



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**İHA GÖRÜNTÜLERİNDEN ELDE EDİLEN KONUM
VERİLERİNİN ULUSAL VE ULUSLARARASI DOĞRULUK
KRİTERLERİNE GÖRE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yasin TUTAK

DANIŞMAN

Doç. Dr. Ferruh YILMAZTÜRK

AKSARAY, 2019

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün **122306409** numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, **Yasin TUTAK** tarafından hazırlanan “**İHA GÖRÜNTÜLERİNDEN ELDE EDİLEN KONUM VERİLERİNİN ULUSAL VE ULUSLARARASI DOĞRULUK KRİTERLERİNE GÖRE İNCELENMESİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile Harita Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir

Danışman: Doç. Dr. Ferruh YILMAZTÜRK

Aksaray Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Prof. Dr. H. Murat YILMAZ

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Prof. Dr. Murat YAKAR

Mersin Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 24/05/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinallliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Yasin TUTAK

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans tez çalışmam süresince danışmanlığımı yürüten, beni yönlendirerek yardımcı olan ve katkı sağlayan hocam sayın Doç. Dr. Ferruh YILMAZTÖRK 'e, bu tez çalışmasında gerekli olan araştırmaları yapabilmem için mesleki beceri ve bilgimi arttıran projelere, eğitime ve bilimsel etkinliklere katılmama destek veren daire başkanım sayın Dr. Akın KISA'ya ve mesai arkadaşlarıma, bugüne kadar sonsuz sabırları, güvenleri, manevi yönden destekleri ile her zaman yanımda olan, sevgilerini esirgemeyen eşim ve oğluma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yasin TUTAK
AKSARAY, 2019

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. GENEL KAVRAMLAR.....	5
3.1 İnsansız Hava Araçları (İHA).....	5
3.1.1 İnsansız hava araçları tarihi	5
3.1.2 İnsansız hava araçları kullanım alanları	6
3.2. Fotogrametri	7
3.2.1 Dijital (sayısal) fotogrametri.....	8
3.2.2 Hava fotogrametrisi	11
3.2.3 İHA fotogrametrisi.....	14
4. DOĞRULUK STANDARTLARI	17
4.1 Amerikan Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (ASPRS).....	17
4.1.1 Sayısal konumsal veriler için konumsal doğruluk standartları	20
4.1.1.1 Fotogrametrik nirengi dengelemesi doğruluk standartları	21
4.1.1.2 Konumsal veriler için yatay doğruluk standartları	21
4.1.1.3 Sayısal ortogörüntülerde yatay doğruluk standartları	22
4.1.1.4 Yükseklik verilerinde düşey doğruluk standartları	23
4.1.1.5 Metrik kamera görüntülerinden üretilen ortogörüntü doğruluğu	24
4.1.1.6 Yer kontrol noktası (YKN) ve fotogrametrik nirengi doğruluğu	26
4.1.1.7 Yer kontrol noktası (YKN) ve kontrol noktası gereklilikleri	26
4.2 Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY).....	27
4.2.1 Fotogrametrik çalışmalar.....	27
5. UYGULAMA.....	31
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	47
KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ.....	52

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İHA GÖRÜNTÜLERİNDEN ELDE EDİLEN KONUM VERİLERİNİN ULUSAL VE ULUSLARARASI DOĞRULUK KRİTERLERİNE GÖRE İNCELENMESİ

Yasin TUTAK

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Ferruh YILMAZTÜRK

ÖZET

Teknolojik gelişmeler, bir çok alanda araştırmacılara ve kullanıcılara yenilikçi çözümler getirmektedir. Bu gelişmeler ışığında; haritacılık alanında daha pratik, daha hızlı ve daha az maliyetli veri üretmek amacıyla bir takım yöntemler geliştirilmiştir. İnsansız hava araçlarının kameralar ile donatılmasıyla fotogrametri alanında havadan görüntü alımı ve ortogörüntü üretimi işlemleri daha kolay ve daha hızlı hale gelmiştir. Üretim işlemlerinin daha kolay ve daha hızlı olması yanında üretilen ortogörüntünün geometrik doğruluğunun ve radyometrik kalitesinin yüksek olması önemli bir özelliktir. Kalite ve doğruluk kriterleri kullanılan donanım ve yöntemlere göre değişse de havadan görüntü alımı ve ortogörüntü üretim süreçlerinde temel fotogrametrik esasların uygulanması gerekmektedir.

İHA görüntüleri kullanılarak ortogörüntü üretilmesi ile ilgili yapılan çalışmalar ve hazırlanan makaleler incelenmiştir. Bu tez çalışmasında, uluslararası standart olarak Amerikan Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (ASPRS) tarafından yayımlanan coğrafi veri üretiminde konumsal doğruluk standartları ve gereklilikler incelenmiştir. Bunun yanında ulusal anlamda standartlar içeren Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği fotogrametrik üretim çalışmalarına dair doğruluk, standart ve kontrol esasları da incelenmiştir. Örnek bir uygulama ile İHA ile görüntüleri elde edilmiş bir alanda fotogrametrik işlem aşamaları çalışmada anlatıldığı şekilde uygulanarak ortogörüntü üretimi gerçekleştirilmiştir. Son olarak ise; üretilen bu ortogörüntü, ASPRS ve BÖHHBÜY'nin fotogrametrik üretim çalışmalarına dair doğruluk standartlarına göre karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İnsansız hava aracı, Ortogörüntü, ASPRS, BÖHHBÜY, Standart, Doğruluk, İHA.

Mayıs, 2019; 52 sayfa

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF LOCATION DATA FROM UAV IMAGES ACCORDING TO NATIONAL AND INTERNATIONAL ACCURACY CRITERIA

Yasin TUTAK

**Aksaray University
Graduate School Of Natural and Applied Sciences
Department of Geomatics Engineering**

Supervisor: Doç. Dr. Ferruh YILMAZTÜRK

ABSTRACT

Technological developments bring innovative solutions to researchers and users in many areas. In the light of these developments; A number of methods have been developed in order to produce faster and less costly data in the field of surveying. Equipped with unmanned aerial vehicles with cameras, aerial image acquisition and orthoimage processing in the field of photogrammetry have become easier and faster. As well as faster and easier production processes, the high accuracy and quality of the produced orthoimage is an important feature. Although the quality and accuracy criteria vary according to the equipment and method used, the basic photogrammetric principles must be applied in the aerial image acquisition and ortho imagery production processes.

The studies and articles about the production of orthoimagery using UAV images are examined. In this thesis, spatial accuracy standards and requirements in geographical data production published by American Photogrammetry and Remote Sensing Association (ASPRS) as an international standard are examined. In addition, accuracy, standards and control principles related to photogrammetric production studies of Large Scale Map and Map Information Production Regulation which includes national standards were also examined. In a sample application, photogrammetric process steps were applied as described in the study in an area where images were obtained by UAV. Finally; The produced orthoimagery was evaluated by comparing the accuracy standards of photogrammetric production studies of ASPRS and BÖHHBÜY.

Keywords: Unmanned aerial vehicle, Orthoimage, ASPRS, BÖHHBÜY, Standard, Accuracy, UAV.

May, 2019; 52 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Sabit kanatlı İHA.	5
Şekil 3.2. Döner kanatlı İHA.	5
Şekil 3.3. Fotogrametrinin değerlendirme yöntemine göre tarihsel süreci.....	8
Şekil 3.4. Piksel koordinat sistemi.....	9
Şekil 3.5. Resim koordinat sistemi	9
Şekil 3.6. Cisim koordinat sistemi	10
Şekil 3.7. Analog ve sayısal resim tanımlamaları.....	10
Şekil 3.8. Hava fotogrametrisi.	12
Şekil 3.9. UltraCam-X sayısal hava kamerası.	13
Şekil 3.10. Pentax Ricoh Gr III kamera.....	13
Şekil 3.11. İHA fotogrametri işlem aşamaları.	15
Şekil 4.1. Yeryüzündeki nesnelerin görüntü uzayında temsili.	20
Şekil 4.2. Fotogrametrik yer işareti boyut ve şeklinin gösterimi.....	28
Şekil 5.1. Çalışma alanı (Isparta-Aksu).	32
Şekil 5.2. Çalışma alanı YKN dağılımı.	33
Şekil 5.3. Hava işareti şeklinde tesis edilen YKN örnekleri.....	33
Şekil 5.4. Quest UAV Q200 marka insansız hava aracı	36
Şekil 5.5. Sony-A600 SLR kamera.....	36
Şekil 5.6. Çalışma alanı havadan görüntü alımı fotoğraf konumları.	37
Şekil 5.7. Fotogrametrik nirengi öncesi bloğun yapısı.	39
Şekil 5.8. Havai nirengi işleminde YKN'lerin işaretlenmesi	39
Şekil 5.9. Işın demetleriyle blok dengeleme temel prensibi	40
Şekil 5.10. Bir objenin farklı fotoğraflarda işaretlenmesi.	41
Şekil 5.11. Epipolar kontrolü sonucu.....	41
Şekil 5.12. Üretilen gerçek ortogörüntü.....	42
Şekil 5.13. Üretilen sayısal yüzey modeli.....	42

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Fotogrametrik nirengi hesabında YKN doğruluğu.	21
Çizelge 4.2. Konumsal verinin yatay doğrulukları.	22
Çizelge 4.3. Ortogörüntüler için yatay doğruluk standartları.	23
Çizelge 4.4. Sayısal yükseklik verisi için düşey doğruluk ve kalite örnekleri.	24
Çizelge 4.5. Büyük ve orta formatlı metrik kameralar için sayısal ortogörüntü doğruluk örnekleri	25
Çizelge 4.6. Ortogörüntü ve yükseklik verisi üretiminde havai nirengi ve YKN doğruluğu gereksinimleri	26
Çizelge 4.7. Proje alanı büyüklüğüne göre DN sayısı gereksinimleri.	27
Çizelge 4.8. Blok dengelemesi sonrası denetleme noktaları doğrulukları	30
Çizelge 4.9. Ortogörüntü mozaik birleşim çizgisi doğruluğu.....	30
Çizelge 5.1. YKN'lerin yatay doğruluk istatistikleri.....	35
Çizelge 5.2. YKN'lerin düşey doğruluk istatistikleri.....	35
Çizelge 5.3. Yer örnekleme aralığı kontrol tablosu.	37
Çizelge 5.4. Boyuna bindirme kontrol tablosu.	38
Çizelge 5.5. Enine bindirme kontrol tablosu.	38
Çizelge 5.6. Sayısal yüzey modeli doğruluk kontrolü tablosu.	44
Çizelge 5.7. YKN doğruluğu karşılaştırma tablosu.	45
Çizelge 5.8. Fotogrametrik blok dengelemesi YKN ve DN doğrulukları ve gereksinimleri karşılaştırmalı tablo.	45
Çizelge 5.9. Fotogrametrik blok dengelemesi piksel eşleştirme karşılaştırma tablosu.....	45
Çizelge 5.10. Ortogörüntü mozaik birleşimi doğruluk karşılaştırma tablosu.....	46

SİMGELER VE KISALTMALAR

ASRS	Amerikan Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği
BÖHHBÜY	Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
DN	Denetleme Noktası
DSİ	Devlet Su İşleri
ICAO	International Civil Aviation Organization
IMU	Ataletsel Ölçü Birimi
INS	Ataletsel Seyrüsefer Sistemi
İHA	İnsansız Hava Aracı
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Küresel Konumlama Sistemi
KOH	Birim Ölçünün Karesel Ortalama Hatası
KOH_x	X Yönünde Yatay Doğrusal Karesel Ortalama Hata (Sağa Değer)
KOH_y	Y Yönünde Yatay Doğrusal Karesel Ortalama Hata (Yukarı Değer)
KOH_z	Z Yönünde Yatay Doğrusal Karesel Ortalama Hata
LIDAR	Laser Imaging Detection and Ranging
NDP	Nominal Nokta Yoğunluğu
RGB	Red-Green-Blue
RTK	Real Time Kinematik
SFM	Structure From Motion
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TKGM	Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü
TUSAGA	Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
YKN	Yer Kontrol Noktası
YÖA	Yer Örnekleme Aralığı
cm	Santimetre
m	Metre
ω	Omega
φ	Phi
κ	Kappa

1. GİRİŞ

Günlük yaşamımızda daha pratik ve daha hızlı çözümler sunması için coğrafi veriler bize büyük bir kolaylık sağlamakta olup önemi gün geçtikçe artmaktadır. Geçmişte bu verilerin üretilmesi, değerlendirilmesi ve paylaşılmasında zorluklar yaşanmaktaydı. Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile coğrafi verilerin elde edilmesi ve paylaşılmasında daha pratik çözümler üretilmiştir. Pratik çözümlerin yanında coğrafi verilerin çeşitliliği ve güncellenme kolaylığı sayesinde doğruluk seviyesinin de yükselmesine katkı sağlamaktadır. Verilerin kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayabilir düzeyde olması büyük önem arz etmektedir. Bu konu, kullanıcıların aklında veriler ne kadar doğru, ne kadar güncel ve hangi amaçlarda kullanabilirim gibi bir takım sorular doğurmaktadır. Bu sorulara cevap bulabilmesi için veri üreticilerinin uluslararası veya ulusal standartlara göre üretim yapmaları gerekmektedir.

Teknolojiyi, ucu bucağı olmayan ve sürekli gelişime açık olarak düşünürsek insanoğlu da bu konuda hep daha iyisi ve daha hızlısı olsun diye bir beklenti içerisinde olacaktır. Geçmiş dönemlerdeki şartlara kıyasla günümüzde coğrafi bilgi toplama ve sunma işlemi bir cep telefonu uygulamasıyla bile yapılabilir hale gelmiştir. Yani, ihtiyacımız olan verileri elde etmek gün geçtikçe artık daha da kolaylaşmaktadır. Hemen hemen her mesleki disiplindeki çalışmalarda hızlı veri elde etme yöntemleri sayesinde analizler yapıp verilen kararlar neticesinde işler daha hızlı sonuçlandırılmaktadır.

Haritacılık alanında, analog kameralar ile başlayıp sayısal kameralar ile takip eden süreçte özel kamera donanımlı uçaklar ile havadan görüntü alımı işleri günümüzde halen devam etmektedir. Son yıllarda ise düşük maliyetli, kullanımı kolay ve hızlı veri toplama özelliğine sahip kamera donanımlı insansız hava araçları (İHA) tercih edilmektedir. Bu artışın temel sebepleri; yüksek çözünürlüklü kamera ve bilgisayarlar teknolojilerinin gelişimi, fotogrametrik yazılımların düşük maliyetli ve ulaşılabilir olmasının yanında insansız hava araçlarının üretilmesi olarak söylenebilir (Matthews, 2008).

İHA'lar ilk olarak askeri alanda kullanılmaya başlansa da düşük maliyet ve insansız olarak uçuş özelliği ile sivil havacılıkta kullanılmak üzere üreticilere ilham vermiştir. Özellikle İHA'lar zor çalışma bölgeleri için insanlara büyük kolaylıklar sağlayarak sivil kullanıma hızlı bir girişte bulunmuştur (Akan, 2014).

Sunulan tez çalışmasında, teknolojinin getirmiş olduğu insansız hava araçlarının her alanda olduğu gibi haritacılık alanında da kolay, hızlı, yüksek doğruluklu ve ekonomik olarak coğrafi veri elde etme konusundaki kabiliyetlerinden bahsedilmiştir. Bu kapsamda; insansız hava araçlarından elde edilen görüntülerden üretilen ortogörüntü verilerinin Amerikan Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (ASPRS) tarafından belirlenen coğrafi veri üretiminde konumsal doğruluk ve gereklilik değerleri ile Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY) fotogrametrik üretim çalışmalarına dair doğruluk standartları kapsamında kalitesi, doğruluğu, hassasiyeti ve kullanılabilirliği açısından değerlendirilmiştir.

Tez planında, Bölüm 2'de insansız hava araçları ile çeşitli yöntem, donanım ve yazılım kullanılarak üretilen ortogörüntülerin konum doğruluklarına ilişkin yapılan üretimlerden elde edilen sonuçların değerlendirildiği bir kaynak araştırması yapılmıştır. Bölüm 3'de insansız hava araçları ile ilgili bilgilerin yanında tarihi ve kullanım alanları, dijital fotogrametri, hava fotogrametrisi ve İHA fotogrametrisi gibi genel kavramlar hakkında bilgiler verilmektedir. Bölüm 4'de ASPRS konumsal veri ve ortogörüntü üretimi aşamasında YKN, havai nirengi, birleşme çizgisi tutarlılığı ile ilgili doğruluk ve gereklilikler anlatılmaktadır. Ayrıca ülkemizde de büyük ölçekli harita ve harita bilgisinin üretiminde standartları belirten Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği'nde fotogrametrik üretim çalışmaları ile ilgili esaslarından bahsedilmektedir. Bölüm 5'de metrik olmayan kamera monte edilmiş insansız hava aracı kullanarak havadan görüntü alımı yapıp ortogörüntü üretiminin gerçekleştirildiği örnek bir uygulama anlatılmaktadır. Ayrıca, ASPRS ve BÖHHBÜY'de istenen doğruluk değerlerine göre uygulamada elde ettiğimiz doğruluk değerlerinin karşılaştırılması yapılmaktadır. Son bölüm olan Bölüm 6'da, doğruluk değerleri üzerinden yapılan karşılaştırmalar neticesinde sonuç ve öneriler paylaşılmaktadır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Ülkemizde ve dünyada, kamu kurumları ve yerel yönetimlerin yanında özel sektörün de ihtiyaç duyduğu ürünler İHA görüntülerinden üretilebilmektedir. Üretilen bu ürünlerin başında ortogörüntü bulunmaktadır. Ortogörüntüler üzerinden ön çalışmalar, araştırma ve analiz çalışmaları yapılabilmektedir. İlk başta insansız hava araçları ile üretilen verilerin doğruluğunun, standardının ve kalitesinin haritacılık alanında kullanımı ile ilgili bazı çekinceler olsa bile günümüzde bunları giderecek ulusal ve uluslararası alanda bir çok akademik araştırma yapılmıştır.

