T. C.
SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İHA FOTOGRAMETRİSİ İLE ÜÇ BOYUTLU BİNA MODELLEME DOĞRULUĞUNUN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gözde MOĞULKOÇ

(20209249001)

Geomatik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı:Prof. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU

SİVAS

EYLÜL 2023

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

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

© Gözde MOĞULKOÇ, 2023

Çalışma sırasında bana destek olan aileme ve tüm arkadaşlarıma...

ETİK

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

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

28.08.2023

Gözde MOĞULKOÇ

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU'na çok teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans eğitim sürecimde desteğini esirgemeyen, bilgi birikimi ve tecrübeleri ile her zaman yol gösteren, yoğun çalışma ortamı içinde kıymetli vaktini büyük nezaketle tez çalışmama ayıran kıymetli hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım için veri teminin yanı sıra veri değerlendirmesi için tüm donanım ve yazılım imkânlarını tarafıma sunan Geomine Arge Yazılım Mühendislik Danışmalık Ltd. Şti firmasına teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmanın her aşamasında çok değerli dönütleri ile yapmakta zorlandığım her şeyi yapabilmemi sağlayan ve daha önemlisi yapabileceğime olan inancımı olumlu yorumlarıyla hep canlı tutan, varlıkları ile hayatıma anlam katan, benden sevgilerini esirgemedikleri ve bu süreçte bana anlayışla yaklaştıkları için aileme minnetlerimi ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

İHA FOTOGRAMETRİSİ İLE ÜÇ BOYUTLU BİNA MODELLEME DOĞRULUĞUNUN ARAŞTIRILMASI

Gözde MOĞULKOÇ

Yüksek Lisans Tezi

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU

2023, 91+xviii sayfa

Farklı uçuş seçenekleri ve değerlendirme yöntemleri kullanılarak İHA fotogrametri yöntemi ile en yüksek doğruluğa sahip üç boyutlu (3B) bina modelleme yöntemi belirlenmeye çalışmak araştırmanın amacını oluşturmaktadır. Çalışma için Sivas Cumhuriyet Üniversitesi'nde bulunan 4 Eylül Kültür Merkezi binası üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Kültür Merkezi binasının İHA ile farklı açı, farklı yükseklik ve farklı metotlar ile çekilen fotoğrafları fotogrametrik olarak değerlendirilmiştir. Fotogrametrik değerlendirme aşamasında zeminde tesis edilen ve GNSS ile ölçülen Yer kontrol noktaları (YKN) ve total station ile bina üzerinde ölçülen YKN' ler kullanılarak değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Doğruluk analizleri için Total station ile bina üzerinde özellikle de bina köşe noktalarında ölçümler gerçekleştirilmiş ve bu noktalara ait üç boyutlu konum bilgileri elde edilmiştir. Daha sonra bu noktalar değerlendirme aşamasında Kontrol Noktası (KN) olarak kullanılmıştır. Aynı zamanda bir lazer metre ile bina üzerinde düşey ve yatay olarak farklı uzunluklar ölçülmüştür. PIX4D yazılımını kullanılarak üretilen nokta bulutundan lazer metre ile ölçülen binanın aynı yüzeyindeki uzunluk değerleri karşılaştırılmış ve tüm bu işlemler farklı metotların her birisi için ayrı ayrı yapılmıştır. Çalışma sonucunda; genellikle en doğru sonuçların elde edildiği zeminde hiç YKN seçilmeden tüm YKN' lerin bina üzerine alındığı uygulamalar olduğu görülmüştür. Aynı şekilde en az doğruluğun olduğu sonuçlar ise YKN' lerin sadece zeminde seçim olan görüntüler olmuştur.

Anahtar kelimeler:İHA, Fotogrametri, Üç Boyutlu Modelleme

ABSTRACT

RESEARCHING THE ACCURACY OF THREE-DIMENSIONAL BUILDING MODELING WITH UAV PHOTOGRAMMETRY

Gözde MOĞULKOÇ

Master of Science Thesis

Department of Geomatics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU

2023, 91+xviii pages

The aim of the research is to try to determine the three-dimensional (3D) building modeling method with the highest accuracy with the UAV photogrammetry method by using different flight options and evaluation methods. For the study, studies were carried out on the 4 Eylül Cultural Center building in Sivas Cumhuriyet University. The photographs of the Cultural Center building taken with UAV at different angles, different heights and different methods were evaluated photogrammetrically. In the photogrammetric evaluation phase, evaluations were carried out using the Ground control points (GCP) established on the ground and measured by GNSS, and the YCPs measured on the building with the total station. For accuracy analysis, measurements were made on the building, especially at the corner points of the building, with the Total station, and three-dimensional location information of these points was obtained. For accuracy analysis, measurements were made on the building, especially at the corner points of the building, with the Total station, and three-dimensional location information of these points was obtained. Later, these points were used as Control Points (CP) in the evaluation phase. At the same time, different vertical and horizontal lengths were measured on the building with a laser meter. The length values on the same surface of the building measured with a laser meter from the point cloud produced using the PIX4D software were compared and all these processes were performed separately for each of the different methods. In the results of working; It has been seen that there are applications where all images are taken on the building without selecting any YCP on the ground where the most accurate results are generally obtained. Likewise, the results with the least accuracy were the images with selection only on the ground.

Key Words: UAV, Photogrammetry, 3D Modeling.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **i**

ABSTRACT ..... **ii**

İÇİNDEKİLER ..... **iii**

ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **v**

ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **vii**

SİMGELER DİZİNİ ..... **viii**

KISALTMALAR DİZİNİ ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

1.1 Amaç ve Kapsam 3

1.2 Önceki Çalışmalar 4

2. FOTOGRAMETRİ VE İHA FOTOGRAMETRİSİ **12**

2.1 Fotogrametri Tanımı ve Gelişimi 12

2.2 Dijital (Sayısal) Fotogrametri 14

2.3 Hava Fotogrametrisi 15

2.4 İnsansız Hava Araçları (İHA) 16

2.4.1 İHA'ların kullanım alanları 17

2.4.2 İHA'ların sınıflandırılması 17

2.4.3 İHA sistem bileşenleri 18

2.5. İHA Fotogrametrisi 20

2.6. İHA Fotogrametrisinin Kısa Tarihi 21

2.7 İHA Fotogrametrisinin Avantajları 24

2.8 İHA Kullanım Alanları 25

2.9 İHA Fotogrametrisindeki Gelişmeler ve Veri Toplama Yöntemleri 27

2.9.1 YKN Kullanılarak Fotogrametrik Veri Toplama 28

2.9.2 RTK Yöntemiyle Fotogrametrik Veri Toplama 28
2.10 İHA Fotogrametrisinde İş Akışı 30
2.10.1 Yer Kontrol Noktası Tesisi ve Ölçümü 31
2.10.2 Uçuş Planı Hazırlanması 31
2.10.3 Hava Fotoğraflarının İşlenmesi 32
2.11. Üç Boyutlu Modelleme 33
2.11.1. Geçmişten günümüze sanat olarak üç boyutlu modelleme 35
3. YÖNTEM 40
4. UYGULAMA 41
4.1. Birinci Yönteme Ait Bulgular 48
4.2. İkinci Yönteme Ait Bulgular 62
4.3. Üçüncü Yönteme Ait Bulgular 63
4.4. Dördüncü Yönteme Ait Bulgular 64
4.5. Beşinci Yönteme Ait Bulgular 66
4.6. Altıncı Yönteme Ait Bulgular 68
4.7. Yedinci Yönteme Ait Bulgular 69
5. SONUÇLAR 71
KAYNAKLAR 75
ÖZGEÇMİŞ 87

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Teknolojik gelişmeler sonucunda meydana gelen fotogrametrik aşamalar 12
Şekil 2.2 Fotogrametrinin alt sınıfları.... 14
Şekil 2.3 Analog ve sayısal resim.... 14
Şekil 2.4 Hava fotogrametrisinde fotoğraf alımı 16
Şekil 2.5 Kanat sınıflarına göre İHA türleri a) Sabit kanatlı b) Döner kanatlı c) Dikey kalkış-iniş yapabilen.... 18
Şekil 2.6 Güvercinlerle kullanılan sistemlerin bir örneği.... 22
Şekil 2.7 Uçurtma ile kullanılan sisteme ait bir çizim.... 22
Şekil 2.8 1979'da üretilen sabit kanatlı İHA 23
Şekil 2.9 1980'de üretilen döner kanatlı İHA.... 24
Şekil 2.10 Yüksek İrtifa Uzun Dayanıklı İnsansız Hava Aracı 26
Şekil 2.11 Zirai ilaçlamada kullanılan İHA'lar 26
Şekil 2.12 Kargo taşıma amaçlı üretilen İHA.... 27
Şekil 2.13 YKN'li yöntemle veri toplama.... 28
Şekil 2.14 RTK yöntemiyle veri toplama.... 29
Şekil 2.15 PPK yöntemiyle veri toplama.... 30
Şekil 2.16 İHA fotogrametrisi genel iş akış şeması.... 31
Şekil 2.17 Hava triyangülasyonu.... 32
Şekil 2.18 Doğrudaşlık koşulu.... 33
Şekil 2.19 Vertex, segment ve poligon 34
Şekil 2.20 Ivan Sutherland Sketchpad'i kullanırken 36
Şekil 2.21Öncü bilgisayar grafik sanatçısı David Em tarafından oluşturulan bir çalışma 37
Şekil 2.22 Jeffrey Shaw'ın çalışması Altın Buzağı 38
Şekil 3. 1. Uçuşta Kullanılan Donanımlar.... 40
Şekil 4. 1. YKN Dağılımının Google Earth Görünümü 41
Şekil 4. 2. YKN Belirleme.... 42
Şekil 4. 3. YKN 1 Noktası Görünümü.... 42
Şekil 4. 4. YKN 2 Noktası Görünümü.... 43
Şekil 4. 5. YKN 3 Noktası Görünümü.... 43
Şekil 4. 6. YKN 4 Noktası Görünümü.... 44

Şekil 4. 7. YKN 6 Noktası Görünümü 44
Şekil 4. 8. YKN 7 Noktası Görünümü 45
Şekil 4. 9. YKN 8 Noktası Görünümü 45
Şekil 4. 10. YKN 9 Noktası Görünümü 46
Şekil 4. 11. YKN 10 Noktası Görünümü 46
Şekil 4. 12. Cicle Uçuş Yöntemi 48
Şekil 4. 13. İş Akışı 50
Şekil 4. 14. 22 AdetCheck Point Noktası Bilgileri 51
Şekil 4. 15. YKN lere Ait Nokta Bulutu Verileri 52
Şekil 4. 16. YKN lere Ait Nokta Bulutu Görüntüsü-1 52
Şekil 4. 17. YKN lere Ait Nokta Bulutu Görüntüsü-2 53
Şekil 4. 18. YKN 2‘ ye Ait Nokta Bulutu Verileri 53
Şekil 4. 19. YKN 2’ ye Ait Nokta Bulutu Görüntüsü 54
Şekil 4. 20. YKN 3‘e Ait Nokta Bulutu Verileri 54
Şekil 4. 21. YKN 3’ e Ait Nokta Bulutu Görüntüsü 55
Şekil 4. 22. YKN 5‘e Ait Nokta Bulutu Verileri 55
Şekil 4. 23. YKN 5’ e Ait Nokta Bulutu Görüntüsü-1 56
Şekil 4. 24. YKN 5’ e Ait Nokta Bulutu Görüntüsü-2 56
Şekil 4. 25. GSD Değeri 57
Şekil 4. 25. Bina Üzeri 9 Adet YKN Görüntüsü-1 57
Şekil 4. 27. Bina Üzeri 9 Adet YKN Görüntüsü-2 58
Şekil 4. 28. Zeminden 9 Adet YKN Görüntüsü-1 58
Şekil 4. 29. Zeminden 9 Adet YKN Görüntüsü-2 59
Şekil 4. 30. Zeminden 9 Bina Üzerinden 6 Adet YKN Görüntüsü-1 59
Şekil 4. 31. Zeminden 9 Bina Üzerinden 6 Adet YKN Görüntüsü-2 60
Şekil 4. 32. Zeminden 5 Bina Üzerinden 4 Adet YKN Görüntüsü-1 60
Şekil 4. 33. Zeminden 5 Bina Üzerinden 4 Adet YKN Görüntüsü-2 61

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 İHA'ların sınıflandırılması (SHT-İHA, 2016). 18
Çizelge 2.2 İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatına göre belirlenen zorunlu teçhizatlar (SHT-İHA, 2016) 20
Çizelge 4. 1 Fotogrametrik Değerlendirme YKN Değerleri 47
Çizelge 4. 2 Fotogrametrik Değerlendirme KN Değerleri 71
Çizelge 4. 3 Fotogrametrik Değerlendirme YKN ve KN Değerleri 61
Çizelge 4. 4 İkinci Fotogrametrik Değerlendirme YKN ve KN Değerleri 62
Çizelge 4. 5 Üçüncü Fotogrametrik Değerlendirme YKN ve KN Değerleri 64
Çizelge 4. 6 Dördüncü Fotogrametrik Değerlendirme YKN ve KN Değerleri 66
Çizelge 4. 7 Beşinci Fotogrametrik Değerlendirme YKN ve KN Değerleri 67
Çizelge 4. 8 Altıncı Fotogrametrik Değerlendirme YKN ve KN Değerleri 69
Çizelge 4. 9 Altıncı Yedinci Fotogrametrik Değerlendirme YKN ve KN Değerleri 70

SİMGELER DİZİNİ

±	Artı ve eksi hata payıyla
%	Yüzde

KISALTMALAR DİZİNİ

CÜ	**:**	Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
İHA	**:**	İnsansız Hava Aracı
İHAS	**:**	İnsansız Hava Aracı Sistemleri
SYM	**:**	Sayısal Yüzey Modeli
3B	**:**	Üç boyutlu
YKN	**:**	Yer Kontrol Noktası
GNSS	**:**	Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (Global Navigation Satellite Systems)
KN	**:**	Kontrol Noktası
PIX4D	**:**	3 Boyut Teknolojisi yazılımı
RTK	**:**	Gerçek zamanlı Kinematik (Real Time Kinematic)
KOH	**:**	Küresel Ortalama Hataları
DGPS	**:**	Ayrımsal Küresel Konumlama Sistemi
YÖA	**:**	Yer Örnekleme Aralığı
ODM	**:**	Açık Drone Haritası (Open Drone Map)
BUSKİ	**:**	Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi
MAV	**:**	Mikro Hava Aracı
SHGM	**:**	Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
SHT	**:**	Sivil Havacılık Talimatnamesi
ICAO	**:**	Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı
GPS	**:**	Küresel Konumlama sistemi (Global Positioning System)
IMU	**:**	İnersiyal Ölçme Ünitesi (Inertial Measurement Unit)
GCS	**:**	Yer Kontrol Sistemi
LİDAR	**:**	Işık Tespiti ve Uzaklık Tayini (Light Detection and Ranging)
RADAR	**:**	Radyo Ile Tespit Etme Ve Menzil Tayini (RAdio Detection And Ranging)
CORS	**:**	Kökler Arası Kaynak Paylaşımı (Cross-Origin Resource Sharing)

1. GİRİŞ

Uzaktan algılama teknolojileri ile nesne veya obje ile temas edilmeden bilgi alınması sağlanmaktadır (Lai vd., 2019). Geçmişten günümüze uzaktan algılama teknolojisinin farklı şekilleri ile ölçümler yapılarak veriler elde edilmiştir. Komu ve mekân açısından çözünürlüğün artması birçok obje ve nesnenin daha net olarak çıkarımını sağladığından daha çok kullanılmaya başlamıştır (Lai vd., 2019; Marullo vd., 2018). Özellikle binaların kentsel yaşamın merkezini oluşturması binaların uzaktan çıkarımlarının yapılmasının ekonomik ve zaman getirileri nedeniyle çalışmalarda daha fazla konu edildiği görülmektedir. Konu ile ilgili yapılan araştırmalarda görüntülerin kullanılmasından elde edilen verilerin spektral, geometrik, içeriksel ve çatı tiplerinin belirlenmesinde kullanıldığını ortaya koymuştur (Marullo vd., 2018).

İHA'lar sadece fotogrametik verileri elde etmek için değil onun dışında denetleme ve gözetle için önemli verilerin elde edilmesinde de önemli katkılar sunmaktadır. Artık denetim ve gözetleme de daha hızlı ve ekonomik şekilde verilere ulaşım imkânı sağladığından haritacılık, inşaat, çevre, jeoloji ve maden mühendisliği dallarında ve bu dalları ilgilendiren iş sektörlerinde kullanılan ve tercih edilen teknolojiler arasında yer almaktadırlar (Mukhamediev ve ark., 2021; Luo ve ark., 2019). HA'ların tarihçesine bakıldığında I. Dünya Savaşına kadar dayandırıldığı görülmektedir. Askeri amaçlar için geliştiren bu teknoloji sağladığı imkânlar nedeniyle sivil amaçlar içinde kullanılmaya başlamıştır (Akan, 2014).

Fotogrametrik kullanımın sağladığı avantajları 20.yüzyıldan itibaren haritacılık, inşaat, madencilik, ziraat, arazi değişikliklerinden doğal felaketlerin gibi çok sayıda alanda kullanımı artarak devam etmiştir (Samad ve ark 2013, Uysal ve ark 2015, Makineci 2016, Xiang ve ark 2018, Yılmaz ve ark 2018, Nex ve ark 2019, Rizo-Maestre ve ark 2020). Hava fotogrametrisinde ve dijital kamera teknolojisinde yaşanan ilerlemeler ile çok bantlı metrik kameraların sunduğu yüksek çözünürlük, fotogrametri biliminin daha fazla mesafe almasını sağlamıştır (Kolláth ve ark 2020). Kameraların laboratuar ortamlarında kullanılan iç yöneltme parametrelerinin ve bu parametrelerin matematik modelde kullanılması sonucunda ölçme ve değerlendirme doğruluğunu artırmaktadır (Chen ve Pan 2020). Bu durum dijital kameraların kullanımını artırmış ve vazgeçilmez olmasına da neden olmuştur. İHA' lar da hava fotogrametrisine benzer şekilde metrik olmayan düşük maliyetli dijital kameralar tercih etmesi nedeniyle kullanılan bir

yöntemdir (Lichti ve ark 2019, Tjahjadi ve ark 2019). İHA'ların tercih edilmesinde; mevsim şartlarına göre uzun zaman aralığında çalışabilmesi (Rosnell ve ark 2011), yasal olarak kullanım prosedürlerinin zorlayıcılığının az olması (Kahveci ve Can 2017, Çoban ve Oktay 2018), ekonomik olması ve uçuş planlarının uygun olması nedenleri ile tercih edildiği görülmektedir. İHA yani İnsansız Hava Aracı ve İHAS İnsansız Hava Aracı Sistemleri benzer iki kavram olup genellikle bu iki kavram kullanılmaktadır (Fahlstrom ve Gleason 2012). Dron sözcüğü kökeni yabancı olup Türkiye'de akademik olmayan çalışmalarda döner kanatlı olarak kullanılmaktadır. İHA tanımlarına bakıldığında genel olarak içinde yolcusu veya pilotu bulunmayan uçabilen ve uzaktan kumanda ile yönetilen hava araçları olarak tanımladığı görülmektedir. İHA çalışmamaları robotik çalışmalar başlığı altında yapılmaktadır (Maxim ve ark 2017, Cho ve ark 2018, Macharet ve Campos 2018, Polat ve Uysal 2020). Robotik çalışmaları dünyada son dönemde en fazla araştırma yapılan alanlar arasında yer almaktadır. Gelişmelerde süreklilik sağlanmış olup yenilikleri birçok alanda kullanılmaktadır (Polat ve Uysal 2020).

Fotogrametri, mekânsal ölçümlerin geometrik olarak fotoğraflar üzerinden elde edilen güvenilir bir bilim dalıdır. Teknoloji ve bilimde yaşanan gelişmeler fotogrametri bilimin farklı dallara ayrılmasına neden olmuştur. Fotogramterinin tarih sel sürecine bakıldığındaplançete fotogrametrisi, analog fotogrametri, analitik fotogrametri ve digital fotogrametriolmak üzere farklı kullanımları olduğu görülmektedir. Fotogrametrinin gelişiminde temel nokta pozitif bilimlerin kabul ettiği prensipler olan doğruluk, esneklik ve pratikliği kabul etmesidir. Özellikle mühendislik alanında vazgeçilmez bir değerlendirme yöntemidir (Macharet ve Campos 2018).

Fotogrametri bilimi, kullanılan platformun yüksekliğine göre yersel fotogrametri ve hava fotogrametrisi olmak üzere iki temel sınıfa ayrılmaktadır. İlk çalışmalar yersel fotogrametri alanında olmuştur. Geniş almaların ölçümünde büyük avantajlar sağlamaktadır. Hava fotogrametrisin de belirli bir yükseklikten yeryüzündeki belirlenen nesnelerin fiziksel boyutlarını ve koordinatlarını ölçmede ve arazi modelleme de kullanılmaktadır. Yersel ölçümlerdeki bilgiler kontrolü sağlayarak tamamlayıcı bilgileri oluşturduğundan hava fotoğraflarının vazgeçilmez bir parçası olmaya devam etmektedir.

Türkiye'de ilk hava fotogrametri çalışmalarının 1927 yılında başladığı görülmektedir. 1929 yılında Bergama- Çandarlı paftası üretilmiştir. İstanbul'un imam planlarına kaynaklık eden çalışmalar ise 1936 yılında çekilen hava fotoğraflardan 140km2'lik bir

alanın 1/2000 ölçekli fotoplanları olduğu görülmektedir. Ancak asıl çalışmalar 1987 yılında yerel yönetimler tarafından başlayan büyük ölçekli haritaların oluşturulmasıdır. Türkiye'de hava fotogrametrisi ile ilgili çalışmalarda hep Harita Genel Komutanlığı olduğu görülmektedir. Harita Genel Komutanlığının 1939 yılında başlayan çalışmaları neticesinde 6400 fotoğraflık bir arşive sahip olduğu görülmektedir. Türk silahlı kuvvetleri çalışmalarını hem kamu hem de özel sektörde ihtiyaç duyan kurumlar ile paylaşmaktadır. Özellikle özel sektörde son dönemlerde ihtiyaç sürekli artmıştır. Bu artışın temel sebeplerinin; yüksek çözünürlüklü kamera ve bilgisayarlar teknolojilerinin gelişimi, fotogrametrik yazılımların düşük maliyetli ve ulaşılabilir olmasının yanı sıra insansız hava araçlarının üretilmesi ile gerçekleştiği söylenebilir. İnsansız Hava Araçları ilk olarak askeri alanda kullanılmaya başlansa da düşük maliyet ve insansız olarak uçma özelliği ile sivil havacılıkta kullanılmak üzere üreticilere ilham vermiştir. Özellikle İHA' lar zor çalışma bölgeleri için insanlara büyük kolaylıklar sağlayarak sivil kullanıma hızlı bir girişte bulunmuştur (Polat ve Uysal 2020).

Son yıllarda büyük ve küçük ölçekli haritaların fotogrametrik yöntemle üretiminde İHA'ların kullanımı oldukça yaygınlaşmaktadır. İHA'ların kullanımı, binaların denetlenmesi ve izlenmesi de dâhil olmak üzere, hızlı yanıt gerektiren görevler için kullanılabileceği için de avantajlıdır. 3B modellemelerde binaların boyutlarının ve detaylarının ölçülmesinde İHA fotogrametri yönteminin kullanılması kullanıcılara büyük avantajlar sağlamaktadır. Bu avantajların yanı sıra İHA uçuşları ile elde edilen ürünlerin doğruluk seviyelerini etkileyen faktörlerin belirlenmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir. Günümüzde bu yönde farklı çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında da farklı uçuş seçenekleri ve değerlendirme yöntemleri kullanılarak İHA fotogrametri yöntemi ile en yüksek doğruluğa sahip üç boyutlu (3B) bina modelleme yöntemi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu avantajların yanı sıra İHA uçuşları ile elde edilen ürünlerin doğruluk seviyelerini etkileyen faktörlerin belirlenmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir (Yılmaz ve ark. 2018).

1.1 Amaç ve Kapsam

Ülkemizde, özellikle kamu ve özel kurumlar tarafından her türlü amaca yönelik olarak üretilen haritalarda temel detay ya da katmanlardan birisi bina objeleridir. İlgili objelerin her türlü veri içerisinden sayısallaştırılması büyük önem arz etmektedir. Son yıllarda özellikle 3B veri kullanımı ciddi biçimde yaygınlaşmış ve hatta gereklilik haline gelmiştir. Bu tür verilerin üretimi fotogrametrik görüntülerden eşleştirme yöntemi ile ortaya çıkarılan nokta bulutundan olabilmektedir. Bu tez çalışması

kapsamında da farklı uçuş seçenekleri ve değerlendirme yöntemleri kullanılarak İHA fotogrametri yöntemi ile en yüksek doğruluğa sahip üç boyutlu (3B) bina modelleme yöntemi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda Sivas Cumhuriyet Üniversitesi'nde bulunan 4 Eylül Kültür Merkezi binası üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Kültür Merkezi binasının İHA ile farklı açı, farklı yükseklik ve farklı metotlar ile çekilen fotoğrafları fotogrametrik olarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda elde edilen nokta bulutu kullanılarak doğruluk açısından uçuş ve değerlendirme stratejileri karşılaştırılmıştır. Fotogrametrik değerlendirme aşamasında zeminde tesis edilen ve GNSS ile ölçülen Yer kontrol noktaları (YKN) ve total station ile bina üzerinde ölçülen YKN' ler kullanılarak değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Doğruluk analizleri için Total station ile bina üzerinde özellikle de bina köşe noktalarında ölçümler gerçekleştirilmiş ve bu noktalara ait üç boyutlu konum bilgileri elde edilmiştir. Daha sonra bu noktalar değerlendirme aşamasında Kontrol Noktası (KN) olarak kullanılmıştır. Aynı zamanda bir lazer metre ile bina üzerinde düşey ve yatay olarak farklı uzunluklar ölçülmüştür. PIX4D yazılımını kullanılarak üretilen nokta bulutundan lazer metre ile ölçülen binanın aynı yüzeyindeki uzunluk değerleri karşılaştırılmış ve tüm bu işlemler farklı metotların her birisi için ayrı ayrı yapılmıştır. Sonuç olarak iş yükünü, maliyetini ve süreyi minimuma indirerek doğruluğu en yüksek yöntemin belirlenmesi hedeflenmektedir.

