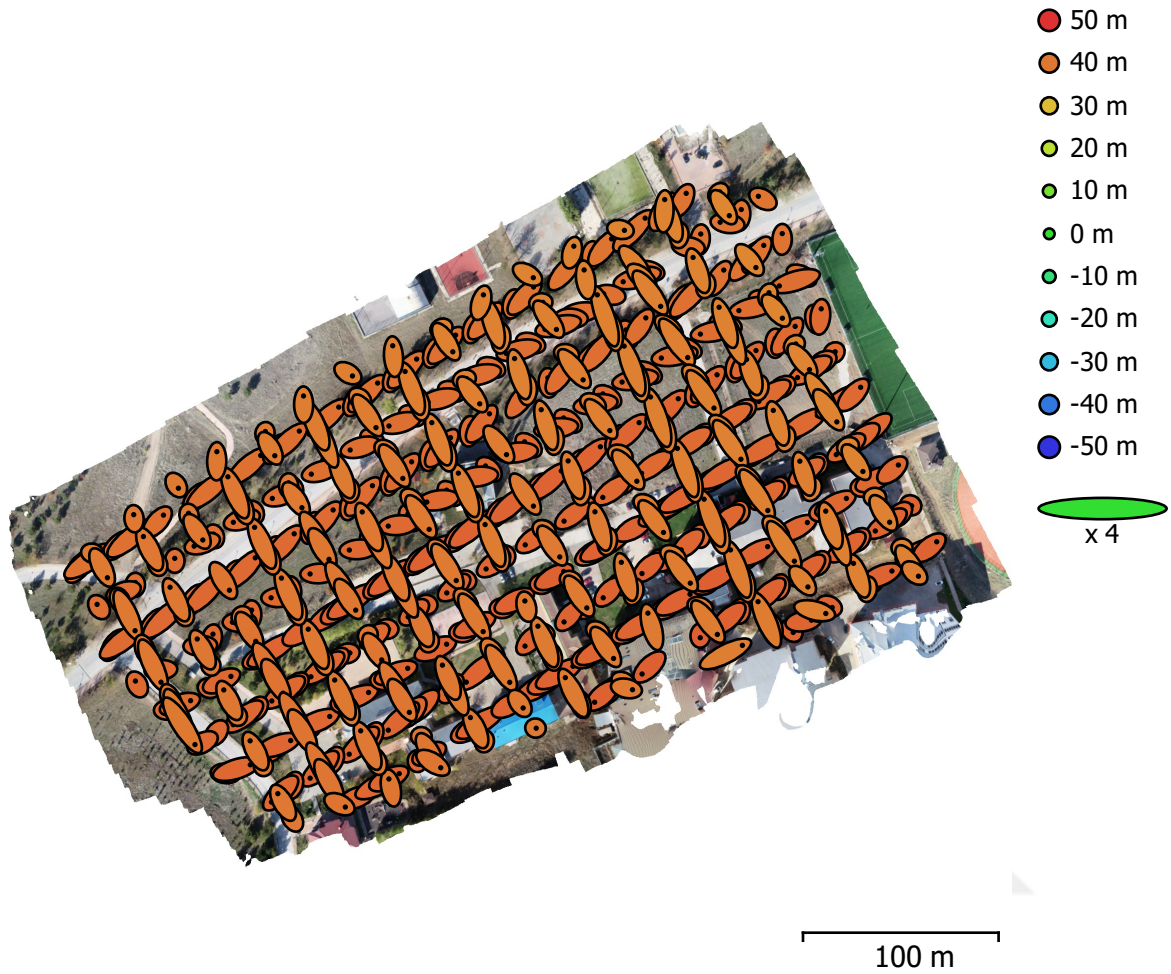


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
1.87744	2.15031	40.8947	2.85457	40.9942

Table 3. Average camera location error.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Ground Control Points

