



**İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE ÜRETİLEN SAYISAL YÜZEY
MODELLERİNİN DOĞRULUĞU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sercan KELEK

Danışman

Doç. Dr. Murat UYSAL

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2019

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE ÜRETİLEN SAYISAL YÜZEY
MODELLERİNİN DOĞRULUĞU**

Sercan KELEK

Danışman
Doç. Dr. Murat UYSAL

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2019

TEZ ONAY SAYFASI

Sercan KELEK tarafından hazırlanan “İnsansız Hava Araçları ile Üretilen Sayısal Yüzey Modellerinin Doğruluğu” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 11/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği **Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Murat UYSAL

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Abdullah VARLIK
Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik ve
Mimarlık Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Murat UYSAL
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Mustafa YILMAZ
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

İmza



Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

24/05/2019

Sercan KELEK

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE ÜRETİLEN SAYISAL YÜZEY
MODELLERİNİN DOĞRULUĞU**

Sercan KELEK
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Murat UYSAL

Günümüzde gelişen teknolojiye paralel olarak sayısal verilerin hayatın her alanında yer bulması ile birlikte sayısal yüzey modelleri (SYM) de kendisine geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Gelişen İHA teknolojisi ile bu ürünlere ulaşmak kolay, hızlı ve düşük maliyetli olmaktadır. Çalışma kapsamında İzmir ili Bergama ilçesi Bahçelievler, Kaşıkçı ve Tiyelti mahalleleri belirlenmiş, SYM verilerinin üretilebilmesi için havadan fotoğraf alımında DJI Phantom 3 Pro ve DJI Phantom 4 Pro V2.0 marka İHA kullanılmıştır. Elde edilen görüntü verileri Agisoft Photoscan ve Pix4D Mapper Pro fotogrametrik değerlendirme yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada İHA'lar yardımıyla elde edilen fotoğraflar ile farklı yazılımlar ve farklı arazi yüzeylerinde üretilen SYM' ler kıyaslanmıştır. Yapılan kıyaslama ile üretilen SYM' ler arasındaki doğruluk ve iki model arasındaki farklılıkların ortaya çıktığı alanlar ve bu alanların özelliklerini tespit etmek amaçlanmıştır. Çalışma sonunda düz ve açık alanlarda oluşturulan SYM' lerin doğruluğunun yüksek olduğu, ağaç, bina, göl, direk gibi yapıların bulunduğu alanlarda üretilen SYM' lerin doğruluğunun düşük olduğu görülmüştür.

2019, ix + 64 sayfa

Anahtar Kelimeler: İnsansız Hava Aracı (İHA), Sayısal Yüzey Modeli (SYM), Fotogrametri, İHA Fotogrametrisi

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

**ACCURACY OF DIGITAL SURFACE MODELS GENERATED BY UNMANNED
AERIAL VEHICLE**

Sercan KELEK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geomatic Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Murat UYSAL

In parallel with the advancing technology, digital surface models (DSM) have found a wide area of use with the fact that numerical data is included in every aspect of life. With the developing UAV technology, it is easy, fast and low cost to reach these products. Within the scope of the study, the districts of Bahcelievler, Kasikci and Tiyelti districts of Bergama district of Izmir were determined. The resulting image data were evaluated using Agisoft Photoscan and Pix4D Mapper Pro evaluation software. In this study, the photographs obtained with the help of UAV different softwares and DSMs produced on different terrain surfaces were compared. The aim of this study was to determine the differences between the DSMs produced by the comparison and the differences between the two models and the characteristics of these areas. At the end of the study, it was observed that the accuracy of the DSMs produced in the areas where the structures, such as trees, buildings, lakes and poles, were high, were high in the flat and open spaces.

2019, ix + 64 pages

Keywords: Unnamed Aerial Vehicles (UAV), Digital Surface Model (DSM),
Photogrammetry, UAV Photogrammetry

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Murat UYSAL, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Sercan KELEK
AFYONKARAHİSAR, 2019

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	4
3. MATERYAL ve METOT	6
3.1 Fotogrametri.....	6
3.2 Hava Fotogrametrisi	8
3.3 Sayısal Fotogrametri	9
3.3.1 Sayısal Fotoğraf ve Özellikleri	10
3.4 İHA Fotogrametrisi	13
3.5 Sayısal Yüzey Modeli	17
3.5.1 Sayısal Yüzey Modelinde Doğruluğu Etkileyen Faktörler	17
3.5.1.1 Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon	18
3.6 İHA ile Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi	19
3.6.1 Kullanılan Başlıca Yazılımlar	19
3.6.1.1 Pix4D Mapper Pro Yazılımı	19
3.6.1.2 Agisoft Photoscan Yazılımı	20
3.6.2 Yöntem ve Uygulama	21
3.6.2.1 Structure-from Motion	21
3.6.2.2 Ortofoto ve SYM Üretimi	22
4. UYGULAMA.....	23
4.1 Çalışma Alanı ve Kullanılan Ekipmanlar	23
4.2 Arazi Çalışmaları	26
4.3 Uçuş Planlaması ve Fotogrametrik Görüntü Alımı	28
4.3.1 Fotogrametrik Görüntü Alım Yöntemi.....	28
4.4 Görüntülerin İşlenmesi	30

4.4.1 Agisoft Photoscan Yazılımı ile Görüntü İşleme.....	30
4.4.1.1 Görüntülerin Yüklenmesi	30
4.4.1.2 Koordinat Sistemi Dönüşümü ve YKN' lerin Yüklenmesi	33
4.4.1.3 Görüntülerin Hizalanması	34
4.4.1.4 Yoğun Nokta Bulutu Üretimi	35
4.4.1.5 Sayısal Yüzey Modelinin (SYM) Üretilmesi.....	37
4.4.2 Pix4D Mapper Pro Yazılımı ile Görüntü İşleme	39
4.4.2.1 Görüntülerin Yüklenmesi	39
4.4.2.2 Koordinat Sistemi Dönüşümü ve YKN' lerin Yüklenmesi	42
4.4.2.3 Görüntülerin İşlenmesi	45
4.5 Doğruluk Analizi Çalışmaları	47
4.5.1 Denetleme Noktalarının Jeodezik Yöntemlerle Ölçülmesi	47
4.5.2 Denetleme Noktalarının Fotogrametrik Yazılımlar Üzerinden Ölçülmesi..	50
5. BULGULAR	52
5.1 SYM Farklarının Hesaplanması.....	54
6. TARTIŞMA ve SONUÇ	59
7. KAYNAKLAR.....	60
ÖZGEÇMİŞ.....	64

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

ΔX	X koordinatları farkı
ΔY	Y koordinatları farkı
ΔZ	Z değerlerinin farkı

Kısaltmalar

3B	3 Boyutlu
DXF	Drawing Exchange Format
DN	Denetleme Noktası
GES	Güneş Enerjisi Santrali
GLONASS	Globalnaya Navigatsionnaya Sistema
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positionning System
HTML	Hyper Text Markup Language
IDW	Inverse Distance Weighted
İHA	İnsansız Hava Aracı
JPEG	Joint Photograpich Experts Group
KML	Keyhole Markup Language
KMZ	Keyhole Markup Language Zipped
LİDAR	Light Dedection And Ranging
PNG	Portable Network Graphics
RES	Rüzgar Enerjisi Santrali
RGB	Red Green Blue
RTK	Real Time Kinematic
SAM	Sayısal Arazi Modeli
SfM	Structure from Motion
SYM	Sayısal Yüzey Modeli
TIFF	Tagged Image File Format
TUSAGA	Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı
YKN	Yer Kontrol Noktası

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1 Yeryüzünden yansıyan ışığın resim düzleminde yer yüzü şekillerini oluşturması	7
Şekil 3.2 Fotogrametrinin tarihsel gelişimi	8
Şekil 3.3 Siyah-beyaz, renkli ve kızılötesi hava fotoğrafları örneği	9
Şekil 3.4 Analog görüntü ve sayısal görüntü	10
Şekil 3.5 Fotoğraf koordinat sistemi	12
Şekil 3.6 İHA örnekleri	13
Şekil 3.7 Pix4D Mapper Pro yazılımı	20
Şekil 3.8 Agisoft Photoscan yazılımı	20
Şekil 4.1 Çalışma alanlarının Google Earth uydu görüntüsü	23
Şekil 4.2 Kullanılan YKN'lerin arazi üzerindeki yerleri	26
Şekil 4.3 Kullanılan YKN'lerin şekli ve koordinat ölçümü	27
Şekil 4.4 Bahçelievler Mahallesi uçuş planı	29
Şekil 4.5 Kaşıkçı Mahallesi uçuş planı	29
Şekil 4.6 Tiyelti Mahallesi uçuş planı	30
Şekil 4.7 Görüntülerin yüklenmesi.....	31
Şekil 4.8 Fotoğraf çekim yerleri.....	32
Şekil 4.9 Agisoft Photoscan yazılımında koordinat sisteminin seçilmesi.....	33
Şekil 4.10 Agisoft Photoscan yazılımında YKN'lerin tanımlanması	34
Şekil 4.11 Yoğun nokta bulutu sonrası oluşan model.....	34
Şekil 4.12 Çalışma alanlarına ait üretilen nokta bulutları	36
Şekil 4.13 Çalışma alanlarına ait üretilen sayısal yüzey modelleri	38
Şekil 4.14 Görüntülerin programa yüklenmesi	40
Şekil 4.15 Yüklenen görüntüler.....	41
Şekil 4.16 YKN'lerin yüklenmesi	42
Şekil 4.17 Koordinat sisteminin tanımlanması	43
Şekil 4.18 YKN'lerin işaretlenmesi	44
Şekil 4.19 Prrocess adımı.....	45
Şekil 4.20 Bahçelievler bölgesinde üretilen seyrek ve yoğun nokta bulutu ve SYM verisi.....	46
Şekil 4.21 Denetleme noktalarının çalışma alanlarındaki dağılımı.....	48
Şekil 4.22 Denetleme noktalarının ölçülmesi.....	49

Şekil 4.23 Model koordinatlarının fotogrametrik yazılımlar üzerinden ölçülmesi	51
Şekil 5.1 Bahçelievler bölgesine ait fark görüntüsü.....	55
Şekil 5.2 Bahçelievler bölgesinde maksimum farkların gözlendiği yerler	56
Şekil 5.3 Kaşıkçı bölgesine ait fark görüntüsü.....	57
Şekil 5.4 Kaşıkçı bölgesinde maksimum farkların gözlendiği yerler	57
Şekil 5.5 Tiyalti bölgesine ait fark görüntüsü	58
Şekil 5.6 Tiyalti bölgesinde maksimum farkların gözlendiği yerler	58



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1 İHA' ların yaygın olarak kullanıldığı başlıca alanları.....	14
Çizelge 3.2 İHA dışındaki hava araçlarında karşılaşılan sorunlar	15
Çizelge 3.3 İHA' ların diğer hava araçlarına göre avantaj ve dezavantajları.....	16
Çizelge 4.1 Kullanılan ekipmanlar ve özellikleri.....	24
Çizelge 4.2 Kullanılan ekipmanlar ve özellikleri.....	25
Çizelge 4.3 YKN' lere ait koordinat bilgileri.....	27
Çizelge 4.4 Çalışma alanlarına ait uçuş bilgileri.....	28
Çizelge 4.5 Üretilen nokta bulutlarındaki nokta sayıları.....	35
Çizelge 4.6 Üretilen nokta bulutlarındaki nokta sayıları.....	45
Çizelge 4.7 Üretilen SYM verilerinin çözünürlüğü	47
Çizelge 4.8 Ölçümü yapılan denetleme noktalarına ait değerler.....	50
Çizelge 5.1 Agisoft Photoscan yazılımından elde edilen koordinatlar ve hesaplanan KOH.....	52
Çizelge 5.2 Pix4D Mapper Pro yazılımından elde edilen koordinatlar ile KOH.....	53
Çizelge 5.3 Elde edilen SYM' ler arasındaki fark değerleri	55

1. GİRİŞ

1980’li yılların sonlarında bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmeler etkisini fotogrametri alanında da göstermiş ve ‘Sayısal Fotogrametri’ kavramının oluşmasında ve gelişmesinde oldukça etkili olmuştur. Sayısal fotogrametri, çok büyük boyutlardaki sayısal görüntüleri kullanma, bu görüntülerden otomatikleşmiş yöntemlerle çeşitli verilerin üretimi ve vektör verileri işleme olanaklarını sağlamakla birlikte ‘Sayısal Harita’ kavramını ortaya çıkarmıştır. Bunun sonucu olarak sayısal ortamda fotogrametrik harita üretimine olanak sağlayan sayısal fotogrametrik sistemler, görüntü işleme yazılımları, hassas fototarayıcılar ve sayısal hava kameraları üretilmiştir (Erdoğan, 2007). Süregelen zamanla, basılı topoğrafik haritalar üzerindeki çizgisel eş yükselti eğrilerinin yerini, vektörel eş yükselti eğrileri ve daha kaliteli ve yüksek çözünürlüklerde “Sayısal Yüzey Modelleri (SYM)” almıştır.

Sayısal fotogrametrik sistemler stereo modeller ile sayısal topoğrafik harita üretmenin yanında, otomatik olarak sayısal yüzey modeli verilerinin toplanmasına aynı zamanda da sayısal ortofoto harita üretilmesine fırsat vermektedir. İlk zamanlar güçlükle üretilabilen sayısal yükseklik modelleri, sayısal fotogrametri ve görüntü eşleme yazılımları sayesinde daha kolay bir hal almıştır.

SYM’ ler ilk olarak 1950’ li yıllarda kullanılmaya başlanmış ve süre gelen zaman içerisinde yaygınlaşarak birçok uygulamada kullanılmaya başlamış ve halen devam etmektedir. SYM’ lerin genel olarak kullanıldığı ana uygulama alanları; İnşaat Mühendisliği, Yer Bilimleri, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği, Askeri uygulamalardır.

İnşaat Mühendisliği alanında, yol, bina baraj, GES, RES vb. çalışmalarda, hacim hesabı, kazı-dolgu hesaplamalarında sayısal yükseklik modelleri kullanılmaktadır. Jeolojik uygulamalarda, arazi yapısının modellenmesi, analizi ve yorumlanmasında, eğim ve bakı haritalarının oluşturulmasında kullanılmaktadır. Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliğinde, SYM üretimi ana amaçlardan bir tanesidir. Üretilen SYM’ ler yersel ve fotogrametrik verilerin toplanması ve düzenlenmesinde, ortofoto ve topoğrafik

haritalara altlık sağlamaktadır. Askeri alanlar, yoğun bir SYM kullanıcısı ve aynı zamanda üreticisidir. Askeri hareketlarda arazinin, yüksekliklerin ve eğim yapısının doğru anlaşılması için SYM' lerin bu alanda önemli bir yere sahiptir.

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte İnsansız Hava Araçları' nın (İHA) gelişmesi ve yaygınlaşması ve günlük yaşamda kullanılan kameraların teknik özelliklerinin her geçen gün gelişmesi, İHA' dan faydalanılarak fotogrametrik yöntem ile ortofoto, Sayısal Yüzey Modeli (SYM) üretme imkânı sunmaktadır.

İHA' lar ile fotogrametrik veri toplayabilmek için, kontrol sistemine sahip bir İHA platformu ve standart bir kameraya ihtiyaç duyulması, bu araçların geleneksel fotogrametrik yöntemlere alternatif olmasını sağlamaktadır. Sayısal fotogrametrik sistemlere göre ciddi oranlarda düşük maliyetlere kurulabilen İHA sistemleri özellikle sınırlı genişlikteki sahalar için ideal bir sistem olarak karşımıza çıkmaktadır. Son yıllarda İHA' ların büyük ölçekli harita, SYM, SAM (Sayısal Arazi Modeli), ortofoto üretiminde kullanımı artmaya devam etmektedir. Arkeolojik sitelerin ve yapıların 3B dokümantasyonunda da düşük irtifa görüntüleme sistemleri kullanılabilmektedir (Mozas-Calvache 2012). Afet sonrası müdahale ve haritalama (Li 2011), çevresel toprak ve su değişimlerinin takibi için düzenli ölçümler, deformasyon takibi (Niethammer 2012), kazı-dolgu alanlarında hafriyat hacminin hesaplanmasında ve doğal kaynakların kayıt altına alınmasında İHA lar kullanılmaktadır. Yine düşük maliyetle sürekli tekrarlanabilir uçuş ve haritalama çalışmaları, ormancılık ve tarım sektörlerinde rekolte tahmini, hastalık tespit ve takibi (Stagakis 2012), yangın bölgelerinin izlenmesi (Krüll 2012) gibi alanlarda çalışmalar yapmak için de son derece elverişlidir.

İHA sistemleriyle üretilen veriler birçok sektör için yeterli hassasiyet ve doğrulukta olmasına karşın bahse konu sistemlerin kısıtlayıcı limitlerinin başında uçuş sürelerinin sınırlılığı ve meteorolojik koşullara (rüzgâr, yağmur, kar vb.) karşı dayanıksızlığı gelmektedir.

Bu çalışmada, sivil amaçlı kullanımlara uygun düşük maliyetli bir İHA sistemi ile İzmir ili Bergama ilçesi sınırları içerisinde yer alan Kaşıkçı, Tiyelti ve Bahçelievler mahallelerinde toplamda bir saat süren bir uçuş gerçekleştirilerek yaklaşık 110 hektarlık bir alanda toplam 1407 adet (Kaşıkçı Mahallesi 568 adet, Tiyelti Mahallesi 248 adet, Bahçelievler Mahallesi 591 adet) görüntü elde edilmiş ve toplan 13 adet yer kontrol noktası (YKN) kullanılmıştır. Elde edilen görüntüler Agisoft Photoscan ve Pix4D Mapper Pro fotogrametrik değerlendirme yazılımlarında değerlendirilerek çalışma alanlarına ait SYM oluşturulmuştur. Sonuç olarak bahsi geçen bu iki yazılımda oluşturulan SYM' ler hem kendi aralarında hemde arazide yapılan jeodezik yöntemler sonucu elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır.



2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Literatür araştırmasında insansız hava araçları ile otomatik görüntü eşleme yöntemleri kullanılarak Sayısal Yüzey Modeli üretilen çalışmalar incelenmiştir.

Özcan (2017), sivil standartlara uygun bir İHA kullanarak iki farklı bölgede farklı yüksekliklerde uçuş planı hazırlayarak uçuş yapmış ve elde ettiği görüntülerden ürettiği ortofoto haritaların mekânsal çözünürlüklerini, konum doğruluklarını ve ürettiği nokta bulutlarından elde ettiği yükseklikler ile arazide ölçtüğü gerçek değerleri kıyaslamıştır.

Tercan (2017), İHA ve SfM (Structure from Motion) algoritması kullanarak karayolunun ortofoto görüntüsü ve nokta bulutunu üreterek karayolu koridorunun sayısal arazi modelini üretmiş, İHA sisteminin doğruluğunu yersel yöntemlerle test etmiştir. Çalışma sonucunda İHA sistemlerinin fotogrametrik ölçümlere engel bir detay içermeyen düz arazi yapılı karayolu koridorlarında ortofoto görüntü ve sayısal arazi modeli üretiminde etkili olduğunu göstermiştir.

Akgül vd. (2016), İHA ile ormanlık alanlarda oluşturulan SYM' lerin hassasiyetini değerlendirmiştir.

Birdal vd. (2016), İHA ile uçuş yaparak elde ettikleri görüntüleri Pix4D Mapper Pro ve Agisoft Photoscan yazılımlarında değerlendirerek ortofoto üretmiş ve bu iki yazılımı doğruluk, maliyet, zaman ve kullanım kolaylığı açısından kıyaslamışlardır.

Özcan vd. (2016), İHA ile elde ettikleri görüntülerden ürettikleri nokta bulutlarından yükseklik modeli oluşturmuş ve farklı objelerin yüksekliklerinin doğruluğunu belirlemişlerdir.

Karkınlı vd. (2015), sivil standartlara uygun İHA kullanılarak 600x800m bir alanda uçuş yaparak elde ettiği yüksek çözünürlüklü görüntüleri bilgisayarda yoğun-eşleme (dense matching) tekniği kullanılarak işlemiş ve ilgili yüzeye ait çok yüksek konumsal çözünürlüklü SAM verisi elde etmiş ve oluşan modelin doğruluğunu değerlendirmiştir.

