

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İÇİN TEST ALANI TESİSİ VE
DONANIMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

DOĞAN ÖZER
YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
JEODEZİ VE COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİ PROGRAMI

GEBZE
2022

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İÇİN TEST
ALANI TESİSİ VE DONANIMLARININ
KARŞILAŞTIRILMASI

DOĞAN ÖZER
YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
JEODEZİ VE COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİ PROGRAMI

DANIŞMANI
DOÇ. DR. CUMHUR ŞAHİN

GEBZE
2022

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**COMPARISON OF TEST FIELD FACILITY
AND EQUIPMENT FOR UNMANNED
AERIAL VEHICLES**

DOĞAN ÖZER
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**
**DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING
GEODESY AND GEOGRAPHIC INFORMATION TECHNOLOGIES**

THESIS SUPERVISOR
DOÇ. DR. CUMHUR ŞAHİN

GEBZE
2022



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 30/06/2022 tarih ve 2022/33 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 12/10/2022 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Doğan ÖZER'in tez çalışması Harita Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç Dr. Cumhuri ŞAHİN

ÜYE

: Doç Dr. Bahadır ERGÜN

ÜYE

: Prof. Dr. Himmet KARAMAN

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

ÖZET

Mühendislik çalışmalarında ulaşılmak istenen doğruluk, maliyet ve yapılacak işin süresi çok önemli bir yere sahiptir. Gelişen teknolojiyle birlikte projelerin kısa zamanda, düşük maliyette ve yüksek hassasiyette yapılması beklenmektedir. Günümüzde, GNSS sistemleri gibi yersel yöntemler ile rahatlıkla hassas ölçüler yapılması mümkündür. Fakat geniş alana sahip çalışma bölgelerinde GNSS/GPS kullanımı çok fazla yersel ölçüye ve yüksek maliyete neden olmaktadır. Günümüzde İnsansız Hava Araçları (İHA) konuma dayalı verilerin doğru ve hassas bir şekilde elde edilmesinde önemli bir veri kaynağı olarak görülmektedir. Ancak GPS ölçülerinin doğruluğu İHA'lerden daha fazladır. Bu tez çalışmasının amacı, Gebze Teknik Üniversitesi Kampüsü'nün bir bölümünün İHA'lar yardımıyla hâlihazır haritalarının çıkartılması ve GPS ölçümleri ile doğruluklarının karşılaştırılmasıdır. Bu karşılaştırma için üniversite kampüsünde çalışma alanını sınırları içerisinde toplam 77 adet nokta tesis edilmiştir. Bu noktaların bir kısmı Yer Kontrol Noktası (YKN) bir kısmı ise karşılaştırma için Denetleme Noktası (DN) olarak kullanılmıştır. Tesis edilen bu noktaların koordinatları GPS ile iki ayrı zaman diliminde ölçülmüştür. Yapılan arazi ve büro işlemlerinin ardından kullanılan İHA'lar ile GPS ölçümleri arasında 2-4 cm aralığında fark bulunmuştur. Buna göre özellikle geniş alana sahip çalışma bölgelerinde İHA kullanımının hızlı ve ekonomik olması nedeniyle daha avantajlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İnsansız Hava Aracı (İHA). Fotogrametri. Kontrol Noktası. Ortofoto.

SUMMARY

In engineering projects, the accuracy, cost and time to be achieved have a very important place. With the developing technology, it is expected that the projects will be done in a short time, at low cost and with high precision. Nowadays, it is possible to make precise measurements easily with terrestrial survey methods such as GNSS systems. However, the use of GNSS/GPS in large working areas causes too many ground-based measurements and high costs. Today, Unmanned Aerial Vehicles (UAV) are seen as an important data collector in obtaining location-based data accurately and precisely. The aim of this thesis study is to ortophoto maps a part of Gebze Technical University Campus with the help of UAVs and to compare the accuracy of the marked points on the maps with GPS measurements. For this comparison, a total of 77 points were established within the boundaries of the study area on the university campus. Some of these points were used as Ground Control Point (GCP) and some as Inspection Point (DN) for comparison. The coordinates of these established points were measured by GPS in two different time zones. After the field and office operations, there was a difference of 2-4 cm between the UAVs used and the GPS measurements. According to these acceptable accuracy values, it has been concluded that the use of UAVs is more advantageous, especially in working areas with large areas, because it is fast and economical.

Key words: Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Photogrammetry. Control Point. Orthophoto.

TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu çalışmanın oluşmasının yolunu açan danışmanım Doç. Dr. Cumhur Şahin'e,

Çalışmalarım boyunca kullanılan bazı ekipmanlarını benimle paylaşan ve kullanmış olduğum verilerin elde edilmesinde katkıda bulunan Dr. Anıl ŞAHİN'e

Bütün çalışmam boyunca beni üzmemiş bilgisayarda çalışmama izin veren ve geceleri çok güzel uyuyan canım kızım Aslı ÖZER'e,

ve göstermiş olduğu desteklerinden dolayı sevgili eşim Munise Duran ÖZER'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE YERİ	2
3. FOTOGRAMETRİ VE İHA FOTOGRAMETRİSİ	4
3.1 Fotogrametri	4
3.1.1 Fotogrametri Tanımı ve Tarihçesi	4
3.1.2. Hava Fotogrametrisi	7
3.2 İnsansız Hava Araçları	10
3.2.1 İnsansız Hava Araçlarının Tanımı ve Tarihçesi	10
3.2.2 İnsansız Hava Araçlarının Sivil Amaçlı Kullanım Alanları	12
4. UYGULAMA	14
4.1. Kullanılan Ekipmanlar	15
4.1.1 Gnss Alıcısı (GPS)	16
4.1.2 İHA'lar	17
4.1.2.1 DJI Phantom 4 RTK	17
4.1.2.2 DJI İmpire 1 V2	18
4.1.3 Process İçin Kullanılacak Programlar	18
4.2 Uygulama Süreci ve Elde Edilen Veriler	19
4.2.1 Agisoft Metashape Yazılımı ile Elde Edilen Veriler	21
4.2.2 Pix4d Mapper Yazılımı ile Elde Edilen Veriler	31
4.2.3 3D Survey Yazılımı ile Elde Edilen Veriler	39
5. SONUÇLAR VE YORUMLAR	47

KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ	51
EKLER	52

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>		<u>Açıklamalar</u>
<u>Kısaltmalar</u>		
Cm	:	Santimetre
DN	:	Denetleme Noktası
DOM	:	Dilim Orta Meridyeni
GPS	:	Global Positioning System (Küresel Konumlandırma Sistemi)
GTU	:	Gebze teknik Üniversitesi
ITRF	:	International Terrestrial Reference Frame
İHA	:	İnsansız Hava Aracı
n	:	Ölçü Sayısı
RGB	:	Red Green Blue
RMSE	:	Root Mean Square Error (Kök Ortalama Karesel Hata)
RTK	:	Real Time Kinematik (Gerçek Zamanlı Kinematik)
SAM	:	Sayısal Arazi Modeli
SYM	:	Sayısal Yükseklik Modeli
YKN	:	Yer Kontrol Noktası
ΣVV	:	Herhangi Bir Düzlemdeki Toplam Hata Oranı

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 : Siyah-Beyaz Hava Fotoğrafi Örneği	8
3.2 : Renkli Hava Fotoğrafi Örneği	9
3.3 : Kızılötesi Hava Fotoğrafi Örneği	9
3.4 : Sabit Kanatlı ve Döner Kanatlı Hava Araçları	12
4.1 : Gebze Teknik Üniversitesi Çalışma Alanı.	14
4.2 : YKN noktaları ve Denetleme Noktaları Dağılımı.	15
4.3 : Çatılara tesis edilen stikerlar ve zemine tesis edilmede kullanılan şablon.	15
4.4 : Boya ve kireç ile yapılan YKN çalışması.	16
4.5 : CHC X91.	17
4.6 : DJI Phantom 4 RTK.	17
4.7 : DJI İnspire 1 V2.	18
4.8 : Agisoft Metashape fotoğraf ekleme bölümü.	21
4.9 : Agisoft Metashape Process öncesi ayar bölümü.	22
4.10: Agisoft Metashape kamera ayarları.	22
4.11: Agisoft Metashape fotoğrafları birleştirme ayarı.	23
4.12: Agisoft Metashape Tie Point görünümü.	23
4.13: Agisoft Metashape YKN editörü ve görünümü.	24
4.14: Agisoft Metashape YKN'lere göre düzenleme.	25
4.15: Agisoft Metashape nokta bulutu görünümü.	25
4.16: Agisoft Metashape 3d mesh görünümü.	26
4.17: Agisoft Metashape DEM görünümü.	27
4.18: Agisoft Metashape Ortofoto görünümü.	27
4.19: Pix4D Mapper açılış sayfası.	31
4.20: Pix4D Mapper eklenen resimler ve işlenmesi.	32
4.21: Pix4D Mapper çıktı koordinat penceresi	33
4.22: Pix4D Mapper şablon seçimi.	34
4.23: Pix4D Mapper YKN noktaları.	35
4.24: Pix4D Mapper YKN koordinatlandırma.	35
4.25: 3D Survey açılış penceresi.	39

4.26: 3D Survey uçuş data yükleme penceresi.	39
4.27: 3D Survey kamera konumları.	40
4.28: 3D Survey bağlama noktaları ve YKN'ler.	40
4.29: 3D Survey YKN ve denetleme noktalarının seçilmesi.	41
4.30: 3D Survey YKN koordinatlandırma.	42
4.31: SYM ve SAM üretimi.	43
4.32: 3D Survey ile hazırlanan ortofoto.	43

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
3.1: Fotogrametrinin Avantaj ve Dezavantajları	6
3.2: İHA'ların Tarihçesi	10
3.3: Türkiye Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü İHA sınıflandırması	13
3.4: Çeşitli İHA türlerinin menzil, dayanıklılık, hava koşullarına bağımlılık ve manevra kabiliyetleri bakımından karşılaştırılması.	13
4.1: YKN nokta koordinatları.	20
4.2: Agisoft Metashape karesel ortama hataları.	30
4.3: Agisoft Metashape karesel ortama hataları.	30
4.4: Pix4d Mapper Karesel ortalama hataları.	38
4.5: Pix4d Mapper Karesel ortalama hataları.	38
4.6: 3d Survey karesel ortalama hata	46
4.7: 3d Survey karesel ortalama hata	46
4.8: AgisoftMeta/Pix4 D/3d Survey yazılımları karesel ortalama hatalar	47
4.9: Drone'ların Uçuş Süreleri-Resim Adetleri ve Batarya Sayısı	47
4.10: 80 m Yükseklikteki Verinin Process Süresi	48
4.11: 40 m Yükseklikteki Verinin Process Süresi	48

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte yersel ölçümler yerini hava fotogrametrisine bırakmıştır. Hava fotogrametrisi, belirli bir yükseklikten hava araçları yardımıyla elde edilen fotoğrafları kullanan fotogrametri tekniği olup, harita üretiminde yaygın bir olarak kullanılmaktadır. Geniş alanların haritalarının üretilmesinde İHA kullanımı, ekonomi ve zaman açısından GPS sistemlerine göre daha avantajlıdır. Gelişmiş insanlı hava sistemleri yüksek maliyette olması ve hazırlanacak olan uygulamalarının yapılabilmesi için alınması gereken uçuş izinlerinin çok uğraş verici olmasından dolayı kullanıcılar İnsansız Hava Araçlarına (İHA'lara) yönelmiştir. İHA'lar başlangıçta askeri amaçlı kullanılmaktaydı ve sivil kullanıcılar tarafından temin edilmesi zordu. Ancak azalan donanım maliyetleri ve uçuş izinlerinin kolay alınabilmesi ile beraber insansız hava araçları (İHA) son yıllarda popülaritesini arttırmıştır.

İnsansız Hava Araçları (İHA) uzaktan kumanda sistemiyle manuel şekilde hareket ettirilebilir veya planlanmış bir uçuş ile otomatik tekniklerde uçabilmektedir. İçerisinde bir pilota ihtiyaç duymaz. Klasik uçağa bağlı hava fotogrametrisi yapan taşıtlardan çok daha ufak ve taşınabiliridir.

Hava Fotogrametrisi'nde Yer Kontrol Noktaları (YKN) önemli yer tutmaktadır. YKN koordinatları yersel ölçümler ile elde edilmektedir. YKN'lerin sayısı ve geometrik dağılımı konum doğruluğunu doğrudan etkilemektedir.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Bu çalışmada Gebze Teknik Üniversitesi'nin bir bölümünün hâlihazır haritası DJI Phantom 4 RTK ve DJI INSPIRE 1 V2 olarak iki İHA ile çıkartılmıştır. İHA'lardan elde edilen hâlihazır harita verisindeki Denetleme Noktalarının (DN) koordinatları ile aynı noktaların yapılan iki ayrı GPS ölçüsü ile elde edilen koordinatlarının ortalaması ile konum doğruluğu karşılaştırması yapılmıştır. Georeferanslandırma için 10 adet Yer Kontrol Noktası (YKN) ve konum doğruluğu karşılaştırması için ise 67 adet Denetleme Noktası (DN) olmak üzere çalışma alanı içerisine toplam 77 adet nokta tesis edilmiştir. Bunların bir kısmı zemine bir kısmı çalışma alanı içerisindeki binaların çatısına tesis edilmiştir. Tesis edilen bu noktalar

CHC X91 GPS cihazı ile 3 derece 30 DOM (Dilim Orta Meridyeni)'nde ITRF sisteminde 19.10.2019 tarih saat 10:00 ve 21.10.2019 tarih saat 16:00 olmak üzere iki ayrı zaman diliminde ölçülmüştür.

DJİ Phantom 4 RTK Drone gerçek zamanlı kinematik ölçüm almaktadır. Yani aslında yer kontrol noktalarına ihtiyaç duymazlar. Kendi içerisinde GPS alıcıları bulunduğu için aynı GPS gibi uydulardan doğrulamayı alarak koordinatlı resimler çekmektedir. Inspire 1V2 üzerindeki Gimble 4K / 12 MP özelliğindedir. El ünitesine ekstra tablet veya cep telefonu takılması gerekmektedir. 2000 m. gibi oldukça iyi bir uçuş mesafesine sahip 500 m. yükseğe kadar çıkabilmektedir. Hâlihazırda çıkartılacak alan 40 ve 80 metre yükseklikte %80 boyuna, %70 enine bindirme oranıyla çekilmiştir. Çekilen resimlerin çalışma alanının Agisof, Pix4d ve 3D Survey yazılımları ile proses'i yapıp ortofotosu ve Sayısal Yükseklik Modeli oluşturulmuştur. GPS ile ölçülen yer kontrol noktaları da bu ortofotoya ve SYM'ye atılıp konumsal doğruluğu kontrol edilmiştir.

Tezin ilk bölümü giriş bölümü olup tezin amaç ve kapsamı açıklanmıştır. İkinci bölümde kısa literatür özeti verilmiştir. Üçüncü bölümde fotogrametrinin ve insansız hava araçlarının tarihçesi, temel kavramları, sınıflandırılması konusunda bilgi verilmiştir. Dördüncü bölüm uygulamaya yöneliktir. İki farklı İHA kullanarak iki farklı farklı uçuş yüksekliğinde uçuş yapılarak resimler elde edilmiştir. Bu resimleri kullanarak üç farklı yazılım ile ortofoto elde edilmiştir. Elde edilen ortofotoların doğruluk analizleri yapılmıştır. Son bölümde ise çalışma sonunda elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş, bazı çıkarsamalar yapıp önerilerde bulunulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE YERİ

Çalışma konumuz ile ilgili daha önce yapılan bazı çalışmaları sıralayacak olursak;

[1]'de coğrafi bilgi sistemlerinin ve fotogrametri ayrılmaz bir bütün olduğu vurgulanmıştır. Bu bütünlüğün teknoloji ile beraber tamamlanmasının 3 boyutlu şehir modelleri olduğunu ifade ederek 3 boyutlu şehir modellerinin görselleştirilmesini sağlayan; modelleme, kaplama ve animasyon tekniklerini kullanımları ile beraber açıklamıştır.

[2]'de belirlenen alana ait fotogrametride kullanılan yakın tarihli analog kamera ve sayısal kamera ile çekimleri yapılan fotoğraf görüntüleri üzerinden bu kameraların geometrik potansiyelleri üzerinde çalışılmıştır. Görüntüler üzerine tesis edilen YKN işlenmiştir, dengeleme işlemleri fotogrametri değerlendirme yazılımı Inpho Match-AT ile gerçekleştirilmiştir. Farklı kamera özellikleri ve YKN ile yapılan testler sonucunda hem dijital kamera hem de analog kamera ile elde edilen ürünün yönetmeliklere uygun olarak elde edildiği lakin bütün kombinasyonlar da sayısal (dijital) kamerada daha hassas veriler üretilebildiği sonucuna varılmıştır.

[3]'de eğik görüntülerin yöneltmesinde küçük açı hatalarının düşey görüntülere göre daha büyük bir etkiye sahip olduğu vurgulanmıştır. En uygun yaklaşımın, havai nirengi kullanılarak hassas yöneltmelerin yapılması gerektiği belirtilerek farklı yaklaşımları tartışarak en umut verici yaklaşım için sonuç sunulmuştur.

[4]'te metrik kameralar ile elde edilen sayısal görüntüler ile dijital hava kameralarından elde edilen yüksek çözünürlüklü görüntüler karşılaştırılmıştır. Bu çalışmalarda dijital hava kameraları ile elde edilen yüksek çözünürlüklü görüntülerin belirtilen algoritma ile yorumlanması ile üretilen verilerin, sayısal hava kameraları ile elde edilen fotoğraf çiftlerinde eş değer nokta çıkarımında daha başarılı sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

[5]'te İHA'ların farklı mühendislik alanlarındaki uygulamaları üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Beş farklı uygulamada yapılan çalışmalar sonucunda İHA'nın kullanılabilirliği ve sonuç ürünleri açısından değerlendirilebilirliği karşılaştırılmıştır. Birinci uygulamada mühendislik projelerinde kullanılmak üzere hali hazır haritaların yapımında doğruluk analizleri irdelenmiştir. İkinci uygulamada bir alanın hacim hesabı yapılarak doğruluk analizi yapılmıştır. Üçüncü ve dördüncü uygulamalarda

arkeolojik çalışmalar ve kültürel mirasın belgelenmesi açısından doğruluk analizleri yapılmıştır. Beşinci uygulamada ise İHA' dan elde edilmiş görüntülerden fotogrametrik değerleme programları yardımı ile üretilen ortofotonun doğruluk analizi yapılmıştır. Bu uygulamalar sonucunda İHA'nın Büyük lekli Harita ve Harita Bilgileri retim Yönetmeliğinde belirtilen hassasiyet ve doğrulukta veriler üretilmiştir.

[6]'da insansız hava aracı ile yapılan fotogrametrik çalışmalar sonucu elde edilen ortofoto ile yapılan değerleme sonucunda, kazı-dolgu ve kbaj hesaplarında, arazi ve saha çalışmalarının izlenmesi ve doğruluğunun mühendislik projelerinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışma sonucunda üretilen ortofoto, sayısal yüzey modeli (SYM), SAM 5 santimetre znrlğindedir. Sonuç rnleri üzerinde kbaj hesabı çıkarımı, en kesit-boy kesit alımı ve analizi ile maliyet, zaman ve doğruluk açısından değerlendirerek mühendislik projelerinde kullanılabileceği gösterilmiştir.

[7]'de İHA ile bir karayolu üzerinde yaptığı çalışmada, %85 enine, %65 boyuna bindirmeli 140 metre uçuş gerçekleştirmiştir. Bu uçuş sonrasında sayısal yüzey modeli ve ortofoto harita üretmeyi amaçlamıştır. Çalışma alanına CORS-RTK yöntemi ile 7 adet yer kontrol noktası tesis edilmiştir. Karayolu üzerinde yapılan jeodezik çalışmalar sonucunda yersel ölçümler ile karşılaştırması yapılmıştır. Sonuçta meknsal alanlarda 4.9 cm, toprak zeminde 7.32 cm ve sert zeminde 3.96 cm yatay doğruluk elde edilmiştir. Ortofoto, sayısal yüzey modeli üretimini düz arazi yapılarında ve bitki örtüsünün yoğun olmadığı yerlerde kullanılabileceği belirtilmiştir.

[8]'de yapılan çalışma kapsamında Haç Kilisesi, Seramik Atölyesi ve Başpınar Sarnıcı yapılarının yersel lazer tarama teknolojisi ve insansız hava aracı platformu kullanarak elde edilen verileri farklı yazılımlarda değerlendirilerek üç boyutlu modeller ve diğer fotogrametrik veriler üretilmiştir.

3. FOTOGRAMETRİ VE İHA FOTOGRAMETRİSİ

3.1. Fotogrametri

3.1.1. Fotogrametri Tanımı ve Tarihçesi

Fotogrametri ışık anlamındaki Photos ile çizim anlamına gelen Gramma ve ölçüm anlamındaki Metron sözcüklerinin birleşmesi sonucu Yunanca'dan Türkçe'ye geçmiştir. Modern optiğin kurucusu olarak bilinen Alhazen (İbn-i Heysem) karanlık oda prensiplerini açıklayıp fotogrametrinin optik temellerini 1038 yılında atmıştır. Optik izdüşüm fikrini Leonardo da Vinci ortaya atmıştır. Albert Dürer ise bu fikri geliştirip perspektif izdüşümü bulmuştur [9]. Girard Desargues 1625'te izdüşümsel geometriyi keşfetmiştir. Johan Heinrich Lambert ise 1759'da perspektif görüntünün matematiksel ilkelerini geliştirmiştir. Guido Hauck ile R. Sturms, 1883 yılında fotogrametrinin izdüşümsel geometri ile olan ilişkisini ortaya koymuştur [10].

Fotogrametri, cismin bir veya birkaç resminden yararlanarak uzaydaki şeklini, boyutlarını ve konumunu incelikli bir şekilde belirlemeyi amaç edinmiş bir bilim dalıdır. Resimler üzerinde yapılan ölçmeleri kullanan bu tekniğin genel yararı cismin ayrıntılı olarak tam bir görünümünü vermesidir. Resim ölçmesi, geniş kapsamlı olarak aslına uygun merkezi perspektiflerin oluşturulmasına ait optik teknik yöntem olan fotoğrafcılığın ortaya çıkması ile pratikleşmiştir. Fotogrametrik yöntemler, diğer yöntemlerin kullanılmadığı alanlarda kolaylıkla uygulanabilmektedir [11].

İlk başta yerden resim çekilerek yapılmaya çalışılan fotogrametri, bazı alanlarda topoğrafik alım yönünden başarısızlığa uğramıştır. Daha sonra daha geniş alan tarayacağı ve yeryüzünün çoğu detaylarını alabileceği düşüncesiyle havadan çekim yapılmıştır. Hava fotogrametrisinin çok daha başarılı sonuçlar verildiği görülünce fotogrametri konusu gelişmeye başlamıştır.

Fotogrametri ölçülecek olan yüzeyin yakınlığına ya da uzak oluşuna, kullanılan kameranın özelliklerine, işin neden yapıldığına yani edinilecek bilginin türüne ve amaçlarına göre sınıflandırılmaktadır. Bunları topoğrafik ya da topoğrafik olmayan fotogrametri, kadastro fotogrametrisi, mühendislik fotogrametrisi gibi çeşitli sınıflara ayrılmaktadır.

Fotogrametri tekniğinde yapılan ölçme ve gözlemler gerçek cisimler yerine bunların üç boyutlu modeli üzerinde yapıldığından dolayı bir ölçme tekniği olarak da

sınıflandırılabilir. Bu tekniğin olumlu ve olumsuz yönlerinin belirtildiği genel bir değerlendirmesi Tablo 3.1'de yer almaktadır. [12].