1.2 Önceki Çalışmalar

Geçmiş yıllarda İHA sistemlerinin forogrametrik ürünlerin elde edilmesiyle ilgili çalışmaların özetleri aşağıya çıkarılmıştır.

Remondina vd. (2011) tarafından yapılan araştırmada İHA'ların klasik insanlılara düşük maliyetli bir alternatif olması nedeniyle kısa ve yakın menzilli uygulamalar olması tanıtılmıştır. Amatör veya amatör araçlarla fotogrametrik veri toplama işlemini gerçekleştirebilen döner veya sabit kanatlı İHA'larSLR dijital kameralar manuel, yarı otomatik ve otonom modlarda uçabilmektedir. Tipik bir fotogrametrik boru hattıyla, 3D DSM/DTM, kontur çizgileri, dokulu 3D modeller, vektör verileri vb. gibi sonuçlar makul bir otomatik yöntemle üretilebilmektedir. Fotogrametrik uygulamalar, haritalama ve 3D için İHA görüntü işleme yöntemlerindeki en son gelişmeleri ve yaşanan sorunları tespit etmek için araştırma gerçekleştirilmiştir.

Uysal vd. (2013) tarafından yapılan çalışma da kültürel mirasları Fotogrametri ile incelemek ve İHA'ların bölgedeki potansiyelini araştırmaktır.3 boyutlu modelleme çalışması için Gedik Ahmet Paşa Camii'nin İHA ile fotogrametrik incelemesini

yapılmıştır. Caminin boyutları 29,20 x 35,40 metre cinsinden olup ters sermaye (T) planına göre inşa edilmiştir. Ana ibadeti örten iki kubbesi bulunan caminin doğudan batıya doğru uzanan iki yandaki üç kubbesi ile Osmanlı mimarisinin en önemli örneklerindendir. Kuzey tarafındaCamide beş kubbeli son cemaat yeri bulunmaktadır. Minare caminin kuzeydoğusundadır. Sahip oldutek şerefeli (minareyi çevreleyen) ve yiv şeklinde kesme taştan yapılmıştır. Bu çalışmada GüneyNTS-352 Total Station 8 noktalı kapalı bir çokgen oluşturmak için kullanılmıştır. Saha çalışmasında 350 yer kontrol noktası kullanılmış ve poligon noktalarının kotunu ölçmek için tesviye edilmiştir. Fotoğraflar için Canon A 180 kamera ve İHA kullanılmıştır. Photomodeler yazılımı hem kameranın hem de İHA'nın fotoğraflarını bağımsız olarak işlemek için kullanılmış olup cami cepheleri isetüretilmiştir. Caminin tüm 3 boyutlu modelleri birleştirilmiştir. Bu birleştirilmiş model, Gedik Ahmet Paşa Camii'nin 3 boyutlu fotogerçekçi modellerinin elde edilmiştir.

Avdan vd. (2014), tarafından gerçekleştirilen araştırmada farklı yükseklik ve bindirme oranları ile ilgili görüntüler kullanılarak ortomozaik ve SYM'ler üretilmiştir. Elde edilen ortomozaik 'in doğruluk analizinde çalışma alanına tesis edilen ve GNSS alıcısı ile ölçülen YKN'lerden, SYM içinse yersel yöntemlerle üretilen modelden kullanılmıştır. Araştırma sonucunda elde edilen veriler ile İHA kullanılarak elde edilen verilerin yersel yöntemlerle karşılaştırılması sonucunda veriler arasında bir paralellik olduğu ve genel olarak veriler arasındaki fakın 10 cm 'den az olduğu tespit edilmiştir.

Toprak (2014), çalışmasında İHA ile üretilen ortomozaiklerin doğruluklarını araştırmıştır. Araştırmasında RKT yöntemiyle ölçülen 20 YKN kullanmış olup araştırma sonucunda; İHA ile üretilen fotogrametrik üründe yatay bileşende ±6 cm fark elde etmiş ve İHA kullanılarak üretilen ortomozaik haritaların yeterli konum doğruluğunu sağladığını tespit etmiştir.

Karkınlı vd. (2015) araştırmasını 48 hektarlık bir alanda İHA'lar ile elde ettiği verilerinin yatay ve düşey doğruluklarını tespit etmeyi amaçlamıştır. Uçuşlarda 100 metre uçuş yüksekliği ve %70-%25 bindirme oranı kullanarak toplamda 720 adet fotoğraf çekilmiştir. Çalışma sonucunda; Yatayda 6,6 cm düşeyde ise 6,5 cm SAM doğruluğu etmiş ve İHA'ların mühendislik faaliyetlerinde kullanılabileceğini belirtmiştir

Uysal vd. (2015), araştırmasını 5 hektarlık bir alanda İHA fotogrametrsi ile üretilen SYM'nin doğruluğunu belirlemek için gerçekleştirmiştir. 60 metre uçuş yüksekliği ile elde edilen görüntülerde 30 SYM kontrol noktasının verileri karşılaştırılmıştır. Çalışma

sonucunda yükseklikte 6,62 cm doğruluk tespit etmiştir. Bu sonuçlar ışığında İHA fotogrametrisinin kullanılması sonucu elde edilen verilerin haritacılık ve mühendislik alanlarında kullanılmasının zaman ve maliyet açısından avantajlar getireceğini belirtmektedir.

Kılınçoğlu (2016), çalışmasını İHA fotogrametrisi ile farklı özelliğe sahip İHA'ların benzer uygulama alanında kullanılabilirliğini amaçlamıştır. Üç farklı İHA kullanarak 80 m, 100 m ve 300 m'den uçuşlar gerçekleştirmiştir. Araştırma sonucunda YKN'lere ait karesel ortalama hataların (KOH); 100 m uçuş yüksekliğindeki İHA için 7,9 cm, 80 m için 9.6 cm ve 300 m İHA için 50.3 cm olduğu tespit etmiştir.

Erdoğan (2016) çalışmasında farklı bindirme oranı (%70 ve %80) ve uçuş yüksekliğine (50m ve 80m) sahip İHA görüntülerinin işlenmesi ile oluşturduğu 36 noktalı grid ağından GNSS ile elde ettiği değerlerin karşılaştırılması sonucunda yatay ve düşeyde yaklaşık ±0.5 cm'lik bir fark tespit etmiş ve kayda değer bir değişim gerçekleşmediğini belirlemiştir.

Özcan (2017) İHA ile farklı uçuş yüksekliklerinden elde edilen görüntüler ile SYM ve nokta bulutu oluşturulmuştur. Elde edilen görüntüler ile fotogrametrik ürünlerin doğrulukları belirlenmeye çalışılmıştır. YKN koordinatları DGPS (Differential-GPS) yöntemiyle ölçülmüş ve karşılaştırmada kullanılmıştır. Yatay bileşene ait hata değerlerinin düşey bileşene göre daha küçük olduğu gözlemlenen çalışmada üretilen ortomozaik'e ait doğrulukların yatayda yaklaşık 5-6 cm civarında, düşeyde ise 9 cm'e varan değerler olduğu tespit edilmiştir. Topografyada meydan gelen ani yükselmelerin ölçümleri olumsuz etkilediği tespit edilmiştir.

Öztürk vd. (2017) araştırmasını İstanbul Teknik Üniversitesinin Ayazağa Kampüsünde üç farklı yükseklikten (60, 80 ve 100m) ve kamera açılarında (450, 600 ve 900) İHA uçuşları yapması sonucunda üretilen ortomozaiklerin doğruluk değerlendirmesini gerçekleştirmiştir. Üretilen ortomozaiklerin doğrulukları çalışma alanına tesis edilmiş ve GNSS Hızlı-statik yöntemi ile ölçülmüş 5 adet YKN ile test edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre; 45^{o}'lik açı ile çekilen görüntülerden üretilen ortomozaik'in diğerlerine göre daha yüksek doğruluğa sahip olduğu belirlenmiştir. Çekim açısının ayarlanması ve görüntü çekiminde en uygun zaman aralığının belirlemesinin önemi belirtilmiştir.

Raczynski (2017) çalışmasında uçuş yüksekliği, bindirme oranı ve uçuş hızı gibi parametrelerden etkilenen İHA verileri ile elde edilebilecek doğruluk derecelerini araştırmıştır. Çalışmada ayrıca kullanılan YKN'lerin çeşitli sayı ve dağılım konfigürasyonları da test edilmiştir. Ayrıca çalışmakapsamında lazer tarama ve İHA

fotogrametrisinden elde edilen 3B nokta bulutu veri setleri de karşılaştırılmıştır. Haritacılık uygulamalarında istenilen doğruluğa erişmek için en önemli faktörün Rolling shutter etkisinin modellenmesi olduğu belirtilen çalışmada önemli bir diğer parametre ise yer örnekleme aralığı (YÖA) ile direkt ilişkili olmasından ötürü uçuş yüksekliği olarak belirtilmiş ve uygun hava koşullarında yaklaşık %70x60 bindirme oranının yeterli olduğu görülmüştür.

Murtiyoso vd. (2017) çalışmasında mevcut satın alma ve işleme protokollerini incelemektirBu, sensörlerin kalibrasyonu, uçuş planlaması ve B İHA projesinin farklı ürünleri üzerindeki yazılım çözümlerinin, veri yönetiminin ve analizlerin karşılaştırılması yapılmıştır. İki tarihiStrazburg şehrinin binaları örnek olay incelemesi olarak kullanılmıştır. Rohan Sarayı cephesinin bir kısmı ve St-Pierre-le-Jeune Katolik Kilisesi seçilen binalardr. Deneyler sonucunda kalibrasyon parametrelerinin kararsız olma eğiliminde olduğunu belirlenmiştir. İHA yine de tarihi binaların araştırılması ve kayıt altına alınması için uygun bir çözümdür olduğu belirtilmiştir.

Vaccavd. (2017) çalışmalarında görüntülerle elde dilen 3B modelleme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarını İHA'la ile gerçekleştirmişlerdir. 3boyutlu modelleme de doğruluk kazanımları belirlenmeye çalışılmıştır. Ölçümler yükseklik, alan ve hacim olarak yapılmış bununla birlikte eğik İHA uçuşları gerçekleştirilmiştir. Uçuşlar şehir planlamasında kullanım için uygun olarak değerlendirilmiştir. Uçuşlar 30 bina üzerinde gerçekleştirilmiştir. 3.5 hektar alanlık alanda çalışmalar yapılmıştır. Uçuşlara ait görüntüler Agisoft firmasının Photoscan yazılımı ile işlenmiştir. Pix4D, onların farklı potansiyellerini ve işlevlerin incelenmiştir. Araştırma sonucunda; Bir nokta bulutundaki nokta sayısı ve 3 boyutlu modellerde alınan ölçümler açısından, eğik İHA uçuşlarının hem uçuşlarda hem de ulaşılabilir doğruluğu arttırdığını göstermiştir.

Vacca vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada İHA tarafından çekilen görüntülerden elde edilen 3 boyutlu modellerin işlenmesine ve incelenmesi amaçlanmıştır. Özellikle hem nadir hem de eğik İHA uçuşları ile elde edilen bina 3 boyutlu modelinde elde edilen doğruluk kazanımlarını incelmemiştir. GörüntülerUçuşlardan elde edilen veriler, yoğun görüntü eşleştirme kullanılarak nokta bulutu oluşturulmasına yönelik Hareket İçin Yapı tabanlı yaklaşım kullanılarak işlenerek, açık kaynaklı bir yazılımda uygulanan kullanılmıştır. Washington Üniversitesi ve Google ile iş birliği. Arayüzüne entegre edilmiş yoğun eşleştirme eklentisi PMVS/CMVS, Yasutaka Furukawa tarafından yapılan yoğun bulutu oluşturmak için kullanılarak elde edilen sonuçlar, karşılaştırılmıştır.

Nagendran vd. (2018) çalışmasını farklı yükseklikten (50, 60, 70, 80 ve 100m) gerçekleştirilen uçuşlarda YKN kullanımının SYM ve ortomozaik doğruluğuna etkisini belirlemek için gerçekleştirmiştir. YKN'nin kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlardaki X, Y ve Z bileşenlerine ait toplam hata karşılaştırıldığında, YKN kullanılmayan durumlarda KOH'nin ortalama hatanın tüm uçuş yüksekliklerinde daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca YKN olmadan, üretilen ürünün doğruluğunun orijinal konumundan 10 ila 40 m veya daha fazla bir aralıkta sapabileceği belirtilmiş ve 8-10 adet YKN'nin güvenilir bir fotogrametrik ürün elde etmek için yeterli olduğuna değinilmiştir.

Akay vd. (2019)'nin gerçekleştirdikleri çalışmada İHA ile farklı uçuş yüksekliklerinin sabit bir objenin uzunluk, alan ve hacim değişimleri belirlenmiş ve yersel veriler ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla belirlenen objeye ait nokta bulutu, SYM ve ortomozaikler elde edilmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre, boyutu küçük nesnelerin uzunluk ve alan hesaplamaları için İHA verilerinin kullanılmasının uygun olacağı ancak hacim hesaplamalarında ise doğruluğun santimetre mertebesinde olması nedeniyle belirlenen proje amacına bağlı olarak İHA verilerinin tercih edilebileceği belirtilmiştir.

Altun (2019) tarafından yapılan araştırmada İHA ile elde edilen veriler ile harita üretimi araştırılmıştır. Çalışma Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Kampüsü içindeki 3 hekrtarlık alanda gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı içerisinde nokta konum doğruluğunu ve farklı ticari yazılımların güvenilirliğini belirlemek amacıyla, iki farklı İHA kullanılarak 60 metre yükseklikte %80 boyuna %70 enine bindirme oranıyla uçuşlar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen görüntülerin değerlendirilmesinde Agisoft Photoscan ve Pix4D Mapper yazılımları kullanılmıştır. Kullanılan yazılımlara ait KOH'ler incelendiğinde Pix4D Mapper yazılımının daha iyi sonuç verdiği ortaya konulmuştur.

Çetin (2019) çalışmasında İHa ile elde etmiş olduğu fotoğrafları Pix4D Mapper ve Agisoft Photoscan yazılımlarında işlenerek ortomozaik ve SYM üretilmiştir. Aynı verileri klasik fotogrametrik yöntemler ile de elde etmiş ve yükseklik değerlerini karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda; klasik hava fotogrametrisi kullanılarak elde edilen konum doğruluğuna, İHA yardımıyla edinilen görüntüler kullanılarak düşük maliyette erişilebildiği belirtilmiştir. İHA kullanılarak elde edilen verilerin Agisoft Photoscan ve Pix4D Mapper yazılımlarında işlenen veriler ile birbirine yakın sonuçlar içerdiğini tespit etmiştir.

Saygılı (2019) araştırmasında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Kampüsü içinde İnsansız hava aracı ile fotogrametrik olarak üretilen verilerin konum doğruluklarının

belirlemeye çalışmıştır. Bu amaçla çalışma alanında 192 metre %60 boyuna %40 enine bindirme oranı ve 160 metre %80 boyuna ve %60 enine bindirme oranına sahip iki farklı uçuş gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar total station kullanılarak elde edilen koordinatlarla karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda ilk uçuşta sırasıyla X, Y ve Z bileşenlerine ait konum doğrulukları sırasıyla, ±5,61 cm, ±7,55 cm, ±15,11 cm ve ortalama konum doğruluğu m_{xyz}= ±17,80 cm olarak bulunmuştur. Gerçekleştirilen ikinci uçuşta ise konum doğrulukları yukarıda belirtilen sırayla, ±6,53 cm, ±4,31 cm, ±14,62 cm ve ortalama konum doğruluğu ise m_{xyz}= 16,59 cm olarak bulunmuştur. Çalışmadan elde edilen KOH'lar incelendiğinde 160 m yükseklikte gerçekleştirilen uçuştan elde edilen değerlerin, 192 m irtifadan gerçekleştirilen uçuştan elde edilen değerlere oranla daha küçük olduğu görülmektedir.

Selek (2019) gerçekleştirdiği yüksek lisans tez çalışmasında ormanlık, kırsal ve kentsel alanlarda İHA ölçmeleri gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada bu alanlara ait yapılan uçuşlardan ortomozaik, SAM ve SYM'ler Agisoft yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Ormanlık alanlarda 90x70 bindirme oranına sahip uçuşun değerlendirme süresinin uzun olduğu ve 80x50 bindirme oranının bu alanlarda yeterli doğruluğa sahip olduğu belirtilmiştir. Üretilen bu verilerin karşılaştırılması BUSKİ'den elde edilen ortomozaik ve sayısal arazi verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma sonucunda İHA ile üretilen fotogrametrik ürünlerin yeterli doğrulukta yersel ölçmelere göre daha etkin ve az maliyetli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Deliry (2020) yapmış olduğu araştırmasında klasik haritalama teknikleri ile İHA tabanlı sistemlerin doğruluğunu karşılaştırmayı amaçlamıştır. Araştırmasını Eskişehir Anadolu Üniversitesi Kampüsü içinde gerçekleştirmiştir. 16 m, 100 m ve 170 m yükseklikten İHA uçuşları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen görüntülerden üretilen nokta bulutları, üçgen 3B modeller, SYM, SAM ve ortomozaiklerin doğruluk analizlerinde çalışma alanında yapılan total station, GNSS-RTK, yersel lazer tarayıcı verileri kullanılmıştır. Yatay ve düşeyde en yüksek doğruluğa (2,5 cm ve 2 cm) 16m uçuş yüksekliğindeki eğik görüntülerden elde edilen ürünlerden ulaşılmıştır. Elde edilen bulgulara göre 16 m ve 100 m uçuş yüksekliğinden elde edilen görüntüler kullanılarak üretilen ortomozaik ve SYM'lerin doğruluklarının arazi analizi içeren birçok uygulama için yeterli olduğu belirtilmektedir.

Çallı (2021) araştırmasının amacını RTK özelliği bulunan ve bulunmayan İHA'lar ile elde edilen görüntüler Pix4D Mapper ve Agisoft PhotoScan yazılımları ile değerlendirilmiş ve elde edilen verileri ortomozaiklerin doğruluk analizleri yapmak

oluşturmaktadır. Çalışma sonucunda; RTK özellikli İHA kullanılarak yatay ve düşeyde elde edilen hassasiyetin RTK özelliği bulunmayan İHA'ya göre daha yüksek olduğu sonucu tespit edilmiştir. Yazılımlar arası değerlendirme de ise Pix4D Mapper yazılımı ile yapılan değerlendirmelerin en doğru sonuca ulaştığı belirlenmiştir.

Ayyıldız (2020) insansız hava araçlarının kadastro çalışmalarında kullanımı konusunda yapmış olduğu araştırmasında İnsansız hava aracı ile farklı YÖAlarına sahip fotogrametrik üretimlerin detay çalışmalarına etkisini ortaya koymayı amaçlamıştır. Bulgularda belirtilen kriterler doğrultusunda, gerekli arazi ve büro kontrolleri yapılan, BÖHHBÜY kriterlerinin sağlayan İHA kullanılarak üretilen Kadastral Detay Haritalarının kadastro çalışmalarında kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Marangoz, Karakış ve Numan (2019) araştırmalarında geleneksel fotogrametri ile İHA'lardan üretilen sonuç ürünlerin karşılaştırılması ve İHA'ların maliyet, zaman ve doğruluk açısından geleneksel fotogrametriye karşı avantajlarının ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, geleneksel fotogrametri ile İHA'ya ait sonuç ürünlerin doğruluklarının yakın çıktığı görülmüştür. Geleneksel fotogrametri ile İHA'lar maliyet ve zaman açısından karşılaştırıldığında, İHA operasyonlarının daha az maliyetli ve kısa sürede yapıldığı sonucuna varılmıştır.

Can ve Yılmaztürk (2017) araştırmalarında düşük maliyetli İHA kullanılarak büyük alanların fotogrametrik yöntemle sayısal fotogrametrik hâlihazır harita veortofoto üretme potansiyelinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda çalışma bölgesi olarak yaklaşık 300hektarlık bir alana sahip Aksaray Üniversitesi Yerleşke Alanı seçilmiştir. Çalışma bölgesine ait 924 hava fotoğrafı, Dji Phantom 4Pro multikopter İHA ile çekilmiştir. Elde edilen görüntüler ortofoto üretimi amacıyla SfM (Structure from Motion) algoritmasıkullanan fotogrametrik bir yazılım desteği ile işlenmiş ve stereo değerlendirme ile sayısallaştırılmıştır. Üretilen ürünler değerlendirildiğinde düşük maliyetli multikopter bir İHA olan Dji Phantom 4 Pro görüntüleri ile büyük alanlarda hava fotogrametrisiçalışması yapmanın mümkün olduğu görülmüştür.

Karakış (2012) araştırmasında İnsansız Hava Aracı (İHA) olarak bir model uçağın kullanılması, bunun üzerine yerleştirilecek metrik olmayan bir kameranın ve görüntülerinin haritalama amacına yönelik kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında İHA olarak kullanılan bir model uçak ve üzerine yerleştirilmiş metrik olmayan bir kamera yardımıyla büyük ölçekli harita yapılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Alınan görüntülerin uygun yüksekliklerde

≈5cm YÖA sağladığı ve yine uygun yazılımlar ve yeterli YKN kullanımı ile çok güçlü semantik bilgiye sahip sonuç ürünler alınabileceği gözlemlenmiştir. Test alanı ve 2010 yılı orto görüntüleri arasında yapılan karşılaştırmada fark vektör bileşenlerinin en büyüğü Y yönünde olmak üzere ±22cm'yi geçmediği gözlemlenmiştir. Kamera objektifinin değişken odak uzaklığına sahip olması ve sonsuza netlemenin tam düzgün çalışmamasından dolayı görüntülerin otomatik netleme modunda alınması, görüntü üzerinde özellikle farklı yüksekliklere sahip detaylarda bulanıklaşma oluşmasına yol açmaktadır. Bu da yukarıda bahsedilen hata vektörlerinin 1-2 desimetre civarında oluşmasına neden olmaktadır.

2. FOTOGRAMETRİ VE İHA FOTOGRAMETRİSİ

2.1 Fotogrametri Tanımı ve Gelişimi

Fotogrametri sözcüğünün tarihçesine bakıldığında photos (ışık)", "grama (çizim)" ve "metron (ölçme)" anlamlarına gelen sözcüklerin birleştirilmesi ile elde edildiği görülmektedir. Işık yardımıyla ölçme anlamına gelmektedir (Çetin, 2019). Fotogrametri, temas olmadan bir veya birden çok fotoğraf yardımıyla yayılan elektro manyetik enerjinin ölçe değerlendirme yapılmasını sağlayarak nesne ve objelerin yüzeyleri ile ilgili güvenilir bilgileri sağlayan bir bilim dalıdır (Schenk, 2005). Başka bir tanımda obje ve yüzeylerin 2 ve 3 boyutlu konumları ile ilgili fotoğraflar üzerinden yapılan sayısal ölçme yöntemi olarak ifade edilmektedir (Öztürk, 2010; Selek, 2019; Kılınçoğlu, 2016).

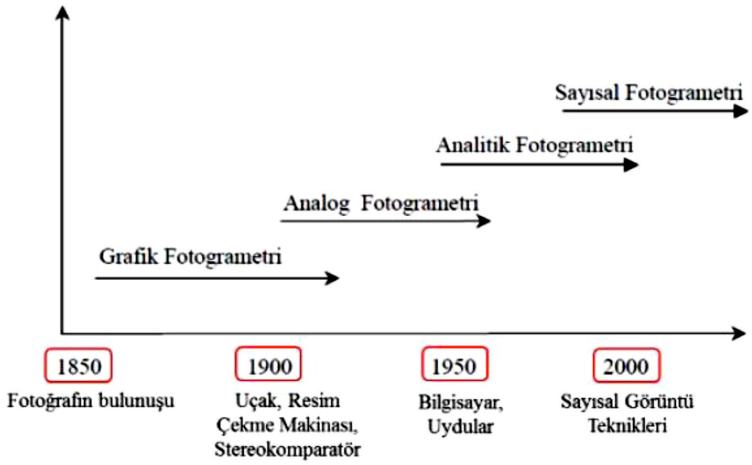
Fotogrametrinin gelişiminde bilim ve teknoloji alanında meydana gelen gelişmeler etkili olmuştur. Fotogrametrinin dört ana gelişim aşaması, fotoğraf, uçak, bilgisayar ve elektronik gibi teknolojik icatlarla şekillenmiş ve her aşama teknolojik gelişmelere birlikte ilerlemiştir (Şekil 2.1). Bu dört nesil fotogrametrik evreler;

Plançete (Grafik) Fotogrametrisi (1850-1900),

Analog Fotogrametri (1900-1950),

Analitik Fotogrametri (1950-2000),

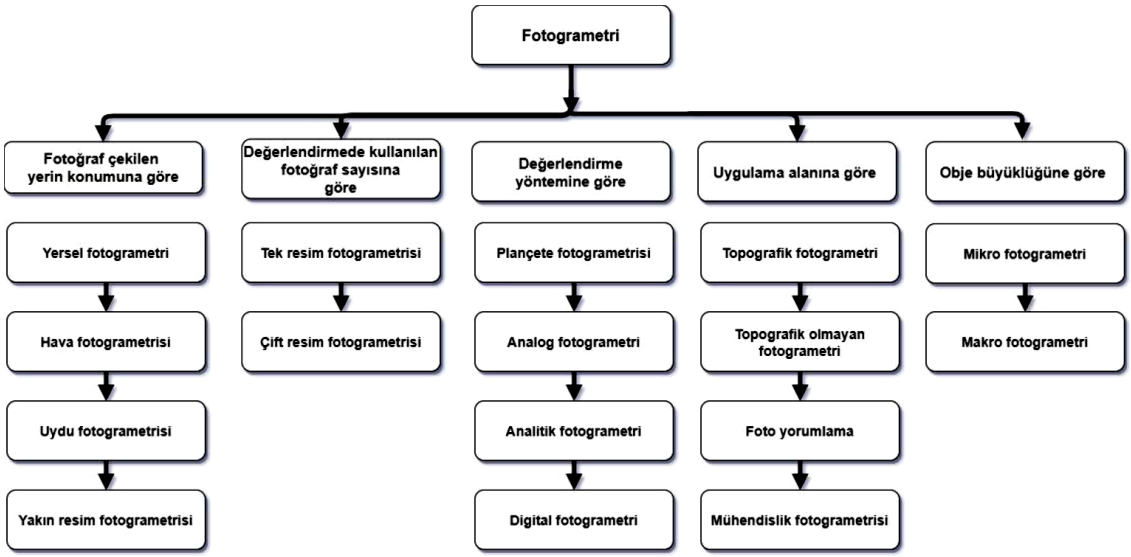
Dijital Fotogrametri (2000- günümüz) olarak sınıflandırılmaktadır (Schenk, 2005; Saygılı, 2019).