Strecha (2011) çalışmasında, insansız hava aracı görüntülerinin tamamen otomatik yöntemler ile hassas haritalama çözümleri sunulabildiğini kanıtlamıştır. Farklı veri setleri ile analiz yaparak doğruluğu en çok etkileyen faktörün çekilen görüntülerin çözünürlüğü (uçuş yüksekliği) ile ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. İHA ile alınan görüntülerin yer kontrol noktalı ve yer kontrol noktasız değerlendirmesi sonucu yatay konum doğrulukları 0,05 m – 0,2 m ve düşey konum doğruluğu 2 – 8 cm aralığında bulunmuştur.

Turner vd., (2012) yaptıkları çalışmada, İHA'lar ile üretilen yüksek çözünürlüklü konumsal verinin otomatik tekniklerle doğruluğunu incelemişlerdir. Yer kontrol noktalı ölçümler sonucu 10 – 15 cm, yer kontrol noktasız ölçümler ile 65 – 120 cm konumsal doğruluğu bulmuşlardır.

Karakış (2012) İHA olarak kullanılan bir model uçak ve üzerine yerleştirilmiş metrik olmayan bir kamera yardımıyla büyük ölçekli harita yapılabilirliğinin araştırılması amaçlamıştır. Alınan görüntülerin uygun yüksekliklerde ≈ 5 cm YÖA sağladığı ve yine uygun yazılımlar ve yeterli YKN kullanımı ile çok güçlü semantik bilgiye sahip sonuç ürünler alınabileceği gözlemlenmiştir.

Chiang vd., (2012) çalışmalarında, İHA'lar ile yaptıkları araştırmada hızlı, kolay ve düşük maliyetli mekânsal veri elde etmenin mümkün olabileceğini göstermişlerdir. Bu çalışmada geliştirdikleri sabit kanatlı İHA, yer kontrol noktası olmaksızın, sadece İHA sisteminde mevcut olan INS (Inertial Navigation System) ve GPS (Global Positioning System) sistemlerinden sağlanan koordinatların direkt olarak coğrafi yer tanımlamasında kullanılabilirliği ve doğruluğu araştırılmıştır. 300 m yükseklikten İHA ile alınan görüntüler analiz edildiğinde yatayda 5 m, düşeyde 10 m konum doğruluğu sonucuna ulaşmışlardır.

Çam vd., (2013) çalışmalarında, insansız hava aracına monte edilen dijital kamera ile alınan görüntülerden elde edilen ortogörüntü haritanın konum hassasiyetlerini belirlemek için araştırma yapmışlardır. RTK (Real Time Kinematik) GPS yöntemiyle ölçülen noktaların karşılaştırması yapılarak İHA'lar ile üretilen ortogörüntü haritanın konum doğruluğunu yaklaşık 7– 8 cm olduğunu belirtmişlerdir.

Cryderman vd., (2015) yaptıkları çalışmada, toprak hafriyatının hesaplanması ve haritalanması için araştırmalarını yapmışlardır. Uygulamalarında hafriyatın yığıldığı bölgenin hacminin insansız hava araçları ile ölçülmesini klasik GNSS ölçmeleri ile kıyaslamışlardır. Elde edilen sonuçlara göre düşeyde 0,044 m, yatayda ise 0,039 m karesel ortalama hata olduğunu belirtmişlerdir.

Ayyıldız vd., (2015) yaptıkları araştırmada, BÖHHBÜY geniş formatlı hava kameraları ile 5 gradı geçmeyen düşey resimlerin kullanılmasını öngörmekte ise de İHA kullanılarak metrik olmayan kameralar ile alınan görüntülerin uygun yüksekliklerde YÖA $\approx$ 3cm sağladığı ve yine uygun yazılımlar ve yeterli YKN kullanımı ile daha hassas sonuç ürünler alınabileceği gözlemlenmiştir.

Özcan vd., (2016) yaptığı bir çalışmada, insansız hava araçları kullanılarak ortogörüntü haritaların üretilmesinde uçuş yüksekliğinin, yeryüzü şekli ve yüzeyde bulunan objelerin konum doğruluklarına etkisi araştırılmıştır. Çalışmada üretilen ortofoto haritaların doğrulukları yatayda yaklaşık olarak 5–6 cm civarında olduğu, düşeydeki doğruluğun ise ani yükseklik değişimleri olan bölge ve objeler dışında yaklaşık olarak 1 ile 6 cm arasında olduğu tespit edilmiştir.

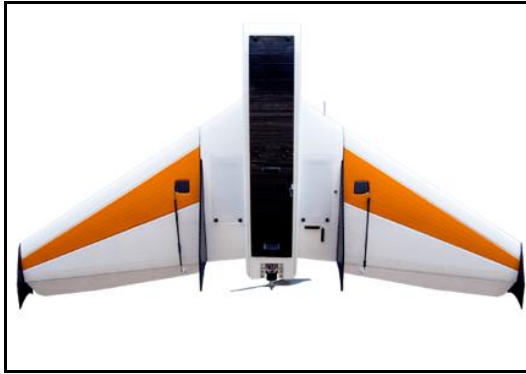
3. GENEL KAVRAMLAR

3.1 İnsansız Hava Araçları (İHA)

İnsansız hava aracı, içerisinde herhangi bir pilot kontrolü olmaksızın Küresel Konum Sistemi (GPS) sayesinde ve otomatik olarak gidebilen hava aracı olarak tanımlanabilir. Günümüzde İHA'lar, yerde bulunan bir pilot tarafından gönderilerek uzaktan kumanda ile yönetilen veya önceden yapılan uçuş programı yüklenerek otomatik olarak uçurulan hava araçlarıdır.

İHA'lar kullanım amacına uygun olarak hem uçuş yönetimi hem de veri toplama işlemlerinin yapılması için bazı ekipmanlar (kamera, fotoğraf makinesi, GNSS, lazer tarayıcı vb.) ile donatılabilir. İHA'ları teknik özelliklerine (ağırlıklarına, yakıt/enerji kaynağına, kanat yapısına, otomatik veya uzaktan kumandalı olmasına vb.) ve kullanım amaçlarına göre [askeri (keşif, silah, saldırı vb.) ve sivil amaçlı (hobi, bilimsel ve ticari)] sınıflandırmak mümkündür. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) genelgesinde ise İHA'lar; otomatik ve uzaktan kumandalı olarak iki ana sınıfa ayrılmaktadır (ICAO, 2011).

Havadan görüntü alımı için kullanılan kamera donanımlı iki farklı İHA çeşidi Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Sabit kanatlı İHA (URL-1).



Şekil 3.2. Döner kanatlı İHA (URL-2).

3.1.1 İnsansız hava araçlarının tarihi

İnsansız hava araçlarının tarihsel geçmişi oldukça eskiye dayanmaktadır. 1849 yılında Avusturyalılar tarafından hava saldırısında kullanılan ilk İHA kullanımı

olarak görülmektedir. Diğer taraftan, insansız balonların askeri amaçlı kullanımı Amerika'da 1793 yılında sadece keşif amaçlı olarak gerçekleşmiştir (Monash University, 2003).

3.1.2 İnsansız hava araçları kullanım alanları

Askeri amaçlı İHA pazarı hızla gelişmiş ve son yıllardaki birçok anlaşmazlıklarda İHA kullanımı çok başarılı sonuçlar vermiş ve diğer alanlarda kullanımlar için de güven kazanmıştır. Bunun sonucu olarak, sivil amaçlı uygulamalarda İHA kullanımı günlük yaşantımıza girmiştir ve bu alandaki gelişmeler her geçen gün artmaktadır.

İHA'ların sivil amaçlı kullanımına örnek olarak aşağıdaki alanlar sayılabilir;

- haritacılık,
- şehir ve bölge planlama,
- tanıtım ve reklam faaliyetleri,
- televizyon ve sinema faaliyetleri,
- arama-kurtarma faaliyetleri,
- güvenlik amaçlı kullanım,
- çevresel değişimin izlenmesi,
- kirlenmiş sahaların tespiti ve izlenmesi,
- kıyı ve sahil şeridinin izlenmesi,
- tarımsal uygulamalar,
- kentsel dönüşüm çalışmaları,
- doğal afet sonrası durumun izlenmesi,
- arkeolojik arama çalışmalarının izlenmesi,
- 3 boyutlu şehir modellerinin oluşturulması (Kahveci vd., 2017).

İHA'lar üzerine entegre edilmiş gerçek zamanlı GPS sistemi ile uçuşunda topladığı görüntüleri gözlemlemek ve İHA'yı yönlendirilmek için yer kontrol istasyonu ile birlikte çalışabilmektedir. Bu şekilde çalışan sistemlere tam otomatik navigasyon sistemleri denilmektedir. Elde edilen görüntü uçuş sonrası büroda olabildiği gibi anında yer kontrol istasyonunda da işlenebilmektedir. İHA'ların uçuş esnasında yapmış oldukları tüm hareketler takip edilebilir ve kaydedilebilmektedir. Daha sonrasında bu veriler görüntü işlemede kullanılır (Samad vd., 2013).

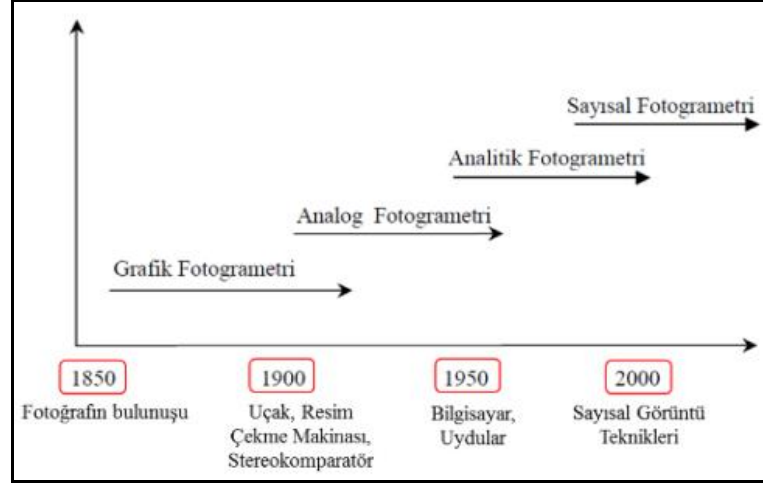
3.2 Fotogrametri

Genel olarak fotogrametri, yeryüzünün veya materyallerin fotoğraflarının çekilerek modellenmesi sonucunda 2 boyutlu ve 3 boyutlu koordinatlarının ölçülerek elde edilmesi tekniğidir.

1839 yılında fotoğrafın keşfedilmesi ile birlikte fotogrametri biliminin tarihsel süreci başlamıştır. Fotoğrafın çekilme işleminin yapıldığı konuma bağlı olarak yersel fotogrametri ve hava fotogrametrisi olmak üzere iki temel sınıf oluşmuştur. Yersel fotogrametri, sadece yer yüzeyinden çekilen fotoğraflarla yapılan uygulamalardır. Yerden çekilen fotoğraflar ile yapılan ölçümler bazı alanlarda topografik alım yönünden başarısız olmuştur. Çekim noktasının konumunun değiştirilerek havaya çıkartıldığı anlarda ise hava fotoğrafının yeryüzünü bütün detaylarıyla ölçme yeteneğine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle fotogrametride asıl gelişme resmin havadan çekimiyle başlamıştır. 1897’de Avusturyalı asker T. Scheimpflug, havadan çekilmiş fotoğrafları düşeye çevirip, ölçeğe uygun olarak arazinin plana geçirilmesini sağlamıştır. Hava fotoğraflarının sistematik olarak kullanılması ise 1. Dünya Savaşı ile yaygınlaşan motorlu uçakların gelişmesiyle ortaya çıkmıştır (Marangoz, 2002).

Yeni buluşlar ve gelişen teknoloji ile yersel fotogrametri ve hava fotogrametrisi değerlendirme yöntemine göre üç başlık altında toplanmıştır. İlk olarak kullanılan fotogrametri klasik fotoğrafların optik-mekanik aletlerle işlenmesini sağlayan analitik fotogrametridir. Son olarak yakın tarihte hayatlarımıza girmiş olup günümüzde birçok alanda uygulanmakta olan digital fotogrametri, digital görüntülerin kullanıldığı, bilgisayar desteği ile analizlerin en hızlı şekilde yapılmasını sağlayan bilim dalıdır (Kraus, 2007).

Çekilen resmin nesneye veya modele olan konumunu belirleyebilmek fotogrametrinin amacıdır. Fotogrametri, teknolojinin gelişmesiyle farklı dallara ayrılrsa da esas olan matematiksel model değişmemiştir. Bu matematiksel model, fotoğraf üzerindeki koordinatların ölçülerek nesne uzayındaki arazi koordinatlarının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Fotogrametrinin değerlendirme yöntemine göre tarihsel süreci Şekil 3.3’de görülmektedir.



Şekil 3.3. Fotogrametrinin değerlendirme yöntemine göre tarihsel süreci (URL-3).

Fotogrametri ayrıca, ölçülecek nesnenin yakın ya da uzak oluşuna, kullanılan kameranın durumuna, edinilecek bilgi türüne, uygulama alanlarına ve amaçlarına göre; “yakın resim fotogrametrisi, topografik ve topografik olmayan fotogrametri, kadastro fotogrametrisi, jeodezik fotogrametri, mühendislik fotogrametrisi, mimarlık fotogrametrisi, tek resim ve çift resim fotogrametrisi” gibi çeşitli sınıflara ayrılmaktadır (Avşar, 2006).

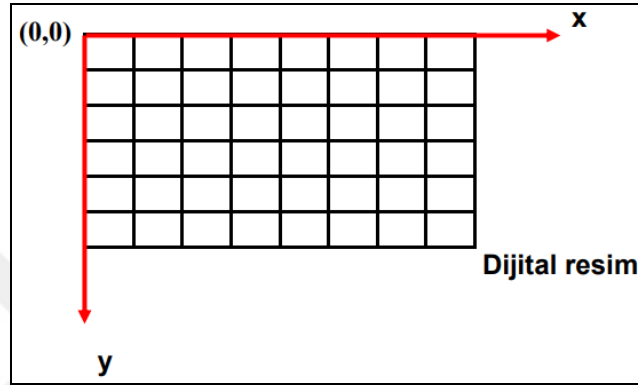
Bu tez çalışmasında, fotogrametrik ölçümlerin İHA’lar kullanılarak yapıldığı için dijital (sayısal) fotogrametri, hava fotogrametrisi ve İHA fotogrametrisi incelenmiştir.

3.2.1 Dijital (sayısal) fotogrametri

Dijital görüntü, resim elemanı ya da piksel olarak da adlandırılan, sayısal değerlerin sınırlı bir küme halinde 2 boyutlu görüntünün temsil edilmiş halidir. Dijital görüntünün satır ve sütunda olan her bir pikseli sabit bir değer içermektedir. Piksel ise bir görüntüdeki en küçük birimdir. Dijital görüntüler; sayısal kameralar, tarayıcılar, LİDAR gibi çeşitli veri toplama sensörleri ile oluşturulabilmektedir (Sidek vd., 2009).

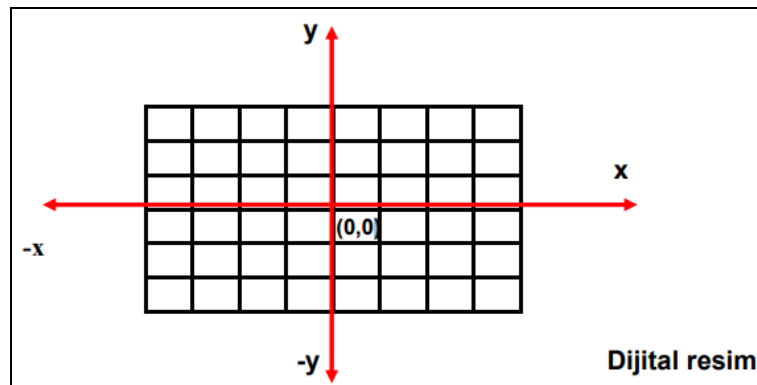
Bilgisayar ortamında her bir piksele renk tonu değeri tanımlanması ile oluşan bilgi dijital (sayısal) görüntü adını almaktadır. Sayısal görüntülerin kullanıldığı fotogrametrik yöntemde de sayısal fotogrametri olarak tanımlanmaktadır.

Sayısal fotogrametride üç ana koordinat sistemi kullanılmaktadır. Bunlardan ilki piksel koordinat sistemidir. Bu koordinat sistemi bilgisayar ortamındadır ve iki boyutlu bir sistemdir. Bu koordinat sisteminde görüntünün sol köşesi her zaman orijindir (Şekil 3.4). Koordinat sistemi birimi piksel sayısına denk gelmektedir. Orijin her zaman dijital görüntünün sol üst köşesidir. Örneğin; 4000 x 3000 çözünürlüklü bir görüntüye ait piksel koordinat sisteminde on iki milyon piksel mevcuttur. Her bir piksel renk değerleri koordinatlandırılarak kodlanır.