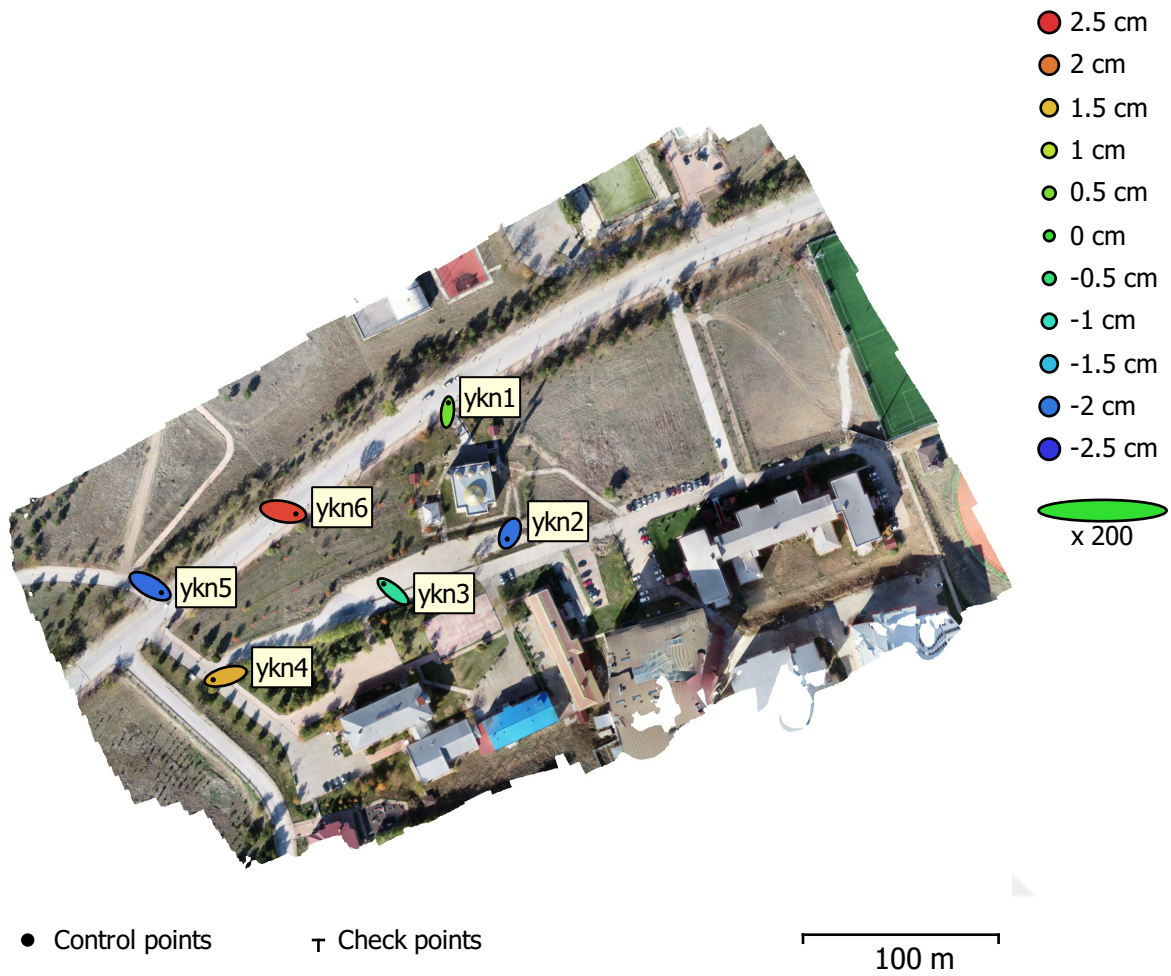


Fig. 4. GCP locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
6	4.82878	3.20071	1.70626	5.79324	6.03929

Table 4. Control points RMSE.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
ykn1	0.473037	4.73536	0.472694	4.78234	0.151 (3)
ykn2	-1.34376	-2.90402	-2.04612	3.79811	0.145 (3)
ykn3	-4.79232	3.91246	-0.737612	6.23039	0.054 (4)
ykn4	-6.3229	-1.77144	1.60926	6.76068	0.076 (4)
ykn5	5.78993	-3.27312	-2.08127	6.9691	0.145 (3)
ykn6	6.43465	-1.20482	2.36485	6.96051	0.078 (4)
Total	4.82878	3.20071	1.70626	6.03929	0.110

Table 5. Control points.
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.