Şekil 2.1 Teknolojik gelişmeler sonucunda meydana gelen fotogrametrik aşamalar (Kılınçoğlu, 2016).

18.yüzyılın ortasında başlayan birinci nesil fotogrametri yersel ve balon ölçümlerine dayanmasına rağmen başarılı olarak değerlendirilen deneysel bir aşama olarak görülmektedir. Bu dönemdeki çalışmalar fotogrametrinin geleceği için öncü olmuştur (Schenk, 2005).19 Eduard von Orel 1908 ilk grafik çizimi gerçekleştirmiştir. Dağlık alanların pratik olarak çizilmesi analog fotogrametri yani ikinci aşamaya geçiş anlamı taşımaktadır (Collier, 2002). Bu dönemde havadan çekim için uçurma, zeplin balon kullanılarak havadan fotoğraflar çekilmiştir (Çallı, 2021). I. Dünya savaşında pervaneli uçaklardan çekilen fotoğraflar ile birlikte hava fotoğraflarının kullanılması süreklilik kazanmıştır. Hava fotogrametrisinin kullanılması dünya savaşları arasında gelişerek havdan araştırma tekniklerinin temeli burada atılmıştır (Schenk, 2005). Fotogrametik olarak isimlendirilen üçüncü aşama bilgisayar teknolojileri ile birlikte analitik fotogramteri teknolojisinin kullanıldığı dönemleri içermektedir. Hava triyangülasyonuna ek olarak, üçüncü neslin bir başka önemli buluşu da geliştirilen analitik çizicidir. 1980'li yıllara doğru, daha küçük boyutlarda ve sayısal bilgisayarlara bağlı olarak çalışabilen çizicilerden çok sayıda üretilmiş ve 20. yüzyılın sonlarında bu çiziciler sık kullanılan bir harita üretim yöntemi haline gelmiştir (Saygılı, 2019). 1980'li yılların sonuna gelindiği ise dördüncü nesil olan dijital fotogrametri dönemi başlamıştır. Bu dönemin başlamasında bilgisayar ve depolama teknolojisinin gelişmesi etkili olmuştur (Saygılı, 2019). Dijital olarak elde edilen fotoğrafların değerlendirmesi de grafik işlemciye sahip bilgisayar ile yapılmaktadır. Dijital fotogrametri de işler daha kısa sürede ve yüksek doğrulukta yapılmaktadır (Yılmaztürk, 2016; Çallı, 2021).

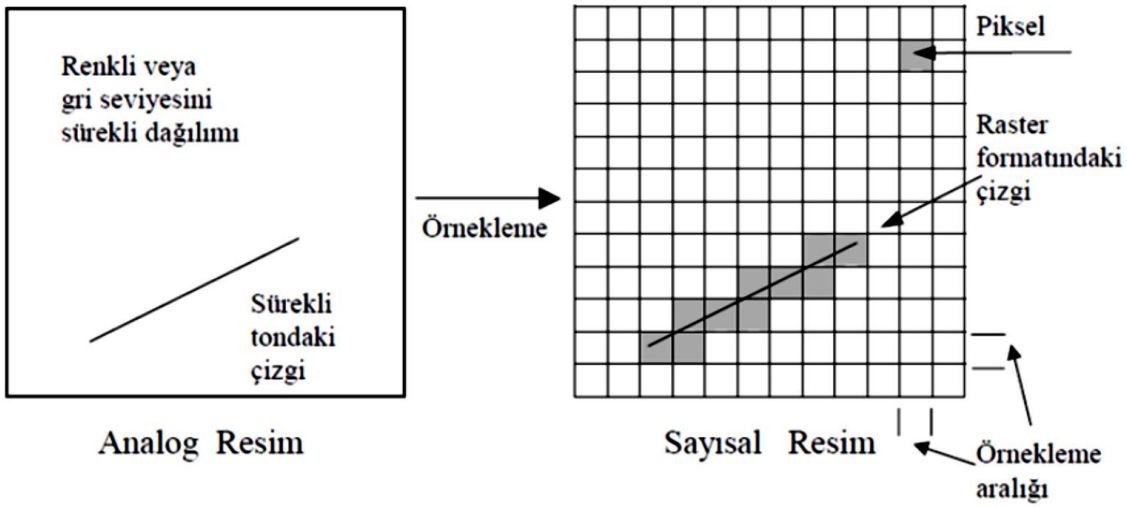
Fotogrametride istenilen obje ve nesnelerde çekilen fotoğraflar üzerinden değerlendirmeler yarak objenin şekli, görünüşü, konumu ve büyüklüğü ile ilgili geometrik bilgilerin elde edilmesidir. Fotogrametri biliminde uygulanan matematiksel model değişmese de teknolojinin gelişmesi ve buna bağlı olarak kullanılan araç ve gerecin değişmesiyle alt birimlere ayrılmıştır (Kılınçoğlu, 2016; Seki, 2017). Bu sınıflar genel olarak, görüntü alınan yerin konumuna, değerlendirmede kullanılan görüntü adedine, değerlendirme tekniğine, uygulama alanına ve nesne büyüklüğüne göre sınıflandırılmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Fotogrametrinin alt sınıfları (Toprak, 2014'den değiştirilerek)

2.2 Dijital (Sayısal) Fotogrametri

Teknoloji ile birlikte gelişen bilgisayar donanım ve yazılımları verilerin hem hızlı biçimde işlenmesine hemde yüksek kapasiteli biçimde depolanmasına imkânı sunmuştur. Bu durum çekilen hava ve yer fotoğraflarının işlenmesi seçeneğini oluşturmuştur. Dijital görüntüler, tarayıcılar, sayısal kameralar, İHA ve hava radarı vb. araçlar kullanılarak elde edilebilmektedir (Sidek ve Ahmad, 2009). Analog fotoğrafların yerine 1990'lı yıllarda kullanılmaya başlayan dijital fotoğrafçılık fotogrametri de fotogrametri evresini başlamıştır (Şekil 2.3).

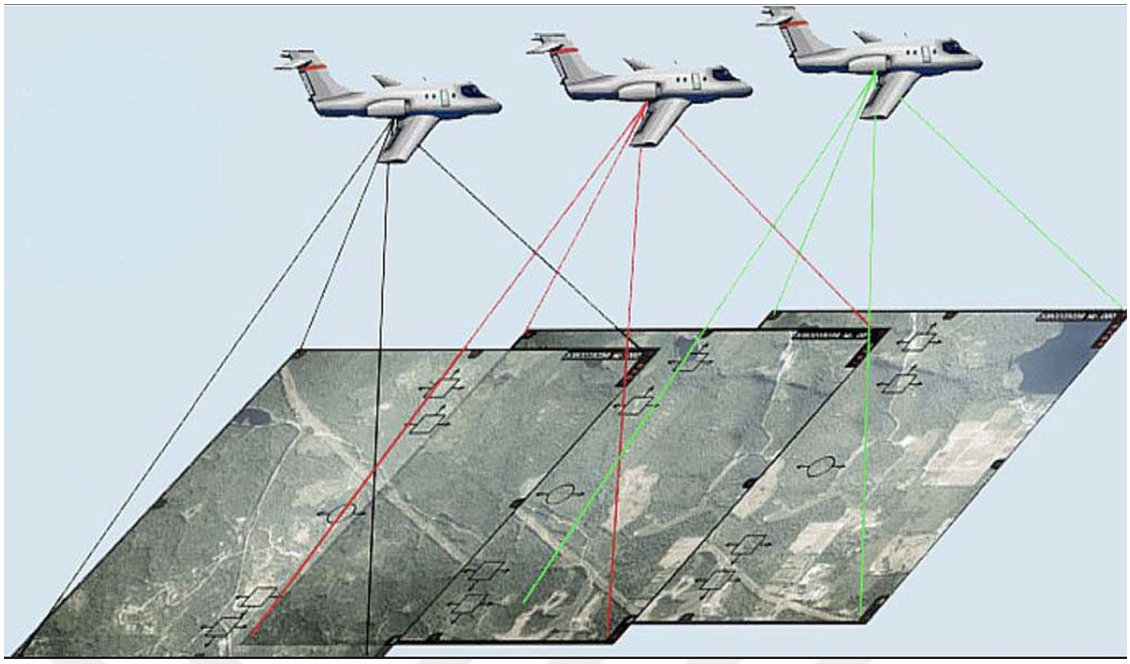


Şekil 2.3 Analog ve sayısal resim (Kılınçoğlu, 2016)

Dijital fotogrametri, sayısal formalarda ya da analog resimlerin taranması ile elde edilen streo görüntülerin fotogrametrik tekniklerin kullanıldığı yazılımlar ile değerlendirilmesidir. Sayısal formlarda görüntünün kalitesi yüksek olup birden fazla renk seçeneği de bulunmaktadır. Bu durum görüntüler üzerindeki iyileştirmelerin gerçekleştirilmesini sağlamış ve dijital fotogrametri sıklıkla kullanılmaya başlamıştır (Yıldız, 2010; Kılınçoğlu, 2016). Dijital fotogrametri kullanılarak kısmen veya tamamen otomatikleştirilmiş nokta ölçmesi, koordinat dönüşümleri, üçüncü boyutun oluşturulması için görüntü eşleştirme işlemleri yapılabilmektedir. Yapılan işlem sonunda ortomozaik ve SYM'ler oluşturularak, bu fotogrametrik ürünler harita üretiminde kullanılabilmektedir (Konecny, 2003; Çetin, 2019).

2.3 Hava Fotogrametrisi

Fotogrametri, teknolojik gelişmelerin etkilediği bir bilim dalıdır. !800'li yıllarda çekilen fotoğraflar üzerinden bilgi üretilmesiyle başlayan süreç fotoğrafın dünya üzerinden de çekilmesi ve daha kısa sürelerde görüntülenmesine kadar ulaşmıştır. Çekilen fotoğraflar sadece harita yapmak için değil aynı zamanda yeryüzünün topografyasının oluşturulması bitki ve arazi örtüsü ile ilgili bilgiler elde edilmesine varana kadar çok alanda kullanılmıştır. Fotoğrafların büyük bölümü düşey olarak elde edilmektedir (Yılmaz vd., 2018). Hava fotogrametrisinde; uçuş planlaması, istenilen ölçeğe göre yapılabilmektedir. Hazırlanan uçuş planında, uçuşun yüksekliği, açısı, bindirme oranı, kolon sayısı vb. uçuş parametreleri ile kameranın entegre edildiği hava aracının hız, rota vb. bilgileri belirlenebilmektedir (Şekil 2.4). Elde edilecek olan sonuç ürününün yüksek doğrulukta olması amacıyla zemin üzerinde YKN'ler uçuş yüksekliğine bağlı olarak havadan ayırt edilebilecek şekilde hazır şablonlar ile tesis edilmektedir. Yer yüzeyi üzerinde işaretlenen bu noktalar daha sonra hassas jeodezik ölçme aletleri ile ölçülerek koordinatları elde edilmektedir. YKN'lerin arazi üzerindeki dağılımı ve tesis sıklığı hava triyangülasyonuna bağlı olarak seçilmektedir (Uysal, 2018; Çaşkurlu, 2021).



Şekil 2.4 Hava fotogrametrisinde fotoğraf alımı (Saygılı, 2019)

Sabit resim ölçeği ve geniş alanlara ait haritaların ekonomik ve yüksek doğruluklu üretilebilmesi açısından zaman ve maliyet tasarrufu sağlaması nedeniyle günümüzde, hava fotogrametrisi sıklıkla tercih edilmektedir. Hava fotogrametrisi sayesinde üç boyutlu şehir modelleri, topoğrafik ve kabartma haritalar, sayısal yükseklik modeli, ortomozaik ve sayısal arazi modelleri gibi ürünler elde edilebilmektedir (Gençerk, 2016). Geçmişten bugüne havadan fotoğraf çekiminde, uçurtma, balon, zeplin, uçak ve helikopter gibi farklı uçuş platformlarına ek olarak son yıllarda İHA'lar da sıklıkla kullanılmaktadır (Kılınçoğlu, 2016).

2.4 İnsansız Hava Araçları (İHA)

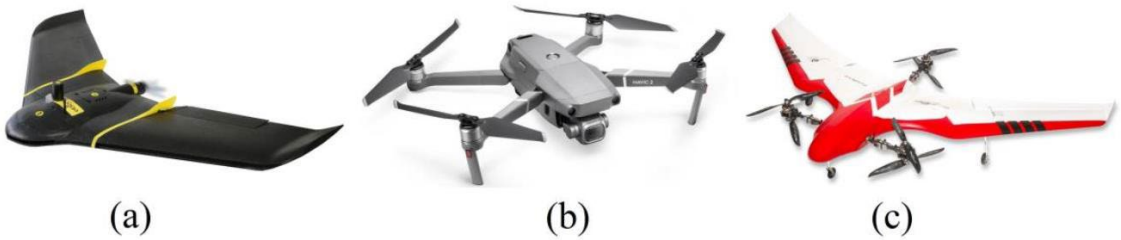
İnsansız hava araçları (İHA) uzaktan kontrol edilebilen pilot ihtiyacı duymayan otomatik ve yarı otomatik sabit ve döner kanatlı iki şekilde hareket eden hava araçladır (Saripalli vd., 2003; Gençerk, 2016; Kılınçoğlu, 2016). "Hava robotları" veya "drone-yerden kumandalı hava aracı" gibi birbirinden ayrı isimler verilen İHA'ların ilk olarak 19002lü yıllarda askeri amaçla kullanıldığı bilinmektedir. Keşif, gözetleme ve haritalamada kullanılan İHA'lar 1950'li yıllardan itibaren sivil amaçlar içinde kullanılmaya başlamıştır (Rango vd., 2006; Seki, 2017; Çömert vd., 2012; Kılınçoğlu, 2016).

2.4.1 İHA'ların kullanım alanları

Türkiye'de İHA'ların kullanımında öncelik askeri amaçlar olmuştur. İHA teknolojisinin gelişmesi ve farklı özellikler sunması onun sivil amaçlı kullanımı da artırmaktadır. Gidilmesi zor bölgelere ulaşması sivil olarak kullanımda önemli avantajlar ağlamaktadır (Eisenbeiss, 2009; Selek, 2019). İHA'lara takılan algılayıcılar onların farklı alanlarda kullanılan fotoğrafları elde etmesini sağlamaktadır. Açık kaynak kodlu ve ticari değerlendirme yazılımlarının geliştirilmesi sayesinde jeomorfolojik analiz ve görüntüleme-izleme amaçları için arazi yüzeyinin yüksek çözünürlüklü yeniden yapılandırılması (Agüera-Vega vd., 2017; Rossi vd., 2018) multispektral görüntülerin analizi yoluyla tarım ve ormanlar üzerine yapılan çalışmalar (Feng vd., 2015; Honkavaara vd., 2013) ve meydana gelen deprem, sel, çığ gibi felaket olaylarının ardından afet yönetimi (Quaritsch vd., 2010), altyapı sektöründe, kule ve köprülerin denetimi (Morgenthal vd., 2019) hava taşımacılığı altyapısı (Mualla vd., 2019) ile demiryolları ve karayollarınının (Máthé vd., 2015) izlenmesi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Barba vd., 2019).

2.4.2 İHA'ların sınıflandırılması

Sınıflandırma kullanım alanlarına göre ülkeler arası farklılıklar göstermektedir. Uluslararası bir standarttın da geliştirilmesi bu bakımdan mümkün olmamıştır. Ülkeler kendi düzenlerine göre şamalarını oluşturmuşlardır. En genel anlamda İHA'ları askeri, sivil ve ticari olarak sınıflandırmak mümkündür. Federal Havacılık İdaresi (FAA) tarafından tanımlanan en basit sınıflandırma, İHA'ların ağırlıklarına göre yapılmaktadır. Buna göre İHA'lar üç sınıfta: Mikro hava aracı (MAV) olarak da adlandırılan ve 1 gramdan hafif en küçük İHA'lar, 25 kg'dan küçük olan minyatür İHA'lar veya sUAS olarak da adlandırılan küçük İHA'lar ve ağır İHA sınıfı olan 25 kg'dan daha ağır insansız hava araçları olarak sınıflandırılmaktadır (Deliry, 2020). Başka bir sınıflandırmada, boyuta (çok küçük, küçük, orta ve büyük), menzile (çok düşük maliyetli yakın mesafe, yakın mesafe, kısa menzil ve orta menzil) ve dayanıklılığa göredir (Fahlstrom ve Gleason, 2012). Fotogrametride kullanılan İHA'lar ise genel olarak üç tipe ayrılabilir: bunlar, sabit kanatlı, döner kanatlı (rotorcraft) ve dikey kalkış ve iniş (VTOL) yapabilen hava araçlarıdır (Şekil 2.5; Greenwood vd., 2019).



Şekil 2.5 Kanat sınıflarına göre İHA türleri a) Sabit kanatlı b) Döner kanatlı c) Dikey kalkış-iniş yapabilen (Deliry, 2020)

Sabit Kanatlı İHA'ların havalanması için ya bir rampaya ihtiyaç vardı ya da el yardımıyla fırlatılır. Döner kanatlı İHA'ların havalanması için bir desteğe ya da rampaya ihtiyaç bulunmamaktadır. Kendisi kumanda edilerek havalanacak sisteme sahiptir (Toprak, 2014; Altun, 2019). Türkiye'de askeri amaçla başlayan İHA kullanımı svil olarak da oldukça sık kullanılmaktadır. Sık kullanım ile birlikte bunların kontrolü gerekmektedir. Bu nedenle İHA kullanımı ile ilgili yasal düzenlemeler Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) tarafından düzenlenmekte ve geliştirilmektedir. SHGM - İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatnamesinin (SHT-İHA) beşinci maddesine göre Ülkemizde İHA'lar, ağırlıklarına göre dört sınıfa ayrılmaktadır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1İHA'ların sınıflandırılması (SHT-İHA, 2016).

Sınıfı	**Azami kalkış ağırlığı**
İHA0	500 gr (dâhil) – 25 kg aralığında olan İHA'lar
İHA1	4 kg (dâhil) – 25 kg aralığında olan İHA'lar
İHA2	25 kg (dâhil) – 150 kg aralığında olan İHA'lar
İHA3	500 gr (dâhil) – 25 kg aralığında olan İHA'lar

2.4.3 İHA sistem bileşenleri

Görünüş olarak insanlı ve insansız hava araçları birbirine benzemektedir. Aralarındaki en önemli fark kokpit yapısıdır. İHA'larda kokpit penceresi ve çevre kontrol sistemleri bulunmamaktadır (ICAO, 2011). Kullnaım amaçlarını da göre de farklılıklar bulunmaktadır. Sivil ve ticari amaçla kullanılan İHA'lar küçük olurken askeri amaçla kullanılan İHA'lar daha büyüktür. Askeri amaçla kullanımda ağırlık ve güç ihtiyacı daha fazla olduğundan daha büyük yapılmaktadır. Üç ana bileşenden oluşan İHA

Sistemlerinde, insansız uçuş platformu ya da aracı, otonom uçuş kontrol sistemi (yer kontrol sistemi) ve uzaktan kumanda edilen hava aracı ile yer kontrol istasyonunu birbirine bağlayan komuta-kontrol bağlantısı olarak da isimlendirilen iletişim sistemi yer almaktadır. Hava aracı sistemi, gövde bileşeni, sevk ünitesi (motor ve pervane), uçuş kontrolleri ve güç sisteminden oluşmaktadır ve hava aracında amaca bağlı olarak taşınan ekstra yük (Global Positioning System (GPS), ivmeölçer, Inertial Measurement Unit (IMU), kamera vb.,) bu bileşenlerden bağımsız bir alt sistem olarak kabul edilmektedir (Deliry, 2020; Fahlstrom ve Gleason, 2012; ICAO, 2011). Yer Kontrol Sistemi (GCS), İHA sisteminin, video verilerini, telemetri verilerini, uçuş esnasında çevrede bulunan uyduları, güç sarfiyatını, uçuş parametrelerini işleyen ve görüntüleyen operasyonel kontrol merkezidir. İHA'da amaç insan lehine fayda sağlayan yüklerin taşınması olduğundan üretim aşamasında yük bileşenleri hesaplanmaktadır. Keşif, gözlem ve haritalama için yapılmış İHA'larda yüklerin bileşini fotograf, video ve kızl ötesi termal kameralar olmak üzere Light Detection and Ranging (LiDAR), RAdio Detection And Ranging (RADAR) ve Sythetic Aperture Radar (SAR) gibi sensörleri içermektedir. Küçük İHA'lar, güç kaynağı olarak genellikle lityum polimer piller (Li-Po) kullanmaktadır. IMU ve GNSS sensörleri ile donatına bu sistemlerde yer kontrol istasyonu ile bağlantı telemetri aracılığı ile sağlanmaktadır (Gençerk, 2016; Deliry, 2020). Uçak konumu v durumu ile ilgili bilgiyi sensörler ve kameralar aracılığıyla kullanıcıya aktarmaktadır. Manuel, yarı otonom ve otonom uçuş modları mevcut olan sistemlerden otonom uçuş modu, uçuş kontrol yazılımında önceden tanımlanan rotanın takip edilerek görüntüleme yapılabilmesi sebebiyle fotogrametrik amaçlı kullanımlarda sıklıkla tercih edilmektedir. Ölçme amaçlı üretilen ve kullanılan İHA'ların çoğu, otomatik pilot modunda uçuş gerçekleştirebilen IMU, GPS ve mikroelektromekanik sistemlerle donatılmıştır ve kullanılan yazılıma bağlı olarak bu sistemlerin otonom dereceleri değişmektedir (Greenwood vd., 2019; Deliry, 2020).

Çizelge 2.2İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatına göre belirlenen zorunlu teçhizatlar (SHT-İHA, 2016)

İHA Sınıfı	**Gerekli Teçhizat**
İHA0	İHA'nın teknik olarak ekipman, sistem ve faydalı yük bileşenleriyle donatılması İHA işleticisinin/sahibinin/pilotunun ya da imalatçısının seçimine bağlıdır.
İHA1	a) Komuta ve kontrol veri bağının kesilmesi durumda acil durum iniş veya uçuş sonlandırma kabiliyeti, b) Batarya gücü/yakıt seviyesinin devamlı izlenebilmesi, c) Çakar lamba, ç) İHA'da veya yer kontrol istasyonunda otomatik uçuş kayıt sistemi.
İHA2	a) Çakar lamba yerine aydınlatma lambaları, b) Yedekli seyrüsefer sistemi veya yedekli uçuş kontrol sistemi ya da bilgisayarı, c) Yedekli komuta ve kontrol veri bağı, ç) Hava trafik ünitesi ile gerektiğinde haberleşmeyi sağlayacak uygun haberleşme sistemleri,
İHA3	a) Mode-S transponder, b) TCAS veya ADS-B benzeri algıla ve sakın sistemi

2.5. İHA Fotogrametrisi

Fotogrametri kelimesi eski yunanca olan üç sözcükten oluşmaktadır. 1867 yılında "Die Photometrographie" adlı makaleyi yayınlayan Albrecht Meydenbauer tarafından ilk kez kullanılmıştır. Işık anlamına gelen 'photos', çizim anlamına gelen 'gramma' ve ölçme anlamına gelen 'metron' sözcüklerinin birleşmesiyle fotogrametri kelimesi türetilmiştir. Böylece fotogrametri ışık kullanarak çizerek ölçme anlamına gelmektedir. Fotogrametri fotoğrafik görüntülerden ölçüm elde etme tekniği olarak ifade edilebilir. Fotogrametrik değerlendirme sonucunda ise orto-görüntüler ve sayısal yükseklik modelleri gibi sonuç ürünleri elde edilir.

"Kendi güç sistemi olan, ölümcül olan ve olmayan faydalı yük taşıyan, otomatik olarak veya uzaktan komuta sistemi ile uçurulan pilotsuz hava araçlarına insansız hava aracı denmektedir" (Akyürek, 2012).

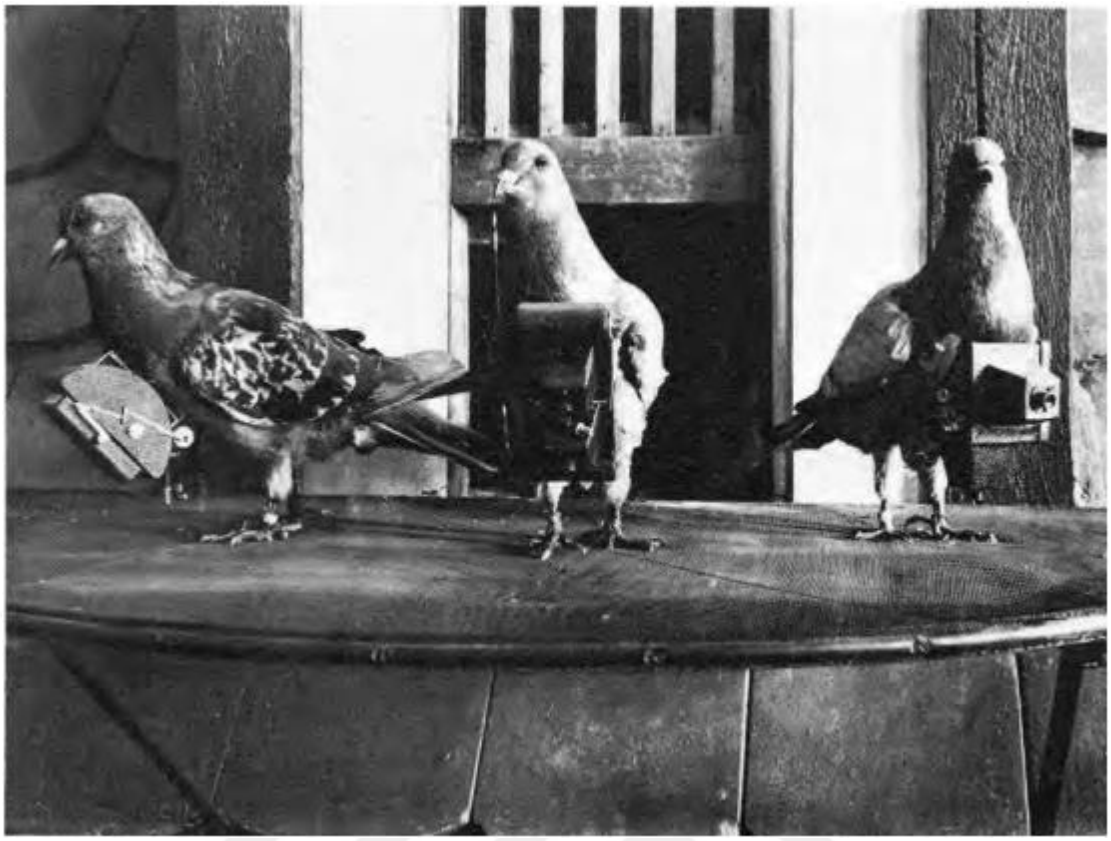
“İçinde pilotu ve yolcusu olmayan, sadece amaca uygun ekipman (video kamera, fotoğraf makinesi, lazer tarama cihazı, vb.) taşıyan, uzaktan kumandalı ve/veya otomatik olarak görevini icra edebilen bir çeşit uçaktır.” (Kahveci ve Can, 2017)

İHA sistemleri uzaktan kumandalı, yarı otonom, otonom veya bu yeteneklerin bir kombinasyonuna sahiptir. İHA ile insanlı hava araçları kıyaslandığında, iki sistem arasındaki temel farkın, İHA'larda fiziksel olarak hiçbir pilotun bulunmaması olduğu söylenebilir (Eisenbeiss, 2009).