Uysal vd. (2015), Afyonkarahisar ili Şahitler tepesi mevkiinde insansız hava aracı ile uçuş yaparak fotogrametrik yöntemler ile SYM üretmiş, yersel yöntemlerle elde edilen veriler ile kıyaslama yaparak doğruluk analizi yapmışlardır.

Cryderman vd. (2015), toprak hafriyatının kübaj hesabının yapılması ve haritasının üretilmesi konusunda çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında İHA ile hafriyatın bulunduğu bölgenin hacmini hesaplamış ve yersel GNSS ölçmeleriyle elde edilen sonucu kıyaslamışlardır.

Avdan vd. (2014), İHA ile farklı yükseklikte ve farklı bindirme oranlarında yaptıkları uçuşlardan elde ettikleri fotoğrafları otomatik görüntü eşleme yöntemiyle işlemişlerdir. Ürettikleri ortofoto ve sayısal yüzey modelinin doğruluğunu GNSS alıcısı kullanarak yersel yöntemlerle ölçülen koordinatları kıyaslayarak araştırmalarını gerçekleştirmişlerdir.

Yılmaz vd. (2013), İHA' ya entegre edilen sayısal kamera ile çekilen fotoğraflardan üretilen ortofoto haritanın konumsal hassasiyetini belirleyebilmek için çalışmışlardır. RTK (Real –Time Kinematik) GPS yöntemiyle koordinatları ölçülen noktalarla İHA ile elde edilen ortofoto haritanın konum doğruluğunu kıyaslamışlardır.

Erdoğan (2007), kaynak veriler, çözünürlükler, topoğrafik özellikler ve üretim yöntemlerine göre Sayısal Yükseklik Modellerinin maliyetleri, üretim süreleri ve doğruluklarının test edilmesi amacıyla, farklı ölçek ve türdeki hava fotoğrafları ile uydu görüntüleri kullanarak eş yükselti eğrisi değerlendirme ve otomatik görüntü eşleme ile SYM üretimi gerçekleştirmiştir.

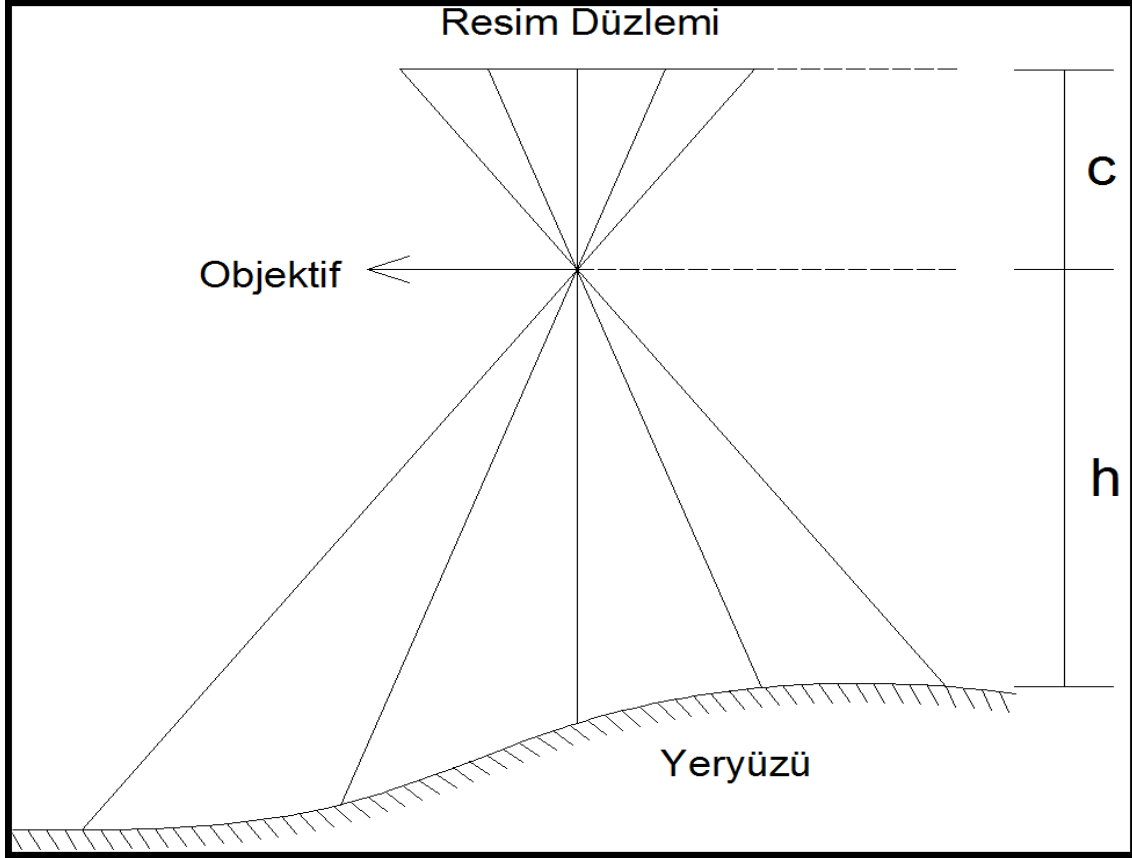
Sarıtürk, çalışmasında 3 boyutlu model oluşturmak için SFM tekniğini kullanan birisi ticari olmak üzere toplan dört yazılımın karşılaştırılmasını yapmıştır.

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Fotogrametri

Fotogrametri (Photogrammetry) köken olarak Yunanca Photos (ışık) + Gramma (çizim) + Metron (ölçme) kelimelerinden oluşmaktadır. Buna göre fotogrametri bilimi ışık yardımı ile çizerek ölçme şeklinde tanımlanabilir (Yaşayan vd., 2011). Bir diğer deyişle fotogrametri yer yüzündeki cisimlerin, arazinin 3 boyutlu koordinatlarının fotoğraflar üzerinden ölçülmesi ve modellenmesi tekniği olarak adlandırılabilir. Bu teknik ile arazinin, cisimlerin değişik açılardan çekilen fotoğrafları ile oluşturulan model üzerinde ölçümler yapılarak elde edilen verilerden harita, 3B, SYM, SAM, Ortofoto vb. üretilir.

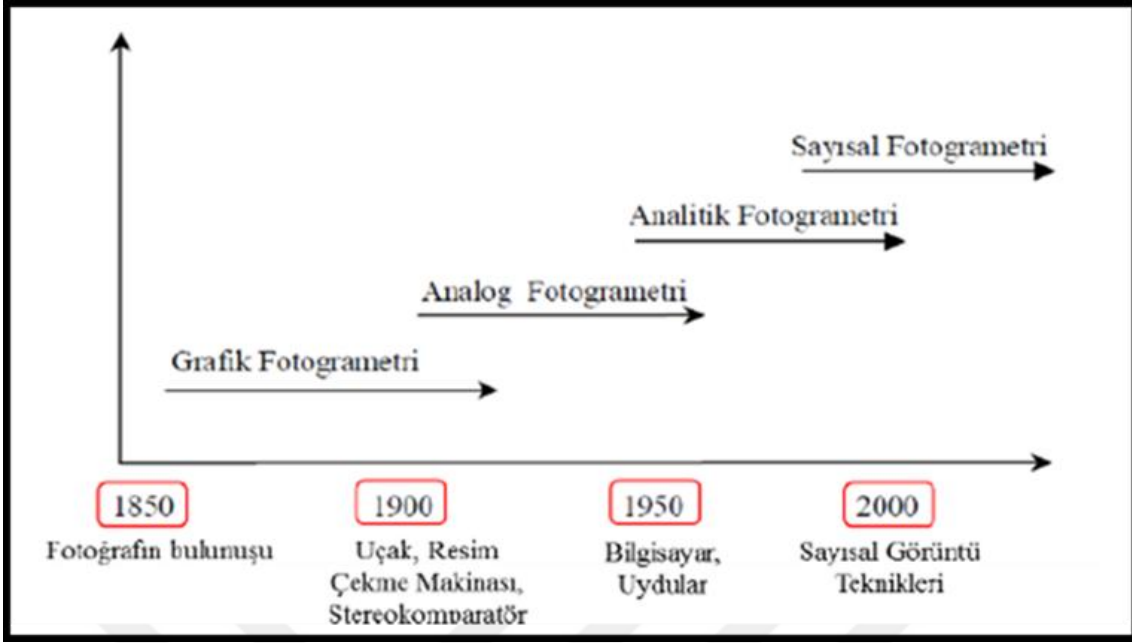
Genel tabiri ile Fotogrametri, fotoğraf makinesi, LİDAR gibi algılayıcı donanımlar ile uçak, uydu, balon, yeryüzü noktası (kule) gibi herhangi bir yerden arazinin veya cisimlerin yapısı hakkında bilgi edinmektir.



Şekil 3.1 Yeryüzünden yansıyan ışığın resim düzleminde yeryüzü şekillerini oluşturması.

Fotogrametrinin matematiksel modeli, merkezsiz izdüşümdür. Merkezi izdüşümün matematiksel ve geometrik özellikleri kullanılarak fotoğraftaki nesnelerin; şekil, konum, büyüklük, görünüş gibi özellikleri kolayca belirlenebilir. Ayrıca fotoğrafta görülen nesnelerin renk ya da gri tonlarındaki değişimlerin incelenmesi ve bunların yorumlanması sayesinde nesnelerle ilgili topolojik bilgiler de elde edilebilir (Yetişen 2007).

Fotogrametri biliminin verileri değerlendirme metodlarının tarihsel gelişimi şekil 3.2’de gösterilmektedir.



Şekil 3.2 Fotogrametrinin tarihsel gelişimi.

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

Bu araştırmada İHA ile fotogrametrik değerlendirme yapıldığından dolayı hava fotogrametrisi ve sayısal fotogrametri dalları incelenecektir.

3.2 Hava Fotogrametrisi

Hava fotoğrafları yeryüzünden belirli bir irtifada bulunan platformlara (uçak, balon, uydu, kule vb.) entegre edilmiş kameralar ile çekilen ve güncel bilgiler bulunduran ham görüntülerdir. Fotogrametride ilk zamanlar yeryüzünden çekilen fotoğraflar ile yapılan yersel fotogrametri zamanla fotoğrafın çekim yerinin havaya çıkması ile geniş alanları kapsamaya ve yeryüzünü daha iyi tanımlama fırsatı sunmuştur. Çoğunlukla siyah beyaz, renkli ve kızılötesi olarak çekilen fotoğraflar kullanılmaktadır (Şekil 3.3).

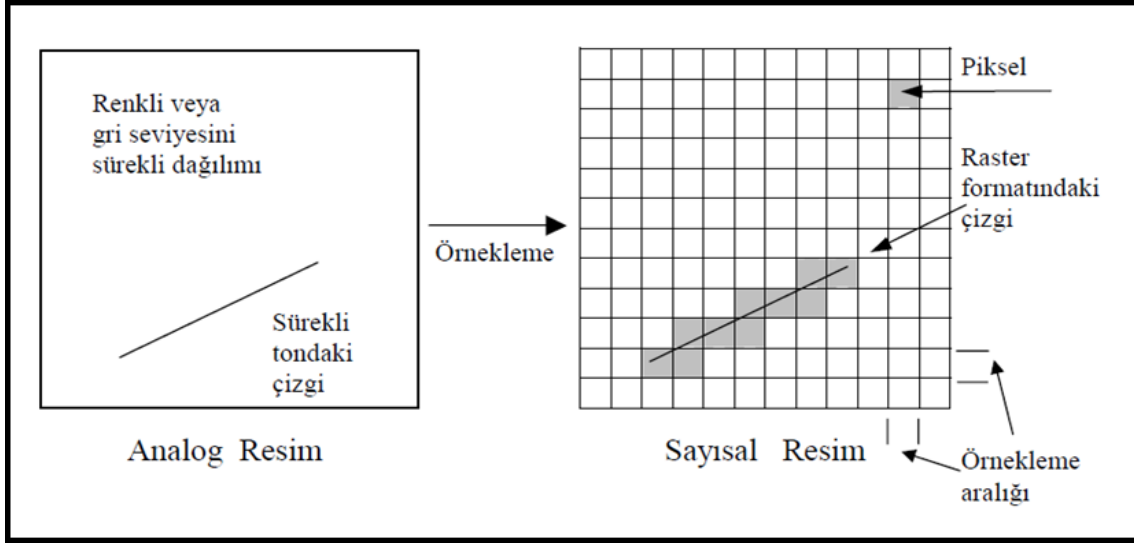
Siyah-beyaz ve renkli hava fotoğrafları, foto yorumlama (foto-interprestasyon) ve fotogrametrik harita üretiminde kullanılmaktadır. Renkli alınan hava fotoğrafları kullanıcıya, fotoğraftaki detayları daha kolay yorumlama ve tanımlama imkânı sağlar. Uygulayıcının isteğine göre renkli hava fotoğrafı alımı, siyah-beyaz olanlara göre daha pahalı olmasına rağmen, kazandıracağı yarar sonucunda daha büyük ekonomi sağlayabilir. Kızılötesi çekilen hava fotoğrafları ise tarımsal amaçlı uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu tür fotoğraflarda renk tonu farklılığı çok iyi olduğu için ağaç türlerinin ayırımı kolaylıkla yapılabilmektedir (Yetişen 2007).



Şekil 3.3 Siyah-beyaz, renkli ve kızılötesi hava fotoğrafları örneği (İnt. Kyn. 1).

3.3 Sayısal Fotogrametri

Sayısal görüntü, resim elemanı ya da pikseller olarak da adlandırılan, sayısal değerlerin sınırlı bir küme halinde 2 boyutlu görüntünün temsil edilmiş biçimidir. Sayısal görüntünün satır ve sütunda olan her bir pikseli sabit bir sayı içerir. Piksel ise bir görüntüdeki en küçük birimdir. Sayısal kameralar, tarayıcılar, koordinat makineleri, hava radarı vb. gibi çeşitli giriş aygıtları ve teknikler ile sayısal görüntüler oluşturulabilir (Sidek & Ahmad 2009). Analog ve sayısal görüntü arasındaki fark şekil 3.4’ te belirtilmiştir.



Şekil 3.4 Analog görüntü ve sayısal görüntü.

Analog görüntüden sayısal görüntüye geçiş fotogrametri bilimi adına yeni bir görüntü değerlendirme metodu olan sayısal fotogrametriyi meydana getirmiştir.

Raster görüntülerin yüksek çözünürlükte olması, bilgisayar ortamında birçok renk elde edilebilmesi, resim üzerinde istenilen şekilde iyileştirmenin yapılabilmesi gibi sebeplerden dolayı sayısal fotogrametriye olan ilgi artmıştır. Günümüz teknolojisi ile güçlü bellekler ve hızlı işlemcilerin oluşması sayısal fotogrametrinin yaygınlaşmasına neden olmuştur (Yıldız 2010).

3.3.1 Sayısal Fotoğraf ve Özellikleri

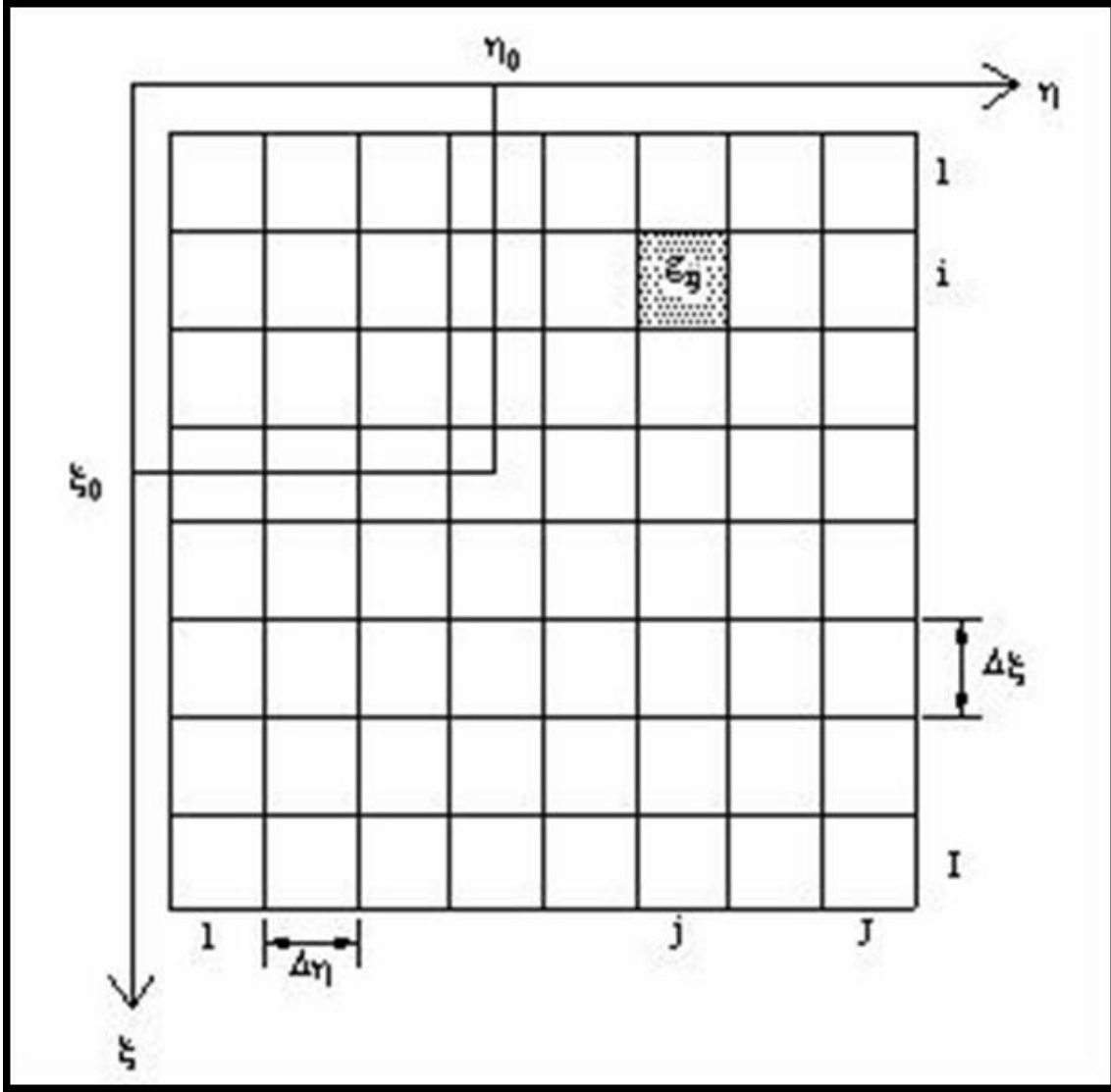
Elektronik biliminin tarihsel gelişimi süresince ilerlemesi sonucu ortaya çıkan teknik gelişmeler fotogrametri alanında metrik fotoğraf çekme makinelerinin odak sensörlerinin sayısallaşmasını sağlamış ve fotoğrafın kaydedilmesini ve ölçme alanlarında kullanılmasını sağlamıştır.

Bu gelişmeler sonucunda; sayısal fotoğraflar, analog fotoğrafların yerini alarak önce yersel fotogrametride daha sonra da uydu fotogrametrisinde kullanılmıştır. Yersel uygulama çalışmalarının doğruluğu sayısal sistemin çözünürlüğü ile doğru orantılıdır. Uyduların çektiği fotoğrafların sayısal olarak kayıt edilebilir olması uydu görüntülerini üstün kılmaktadır.

Bir sayısal fotoğraf, elemanları g_{ij} olan 2 boyutlu G matrisinden oluşmaktadır. Bir sayısal fotoğrafta gri değere sahip her bir eleman birer pikseldir. Her piksel bir x, y koordinatına sahip Δx ve Δy sonlu büyüklüklerinden oluşmaktadır. Δx , Δy değerleri pikseller arası farkları ifade etmektedir.

Sayısal fotoğraf matrisinin (G) her bir elemanı (g_{ij}) için satır indisi i ' den birer birer artarak I' ya kadar gider. Yani $i = 1(1)I'$. Aynı biçimde sütun indisi de $j = 1(1)J'$ dir. Her matris elemanı bir alanı gösterdiğinden bir fotoğraf noktası yerine bir fotoğraf elemanı söz konusudur. Fotoğraf elemanının büyüklüğü $\Delta \xi \times \Delta \eta$ kadardır (Aydar, 2007).

g_{ij} fotoğraf elemanları bilgi taşıyıcıdır. Siyah beyaz fotoğraflar için değer elemanları 0 ile 255 arasındadır ve bu değer insan gözünün gri renk tonunu ayırt etme olanağının üzerindedir. 256 farklı durum için bilgi 8 bit ile gösterilir. Renkli resim için ise her bir ana renk için (RGB) aynı büyüklükte üç matris vardır. Bir sayısal fotoğraftaki fotogrametrik problemin çözümünde piksel ile resim arasındaki koordinat sistemi şekil 3.5' te gösterilmiştir (Kraus, 1993).