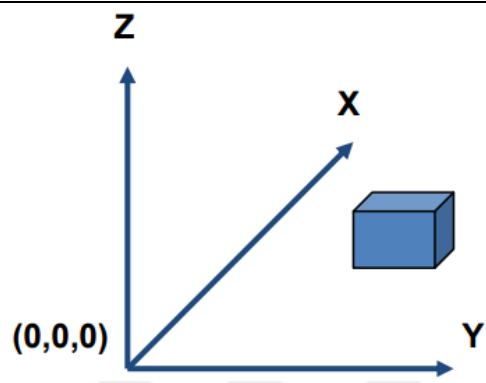
Şekil 3.4. Piksel koordinat sistemi (URL-4).

İkinci olarak; resim koordinat sistemi, resim orta nokta bulucuları ile tespit edilmiş olan birbirine dik eksenlerden oluşan koordinat sistemidir. Bilgisayar üzerinde resim üzerinden alınan her bir koordinat ilk olarak piksel koordinatıdır (Şekil 3.5). Dijital olarak yapılan iç yöneltme sonunda elde edilen yine iki boyutlu koordinat sistemi ise resim koordinat sistemi olarak adlandırılır. Piksel olarak ölçülen koordinatlar transformasyon ile bu koordinat sistemine dönüştürülür. Resim koordinat sistemi fotogrametrik hesaplamalar için kullanılır.



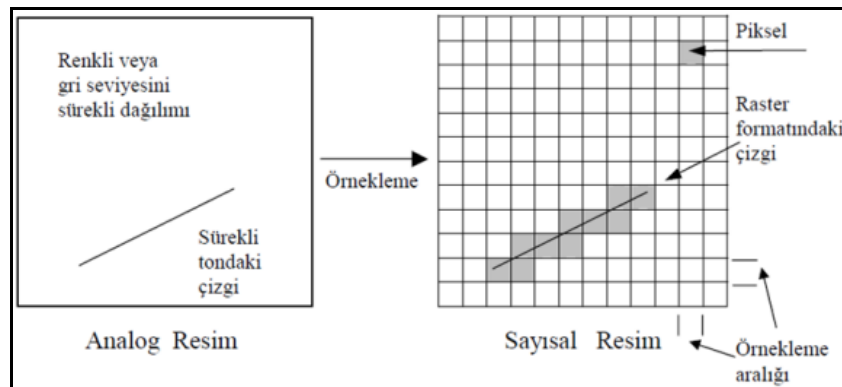
Şekil 3.5. Piksel koordinat sistemi (URL-5).

Üçüncü olarak ise; cisim koordinat sistemi, dijital olarak yapılan dış yöneltme sonrası elde edilen ve fotogrametrik olarak çalışılan cisimler üzerinde tesis edilmiş üç boyutlu sonuç (uzay) koordinat sistemidir (Şekil 3.6). Fotogrametride tüm üç boyutlu ölçme işlemleri cisim koordinat sisteminde yapılır (Ergün, 2015).



Şekil 3.6. Piksel koordinat sistemi (URL-6).

Analog resimden dijital resme geçiş ihtiyacı fotogrametri alanında dijital (sayısal) fotogrametriyi doğurmuştur. Dijital fotogrametride, sayısal hava kameraları vasıtasıyla elde edilmiş stereo görüntülerin tamamen bilgisayar ortamında işlenerek, resim iç-dış yöneltme ve değerlendirme işlemlerinin yarı otomatik ya da tam otomatik olarak yapılmaktadır. Dijital fotogrametri yöntemi ile raster görüntülerin çözünürlüklerinin yüksek olmasından dolayı bilgisayar ortamında birçok renk elde edilebilmekte ve resim üzerinde istenilen düzeltmelerin yapılabilir. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte daha güçlü bellekler ve daha hızlı işlemcilerin sayesinde dijital fotogrametri yöntemi tercih edilir hale gelmiştir. Analog ve sayısal resim tanımlamaları görsel olarak Şekil 3.7’de belirtilmiştir



Şekil 3.7. Analog ve sayısal resim tanımlamaları (URL-7).

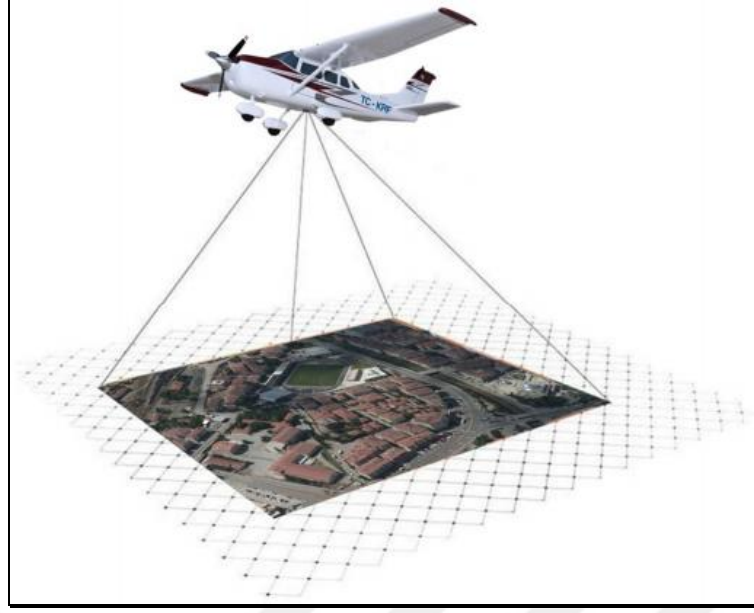
Dijital fotogrametrinin kazandırdığı bazı avantajlar şunlardır;

- Görüntü iyileştirmesi: Görüntü, bilgisayar ortamında kontrast ve ışık şiddeti gibi özelliklerinin değiştirilmesiyle daha anlaşılabilir bir duruma getirilebilir.
- İşlem kolaylığı: Dijital fotogrametrik sistemlerde işlemler, analog ve analitik sistemlere göre daha kolay bir şekilde yapılmaktadır.
- CAD sistemleri ile eş zamanlı çalışabilme: Bu özellik, değerlendirme sonrasında elde edilen ürünler, bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sonucunda eş zamanlı olarak görüntülenebilmesi ve bu şekilde olası hataları erken fark edilme olanağını beraberinde getirmiştir.
- Ürünlerin saklanması: Dijital fotogrametrik değerlendirme sonrasında elde edilen ürünler, bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sonucunda daha güvenli bir şekilde ve daha az mekân kaplayan arşivlerde depolanabilmektedir (Ayhan, 2017).

3.2.2 Hava fotogrametrisi

Hava fotogrametrisi, resim çekilen yerin konumuna göre sınıflandırılmış bir fotogrametri yöntemidir. Fotogrametri tarihine baktığımızda öncelikle resimlerin yerden çekilmesi ile yersel fotogrametri, sonrasında ise hava araçlarının hayatımıza girmesiyle birlikte resimlerin havadan çekilmesi ile hava fotogrametrisi doğmuştur. Hava fotogrametrisi, yeryüzünün daha geniş alanı kapsayacak şekilde tanımlanmasına imkân sağlamıştır.

Hava fotogrametrisi; balon, uçak, helikopter gibi farklı platformlar sayesinde yeryüzünden belirli bir yükseklikte kameralar yardımı çekilen hava fotoğraflarının kullanıldığı bir fotogrametri tekniğidir. Son yıllarda, bazı avantajlarından dolayı hava fotogrametrisinde kamera ile donatılmış insansız hava araçları kullanımı da büyük rağbet görmektedir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Hava fotogrametrisi (URL-8).

Yeryüzünün doğal ve yapay objelerinden yansıyan enerjinin doğrudan doğruya fotografik bir algılayıcı üzerine iz düşürülebilmesi için gereken uygun ortamı sağlayan cihazlara kamera denir (Selçuk, 2008). Hava fotogrametrisinde kullanılan kameralar metrik olup olmadığına göre ikiye ayrılmaktadır.

Metrik resim çekme makineleri, odak uzaklığı değeri, piksel boyutları, yatay ve düşey doğrultudaki piksel sayıları bilinen hava kameralarıdır (T.C. Resmi Gazete, 2018).

Piksel koordinat sisteminden resim koordinat sistemine dönüşümüne dijital fotogrametride iç yöneltme denir. Presizyonlu düzeçleme ve yöneltme sistemi olduğundan dolayı düşey eksen etrafında dönebilen iç yöneltme elemanları belli makinelerdir. Metrik kameralarda iç yöneltme yapmak kolaydır. Çünkü resim orta nokta bulucuları resimler üzerinde mevcuttur. Eski modellerde odak uzaklığı obje uzaklığına göre ayarlanamamaktadır fakat son yıllarda üretilen resim çekme makinelerinde odak uzaklığı, obje uzaklığına göre ayarlanabilmektedir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. UltraCam-X sayısal hava kamerası (URL-9).

Metrik Olamayan Resim Çekme Makineleri, resim iç yöneltme parametrelerinden tamamı veya bir kısmı bilinmeyen veya değişken olan amatör resim çekme makineleridir.

Analitik ve dijital yöntemde kullanılabilmektedirler. Metrik olmayan kameralarda orta nokta bulucuları bulunmadığından dolayı iç yöneltme işleminde dijital olarak oluşturulan görüntünün köşe noktaları piksel koordinat sisteminde çözülerek sorun giderilir. Analitik yöntem uygulanarak dar açılı metrik olmayan yersel resim çekme makineleri ile yeterli doğruluk derecesi tutturulabilmektedir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Pentax Ricoh Gr III kamera (URL-10).

3.2.3 İHA fotogrametrisi

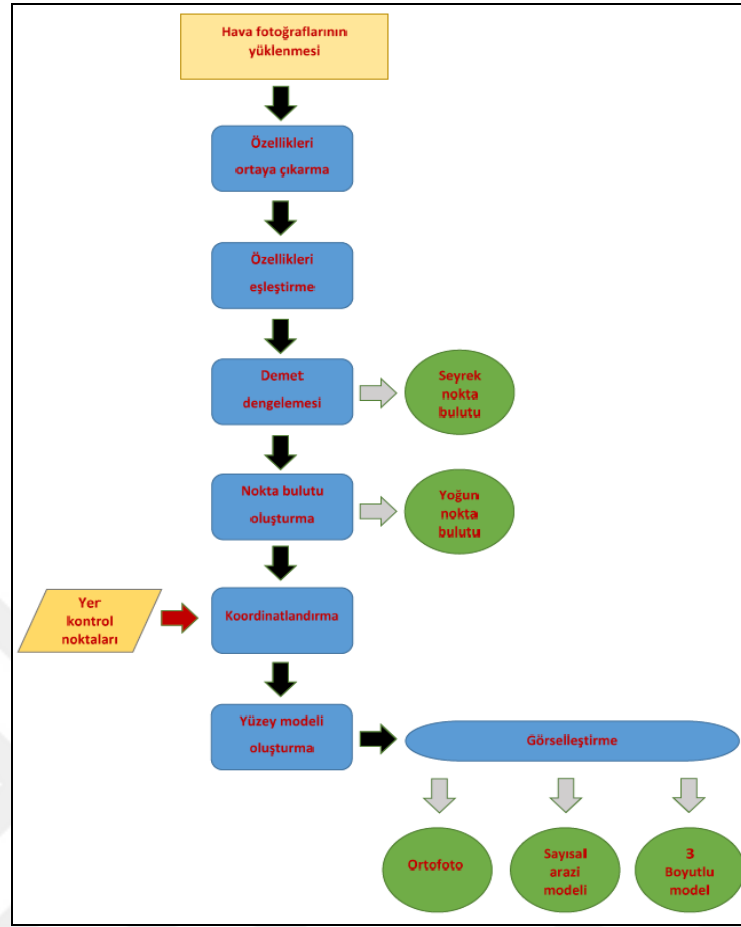
Uzaktan algılama ve fotogrametrik amaçlı olarak kullanılan uydular, uçaklar, helikopterler v.b insanlı hava araçlarındaki bazı kısıtlamalardan dolayı küçük alanlarda yapılacak olan çalışmalarda alternatif olarak İHA'lar geliştirilmiştir.

İngilizce olarak 'Structure from motion (SFM)' olarak bilinen bu teknik İHA fotogrametrisi alanında da kullanılmaktadır. Literatürde dilimizde 'hareket tabanlı yapısal algılama' olarak geçmektedir. SFM tekniğinde, hareketli bir sensör veya kamera yardımıyla görüntüler farklı konum ve açılardan yüksek bindirme oranları ile elde edilmelidir. Alınan bindirmeli fotoğraflardaki ortak nesneler koordinatlandırılarak üç boyutlu model haline getirilmektedir. Son zamanlarda bu teknik insansız hava araçlarından alınan görüntüler kullanılarak ortogörüntü, sayısal yüzey modeli ve nokta bulutu üretiminde daha fazla kullanılmaktadır.

Geleneksel fotogrametrik tekniklerde geometrik modelleme için hassas olarak kamera dönüklük ve kontrol noktalarının konum bilgilerine ihtiyaç duyulmaktadır. SFM yönteminde model geometrisi ve kamera pozisyon ve oryantasyon bilgisi ardışık ve bindirmeli fotoğraflardan en küçük kareler minimasyonu tekniği ile otomatik olarak hesaplanabilir. İşlemlerin sonunda oluşturulan üç boyutlu model görüntü uzayında olduğundan kullanılacak yer kontrol noktaları ile gerçek konum ve boyuta taşınmış olur. Visual SFM, AGISOFT ve Pix4D gibi yazılımlar SFM algoritmasını kullanan görüntü işleme yazılımlarıdır.

İHA fotogrametri tekniği, hava fotogrametrisine benzer bir iş akışına sahiptir (Şekil 3.11). İHA fotogrametri işlem aşamaları aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz;

- hava fotoğraflarının çekilmesi
- fotoğraf özelliklerini ortaya çıkarma işlemi (feature extract)
- demet dengelemesi
- nokta bulutu oluşturma
- geometrik dönüşüm (Rektifikasyon)
- sayısal yüzey modeli oluşturma
- görselleştirme işlemi



Şekil 3.11. İHA fotogrametri işlem aşamaları.

Görüntü almada kullanılan diğer araçlara göre İHA'ların önemli avantajları bulunmaktadır. İHA'lar:

- ❖ Diğer araçlara göre daha düşük maliyetle işletilmektedir.
- ❖ Fotoğrafı alınacak yüzeye ya da objeye daha yakın mesafeden görüntü alabilmektedir.
- ❖ Yersel fotogrametrideki hassasiyete yakın görüntüler üretebilmektedir.
- ❖ Uçuş öncesi hazırlık süreci daha kısa ve daha az maliyetlidir.
- ❖ Diğer araçların kullanılmasının zor olduğu ve ulaşımın mümkün olmadığı bazı durumlarda avantaj sağlarlar.
- ❖ Klasik hava fotoğrafları yüksek çözünürlükte fotoğraf çektiğinden dosya boyutları çok büyük olmakta ve bu da büyük veri saklama kapasitesi gerektirmektedir. İHA'lar digital kameralar kullandıkları için daha küçük kapasiteli veri saklama alanları yeterli olmaktadır.

Bu avantajların yanında İHA'ların dezavantajlarının da bilinmesinde fayda vardır. İHA'ların dezavantajları şunlardır:

- ❖ İHA'lar genelde hafif olmaları sebebiyle hava koşullarından oldukça etkilenmekte özellikle rüzgarlı havalarda stabiliteyi sağlayamamaktadır. Bu durum da elde edilen görüntüleri ve verileri etkilemektedir.
- ❖ Olası bir bağlantı kaybında araçların güzergahlarından sapması hatta kontrolün kaybedilerek İHA'nın kullanılamaz hale gelmesi de gözlemlenebilmektedir.
- ❖ Bu araçların taşıyabilecekleri faydalı yük miktarı sınırlıdır. Yük miktarının artışına bağlı olarak havada kalma süreleri sınırlıdır.
- ❖ Geniş alanlarda uçuş süreleri kısıtlı olduğu için diğer araçlara göre avantajları azalmaktadır.

İHA görüntüleri yüksek çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli (SYM) oluşturma ve objenin 3B modellenmesi çalışmalarında kullanılabilmektedir. Fotogrametrik işlemler yapılarak görüntülerin yeniden düzenlenmesiyle birlikte mozaik görüntüler ve ortofoto haritalar üretilmektedir, bu haritalar üzerinden çizim ve görüntü yorumlama işlemleri gerçekleştirilebilmektedir (Öztürk vd., 2017).

4. DOĞRULUK STANDARTLARI

4.1 Amerikan Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (ASPRS)

ASPRS, haritalar ve coğrafi verilerde konumsal doğruluk standartlarını detaylı bir şekilde tanımlayan birkaç kuruluştan biridir. Kuruluş, 1990'da büyük ölçekli harita yapımı için doğruluk standartları yayınladı. 2015 yılında ise sayısal görüntülerden harita yapımı ile ilgili standartları yayınladı. Fakat insansız hava araçlarından elde edilen verileri bu standartlar dahilinde henüz değerlendirmemiştir.

