

**YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ HAVA FOTOĞRAFLARI İLE HÂLİHAZIR
HARİTA YAPIMI VE ARAZİ YAPISINA GÖRE DOĞRULUK KONTROLÜ**

Tolga CANBEY

Yüksek Lisans Tezi

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri

Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Uğur AVDAN

Eskişehir

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Ağustos 2018

Bu tez çalışması BAP Komisyonunca kabul edilen 1610F670 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Tolga Canbey'in "Yüksek Çözünürlüklü Hava Fotoğrafları İle Hâlihazır Harita Yapımı ve Arazi Yapısına Göre Doğruluk Kontrolü" başlıklı tezi 10/08/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvanı Adı Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı): Doç. Dr. Uğur AVDAN

.....

Üye:

Dr. Öğr. Üyesi Hakan UYGUÇGİL

.....

Üye:

Doç. Dr. Murat Uysal

.....

Prof.Dr. Ersin YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ HAVA FOTOĞRAFLARI İLE HÂLİHAZIR HARİTA YAPIMI VE ARAZİ YAPISINA GÖRE DOĞRULUK KONTROLÜ

Tolga CANBEY

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ağustos 2018

Danışman: Doç. Dr. Uğur AVDAN

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte harita yapım yöntemlerinde önemli gelişmeler yaşanmaktadır. Teknik kapasiteleri yüksek cihazlar ile uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak yapılan çalışmalar oldukça yaygınlaşırken bu durum fotogrametrik olarak üretilen haritaların yapım yöntemlerinin de gelişmesine katkı sağlamaktadır. Fotogrametrik olarak üretilen nokta bulutu verisi, katı modeller, sayısal yüzey modelleri ve ortofoto haritalar, birçok farklı sektörde altlık olarak kullanıldığından, elde edilen bu verilerin doğruluklarının bilinmesi oldukça önem arz etmektedir.

Hava kamerası kullanarak görüntü elde eden taşıyıcı sistemler genelde insansız hava aracı (İHA), uçak ve uydu görüntüleridir, bu taşıyıcı sistemlerin en belirgin görüntü aldıkları uçuş yüksekliğidir. İHA ve uydu görüntüleri ile ilgili birçok çalışma bulunmasına rağmen orta irtifada uçuş yapan uçak görüntüleri ile çalışmalar daha azdır. Bu bağlamda, bu çalışma ile literatüre katkı yapılması amaçlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında, 2015 yılında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Teknik koordinatörlüğünde Doğal Afet Sigortaları Kurumu (DASK) ile ortaklaşa yapılan True (Gerçek) ortofoto projesi kapsamında çekimi yapılan hava fotoğrafları kullanılmıştır. Bu veriler kullanılarak, fotogrametrik harita yapım süreci, sayısal yüzey modeli ve ortofoto harita üretimi gerçekleştirilerek, elde edilen veriler, yersel ölçüm metotları kullanılarak kontrol edilmiştir.

Temel bulgu olarak stereo değerlendirme yoluyla 1/1000 ölçekli harita üretiminin gerçekleştirilebileceği, ayrıca üretilen veriler kullanılarak, yersel metotlarla aynı hassasiyette çıktı ürünlerin daha hızlı olarak üretililebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Fotogrametri, Hava Fotoğrafları, Hâlihazır Harita, Hava Fotogrametrisi, True Ortofoto

ABSTRACT

PRODUCING BASE MAPS THROUGH HIGH RESOLUTION AERIAL PHOTOS AND MAKING ACCURACY CONTROL ACCORDING TO THE LAND STRUCTURE

Tolga CANBEY

Department of Remote Sensing and Geographic Information Systems

Anadolu University, Graduate School of Sciences, August 2018

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Uğur AVDAN

Nowadays, with advancing technology, important developments are taking place in map making methods. Digitally, the studies using remote sensing methods are becoming widespread. The development of hardware and software used in the production processes of the maps made by photogrammetric methods maintains producing the outputs faster and also increasing their accuracy. The point cloud data, solid models, digital surface models and orthophoto maps produced through photogrammetrically are used in many different sectors as bases. Therefore, it is very important to know the accuracy of these obtained data.

Carrier systems using an aerial camera are generally unmanned aerial vehicle (UAV), aircraft and satellite images. The most significant distinction between these carrier systems is flight heights. Although there are many studies on UAV and satellite imagery, there are less with aircraft images flying at mid-altitude. In this context, it is aimed to contribute to the literature with this study.

Aerial photographs taken as part of the True orthophoto project in 2015 under the technical coordination of the Ministry of Environment and Urbanization and in partnership with Turkish Catastrophe Insurance Pool (TCIP) were used in the scope of this study. By using these data, photogrammetric mapping process, digital surface model and orthophoto production were made. The obtained data were tested by using terrestrial measurement methods.

As a main finding, it is seen that 1/1000 scale map production can be made by means of stereo evaluation; moreover, as compared to terrestrial measurement methods it is seen that the outputs can be obtained faster and in closer sensitivity by using the data produced.

Keywords: Photogrammetry, Aerial Photos, Current Map, Air Photogrammetry, True Orthophoto

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans’a başladığım ilk günden itibaren, tez yazım süreci sonuna kadar bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, tez danışmanım Doç. Dr. Uğur AVDAN’a, tezimle ilgili fikir, yorum ve önerilerini benimle paylaşan Doç. Dr. Murat UYSAL ve Dr. Öğr. Üyesi Hakan UYGUÇGİL’e, tez aşamasına gelmemde katkısı olan Prof.Dr. Alper ÇABUK’a, fikir ve önerilerinden yararlandığım Dr. Öğr Üyesi Emrah PEKKAN’a, tez çalışması süresince deneyimlerini ve fikirlerini esirgemeyen Araş.Gör.Resul ÇÖMERT’e, teknik olarak bilgi birikimleri ile bana yol gösteren Ahmet ÇABUK ve Fikret ÇALIŞKAN’a, tez yazım süresince ihmal etmek durumunda kaldığım oğlum Umut Poyraz ve kızım Ceren’e, her zaman manevi desteğini hissettiğim, beni motive eden ve moral veren sevgili eşim Hamide CANBEY’e sonsuz teşekkürler.

Tolga CANBEY

Ağustos 2018

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....

Tolga CANBEY

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLOLAR DİZİNİ.....	xiii
KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. ÇALIŞMANIN AMACI	2
3. ÇALIŞMANIN KAPSAMI	5
3.1. Çalışmanın İş Akışı.....	7
3.2. Literatür Çalışmaları	7
4. KURAMSAL TEMELLER	10
4.1. Fotogrametri Nedir?	10
4.2. Fotogrametrinin Prensibi.....	12
4.2.1. Stereoskopik Görme Yöntemleri.....	12
4.3. Harita Üretim Metotları.....	13
4.3.1. Klasik yöntemler	13
4.3.2. Fotogrametrik yöntem.....	14
4.3.2.1. Yersel fotogrametri.....	14
4.3.2.2. Hava fotogrametrisi	14
4.4. Ölçme Yöntemleri Karşılaştırması.....	15

4.4.1. Fotogrametrik yöntemlerin avantajları	15
4.4.2. Klasik yöntemlerin avantajları	15
4.5. Fotogrametrik İşlemler	16
4.5.1. Hava görüntülerini elde etme	16
4.5.2. Görüntü işleme	16
4.5.3. Kıymetlendirme işlemleri	17
4.5.4. Bütünleme işlemi	18
4.5.5. Sayısal yüzey modeli oluşturma.....	18
4.5.6. Ortofoto üretimi	21
4.5.6.1 Gerçek ortofoto üretimi.....	22
4.5.7. Katı model	23
4.6. Fotogrametrik Girdiler	24
4.6.1. Fotogrametrik girdi seçimi	24
4.6.1.1. Fotogrametrik girdi seçiminin sonuca etkileri	26
4.7. Fotogrametrik İş Planı	27
4.8. Bindirme Oranları	28
4.9. Resim Konumlandırma	29
4.10. Yer Kontrol Noktaları	31
4.11. Dengeleme.....	31
4.12. Yöneltilme Parametreleri	32
4.12.1. İç yöneltilme parametreleri.....	32
4.12.2. Dış yöneltilme parametreleri.....	33
4.13. Principal point.....	34
4.14. Derinlik algısı	35
5. MATERYAL ve YÖNTEM	36
5.1. Cihaz ve Donanımlar	36
5.1.1. Bilgisayar	37

5.1.2. Monitör	37
5.1.3. Üç boyutlu grafik kartı.....	37
5.1.4. Gözlük.....	37
5.1.5. Emitör	38
5.1.6. Optik fare.....	39
5.2. Yazılımlar	40
5.3. Doğruluk Kontrol Noktaları	40
6. İŞLEM ADIMLARI	42
6.1. SYM ve Ortofoto Üretimi.....	42
6.1.1. Parametrelerin tanımlanması	43
6.1.2. Nokta bulutu üretme	43
6.1.2.1. Anahtar nokta üretimi (Key point)	44
6.1.2.2. Bağlama noktası üretimi (Tie point)	44
6.1.2.3. Yoğun nokta bulutu üretimi	47
6.1.3. SYM üretimi.....	48
6.1.4. Ortofoto ve ortomozaik üretimi.....	49
6.1.5. Rapor.....	52
6.2. Erdas Imagine Yazılımı ve Stereo Değerlendirme.....	53
6.2.1. Erdas İşlem Adımları	53
7. DOĞRULUK KONTROLLERİ.....	59
7.1. Ortofotonun Doğruluk Kontrolü.....	59
7.1.1. Ortofoto Değerlendirme	61
7.2. SYM Verisi Doğruluk Kontrolü	62
7.2.1. SYM değerlendirme ve sonuç	65
7.2.1.1. Arazi Yapısının Sonuca Etkisi.....	65
7.2.1.2. Düşük hata miktarlarına sahip noktalar	66
7.2.1.3. Yüksek hata miktarlarına sahip noktalar	66

7.2.1.4. Çözünürlüğünün doğruluğa etkisi	67
7.2.1.5. 25 numaralı nokta incelemesi	68
7.3. SYM değerlendirme sonucu.....	69
7.4. Stereo Değerlendirme Doğruluk Kontrolü	70
7.4.1. Stereo değerlendirme sonucu.....	71
8. ÖNERİLER	73
8.1. Stereo Kıymetlendirme İşlemleri	73
8.2. Ortofoto ve SYM Üretimi.....	74
8.3. Nokta Üretimi.....	75
8.4. Parametre ve Birimler	76
8.5. Donanım Ayarları	77
9. SONUÇ	78
KAYNAKÇA.....	79
EKLER	1
ÖZGEÇMİŞ	6

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2. 1. ÇŞB gerçek ortofoto proje alanları.....	3
Şekil 3. 1. Anadolu Üniveristesi Yunuemre Kampüsü uydu görüntüsü.....	5
Şekil 3. 2. Proje çıktıları	6
Şekil 4. 1. Nadar tarafından çekilen ilk hava fotoğrafı.....	10
Şekil 4. 2. Fotogrametrinin tarihsel gelişimi	11
Şekil 4. 3. Stereo görüş tekniği.....	13
Şekil 4. 4. Fotogrametrik iş akış planı	16
Şekil 4. 5. Anadolu Üniversitesi Yunusemre kampüsü hâlihazır haritası	18
Şekil 4. 6. SAM ve SYM arasındaki fark	20
Şekil 4. 7. Klasik ortofoto ile gerçek ortofoto harita arasındaki fark	23
Şekil 4. 8. eBee insansız hava aracı.....	24
Şekil 4. 9. DJI firmasının ürettiği PHANTOM-4 modeli	25
Şekil 4. 10. ÇŞB tarafından kullanılan kamera modeli UltraCamX modeli.....	26
Şekil 4. 11. Enine ve boyuna bindirme oranları	29
Şekil 4. 12. IMU sistemlerindeki yalpalama açıları yönleri	30
Şekil 4. 13. Yer kontrol noktası örneği.....	31
Şekil 4. 14. İç yöneltme parametreleri modeli.....	33
Şekil 4. 15. Hava fotoğraflarında matematiksel model	34
Şekil 4. 16. Optik eksen ve kayıklık değeri	35
Şekil 5. 1. 3 boyutlu Stereo donanım gereksinimleri	36
Şekil 5. 2. 3 boyutlu gözlük.....	38
Şekil 5. 3. Emitör cihazı	38
Şekil 5. 4. Stereo sistem donanımları ve bağlantıları	39
Şekil 5. 5. 3 boyutlu çizim için kullanılan fare.....	39
Şekil 5. 6. Çalışma alanı kontrol noktaları dağılımı	41
Şekil 6. 1. Agisoft Photoscan resim hizalama değerleri ayar bölümü	44
Şekil 6. 2. Agisoft Photoscan resim hizalama değerleri doğruluk ayar penceresi.....	45
Şekil 6. 3. Agisoft Photoscan resim ön seçim değerleri ayar penceresi	46
Şekil 6. 4. Agisoft Photoscan nokta bulutu üretimi kalite değerleri ayar penceresi.....	47
Şekil 6. 5. Agisoft Photoscan Build DEM ile SYM üretim ayar penceresi.....	48
Şekil 6. 6. Agisoft Photoscan ile üretilen SYM verisi örneği.....	49
Şekil 6. 7. Agisoft Photoscan ile Üretilen Ortofoto Görünüşü	50

Şekil 6. 8. Çalışma alanında üretilen ortofoto ile gerçek ortofotonun farkı	51
Şekil 6. 9. Çalışma alanına ait katı model görüntü	52
Şekil 6. 10. Agisoft Photoscan işlem sonuç değerleri	52
Şekil 6. 11. Erdas Imagine blok oluşturma ve koordinat tanımlama penceresi.....	55
Şekil 6. 12. Erdas Imagine kamera parametreleri ayar penceresi.....	55
Şekil 6. 13. Erdas Imagine dış yöneltme parametreleri giriş penceresi.....	56
Şekil 6. 14. Erdas Imagine proje yöneticisi ekranı	57
Şekil 6. 15. Erdas Imagine blok dosyası görünümü	57
Şekil 6. 16. Erdas Imagine stereo değerlendirme penceresi	58
Şekil 7. 1. KOH formülü	59
Şekil 7. 2. SYM verisi üzerinde kontrol noktalarının dağılımı	62
Şekil 7. 3. Düşük hataya sahip nokta konumları ve hata miktarları	66
Şekil 7. 4. Yüksek Hata miktarına sahip nokta konumları ve hata miktarları.....	67
Şekil 7. 6. 25 numaralı obje.....	69
Şekil 8. 1. Saçılma yapan bir bina örneği	74
Şekil 8. 2. Saçılma yapan binaya ait SYM verisinden üretilen konturlar.....	75
Şekil 8. 3. Agisoft Photoscan kamera ölçümleme bilgileri	76
Şekil 8. 4. Erdas Imagine fare ayarları penceresi	77

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 6. 1. Doğruluk değerlendirme yöntemleri ve veri tipleri	42
Tablo 7. 1. Ortofoto karşılaştırma tablosu	60
Tablo 7. 2. Ortofoto en küçük ve en büyük değerler	60
Tablo 7. 3. Ortofoto ve stereo değerleri karşılaştırma tablosu	61
Tablo 7. 4. SYM verisi ölçüm farkları	63
Tablo 7. 5. SYM verisi en küçük ve en büyük fark miktarları.....	63
Tablo 7. 6. SYM1 verisi karşılaştırma tablosu.....	64
Tablo 7. 7. SYM2 verisi karşılaştırma tablosu.....	65
Tablo 7. 8. SYM1 v SYM2 karşılaştırma tablosu	67
Tablo 7. 9. 25 no'lu noktanın ölçüm farkları	69
Tablo 7. 10. Yükseklik verisi değerlendirme yöntemleri.....	70
Tablo 7. 11. Stereo değerlendirme verisi X,Y,Z değerleri karşılaştırma tablosu.....	70
Tablo 7. 12. Stereo değerlendirme verisi karşılaştırma tablosu	71
Tablo 7. 13. Stereo Model Doğruluk Kontrolleri Karşılaştırma Tablosu	71

KISALTMALAR DİZİNİ

BÖHYY	: Büyük Ölçekli Haritaların Yapım Yönetmeliği
ÇŞB	: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
DASK	: Doğal Afet Sigortaları Kurumu
GNSS	: Global Navigation Satellite System (Uluslararası Konum Belirleme Servisi)
GPS	: Global Positioning System (Global Konum Belirleme Sistemi)
HGK	: Harita Genel Komutanlığı
IMU	: Inertial Measurement Unit (Atalet Ölçü Birimi)
ITRF96	: 1996 yılında güncellenmiş ITRF
İHA	: İnsansız Hava Aracı
KOH	: Karesel Ortalama Hata
LİDAR	: Light Detection And Ranging (Işık Tespiti ve Mesafe Ölçme)
PPA	: Principal Point of Autocollimation (Asıl Nokta Kolimasyon Değeri)
RTK	: Real Time Kinematic (Gerçek Zamanlı Kinematik)
RMS	: Root Mean Square (Karesel Ortalama Hata)
SAM	: Sayısal Arazi Modeli
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
SYM	: Sayısal Yüzey Modeli
TKGM	: Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü
TUDKA	: Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı
TUSAGA	: Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı Aktif
TUTGA	: Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
UTM	: Universal Transversal Mercator (Uluslararası Yatık Eksenli Merkator)
USB	: Universal Serial Bus (Evrensel Seri Veriyolu)
YKN	: Yer Kontrol Noktası

1. GİRİŞ

Hâlihazır harita üretiminde geleneksel metotların yerini artık yüksek çözünürlüklü hava fotoğraflardan iç ve dış yöneltme parametreleri kullanılarak stereo görüntü elde edilmesi ve gerekli bindirme oranları ile üç boyutlu görüntü sağlanarak kıymetlendirme yapılması, True (gerçek) ortofoto, sayısal nokta bulutu, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)-Sayısal Arazi Modeli (SAM) üretilmesi almıştır. Bu gelişime bağlı olarak kameraların hassasiyetlerinin ve İHA'ların teknik yeterliliklerinin artması sonucunda son yıllarda fotogrametrik yöntemlerle hazırlanmış olan harita çıktıları sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır.

Harita yapımında fotogrametrik yöntemlerin kullanılması, birçok avantaj içermektedir, özellikle zaman ve işgücü açısından oldukça avantajlı olduklarından tercih edilmektedir. Bunun dışında, çıktı ürünlerin çeşitliliği ise diğer bir faktördür.

Arazide istenen her detayın ve objenin, haritaya aktarılabilmesi ve arazi yapısı ile ilgili birçok çalışma ve analize de altlık olabilmesi sebebiyle hava fotoğraflarının kullanımı hızlı bir şekilde artmaktadır. Stereo hava görüntülerinden elde edilen sayısal yüzey modelleri ise, araziye ait yükseklik bilgisinin, arazide bir ölçüme gerek kalmaksızın alınabilmesi diğer bir avantajdır.

Yersel metotlara göre bazı dezavantajlar içerse de, gelişen teknoloji kullanımı bu durumu fotogrametrik yöntemler lehine çevirmeye devam etmektedir.

Bu çalışmada, Fotogrametrik harita üretim teknikleri, üretim aşamaları araştırılmış ve üretilen haritaların doğruluklarının kontrolü yapılmıştır.

Çalışmada Anadolu Üniversitesi Yunussemre Kampüsüne ait, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) tarafından 2015 yılında Doğal Afet Sigortaları Kurumu (DASK) ile birlikte yapılan 10 cm Yer Örnekleme Aralığı (YÖA)'na sahip stereo hava görüntüleri ve yöneltme parametreleri kullanılmıştır.

2. ÇALIŞMANIN AMACI

Son yıllarda sayısal hava kameraları ve kameraları taşıyan sistemlerin, gelişmelerine paralel olarak, kullanımlarının artması ile birlikte, fotogrametrik yöntemler daha sıklıkla kullanılmaktadır, yersel ölçüm metotlarına göre maliyetlerinin de ucuz olması ve elde edilen çıktı ürünlerin fazla olması sebebi ile fotogrametrik olarak harita üretimi giderek yaygınlaşmaktadır. Bu duruma paralel olarak, kullanılan cihazlar, donanımlar ve yazılımlarda aynı şekilde gelişme göstermektedir. Her ne şekilde üretilirse üretilsin, bir haritanın en önemli özelliği, doğruluğudur, her ne kadar kesin doğrulukta bir harita olmasa da, amaç en az hataya sahip haritalar üretmektir. Bunun için, arazi yapısına ve istenilen detay özelliklerine göre uygun hava fotoğraflarının kullanılması gerekmektedir.

Harita üretiminde günümüzde büyük alanlar için genelde uydu görüntüleri ve uçaklar, küçük alanlar için de İnsansız Hava Araçları (İHA) kullanılmaktadır.

Hava fotoğrafları elde edilmesinde kullanılan uçaklar büyük alanlarda kullanılırlar. Ancak uçakla hava görüntüsü alma işleminin maliyetinin yüksek olması sebebi ile belirli kurum veya kuruluşlar tarafından kullanılmaktadırlar. Türkiye’de resmi anlamda uçak ile çekim yapan Harita Genel Komutanlığı (HGK) ve Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) bulunmaktadır. Bu iki kurum dışında bazı özel teşebbüsler tarafından da uçak ile çekim yapılmaktadır. Ayrıca bakanlıklar tarafından çeşitli projeler için de uçuşlar yapılabilmekte ve ilgili kurum ve kuruluşlar ile paylaşılmaktadır.

2015 yılında ÇŞB teknik koordinatörlüğünde DASK ile ortaklaşa yapılan True (Gerçek) ortofoto projesi ile Türkiye’deki yerleşim alanlarını kapsayan çekimler yapılmıştır. Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri (TUCBS) kapsamında yapılan bu çalışma ile ilgili kurumların veri ihtiyaçlarının karşılanması hedeflenmektedir. Birçok kurum merkezi bir standarda bağlı kalmadan mekânsal veri üretmektedir. Elde ettikleri bu verilerin, birbirleri ile ilişkilendirilmesinde yaşanan sıkıntılar ve kurumlar arasında yaşanan iletişim eksikliğinden dolayı, kurumlara ve kamu bütçesine ciddi bir maliyet getirmektedir. Bu durum sonuç olarak, projelendirme, planlama ve yatırımlarında aksamalara sebep olmaktadır.

ÇŞB tarafından yapılan True (Gerçek) Ortofoto Projesi kapsamında kentlerin yerleşim ve gelişme alanlarını kapsayacak şekilde yüksek çözünürlüklü (GSD = 10 cm) true ortofoto görüntüleri, sayısal nokta bulutu ve sayısal yüzey modeli verileri üretilmiştir. Çalışmalar sayısal fotogrametrik harita üretim teknikleri ile gerçekleştirilmiştir. True ortofoto görüntüler karar destek sistemlerinde, yatırım ve uygulama projelerinde kullanılmak üzere

üniversitelere, tüm kamu kurum ve kuruluşları ile yerel yönetimlere ücretsiz olarak servis edilmektedir. Sayısal hava fotoğrafları ve dış yöneltme parametrelerinin de bedelsiz olarak yerel yönetimlerle paylaşılması ile birlikte nazım ve imar planları için gerekli olan sayısal halihazır üretim süreçleri ve maliyetleri de oldukça minimize edilmektedir. Üretilen veriler kullanılarak üç boyutlu kent modelleri üretimlerinin gerçekleştirilmesi ile kentsel dönüşüm çalışmaları daha doğru yaklaşımlarla modellenenilmektedir. Sonuç verilerin kentsel alanlarda kadaströ yenileme çalışmalarında, altyapı ve kent bilgi sistemleri faaliyetlerinde yaygın olarak kullanılacak çalışmalar başlatılmıştır. Kısa zamanda gerçekleştirilen proje sonuçları ve ülke genelinde etkisinin açıklandığı bu çalışmada eğitim, yaygınlaştırma ve güncelleme modelleri de ele alınmaktadır (Kısa, 2016, s.357-362).

Çekimi yapılan bölgelerin Türkiye genelindeki yerleşimi ise Şekil 2.1’de görölmektedir.



Şekil 2. 1. ÇŞB gerçek ortofoto proje alanları.
(Kısa,2016)

Proje kapsamında elde edilen tüm veriler, kalite kontrol çalışmaları yapıldıktan sonra, üniversiteler, kamu kurum ve kuruluşları ile yerel yönetimlere ücretsiz servis edilmektedir. Yerel yönetimlerin planlama altlıkları olan 1/1000 ölçekli halihazır harita üretimi için gerekli olan hava fotoğrafları da ücretsiz olarak paylaşılmaktadır (Kısa, 2016).

Yerel yönetimlerle ücretsiz paylaşımların yapılması ile birlikte, plan ve proje çalışmalarının maliyetleri %70 oranında azaltılmıştır. Yapılacak tüm altyapı ve üstyapı projelerinde %80 kazanç elde edilmesi planlanmaktadır. (Kısa, 2016).

ÇŞB tarafından yapılan bu çalışma kapsamındaki verilerin ilgili kurumlar tarafından kullanılması ve değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Proje kapsamında elde edilen hava görüntüleri ve yöneltme parametreleri kullanılarak elde edilecek olan çıktı ürünlerin projelendirme, planlama ve yatırımda altlık olarak kullanılacağı düşünüldüğünden, çalışma kapsamında söz konusu veriler kullanılarak, ortofoto harita, SYM ve hâlihazır verisinin üretilme metotları incelenmiş ve üretilen ürünlerin doğrulukları araştırılmıştır.

Söz konusu proje ile elde edilen verilerin, ilgili kamu kurum ve kuruluşları tarafından kullanılması ise, ülkemizin kaynaklarının daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlayarak fayda sağlayacaktır.

Günümüzde verilerinin kolay ulaşılabilir olması ve yaygın kullanılması sebebi ile uydu ve İHA'lar ile üretilen verilerin doğrulukları ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır, ancak orta irtifada uçuş yapan uçaklardan yüksek çözünürlükte ve yüksek veri boyutuna sahip hava fotoğrafları ile ilgili bir çalışma bulunmamaktadır.

Söz konusu verilerin yoğun olarak kullanılacağı öngörülmesi sebebi ile elde edilen verilerinin doğruluklarının araştırılmasının, son kullanıcıların üretilen verilerin doğruluklarını bilerek daha etkin ve doğru standartlarda kullanması amaçlanmıştır.

Bunun dışında, mevcut veriler kullanılarak stereo değerlendirme, SYM ve ortofoto harita üretim işleminin yapılma süreci incelenmiştir. Bu aşamada mevcut verilerin yazılımlarda nasıl işlenmesi ve hangi aşamalardan geçmesi gerektiği bilgileri ile birlikte, yapım sürecinde dikkat edilmesi gereken noktalar ve karşılaşılan sorunlar tespit edilerek, önerilerin sunulması ile son kullanıcıların yararlanacakları bir kaynak olması amaçlanmıştır.