Şekil 3.5 Fotoğraf koordinat sistemi.

Sayısal fotoğraf kullanımının faydaları;

- Optik mekanik gereçlere ihtiyaç duyulmaksızın verilerinin bilgisayar ortamında ölçülebilir ve görüntülenebilir olması,
- Ölçümün yapıldığı sistemin, ölçümlemeye gereksinim duyulmayan sistemler olması,
- Fotoğraf kalitesinin arttırılabilir olması,
- Kullanıcıya otomasyon imkanı vermesi,
- Çalışmaları gerçek zamanlı veya yakın zamanda yapılabilme olanağı sağlaması,

şeklinde sıralanabilir.

3.4 İHA Fotogrametrisi

Blyenburgh İHA'ları, “Yerine getireceği göre bağlı olarak, yarı otomatik, otomatik veya bunların birleşimiyle uzaktan kontrol edilen, çeşitli yüklemelerle, atmosferde veya dışında belirli bir süre aralığında özel görevleri yerine getiren, insansız, tekrar kullanılabilir motorize hava araçları” olarak tanımlamıştır (Blyenburgh 1999). İHA'ların genel örnekleri şekil 3.6' da belirtilmiştir.



Şekil 3.6 İHA örnekleri (İnt. Kyn. 2, İnt. Kyn. 3, İnt. Kyn. 4, İnt. Kyn. 5, İnt. Kyn. 6, İnt. Kyn. 7, İnt. Kyn. 8).

İHA' lar son yıllarda teknolojik gelişmeler sonucu birçok alanda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu alanların başlıcaları çizelge 3.1' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 İHA' ların yaygın olarak kullanıldığı başlıca alanlar.

Ticari:	Film ve reklam çalışmaları
Bilimsel:	Soyu tükenme tehlikesinde olan canlıların takibi, tarımsal alanların planlanması, halihazır harita yapımı ve kadastro ölçümleri, arazinin 3B modeli üretilmesi
İstatistiksel:	Yol, nehir, baraj gözlemleri, trafik kontrolü ve planlaması, şehir ve bölge planlaması
Doğal Afetler:	Arama kurtarma çalışmaları, afet alanlarının gözlemlenmesi ve hızlı müdahale sağlanması

İHA' lardan analog yöntemlerle elde edilen verilerin işlenmesi zor ve zaman alıcı bir süreç olması sorunu sayısal kameraların gelişmesi ve İHA' lara entegre edilmesi ile yüksek çözünürlüklü görüntülere hızlı ve kolay bir şekilde ulaşılması sağlanarak çözülmüştür. İHA' lara entegre edilen sayısal kameralar sayesinde arazinin ve cisimlerin nokta bulutu, SYM ve ortofoto görüntülerinin üretilmesi mümkün olmuştur.

Hava fotoğraflarının çekiminde İHA' lar dışında diğer hava araçları da kullanılabilir. Maliyet açısından değerlendirildiğinde büyük alanlarda avantaj sağlamalarına rağmen küçük alanlarda kullanılamamaktadır. İHA' lar dışındaki hava araçlarıyla veri toplama sırasında karşılaşılabilecek bazı sorunlar Çizelge 3.2' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 İHA dışındaki hava araçlarında karşılaşılan sorunlar.

Araç	Karşılaşılabilecek sorunlar
Uydular	• Yüksek fırlatma ve uçuş maliyetine sahiptir. • Çalışma prensibi gereği veri alacağı bölgeden geçiş periyotlarının beklenmesi zorunluluğundan dolayı anlık görüntü alınması mümkün değildir. • Hava koşullarında yüksek oranda etkilenmektedir. • Tekrarlı ölçüm yapılamamaktadır. • Yeryüzüne olan mesafesinin oldukça fazla olması ve hava koşullarında etkilenmesi nedeniyle hassas görüntüler elde edilmesi zor ve maliyetlidir. • Doğal afet gibi durumlarda hızlı ve tekrarlı veri üretmesi zor ve maliyetlidir.
Uçaklar ve helikopterler	• Hava koşullarından etkilenirler. • Tekrarlı uçuş yapılması zaman alıcı ve maliyetlidir. • Uçuş öncesi hazırlık aşaması zaman almaktadır.

Çizelge 3.2’ de bahsedilen insanlı hava araçlarındaki dezavantajlar küçük alanlarda yapılan çalışmalarda bu sistemlere alternatif olarak İHA’ ların kullanımı ve popülaritesi artmıştır. İHA’ ların havadan görüntü almakta kullanılan diğer hava araçlarına göre avantajları ve dezavantajları Çizelge 3.3’ te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 İHA' ların diğer hava araçlarına göre avantaj ve dezavantajları.

Avantaj	Dezavantaj
• Diğer hava araçlarına göre operasyonel maliyeti daha düşüktür. • Görüntü alınacak yüzeye ya da cisme daha yakın mesafeden veri alabilmektedir. • Uçuş öncesi hazırlık süresi daha kısa ve düşük maliyetlidir. • Diğer araçların kullanımının zor ve riskli olduğu durumlarda ön plana çıkmaktadır. • Klasik hava fotoğrafları yüksek çözünürlükte fotoğraf çektiğinden dosya boyutları oldukça büyük olduğundan büyük veri saklama kapasitesine ihtiyaç duyulmaktadır. İHA' lar sayısal kamera kullandıkları için daha küçük kapasiteli veri saklama alanları yeterli olmaktadır.	• Genellikle hafif olmalarından dolayı hava koşullarından özellikle de sert rüzgârlı havalarda stabiliteyi sağlayamamaktadır. Bu da elde edilen görüntülerdeki verileri etkilemektedir. • Olası bir sinyal bağlantısı kaybolması durumunda araçların uçuş güzergahından sapması, kaybolması ve kırıma uğrayarak kullanılamaz hale gelmesi yaşanabilmektedir. • Taşıyabildikleri faydalı yük miktarı sınırlı olmakla birlikte yük miktarının artışıyla ters orantılı olarak havada kalma süreleri de azalmaktadır. • Havada kalma süreleri sınırlı olduğundan geniş alanlarda diğer hava araçları karşısında avantajı azalmaktadır.

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

3.5 Sayısal Yüzey Modeli

Sayısal Yüzey Modeli (SYM), topografyanın konum verilerini ve kot farklılıklarını görsel bir şekilde kullanıcılara ifade etmek için 3 boyutlu olarak üretilmiş modellerdir. Ölçülerek koordinatı belirlenen ve koordinatı bilinen noktalardan yararlanılarak farklı enterpolasyon yöntemleri ile yapılan işlemler sonucunda her bir noktanın koordinatının ve kotunun bulunabildiği yüzeylere Sayısal Yüzey Modeli denir. SYM'lerden arazinin eğimi ve yüksekliği, arazi üzerindeki nesnelerin (bina, direk, ağaç vb.) yüksekliği, bakı, rüzgâr analizi, güneşlenme vb. konularda yararlanılabileceği gibi sadece yükseklik ölçmek ve koordinat bulmak için de kullanılabilir.

3.5.1 Sayısal Yüzey Modelinde Doğruluğu Etkileyen Faktörler

SYM doğruluğu çeşitli faktörlere bağlıdır. Bunların en önemlileri:

- Arazi yüzeyindeki seçilmiş ve dağılmış noktaların ölçülmesi,
- Ölçme yöntemi,
- Enterpolasyon yöntemi,
- Örnekleme noktalarının dağılımı ve yoğunluğu,
- Arazideki karakteristik noktaların değerlendirilip değerlendirilmemesi,
- Arazinin yapısı olarak sıralanabilir (Karabörk 2010).

Arazi yüzeyinde karakteristik nokta seçimi ve bunların homojen olarak dağılması çok önemlidir. Arazi tipinin yapısına göre bölgesel temelde aynı alana yoğunlaşmış noktalar yapılan SYM'yi olumsuz olarak etkileyecek ve doğruluk anlamında zayıflatacaktır. Ölçme yönteminin doğru seçilmesi de sonuç ürün adına çıkacak farkların sağlığı açısından hayati önem taşımaktadır. Enterpolasyondan çıkan doğruluk sonucu, yer kontrol noktalarının (YKN) yoğunluğuna, YKN'lerin homojen dağılım sergilemesine ve tercih edilen enterpolasyon yöntemine bağlıdır. Sayısal Yüzey Modelinde Enterpolasyon, aslında yüzeyi yerleştirme sorunudur denilmektedir. Bu sorunun çözümü için temelde üç farklı yaklaşım söz konusudur:

- Arazinin tamamını içeren, kapsayan enterpolasyon,

- Araziyi bölümlere ayıran, kısım kısım enterpolasyon,
- Nokta enterpolasyon (Güler, 1978).

Bu çalışmada elde edilen görüntüler Agisoft Photoscan ve Pix4D Mapper Pro yazılımları kullanılarak değerlendirilmiş ve çalışma bölgelerine ait SYM' ler üretilmiştir. SYM' ler bu yazılımların kullanmakta olduğu Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon (Inverse Distance Weighted, IDW) tekniği ile üretilmiştir.

3.5.1.1 Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon (Inverse Distance Weighted, IDW)

IDW enterpolasyon tekniği örneklem nokta verilerinden enterpolasyonla grid üretmede çoğunlukla tercih edilen ortak bir yöntemdir. IDW enterpolasyon tekniği enterpole edilecek yüzeyde yakındaki noktaların uzaktaki noktalarda daha fazla ağırlığa sahip olması esasına dayandırılır. Bu teknik enterpole edilecek noktadan uzaklaştıkça ağırlığı da azaltan ve örneklem noktalarının ağırlıklı ortalamasına göre bir yüzey enterpolasyonu yapar. (Arslanoğlu vd. 2005). Birkaç tane IDW yöntemi olmasına rağmen en bilinen yöntem 'Shaperd' s Metodu'' dur.

Yüzeydeki dağınık nokta sayısı n, örneklem noktalarını tanımlayan fonksiyon f_i ve ağırlıklar w_i olmak üzere 'Shaperd' s eşitliği' aşağıdaki gibidir.

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i f_i \quad (3.1)$$

w_i ağırlıkları ise (3.2) eşitliğindeki gibidir.

$$w_i = \frac{h_i^{-p}}{\sum_{j=1}^n h_j^{-p}} \quad (3.2)$$

Burada p 'power parameter' olarak bilinir ve kullanıcı tarafından 0 ila 5 arasında değişen sayılardan seçilen bir değerdir. Shepard yönteminin uygulamalarında p değeri genellikle 2 olarak alınmıştır. h_i ise örneklem noktaları ile enterpole edilecek nokta arasındaki (3.3) eşitliğindeki üç boyutlu konumunu tanımlar.

$$h_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2} \quad (3.3)$$

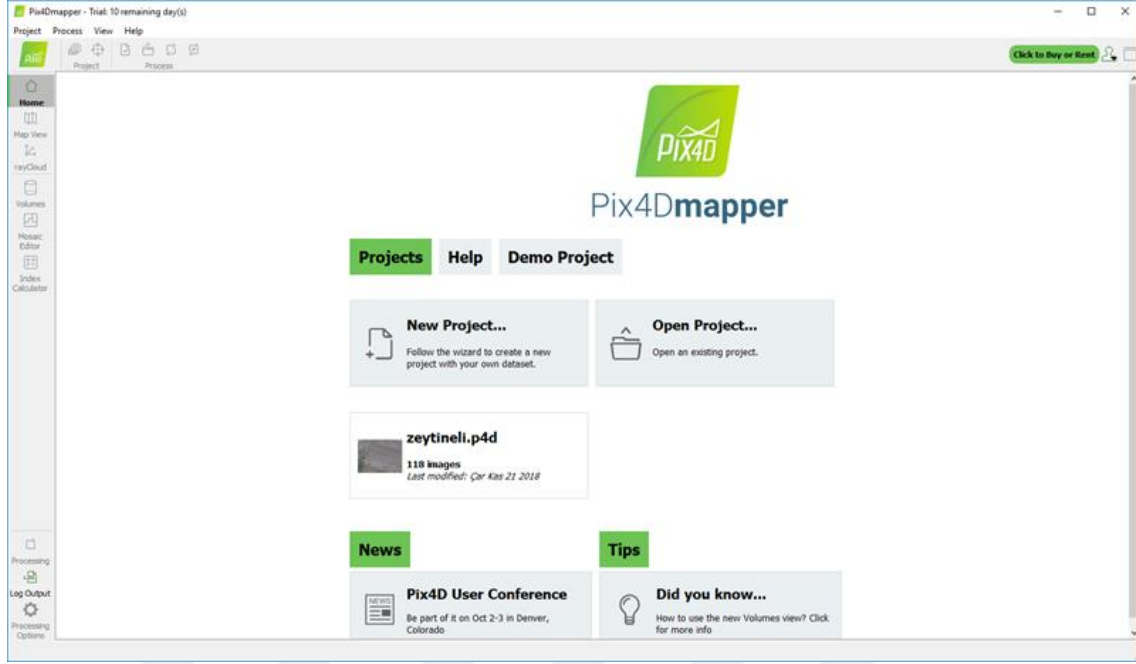
3.6 İHA ile Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi

3.6.1 Kullanılan Başlıca Yazılımlar

Coğrafi veri toplama, büyük bir emek gerektiren ve oldukça zaman alan bir işlemdir. Günümüzde özellikle güncel verilerin kısa sürede doğru ve etkin bir şekilde elde edilmesi son derece önemlidir. Diğer taraftan fotogrametrik amaçlı kullanılan İHA sistemlerinde, ortofotoların üretim sürecinde bütüncül olarak yaklaşılmakta olup uçuş planlamasından sonuç ürününün üretilmesine kadar geçen bütün işlem adımları tek bir çözüm olarak sunulmaktadır (Türk 2013). Bu nedenle böyle bir sistem, orta ve küçük sahalarda ihtiyaç duyulan doğru ve güncel veriye kısa sürede ulaşabilme imkânı sunmaktadır. Bu verilere erişimde fotogrametrik değerlendirme işlemleri en önemli adımlardan biri olmaktadır. Bu işlemlerin gerçekleştirilebilmesi için fotogrametrik değerlendirme yazılımları kullanılmaktadır. Agisoft Photoscan ve Pix4D Mapper Pro yazılımları fotogrametrik değerlendirme işlemleri için en çok kullanılan yazılımlardandır.

3.6.1.1 Pix4D Mapper Pro Yazılımı

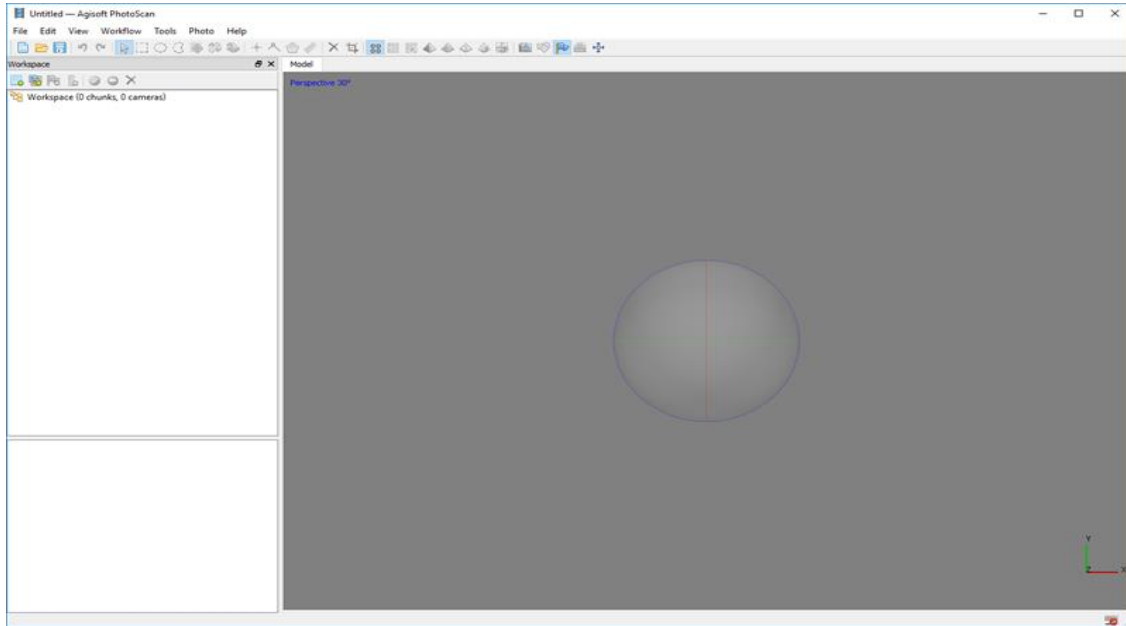
Pix4D Mapper Pro tam otomatik çalışma kabiliyetine sahip yüksek doğruluklu ortomozaik, SYM ve nokta bulutu oluşturabilen fotogrametrik değerlendirme yazılımıdır. Girdi verisi olarak hava fotoğrafları, eğik ve yerden çekilen fotoğraflar, RGB, NIR, termal, tekil veya çok bantlı, JPEG, TIFF gibi birçok formatı desteklemektedir. Aynı zamanda GeoTIFF formatında, arazinin gerçek koordinatlarında ortofoto ile kml ve html formatlarında google üzerinde alanlar üretebilmektedir. Bunların yanı sıra OBJ formatında üçgen model, LAS, LAZ, XYZ ve PLY formatlarında nokta bulutu dxf, shp ve kml formatında vektör veri ve dengeleme sonuçlarını içeren sonuç raporu üretmektedir.



Şekil 3.7 Pix4D Mapper Pro yazılımı.

3.6.1.2 Agisoft Photoscan Yazılımı

Agisoft Photoscan fotogrametrik değerlendirme yazılımı yüksek çözünürlükte ortofoto, SYM ve 3B model oluşturulmasına imkân tanıyan bir yazılımdır. Yazılım, JPEG, TIFF, PNG gibi veri formatlarında işlem yapabilmektedir. Kullanıcılara KML, KMZ, OBJ, GeoTIFF, XYZ formatlarında çıktı ürünler sağlamaktadır.



Şekil 3.8 Agisoft Photoscan yazılımı.

3.6.2 Yöntem ve Uygulama

3.6.2.1 Structure-from Motion (SfM)

Structure-from-Motion (SfM) fotogrametri; son yıllarda kullanılmaya başlayan, yüksek çözünürlüklü veri kümeleri üzerinde geniş ölçekte çalışmayı mümkün kılan, devrimsel nitelikte, düşük maliyetli ve kullanıcıya avantaj sağlayan bir fotogrametrik tekniktir. 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 bindirme oranı ile farklı konumlarda çekilen fotoğraf serilerindeki objelerin eşleştirilmesine dayalı objelerin üç boyutlu modellenmesini sağlamaktadır [Snavley vd., 2007].

3 boyutlu yüzeylerin üretilmesinde SfM algoritması temel olarak 3 temel adımdan oluşmaktadır (Jaud vd., 2016, Woodget vd., 2015, Javernick vd., 2014):

- Işın demetleri dengelemesi ile görüntü eşleştirme yapılır.
- Nokta bulutunun oluşturulması ve yoğun nokta bulutuna bağlı olarak yüzeyi temsil eden 3 boyutlu poligon ağ modeli oluşturulur.
- Yeniden oluşturulan ağ modeli ortofoto üretimi için kullanılır. Sayısal yüzey modeli, düzenli grid üzerine düzensiz poligonal ağ modelinin enterpolasyonu ile hesaplanır.

Görüntüler arasındaki ilişkilerin bulunabilmesi için, görüntüde algılanan köşeler kenarlar vb gibi özelliklerin (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].

3.6.2.2 Ortofoto ve SYM Üretimi

Ortofoto harita ve sayısal yüzey modelleri, SfM fotogrametrik işlemleri temel alınarak üretilir. Üç boyutlu yüzeylerin üretilmesinde örtüşen görüntülerin eşlenmesi, yoğun nokta bulutlarının oluşturulması, yoğun nokta bulutu üzerinden üç boyutlu ağ modeli ve ortofoto harita üretim SfM fotogrametrik ölçüm adımları sırasıyla gerçekleştirilmektedir (Javernick vd., 2014, Woodget vd., 2015, Jaud vd., 2016).