1990 yılında yayınlanan standartlar, basılı haritalar için geliştirilmiştir ve bu nedenle sayısal görüntü kullanılarak yapılan günümüz fotogrametrik araştırmalarının çoğu için uygun değildir. Bu yüzden ASPRS bünyesinde dijital haritalamaya uygun standartlar geliştirmek amacıyla 2011 yılında "Harita Doğruluk Standartları Çalışma Grubu" oluşturdu. Ekim 2013'te, ASPRS, görüşlerin toplanarak tartışılması için önerilen yeni standardın ilk taslağını yayınladı. Üyelerden gelen görüşler doğrultusunda Aralık 2013 tarihinde revize edilmiş taslak standartlar yayınlandı. Yoğun istişareler sonucunda taslak standartlar 17 Kasım 2014 tarihinde ASPRS Yönetim Kurulu tarafından onaylandı. Bu standart Fotogrametri Mühendisliği ve Uzaktan Algılama dergisinin 2015 yılı Mart sayısında tanıtıldı. Son yayınlanan versiyonda sayısal ortogörüntüler ve sayısal yükseklik modelleri ile ilgili standartlar da eklenmiştir.

Yeni nesil harita doğruluğunun aşağıdaki birçok faktörden etkilendiği belirtilmiştir. Bu faktörler çalışmada kullanılacak kamera ve metodolojiye göre her projede farklı etkileri olabilmektedir.

- Kamera kalibrasyon parametrelerinin kalitesi
- Sayısal kameraların CCD kalitesi ve büyüklüğü
- Resim çekimlerindeki bindirme miktarı
- Paralaks etkisi veya fotoğraf çekimlerinin kalitesi
- GPS sinyalinin kalitesi
- Yer kontrol noktalarının yoğunluğu ve kalitesi
- Havai nirengi çözümlerinin kalitesi
- GPS verilerinin çözümlerindeki yazılımın yeteneği

- Kameranın kalibrasyonunu gerçekleştirecek yazılımın yeteneği
- Ortogörüntü üretimi için kullanılan sayısal arazi modelini (ASPRS, 2014)

ASPRS 2015, yatay doğruluk sınıfını, türetilmiş ortogörüntünün piksel boyutuna (Aralık 2013'te yayınlanan taslakta olduğu gibi) veya belirtilen harita ölçeğine (ASPRS 1990'da olduğu gibi) göre değil, KOHx veya KOHy cinsinden tanımlar.

ASPRS 2015'te sunulan değişiklikler, Aralık 2013 taslağında bulunan piksel boyutu ile yatay doğruluk arasındaki ilişkiyi ortadan kaldırmaktadır. Bu değişiklik, modern ölçme yöntemlerinin esnekliğinin farkına varmakta olup, benzer piksel çözünürlükleri, potansiyel olarak farklı hassasiyet sonuçları olan çoklu teknolojilerle elde edilebileceğini göstermiştir. Örneğin, orta yükseklikte uçulan hassas bir şekilde kalibre edilmiş bir hava kamerası, hassas kalibre edilmemiş bir normal kamera kullanılarak gerçekleştirilen düşük irtifa İHA fotogrametrisi ile aynı çözünürlüğü sağlayabileceği düşünülmüştür.

ASPRS, dijital ortogörüntüler için standartlarda üretilmiş olan orto mozaiklerinin temel çözünürlüğünün kaynak fotoğrafların orijinal çözünürlüğünün yüzde 95'inden az olmaması gerektiğini belirtilmektedir.

ASPRS 1990 hazırlanırken, 1:500'den daha büyük ölçeklerde fotogrametrik harita yapılması nadirdi. Bu tür ölçeklerde haritalama en yaygın olarak geleneksel yersel fotogrametri kullanılarak gerçekleştirilir ve genellikle fiziksel basılı haritaların üretilmesini içermektedir.

Günümüzün dijital dünyasında, GPS, yer tabanlı LIDAR ve küçük İHA'lar gibi yeni teknolojiler orta ve büyük ölçekli haritalamada devrim yarattı. Bu eğilim, veri işleme teknolojisindeki bir devrim ile tamamlanmıştır ve fotogrametrik iş akışını düzene sokmak için yazılım paketlerinin geliştirilmesi, sayısal yüzey modellerin ve orto mozaiklerinin bir dizi mantıksal adımda gerçekleştirilmesine olanak tanımıştır.

ASPRS 2015'in, daha önce ASPRS 1990'da elde edilenden daha fazla sayıda haritalama doğruluğunu içerecek şekilde geliştirildiği açıktır. ASPRS 2015, özellikle piksel boyutuna veya harita ölçeğine göre hassasiyet sınıflandırmasını yapmaktan kaçınır ve bunun yerine belirli bir haritalama işleminde uygun görülen KOHx, KOHy veya KOHz açısından doğruluğu ifade eder. Bu yaklaşım, modern araştırma

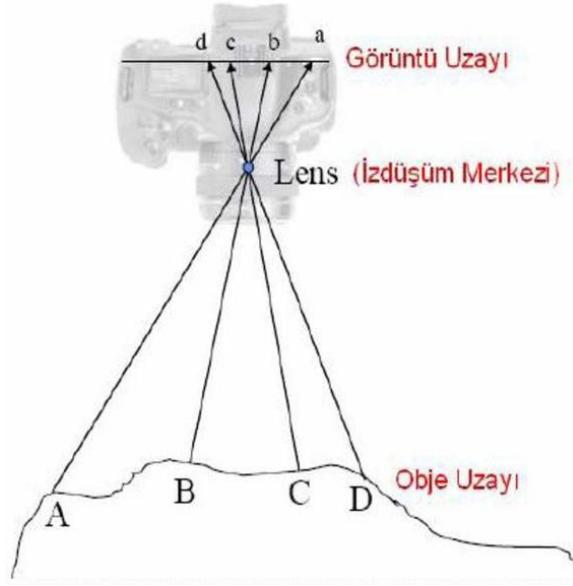
yöntemlerinin esnekliğinin ve ayrıca yüksek mekansal çözünürlüğün mutlaka nihai ürünün doğruluğunun da yüksek olduğu anlamına gelmediği gerçeğinin bir kabulüdür. ASPRS 2015'in bir avantajı, çeşitli mekansal çözünürlüklerde verilere standartların uygulanabilirliğidir. İHA'lar yüksek çözünürlüklü haritalama için uygun olmakla birlikte, standart, genellikle birkaç metre YÖA'na sahip olan uydulardan gelen küçük ölçekli haritalama için de aynı derecede geçerlidir.

Sayısal ortogörüntü ve SYM'ler için ASPRS 2015 gibi standartlara sahip olmanın avantajı, farklı haritalama yöntemleri kullanılarak ve farklı ölçeklerde gerçekleştirilen çalışmaları karşılaştırmak için kullanılabilecek istatistiksel olarak doğrulanabilir doğruluk ölçümleri sağlamalarıdır.

İHA'lar ile yapılan fotogrametrik çalışmalar, belirli projelere uygun doğruluk seviyeleri hakkında makul beklentiler geliştirmesine yardımcı olabilir. İHA'lar tarafından gerçekleştirilen fotogrametrik çalışmaların başka birçok yararı da vardır. Bu teknoloji bu alanda nispeten yenidir ve bu tür araştırmalardan üretilen ortogörüntü ve SYM'lerin zemin koşullarını doğru şekilde yansıtip yansıtmadığını bilmek genellikle zordur. Doğruluk değerlendirmesi için kapsamlı bir çerçeve sunarak ASPRS 2015, operatörlerin ve veri kullanıcılarının farklı koşullar altında hangi doğruluk seviyesinin uygun ve ulaşılabilir olduğunun anlaşılmasını sağlayacak şekilde hazırlanmıştır. Bu standartlar, yeni ortaya çıkan ticari İHA endüstrisine meşruiyet kazandırmak için yararlı olacaktır.

Fotogrametri işlemi, bir dizi fotoğrafın elde ettiği geometrik birleşimi ifade etmektedir. Bindirmeli çekilen fotoğraflar bir blok dahilinde birleştirilir. Bloktaki her bir görüntünün x , y ve z yönünde kaymaları ile ω , ϕ ve κ ile tanımlana eksen etrafındaki dönüklükleri içeren toplam altı adet dış yöneltme parametreleri bulunmaktadır.

Geleneksel hava fotogrametrisinde, yeryüzündeki bir nokta kamera lensinin merkezinin ve kameranın görüntü düzlemindeki noktanın temsili olduğu varsayılmaktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Yeryüzündeki nesnelerin görüntü uzayında temsili (URL-11).

4.1.1 Sayısal konumsal veriler için konumsal doğruluk standartları

ASPRS tarafından 2014 yılında yayınlanan bu standart aşağıdaki sayısal veriler için konumsal doğruluk standartlarını içermektedir.

- ortogörüntü verisi
- planimetrik veri
- yükseklik verisi

Yeni teknolojilerle elde edilebilecek daha yüksek doğruluklara hitap etmek için KOH değerlerine dayalı doğruluk sınıfları 1990 standardı üzerinden revize edilmiştir. Bu standart ayrıca aşağıdaki verilerle ilgili doğruluk değerleri içermektedir.

- Ortogörüntü seamline (birleşim çizgisi) doğruluğu
- Havai nirengi doğruluğu
- LIDAR ilişkili swath-to-swath doğruluğu
- Önerilen minimum Nominal Nokta Yoğunluğu (NPD)
- Yükseklik verilerinin yatay konum doğruluğu
- Düşey konumsal veriler için düşük güven aralıklarının tanımlanması
- Proje alanına bağlı olarak kontrol noktalarının konumsal dağılımı ve ihtiyaç sayısı

4.1.1.1 Fotogrametrik nirengi dengelemesi doğruluk standartları

Fotogrametrik nirengi dengelemesi için kullanılan yer kontrol noktaları dengelemede istenen doğruluğundan en az üç kat daha iyi olmalıdır. Örneğin; Sınıf-I doğruluğuna sahip 15 cm piksel boyutunda bir ortogörüntü üretmek için havai nirengi dengelemesinde kullanılacak yer kontrol noktası, gerekli havai nirengi dengelemesi KOHxyz değeri 7,5 cm (Ortogörüntü piksel boyutunun 1/2'si) dikkate alarak 2,5 cm KOHxyz değerine sahip olması gerekir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Fotogrametrik nirengi hesabında YKN doğruluğu.

Üretilcek Ortogörüntünün YÖA	YKN'nin Fotogrametrik Nirengi Hesabındaki Doğruluğu (KOH _x , KOH _y , KOH _z)	YKN'nin Doğruluğu (KOH _x , KOH _y , KOH _z)
10 cm	5 cm	1,66 cm
15 cm	7,5 cm	2,5 cm
30 cm	15 cm	5 cm
N cm	N/2 cm	N/3 cm

4.1.1.2 Konumsal veriler için yatay doğruluk standartları

Bu standart, sayısal ortogörüntü, sayısal planimetrik veri ve ölçekli planimetrik haritalar için yer örnekleme aralığı (YÖA) baz alınarak yatay doğruluk standardı belirtilmiştir. Ayrıca % 95 güven aralığındaki yatay doğruluk ve farklı ortogörüntülerden mozaik elde edilirken birleşim çizgisi (seamline) uyuşumu ile ilgili sınır da belirlenmiştir. Bu standartlar, yatay doğruluk sınıflarını KOH_x ve KOH_y değerleri bakımından tanımlamıştır (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Konumsal verinin yatay doğrulukları.

Yatay Doğruluk Sınıfı (cm)	KOH_x ve KOH_y (cm)	KOH_r (cm)	%95 Güven Aralığındaki Yatay Doğruluk (cm)	Ortogörüntü Mozaik Birleşim Çizgisi Uyuşumsuzluk Değeri (cm)
10 cm	10	14,10	24,50	20
15 cm	15	21,15	36,75	30
30 cm	30	42,30	73,50	60
N cm	$\leq N$	$\leq 1,41xN$	$\leq 2,45xN$	$\leq 2xN$

4.1.1.3 Sayısal ortogörüntülerde yatay doğruluk standartları

Hem yeni 2014 standardı ve 1990'daki eski standardı aynı KOH ölçüsünü kullanıyor olsa da doğruluk sınıflarını temsil etme kavramı üzerinde farklıdırlar. 1990'ın eski standardı, daha yüksek doğruluk için Sınıf 1'i ve daha düşük doğrulukla veri için Sınıf 2 ve Sınıf 3'ü kullanırken, yeni 2014 standardı herhangi bir sınıfa sınırlamadan KOH değerine göre harita doğruluğunu belirlemektedir.

ASPRS-2014 Yatay doğruluk standartlarına göre Sayısal Ortogörüntü Doğrulukları İçin Genişletilmiş Doğruluk Örnekleri piksel boyutu baz alınarak Çizelge 4.3'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.3 incelenirse, sayısal ortogörüntüler için yatay doğruluk standartlarının ifade edilmesinde 3 temel yatay doğruluk sınıflandırmasında doğruluk hesapları yapılmıştır.

KOH_x = X yönündeki yatay doğrusal KOH (Kuzey)

KOH_y = Y yönündeki yatay doğrusal KOH (Doğu)

Sınıf N, projeye uygun olan herhangi bir doğruluk sınıfını ifade eder. Örneğin; Sınıf 1'de KOH_x ve KOH_y değerleri piksel boyu ile 1'in çarpımına eşittir.

Çizelge 4.3. Ortogörüntüler için yatay doğruluk standartları.

Yatay Veri Doğruluk Sınıfları (cm)	KOH _x ve KOH _y (cm)	Ortogörüntü Mozaik Birleşim Çizgisi Maksimum Uyuşumsuzluk Değeri (cm)	Havai Nirengi veya INS bazlı KOH _x , KOH _y , KOH _z (cm)
I	10	20	5
II	20	40	10
III	30	60	15
N	Piksel Boyutu x N	Piksel Boyutu x 2N	Piksel Boyutu x 0.5N

Çizelge 4.3'de, 10 cm ila 30 cm arasında değişen üç farklı piksel boyutunda derlenen sayısal ortogörüntü için yatay doğruluk örnekleri ve diğer kalite kriterleri sunulmaktadır. Sayısal ortogörüntüler üretirken piksel boyutu asla kameradan elde edilen ham görüntülerin YÖA'nın % 95'inden az olmamalıdır. Ancak veri sağlayıcısı ve veri kullanıcısı mutabık kalmaları halinde herhangi bir orana kadar daha düşük bir yer örnekleme aralığına örneklenebilir. Örneğin; 15 cm YÖA'na sahip görüntülerden 30 cm piksel boyutuna sahip ortogörüntüler üretilir.

4.1.1.4 Yükseklik verilerinde düşey doğruluk standartları

Yükseklik verilerinde düşey doğruluk, arazinin bitki örtüsüne sahip olup olmadığına göre değerlendirilerek hesaplanır. Bitki örtüsü olan arazilerde yükseklik farkları ve hataları normal bir şekilde dağılmadığından dolayı % 95'lik değerlendirme istatistikleri kullanılarak düşey doğruluk hesaplanır. Bitki örtüsü olmayan arazilerde ise, yükseklik farkları ve hataları normal bir şekilde dağıldığından dolayı düşey doğruluk KOH istatistikleri kullanılarak hesaplanır.

Bitki örtüsü olmayan arazilerde % 95 güven aralığında mutlak düşey doğruluk, bitki örtüsü olmayan arazilerde düşey doğruluk KOH değerinin 1,96 ile çarpılması ile elde edilebilir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Sayısal yükseklik verisi için düşey doğruluk ve kalite örnekleri.

Düşey Doğruluk Sınıfı (YÖA)	Bitki Örtüsü Olmayan Alanlarda KOHz (cm)	%95 Güven Aralığında Bitki Örtüsü Olmayan Alanlarda KOHz (cm)	%95 Güven Aralığında Bitki Örtüsü Olan Alanlarda KOHz (cm)
10 cm	10	19,6	30
15 cm	15	29,4	45
30 cm	30	58,8	90
N cm	$\leq N$	$\leq 1,96 \times N$	$\leq 3.00 \times N$

Hava fotogrametrisinde, bir veri setindeki her bir noktanın doğruluğu büyük ölçüde kaynak görüntünün ölçeğine ve çözünürlüğüne bağlıdır.

4.1.1.5 Metrik kamera görüntülerinden üretilen ortogörüntü doğruluğu

Yatay doğruluk, ham görüntüdeki yer kontrol noktası ile değil üretilen sayısal ortogörüntünün piksel boyutu ile ilişkilidir. Sayısal ortogörüntü üretiminde kamera tarafından elde edilen görüntünün YÖA değeri, üretilecek sayısal ortogörüntünün piksel boyutunun % 95'inden fazla olmamalıdır. Aşırı dik arazilerde YÖA değerinin değişimini dikkate almak gerekmektedir. Kamera tarafından elde edilen görüntülerin YÖA değerinin planlanan piksel boyutunu aşmamasına dikkat edilmelidir (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Büyük ve orta formatlı metrik kameralar için sayısal ortogörüntü doğruluk örnekleri.