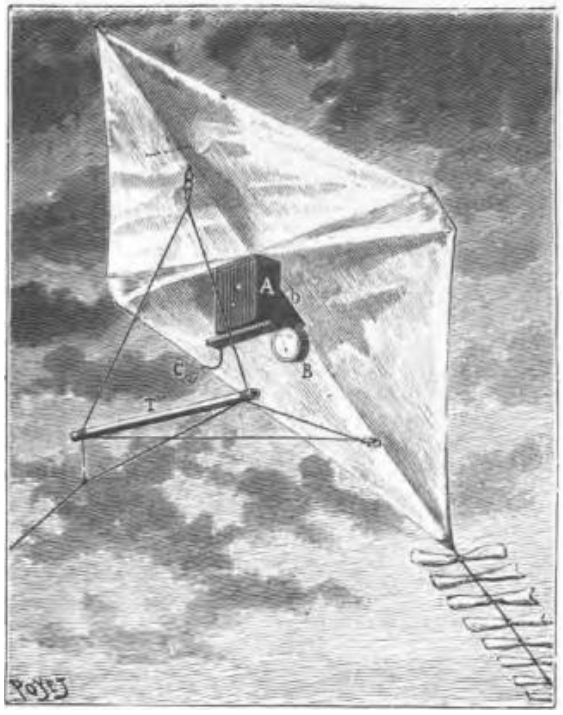
İHA fotogrametrisi, araçta bir pilotun oturmadığı, uzaktan kontrollü, yarı otonom veya otonom olarak çalışan bir fotogrametrik ölçüm platformunu tanımlar. Bu sistemler üzerlerine sabit veya portatif video kamera, termal veya kızılötesi kamera sistemleri, lidar sistemi veya bunların kombinasyonlarından oluşan fotogrametrik ölçüm sistemleri ile donatılmıştır. Mevcut standart İHA’lar üzerlerinde bulunun sensörlerle konumunun ve yöneltmesinin yerel veya küresel koordinat sisteminde kaydedilmesine ve izlenmesine olanak tanır. Dolayısıyla İHA fotogrametrisi yeni bir fotogrametrik ölçüm aracı olarak tanımlanabilir (Eisenbeiss, 2009).

2.6. İHA Fotogrametrisinin Kısa Tarihi

İlk hava fotoğrafları 1858’de Gaspard Tournachon tarafından Paris’te insanlı bir balon aracılığıyla çekilmiştir (Newhall, 1969). İnsanlı balonlar hava fotogrametrisi için ilk kullanılan araçlar oldu ve yıllar boyunca geliştirilmesi için deneyler devam etti. Balonlarla birlikte dünya savaşlarında casusluk yapma amacıyla uçurtmalar ve güvercinler gibi farklı yöntemler kullanıldı (Newhall, 1969).



Şekil 2.6Güvercinlerle kullanılan sistemlerin bir örneği (Newhall, 1969)

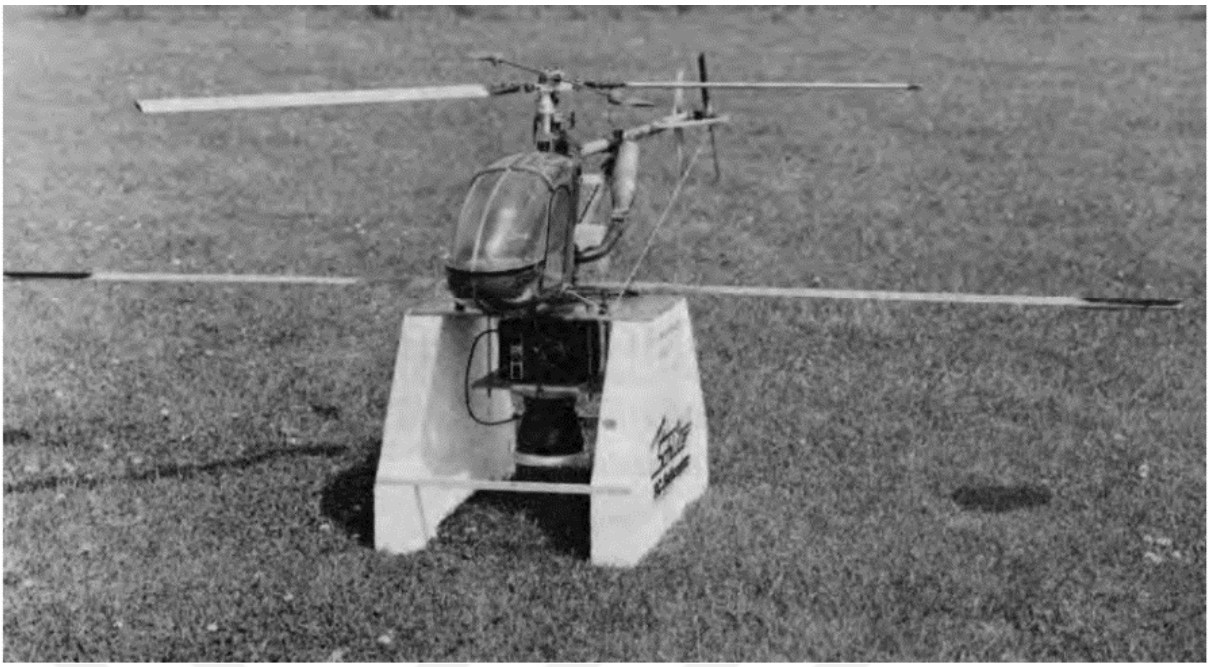


Şekil 2.7Uçurtma ile kullanılan sisteme ait bir çizim (Newhall, 1969)

Whittlesey, 1967'de başladığı arkeolojik belgeler için bağlı bir balonun kullanımını 1970'te rapor etti. Kameralar bir gimbal içine monte edildi, kamera ünitesi uçuş sırasında balonun 9 m altındaydı. Bu kameralar yerden 50 m yüksekliğe kadar görüntü alınmasına izin verdi. Daha sonra, görüntü alımı için radyo kontrolünü sağlayan bir kamera kullanıldı. Bu özel yapının yükü 2,7 kg idi ve balon yerden 600 m yüksekliğe kadar uçabildi. Bu platform, İHA'ların farklı uçuş yüksekliklerinde kullanılabileceğini gösterdi. 1979'da sabit kanatlı İHA'larla fotogrametride yapılan ilk deneylerden biri yapıldı. Uçak 3 m uzunluğunda ve 2,6 m kanat açıklığına sahipti. Uçak maksimum 3 kg yük taşıyabiliyordu. 1980 yılında, fotogrametrik amaçlar için döner kanatlı bir İHA kullanan ilk kişi Wester-Ebbinghaus oldu. Bu döner kanatlı İHA 3 kg taşıma kapasitesine sahipti ve 1979 yılında kullanılan sabit kanatlı İHA ile aynı ekipmanlar kullanıldı. 10 m ile 100 m aralığındaki bir yükseklikte uçabiliyordu (Eisenbeiss, 2009; Whittlesey, 1970).



Şekil 2.81979'da üretilen sabit kanatlı İHA (Przybilla ve Wester-Ebbinghaus, 1979)



Şekil 2.91980'de üretilen döner kanatlı İHA (Wester-Ebbinghaus, 1980)

Model uçak kulüpleri ve hobi sahiplerinin büyük etkisiyle İHA'ların sivil kullanımdaki yeri artmıştır. 2000'li yılların başından itibaren akademik araştırmaların öncülüğünde İHA'ların çok sayıda kullanım alanı bulunmuştur. İHA fotogrametrisi ise kent çalışmalarında, yer bilimlerinde ve harita alanındaki birçok mühendislik uygulamasında kullanılmaktadır (Torun, 2017).

2.7 İHA Fotogrametrisinin Avantajları

İHA'ların insanlı hava araçlarına göre en büyük avantajları, insan hayatını tehlikeye atmadan yüksek riskli durumlarda, erişilemeyen alanlarda, alçak irtifada ve insanlı sistemlerin uçurulamayacağı nesnelere yakın uçuş profillerinde kullanılabilmesidir. Bu bölgeler örneğin doğal afet alanları, dağlık alanlar, volkanik alanlar, taşkın ovaları, deprem alanları, çöl alanları ve kaza bölgeleridir. İHA kullanmanın temel avantajlarından biri, pilotların fizyolojik sınırlamaları ve ekonomik giderleri ile yüklenmemeleridir. Ek olarak görüntü, video ve yönlendirme verilerini gerçek zamanlı olarak yer kontrol istasyonuna iletirken hızlı veri toplama yeteneğidir (Eisenbeiss, 2009).

Piyasadaki ticari olmayan İHA sistemlerinde amaç düşük maliyet oluşturmaktır. İnsanlı hava araçlarına göre düşük maliyetli olan İHA'lar daha fazla tercih edilmektedir. (Eisenbeiss, 2009).

Döner kanatlı İHA'lara bakıldığında platform, mevcut bir pist ihtiyacını ortadan kaldırarak dikey kalkış ve inişe izin verir. Ayrıca, dikey kalkış ve iniş sistemlerinin kullanılması, kamera yatay yönde dönerken, havada asılı bir noktada görüntü alınmasına izin verir (Eisenbeiss, 2009).

İHA fotogrametrisinin sağladığı avantajlar;

- Mevsim şartlarının zorluklarından düşük seviyede etkilenmesi,
- Ulaşımı zor bölgelere ulaşım sağlaması,
- Kolay operasyon imkânı sunması,
- Maliyetlerdeki ekonomiklik,
- Konum doğruluğun üst düzeyde olması,
- Verilerin kolay ve hızlı işlenmesi,
- Ölçeklenebilirlik

Şeklinde sıralanabilir. Bu avantajların yanı sıra bazı kısıtlamaları da beraberinde getirmektedir. Bu kısıtlamalar ise;

- Rüzgârın hızın fazla olması,
- Yoğun toz bulutları,
- Yağmurlu ve puslu havalar,
- Belirli yükselme limitine sahip olması,
- Manyetik, sıcaklık vb. batarya ömrünü etkileyecek faktörler

Şeklinde sıralanabilir (Kapıcıoğlu, 2019).

2.8 İHA Kullanım Alanları

İHA'ların ilk olarak askeri alandaki ihtiyaçlardan dolayı kullanılmaya başlamasına rağmen günümüzde sivil alanda da yaygın şekilde kullanılmaktadır. Sivil alandaki İHA'ların günümüzde sosyal alanlarda kullanılmasının yanı sıra eğlence amaçlı kullanımı da yaygınlaşmaktadır (Korkmaz vd., 2016).

İHA'lar, savunma sanayisinde, sınır güvenliğinde, afet, izleme vd. uygulamaların yanında emlak, haritacılık, planlama, ölçme, tarım, maden, heyelan, orman vd. alanlardaki faaliyetlerde de doğrudan ya da ikincil veri kaynağı olarak kullanılmaktadır (Torun, 2017).



Şekil 2.10Yüksek İrtifa Uzun Dayanıklı İnsansız Hava Aracı (Topal vd., 2021)

Tarım alanında İHA'ların kullanımı da yaygınlaşmaktadır. Yetiştirilen ürünlerin gözlenmesi, zararlı bitki ve canlılarla mücadelede tarım alanlarının ilaçlanması gibi tarımsal faaliyetlerde İHA'lar kullanılmaktadır. İHA'ların bazı ülkelerde kargo taşımacılığı ve paket servisinde kullanılmasına rağmen ülkemizde henüz etkin olarak lojistik alanda kullanılmamaktadır (Çallı, 2021).



Şekil 2.11 Zirai ilaçlamada kullanılan İHA'lar (http://www.dronetr.net)



Şekil 2.12 Kargo taşıma amaçlı üretilen İHA (Demirbaş vd., 2021)

İnsansız hava araçları teknolojisinin gelişmesiyle birlikte yeni kullanım alanları da ortaya çıkmıştır. Bu gelişmeler sonucunda orman yangınlarını tespit etme, ağır hava koşullarını tahmin etme ve petrol kaçaklarını izleme gibi yeni alanlarda İHA kullanılmaya başlanmıştır (Baştürk, 2015).

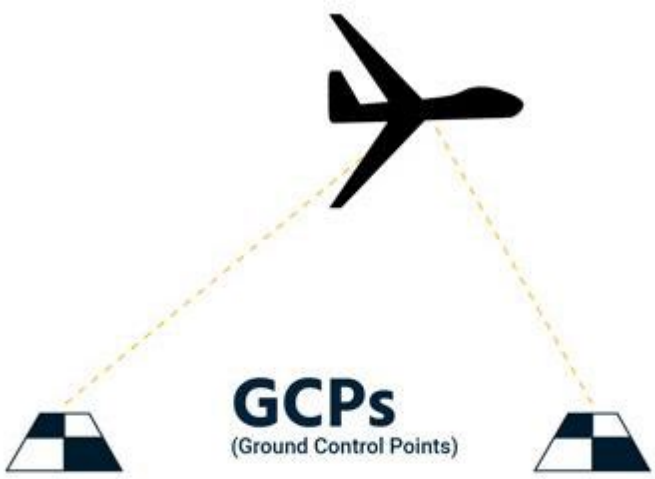
2.9 İHA Fotogrametrisindeki Gelişmeler ve Veri Toplama Yöntemleri

Teorik olarak bakıldığında, havadan haritalamanın İHA'lar ile yapılmasıyla gerçek uçaklarla yapılması arasında pek fazla fark bulunmamaktadır. İHA'nın taşıdığı yüksek çözünürlüklü kameradan belirli bir yatay ve düşey bindirme oranı ile üst üste çekilen fotoğraflar gelişmiş SfM (Structure from Motion) algoritmalarını kullanan yazılımlarla 3 boyutlu nokta bulutuna dönüştürülür. Bu nokta bulutu kullanılarak haritalama yapılan alana ait orto-görüntü, sayısal yükseklik modeli ve 3 boyutlu nokta bulutu gibi fotogrametrik ürünler elde edilmektedir (Boy ve Saraloğlu, 2016).

Günümüzdeki teknolojik gelişmelere bağlı olarak, İHA'larda kontrol ünitesinin yerine akıllı telefon/tabletlerin kullanılması, uçuş operasyonununda GNSS (Global Navigation Satellite System) modülleri, wi-fi alıcıları, MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) INS (Inertial Navigation System) sensörlerinin kullanılması ve görünür bant, multi-spektral, termal, hiper-spektral, lazer vd. algılayıcılara erişimin düşük maliyetlerle olmasıyla birlikte İHA üretim maliyetleri aşağı çekilmiştir. GNSS (Global Navigation Satellite System) teknolojisindeki minimalize donanım çözümleri sayesinde, PPK (Post Processed Kinematic) yönteminde gerçekleştirilen konumlandırma daha doğru yapılabilmektedir (Colomina ve Molina, 2014).

2.9.1 YKN Kullanılarak Fotogrametrik Veri Toplama

Yer kontrol noktaları temel olarak, uçulacak arazideki hava fotoğraflarından görülebilecek şekilde yerde bulunan işaretlerdir. Bu işaretler uçuştan önce hazırlanır ve hepsinin gerçek koordinatları hassas GNSS alıcıları ile ölçülerek kaydedilir. İHA'lar otonom hareketlerinin çoğunu üzerlerindeki GNSS alıcılarından elde edilen verileri kullanarak gerçekleştirirler. Ancak düşük maliyetli İHA'larda kullanılan alıcıların hassasiyeti 2-5 m aralığındadır. İşlemin en başından itibaren yeterli doğruluk ve hassasiyetle çekilemeyen fotoğrafların işlenmesi sonucunda elde edilen ürünün hassasiyet ve doğruluk seviyesinin istenilen değerlerin altında olması kaçınılmazdır. Burada YKN'ler devreye girer. Kesin koordinatları daha önce manuel olarak ölçülen ve fotoğraflarda görünen bu referans noktaları kullanılarak SfM yazılımları ile tüm haritanın bu bilinen referans noktalarına göre yatay ve dikey olarak düzeltilmesi sağlanır. Böylece istenilen hassasiyete ulaşılmış olunur. Bu yöntem ile konum doğruluğu yüksek fotogrametrik ürünler elde edilebilir. (Boy ve Saraloğlu, 2016)



Şekil 2.13YKN'li yöntemle veri toplama (https://asauas.com)

2.9.2 RTK Yöntemiyle Fotogrametrik Veri Toplama

RTK yöntemi, uydu tabanlı konum belirleme sistemleri yardımıyla elde edilen konum verilerinin hassasiyetini artırmak için kullanılan bir tekniktir. Basitçe açıklamak gerekirse, yerdeki sabit olarak adlandırılan hassas bir GNSS alıcısı ile İHA üzerinde

bulunan başka bir alıcı arasında iletişim hattı kurulur ve sabit üzerinden veri düzeltmesinin hassas ve doğru koordinatlar ile alıcı üzerindeki koordinatlar düzeltilir. Yeterli konumlama doğruluğu sağlamak için genellikle L1 ve L2 bantlarında çalışan uydular birlikte kullanılmaktadır. RTK yöntemi ile cm hassasiyetle coğrafi referanslar yapılabilmekte ve çekilen fotoğraflar İHA havadayken eş zamanlı olarak koordinat verileri ile işaretlenebilmektedir. İki alıcı arasındaki radyo iletişimi, arazi koşulları, İHA'nın konumu, aralarındaki mesafe, diğer sinyallerden etkilenme gibi nedenlerle uçuş sırasında kesilebilir ve bu nedenle elde edilen verilerin güvenilirliği azalır (Boy ve Saraloğlu, 2016).



Şekil 2.14RTK yöntemiyle veri toplama (https://asauas.com)

2.9.3 PPK Yöntemiyle Fotogrametrik Veri Toplama

PPK yönteminde İHA üzerinde konumlanan hassas GNSS alıcısından elde edilen veriler, daha sonra işlenmek üzere belirli aralıklarla İHA üzerine kaydedilir. Yerde kurulacak sabit bir istasyonda da aynı zaman aralığındaki GNSS verileri kaydedilir.

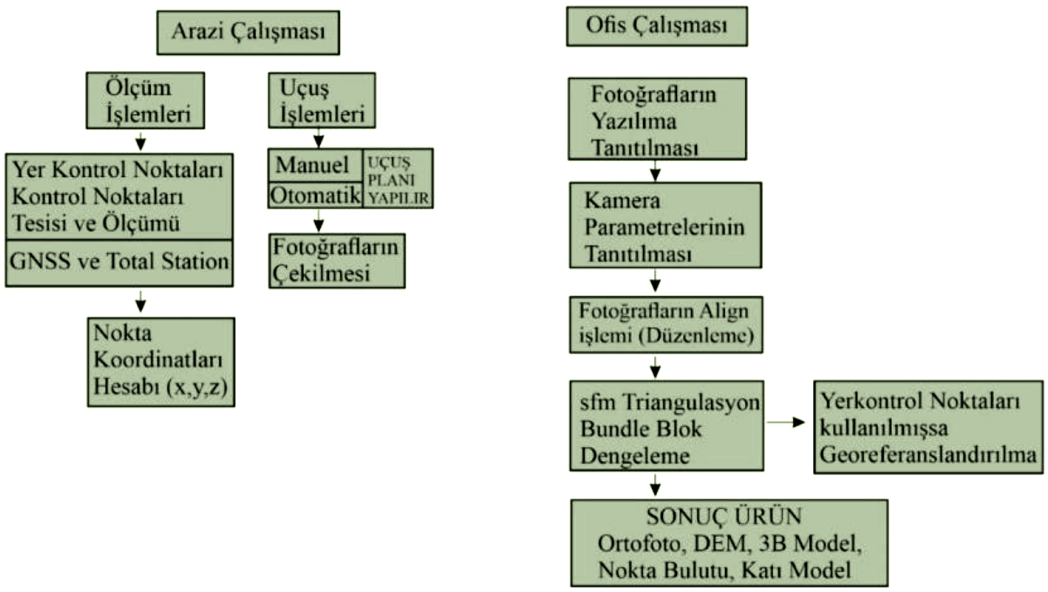
Veya alternatif olarak en yakın CORS (Cross-Origin Resource Sharing) istasyonundan geriye dönük olarak elde edilebilecek veriler kullanılabilir. Uçuş sonunda İHA'dan ve sabitten alınan veriler özel yazılımlarda işlenmekte ve İHA üzerindeki koordinatlar sabit referansa göre düzeltilmektedir. İşlem sonucunda çekilen tüm fotoğraflarda cm seviyesinde konumlandırma bilgisi bulunmakta olup bu fotoğraflar kullanılarak hazırlanan ürünlerin güvenilirliği yüksektir (Boy ve Saraloğlu, 2016).



Şekil 2.15PPK yöntemiyle veri toplama (https://asauas.com)

2.10 İHA Fotogrametrisinde İş Akışı

Genel olarak İHA fotogrametrisi iki bölümden oluşmaktadır. Bunlar arazi çalışması ve ofis çalışmasıdır. İHA fotogrametrisinin genel iş akışı Şekil 2.16'da gösterilmektedir. (Ulvi, 2021).



Şekil 2.16İHA fotogrametrisi genel iş akış şeması (Ulvi. 2021)

2.10.1 Yer Kontrol Noktası Tesisi ve Ölçümü

İnsansız hava araçları ile haritalama yapmak için YKN tesisi yapılmalıdır. YKN tasarımını çalışma sahası geometrisine bağlı olarak planlamak ve sahaya uygulamak gerekir. Haritalama yapılacak alan için ilgili mevzuat bulunuyorsa buna uygun formatta ve tasarım ölçütlerinde YKN tesisi yapılmalıdır. Çalışma sahasına tesis edilen YKN'ler için istenilen hassasiyet doğrultusunda ölçüm tekniği belirlenmeli ve YKN'lerin ölçümleri yapılmalıdır. YKN'ler fotogrametrik değerlendirme aşamasında oluşan modelin koordinatlarını jeodezik koordinatlarına dönüştürmek amacıyla mutlak yöneltme elemanlarının belirlenmesi için kullanılır (Kara, 2018).

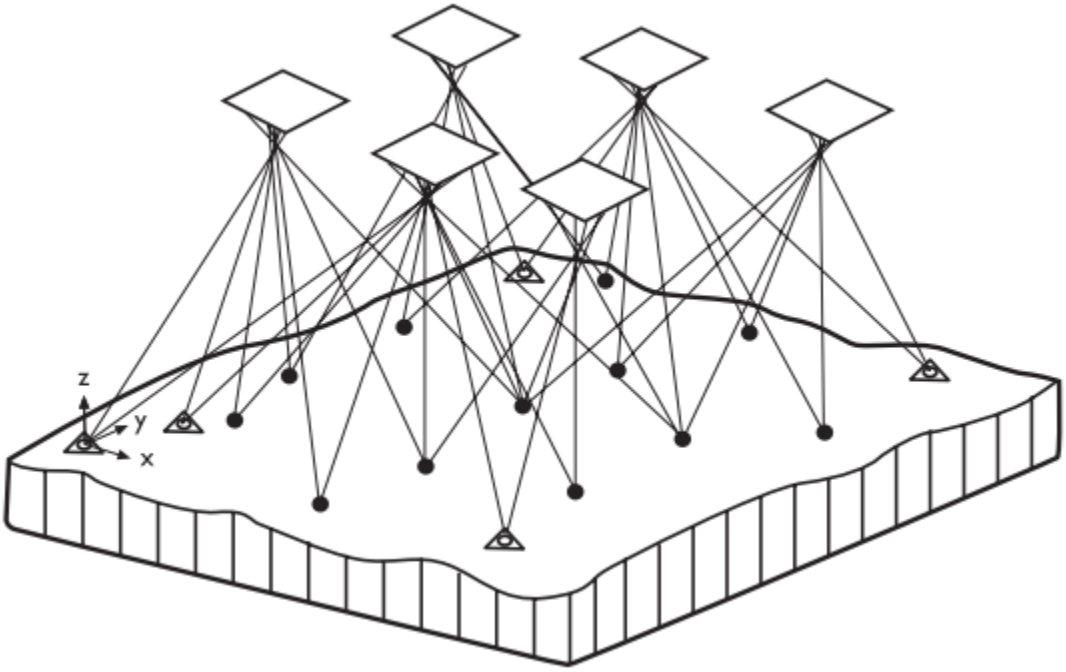
2.10.2 Uçuş Planı Hazırlanması

İHA fotogrametrisiyle harita üretirken uçuş planı hazırlanmalıdır. Bu hususta yapılacak olan çalışmada ihtiyaç duyulan gereksinimler doğrultusunda, kalkış-iniş noktalarının, uçuş hızının, uçuş yüksekliğinin ve uçuş doğrultularının İHA otopilotuna tanımlanması için bir uçuş planlama yazılımı kullanılmalıdır. Uçuş planlaması hazırlığında istenilen amaca yönelik bindirme oranlarında, uçuş rotasında ve kamera açılarında değişiklikler olmalıdır. Eğimi çok olmayan bir çalışma sahasında kamera açısı yere dik olacak şekilde ayarlanabilir ve bindirme oranları düşürülebilir. Yüksek eğimli ve eğimin sık değiştiği bölgelerde bindirme oranları ve kamera açıları buna bağlı olarak ayarlanmalıdır. Sayısal yükseklik modelinin doğruluğunu artırmak için bindirme

oranları ve uçuş doğrultusunun belirlenmesi bu açıdan önemlidir. İHA ile fotogrametrik haritalamada kullanılan yazılımların algoritmalarına bağlı olarak yapılan işlemlerde enine bindirme oranının %80, boyuna bindirme oranının ise %60 olması gerektiğini yapılan literatür çalışmaları göstermiştir (Kara, 2018; Bemis vd., 2014).