Öncelikle ışın demetleri dengelemesi (bundle adjustment) ile kamera hizalama işlemi gerçekleştirilir. Çekilen seri fotoğrafların ve kamera kalibrasyon parametrelerinin düzeltilmeleri için harici kamera parametrelerinin hesaplanması için seri halinde çekilen fotoğraflarda örtüşen bölgelerinde ortak bağ noktaları tespit edilerek eşleştirilir. Eşleştirilen görüntüler üzerinden yoğun nokta bulutu üretimi için belirlenen kamera konumlarından ve fotoğraflardan yazılımdaki doğrudanlık koşuluna her bir bağdaşlık noktasının konumunun hesaplanması sağlar. Yoğun nokta bulutuna bağlı olarak yüzeyi 3 boyutlu poligon ağ modeli oluşturulur. Yeniden oluşturulan ağ modeli ile ortofoto üretimi gerçekleştirilir. Sayısal yüzey modeli ise düzenli grid üzerine düzensiz poligonal ağ modelinin enterpolasyonu ile hesaplanarak oluşturulur (Özcan, 2017).

4. UYGULAMA

4.1 Çalışma Alanı ve Kullanılan Ekipmanlar

Çalışma alanı olarak İzmir ilinin kuzeyinde yer alan, İzmir şehir merkezine 107 km mesafede, 1.772 km² yüzölçümlü, 39° 07' 14" Kuzey enlemi 27° 10' 49" Doğu boylamı arasında bulunan Bergama ilçesine bağlı Bahçelievler, Kaşıkçı ve Tiyelti mahalleleri seçilmiştir. Çalışma alanlarının büyüklükleri sırasıyla yaklaşık olarak 39,1 hektar, 47,6 hektar, 23,8 hektar olup toplamda 110 hektardır. Çalışma alanları belirlenirken eğimli doğal arazi yüzeyi (Kaşıkçı Mahallesi), tek katlı yatay yapılaşmanın olduğu arazi yüzeyi (Tiyelti Mahallesi) ve çok katlı yapılaşmanın olduğu arazi yüzeyi (Bahçelievler Mahallesi) tercih edilmiştir. Çalışma alanlarına ait Google Earth uydu görüntüsü şekil 4.1' de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Çalışma alanlarının Google Earth uydu görüntüsü.

Bu çalışmada DJI firmasına ait tam otomatik uçuş kabiliyetine sahip Phantom 3 Pro ve Phantom 4 Pro modeli İHA 'lar kullanılmıştır. İHA uçuş planındaki güzergahlar üzerinde uçuş yaptığı sırasında üzerine entegre edilmiş olan sayısal kamera ile fotoğraf çekimi yapılmış ve çalışma alanlarına ait hava fotoğrafları elde edilmiştir. Yer kontrol noktalarının (YKN) ölçümü Spectra firmasının üretimi olan SP60 Modeli GNSS alıcısı ile yapılmıştır.

Kullanılan ekipmanların özellikleri çizelge 4.1 ve çizelge 4.2' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Kullanılan ekipmanlar ve özellikleri.

DJI Phantom3 Pro	
• Batarya dâhil ağırlığı 1280 gr • Maksimum hızı 16 m/sn • Havada kalma süresi 23 dk (4480 Mah Batarya) • Maksimum çıkabildiği irtifa 6000 m • Motorlarının çalışma sıcaklığı (0° ile 40° arası) • Konumlandırma desteği GPS/GLONASS	
Kamera Özellikleri	
• 1/2.3 inç CMOS Sensör • 12.4 Mp. Kamera • 4000x3000 piksel çözünürlük • Odak uzaklığı 2.8	

Çizelge 4.2 Kullanılan ekipmanlar ve özellikleri.

DJI Phantom 4Pro V2.0	
• Uçuş ağırlığı 1375 gr. • Maksimum hızı 20 m/sn • Havada kalma süresi 30 dk. (5870 mAh batarya) • Maksimum çıkabileceği irtafa 6000 m. • Motorlarının çalışma sıcaklığı (0 ° ile 40° arası) • Konumlandırma desteği GPS/GLONASS	
Kamera Özellikleri	
• 1 inç CMOS sensör • 20 MP kamera • 5472x3648 piksel çözünürlük • 2.8/f diyafram açıklığı	
Kullanılan GNSS Alıcısı	
• Desteklediği uydular: GPS, GLONASS, BEIDOU, GALILEO, QZSS, SBAS • Kanal sayısı: 240 • Ölçüm hassasiyeti: Yatay 3mm + 0.5 ppm, düşey 5mm + 1 ppm • Çalışma sıcaklığı -40 °C ile +65 °C	

4.2 Arazi Çalışmaları

Çalışma sahalarında yapılan uçuşlar neticesinde elde edilen fotoğrafların değerlendirme işlemleri için çalışma sahalarına toplam 13 adet YKN tesis edilmiştir. YKN lerin çalışma sahalarındaki dağılımı şekil 6.2 de gösterilmektedir. YKN' lerin tesis işlemleri yapılırken noktaların dağılımının çalışma sahasını kapsayacak şekilde olmasına özen gösterilmiştir. YKN' leri koordinatlandırmak için Spectra markasına air SP60 model GNSS alıcısı ile yapılmıştır. YKN' lerin arazi üzerindeki yerleri şekil 4.2' de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Kullanılan YKN' lerin arazi üzerindeki yerleri.

Çalışma sahasında seçilen YKN' lerin koordinatları TUSAGA-Aktif ağına bağlanılarak Türkiye Ulusal Referans Sistemi' nde belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan YKN şekli ve koordinat ölçümü şekil 4.3' te koordinat bilgileri ise çizelge 4.3' te gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Kullanılan YKN şekli ve koordinat ölçümü.

Çizelge 4.3 YKN' lere ait koordinat bilgileri.

Bahçelievler Mahallesi			
YKN Nokta Numarası	Y	X	Z
1	513042.486	4329710.325	72.038
2	513138.534	4329570.735	68.375
3	513160.768	4329427.566	67.205
4	512902.747	4329457.707	65.812
5	512696.210	4329414.926	64.505
Kaşıkçı Mahallesi			
YKN Nokta Numarası	Y	X	Z
1	520056.079	4326999.341	147.653
2	519964.350	4327512.946	192.248
3	519623.636	4327312.669	182.800
4	519843.758	4326795.235	147.693
Tiyelti Mahallesi			
YKN Nokta Numarası	Y	X	Z
1	513531.786	4331958.217	263.843
2	513283.526	4332055.801	273.228
3	513367.618	4332271.999	302.024
4	513630.438	4332185.894	270.007

4.3 Uçuş Planlaması ve Fotogrametrik Görüntü Alımı

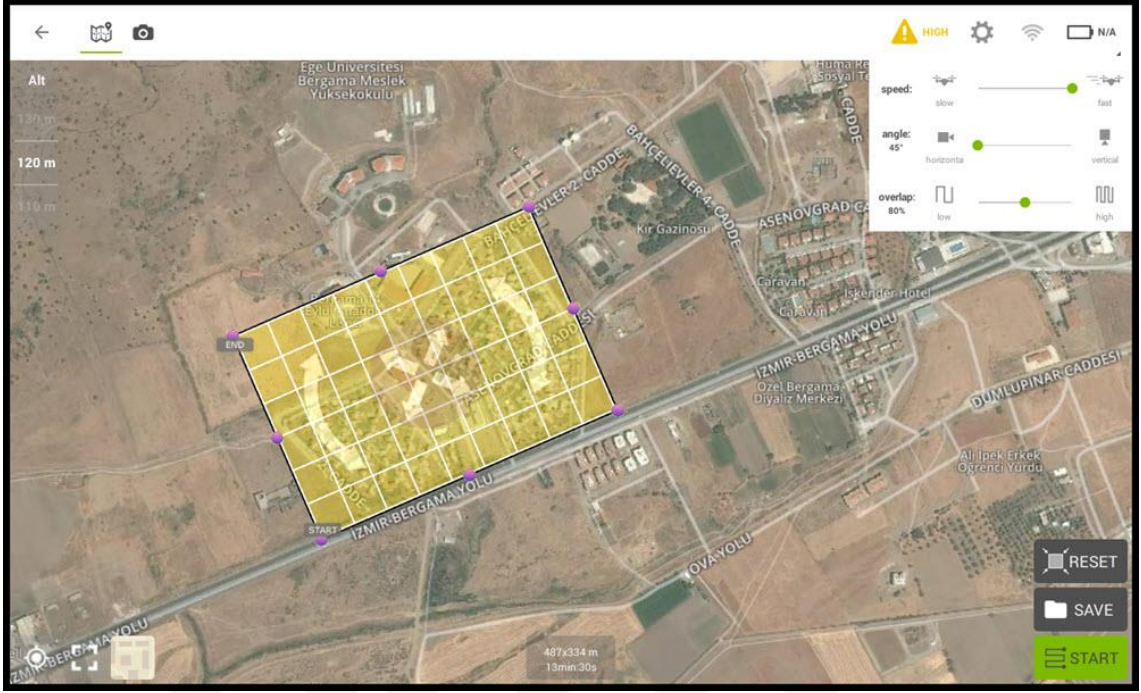
Uçuş öncesi hazırlık aşamasında YKN' ler zemine tesis edilmiş, ölçümü yapılmış ve İHA' nın uçuş bölgeleri üzerinde takip edeceği güzergahlar, uçuş yüksekliği ve fotoğraflar üzerindeki bindirme oranları belirlenmiştir. Bu çalışmada, boyuna bindirme oranı %80 enine bindirme oranı ise %70 olarak ayarlanmıştır. Uçuş yüksekliği Tiyelti Mahallesinde 100 m ile Bahçelievler ve Kaşıkçı Mahallelerinde 120 m' den yapılmıştır. Uçuş planının hazırlanmasında, uygulanmasında "Pix4D Capture" mobil uygulaması kullanılmıştır. Çalışma alanlarına ait uçuş bilgileri çizelge 4.4' te belirtilmiştir.

Çizelge 4.4 Çalışma alanlarına ait uçuş bilgileri.

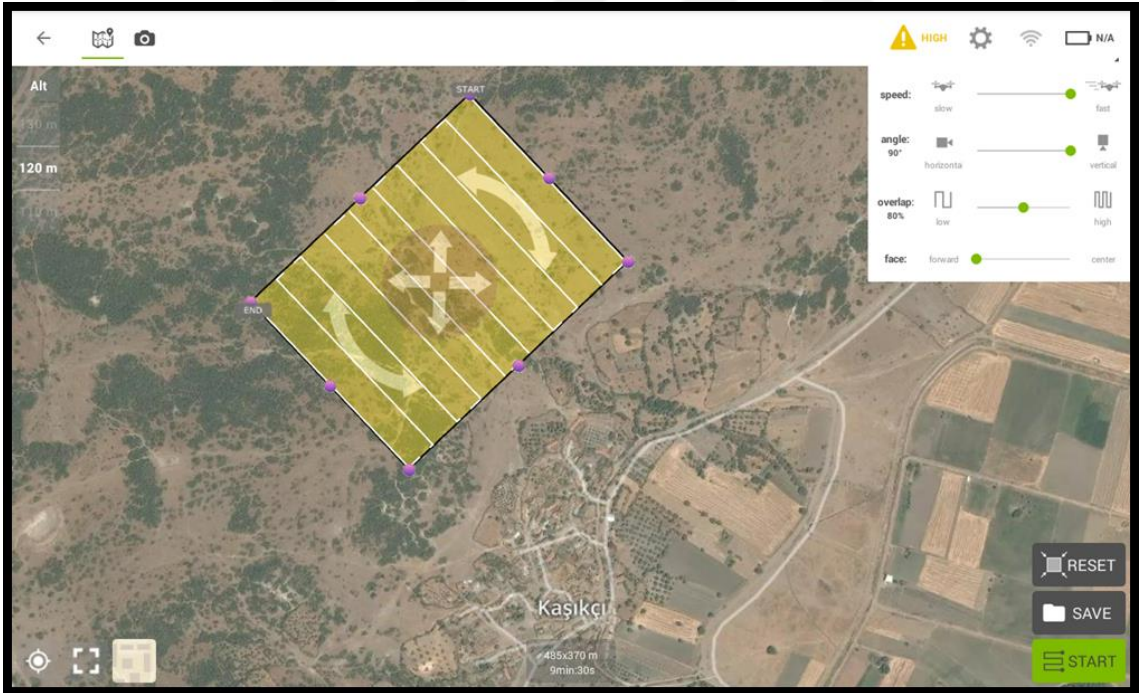
Çalışma Sahası	İHA	Uçuş Tarihi	Uçuş Yüksekliği (m)	Bindirme Oranı (Boyuna/Enine)	Uçuş Alanı (ha)	Fotoğraf Sayısı
Bahçelievler Mahallesi	DJI	13.05.2017	120	%70 / %70	39.1	591
	Phantom3					
	Pro					
Kaşıkçı Mahallesi	DJI	09.02.2019	120	%80 / %70	47.6	568
	Phantom4					
	Pro					
Tiyelti Mahallesi	DJI	11.03.2019	100	%80 / %70	23.8	248
	Phantom4					
	Pro					

4.3.1 Fotogrametrik Görüntü Alım Yöntemi

İHA ile otonom görev uçuşları, yer kontrol noktalarının tesisi ve ölçümü tamamlanıp, uçuş planlarının hazırlanmasının ardından gerçekleştirilmiştir. Uçuş sırasında yer kontrol istasyonu olarak kullanılan mobil cihaza yüklenen Pix4D Capture yazılımı sayesinde anlık olarak uçuş takibi yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan uçuş planlarına ait bilgiler Bahçelievler Mahallesinde şekil 4.4, Kaşıkçı Mahallesinde şekil 4.5, Tiyelti Mahallesinde şekil 4.6' da verilmiştir.



Şekil 4.4 Bahçelievler Mahallesi uçuş planı.



Şekil 4.5 Kaşıkçı Mahallesi uçuş planı.



Şekil 4.6 Tiyelti Mahallesi uçuş planı.

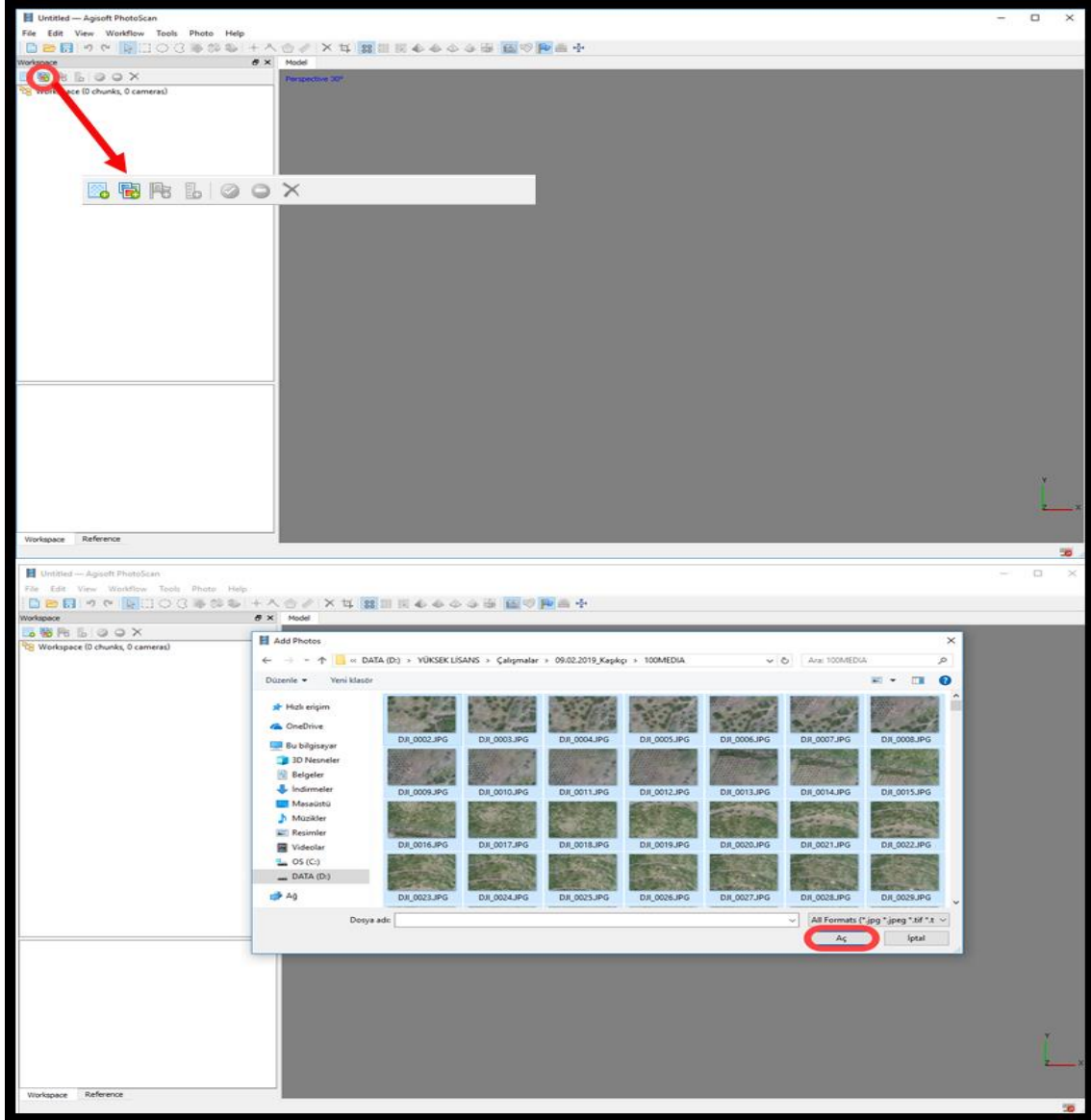
4.4 Görüntülerin İşlenmesi

Yapılan uçuşlar ile veriler toplanıp kontrolü yapıldıktan sonra fotogrametrik veri üretmek için Agisoft Photoscan ve Pix4D Mapper Pro bilgisayar yazılımları kullanılmıştır. Her iki yazılım da da yoğun nokta bulutu ve sayısal yüzey modeli üretimi programın orta seviye ayarları ile yapılmıştır.

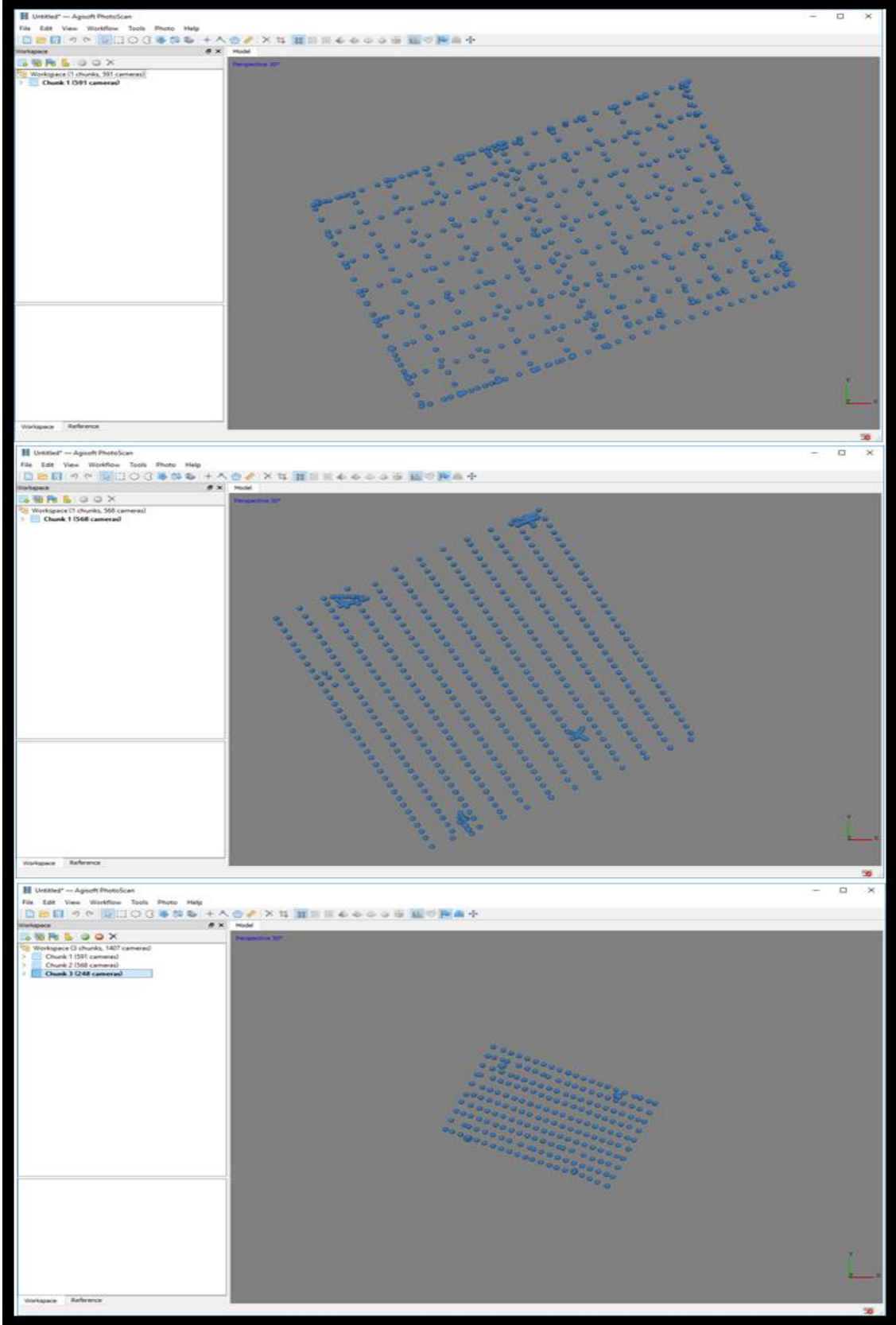
4.4.1 Agisoft Photoscan Yazılımı ile Görüntü İşleme

4.4.1.1 Görüntülerin Yüklenmesi

İlk olarak Agisoft Photoscan yazılımında yeni bir çalışma dosyası açılarak çalışma alanlarına ait görüntüleri yazılıma yüklenir. Görüntülerin yüklenmesi işlemi şekil 4.7’ de gösterilmiştir.