Digital Elevation Model

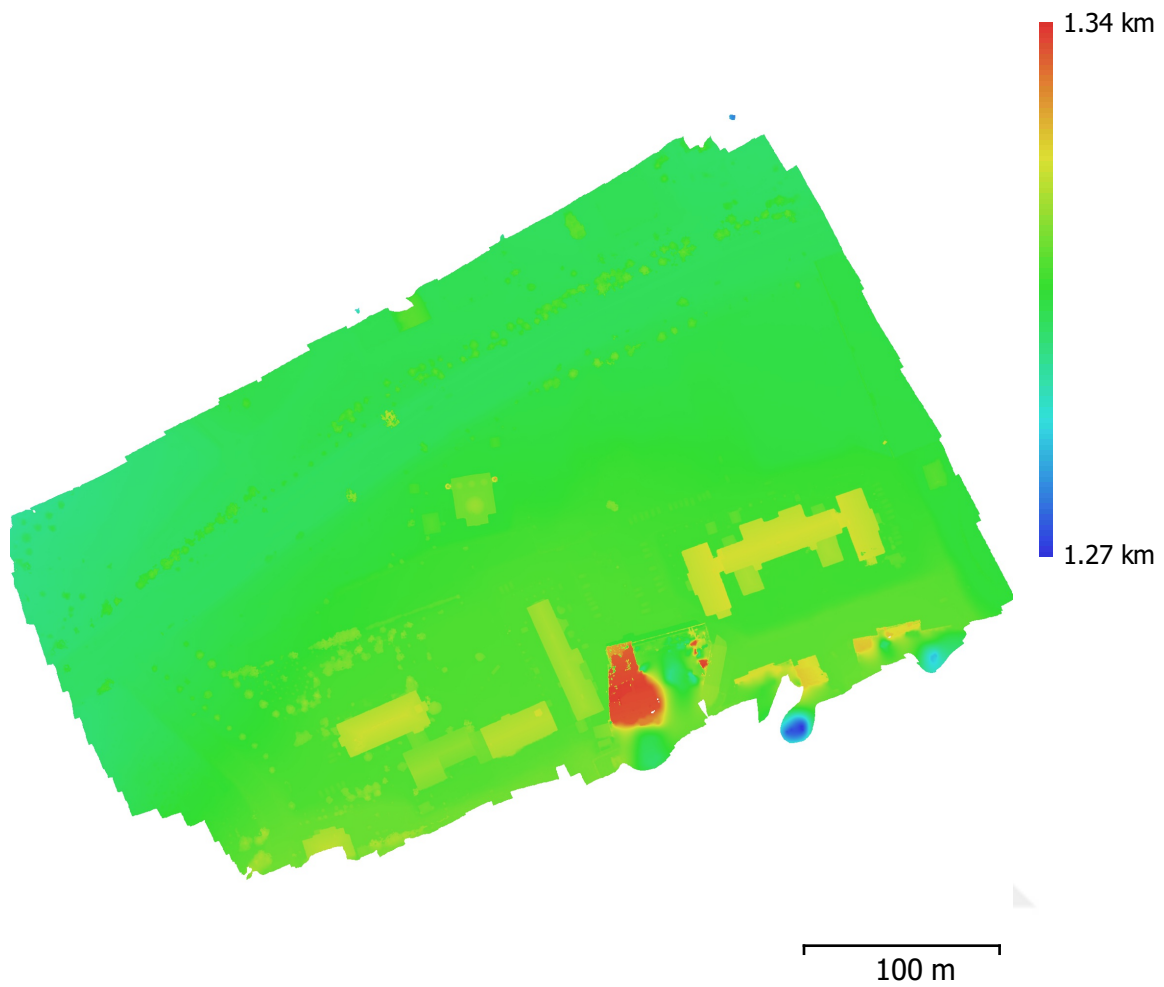


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 5.68 cm/pix
Point density: 310 points/m²

Processing Parameters

General

Cameras	533
Aligned cameras	528
Markers	6

Shapes

Polylines	1
Coordinate system	TUREF / TM36 (EPSG::5256)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Point Cloud

Points	310,133 of 360,334
Point colors	3 bands, uint8
RMS reprojection error	0.148568 (1.24761 pix)
Max reprojection error	0.713766 (45.8591 pix)
Mean key point size	7.07498 pix
Effective overlap	6.20189

Alignment parameters

Accuracy	Medium
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Yes
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	3 minutes 56 seconds
Alignment time	5 minutes 38 seconds

Optimization parameters

Parameters	f, b1, b2, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Adaptive camera model fitting	No
Optimization time	24 seconds

Dense Point Cloud

Points	44,309,218
Point colors	3 bands, uint8

Reconstruction parameters

Quality	Medium
Depth filtering	Moderate
Depth maps generation time	25 minutes 41 seconds
Dense cloud generation time	28 minutes 21 seconds

Model

Faces	984,648
Vertices	498,464
Vertex colors	3 bands, uint8
Texture	4,096 x 4,096, 4 bands, uint8

Reconstruction parameters

Surface type	Arbitrary
Source data	Dense
Interpolation	Enabled
Quality	Medium
Depth filtering	Moderate
Face count	984,649
Processing time	36 minutes 45 seconds