Ortogörüntü Piksel Büyüklüğü	Önerilen Yatay Doğruluk Sınıfları KOH _x ve KOH _y (cm)	Piksel Olarak KOH _x ve KOH _y Değerleri	Önerilen Kullanım Alanı
10 cm	$\leq 10,0$	≤ 1 piksel	Yüksek doğruluk gerektiren işler
	20	2 piksel	Standart haritalama ve CBS işleri
	$\geq 30,0$	≥ 3 piksel	Görüntüleme ve daha az doğruluklu işler
15 cm	$\leq 15,0$	≤ 1 piksel	Yüksek doğruluk gerektiren işler
	30	2 piksel	Standart haritalama ve CBS işleri
	$\geq 45,0$	≥ 3 piksel	Görüntüleme ve daha az doğruluklu işler
30 cm	$\leq 30,0$	≤ 1 piksel	Yüksek doğruluk gerektiren işler
	60	2 piksel	Standart haritalama ve CBS işleri
	$\geq 90,0$	≥ 3 piksel	Görüntüleme ve daha az doğruluklu işler
N cm	$\leq N$	≤ 1 piksel	Yüksek doğruluk gerektiren işler
	2N	2 piksel	Standart haritalama ve CBS işleri
	$\geq 3N$	≥ 3 piksel	Görüntüleme ve daha az doğruluklu işler

4.1.1.6 Yer kontrol noktası (YKN) ve fotogrametrik nirengi doğruluğu

Üretilen sayısal ortogörüntülerin doğruluğu; havai nirengi dengelemesi, IMU ve yer kontrol noktalarının doğruluğuna bağlı olarak değişim göstermektedir. Çizelge 4.6'da, ortogörüntü ve yükseklik verisi üretiminde YÖA'na göre havai nirengi dengelemesi ve YKN doğruluklarına ait gereksinimler belirtilmiştir.

Çizelge 4.6. Ortogörüntü ve yükseklik verisi üretiminde havai nirengi ve YKN doğruluğu gereksinimleri.

Ortogörüntü ve Yükseklik Verisi Doğruluğu	Havai Nirengi Doğruluğu		YKN Doğruluğu	
	KOHx ve KOHy (cm)	KOH _z (cm)	KOHx ve KOHy (cm)	KOH _z (cm)
10 cm	5 cm	10 cm	2,5 cm	5 cm
15 cm	7,5 cm	15 cm	3,75 cm	7,5 cm
30 cm	15 cm	30 cm	7,5 cm	15 cm
N cm	N/2 cm	N cm	N/4 cm	N cm

4.1.1.7 Yer kontrol noktası (YKN) ve kontrol noktası gereklilikleri

YKN ve kontrol noktalarının konumsal dağılımı, üretilecek olan coğrafi verinin doğruluğunun değerlendirilmesinde önemli bir rol oynar (Çizelge 4.7). İlk olarak, resim dönüklüklerinin değerlendirilerek dengelenmesi sırasında geometrinin gücü büyük ölçüde kontrol noktalarının sayısına ve bunların proje alanındaki dağılımına bağlıdır. İkinci olarak, kontrol noktası değerlendirmesi kontrol noktaları etrafında hata karakterizasyonu sağlar ve bu nedenle kontrol noktalarının dağıtılması tüm proje alanının yeterli bir temsilini elde etmek için şarttır. Her iki durum için de, kullanabileceğimiz kadar çok sayıda YKN'nin kullanılması ve dağılımının iyi yapılması gerekmektedir. Arazi şartları, erişim kısıtı, arazi örtüsü ve en önemlisi ekonomik olarak bazı zorluklar bunlara engel olabilmektedir.

Çizelge 4.7. Proje alanı büyüklüğüne göre DN sayısı gereksinimleri.

Proje Alanı (km ²)	Ortogörüntü Yatay Doğruluk	Yükseklik Verisi Yatay ve Düşey Doğruluk		
	Toplam Denetleme Noktası Sayısı	Bitki Örtüsü Olmayan Alanlarda Denetleme Noktası Sayısı	Bitki Örtüsü Olan Alanlarda Denetleme Noktası Sayısı	Toplam Denetleme Noktası Sayısı
≤500	20	20	5	25
501-750	25	20	10	30
751-1000	30	25	15	40
1001-1250	35	30	20	50
1251-1500	40	35	25	60
1501-1750	45	40	30	70
1751-2000	50	45	35	80

4.2 Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY)

Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği, ülke genelinde büyük ölçekli (1/5000 ve daha büyük) harita ve harita bilgisinin üretiminde standartların belirlenmesini amaçlamaktadır (T.C. Resmi Gazete, 2018).

BÖHHBÜY kapsamında; harita terimlerinin tanımları, kısaltmaları, kontrol noktalarının sınıflandırılması ve numaralandırılması ile ilgili esaslar bulunmaktadır. Ayrıca harita ve harita bilgileri üretimi aşamalarından olan jeodezik çalışmalar, detay ölçmeleri, fotogrametrik çalışmalar, çizim işleri, dönüşümler, uygulama işleri, kontrol işleri, arşivleme, telif hakları ve koordinasyon çalışmalarında hükümler belirtilmiştir.

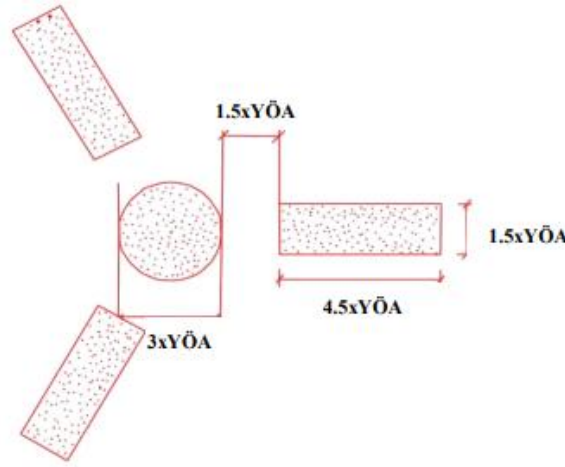
4.2.1 Fotogrametrik çalışmalar

BÖHHBÜY'nin Fotogrametrik Çalışmalar bölümünde fotogrametrik çalışmalarda kullanılacak olan YKN'lerin en az C3 seviyesinde ağ özelliğinde tesis edilerek ölçülmesi ve hesaplanması gerektiği belirtilmektedir.

Hava fotoğraflarının metrik hava kameraları ile çekilmesi ve yöneltme işlemlerinde aşağıdaki üç yöntemin hangi şartlarda kullanılacağına dair idarenin karar vereceği belirtilmektedir.

- Klasik nirengi
- Kinematik-GNSS destekli nirengi
- GNSS-IMU destekli fotogrametrik nirengi

Yer kontrol ve denetleme noktaları ile ilgili olarak GNSS destekli fotogrametrik nirengi yöntemlerinde; bloğun köşelerinde en az ikişer adet olmak üzere toplam sekiz adet YKN tesis edilir. YKN'ler hava işareti olacak şekilde tesis edilir (Şekil 4.2). Bu noktaların haricinde yerleri ve sayıları idarece belirlenen bloğun kenarlarında ve içerisinde eklenebilir. Klasik fotogrametrik nirengi yönteminde blok çevresinde resim çekim bazının iki katı, blok içinde de resim çekim bazının dört katı aralıkları geçmeyecek şekilde en az birer adet YKN belirlenir. Bir fotogrametrik blokta kullanılan YKN sayısının en az % 30'u kadar denetleme noktaları tesis edilir ve bu sayı dört adetten az olmamalıdır. (T.C. Resmi Gazete, 2018)



Şekil 4.2. Fotogrametrik yer işareti boyut ve şeklinin gösterimi (URL-12).

Yer örnekleme aralıkları, üretilecek harita ve ortogörüntü ölçeğine göre belirlenir. Hava kameralarından elde edilecek hava fotoğraflarının yer örnekleme aralığı, harita ve ortogörüntü ölçeğinin ne olacağına dair örnekler aşağıdaki yer almaktadır.

- 1/5000 olması durumunda 30 cm'den,
- 1/2000 olması durumunda 20 cm'den,
- 1/1000 olması durumunda 10 cm'den,

Uçuş koşullarından kaynaklanan yer örnekleme aralığındaki $\pm$ %10'a kadar olan değişimler kabul edilir (T.C. Resmi Gazete, 2018).

Uçuş planı hazırlanırken, bindirme oranlarının ve ölçek farklılıklarının kontrol edilebilmesi için sayısal arazi modelleri kullanılır. İleri bindirme oranı en az % 70, enine bindirme oran en az % 30 olarak planlanır. Eğer gerçek ortogörüntü üretimi yapılacaksa hava fotoğrafları bindirme oranları % 80 ileri bindirme ve % 60 yan bindirme olmalıdır. Kinematik GNSS veya GNSS-IMU'lu uçuşlarda, kinematik sabit yer istasyonu olarak hava fotoğrafı çekilen bölgenin ortasına yakın yerde belirlenen bir noktaya tesis edilmelidir. Bunun yanında TUSAGA-Aktif istasyonları da tercih edilebilir. Kullanılan sabit yer istasyonu veya TUSAGA-Aktif istasyonu ile uçak arasındaki baz mesafesi herhangi bir noktada 40 km'yi geçemez (T.C. Resmi Gazete, 2018).

Hava fotoğrafı çekiminde; çerçeve veya süpürme yöntemi ile görüntü elde eden metrik kameralar kullanılabilir. Süpürme yöntemini kullanan kameralar GNSS-IMU sistemini kullanılmalıdır. Metrik hava kameralarının görüntü yürümesini düzeltici bir sisteme sahip olması gerektirmektedir. Hava kamerasının radyometrik çözünürlüğü en az 8 bit olmalıdır.

Hava fotoğrafı çekiminin planlanan biçimde gerçekleştirilmesi için GNSS denetimli uçuş sisteminden de yararlanılır. Üretilecek harita ölçeğine ve YÖA'na göre uçuş yüksekliği ve bindirme oranları belirlenir (T.C. Resmi Gazete, 2018).

Elde edilen hava fotoğraflar her bir bant için en az 8 bit (256 gri düzeyi) radyometrik çözünürlüğünde olmalıdır. Geometrik doğruluk $\pm$ 3 mikrometre (dahil)'den daha iyi olmalıdır.

Fotogrametrik nirengide, bloklar mümkün olduğunca kare veya düzgün dikdörtgen biçimde oluşturulur. Uçuşlarda GNSS-IMU sisteminin kullanılması durumunda bu sistemlerle elde edilecek fotoğraflara ait dengelenmemiş resim dış yöneltme parametreleri elde edilir. Otomatik ya da yarı otomatik eşleştirme algoritmaları piksel büyüklüğünün üçte biri veya daha yüksek doğrulukta eşleştirme işlemini gerçekleştirmelidir.

Fotogrametrik nirengi ölçüleri bloklar halinde dengelenerek fotoğrafların dış yöneltme elemanları bulunur. Blok dengeleme sonucunda, denetleme noktalarının karesel ortalama hataları X ve Y koordinatlarında $\pm 0,75 \times YÖA$ (dahil)'dan ve Z

koordinatında $\pm 1 \times Y\ddot{O}A$ (dahil)’dan küçük olmalıdır. Denetleme noktalarında maksimum farklar; X ve Y koordinatlarında $\pm 1,5 \times Y\ddot{O}A$ (dahil)’dan ve Z koordinatında $\pm 2 \times Y\ddot{O}A$ (dahil)’dan küçük olmalıdır (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9. Blok dengelemesi sonrası denetleme noktaları doğrulukları.

YÖA	Blok Dengelemesi Sonrası Denetleme Noktaları Doğrulukları		
	KOH _x	KOH _y	KOH _z
10 cm	$\pm 7,5$ cm	$\pm 7,5$ cm	± 10 cm
15 cm	$\pm 11,25$ cm	$\pm 11,25$ cm	± 15 cm
30 cm	$\pm 22,5$ cm	$\pm 22,5$ m	± 30 cm
N cm	$\pm 0,75 \times N$ cm	$\pm 0,75 \times N$ cm	$\pm 1 \times N$ cm

Sayısal hava kameraları kullanıldığı takdirde ortogörüntüler, hedeflenen harita ölçeğinin gerektirdiği YÖA’da üretilir. Ortogörüntü üretiminde sayısal arazi modeli kullanılır. İki veya daha fazla ortogörüntünün birleştirilmesi (mozaikleme) durumunda ortak alanda radyometrik düzeltme yapılmalıdır. Mozaiklemedeki ortogörüntüler arasındaki kayıklık en fazla $\pm 2 \times Y\ddot{O}A$ kadar olmalıdır (Çizelge 4.10) (T.C. Resmi Gazete, 2018).

Çizelge 4.10. Ortogörüntü mozaik birleşim çizgisi doğruluğu.

YÖA	Ortogörüntü Mozaik Birleşim Çizgisi Maksimum Uyuşumsuzluk	
	KOH _x	KOH _y
10 cm	± 20 cm	± 20 cm
15 cm	± 30 cm	± 30 cm
30 cm	± 60 cm	± 60 cm
N cm	$\pm 2 \times N$ cm	$\pm 2 \times N$ cm

5.UYGULAMA

Yer Örnekleme Aralığı (YÖA) = 10 cm olacak şekilde metrik olmayan sayısal kamera monte edilmiş İHA kullanılarak Havadan Görüntü Alımı, DSM, Nokta Bulutu ve Sayısal Renkli True (Gerçek) Ortofoto Üretimi kapsamında çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

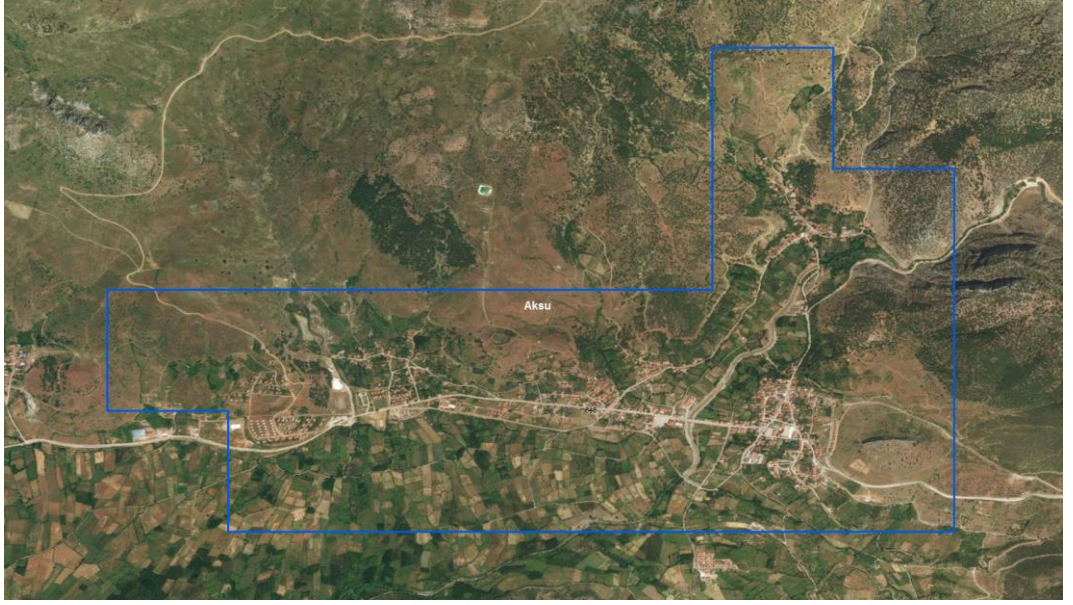
Çalışmalar kapsamında aşağıdaki işlem adımları gerçekleştirilmiştir;

- Çalışma alanının belirlenmesi
- Yer Kontrol Noktaları Ağı Tasarımı
- Yer Kontrol Noktaları Ağının Tesisi
- YKN Ağının Ölçümü ve Değerlendirilmesi
- GNSS Verilerinin Çözümlemesi, YKN'lerin Koordinatlarının Hesaplanması
- Havadan Görüntü Alımı ve Ham Verilerin İşlenmesi
- Fotogrametrik Nirengi İşlemleri
- Sayısal Yüzey Modeli ve Gerçek Ortogörüntü Üretimi
- Sonuç Ürünlerin Kontrol İşlemi

Çalışma alanının belirlenmesi

İlk aşamada, projenin uygulanacağı çalışma alanının sınırları büro ortamında altlık görüntü üzerinden belirlenmiştir. Bu sınırlar genel olarak 1/1000, 1/5000 veya 1/25000 ölçekli paftalara göre bölünerek belirlenebilir.

Isparta ili Aksu ilçe merkezinde belirlemiş olduğumuz alan içerisinde kentsel yerleşim alanları, tarım alanları, ağaçlık alanlar ve dağlık alanlar yer almaktadır (Şekil 5.1).

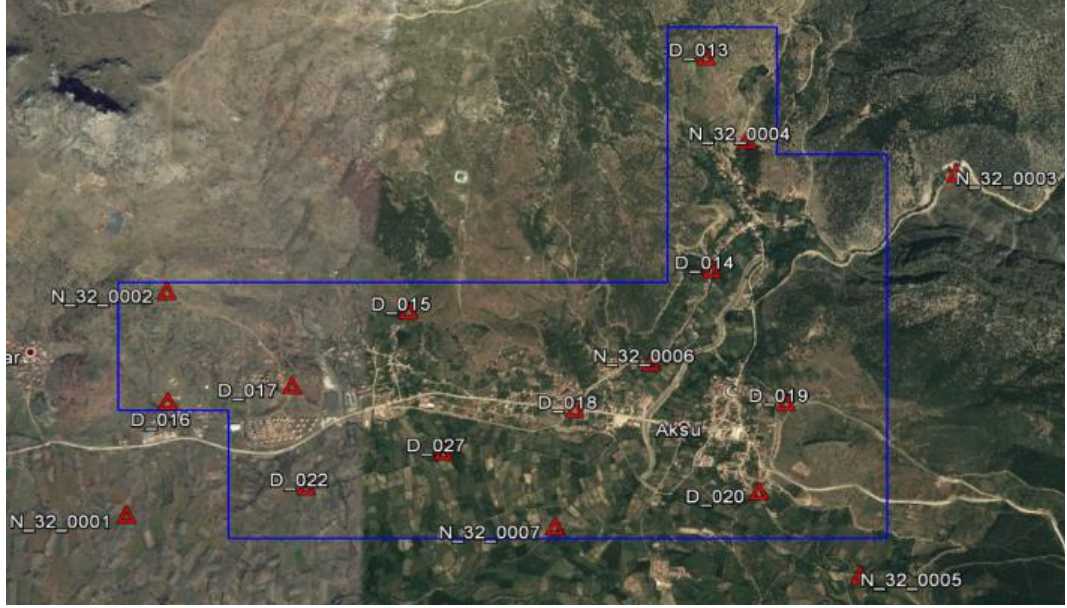


Şekil 5.1. Çalışma alanı (Isparta-Aksu).