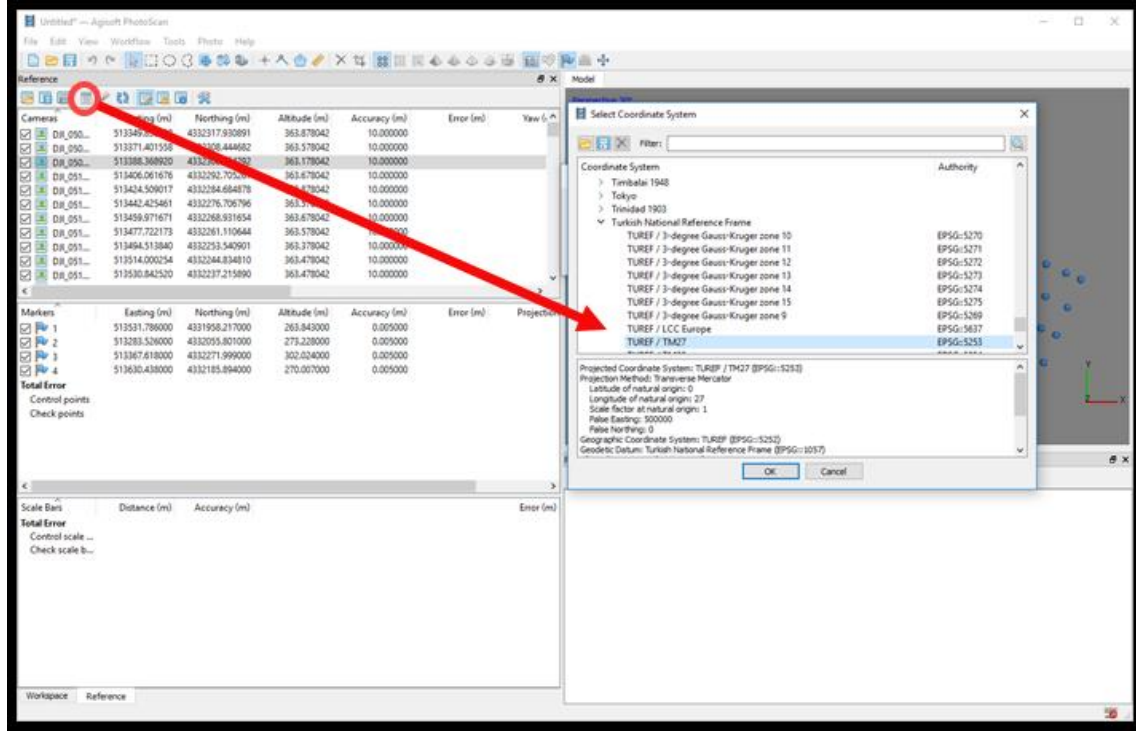
Şekil 4.7 Görüntülerin yüklenmesi.



Şekil 4.8 Fotoğraf çekim yerleri.

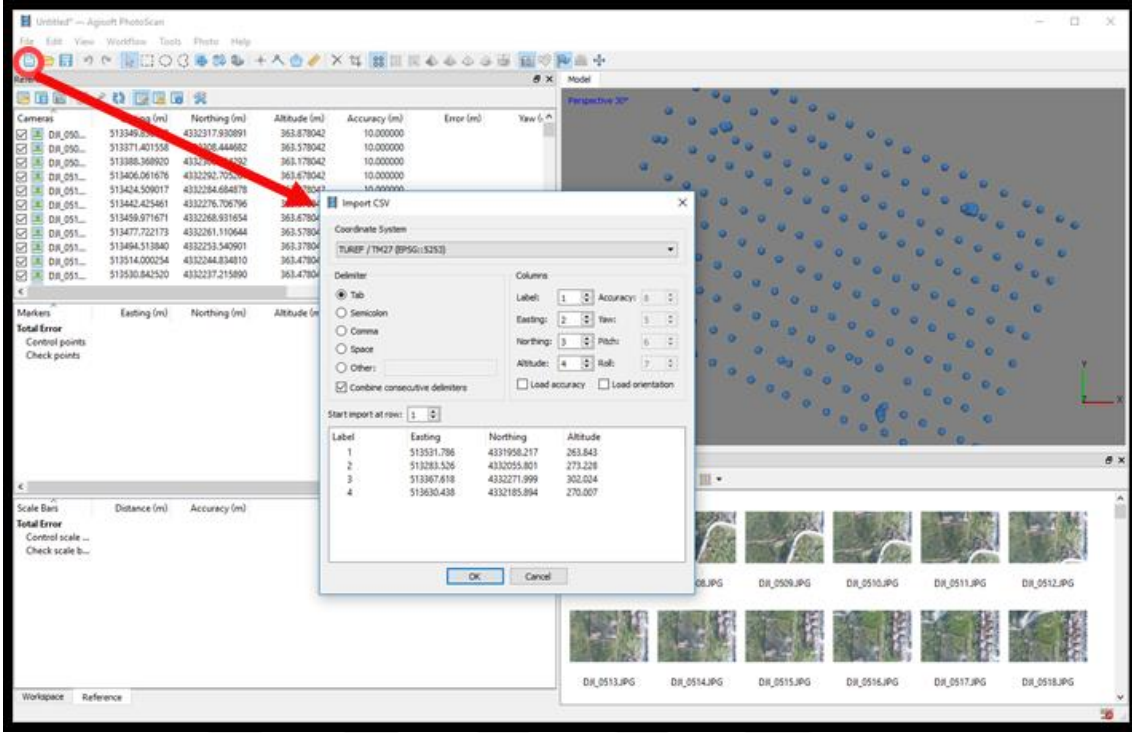
4.4.1.2 Koordinat Sistemi Dönüşümü ve YKN' lerin Yüklenmesi

Uçuşu tamamlanan belgelerin daha hassas koordinatlandırılması ve üzerinde güvenilir ölçümler yapılabilmesi için, şekil 4.9' da verilen Türkiye Ulusal Referans Sistemi 'TUREF27' tanımlanmıştır.



Şekil 4.9 Agisoft Photoscan yazılımında koordinat sisteminin seçilmesi.

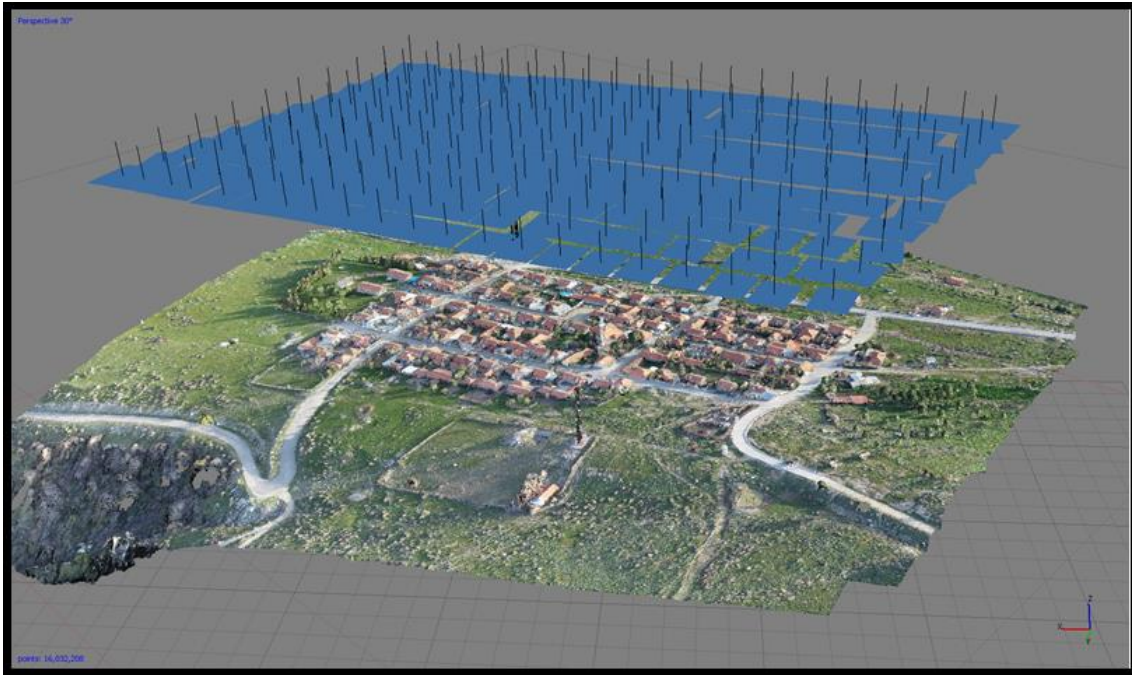
Yapılan bu işlem ile GNSS koordinatlarına sahip fotoğraflar YKN' ler ile aynı koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Koordinat sistemi değiştirildikten sonra arazide koordinatları ölçülen ve fotogrametrik görüntü değerlendirme işlemlerinde kullanılacak olan YKN' ler yüklenmiştir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 Agisoft Photoscan yazılımına YKN'lerin tanımlanması.

4.4.1.3 Görüntülerin Hizalanması

Yukarıda belirtilen işlemlerden sonra Agisoft Photoscan programıyla yoğun nokta bulutu üretilmiştir. Üretilen yoğun nokta bulutu şekil 4.11' de gösterilmektedir.



Şekil 4.11 Yoğun nokta bulutu sonrası oluşan model.

Bu işlemi yaparken Agisoft Photoscan programı hava fotoğraflarındaki ortak pikselleri bularak yoğun görüntü eşleme yöntemini kullanmaktadır. Yoğun görüntü eşleme yöntemi her fotoğraftaki ortak pikselleri kendisine komşu fotoğraflarda eşlemektedir. Mevcut işleme aşamasında her görüntüdeki özellik içeren noktaların üst sınırını dikkate alan ve görüntülerde eşlenen piksellere “key point” adı verilmektedir. Bu değere sıfır girilmesi en fazla key point hesaplanmasını sağlarken, “key point” güvenilirliğinin düşmesine sebep olur. Bir diğer parametre olan “tie point” ise her pikseldeki bağlama noktalarının maksimum sayısını temsil etmektedir. Bunu takiben, YKN’lerin programda ölçülmesi YKN’lerin bulunduğu hava fotoğrafları filtrelenerek yapılmıştır (Özemer ve ark. 2016).

Görüntü hızlama işlemi sona ermesinin ardından, bir önceki adımda programa yüklemiş olduğumuz YKN’lerin yerleri tek tek kontrol edilerek yeniden konumlandırılmıştır. Kontrol edilip yeniden konumlandırma işleminin bitmesinin ardından “Optimize” edilerek YKN’lerin konumu son halini almıştır.

4.4.1.4 Yoğun Nokta Bulutu Üretimi

Sayısal Yüzey Modellerinin üretilmesinde ve fotoğrafların giydirilmesi ile oluşan ortofotoya altlık oluşturması amacı ile yoğun nokta bulutu üretilmiştir. Nokta bulutu üretiminde Medium, High, Ultra High olmak üzere üç seçenek mevcuttur. Bu çalışmada kullanılan bilgisayarın donanım özelliklerinden dolayı ‘Medium’ seçeneği tercih edilmiştir. Buna göre üretilen nokta sayıları çizelge 4.5’te, nokta bulutu örnekleri ise şekil 4.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 Üretilen nokta bulutlarındaki nokta sayıları.

Çalışma Bölgesi	Nokta Sayısı
Bahçelievler Mahallesi	19.267.892
Kaşıkcı Mahallesi	64.081.954
Tiyelti Mahallesi	16.032.208

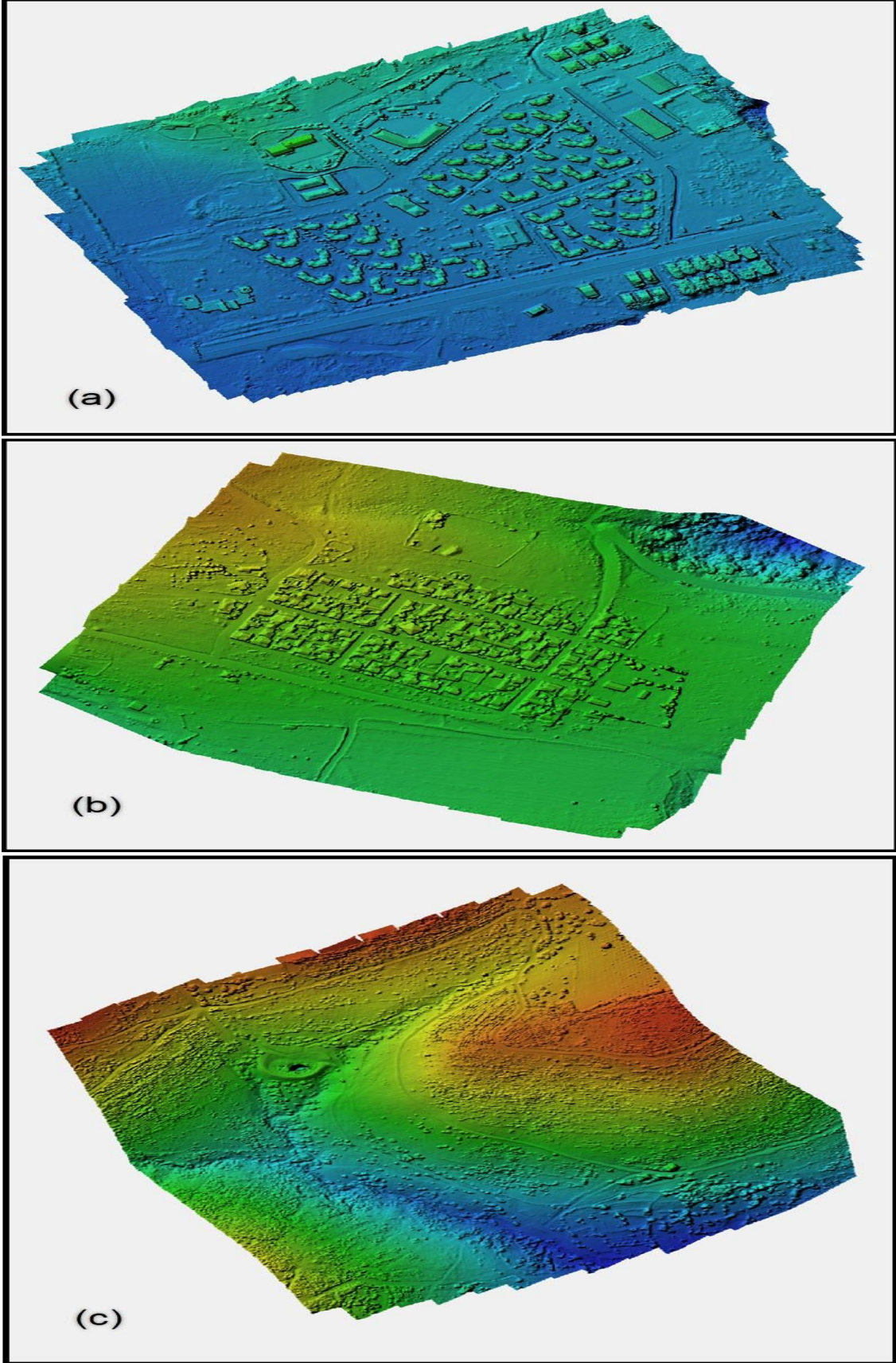


Şekil 4.12 Çalışma alanlarına ait üretilen nokta bulutları. Bahçelievler Mahallesi (a), Kaşıkçı Mahallesi (b), Tiyelti Mahallesi (c).

4.4.1.5 Sayısal Yüzey Modelinin (SYM) Üretilmesi

Yoğun nokta bulutu işlemlerinin bitmesinin ardından arazinin topografik yapısını ifade eden ve renklendirme ile yükseklik farklarının üzerinde gösterildiği SYM üretilmiştir. Çalışma alanlarına ait örnekler şekil 4.13' te gösterilmiştir.





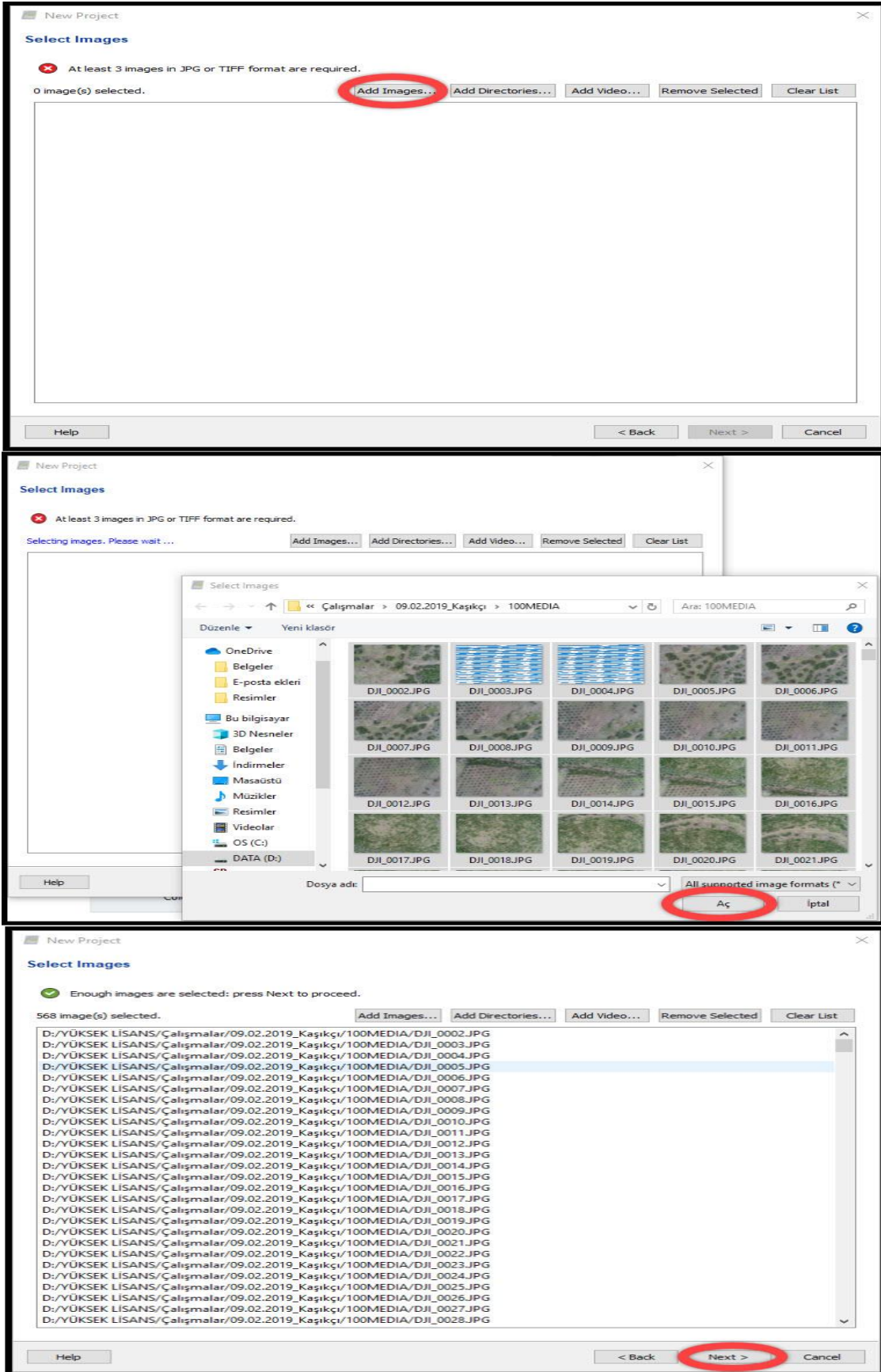
Şekil 4.13 Çalışma alanlarına ait üretilen sayısal yükseklik modelleri. Bahçelievler Mahallesi (a), Kaşıkçı Mahallesi (b), Tiyelti Mahallesi (c).