2.10.3 Hava Fotoğraflarının İşlenmesi

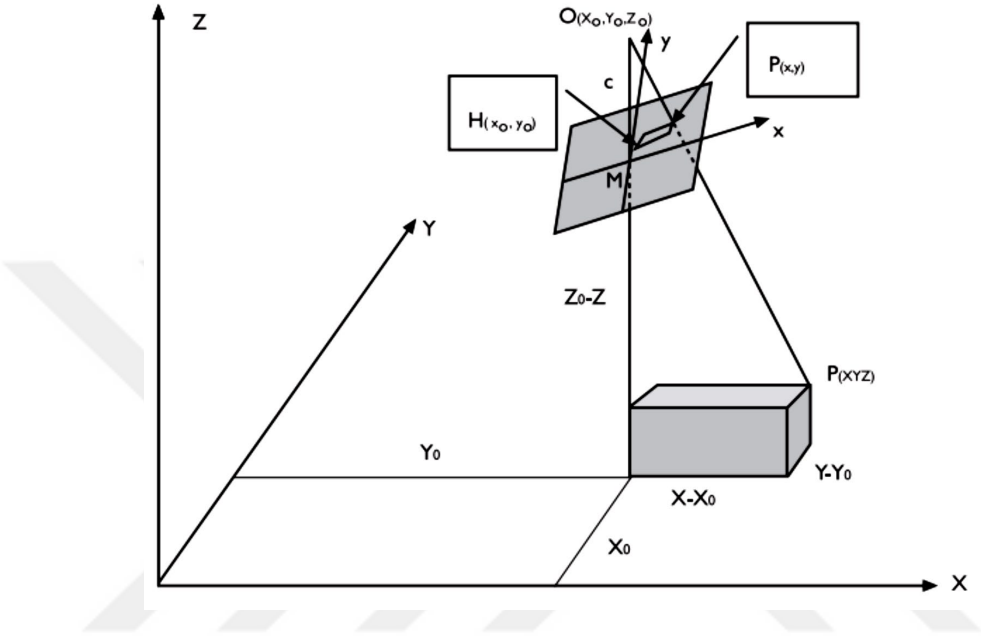
İHA fotogrametrisinde stereo değerlendirme yapabilmek için kontrol noktalarına ihtiyaç duyulur. Jeodezik yöntemlerle elde edilen kontrol noktalarının bir bölümü fotogrametrik olarak oluşturulabilir. Fotogrametrik yöntemlerle oluşturulan kontrol noktalarına fotogrametrik nirengi denir. Stereo modellerin ayrı ayrı mutlak olarak yöneltilmesi yerine hepsinin aynı anda mutlak olarak yöneltilmesi fotogrametrik nirengi olarak düşünülebilir. Bu sayede yer kontrol noktaları ve ortak noktalar kullanılarak tüm fotoğrafların karşılıklı ve mutlak yöneltme elemanları aynı anda bulunur. Fotogrametrik triyangülasyon, sayısal fotogrametrideki dış yöneltme işlemini ifade eden çalışmadır. Fotogrametrik triyangülasyonda uzaysal blok dengelemesi ve ışın desteleri yöntemi gibi çözüm yöntemleri kullanılır (Ergün, 2018).



Şekil 2.17 Hava triyangülasyonu (Ergün, 2018)

Fotoğraf izdüşüm merkezleri ve fotoğraf koordinatları uzaysal ışın destesini tanımlar. Bütün fotoğraflarda kullanılan kontrol noktaları ve bağlantı noktalarından geçen ışınlar

fotoğraf merkezinde bir ışın destesi oluşturur. Işın destesi yönteminde model koordinatlarına ihtiyaç duyulmadan çözüm yapılır. Fotoğrafların tamamı için bütün ışın destelerinin dış yöneltme elemanları eş zamanlı hesaplanır. Bu hesaplama için bağlantı noktalarının fotoğraf koordinatları, kontrol noktalarının jeodezik koordinatları ve fotoğraf koordinatları gerekir (Yaşalan vd., 2018; Ergün, 2018).



Şekil 2.18 Doğrudaşlık koşulu (Yaşalan vd., 2018)

Işın desteleri yönteminde:

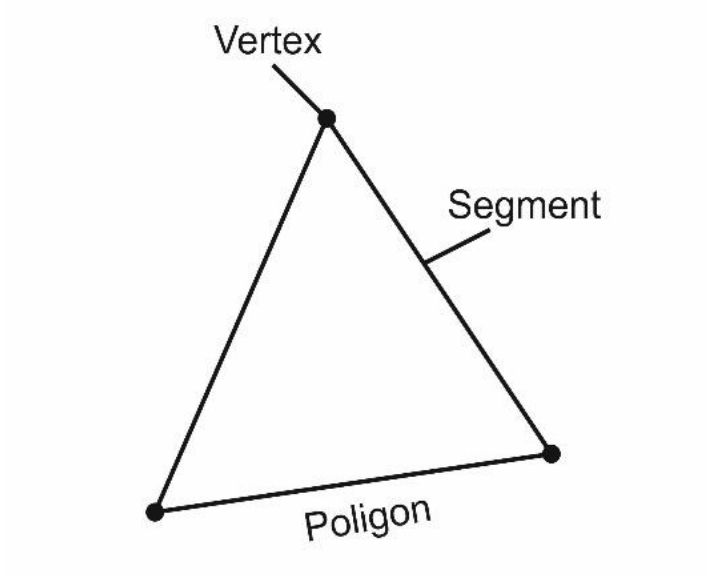
- "Fotoğraf noktası P', izdüşüm merkezi O ve arazi noktası P aynı izdüşüm ışın üzerinde olmalıdır."
- "Aynı noktaya ait çeşitli izdüşüm ışınları arazide aynı noktada kesişmelidir."
- "Yer kontrol noktalarının koordinatları verilen değere eşit olmalıdır."

Yukarıda belirtilen geometrik şartlar sağlanmalıdır (Yaşalan vd., 2018).

2.11. Üç Boyutlu Modelleme

Dijital platformlardaki gelişim sanat çalışmalarını da etkilemiştir. Fotoğraf ve videonun kaliteli görüntüler ile çekilmesi ve dijital ortamlara aktarılması bu gelişimlerin eseridir. Wands'a (2006) bu durumu çekilen sanat eserlerinin dijital ortamlarda saklanması ve burada koleksiyon oluşturması olarak ifade etmektedir. Sıfırlanan bu görüntüler ise yeni koleksiyonda farklı kombinasyonlar oluşturulmasına imkân vermektedir. Bu bağlamda her bir kombinasyon bize örnek olarak farklı bir renk noktasını (piksel) sunmaktadır

Wands'a (2006, s. 10) Lopes'e (2010) de pikselden elde edilen görüntülerin sanat üzerinde son yirmi yılda oldukça etkili olduğunu belirtmektedir. Dijital fotoğrafçılık aynı zamanda dijital filmciliğe dönüşmüştür. Teknolojinin etkisi sanat üzerinde de görülmektedir. Tuğal (2018) ise her ne kadar sanat dijital kombinasyonlardan oluşmakta ise de sanatçının kendi düşünceleri doğrultusunda şekillenmektedir. Dijital dünya da piksel üzerinden oluşturulan çalışmalar dijital sanat diye adlandırılan yeni bir sanat dalını ortaya çıkarmıştır. Piksek artık yerini yüksek çözünürlüklü görsellere bırakmışlardır (Tuğal, 2018). Ligon (2010) dijital sanatların en büyük avantajını farklı kaynaklardan elde edilen görüntülerin birbirine dikiş izi bırakmadan bağlanması olarak ifade etmektedir. Fotoğraf ve video gibi çalışmaların kodlanmış görüntüleri rahatça dijital ortama aktarılabilir ve bu görseller yağlıboya veya akrilik gibi çalışmaların görselleri ile zahmetsizce birleştirilip ortaya farklı şekillerde çalışmalar çıkarılabilmektedir (Ligon, 2010) Poligonlardan olmadan göselleri elde etmek mümkün değildir. Poligon vertexlerden oluşmuş basit şekillerdir. Vertex kısaca dijital ortamda bulunan basit birer noktadır. Elliott ve Miller, (1997) Vertex'lerin (Bağlantı noktaları) iki amaca hizmet ettiğini ve birçok çizim ve modelleme programında olduğu gibi segment'lerin (Çizgi) başlangıç ve bitiş noktalarını belirlediğini açıklamıştır. Bu iki noktanın birleşimi bize segment'i, ikiden fazla segmentin birleşimi ise bize poligonu vermektedir (Bkz. Şekil 2.19).



Şekil 2.19 Vertex, segment ve poligon (http://what-when-how.com/wp-content/uploads/2012/06/tmp49c617_thumb.png Erişim Tarihi:24.12.2017)

Dijital ortamda bulunan basit vektörel şekillere poligon denilmektedir. Bu basit şekiller dijital ortamda birleştirilerek üç boyutlu modeli oluşturmaktadır. Üç boyutlu modeller aslında poligon olarak yeniden hesaplanarak tasarlanmış, nesnenin geometriksel bir temsilidir. Poligonlar olmadan sanal âlemde şekilleri oluşturulamaz. Poligonlar matematikte nokta dizisi olarak tanımlanmaktadır. Poligonlar daha yüksek boyutlardaki boşluklarda da bulunmaktadır. Nokta dizisi zihinsel bir durumdur. Sanatsal ve estetik açıdan nesnelerin görüntüsü oldukça basittir. (Nake, 2012).

Sanal ortamda nesnenin temsilini şekillendirmek için çok sayıda yöntem kullanılmaktadır. İlk akla gelen yöntemler arasında nesnenin görüntüleri üzerinden çalışmaktır. Maestri (1999) göre üç boyutlu bir karakter tasarlamanın kolay yolu onu yandan ve önden görümünü oluşturmaktır. Bu durum üç boyutlu karakterin birden fazla bakış açısı ile çizilmesini de sağlamaktadır. Bu yöntemde çalışılacak olan objenin önden ve yandan çekilen görüntüleri programa aktarılır ve model görsele bağlı kalınarak poligonlar yardımı ile yeniden modellenir. Bir diğer çalışma yöntemi de herhangi bir görsele bağlı kalmadan serbest bir şekilde çalışmaktır. Ancak istenilen çalışmanın doğru ölçülerde olması için belirli bir plan üzerinden çalışmak genellikle daha doğrudur (Nake, 2012).

2.11.1. Geçmişten günümüze sanat olarak üç boyutlu modelleme

Sanatçılar için ilk çıktığında bir alan oluşturan üç boyutlu modellemenin bilgisayar üzerinde çıkışı Ivan Sutherland tarafından oluşturulan Sketchpad çalışmasıdır. CAD yazılımlarının atası olarak kabul edilen "SketchPad" Ivan Sutherland MTI için 19602lı yıllarda doktora tezi olarak hazırlanmıştır. CAD yazılım olarak yapılan SketchPad gelecekte çığı açan bir yazılım olarak gösterilmektedir. Kullanıcı bu yazılım da ışık kalemi ile monitöre çizim yapabiliyordu (Meşeli, 2014) (Bkz. Şekil 2.20).

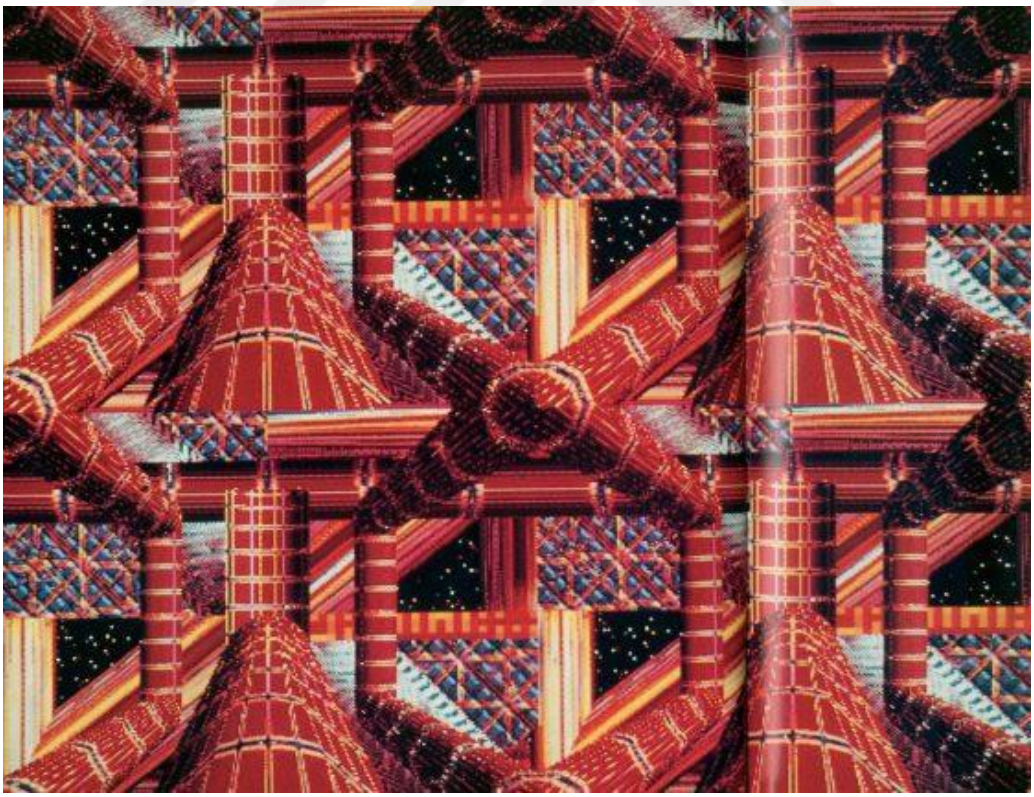


Şekil 2.20 Ivan Sutherland Sketchpad'i kullanırken (https://www.scan2cad.com/cad/cad-evolved-since-1982/ Erişim tarihi: 08.08.2023)

Kullanılan ışık kalemi siyah monitöre beyaz geometrik çizimler yapılmasına imkan sağlıyordu. CAD (Computer Aided Design) programların çıkış noktası, atası olarak kabul edilen bu cihaz ekrana çizilen objenin dört açıdan da görünmesine imkân sağlamaktaydı. Kullanılan üç boyutlu modellemede görülmesine imkân veren ön, üst, ya ve perspenktif görümlerinin ilk halidir. Üç boyutlu modelleme Lansdown'a (1997) göre bilgisayarda bulunan algoritmalar tarafından üretildiğinden dolayı sanat olarak değerlendirilmemektedir. Üç boyutlu modelleme de nesneleri görselleştirmek Ken Knowlton'un 1964'te yazmış olduğu yazılım ile gerçekleştirilmektedir. Bell Laboratuarlarında araştırmacıları arasında bulunan Ken Knowlton, 1962-1982 yılları arasında animasyon geliştirilmesinde çalışmıştır. Knowlton 1964'te BEFLIX programlama dilini geliştirerek görüntülerin canlandırılması ve görselleştirilmesini sağlayan ilk programı da yazmış oldu. Knowlton çalıştığı süre zarfında matematikçiler, görsel sanatçılar ve faklı branşlarda bilim adamlarının görüşlerini alarak filmler oluşturmuştur. Knowlton, 1968'de "Mekanik Çağın Sonunda Görülen Sanat" adlı yeni ufuklar açan sergisiyle birlikte Modern Sanatlar Müzesi'nde bilgisayar filmleri izletisi sundu (Oleksik, 2018).

1960’lı yıllarda yaşanan bu gelişmelerden sonra üç boyutlu modelleme de gelişmeler programcılığın gelişmesiyle devam etmiştir. Cohn (2010), ilk sayısallaştırıcı sistem (Auto-trol) ve interaktif grafik üretim sistemi olan DAC-1’in bu süre içerisinde üretildiğini belirtmiştir. 1970’lere doğru yeni CAD programlarını ticarileştirmek için bir dizi şirket kurulmuştur. Cohn (2010) aynı yıl Ken Versprille’in NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) sistemini doktora tezi olarak sunduğunu ve tezin, modern üç boyut eğrisinin ve yüzey modellemesinin temelini oluşturduğunu belirtmiştir (Cohn, 2010)

Üç boyutlu modelleme fiyatları 1970’li yıllarda oldukça pahalı olduğundan yalnızca büyük firmalar tarafından kullanılmaktaydı. Sanat çalışmaları için üç boyutlu modellemenin 19702li yılların sonuna doğru kullanıldığı görülmektedir. David Em dünya’ da üç boyutlu görüntüler üzerine tanınan ilk sanatçıdır. Em, 1975'te Los Angeles'taki Jet Propulsion Laboratories’de (JPL) bir sanatçı olarak çalışmaya başlamış ve JPL tarafından kodu çözülen ve yayınlanan Mars probu Viking'ten gönderilen görüntülerden esinlenerek ilk fotoğraflarını oluşturmuştur. Başlangıçta elde etmiş olduğu bu görüntüler anlaşılması oldukça zor ve istenen etkide olmamıştır (Lieser, 2009, s. 88) göre (Bkz. Şekil2.21).



Şekil 2.21Öncü bilgisayar grafik sanatçısı David Em tarafından oluşturulan bir çalışma (http://gfxspeak.com/2017/07/24/keynote-siggraph-pioneers/ Erişim Tarihi:04.04.2018)

Üç boyutlu modellemenin fazlaca tanındığı yıl 1980'li yıllardır. IBM kişisel kullanım için bilgisayar üretmeye başladıktan sonra CAD programları daha fazla kullanılmaya başlamıştır. Bu yıllarda UNIX iş istasyonlarının ortaya çıkmasıyla CATIA ve diğer programlar gibi ticari CAD sistemleri havacılık, otomotiv ve diğer sektörlerde ortaya çıkmaya başladı. Ancak 1981'de CAD'in geniş çapta kullanılması IBM PC'lerin piyasa çıkmasıyla olmuşrue. Ertesi yıl bir grup programcı Autodesk'i kurdu ve 1983'te IBM PC için ilk önemli CAD programı olan AutoCAD'i piyasaya sürdü (Cohn, 2010). Artık daha fazla kullanılan üç boyutlu modelleme programları ile IBM tarafından üretilen kişisel bilgisayarlarda CAD programlarının ihtiyacı olan sayısal hesaplamaları yapabilecek kapasiteye gelmiştir. İlk başlarda özellikle de en çok film endüstrisinin dikkatini çekmiştir. Lieser'a (2009, s. 96) göre 1982'de sinema ekranı için ilk büyük bilgisayar animasyonu "Tron" filmi için gerçekleştirilmiş ancak gerçek anlamda atılım tamamen bilgisayar tarafından üretilen "Oyuncak Hikâyesi" (1996) filmiyle gelmiştir. Üç boyutlu modelleme sadece film sektöründe değil aynı zamanda oyun sektöründe de kullanılmaya başlamıştır. 1980'li yıllarda piksel tabanlı oyunlar yavaş yavaş üç boyutlu oyunlara dönüştürülmeye başlanmıştır. Barton (2006), 1981 yılında İngiliz yapımı Sinclair ZX81 oyun platformu ile ilk üç boyutlu oyun olan "Monster Maze"'in piyasaya sunulduğu belirtmiştir. (Cohn, 2010).



Şekil 2.22 Jeffrey Shaw'ın çalışması Altın Buzağı, 1995(https://www.jeffreyshawcompendium.com/portfolio/golden-calf/ / Erişim Tarihi:04.04.2018)

Teknolojideki gelişim milenyum çağı olarak adlandırılan 2000'li yıllarda artarak devam etmektedir. Artık görüntüler yüksek çözünürlüklü olarak oluşturulmaya başlamıştır. Başka film endüstri olmak üzere oyun ve çok sayıda sektörde üç boyutlu modellemeler kullanılmaktadır ve artarak kullanılmaya devam edecektir.

3. YÖNTEM

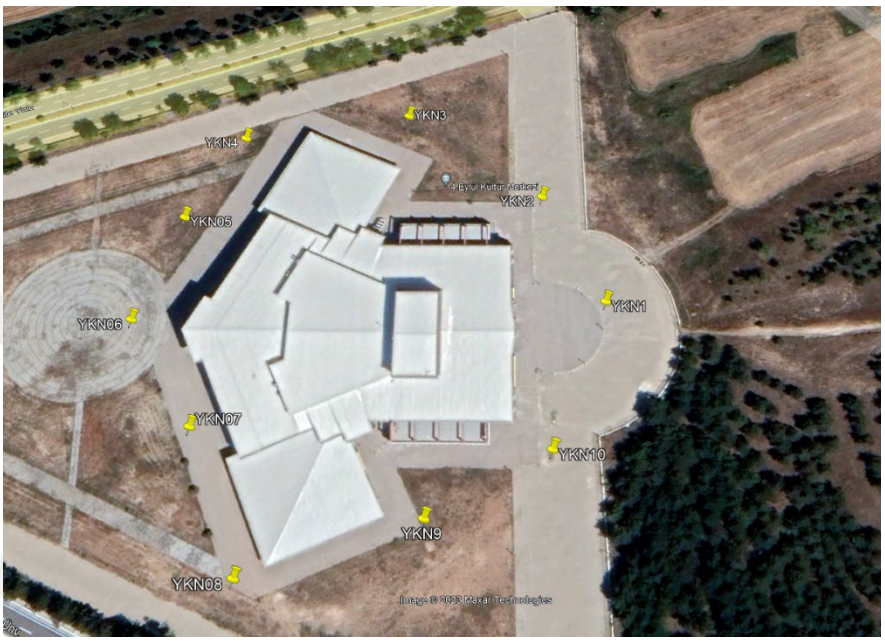
Çalışma kapsamında İHA uçuşu ve değerlendirme yöntemleri kullanılarak İHA fotogrametri yöntemi ile en yüksek doğruluğa sahip üç boyutlu (3B) bina modelleme yöntemi belirlenmeye çalışılmıştır. Tez kapsamında SCÜ 4 Eylül Kültür Merkezi İHA görüntüleri kullanılmıştır. Bu görüntüler binayı farklı kamera açılarıyla, farklı yüksekliklerde ve farklı metotlarla çekilmiş görüntülerdir. Bu çalışma için Cumhuriyet Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü'ne ait olan lazerli total station kullanılarak bina üzerinde köşe noktaları ölçülmüştür. Proje kapsamında GEOMINE Arge Yazılım firmasına ait İHA aracı ve GNSS donanımları kullanılmıştır. Modern fotogrametri yöntemleri kullanarak drone tabanlı haritalandırma ve görüntülerden ürün çıkarımı yapabilmeyi sağladığı için Pix4D yazılımı tercih edilmiştir. Lisansı GEOMINE Arge Yazılım firmasına ait olan Pix4D yazılımı kullanılarak elde edilen verilerle Pix4D yazılımının Mapper modülünde çalışılmıştır. Veriler Pix4D yazılımı kullanılarak işlenmiştir ve binanın her bir çekim yöntemi için nokta bulutları oluşturulmuştur. Ayrıca bir lazer metre ile binanın düşey ve yatay olarak farklı cephelerinden ölçümler yapılmıştır ardından üretilecek olan nokta bulutundan aynı yüzeyin uzunlukları karşılaştırılmıştır. Bunu yanı sıra bina üzerinde Total Station ile ölçülen detay noktaları Kontrol Noktası olarak kullanılmış ve fotogrametrik değerlendirme sonrasında bu noktalara ait RMS değerleri elde edilmiştir. Her yöntem için elde edilen RMS değerleri de karşılaştırılarak doğruluk analizleri gerçekleştirilmiştir. Uçuşlarda DJI Matrice 600 Pro marka hekzakopter, Ronin MX Gimbal ve Sony A7R marka kamera (36 Megapiksel, 35mm odak uzaklığı) kullanılmıştır. Kullanılan araçlara ait görsel Şekil 4.1' de görülmektedir.



Şekil 3.1Uçuşta Kullanılan Donanımlar

4. UYGULAMA

Çalışmada kullanılmak üzere kültür merkezi binasının çevresinde 10 adet YKN ölçülmüştür. Bu YKN'lerin binanın etrafında homojen olarak dağılmasına dikkat edilerek belirlenmiştir. YKN' lerin Google Earth ile elde edilen görüntüsü Şekil 4.1' de görülmektedir.



Şekil 4.1YKN Dağılımının Google Earth Görünümü

YKN noktalarının dağılımında binanın her açısını görebilmesi amaçlanarak 10 adet YKN ölçülmüş ve 9 adet YKN kullanılarak çalışma gerçekleştirilmiştir. YKN5 noktası ölçülüp yerde işaretlenmiştir fakat daha sonra bu noktanın üzerine arazi çalışmalarından dolayı toprak geldiğinden işaretlenen nokta kaybolmuştur bu sebepten dolayı bu nokta çalışmada kullanılamamıştır.

Bu noktaların koordinatları 3 saatlik Statik GPS ölçüsü ile elde edilerek noktaların yerleri uygulama sahasında işaretlenmiştir. Bu noktalara ait işaretleme görselleri aşağıdaki şekillerde görülmektedir.



Şekil 4.2YKN Belirleme



Şekil 4.3YKN 1 Noktası Görünümü



Şekil 4.4YKN 2 Noktası Görünümü



Şekil 4.5YKN 3 Noktası Görünümü



Şekil 4.6YKN 4 Noktası Görünümü



Şekil 4.7YKN 6 Noktası Görünümü



Şekil 4.8YKN 7 Noktası Görünümü



Şekil 4.9YKN 8 Noktası Görünümü



Şekil 4.10YKN 9 Noktası Görünümü



Şekil 4.11YKN 10 Noktası Görünümü

Her bir uçuşa ait fotogrametrik değerlendirme neticesinde YKN noktaları için elde edilen değerler Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2' de gösterilmektedir.