Texturing parameters

Mapping mode	Orthophoto
Blending mode	Mosaic
Texture size	4,096 x 4,096
Enable hole filling	Yes
Enable ghosting filter	No

UV mapping time	7 seconds
Blending time	6 minutes 4 seconds
Tiled Model	
Texture	3 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Source data	Dense cloud
Tile size	256
Processing time	1 hours 13 minutes
DEM	
Size	12,195 x 10,507
Coordinate system	TUREF / TM36 (EPSG::5256)
Reconstruction parameters	
Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Processing time	1 minutes 33 seconds
Orthomosaic	
Size	36,124 x 28,096
Coordinate system	TUREF / TM36 (EPSG::5256)
Colors	3 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Blending mode	Mosaic
Surface	DEM
Enable hole filling	Yes
Processing time	14 minutes 28 seconds
Software	
Version	1.4.1 build 5925
Platform	Windows 64

Agisoft PhotoScan

Processing Report
07 December 2018



Survey Data

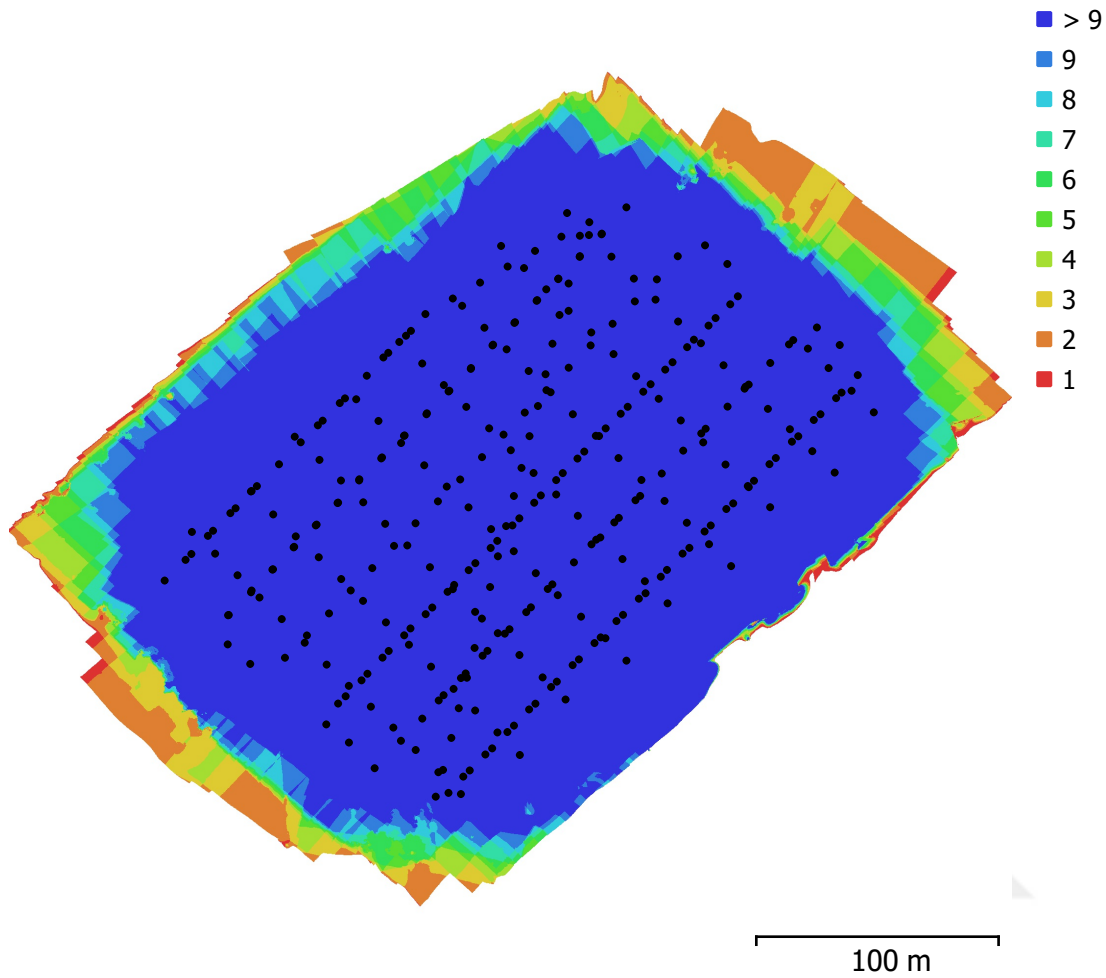


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	328	Camera stations:	326
Flying altitude:	65.1 m	Tie points:	88,011
Ground resolution:	1.68 cm/pix	Projections:	846,941
Coverage area:	0.0809 km ²	Reprojection error:	1.66 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
E90 (8.3mm)	5472 x 3648	8.3 mm	2.4 x 2.4 μ m	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