4.4.2 Pix4D Mapper ProYazılımı ile Görüntü İşleme

4.4.2.1 Görüntülerin Yüklenmesi

Pix4D Mapper Pro yazılımında da yeni bir çalışma dosyası açılarak çalışma alanına ait görüntülerin tümü seçilerek yazılama yüklenmiştir (Şekil 4.14).





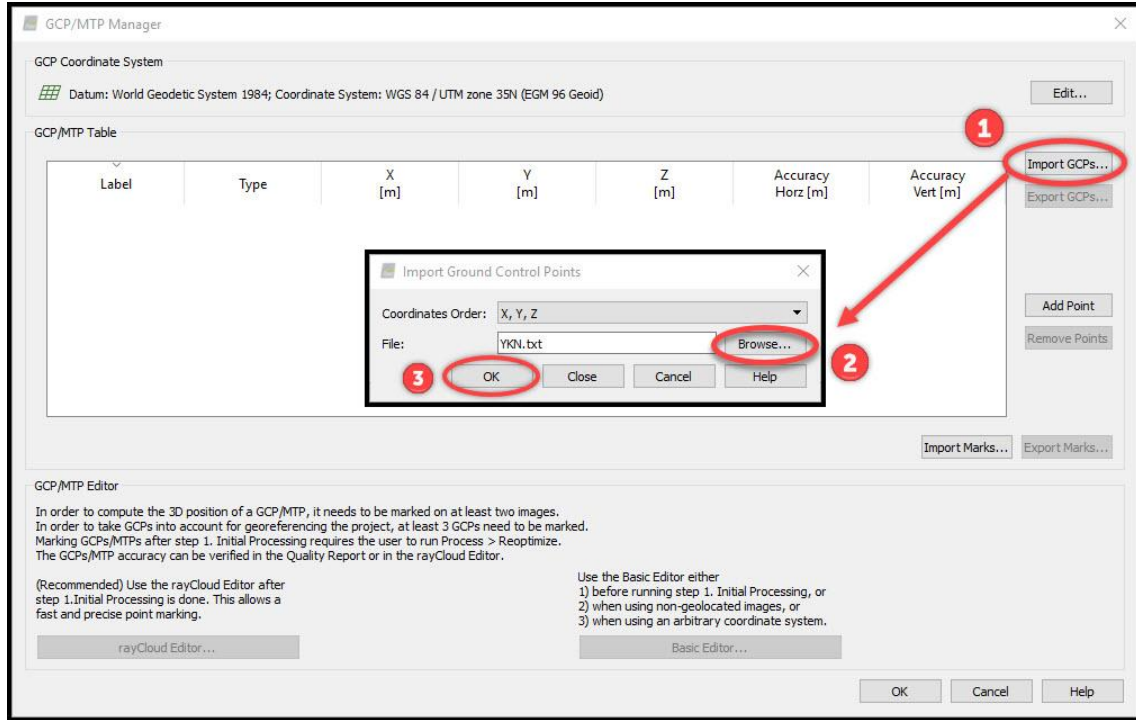
Şekil 4.14 Görüntülerin programa yüklenmesi.



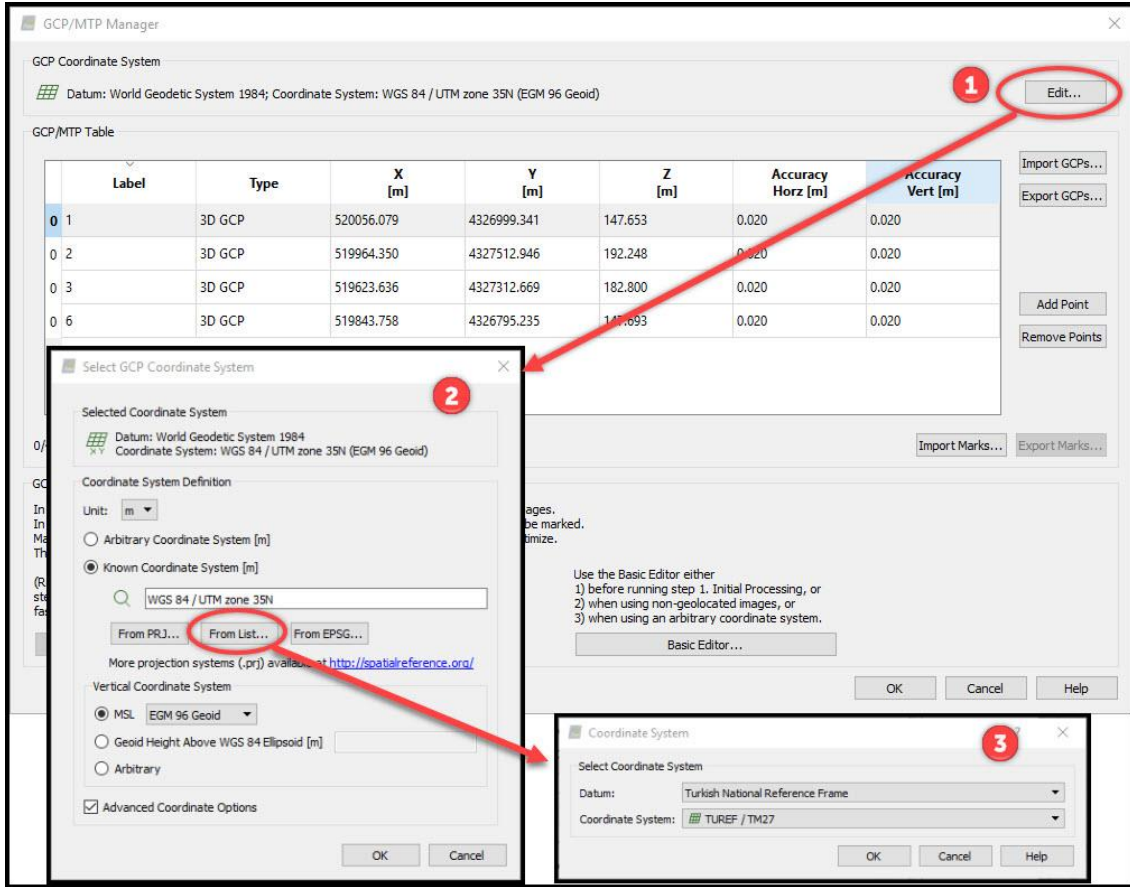
Şekil 4.15 Yüklene görüntüler.

4.4.2.2 Koordinat Sistemi Dönüşümü ve YKN' lerin Yüklenmesi

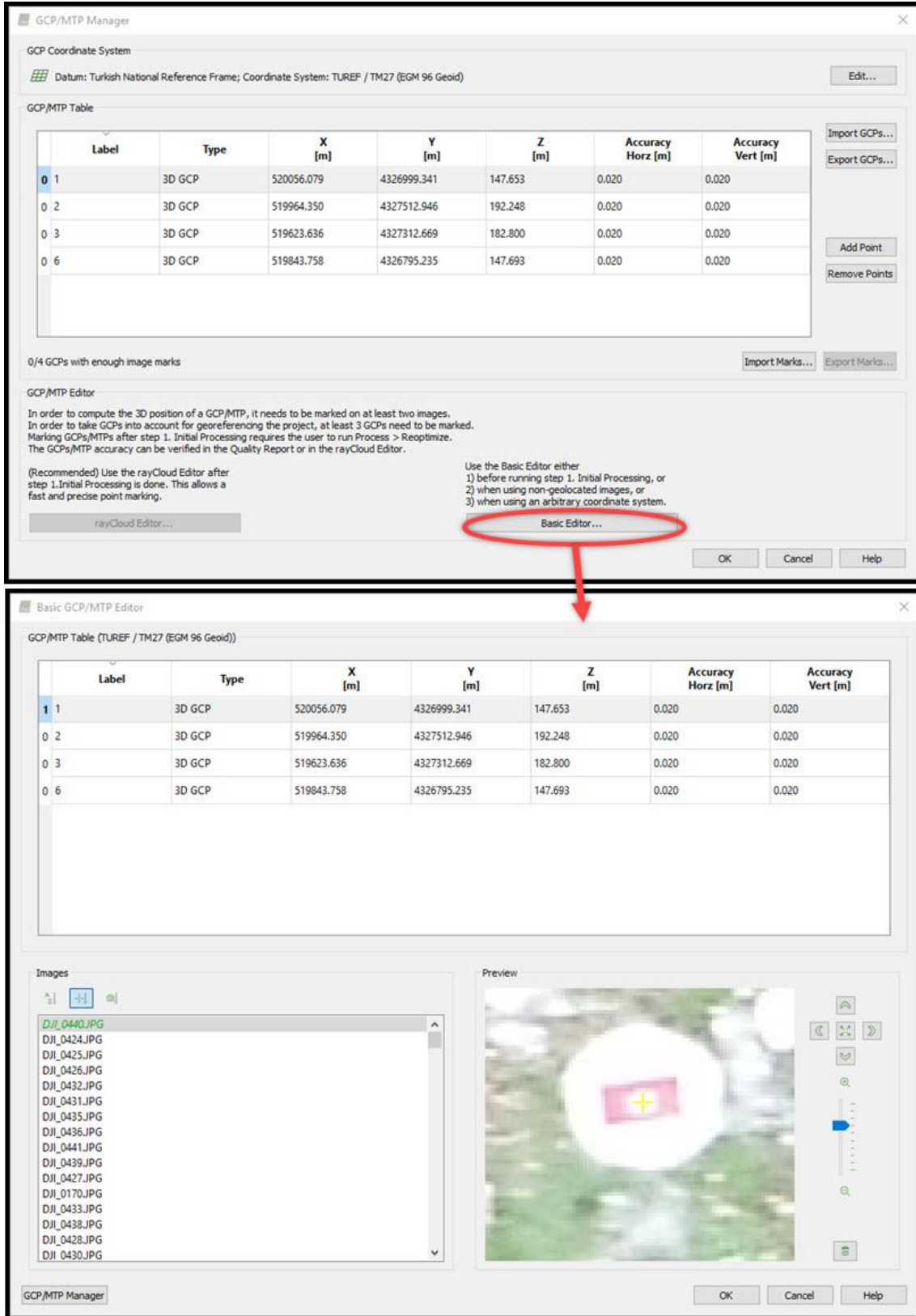
Görüntülerin yüklenmesi aşamasında (şekil 4.14) koordinat sistemini ve kamera modelini Pix4D Mapper Pro yazılımı otomatik olarak seçmektedir. Görüntülerin programa yüklenmesinin ardından (şekil 4.15) arazide ölçülen YKN noktaları yazılama yüklenmiş (şekil 4.16) olup koordinat sistemi tanımlanarak (şekil 4.17) her bir noktanın yeri işaretlenip (şekil 4.18) YKN' lerin ölçümü yapılmıştır.



Şekil 4.16 YKN' lerin yüklenmesi.



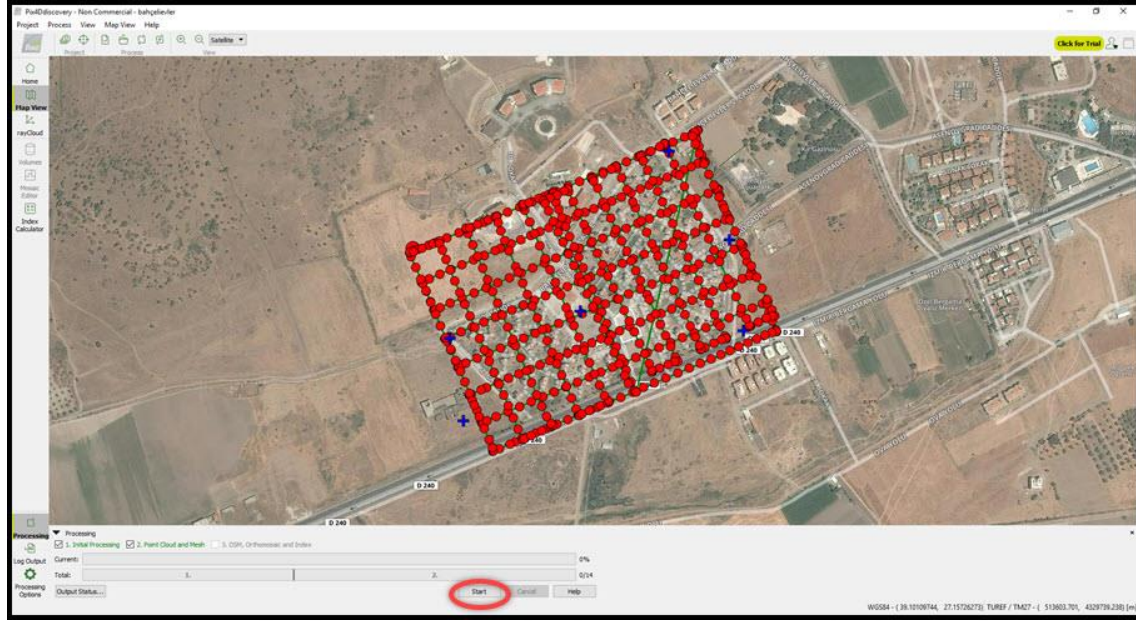
Şekil 4.17 Koordinat sisteminin tanımlanması.



Şekil 4.18 YKN' lerin işaretlenmesi.

4.4.2.3 Görüntülerin İşlenmesi

Pix4D Mapper Pro yazılımı ile değerlendirme işleminde; görüntülerin programa yüklenmesi, YKN' lerin koordinat sistemlerinin tanımlanması ve işaretlenmesinin ardından değerlendirme aşamasına geçilmiştir (şekil 4.19).

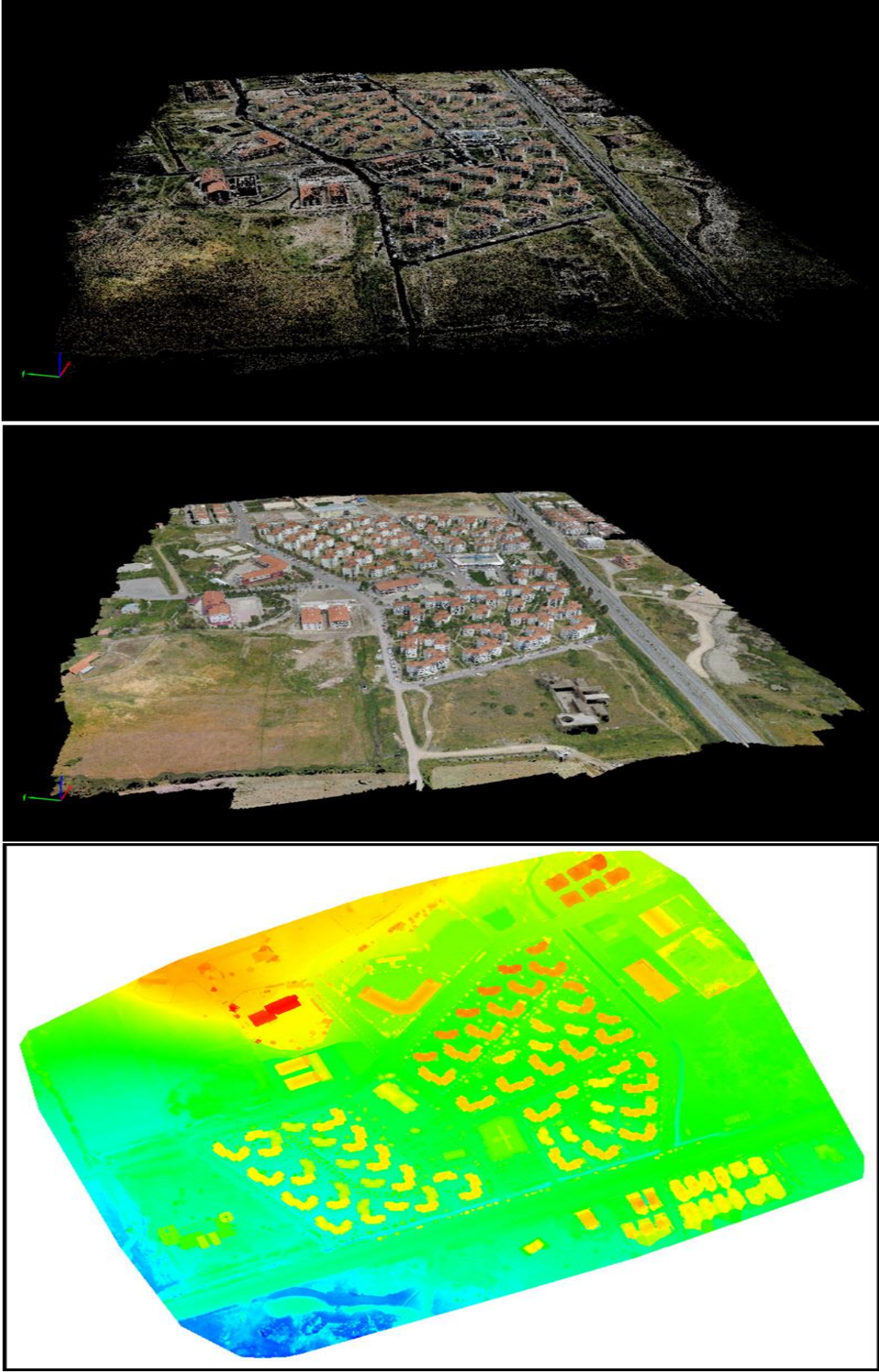


Şekil 4.19 Process adımı.

Pix4D Mapper Pro yazılımında değerlendirme üç adımda yapılmaktadır. İlk adımda seyrek nokta bulutu oluşturulmakta, ikinci adımda yoğun nokta bulutu ve son adımda da SYM ve ortofoto görüntüsü üretilmiştir (Şekil 4.20). Pix4D Mapper Pro yazılımında üretilen nokta bulutu sayıları çizelge 4.6' da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6 Üretilen nokta bulutlarındaki nokta sayıları.

Çalışma Bölgesi	Nokta Sayısı
Bahçelievler Mahallesi	33.113.263
Kaşıkcı Mahallesi	74.425.305
Tiyelti Mahallesi	17.703.349



Şekil 4.20 Bahçelievler bölgesinde üretilen seyrek ve yoğun nokta bulutu ve SYM verisi.

Her iki yazılımda da üretilen SYM verilerinin çözünürlükleri çizelge 4.7’ de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7 Üretilen SYM verilerinin çözünürlüğü.