Çizelge 4. 1 Fotogrametrik Değerlendirme YKN Değerleri

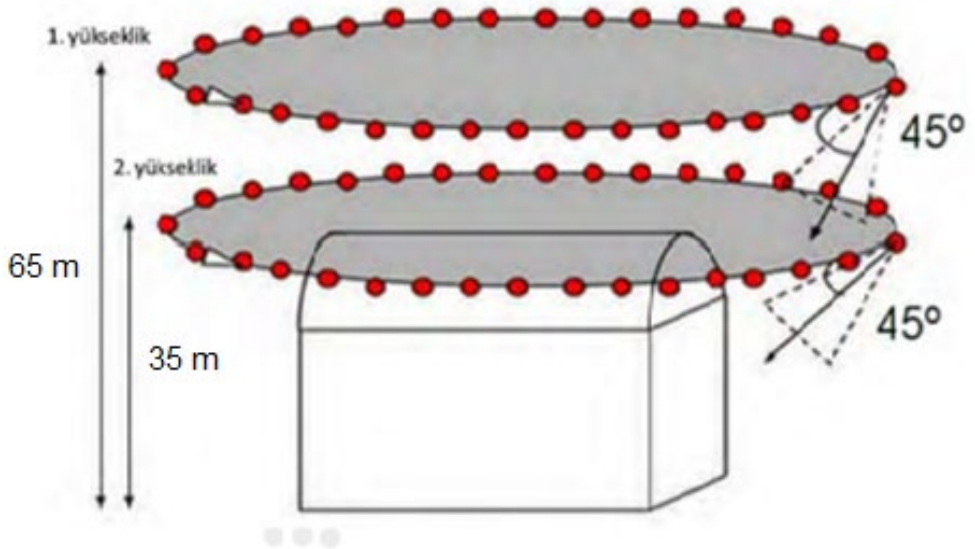
Yöntem	Fotoğraf Sayısı	GSD	YKN Sayısı		3D RMS (cm)
			Zemin	Bina	
D90-H60-G1	282	0,90 cm / 0.35 in	0	9	3,8
D90-H60-G2	282	0,90 cm/0.35 in	9	0	2,3
D90-H60-G3	282	0,90 cm / 0.35 in	9	6	3,5
D90-H60-G4	282	0,90 cm / 0.35 in	5	4	3,1
D45-H60-G1	254	1,82 cm / 0.71 in	0	9	4,6
D45-H60-G2	254	1,79 cm / 0.70 in	9	0	2,9
D45-H60-G3	254	1,80 cm / 0.71 in	9	6	4,1
D45-H60-G4	254	1,81 cm / 0.71 in	5	4	4,0
D45-H35_65_C1	167	1,15 cm / 0.45 in	0	9	3,7
D45-H35_65_C2	167	1,15 cm / 0.45 in	9	0	3,2
D45-H35_65_C3	167	1,15 cm / 0.45 in	9	6	3,3
D45-H35_65_C4	167	1,15 cm / 0.45 in	5	4	3,1
(D45-H60-G1) +(D45-H35_65_C1)	421	1,54 cm / 0.60 in	0	9	3,3
(D45-H60-G2) +(D45-H35_65_C2)	421	1,52 cm / 0.60 in	9	0	3,3
(D45-H60-G3) +(D45-H35_65_C3)	421	1,52 cm / 0.60 in	9	6	3,7
(D45-H60-G4) +(D45-H35_65_C4)	421	1,53 cm / 0.60 in	5	4	3,6
D45-H55_95_C1	207	1,61 cm / 0.64 in	0	9	3,6
D45-H55_95_C2	207	1,60 cm / 0.63 in	9	0	2,8
D45-H55_95_C3	207	1,60 cm / 0.63 in	9	6	3,6
D45-H55_95_C4	207	1,59 cm / 0.63 in	5	4	4,1
D35-H45_65-C1	164	1,54 cm / 0.61 in	0	9	4,1
D35-H45_65-C2	164	1,55 cm / 0.61 in	9	0	2,7
D35-H45_65-C3	164	1,56 cm / 0.61 in	9	6	3,4
D35-H45_65-C4	164	1,56 cm / 0.61 in	5	4	3,8
Tüm Görüntüler_1	1622	1,34 cm / 0.53 in	0	9	4,2
Tüm Görüntüler_2	1618	1,33 cm / 0.53 in	9	0	3,4
Tüm Görüntüler_3	1622	1,34 cm / 0.53 in	9	6	6,6
Tüm Görüntüler_4	1622	1,34 cm / 0.53 in	5	4	5,2

Çizelg 4.1' de gösterilen uçuş yöntemlerine bakılacak olursa D harfi kamera açılarını, H harfi uçuş yüksekliğini, G harfi grid uçuşu ve C harfi de circle uçuşu temsil etmektedir.1 numaralı yöntemler bina üzerinde 9 adet YKN seçimini, 2 numaralı yöntemler zeminde 9 adet YKN seçimini, 3 numaralı yöntemler 9 adet zeminde 6 adet bina üzerinde YKN seçimini 4 numaralı yöntemler ise 5 adet zeminde 4 adet bina

üzerinde YKN seçimini göstermektedir. Bu durumda D90-H60-G1 yöntemi 90 derecelik açıyla 60 metre yükseklikten grid yöntemi kullanılarak yapılan uçuş yöntemi şeklindedir. D45-H60-G1 yöntemi 45 derecelik açıyla 60 metre yükseklikten grid yöntemi kullanılarak yapılan uçuş yöntemi şeklindedir. D45-H35_65_C1 yöntemi 45 derecelik açıyla 35-65 metre arası yükseklikten circle yöntemi kullanılarak yapılan uçuş yöntemi şeklindedir. D45-H55_95_C1 yöntemi 45 derecelik açıyla 55-95 arası metre yükseklikten circle yöntemi kullanılarak yapılan uçuş yöntemi şeklindedir. D35-H45_65-C1 yöntemi 35 derecelik açıyla 45-65 metre arası yükseklikten circle yöntemi kullanılarak yapılan uçuş yöntemi şeklindedir.

4.1. Birinci Yönteme Ait Bulgular

Proje kapsamında bina üzerinde circle uçuş yöntemi ile görüntüler elde edilmiştir. Circle olarak gerçekleştirilen uçuş, kamera açısı 45 derece olarak ayarlanmış ve 35 metreden başlamış dönerek 65 metreye kadar çıkarak görüntüler elde edilmiştir. Bindirme oranı %80-%60 olarak belirlenmiştir. Bu yöntem uygulanarak toplam 167 görüntü elde edilmiştir.



Şekil 4.12 Cicle Uçuş Yöntemi

Sivas CÜ Kültür Merkezi binasının köşe noktalarının koordinatlarını hesaplamak için lazerli total station ile ölçüm yapılması amaçlanmıştır. Total station ile bina üzerinde

özellikle binanın köşe noktalarından ölçümler alınarak fotogrametrik uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak total station YKN1 noktasına kurulmuş ve GPS ile yapılan ölçümlerden elde edilen YKN1 noktasının koordinatları girilmiş ve bina üzerinde köşe noktalarının koordinatları elde edilmiştir. YKN1 noktasına kurulan total station ile kurulan bu noktadan binanın görünen noktalarının özellikle bina köşe noktaları olmak üzere ölçümler yapılmıştır. Daha sonra total station diğer YKN noktalarına kurularak bina köşe noktalarının koordinatları elde edilmiştir.

Binanın 9 YKN noktasından görünmeyen köşe noktaları için geriden kestirme yöntemi kullanılarak total station koordinatı bilinmeyen bir noktaya kurularak koordinatları bilinen iki noktadan koordinat bilgisi sağlanmış ve binanın tüm köşe noktalarının koordinat bilgisi elde edilmiştir.

Bir lazer metre ile bina üzerinden 10 adet yatay ve 10 adet dikey yüzeyi ölçülmüştür. Ölçülen bu yüzeyler üretilen nokta bulutundaki aynı yüzeyler ile ölçümleri karşılaştırılıp doğruluk analizi yapılması amaçlanmıştır.

Yapılan bu arazi çalışmalarının ardından elde edilen verilerle ofis ortamında dijital ortama aktarılarak işlemler yapılmıştır. Bu ham verileri kullanılabilir hale getirmek için gerekli prosesler yapılmıştır. Şekil 4.12 ‘de İHA fotogrametrisi ile veri üretimi iş akışı görülmektedir.



Şekil 4.13 İş Akışı

Modern fotogrametri yöntemleri kullanarak drone tabanlı haritalandırma ve görüntülerden ürün çıkarımı yapabilmeyi sağladığı için Pix4D yazılımı tercih edilmiştir. Lisansı GEOMINE Arge Yazılım firmasına ait olan Pix4D yazılımı kullanılarak elde edilen verilerle Pix4D yazılımının Mapper modülünde çalışılmıştır. Elde edilen görüntülerle 4 farklı proses yapılarak nokta bulutları üretilmiş ve sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu 4 farklı process YKN seçimlerinin bina üzerinde ve zeminde farklı sayılarda kullanılarak yapılmıştır. İlk olarak YKN seçimi zeminde 9 adet kullanılıp bina üzerinden hiç YKN alınmayarak 22 kontrol noktası kullanılmıştır. İkinci

olarak bina üzerinden 9 adet YKN seçilmiş zeminden hiç YKN seçilmeden aynı 22 kontrol noktası ile uygulanmıştır. Üçüncü olarak zeminden 9 adet bina üzeirnden 6 adet YKN seçilerek 22 kontrol noktası kullanılmıştır ve son olarak 5 adet zeminden 4 adet bina üzerinden YKN kullanılarak 22 adet kontrol noktası ile uygulanmıştır. Bu 4 farklı uygulamada total station ile bina üzerinden koordinatlandırılan noktalardan 22 tanesi kontrol noktası olarak seçilmiş ve 4 uygulama için de aynı noktalar kontrol noktası olarak tanımlanmıştır.

0 out of 22 check points have been labeled as inaccurate.

Check Point Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
103		0.0126	-0.0685	0.0728	1.2509	12 / 12
113		-0.0441	-0.0858	0.0587	1.2207	11 / 11
206		0.0419	0.0466	-0.0361	1.0497	12 / 12
213		0.0222	0.0315	-0.0381	0.8475	10 / 10
405		0.0094	0.0156	0.0017	1.1935	11 / 11
408		-0.0094	0.0061	0.0027	0.8262	11 / 11
429		-0.0120	0.0124	-0.0023	1.6612	14 / 14
706		0.0136	-0.0156	0.0147	0.7982	11 / 11
707		0.0161	-0.0761	0.0146	1.3338	10 / 10
712		0.0177	0.0167	0.0027	0.7941	11 / 11
911		0.0462	-0.0153	0.0260	1.3566	17 / 17
916		0.0563	0.0188	0.0279	1.0645	9 / 9
1016		0.0005	-0.0064	-0.0042	1.1735	12 / 12
404		-0.0344	-0.0419	-0.0134	1.0504	11 / 11
313		-0.0259	0.0048	-0.0185	0.7508	10 / 10
307		0.0470	-0.0551	0.0088	1.1974	10 / 10
308		0.0200	-0.0576	0.0264	0.9797	9 / 9
114		0.0186	-0.0657	0.0470	1.0119	10 / 10
218		-0.0090	-0.0271	0.0181	0.9168	10 / 10
219		0.0005	-0.0292	0.0059	0.7861	12 / 12
105		0.0126	-0.0409	0.0367	1.4343	10 / 10
127		-0.0604	-0.0712	0.0716	0.8602	13 / 13
Mean [m]		0.006365	-0.022898	0.014703		
Sigma [m]		0.029038	0.038042	0.029394		
RMS Error [m]		0.029727	0.044402	0.032866		

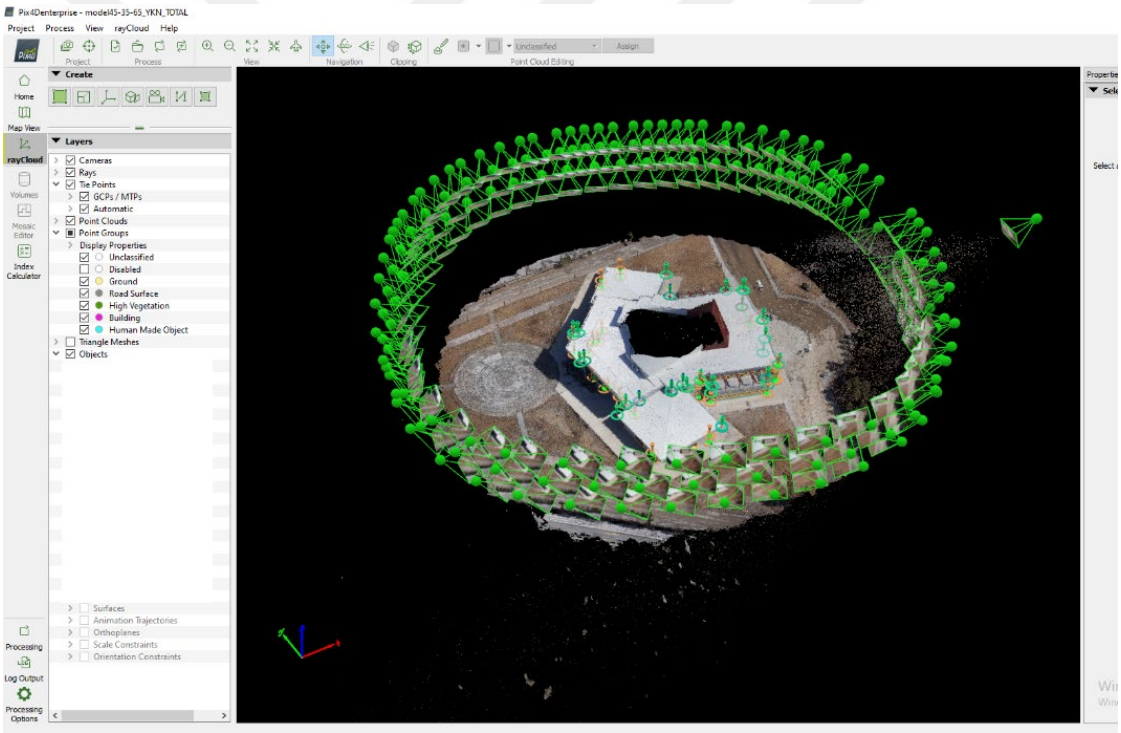
Şekil 4.1422 AdetCheck Point Noktası Bilgileri

Yer kontrol noktalarında farklı noktalar seçilerek yüksek doğruluğu veren modelin yorumlanması amaçlanmıştır. İlk uygulama için; elde edilen görüntüler Pix4D yazılımına aktarılır ve YKN seçimi olarak 9 adet bina üzerinden nokta belirlenir, kontrol noktası olarak 22 adet bina üzerinden noktalar seçilir ve bu şekilde proses yapılarak nokta bulutu üretilir. Belirlenen YKN' lere ait nokta bulutu verileri ve görüntüleri Şekil 4.15 ve Şekil 4.16' da görülmektedir.

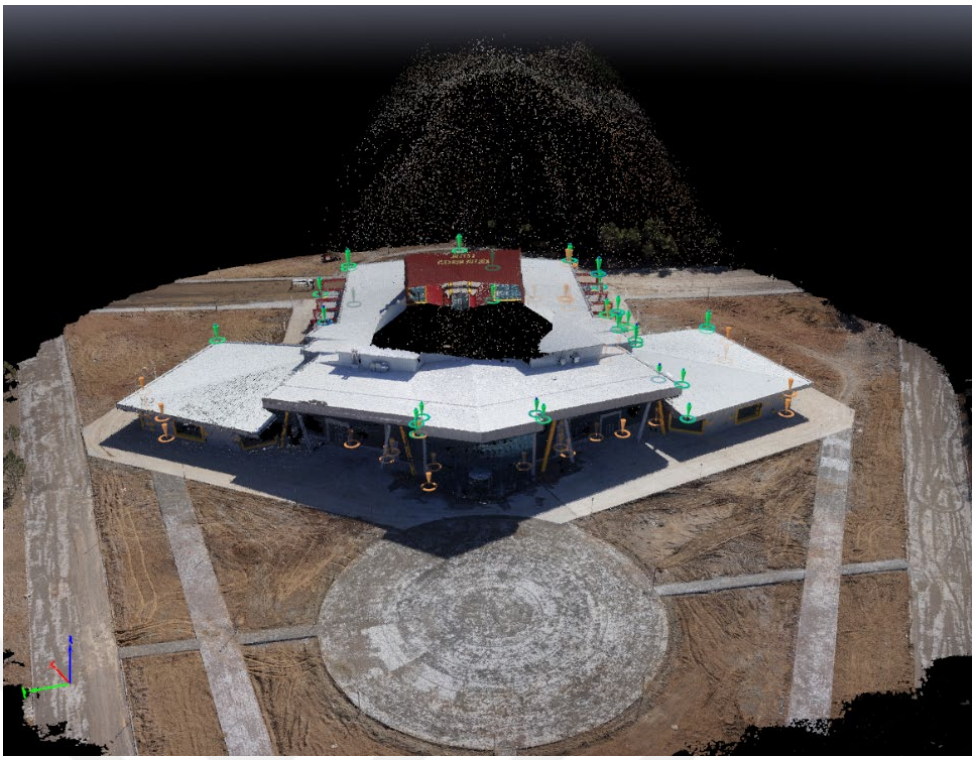
Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
415 (3D)	0.020/ 0.020	-0.012	0.024	0.005	1.378	10 / 10
803 (3D)	0.020/ 0.020	0.049	0.007	0.000	1.227	11 / 11
1012 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	-0.025	-0.006	0.909	13 / 13
1015 (3D)	0.020/ 0.020	0.022	0.028	-0.005	0.708	9 / 9
115 (3D)	0.020/ 0.020	0.003	-0.028	0.025	0.602	11 / 11
401 (3D)	0.020/ 0.020	-0.010	-0.003	-0.009	1.104	10 / 10
705 (3D)	0.020/ 0.020	0.019	-0.033	-0.011	0.796	9 / 9
1007 (3D)	0.020/ 0.020	-0.058	-0.011	-0.008	0.847	6 / 6
1013 (3D)	0.020/ 0.020	0.004	0.019	-0.018	0.986	10 / 10
Mean [m]		0.001969	-0.002370	-0.002903		
Sigma [m]		0.027379	0.022106	0.011442		
RMS Error [m]		0.027450	0.022232	0.011804		

Şekil 4.15YKN lere Ait Nokta Bulutu Verileri



Şekil 4.16YKN lere Ait Nokta Bulutu Görüntüsü-1



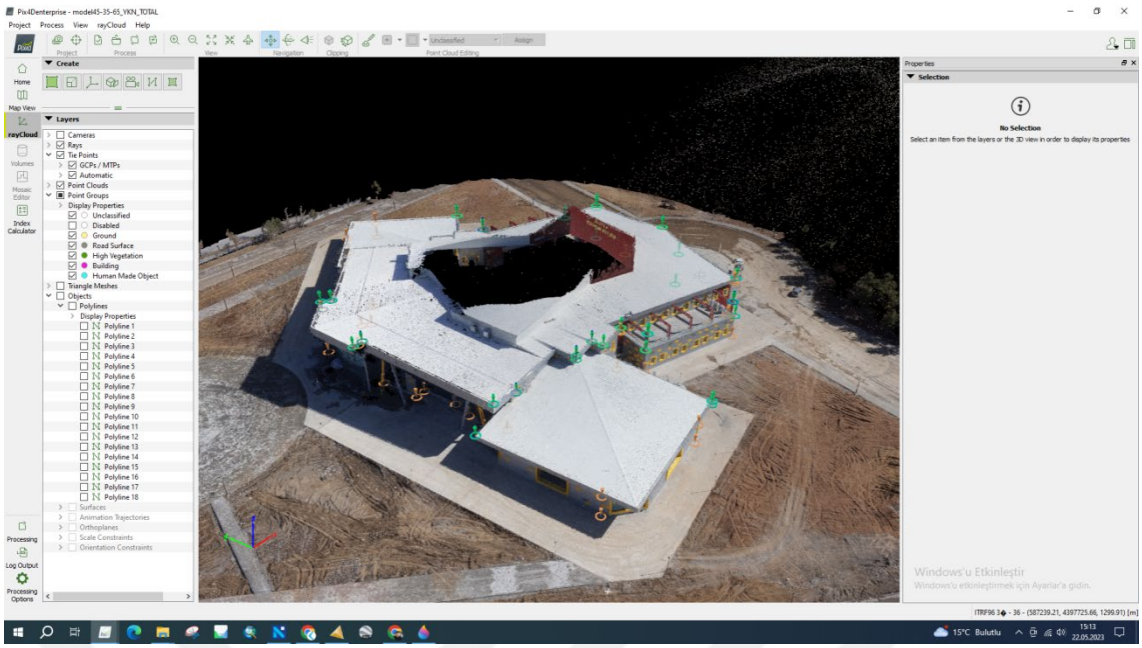
Şekil 4.17YKN lere Ait Nokta Bulutu Görüntüsü-2

İkinci uygulama için, YKN seçimi zeminde bulunan 9 adet nokta olmuştur ve kontrol noktası olarak diğer uygulamalarda da seçilen 22 nokta seçilmiş ve nokta bulutu üretilmiştir. Belirlenen YKN' lere ait nokta bulutu verileri ve görüntüleri Şekil 4.18 ve Şekil 4.19' da görülmektedir.

Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
YKN1 (3D)	0.020/ 0.020	0.003	0.008	0.018	0.667	15 / 15
YKN2 (3D)	0.020/ 0.020	-0.013	-0.020	-0.005	0.954	12 / 12
YKN3 (3D)	0.020/ 0.020	0.004	-0.024	-0.016	0.744	10 / 10
YKN4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.007	0.063	0.004	0.896	20 / 20
YKN06 (3D)	0.020/ 0.020	0.019	-0.038	0.007	0.898	11 / 11
YKN07 (3D)	0.020/ 0.020	0.012	-0.000	-0.008	0.510	11 / 11
YKN08 (3D)	0.020/ 0.020	0.005	-0.001	0.006	0.926	14 / 14
YKN9 (3D)	0.020/ 0.020	0.002	0.017	-0.023	0.718	20 / 20
YKN10 (3D)	0.020/ 0.020	-0.017	-0.001	-0.008	0.495	12 / 12
Mean [m]		0.000821	0.000516	-0.002670		
Sigma [m]		0.010876	0.027434	0.011817		
RMS Error [m]		0.010907	0.027439	0.012114		

Şekil 4.18YKN 2'ye Ait Nokta Bulutu Verileri



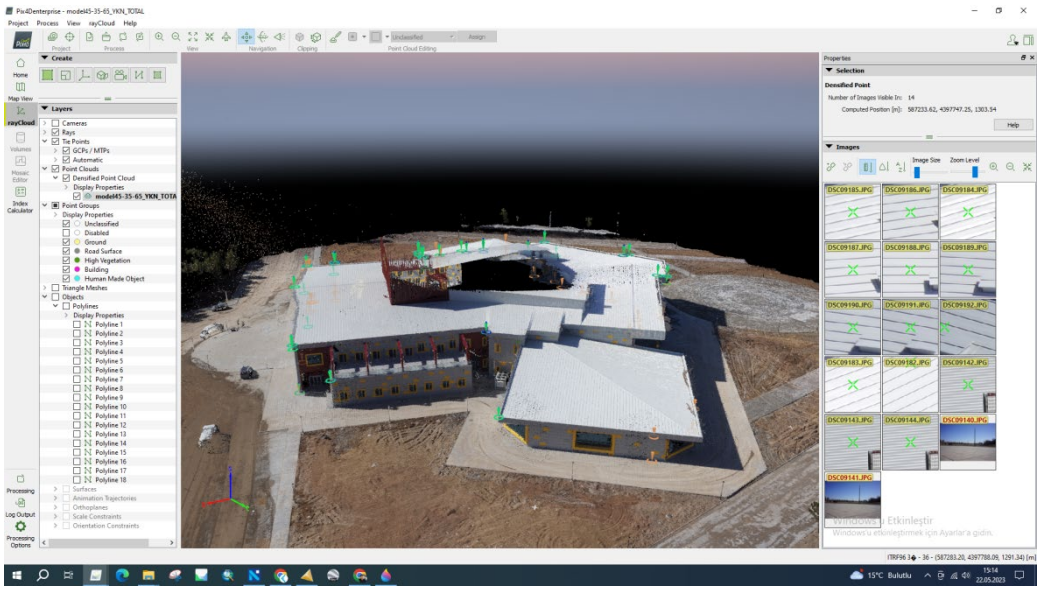
Şekil 4.19YKN 2’ ye Ait Nokta Bulutu Görüntüsü

Üçüncü uygulama için YKN seçimi olarak 9 adet zeminden 6 adet bina üzerinden nokta belirlenir, kontrol noktası olarak 22 adet bina üzerinden noktalar seçilir ve bu şekilde proses yapılarak nokta bulutu üretilir. Belirlenen YKN’ lere ait nokta bulutu verileri ve görüntüleri Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’ de görülmektedir.

Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
YKN1 (3D)	0.020/ 0.020	-0.003	0.016	0.012	0.512	13 / 13
YKN9 (3D)	0.020/ 0.020	-0.004	0.006	-0.023	0.410	16 / 16
YKN10 (3D)	0.020/ 0.020	-0.014	-0.003	-0.013	0.717	13 / 13
YKN07 (3D)	0.020/ 0.020	0.019	-0.004	-0.022	0.682	10 / 10
YKN2 (3D)	0.020/ 0.020	0.005	-0.019	-0.005	0.692	11 / 11
415 (3D)	0.020/ 0.020	-0.019	0.019	0.027	0.913	18 / 18
YKN06 (3D)	0.020/ 0.020	0.017	-0.049	-0.002	0.755	13 / 13
803 (3D)	0.020/ 0.020	0.025	0.039	0.016	0.587	10 / 10
1012 (3D)	0.020/ 0.020	0.009	0.008	0.011	0.873	12 / 12
1015 (3D)	0.020/ 0.020	0.025	0.027	0.006	0.903	10 / 10
YKN3 (3D)	0.020/ 0.020	0.015	-0.021	-0.011	0.648	12 / 12
YKN4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.007	0.032	-0.013	1.478	12 / 12
YKN08 (3D)	0.020/ 0.020	0.002	-0.014	0.002	0.762	14 / 14
1013 (3D)	0.020/ 0.020	0.005	0.028	-0.024	1.136	9 / 9
1007 (3D)	0.020/ 0.020	-0.035	-0.017	-0.002	0.732	5 / 6
Mean [m]		0.002701	0.003331	-0.002752		
Sigma [m]		0.016380	0.023622	0.014755		
RMS Error [m]		0.016601	0.023856	0.015009		

Şekil 4.20YKN 3‘e Ait Nokta Bulutu Verileri



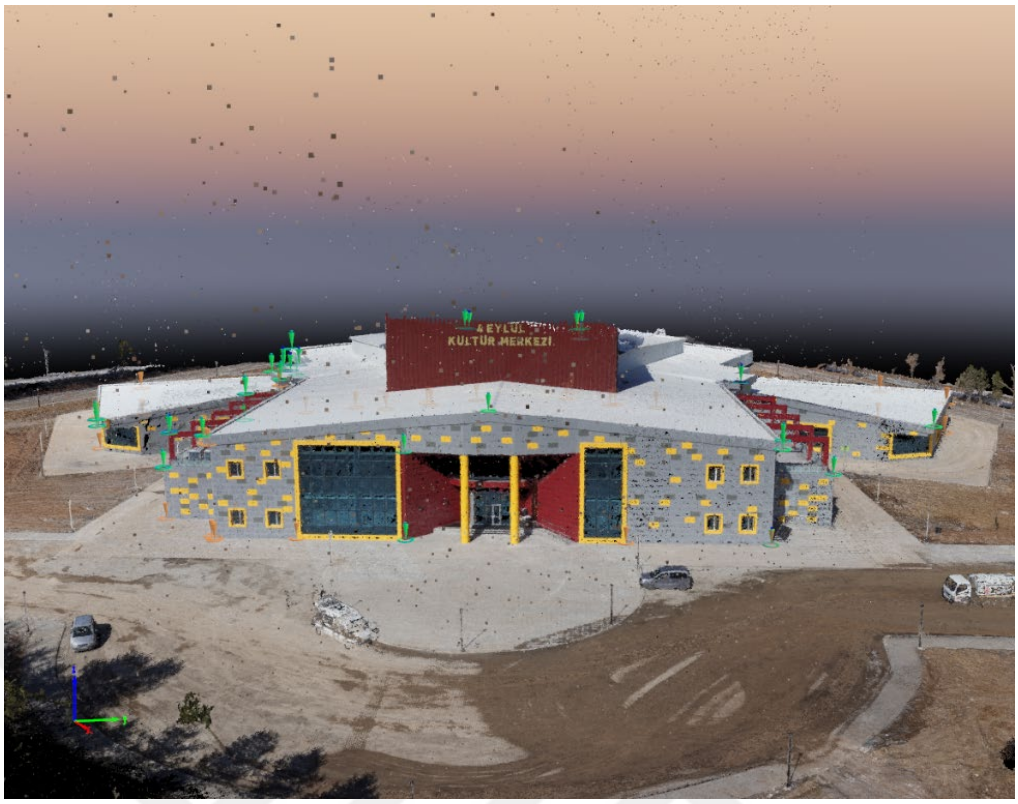
Şekil 4.21YKN 3’ e Ait Nokta Bulutu Görüntüsü

Dördüncü uygulama için, YKN seçimi olarak 5 adet zeminden 4 adet bina üzerinden belirlenir ve kontrol noktası olarak diğer uygulamalarda da seçilen 22 nokta seçilmiş ve nokta bulutu üretilmiştir. Belirlenen YKN’ lere ait nokta bulutu verileri ve görüntüleri Şekil 4.22, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24’ te görülmektedir.

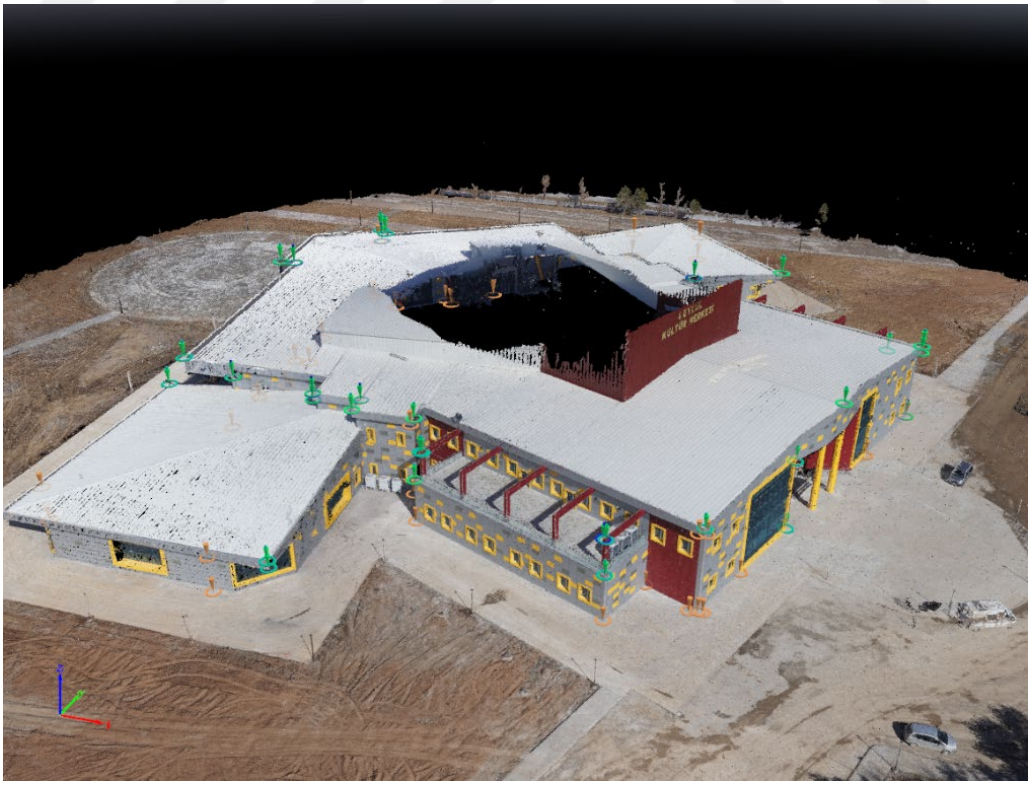
Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
YKN1 (3D)	0.020/ 0.020	-0.000	0.003	0.010	0.503	13 / 13
YKN10 (3D)	0.020/ 0.020	-0.016	-0.006	-0.019	0.720	13 / 13
415 (3D)	0.020/ 0.020	-0.010	-0.001	0.019	0.956	18 / 18
YKN06 (3D)	0.020/ 0.020	0.021	-0.050	-0.010	0.751	13 / 13
803 (3D)	0.020/ 0.020	0.024	0.035	0.009	0.601	10 / 10
1012 (3D)	0.020/ 0.020	0.003	0.008	-0.001	0.969	12 / 12
1015 (3D)	0.020/ 0.020	0.020	0.028	-0.006	0.933	10 / 10
YKN4 (3D)	0.020/ 0.020	0.006	0.018	-0.020	1.480	12 / 12
YKN08 (3D)	0.020/ 0.020	-0.008	-0.011	-0.009	0.750	14 / 14
Mean [m]		0.004492	0.002638	-0.003022		
Sigma [m]		0.013798	0.023701	0.012717		
RMS Error [m]		0.014510	0.023847	0.013071		

Şekil 4.22YKN 5‘e Ait Nokta Bulutu Verileri



Şekil 4.23YKN 5' e Ait Nokta Bulutu Görüntüsü-1



Şekil 4.24YKN 5' e Ait Nokta Bulutu Görüntüsü-2

Sonuçlara bakıldığında 4 uygulama içinde GSD değeri 1,15 cm / 0.45 in olarak sonuçlanmıştır.

Summary

Project	model45-35-65_YKN_TOTAL
Processed	2021-10-29 02:37:47
Camera Model Name(s)	ILCE-7R_FE35mmF2.8ZA_35.0_7360x4912 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	1.15 cm / 0.45 in
Area Covered	0.046 km^2 / 4.5863 ha / 0.02 sq. mi. / 11.3388 acres
Time for Initial Processing (without report)	19m:51s

Şekil 4.25GSD Değeri

Bina üzerinden 9 adet YKN için elde edilen görüntüler Şekil 4.25 ve 4.26' da görülmektedir.

Preview

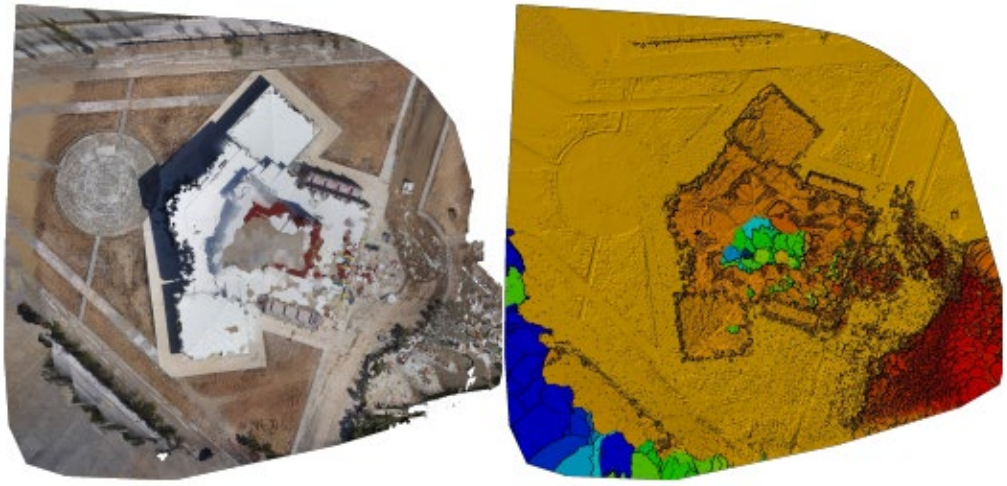
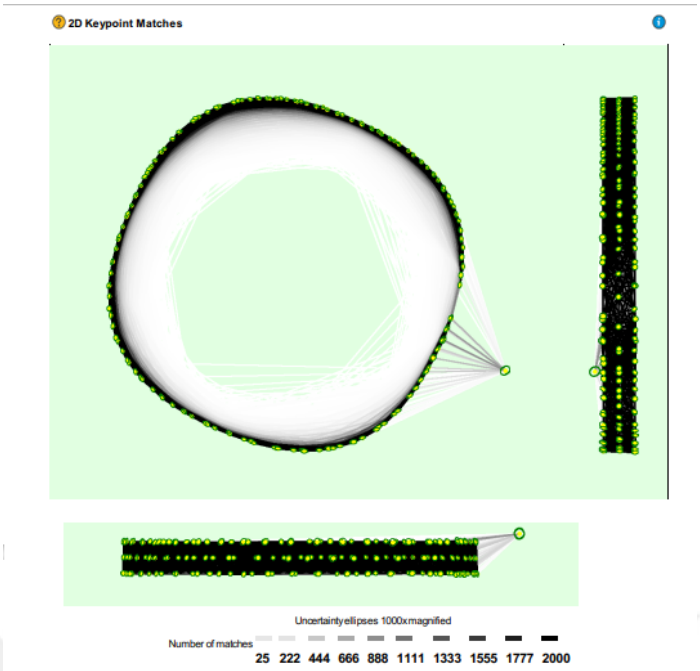


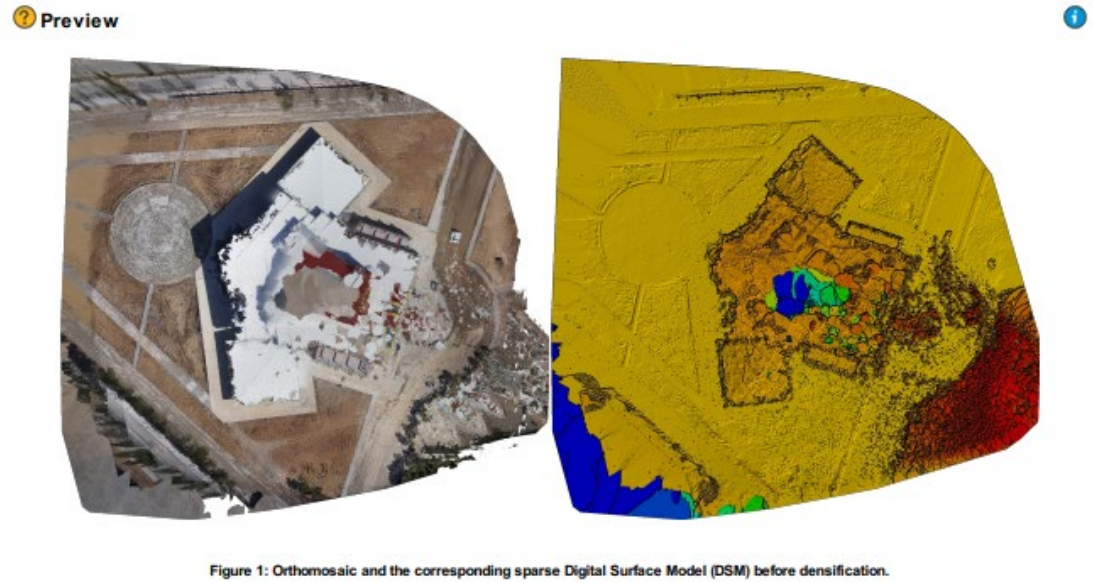
Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Şekil 4.26 Bina Üzeri 9 Adet YKN Görüntüsü-1

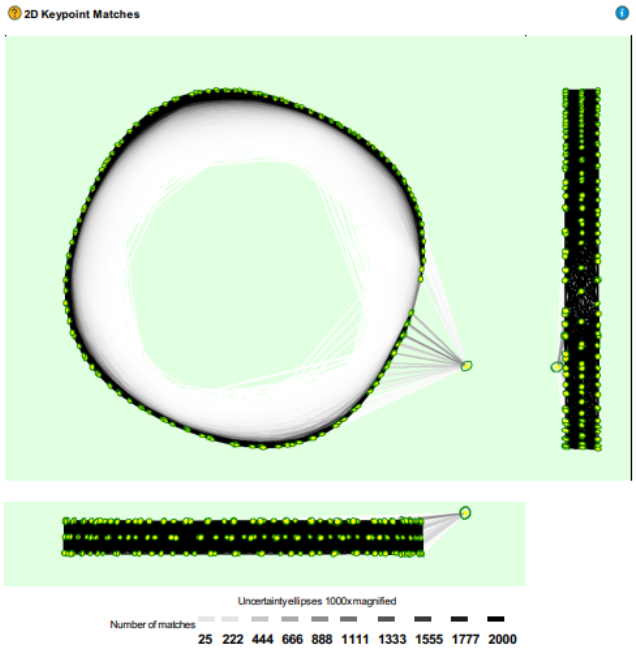


Şekil 4.27 Bina Üzeri 9 Adet YKN Görüntüsü-2

Zeminden 9 adet YKN için elde edilen görüntüler Şekil 4.28 ve 4.29' da görülmektedir.

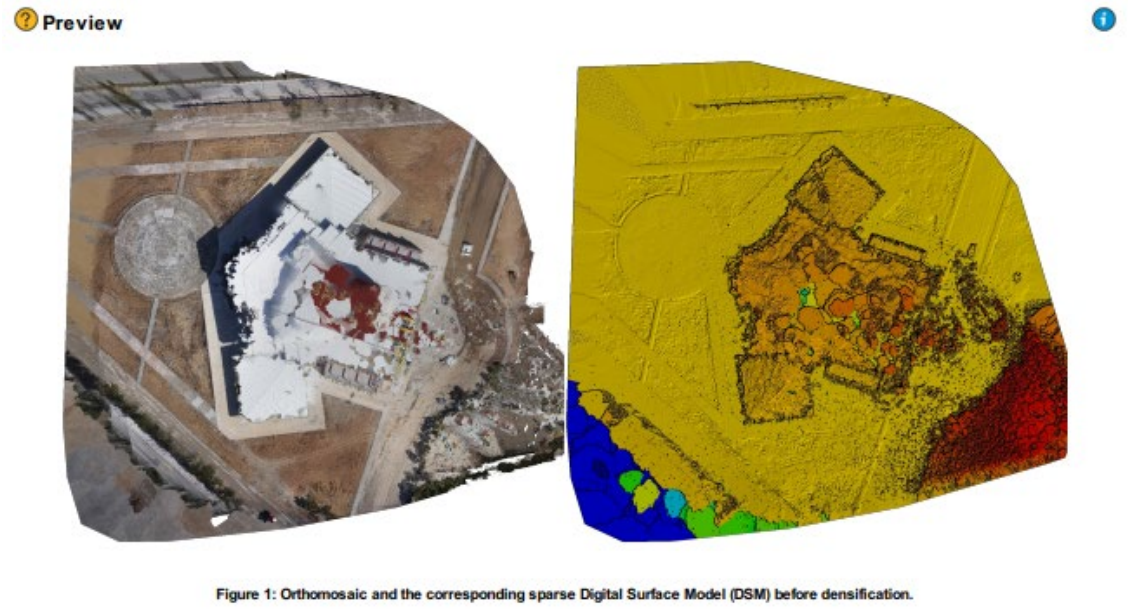


Şekil 4.28 Zeminden 9 Adet YKN Görüntüsü-1

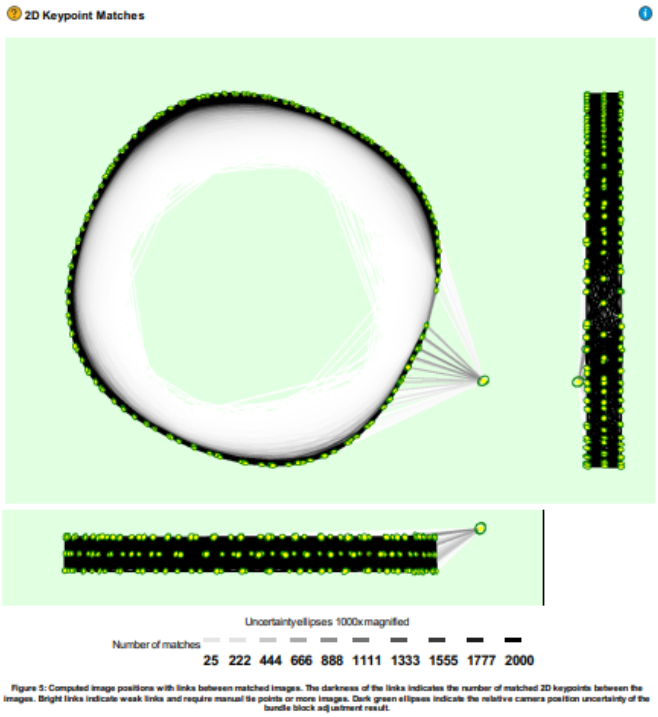


Şekil 4.29 Zeminden 9 Adet YKN Görüntüsü-2

Zeminden 9 bina üzerinden 6 adet YKN için elde edilen görüntüler Şekil 4.30 ve 4.31' de görülmektedir.

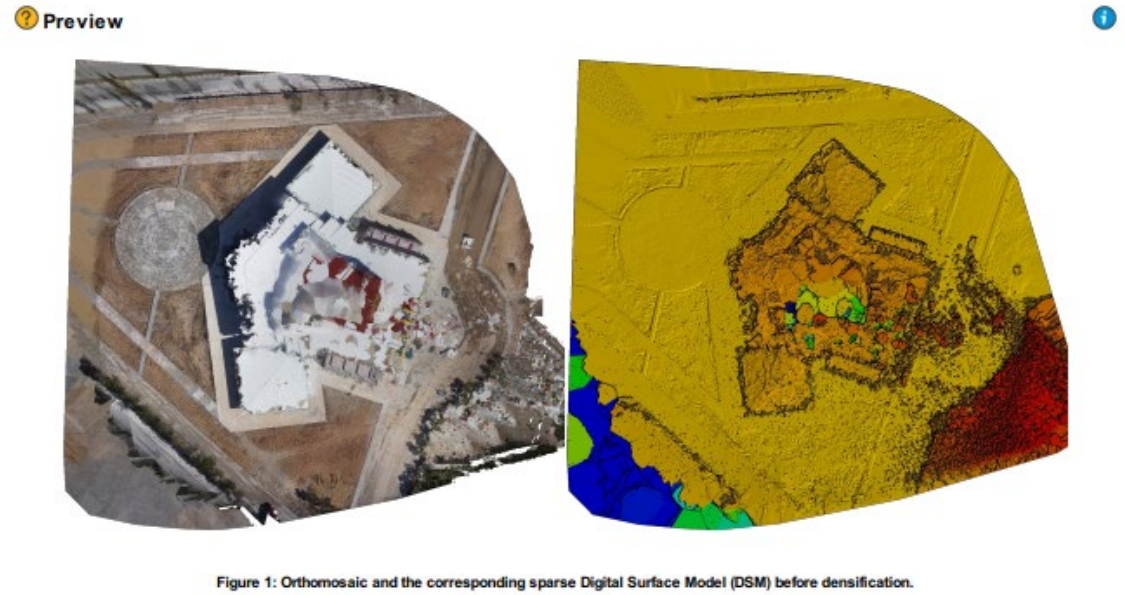


Şekil 4.30 Zeminden 9 Bina Üzerinden 6 Adet YKN Görüntüsü-1

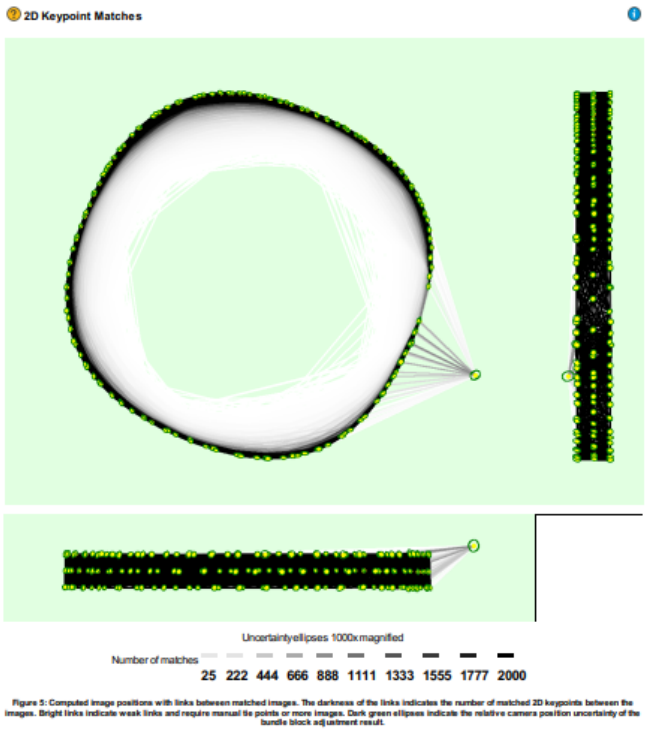


Şekil 4.31 Zeminden 9 Bina Üzerinden 6 Adet YKN Görüntüsü-2

Zeminden 5 bina üzerinden 4 adet YKN için elde edilen görüntüler Şekil 4.32 ve 4.33' de görülmektedir.



Şekil 4.32 Zeminden 5 Bina Üzerinden 4 Adet YKN Görüntüsü-1



Şekil 4.33 Zeminden 5 Bina Üzerinden 4 Adet YKN Görüntüsü-2

Yapılan prosesler sonucunda 4 yöntem içinde hata değerleri bulunmuştur. Değerler Çizelge 4. 2'de görülmektedir.

Çizelge 4.2 Fotogrametrik Değerlendirme YKN ve KN Değerleri

Yöntem	Fotoğraf Sayısı	GSD	YKN			KN				
			Sayısı		3D RMS	Sayısı	RMS			
			Zemin	Bina			X	Y	Z	3D
D45-H35_65_C1	167	1,15 cm / 0,45 in	0	9	3,7	22	3,0	4,4	3,3	6,3
D45-H35_65_C2	167	1,15 cm / 0,45 in	9	0	3,2	22	3,0	4,6	4,3	7,0
D45-H35_65_C3	167	1,15 cm / 0,45 in	9	6	3,3	22	3,4	4,2	4,0	6,7
D45-H35_65_C4	167	1,15 cm / 0,45 in	5	4	3,1	22	3,3	4,2	3,5	6,4

Bu sonuçlara bakıldığında bir binanın fotogrametrik olarak 3 boyutlu modellenmesinde YKN seçiminin zeminde fazla olması doğruluğu arttırmamıştır. RMS error değerlerine bakıldığında 6,3 cm sonucunu veren uygulama zeminde hiç YKN seçilmeden bina üzerinde 9 adet YKN seçilerek yapılan proses ile en yüksek doğruluğa sahip uygulama

olmuştur. Zeminde nokta seçmektense bina üzerinde seçilen noktaların doğruluğu arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Bunun yanı sıra YKN'lerin zeminde ve binada eşit sayılarda seçilerek yapılan uygulamanın sonuçlarının da doğruluğu yüksek çıkmıştır. Fakat sadece zeminde YKN seçimi olan uygulamanın doğruluğu daha düşük çıkmıştır.

4.2. İkinci Yönteme Ait Bulgular

Proje kapsamında ikinci yöntem olarak bina üzerinde grid uçuş yöntemi ile görüntüler elde edilmiştir. Grid olarak gerçekleştirilen uçuş, kamera açısı 90 derece olarak ayarlanmış ve 60 metreden çıkarak görüntüler elde edilmiştir. Bindirme oranı %80-%60 olarak belirlenmiştir. Bu yöntem uygulanarak toplam 282 görüntü elde edilmiştir.

Pix4D yazılımı kullanılarak elde edilen görüntülerle 4 farklı proses yapılarak nokta bulutları üretilmiş ve sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu 4 farklı uygulamada total station ile bina üzerinden koordinatlandırılan noktalardan 22 tanesi kontrol noktası olarak seçilmiş ve 4 uygulama için de aynı noktalar kontrol noktası olarak tanımlanmıştır.

Yer kontrol noktalarında farklı noktalar seçilerek yüksek doğruluğu veren modelin yorumlanması amaçlanmıştır. İlk uygulama için; elde edilen görüntüler Pix4D yazılımına aktarılır ve YKN seçimi olarak 9 adet bina üzerinden nokta belirlenir, kontrol noktası olarak 22 adet bina üzerinden noktalar seçilir ve bu şekilde proses yapılarak nokta bulutu üretilir.

İkinci uygulama için, YKN seçimi zeminde bulunan 9 adet nokta olmuştur ve kontrol noktası olarak diğer uygulamalarda da seçilen 22 nokta seçilmiş ve nokta bulutu üretilmiştir.