3. ÇALIŞMANIN KAPSAMI

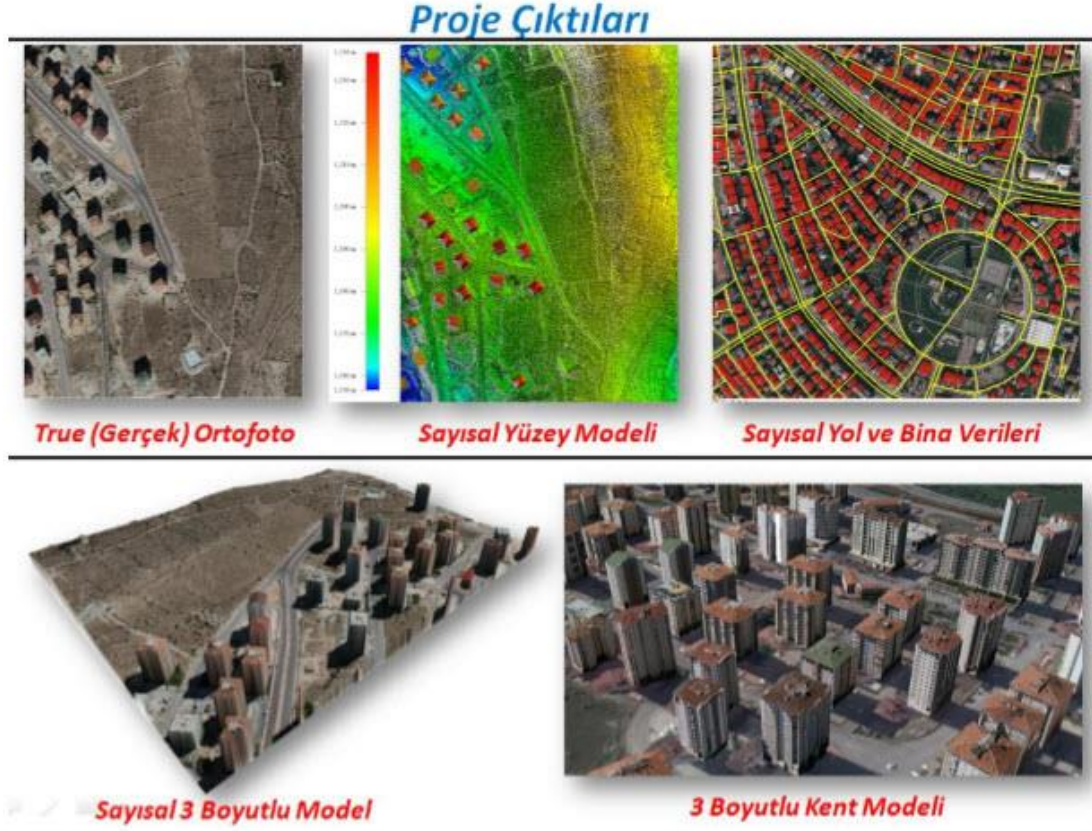
Çalışma bölgesi, Anadolu Üniversitesi Yunusemre Kampüsü olarak belirlenmiştir. Çalışmada, ÇŞB koordinatörlüğünde DASK ile ortaklaşa yapılan ortofoto projesi kapsamında çekimi yapılmış olan 2015 yılına ait veriler kullanılmıştır. Bu veriler 10 cm YÖA'na, %60 enine %80 boyuna bindirme oranına sahip 9420X14430 boyutlarında, dengelemesi yapılmış stereo hava fotoğrafları, bunlara ait iç ve dış yöneltme parametreleri ve kamera ölçümleme bilgilerinden oluşmaktadır.

Anadolu Üniveritesi Yunusemre Kampüsü Resim 3.1'de görülmektedir.



Şekil 3. 1. Çalışma alanı olan Anadolu Üniveritesi Yunuevre Kampüsü uydu görüntüsü
(Google Earth Görüntüsü)

Söz konusu veriler ile bir çalışma alanına ait, SYM, ortofoto üretilbileceği gibi stereo kıymetlendirme işlemi sonucunda 1/1000 ölçekli hâlihazır harita yapımı da mümkün olabilmektedir. Mevcut hava görüntüleri kullanılarak üretilbilecek olan çıktı ürünler ise Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3. 2. Proje çıktıları
(Kısa, 2016)

Stereo görüntüler, uygun yazılım ve donanım ile üç boyutlu görüş sağlayarak, çalışma alanındaki objelere ait X, Y, Z değerlerinin elde edilerek, vektörel bir çizim yapılarak harita üretilmesini sağlarlar. Bu işlem sonucunda elde edilecek olan harita “Hâlihazır harita” olarak adlandırılır. Bunun dışında stereo olarak çekilmiş hava fotoğrafları ile SYM ve ortofoto, nokta bulutu ve mesh (katı) model üretimi de üretimi de yapılabilmektedir.

Hava görüntülerinden, SYM ve ortofoto üretim işlemi genel olarak uygun yazılımlarda otomatik olarak yapılır, ancak stereo kıymetlendirme işlem, uzman operatörler tarafından yapılmakta ve teknik olarak tecrübe gerektirmektedir, sanal olarak oluşan derinlik algısının kullanılarak objelerin değerlerinin alınması, kişinin tecrübesi ile doğru orantılıdır.

Bu sebeple bu çalışmada teknik olarak kıymetlendirme işlemi kullanılarak kontrol verileri arazi ölçümleri ile karşılaştırılmış, ancak objektif olarak bir değerlendirmeye alınmamıştır.

Çalışmada alana ait bir SYM ve ortofoto üretimi gerçekleştirilmiş, ortofoto harita üzerinden alınan kontrol noktalarının, arazide Jeodezik olarak Global Navigation

Satellite System: Uluslararası Konum Belirleme Servisi (GNSS) destekli elektronik cihazlar ile ölçümleri yapılmış ve bu değerler, SYM ve ortofoto haritanın doğruluk araştırmasında kullanılmıştır.

3.1. Çalışmanın İş Akışı

Çalışma kapsamında gerçekleştirilecek olan işlem süreçleri şu şekilde gerçekleştirilecektir:

- Hava görüntülerinin alınması
- Stereo görüş için parametrelerin değerlendirilmesi
- SYM üretimi
- Ortofoto harita üretimi
- Stereo değerlendirme işlemi
- Doğruluk kontrolü

3.2. Literatür Çalışmaları

Fotogrametrik harita üretim metotları günümüzde yüksek çözünürlüklü görüntüler kullanılarak yapılabilmektedir. Bu kapsamda literatürde benzer çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Ok vd (2010). çalışmalarında, bina ve yol gibi doğrusal ağırlıklı coğrafi detayların, otomatik olarak üretilmesinin temelini oluşturabilecek yeni bir yöntem yaklaşımı geliştirmişlerdir. Buna göre, Almanya'ya ait Vaihingen, Hannover, Dorsten bölgelerinde farklı derecede yoğunluk içeren ve farklı yapı türü barındıran üç farklı alan üzerinde çalışma yapmışlardır. Elde edilen eşleme sonuçlara göre test alanları Vaihingen, Hannover, Dorsten için sırasıyla %94, %92 ve %95 doğru eşleme seviyelerine ulaşılmıştır. Çalışma sonucunu test alanlarından Vaihingen bölgesine ait LIDAR verisi kullanarak üç boyutlu olarak karşılaştırmışlar ve sonuçta toplam Karesel Ortalama Hata (KOH) değerleri 13,6 cm. (1,7 piksel) olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmaya göre görüntü eşleme ve geri-çatım sonuçları bir bütün olarak ele alındığında stereo görüntülerden doğrusal çizgilerin otomatik geri-çatımı için geliştirilen yaklaşımının başarılı ve sağlam olduğu anlaşılmaktadır

Yılmaz vd. (2013) yaptıkları çalışmalarında, Gatewing X-100 insansız hava aracıyla bütünleşik olan dijital kamera kullanılarak pilot bölgeye çekilen görüntüler yardımıyla ortofoto harita üretmişlerdir. Ürettikleri ortofoto haritanın geometrik

doğruluğunun belirlenmesi amacıyla çalışma alanına ait koordinatları RTK ve GPS yöntemiyle ölçülen noktaları kullanmışlardır. Çalışma sonucunda fotogrametrik yöntemle elde edilen ortofoto haritanın yataydaki konum doğruluğunun yaklaşık olarak 7-8 cm civarında olduğu belirlenmiştir.

Avdan vd. (2014) çalışmalarında, Eskişehir ilindeki Şarhöyük (Dorylaion) Arkeolojik alanında, çalışmada İHA ile farklı yükseklikte ve farklı bindirme oranlarında iki adet uçuş gerçekleştirmişlerdir, elde edilen veriler ile alana ait ortofoto ve sayısal yüzey modeli (SYM) üretilmiştir. Alan değerlendirme işlemleri için, uçuş öncesi alana 34 adet yer kontrol noktası tesis etmişlerdir. İHA ile elde edilen verilerin doğruluklarının araştırılması için veriler dört farklı şekilde işlenmiştir. İlk olarak veriler sıfır yer kontrol noktası kullanılarak işlenmiş daha sonra ise çalışma alanı arazi yüksekliğine bağlı olarak alçak seviye, orta seviye ve yüksek seviyeli olmak üzere üçe ayrılmıştır. Bu üç seviyede bulunan kontrol noktaları kullanılarak, her bir uçuş verisi için üç farklı veri işleme gerçekleştirilmiştir. İHA ile elde edilen ürünlerin karşılaştırma sonuçları incelendiğinde, yer kontrol noktaları kullanılarak hesaplanan karesel ortalama hesabı grafiğine göre, en az hatanın alçak seviyede bulunan kontrol noktalarının kullanıldığı ürünlerde olduğu görülmüştür. Orta ve yüksek seviyede bulunan kontrol noktaları kümelenmiş şekilde görünmektedir. Kontrol noktası kullanılmadan üretilen ürünlerin Karesel Ortalama Hata (KOH) grafiği incelendiğinde, zor arazi modunda yapılan uçuşta en az hata oranı elde edildiği görülmektedir.

Yıldırım vd. (2006) çalışmalarında, fotogrametrik çalışmalarda ana girdi olan hava fotoğraflarının maliyet analizi yapılmıştır. Analog ve sayısal hava kameralarının görüntü alım süreçleri incelenmiş ve gerek yatırım gerekse işletme maliyetleri incelenmiş ve uçaklardan dijital görüntü alımının analog yöntemle göre daha ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır.

Yastıklı vd. (2011) çalışmalarında, İstanbul bölgesinde sayısal fotogrametri, uzaktan algılama yöntemi kullanılarak toplanan verilerle üretilen SYM'lerin doğruluk analizi ve kalite değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. 10x10 km'lik bir alanı kapsayan çalışma alanı, açık alan, orman, yerleşim, çalılık ve bozuk yüzey olmak üzere 5 arazi sınıfını içeren bir bölgeyi kapsamaktadır. 1/5000 ölçekli sayısal fotogrametrik haritalardan üretilen 5m ve 30m olmak üzere 2 farklı çözünürlüğe sahip SYM, 20 m. çözünürlüklü SPOT ve 80 m çözünürlüklü ASTER uydu görüntüleriyle üretilmiş SYM test verisi olarak kullanılmıştır. Çalışma bölgesi arazi yapısına göre sınıflara ayrılmış ve her bir sınıf için ayrı ayrı doğruluk analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda

beklendiği üzere, fotogrametrik yöntemle üretilmiş SYM'lerin SPOT, ASTER, SRTM uydu görüntüleri ile elde edilen SYM'lere göre daha doğru olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda Fotogrametrik yöntemle üretilmiş 1/5000 ölçekli sayısal haritalardan üretilmiş 5m ve 30 m'ye örneklenmiş SYM'lerin sonuçları karşılaştırılmış ve 30m'ye örneklenmiş SYM'nin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Her bir arazi sınıfı için bulunan KOHZ değerleri karşılaştırılmış ve farklı kaynaklardan üretilen tüm SYM'lerde beklediği üzere açık alanları içeren bölgeler, diğer orman, çalılık, yerleşim ve bozuk yüzeylere göre daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Çalışma alanındaki arazi sınıflarında hesaplanan KOHZ değerleri, SYM'nin doğruluğunun belirlenmesinde arazi sınıfının göz ardı edilemeyecek bir etken olduğunu bir kez daha vurgulamıştır.

Çiçekli (2015) çalışmasında, dijital fotogrametrik harita üretiminde sayısal yükseklik verisi elde etmek için kullanılan elle (manuel) ve otomatik yükseklik verisi toplama yöntemlerinin sonuç ürün olan sayısal haritanın yükseklik doğruluğuna olan etkisini araştırmıştır. Çalışma alanına ait 1000x1500 m. boyutlarındaki bir test alanında önce jeodezik yöntemle noktaların yükseklikleri belirlenmiş ve elde edilen bu değerler gerçek kabul edilmiştir. Sayısal kamera ile alınmış görüntüler yardımıyla da 2 m. ve 5 m. aralıklı otomatik olarak yükseklik verileri toplanmış, daha sonra aynı test alanının yükseklik verileri operatör marifetiyle elle toplanmıştır. Daha sonra bu değerler istatistiki yöntemlerle karşılaştırılarak doğruluk analizleri yapılmıştır. Otomatik olarak 5 m aralıkla toplanan verilerden elde edilen standart sapma $\pm 19,96$ cm olarak hesaplanmıştır, 2 m aralıkla toplanan verilerden elde edilen standart sapma $\pm 16,38$ cm olarak hesaplanmıştır.

4. KURAMSAL TEMELLER

4.1. Fotogrametri Nedir?

Fotogrametri sözcüğü eski Yunanca'da olan ışık anlamına gelen “photos”, çizgi anlamına gelen “gramma” ve ölçme anlamına gelen “metron” kelimelerinin birleşmesiyle elde edilmiştir.

İlk Fotogrametri **Albay Aimé Laussedat** tarafından 1851 yılında kullanılmıştır ve günümüze kadar gelişerek gelmiştir.

Teknolojik gelişmelere paralel olarak, belirli bir süreç içinde kullanılan donanım ve cihazlarda gelişme olmuştur.

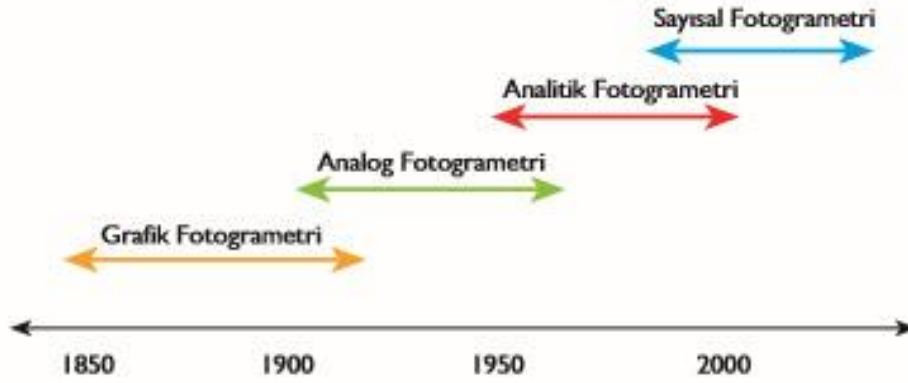
Fotogrametri gelişimi; Düzlem masa fotogrametri, analog fotogrametri, analitik fotogrametri (Konecny, 1994) süreçlerini tamamlayarak günümüzde kullanılan dijital fotogrametri kullanımına kadar gelmiştir. Nadar tarafından çekilen ilk hava fotoğrafı Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4. 1. Nadar tarafından çekilen ilk hava fotoğrafı
(http-1)

Fotogrametri'nin temelinde, bir nesnenin, iki farklı açıdan çekilen görüntüleri arasındaki matematiksel ilişik kullanılarak, nesneye ait yükseklik bilgisinin alınabilmesi bulunur. Bu şekilde yersel ölçüm yapılmadan birçok detaya ait ölçüler fotoğraf üzerinden elde edilebilir. Fotogrametrik yöntem oldukça uzun zamandır harita üretiminde kullanılmaktadır. Bu durum yersel metotlara göre zaman ve işgücü olarak tasarruf sağlamaktadır.

Fotogrametri, zaman içinde teknolojik gelişmelere paralel olarak gelişerek günümüzde kullanılan sayısal fotogrametriye kadar gelmiştir. Fotogrametrinin değerlendirme yöntemine göre tarihsel gelişimi Şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4. 2. Fotogrametrinin tarihsel gelişimi
(Anadolu Üniversitesi Yayın No: 2295 Fotogrametri S.14)

Son yıllarda ortaya çıkan bir kavramda Structure-from-Motion (SfM) kavramıdır. SfM tekniği, biyolojik görüntü algılamadaki insanların (ve diğer canlıların) çevrelerindeki 3 boyutlu ortamı, göz içindeki retina tabakasında oluşan 2 boyutlu hareketli görüntülerden algılamasına karşılık gelmektedir. Structure-from-Motion (SfM), fotoğrafların kamera parametrelerinin, pozisyonlarının ve görüntülerdeki obje üç boyutlu geometrilerinin otomatik olarak düzenlenmesini sağlayarak üç boyutlu model oluşturulmasını sağlayan görüntü temelli modelleme tekniğidir. SfM, fotogrametrik ölçüm işlemlerini temel alarak belirli örtüşme oranı ile farklı konumlarda çekilen fotoğraf serilerindeki objelerin eşleştirilmesine dayalı objelerin üç boyutlu modellenmesini sağlamaktadır (Snavley vd., 2007).

Görüntüler arasındaki ilişkilerin bulunabilmesi için, görüntüde algılanan köşeler kenarlar vs gibi özel-liklerin (features), bir görüntüden diğerine izlenmesi gerekmektedir. Son yıllarda SfM tekniği, ticari yazılımlar aracılığıyla İHA araçlarından elde edilen görüntülerin işlenerek yüksek çözünürlüklü sayısal yeryüzü modeli ve ortofoto haritaların üretilmesinde kullanılmaktadır (Lucieer vd., 2014).

4.2. Fotogrametrinin Prensibi

İnsan gözü, iki farklı açıdan bir nesneye baktığında bir derinlik algısı oluşur ve fotogrametrik yöntemlerde bu temel alınmış ve sanal olarak, derinlik algısının olduğu 3 boyutlu görüntü oluşturulması ve sonucunda oluşturulan bu harita üzerinden derinlik bilgisi dâhil olmak üzere bir noktaya ait X, Y, Z elde edilmesi amaçlanır.

Derinlik algısının oluşması için bir nesneye ait iki farklı açıdan görüntünün gelmesi gereklidir. Fotogrametrik olarak bu gerçeklik, sanal olarak oluşturulur. Fotogrametrik bir çalışma yapılabilmesi için bir nesneye ait en az iki adet hava görüntüsü gereklidir. En az iki görüntüden oluşan ve ortak alana sahip görüntü çiftlerine “blok” denilmektedir.

Fotogrametrik yazılımlarda derinlik algısı ise; bir blokta yer alan iki görüntünün her birisinin, farklı gözlerin algılayacağı şekilde gösterilmesi ile elde edilir. Bu durumda ise blokta yer alan ortak alanda 3 boyutlu görüş sağlanır.

4.2.1. Stereoskopik Görme Yöntemleri

Stereo görüş sağlayan bir kaç yöntem ve teknik bulunur, bunlar şu şekilde sınıflandırılabilir.

1. Anaglif yöntem
2. Polarizasyon yöntemi
3. Stereoskop yöntemi
4. Kırpma yöntemi

Pasif bir yöntem olan Anaglif yöntemde resim bloğundaki resimler mavi ve kırmızı süzgeçten geçirilir ve bu bloğa bir gözü mavi, diğer gözü kırmızı bir gözlük ile bakıldığında her iki resim farklı gözlere karışmadan iletilir ve derinlik algısı oluşur.

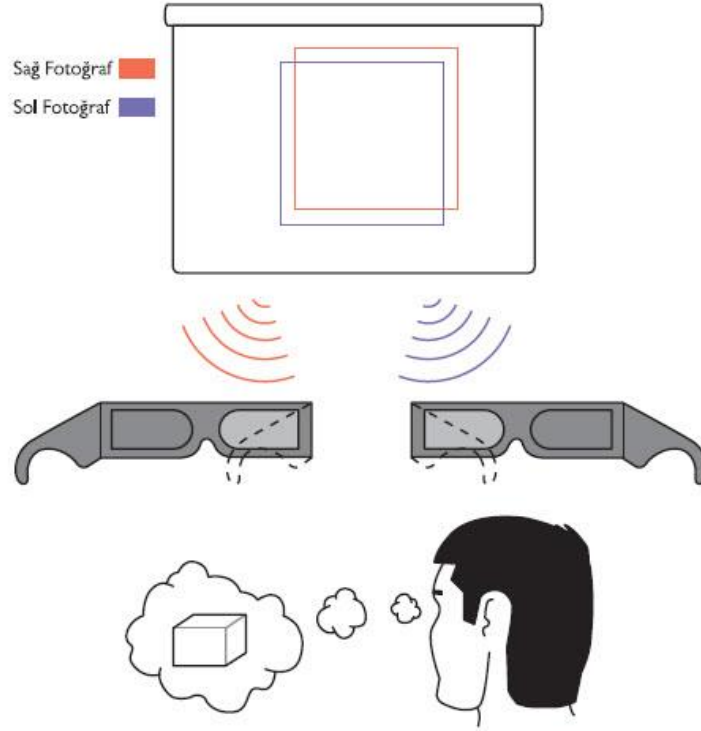
Polarizasyon yönteminde ise, blok içinde yer alan ışın demetleri birbirlerine dik olarak şekilde ayrılır ve polarize bir gözlük ile derinlik algısı sağlanır.

Stereoskop Yöntemde ise, optik olarak her iki resim her iki göze ayrı ayrı sunulur ve stereo görüş sağlanır.

Kırpma yönteminde, aktif bir LCD gözlük kullanılır, her iki resimdeki ışınlar 50-200 Hz aralığında gönderilir, LCD bir gözlüğün sırasıyla sağ ve sol gözleri aynı

frekansta açılıp kapanır, ve blokta yer alan resimlere bakıldığında stereo görüntü sağlanır. (Yaşayan vd. 2011 s.96).

Kırpma yöntemi ile stereo görüntü algılama yöntemi ile ilgili görsel Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4. 3. Stereo görüş tekniği

(Anadolu Üniversitesi Yayın No: 2295 Fotogrametri, Ünite5, S.96)

4.3. Harita Üretim Metotları

Günümüzde güncel olarak kullanılan ölçme yöntemleri iki başlık altında incelenebilir;

- Klasik Yöntemler
- Fotogrametrik Yöntem

4.3.1. Klasik yöntemler

Yersel ölçüm yöntemleri olarak adlandırılan bu ölçme metodunda, yersel noktalardan referans olarak ölçüm yapabilen cihazlar takeometre (Total Satation) veya uydu sistemleri ve TUSAGA-Aktif ile entegre olarak çalışabilen GNSS alıcıları ile yapılan ölçüm yöntemleridir.

Geleneksel metotlarda, ölçümler arazide deneyimli operatör ve yardımcıları ile yapılmaktadır. Bu ölçüm tekniğinde ayrıca arazide ölçülen noktaların yerlerini göstermesi amacıyla hazırlanan krokiyi çizen bir elemana ihtiyaç bulunmaktadır. Klasik metotlar ile yapılan ölçümlerde, ölçüm hassasiyeti ve doğruluk oldukça iyidir. Ayrıca konum değiştirmek ve tekrar ölçme suretiyle arazi yapısından kaynaklı hatalar en aza indirilebilmektedir.

4.3.2. Fotogrametrik yöntem

Fotogrametrik yöntemler kendi aralarında ikiye ayrılmaktadır, bunlar hava fotogrametrisi ve yersel fotogrametridir.

4.3.2.1. Yersel fotogrametri

Yersel fotogrametri, herhangi bir hava aracı kullanılmadan yerden ve yeryüzüne dik olarak çekilen fotoğraflar kullanılarak yapılan işlemlerdir ve genellikle yenileme veya 3 boyutlu nesnelerin katı modellerinin üretilmesinde kullanılmaktadır.

4.3.2.2. Hava fotogrametrisi

Fotogrametrik harita üretim metodu olarak kullanılan yöntemidir. Hava araçlarından sayısal kameralar ile belirlenen bindirme oranları ile çekilmiş fotoğraflar kullanılarak, uygun yazılım ve donanım ile değerlendirilmesi ile harita elde etme işlemidir.

Günümüzde, geliştirilen ticari amaçlı yazılımlar iç yöneltme ve dış yöneltme aşamalarını gerçekleştirme için kendilerine özgü algoritmalara sahiptir ve böylece İHA görüntüleri büyük bir başarı ile geometrik olarak düzeltilerek yöneltilmektedir (Bhandari, 2015).

Fotogrametrik çalışma için, havadan çeşitli araçlarla çekilmiş görüntülere ve parametrelerine ihtiyaç vardır, fotogrametride bu veriler girdi olarak kullanılır. Bu çalışmada fotogrametri kavramı hava fotogrametrisi için kullanılmaktadır.

Bu hava görüntüleri çeşitli hava araçları ile elde edilebilir, bu araçlar şu şekilde sınıflandırılabilir:

- İHA

- Uçak
- Uydu Görüntüsü

Hava fotoğraflarının konumlandırılması için, gerekli iç ve dış yöneltme parametrelerine ve kamera bilgilerine ihtiyaç duyulmaktadır.

4.4. Ölçme Yöntemleri Karşılaştırması

Klasik yöntemler ile fotogrametrik yöntemler zaman, maliyet ve işgücü açısından değerlendirildiklerinde, birbirlerine göre bazı avantaj ve dezavantajları vardır.

4.4.1. Fotogrametrik yöntemlerin avantajları

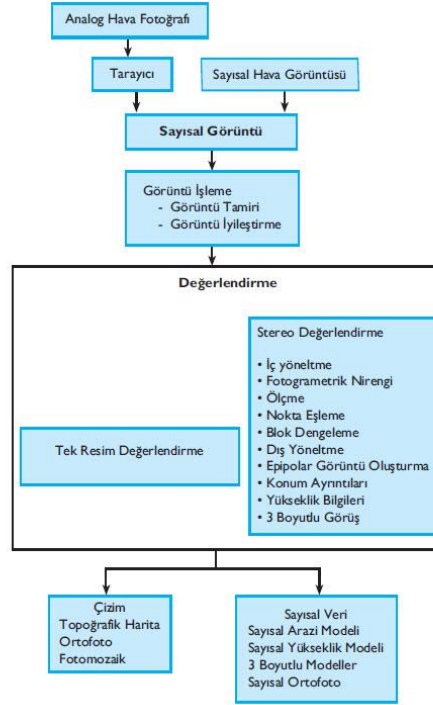
Fotogrametrik yöntem, hem maliyet hem de zaman açısından, klasik yöntemlere göre oldukça avantajlıdır. Arazi üzerinde yapılacak olan çalışmalar, klasik yönteme göre daha az olduğundan, zaman ve işgücü avantajı sağlanır. Yersel metotlarla yapılan ölçümlerde en az üç kişilik bir ekip gerekli iken, aynı işlem fotogrametrik olarak bir operatör tarafından yapılabilmektedir. Ayrıca fotogrametrik yöntemlerde, çalışma bölgesine ait yersel ölçüm ile elde edilemeyen, hava görüntüsü, ortofoto harita, SYM, nokta bulutu ve katı model gibi çıktı ürünler elde edilmektedir.

4.4.2. Klasik yöntemlerin avantajları

Klasik yöntemlerin en büyük avantajı ise yüksek doğruluk sağlamalarıdır, bunun dışında, arazi üzerinde görülemeyen alanlar sorunu bulunmaz, konum değiştirmek suretiyle objeler farklı açılardan ölçülmeye devam edilebilir. Arazide bulunan deneyimli teknik personel, arazi detayları hakkında detaylı bilgi sahibi olur ve objeler hakkında sağlıklı öznitelik bilgisini kolaylıkla edinebilir. Günümüzde görece küçük alanlarda ve belirli yapı ve objelerin detaylı ölçümlerinin gerektiği durumlarda kullanılan etkili bir yöntemdir. Ancak klasik yöntemler, büyük çalışma alanlarında, zaman ve maliyet açısından değerlendirildiğinde avantajlı değildir.