Yer kontrol noktaları ağı tasarımı

Sınırlarını belirlediğimiz çalışma alanının büyüklüğüne göre fotogrametrik blok oluşturulmuştur. Eğer projede tek bir fotogrametrik blok düşünülürse genelde çalışma alanı ile aynı sınırdadır. Oluşturduğumuz fotogrametrik blokta yeterli sayıda ve bloğun geneline uygun bir şekilde dağılmış yer kontrol noktaları Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliğine (BÖHHBÜY) göre tasarlanmıştır. Hava fotoğraflarının çekimi sırasında Kinematik GNSS yöntemi kullanılacak olması nedeniyle yer kontrol noktalarının tasarımına dikkat edilmiştir. Yer kontrol noktaları numaraları BÖHHBÜY esaslarına göre verilmiştir.

Bu çalışmada blok geneline uygun bir şekilde dağılmış olarak 17 adet yer kontrol noktasının çalışma alanına tesis edilmesi planlanmıştır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Çalışma alanı YKN dağılımı.

Yer kontrol noktaları ağıнын tesisi

Daha öncesinden planladığımız ağı oluşturan 17 adet yer kontrol noktası, fotogrametrik çalışma yapacağımızdan dolayı hava işaretleri şeklinde tesis edilmiştir. Yer kontrol noktaları ağı tasarımında, planlamış olduğumuz yerlerde hava işaretleri tesisi sırasında gökyüzü görüşü açık olan, en az 60° lik bir görüş açısına sahip ve bu görüş konisi içerisinde bina, ağaç, direk gibi herhangi bir engel olmayan yerler olmasına dikkat edilmiştir.

Tesis edilen bütün noktalar BÖHHBÜY esaslarına göre röperlenerek krokileri hazırlanmıştır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Hava işareti şeklinde tesis edilen YKN'ler.

YKN ağıının ölçümü ve değerlendirilmesi

Proje alanında öncelikli olarak uygun konumda tesisleri tamamlanmış yer kontrol noktaları, C1 derece nokta hassasiyetinde jeodezik GNSS alıcılarla statik yöntem ve sabit anten boyu kullanılarak, TUSAGA-Aktif istasyonlarına bağlı olarak ölçülmüştür. Bu noktalara bağlı olarak proje alanındaki diğer noktalar C3 ve detay noktaları C4 Derece nokta hassasiyetinde, jeodezik GNSS alıcıları ile statik yöntem ve sabit anten boyu kullanılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Hesaplamalar, Leica Geo Office yazılımında GRS1980 elipsoid datumu kullanılarak 3 derecelik Türkiye Ulusal Referans Sistemi (TUREF) 2005 epogunda yapılmıştır.

GNSS verilerinin çözümlenmesi, YKN'lerin koordinatlarının hesaplanması

GNSS ölçümlerine ait elde edilen ham ve RINEX verilerin çözümlenmeleri yapıp dengelenerek yer kontrol noktaları koordinatları hesaplanmıştır. Arazide ölçülen GNSS statik verileri Leica Geo Office yazılımında process edilerek ITRF96 datumunda ve 2005.0 referans epokta dengelenmiştir.

Helmert ortometrik yükseklik belirleme işlemlerinde, BÖHHBÜY'nün 41. madde a bendinde belirtilen yöntem kullanılmıştır. Bölgeye yakın olan ve kurumlar tarafından onaylanmış yürürlükte olup aktif olarak kullanılan jeodezik veriler detaylı olarak incelenmiştir. Yükseklik bilgileri ya direkt ölçü yöntemi ile ya da GPS nivelmanı ile belirlenmiş noktaların kullanımı mümkün olduğunca sağlanmıştır.

Yer kontrol noktalarının ortometrik yüksekliklerini belirlemek için YKN'lere GPS nivelman güzergahı tanımlanarak GPS nivelman güzergahı Helmert ortometrik Yüksekliği bilinen noktalara dayalı dengeleme işlemi yapılmıştır.

Yer kontrol noktalarının RTK ölçümleri ile statik ölçümler sonrasında çözümlenen verilerden elde edilen koordinatlar 2005 epoguna kaydırılarak karşılaştırılmıştır (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1. YKN'lerin yatay doğruluk istatistikleri.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
Point number	Point description	x (independent)	x (test)	diff in x	(diff in x) ²	y (independent)	y (test)	diff in y	(diff in y) ²	((diff in x) ² + (diff in y) ²)	
N 32 0003	N 32 0003K	4187140.350	4187140.356	-0.006	0.000	595547.240	595547.251	-0.011	0.000	0.000	
N 32 0014	N 32 0014K	4201978.537	4201978.527	0.010	0.000	557591.140	557591.151	-0.011	0.000	0.000	
N 32 0015	N 32 0015K	4202654.055	4202654.107	-0.051	0.003	554915.366	554915.360	0.006	0.000	0.003	
N 32 0018	N 32 0018K	4198896.516	4198896.490	0.026	0.001	557528.484	557528.528	-0.045	0.002	0.003	
N 32 0030	N 32 0030K	4198687.778	4198687.778	0.000	0.000	575107.937	575107.932	0.006	0.000	0.000	
N 32 0058	N 32 0058K	4202889.735	4202889.725	0.011	0.000	527617.062	527617.043	0.019	0.000	0.000	
N 32 0070	N 32 0070K	4179956.908	4179956.889	0.019	0.000	552112.538	552112.535	0.003	0.000	0.000	
N 32 0072	N 32 0072K	4179267.619	4179267.630	-0.011	0.000	552656.523	552656.551	-0.028	0.001	0.001	
N 32 0076	N 32 0076K	4185149.294	4185149.252	0.042	0.002	549923.464	549923.458	0.006	0.000	0.002	
N 32 0081	N 32 0081K	4183790.470	4183790.499	-0.028	0.001	546238.435	546238.428	0.007	0.000	0.001	
N 32 0085	N 32 0085K	4186615.750	4186615.742	0.008	0.000	546265.615	546265.604	0.011	0.000	0.000	
N 32 0106	N 32 0106K	4222159.042	4222159.034	0.008	0.000	623080.612	623080.652	-0.039	0.002	0.002	
N 32 0132	N 32 0132K	4242777.636	4242777.588	0.048	0.002	604320.548	604320.572	-0.024	0.001	0.003	
N 32 0135	N 32 0135K	4240530.620	4240530.637	-0.017	0.000	602730.925	602730.929	-0.004	0.000	0.000	
										sum	0.015
										average	0.001
										RMSE	0.033
										NSSDA	0.057

Proje alanı için YKN ve Dayanak Noktaları ile yüzey parametreleri N-Gerçek (Kesin Elipsoid Yükseklik-Kesin Ortometrik Yükseklik) değerleri kullanılarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.2. YKN'lerin düşey doğruluk istatistikleri.

A Point number	B Point description	C z (independent)	D z (test)	E diff in z	F (diff in z) ²
N_32_0003	N_32_0003K	1284.301	1284.314	-0.012	0.000
N_32_0014	N_32_0014K	1056.543	1056.560	-0.017	0.000
N_32_0015	N_32_0015K	1097.199	1097.222	-0.023	0.001
N_32_0018	N_32_0018K	996.482	996.511	-0.030	0.001
N_32_0030	N_32_0030K	1305.334	1305.360	-0.026	0.001
N_32_0058	N_32_0058K	1175.320	1175.307	0.012	0.000
N_32_0070	N_32_0070K	1027.878	1027.909	-0.032	0.001
N_32_0072	N_32_0072K	1116.109	1116.132	-0.023	0.001
N_32_0076	N_32_0076K	1025.457	1025.467	-0.010	0.000
N_32_0081	N_32_0081K	1106.563	1106.603	-0.040	0.002
N_32_0085	N_32_0085K	1066.255	1066.294	-0.039	0.002
N_32_0106	N_32_0106K	1300.582	1300.624	-0.042	0.002
N_32_0132	N_32_0132K	1213.785	1213.809	-0.024	0.001
N_32_0135	N_32_0135K	1124.275	1124.305	-0.030	0.001
				sum	0.011
				average	0.001
				RMSE	0.028
				NSSDA	0.054

Havadan görüntü alımı ve ham verilerin işlenmesi

Bu çalışmada havadan görüntü alımında Quest UAV Q200 marka insansız hava aracı kullanılmıştır (Şekil 5.4). İHA yaklaşık 5 kilogram olup 1500 metre maksimum yükseklikten uçuş ve ortalama 60 dakika havada kalma süresine sahiptir.



Şekil 5.4. Quest UAV Q200 marka insansız hava aracı (URL-13).

Fotoğraf alımında kamera olarak Sony-A600 SLR dijital kamera kullanılmıştır (Şekil 5.5). Sony-A600 SLR kamera, 24 megapiksel çözünürlüğünde ve 6000x4000 piksel boyutunda fotoğraf elde etme yeteneğine sahiptir. Uçuş boyunca cihaz üzerinde entegre olarak bulunan GPS sayesinde RTK ölçümüyle fotoğraf koordinatları elde edilmiştir.



Şekil 5.5. Sony-A600 SLR kamera (URL-14).

Proje alanını kapsayacak 10 cm YÖA için araziden yaklaşık 500 m irtifada uçuş gerçekleştirilmiştir. Uçuşta % 85 ileri - % 70 yan bindirme oranını sağlayacak şekilde toplam 23 kolonda 760 resim elde edilmiştir (Şekil 5.6).

İHA'da bulunan GPS alıcısı ile tasarlanan uçuş planına uygun olarak yöneltme elemanlarının doğrudan belirlenmesi amacı ile bulunan IMU ve INS yardımı ile havadan görüntü alımı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler 8-bit (RGB) JPG formatında görüntü işleme yazılıma aktarılmıştır.



Şekil 5.6. Çalışma alanı havadan görüntü alımı fotoğraf konumları.

Uçuşta elde edilen resimlerin GPS-IMU değerleri ile YÖA, enine ve boyuna bindirme oranları kontrol edilmiştir (Çizelge 5.3). Yapılan kontrollerde uçuş öncesi planlandığı şekilde YÖA ve bindirme oranlarının kabul edilebilir değer aralığında olduğu görülmüştür (Çizelge 5.4), (Çizelge 5.5).

Çizelge 5.3. Yer örnekleme aralığı kontrol tablosu.

GERÇEKLEŞEN					GSD (cm)	md.16.2 gereği (± 2 cm)
Görüntü No	Sağa	Yukarı	Arazi Yükseklği	Uçuş Yükseklği		
DSC00045	594909.455	4185068.744	1242.681	1701.179	8.74	UYGUN
DSC00046	594903.735	4185132.775	1247.649	1702.537	8.67	UYGUN
DSC00047	594906.620	4185198.843	1253.753	1703.448	8.57	UYGUN
DSC00048	594909.161	4185258.453	1263.492	1703.808	8.39	UYGUN
DSC00049	594909.257	4185328.881	1276.352	1703.743	8.14	UYGUN
DSC00050	594907.878	4185386.748	1287.673	1703.530	7.92	UYGUN
DSC00051	594906.685	4185450.183	1304.083	1703.605	7.61	UYGUN
DSC00052	594905.179	4185512.372	1320.497	1703.572	7.30	UYGUN
DSC00053	594906.309	4185575.803	1335.979	1703.334	7.00	UYGUN
DSC00054	594908.124	4185643.262	1345.632	1703.025	6.81	UYGUN
DSC00055	594907.659	4185700.625	1339.092	1703.343	6.94	UYGUN
DSC00056	594905.664	4185765.082	1315.299	1703.286	7.39	UYGUN
DSC00057	594904.841	4185828.789	1294.509	1702.579	7.78	UYGUN

Çizelge 5.4. Boyuna bindirme kontrol tablosu.

BOYUNA BİNDİRME KONTROLLERİ						%80	
GERÇEKLEŞEN						Gerçekleşen Bindirme Oranı	md.17.5 gereği (± 5)
Strip No	Görüntü No	Sağa	Yukarı	Uçuş Yüksekliği	Boyuna Baz (b)		
	DSC00004	595049.955	4187365.552	1702.828			
	DSC00005	595076.336	4187311.537	1700.147	60.11	84.97%	UYGUN
	DSC00006	595060.146	4187252.277	1701.247	61.43	84.64%	UYGUN
	DSC00007	595050.379	4187192.353	1703.367	60.72	84.82%	UYGUN
	DSC00008	595049.227	4187127.150	1703.833	65.21	83.70%	UYGUN
	DSC00009	595051.239	4187065.453	1703.147	61.73	84.57%	UYGUN
	DSC00010	595055.185	4187002.706	1703.263	62.87	84.28%	UYGUN
	DSC00011	595058.496	4186938.624	1702.823	64.17	83.96%	UYGUN
	DSC00012	595059.182	4186876.944	1703.229	61.68	84.58%	UYGUN
	DSC00013	595058.339	4186803.498	1703.753	73.45	81.64%	UYGUN
	DSC00014	595057.966	4186751.163	1703.686	52.34	86.92%	UYGUN
	DSC00015	595056.628	4186689.735	1702.026	61.44	84.64%	UYGUN
	DSC00016	595061.771	4186626.760	1703.332	63.18	84.20%	UYGUN
	DSC00017	595064.594	4186565.494	1702.473	61.33	84.67%	UYGUN
	DSC00018	595063.512	4186500.861	1703.563	64.64	83.84%	UYGUN
	DSC00019	595061.632	4186438.196	1703.034	62.69	84.33%	UYGUN

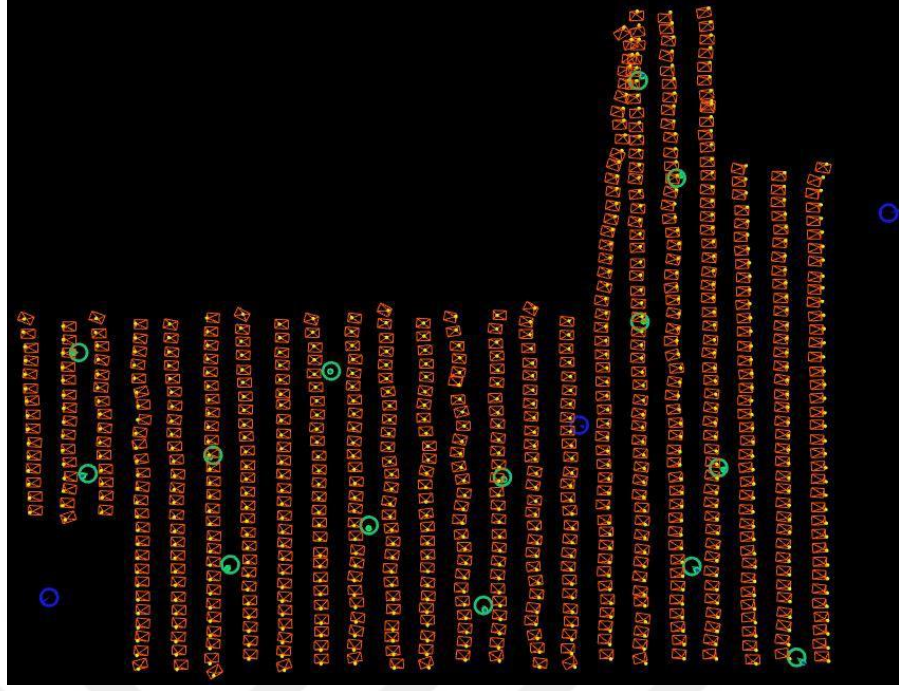
Çizelge 5.5. Enine bindirme kontrol tablosu.