Tablo 3.1. Fotogrametrinin Avantaj ve Dezavantajları

Olumlu Yönleri	Olumsuz Yönleri
<p>1.Bilgiler fotoğraf veya tarama yöntemi ile alındığından modellenen cisim/yüzey üzerinde herhangi bir etkisi bulunmamaktadır.</p> <p>2.Bu teknikle herhangi bir sebepten dolayı (askeri yasaklamalar, sağlık riski bulunan radyasyonlu alanlar gibi) yakınına gidilemeyen yerlerin, cisimlerin modellemeleri de yapılabilmektedir.</p> <p>3.Toplanan bilgiler arşiv niteliğindedir. Üzerinden istenildiği kadar yeniden değerlendirme yapılabilir.</p> <p>4.Diğer yöntemlere göre bilgi toplama süresi (görel olarak) daha kısadır.</p> <p>5.Veriler toplanan yerin, materyalin zamansal olarak değişimi de bu yöntemle gözlemlenebilir.</p> <p>6.Bu teknikle görünür ışıkla elde edilemeyen (kızılötesi, morötesi, termal) veriler de toplanabilir</p>	<p>1.Özellikle havadan yapılan ölçümlerde maliyet oldukça yükselebilmektedir.</p> <p>2.Diğer yöntemlerde de görülebilen olumsuz hava koşullarından etkilenmektedir.</p> <p>3.Büro çalışması sırasında daha güçlü teknolojik donanım gerektirmektedir.</p> <p>4.Değerlendirme için teknik personel gerektirmektedir.</p>

Ülkemizde fotogrametri tekniğinin kronolojik sıralaması ise aşağıdaki gibi olmuştur.

- **1925:** Harita Umum Müdürlüğü kuruldu.
- **1926:** Kayseri Uçak Fabrikası kuruldu.

- **1927:** Ankara'nın ilk hava fotoğrafları 1927 yılında 5 ve 7 km. uçuş yüksekliklerinden çekilmiştir. Ankara'nın 1/2.000 ölçekli haritaları yapılmıştır.
- **1928:** Türkiye, Kısa adı (ISP) olan Uluslararası Fotogrametri Kongresine ilk kez katıldı.
- **1937:** Hava fotogrametrisi tekniği 1/25.000'lik haritaların yapımında kullanılmaya başlandı.
- **1945:** Hava fotogrametrisi tekniği ile 1/5.000 ölçekli Standart Topografik Kadastral (STK) haritaları yapılmaya başlandı.
- **1969:** Fotogrametrik Nirengi yöntemi geliştirildi.
- **1983:** Analitik yöntemle ortafoto harita üretimine geçildi.

Bu kronolojik sıraya ek olarak; Ülkemizde Mehmet Şevki Paşa haritacılığın kurucusu, Ömer Kadri Koray ise fotogrametrinin geliştiricisi olarak bilinir. Fotogrametri tekniği; Harita Umum Müdürlüğü (Yakın geçmişteki adıyla Harita Genel Komutanlığı) HGK ve şimdiki adıyla Harita Genel Müdürlüğü (HGM) tarafından hazırlanan 1/25.000 ölçekli haritaların yapımında (yersel resimlerden de yararlanarak) kullanılmaya başlanmıştır. Türkiye'nin hava fotogrametrisi ile yapılan, 5557 paftadan oluşan 1/25.000 ölçekli haritası 1968 yılında tamamlanmıştır. Türkiyede haritalama ve fotogrametrik ölçümler ile veri toplama/bulundurma yetkisi kanunlar ile belirlenmiş ve bu görev Harita Genel Komutanlığı (HGK) şimdiki adıyla Harita Genel Müdürlüğü (HGM) ile Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü'ne (TKGM) verilmiştir. Uluslararası Fotogrametri Topluluğu (ISP) uzaktan algılama (Remote Sensing) alanındaki gelişmelere bağlı olarak ismini ISPRS olarak değiştirmiştir. [13].

3.1.2. Hava Fotogrametrisi

Hava fotogrametrisi; resim çekilen yerin konumuna göre hareket eden bir fotogrametridir. Uçak veya helikopter gibi araçlar kullanılarak yeryüzünden belirli bir yükseklikte kameralar yardımıyla çekilen fotoğrafların kullanılıp, sayısal ortamda işlenerek oluşturulan bir fotogrametri türüdür.

Fotoğrafın kullanılmasından sonra Guido Schreiber, yeryüzünün havadan görüntülenebileceği fikri üzerine çalışmalar yapmıştır. Jacques Mandé Daguerre, Dagerreyotipi ismini verdiği bir işlem ile ilk uygulanabilir fotoğrafı üretmiştir.

Hippolyte Bayard, 1839 yılında pozitif görüntüyü bulmuş; 1840 yılında ise François Jean Arago Dagerreyotipi kullanarak topografik harita üretiminde fotoğraftan yararlanmışır. 1844 yılında David Brewster'ın stereoskopu bulması ile ilk stereoskopik baskılar gerçekleşmiştir. 1855 yılında Nadar (Gaspard Felix Tournachon) 80 metre yükseklikten bir balondan ilk hava fotoğrafını çekmiştir [14].

C. B. Adams 1893 yılında bindirmeli fotoğraf çekme hipotezini oluşturarak balon ve uçurtma kullanarak çekilmiş stereo fotoğrafları kullanılabilmesi için Theodor Scheimpflug'un 1897 yılındaki "Optik-Mekanik Çakıştırma" çalışmasına öncü olmuş ve böylece optik izdüşüm stereo değerlendirme düşüncesi geliştirmiştir [15].

Haritalama maksadıyla hava fotoğrafını ilk kullanan insanın ise bir asker olan Yüzbaşı rütbeli Cesare Tardivo'nun olduğu düşünülmektedir. Tardivo, Viyana'daki uluslararası fotogrametri birliğinin toplantısında 1/4000 ölçekli İtalya'nın Bengasi kentinin mozaik görüntüsünü sunmuştur [16].

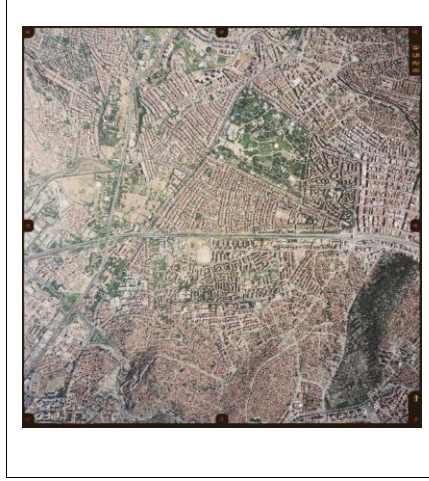
Birinci Dünya Savaşı ile hava fotoğrafları düşman bölgesinin ve askeri yerleşmelerin görülebilmesi amacıyla sistemli bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Oskar Messter 1915 yılında otomatik film kamerasını geliştirmiş daha sonra 1917 yılında Sherman Fairchild savaş sırasında kullanılabilmesi amacıyla ilk hava kamerasını geliştirmiştir. Böylece şeritsel fotoğrafların çekimi mümkün olmuştur [17].

Fotogrametriyi tarihsel gelişimine göre de Analog, Analitik ve Sayısal Fotogrametri olarak sınıflandırmak mümkündür.

Siyah-beyaz ve renkli hava fotoğrafları Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de görüldüğü gibi foto yorumlama (foto-interpretasyon) ve fotogrametrik harita üretiminde kullanılmaktadır. Renkli alınan hava fotoğrafları kullanıcıya, fotoğraftaki detayları daha kolay yorumlama ve tanımlama imkanı sağlar. Uygulayıcının isteğine göre renkli hava fotoğrafı alımı, siyah-beyaz olanlara göre daha pahalı olmasına rağmen, kazandıracağı yarar sonucunda daha büyük ekonomi sağlayabilir [18].

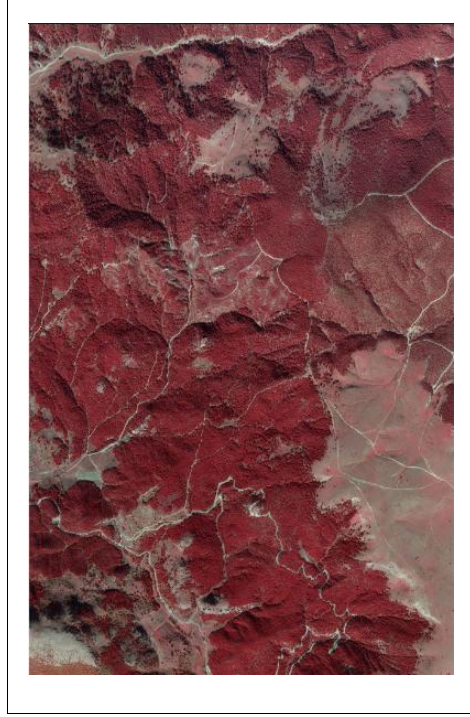


Şekil 3.1: Siyah-Beyaz Hava Fotoğrafi Örneği



Şekil 3.2: Renkli Hava Fotoğrafi Örneği

Kızılötesi çekilen hava fotoğrafları ise Şekil 3.3'te görüldüğü gibi tarımsal amaçlı uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu tür fotoğraflarda renk tonu farklılığı çok iyi olduğu için ağaç türlerinin ayırımı kolaylıkla yapılabilmektedir [19].



Şekil 3.3: Kızılötesi (infrared) hava fotoğrafı örneği

3.2. İnsansız Hava Araçları

3.2.1 İnsansız Hava Araçlarının Tanımı ve Tarihçesi

İHA, bir pilot tarafından otomatik veya elle kontrol edilebilen, uçuş planına bağlı ya da bağımsız olarak bir istasyondan hareket ettirilip kumanda edilen ölçüm aracıdır [20].

Günümüzde internet arama motorlarında ve günlük yaşam dilinde İHA ya da İngilizce ismiyle Unmanned Aerial Vehicle (UAV) olarak kullanılmasından çok erkek arı anlamına gelen Drone kelimesi kullanılmaktadır.

İnsansız hava araçlarının tarihi oldukça geçmişe dayanmaktadır. İHA'ların ilk kullanımları 19.yüzyılın ortalarında Avustralyalılar tarafından gerçekleştirilmiştir. 200 adet balonun içerisine bomba koyarak Venedik şehrine göndermiştir. Bu olay ilk İHA kullanımı olarak kabul edilmektedir. Bu 200 balonun bir kısmı istenilen hedefe giderek patlamış fakat bazıları rüzgârın hızı ve yönü yüzünden başka yerlerde patladığı da söylenmektedir.

İHA'ların tarihsel gelişimi Tablo 3.2'de özetlenmiştir [21].

Tablo 3.2: İHA'ların tarihçesi.

Yıl	İHA Gelişimi
1849	Avusturyalılar İtalya'nın Venedik şehrini bombalamak için balon kullanmışlardır. İlk İHA olarak kabul görmektedir.
1861	Balonlar ABD iç savaşında konfederasyon tarafından keşif görevi için kullanılmıştır.
1918	Günümüzde İHA öncüsü olarak kabul edilen Kettering Bug, 40 hp gücünde ve dört silindirli motor tarafından desteklenmektedir.
1931	İngiliz deniz donanması tarafından düz parçalardan geliştirilen Fairy Quenn ilk radyo kontrollü İHA'dır.
1959	ABD ordusu Vietnam savaşında gözetleme amaçlı Ryan Model 147 Lighting Bug'ı kullanmıştır.
1995	Azılı katil diye tabir edilen MQ-1 Predator isimli İHA 2000 yılında silahlandırılarak üretilmiştir.

İnsansız ilk uçak ise Amerika Birleşik Devleti tarafından tasarlanmıştır. 1917 yılında yapılan bu uçak ABD Silahlı Kuvvetleri'nin resmi uçağı olarak tanımlanmış fakat 1. Dünya Savaşı'nda kullanılmamıştır. Daha sonra İHA'lar daha da gelişerek 2. Dünya Savaşı'nda, Vietnam ve Afganistan Savaşları'nda kullanılmıştır.

İHA'lar, uzaktan kumanda sistemiyle manuel şekilde hareket ettirilebilir veya planlanmış bir uçuş ile otomatik tekniklerde uçabilmektedir. İçerisinde bir pilota ihtiyaç duymaz. İHA'lar, kullanım amaçlarına göre askeri ve sivil amaçlı olmak üzere sınıflandırılabilir. Askeri amaçlı kullanılan İHA'lar daha çok keşif, silah ve saldırı amaçlı kullanılmaktadır. Özellikle son zamanda gerçekleşen Barış Pınarı Harekâtı ve Azerbeycan Karabağ kuşatmasında yerli ve milli olarak üretilen BAYRAKTAR İHA kullanıldı ve bu İHA yarı aktif lazer arayıcı başlıklı mühimmatı ile 8 km uzaklıktaki hedefleri vurmuştur. Ayrıca F-16 uçaklarının hassas atış yapmasını sağladı. Askeri amaçlı olmasının yanında sivil amaçlı olarak kullanılması popülerliğini arttırmıştır. Sivil amaçlı daha çok hobi, bilimsel ve ticari amaçlı havadan görüntü alarak kullanılmaktadır.

19.yüzyılın başlarında başlayarak geliştirilen İnsansız Hava Araçları, sadece askeri amaçlı değil sivil amaçlıda kullanılmaya başlandı. İHA'ların sivil amaçlı kullanımında aşağıdaki şu alanlar örnek gösterilebilir;

- Haritacılık,
- 3 Boyutlu Şehir Modellerinin Oluşturulması,
- Kent Bilgi Sisteminin Oluşturulması,
- Tarımsal Uygulamalar,
- Arama ve Kurtarma,
- Sinema Sektörü,
- Kentsel Dönüşüm Çalışmaları,
- Doğal Afet sonucu Ortaya Çıkan Deformasyonlar.

3.2.2 İnsansız Hava Araçlarının Sınıflandırılması

İHA'ların havada uçuşunu sağlayan motorların çalışma prensibine göre;

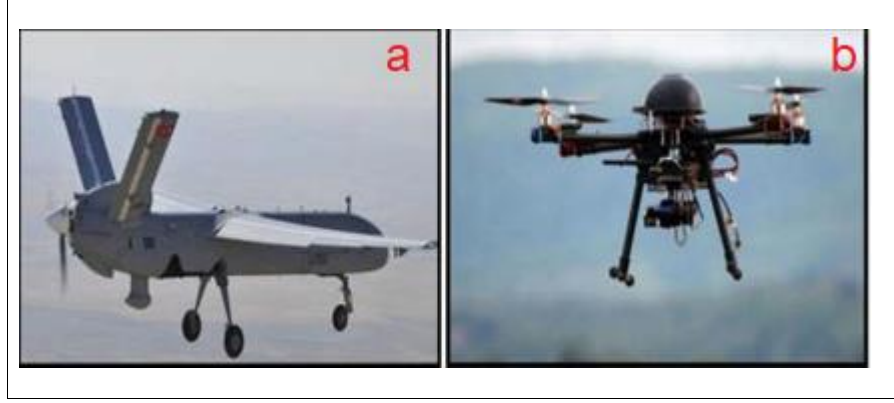
- İçten yanmalı,
- Elektrikli,
- Güneş enerjisi sistemli

olmak üzere üçe ayrılmaktadır. İçten yanmalı motorlu İHA'ların elektrikliye nazaran avantajı, uçuş süresinin ve yük taşıma kapasitesinin fazla olması iken dezavantajı uçuş platformunda sarsıntıya sebep olmasıdır.

İHA'lar hareket kalibiyetine göre ise;

- Sabit kanatlı insansız hava araçları,(Şekil 3.4)
- Döner kanatlı insansız hava araçları,(Şekil 3.4)

olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sabit kanatlı İHA'lar araç takip sistemiyle karayolunda hızlanarak, fırlatma rampasından ya da el yardımıyla atılarak havalanırken; döner kanatlı insansız hava araçları ise herhangi bir yerden havalanarak kumanda ile her türlü yere yönlendirilmektedir [22].



Şekil 3.4: Sabit kanatlı (a) ve döner kanatlı (b) insansız hava araçları

Ülkemizde ilk İHA sınıflandırması Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü tarafından 2016 yılında yapılmıştır. Türkiye Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'nün 22.02.2016 tarihinde yayınladığı 05.07.2019 tarihinde değişiklik yaptığı İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı'nda İkinci Bölüm Madde 5'de yaptığı sınıflandırma Tablo 3.3'de verilmiştir [23].

Tablo 3.3: Türkiye Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü İHA sınıflandırması

Sınıf	İHA0	İHA1	İHA2	İHA3
Özellikler	Azami kalkış ağırlığı 0.50 (dâhil) – 4.0 kg aralığında olan İHA'lar	Azami kalkış ağırlığı 4.0 (dâhil) – 25 kg aralığında olan İHA'lar	Azami kalkış ağırlığı 25 kg (dâhil) – 150 kg aralığında olan İHA'lar	Azami kalkış ağırlığı 150 kg (dâhil) ve daha fazla olan İHA'lar

İHA'ların birbirlerine göre yeteneklerini belirlemek için teknik özellikleri değerlendirilmektedir. Eisenbeiß, H., (2009) [24]. çeşitli İHA türlerini menzil, dayanıklılık, hava koşullarına bağımlılık ve manevra kabiliyeti parametreleri bakımlarından karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırma Tablo 3.4'de özet halinde sunulmuştur.

Tablo 3.4: Çeşitli İHA türlerinin menzil, dayanıklılık, hava koşullarına bağımlılık ve manevra kabiliyetleri bakımından karşılaştırılması.

İHA Türü	Menzil	Dayanıklılık	Hava Koşullarına Bağımlılık	Manevra Kabiliyeti
Balon	0	++	0	0
Zeplin	++	++	0	+
Paraşüt/Uçurtma	+	0	0	0
Sabit Kanatlı Paraşüt	++	+	+	+
Pervaneli ve Jet Motorlu	++	++	+	+
Pervaneli	++	+	0	+
Tek Pervaneli (Helikopter)	+	+	+	++
Ortak Eksenli	+	++	+	++
Dört Pervaneli	0	0	0	++
Çok Pervaneli	+	+	+	++

Tablo 3.4’de yer alan “+” gösteriminin sayısı daha güçlü yeteneğe sahip olduğunu; “0” gösterimi ise yeteneğe sahip olmadığını temsil etmektedir. Buna göre, tüm parametreler bakımından en güçlü İHA’lar sabit kanatlı paraşütler, pervaneli ve jet motorlu, tek pervaneli, ortak eksenli ve çok pervaneli İHA’lar olarak öne çıkmaktadır.

4. UYGULAMA

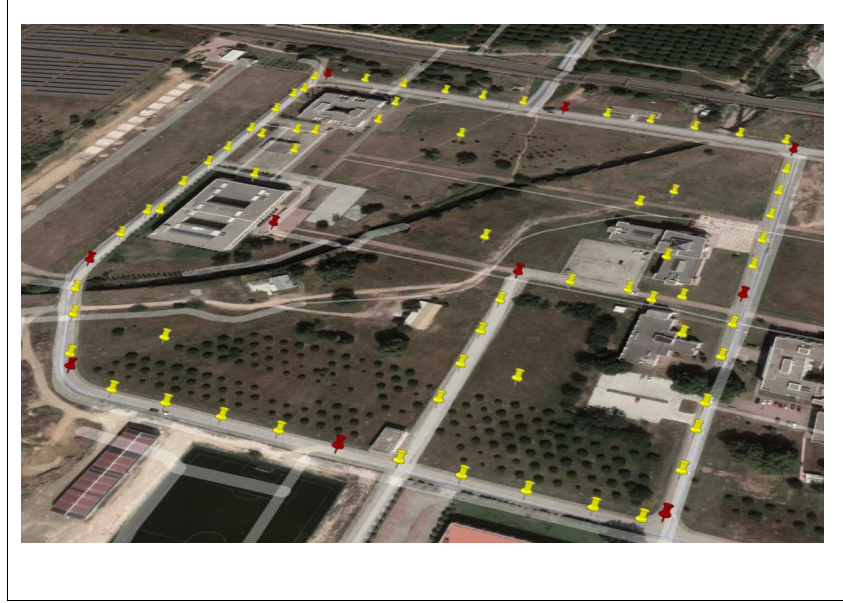
Bu çalışmada Şekil 4.1’de gösterilen Kocaeli ili Gebze ilçesinde bulunan Gebze Teknik Üniversitesi Kampüsünün bir bölümünün hâlihazır haritası çıkartılmıştır. GPS cihazı ile yapılan jeodezik ölçü ile İHA uçuşu ile elde edilen hâlihazır haritası doğruluğu kontrol edilmiştir. Aynı üreticiye ait iki farklı model İHA ile, 40-80 m yüksekliklerden ve uçuş gerçekleştirilmiştir. Bu uçuşlar sonucu elde edilen resimler Agisoft, Pix4d ve 3D Survey programlarında işlenmiş ve sonuçlar analiz edilmiştir.



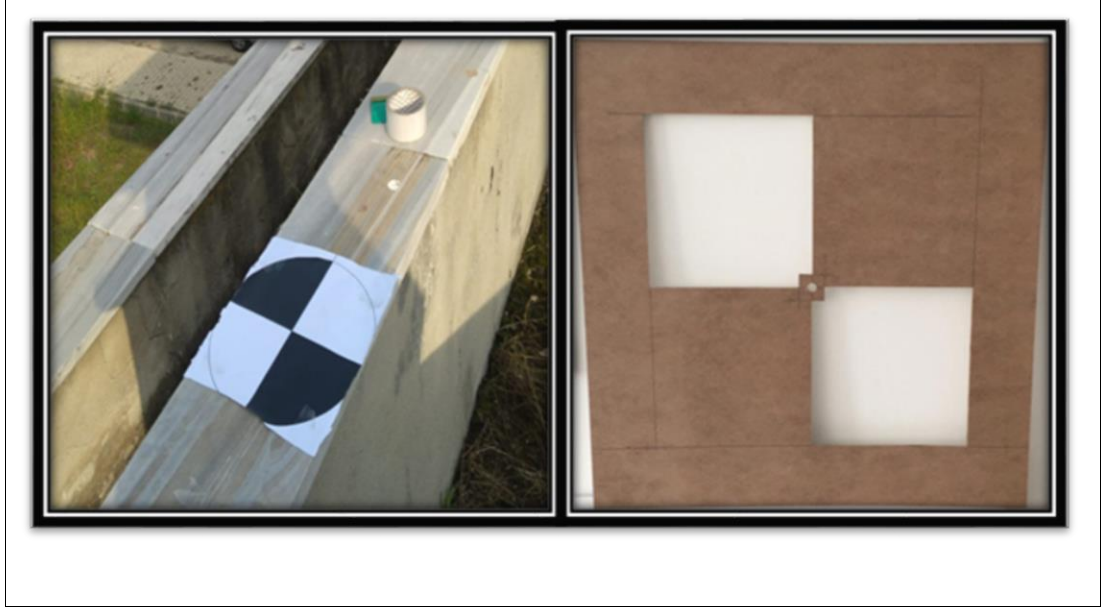
Şekil 4.1: Gebze Bölgesi(a) ve Gebze Teknik Üniversitesi Kampüsü’ndeki Çalışma Alanı(b).

4.1. Kullanılan Ekipmanlar

Gebze Teknik Üniversitesi Kampüsü'nde yaklaşık 13,44 Hektarlık bir alan seçilmiştir. Çalışma bölgesinde tesis edilen noktalar Şekil 4.2 de gösterilmektedir. Bu alan içerisinde arazi yüzeyinde 10 adet Yer Kontrol Noktası, arazi yüzeyi ve 10 tanesi bina çatılarında olmak üzere toplam 67 adet Denetleme Noktası tesis edilmiştir. Tesis edilen olan bu noktalar için bir şablon hazırlanmıştır. Bu şablonda 4 adet kare bulunmaktadır ve bu karelerin karşılıklı 2 karesi kesilmiştir. Ortada ise 1 cm çapında poligonun görülebileceği bir delik bırakılmıştır. Bina çatılarında ise A4 ebadında havadan görüntülenebilen siyah beyaz bir çıktı alınarak yağmurdan etkilenmesin diye etiket (stiker) yapılarak çatılara tesis edilmiştir. Tesis edilen noktalardan bazıları ve yapıştırılan etiket Şekil 4.3 de gösterilmektedir.