4.5. Fotogrametrik İşlemler

Fotogrametrik işlemler görüntü elde edilmesinden, çıktı ürünün elde edilmesine kadar belirli bir hiyerarşik düzen içinde yapılır. Genel bir fotogrametrik iş akış şeması için Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4. 4. Fotogrametrik iş akış planı

(Anadolu Üniversitesi Yayın No: 2295 Fotogrametri S.118)

4.5.1. Hava görüntülerini elde etme

Sayısal fotogrametri için dijital verilere ihtiyaç vardır. Bu görüntüler bir taşıyıcı platform üzerinde yer alan bir kamera vb. bir algılayıcı sistem ile elde edilebileceği gibi, analog bir görüntüsünün taranarak, sayısallaştırılması ile elde edilebilir.

4.5.2. Görüntü işleme

Elde edilen görüntülerin fotogrametrik olarak değerlendirilmesi için, bazı işlemlerden geçmesi gereklidir, bu süreç görüntü işleme olarak adlandırılır. İlk olarak verinin özellikleri ve özniteliklerine göre doğru bir şekilde konumlandırılması gerekmektedir, hava görüntülerinin doğru bir şekilde konumlandırılmaları için, bu görüntülere ait, hava kamerası parametreleri, iç ve dış yöneltme elemanları, YKN gibi bilgilere ihtiyaç vardır. Bu veriler ile çekilen hava görüntüleri, işlendikten sonra fotogrametrik olarak değerlendirilmeye hazır bir hale gelmektedir.

Görüntü eşleme işlemi sonrasında, görüntü alımında kullanılan kameranın iç ve dış yöneltme elemanları kullanılarak eşlenen pikselin 3B koordinatları hesaplanmaktadır. Buradaki temel sorun problemin karmaşık olması, eşleme işleminin başarısının birçok faktöre bağlı olmasıdır. Yaşanan sorunların çözümü için gerek fotogrametri gerekse bilgisayarlı görme (computer vision) alanında birçok yöntem önerilmiştir. Bu kapsamda kullanılan en bilinen yaklaşım SGM (Semi Global Matching)'dir. Yoğun görüntü eşleme algoritmaları kullanılarak yoğun nokta bulutu üretilmekte, üretilen sayısal yüzey modelinin sıklığı stereo görüntülerin yer örnekleme aralığına (YÖA/GSD) eşit olabilmektedir (Yastıklı, 2014).

4.5.3. Kıymetlendirme işlemleri

Fotogrametrik olarak harita üretiminin önemli aşamalarından bir tanesi de “kıymetlendirme” diye tabir edilen, harita üretim aşamasıdır. Kıymetlendirme işlemi, gerekli parametreler ile konumlandırılmış ve işleme hazır hale getirilmiş olan hava fotoğraflarının, stereo görüş özelliği sağlayan sistemler kullanılarak, uygun yazılımlar ile vektörel hale getirilmesi işlemidir.

Çalışma alanında yer alan belirlenen veya istenilen tüm detay objeler, stereo görüş ile çizgisel hale getirilir ve ilgili yönetmelik ile belirlenmiş standartlara göre, ilgili tabakalara; nokta, poligon ve alan olarak kaydedilir. Bu işlem sonucunda elde edilen çıktı ürün ise, hâlihazır harita olarak adlandırılır. Şekil 4.5'te Anadolu Üniversitesi Yunusemre Kampüsüne ait bir hâlihazır haritası örneği verilmiştir.



Şekil 4. 5. *Anadolu Üniversitesi Yunusemre kampüsü hâlihazır haritası*

(Kaynak: Yazar tarafından üretilmiştir.)

4.5.4. Bütünleme işlemi

Stereo görüntüler değerlendirmeye alındıklarında, karşılaşılan sorunlardan birisi de görülemeyen alanlardır, bu alanlar, arazi modelinin çıkarılması noktasında oldukça büyük problemler çıkarmaktadır. Özellikle ağaç ve bina gibi nesneler kapladıkları alan itibariyle, etrafta yer alan diğer objelerin görülmesini ve değerlendirilmesini de engelleyebilmektedir. Görülemeyen alanlar, özellikle çatı yapısından dolayı binaların zemine temas ettiği, köşe noktalarının görülmesini engelleyen, mimari yapıdan kaynaklı bir sorundur. Ayrıca ağaçlar, direk veya iletim hatları gibi harita detayları ve fotoğraflar üzerindeki gölgeler havadan çekilen görüntülerin kullanılmasını zorlaştırmaktadır.

Görülemeyen alanlar ile ilgili en etkin çözüm yolu, arazide gerçekleştirilecek olan “bütünleme” diye tabir edilen çalışmalardır. Görülemeyen alanlarda yer alan obje detayları ise klasik yöntemler ile çalışma alanında yapılacak ölçümler sonucunda değerlendirilerek haritaya eklenir.

4.5.5. Sayısal yüzey modeli oluşturma

Stereo hava görüntülerinden, alana ait bir sayısal yüzey modeli elde edilebilir, yüzey modeli yükseklik değeri içeren bir veri tipidir. Yüzey modelleri, uygun yazılımlar tarafından otomatik olarak oluşturabileceği gibi manuel olarak nokta üretimi ile de

gerçekleştirilebilmektedir. Sayısal arazi modeli üretiminde kullanılan bir diğer yöntem de LIDAR (Light Detection And Ranging) teknolojisidir.

Yüzey modelleri, fotogrametrik işlemlerde, ortofoto harita üretimi için kullanılırlar, bunun dışında birçok sektörde farklı şekillerde kullanılırlar, SYM'lerin kullanıldığı genel olarak beş ana uygulama alanı vardır: İnşaat Mühendisliği, Yer Bilimleri, Planlama ve Kaynak Yönetimi, Jeodezi ve Fotogrametri, Askeri uygulamalar (Erdoğan M. 2007).

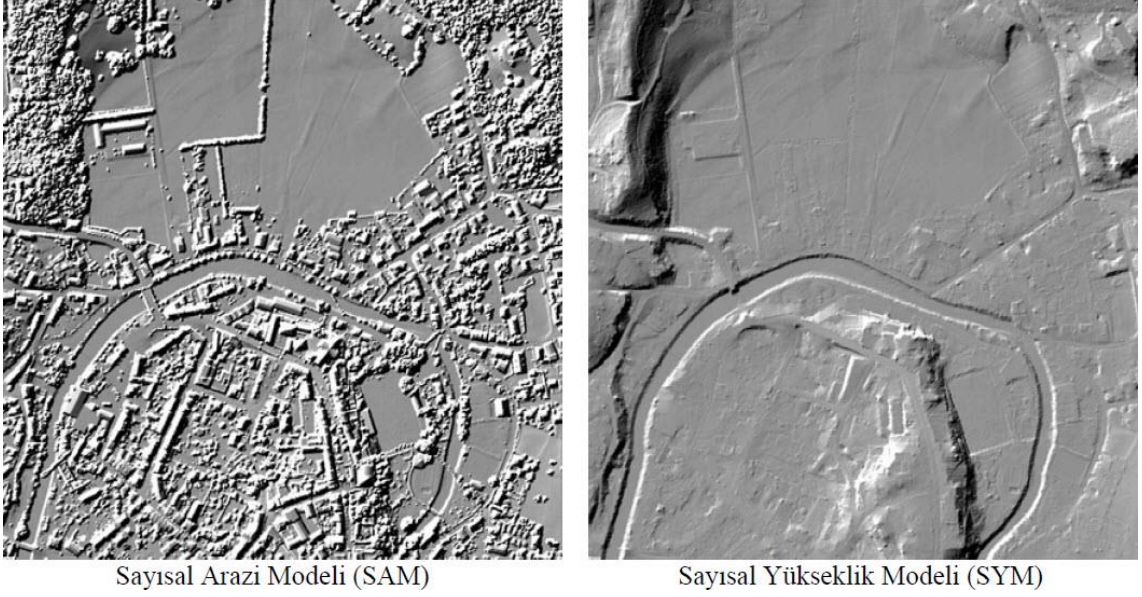
CBS sayısal arazi modeli kullanarak doğal afetler için tehlike zonları, görülebilirlik, eğim, bakı, kapsama alanları gibi analizleri gerçekleştirebilir. Deprem, sel gibi doğal afetlerin, yükseklik verileri ile ilgili olan risk haritaları yüzey analizleri ile yapılmaktadır. Doğal afet risk bölgeleri CBS ile önceden belirlenerek, gerekli önlemlerin alınması sağlanmaktadır (Uyguçgil H. 2011, s.140).

Elde edilen SYM'lerin doğrulukları ve çözünürlükleri, elde edilecek olan ortofotonunda doğruluğunu etkilemektedir. SYM'ler, Stereo görüntülerden otomatik ya da manuel olarak oluşturulabilir. Yüzey modelleri kendi içinde iki kategoride incelenmektedir, bunlar SYM ve SAM olarak isimlendirilmektedir.

Sayısal Yükseklik Modeli, insan yapısı detayları ve bitki örtüsünü kapsayan SYM'yi kastetmektedir.

“SYM; fiziksel yeryüzünün tüm yapay ve doğal ayrıntılarının sayısal gösterimidir.” (Çolak, 1997), (Saygılı, 2004)

Sayısal Arazi Modeli (SAM), yeryüzüyü topoğrafyasının her hangi bir bölümüne ilişkin konum ve yükseklik bilgisiyle oluşturulmuş, o bölgeyi tüm arazi detaylarıyla yansıtan 3 boyutlu sayısal bir modeldir. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ise yeryüzü topoğrafyasını modellerken SAM'dan farklı olarak orman, bina, bitki örtüsü v.b. detayları içermeksizin yalnızca çıplak yeryüzü topoğrafyasını yansıtan sayısal modeldir. (Sefercik, 2007). Şekil 4.6'da SAM ile SYM arasındaki fark açıkça görülebilmektedir.



Şekil 4. 6. *SAM ve SYM arasındaki fark*
(Sefercik, 2007)

SYM'nin üretiminde, sonucun doğruluğunu etkileyen üç tip yaklaşım bulunur, bu üç yaklaşım modeli şu şekilde sıralanabilir;

- Fotogrametrik Yöntem
- Otomatik Grid
- Otomatik Piksel Benzerliği

- **Fotogrametrik yöntem**

Fotogrametrik olarak üretilen bu model, manuel olarak bir operatör tarafından belirlenen noktalar kullanılarak üretilen model olan SAM'dir. Bu model en sağlıklı sonuç veren modeldir, sebebi ise bir kullanıcı tarafından sadece arazi üzerinden ve arazi yapısına uygun olarak seçilen sıklıkta nokta alınması ile oluşturulmuş olmasıdır. Bu sebeple arazi yapısını en iyi yansıtan modeldir.

- **Otomatik Grid**

Grid olarak belirlenmiş sabit aralıklarla, otomatik olarak belirlenmiş olan noktalar kullanılarak üretilen SYM ise, istenilen çözünürlükte grid mesafesi belirlenerek bir SYM üretilmektedir. Bu tür SYM'lerde, yükseklik verisi hassas bir şekilde belirlenemez, sebebi ise arazi yapısında bulunan yükseklik farklarının göz ardı

edilmesidir. Ani yükseklik değişimlerinin bulunduğu yerler çözünürlüğe bağlı olarak arazi yapısını tam olarak temsil etmez.

- **Otomatik Piksel Benzerliği**

Piksel benzerlikleri kullanılarak otomatik olarak, grid düzeni olmadan elde edilen noktalar kullanılarak üretilen SYM’de ise, grid yapısından farklı olarak, benzer pikseller kullanılarak bir model oluşturulmaktadır. Bu modeller ise, görünebilen alanlarda arazi yapısını tam olarak yansıtabildiği gibi, özellikle yükseklik arz eden yapıların zeminle birleştii yerlerde doğru sonuç vermezler. Ancak grid yapısına göre elde edilen otomatik SYM üretiminde daha başarılı sonuçlar vermektedirler.

Otomatik olarak üretilen bir SYM’den, bir operatör tarafından müdahale edilerek üretilen SYM kadar doğrulukta bir veri beklenemez.

- **Ortofoto üretimi**

Hava fotoğraflarından elde edilecek olan diğer bir çıktı ürün ise ortofoto haritadır. Sonuç haritası olarak ortofoto harita en çok kullanılan harita türüdür. Gerçek bir ortofoto üretimi için, çalışma bölgesine ait bir SYM gerekmektedir.

Yapılan uçuştan elde edilen fotoğrafların harita olarak kullanılabilmesi için, fotoğrafların sahip olduğu eğiklik, dönüklük ve yükseklik farkında dolayı oluşan hataların düzeltilmesi ve dik iz düşüm haline getirilmesi gerekmektedir (Avdan vd, 2014).

Dijital ortofoto haritalar, oluşması muhtemel görüntü distorsiyonlarından arındırılmış ve geometrik olarak düzeltilmiş, düşeye çevrilmiş (arazi yüzeyindeki yükseklik farklılıkları ve resim eğiklikleri giderilmiş) bilgisayar ortamında fotografik görüntü olarak tanımlanabilir. Bu nedenle dijital ortofoto haritalar Coğrafi Bilgi Sistemlerinde (CBS) veya bilgisayar destekli veri işletimi ve görüntüleme, analiz, güncelleme vb. işlemlerinde doğrudan harita katmanı olarak kullanılabilir (Baz vd, 2003).

Hava fotoğrafları bir ölçeğe sahiptir ama bu ölçek yüksekliğe göre değişebilen kaymalara ve deformasyona sahiptir. Bu sebeple hava fotoğraflarının bu tür hatalardan arındırılmaları gerekmektedir. İşte bu hataların giderilmesi sonucu elde edilen ürün ortofoto olarak tanımlanmaktadır (Visser 1988).

4.5.5.1. Gerçek ortofoto üretimi

SYM ve SAM kullanılarak elde edilen ortofotolarda tüm eğikliklerin ve çekim açılarından kaynaklanan hataların giderilmesi ile elde edilen ortofoto haritaya Gerçek ortofoto harita denilmektedir.

Oluşturulan stereo model sayesinde, üst üste bindirilen resimlerdeki ortak noktalar kullanılarak, hava fotoğrafları alan bazlı olarak değerlendirmeye alınmak suretiyle, ortak özelliklerdeki pikseller tespit edilerek, resimlerin kesişim alanlarına yeni ortak pikseller oluşturulur, bu yeni piksellerden oluşan görüntü ise gerçek ortofotodur.

Klasik bir ortofoto görüntüde resim kabul edilebilir bir ölçüğe sahiptir ama resim çekim odak noktasından başlayan ve kenarlara gittikçe artan bir deformasyona sahiptir. Bu durum görüntülerde yer alan objelerin kenarlara gittikçe diğer yanal yüzeylerin belirgin bir şekilde ortaya çıkmasına aynı ölçüde de diğer yanal yüzeylerin kaybolmasına sebep olurlar.

Gerçek ortofotoda yeryüzüne dik yüzeylerin hiçbirisi gözükmez ve her bir nokta nadir açısı ile 0 (sıfır) derece olacak şekilde düzeltilmiştir. Fotogrametrik olarak bir SYM ve SAM verisi kullanılarak gerçek ortofoto üretilebilir.

Gerçek ortofoto haritanın en belirgin özelliği, resmin her noktasının nadir noktası özelliği göstermesidir. Bu sayede gerçek ortofoto haritada, yüksekliğe sahip hiçbir yapının yanal yüzeyleri görünmez.

Gerçek ortofoto harita üretiminde, otomatik olarak üretilen SYM kullanılabilir, ancak bu durumda arazi yapısından kaynaklı deformasyonlar belirgindir. SAM ile birlikte binaların çatı alanlarının da sayısallaştırılması ve bu iki verinin birlikte kullanılması ile elde edilen gerçek ortofoto haritalar daha iyi sonuç vermektedir.

Çalışma bölgesinde, otomatik olarak elde edilen bir SYM kullanılarak oluşturulan gerçek ortofoto ve gerçek ortofoto harita arasındaki fark Şekil 4.7’de görülmektedir.



Şekil 4. 7. *Klasik ortofoto ile gerçek ortofoto harita arasındaki fark*
(Kaynak: Yazar tarafından üretilmiştir.)

4.5.6. Katı model

Stereo görüntü çiftlerinden elde edilen diğer bir çıktı ürün ise katı model (Mesh)'dir. Elde edilen nokta bulutu kullanılarak, alanın üç boyutlu bir modeli üretilir. Ancak sağlıklı bir katı model üretebilmek için, stereo görüntülerinin bindirme oranlarının fazla olması, resim çözünürlüklerinin iyi olması gerekmektedir. Katı model üretimi için, yoğun nokta bulutu üretmek için işlenmesi gerekmektedir.

4.6. Fotogrametrik Girdiler

Günümüzde ise, temel olarak hava görüntülerini elde etmek için gözlem uyduları, uçak görüntüleri, İHA'lar kullanılmaktadır. Çalışma bölgesine ait bir basılı görüntü var ise, tarama yöntemi ile sayısallaştırılarak stereo olarak değerlendirilebilir.

- Taramalar
- Uydu Görüntüleri
- Uçak Görüntüleri
- İHA Görüntüleri

4.6.1. Fotogrametrik girdi seçimi

Bir çalışma alanında kullanılacak olan hava görüntüsünün kaynağının seçimi çalışma alanının büyüklüğüne, elde edilmek istenen detaya ve elde etme maliyetine göre belirlenir.

Yüksek çözünürlükte, farklı spektral bant kullanılarak çekim yapan sayısal hava kameraları, uydu görüntüleri ve uçak görüntüleri girdi olarak kullanılmaktadır. İHA'larda ise, daha temel özellikte ve küçük boyutta kameralar kullanılmaktadır.

Tam otomatik uçuş yeteneğine sahip Sensefly firmasının ürettiği eBee isimli insansız hava aracı için Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4. 8. eBee insansız hava aracı

(http-2)

Son yıllarda, 4 motorlu İHA'ların kullanımı oldukça yaygınlaşmaktadır. Tek pervaneli modellere göre farklı teknik kapasitelere sahip ve daha düşük maliyetleri olduğundan bu İHA'larda fotogrametrik çalışmalarda kullanılmaktadır.

Tam ve yarı otomatik uçuş yeteneğine sahip DJI firmasının ürettiği PHANTOM-4 modeli insansız hava aracı Şekil 4.9'da görülmektedir.

PHANTOM 4 İHA entegre GoPro kamera ile görüntü kaydı yapmaktadır. Kullanılan GoPro kameranın teknik özellikleri;

- Görüntü boyutu 4000*3000
- 1/2.3"CMOS sensör
- 35 mm odak uzaklığı
- Piksel boyutu 6 mm * 4 mm



Şekil 4. 9. DJI firmasının ürettiği PHANTOM-4 modeli
(Http-3)

Taşıyıcı platformdan hariç, kullanılan hava kamerasının özellikleri ve uçuş yüksekliği de elde edilecek olan verinin kalitesini etkilemektedir.

Hava fotoğraflarında sonuca etki eden önemli bir husus ise, çözünürlüktür, çözünürlük Yer Örnekleme Aralığı (YÖA) hava kamerası üzerinde bir hücrenin, arazi üzerinde ne kadar bir bölgeyi temsil ettiği. Buna yersel çözünürlük denilmektedir. Hava kamerasının çözünürlüğü, çekilen görüntünün hangi yükseklikten elde edildiği ve kameranın teknik kapasitesi ile doğru orantılıdır.

Yapılacak çalışmanın büyüklüğü ve elde edilmesi istenilen detayların özelliklerine göre hava fotoğrafı girdisi seçimi yapılmalıdır.

Çalışma kapsamında kullanılan uçak görüntüleri ise, ÇŞB tarafından yapılan uçuş ile elde edilmiştir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından kullanılan kamera modeli UltraCamX modeli Şekil 4.10’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 10. ÇŞB tarafından kullanılan kamera modeli UltraCamX modeli
(<http-4>)

4.6.1.1. Fotogrametrik girdi seçiminin sonuca etkileri

Uçuş yüksekliği arttıkça, kamerada yer alan bir hücrenin arazide kapladığı alan aratacaktır ancak bu durumda yersel çözünürlük düşecek ve dolayısıyla görüntü hassasiyetini kaybedecektir ve detaylar kaybolacaktır.

Aksine çok yüksek çözünürlükte bir hava kamerasında, alçak uçuş yapıldığında ise, arazi detayları maksimum derecede görünecek ancak elde edilen görüntünün, arazide kapladığı alan küçülmüş olacak ve gerektiğinden fazla veri üretimi gerçekleşecektir.

Bu bağlamda, nispeten küçük alanlar ve çok fazla detay istenilen alanlarda, alçak uçuş kabiliyeti olan İHA’ların kullanımının tercih edilmesi uygun olacaktır. Daha büyük alanlarda yapılması planlanan çalışmalar için de daha büyük alanları kapsayan uçak ve uydu görüntülerinin kullanılması uygun olacaktır. Bunun dışında, çalışma yapılacak arazinin yapısı da önemli bir etkidir. Arazinin topografik yapısı, yapılaşma oranları ve çalışma alanı büyüklüğü de önemli etkidir.

Günümüzde farklı model ve kabiliyetlerde taşıyıcı sistemler kullanılmaktadır. Uydu görüntüleri genel olarak, 0.30-1 metre aralığında büyük çalışma alanlarında veri sağlamak için tercih edilebilirken, uçak görüntüleri ise 0.10 -0.30 metre çözünürlükte, büyük çalışma alanlarında veri sağlamak için, İHA'lar ise 0.05-0.10 metre çözünürlükte küçük alanlarda tercih edilebilirler. .

Günümüzde maliyetlerinde düşmesi ile birlikte, İHA'ların kullanımı hızlı bir şekilde artmaktadır. Yüksek çözünürlük sağlayan kamera sistemleri ve GPS-RTK destekli konum belirleme sistemine sahip tek pervaneli uçak veya “Drone” diye tabir edilen, 4 motordan oluşan farklı şekil ve kapasitelerde taşıyıcı sistemler ile elde edilen görüntüler, uygun parametreleri verebildikleri sürece, fotogrametrik harita üretiminde kullanılabilirler.

4.7. Fotogrametrik İş Planı

Fotogrametrik harita üretiminde, uçuş öncesinden, çıktı harita üretilmesine kadar belirlenmiş bir yol izlenmelidir. Genel olarak izlenecek olan yöntemler şu şekilde sıralanmaktadır.

- Çalışma bölgesi analizi
- Çıktı haritanın detay özelliklerinin belirlenmesi
- Uçuş planı
- Uçuşun gerçekleştirilmesi
- Verilerin değerlendirilmesi
- Fotogrametrik çizim süreci

• Çalışma bölgesi analizi

Hava fotoğrafı alımı öncesinde, çalışma alanı ve çıktı haritanın detay özellikleri belirlenir ve arazi detayları incelenir ve arazinin topoğrafik yapısına, alanın büyüklüğüne ve istenilen detaya göre çalışma alanı analiz edilir.

• Çıktı haritanın detay özelliklerinin belirlenmesi

Fotogrametrik çalışma için yapılacak alan için üretilmesi planlanan çıktı haritanın hangi ölçekte, hangi detayları içermesi gerektiği bilgileri belirlenir.

• Uçuş Planı

Daha sonra ise buna uygun bir taşıyıcı platform ve kamera seçimi yapılır ve bir uçuş planı hazırlanır. Uçuş planında uçuş yüksekliği, bindirme oranları, blok sayısı ve bloklarda yer alacak olan fotoğraf sayısı belirlenir. Aksi halde fazla ya da eksik uçuş yapılması veya uçuşun tekrarlanması gerekecektir, bu durumda zaman ve maliyeti arttıracaktır. Fotogrametrik çalışmalarda, uçuş öncesi yapılan uçuş planlarında, bunlar göz önüne alınmalıdır ve titiz bir şekilde belirlenmelidir ve uçuş buna göre yapılmalıdır, iyi bir uçuş planı, oluşturulacak olan haritanın doğruluğunu ve detayını etkileyen bir faktördür.

- **Uçuşun gerçekleştirilmesi**

Uçuş planına uygun bir zaman aralığında, uçuşun yapılması planlanmalıdır. Yağışlı ve bulutlu olmayan uygun bir zaman seçilmeli ve uçuş bir günden fazla sürecekse, uçuşların arasında zaman mümkün olduğunca kısa tutulmalıdır. Uçuş yapılırken, gerekli kurumlardan uçuş için izinlerin alınmasına dikkat edilmeli ve uçuş için uzman ve yetkili personel tarafından uçuşun yapılması gereklidir.

- **Verilerin değerlendirilmesi**

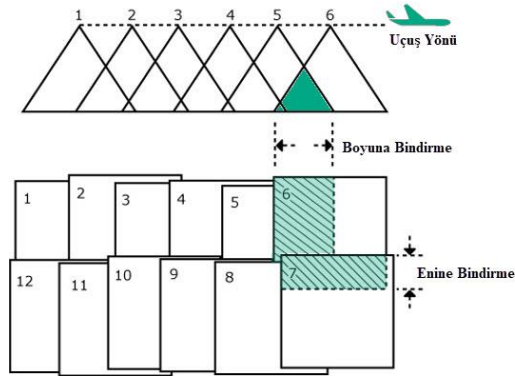
Uçuş yapıldıktan sonra elde edilen hava görüntüleri ve gerekli parametreler kaydedilerek ve fotogrametrik olarak değerlendirme aşamasına geçilmelidir.

- **Fotogrametrik çizim süreci**

Bu süreç, fotogrametrik iş planının son aşamasıdır ve elde edilen verilerin, gerekli parametreler ile birlikte uygun bir yazılımda tanımlanması ve fotogrametrik olarak veri üretilmesi adımıdır.

4.8. Bindirme Oranları

Bindirme oranları için hava fotoğraflarının fotogrametrik tekniklere uygun olarak çekilmesi gereklidir. Bunu sağlamak için fotoğraflar bindirmeli olarak seri bir şekilde çekilir. Hava fotoğrafları işlenirken, resimler buna göre üst üste bindirilir ve resimler arasında bindirmeli, ortak alanlar oluşur. Stereo görüntü bu alanlarda oluşur ve değerlendirilir. Uçuş yönüne göre elde edilen bindirme oranları ve ortak alanlar Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4. 11. Enine ve boyuna bindirme oranları

(http-4)

Bu sebeple hava fotoğrafları çekilirken çalışma amacına uygun olarak, hem enine hem de boyuna bindirme oranları belirlenir ve çekimler buna uygun olarak yapılır.

Elde edilen bu stereo görüntü çiftleri blok olarak tanımlanmaktadır, her bir blok en az iki adet resimden oluşmak zorundadır ve çalışma alanı bu iki resmin bindirme yapılmış ortak alanı olacaktır.

Ortak alanların asıl veri kaynağı olmasının sebebi ise, bu alanda yer alan noktaların her iki resimde de ortak olmasıdır, bu sebeple, bir noktaya ait iki adet farklı açıdan gelen iki ışın demeti ile bir matematiksel model hesabı yapılabilir.

İHA'lerden elde edilen görüntülerin değerlendirilebilmesi için görüntülerin belirli örtü oranıyla çekilmesi gerekmektedir. Klasik hava fotogrametrisinde görüntüler %60 boyuna ve %20 enine örtü oranıyla çekilmektedir. Ancak, bilgisayarlı görme tabanlı sayısal fotogrametrik yazılımlarda kullanılan algoritmalar %80 boyuna ve %60 enine örtü oranıyla daha doğru görüntü eşleştirmesi gerçekleştirebilmektedir (Öztürk vd. 2017, s.139).