ENİNE BİNDİRME KONTROLLERİ									%60	
GERÇEKLEŞEN									Gerçekleşen Bindirme Oranı	md.17.5 gereği (± 5)
Strip No	Görüntü No	Sağa	Yukarı	Strip No	Görüntü No	Sağa	Yukarı	Enine Baz (b)		
1	DSC00004	595049.955	4187365.552	2	DSC00082	594849.181	4187382.622	201.498	66.42%	UYGUN
	DSC00005	595076.336	4187311.537		DSC00081	594882.588	4187338.568	195.624	67.40%	UYGUN
	DSC00006	595060.146	4187252.277		DSC00080	594884.937	4187272.385	176.359	70.61%	UYGUN
	DSC00007	595050.379	4187192.353		DSC00079	594883.662	4187210.326	167.683	72.05%	UYGUN
	DSC00008	595049.227	4187127.150		DSC00078	594883.973	4187149.114	166.708	72.22%	UYGUN
	DSC00009	595051.239	4187065.453		DSC00077	594887.470	4187084.607	164.885	72.52%	UYGUN
	DSC00010	595055.185	4187002.706		DSC00076	594891.060	4187026.457	165.835	72.36%	UYGUN
	DSC00011	595058.496	4186938.624		DSC00075	594889.942	4186963.957	170.446	71.59%	UYGUN
	DSC00012	595059.182	4186876.944		DSC00074	594887.293	4186895.047	172.840	71.19%	UYGUN
	DSC00013	595058.339	4186803.498		DSC00073	594887.687	4186832.057	173.025	71.16%	UYGUN
	DSC00014	595057.966	4186751.163		DSC00072	594890.065	4186772.737	169.281	71.79%	UYGUN
	DSC00015	595056.628	4186689.735		DSC00071	594893.397	4186710.608	164.561	72.57%	UYGUN
	DSC00016	595061.771	4186626.760		DSC00070	594895.429	4186650.186	167.983	72.00%	UYGUN
	DSC00017	595064.594	4186565.494		DSC00069	594896.078	4186581.480	169.272	71.79%	UYGUN
	DSC00018	595063.512	4186500.861		DSC00068	594895.387	4186522.146	169.467	71.76%	UYGUN
	DSC00019	595061.632	4186438.196		DSC00067	594895.170	4186457.458	167.573	72.07%	UYGUN

Fotogrametrik nirengi işlemleri

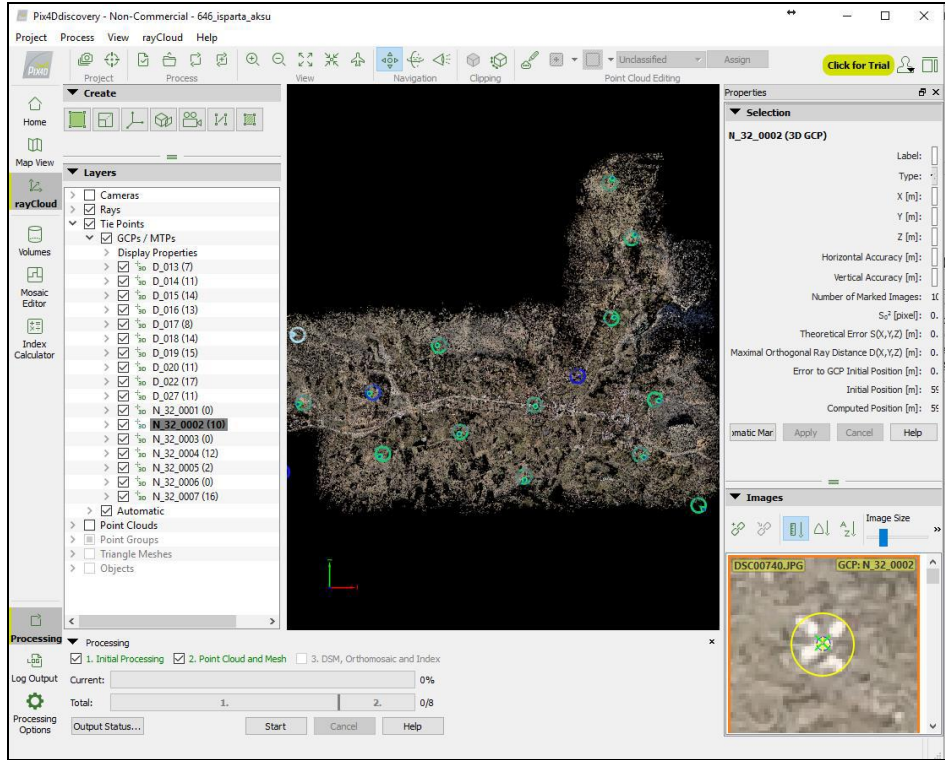
İHA fotogrametrisinde kullanılan SFM yönteminde temel işlem adımları olan özellikleri (detay noktaları) ortaya çıkarma, özellikleri eşleme adımlarını Pix4D yazılımında gerçekleştirip fotoğrafların meta verisi içerisinde yer alan GPS koordinatlarını kullanarak demet dengelemesi yapılmıştır (Şekil 5.7).

Fotoğrafların çekildiği anın modellenmesi yapılarak ayrıca düşük yoğunluklu nokta bulutu üretimi gerçekleştirilmiştir.



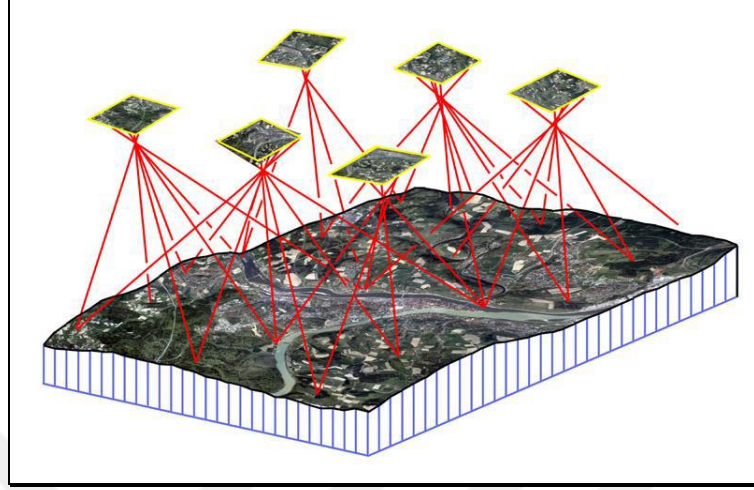
Şekil 5.7. Fotogrametrik nirengi öncesi bloğun yapısı.

Fotogrametrik dengeleme işleminde, Pix4D yazılımı ile tesis etmiş olduğumuz YKN'lerin geometrik dönüşüm (koordinatlandırma) işlemleri yapılmıştır (Şekil 5.8). Ön dengeleme işlemi sonucunda YKN işaretlemelerinden kaynaklanan kalıntı hatalar kontrol edilerek okumalar yinelenmiştir.



Şekil 5.8. Havai nirengi işleminde YKN'lerin işaretlenmesi.

Sonuç dengeleme işlemi ile resim orta nokta koordinatları (x , y , z) ve yöneltme bilinmeyenleri (ω , Φ , κ) hesaplanmıştır. Dengeleme işleminde ışın demetleri yöntemi kullanılmıştır (Şekil 5.9).



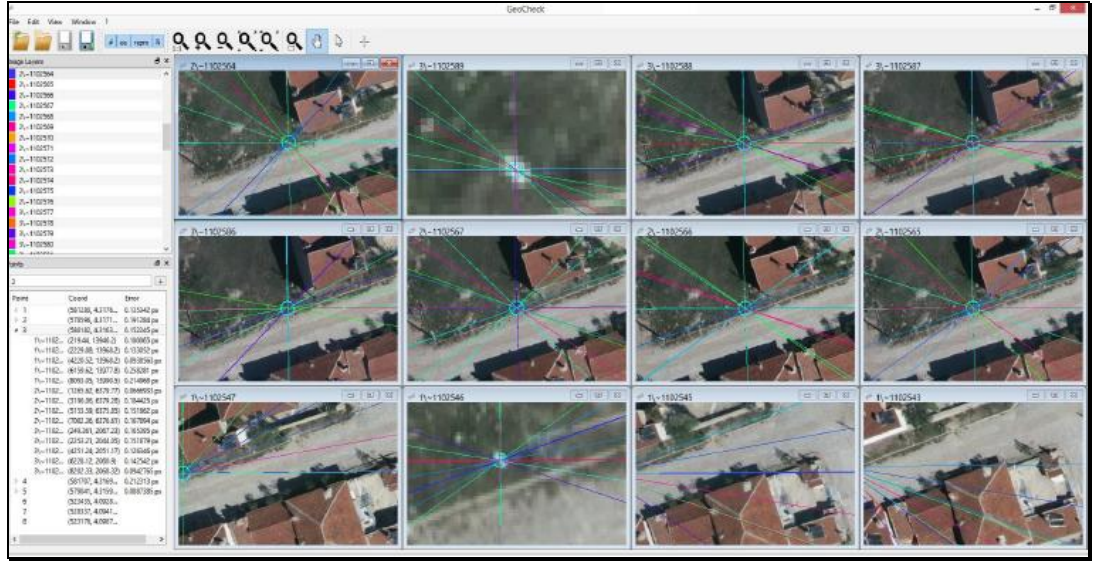
Şekil 5.9. Işın demetleriyle blok dengeleme temel prensibi (URL-15).

Denetleme noktaları, fotogrametrik nirengi sırasında dengeleme işlemine dahil edilmemektedir. Dengeleme sonrasında doğruluğu test etmede kullanılan noktalardır.

Fotogrametrik nirengi dengeleme kontrolü işleminde, blok yapısına uygun dağılımlı yerlerden seçilen yer kontrol noktaları denetleme noktaları olarak belirlenip hesaba katılmayarak tekrar dengeleme işlemi yapılmıştır. Daha sonra yeni hesap üzerinden denetleme noktaları okumaları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca proje alanına düşen TUTGA, C1 ve C2 derece ağ noktaları da denetleme noktaları olarak alınıp nokta okumaları yapılmıştır.

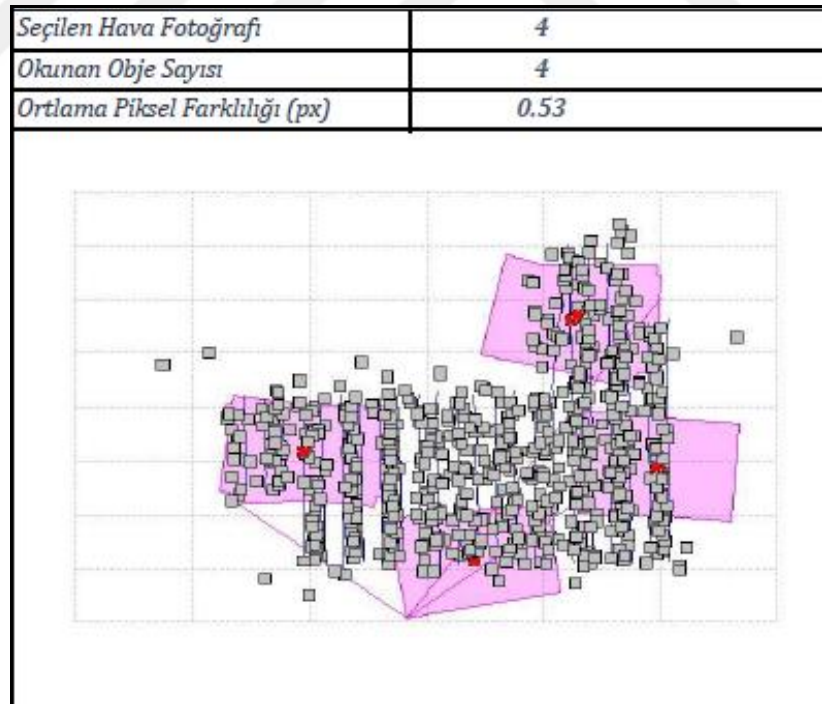
Epipolar kontrol

Blok dengelemesi sonucunda, İHA ile elde edilen görüntülerdeki piksellerin geometrik doğruluğunun tespiti için Geotcheck yazılımı kullanılmıştır. Blok içinde homojen dağılımdaki görüntülerden ortak objeler seçilerek işaretlemesi yapılmıştır (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Bir objenin farklı fotoğraflarda işaretlenmesi.

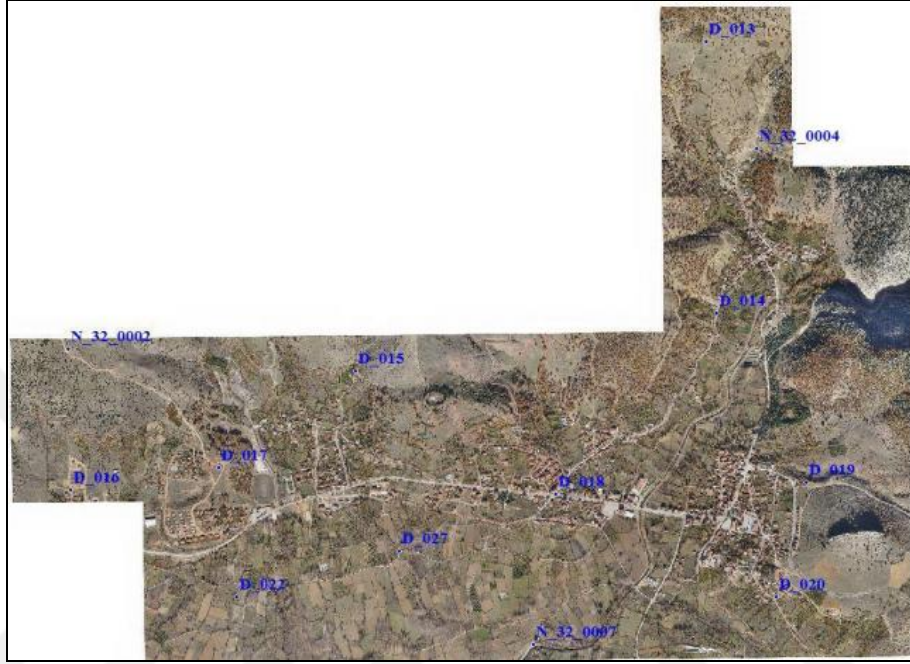
Model alanında işaretlenmiş ortak objelerin, her bir görüntü üzerindeki piksel farklılıkları (<1 piksel = 10 cm) belirlenerek epipolar kontrol işleri yapılmıştır. Kontrol sonrasında ortalama piksel farklılık değerlerinin 1 piksel altında olduğu görülmüştür (Şekil 5.11).



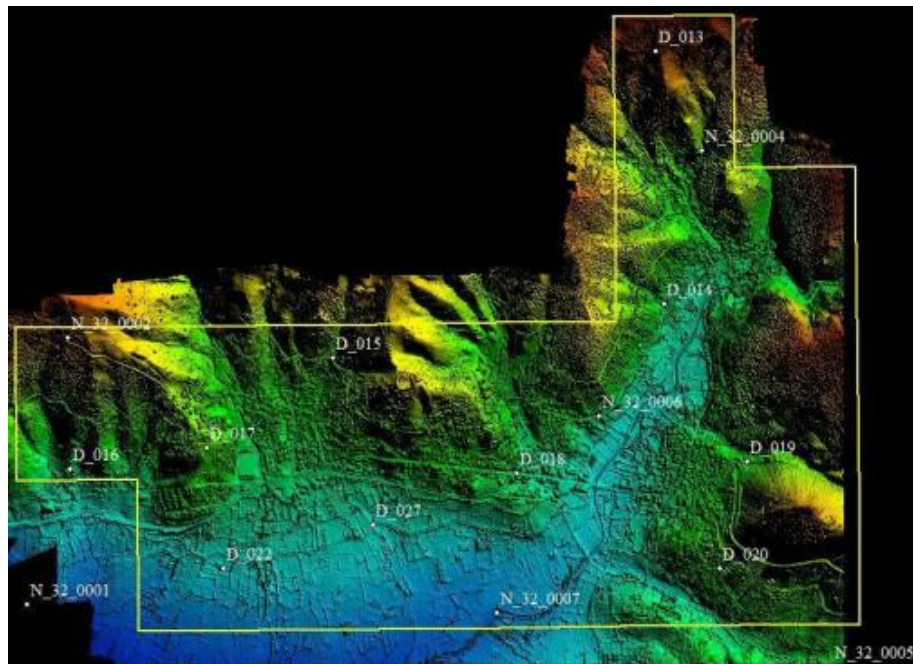
Şekil 5.11. Epipolar kontrolü sonucu.

Sayısal yüzey modeli ve gerçek ortogörüntü üretimi

Dengelenmiş dış yöneltme parametreleri, kamera parametreleri ve hava fotoğrafları ile dengeleme sonucunda oluşturulan yüzey modeli kullanılarak Pix4D yazılımında görselleştirme ürünleri olan sayısal yüzey modeli ve gerçek ortogörüntü üretimi tamamlanmıştır (Şekil 5.12), (Şekil 5.13).



Şekil 5.12. Üretilen gerçek ortogörüntü .



Şekil 5.13. Üretilen sayısal yüzey modeli.

Sonuç ürünleri kontrol işlemleri

Sayısal yüzey modeli verisinin konum doğruluğunun kontrolü için Global Mapper yazılımı kullanılmıştır. Bu işlemin amacı, üretilen sayısal yüzey modeli ile girdi verilerinde mevcut olan ortometrik yüksekliklerin farklarının alınmasıdır.

Proje sınırı içerisine düşen, kurumlar (İlbank, TKGM, DSİ) tarafından onaylanmış noktalar ile projede kullanmış olduğumuz YKN'lerin üretmiş olduğumuz sayısal yüzey modeli üzerinden koordinat okumaları gerçekleştirilmiştir. DN ve YKN'lerin sayısal yüzey modeli üzerinden alınan yükseklik değerleri ile onaylı yükseklik değeri arasındaki farklar hesaplanmıştır (Çizelge 5.5). Bu okumalar sonrasındaki farkların YÖA=10 cm altında oldukları ve kontrol işlemi sonuçlarının uygun oldukları görülmüştür.

Çizelge 5.5. Sayısal yüzey modeli doğruluk kontrolü tablosu.