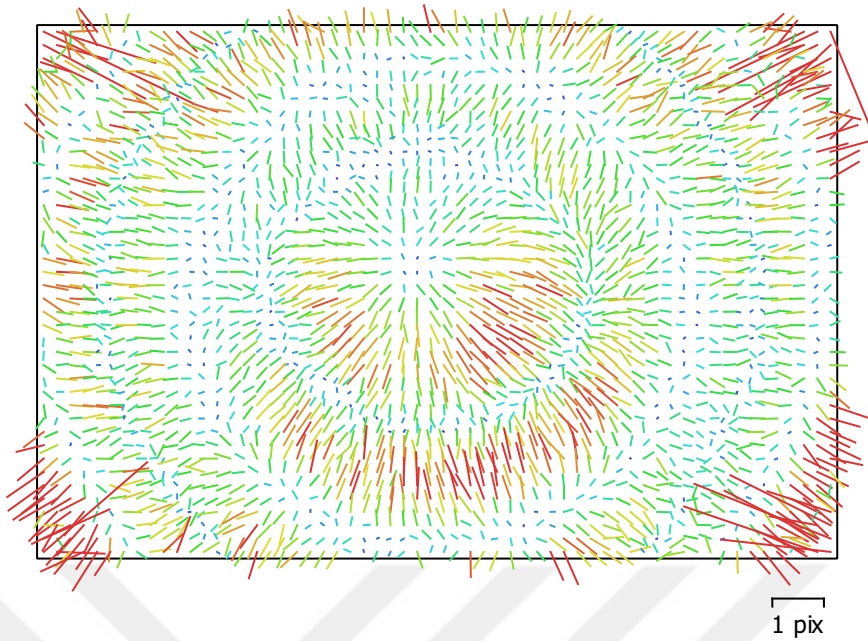


Fig. 2. Image residuals for E90 (8.3mm).

E90 (8.3mm)

328 images

Type
Frame

Resolution
5472 x 3648

Focal Length
8.3 mm

Pixel Size
2.4 x 2.4 μm

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	P1	P2
K4	-0.220822											
F	3436.1	0.45	1.00	0.08	-0.64	0.01	0.04	-0.89	0.84	-0.72	-0.06	0.41
Cx	-46.0448	0.05		1.00	-0.03	-0.07	0.36	-0.06	0.06	-0.05	0.08	0.03
Cy	22.94	0.062			1.00	-0.30	-0.06	0.58	-0.54	0.46	0.03	-0.37
B1	-2.80443	0.0065				1.00	-0.00	-0.03	-0.01	0.02	0.04	0.17
B2	-0.280096	0.0065					1.00	-0.03	0.03	-0.02	-0.14	0.05
K1	-0.039696	8.5e-05						1.00	-0.97	0.92	0.06	-0.42
K2	-0.277553	0.00016							1.00	-0.98	-0.05	0.34
K3	0.479895	8.8e-05								1.00	0.03	-0.30
P1	-1.25866e-06	2.6e-06									1.00	-0.03
P2	-4.51046e-05	2.5e-06										1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