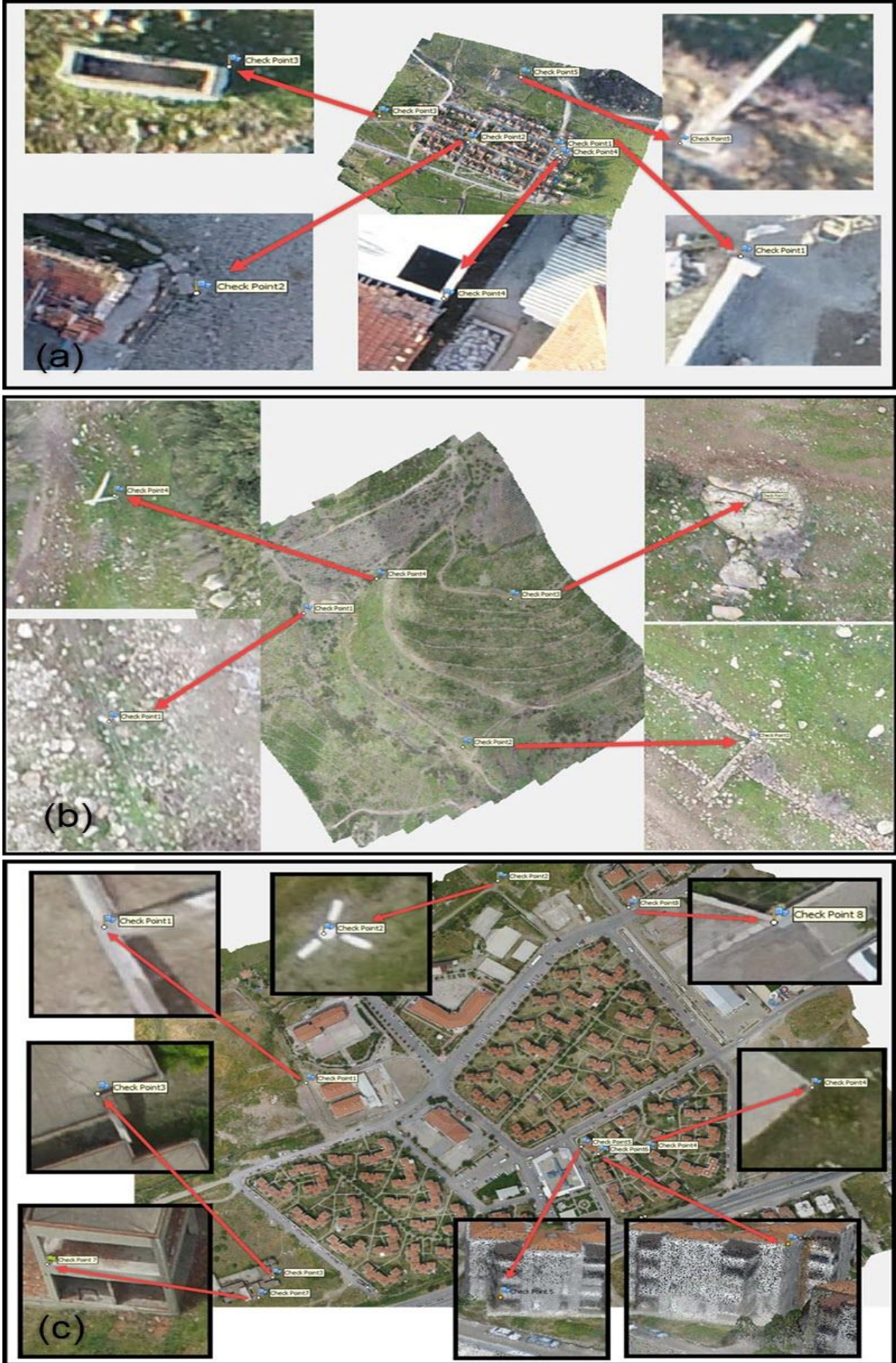
Çalışma Bölgesi	Agisoft Photoscan	PixD4 Mapper Pro
Bahçelievler Mahallesi	17,3 cm/pix	4,56 cm/pix
Kaşıkçı Mahallesi	9,98 cm/pix	2,39 cm/pix
Tiyelti Mahallesi	13,6 cm/pix	3,63 cm/pix

4.5 Doğruluk Analizi Çalışmaları

Doğruluk analizi çalışmaları iki adımda yapılmıştır. Birinci adımda jeodezik yöntemlerle arazide ölçümü yapılmış ikinci adımda ise bu noktalar fotogrametrik yazılım programlarından elde edilen ürünler üzerinden ölçümü yapılmıştır.

4.5.1 Denetleme Noktalarının Jeodezik Yöntemlerle Ölçülmesi

Sayısal Yüzey Modeli ve ortofotosu üretilen çalışma alanlarının doğruluk analizlerinin yapılabilmesi için tekrar araziye çıkılmış ve her bir çalışma alanının ortofotosu üzerinden belirlenen denetleme noktaları (Şekil 4.21) GNSS ve totalstation cihazları kullanılarak jeodezik yöntemler ile nokta alımı yapılmıştır (Şekil 4.22).



Şekil 4.21 Denetleme noktalarının çalışma alanlarındaki dağılımı. (a) Bahçelievler Mahallesi, (b) Kaşıkçı Mahallesi, (c) Tiyelti Mahallesi.



Şekil 4.22 Denetleme noktalarının ölçülmesi.

Ölçümü yapılan denetleme noktalarının koordinatları çizelge 4.8’ de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8 Ölçümü yapılan denetleme noktalarına ait değerler. (a) Bahçelievler Mahallesi, (b) Kaşıkçı Mahallesi, (c) Tiyelti Mahallesi.

(a)

Nokta No.	Y	X	Z
DN 1	512760.697	4329532.658	69.698
DN 2	512935.008	4329765.896	76.091
DN 3	512730.553	4329308.222	69.010
DN 4	513070.500	4329455.081	66.861
DN 5	513010.902	4329459.088	69.968
DN 6	513026.737	4329450.303	78.298
DN 7	512717.831	4329284.840	68.951
DN 8	513054.151	4329734.803	73.723

(b)

Nokta No.	Y	X	Z
DN 1	519686.476	4327181.496	155.044
DN 2	519982.308	4326894.227	117.757
DN 3	520071.517	4327211.089	197.801
DN 4	519823.047	4327255.405	168.950

(c)

Nokta No.	Y	X	Z
DN 1	513584.725	4332112.490	273.048
DN 2	513416.909	4332128.456	280.455
DN 3	513245.374	4332193.440	293.795
DN 4	513595.188	4332092.136	275.828
DN 5	513519.438	4332288.898	281.705

4.5.2 Denetleme Noktalarının Fotogrametrik Yazılımlar Üzerinden Ölçülmesi

Arazide koordinatı ölçülen noktaların, Agisoft Photoscan ve Pix4D Mapper Pro yazılımları ile üretilen modeller üzerinden de XYZ koordinatları elde edilmiştir (Şekil 4.23).



Şekil 4.23 Model koordinatlarının fotogrametrik yazılımlar üzerinden ölçülmesi. (a) Agisoft Photoscan, (b) Pix4D Mapper Pro.

5. BULGULAR

Bu çalışmada İHA ile farklı alanlarda ve farklı yazılımlarla oluşturulan SYM' lerin doğruluğu incelenmiştir. Jeodezik yöntemlerle arazide ölçümü yapılan noktalar referans kabul edilmiş ve farklı yazılımlarda üretilen modeller üzerindeki değerleri ile karesel ortalama hata (KOH) değerleri hesaplanmıştır. Daha farklı yazılımlarla her bölge için üretilen SYM' ler karşılaştırılmış ve farklılıkları incelenmiştir.

Aynı noktaya ait iki XYZ değerinin farkı alınarak her bir noktanın bu yönlerdeki KOH değerleri hesaplanmıştır. Her iki yazılım için de bu işlem tekrarlanmış yapılan işlemlerin sonuçları Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2' de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 Agisoft Photoscan yazılımından elde edilen koordinatlar ile hesaplanan KOH.
Bahçelievler Mahallesi (a), Kaşıkçı Mahallesi (b), Tiyelti Mahallesi (c).

(a)

Arazi Koordinatları				Model Koordinatları			Farklar (m)		
Nokta No.	X	Y	Z	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ
1	512760.697	4329532.658	69.698	512760.694	4329532.673	69.730	0.003	-0.015	-0.032
2	512935.008	4329765.896	76.091	512935.006	4329765.910	76.290	0.002	-0.014	-0.199
3	512730.553	4329308.222	69.010	512730.551	4329308.230	68.976	0.002	-0.008	0.034
4	513070.500	4329455.081	66.861	513070.500	4329455.083	66.779	0.000	-0.002	0.082
5	513010.902	4329459.088	69.968	513010.902	4329459.094	67.093	0.000	-0.006	2.875
6	513026.737	4329450.303	78.298	513026.731	4329450.306	67.005	0.006	-0.003	11.293
7	512717.831	4329284.840	68.951	512717.825	4329284.848	64.629	0.006	-0.008	4.322
8	513054.151	4329734.803	73.723	513054.144	4329734.807	73.278	0.007	-0.004	0.445
Karesel Ortalama Hata (K.O.H)							0.004153	0.008761	4.397779

Çizelge 5.1 (Devamı) Agisoft Photoscan yazılımından elde edilen koordinatlar ile hesaplanan KOH. Bahçelievler Mahallesi (a), Kaşıkçı Mahallesi (b), Tiyelti Mahallesi (c).

(b)

Arazi Koordinatları			Model Koordinatları			Farklar (m)			
Nokta No.	X	Y	Z	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ
1	519686.476	4327181.496	155.044	519686.476	4327181.498	155.062	0.000	-0.002	-0.018
2	519982.308	4326894.227	117.757	519982.307	4326894.227	118.248	0.001	0.000	-0.491
3	520071.517	4327211.089	197.801	520071.516	4327211.089	197.802	0.001	0.000	-0.001
4	519823.047	4327255.405	168.950	519823.046	4327255.408	168.974	0.001	-0.003	-0.024
Karesel Ortalama Hata (K.O.H)							0.000866	0.001803	0.245958

(c)

Arazi Koordinatları				Model Koordinatları			Farklar (m)		
Nokta No	X	Y	Z	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ
1	513584.725	4332112.490	273.048	513584.578	4332112.422	273.381	0.147	0.068	-0.333
2	513416.909	4332128.456	280.455	513416.915	4332128.456	280.399	-0.006	0.000	0.056
3	513245.374	4332193.440	293.795	513245.338	4332193.431	293.936	0.036	0.009	-0.141
4	513595.188	4332092.136	275.828	513595.240	4332092.100	275.209	-0.052	0.036	0.619
5	513519.438	4332288.898	281.705	513519.364	4332288.931	281.734	0.074	-0.033	-0.029
Karesel Ortalama Hata (K.O.H)							0.078894	0.037656	0.321840

Çizelge 5.2 Pix4D Mapper Pro yazılımından elde edilen koordinatlar ile hesaplanan KOH. Bahçelievler Mahallesi (a), Kaşıkçı Mahallesi (b), Tiyelti Mahallesi (c).

(a)

Arazi Koordinatları				Model Koordinatları			Farklar (m)		
Nokta No.	X	Y	Z	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ
1	512760.697	4329532.658	69.698	512760.507	4329532.722	69.788	0.190	-0.064	-0.090
2	512935.008	4329765.896	76.091	512935.183	4329765.945	76.184	-0.175	-0.049	-0.093
3	512730.553	4329308.222	69.010	512730.501	4329308.159	68.960	0.052	0.063	0.050
4	513070.500	4329455.081	66.861	513070.551	4329455.103	66.824	-0.051	-0.022	0.037
5	513010.902	4329459.088	69.968	513011.110	4329459.155	69.906	-0.208	-0.067	0.062
6	513026.737	4329450.303	78.298	513026.808	4329450.423	78.633	-0.071	-0.120	-0.335
7	512717.831	4329284.840	68.951	512717.902	4329284.923	68.834	-0.071	-0.083	0.117
8	513054.151	4329734.803	73.723	513054.239	4329734.801	73.632	-0.088	0.002	0.091
Karesel Ortalama Hata (K.O.H)							0.128996	0.067761	0.140827

Çizelge 5.2 (Devamı) Pix4D Mapper Pro yazılımından elde edilen koordinatlar ile hesaplanan KOH. Bahçelievler Mahallesi (a), Kaşıkçı Mahallesi (b), Tiyelti Mahallesi (c).

(b)

Nokta No.	Arazi Koordinatları			Model Koordinatları			Farklar (m)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ
1	519686.476	4327181.496	155.044	519686.499	4327181.528	155.180	-0.023	-0.032	-0.136
2	519982.308	4326894.227	117.757	519982.238	4326894.113	118.216	0.070	0.114	-0.459
3	520071.517	4327211.089	197.801	520071.502	4327211.072	197.882	0.015	0.017	-0.081
4	519823.047	4327255.405	168.950	519823.188	4327255.461	169.019	-0.141	-0.056	-0.069
Karesel Ortalama Hata (K.O.H)							0.079898	0.066040	0.245203

(c)

Nokta No	Arazi Koordinatları			Model Koordinatları			Farklar (m)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ
1	513584.725	4332112.490	273.048	513584.739	4332112.480	273.139	0.014	0.010	-0.091
2	513416.909	4332128.456	280.455	513416.936	4332128.447	280.339	-0.027	0.009	0.116
3	513245.374	4332193.440	293.795	513245.443	4332193.432	293.960	-0.069	0.008	-0.165
4	513595.188	4332092.136	275.828	513595.229	4332092.111	275.759	-0.041	0.025	0.069
5	513519.438	4332288.898	281.705	513519.362	4332288.831	281.742	0.076	0.067	-0.037
Karesel Ortalama Hata (K.O.H)							0.051270	0.032738	0.104969

5.1 SYM Farklarının Hesaplanması

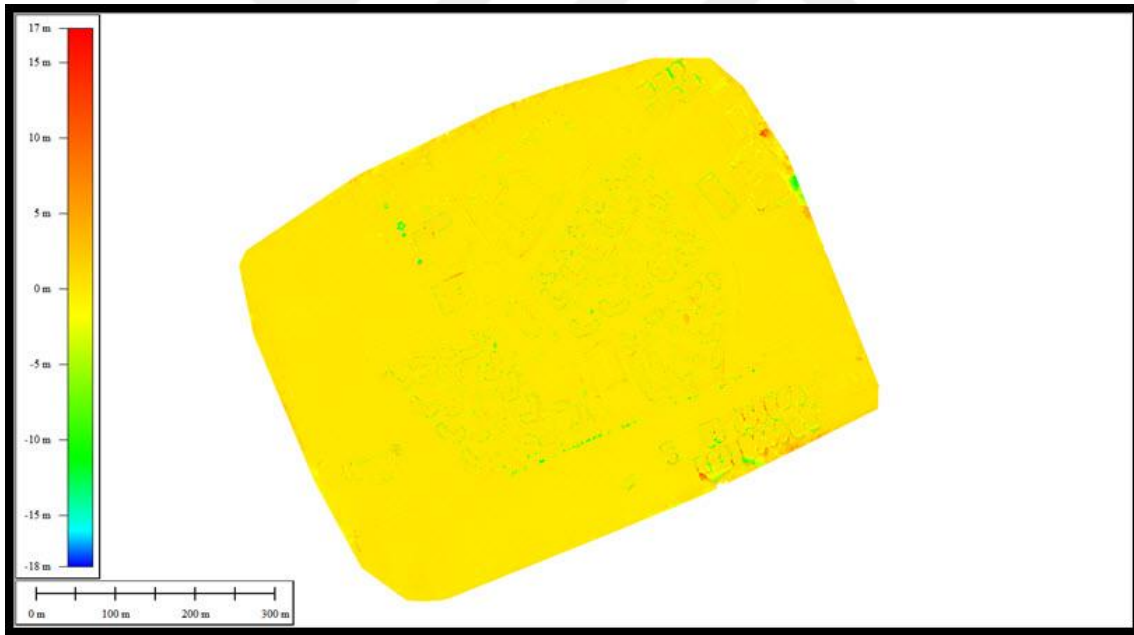
Her iki yazılımda da üretilen aynı bölgeye ait SYM' leri karşılaştırmak amacıyla elde edilen SYM' lerin farkları alınmıştır.

Oluşturulan fark görüntülerindeki en büyük, en küçük ve ortalama fark değerleri çizelge 5.3' te verilmiştir. Ortalama hesaplanırken maksimum ve minimum farkların olduğu noktalardaki aykırılıklar nedeniyle hesaplama dahil edilmemiştir. Çizelge incelendiğinde ortalama farkların 15 cm civarında olduğu görülmektedir. Ancak 18 m., 40 m. ve 24 m.' lik farklılıklar yüksek bulunmuş ve bu farklılığın olduğu bölgeler ayrıca incelenmiştir.

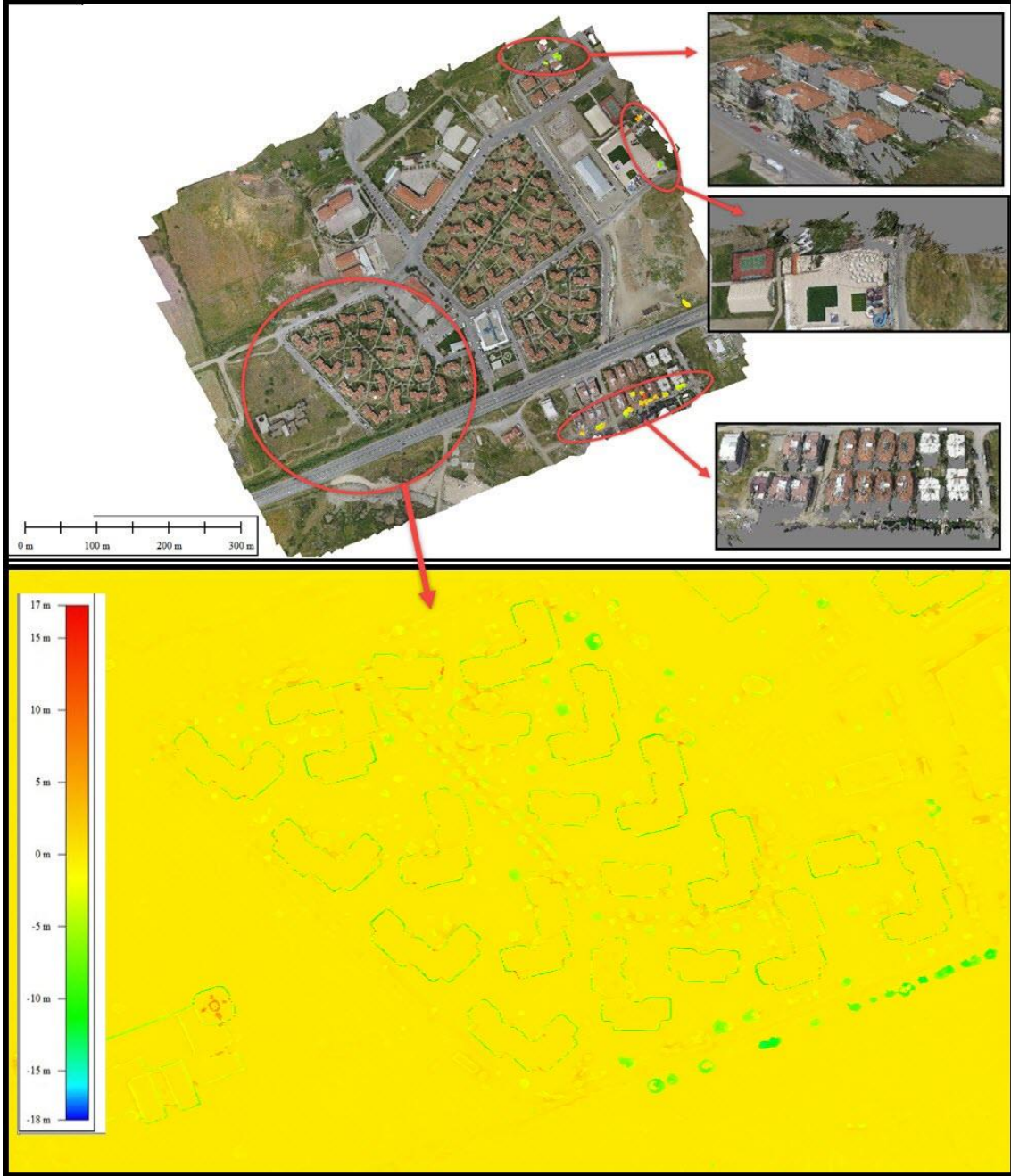
Çizelge 5.3 Elde edilen SYM' ler arasındaki fark değerleri.

Çalışma Bölgesi	En küçük ve En büyük Farklar (m)		Ortalama Fark (m)
Bahçelievler Mah.	-18.00	17.00	1.52
Kaşıkcı Mah.	-24.00	8.00	0.148
Tiyelti Mah.	-40.00	14.00	0.118

Şekil 5.2' de Bahçelievler bölgesinde Agisoft Photoscan ve Pix4D Mapper Pro yazılımı ile elde edilen SYM' lerin farkı ile elde edilen görüntü görülmektedir. Bu görüntüde sarı renk tonuna sahip pikseller farkların düşük, turuncu, mavi, yeşil ve kırmızı renk tonuna sahip pikseller farkların yüksek olduğu yerleri göstermektedir. Bina saçakları, ağaçlar ve kenar kısımlardaki bazı yapılarda farkların 10 metreye kadar ulaştığı görülmektedir (Şekil 5.2).