NOKTA ADI	SAĞA	YUKARI	DSM_H.ORT	H.ORT	H.ORT FARK	TEST
D_013	594287.452	4187759.969	1393.244	1393.354	-0.110	UYGUN
D_014	594328.569	4186606.272	1234.224	1234.223	0.001	UYGUN
D_015	592810.182	4186364.612	1276.479	1276.341	0.138	UYGUN
D_016	591609.024	4185857.543	1231.905	1231.839	0.066	UYGUN
D_017	592231.613	4185952.135	1274.345	1274.507	-0.162	UYGUN
D_018	593651.210	4185839.976	1231.200	1231.341	-0.141	UYGUN
D_019	594708.932	4185889.501	1258.971	1258.964	0.007	UYGUN
N_32_0002	591597.697	4186455.708	1362.479	1362.477	0.002	UYGUN
N_32_0004	594497.303	4187307.526	1281.760	1281.700	0.060	UYGUN
D_027	592993.911	4185600.105	1218.202	1218.314	-0.112	UYGUN

Standartlar ile örnek uygulama sonuçlarının karşılaştırılması

Yer kontrol noktalarının doğrulukları ASPRS ve BÖHHBÜY'e göre karşılaştırılmış olup örnek uygulama değerleri ASPRS doğrulukları altında çıktığı görülmüştür (Çizelge 5.6). ASPRS'e göre YÖA=10 cm için KOHx ve KOHy doğruluğu 2,5 cm, KOHz doğruluğu 5 cm olarak belirtilmektedir. BÖHHBÜY'e göre ise YKN koordinatları ve yükseklikleri doğruluğu C3 derece ağ noktaları hassasiyetinde olması gerektiği belirtilmektedir.

Çizelge 5.6. YKN doğruluğu karşılaştırma tablosu.

YÖA=10 cm	YKN Doğruluğu		
	KOH _x , (cm)	KOH _y (cm)	KOH _z (cm)
ASPRS	2,5	2,5	5
BÖHHBÜY	En az C3 derece ağ noktası hassasiyetinde	En az C3 derece ağ noktası hassasiyetinde	En az C3 derece ağ noktası hassasiyetinde
Örnek Uygulama	2,3	2,3	2,8

Fotogrametrik blok dengelemesi işleminde kullanılmak üzere tesis edilecek YKN sayısına dair ASPRS tarafından herhangi bir hüküm bulunmamaktadır. BÖHHBÜY'e göre ise düzgün dörtgen olan bir bloğun dört köşesine iki YKN olacak şekilde en az 8 adet YKN tesisini istemektedir. Blok ortasına da istenirse tesis edilebilir. Örnek uygulamamızda toplam 17 adet YKN tesis edilmiştir.

Fotogrametrik nirengi dengelemesi sonrasında kullanılacak denetleme noktası sayısı konusunda ise ASPRS'e göre en az 20 adet, BÖHHBÜY'e göre 4'ten az olmayacak şekilde projedeki YKN sayısının en az % 30'u kadarını zorunlu kılmıştır. Örnek uygulamamızda 8 adet denetleme noktası kullandığımızdan BÖHHBÜY'e göre DN sayısı sağlanmış olup ASPRS'e göre ise DN sayısı 20 altında olduğundan dolayı ASPRS standardına göre şartlar sağlanamamıştır. Denetleme nokta sayısı isteğe göre arttırılabilir.

YKN ve DN doğruluklarını kıyasladığımızda ise ASPRS doğrulukları ve gereksinimlerine göre BÖHHBÜY'e göre daha yüksek hassasiyette olduğu görülmektedir (Çizelge 5.7).

Çizelge 5.7. Fotogrametrik blok dengelemesi YKN ve DN doğrulukları ve gereksinimleri karşılaştırmalı tablo.

YÖA=10 cm	Fotogrametrik Blok Dengelemesi			
	YKN Sayısı	YKN Doğruluğu (KOH)	DN Sayısı	DN Doğruluğu (KOH)
ASPRS	-	1,66 cm	en az 20 adet	$\leq \pm 3,33$ cm
BÖHHBÜY	en az 8 adet	x=3 cm y= 3 cm z= 5 cm	YKN sayısının en az % 30 u kadar en az 4 DN	x=7,5 cm y= 7,5 cm z= 10 cm
Örnek Uygulama	17 adet	x=0,012 m y= 0,017 m z= 0,021 m	8 adet	x=0,034 m y= 0,035 m z= 0,117 m

Fotogrametrik blok dengelemesi piksel eşleştirme doğruluğu bakımından örnek uygulamadaki yatay konum değerleri her iki standardı sağladığı görülmektedir (Çizelge 5.8).

Çizelge 5.8. Fotogrametrik blok dengelemesi piksel eşleştirme karşılaştırma tablosu.

Piksel Büyüklüğü (10 cm)	Fotogrametrik Blok Dengelemesi Piksel Eşleştirme Doğruluğu	
	Önerilen Yatay Maksimum Doğruluk Sınıfları KOHx (cm)	Önerilen Yatay Maksimum Doğruluk Sınıfları KOHy (cm)
ASPRS	10	10
BÖHHBÜY	3,33	3,33
Örnek Uygulama	0,53	0,48

İki farklı blok veya ortogörüntünün birleşiminden oluşan mozaikteki ortak alanların uyuşumuna dair ASPRS VE BÖHHBÜY doğruluklarının da aynı olduğu görülmektedir. Örnek uygulamada ortogörüntü üretiminde tek fotogrametrik blok kullanıldığından dolayı maksimum uyşumsuzluk kontrolü yapılamamıştır (Çizelge 5.9).

Çizelge 5.9. Ortogörüntü mozaik birleşimi doğruluk karşılaştırma tablosu.

YÖA=10cm	Ortogörüntü Mozaik Birleşim Çizgisi Maksimum Uyuşumsuzluk	
	KOHx (cm)	KOHy (cm)
ASPRS	20	20
BÖHHBÜY	20	20
Örnek Uygulama	-	-

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada insansız hava araçlarının uzaktan algılama ve fotogrametri tekniği ile coğrafi veri üretim ve harita yapımında kullanılabilirliği incelenmiştir, bu kapsamda İHA'ların genel yapısı üzerinde durulmuş ve kullanıldığı bazı temel alanlardan söz edilmiştir. Bu çalışmadan çıkan sonuçları aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür;

İnsansız hava araçları düşük maliyet, veri elde etme hızı, kolay ölçüm imkânı ve yüksek çözünürlükte hassas görüntü elde etme imkanı bulunmaktadır. Bu yüzden eskiden beri süregelen büyük alanlardaki veri temin faaliyetlerinde uydu ve insanlı hava araçlarının kullanıldığı düşünülürse günümüzde küçük alanlardaki veri temin çalışmalarında kullanımı yaygınlaşmaktadır. İHA'ların fotoğraf çekim ve uçuş kabiliyetlerinin geliştirilmesi ile büyük alanlardaki büyük ölçekli harita ve harita bilgileri üretimi, ortogörüntü, sayısal yükseklik modeli üretimlerinde daha uzun uçuş süreleri ile gerçekleştireceği düşünülmektedir.

İHA'lar ile uzaktan algılama ve fotogrametrik amaçlı veri üretimi aşamasında istenilen hassasiyette ve doğruluktan çalışmanın amacına uygun olarak veri üretilmektedir. İHA'ların çeşitlerinin artması ile birlikte görüntü işleme yazılımlarının sayılarının artması kaliteli veri üretim yolunda sürekli bir çalışmaların olduğunun bize olan göstergesidir. Ayrıca üretim aşamasında kullanılan algoritma ve yöntemler sayesinde arazideki jeodezik çalışmaları minimize hale getirmiş ve üretilen veri çeşitliliğini arttırmıştır. Özellikle SFM algoritmasını kullanan görüntü işleme yazılımları sayesinde ortogörüntünün yanında nokta bulutu ve bu nokta bulutunun katı modeli olan sayısal yüzey modeli de üretmektedir.

Sürekli gelişen teknoloji sayesinde önümüzdeki süreçte daha aktif ve yaygın hale gelmesi için mevcut İHA sistemlerinin geliştirilmesi ve karşılaşılan sorunları giderecek hamlelerin yapılması gerekmektedir. Şuan ki gördüğümüz eksiklikler hem ASPRS hem de BÖHHBÜY kapsamında fotogrametrik üretim çalışmalarında İHA'ların resmi olarak yer almamasıdır. Oysaki mevzuatlar günümüz ihtiyaçlarına ayak uydurması gerekmektedir. Ulaşım altyapı projeleri, kentsel dönüşüm, baraj deformasyonların izlenmesi, yol projeleri gibi birçok alanda İHA'ların daha aktif bir şekilde kullanılacağı düşünülmektedir. İHA görüntülerinden elde edilen verilerin resmi olarak kullanıldığı tek ülke olan İsviçre'de, sadece orta ölçeklerde yüksek hassasiyet gerektirmeyen arazi kullanımı ve arazi örtüsü belirlemelerde kullanıldığı

bilinmektedir. Özellikle insanlı hava araçlarında geçmişten analog kameralar ile başlayıp metrik hava kameralarına nasıl geçiş yapıldıysa İHA'lar için de yeni düzenlemeler yapılarak bu sektörün yaptıkları işleri resmileştirmek ve kabul görür hale getirilmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, örnek uygulamadan çıkan sonuçların incelenen standartlar, doğruluk kriterleri ve gereksinimleri ile karşılaştırıldığında İHA ile fotogrametrik harita ve veri üretimi için ihtiyaçları karşıladığı görülmektedir. Gelecekte de klasik halihazır harita üretim tekniklerinin yerini alacağı öngörülmektedir. İHA'lardan üretilen veriler sayesinde halihazır haritada yer alan verilerden daha fazla detaya ve ölçüme erişebilmekteyiz. Çünkü İHA görüntülerinden üretilen veriler canlı verilerdir ve her türlü analizi yapabileceğimiz imkanları bulunmaktadır. Örneğin; plankote, kübaj hesapları, deformasyon ölçümleri ve değişimin izlenmesi konularında İHA'lardan üretilen üç boyutlu modellerin de büyük önemi bulunmaktadır. İstenilen ölçek ve hassasiyette ortogörüntü üretmek için uygun kamera kullanılarak İHA'lerden faydalanmak mümkün hale gelmiştir.

Literatür taramalarında da görüldüğü üzere İHA'larda kullanılan kamera, uçuş yükseklikleri, dengeleme ve görüntü işleme yazılımları, üretilen verilerin doğruluklarının karşılaştırılması konularında yapılan çalışmalarda ve yazılan makalelerde istenilen doğruluğu yakaladıkları görülmektedir. Ülkemizde İHA görüntülerinden üretilen ürünler ile ilgili standartların oluşturulması anlamında bu çalışmalardan çıkan sonuçlar akademik yönden incelenip doğruluk ve gereksinim değerleri belirlendikten sonra kanun koyucu ve karar vericilerin bu değerleri yasal hale getirmeleri beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- ASPRS, 2014. ASPRS accuracy standards for digital geospatial data, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1-37.
- Avşar, E., 2006. Tarihi köprülerin dijital fotogrametri tekniği yardımıyla modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ayhan, E., 2017. Dijital fotogrametri ders notu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği, Trabzon.
- Ayyıldız, E., Özmüş, L., Açar, F.Ç., Tuna, H., Özer, E., Erkek, B. ve Bakıcı, S., 2015. İnsansız hava aracı (İHA) ve uçak platformlarından elde edilen görüntülerin ortofoto üretiminde karşılaştırılması, TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu, Konya.
- Chiang, K., Tsai, M. ve Chu, C., 2012. The development of an UAV borne direct georeferenced photogrammetric platform for ground control point free applications, Sensors, 12, 9161-9180.
- Cryderman, C., Mah, S. ve Shufletoski, A., 2015. Evaluation of UAV photogrammetric accuracy for mapping and earthworks computations, Geomatica, Vol. 68, No.4, 309-317.
- Çam, A., Fırat, O. ve Yılmaz, A., 2013. Harita Genel Komutanlığında ortofoto ve sayısal yüzey modeli üretimi faaliyetleri. TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Ankara.
- Ergün, B., 2015. Sayısal fotogrametri yüksek lisans ders notu, Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri Ana Bilim Dalı, Kocaeli.
- ICAO, 2011. Unmanned aircraft systems (UAS), Cir. 328, AN/190.
- Kahveci, M. ve Can, N., 2017. İnsansız hava araçları: tarihçesi, tanımı, dünyada ve Türkiye'deki yasal durumu, Selçuk Üniversitesi. Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, Sayı 4, 511-535.
- Karakış, S., 2012. İnsansız hava aracı yardımıyla büyük ölçekli fotogrametrik harita üretim olanaklarının araştırılması, Harita Dergisi, Sayı 147, 13-20.
- Kraus, K., 2007. Photogrammetry geometry from images and laser scans, 2nd edition, Berlin-NewYork.
- Marangoz, A., 2002. Sayısal kameralarla tarihsel yapıların rölevellerinin çıkarılması olanakları, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Matthews, A.N., 2008. Aerial and close-range photogrammetric technology: providing resource documentation, interpretation, and preservation, Technical Note, 428.
- Monash University, 2003. Remote piloted aerial vehicles, Interdependent Evolutions and Histories, Avustralya.
- Özcan, O. ve Akay, S.S., 2016. İnsansız hava aracı (İHA) ile farklı yüksekliklerden üretilen sayısal yüzey modellerinin (SYM) doğruluk analizi, 6. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2016), Adana.
- Öztürk, O., Bilgilioglu, B.B., Çelik, M.F., Bilgilioglu, S.S. ve Uluğ, R., 2017. İnsansız hava aracı (İHA) görüntüleri ile ortofoto üretiminde yükseklik ve kamera açısının doğruluğa etkisinin araştırılması, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği IX. Teknik Sempozyumu (TUFUAB2017), Afyonkarahisar.
- Samad, A.M., Kamarulzaman, N., Hamdani, M.A., Mastor, T.A. ve Hashim, K.A., 2013. The potential of unmanned aerial vehicle (UAV) for civilian and mapping application, 2013 IEEE 3rd International Conference on System Engineering and Technology, Malezya.
- Selçuk, O., 2008. Dijital ve analog hava kameralarının geometrik potansiyellerinin fotogrametrik açıdan irdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon,
- Sidek, F.K. ve Ahmad, A., 2008. Development of mapping procedures using digital imagery derived from unmanned aerial vehicle system, 7th International Symposium & Exhibition on Geoinformation, Malezya.
- Strecha, C., 2011. The accuracy of automatic photogrammetric techniques on ultra-light UAV imagery, Photogrammetric Week '11, 289-294.
- T.C. Resmi Gazete, Büyük ölçekli harita ve harita bilgileri üretim yönetmeliği, 30460, 26.06.2018, 19-25.
- Turner, D., Lucieer, A., Watson, C., 2012. An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution unmanned aerial vehicle (UAV) imagery, based on structure from motion (SFM) point clouds, Remote Sensing, 1392-1410.
- URL-1 <<https://geomatrics360.com/unmanned-aerial-vehicles-uav>>, Erişim tarihi: 26.04.2019.
- URL-2 <<https://www.sccsurvey.co.uk/multirotor-g4-surveying-robot.html>>, Erişim tarihi: 26.04.2019.
- URL-3 <<https://docplayer.biz.tr/7053180-Temel-goruntu-bilgisi-giris-tanim-ve-kavramlar.html>>, Erişim tarihi: 22.04.2019.

- URL-4 < http://abl.gtu.edu.tr/hebe/AblDrive/74611106/w/Storage/106_2010_2_521_74611106/Downloads/jfm-521saysal-fotogrametri-dersiders-notlar.pdf>, Erişim tarihi: 20.04.2019.
- URL-5 < http://abl.gtu.edu.tr/hebe/AblDrive/74611106/w/Storage/106_2010_2_521_74611106/Downloads/jfm-521saysal-fotogrametri-dersiders-notlar.pdf>, Erişim tarihi: 20.04.2019.
- URL-6 < http://abl.gtu.edu.tr/hebe/AblDrive/74611106/w/Storage/106_2010_2_521_74611106/Downloads/jfm-521saysal-fotogrametri-dersiders-notlar.pdf>, Erişim tarihi: 20.04.2019.
- URL-7 <<https://docplayer.biz.tr/7053180-Temel-goruntu-bilgisi-giris-tanim-ve-kavramlar.html>>, Erişim tarihi: 22.04.2019.
- URL-8 < http://korfezharita.com/?page_id=3771>, Erişim tarihi: 28.04.2019.
- URL-9 <<https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/ict/2009-04-18/Microsoftila-196-megapikselin-digikamera-42-teratavun-levytilalla-3271658.html>>, Erişim tarihi: 23.04.2019.
- URL-10 <https://www.photographyblog.com/news/ricoh_gr_digital_iii_firmware_2.50/>, Erişim tarihi: 23.04.2019.
- URL-11 <<https://slideplayer.biz.tr/slide/13216039/release/woothree>>, Erişim tarihi: 19.04.2019.
- URL-12 <<http://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/3.5.201811962.pdf>>, Erişim tarihi: 21.04.2019.
- URL-13 <<http://www.directindustry.com/prod/quest-uav-ltd/product-182267-1800913.html>>, Erişim tarihi: 26.04.2019.
- URL-14 <<https://www.hepsiburada.com/sony-a6000-16-50mm-aynasiz-dijital-fotograf-makinesi-pm-ft4tekilce6000lbap>>, Erişim tarihi: 26.04.2019.
- URL-15 <<https://thehightechhobbyist.com/drone-photogrammetry/>>, Erişim tarihi: 26.04.2019.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Yasin TUTAK
Adres : ANKARA
E-posta adresi : yasintutak38@gmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Erciyes Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri
Mühendisliği, 2006-2011
Lisans : Valencia Teknik Üniversitesi, Geomatic and
Surveying Engineering, 2009-2010 (ERASMUS)
Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Harita Mühendisliği A.B.D., 2012-

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. 22-a Kadastro Yenileme İşi 2010
2. Yücel Harita Kadastro Ltd. Şti. 2011-2014
3. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2014-