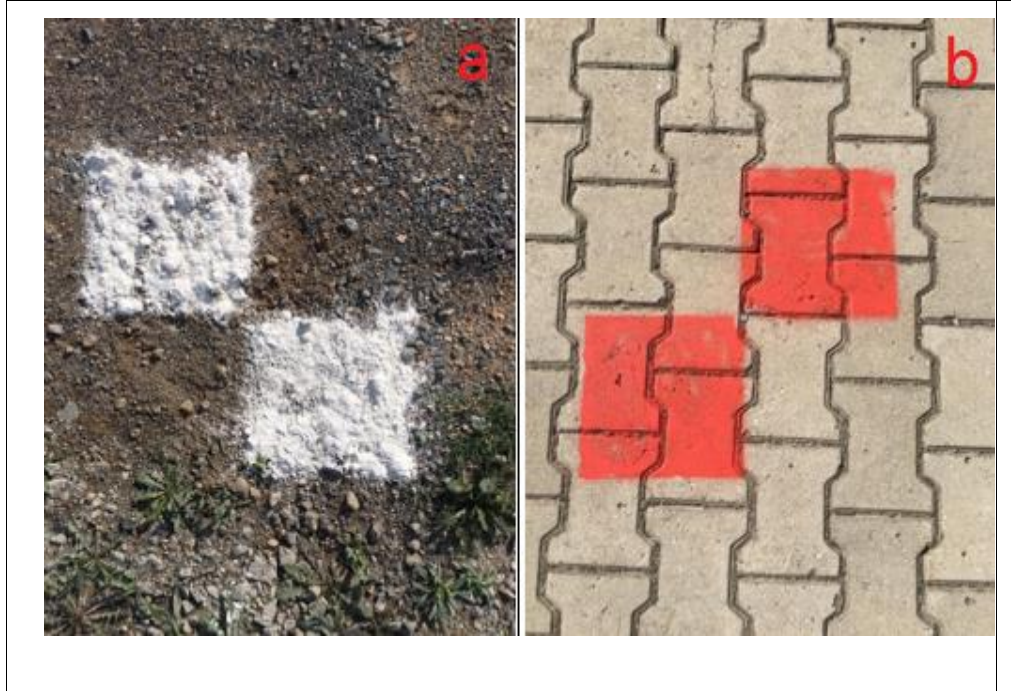


Şekil 4.2: YKN noktaları ve Denetleme Noktası Dağılımı.



Şekil 4.3: Çatılara tesis edilen etiket ve zemine tesis edilmede kullanılan şablon.

Zemine tesis edilen noktaların hem GPS ölçüleri hem de İHA uçuşları için üzeri açık ve uyduların çekebileceği yerlere atılmasına önem gösterilmiştir. Şekil 4.4'te görüldüğü gibi beton zemine gelenlere kırmızı renkli sprej boya, toprak alanlara beyaz kireç yapılmıştır. Bunların kesiştikleri yerler yer kontrol noktasını temsil etmiştir. Bu noktaların yerleri belirlenirken uçuş planı kolonlarının yerleri dikkate alınmıştır.

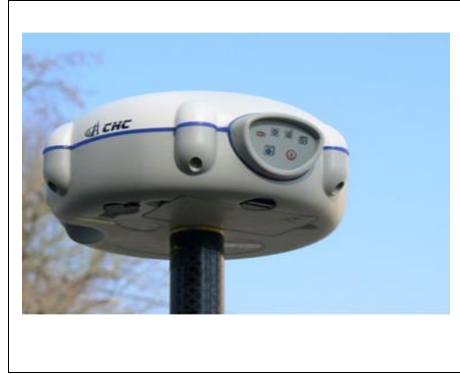


Şekil 4.4: Kireç (a) ve boya (b) ile yapılan YKN çalışması.

4.1.1 GNSS ALICISI (GPS)

Tüm yer kontrol noktalarının jeodezik ölçümleri, gerçek zamanlı RTK doğruluğu yatayda 8 mm + 1 ppm, düşeyde 15 mm + 1 ppm olan Şekil 4.5'te gösterilen CHC X91 GPS cihazı ile yapılmıştır. CHC X91 GNSS cihazının özellikleri şunlardır;

- 220 kanal eş zamanlı tüm uyduları izleme,
- Düşük gürültülü taşıyıcı faz ölçme,
- Baz uzunluğu 300 km'den fazla
- GPS, GLONASS, GALİLEO ve SBAS izleme,
- -40 dereceden +65 dereceye kadar çalışma sıcaklığına dayanıklı,
- Toz ve su geçirmezlik,
- Batarya süresi 5 saat



Şekil 4.5: CHC X91.

4.1.2 İHA'lar

4.1.2.1 DJI Phantom 4 RTK

Bu çalışmada ilk olarak DJI firması tarafından üretilen Şekil 4.6 da gösterilen Phantom 4 RTK kullanılmıştır. Ağırlığı 1388 gr'dır. Maksimum hızı 50 km/s kadar çıkmaktadır. Daha çok küçük alanlar için üretilen bu İHA ortofoto harita ve sayısal yüzey modelinin elde edilmesi için üretilmiştir. Üzerindeki Gimble 4K / 20 MP özelliğindedir. Üzerinde bulunan sensörler sayesinde bir cisme yaklaştığında uyarı vermektedir. Yaklaşık 15-20 dakika uçuş süresi vardır. GPS ve GLONASS uydularından veri alabilir. Her bir merceği fotogrametri için kalibre edilmiştir. 100 m



Şekil 4.6: DJI Phantom 4 RTK.

yükseklikten 2,74 cm gsd çözünürlüğü sunmaktadır. Geliştirilmiş TimeSync özelliği sayesinde RTK düzeltmesiyle hassas konum bilgisi eş zamanlı olarak fotoğraf özniteliklerine taşınmaktadır. Böylece çok daha az yer kontrol noktası ile mükemmel sonuçları çıkarmaktadır.

Yatayda 1cm + 1 ppm hassasiyeti, düşeyde 1,5 cm + 1 ppm hassasiyeti yakalamaktadır. Batarya bittiğinde HOME özelliği sayesinde kalktığı yere geri döner ve yeni batarya takıldığında verilen uçuş talimatına göre kaldığı yerden devam etme özelliğine de sahiptir. KML verilerini doğrudan el ünitesine aktarıp kolayca alan belirlemenize olanak sağlamaktadır. RTK'sı bulunan bu İHA'da, çekilen fotoğrafın havadaki özgün konumlarını belirleyerek yeryüzündeki yansımalarını hesaplayabiliyoruz. Özgün konumdan kasıt koordinat ve dönüklük parametrelerini kapsamaktadır. X,Y,Z koordinatları ve O (Omega), P (Phi) ve K (Kappa) dönüklük parametreleridir. RTK sayesinde bu verilerin hepsi uydulardan alınmış ve düzeltmeler yapılmış şekilde gelmektedir ve resimlerin konumları bize cm hassasiyetinde gözükmemektedir.

4.1.2.2 DJI İmpire 1 V2

İkinci olarak kullanılan İHA Şekil 4.7'de gösterilen DJI İmpire 1 V2'dir. Ağırlığı 3500 gramdır. Üzerindeki Gimble 4K / 12 MP özelliğindedir. Yaklaşık 15 dakika uçuş süresi vardır. Kumanda da Djı Phantom 4 RTK'daki gibi kendisinden ekran yoktur. El ünitesine ekstra tablet veya cep telefonu takılması gerekmektedir. 2 km gibi oldukça iyi bir uçuş mesafesine sahip olan DJI İmpire 1, 500 m yükseğe kadar çıkabilmektedir. Sinyal bağlantısındaki herhangi bir sorun veya kopma durumunda, HOME tuşu kullanılarak otomatik iniş fonksiyonuyla önceden belirlenen bir yere güvenli bir şekilde indirebilir. Buna ek olarak FollowMe özelliği ile hareket halindeyken bile cihazınızın sizi takip etmesini sağlayabilirsiniz.



Şekil 4.7: DJI İmpire 1 V2.

4.1.3 Process İçin Kullanılacak Programlar

Sadece İHA'larla otonom uçuş yaparak resim çekmek elbette ki yeterli değildir. Bu resimleri uygun şekilde birleştirmek (align), nokta bulunu oluşturmak ve sayısal yükseklik modelini çıkartmak için bir programda işlemek gerekmektedir. Piyasada Agisoft Metashape, 3D Survey, Pix4d gibi yaygın kullanılan programlar bulunmaktadır. Bu çalışmada Agisoft Metashape, Pix4d ve 3D Survey'i kullanılmıştır. Farklı İHA'ları karşılaştırırken aynı zamanda bu üç programında doğruluğu test edilmiş olacaktır. Agisoft Metashape 3D Survey dijital görüntülerin fotogrametrik olarak işlenmesini gerçekleştiren, CBS uygulamalarında, kültürel miras belgelerinde, görsel efekt üretiminde, çeşitli ölçeklerdeki nesnelere dolaylı ölçümlerinde kullanılmak üzere 3B uzamsal verileri üreten bağımsız yazılım ürünüdür. RGB veya multispektral kameralardan gelen görüntüleri işlemeye izin verir. İHA ile çekilen fotoğrafları öncelikli olarak align ederek bağlantı noktaları oluşturur. Bu bağlantı noktalarını kullanarak yoğun bir şekilde nokta bulunu oluşturur. Bu nokta bulutlarından da dokulu poligonal model oluşturarak 3D modeli oluşturur. Tüm verileri birden işleyebilen program en son yüksek çözünürlüklü raster görüntü ve detaylı bir sayısal yükseklik modeli oluşturabilmektedir.

JPEG, TIFF, PNG gibi uzantılı fotoğrafları açabilmektedir. İşlem sonunda da yine KML, GeoTiff, Obj, Collada gibi farklı programlarda analiz yapabilmek için birçok formatta çıkış sağlamaktadır.

4.2. Uygulama Süreci ve Elde Edilen Veriler

Öncelikli olarak 10 adet yer kontrol noktası ve 67 adet denetleme noktası zemine tesis edildikten sonra CHC X91 cihazı ile 1'er dakikalık oturumlarla farklı iki ayrı zaman diliminde ölçümleri yapılmıştır. Alınan verilere göre YKN'lerin koordinat değerleri Tablo 1'deki gibidir.

Daha sonra araziye gidilerek uçuş için gerekli hazırlıklar yapılmıştır. İlk olarak DJI Phantom 4 Pro RTK ve ardından DJI İInspire 1 ile uçuş yapılmıştır. Arazide İHA ile uçuş için öncelikle ön hazırlıklar yapılmıştır. Öncelikle uçulacak arazinin sınırları belirlenerek bir poligon oluşturulmuştur. İstenilen uçuş yüksekliği girilerek uçuş hızı ayarlanır. Shooting Mode kısmı Distance Shooting seçilmiştir. Zamana göre seçilirse

varsayılan değer gelir ve rüzgâra karşı gidildiğinde ufak hata yapabilmektedir. Bu yüzden uzaklığa bağlı seçmek daha doğru olacaktır.

Tablo 4.1: YKN koordinatları.

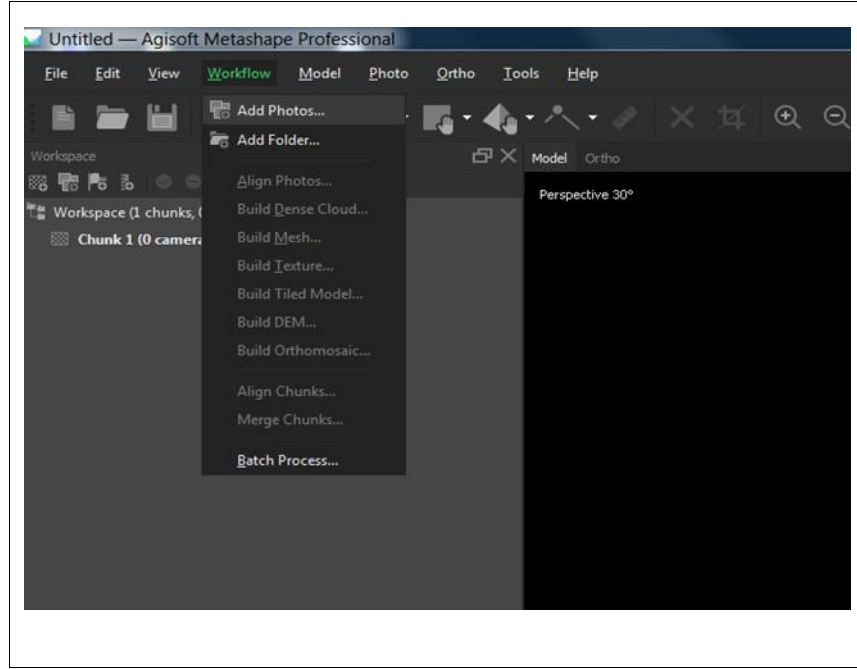
NOKTA NO	Y	Y (ORT)	X	X (ORT)	Z	Z (ORT)
YKN1	445648.99	445648.98	4519500.18	4519500.16	44.12	44.11
	445648.97		4519500.14		44.10	
YKN2	445823.43	445823.43	4519455.64	4519455.63	45.33	45.32
	445823.43		4519455.63		45.31	
YKN3	445972.52	445972.51	4519406.74	4519406.74	45.53	45.52
	445972.50		4519406.74		45.51	
YKN4	445929.25	445929.23	4519232.02	4519232.01	44.10	44.12
	445929.21		4519232.00		44.14	
YKN5	445885.60	445885.60	4519058.10	4519058.11	42.81	42.80
	445885.60		4519058.12		42.79	
YKN6	445739.11	445739.10	4519088.11	4519088.11	42.54	42.55
	445739.09		4519088.11		42.56	
YKN7	445595.80	445595.81	4519133.38	4519133.40	42.75	42.76
	445595.82		4519133.42		42.77	
YKN8	445570.03	445570.04	4519230.30	4519230.33	43.72	43.71
	445570.05		4519230.36		43.70	
YKN9	445662.84	445662.85	4519279.80	4519279.82	44.35	44.34
	445662.86		4519279.84		44.33	
YKN10	445808.45	445808.46	4519242.73	4519242.72	44.12	44.11
	445808.47		4519242.71		44.10	

Kamera ayarlarında güneşli veya bulutlu olması durumunda buna göre özellik belirtilir. Daha sonra gimble açısı ve bindirme değerleri girilir. Bu çalışmada bindirme değerlerini enine bindirme 80, boyuna bindirmeyi 70 olarak girilmiştir. Tüm ayarlar girildikten sonra İHA'nın Fix olup olmadığı kontrol edilmelidir. Eğer Fix ise uçuş başlatılabilir. Aynı ayarlar DJI İnspire 1 V2 ile de yapılmıştır. Bu cihazlarda 40 ve 80 m yükseklikte uçuşlar yapılmıştır.

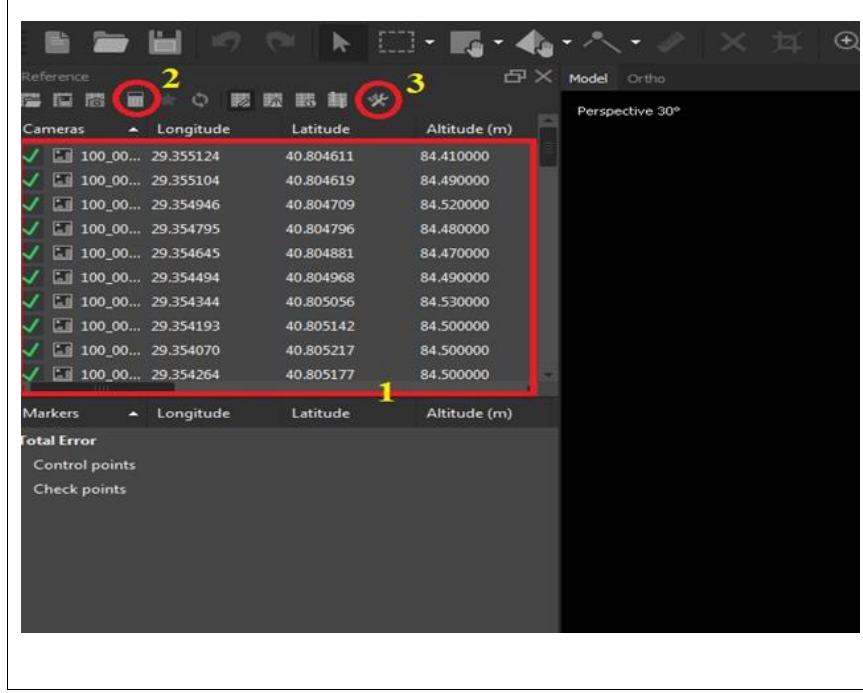
4.2.1 Agisoft Metashape ile Elde Edilen Veriler

İlk olarak Agisoft Metashape programında çözümlenme yapılmıştır. Öncelikle çekilen tüm resimler Şekil 4.8'deki gibi Workspace'den Add Photo denilerek eklenir.

Resimler eklendikten sonra Reference kısmında görülmektedir. Şekil 4.9'da, 1 numara ile gösterilen bölgede eklenen her bir resmin enlemi, boylam, yükseklik, omega, phi ve kappa değerleri bulunmaktadır. Bunlar dış yöneltme elemanlarıdır. Şekil 4.9'da, 2 numaralı kısım ise Convert butonudur. Burada koordinat dönüşümü yapılması gerekmektedir. Çalışma yaptığımız konum Gebze Teknik Üniversitesi olduğundan buna göre seçmemiz gereken koordinat sistemi TUREF/ TM30 (EPSG: 5254) olmalıdır. Yani ITRF sistemi ve 30 derece dilim orta meridyeni seçilmektedir.

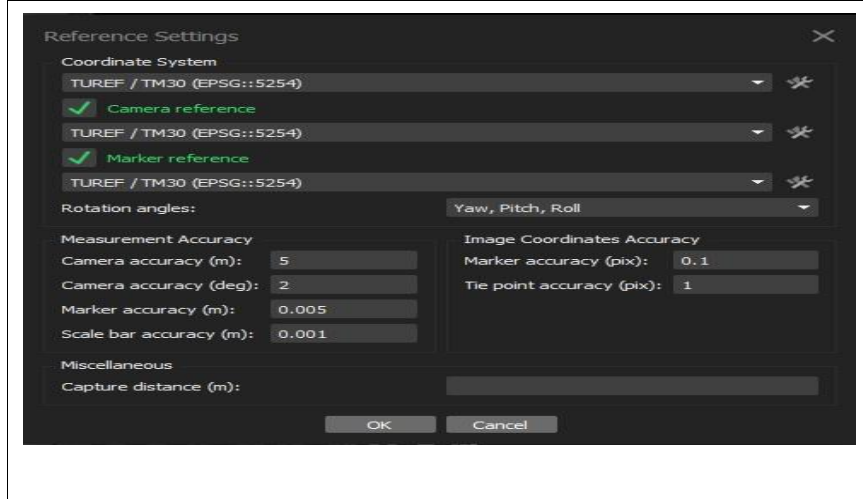


Şekil 4.8: Agisoft Metashape fotoğraf ekleme bölümü



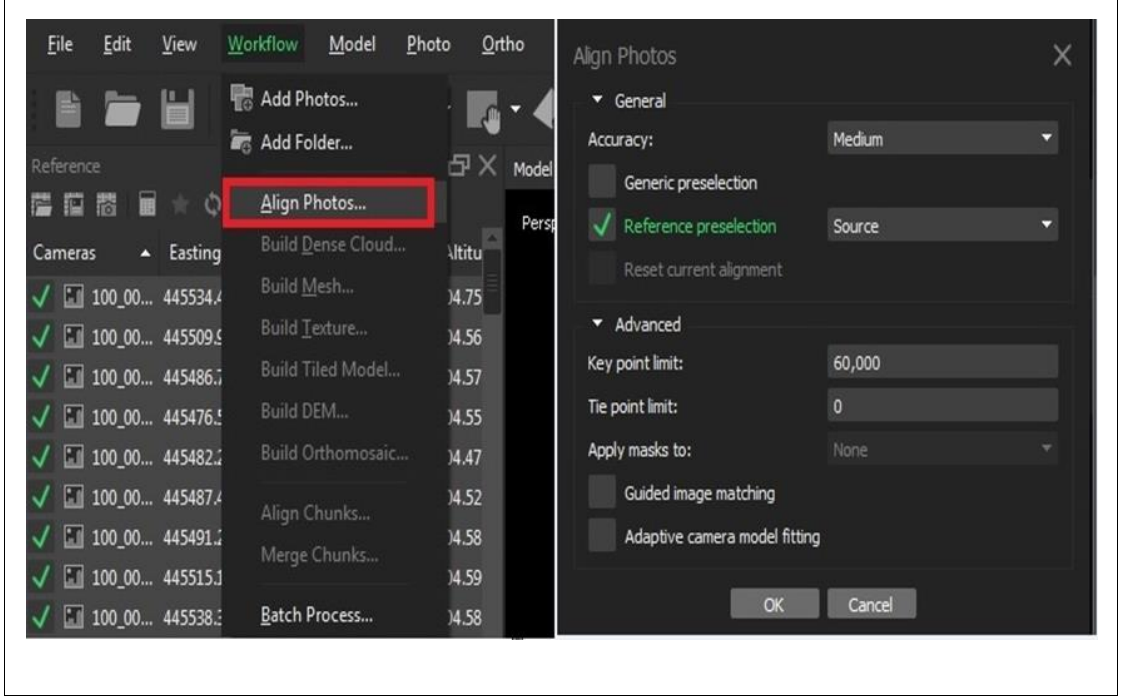
Şekil 4.9: Agisoft Metashape Process öncesi ayar bölümü.

Şekil 4.9'da, 3 numaralı kısım ise kamera ayarlarının bulunduğu yerdir. DJI Phantom 4 RTK kamerası için Şekil 4.10 da görüldüğü gibi yapılmaktadır.



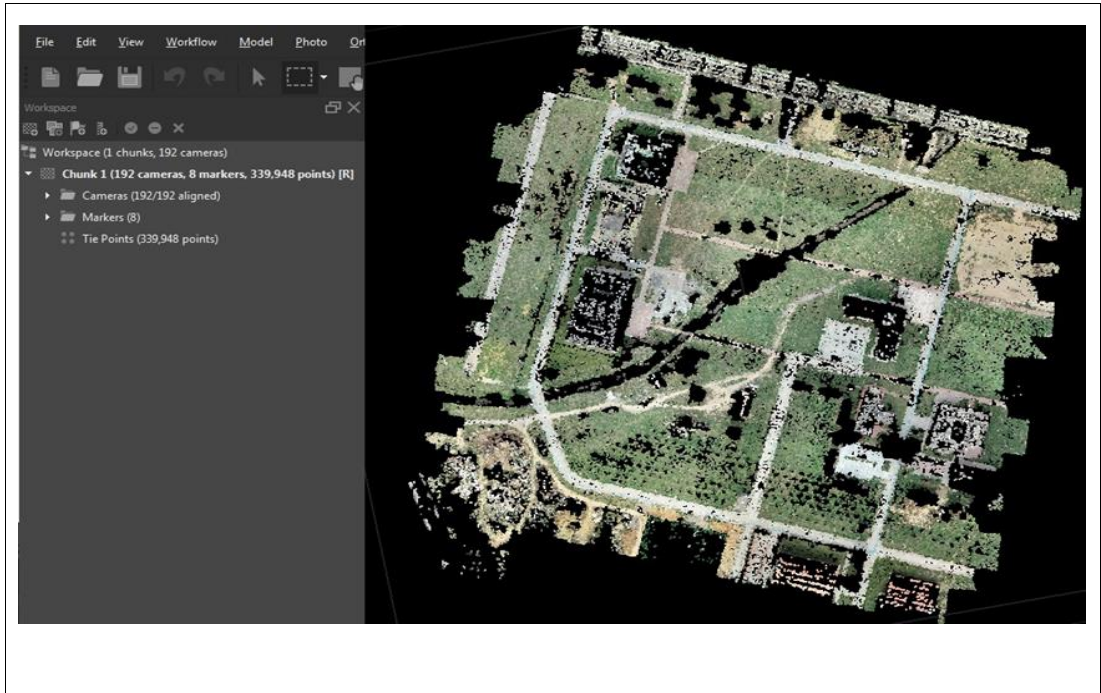
Şekil 4.10: Agisoft Metashape kamera ayarları

Tüm bu ayarlamalar yapıldıktan sonra Şekil 4.11'te gösterildiği gibi Workflow sekmesinden Align Photo diyerek çekilen tüm resimleri eklenmiştir. Buradaki amaç tüm fotoğrafları birleştirip çakışan yerleri hesaplayıp tie pointleri yani bağlantı noktalarının oluşturmaktır.



Şekil 4.11: Agisoft Metashape fotoğrafları birleştirme ayarı.