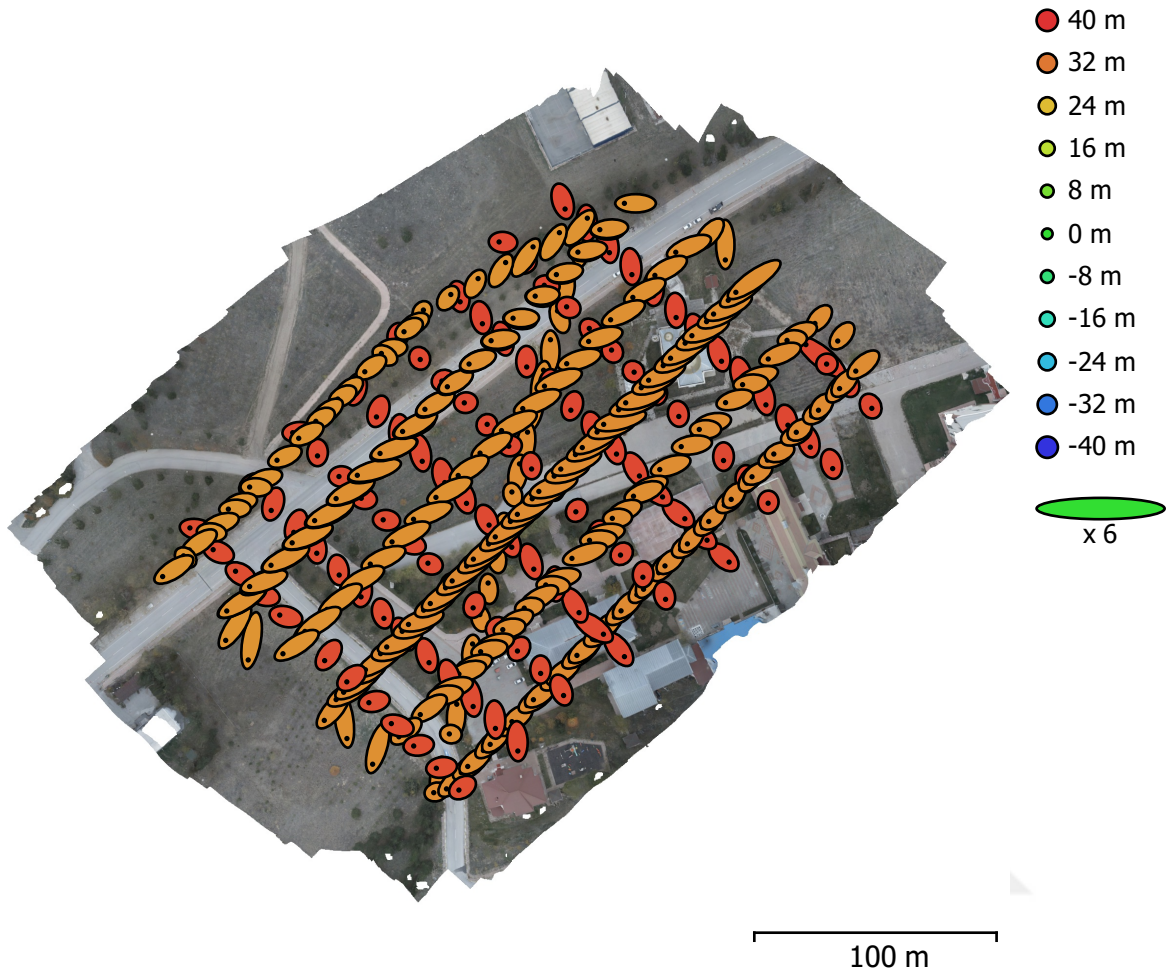


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
1.16801	0.825062	32.1593	1.43003	32.191

Table 3. Average camera location error.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Ground Control Points