4.9. Resim Konumlandırma

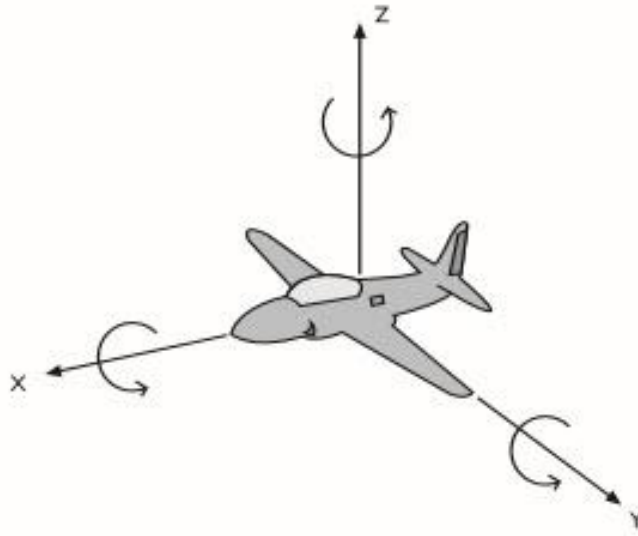
Resimlerin konumlandırılması için, iç ve dış yöneltme parametreleri bilinmesi gereklidir. Bu parametreler, çekilen hava görüntülerinin, araziye doğru şekilde konumlandırmak için gerekli verilerin işlenmesi ile hesaplanan bazı değerlerdir.

Hava fotoğrafları çekilirken ayrıca, fotoğrafın çekim anında konumunun da bilinmesi gereklidir, bunu sağlamak için hava araçlarında GPS (Global Positioning System: Küresel Konumlama Sistemi) ve RTK (Real Time Kinematic: Gerçek Zamanlı

Kinematik) sistemlerinden yararlanılır. Resim çekildiği andaki fotoğraf orta noktasının koordinatları da resim özniteliklerine eklenir.

Bunun dışında hava aracı yeryüzüne tam olarak yatay olarak uçuş yapamaz ve üç farklı yönde yalpalama yapar, bu durum hava fotoğraflarının konumlandırmasını etkilediği için bu dönüklük açılarının da bilinmesi gereklidir.

Bunu tespit etmek üzere hava araçlarında IMU (Inertial Measurement Unit: Atalet Ölçü Birimi) diye tabir edilen ve bu üç yalpalama açısını tespit eden sistemler bulunur. Üç yönde dönüklük açıları Şekil 4.12’de görülmektedir.



Şekil 4. 12. IMU sistemlerindeki yalpalama açıları yönleri

(Hava Fotoğraflarında Matematiksel Model (Fotogrametri Ders Notları, Yaşayan vd., T.C. Anadolu Üniversitesi Yayını No: 2295, sayfa:38)

Hava fotoğrafları çekimi sırasında hem koordinat hem de bu üç dönüklük değerlerinin kaydedilmesi gereklidir. İşlem sonunda her bir hava fotoğrafı için X, Y, Z ve Omega, Phi, Kappa olmak üzere toplamda altı adet sayısal bilgi olması gereklidir.

4.10. Yer Kontrol Noktaları

Arazide fiziksel olarak yer alan ve hava fotoğrafında da net olarak görülebilen ve koordinatı kesin olarak belirlenmiş olan noktalara Yer Kontrol Noktası (YKN) denilmektedir. YKN'ler hava fotoğrafı ve arazi arasındaki bağlantı için kullanılır. Bu sebeple arazi üzerinde mutlaka, koordinatları bilinen YKN tesisi yapılmalıdır. Bu noktalar aynı zamanda, çekilen hava görüntülerinde de görünür bir şekilde yer almalıdır. Şekil 4.13'te bir YKN örneği görülmektedir. YKN kullanılarak, arazi üzerinde yer alan tesislere ait koordinatlar ile resimler arasındaki geometrik ilişki hesaplanabilir. Bu yer kontrol noktaları daha sonra, resimler arasındaki piksel benzerlikleri kullanılarak çoğaltılır ve buna Hava Nirengisi denilmektedir.



Şekil 4. 13. Yer kontrol noktası örneği
(Avdan vd. 2014)

4.11. Dengeleme

Hava fotoğrafları çekimi sonrası, elde edilen bu verilerin işlenmesi ve koordinatlarının tam olarak değerlendirilmesi için bir dizi işlemten geçmesi gereklidir.

Hava fotoğraflarının orta nokta koordinatlarının GPS ile belirlenmesi, tam olarak konumlandırıldığı anlamına gelmez, son olarak arazi üzerinde yer alan YKN'ları kullanılarak dengelenmesi gereklidir.

Son yıllarda ortaya çıkan RTK yöntemi ile konum bilgisi elde eden sistemlerin kullanılmaya başlanması ile tam olarak doğru ve kesin konum bilgisine ulaşılması sebebiyle, YKN'larına ihtiyaç kalmamaktadır. Ancak GPS ile çekim yapan hava araçlarından elde edilecek olan veriler için YKN kullanılması gereklidir.

Görüntü işleme sırasında, bu veriler kullanılarak dengeleme yapılması gereklidir, bu işleme de Havai Nirengi dengeleme işlemi denilmektedir.

Dengeleme işlemi aslında dış yöneltme değerlerini elde etmek için sistemin dengelenmesidir. Yani, bağlama noktalarının resim koordinatları, yer kontrol noktası koordinatları (resim ve yer), kinematik GPS'den gelen resim orta noktalarının yaklaşık koordinatları sisteme girdi olarak verilir. Bu şekilde, resim üzerinde her iki resimde de ortak olacak şekilde birçok nokta elde edilmiş olur.

Çekilen bir hava görüntüsünün harita yapımında kullanılabilmesi için bazı bileşenlere ihtiyaç vardır, bunlar iki aşamada belirlenmekte ve işlenebilmektedir.

4.12. Yöneltme Parametreleri

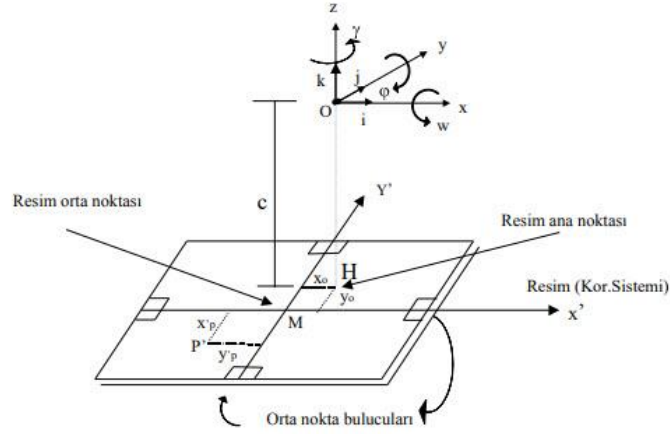
Fotogrametri için en önemli parametrelerden bir tanesi de, iç ve dış yöneltme elemanlarıdır, bu değerler olmadan bir fotogrametrik işlem den söz edilemez. Bu bağlamda iç ve dış yöneltme parametrelerinin değerlendirme ve elde edilmesi sürecinden bahsetmek yerinde olacaktır.

İç yöneltme parametreleri, YKN'ler ve kamera parametreleri kullanılarak yapılan dengeleme işlemi sonrasında dış yöneltme parametreleri elde edilir.

Dış yöneltme parametrelerine sahip hava fotoğrafları ve kamera parametreleri ile stereo resim ile arazi üzerinde geometrik ve matematiksel ilişki kurulabilir. Daha sonra uygun yazılımlar aracılığı ile bu ilişki kullanılarak harita yapım süreci başlatılabilir.

4.12.1. İç yöneltme parametreleri

İç yöneltme, görüntülerin alımı esnasında objektif merkezi ile resim düzlemi arasında oluşan ışın demeti geometrisinin yeniden oluşturulmasıdır. Yani, resimlerin alımı sırasındaki kamera koşullarının yapay olarak yeniden oluşturulmasıdır. İç yöneltme parametreleri modeline ait görsel Şekil 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4. 14. İç yöneltme parametreleri modeli

(Sayısal fotogrametri ders notları, Doç.Dr. Bahadır ERGÜN, Gebze Teknik Üniversitesi, sayfa 10)

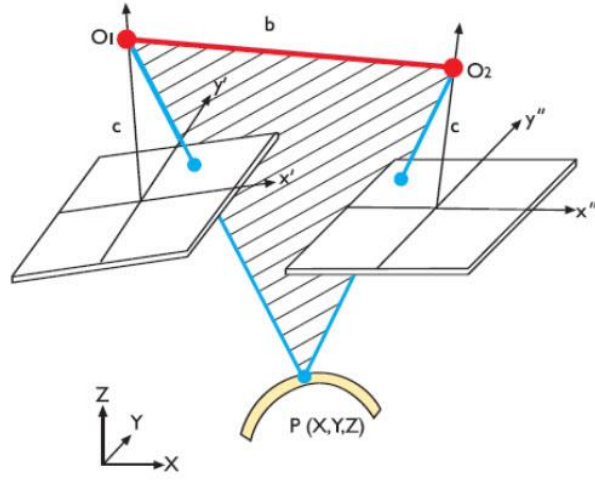
İç yöneltme resim bazında yapılan bir işlemdir. Bunun için her bir resmin, resim köşe noktaları ölçülür. Kullanılan yazılımlarla kamera bilgileri, köşe marka koordinatları ve mercek distorsiyon değerleri tanımlanarak otomatik iç yöneltme yapılır.

İç yöneltme, genel olarak çekim kamerası özelliklerinin değerlendirme aletine getirilmesi olarak ifade edilir. Sayısal fotogrametrik sistemlerde yapılan iç yöneltme, kalibrasyon raporundaki kamera bilgilerinin sisteme tanımlanmasıdır. (Yaşayan, 2011).

4.12.2. Dış yöneltme parametreleri

Hava fotoğraflarının işleme alınabilmesi için gerekli olan bileşenlerden birisi de dış yöneltme parametreleridir. Bu parametreler, uçuşu gerçekleştiren tarafından kullanılan donanım a ait parametrelerdir. Çekimi yapan sayısal hava kamerasına ait bilgiler, dönüklük açıları ve konum bilgileri, dış yöneltme olarak belirlenmiştir.

Dış yöneltmenin amacı, görüntü ile yer koordinat sistemi arasındaki ilişkiyi belirlemektir. Yani, arazinin birebir benzeri olan görüntüyü oluşturma işlemidir. Her hava kamerası 6 dış yöneltme parametresine sahiptir. Bunlar, alım noktası koordinatları X_0 , Y_0 , Z_0 ve üç dönüklük açısı ω , ϕ , χ 'dir. Dış yöneltme matematiksel modeline ait görsel Şekil 4.15'te görülmektedir.

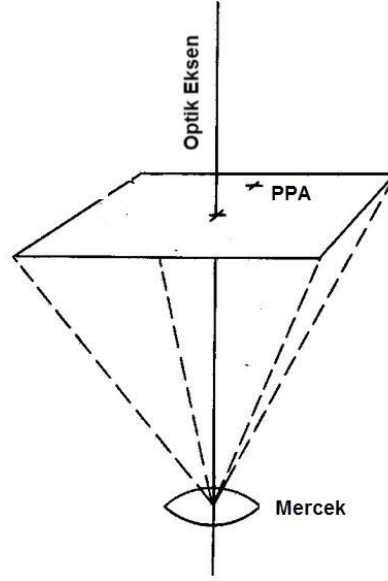


Şekil 4. 15. Hava fotoğraflarında matematiksel model
(Yaşayan vd., yıl, s. 38)

Dış yöneltme için günümüzde en çok kullanılan yöntem ışıın demetleriyle blok dengelemedir. Bunun için öncelikle iç yöneltmesi yapılmış olan resimleri bindirmeli alanlarında bağlama noktaları yardımıyla birbirine bağlamak gerekir. İki resmin bindirmeli alanlarındaki objelerle en az 6 nokta seçilir. Böylece bir blok boyunca resimler birbirine bağlanır.

4.13. Principal point

Asıl Nokta Kolimasyon Değeri (Principal Point of Autocollimation) (PPA), X_0 ve Y_0 değerleri, kameranın düşey ekseninde, nadir açısı ile yapmış olduğu açıdır, bu açıda oluşacak olan bir fark resim orta noktasının o kadar kaymasına sebep olacaktır. Bu değerin eğer varsa, mutlaka yazılıma tanımlanması gereklidir, aksi halde elde edilecek çıktı haritada kaymalar meydana gelecektir. Optik eksek ve PPA değeri kayıklığı Şekil 4.16'da görülmektedir.



Şekil 4. 16. *Optik eksen ve kayıklık değeri*
(http-6)

4.14. Derinlik algısı

Stereo görüntü üzerinden, oluşturulmuş olan derinlik algısı kullanılarak 3 boyutlu gözlük ile arazi üzerinden detaylar objeleri, fare yardımıyla, çizerek, sayısal bir harita üzerine aktarma işlemidir.

3D görüş, özel gözlük yardımıyla, iki farklı resmin, her iki göze belirli bir Hertz ile ayrı ayrı gönderilmesi prensibi ile çalışır ve bu sayede, sanal bir derinlik algısı oluşur ve fare üzerindeki yaklaşma butonu ile ekrandaki imleç aşağı – yukarı hareket eder ve bu şekilde arazi üzerindeki yükseklik değişimleri tespit edilir.

Oluşturulan bu derinlik algısının, kullanıcı tarafından tam ve net olarak algılanması ise, deneyime bağlı bir durumdur ve operatör tecrübesine göre elde edilen verilerin doğrulukları değişir.

Tecrübe ile açıklanan bu durum ile derinlik algısının doğru tespit edilmesi arasında sıkı bir ilişki bulunur, bu durum sadece yükseklik yani Z değeri için geçerli olan bir olgudur. Bu durumda, tecrübesi farklı her operatörün, Stereo görüntü üzerinden alacağı değer de farklı olacağı için, objektif bir değer bulunamayacaktır.

Stereo kıymetlendirme işlemi, deneyim gerektiren bir işlemdir ve son yıllarda “Fotogrametrik Kıymetlendirme Operatörü” adı altında bir meslek olarak kabul edilmeye başlanmıştır.

5. MATERİYAL ve YÖNTEM

Çalışma alanı Eskişehir İli Tepebaşı İlçesi sınırları içinde yer alan ve 90 Hektar büyüklüğünde bir alana sahip Anadolu Üniversitesine ait Yunussemre yerleşkesidir. Kampüs alanı farklı mimaride, yoğun yapılaşma özellikleri gösteren ve oldukça sık ağaçlık alanlara sahip bir alandır. Yerleşkede yer alan en düşük zemin kotu 776 m iken en yüksek zemin kotu ise 849 m'dir ve yerleşkenin topografik yapısı tepe şeklinde olup, yoğun yapılaşmaya sahip özellik taşımaktadır. Yerleşkenin önemli bir özelliği de oldukça sık ağaçlık alan barındırmasıdır. Yerleşke içinde farklı mimarilerde ve farklı tiplerde yapılar bulunmaktadır.

Kampüs alanına ait 2015 yılında, ÇŞB teknik koordinatörlüğünde DASK ile yapılan gerçek ortofoto projesi kapsamında çekilen 10 cm (± 1 cm) yer örnekleme aralığı (YÖA), % 80 boyuna bindirme (± 5), %60 enine binmeyi (± 5) sağlayan hava fotoğrafları ile birlikte dış yöneltme parametreleri kullanılmıştır. Söz konusu veriler, bu çalışmada kullanılmak üzere, ÇŞB CBSGM'nden temin edilmiştir. Doğruluk kontrolleri için arazi üzerinden GNSS ile ölçümler yapılmış ve değerlendirmeye alınmıştır.

5.1. Cihaz ve Donanımlar

Stereo değerlendirme işleminin yapılabilmesi için, veriler haricinde bazı donanımlara da ihtiyaç vardır. Bu donanımlar, Şekil 5.1'de görüntülenebilir.

NVIDIA 3D VİSİON GEREKSİNİMLERİ

MİNİMUM SİSTEM GEREKSİNİMLERİ			
	İşletim Sistemi	CPU	Sistem Belleği
3D Vision	Windows Vista 32/64-bit veya Windows 7 32/64-bit	Intel® Core™ 2 Duo veya AMD Athlon™ X2 CPU veya üzeri	1GB sistem belleği (2GB önerilir)



NVIDIA 3D Vision Kit

3D Vision Özellikli Ekran

Uyumlu NVIDIA GeForce Grafik kartı

Microsoft Windows Vista veya Windows 7'li PC

Şekil 5. 1. 3D Stereo donanım gereksinimleri

(http-7)

5.1.1. Bilgisayar

Hava fotoğraflarının çekim platformlarına bağılı olarak, yapılacak olan işlemlerde kullanılacak olan bilgisayar ya da iş istasyonu olması tercih edilmektedir.

Hava fotoğraflarının işlenmesi sırasında özellikle ortofoto ve SYM üretilmesi aşamasında, yoğun CPU (Central Processing Unit - Merkezi İşlem Birimi) ve RAM (Random Access Memory – Rastgele Erişimli Bellek) kullanılması sebebiyle tercihen güçlü işlemciler ve RAM kapasitesine sahip bilgisayarlar gerekmektedir. Bunun dışında ise, kullanılan bilgisayarların yüksek kapasitede RAM belleğe sahip grafik kartına sahip olması da tercih edilmelidir. Ayrıca kullanılacak 3 boyutlu ekran kartlarında desteğinin bulunması da gereklidir.

5.1.2. Monitör

Sistemden üç boyutlu görüntü alabilmek için, 3 boyut teknolojisini destekleyen panele sahip Full HD (High Definition – Yüksek Çözünürlüklü) 1080p çözünürlükte ve 120 Hz (Hertz - Yenileme) hızında bir monitör gerekmektedir. Tüm bileşenler uygun olsa bile monitörün bu özelliğe sahip olmaması durumunda 3 boyutlu görüntü elde edilemeyecektir.

5.1.3. Üç boyutlu grafik kartı

Grafik kartı işlemci ve mimarisinin 3 boyut desteği sağlaması stereo görüntü elde edilebilmesi için gerekli bir bileşendir. 3 boyut destekli bir grafik kartı her standart kartta olmayan bir özellik olduğundan, buna uygun olan grafik kartları kullanılmalıdır.

5.1.4. Gözlük

Sayısallaştırma için uygun aktif ya da pasif bir gözlük kullanılması gerekmektedir. Ekranda oluşmuş olan stereo görüntünün, üç boyutlu olarak algılanarak işlem yapılabilmesi için kullanılan bir gözlüktür. 120 Hz hızında titreşimleri algılayarak, stereo görüntü sağlamaktadır. Aktif bir algılayıcı olan 3 boyutlu görüntü sağlayan LCD gözlük Şekil 5.2’te görülmektedir.



Şekil 5. 2. 3 boyutlu gözlük
(http-9)

5.1.5. Emitör

Bu cihaz 3 boyutlu görüntü elde edilebilmesi için gerekli işlemleri yapan bir ara cihazdır ve kablosuz olarak gözlük ile iletişime geçmektedir.

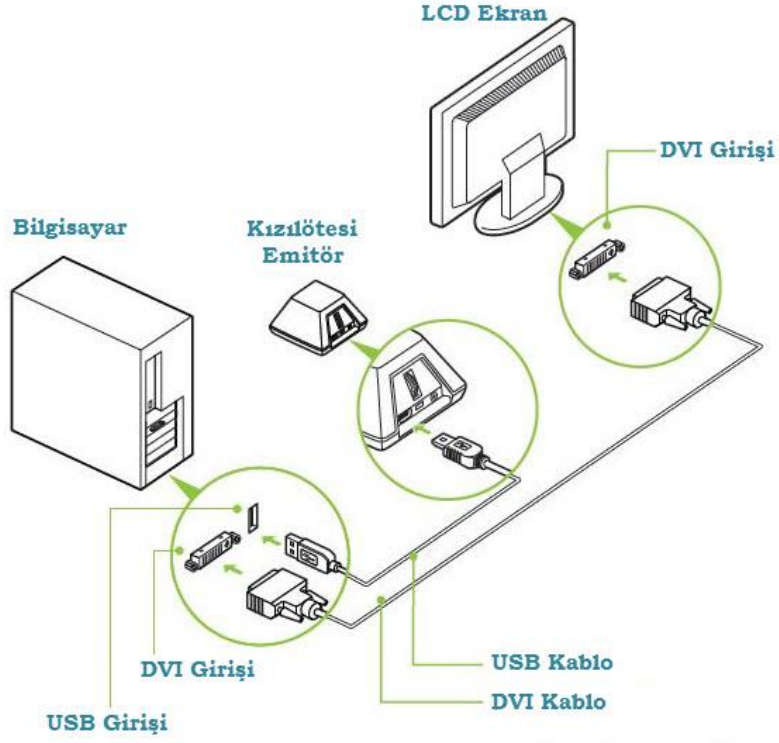
Stereo görüntü elde etmek için gerekli donanımlardan olan Emitör USB (Üniversal..) ile bilgisayar ve monitöre bağlanmalıdır.

IR (Infrared Radiation) Kızılötesi teknolojisi ile 3 boyutlu gözlük ile iletişime geçerek, gözün 3 boyutu algılamasını sağlayan bir cihazdır. Emitör cihazına ait görsel Şekil 5.3'te görülebilir.



Şekil 5. 3. Emitör cihazı
(http-10)

Emitör cihazı bir USB kablo ile bilgisayar bağlanmalıdır, ayrıca LCD monitör DVI kablo ile bilgisayarın destekleyen ekran kartına bağlı olmalıdır. Emitör ve LCD monitör bağlantıları diyagramı Şekil 5.4'te görülmektedir.



Şekil 5. 4. Stereo sistem donanımları ve bağlantıları
(Http-8)

5.1.6. Optik fare

Stereo model sayısallaştırması için özel olarak üretilmiş olan optik farenin üzerinde yer alan birçok tuş sayesinde, kolay ve hızlı sayısallaştırma yapabilmesi amaçlanmaktadır. Kıymetlendirmenin daha hızlı ve seri olarak yapılabilmesi için, üzerinde bulunan tuşlara bir çok fonksiyon tanımlanabilir. Stereo çizim için gerekli optik fare Şekil 5.5'te görülmektedir.



Şekil 5. 5. 3 boyutlu çizim için kullanılan fare
(http-11)

5.2. Yazılımlar

Fotogrametrik işlemlerde kullanılan birçok farklı özelliklerde yazılımlar bulunur, bu yazılımların tercihinde de, kullanılan veri boyutu, çalışma alanı ve çıktı ürünlerin hassasiyetleri göz önüne alınmaktadır.

Elde edilen hava görüntülerinin, iç ve dış yöneltme parametreleri kullanılarak, işlenmesi ve çıktı ürünlerin elde edilmesi için birçok farklı kabiliyetlere sahip yazılım ve yazılım modülleri bulunmaktadır.

Bu yazılımlardan en çok kullanılan ve tercih edilen Erdas Imagine yazılımıdır. İçinde barındırdığı bir çok farklı modül ile raster veri işleme ve değerlendirme, analiz ve stereo değerlendirme alanlarında kullanılan güçlü bir yazılımdır.

Bu çalışma kapsamında stereo model oluşturma ve kıymetlendirme için Erdas Imagine yazılımı ile birlikte LPS (Leica Photogrammetry Suite) modülünden yararlanılmıştır.

Diğer bir yazılım ise, Erdas ile entegre olarak çalışabilen ve vektörel çizimlerin değerlendirildiği ve işlendiği bir yazılım olan Microstation V8i yazılımıdır.

Erdas Imagine ile Microstation yazılımının entegrasyonunu sağlamak için, Pro600 modülünden yararlanılması gerekmektedir. Bu modül ile Erdas üzerinde yapılan kıymetlendirme işlemleri, online olarak Microstation üzerinde vektörel bir halde görüntülenir ve burada saklanarak, dgn uzantılı olarak kaydedilebilir.

Bu çalışmada Erdas Imagine ile kıymetlendirme işlemlerinin yapılması için Microstation yazılımından da yararlanılmıştır.

Çalışma bölgesine ait hava fotoğraflarından SYM ve ortofoto üretimi için de Agisoft PhotoScan Professional yazılımı kullanılmıştır.

Doğruluk kontrollerinin yapılması için gerekli nokta belirleme ve koordinat listesi alımı ve karşılaştırma tablosu hazırlanması içinde ArcMap ve Netcad ve Globalinfo yazılımlarından yararlanılmıştır.

5.3. Doğruluk Kontrol Noktaları

Ulusal Mekânsal Veri Standartları (FGDC-1998)'na göre, düşey doğruluğun analizi referans veri ve test verisi arasındaki karşılaştırma ile yapılır. Testler çalışma bölgesine dağılmış en az 20 kontrol noktası ile yapılmalıdır (Yastıklı vd. 2011).

Çalışmada, ÇŞB'dan alınan veriler kullanılarak, alana ait bir SYM, ortofoto harita üretimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kontrol noktalarının X, Y, Z değerleri, stereo değerlendirme yöntemi ile elde edilmiştir. Kontrol noktalarının arazi üzerindeki dağılımı Şekil 5.6'de verilmiştir.



Şekil 5. 6. Çalışma alanı kontrol noktaları dağılımı
(Kaynak: Yazar tarafından üretilmiştir.)

6. İŞLEM ADIMLARI

Çalışma kapsamında fotogrametrik olarak harita üretim metotları kullanılarak, farklı yazılımlar ile birlikte değerlendirmeye alınarak veri üretimi gerçekleştirilmiş ve doğruluk kontrolleri yapılmıştır.

- ÇŞB'dan hava fotoğrafları ile birlikte gerekli parametreler alınmıştır.
- Mevcut veriler kullanılarak, Agisoft Photoscan Proffesional ile SYM ve ortofoto harita üretim işlemi yapılmıştır.
- Üretilen ortofoto haritadan çalışma alanında dağılım gösteren 21 adet kontrol noktası belirlenmiştir.
- Belirlenen kontrol noktalarının arazi üzerinde GNSS ile yersel ölçümleri yapılmıştır.
- Hava fotoğrafları Erdas Imagine yazılımı ile stereo olarak değerlendirilmiş ve 21 kontrol noktasının X, Y, Z değerleri elde edilmiştir.

Çalışma sonunda elde edilen farklar bir tabloda karşılaştırılmış, elde edilen değerler 3 ana tabloda değerlendirilmiştir. Üretilen kaynağa göre değerlendirilecek veri tipleri Tablo 6.1'te görülmektedir.

Tablo 6. 1. Doğruluk değerlendirme yöntemleri ve veri tipleri

Veri Kaynağı		Değerlendirilen Veri Tipi
Test Verisi	Referans Veri	
Ortofoto Harita	GNSS	XY
Stereo Değerlendirme	GNSS	XYZ
SYM	GNSS	Z

6.1. SYM ve Ortofoto Üretimi

Çalışmada, hava fotoğraflarından SYM ve ortofoto üretmek için, Agisoft Photoscan yazılımından yararlanılmıştır. Agisoft PhotoScan Professional ile hava fotoğrafları ve yöneltme parametreleri kullanılarak, aşağıdaki sıraya göre işlem yapılmıştır.

- Bağlama noktası (Tie point) üretimi
- Yoğun nokta bulutu (Dense point cloud) üretimi
- SYM üretimi

- Ortofoto harita üretimi

6.1.1. Parametrelerin tanımlanması

Hava fotoğrafları Agisoft PhotoScan Professional uygulamasına yüklendikten sonra kamera ve dış yöneltme parametreleri girilmiş ve resimler işleme hazır hale getirilmiştir.

Kamera parametreleri ile verilen Principal Point of Autocollimation (PPA) değeri, Cy alanına tanımlanmıştır. Bu sırada koordinat sistemi tanımlanmıştır.

Bu parametreler fotoğrafın orta noktasına ait koordinatlar bilgisi X, Y ve dönüklük açıları olan Omega, Phi, Kappa'dır. Ayrıca, kamera odak uzaklığı ve piksel boyutunda kullanılan parametrelerdendir.