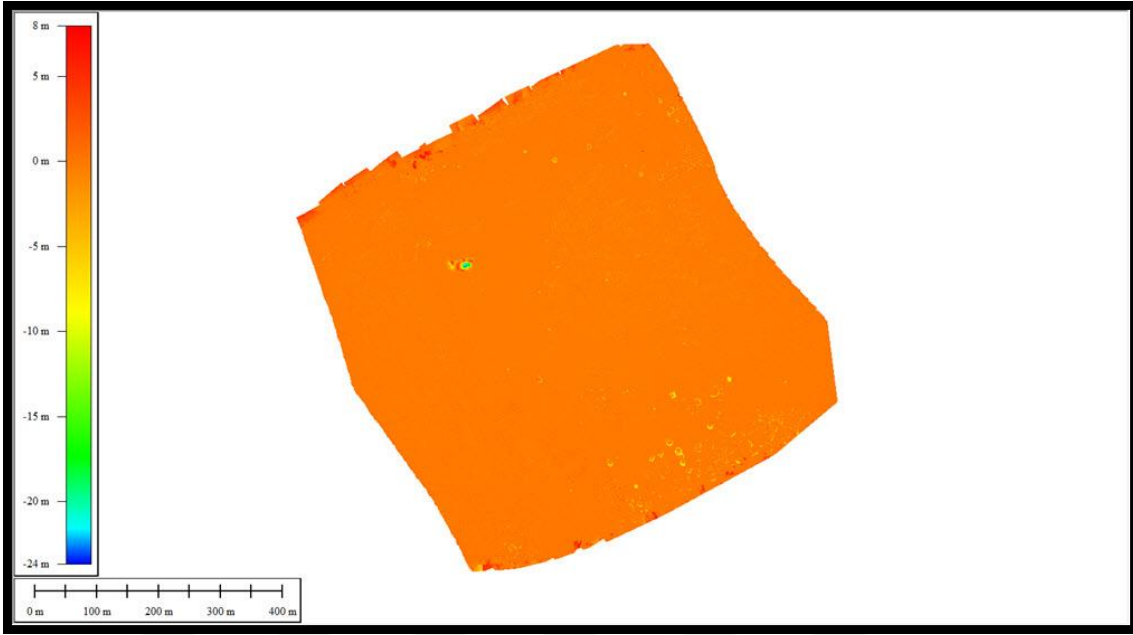


Şekil 5.1 Bahçelievler bölgesine ait fark görüntüsü.

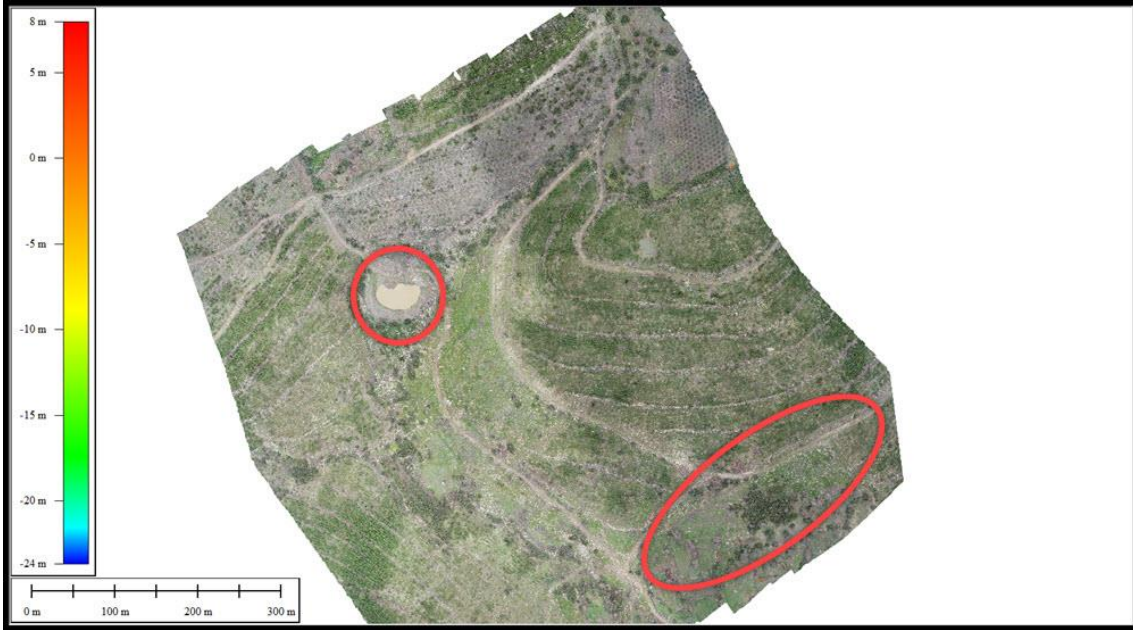


Şekil 5.2 Bahçelievler bölgesinde en büyük ve en küçük farkların gözlendiği yerler.

Şekil 5.3’ te Kaşıkçı bölgesinde Agisoft Photoscan ve Pix4D Mapper Pro yazılımı ile elde edilen SYM’ lerin farkı ile elde edilen fark görüntüsü görülmektedir. Bu görüntüde turuncu renk tonuna sahip pikseller farkların düşük, mavi, yeşil ve kırmızı renk tonuna sahip pikseller farkların yüksek olduğu yerleri göstermektedir. Ağaçlık alanlarda 10 metreye, sulama göletinde ise 25 metreye kadar varan farkların olduğu görülmektedir (Şekil 5.4).

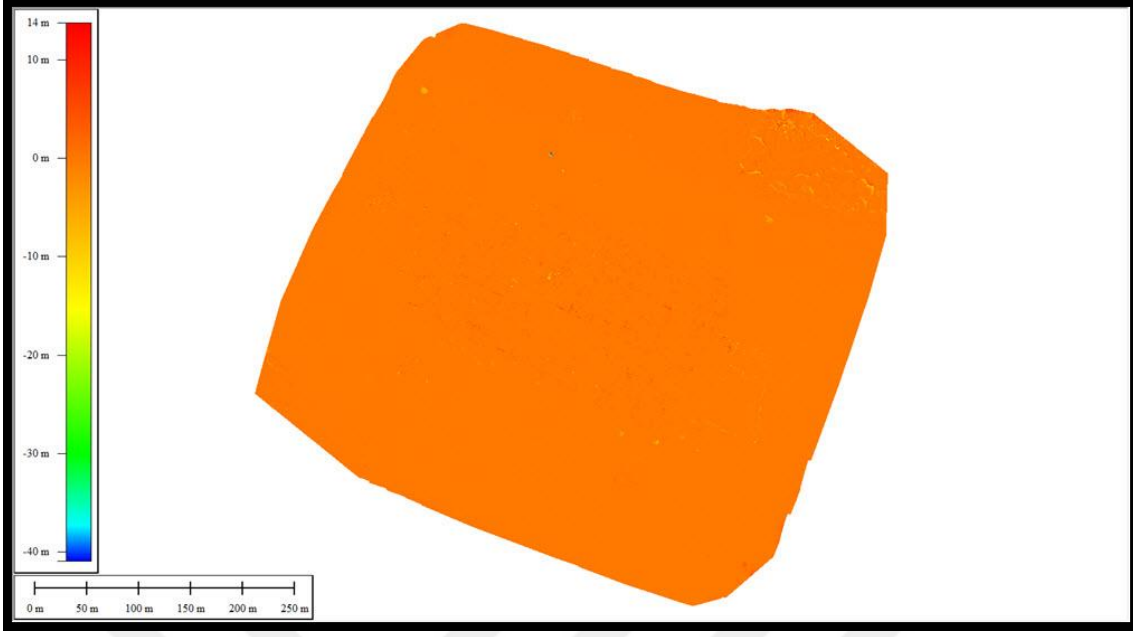


Şekil 5.3 Kaşıkçı bölgesine ait fark görüntüsü.

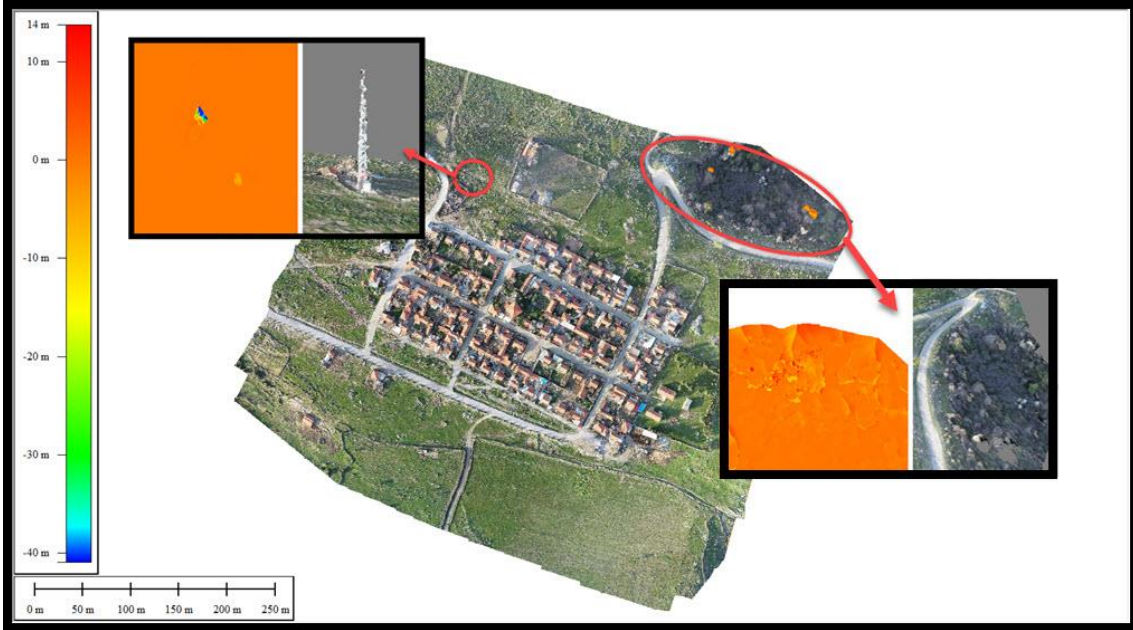


Şekil 5.4 Kaşıkçı bölgesinde maksimum farkların gözlemlendiği yerler.

Şekil 5.5’ da Tiyelti bölgesine ait SYM’ lerin farklarından oluşan fark görüntüsü görülmektedir. Burada da turuncu renk tonuna sahip pikseller farkların düşük olduğunu yeşil ve kırmızı pikseller ise farkın yüksek olduğunu belirtmektedir. Bu bölgede ağaçlık alanda yaklaşık 10 metre ve verici direğinin bulunduğu yerde 40 metreye varan farklılık görülmüştür (Şekil 5.6).



Şekil 5.5 Tiyelti bölgesine ait fark görüntüsü.



Şekil 5.6 Tiyelti bölgesinde maksimum farkların gözlemlendiği yerler.

Bu farkların bulunduğu alanlar incelendiğinde, bölgede ağaçlar, gölet ve verici direğinin olduğu, bu detayların Pix4D Mapper Pro yazılımı ile elde edilen SYM’ de bulunduğu ancak Agisoft Photoscan yazılımı ile elde edilen SYM’ de tespit edilemediği anlaşılmıştır.

6. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada, farklı arazi yapısı ve özelliklerine sahip üç bölgede İHA ile elde edilen hava fotoğrafları iki farklı yazılımda değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucu elde edilen nokta bulutu ve sayısal yüzey modelleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda üretilen ürünler arasında farklılıklar olduğu görülmüştür. Bu farklılıkların yazılımların özelliklerinden ve yeteneklerinden kaynaklandığı görülmüştür. Bu durum her bir yazılımın kullandığı algoritmadaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Her iki yazılımda da aynı koşullarda veriler işlenmiş fakat elde edilen ürünlerin kalitelerinde farklılıklar görülmektedir. Bu farklılıkların daha çok arazi yüzeyindeki farklı yükseklikteki ve özellikteki bina, ağaç, gölet ve baz istasyonu gibi objelerden kaynaklandığı belirlenmiştir. Yazılımların görüntü eşleme işlemleri için kullandığı algoritmaların farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kullanılan hava fotoğraflarının bindirme oranları yoğun eşleme için yeterli olmakla beraber, SYM' ler Pix4D Mapper Pro ve Agisoft Photoscan yazılımları ile üretilmiştir. Yapılan kıyaslamaların amacı elde edilen SYM' lerin birbirleri ile ne kadar uyumlu olduğunu ve güvenilirliğini belirlemektir.

Elde edilen sonuçlar her iki yazılımın ürettiği SYM' ler arasındaki farkın yaklaşık ± 15 cm civarında olduğunu göstermektedir. Pix4D Mapper Pro verici direği, gölet gibi detayların tespitinde ve arazi üzerindeki insan yapılarının tespitinde daha iyi sonuçlar vermiştir. Özellikle düz ve açık alanlarda her iki yazılımın ürettiği SYM arasındaki yaklaşık fark ± 10 cm civarına inmektedir.

Daha yüksek bindirme oranlarına sahip hava fotoğraflarının kullanılması ile daha tutarlı bir geometri ve daha fazla ölçü imkanı sağlanacağından nokta yoğunluğunun artacağı farkların daha da azalacağı beklenmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Arslanoğlu, M., Özçelik M., (2005). Sayısal Arazi Yükseklik Verilerinin İyileştirilmesi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Avşar, E., (2006). Tarihi köprülerin Sayısal Fotogrametri Tekniği Yardımıyla Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aydar, U., (2007). Cephe Değerlendirmelerinde Fotogrametrik ve Görselleştirme Yöntemlerinin Kıyaslanması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Blyenburgh, V. P., (1999). UAVs: and Overview, *Air & Space Europe*, **1**: 43-47.
- Jaud, M., Grasso, F., Le Dantec,, N., Verney R, Delacourt, C., Ammann, J., Deloffre, J. and Grandjean, P., (2016). Potential of UAVs for monitoring mudflat morphodynamics (Application to the Seine Estuary, France). *ISPRS International Journal of Geo-Information*. **5**: 50.
- Javernick, L., Brasington, J. and Caruso, B., (2014). Modeling the topography of shallow braided rivers using Structure-from-Motion photogrammetry. *Geomorphology*, **213**: 166–182.
- Kraus, K., Waldhausl, P. and Stewardson, P., 1993. Photogrammetry, Volume 1 Fundamentals and Standard Processes, Dümmler Verlag, Bonn.
- Krüll, W., Tobera, R., Willms, I., Essen, H. and Wahl, N., 2012. Early Forest Fire Detection and Verification using Optical Smoke, Gas and Microwave Sensors, *Procedia Engineering*, **45**: 584-594.
- Li, C., Zhang, G., Lei, T. and Gong, A., 2011. Quick image-processing method of UAV without control points data in earthquake disaster area, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, **21**: 523-528.

- Lucieer, A., Turner, D., King, D. and Robinson, S., (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.
- Mozas-Calvache, A.T., Perez-Garcia, J.L., Cardenal-Escarcena, F.J., Mata-Castro, E. and Delgado-Garcia, J., 2012. Method for photogrammetric surveying of archaeological sites with light aerial platforms, *Journal Of Archaeological Science*, **39**: 521-530.
- Niethammer, U., James, M.R., Rothmund, S., Travelletti, J. and Joswig, M., 2012. UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results, *Engineering Geology*, **128**: 2-11.
- Özcan, O., (2017). İnsansız Hava Aracı (İHA) ile Farklı Yüksekliklerden Üretilen Sayısal Yüzey Modellerinin (SYM) Doğruluk Analizi, *Mühendislik ve Yer Bilimleri Dergisi*, **1**: 1-7.
- Öztürk, O., Bilgilioglu, B.B., Çelik, M.F., Bilgilioglu, S.S. ve Uluğ, R., 2017, İnsansız Hava Aracı (İha) Görüntüleri ile Ortofoto Üretiminde Yükseklik ve Kamera Açısının Doğruluğa Etkisinin Araştırılması, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği IX. Teknik Sempozyumu, TUFUAB2017, Afyonkarahisar.
- Sidek, F., Ahmad, A., (2008). Development of Mapping Procedures Using Digital Imagery Derived from Unmanned Aerial Vehicle System. 7th International Symposium & Exhibition on Geoinformation, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Snively, N., Seitz, S.M. and Szeliski, R., (2007). Modeling the world from internet photo collections. *International Journal of Computer Vision*, **80**: 189–210.
- Stagakis, S., Gonzalez-Dugo, V., Cid, P., Guillen M.L. and Zarco-Tejeda, P.J., 2012. Monitoring water stress and fruit quality in an orange orchard under regulated deficit irrigation using narrow-band structural and physiological remote sensing indices, *Isprs Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing*, **71**: 47-61.
- Türk, T., (2013). Doğal Afet Yönetimi'nde İnsansız Hava Araçları'nın (İHA) Kullanılması, TUFUAB 2013 Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu, Trabzon.

Yetişen, H., (2007). Hava Fotogrametrisi Kullanılarak Tasman Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Yıldız, F., (2010). Dijital (Sayısal) Fotogrametri Teknolojisi (Powerpoint sunum), Cebit Biliřim Zirvesi, İstanbul.

İnternet Kaynakları

1)

https://www.google.com/search?biw=1920&bih=888&tbm=isch&sa=1&ei=2_jNXI3iMIThxgPcnKbYAg&q=iha+fotogrametri&oq=iha+fotogrametri&gs_l=img.3..0i24l2.102160.104816.105056...0.0..0.845.945.0j1j61.....1....1..gswizimg.....35i39j0i67j0.wk3kezDHfm8#imgsrc=Rkz8wdTvEW9-DM:, 08.05.2019

2)

https://www.google.com/search?biw=1920&bih=888&tbm=isch&sa=1&ei=2_jNXI3iMIThxgPcnKbYAg&q=iha+fotogrametri&oq=iha+fotogrametri&gs_l=img.3..0i24l2.102160.104816..105056...0.0..0.845.945.0j1j61.....1....1..gswizimg.....35i39j0i67j0.wk3kezDHfm8#imgsrc=Rkz8wdTvEW9-DM:, 08.05.2019

3)

https://www.google.com/search?biw=1920&bih=888&tbm=isch&sa=1&ei=2_jNXI3iMIThxgPcnKbYAg&q=iha+fotogrametri&oq=iha+fotogrametri&gs_l=img.3..0i24l2.102160.104816..105056...0.0..0.845.945.0j1j61.....1....1..gswizimg.....35i39j0i67j0.wk3kezDHfm8#imgsrc=VCqH_I9XkXLM8M:, 08.05.2019

4)

https://www.google.com/search?biw=1920&bih=888&tbm=isch&sa=1&ei=2_jNXI3iMIThxgPcnKbYAg&q=iha+fotogrametri&oq=iha+fotogrametri&gs_l=img.3..0i24l2.102160.104816..105056...0.0..0.845.945.0j1j61.....1....1..gws-wiz-img.....35i39j0i67j0.wk3kezDHfm8#imgsrc=OnS8F8DcHpZZKM:, 08.05.2019

5)

<https://www.google.com/search?q=iha&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKE>

wis8mS3oLiAhXEbFAKHbagB5IQ_AUIDygC&biw=1920&bih=937#imgsrc=VWjY3r
NcdDVL3M:, 08.05.2019

6)

https://www.google.com/search?q=iha&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwis8mS3oLiAhXEbFAKHbagB5IQ_AUIDygC&biw=1920&bih=937#imgsrc=g9trQ7bf8d-umM:, 08.05.2019

7) http://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle, 08.05.2019



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sercan KELEK
Doğum Yeri ve Tarihi : ÇORUM 20.10.1992
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0555 465 82 19 / sercankelekk@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Ahmet Adnan Saygun Lisesi, (2006-2010)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Harita Mühendisliği
Bölümü, (2013-2016)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri
Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı,
(2016-2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Çözen Harita Mühendislik, (2016-2017)
Kocatepe Harita Mühendislik, (2017-2018)
İzmir Büyükşehir Belediyesi, (2018-Devam
ediyor.)