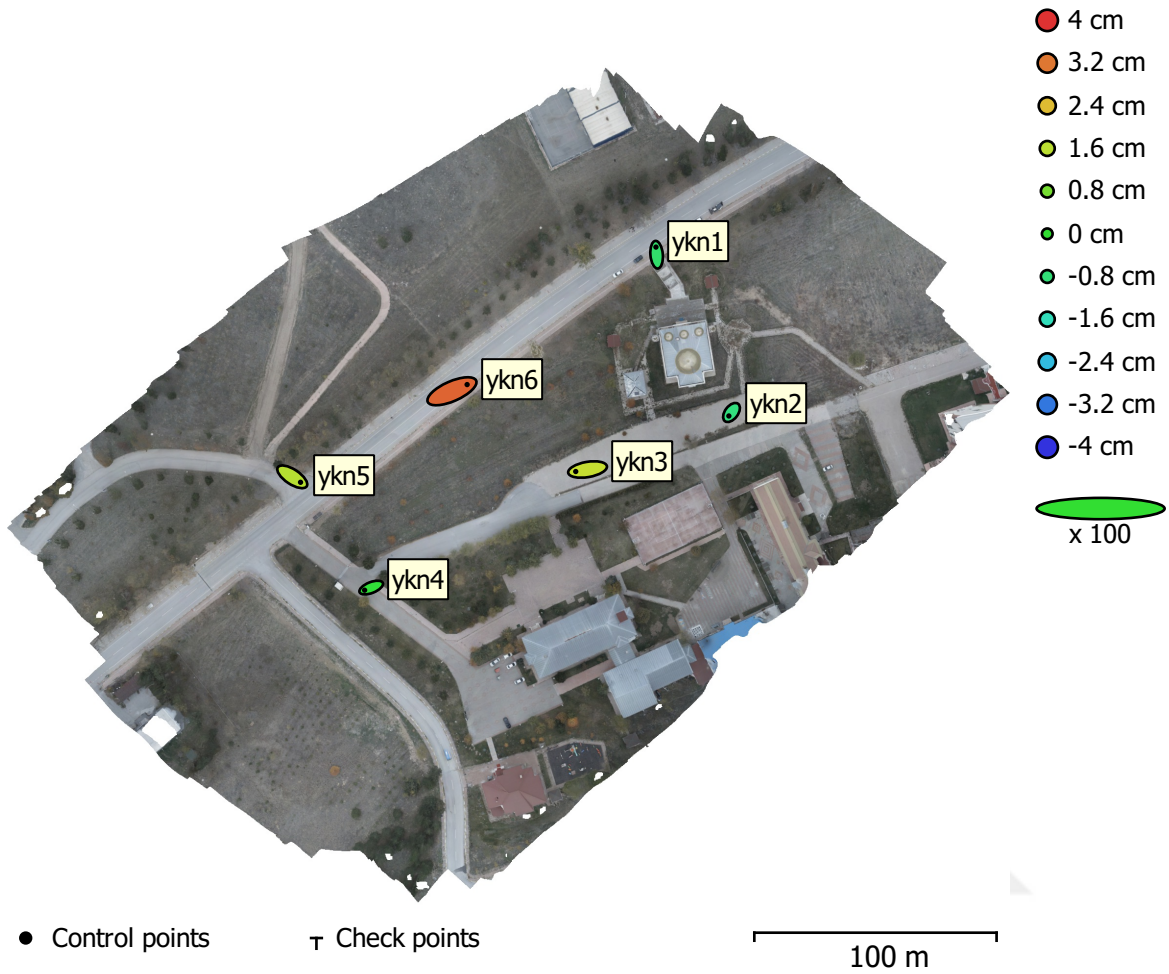


Fig. 4. GCP locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
 Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
6	7.45328	4.20543	1.74464	8.55787	8.73389

Table 4. Control points RMSE.
 X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
ykn1	-0.547176	6.29082	-0.660949	6.34907	0.175 (4)
ykn2	-2.18796	-2.87536	-0.886463	3.72031	0.187 (4)
ykn3	-9.76465	-1.67018	1.72316	10.0552	0.102 (3)
ykn4	-5.44943	-2.16889	-0.0803092	5.86573	0.164 (3)
ykn5	6.82137	-4.50794	1.54064	8.32023	0.074 (4)
ykn6	12.5158	5.51877	3.41914	14.0994	0.091 (4)
Total	7.45328	4.20543	1.74464	8.73389	0.140

Table 5. Control points.
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.