Burada söz edilmesi gereken diğer bir kavram da YKN'dır. Birbirlerine bağlanan bu noktalardan oluşturulan blok, uzay düzleminde ve koordinata bağlı olmadan yer alırlar. Mevcut bloğun konumlandırılabilmesi için arazi üzerinde GNSS ile ölçülmüş ve hava görüntüsünde de görülen noktalardan, yer düzlemine bağlanması için YKN'ler kullanılmaktadır.

Eğer dış yöneltme parametreleri bilinmiyorsa, sadece kamera ölçümleme bilgileri ve fotoğrafların koordinat bilgisi varsa, bu durumda YKN'larına ihtiyaç vardır. Ancak dış yöneltme parametreleri biliniyorsa, YKN'na ihtiyaç yoktur.

Çalışmamızda, mevcut hava fotoğraflarına ait dengeleme işlemi yapılmış ve buna göre elde edilen dış yöneltme parametreleri kullanılacağından dolayı YKN kullanılmamıştır.

Bu işlem sonrasında hava fotoğrafları, 3 boyutlu uzay koordinat sisteminde, verilen parametrelere göre konumlanmış ve nokta üretim işlemine hazır hale gelmiştir.

6.1.2. Nokta bulutu üretme

Bu aşamadan sonra ise yazılım tarafından konum ve yöneltmeler belirlemiş ve nokta bulutu oluşturma işlemine geçilmiştir.

Nokta bulutu üretim işlemleri ise iki aşamada gerçekleştirilmiş, bağlama noktası ve yoğun nokta bulutu seçenekleri ile çalışma alanına ait, üç boyutlu bir nokta bulutu elde edilmiştir.

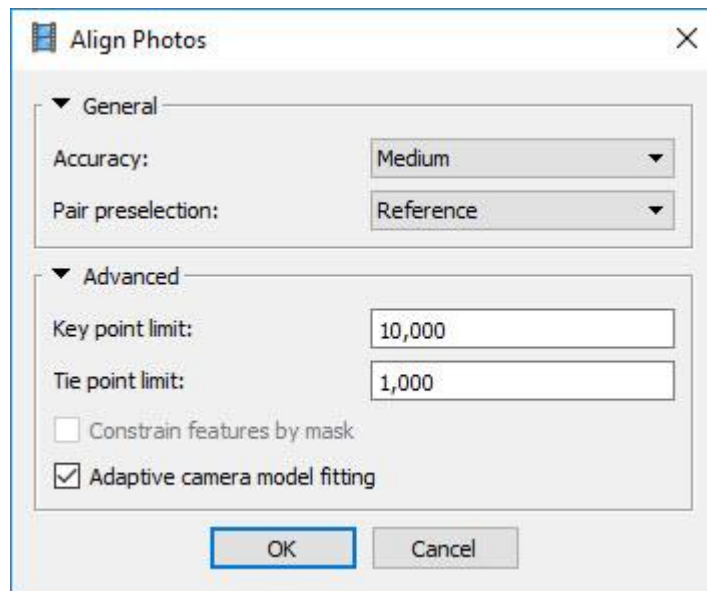
Yoğun nokta bulutu üretimi, stereo görüntü çiftlerinden, alana ait 3 boyutlu nokta elde edilmesidir. Bu nokta bulutu, daha sonraki SYM üretiminde kullanılmıştır. Nokta bulutu üretiminde, birkaç farklı yöntem ve üretilecek nokta bulutunun hassasiyetine etki edecek seçenekler yer alır.

6.1.2.1. Anahtar nokta üretimi (Key point)

Kullanılan hava fotoğraflarından, piksel benzerliği ile kullanıcı tarafından belirlenmiş sayıda oluşturulan nokta sayısını ifade eder. Burada yapılan işlem seyrek nokta bulutu oluşturma olarak tanımlanabilir. Hava görüntüleri konumlandırılmış ve anahtar noktaların üretilme işlemi gerçekleştirilmiştir.

6.1.2.2. Bağlama noktası üretimi (Tie point)

Elde edilen anahtar noktalar referans alınarak hava fotoğraflarından kullanıcı tarafından belirlenmiş sayıda en iyi eşleşen noktaları ifade eder. Bu noktalar resimleri birbirine bağlamak ve bir düzlem oluşturmak için kullanılırlar. Bağlama noktaları bir resimde yer alan pikselin, diğer resimdeki karşılığını ifade eder. Elde edilen ortak noktalar kullanılarak, resimler bağlama noktalarından birbirlerine bağlanmaktadır. Yazılımda resim hizalama (align photos) iletişim kutusundan anahtar ve bağlama noktalarının limitleri girilebilir. Agisoft Photoscan yazılımında resim hizalama ayar penceresi Şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6. 1. Agisoft Photoscan resim hizalama değerleri ayar bölümü

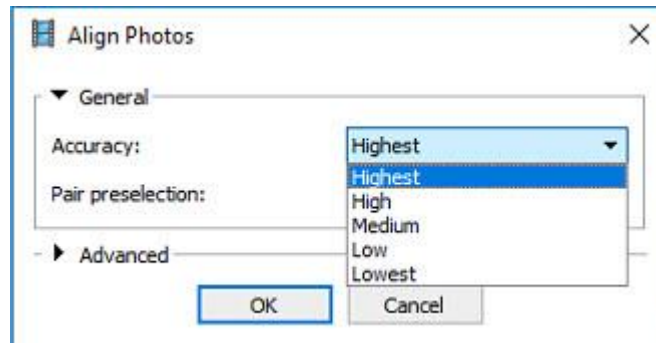
(Kaynak: Yazar tarafından üretilmiştir.)

Bağlama noktası alanına bir değer girilmezse, yazılım bulabildiği kadar nokta tespit etmek için, resimleri tarar. Ancak bu durumda elde edilecek noktaların eşleşme kalitesi düşer. Yapılması gereken, fotoğraflar için yeterli sayıda nokta üretmek olacaktır. Bir çalışma alanında çok fazla nokta üretilmesi doğruluğu artıran bir durum değildir.

Bu değerlere göre, stereo görüntü çiftleri işleme alınmış ve eşleşen noktalar tespit edilerek, Anahtar nokta ve bağlama noktaları üretilmiştir. Hesaplanan kamera konumları ve oluşturulan seyrek nokta bulutu ekranda görüntülenir. Hizalamada yanlış yerleştirilmiş fotoğraflar varsa, tekrar değerlendirilmesi gerekmektedir.

Zayıf ve düşük değerlere sahip fotoğrafların, çalışmayı etkilememesi için, Agisoft PhotoScan otomatik görüntü kalitesi tahmin özelliği kullanılmıştır. Agisoft PhotoScan her bir resim için, görüntü kalitesini tahmin eder ve parametre değerlerini esas alarak hesaplayabilir. Resimlerin odaklanmış kesinlik seviyesine göre işleme alır. Bunun için fotoğraf bölmesi araç çubuğundaki “Devre dışı bırak” seçeneği kullanılmıştır. Ancak düşük kalitede bir resim tespit edilememiştir.

Nokta üretimi için resim hizalama menüsünün altında yer alan Hassasiyet (Accuracy) ayar bölümünden nokta sıklığı seçimi yapılarak “Medium” seçeneği ile nokta üretimi gerçekleştirilmiştir. Burada yer alan seçenekler Şekil 6.2’de görülmektedir.



Şekil 6. 2. Agisoft Photoscan resim hizalama değerleri doğruluk ayar penceresi

(Kaynak: Yazar tarafından üretilmiştir.)

Yazılımın içinde doğruluk için kullanılan seçenekler ise şu şekilde tanımlanmıştır.

- Highest (En yüksek)
- High (Yüksek)

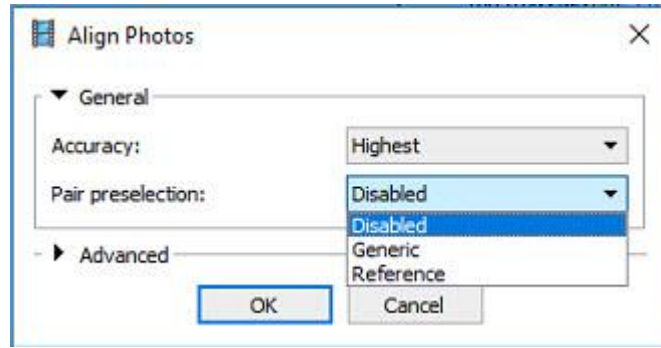
- Medium (Orta)
- Low (Düşük)
- Lowest (En düşük)

Yüksek doğruluk değeri seçildiğinde, yazılım orijinal boyuttaki resimler ile çalışır ve daha doğru kamera konumları elde edilmesini sağlar.

Düşük değer ise, 4 kata kadar daha ölçek düşüşü anlamına gelir ve elde edilen noktaların daha seyrek oluşturulması ve elde edilen haritanın hassasiyetinin ve çözünürlüğünün de azalması anlamına gelir.

Bu seçenekler kamera doğruluklarının hesaplanmasında kullanılan yöntemleri içermektedir, resimlerin yönlendirilmesi hangi yöntemin kullanılacağı bu bölümden gerçekleştirilir, burada 3 seçenek vardır ve kullanılacak olan parametrelere göre seçim yapılması gerekmektedir. Yazılımda yer alan seçenekler Şekil 6.3'te görülmektedir.

- Generic (Genel)
- Reference (Referans)
- Disabled (Kapalı)



Şekil 6. 3. Agisoft Photoscan resim ön seçim değerleri ayar penceresi
(Kaynak: Yazar tarafından üretilmiştir.)

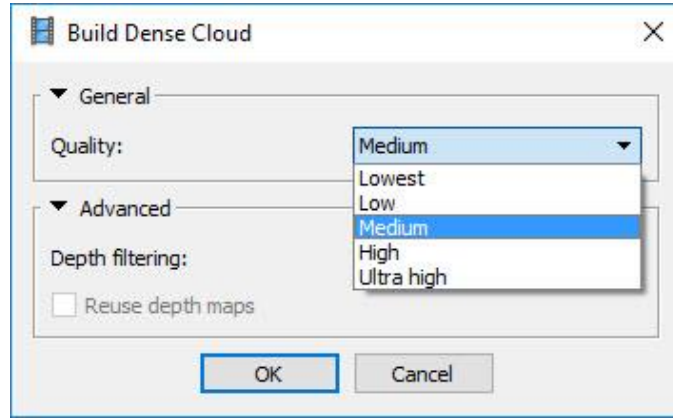
Bu adımda yer alan seçeneklerden; genel (generic) seçimi, kamera parametreleri bilinmediğinde uygulanabilecek seçeneklerdir, bu durumda yazılım üzerinden işaretleyici (marker) diye tabir edilen noktalar ile arazinin koordinatları bilinen nirengi noktalarına bağlanması gerekmektedir.

Eğer kamera parametreleri biliniyor ve yazılıma tanıtıldı ise bu alan referans referans (reference) olarak ayarlanmalıdır. Bu durumda yazılım verilen parametreleri kullanarak işlem yapacaktır.

Bu seçeneğin kapalı devredışı (disabled) olması durumunda ise, sadece piksel benzerlikleri üzerinden üretilmiş noktalar kullanılarak işlem yapılacaktır. Anahtar nokta ve bağlama noktası elde edildikten sonra, bu noktalar kullanılarak yoğun nokta bulutu oluşturulmuştur.

6.1.2.3. Yoğun nokta bulutu üretimi

Bağlantı noktalarının hesaplanmasından sonra nokta bulutu üretme işlemine geçilmiştir. Yoğun görüntü eşleme yöntemi ile hava görüntüleri arasındaki ortak pikselleri, komşu fotoğraflardaki pikseller ile bularak işlemektedir. Nokta bulutu kalitesinin belirlenmesi yoğun nokta bulutu (Build dense cloud) menüsü altında bulunan kalite (Quality) kısmından yapılmıştır, bu değerler Şekil 6.4’de görülmektedir.



Şekil 6. 4. Agisoft Photoscan nokta bulutu üretimi kalite değerleri ayar penceresi

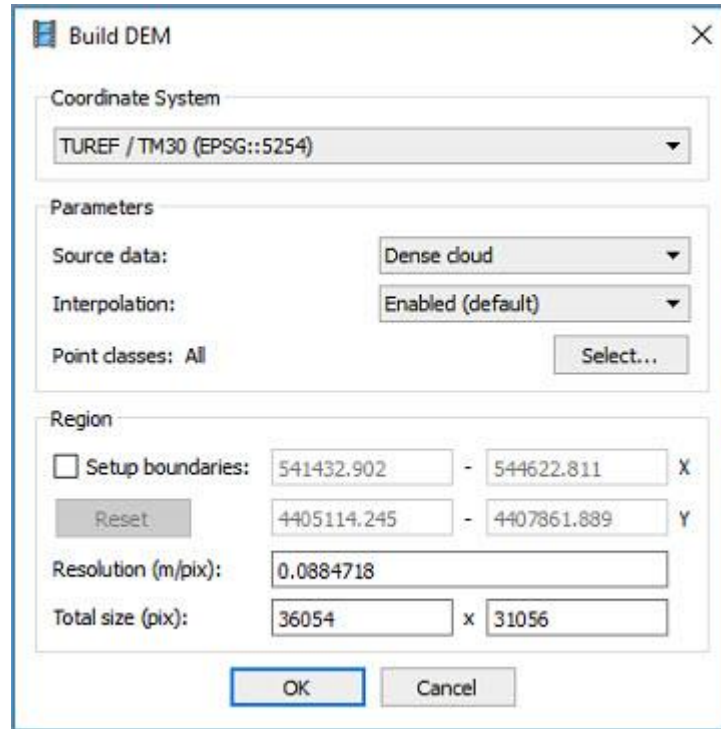
(Kaynak: Yazar tarafından üretilmiştir.)

Nokta bulutu üretiminde, birkaç farklı yöntem ve üretilecek nokta bulutunun hassasiyetine etki edecek seçenekler yer alır. Nokta bulutu üretiminde, düşük – orta – yüksek hassasiyette ve aynı şekilde derinlik özellikleri seçimi yapılmaktadır. Bu seçenekler, arazi yapısına ve elde edilecek olan verinin hassasiyetine göre belirlenmelidir. İşlem süresi veri büyüklüğüne ve seçilen ayara göre değişir ve maksimum seviyede oldukça güçlü grafik kartı ve işlemcili bilgisayarlara gereksinim duyar.

Çalışmada, orta (orta) kalitede, sert (aggressive) metodu ile yoğun nokta bulutu üretilmiştir ve işlem sonucunda 38,920,88 adet nokta üretimi gerçekleştirilmiştir.

6.1.3. SYM üretimi

Üretilen nokta bulutu kullanılarak SYM üretim işlem adımına geçilmiştir. Bu işlem için “Build DEM” menüsünden yararlanılmıştır, bu menüye ait seçenekler Şekil 6.5’te görülmektedir.

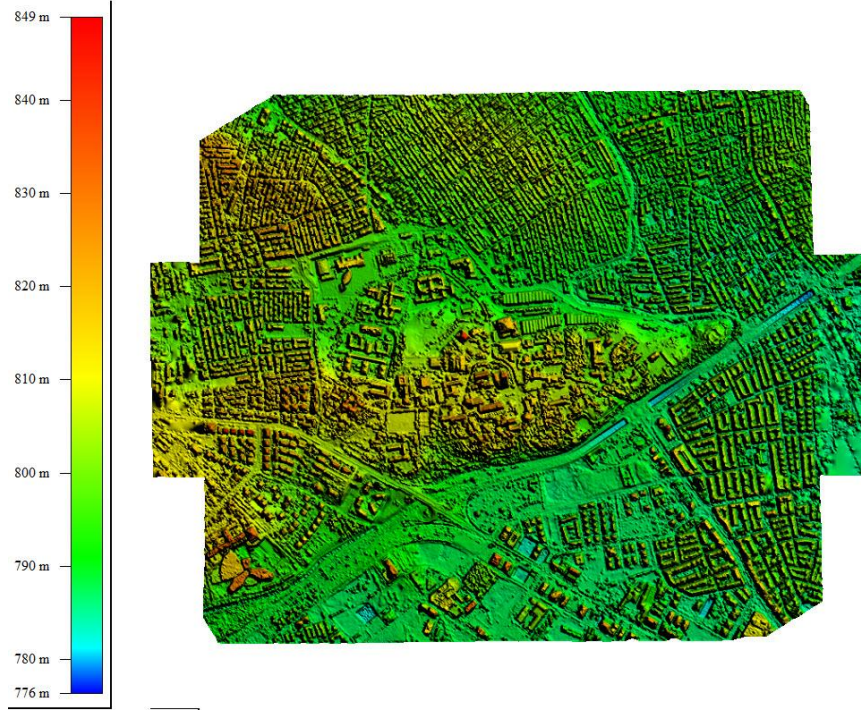


Şekil 6. 5. Agisoft Photoscan Build DEM ile SYM üretim ayar penceresi
(Kaynak: Yazar tarafından üretilmiştir.)

SYM oluşturma adımında, kaynak veri (source data) kısmından, bir önceki işlem adımında elde edilmiş olan nokta bulutu kullanılmıştır.

Bu ayar menüsünde yer alan çözünürlük (resolution) ise (m/pix) cinsinden oluşturulacak olan SYM verisinin piksel boyutunu ifade eder. Yazılım bu değeri otomatik en iyi çözünürlük değeri olarak belirler, bu değerden daha düşük bir değer yazmak mevcut çözünürlük değerini düşürmeyecektir, ancak daha düşük çözünürlükte bir veri üretmek mümkün olacaktır.

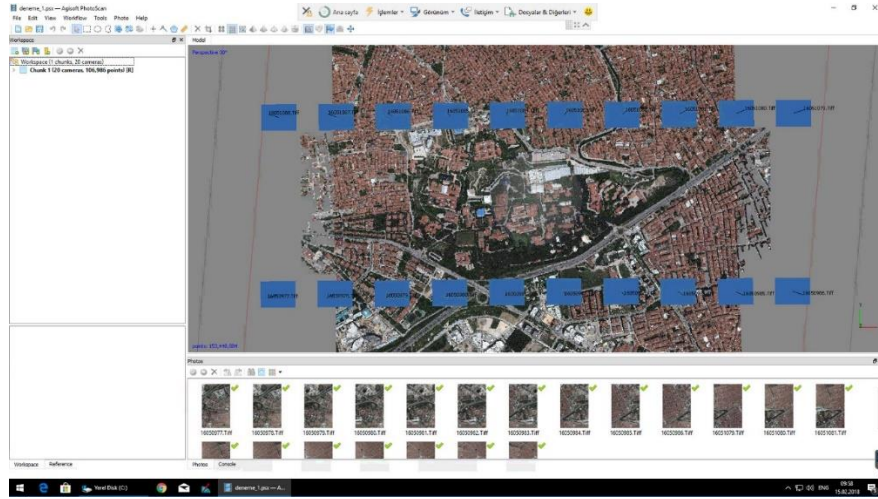
Çalışma ile 9505x9248 boyutunda, 38,6 cm/pix çözünürlükte, 6,71 points/m² nokta yoğunluğuna sahip, raster formatında bir SYM üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilmiş olan SYM haritası Şekil 6.6’da görülebilir.



Şekil 6. 6. *Agisoft Photoscan ile üretilen SYM verisi örneği*
(Kaynak: Yazar tarafından üretilmiştir.)

6.1.4. Ortofoto ve ortomozaik üretimi

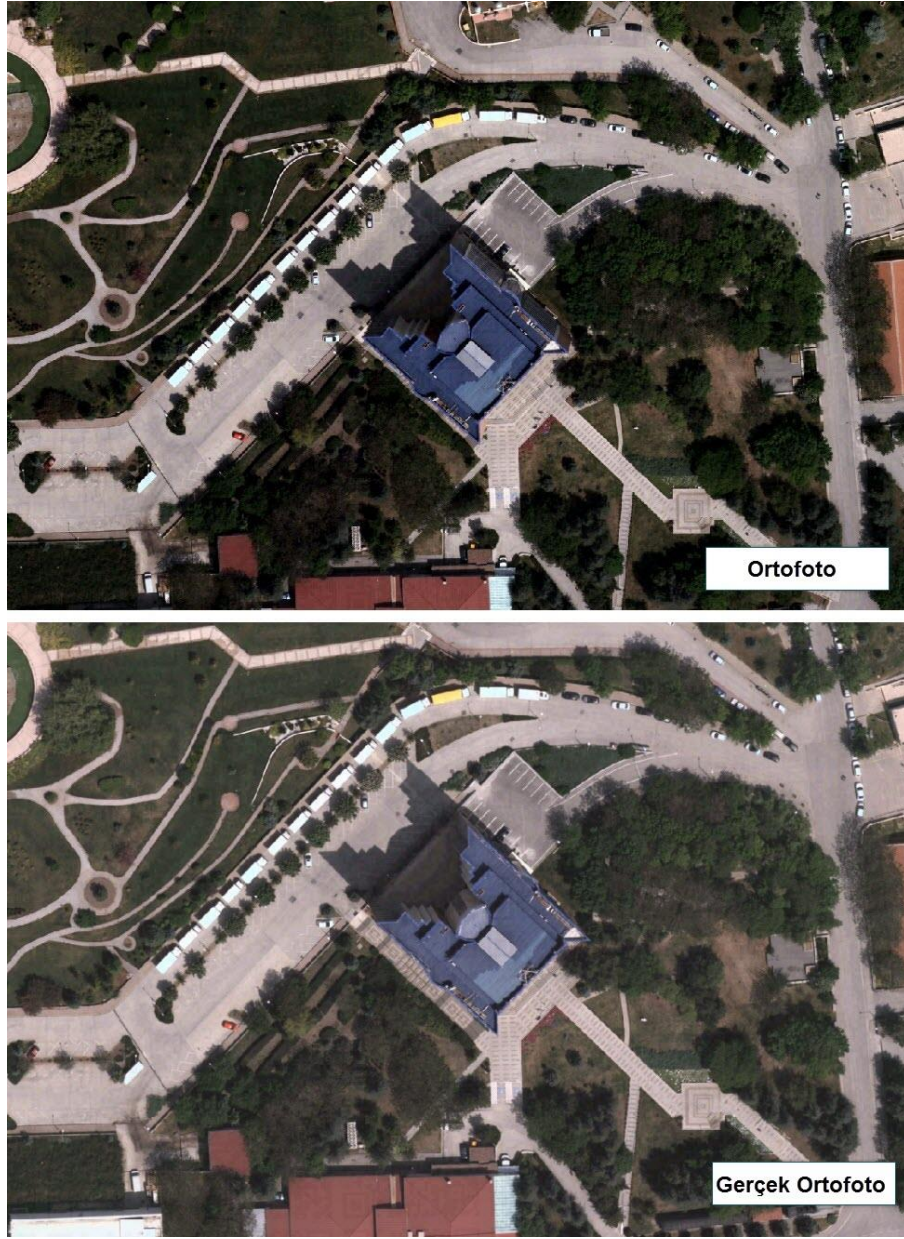
Agisoft Photoscan ile veri üretiminde ortofoto üretimi “build orthomosaic” menüsünden yapılmıştır, üretilen SYM verisi kullanılarak 0.096X0.0096 çözünürlüğünde ve 26919X20755 boyutlarında gerçek ortofoto harita üretilmiştir. Elde edilen ortofoto harita Şekil 6.7’de görülebilir.



Şekil 6. 7. Agisoft Photoscan ile Üretilen Ortofoto Görünüşü
(Kaynak: Yazar tarafından üretilmiştir.)

Elde edilen ortofoto haritanın çözünürlüğü üretilen nokta bulutu yoğunluğu ve kullanılan hava fotoğraflarının çözünürlüğü ile doğru orantılıdır. İşleme dâhil edilen hava görüntülerinin çözünürlükleri düşürülebilir ve bu sayede daha hızlı olarak sonuca ulaşılabilir, ancak bu durumda elde edilen ortofoto haritanın çözünürlüğü de düşecektir.

Üretilen gerçek ortofoto haritada yer alan ve Anadolu Üniversitesi Yunusemre Kampüsü'nde yer alan en yüksek yapı olan Açıköğretim Fakültesi binasının görünümü, işlem öncesi ve sonrasında Şekil 6.8'de verilmiştir.



Şekil 6. 8. Çalışma alanında üretilen ortofoto ile gerçek ortofotonun farkı
(Kaynak: Yazar tarafından üretilmiştir.)

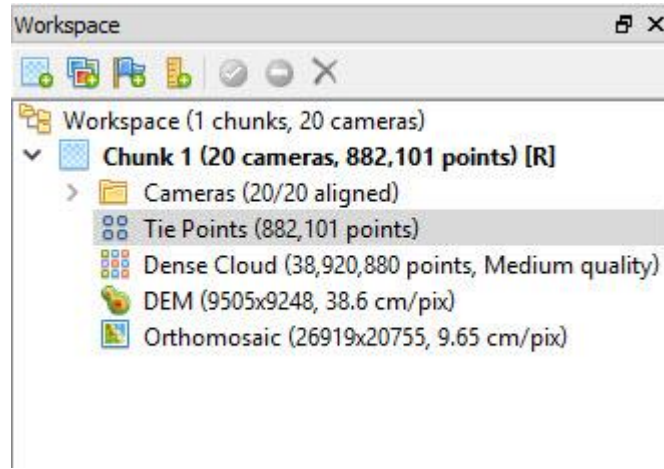
Agisoft Photoscan ile stereo görüntülerden elde edilen nokta bulutu yardımıyla bir katı model üretilebilir. Çalışma üretilen katı model görüntüsü Şekil 6.9’da görülmektedir.



Şekil 6. 9. Çalışma alanına ait katı model görüntü
(Kaynak: Yazar tarafından üretilmiştir.)

6.1.5. Rapor

Agisoft Photoscan çalışma penceresinde (Workspace) üretilen verilere ait, bağlama noktası ve yoğun nokta bulutu sayıları, SYM çözünürlüğü ve kalitesi, orthomosaic boyutları ve çözünürlük değerleri yer alır. Çalışma sonunda elde edilen değerler Şekil 6.10'da görülmektedir.



Şekil 6. 10. Agisoft Photoscan işlem sonuç değerleri
(Kaynak: Yazar tarafından üretilmiştir.)

Yapılan işlemlere ait detaylı raporu Agisoft Photoscan yazılımı otomatik olarak üretmektedir. Buna göre, kamera ölçümleme bilgileri, resim bindirme oranları, üretilen nokta sayıları ve kamera pozisyonları ve işlem süreleri raporda yer almaktadır.

Kamera bilgileri, bindirme oranları, resim sayıları ve uçuş yüksekliği, üretilen bağlama noktaları bilgileri EK-A ve EK-B 'de verilmiştir.

Kamera konumları yaklaşık hata miktarlarına ait değerler görsel ve tablo şeklinde EK-C 'de verilmiştir.

Üretilen SYM verisine ait değerler ve SYM görseli EK-D 'de verilmiştir. Yapılan işlemlere ait tüm parametreler ise EK-E'de verilmiştir.

6.2. Erdas Imagine Yazılımı ve Stereo Değerlendirme

Stereo Kıymetlendirme işlemleri için Erdas Imagine ile birlikte Pro600 modülü ile Microstation yazılımlarından yararlanılmıştır.

Erdas Imagine üzerinde çalışan, LPS modülü stereo değerlendirme işlemlerinde kullanılmak üzere, tasarlanmış bir modüldür, LPS ile stereo resim çiftleri değerlendirmeye alınır ve kamera parametreleri ile birlikte iç ve dış yöneltme parametreleri girilerek Stereo görüş sağlanır. Yapılan tüm işlemler blok (*.blk) dosyası olarak farklı modüllerde kullanılabilir.