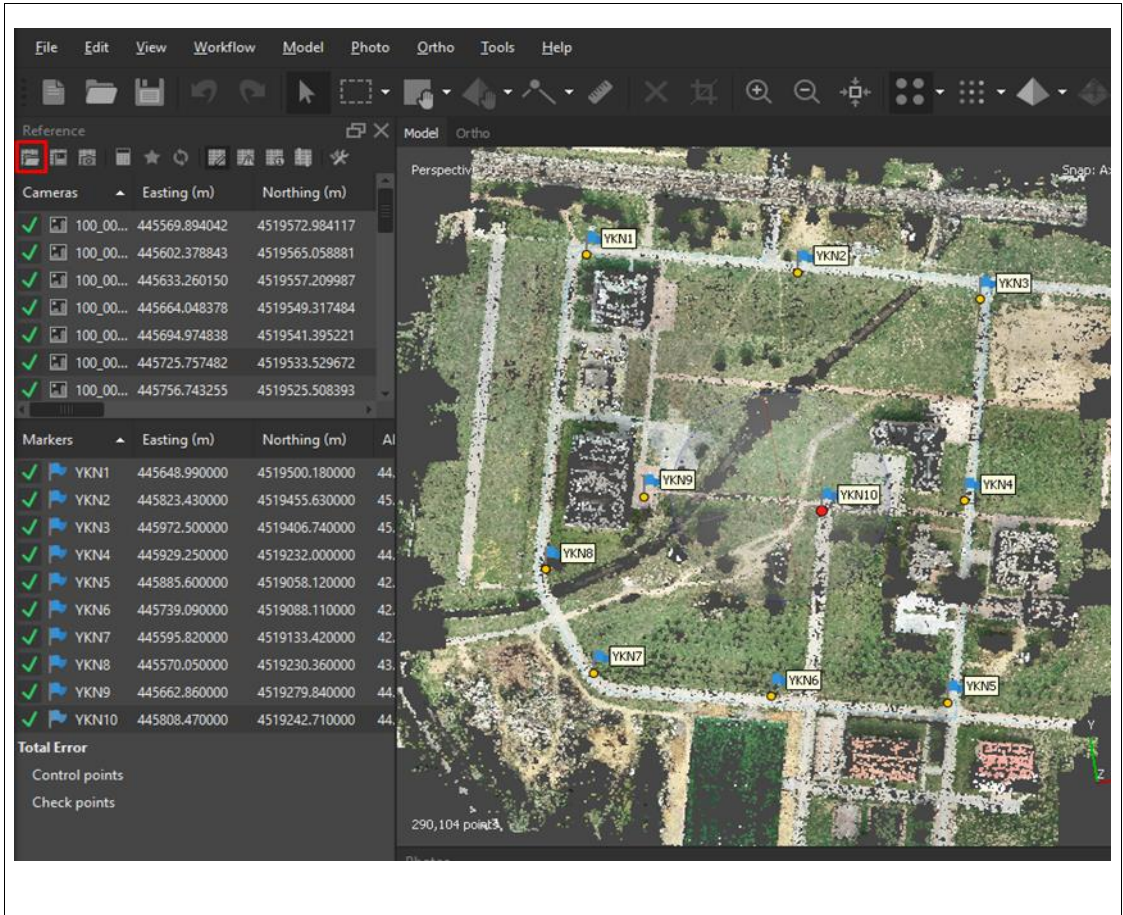
İşlem bittikten sonra Workspace kısmında Tie Points adında bir katman oluşacaktır. Tüm resimleri birleştirip bağlantı noktaları oluşturmuştur (Şekil 4.12). 40 m yükseklikten uçuşumuzda toplam 340.000'e yakın bağlantı noktaları oluşturmuştur.



Şekil 4.12: Agisoft Metashape Tie Point görünümü.

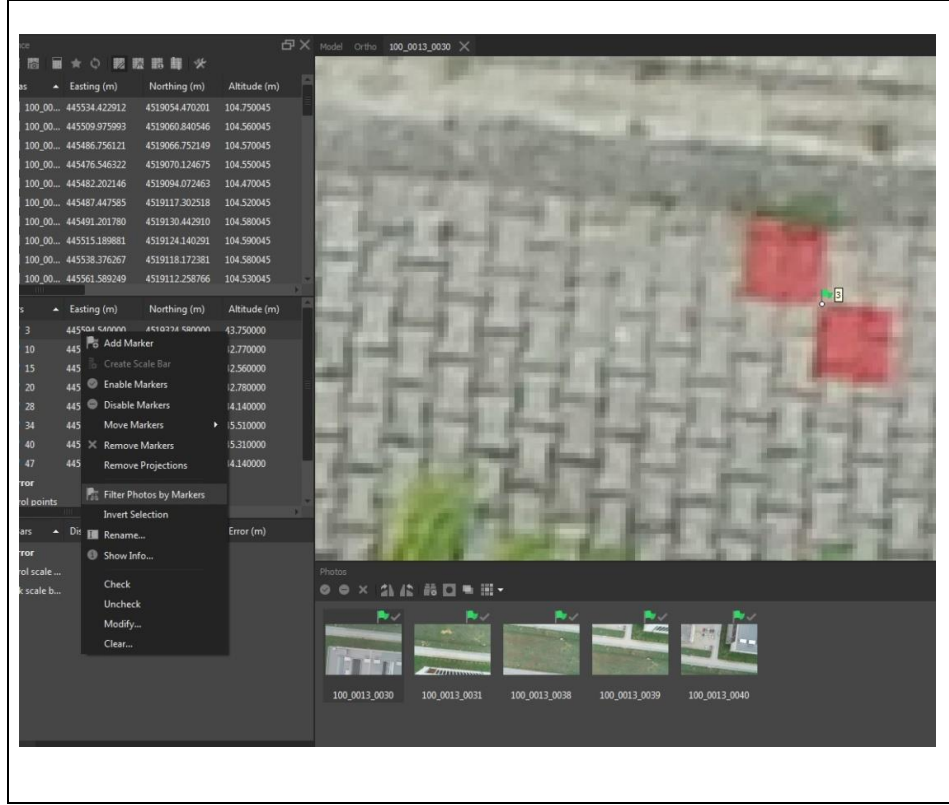
Çekilen resimler bizim sahamızın dışına da taşıdığından dolayı bazen istenmeyen noktaları olabilmektedir. Örneğin belirli bir yükseklikteki ağaçları veya detayları istemiyorsak Model sekmesinden Gradual Selection'dan noktaları silebiliriz. Bu bize nokta bulutu oluştururken ve 3 boyut oluştururken hassasiyeti düşürmemize olanak sağlayacaktır.

Bağlantı noktaları oluşturduktan sonra YKN'ler Şekil 4.13 deki gibi programa import edilir.



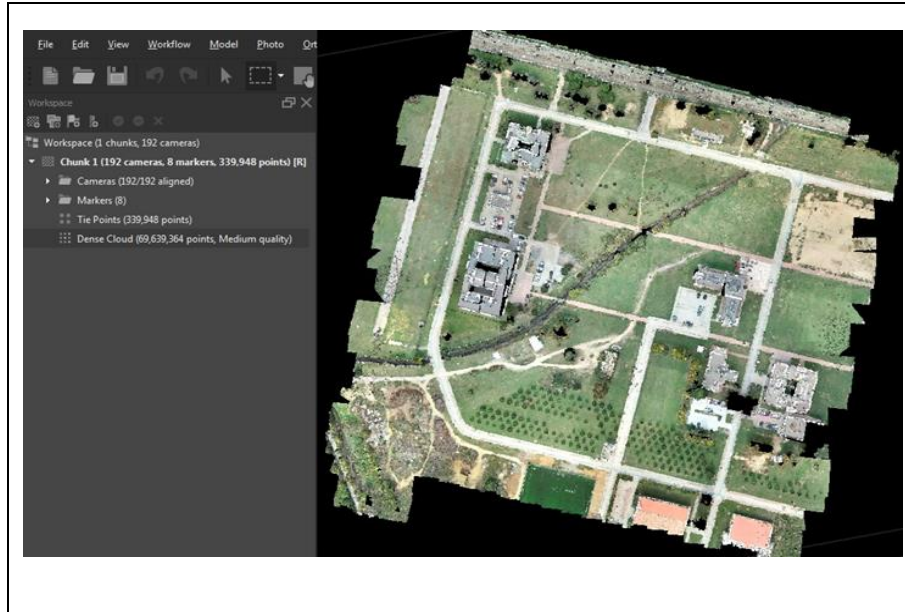
Şekil 4.13: Agisoft Metashape YKN editörü ve görünümü.

Eklenecek yer kontrol noktaları tek tek sağ tıklanarak Filter Photos by Markers seçeneği işaretlenir ve tie pointlerin bulunduğu ekranın alt tarafına Photo bölmesi çıkmak tadır. Hangi noktaya sağ tıklayıp Filter Photos by Markers yapıldığında o noktanın bulunduğu fotoğraflar ekli yerde çıkacaktır. Bu resimlere tek tek tıklanarak noktayı olması gereken yere tüm resimlerde düzeltmeniz gerekmektedir. Her düzeltilen resim Şekil 4.14 de görüldüğü gibi yeşil renkli bayrak haline geçmektedir.



Şekil 4.14: Agisoft Metashape YKN'lere göre düzenleme

Daha sonra asıl önemli olan nokta bulutunu oluşturma aşaması yapılmıştır. Nokta bulutu için Workflow sekmesinde Build Dense Cloud tıklanmıştır. Medium seçilerek orta kalitede bir nokta bulutu verisi elde edilmesi amaçlanmıştır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15: Agisoft Metashape nokta bulutu görünümü.

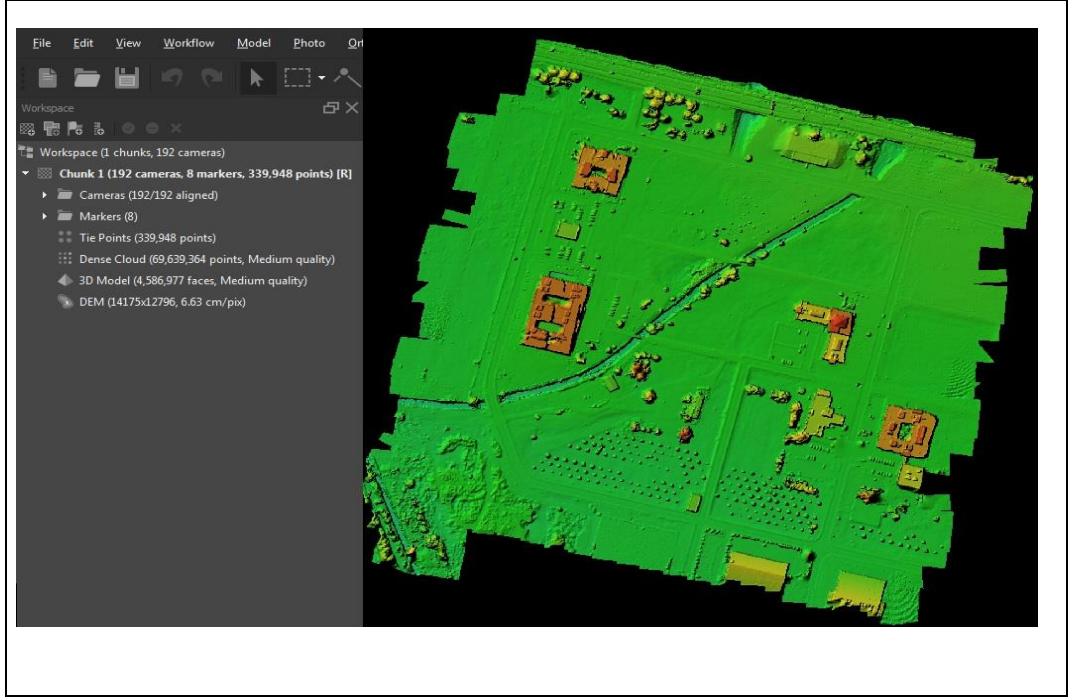
En uzun süren işlem nokta bulutu oluşturma işlemidir. Toplam 69 milyon nokta oluşturulmuştur. Bu nokta bulutu dosyasını istersek .las-.laz uzantılı dosya olara export edebilmekteyiz. Buda yeni nesil Netcad 8.5 ve Autocad 3d'nin açabileceği bir uzantıdır.

Bir sonraki işlem adımı 3 boyutu oluşturmaktır. Workflow kısmında Build Mesh yaparak 3 boyutlu yüzey oluşturulmuştur. Uçuş yapacağınız güzergâhta eğer 3 boyuta önem vereceğiniz bina var ise Nadir Uçuş (90derece) haricinde oblik uçuş yapmanız gerekmektedir. Bunun için nadir uçuş sonrası alacağınız binanın ve ölçülecek diğer detayların yüksekliğine göre 30-45-60 derecelik açılarla İHA ile uçurmanız gerekmektedir. Bizim bu tez çalışmasında hâlihazır kontrolü ve kot kontrolü olduğundan sadece nadir uçuş gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.16'da görülen hazırlanmış mesh dosyası pdf olarak veya farklı 3d uzantılı dosya olarak export edilebilmektedir.



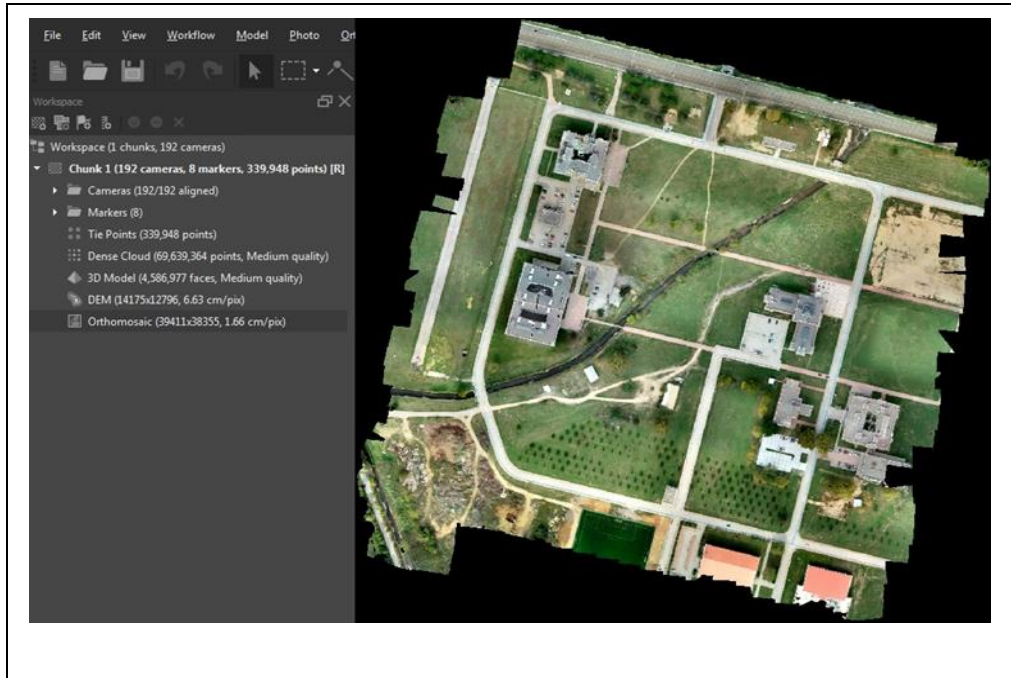
Şekil 4.16: Agisoft Metashape 3d mesh görünümü.

Ardından DEM(Digital Elevation Model) yani sayısal yükseklik modeli oluşturmak için Workflow sekmesinden Build DEM sekmesi seçilir. Burada oluşturulan mesh ve nokta bulutları baz alınarak Şekil 4.17'de görülen yükseklik modeli vermektedir.



Şekil 4.17: Agisoft Metashape DEM görünümü.

Son olarak ortofoto oluşturulmuştur. Bunun için Workflow sekmesinde Build Orthomosaic sekmesini seçilmiştir. Üretilen ortofoto direk koordinatlı veridir. Sağ alt kısımda Mouse ile dolaştıkça hem koordinat değerlerini hem de yükseklik değerlerini görebilmekteyiz.



Şekil 4.18: Agisoft Metashape Ortofoto görünümü.

Şekil 4.18 40 metre için Agisoftshape Ortofoto görünümüdür. Oluşturulan ortofoto üzerinden denetleme noktalarımıza Draw Pointden nokta atıyoruz ve bu noktaları .dwg olarak export ediyoruz. Böylece GPS koordinatları ile denetleme noktalarını karşılaştırabiliyoruz.

Agisoft Metashape programında DJI Phantom 4 RTK ve DJI İnpire 1 V2 cihazlarıyla ayrı ayrı 40-80 m yükseklikten uçularak tüm işlem adımları aynı şekilde uygulanmıştır.

Ölçüm değerleri ile denetleme noktalarının arasındaki hata oranını belirlemek için Kareler toplamı standart sapması (Root Mean Square Error – RMSE) kullanılmıştır.

$$rms = \pm \sqrt{\frac{\sum VV}{n-1}}$$

n : Ölçü sayısı

VV : Hataların çarpımı

Agisoft Metashape programına göre hesaplanan Karesel Ortalama hataları;

- DJI Phantom 4 RTK - 80 m uçuş yüksekliği

$$\pm \sqrt{\frac{\sum VVy}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{765}{67-1}} = \pm 3.40 \text{ cm}$$

$$\pm \sqrt{\frac{\sum VVx}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{65}{67-1}} = \pm 0.99 \text{ cm}$$

$$\pm \sqrt{\frac{\sum VVz}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{1584}{67-1}} = \pm 4.90 \text{ cm}$$

EK-1 incelendiğinde yatay konumda maksimum fark 26 cm iken Z konumunda 29 cm - bina çatı noktası - olarak belirlenmiştir. Bu farkların ortalaması alındığında ise 3 boyutlu konumda sırasıyla x konumunda 0.99 cm, y konumunda 3.40 cm ve z konumunda 4.90 cm olarak hata bulunmuştur.

- DJI Phantom 4 RTK - 40 m uçuş yüksekliği

$$\pm\sqrt{\frac{\sum VVy}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{72.76}{67-1}} = \pm 1.05 \text{ cm}$$

$$\pm\sqrt{\frac{\sum VVx}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{60.07}{67-1}} = \pm 0.95 \text{ cm}$$

$$\pm\sqrt{\frac{\sum VVz}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{1119.45}{67-1}} = \pm 4.12 \text{ cm}$$

EK-2 incelendiğinde yatay konumda maksimum fark 2.8 cm iken Z konumunda 28.2 cm - bina çatı noktası – olarak belirlenmiştir. Bu farkların ortalaması alındığında ise 3 boyutlu konumda sırasıyla x konumunda 0.95 cm, y konumunda 1.05 cm ve z konumunda 4.12 cm olarak hata bulunmuştur.

- DJI İnspire 1 V2 - 40 m uçuş yüksekliği

$$\pm\sqrt{\frac{\sum VVy}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{921.08}{67-1}} = \pm 3.73 \text{ cm}$$

$$\pm\sqrt{\frac{\sum VVx}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{127.48}{67-1}} = \pm 1.39 \text{ cm}$$

$$\pm\sqrt{\frac{\sum VVz}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{1545.68}{67-1}} = \pm 4.84 \text{ cm}$$

EK-3 incelendiğinde yatay konumda maksimum fark 26.8 cm iken Z konumunda ise 28.2 cm - bina çatı noktası - olarak belirlenmiştir. Bu farkların ortalaması alındığında ise 3 boyutlu konumda sırasıyla x konumunda 1.39 cm, y konumunda 3.73 cm ve z konumunda 4.84 cm olarak hata bulunmuştur.

- DJI İnspire 1 V2 - 80 m uçuş yüksekliği

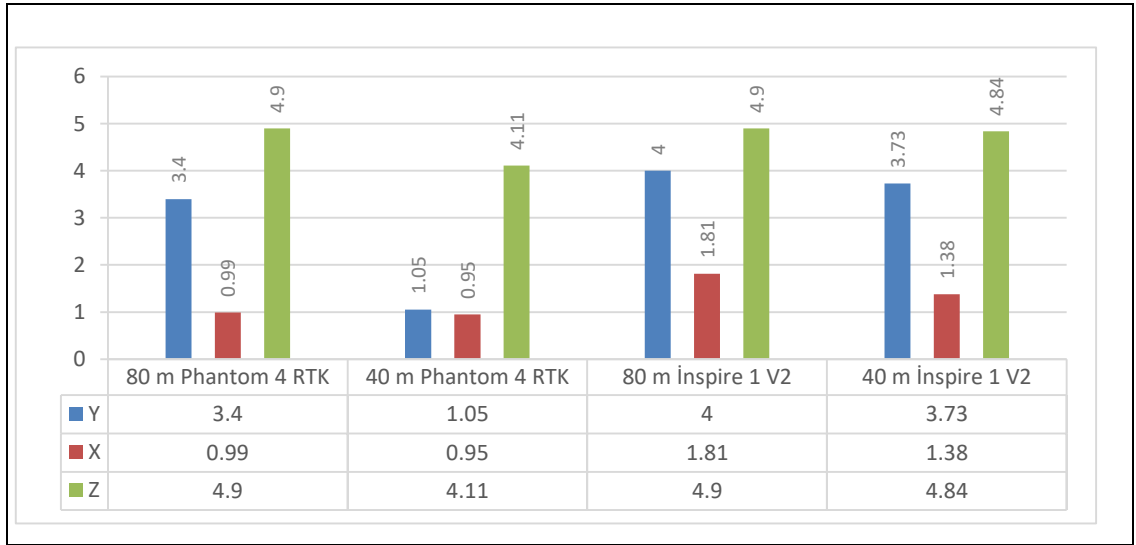
$$\pm\sqrt{\frac{\sum VVy}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{1057.98}{67-1}} = \pm 4.00 \text{ cm}$$

$$\pm\sqrt{\frac{\sum VVx}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{217.58}{67-1}} = \pm 1.81 \text{ cm}$$

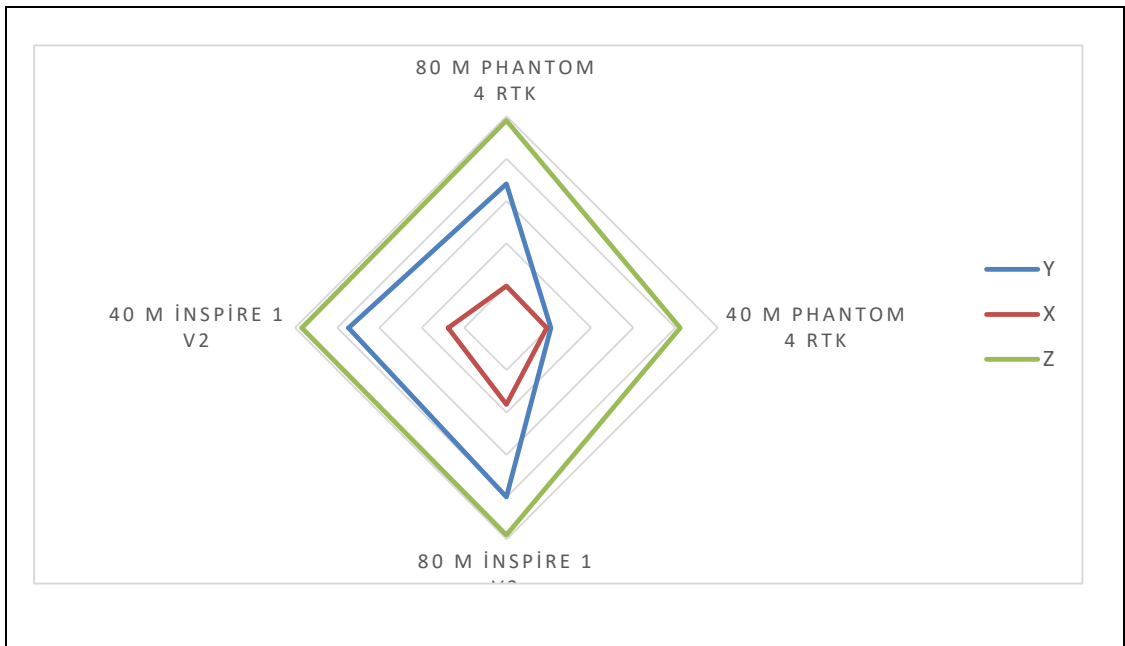
$$\pm\sqrt{\frac{\sum VVz}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{1585.38}{67-1}} = \pm 4.90 \text{ cm}$$

EK-4 incelendiğinde yatay konumda maksimum fark 27.2 cm iken Z konumunda 27.8 cm - bina çatı noktası - olarak belirlenmiştir. Bu farkların ortalaması alındığında ise 3 boyutlu konumda sırasıyla x konumunda 1.81 cm, y konumunda 4.00 cm ve z konumunda 4.90 cm olarak hata bulunmuştur. Agisoft Metashape yazılı ile dört farklı uçuşa ait karesel ortalama hata grafikleri Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'te verilmektedir.