Digital Elevation Model

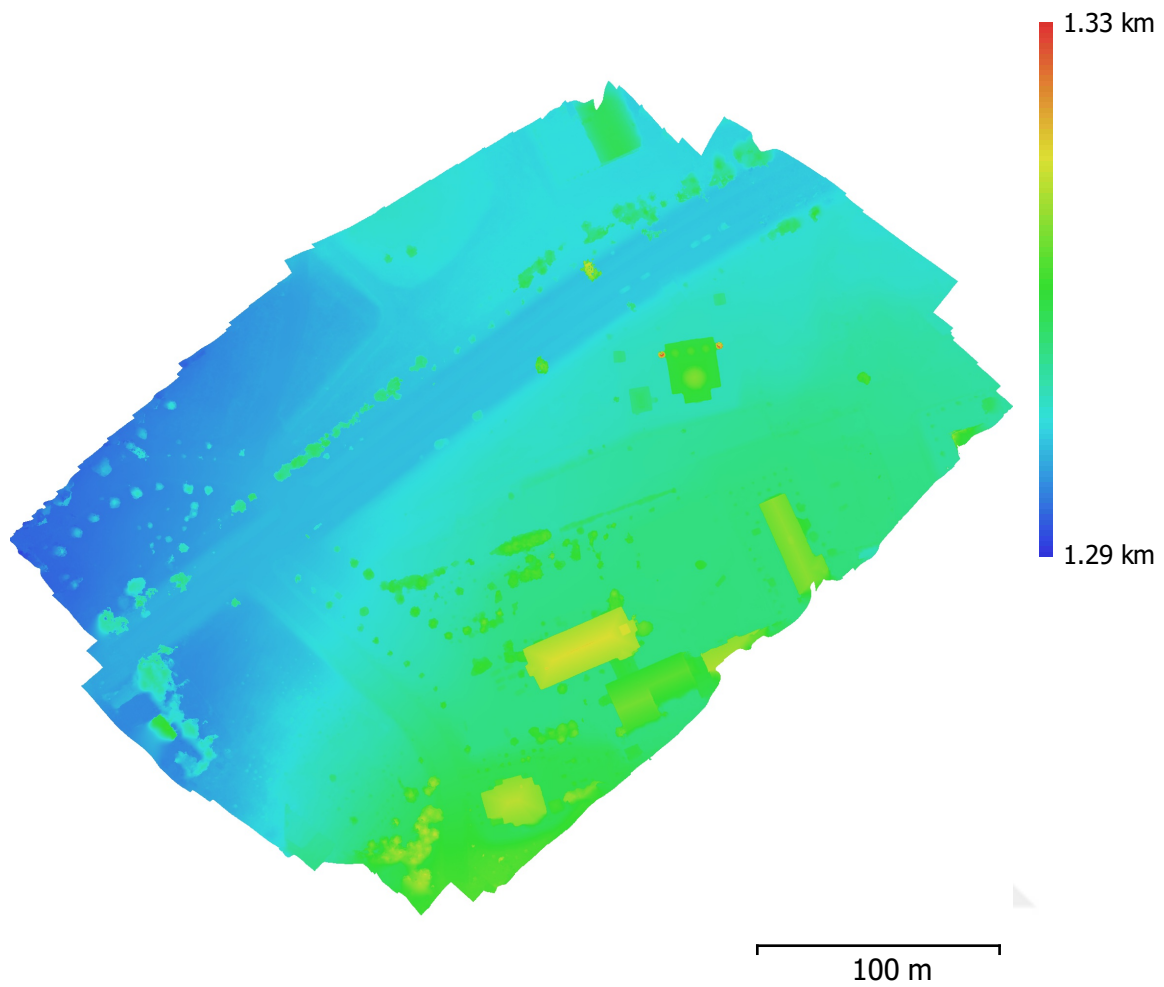


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 6.7 cm/pix
Point density: 223 points/m²

Processing Parameters

General

Cameras	328
Aligned cameras	326
Markers	6

Shapes

Points	13
Coordinate system	TUREF / TM36 (EPSG::5256)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Point Cloud

Points	88,011 of 129,126
Point colors	3 bands, uint8
RMS reprojection error	0.259758 (1.65684 pix)
Max reprojection error	3.39514 (53.6581 pix)
Mean key point size	6.16949 pix
Effective overlap	12.2791

Alignment parameters

Accuracy	Medium
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Yes
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	5 minutes 18 seconds
Alignment time	3 minutes 48 seconds

Optimization parameters

Parameters	f, b1, b2, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Adaptive camera model fitting	No
Optimization time	7 seconds

Dense Point Cloud

Points	22,784,405
Point colors	3 bands, uint8

Reconstruction parameters

Quality	Medium
Depth filtering	Moderate
Depth maps generation time	33 minutes 27 seconds
Dense cloud generation time	39 minutes 9 seconds

Model

Faces	506,320
Vertices	255,902
Vertex colors	3 bands, uint8
Texture	4,096 x 4,096, 4 bands, uint8

Reconstruction parameters

Surface type	Arbitrary
Source data	Dense
Interpolation	Enabled
Quality	Medium
Depth filtering	Moderate
Face count	506,320
Processing time	15 minutes 53 seconds

Texturing parameters

Mapping mode	Orthophoto
Blending mode	Mosaic
Texture size	4,096 x 4,096
Enable hole filling	Yes
Enable ghosting filter	No

UV mapping time	3 seconds
Blending time	4 minutes 20 seconds
Tiled Model	
Texture	3 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Source data	Dense cloud
Tile size	256
Processing time	41 minutes 23 seconds
DEM	
Size	8,068 x 7,499
Coordinate system	TUREF / TM36 (EPSG::5256)
Reconstruction parameters	
Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Processing time	49 seconds
Orthomosaic	
Size	24,703 x 20,839
Coordinate system	TUREF / TM36 (EPSG::5256)
Colors	3 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Blending mode	Mosaic
Surface	DEM
Enable hole filling	Yes
Processing time	11 minutes 40 seconds
Software	
Version	1.4.1 build 5925
Platform	Windows 64