Çalışma bölgesinde yer alan hava fotoğraflarına ait, dengelemesi yapılmış dış yöneltme parametreleri kullanılmıştır. Bu sebeple çalışma alanına ait YKN'ları kullanılmamış ve dış yöneltme parametreleri ile yöneltme sağlanmıştır.

6.2.1. Erdas İşlem Adımları

Erdas Imagine ve LPS modülü ile stereo değerlendirme yapabilmek için, verilerin doğru bir şekilde belirli bir sıra ile girilmesi ve işlemlerinde bu sıraya göre yapılması esastır. Erdas Imagine ile stereo değerlendirme için kullanılan işlem adımları şu şekildedir.

Erdas Imagine ile Blok dosyası oluşturmak için aşağıdaki işlem adımları kullanılmıştır.

❖ Erdas Imagine işlem adımları

➤ *LPS Modülü*

▪ *Model oluşturma işlem adımları*

- Blok dosyası oluşturulması

◆ **Dijital kamera seçimi**

◆ **Kamera parametrelerin girilmesi**

- Koordinat sistemi tanımlama
- Dönüş açıları sistemi belirlenmesi (omega, phi, kappa)
- Açı birimi seçimi (Derece,Radyan,Grad)
- Resim yönü seçimi (Z-Axis, Y axis)
- Yaklaşık uçuş yüksekliği girilmesi (m)

▪ Kamera Parametreleri tanımlanması

- Kamera ismi belirlenmesi
- Kamera açıklaması belirleme
- Odak uzaklığı girilmesi mm (Focal Length)
- Principal Point değeri girilmesi mm (X_0)
- Principal Point girilmesi mm (Y_0)

- **Hava görüntüleri eklenmesi**

◆ Resimlerin Piramit haline getirilmesi

- **Sayısal Kamera Çerçeve düzenleyici (Digital Camera Frame editör)**

◆ Interior Orientation (İç Yöneltilme)

- Pixel Size X, Y (microns)

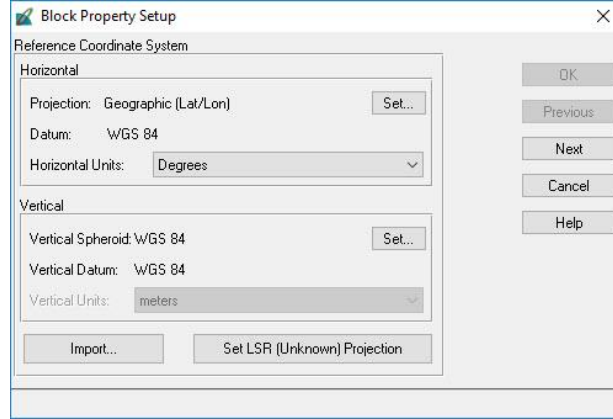
◆ Exterior Orientation (Dış Yöneltilme)

- X_0 , Y_0 , Z_0 , Omega,Phi Kappa değerlerinin girilmesi (Her bir resim için)
- Set Status (Initial, Fixed, Unknown)
- Blok dosyasının kaydedilmesi

➤ *Pro600*

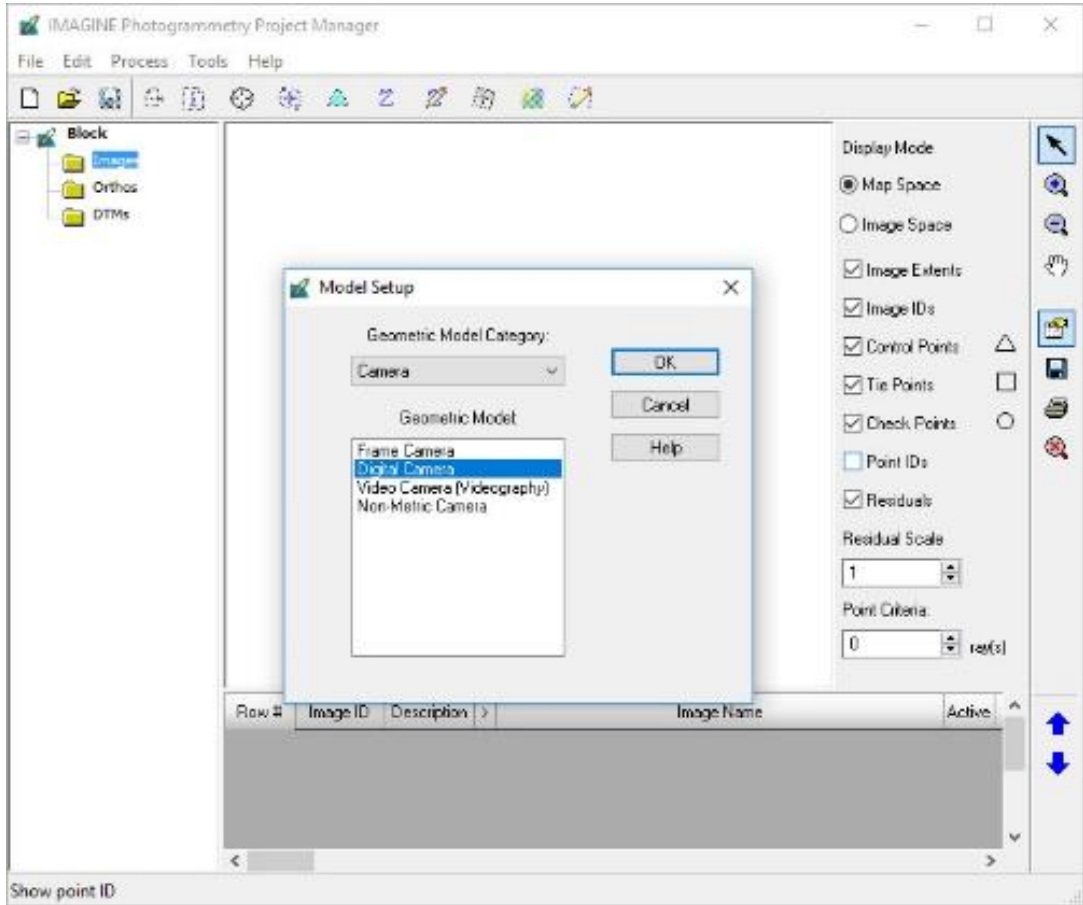
- Blok dosyasının açılması
- Erdas Imagine içinden Pro600 modülünün açılması
- Microstation ile entegrasyon sağlanması
- Kıymetlendirme işleminin yapılması
- Çizgisel verilerin dgn uzantılı kaydedilmesi

Erdas Imagine LPS modülünde kamera parametrelerinin ve hava fotoğrafları için kullanılacak koordinat sistemi Şekil 6.11’de görüldüğü biçimde tanımlanmıştır.



Şekil 6. 11. Erdas Imagine blok oluşturma ve koordinat tanımlama penceresi
(Kaynak: Yazar tarafından üretilmiştir.)

Erdas Imagine ile kamera parametreleri girişi için kullanılan ayar penceresi Şekil 6.12’de görülmektedir.



Şekil 6. 12. Erdas Imagine kamera parametreleri ayar penceresi
(Kaynak: Yazar tarafından üretilmiştir.)

Yazılımda ilk olarak kamera odak uzaklığı (mm), sensör boyutları (mm), piksel boyu (micron), PPA (mm), değerleri kamera parametreleri olarak tanımlanmıştır. Hava fotoğrafları eklendikten sonra ise, X_0 , Y_0 ve Z_0 değerleri ile birlikte Omega, Phi ve Kappa değerleri de tanımlanmıştır. Erdas Imagine ile dış yöneltme parametrelerinin tanımlanması Şekil 6.13'te görülmektedir.

Row #	Image Name	Sensor Name	Orientation	X_0	Y_0	Z_0	Omega	Phi	Kappa	Std. Dev
1	16050977	Ultracamx	Right+X	541999.463	4406208.279	2151.098	-0.1324	-0.3453	-179.1689	0.
2	16050978	Ultracamx	Right+X	542187.338	4406209.878	2151.155	-0.1557	-0.3322	-179.7461	0.
3	16050979	Ultracamx	Right+X	542375.327	4406211.302	2151.388	-0.1226	-0.3411	-178.8989	0.
4	16050980	Ultracamx	Right+X	542564.668	4406213.703	2151.318	-0.1168	-0.3640	-179.2536	0.
5	16050981	Ultracamx	Right+X	542752.771	4406215.918	2151.098	-0.1567	-0.3445	-179.4345	0.
6	16050982	Ultracamx	Right+X	542941.147	4406217.847	2151.077	-0.1710	-0.3495	-179.6488	0.
7	16050983	Ultracamx	Right+X	543129.934	4406218.203	2151.057	-0.1487	-0.3456	-179.6499	0.
8	16050984	Ultracamx	Right+X	543317.896	4406217.509	2151.072	-0.1337	-0.3402	-178.9480	0.
9	16050985	Ultracamx	Right+X	543506.808	4406217.673	2150.918	-0.1495	-0.3477	-178.3941	0.
10	16050986	Ultracamx	Right+X	543695.184	4406219.061	2150.843	-0.1374	-0.3693	-179.6484	0.
11	16051079	Ultracamx	Right+X	543699.176	4406804.390	2150.561	0.1708	0.3265	0.3806	0.
12	16051080	Ultracamx	Right+X	543510.814	4406803.483	2151.326	0.1192	0.3381	1.3640	0.
13	16051081	Ultracamx	Right+X	543322.048	4406801.085	2151.575	0.1294	0.3439	0.3679	0.
14	16051082	Ultracamx	Right+X	543133.896	4406799.041	2151.251	0.1567	0.3261	0.4680	0.
15	16051083	Ultracamx	Right+X	542945.419	4406798.247	2150.823	0.1582	0.3340	0.4750	0.
16	16051084	Ultracamx	Right+X	542756.498	4406797.403	2150.292	0.1553	0.3225	0.7571	0.
17	16051085	Ultracamx	Right+X	542568.739	4406795.635	2149.629	0.1135	0.3394	0.6835	0.
18	16051086	Ultracamx	Right+X	542379.491	4406793.313	2149.584	0.1414	0.3228	0.5930	0.
19	16051087	Ultracamx	Right+X	542191.509	4406791.525	2150.497	0.1675	0.3307	0.7033	0.
20	16051088	Ultracamx	Right+X	542003.225	4406790.121	2151.100	0.1908	0.3231	0.3095	0.

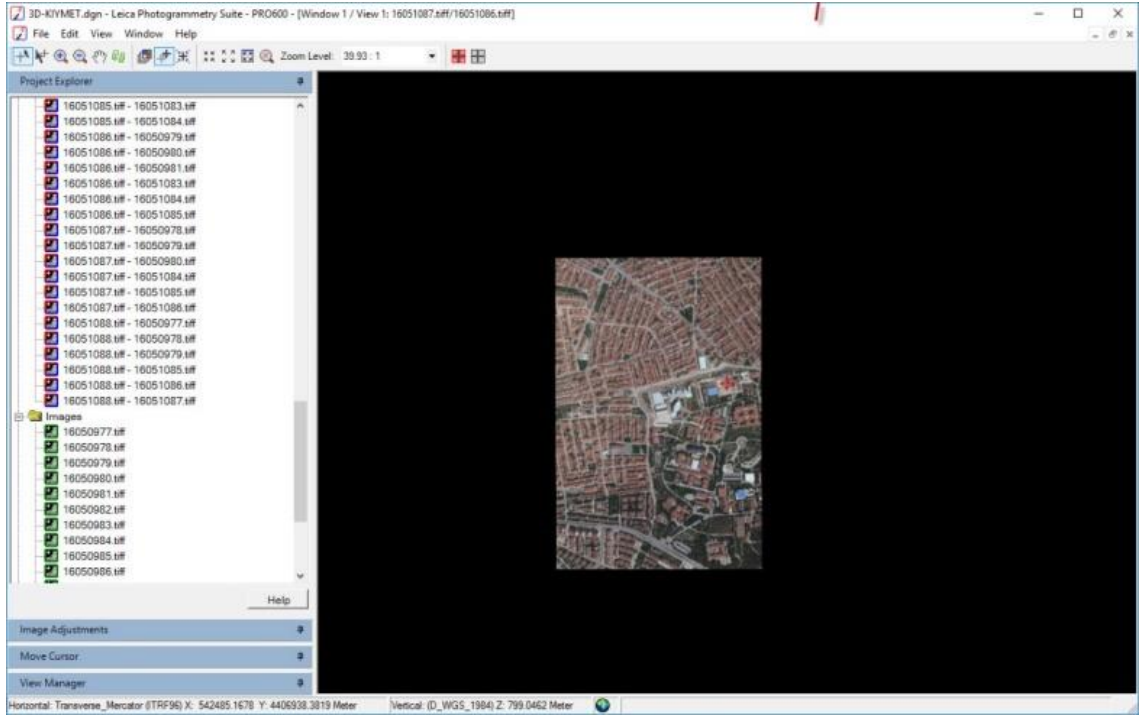
Şekil 6. 13. Erdas Imagine dış yöneltme parametreleri giriş penceresi

(Kaynak: Yazar tarafından üretilmiştir.)

Hava fotoğrafları boyut olarak büyük olduğundan, yazılımda işleme sırasında ve kıymetlendirme aşamasında hızlı bir şekilde kullanılması için piramit yapılması önem arz eder. Piramit işlemi, resimlerin farklı yaklaşma seviyelerindeki durumlarının dosya içinde hızlı erişebilmesinin sağlanması işlemidir. Bu şekilde hava fotoğraflarının yüklenmesi, işlem sırasında yaklaşma ve uzaklaşma işlemleri hızlı bir şekilde yapılabilir. Çalışma alanına ait hava fotoğrafları Erdas Imagine ile değerlendirilmek üzere piramit haline getirilmiştir.

Erdas Imagine yazılımında işlem adımları sıralı bir şekilde yer alır ve her işlem adımı tamamlandığında yeşil renk alır, tamamlanmamış işlem adımları Şekil 6.14'te görüldüğü gibi kırmızı renkte görünür.

Erdas Imagine yazılımında hazırlanmış olan blok dosyası, Pro600 modülünde stereo kıymetlendirme işlemlerinde kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir. Pro600 ile stereo görüş sağlanmakta ve üç boyutlu çizim işlemleri yapılmaktadır. Bu şekilde çalışma alanında yer alan detaylar sayısal ortama aktarılabilir. Arazi ölçümleri yapılan 21 adet noktanın, stereo değerlendirme yöntemi ile değerleri alınarak, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Pro600 modülü üzerinden üç boyutlu görüş sağlanarak kıymetlendirme yapılacak olan pencere Şekil 6.16'da görülmektedir.



Şekil 6. 16. Erdas Imagine stereo değerlendirme penceresi

(Kaynak: Yazar tarafından üretilmiştir.)

7. DOĞRULUK KONTROLLERİ

Doğruluk, ölçülen büyüklüğün, gerçek değerine olan yakınlığı bir başka deyişle gerçek değere yaklaşımdır. Ölçmelerde ve hesaplarda hata sınırlarını saptayabilmek ve ölçümlerin kabul edilip edilmeyeceğini belirlemek için doğruluk analizinin yapılması şarttır (Sertel, 2010).

Doğruluk kontrolleri, üç aşamada yapılmıştır, Agisoft Photoscan ile üretilen SYM ve ortofoto haritanın doğruluğu, kontrol noktalarına ait X, Y, Z değerleri kontrol edilerek değerlendirilmiştir. Doğruluk analizinde karesel ortalama hata (KOH - Root Mean Square Error: Karesel Ortalama Hata, (RMS)) yöntemi kullanılmıştır. KOH aynı noktaya ait iki farklı şekilde ölçülen veri arasındaki farkların karelerinin ortalamasının karekökü alınarak bulunur. KOH için kullanılan formül, Şekil 7.1’te verilmiştir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}$$

Şekil 7. 1. KOH formülü

7.1. Ortofotonun Doğruluk Kontrolü

Agisoft PhotoScan yazılımı ile üretilen gerçek ortofoto haritanın doğruluğunun kontrol işlemleri için, elde edilen ortofoto harita üzerinden, keskin köşelere sahip belirgin 50 adet nokta belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan hava fotoğraflarının çekim yılının 2015, GNSS ile ölçümlerin yapılma yılının ise 2018 yılı olması sebebi ile arazi üzerindeki fiziki değişimler meydana gelmesi sebebiyle belirlenen tüm noktaların kullanılması mümkün olmamış ve 50 noktanın kullanılabilir olan 21 tanesi değerlendirmeye alınmıştır. Değerlendirmeye alınan 21 adet noktanın arazi ölçümleri yapılarak, ortofoto üzerindeki değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Değerlendirme sonunda, ortofoto harita üzerinden alınan 21 adet noktanın değerleri ile yersel ölçüm değerleri Tablo 7.1’de görülebilmektedir.

Tablo 7. 1. *Ortofoto karşılaştırma tablosu(m)*

No	Y	X
3	0,039	0,055
5	0,020	0,052
6	0,032	0,047
7	0,056	0,002
11	0,075	0,009
13	0,053	0,038
15	0,056	0,038
17	0,003	0,012
25	0,029	0,023
27	0,040	0,080
28	0,037	0,069
100	0,032	0,083
101	0,049	0,029
102	0,009	0,041
104	0,039	0,001
105	0,038	0,003
108	0,037	0,058
111	0,043	0,028
114	0,068	0,024
117	0,061	0,037
122	0,023	0,062
124	0,099	0,069

Sonuçlara göre X yönünde elde edilen, en küçük hata miktarı 0.01 m olurken, en büyük hata miktarı ise, 0.08 m olarak gerçekleşmiştir, ortalama değer ise, 0.03 m olmuştur.

Sonuçlara göre Y yönünde elde edilen, en küçük hata miktarı 0.03 m olurken, en büyük hata miktarı ise, 0.09 m olarak gerçekleşmiştir, ortalama değer ise, 0.04 m olmuştur. Elde edilen değerler Tablo 7.2’de görülmektedir.

Tablo 7. 2. *Ortofoto en küçük ve en büyük değerler(m)*

	En Küçük	En Büyük	Ortalama
X	0,010	0,083	0,030
Y	0,003	0,099	0,042

Değerlendirmeye alınan her bir nokta için, elde edilen değerlerin karşılaştırması ve karesel ortalama hataları ise Tablo 7.3'te verilmiştir.

Tablo 7. 3. *Ortofoto ve stereo değerleri karşılaştırma tablosu*

Nokta No	GNSS ile Arazide Alınan Değerler		Nokta No	Ortofoto Üzerinden Alınan Değerler		Farklar		Farkların Karesi	
	X	Y		X	Y	ΔX	ΔY	ΔX^2	ΔY^2
3	542512,997	4406552,094	Y_3	542512,958	4406552,149	0,039	-0,055	0,0015	0,003
5	542261,320	4406333,908	Y_5	542261,340	4406333,960	-0,020	-0,052	0,0004	0,003
6	542550,260	4406340,160	Y_6	542550,228	4406340,207	0,032	-0,047	0,0010	0,002
7	542703,762	4406410,197	Y_7	542703,706	4406410,195	0,056	0,002	0,0031	0,000
11	543127,543	4406627,160	Y_11	543127,468	4406627,169	0,075	-0,009	0,0056	0,000
13	542532,820	4406937,124	Y_13	542532,767	4406937,086	0,053	0,038	0,0028	0,001
15	543412,375	4406523,687	Y_15	543412,431	4406523,649	-0,056	0,038	0,0031	0,001
17	542450,586	4406392,248	Y_17	542450,583	4406392,236	0,003	0,012	0,0000	0,000
25	542539,741	4406643,598	Y_25	542539,712	4406643,621	0,029	-0,023	0,0008	0,001
27	543257,864	4406619,586	Y_27	543257,824	4406619,506	0,040	0,080	0,0016	0,006
28	543203,623	4406544,756	Y_28	543203,660	4406544,687	-0,037	0,069	0,0014	0,005
100	542449,292	4406194,444	Y_100	542449,260	4406194,527	0,032	-0,083	0,0010	0,007
101	542411,789	4406149,030	Y_101	542411,740	4406149,001	0,049	0,029	0,0024	0,001
102	542444,490	4406156,927	Y_102	542444,481	4406156,968	0,009	-0,041	0,0001	0,002
104	542480,494	4406137,334	Y_104	542480,455	4406137,333	0,039	0,001	0,0015	0,000
105	542491,473	4406163,461	Y_105	542491,435	4406163,458	0,038	0,003	0,0014	0,000
108	542301,877	4406606,441	Y_108	542301,840	4406606,499	0,037	-0,058	0,0014	0,003
111	542156,851	4406641,510	Y_111	542156,808	4406641,538	0,043	-0,028	0,0018	0,001
114	542311,285	4406556,705	Y_114	542311,217	4406556,681	0,068	0,024	0,0046	0,001
117	542487,536	4406660,503	Y_117	542487,475	4406660,540	0,061	-0,037	0,0037	0,001
122	542497,944	4406952,250	Y_122	542497,967	4406952,312	-0,023	-0,062	0,0005	0,004
124	543141,815	4406568,153	Y_124	543141,716	4406568,222	0,099	-0,069	0,0098	0,005
Karesel Ortalama Hata (m)									X
									0,0476
									Y
									0,0462

7.1.1. Ortofoto Değerlendirme

Yapılan değerlendirme sonucu üretilen gerçek ortofotonun karesel hatası, Y yönünde **0,0476 m**, X yönünde ise **0,0462 m** olarak gerçekleşmiştir.

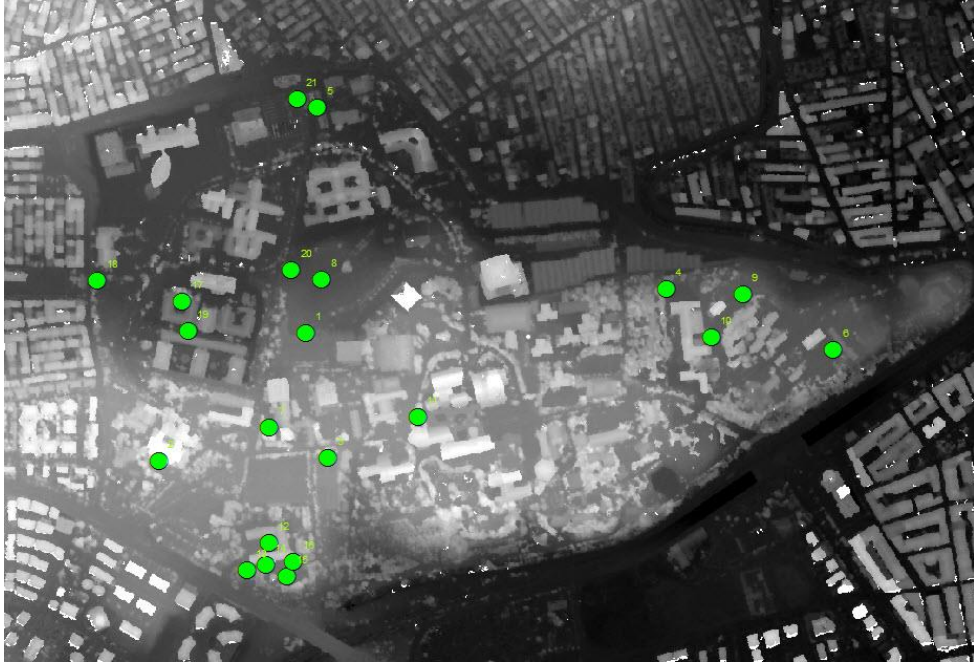
Üretilen ortofoto haritadan 2 boyutlu olarak X, Y yönünde elde edilen, noktaların yapılan doğruluk kontrolleri sonucunda bulunan değerler, kabul edilebilir sınırlar içinde değerlendirilmektedir. Agisoft PhotoScan ile elde edilen gerçek ortofoto haritası, X ve Y yönünde, yüksek doğruluğa sahip bir harita olarak 1/1000 ve 1/5000 ölçekli harita yapımında kullanılabilir. Burada ortofoto haritadan elde edilecek olan noktaların, çözünürlüğe bağlı olarak arazi üzerinden okunabilir büyüklükte olması ve arazi yapısından kaynaklı olarak görülebilir olması önemli bir faktördür.

7.2. SYM Verisi Doğruluk Kontrolü

Üretilen ortofoto harita kullanılarak farklı çözünürlüklerde iki adet SYM üretilmiştir. Ortofoto üzerinden tespit edilmiş ve arazi üzerinde GNSS ile ölçümleri yapılmış olan 21 adet kontrol noktası, üretilen SYM1 ve SYM2 üzerinde yükseklik değerinin kontrolü için kullanılmıştır. Her bir kontrol noktası için GNSS ölçümleri ve SYM’den alınan değerler ile karşılaştırılmıştır.

- SYM1 – GNSS karşılaştırması
- SYM2 – GNSS karşılaştırması

Kontrol noktalarının çalışma alanındaki dağılımı ise Şekil 7.2’de görülmektedir.



Şekil 7. 2. SYM verisi üzerinde kontrol noktalarının dağılımı
(Kaynak: Yazar tarafından üretilmiştir.)

Kontrol noktalarının, SYM verisi üzerindeki yükseklik değeri ArcMap ile bulunarak bir tabloda gösterilmiştir. “Rastervalue” değerleri, kontrol noktası olarak belirlenen noktaların X, Y düzleminde SYM üzerinde isabet ettiği konuma ait yükseklik değerini göstermektedir.

ArcMap uygulamasında ortofoto haritadan alınan noktalar ve üretilen SYM verisi iki farklı katman üzerinde açılmış ve “Extract Value to Points” seçeneği ile SYM verisinde bu noktalara karşılık gelen yükseklik değeri otomatik olarak alınmıştır.

Arazi üzerinde GNSS ile X, Y, Z değerleri alınmış aynı noktaların geometrik yükseklikleri, bu bölge için belirlenen yüzey değerine göre dönüştürülmüştür. Bu bölgede 38,02 m olan bu fark GNSS ile yapılan ölçüm değerlerinden düşülerek noktaların ortometrik yükseklik değerleri bulunmuştur.

SYM1 olarak değerlendirmeye verilerden elde edilen karşılaştırma sonuçları ise Tablo 7.4’de görülmektedir.

Tablo 7. 4. *SYM verisi ölçüm farkları*

Nokta No	Fark(m)
3	0,228
5	0,348
6	0,079
7	0,366
11	0,462
13	0,186
15	0,268
17	0,273
25	0,945
27	0,177
28	0,480
100	0,232
101	0,092
102	0,054
104	0,120
105	0,071
108	0,266
111	0,084
114	0,148
117	0,269
122	0,058

Sonuçlar değerlendirildiğinde, en küçük hata miktarı ile en büyük hata miktarı tabloda 7.5’te görülmektedir.

Tablo 7. 5. *SYM verisi en küçük ve en büyük fark miktarları*

	En Küçük	En Büyük	Ortalama
Z(m)	0,054	0,48	0,21

Test noktalarına ait ölçüm ve SYM1 değerlerinin karesel ortalama hataları tablo 7.6’da verilmiştir.