Tablo 4.2: Agisoft Metashape karesel ortama hataları.

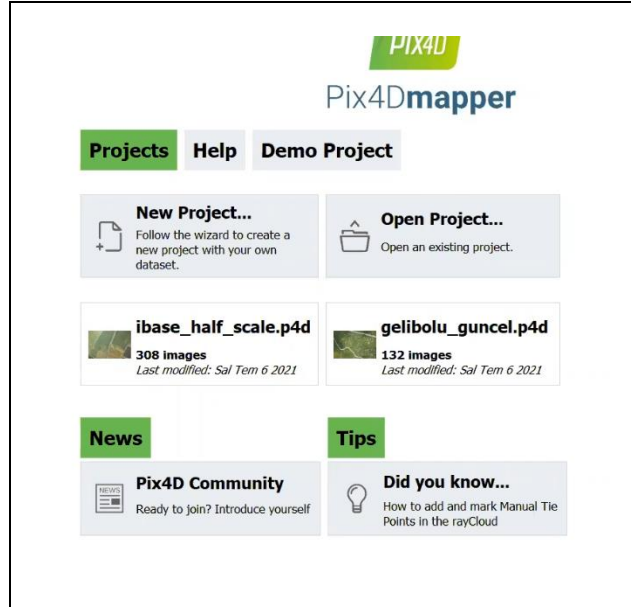


Tablo 4.3: Agisoft Metashape karesel ortama hataları.



4.2.2 Pix4d Programı ile Elde Edilen Veriler

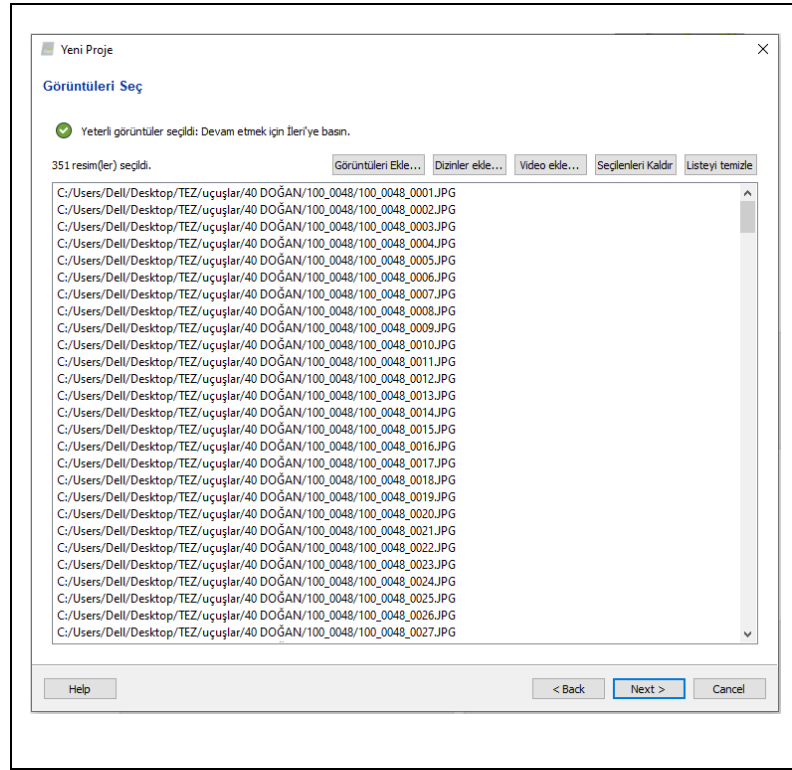
Uçuş verilerini analiz edebilmek ortofoto harita ve nokta bulutu dosyasını hazırlamak için ayrıca Pix4d programı kullanılmıştır. Pix4d programının kullanmamızın nedeni CAD ve GIS düzenleme araçları ile modelleme ve haritalamanın çözümünü kolay yapılabilmesidir. Ayrıca YKN'nın tümünü değerlendirip düzenleyerek projeyi kontrol altında tutar. Kalibrasyon ve veri işlemlerini otomatik kendisi yaparak cm hassasiyetinde nokta bulutu elde etmektedir. Şekil 4.19'daki gibi kullanılacak resimlerin seçimi ve proje oluşturma menüsü programı ilk açtığımızda karşımıza çıkar.



Şekil 4.19: Pix4D Mapper açılış sayfası.

New Project denilerek açılan pencerede proje dosyasının konumu belirlenir ve ismi girilmektedir.

Daha sonra açılan pencerede kullanacağımız resimler seçilir (Şekil 4.20). Resimler yüklendikten sonra tüm resimlerin yüklenip yüklenmediği kontrol edilir. Kullandığımız İHA RTK'lı olduğundan çekilen resimlerin içerisinde konum bilgileri de yüklü olarak gelmektedir.



Şekil 4.20: Pix4D Mapper eklenen resimler ve işlenmesi

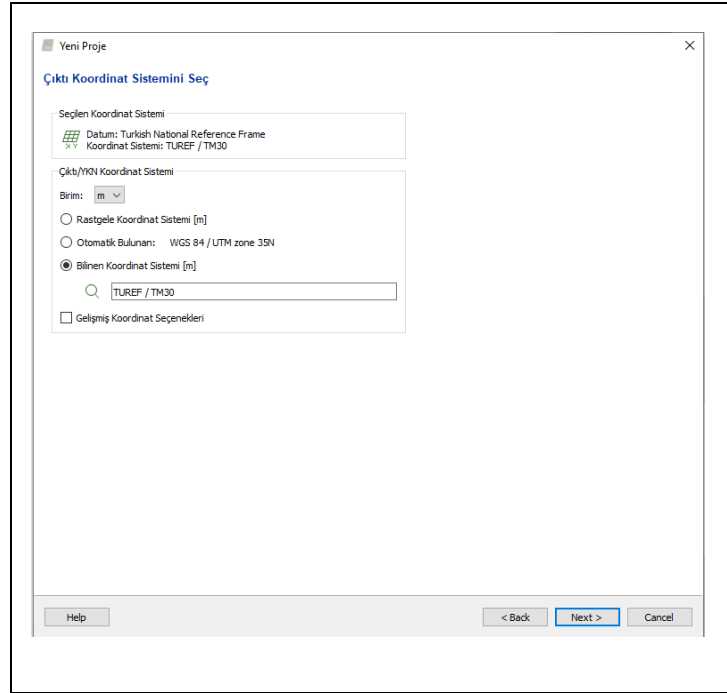
Resimler yüklendikten sonra Next yaparak ilerliyoruz. Hava fotoğraflarının koordinat sistemi direk datum olarak gelmektedir. Alt kısımda eklenen 351 fotoğrafın hepsinin dönüklük ve oryantasyon parametrelerin okunduğu görülmektedir. Girdi koordinat sistemi özellikle WGS84 seçilmelidir. Çünkü resim koordinatları enlem boylam olarak gelmektedir. Eğer ondülasyon değeri biliniyorsa detaylarda Geoid yüksekliği girilmesi gerekmektedir.

Seçilen kamera kalibrasyon bilgilerini program, çekilen fotoğrafların içerisindeki bilgilerden otomatik olarak getirmektedir. Pix4d'nin kamera veritabanında birçok kamera bulunmaktadır. Kamera ile ilgili herhangi bir parametreyi değiştirmek istiyorsanız Düzenle diyerek istediğiniz parametreyi değiştirebilirsiniz.

Gelen resimlerin verilerinde dış yöneltme parametreleri gelmektedir. Bunlar X,Y,Z,OMEGA,PHİ ve KAPPA değerleridir. Bu değerler kameranın çekim anındaki kameranın ortasında bulunan perspektif merkezinin koordinatları ve dönüklük parametreleridir. Gelen dış yöneltme parametreleri yaklaşık değerlerdir. Bizim hedefimiz dengeleme yaparak bu değerleri minimuma indirmektir. İlk olarak bağlama noktaları oluşturarak dengelenir daha sonra yer kontrol noktaları ile minimum seviye indirgenir. Bu parametrelerin X,Y ve Z koordinatları İHA'nın içerisinde bulunan

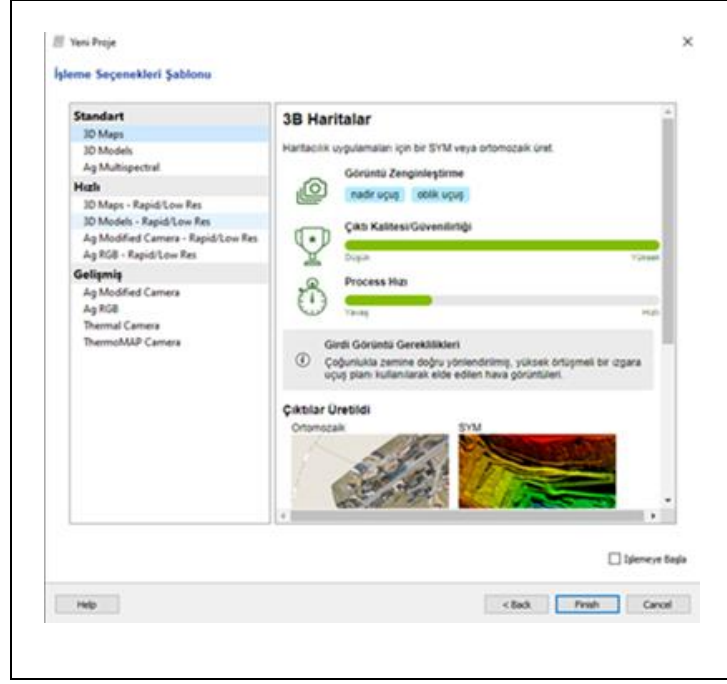
GPS'den gelir. Omega, Phi, Kappa ise IMU (Inertial Measurement Unit)'dan gelmektedir. IMU sistemi Ataletsel Ölçüm Sistemidir.

Daha sonra Next diyerek ilerliyoruz. Bizden Şekil 4.21'de görüldüğü gibi çıktı koordinat sistemi tanımlamamızı isteyecektir. Burada çıktı koordinat sisteminde Datum parametresi Turkish National Reference Frame olmalıdır. Koordinat sistemi ise çalışma alanımız 3 derece 30 dilim orta meridyeni olduğundan TUREF/TM30 seçilmektedir. Yine geoid ondülasyon biliyorsanız düşey koordinat sistemi de ayarlanabilmektedir.



Şekil 4.21 Pix4D Mapper çıktı koordinat penceresi

Bu kısımda bizden şablon seçmemizi istemektedir. Burada 3 boyutlu haritaların, modellerin ve tarım çalışmaları için şablon seçilebilmektedir. Tarım ve termal kameralar içinde kullanılacak şablonlar bulunmaktadır. Üç boyutlu haritaları seçiyoruz. Seçtikten sonra program yan tarafta yapılacakların kısaca açıklamasını yapar. Şekil 4.22'de çıktı olarak ortofoto, sayısal yüzey modeli, nokta bulutu ve katı model üreteceğini gösteriyor. Ayrıca hacim hesaplamaları, çeşitli sayılsallaştırma ve munhani (eş yükselti) eğrilerinin oluşturulabildiğini gösteriyor.



Şekil 4.22: Pix4D Mapper şablon seçimi

Sağ alt kısımda bulunan 'İşlemeye başla' komutunu işaretleyip Finish seçilince başından en sonuna kadar tüm işlemleri yapıp çıktı ürünlerini vermektedir. Eğer yer kontrol noktası işlenecekse bunun yapılmaması gerekmektedir.

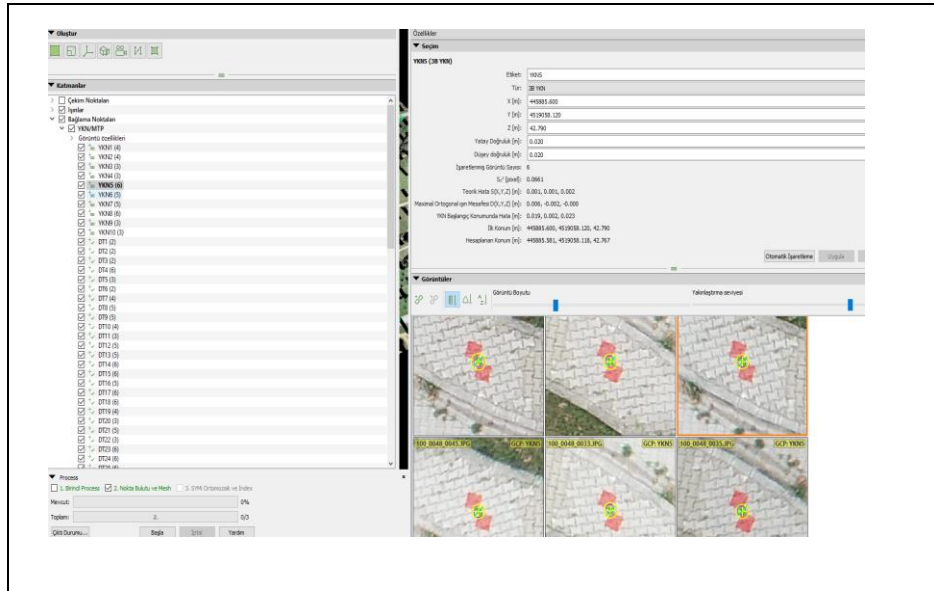
Finish seçildikten sonra ekrana uydu fotoğrafı üzerine bindirilmiş ve İHA'nın resim çekilen anlardaki konumları gösteren ekran gelmektedir. Burada Process'te işlem adımlarını göstermektedir. Önce birincil proses ile bağlama noktaları oluşturulacak, sonra nokta bulutu ve katı model oluşturulacak ve en son ortofoto oluşturulacaktır. Bu işlem adımlarını yapmadan önce Process Seçenekleri kısmında ön ayarlamalar yapmamız gerekmektedir. İlk olarak anahtar noktaları yani bağlama noktalarını önyarlı seçip ve alt kısımda bu çalışma için $\frac{1}{2}$ (Yarım Görüntü Boyutu) seçilmelidir. Bunun sebebi yüksek bindirmeli çalışma yapılması ve bilgisayarın işlem sırasında zorlamasıdır. Bazı detaylı ve büyük ölçekli işlerde $\frac{1}{4}$ seçilebilir. Yani her 4 pikselde bir bağlama noktası yakala demektir. Resimler üzerinde karşılıklı yöneltme yaparak ortak noktalar bulunmaktadır. Örneğin orman alanlarında her taraf yemyeşil olduğundan full seçilmelidir ki her bir pikselde bağlama noktası yakalayabilsin. Burada yakalanan bağlantı noktaları gösterilmektedir. Bağlantı noktalarından sonra YKN'leri mevcut fotoğraflarla optimize etmek gerekmektedir. YKN'leri İport etmek için YKN/MTP Yöneticisi butonuna tıklanır. Açılan YKN yöneticisinde YKN'leri içe aktar butonuna tıklayarak daha önceden hazırlanmış ve GPS ile okumuş olduğumuz txt

uzantılı nokta dosyasını eklenir. Bu işlem sonucunda YKN noktaları ve denetleme noktaları Şekil 4.23’de görüldüğü üzere artı işaretli şekilde uydu üzerinde üstünde görünecektir.



Şekil 4.23: Pix4D Mapper YKN noktaları

Pix4D Mapper YKN koordinatlandırmak için Şekil 2.24’teki ekranda sol tarafta bulunan YKN editöründeki YKN noktalarını seçilir. Burada tüm resimlere yaklaşılarak YKN noktalarının tam merkezlenip işaretlenir ve uygula yapılır.



Şekil 4.24: Pix4D Mapper YKN koordinatlandırma

RTK'lı cihazlarla yapılan ölçümlerde bu noktalar 10-20 cm uzaklıkta çıkacaktır. Fakat RTK'sı olmayan cihazlarda 3-5 m uzaklıkta çıkacaktır. İlk baştaki 2 resme tıkladıktan sonra nokta diğer resimlerde otomatik olarak görünecektir. Çok resimle çalışılıyor ise üst kısımda otomatik işaretleme yapabilirsiniz. Eğer çok YKN noktanız ve denetleme noktanız varsa 3 adet YKN'yi işaretleme yaptıktan sonra Process komutundan Yeniden Optimize Et butonu tıklarsanız RTK'sız cihazla yaptığımız uçuş RTK'lı hale gelecektir.

YKN noktaları işaretleme yapıldıktan sonra üstte Tür kısmı 3B YKN, denetleme noktaları ise Kontrol Noktası seçilmelidir. Tüm işaretlemeler yapıldıktan sonra Yeniden Eşle ve Optimize Et yapılmalıdır. Burada amaç YKN'leri ayarlayarak resimleri koordinatlandırmak, denetleme noktaları ile de projenin doğruluğunu kontrol etmektir. Daha sonra ikincil aşama olarak Nokta bulutu ve Mesh'i, üçüncül aşama olarak SYM ve ortofoto oluşturulmaktadır. Kalite raporu oluşturularak zemine tesis edilen denetleme noktalarının hassasiyetleri çıkarılmaktadır. Bu rapora göre denetleme noktaları ekte belirtildiği gibidir.

PİX4D Mapper programına göre hesaplanan Karesel Ortalama hataları;

- DJI Phantom 4 RTK - 40 m uçuş yüksekliği

$$\pm\sqrt{\frac{\sum VVy}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{190.25}{67-1}} = \pm 1.69 \text{ cm}$$

$$\pm\sqrt{\frac{\sum VVx}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{187.44}{67-1}} = \pm 1.68 \text{ cm}$$

$$\pm\sqrt{\frac{\sum VVz}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{522.15}{67-1}} = \pm 2.81 \text{ cm}$$

Ek-5 incelendiğinde yatay konumda maksimum fark 4.5 cm iken z konumunda 6.8 cm olarak belirlenmiştir. Bu farkların ortalaması alındığında ise 3 boyutlu konumda sırasıyla x konumunda 1.68 cm, y konumunda 1.69 cm ve z konumunda 2.81 cm olarak hata bulunmuştur.

- DJI Phantom 4 RTK - 80 m uçuş yüksekliği

$$\pm\sqrt{\frac{\sum VVy}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{76.67}{67-1}} = \pm 1.08 \text{ cm}$$

$$\pm\sqrt{\frac{\sum VVx}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{117.04}{67-1}} = \pm 1.33 \text{ cm}$$

$$\pm\sqrt{\frac{\sum VVz}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{1183.55}{67-1}} = \pm 4.23 \text{ cm}$$

Ek-6 incelendiğinde yatay konumda maksimum fark 3.7 cm iken z konumunda ise 17,7 cm olarak belirlenmiştir. Bu farkların ortalaması alındığında ise 3 boyutlu konumda sırasıyla x konumunda 1.33 cm, y konumunda 1.08 cm ve z konumunda 4.23 cm olarak hata bulunmuştur.

- DJI İnspire 1 V2 - 80 m uçuş yüksekliği

$$\pm\sqrt{\frac{\sum VVy}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{357.87}{67-1}} = \pm 2.33 \text{ cm}$$

$$\pm\sqrt{\frac{\sum VVx}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{348.56}{67-1}} = \pm 2.29 \text{ cm}$$

$$\pm\sqrt{\frac{\sum VVz}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{731.11}{67-1}} = \pm 3.33 \text{ cm}$$

Ek-7 incelendiğinde yatay konumda maksimum fark 5.5 cm iken z konumunda ise 7.8 cm olarak belirlenmiştir. Bu farkların ortalaması alındığında ise 3 boyutlu konumda sırasıyla x konumunda 2.29 cm, y konumunda 2.33 cm ve z konumunda 3.33 cm olarak hata bulunmuştur.

- DJI İnspire 1 V2 - 40 m uçuş yüksekliği

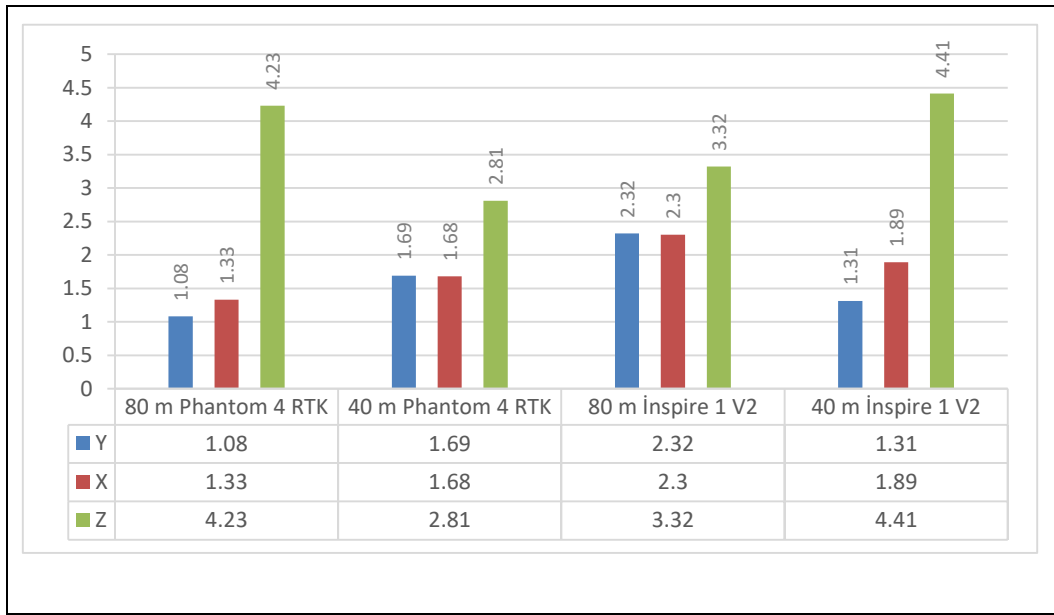
$$\pm\sqrt{\frac{\sum VVy}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{113.55}{67-1}} = \pm 1.31 \text{ cm}$$

$$\pm\sqrt{\frac{\sum VVx}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{237}{67-1}} = \pm 1.89 \text{ cm}$$

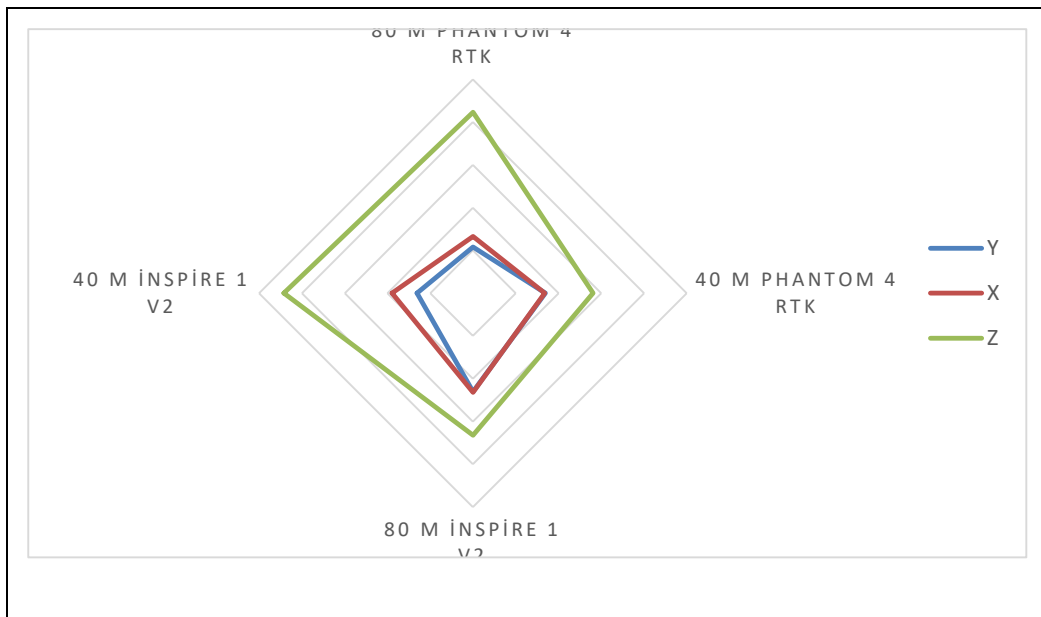
$$\pm\sqrt{\frac{\sum VVz}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{1288.21}{67-1}} = \pm 4.42 \text{ cm}$$

Ek-8 incelendiğinde yatay konumda maksimum fark 4.7 cm iken z konumunda 18.7 cm olarak belirlenmiştir. Bu farkların ortalaması alındığında ise 3 boyutlu konumda sırasıyla x konumunda 1.89 cm, y konumunda 1.31 cm ve z konumunda 4.42 cm olarak hata bulunmuştur. Tablo 4.4 Pix4d Mapper Karesel ortalama hataların çizimsel gösterimi verilmektedir. Pix4d Mapper yazılı ile dört farklı uçuşa ait karesel ortalama hata grafikleri Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'te verilmektedir.