Tablo 7. 6. SYM1 verisi karşılaştırma tablosu (m)

No	X	Y	Z	Ortometrik	RASTERVALUE	Fark	Z ²
3	542512,997	4406552,094	847,462	809,442	809,214	0,228	0,052
5	542261,320	4406333,908	853,145	815,125	814,777	0,348	0,121
6	542550,260	4406340,160	852,367	814,347	814,426	-0,079	0,006
7	542703,762	4406410,197	852,349	814,329	813,963	0,366	0,134
11	543127,543	4406627,160	841,810	803,790	803,328	0,462	0,213
13	542532,820	4406937,124	836,017	797,997	798,183	-0,186	0,035
15	543412,375	4406523,687	841,410	803,390	803,122	0,268	0,072
17	542450,586	4406392,248	849,526	811,506	811,233	0,273	0,075
25	542539,741	4406643,598	841,017	802,997	802,052	0,945	0,893
27	543257,864	4406619,586	842,760	804,740	804,563	0,177	0,031
28	543203,623	4406544,756	843,569	805,549	805,069	0,480	0,230
100	542449,292	4406194,444	847,966	809,946	809,714	0,232	0,054
101	542411,789	4406149,030	846,580	808,560	808,468	0,092	0,008
102	542444,490	4406156,927	846,635	808,615	808,561	0,054	0,003
104	542480,494	4406137,334	846,322	808,302	808,182	0,120	0,014
105	542491,473	4406163,461	846,639	808,619	808,548	0,071	0,005
108	542301,877	4406606,441	837,687	799,667	799,401	0,266	0,071
111	542156,851	4406641,510	838,574	800,554	800,470	0,084	0,007
114	542311,285	4406556,705	839,355	801,335	801,187	0,148	0,022
117	542487,536	4406660,503	839,100	801,080	800,811	0,269	0,073
122	542497,944	4406952,250	837,218	799,198	799,256	-0,058	0,003
Karesel Ortalama Hata							0,318

Yapılan değerlendirme sonucu 38,9 cm/pix çözünürlükte üretilen SYM verisinin ortalama karesel hatası, Z yönünde 0,318 m gerçekleşmiştir.

Çalışma kapsamında çözünürlüğün doğruluğa etkisinin araştırılması için, Agisoft Photoscan ile mevcut veriler kullanılarak, 19,3 cm/pix çözünürlüğünde bir SYM üretimi daha gerçekleştirilmiş ve aynı yöntem ile karşılaştırılmıştır. SYM2 olarak değerlendirmeye alınan verilere ait detaylar Tablo 7.7’de görülmektedir.

Tablo 7. 7. *SYM2 verisi karşılaştırma tablosu*

No	X	Y	Z	Ortometrik	DEM	Fark	Z ²
3	542512,997	4406552,094	847,462	809,442	809,212	0,230	0,053
5	542261,320	4406333,908	853,145	815,125	814,798	0,327	0,107
6	542550,260	4406340,160	852,367	814,347	814,033	0,314	0,098
7	542703,762	4406410,197	852,349	814,329	813,806	0,523	0,273
11	543127,543	4406627,160	841,810	803,790	803,394	0,396	0,156
13	542532,820	4406937,124	836,017	797,997	797,748	0,249	0,062
15	543412,375	4406523,687	841,410	803,390	803,051	0,339	0,115
17	542450,586	4406392,248	849,526	811,506	811,230	0,276	0,076
25	542539,741	4406643,598	841,017	802,997	802,206	0,791	0,626
27	543257,864	4406619,586	842,760	804,740	804,483	0,257	0,066
28	543203,623	4406544,756	843,569	805,549	805,102	0,447	0,200
100	542449,292	4406194,444	847,966	809,946	809,703	0,243	0,059
101	542411,789	4406149,030	846,580	808,560	808,412	0,148	0,022
102	542444,490	4406156,927	846,635	808,615	808,370	0,245	0,060
104	542480,494	4406137,334	846,322	808,302	808,120	0,182	0,033
105	542491,473	4406163,461	846,639	808,619	808,215	0,404	0,163
108	542301,877	4406606,441	837,687	799,667	799,449	0,218	0,048
111	542156,851	4406641,510	838,574	800,554	800,258	0,296	0,088
114	542311,285	4406556,705	839,355	801,335	801,193	0,142	0,020
117	542487,536	4406660,503	839,100	801,080	800,806	0,274	0,075
122	542497,944	4406952,250	837,218	799,198	799,046	0,152	0,023
Karesel Ortalama Hata(m)							0,339

7.2.1. SYM değerlendirme ve sonuç

Hava fotoğrafları kullanılarak elde edilen SYM için bir kaç farklı değerlendirme yapılmıştır. Buna göre, iki farklı çözünürlükte yapılan SYM'den elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Değerlendirme kullanılan yöntemler ise şu şekilde gerçekleştirilmiştir.

- Arazi yapısının sonuca etkisi
- Çözünürlüğün doğruluğa etkisi
- Yüksek hata miktarına sahip noktalar

7.2.1.1. Arazi Yapısının Sonuca Etkisi

SYM üzerinden elde edilen değerlerin kontrolü sağlandığında, çözünürlüğe ve arazi yapısına bağlı olarak düzensiz sonuçlar verdiği görülmüştür. SYM verisinin otomatik olarak yazılım tarafından üretilmesi, arazideki farklı karakteristik özelliklere

sahip tüm objelerin homojen olarak değerlendirilmesi sonucu, detay objelere ait yükseklik verisindeki hata oranlarının düzensiz olduğu görülmüştür. Bu noktaların arazi üzerindeki konumları incelendiğinde, çalışma alanındaki objelerin bulundukları topoğrafik duruma göre farklı hata miktarları veridkleri görülmüştür. Ayrıca arazi yapısının dışında, yakın konumunda yer alan objelerinde sonuca etki ettiği görülmüştür.

Bu çerçevede, hata miktarları az olan noktalar incelenmiş ve ortak özellikleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Buna göre az hata miktarına sahip olan noktaların düz ve ani yükseklik değişimi olmayan konumda bulundukları belirlenmiştir.

7.2.1.2. *Düşük hata miktarlarına sahip noktalar*

Buna göre düz zeminde yer alan ve yakın çevresinde herhangi bir yükselti olmayan noktaların doğrulukları 0,05 – 0,08 m aralığında olduğu görülmüştür. Kontrol noktalarının görünümü Şekil 7.3'te görülmektedir.



Şekil 7. 3. *Düşük hataya sahip nokta konumları ve hata miktarları*
(Kaynak: Yazar tarafından üretilmiştir.)

7.2.1.3. *Yüksek hata miktarlarına sahip noktalar*

Yüksek hata oranına sahip noktalar incelendiğinde ise, ani yükseklik içeren objelere oldukça yakın konumda oldukları tespit edilmiştir. Buna göre, dikey düzlemde kot farkı içeren detayların (duvar, bordür taşı, kaldırım vb.) yüksekliklerinin tespiti otomatik olarak SYM üretimi yöntemi ile mümkün olamamaktadır. Bu durum Şekil 7.4'te görülmektedir.



Şekil 7. 4. Yüksek Hata miktarına sahip nokta konumları ve hata miktarları
(Kaynak: Yazar tarafından üretilmiştir.)

7.2.1.4. Çözünürlüğünün doğruluğa etkisi

Çalışma kapsamında, mevcut verilerin çözünürlükleri yani cm'ye düşen piksel sayısı arttırıldığında be gibi bir etkisi olacağı araştırılmıştır. Bunun için çözünürlüğü daha yüksek olan bir SYM üretilmiş ve SYM2 olarak değerlendirilmiştir. SYM2 verisinden elde edilen değerler kontrol edildiğinde, elde edilen karesel ortalama hata miktarının SYM1 verisinden elde edilen sonuca yakın bir değer verdiği tespit edilmiştir. SYM1 ve SYM2 verileri karşılaştırma tabloları Tablo 7.8'te görülmektedir.

Tablo 7. 8. SYM1 v SYM2 karşılaştırma tablosu

No	Çözünürlük	Yersel Ölçüm	SYM Verisi	Fark
SYM1	39,8 cm/pix	802,997	802,052	0,318
SYM2	19,3 cm/pix	802,997	802.206	0.339

Bu sonuç SYM çözünürlüğünün, yazılım tarafından belirlenmiş olan varsayılan değerden, sadece yazılım kullanılarak düşürülmesinin doğrudan Z değerinin hassasiyetine bir etkisinin olmadığını görülmüştür. SYM üretilirken mevcut çözünürlüğün, varsayılan değerden daha yüksek seçilmesinin sonuca bir etki yapmamasının nedeni ise, eşleşen noktaların artmasından dolayı değil, üretilen fazla noktaların, bulunan noktalardan enterpole edilmesi ile üretilmiş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bu durumda eşleşen nokta sayısını arttırmanın, mevcut noktalardan daha fazla sayıda nokta üretmenin, doğruluk açısından önemli bir etkisinin olmayacağı görülmektedir. SYM2 için üretilen nokta sayısının, SYM1 için üretilen nokta sayılarına göre artmış olmasının, doğru bir yükseklik verisi elde etmek için yeterli gelmediği görülmüştür. Sonuca etki etmesi için çalışma alanı için yeterli sayıda, doğru eşleşme yapan noktaların bulunmasının gerektiğidir.

7.2.1.5. 25 numaralı nokta incelemesi

Karşılaştırma tablosu incelendiğinde 25 numaralı noktada ortalamanın üstünde hata gözlemlenmiştir. Arazi ölçümünde havuzun duvarının üstünden alınan kontrol noktası değeri ile SYM verisinden elde değer arasındaki fark, bu ani yükseklik farkının SYM verisinin otomatik elde edilmesi ve arazi yapısından kaynaklı olarak yazılım tarafından tespit edilememesinden kaynaklanmıştır. SYM1 ve SYM2 verisinin yersel çözünürlüğü farklı olmasına rağmen, yükseklikte gerçekleşen bu ani değişimin tespit edilmesi mümkün olmamıştır.

Tablo7.7’de 25 no’lu noktanın değerinin ilk örnekte 0,94 m, ikinci örnekte ise 0,79 m olduğu görülmektedir, ortalama değer üstünde gerçekleşen bu hata miktarının nedenini araştırılmıştır. Araştırma sonucunda, çalışma alanında bulunan 1,02 m yüksekliğinde ve 0,26 m genişliğinde bir havuzun kenar duvarına isabet ettiği görülmüştür. 25 numaralı noktanın ortofoto üzerindeki konumu Resim7.6’da görülmektedir.



Şekil 7. 5. 25 numaralı obje
(Kaynak: Yazar tarafından üretilmiştir.)

25 numaralı noktanın hesaplanan değerleri SYM1 ve SYM2 verisindeki değerleri ile birlikte arasındaki hata miktarı Tablo 7.9’da verilmiştir.

Tablo 7. 9. 25 no’lu noktanın ölçüm farkları(m)

No	Çözünürlük	Yersel Ölçüm	SYM Verisi	Fark
SYM 1	39,8 cm/pix	802,997	802,052	0,944
SYM 2	19,3 cm/pix	802,997	802.206	0,791

7.3. SYM değerlendirme sonucu

Sonuç olarak SYM otomatik olarak elde edilmiş ve yoğun yerleşim ve bitki örtüsünün bulunduğu bir alanda test edilmiştir. Arazinin düz ve gayrimeskûn olması durumunda, mevcut veriler oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Özellikle düzensiz zemin yapısına sahip, ani yükseklik değişimleri, yoğun bitki örtüsü ve yapılaşmanın sık olduğu alanlarda SYM’ler, noktaların konumlarının arazideki fiziki şartlara göre düzensiz bir şekilde sonuç verdiği görülmektedir.

Bu durum bu tür alanlarda otomatik olarak üretilen noktaların hassasiyetleri gözönünde bulundurularak, daha küçük ölçekli haritalarda kullanılmak üzere veri üretimi sağlayabilirler. Ancak 1/1000 ve 1/5000 ölçekli haritaların üretiminde kullanılmak üzere otomatik olarak elde edilen SYM’lerden yükseklik verisi alınması önerilmemektedir.

Harita ölçeklerine göre yükseklik verisi alınma yönteminin seçilmesi ile ilgili öneriler Tablo 7.10’de görülmektedir.

Tablo 7. 10. *Yükseklik verisi değerlendirme yöntemleri*

Yükseklik Verisi Değerlendirme Yöntemi	
Harita Ölçeği	Değerlendirme Yöntemi
Büyük Ölçekli Haritalar (1/1,000 - 1/5,000)	Stereo Değerlendirme
Küçük Ölçekli Haritalar (1/25,000 = >)	Otomatik SYM

7.4. Stereo Değerlendirme Doğruluk Kontrolü

Çalışma kapsamında belirlenmiş 21 adet kontrol noktasının X, Y, Z değerleri, stereo değerlendirme yöntemi ile Erdas Imagine LPS ile belirlenerek, çalışma alanında GNSS ile ölçülmüş olan kontrol noktalarının konumları ile karşılaştırılarak tabloya aktarılmıştır. İşlem sonucu bulunan değerler Tablo 7.11’te görülmektedir.

Tablo 7. 11. *Stereo değerlendirme verisi X,Y,Z değerleri karşılaştırma tablosu*

Nokta No	X	Y	Z
3	-0,096	0,056	0,072
5	0,029	-0,093	0,145
6	0,028	0,009	0,313
7	0,114	0,085	0,273
11	0,025	-0,004	0,320
13	0,031	-0,061	-0,119
15	0,086	0,145	0,335
17	-0,049	0,070	0,331
25	0,088	0,052	0,184
27	0,012	0,073	0,100
28	-0,105	0,050	0,449
100	-0,071	0,059	0,544
101	-0,006	0,079	0,280
102	-0,033	-0,072	0,074
104	-0,003	0,104	0,322
105	0,108	-0,060	-0,129
108	-0,010	0,068	0,173
111	0,015	0,149	-0,176
114	0,015	-0,017	-0,045
117	0,076	0,068	0,130
122	-0,088	0,104	0,144

Tablo 7.8’de görülen değerlere göre, stereo değerlendirme ile yersel ölçümler arasındaki en büyük ve en küçük farklar Tablo 7.12’da görülmektedir.

Tablo 7. 12. Stereo değerlendirme verisi karşılaştırma tablosu

	En Küçük	En Büyük
X	0,003	0,114
Y	0,003	0,140
Z	0,045	0,540

Elde edilen sonuçların karesel ortalaması alınması ile elde edilen değerler ise, Tablo 7.13’da görülmektedir.

Tablo 7. 13. Stereo Model Doğruluk Kontrolleri Karşılaştırma Tablosu

No	GNSS (Yersel Ölçüm)			3D Stereo Değerlendirme			Fark		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
3	542512,997	4406552,094	809,442	542513,093	4406552,038	809,370	0,0093	0,0032	0,0052
5	542261,320	4406333,908	815,125	542261,291	4406334,001	814,980	0,0008	0,0086	0,0210
6	542550,260	4406340,160	814,347	542550,232	4406340,151	814,034	0,0008	0,0001	0,0980
7	542703,762	4406410,197	814,329	542703,648	4406410,112	814,056	0,0130	0,0072	0,0745
11	543127,543	4406627,160	803,790	543127,518	4406627,164	803,470	0,0006	0,0000	0,1024
13	542532,820	4406937,124	797,997	542532,789	4406937,185	798,116	0,0010	0,0037	0,0142
15	543412,375	4406523,687	803,390	543412,289	4406523,542	803,055	0,0074	0,0210	0,1122
17	542450,586	4406392,248	811,506	542450,635	4406392,178	811,175	0,0024	0,0049	0,1098
25	542539,741	4406643,598	802,997	542539,653	4406643,546	802,813	0,0077	0,0027	0,0339
27	543257,864	4406619,586	804,740	543257,852	4406619,513	804,640	0,0002	0,0054	0,0100
28	543203,623	4406544,756	805,549	543203,729	4406544,706	805,100	0,0111	0,0025	0,2019
100	542449,292	4406194,444	809,946	542449,363	4406194,385	809,402	0,0050	0,0035	0,2963
101	542411,789	4406149,030	808,560	542411,795	4406148,951	808,280	0,0000	0,0063	0,0784
102	542444,490	4406156,927	808,615	542444,523	4406156,999	808,541	0,0011	0,0052	0,0055
104	542480,494	4406137,334	808,302	542480,497	4406137,230	807,980	0,0000	0,0108	0,1037
105	542491,473	4406163,461	808,619	542491,365	4406163,521	808,748	0,0117	0,0036	0,0166
108	542301,877	4406606,441	799,667	542301,887	4406606,373	799,494	0,0001	0,0047	0,0301
111	542156,851	4406641,510	800,554	542156,836	4406641,362	800,730	0,0002	0,0221	0,0310
114	542311,285	4406556,705	801,335	542311,270	4406556,722	801,380	0,0002	0,0003	0,0020
117	542487,536	4406660,503	801,080	542487,460	4406660,435	800,950	0,0058	0,0046	0,0169
122	542497,944	4406952,250	799,198	542498,032	4406952,146	799,054	0,0077	0,0108	0,0207
Ortalama Karesel Hata (m)							X	Y	Z
							0,064	0,079	0,257

Tabloya göre karesel ortalama hatası, X yönünde 0,064 m, Y yönünde 0,079 m hata olduğu tespit edilmiştir. Z yönünde ise, 0,257 m hata miktarı bulunmuştur.

7.4.1. Stereo değerlendirme sonucu

Sonuç olarak, stereo değerlendirme işleminin, X ve Y yönünde oldukça başarılı ve hassas sonuçlar verdiği görülmektedir. Ancak stereo değerlendirme işleminde yükseklik değerinin elde edilebilmesi işleminde, kullanıcı deneyiminin hata miktarına etki

derecesi tecrübe ile doğru orantılı bir şekilde değişmektedir. Çalışmada Z değerinde bulunan 0.257 m'lik fark ise, kullanıcı deneyiminin stereo değerlendirmede önemli olduğunu açıkça göstermektedir.

Ayrıca kontrol noktalarının Z değerlerinin hata miktarlarının düzensiz oluşunun sebebi ise, arazi yapısı, arazideki renk tonları ve insan gözünün algılaması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Arazide yer alan nesneler ve renk tonları görüşü ve kullanıcı algısını etkilemektedir ve bunun sonucu elde edilen değerler farklı olabilmektedir.

Kullanıcı deneyimi bu noktada önem arz etmektedir, tecrübe ile bu durumun pozitif yönde hata miktarlarına etki edeceği düşünülmektedir. Bu sebeple çalışma içinde stereo görüş ve kıymetlendirme işleminin sonuçları objektif olarak değerlendirmeye alınmamıştır.

Stereo değerlendirme yöntemi ile çalışma alanında deneyimli operatörlerin, özellikle Z değerlerinin elde edilmesinde daha hassas sonuçlar elde edeceği düşünülmektedir.

Yapılan doğruluk kontrolleri sonucunda, SYM, ortofoto harita ve stereo kıymetlendirme tekniği ile elde edilen verilerin, kabul edilebilir, tecviz değerleri içinde olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak ÇŞB tarafından üretilen hava fotoğrafları kullanılarak, gerçek ortofoto, SYM ve stereo değerlendirme ile halihazır harita üretilebilir. Agisoft Photoscan ile elde edilmiş ortofoto harita, ortalama 4 cm hassasiyette ve yersel ölçüm metotları ile elde edilen değerde konumsal hata ile üretilebilir.

Otomatik olarak SYM üretiminde ise, küçük ölçekli haritalarda kullanılmak üzere veri üretimi yapılabilir, ayrıca bir operatör müdahalesi ile daha hassas veri üretebilmekte mümkün olabilmektedir.

8. ÖNERİLER

Çalışma boyunca, SYM ve ortofoto üretiminden, stereo kıymetlendirme işlemine kadar, sonuca etki eden bazı önemli hususlar bulunmaktadır. Bu hususların dikkate alınarak, veri üretiminin gerçekleştirilmesi elde edilecek verinin kalitesinin ve hassasiyetinin artmasına neden olacaktır.

8.1. Stereo Kıymetlendirme İşlemleri

Çalışma sonucunda, kıymetlendirme işleminde dikkat edilmesi gereken bazı noktalar olduğu görülmüştür. Kıymetlendirme işlemleri aşamasında, derinlik algısı ile Z değerinin elde edilmesinde kullanıcının deneyimi oldukça önem arz eder. Stereo kıymetlendirme işleminin deneyimli operatörler tarafından yapılmasının doğruluğa önemli etki ettiği görülmüştür.

Bina vb. yapıların kıymetlendirilmesi aşamasında, bazı çizim tekniklerinin kullanılması gerekmektedir. Elde edilecek verinin Büyük Ölçekli Haritaların Yapım Yönetmeliği (BÖHYY) standartlarına uygun bir şekilde üretilmesi esastır.

Çizim teknikleri açısından ise, özellikle bina vb. yapıların çatı kenarlarından çizilmek suretiyle vektör haline getirilmesi gerekmektedir. Bu veriler daha sonra arazide ölçülmek suretiyle “Çatı payı” miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Binaların bitişik ve farklı yüksekliklerde olması durumunda ise kot farkı göz önüne alınarak, ortak çizgi ile temsil edilmesi gereklidir.

Özellikle mülkiyeti ilgilendiren bu gibi durumlarda yaşanan bu sorunun hassas bir şekilde çözülmesi, hem elde edilecek verinin doğruluğunun artması hem de işgücünün daha verimli kullanılması sonucunu doğuracaktır.

Kıymetlendirme aşamasında, objeye yukarıdan yaklaşma tekniğinin kullanılması uygun olacaktır. Yüksekten, zemine doğru yaklaşarak objenin değerlendirilmesi, gözün 3 boyutlu derinlik algısını daha etkin olarak kullanmasını sağlayacağı görülmüştür.

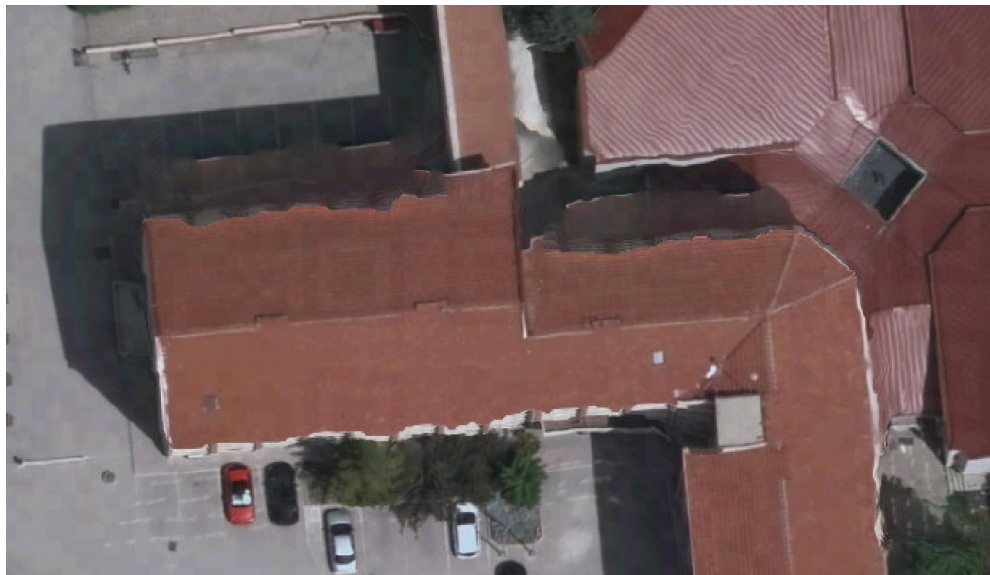
8.2. Ortofoto ve SYM Üretimi

Yoğun yerleşim ve sık bitki örtüsünün bulunduğu alanlarda, otomatik SYM üretilerek bir ortofoto harita elde edilmesi önerilmemektedir. Bunun sebebi ise, düzensiz yüksekliklerin haritaya etkisinin fazla olmasıdır. Bu durumda yükseklikleri fazla olan objelerin konumsal doğrulukları ve bina kenarlarındaki saçılmaların fazla olduğu görülmüştür.

Agisoft PhotoScan ile otomatik olarak üretilen ortofoto haritalar, konumsal olarak yüksek doğruluk vermektedirler, ancak üretilen ortofotoda bazı bölgelerde yer alan yapıların kenarlarında saçılmalar meydana gelmektedir. Bunun sebebi ise, SYM'nin otomatik olarak üretilmesidir. Otomatik SYM üretimi ise, piksel benzerlikleri algoritması kullanılarak gerçekleşir ve stereo hava fotoğraf çiftlerinde yer alan, en iyi eşleşen pikseller kullanılır. Yazılımların algoritmaları ve arazinin durumuna bağlı olarak oluşan bu durum, genellikle otomatik olarak üretilen SYM ile elde edilen haritalarda yaşanabilen bir sorundur.

Bir gerçek ortofoto haritada bu tür sorunların tam anlamıyla ortadan kaldırılması için, sadece arazi üzerinde yer alan noktaların bulunduğu bir SAM kullanılmasının yansıra, binalara ait dış kenarların sayısallaştırılması ile elde edilen bir vektör verinin de kullanılması gerekmektedir.

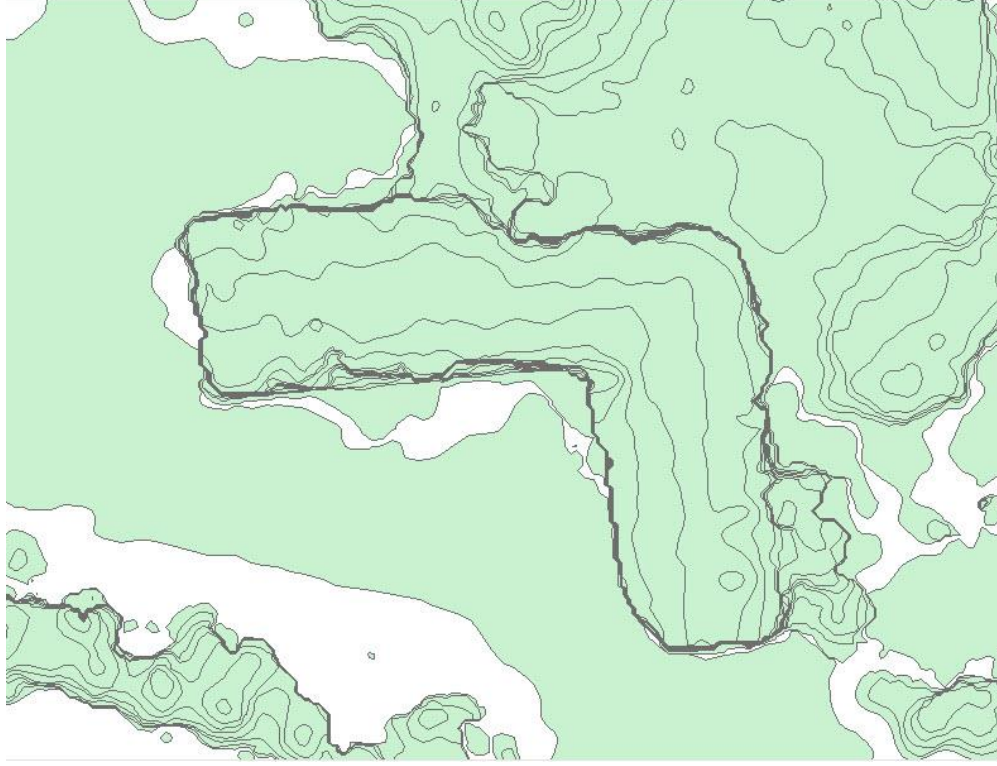
Bu sebeple eşleşme durumu, arazi yapısından bağımsız olarak gerçekleşir ve binaların gerçek ortofoto harita haline getirilmesi aşamasında, bina kenarlarında dalgalanmalara, saçılmalara sebep, söz konusu saçılmalar Şekil 8,1'de görülmektedir.



Şekil 8. 1. Saçılma yapan bir bina örneği

(Kaynak: Yazar tarafından üretilmiştir.)

Aynı yapıya ait SYM verisinden üretilen kontur çizgileri ile üretilen noktasal kesinlik Şekil 8,2’de görülmektedir.



Şekil 8. 2. Saçılma yapan binaya ait SYM verisinden üretilen konturlar

(Kaynak: Yazar tarafından üretilmiştir.)