Tablo 4.4: Pix4d Mapper Karesel ortalama hataları.

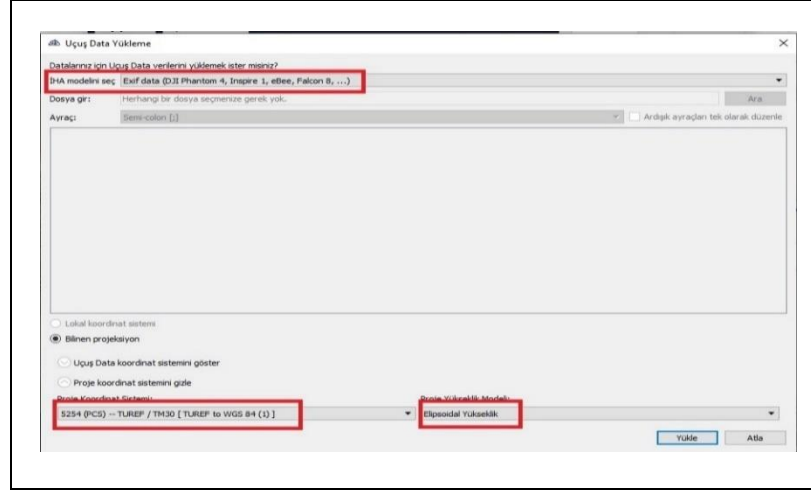


Tablo 4.5: Pix4d Mapper Karesel ortalama hataları.



4.2.3 3D Survey Programı ile Elde Edilen Veriler

Uçuş verilerini analiz edebilmek ortofoto harita ve nokta bulutu dosyasını hazırlamak için son olarak 3D SURVEY programı kullanılmıştır. Kullanılacak resimlerin seçimi ve proje oluşturma menüsü programı ilk açtığımızda karşımıza çıkar (Şekil 4.25).



Şekil 4.25: 3D Survey açılış penceresi.

Yeni proje denildikten sonra açılan uçuş data yükleme penceresinde önce İHA modeli seçilmektedir. Burada uçuş yatığımız İHA'lar Phantom 4 ve İmpire olduğundan Exif datayı seçilir. Şekil 4. 26'da gösterildiği gibi projeksiyon kısmında Bilinen projeksiyon denilerek projenin koordinat sistemini TUREF/TM30 ve proje yüksekliğini Elipsoidal Yükseklik seçilir.



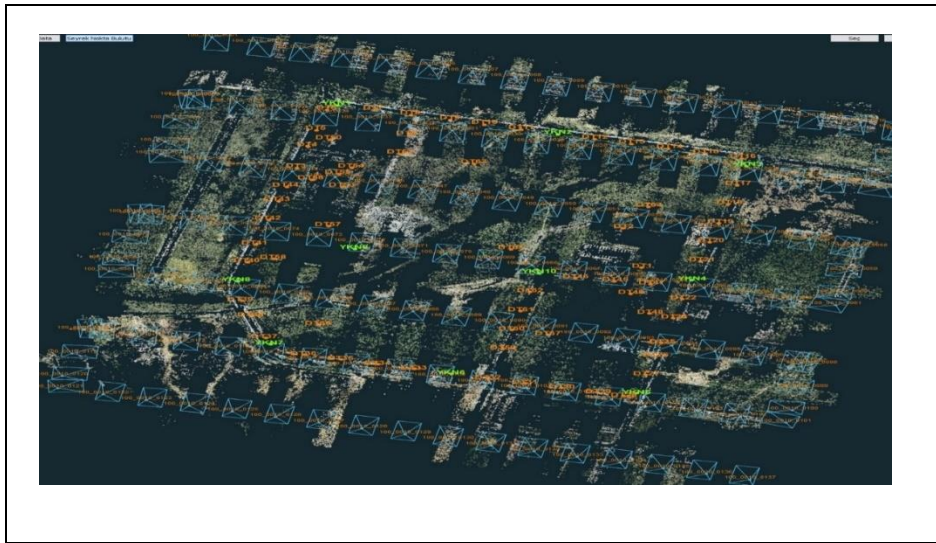
Şekil 4.26: 3D Survey uçuş data yükleme penceresi.

Fotoğraf ve projeksiyon ayarları yapıldıktan sonra yüklenilerek devam edilmektedir. Uydu üzerine çekilen İHA resimleri Şekil 4.27'deki gibi gelmektedir.



Şekil 4.27: 3D Survey kamera konumları.

Fotoğraf birleştirme butonuna basılarak tie pointler oluşturulmaktadır. Bu programda tie point dosyası, seyrek nokta bulutu olarak geçmektedir(Şekil 4.28). Oluşturulan seyrek nokta bulutundan sonra hazırlanan YKN dosyası tie pointler üzerine işlenerek dengeleme yapılmaktadır. 3D Survey programında uçuş datası ile dengeleme yapılmaktadır. Fotoğraf koordinatlarından dengeleyip size rapor oluşturmaktadır. Eğer zeminde YKN ya da doğrulayacak koordinat yoksa bu kullanılabilir.



Şekil 4.28: 3D Survey bağlama noktaları ve YKN'ler

YKN noktalarımız olduğundan dolayı YKN ile dengeleme seçilmektedir. Açılan YKN editöründe içe aktar yapılarak txt uzantılı hem YKN noktalarımızı hem de denetleme noktalarımız yüklüyoruz ve uçuş datasının yatay koordinat sistemi TUREF/TM30 seçilmektedir.

Açılan sayfada gelen noktaların hangilerinin yer kontrol noktası ya da hangilerinin denetleme noktası olup olmadığı seçilmektedir. Şekil 4.29'da görüldüğü gibi gelen noktalarda 10 adet yer kontrol noktası, 67 adet denetleme noktası olarak seçilmektedir.

Seçilen YKN					
		X [m]	Y [m]	Z [m]	Çap [m]
YKN1	YKN	445648.990	4519500.180	44.100	0.27
YKN2	YKN	445823.430	4519455.630	45.310	0.27
YKN3	YKN	445972.500	4519406.740	45.510	0.27
YKN4	YKN	445929.250	4519232.000	44.140	0.27
YKN5	YKN	445885.600	4519058.120	42.790	0.27
YKN6	YKN	445739.090	4519088.110	42.560	0.27
YKN7	YKN	445595.820	4519133.420	42.770	0.27
YKN8	YKN	445570.050	4519230.360	43.700	0.27
YKN9	YKN	445662.860	4519279.840	44.330	0.27
YKN10	YKN	445808.470	4519242.710	44.100	0.27
DT1	Denetleme	445888.100	4519251.530	55.400	0.27
DT2	Denetleme	445873.410	4519311.010	55.370	0.27
DT3	Denetleme	445616.710	4519404.190	43.960	0.27
DT4	Denetleme	445625.590	4519437.280	43.970	0.27
DT5	Denetleme	445632.270	4519462.240	43.970	0.27
DT6	Denetleme	445640.660	4519493.520	44.140	0.27
DT7	Denetleme	445678.050	4519492.700	44.360	0.27
DT8	Denetleme	445707.230	4519485.360	44.610	0.27
DT9	Denetleme	445738.230	4519477.390	44.850	0.27
DT10	Denetleme	445765.390	4519470.490	45.070	0.27
DT11	Denetleme	445794.380	4519463.040	45.190	0.27
DT12	Denetleme	445852.490	4519448.240	45.450	0.27
DT13	Denetleme	445881.590	4519440.840	45.590	0.27
DT14	Denetleme	445910.710	4519433.400	45.730	0.27

Şekil 4.29: 3D Survey YKN ve denetleme noktalarının seçilmesi.

İleri denildikten sonra karışımıza YKN'leri içerisinde barından resimler ve hata oranlarını gösteren bir pencere gelmektedir. Bu pencerede YKN noktaları belirlenip optimize edilmediğinden hata oranları tablosu boş gelecektir. 3D SURVEY programında YKN editöründe YKN'leri Algıla butonu bulunmaktadır. Bu buton eğer

seçilip devam ettirilirse program kendince bazı YKN'ler üretmektedir. Fakat bu çok doğru bir yaklaşım olmamakla birlikte hata oranı daha yüksektir.

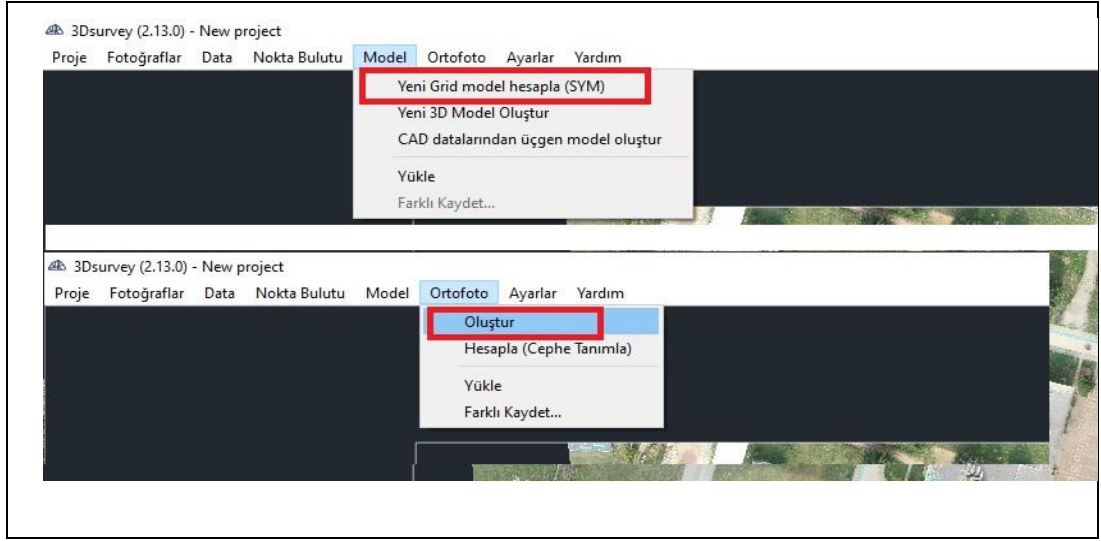
İşlem devam ettirildiğinde Şekil 4.30'da görüldüğü gibi Algılamalara Genel Bakış penceresi önümüze çıkmaktadır. Burada hem yer kontrol noktalarını hem de denetleme noktalarını zeminde işaretlenip koordinatı alınan yerlere getirilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.30: 3D Survey YKN koordinatlandırma

Ayarlanan YKN noktaları verileri optimize ederek denetleme noktalarındaki hata değerlerini çıkarmaktadır. Daha sonra şekildeki görüldüğü üzere Kamera Çekim Konumları, Seyrek nokta bulutu, YKN noktaları ve denetleme noktaları üst üste görülmektedir.

Şekil 4.31 SYM ve SAM üretimi ekranını göstermektedir. Nokta bulutu oluşturulduktan sonra SYM(Sayısal Yükseklik Modeli) ve SAM(Sayısal Arazi Modeli) ve Ortofoto oluşturulmaktadır.



Şekil 4.31: SYM ve SAM üretimi

3D Survey ile hazırlanan ortofoto Şekil 4.32’ de gösterilmektedir. Bu verilere istinaden tüm uçuşlardan alınan koordinatlardan oluşturulan hata değerleri ekte sunulmuştur.



Şekil 4.32 3D Survey ile hazırlanan ortofoto

3D Survey programına göre hesaplanan Karesel Ortalama hataları;

- DJI Phantom 4 RTK - 40 m uçuş yüksekliği

$$\begin{aligned}\pm\sqrt{\frac{\sum VVy}{n-1}} &= \pm\sqrt{\frac{138.13}{67-1}} &= \pm 1.45 \text{ cm} \\ \pm\sqrt{\frac{\sum VVx}{n-1}} &= \pm\sqrt{\frac{135.58}{67-1}} &= \pm 1.43 \text{ cm} \\ \pm\sqrt{\frac{\sum VVz}{n-1}} &= \pm\sqrt{\frac{1327.52}{67-1}} &= \pm 4.48 \text{ cm}\end{aligned}$$

Ek-9 incelendiğinde yatay konumda maksimum fark 3.5 cm iken z konumunda ise 26.5 cm olarak belirlenmiştir. Bu farkların karesel ortalaması alındığında ise 3 boyutlu konumda sırasıyla x konumunda 1.43 cm, y konumunda 1.45 cm ve z konumunda 4.48 cm olarak hata bulunmuştur.

- DJI Phantom 4 RTK - 80 m uçuş yüksekliği

$$\begin{aligned}\pm\sqrt{\frac{\sum VVy}{n-1}} &= \pm\sqrt{\frac{552.90}{67-1}} &= \pm 2.89 \text{ cm} \\ \pm\sqrt{\frac{\sum VVx}{n-1}} &= \pm\sqrt{\frac{183.70}{67-1}} &= \pm 1.67 \text{ cm} \\ \pm\sqrt{\frac{\sum VVz}{n-1}} &= \pm\sqrt{\frac{1086.05}{67-1}} &= \pm 4.05 \text{ cm}\end{aligned}$$

Ek-10 incelendiğinde yatay konumda maksimum fark 20 cm iken z konumunda ise 13,6 cm olarak belirlenmiştir. Bu farkların ortalaması alındığında ise 3 boyutlu konumda sırasıyla x konumunda 1.67 cm, y konumunda 2.89 cm ve z konumunda 4.05 cm olarak hata bulunmuştur.

- DJI İnspire 1 V2 - 40 m uçuş yüksekliği

$$\pm\sqrt{\frac{\sum VVy}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{449.73}{67-1}} = \pm 2.61 \text{ cm}$$

$$\pm\sqrt{\frac{\sum VVx}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{565.18}{67-1}} = \pm 2.92 \text{ cm}$$

$$\pm\sqrt{\frac{\sum VVz}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{1863.52}{67-1}} = \pm 5.31 \text{ cm}$$

Ek-11 incelendiğinde yatay konumda maksimum fark 5.5 cm iken z konumunda ise 28.5 cm –bina çatısında nokta - olarak belirlenmiştir. Bu farkların ortalaması alındığında ise 3 boyutlu konumda sırasıyla x konumunda 2.92 cm, y konumunda 2.61 cm ve z konumunda 5.31 cm olarak hata bulunmuştur.

- DJI İnspire 1 V2 - 80 m uçuş yüksekliği

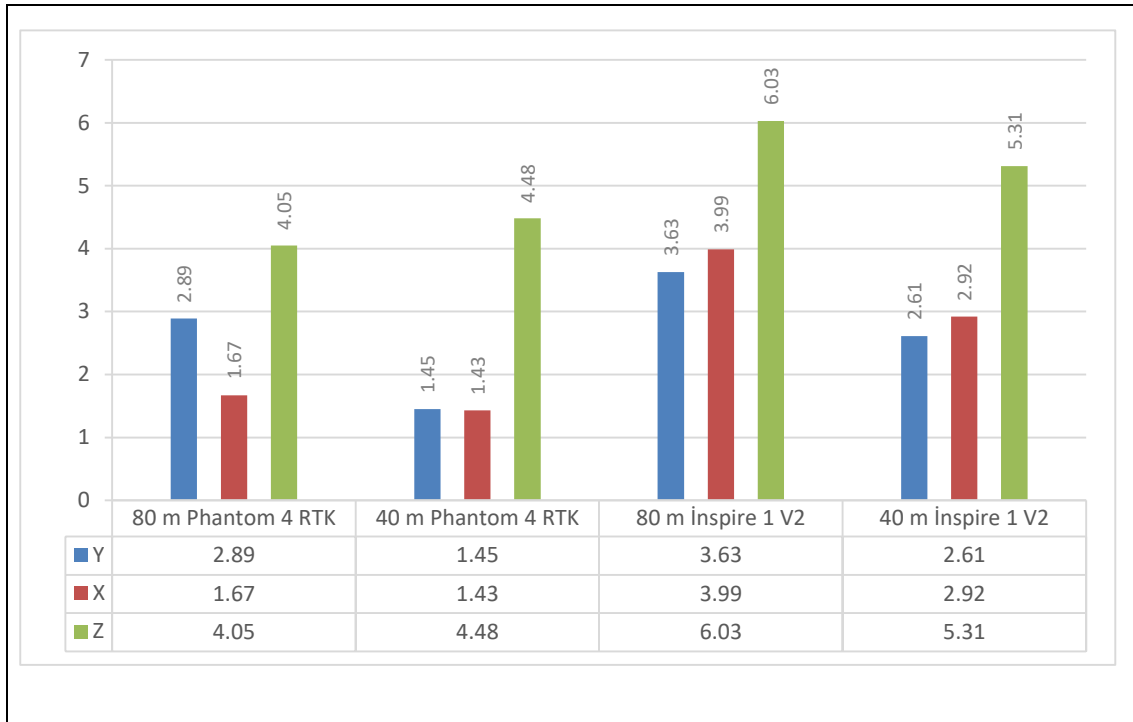
$$\pm\sqrt{\frac{\sum VVy}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{870.93}{67-1}} = \pm 3.63 \text{ cm}$$

$$\pm\sqrt{\frac{\sum VVx}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{1050.80}{67-1}} = \pm 3.99 \text{ cm}$$

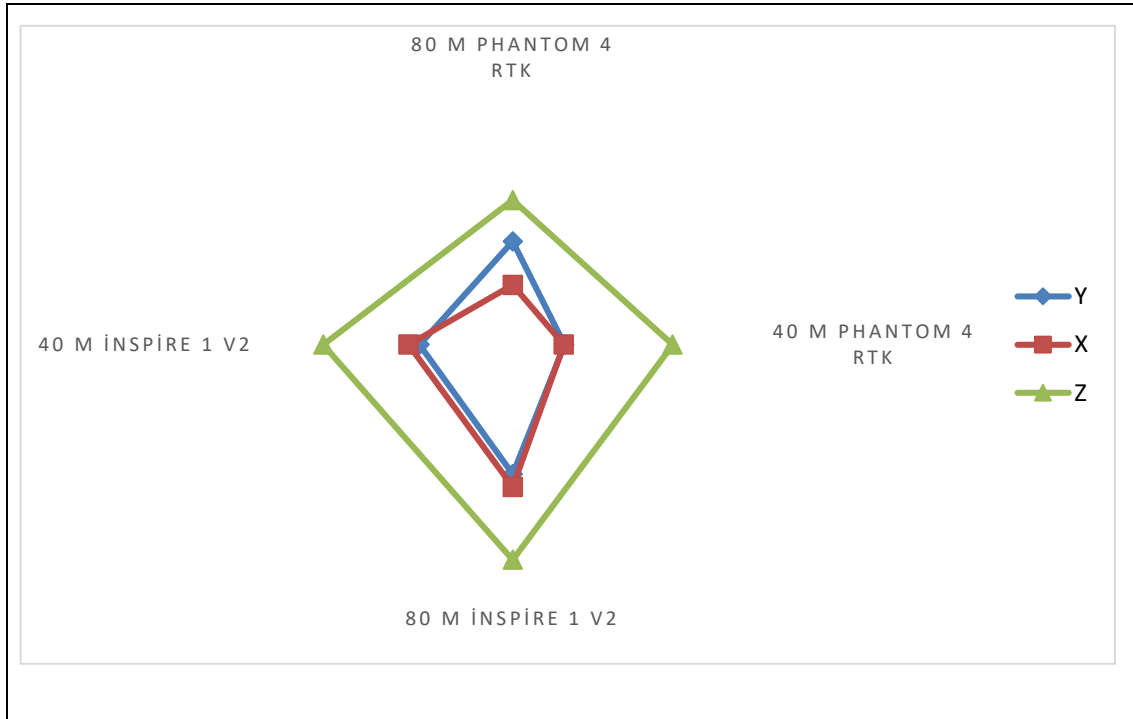
$$\pm\sqrt{\frac{\sum VVz}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{2405.28}{67-1}} = \pm 6.03 \text{ cm}$$

Ek-12 incelendiğinde yatay konumda maksimum fark 6.6 cm iken z konumunda ise 29.6 cm olarak belirlenmiştir. Bu farkların ortalaması alındığında ise 3 boyutlu konumda sırasıyla x konumunda 3.99 cm, y konumunda 3.63 cm ve z konumunda 6.03 cm olarak hata bulunmuştur. 3d Survey yazılı ile dört farklı uçuşa ait karesel ortalama hata grafikleri Tablo 4.6 ve Tablo 4.7’te verilmektedir.

Tablo 4.6: 3d Survey karesel ortalama hata



Tablo 4.7: 3d Survey karesel ortalama hata



İki farklı İnsansız Hava Aracından 40 ve 80 metrelik iki farklı uçuş yüksekliğinin üç farklı yazılımda değerlendirilmesi sonucunda 67 denetleme noktası kullanılarak elde edilen karesel ortalama hatalar Tablo 4.8’de gösterilmektedir. Tablo

4.9’da çalışma sırasında iki ayrı İHA ile yapılan ikişer uçuş için uçuş süreleri, çekilen resim sayısı ve kullanılan batarya miktarı ile ilgili özet bilgiler verilmiştir. Phantom 4 RTK uçuş hızını belirlenen alan ve uçuş yüksekliğine göre kendisi ayarlamaktadır. İNSPİRE 1 V2 de ise uçuş hızı manuel olarak ayarlanabildiğinden dolayı Phantom 4 RTK ya göre daha hızlı uçuş yapılmıştır. Bu da çekilen resim sayılarında farklılığa sebep olmuştur.

Tablo 4.8: AgisoftMeta/Pix4 D/3d Survey yazılımları karesel ortalama hatalar (cm)

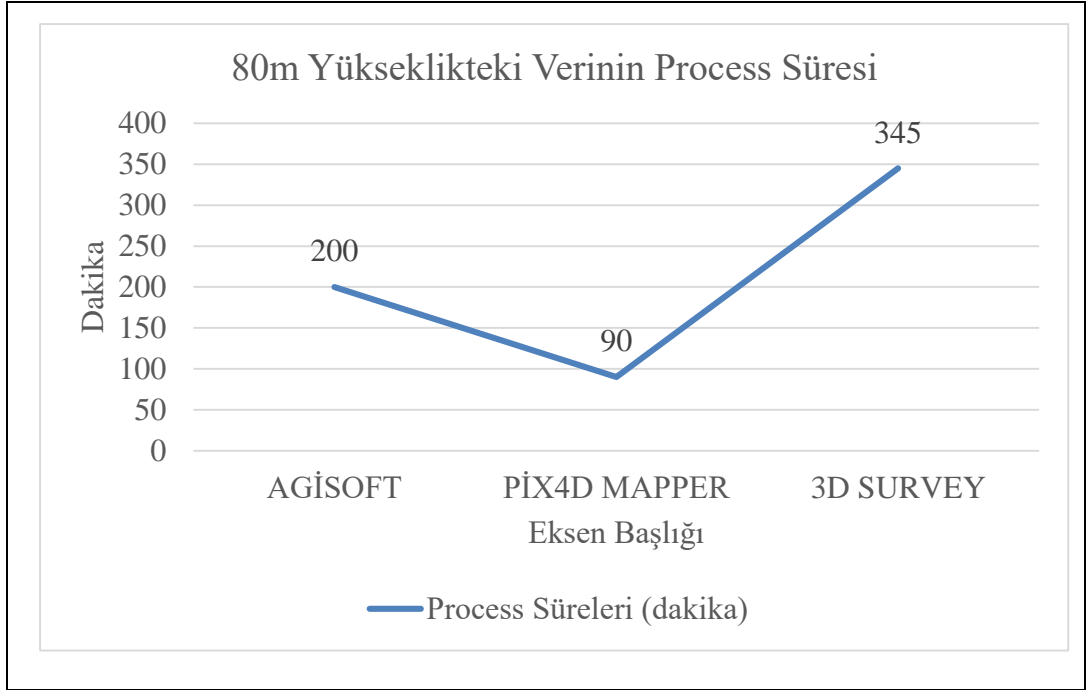
		PHANTOM 4 RTK		İNSPİRE 1 V2	
		80 Metre	40 metre	80 Metre	40 metre
Agisoft Metashape	X	0.99	0.95	1.81	1.38
	Y	3.4	1.05	4	3.73
	Z	4.9	4.11	4.9	4.84
Pix 4D	X	1.33	1.68	2.3	1.89
	Y	1.07	1.69	2.32	1.31
	Z	4.23	2.81	3.32	4.41
3D Survey	X	1.67	1.43	3.99	2.92
	Y	2.89	1.45	3.63	2.61
	Z	4.05	4.48	6.03	5.31

Tablo 4.9: İHA’ların Uçuş Süreleri-Resim Adetleri ve Batarya Sayısı

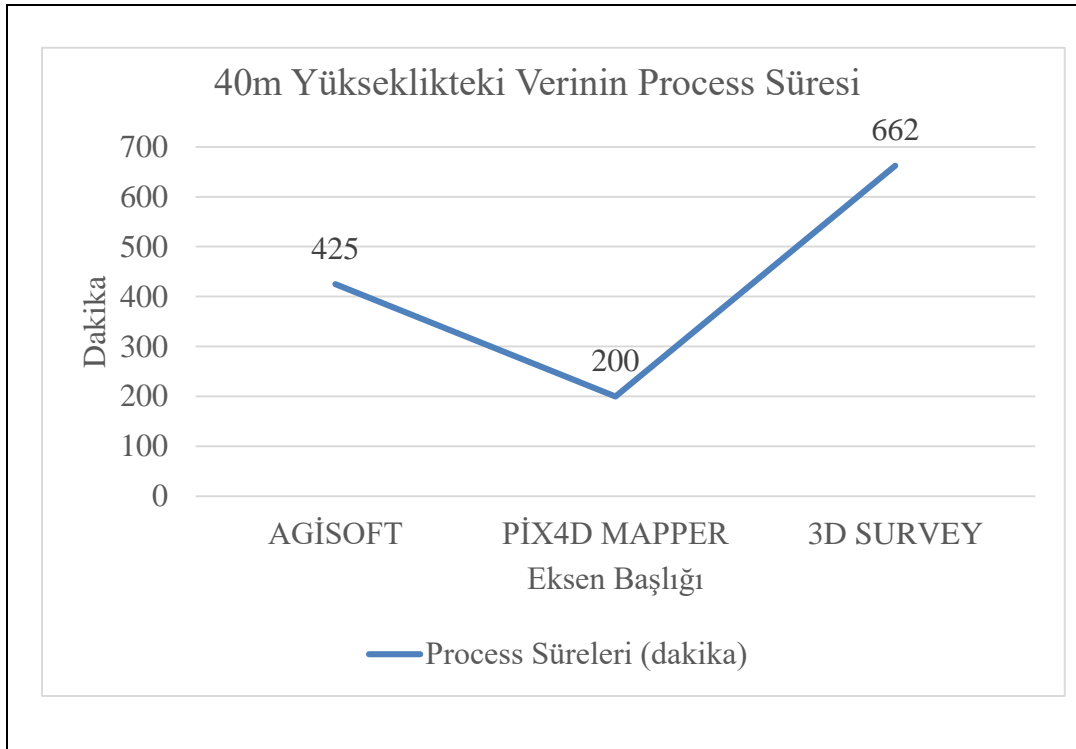
	UÇUŞ SÜRESİ	ÇEKİLEN RESİM	BATARYA
PHANTOM 4 RTK (40 m.)	27 Dakika	351	2
PHANTOM 4 RTK (80 m.)	14 Dakika	137	1
İNSPİRE 1 V2 (40 m.)	15 Dakika	181	1
İNSPİRE 1 V2 (80 m.)	7 Dakika	68	0.5

Tablo 4.10’da 40 metre, Tablo 4.11’de ise 80 metre yükseklikten elde edilen resimlerin AgisoftMeta / Pix4 D / 3d Survey yazılımlarında işlem (process) süreleri gösterilmiştir.

Tablo 4.10: 80 m Yükseklikteki Verinin Process Süresi



Tablo 4.11: 40 m Yükseklikteki Verinin Process Süresi



5. SONUÇLAR VE YORUMLAR

Bu tez çalışmasında Gebze Teknik Üniversitesi'nde 13,44 hektarlık alanın Ortofotosu, Sayısal Yükseklik Modeli ve Nokta Bulutu dosyaları hazırlanmıştır. Uçuş öncesinde Yer Kontrol Noktaları (YKN) ve Denetleme Noktaları (DN) tesis edilmiş ve iki farklı zamanda GPS ile ölçümleri yapılmıştır. İHA uçuşu ile elde edilen hâlihazır haritaların doğruluğu, Denetleme Noktalarının koordinatları ile karşılaştırmalar yapılmak suretiyle, kontrol edilmiştir. Nokta tesisi ve GPS ile ölçmelerinin ardından iki farklı insansız hava aracı, DJI Phantom 4 RTK ve DJI İnspire V2 modelleri, kullanılarak çalışma bölgesinin resimleri elde edilmiştir. Verilerin hazırlanmasında iki farklı uçuş yüksekliğinden yararlanılmıştır. İlk uçuş için 40 m. yükseklik seçilmiş ve uçuş planı çizilmiştir. Daha sonra 80 m yükseklik seçilmiş ve planlanması yapılarak uçuş gerçekleştirilmiştir. Çekilen görüntülerin değerlendirilmesinde Agisoft Metashape, Pix4d ve 3d Survey programları kullanılmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda DJI Phantom 4 RTK insansız hava aracının her iki uçuş yüksekliği için, üç yazılımda da, DJI İnspire V2 modelinden daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Çalışma bölgesi, uçuş yükseklikleri ve bindirme oranları göz önüne alındığında aradaki farkın anlamlı olmadığı görülmüştür.

Konum doğruluğunda en hassas program Agisoft Metashape olmuştur. 40 m. yükseklikte uçulan RTK'lı insansız hava aracı ile 1 cm ve daha altında bir değerle hassasiyet yakalanmıştır. Z ekseninde ise Pix4d programının daha hassas olduğu görülmüştür. Ayrıca Pix4d Mapper yazılımının işlem basamaklarını en hızlı yapan ve GSD değerlerinin en iyi olduğu yazılım olduğu görülmüştür. İşlem basamaklarını en uzun süre de gerçekleştiren ise 3D Survey programıdır.

Tüm bunlara ek olarak uygulamadaki tüm uçuşlarda Büyük Ölçekli Harita Bilgileri ve Harita Üretim Yönetmeliğinde belirtilmiş olan “0-10 cm/pix GSD değerinde ve detay noktaların yatay konum doğruluğu ± 7 cm ve yükseklik doğruluğu (σ_H) ± 7 cm” gerekliliğini sağladığı – bina çatılarına tesis edilen bazı noktaların Z değerleri haricinde- tespit edilmiştir.

Uçuş planı hazırlanırken her iki insansız hava aracında da 2d uçuş yapılarak nadir uçuş (90 derece) gerçekleştirilmiştir. Z eksenindeki hata oranının yüksek çıkmasının sebebi bina üzerlerindeki denetleme noktalarıdır. Buradaki hatalar 20-30

cm'e kadar çıkabilmektedir. Bu hataları azaltmak için bina çatılarına ait fotoğrafların çoğaltılması gerekmektedir.

Yapılaşmanın olmadığı otsu bitki örtüsüne sahip alanlarda, yazılımlar otun üzerini algılamakta ve ona göre yükseklik değeri çıkarmaktadır. Bu yüzden eğer ot yükseklikleri aynıysa bu yükseklik, yazılımdaki yüksekliklerden çıkartılmalıdır.

Sonuç olarak hem zamandan tasarruf ederek, hem daha az iş gücü ve düşük maliyetle, yüksek konumsal doğruluk yakalanarak İnsansız Hava Araçları (İHA) ile GNSS/GPS sisteminin yapabildiği işleri yapabilmek mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1] Uçar E., Ergün B. (2004), “Fotogrametride üç boyutlu şehir modelleme teknikleri ve CBS kullanımı”, Harita Genel Müdürlüğü Harita Dergisi, 132: 48-56.
- [2] Selçuk, O. (2008), “Dijital ve analog hava kameralarının geometrik potansiyellerinin fotogrametrik açıdan irdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- [3] Wiedemann, A., More J. (2012), “Orientation strategies for aerial oblique images”, Conference Paper, Temmuz 2012.
- [4] Acar, H., Karslı, F., (2013), “Yüksek çözünürlüklü dijital hava görüntülerinin surf nokta belirleme algoritması ile otomatik eşleştirilmesi”, TUFUAB VII. Teknik Sempozyumu 23-25 Mayıs, Trabzon.
- [5] Toprak, A.S. (2014), “Fotogrametrik tekniklerin insansız hava araçları ile mühendislik projelerinde kullanılabilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [6] Gençerk, E.Y. (2016), “İnsansız hava aracı fotogrametrisi uygulaması ile inşaat projesi imalat durumunun araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [7] Tercan, E. (2018), “Karayolu ölçmelerinde insansız hava araçlarının kullanılması: okurcalar şehir merkezi örneği”, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7 (2), 649-660, Niğde.
- [8] Beg, R. A. (2018), “Kilistra (Gökyurt) Antik Kenti yapılarının yersel lazer tarama ve insansız hava aracı tekniği ile modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [9] Gustavo Olague, (2016), "Evolutionary Computer Vision, The First Footprints", Springer, 1st edition, ISBN-13: 978-3662436929, ISBN-10: 3662436922.
- [10] Ghosh S.K., (1979), "Analytical photogrammetry.", Analytical Photogrammetry., 259–265.
- [11] Ulvi, A., (2015), Metrik Olmayan Dijital Kameraların Hava Fotogrametrisinde Yakın Resim Çalışmalarında(Yere Yakın Yüksekliklerde) Kullanılabilirliği Üzerine Bir Çalışma.
- [12] Erdönmez M. (2018), “Yapılaşmış Alanlarda İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Eğik Resim Fotogrametrisi Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi

- [13] Erdönmez M. (2018), ‘‘Yapılaşmış Alanlarda İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Eğik Resim Fotogrametrisi Uygulaması’’, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi.
- [14] Bilgi S., (2007), "Fotogrametri ve uzaktan algılamada veri elde etme yöntemlerinin gelişimi ve kısa tarihçeleri", Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi, 48–55.
- [15] Luhmann T., (2004), "A historical review on panorama photogrammetry", International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 34, 8.
- [16] Mezydło N., (2017), "Digital Photogrammetry for Long-Term Monitoring", Yüksek Lisans Tezi, Kolombiya Üniversitesi.
- [17] Doyle I.W., (1980), "Sherman Mills Fairchild", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 46, 923–936.
- [18] Yetişen H., (2007), Hava Fotogrametrisi Kullanılarak Tasman Belirlenmesi Ve Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- [19] Kelek S., (2019), "İnsansız Hava Araçları ile Üretilen Sayısal Yüzey Modellerinin Doğruluğu", Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- [20] Döner F., Özdemir S., Ceylan M., (2014), "İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Veri Toplama ve Haritalama Çalışmalarında Kullanımı", Uzaktan Algılama–CBS Sempozyumu, 14–17.
- [21] Mahmod A.A., (2017), "İnsansız Hava Aracı Verilerinden Üç Boyutlu Model Oluşturma: Aksaray Üniversitesi Kampüs Camii", Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi.
- [22] Şasi, A., (2016), İnsansız Hava Araçlarının Sınıflandırılması Donanım ve Yazılım Bileşenleri.
- [23] Web 3, (2022), https://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/mevzuat/_sektorel/talimatlar/SHT-IHA_12062017.pdf , Erişim Tarihi: 04/06/2022).
- [24] Eisenbeiß H., (2009), "UAV Photogrammetry", Diss. ETH No. 18515, doi:10.3929/ethz-a005939264.

ÖZGEÇMİŞ

2010 yılında başladığı Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği'ni 2015 yılında başarıyla tamamladı. Askerliğini yaptıktan sonra 2016 yılında Kocaeli/Gebze'de Yön Harita isminde bir şirket kurdu. 2018 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisansa başladı.

EKLER

Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayın

Özer D., Şahin C., (2022), "Farklı İnsansız Hava Araçları ile Farklı Yüksekliklerden Alınan Görüntülerden Hazırlanan Ortofotolar ile GPS Doğruluğunun Karşılaştırılması", 7. Uluslararası Yenilikçi Bilim Kongresi 2022, Samsun, Türkiye, 19-20 Mayıs 2022.

Ek B :

Ek-1: Agisoft programında 80m yükseklikte DJI Phantom 4 RTK

Kontrol Noktaları	Error X(cm)	Error Y(cm)	Error Z(cm)	Kontrol Noktaları	Error X(cm)	Error Y(cm)	Error Z(cm)
DT1	-1.0	1.0	2.0	DT34	0.0	-1.0	2.0
DT2	0.0	1.0	2.0	DT35	0.0	0.0	2.0
DT3	-1.0	4.0	-4.0	DT36	0.0	0.0	2.0
DT4	0.0	2.0	-2.0	DT37	-1.0	-1.0	1.0
DT5	3.0	3.0	-1.0	DT38	-1.0	-1.0	-2.0
DT6	2.0	2.0	-1.0	DT39	-1.0	-1.0	-1.0
DT7	0.0	2.0	-1.0	DT40	-2.0	-1.0	-1.0
DT8	0.0	3.0	-2.0	DT41	-1.0	1.0	-1.0
DT9	0.0	1.0	-1.0	DT42	-1.0	1.0	-4.0
DT10	1.0	2.0	-2.0	DT43	0.0	0.0	-5.0
DT11	0.0	0.0	-2.0	DT44	0.0	0.0	-4.0
DT12	1.0	1.0	0.0	DT45	0.0	0.0	-1.0
DT13	1.0	0.0	0.0	DT46	0.0	-1.0	3.0
DT14	1.0	0.0	0.0	DT47	1.0	0.0	-1.0
DT15	1.0	0.0	0.0	DT48	-3.0	-1.0	2.0
DT16	1.0	-1.0	-1.0	DT49	0.0	0.0	1.0
DT17	2.0	1.0	-2.0	DT50	0.0	1.0	-9.0
DT18	0.0	1.0	-2.0	DT51	1.0	0.0	2.0
DT19	0.0	0.0	2.0	DT52	0.0	1.0	-1.0
DT20	0.0	1.0	-3.0	DT53	0.0	1.0	-4.0
DT21	-1.0	0.0	-1.0	DT54	-2.0	2.0	-4.0
DT22	0.0	0.0	1.0	DT55	0.0	0.0	1.0
DT23	0.0	0.0	1.0	DT56	-1.0	1.0	0.0
DT24	0.0	-2.0	0.0	DT57	-1.0	26.0	-29.0
DT25	-1.0	-1.0	0.0	DT58	1.0	0.0	-20.0
DT26	-1.0	-1.0	1.0	DT59	0.0	0.0	-3.0
DT27	0.0	0.0	-1.0	DT60	-1.0	-1.0	-4.0
DT28	0.0	0.0	-2.0	DT61	-1.0	1.0	2.0
DT29	1.0	0.0	0.0	DT62	-1.0	-1.0	0.0
DT30	1.0	1.0	2.0	DT63	0.0	1.0	1.0
DT31	0.0	0.0	1.0	DT64	0.0	0.0	1.0
DT32	1.0	0.0	3.0	DT65	-1.0	0.0	1.0
DT33	1.0	-1.0	3.0	DT66	-1.0	-1.0	-1.0
				DT67	-1.0	-1.0	0.0

Ek-2: Agisoft programında 40m yükseklikte DJI Phantom 4 RTK

Kontrol Noktaları	Error X(cm)	Error Y(cm)	Error Z(cm)	Kontrol Noktaları	Error X(cm)	Error Y(cm)	Error Z(cm)
DT1	0.2	2.2	3.2	DT34	1.2	0.2	1
DT2	1.2	2.2	3.2	DT35	1.2	1.2	3.2
DT3	0.2	0.9	-2.8	DT36	1.2	1.2	1.1
DT4	1.2	0.4	-0.8	DT37	0.2	0.2	2.2
DT5	1	1	0.2	DT38	0.2	0.2	-0.8
DT6	1	0.7	0.2	DT39	0.2	0.2	0.2
DT7	1.2	0.6	0.2	DT40	-0.8	0.2	0.2
DT8	1.2	0.7	-0.8	DT41	0.2	2.2	0.2
DT9	1.2	2.2	0.2	DT42	0.2	2.2	-2.8
DT10	1	0.9	-0.8	DT43	1.2	1.2	-1
DT11	1.2	1.2	-0.8	DT44	1.2	1.2	-2.8
DT12	1	2.2	1.2	DT45	1.2	1.2	0.2
DT13	1.2	1.2	1.2	DT46	1.2	0.2	4.2
DT14	1.1	1.2	1.2	DT47	2.2	1.2	0.2
DT15	-0.4	-1.4	-1.4	DT48	1	-2.4	0.6
DT16	-0.4	-2.4	-2.4	DT49	-1.4	-1.4	-0.4
DT17	0.6	-0.4	-3.4	DT50	-1.4	-0.4	-10.4
DT18	-1.4	-0.4	-3.4	DT51	-0.4	-1.4	0.6
DT19	-1.4	-1.4	0.6	DT52	-1.4	-0.4	-2.4
DT20	0.8	1.8	-2.2	DT53	0.8	1.8	-3.2
DT21	-0.2	0.8	-0.2	DT54	-1.2	2.8	-3.2
DT22	0.8	0.8	1.8	DT55	0.8	0.8	1.8
DT23	0.8	0.8	1.8	DT56	-0.2	1.8	0.8
DT24	0.8	-1.2	0.8	DT57	-0.2	1	-28.2
DT25	-0.2	-0.2	0.8	DT58	1.8	0.8	1
DT26	-0.2	-0.2	1.8	DT59	0.8	0.8	-2.2
DT27	0.8	0.8	-0.2	DT60	-0.2	-0.2	-3.2
DT28	0.8	0.8	-1.2	DT61	-0.2	1.8	2.8
DT29	1	0.8	0.8	DT62	-0.2	-0.2	0.8
DT30	1	1.8	2.8	DT63	0.8	1.8	1.8
DT31	0.8	0.8	1.8	DT64	0.8	0.8	1.8
DT32	1.5	0.8	1	DT65	-0.2	0.8	1.8
DT33	0.5	-0.2	1	DT66	-0.2	-0.2	-0.2
				DT67	-0.2	-0.2	0.8

Ek-3: Agisoft programında 40m yükseklikte DJI İnspire 1 V2

Kontrol Noktaları	Error X(cm)	Error Y(cm)	Error Z(cm)	Kontrol Noktaları	Error X(cm)	Error Y(cm)	Error Z(cm)
DT1	0.2	2.2	3.2	DT34	1.2	0.2	3.2
DT2	1.2	2.2	3.2	DT35	1.2	1.2	3.2
DT3	0.2	5.2	-2.8	DT36	1.2	1.2	3.2
DT4	1.2	3.2	-0.8	DT37	0.2	0.2	2.2
DT5	4.2	4.2	0.2	DT38	0.2	0.2	-0.8
DT6	3.2	3.2	0.2	DT39	0.2	0.2	0.2
DT7	1.2	3.2	0.2	DT40	-0.8	0.2	0.2
DT8	1.2	4.2	-0.8	DT41	0.2	2.2	0.2
DT9	1.2	2.2	0.2	DT42	0.2	2.2	-2.8
DT10	2.2	3.2	-0.8	DT43	1.2	1.2	-3.8
DT11	1.2	1.2	-0.8	DT44	1.2	1.2	-2.8
DT12	2.2	2.2	1.2	DT45	1.2	1.2	0.2
DT13	2.2	1.2	1.2	DT46	1.2	0.2	4.2
DT14	2.2	1.2	1.2	DT47	2.2	1.2	0.2
DT15	-0.4	-1.4	-1.4	DT48	-4.4	-2.4	0.6
DT16	-0.4	-2.4	-2.4	DT49	-1.4	-1.4	-0.4
DT17	0.6	-0.4	-3.4	DT50	-1.4	-0.4	-10.4
DT18	-1.4	-0.4	-3.4	DT51	-0.4	-1.4	0.6
DT19	-1.4	-1.4	0.6	DT52	-1.4	-0.4	-2.4
DT20	0.8	1.8	-2.2	DT53	0.8	1.8	-3.2
DT21	-0.2	0.8	-0.2	DT54	-1.2	2.8	-3.2
DT22	0.8	0.8	1.8	DT55	0.8	0.8	1.8
DT23	0.8	0.8	1.8	DT56	-0.2	1.8	0.8
DT24	0.8	-1.2	0.8	DT57	-0.2	26.8	-28.2
DT25	-0.2	-0.2	0.8	DT58	1.8	0.8	-19.2
DT26	-0.2	-0.2	1.8	DT59	0.8	0.8	-2.2
DT27	0.8	0.8	-0.2	DT60	-0.2	-0.2	-3.2
DT28	0.8	0.8	-1.2	DT61	-0.2	1.8	2.8
DT29	1.8	0.8	0.8	DT62	-0.2	-0.2	0.8
DT30	1.8	1.8	2.8	DT63	0.8	1.8	1.8
DT31	0.8	0.8	1.8	DT64	0.8	0.8	1.8
DT32	1.8	0.8	3.8	DT65	-0.2	0.8	1.8
DT33	1.8	-0.2	3.8	DT66	-0.2	-0.2	-0.2
				DT67	-0.2	-0.2	0.8

Ek-4: Agisoft programında 80m yükseklikte DJI Inspire 1 V2

Kontrol Noktaları	Error X(cm)	Error Y(cm)	Error Z(cm)	Kontrol Noktaları	Error X(cm)	Error Y(cm)	Error Z(cm)
DT1	0.8	2.8	3.8	DT34	1.8	0.8	3.8
DT2	1.8	2.8	3.8	DT35	1.8	1.8	3.8
DT3	0.8	5.8	-2.2	DT36	1.8	1.8	3.8
DT4	1.8	3.8	-0.2	DT37	0.8	0.8	2.8
DT5	4.8	4.8	0.8	DT38	0.8	0.8	-0.2
DT6	3.8	3.8	0.8	DT39	0.8	0.8	0.8
DT7	1.8	3.8	0.8	DT40	-0.2	0.8	0.8
DT8	1.8	4.8	-0.2	DT41	0.8	2.8	0.8
DT9	1.8	2.8	0.8	DT42	0.8	2.8	-2.2
DT10	2.8	3.8	-0.2	DT43	1.8	1.8	-3.2
DT11	1.8	1.8	-0.2	DT44	1.8	1.8	-2.2
DT12	2.8	2.8	1.8	DT45	1.8	1.8	0.8
DT13	2.8	1.8	1.8	DT46	1.8	0.8	4.8
DT14	2.8	1.8	1.8	DT47	2.8	1.8	0.8
DT15	-1.1	-2.1	-2.1	DT48	-5.1	-3.1	-0.1
DT16	-1.1	-3.1	-3.1	DT49	-2.1	-2.1	-1.1
DT17	-0.1	-1.1	-4.1	DT50	-2.1	-1.1	-11.1
DT18	-2.1	-1.1	-4.1	DT51	-1.1	-2.1	-0.1
DT19	-2.1	-2.1	-0.1	DT52	-2.1	-1.1	-3.1
DT20	1.2	2.2	-1.8	DT53	1.2	2.2	-2.8
DT21	0.2	1.2	0.2	DT54	-0.8	3.2	-2.8
DT22	1.2	1.2	2.2	DT55	1.2	1.2	2.2
DT23	1.2	1.2	2.2	DT56	0.2	2.2	1.2
DT24	1.2	-0.8	1.2	DT57	0.2	27.2	-27.8
DT25	0.2	0.2	1.2	DT58	2.2	1.2	-18.8
DT26	0.2	0.2	2.2	DT59	1.2	1.2	-1.8
DT27	1.2	1.2	0.2	DT60	0.2	0.2	-2.8
DT28	1.2	1.2	-0.8	DT61	0.2	2.2	3.2
DT29	2.2	1.2	1.2	DT62	0.2	0.2	1.2
DT30	2.2	2.2	3.2	DT63	1.2	2.2	2.2
DT31	1.2	1.2	2.2	DT64	1.2	1.2	2.2
DT32	2.2	1.2	4.2	DT65	0.2	1.2	2.2
DT33	2.2	0.2	4.2	DT66	0.2	0.2	0.2
				DT67	0.2	0.2	1.2

Ek-5: Pix4d Mapper programında 40m yükseklikte DJI Phantom 4 RTK.