Bunun dışında arazide yer alan ani değişikliklerin bulunduğu bölgelerde yer alan nokta sıklığının artırılmasının gerekli olduğu görülmüştür.

8.3. Nokta Üretimi

Agisoft Photoscan ile SYM ve ortofoto üretiminde arazi yapısına göre, bağlama noktası ve anahtar nokta yoğunluğunun seçilmesi gerekmektedir. Eğer bu bilinmiyorsa, yoğun yerleşim ve detayların olduğu çalışma alanlarında “High” seçeneği, düşük yapılaşma gayri meskûn alanlarda ise, “Low” seçeneği ile nokta üretimi yapılmalıdır. Burada yapılacak seçim elde edilecek nokta yoğunluğunu direkt olarak etkileyecek bir unsurdur. Burada uygulanabilir diğer metot ise, herhangi bir limit belirtmeden, bu alanlara 0 (sıfır) değerini vermek olacaktır. Bu durumda yazılım alabilecek en uygun

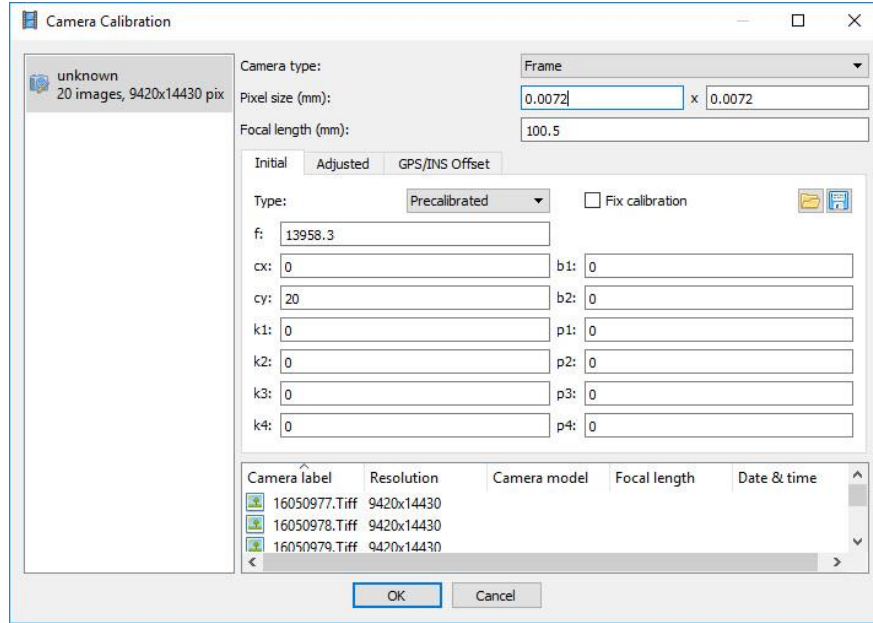
nokta yoğunluğunu kendisi belirleyerek üretecektir. Ayrıca gereksiz nokta üretiminin de önüne geçilmiş olacak ve zaman tasarrufu sağlanacaktır.

8.4. Parametre ve Birimler

Hava fotoğrafları ve yöneltme parametreleri tanımlanırken, her yazılımın çalışma sistemine uygun birim kullanılarak girilmesi gerekmektedir. Agisoft Photoscan ile piksel boyutu tanımlanırken piksel cinsinden girilmelidir, bu durumda pikselin metrik olarak mm cinsinden karşılığı bulunmalıdır yani bu değer piksel birimine dönüştürülmelidir.

Çalışma kapsamında alınmış olan PPA değeri -0,1440 mm'dir. Agisoft Photoscan yazılımında bu değer işlemek için verilen değer olan -0,1440 değeri, 0,0072 mm piksel boyutuna bölünerek bulunmuştur.

Agisoft Photoscan ile kamera ölçümleme bilgileri giriş alanı şekil 8,3'te verilmiştir.



Şekil 8. 3. Agisoft Photoscan kamera ölçümleme bilgileri

(Kaynak: Yazar tarafından üretilmiştir.)

Bunun için mm/piksel formülü kullanılır.

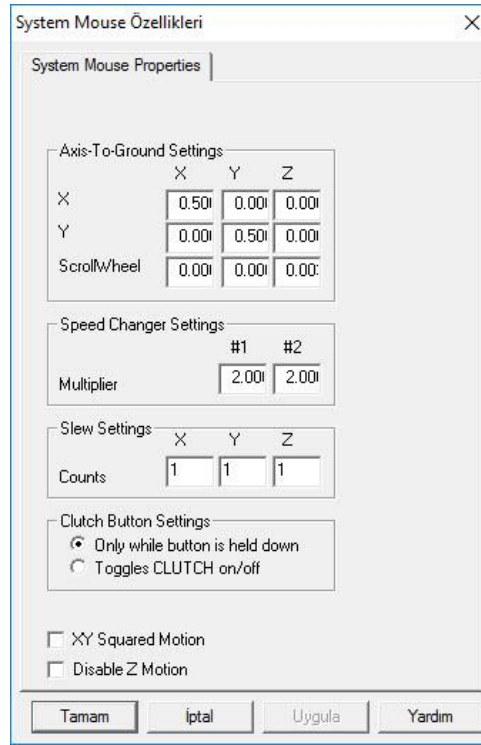
Bu çalışmada kullanılan verilere göre yazılımda girilecek değer $cy = - (-0,144 / 0,0072) = 20$ olacaktır.

8.5. Donanım Ayarları

Çalışma sırasında hassasiyeti etkileyen diğer bir husus ise kullanılan donanımların ayarlarıdır, bunlar, ekran kartı ayarları, emitör ve 3 boyutlu fare ayarlarıdır.

Grafik kartının 3 boyutlu özelliğinin sağlanabilmesi için stereoskopik özelliğinin aktif olması ve kullanılacak olan yazılımına uygun tanımlı ayarların seçilmesi gerekmektedir.

Kullanılacak olan fare ile çalışma alanında işlem yaparken fare tekerleğinin çözünürlüğünün doğru bir şekilde ayarlanması da önem arz eder. Burada yapılacak hassasiyet ayarı ile yüksek hassasiyetinde çalışmak mümkün olabilmektedir. Fare hassasiyet ayarları için kullanılan pencere ise, Şekil 8.4’de görülmektedir.



Şekil 8. 4. Erdas Imagine fare ayarları penceresi

(Kaynak: Yazar tarafından üretilmiştir.)

Stereo değerlendirme aşamasında emitör cihazının 3 boyutlu gözlük ile kablosuz olarak yapacağı iletişim için mümkün olduğunca birbirlerine yakın konumda olmaları, aralarında veri alışverişini engelleyen bir cisim bulunmamasına dikkat edilmelidir.

9. SONUÇ

Sonuç olarak Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından uçuşu gerçekleştirilen ve ilgili kurumlarla paylaşılan 10 cm yer örnekleme aralığına sahip hava görüntüleri, iç ve dış yöneltme parametreleri kullanılarak değerlendirilmiş olup elde edilen çıktı ürünlerin kabul edilebilir hata paylarına sahip veriler olduğu görülmüştür.

Özellikle, stereo değerlendirme ile oldukça hassas bir şekilde 1/1000 ölçekli harita üretiminin bu veriler kullanılarak gerçekleştirilebileceği görülmüştür.

Üretilen veriler kullanılarak, yersel metotlara göre daha hızlı ve yakın hassasiyette ürünler elde edilebilmesi mümkün olabilmektedir.

Yersel metotlarda detaylar ölçeğe bağlı olarak gösterilirken, üretilen gerçek ortofoto harita ile tüm arazi ilgili detay bilgileri alınabilmektedir.

Çizimden kaynaklanan hataların, yersel ölçüm ile üretilen haritalarda tespiti oldukça zor olurken, stereo değerlendirme ile üretilen hataların, ortofoto harita üzerinden tespiti daha kolay olmaktadır.

Elde edilen SYM verisi kullanılarak eğim, bakı, yükseklik, görünürlük analizleri yapılabilir. Bu analizler yer seçimlerinde, kaynak kullanımı, kentsel planlama süreçlerinde kullanılabilir.

Yapılması planlanan inşaat faaliyetleri öncesinde, yer seçiminde, kazı ve dolgu miktarlarının, yol güzergâhlarının belirlenmesinde elde edilmiş olan SYM verisi kullanılabilir.

Otomatik olarak elde edilen SYM verisinin 1/1000 ölçekli harita yapımında kullanılması uygun görülmemekle beraber, daha küçük ölçekli (1/5000, 1/25000) harita yapımında kullanılabileceği düşünülmektedir.

Stereo değerlendirme sonucu elde edilen SYM verisi ise, 1/1000 ölçekli harita yapım sürecinde kullanılabilir.

KAYNAKÇA

- Avdan, U., Şenkal,E., Çömert,R. ve Tuncer, S. (2014). İnsansız Hava Aracı İle Oluşturulan Verilerin Doğruluk Analizi, *UZAL-CBS, İstanbul*, s. 4
- Sertel E., (2010). *Ölçme Hataları, Hata Hesapları Ders Notu* – Powerpoint sunumu, Şubat, İstanbul. <<https://docplayer.biz.tr/17341048-Olcme-hatalari-hata-hesaplari-olcme-hatalari-hata-hesaplari-2-22-2010-olcme-olcme-yrd-doc-dr-elif-sertel-sertele-itu-edu.html> >
- Bhandari, B., Oli, U., Pudasaini, U. ve Panta, N., (2015). Generation Of High Resolution DSM Using UAV Images, *FIG Working Week 2015 From the Wisdom of the Ages to the Challenges of the Modern World, 17-21 May 2015, Sofia, Bulgaria*.
- Baz, İ., Geymen, A., Ateş, H. ve Sarı, C. (2003). Otomatik Korelasyon Tekniği ile Üretilen Sayısal Arazi Modellerinin Büyük Ölçekli Ortofoto Harita Yapımında Kullanılması, *9. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 31 Mart-4 Nisan, Ankara*
- Çolak, M. (1997). Sayısal Arazi Yükseklik Modellerinin Doğruluk Araştırması, *Lisans Tezi, Harita Yüksek Teknik Okulu, Ankara*.
- Çiçekli Y.S, (2015). Hava Fotogrametrisinde Otomatik Ve Operatör Tarafından Toplanan Sayısal Yükseklik Verilerinin Harita Üretim Doğruluğuna Etkisi, Yüksek Lisans Tezi
- Erdoğan, M. (2007). Veri Türü, Kalitesi ve Üretim Yöntemine Göre Sayısal Yükseklik Modeli (Sym) Standartlarının Belirlenmesi, Doktora Tezi.
- KONECNY, G. (1994). New Trends in Technology and their Application: Photogrammetry and Remote Sensing – Analog to Digital, *13th United Nations Regional Cartographic Conference for Asia and the Pacific*, Mayıs, Beijing, China.
- Kısa, A, (2016). True (Gerçek) Ortofoto Üretimi Projesinin Sonuç ve Etkileri, 6. *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2016)*, 5-7 Ekim, Adana, s. 357-362.
- Lee, Y.G. (1985). Comparison of Planimetric and Height Accuracy of Digital Models, *Surveying and Mapping*, Vol: 45, No: 4, s. 330-340.

- Lucieer, A., Turner, D., King, D.H., Robinson, S.A. (2014). Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to capture micro-topography of Antarctic moss beds. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 27, 53–62.
- Öztürk, O , Bilgilioğlu, B , Çelik, M , Bilgilioğlu, S , Uluğ, R . (2017). İnsansız Hava Aracı (İHA) Görüntüleri İle Ortofoto Üretiminde Yükseklik Ve Kamera Açısının Doğruluğa Etkisinin Araştırılması. *Geomatik*, 2 (3), 135-142. DOI: 10.29128/geomatik.327049
- A.Ö. Ok, J.D. Wegner, C. Heipke, F. Rottensteiner, U. Sörgel. ve V. Toprak (2010). Çok Bantlı Stereo Hava Fotoğraflarından Doğrusal Çizgilerin Otomatik Geri-Çatımı İçin Yeni Bir Yaklaşım, *III. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, 11 – 13 Ekim, Gebze – Kocaeli
- Sefercik, U. (2007). Radar İnterferometri Tekniği ile SYM Üretimi ve Doğruluk Değerlendirmeleri, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara s. 2
- Saygılı, A. (2008). SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) Verilerinden Elde Edilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluğunun İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul*.
- Snavely, N., Seitz, S.M., Szeliski, R. (2007). Modeling the world from internet photo collections. *International Journal of Computer Vision*. 80 (2), pp 189–210.
- Uyguçgil, H. (2011). T.C Anadolu Üniversitesi Yayını, (Ünite 7-9, *Coğrafi Bilgi Sistemlerine Giriş*; Ed: Çabuk, A.), *Anadolu Üniversitesi Yayınları*, No: 2206, *Eskişehir*, s. 132-145
- V. Yılmaz, A. Akar, Ö. Akar, O. Güngör, F. Karşlı, E. Gökalp (2013), İnsansız Hava Aracı İle Üretilen Ortofoto Haritalarda Doğruluk Analizi, *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu (Tufuab'2013)*, 23-25 Mayıs 2013, KTÜ, Trabzon.
- Yastıklı, N. ve Bayraktar, H., (2014). Yoğun Görüntü Eşleme Algoritmaları İle Yüksek Çözünürlüklü Sayısal Yüzey Modeli Üretimi, *5. Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu (UZAL-CBS 2014)*, 14-17 Ekim 2014, İstanbul.
- Yastıklı, N. ve Esirtgen, F. (2011). Sayısal Yükseklik Modellerinde Kalite Değerlendirme ve Doğruluk Analizi, *TMMOB Harita ve Kadastro*

Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 18-22 Nisan, Ankara, s. 2

Yaşayan A, Uysal M, Varlık A ve Avdan U (2011). T.C Anadolu Üniversitesi Yayını, (Ünite 1-8, Fotogrametri; Ed: Erdoğan, S.), *Fotogrametrik Değerlendirme*, T.C. Anadolu Üniversitesi Yayını No: 2295, s. 91-114

Yaşayan A, Uysal M, Varlık A ve Avdan U (2011). T.C Anadolu Üniversitesi Yayını, (Ünite 1-8, Fotogrametri; Ed: Erdoğan, S.), *Fotogrametrik Değerlendirme*, T.C. Anadolu Üniversitesi Yayını No: 2295, s. 96

Yıldırım A, Şeker D.Z (2005), Uçaklarla Toplanan Fotogrametrik Amaçlı Görüntü Maliyetinin Analizi, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 28 Mart - 1 Nisan 2005, Ankara

http-1: Nadar tarafından çekilen 1858 ilk hava fotoğrafı, http://www.forensicgenealogy.info/contest_327_results.html/ (Erişim Tarihi: 09.08.2018).

http-2: Sensefly, eBee Classic UAV <<https://www.sensefly.com/drone/ebec-mapping-drone/>> (Erişim Tarihi: 01.08.2018).

http-3: Dji tarafından üretilen PHANTOM 4 modeli < <https://www.dji.com/phantom-4> > (Erişim Tarihi: 09.08.2018).

http-4: Vexcel Imaging'in geniş format sayısal hava kameası Ultracamx (Ultracamx, the Large Format Digital Aerial Camera System by Vexcel Imaging) <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/1_pdf/115.pdf/> (Erişim Tarihi: 09.08.2018).

http-5: Hava Fotoğrafı Kavramları (Concepts of Aerial Photography), <<https://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/satellite-imagery-air-photos/air-photos/about-aerial-photography/9687>> (Erişim Tarihi: 09.08.2018).

http-6: Hava Fotoğrafları ve Yorumları (Aerial Photographs and their Interpretation), <<http://www.fao.org/docrep/003/T0390E/T0390E08.htm/>> (Erişim Tarihi: 09.08.2018).

http-7: NVIDIA 3D Vision Gereksinimleri, <<https://www.nvidia.com.tr/object/3d-vision-technology-requirements-tr.html/>> (Erişim Tarihi: 09.08.2018).

- http-8: Emitör bağlantı diyagramı, <https://nvidia.custhelp.com/app/answers/detail/a_id/2305/~/3d-vision-120-hz-lcd-connection-diagram/>(Erişim Tarihi: 09.08.2018).
- http-9: NVIDIA 3 boyutlu gözlük, < <https://www.extremetech.com/gaming/107825-nvidia-3d-vision-skyrim-battlefield> />(Erişim Tarihi: 09.08.2018).
- http-10: NVIDIA 3 boyutlu vision Emitör cihazı, < <http://www.datem.com/nvidia-3d-vision/>>(Erişim Tarihi: 09.08.2018).
- http-11: NVIDIA 3 boyutlu fare cihazı, <<http://www.datem.com/the-stealth-3dmouse/>>(Erişim Tarihi: 09.08.2018).

EKLER

EK-A. Agisoft Photoscan ölçüm verileri

Survey Data

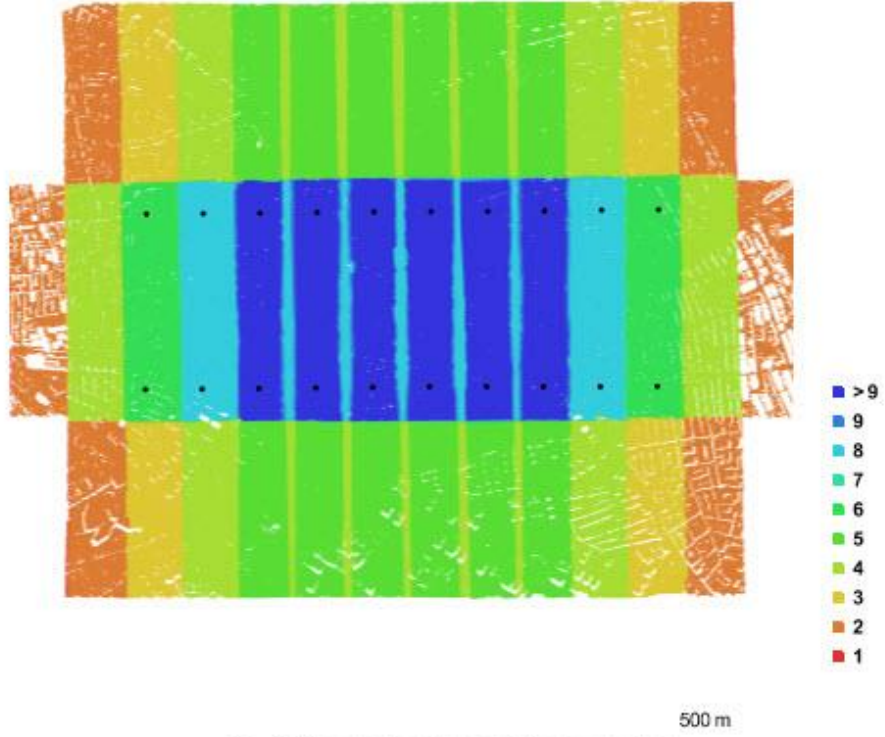


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	20	Camera stations:	20
Flying altitude:	1.42 km	Tie points:	882,101
Ground resolution:	9.65 cm/pix	Projections:	2,426,965
Coverage area:	4.45 km ²	Reprojection error:	0.823 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
unknown	9420 x 14430	100.5 mm	7.2 x 7.2 μ m	Yes

Table 1. Cameras.

Şekil.EK.A. Kamera konumları ve resim bindirmeleri

EK-B. Kamera kalibrasyon değerleri

Camera Calibration

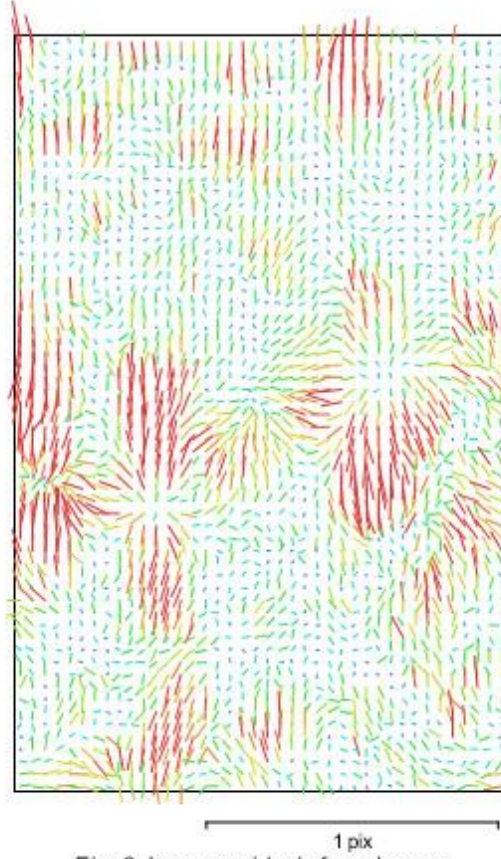


Fig. 2. Image residuals for unknown.

unknown
20 images

Resolution 9420 x 14430	Focal Length 100.5 mm	Pixel Size 7.2 x 7.2 μm	Precalibrated Yes
Type:	Frame	F:	14000.6
Cx:	0.21953	B1:	0
Cy:	21.1801	B2:	0
K1:	0.000296802	P1:	4.0149e-05
K2:	-0.00197462	P2:	5.18056e-05
K3:	0.00240572	P3:	0
K4:	0	P4:	0

Şekil.EK.B. Kamera ölçümleme bilgileri

Camera Locations

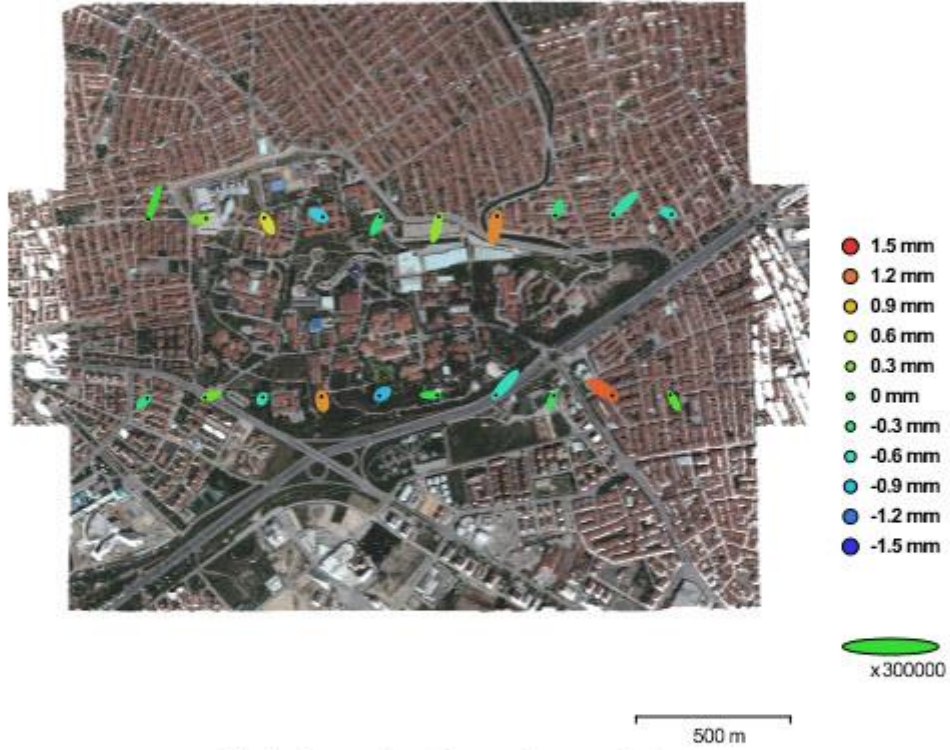


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

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

Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (mm)	Y error (mm)	XY error (mm)	Z error (mm)	Total error (mm)
0.113221	0.150854	0.188616	0.639509	0.666744

Table 2. Average camera location error.

EK-D. Sayısal yükseklik modeli

Digital Elevation Model

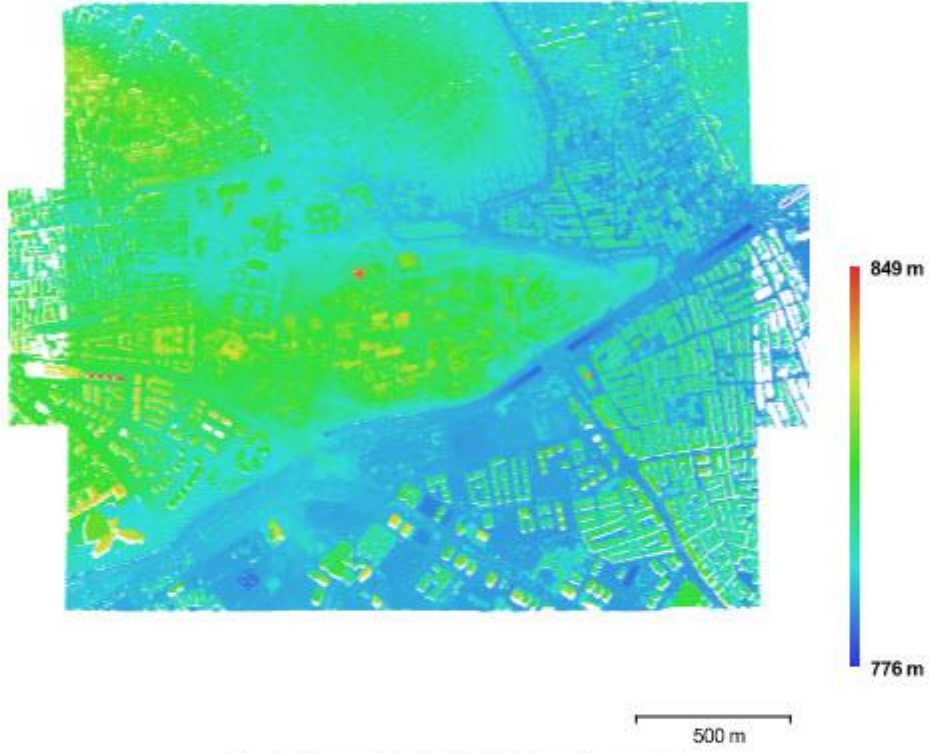


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 38.6 cm/pix
Point density: 6.71 points/m²

Şekil.EK.D. Agisoft Photoscan, sayısal yükseklik modeli ve çözünürlük raporu.

EK-E. Agisoft Photoscan İşlem parametreleri

Processing Parameters

General	
Cameras	20
Aligned cameras	20
Coordinate system	TUREF / TM30 (EPSG:5254)
Point Cloud	
Points	882,101 of 953,860
RMS reprojection error	0.103545 (0.823342 pix)
Max reprojection error	0.314214 (30.2044 pix)
Mean key point size	5.27574 pix
Effective overlap	2.83163
Alignment parameters	
Accuracy	High
Pair preselection	Disabled
Keypoint limit	0
Tie point limit	0
Constrain features by mask	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	33 minutes 8 seconds
Alignment time	2 minutes 20 seconds
Dense Point Cloud	
Points	38,920,880
Reconstruction parameters	
Quality	Medium
Depth filtering	Aggressive
Depth maps generation time	25 minutes 57 seconds
Dense cloud generation time	7 minutes 8 seconds
DEM	
Size	9,505 x 9,248
Coordinate system	TUREF / TM30 (EPSG:5254)
Reconstruction parameters	
Source data	Dense cloud
Interpolation	Disabled
Processing time	1 minutes 3 seconds
Orthomosaic	
Size	26,919 x 20,755
Coordinate system	TUREF / TM30 (EPSG:5254)
Channels	3, uint8
Blending mode	Mosaic
Reconstruction parameters	
Surface	DEM
Enable color correction	No
Processing time	3 minutes 43 seconds
Software	
Version	1.2.5 build 2706
Platform	Windows 64 bit

Şekil.EK.E. Agisoft Photoscan işlem parametreleri raporu