Kontrol Noktaları	Error X(cm)	Error Y(cm)	Error Z(cm)	Kontrol Noktaları	Error X(cm)	Error Y(cm)	Error Z(cm)
DT1	-0.4	-0.4	1.7	DT34	0.1	4.2	0.9
DT2	2.2	0.4	0.7	DT35	0.1	0.7	2.2
DT3	2.4	0.7	3.8	DT36	1.0	0.0	-3.4
DT4	1.1	1.8	6.6	DT37	4.3	1.6	-0.4
DT5	-2.4	-0.8	2.8	DT38	1.5	1.5	-1.3
DT6	-1.3	-0.4	0.1	DT39	1.5	2.2	-2.7
DT7	0.4	-0.1	0.7	DT40	2.6	2.9	3.5
DT8	-0.2	-2.1	2.3	DT41	1.3	1.4	2.5
DT9	0.2	-1.1	2.0	DT42	1.7	0.7	3.4
DT10	-0.4	-1.3	2.5	DT43	0.6	4.2	2.1
DT11	0.2	-0.4	0.3	DT44	1.4	3.7	5.2
DT12	-0.9	-0.3	-2.4	DT45	2.1	0.7	1.1
DT13	-0.2	-0.4	-1.2	DT46	-3.8	1.4	-0.2
DT14	-1.2	-1.7	-1.1	DT47	-0.9	1.3	2.1
DT15	-0.9	-0.4	-1.9	DT48	1.9	1.4	1.2
DT16	-0.8	-0.4	-0.7	DT49	0.0	4.2	6.8
DT17	-1.7	-2.3	1.7	DT50	0.0	3.1	5.5
DT18	0.5	-0.9	5.5	DT51	-0.4	-1.2	0.9
DT19	1.4	1.0	1.0	DT52	1.1	1.3	5.9
DT20	3.6	0.4	4.0	DT53	1.3	2.0	2.4
DT21	1.2	1.4	-1.0	DT54	3.4	0.2	6.7
DT22	1.0	-0.4	0.0	DT55	3.0	4.5	-3.3
DT23	1.0	-1.0	3.1	DT56	3.2	1.9	0.3
DT24	0.9	0.9	0.3	DT57	0.3	0.4	4.2
DT25	2.2	0.1	-1.6	DT58	-1.5	1.9	-1.1
DT26	0.9	-0.7	-3.8	DT59	1.0	0.5	-0.8
DT27	1.4	0.5	-1.7	DT60	2.7	2.6	4.0
DT28	-0.6	-0.6	0.9	DT61	2.4	2.7	0.3
DT29	-1.3	-0.1	-0.6	DT62	1.7	1.3	2.5
DT30	-1.2	-0.7	-1.0	DT63	0.5	0.7	2.6
DT31	-0.4	0.4	0.9	DT64	0.7	0.8	0.6
DT32	0.4	-0.1	-2.6	DT65	-0.4	-0.1	2.3
DT33	-0.1	2.2	-1.3	DT66	2.5	1.6	-2.8
				DT67	3.1	0.7	-1.7

Ek-6: Pix4d Mapper programında 80m yükseklikte DJI Phantom 4 RTK.

Kontrol Noktaları	Error X(cm)	Error Y(cm)	Error Z(cm)	Kontrol Noktaları	Error X(cm)	Error Y(cm)	Error Z(cm)
DT1	-0.3	-1.9	14.3	DT34	2.6	2.0	-0.5
DT2	0.1	0.8	11.9	DT35	2.5	0.6	-0.4
DT3	0.7	-3.1	0.5	DT36	3.4	0.3	-0.5
DT4	-0.3	-0.1	-1.8	DT37	1.0	-0.1	-0.3
DT5	-2.0	1.1	-1.8	DT38	-0.5	-2.1	-2.5
DT6	-2.4	-0.8	3.1	DT39	1.0	0.3	-0.3
DT7	0.1	-1.0	-1.3	DT40	0.2	0.1	-0.4
DT8	-1.1	-1.7	-0.5	DT41	0.7	0.4	-0.5
DT9	-1.1	-0.7	0.1	DT42	-0.5	0.2	-0.8
DT10	-1.6	-1.1	0.1	DT43	-0.5	1.7	-2.4
DT11	-0.8	-0.2	0.7	DT44	-0.5	0.3	-2.6
DT12	-1.7	0.9	-3.0	DT45	0.8	0.3	2.4
DT13	-1.5	0.3	-2.6	DT46	-0.4	0.5	-1.2
DT14	-1.3	-0.2	-3.7	DT47	0.2	0.3	1.1
DT15	-1.0	0.2	-3.0	DT48	2.3	0.7	10.0
DT16	-0.9	-0.3	-2.7	DT49	0.7	0.6	13.1
DT17	-0.7	-0.8	-0.6	DT50	0.0	0.0	0.0
DT18	-0.2	-1.3	-2.6	DT51	0.4	0.2	-0.7
DT19	-1.0	-2.4	-1.3	DT52	0.6	0.3	-0.5
DT20	1.2	-0.8	-0.5	DT53	-0.3	-0.2	0.1
DT21	1.8	0.5	0.0	DT54	0.6	-3.0	-0.2
DT22	2.2	-0.1	-1.5	DT55	0.5	1.2	4.7
DT23	1.0	-1.9	0.7	DT56	0.7	-0.2	5.7
DT24	0.9	0.2	-0.8	DT57	0.0	-0.8	17.7
DT25	1.8	-1.4	0.9	DT58	-0.3	0.0	0.0
DT26	2.5	0.1	-1.8	DT59	0.8	-0.7	0.4
DT27	2.0	-1.2	-2.8	DT60	2.2	1.6	1.7
DT28	1.1	-0.9	-1.3	DT61	1.1	-1.0	-1.8
DT29	-0.3	-0.3	-2.3	DT62	1.5	0.6	0.1
DT30	0.0	-1.4	-1.1	DT63	0.7	-0.3	-4.4
DT31	1.4	-1.2	-0.3	DT64	-0.2	-0.5	-2.0
DT32	0.9	-0.2	0.9	DT65	-0.3	-0.8	-1.9
DT33	1.2	1.2	-2.6	DT66	1.2	0.3	-3.0
				DT67	3.7	1.8	-4.5

Ek-7: Pix4d Mapper programında 80m yükseklikte DJI İnspire 1 V2.

Kontrol Noktaları	Error X(cm)	Error Y(cm)	Error Z(cm)	Kontrol Noktaları	Error X(cm)	Error Y(cm)	Error Z(cm)
DT1	0.6	0.6	2.7	DT34	1.1	5.2	1.9
DT2	3.2	1.4	1.7	DT35	1.1	1.7	3.2
DT3	3.4	1.7	4.8	DT36	2.0	1.0	-2.4
DT4	2.1	2.8	7.6	DT37	5.3	2.6	0.6
DT5	-1.4	0.2	3.8	DT38	2.5	2.5	-0.3
DT6	-0.3	0.6	1.1	DT39	2.5	3.2	-1.7
DT7	1.4	0.9	1.7	DT40	3.6	3.9	4.5
DT8	0.8	-1.1	3.3	DT41	2.3	2.4	3.5
DT9	1.2	-0.1	3.0	DT42	2.7	1.7	4.4
DT10	0.6	-0.3	3.5	DT43	1.6	5.2	3.1
DT11	1.2	0.6	1.3	DT44	2.4	4.7	6.2
DT12	0.1	0.7	-1.4	DT45	3.1	1.7	2.1
DT13	0.9	0.6	-0.2	DT46	-2.8	2.4	0.9
DT14	-0.2	-0.7	-0.1	DT47	0.1	2.3	3.1
DT15	0.1	0.6	-0.9	DT48	2.9	2.4	2.2
DT16	0.2	0.6	0.3	DT49	1.0	5.2	7.8
DT17	-0.7	-1.3	2.7	DT50	1.0	4.1	6.5
DT18	1.5	0.2	6.5	DT51	0.7	-0.2	1.9
DT19	2.4	2.0	2.0	DT52	2.1	2.3	6.9
DT20	4.6	1.4	5.0	DT53	2.3	3.0	3.4
DT21	2.2	2.4	0.0	DT54	4.4	1.2	7.7
DT22	2.0	0.6	1.0	DT55	4.0	5.5	-2.3
DT23	2.0	0.0	4.1	DT56	4.2	2.9	1.3
DT24	1.9	1.9	1.3	DT57	1.3	1.4	5.2
DT25	3.2	1.1	-0.6	DT58	-0.5	2.9	-0.1
DT26	1.9	0.3	-2.8	DT59	2.0	1.5	0.2
DT27	2.4	1.5	-0.7	DT60	3.7	3.6	5.0
DT28	0.4	0.4	1.9	DT61	3.4	3.7	1.3
DT29	-0.3	1.0	0.5	DT62	2.7	2.3	3.5
DT30	-0.2	0.3	0.0	DT63	1.5	1.7	3.6
DT31	0.6	1.4	1.9	DT64	1.7	1.8	1.6
DT32	1.4	0.9	-1.6	DT65	0.6	0.9	3.3
DT33	0.9	3.2	-0.3	DT66	3.5	2.6	-1.8
				DT67	4.1	1.7	-0.7

Ek-8: Pix4d Mapper programında 40m yükseklikte DJI İnspire 1 V2.

Kontrol Noktaları	Error X(cm)	Error Y(cm)	Error Z(cm)	Kontrol Noktaları	Error X(cm)	Error Y(cm)	Error Z(cm)
DT1	0.8	-0.9	15.3	DT34	3.6	3.0	0.6
DT2	1.1	1.8	12.9	DT35	3.5	1.6	0.6
DT3	1.7	-2.1	1.5	DT36	4.4	1.3	0.5
DT4	0.7	0.9	-0.8	DT37	2.0	0.9	0.7
DT5	-1.0	2.1	-0.8	DT38	0.5	-1.1	-1.5
DT6	-1.4	0.2	4.1	DT39	2.0	1.3	0.7
DT7	1.1	0.0	-0.3	DT40	1.2	1.1	0.6
DT8	-0.1	-0.7	0.5	DT41	1.7	1.4	0.5
DT9	-0.1	0.3	1.1	DT42	0.5	1.2	0.2
DT10	-0.6	-0.1	1.1	DT43	0.5	2.7	-1.4
DT11	0.2	0.8	1.7	DT44	0.5	1.3	-1.6
DT12	-0.7	1.9	-2.0	DT45	1.8	1.3	3.4
DT13	-0.5	1.3	-1.6	DT46	0.6	1.5	-0.2
DT14	-0.3	0.8	-2.7	DT47	1.2	1.3	2.1
DT15	0.0	1.2	-2.0	DT48	3.3	1.7	11.0
DT16	0.1	0.8	-1.7	DT49	1.7	1.6	14.1
DT17	0.3	0.2	0.4	DT50	1.0	1.0	1.0
DT18	0.8	-0.3	-1.6	DT51	1.4	1.2	0.3
DT19	0.1	-1.4	-0.3	DT52	1.6	1.3	0.5
DT20	2.2	0.2	0.5	DT53	0.7	0.8	1.1
DT21	2.8	1.5	1.0	DT54	1.6	-2.0	0.8
DT22	3.2	0.9	-0.5	DT55	1.5	2.2	5.7
DT23	2.0	-0.9	1.7	DT56	1.7	0.9	6.7
DT24	1.9	1.2	0.2	DT57	1.0	0.2	18.7
DT25	2.8	-0.4	1.9	DT58	0.7	1.0	1.0
DT26	3.5	1.1	-0.8	DT59	1.8	0.3	1.4
DT27	3.0	-0.2	-1.8	DT60	3.2	2.6	2.7
DT28	2.1	0.1	-0.3	DT61	2.1	0.0	-0.8
DT29	0.7	0.7	-1.3	DT62	2.5	1.6	1.1
DT30	1.0	-0.4	-0.1	DT63	1.7	0.7	-3.4
DT31	2.4	-0.2	0.7	DT64	0.8	0.5	-1.0
DT32	1.9	0.8	1.9	DT65	0.7	0.2	-0.9
DT33	2.2	2.2	-1.6	DT66	2.2	1.3	-2.0
				DT67	4.7	2.8	-3.5

Ek-9: 3D Survey programında 40m yükseklikte DJI Phantom 4 RTK.

Kontrol Noktaları	Error X(cm)	Error Y(cm)	Error Z(cm)	Kontrol Noktaları	Error X(cm)	Error Y(cm)	Error Z(cm)
DT1	0.3	-0.6	3.0	DT34	0.2	-0.4	4.0
DT2	-0.6	-0.4	-3.4	DT35	1.3	0.0	-0.3
DT3	2.5	-1.8	4.9	DT36	3.0	-3.3	5.4
DT4	0.3	-0.4	-0.7	DT37	0.8	0.3	2.0
DT5	-2.6	1.0	-0.6	DT38	-0.9	-1.9	-0.6
DT6	-2.8	0.0	10.5	DT39	0.5	-0.8	0.5
DT7	1.4	0.4	-2.3	DT40	0.6	1.0	3.0
DT8	0.2	-0.7	-1.3	DT41	-0.9	1.7	-0.6
DT9	0.5	0.2	0.1	DT42	1.1	-2.7	1.0
DT10	0.5	-0.3	0.0	DT43	0.9	0.5	-1.5
DT11	1.0	0.6	1.5	DT44	-0.9	1.2	0.9
DT12	0.4	2.2	-0.7	DT45	1.0	2.0	3.3
DT13	0.5	2.2	-3.1	DT46	-1.4	2.7	0.5
DT14	0.7	1.7	-3.8	DT47	0.4	1.1	2.6
DT15	-0.3	0.1	-3.6	DT48	2.8	3.2	1.2
DT16	0.0	-0.5	-2.1	DT49	1.2	1.6	3.7
DT17	-1.8	-1.6	-1.9	DT50	1.5	1.5	1.5
DT18	0.2	-2.7	-3.1	DT51	1.8	-0.6	-2.1
DT19	-0.9	-0.8	3.1	DT52	1.9	0.5	1.1
DT20	-1.3	-0.4	-0.3	DT53	1.8	-1.6	-0.5
DT21	1.6	1.8	0.1	DT54	3.5	-2.9	5.5
DT22	0.6	1.1	0.2	DT55	1.1	-0.2	-4.6
DT23	0.5	0.2	2.0	DT56	1.6	-0.3	-4.7
DT24	-0.3	1.9	1.5	DT57	1.5	1.5	1.5
DT25	0.6	0.7	-3.9	DT58	1.5	1.5	1.5
DT26	-0.5	0.2	-1.9	DT59	0.6	-2.1	3.3
DT27	1.5	-1.0	-2.9	DT60	1.4	0.6	2.8
DT28	-0.1	-0.6	-2.4	DT61	2.9	0.8	7.3
DT29	-1.6	0.0	0.5	DT62	2.6	-0.2	0.0
DT30	-0.5	-1.9	0.3	DT63	2.0	-0.9	5.4
DT31	0.6	2.0	0.9	DT64	0.0	2.5	-1.9
DT32	0.6	-1.5	0.8	DT65	2.8	1.0	5.9
DT33	-0.8	1.7	-2.9	DT66	1.6	0.4	4.9
				DT67	0.2	0.4	26.5

Ek-10: 3D Survey programında 80m yükseklikte DJI Phantom 4 RTK.

Kontrol Noktaları	Error X(cm)	Error Y(cm)	Error Z(cm)	Kontrol Noktaları	Error X(cm)	Error Y(cm)	Error Z(cm)
DT1	0.4	0.0	-5.6	DT34	1.2	0.0	4.8
DT2	-0.3	-0.1	-5.0	DT35	-0.2	0.4	-8.3
DT3	0.6	-5.0	2.3	DT36	1.9	0.3	7.1
DT4	0.2	0.9	2.7	DT37	-0.2	0.6	-4.6
DT5	-5.4	0.9	-6.9	DT38	0.2	-0.9	-1.1
DT6	-0.6	-0.1	-0.3	DT39	0.3	-1.5	-4.0
DT7	0.1	0.3	0.8	DT40	1.5	-0.7	-1.7
DT8	0.4	-0.8	-1.9	DT41	1.0	-1.0	-3.6
DT9	-0.3	1.2	-0.6	DT42	2.1	0.5	-4.9
DT10	-0.9	0.7	4.0	DT43	0.5	20.0	-1.5
DT11	1.5	1.0	-1.0	DT44	0.5	-0.5	-8.0
DT12	-2.2	-0.3	-1.6	DT45	1.6	1.8	-2.3
DT13	-1.0	-1.2	-1.4	DT46	0.1	3.6	-3.4
DT14	-3.1	-1.4	-0.7	DT47	0.2	3.0	1.7
DT15	-2.2	-1.3	-0.8	DT48	0.7	2.2	3.5
DT16	-3.8	-0.6	-1.5	DT49	0.5	2.5	1.4
DT17	-3.7	-1.1	-0.9	DT50	0.6	2.5	3.9
DT18	-2.5	-1.1	2.2	DT51	1.6	0.1	1.9
DT19	-2.4	-0.8	-0.5	DT52	1.0	1.5	2.8
DT20	1.6	-0.4	8.0	DT53	-0.6	1.7	1.6
DT21	0.8	0.1	0.0	DT54	2.2	-0.4	1.5
DT22	1.8	0.3	-4.7	DT55	1.0	3.9	-3.0
DT23	1.5	0.1	0.8	DT56	1.8	0.8	-4.6
DT24	1.2	1.4	-0.3	DT57	0.6	-1.8	-4.1
DT25	-1.1	-0.5	-1.0	DT58	-3.4	-0.1	-8.6
DT26	-1.0	-0.2	-7.7	DT59	-0.9	-1.9	-1.6
DT27	-2.0	2.3	13.6	DT60	1.4	1.5	2.2
DT28	-2.5	0.2	3.9	DT61	0.2	0.7	0.8
DT29	-2.0	0.9	-0.9	DT62	0.9	3.4	2.5
DT30	-2.3	-1.1	-3.4	DT63	0.4	1.3	1.3
DT31	-0.9	-2.0	0.3	DT64	-1.0	1.7	3.5
DT32	1.0	-1.6	-6.6	DT65	2.1	-0.6	3.0
DT33	0.9	-0.7	-2.2	DT66	2.0	0.9	0.5
				DT67	0.2	0.9	3.9

Ek-11: 3D Survey programında 40m yükseklikte DJI İnspire 1 V2.

Kontrol Noktaları	Error X(m)	Error Y(m)	Error Z(m)	Kontrol Noktaları	Error X(m)	Error Y(m)	Error Z(m)
DT1	2.3	1.4	5.0	DT34	2.2	1.6	6.0
DT2	1.4	1.6	-1.4	DT35	3.3	2.0	1.7
DT3	4.5	0.2	6.9	DT36	5.0	-1.3	7.4
DT4	2.3	1.6	1.3	DT37	2.8	2.3	4.0
DT5	-0.6	3.0	1.4	DT38	1.1	0.1	1.4
DT6	-0.8	2.0	12.5	DT39	2.5	1.2	2.5
DT7	3.4	2.4	-0.3	DT40	2.6	3.0	5.0
DT8	2.2	1.3	0.7	DT41	1.1	3.7	1.4
DT9	2.5	2.2	2.1	DT42	3.1	-0.7	3.0
DT10	2.5	1.7	2.0	DT43	2.9	2.5	0.5
DT11	3.0	2.6	3.5	DT44	1.1	3.2	2.9
DT12	2.4	4.2	1.3	DT45	3.0	4.0	5.3
DT13	2.5	4.2	-1.1	DT46	0.6	4.7	2.5
DT14	2.7	3.7	-1.8	DT47	2.4	3.1	4.6
DT15	1.7	2.1	-1.6	DT48	4.8	5.2	3.2
DT16	2.0	1.5	-0.1	DT49	3.2	3.6	5.7
DT17	0.2	0.4	0.1	DT50	3.5	3.5	3.5
DT18	2.2	-0.7	-1.1	DT51	3.8	1.4	-0.1
DT19	1.1	1.2	5.1	DT52	3.9	2.5	3.1
DT20	0.7	1.6	1.7	DT53	3.8	0.4	1.5
DT21	3.6	3.8	2.1	DT54	5.5	-0.9	7.5
DT22	2.6	3.1	2.2	DT55	3.1	1.8	-2.6
DT23	2.5	2.2	4.0	DT56	3.6	1.7	-2.7
DT24	1.7	3.9	3.5	DT57	3.5	3.5	3.5
DT25	2.6	2.7	-1.9	DT58	3.5	3.5	3.5
DT26	1.5	2.2	0.1	DT59	2.6	-0.1	5.3
DT27	3.5	1.0	-0.9	DT60	3.4	2.6	4.8
DT28	1.9	1.4	-0.4	DT61	4.9	2.8	9.3
DT29	0.4	2.0	2.5	DT62	4.6	1.8	2.0
DT30	1.5	0.1	2.3	DT63	4.0	1.1	7.4
DT31	2.6	4.0	2.9	DT64	2.0	4.5	0.1
DT32	2.6	0.5	2.8	DT65	4.8	3.0	7.9
DT33	1.2	3.7	-0.9	DT66	3.6	2.4	6.9
				DT67	2.2	2.4	28.5

Ek-12: 3D Survey programında 80m yükseklikte DJI İnspire 1 V2.

Kontrol Noktaları	Error X(m)	Error Y(m)	Error Z(m)	Kontrol Noktaları	Error X(m)	Error Y(m)	Error Z(m)
DT1	3.5	2.6	6.2	DT34	3.3	2.7	7.1
DT2	2.6	2.8	-0.2	DT35	4.4	3.1	2.8
DT3	5.7	1.4	8.1	DT36	6.1	-0.2	8.5
DT4	3.5	2.8	2.5	DT37	3.9	3.4	5.1
DT5	0.6	4.2	2.6	DT38	2.2	1.2	2.5
DT6	0.4	3.2	13.7	DT39	3.6	2.3	3.6
DT7	4.6	3.6	0.9	DT40	3.7	4.1	6.1
DT8	3.4	2.5	1.9	DT41	2.2	4.8	2.5
DT9	3.7	3.4	3.3	DT42	4.2	0.4	4.1
DT10	3.7	2.9	3.2	DT43	4.0	3.6	1.6
DT11	4.2	3.8	4.7	DT44	2.2	4.3	4.0
DT12	3.6	5.4	2.5	DT45	4.1	5.1	6.4
DT13	3.7	5.4	0.1	DT46	1.7	5.8	3.6
DT14	3.9	4.9	-0.6	DT47	3.5	4.2	5.7
DT15	2.9	3.3	-0.4	DT48	5.9	6.3	4.3
DT16	3.2	2.7	1.1	DT49	4.3	4.7	6.8
DT17	1.4	1.6	1.3	DT50	4.6	4.6	4.6
DT18	3.4	0.5	0.1	DT51	4.9	2.5	1.0
DT19	2.3	2.4	6.3	DT52	5.0	3.6	4.2
DT20	1.9	2.8	2.9	DT53	4.9	1.5	2.6
DT21	4.8	5.0	3.3	DT54	6.6	0.2	8.6
DT22	3.8	4.3	3.4	DT55	4.2	2.9	-1.5
DT23	3.7	3.4	5.2	DT56	4.7	2.8	-1.6
DT24	2.9	5.1	4.7	DT57	4.6	4.6	4.6
DT25	3.8	3.9	-0.7	DT58	4.6	4.6	4.6
DT26	2.7	3.4	1.3	DT59	3.7	1.0	6.4
DT27	4.7	2.2	0.3	DT60	4.5	3.7	5.9
DT28	3.1	2.6	0.8	DT61	6.0	3.9	10.4
DT29	1.6	3.2	3.7	DT62	5.7	2.9	3.1
DT30	2.7	1.3	3.5	DT63	5.1	2.2	8.5
DT31	3.8	5.2	4.1	DT64	3.1	5.6	1.2
DT32	3.8	1.7	4.0	DT65	5.9	4.1	9.0
DT33	2.4	4.9	0.3	DT66	4.7	3.5	8.0
				DT67	3.3	3.5	29.6