Üçüncü uygulama için YKN seçimi olarak 9 adet zeminden 6 adet bina üzerinden nokta belirlenir, kontrol noktası olarak 22 adet bina üzerinden noktalar seçilir ve bu şekilde proses yapılarak nokta bulutu üretilir.

Dördüncü uygulama için, YKN seçimi olarak 5 adet zeminden 4 adet bina üzerinden belirlenir ve kontrol noktası olarak diğer uygulamalarda da seçilen 22 nokta seçilmiş ve nokta bulutu üretilmiştir.

Sonuçlara bakıldığında 4 uygulama içinde GSD değeri 0,90 cm / 0.35 in olarak sonuçlanmıştır.

Yapılan prosesler sonucunda 4 yöntem içinde hata değerleri bulunmuştur. Değerler Çizelge 4. 3'te görülmektedir.

Çizelge 4.3İkinci Fotogrametrik Değerlendirme YKN ve KN Değerleri

Yöntem	Fotoğraf Sayısı	GSD	YKN			KN				
			Sayısı		3D RMS	Sayısı	RMS			
			Zemin	Bina			X	Y	Z	3D
D90-H60-G1	282	0,90 cm / 0,35 in	0	9	3,8	22	4,7	3,4	5,2	7,8
D90-H60-G2	282	0,90 cm/ 0,35 in	9	0	2,3	22	3,6	4,4	6,8	8,9
D90-H60-G3	282	0,90 cm / 0,35 in	9	6	3,5	22	3,9	4,3	4,3	7,2
D90-H60-G4	282	0,90 cm / 0,35 in	5	4	3,1	22	4,0	4,1	4,6	7,3

Bu sonuçlara bakıldığında bir binanın fotogrametrik olarak 3 boyutlu modellenmesinde YKN seçiminin sadece zeminde olması doğruluğu arttırmamıştır. RMS error değerlerine bakıldığında 7,2 cm sonucunu veren uygulama 9 adet YKN zeminde, bina üzerinde 6 adet YKN seçilerek yapılan proses ile en yüksek doğruluğa sahip uygulama olmuştur. YKN'lerin zeminde ve binada eşit sayılarda seçilerek yapılan uygulamanın sonuçlarının doğruluğu yüksek çıkmıştır. Fakat sadece zeminde seçim olan uygulamanın doğruluğu daha düşük çıkmıştır.

4.3. Üçüncü Yönteme Ait Bulgular

Proje kapsamında üçüncü yöntem olarak bina üzerinde grid uçuş yöntemi ile görüntüler elde edilmiştir. Grid olarak gerçekleştirilen uçuş, kamera açısı 45 derece olarak ayarlanmış ve 60 metreden çıkarak görüntüler elde edilmiştir. Bindirme oranı %80-%60 olarak belirlenmiştir. Bu yöntem uygulanarak toplam 254 görüntü elde edilmiştir.

Pix4D yazılımı kullanılarak elde edilen verilerle 4 farklı proses yapılarak nokta bulutları üretilmiş ve sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu 4 farklı uygulamada total station ile bina üzerinden koordinatlandırılan noktalardan 22 tanesi kontrol noktası olarak seçilmiş ve 4 uygulama için de aynı noktalar kontrol noktası olarak tanımlanmıştır.

Yer kontrol noktalarında farklı noktalar seçilerek yüksek doğruluğu veren modelin yorumlanması amaçlanmıştır. İlk uygulama için; elde edilen görüntüler Pix4D yazılımına aktarılır ve YKN seçimi olarak 9 adet bina üzerinden nokta belirlenir, kontrol noktası olarak 22 adet bina üzerinden noktalar seçilir ve bu şekilde proses yapılarak nokta bulutu üretilir.

İkinci uygulama için, YKN seçimi zeminde bulunan 9 adet nokta olmuştur ve kontrol noktası olarak diğer uygulamalarda da seçilen 22 nokta seçilmiş ve nokta bulutu üretilmiştir.

Üçüncü uygulama için YKN seçimi olarak 9 adet zeminden 6 adet bina üzerinden nokta belirlenir, kontrol noktası olarak 22 adet bina üzerinden noktalar seçilir ve bu şekilde proses yapılarak nokta bulutu üretilir.

Dördüncü uygulama için, YKN seçimi olarak 5 adet zeminden 4 adet bina üzerinden belirlenir ve kontrol noktası olarak diğer uygulamalarda da seçilen 22 nokta seçilmiş ve nokta bulutu üretilmiştir.

Sonuçlara bakıldığında 4 uygulama içinde GSD değeri 1,82 cm / 0.71 in olarak sonuçlanmıştır.

Yapılan prosesler sonucunda 4 yöntem içinde hata değerleri bulunmuştur. Değerler Çizelge 4. 4'te görülmektedir.

Çizelge 4.4ÜçüncüFotogrametrik Değerlendirme YKN ve KN Değerleri

Yöntem	Fotoğraf Sayısı	GSD	YKN			KN				
			Sayısı		3D RMS	Sayısı	RMS			
			Zemin	Bina			X	Y	Z	3D
D45-H60-G1	254	1,82 cm / 0,71 in	0	9	4,6	22	4,6	4,3	4,0	7,4
D45-H60-G2	254	1,79 cm / 0,70 in	9	0	2,9	22	3,6	4,8	6,4	8,8
D45-H60-G3	254	1,80 cm / 0,71 in	9	6	4,1	22	3,7	4,7	5,1	7,9
D45-H60-G4	254	1,81 cm / 0,71 in	5	4	4,0	22	3,8	4,9	4,3	7,5

Bu sonuçlara bakıldığında bir binanın fotogrametrik olarak 3 boyutlu modellenmesinde YKN seçiminin sadece zeminde olması doğruluğu arttırmamıştır. RMS error değerlerine bakıldığında 7,4 cm sonucunu veren uygulama zeminde hiç YKN seçilmeden bina üzerinde 9 adet YKN seçilerek yapılan proses ile en yüksek doğruluğa sahip uygulama olmuştur. YKN'lerin zeminde ve binada eşit sayılarda seçilerek yapılan uygulamanın sonuçlarının da doğruluğu yüksek çıkmıştır. Fakat sadece zeminde seçim olan uygulamanın doğruluğu daha düşük çıkmıştır.

4.4. Dördüncü Yönteme Ait Bulgular

Proje kapsamında dördüncü yöntem olarak bina üzerinde grid uçuş yöntemi ile görüntüler elde edilmiştir. Grid ve circle olarak gerçekleştirilen uçuşların ikisinin de görüntüleri kullanılarak uygulama yapılmıştır. Kamera açısı 45 derece olarak ayarlanmış ve 60 metreden çıkarak grid uçuş ile görüntüler elde edilmiştir. Aynı zamanda 45 derece olarak ayarlanmış ve 35 metreden başlamış dönerek 65 metreye

kadar çıkarak circle uçuş ile görüntüler elde edilmiştir. Bindirme oranı %80-%60 olarak belirlenmiştir. Bu yöntem uygulanarak toplam 421 görüntü elde edilmiştir.

Pix4D yazılımı kullanılarak elde edilen verilerle 4 farklı proses yapılarak nokta bulutları üretilmiş ve sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu 4 farklı uygulamada total station ile bina üzerinden koordinatlandırılan noktalardan 22 tanesi kontrol noktası olarak seçilmiş ve 4 uygulama için de aynı noktalar kontrol noktası olarak tanımlanmıştır.

Yer kontrol noktalarında farklı noktalar seçilerek yüksek doğruluğu veren modelin yorumlanması amaçlanmıştır. İlk uygulama için; elde edilen görüntüler Pix4D yazılımına aktarılır ve YKN seçimi olarak 9 adet bina üzerinden nokta belirlenir, kontrol noktası olarak 22 adet bina üzerinden noktalar seçilir ve bu şekilde proses yapılarak nokta bulutu üretilir.

İkinci uygulama için, YKN seçimi zeminde bulunan 9 adet nokta olmuştur ve kontrol noktası olarak diğer uygulamalarda da seçilen 22 nokta seçilmiş ve nokta bulutu üretilmiştir.

Üçüncü uygulama için YKN seçimi olarak 9 adet zeminden 6 adet bina üzerinden nokta belirlenir, kontrol noktası olarak 22 adet bina üzerinden noktalar seçilir ve bu şekilde proses yapılarak nokta bulutu üretilir.

Dördüncü uygulama için, YKN seçimi olarak 5 adet zeminden 4 adet bina üzerinden belirlenir ve kontrol noktası olarak diğer uygulamalarda da seçilen 22 nokta seçilmiş ve nokta bulutu üretilmiştir.

Sonuçlara bakıldığında 4 uygulama içinde GSD değeri 1,54 cm / 0.60 in olarak sonuçlanmıştır.

Yapılan prosesler sonucunda 4 yöntem içinde hata değerleri bulunmuştur. Değerler Çizelge 4. 5‘te görülmektedir.

Çizelge 4.5DördüncüFotogrametrik Değerlendirme YKN ve KN Değerleri

Yöntem	Fotoğraf Sayısı	GSD	YKN			KN				
			Sayısı		3D RMS	Sayısı	RMS			
			Zemin	Bina			X	Y	Z	3D
(D45-H60-G1) +(D45-H35_65_C1)	421	1,54 cm / 0,60 in	0	9	3,3	22	4,3	3,6	3,3	6,5
(D45-H60-G2) +(D45-H35_65_C2)	421	1,52 cm / 0,60 in	9	0	3,3	22	3,6	4,3	4,8	7,3
(D45-H60-G3) +(D45-H35_65_C3)	421	1,52 cm / 0,60 in	9	6	3,7	22	3,5	4,2	4,4	7,1
(D45-H60-G4) +(D45-H35_65_C4)	421	1,53 cm / 0,60 in	5	4	3,6	22	4,0	4,4	4,0	7,2

Bu sonuçlara bakıldığında bir binanın fotogrametrik olarak 3 boyutlu modellenmesinde YKN seçiminin zeminde fazla olması doğruluğu arttırmamıştır. RMS error değerlerine bakıldığında 6,5 cm sonucunu veren uygulama zeminde hiç YKN seçilmeden bina üzerinde 9 adet YKN seçilerek yapılan proses ile en yüksek doğruluğa sahip uygulama olmuştur. Binada nokta seçiminin fazlalığı seçilen noktaların doğruluğu arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Fakat sadece zeminde seçim olan uygulamanın doğruluğu daha düşük çıkmıştır.

4.5. Beşinci Yönteme Ait Bulgular

Proje kapsamında beşinci yöntem olarak bina üzerinde circle uçuş yöntemi ile görüntüler elde edilmiştir. Circle olarak gerçekleştirilen uçuşların kamera açısı 45 derece olarak ve 35 metreden başlamış dönerek 95 metreye kadar çıkarak görüntüler elde edilmiştir. Bindirme oranı %80-%60 olarak belirlenmiştir. Bu yöntem uygulanarak toplam 207 görüntü elde edilmiştir.

Pix4D yazılımı kullanılarak elde edilen verilerle 4 farklı proses yapılarak nokta bulutları üretilmiş ve sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu 4 farklı uygulamada total station ile bina üzerinden koordinatlandırılan noktalardan 22 tanesi kontrol noktası olarak seçilmiş ve 4 uygulama için de aynı noktalar kontrol noktası olarak tanımlanmıştır.

Yer kontrol noktalarında farklı noktalar seçilerek yüksek doğruluğu veren modelin yorumlanması amaçlanmıştır. İlk uygulama için; elde edilen görüntüler Pix4D yazılımına aktarılır ve YKN seçimi olarak 9 adet bina üzerinden nokta belirlenir,

kontrol noktası olarak 22 adet bina üzerinden noktalar seçilir ve bu şekilde proses yapılarak nokta bulutu üretilir.

İkinci uygulama için, YKN seçimi zeminde bulunan 9 adet nokta olmuştur ve kontrol noktası olarak diğer uygulamalarda da seçilen 22 nokta seçilmiş ve nokta bulutu üretilmiştir.

Üçüncü uygulama için YKN seçimi olarak 9 adet zeminden 6 adet bina üzerinden nokta belirlenir, kontrol noktası olarak 22 adet bina üzerinden noktalar seçilir ve bu şekilde proses yapılarak nokta bulutu üretilir.

Dördüncü uygulama için, YKN seçimi olarak 5 adet zeminden 4 adet bina üzerinden belirlenir ve kontrol noktası olarak diğer uygulamalarda da seçilen 22 nokta seçilmiş ve nokta bulutu üretilmiştir.

Sonuçlara bakıldığında 4 uygulama içinde GSD değeri 1,60 cm / 0.63 in olarak sonuçlanmıştır.

Yapılan prosesler sonucunda 4 yöntem içinde hata değerleri bulunmuştur. Değerler Çizelge 4. 6'da görülmektedir.

Çizelge 4.6 BeşinciFotogrametrik Değerlendirme YKN ve KN Değerleri

Yöntem	Fotoğraf Sayısı	GSD	YKN			KN				
			Sayısı		3D RMS	Sayısı	RMS			
			Zemin	Bina			X	Y	Z	3D
D45-H55_95_C1	207	1,61 cm / 0,64 in	0	9	3,6	22	4,0	3,3	3,5	6,2
D45-H55_95_C2	207	1,60 cm / 0,63 in	9	0	2,8	22	3,3	3,9	5,8	7,7
D45-H55_95_C3	207	1,60 cm / 0,63 in	9	6	3,6	22	3,3	3,7	4,8	6,9
D45-H55_95_C4	207	1,59 cm / 0,63 in	5	4	4,1	22	3,3	3,7	4,0	6,4

Bu sonuçlara bakıldığında bir binanın fotogrametrik olarak 3 boyutlu modellenmesinde YKN seçiminin sadece zeminde olması doğruluğu arttırmamıştır. RMS error değerlerine bakıldığında 6,2 cm sonucunu veren uygulama zeminde hiç YKN seçilmeden bina üzerinde 9 adet YKN seçilerek yapılan proses ile en yüksek doğruluğa sahip uygulama olmuştur. Bunun yanı sıra YKN'lerin zeminde ve binada eşit sayılarda seçilerek yapılan uygulamanın sonuçlarının da doğruluğu yüksek çıkmıştır. Fakat sadece zeminde seçim olan uygulamanın doğruluğu daha düşük çıkmıştır.

4.6. Altıncı Yönteme Ait Bulgular

Proje kapsamında altıncı yöntem olarak bina üzerinde circle uçuş yöntemi ile görüntüler elde edilmiştir. Circle olarak gerçekleştirilen uçuşların ikisinin birden, kamera açısı 35 derece olarak ve 45 metreden başlamış dönerek 65 metreye kadar çıkarak görüntüler elde edilmiştir. Bindirme oranı %80-%60 olarak belirlenmiştir. Bu yöntem uygulanarak toplam 164 görüntü elde edilmiştir.

Pix4D yazılımı kullanılarak elde edilen verilerle 4 farklı proses yapılarak nokta bulutları üretilmiş ve sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu 4 farklı uygulamada total station ile bina üzerinden koordinatlandırılan noktalardan 22 tanesi kontrol noktası olarak seçilmiş ve 4 uygulama için de aynı noktalar kontrol noktası olarak tanımlanmıştır.

Yer kontrol noktalarında farklı noktalar seçilerek yüksek doğruluğu veren modelin yorumlanması amaçlanmıştır. İlk uygulama için; elde edilen görüntüler Pix4D yazılımına aktarılır ve YKN seçimi olarak 9 adet bina üzerinden nokta belirlenir, kontrol noktası olarak 22 adet bina üzerinden noktalar seçilir ve bu şekilde proses yapılarak nokta bulutu üretilir.

İkinci uygulama için, YKN seçimi zeminde bulunan 9 adet nokta olmuştur ve kontrol noktası olarak diğer uygulamalarda da seçilen 22 nokta seçilmiş ve nokta bulutu üretilmiştir.

Üçüncü uygulama için YKN seçimi olarak 9 adet zeminden 6 adet bina üzerinden nokta belirlenir, kontrol noktası olarak 22 adet bina üzerinden noktalar seçilir ve bu şekilde proses yapılarak nokta bulutu üretilir.

Dördüncü uygulama için, YKN seçimi olarak 5 adet zeminden 4 adet bina üzerinden belirlenir ve kontrol noktası olarak diğer uygulamalarda da seçilen 22 nokta seçilmiş ve nokta bulutu üretilmiştir.

Sonuçlara bakıldığında 4 uygulama içinde GSD değeri 1,55 cm / 0.61 in olarak sonuçlanmıştır.

Yapılan prosesler sonucunda 4 yöntem içinde hata değerleri bulunmuştur. Değerler Çizelge 4. 7‘de görülmektedir.

Çizelge 4.7 AltıncıFotogrametrik Değerlendirme YKN ve KN Değerleri

Yöntem	Fotoğraf Sayısı	GSD	YKN			KN				
			Sayısı		3D RMS	Sayısı	RMS			
			Zemin	Bina			X	Y	Z	3D
D35-H45_65-C1	164	1,54 cm / 0,61 in	0	9	4,1	22	4,2	3,3	3,1	6,1
D35-H45_65-C2	164	1,55 cm / 0,61 in	9	0	2,7	22	3,5	4,2	5,5	7,7
D35-H45_65-C3	164	1,56 cm / 0,61 in	9	6	3,4	22	3,1	4,5	4,8	7,3
D35-H45_65-C4	164	1,56 cm / 0,61 in	5	4	3,8	22	2,7	4,5	4,5	6,9

Bu sonuçlara bakıldığında bir binanın fotogrametrik olarak 3 boyutlu modellenmesinde YKN seçiminin sadece zeminde olması doğruluğu arttırmamıştır. RMS error değerlerine bakıldığında 6,1 cm sonucunu veren uygulama zeminde hiç YKN seçilmeden bina üzerinde 9 adet YKN seçilerek yapılan proses ile en yüksek doğruluğa sahip uygulama olmuştur. Fakat sadece zeminde seçim olan uygulamanın doğruluğu daha düşük çıkmıştır.

4.7. Yedinci Yönteme Ait Bulgular

Proje kapsamında yedinci yöntem olarak bina üzerinde grid uçuş yöntemi ile görüntüler elde edilmiştir. Grid ve circle olarak gerçekleştirilen uçuşların tüm yöntemlerin görüntüleri ile elde edilmiştir. Bindirme oranı %80-%60 olarak belirlenmiştir. Bu yöntem uygulanarak toplam 1622 görüntü elde edilmiştir.

Pix4D yazılımı kullanılarak elde edilen verilerle 4 farklı proses yapılarak nokta bulutları üretilmiş ve sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu 4 farklı uygulamada total station ile bina üzerinden koordinatlandırılan noktalardan 22 tanesi kontrol noktası olarak seçilmiş ve 4 uygulama için de aynı noktalar kontrol noktası olarak tanımlanmıştır.

Yer kontrol noktalarında farklı noktalar seçilerek yüksek doğruluğu veren modelin yorumlanması amaçlanmıştır. İlk uygulama için; elde edilen görüntüler Pix4D yazılımına aktarılır ve YKN seçimi olarak 9 adet bina üzerinden nokta belirlenir, kontrol noktası olarak 22 adet bina üzerinden noktalar seçilir ve bu şekilde proses yapılarak nokta bulutu üretilir.

İkinci uygulama için, YKN seçimi zeminde bulunan 9 adet nokta olmuştur ve kontrol noktası olarak diğer uygulamalarda da seçilen 22 nokta seçilmiş ve nokta bulutu üretilmiştir.

Üçüncü uygulama için YKN seçimi olarak 9 adet zeminden 6 adet bina üzerinden nokta belirlenir, kontrol noktası olarak 22 adet bina üzerinden noktalar seçilir ve bu şekilde proses yapılarak nokta bulutu üretilir.

Dördüncü uygulama için, YKN seçimi olarak 5 adet zeminden 4 adet bina üzerinden belirlenir ve kontrol noktası olarak diğer uygulamalarda da seçilen 22 nokta seçilmiş ve nokta bulutu üretilmiştir.

Sonuçlara bakıldığında 4 uygulama içinde GSD değeri 1,34 cm / 0.53 in olarak sonuçlanmıştır.

Yapılan prosesler sonucunda 4 yöntem içinde hata değerleri bulunmuştur. Değerler Çizelge 4. 8'de görülmektedir.

Çizelge 4.8 AltıncıYedinci Fotogrametrik Değerlendirme YKN ve KN Değerleri

Yöntem	Fotoğraf Sayısı	GSD	YKN			KN				
			Sayısı		3D RMS	Sayısı	RMS			
			Zemin	Bina			X	Y	Z	3D
Tüm Görüntüler_1	1622	1,34 cm / 0,53 in	0	9	4,2	22	4,1	5,8	3,7	8,0
Tüm Görüntüler_2	1618	1,33 cm / 0,53 in	9	0	3,4	22	2,9	6,2	9,6	11,8
Tüm Görüntüler_3	1622	1,34 cm / 0,53 in	9	6	6,6	22	3,8	6,7	8,2	11,2
Tüm Görüntüler_4	1622	1,34 cm / 0,53 in	5	4	5,2	22	3,1	7,4	8,0	11,4

Bu sonuçlara bakıldığında bir binanın fotogrametrik olarak 3 boyutlu modellenmesinde YKN seçiminin zeminde fazla olması doğruluğu arttırmamıştır. RMS error değerlerine bakıldığında 8,0 cm sonucunu veren uygulama zeminde hiç YKN seçilmeden bina üzerinde 9 adet YKN seçilerek yapılan proses ile en yüksek doğruluğa sahip uygulama olmuştur. Binada nokta seçiminin fazlalığı seçilen noktaların doğruluğu arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Fakat sadece zeminde seçim olan uygulamanın doğruluğu daha düşük çıkmıştır.

Tüm yöntemler incelendiğinde genellikle en doğru sonuçların elde edildiği zeminde hiç YKN seçilmeden tüm görüntülerin bina üzerine alındığı uygulamalar olduğu görülmüştür. Aynı şekilde en az doğruluğun olduğu sonuçlar ise sadece zeminde seçim olan görüntüler olmuştur.

5. SONUÇLAR

Aşağıdaki tabloda kullanılan yöntemler ve elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.

Çizelge 4.9 Fotogrametrik Değerlendirme KN Değerleri

Yöntem	KN Sayısı	RMS					
		X	Y	Z	3D	Ölçümler(cm)	Yüzde%
D90-H60-G1	22	4,7	3,4	5,2	7,8	8,4	65%
D90-H60-G2	22	3,6	4,4	6,8	8,9	10,8	70%
D90-H60-G3	22	3,9	4,3	4,3	7,2	4,2	65%
D90-H60-G4	22	4,0	4,1	4,6	7,3	3,4	65%
D45-H60-G1	22	4,6	4,3	4,0	7,4	4,7	50%
D45-H60-G2	22	3,6	4,8	6,4	8,8	3,7	50%
D45-H60-G3	22	3,7	4,7	5,1	7,9	2,2	50%
D45-H60-G4	22	3,8	4,9	4,3	7,5	3,0	50%
D45-H35_65_C1	22	3,0	4,4	3,3	6,3	2,4	90%
D45-H35_65_C2	22	3,0	4,6	4,3	7,0	3,5	90%
D45-H35_65_C3	22	3,4	4,2	4,0	6,7	1,7	90%
D45-H35_65_C4	22	3,3	4,2	3,5	6,4	2,9	90%
(D45-H60-G1) +(D45-H35_65_C1)	22	4,3	3,6	3,3	6,5	2,9	90%
(D45-H60-G2) +(D45-H35_65_C2)	22	3,6	4,3	4,8	7,3	2,9	90%
(D45-H60-G3) +(D45-H35_65_C3)	22	3,5	4,2	4,4	7,1	2,5	90%
(D45-H60-G4) +(D45-H35_65_C4)	22	4,0	4,4	4,0	7,2	2,4	90%
D45-H55_95_C1	22	4,0	3,3	3,5	6,2	4,3	90%
D45-H55_95_C2	22	3,3	3,9	5,8	7,7	3,3	90%
D45-H55_95_C3	22	3,3	3,7	4,8	6,9	3,7	90%
D45-H55_95_C4	22	3,3	3,7	4,0	6,4	3,3	90%
D35-H45_65-C1	22	4,2	3,3	3,1	6,1	3,1	90%
D35-H45_65-C2	22	3,5	4,2	5,5	7,7	2,6	90%
D35-H45_65-C3	22	3,1	4,5	4,8	7,3	1,8	90%
D35-H45_65-C4	22	2,7	4,5	4,5	6,9	2,8	90%
Tüm Görüntüler_1	22	4,1	5,8	3,7	8,0	3,0	90%
Tüm Görüntüler_2	22	2,9	6,2	9,6	11,8	3,2	90%
Tüm Görüntüler_3	22	3,8	6,7	8,2	11,2	2,9	90%
Tüm Görüntüler_4	22	3,1	7,4	8,0	11,4	2,5	90%

Çalışmanın amacı, İHA uçuşu ve değerlendirme yöntemleri kullanılarak İHA fotogrametri yöntemi ile en yüksek doğruluğa sahip üç boyutlu (3B) bina modelleme yöntemini tespit etmektir. Çalışma kapsamında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi 4 Eylül Kültür Merkezi binası ölçümlerde kullanılmıştır. Proje kapsamında GEOMINE Arge Yazılım firmasına ait İHA aracı ve GNSS donanımları kullanılmıştır. Çalışma için Cumhuriyet Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü'ne ait olan lazerli total station kullanılarak bina üzerinde köşe noktaları ölçülmüştür. Elde edilen veriler lisansı

GEOMINE Arge Yazılım firmasına ait PIX4D yazılımı kullanılarak işlenmiştir. Bina üzerinde Total Station ile ölçülen detay noktaları Kontrol Noktası olarak kullanılmış ve fotogrametrik değerlendirme sonrasında bu noktalara ait RMS değerleri elde edilmiştir. Her yöntem için elde edilen RMS değerleri de karşılaştırılarak doğruluk analizleri gerçekleştirilmiştir. Uçuşlarda DJI Matrice 600 Pro marka hekzakopter, Ronin MX Gimbal ve Sony A7R marka kamera (36 Megapiksel, 35mm odak uzaklığı) kullanılmıştır.

D45-H35_65 circle uçuş değerlendirmesine bakıldığında binanın fotogrametrik olarak 3 boyutlu modellenmesinde YKN seçiminin zeminde fazla olması duyarlılığı arttırmamıştır. RMS error değerlerine bakıldığında 6,3 cm sonucunu veren uygulama zeminde hiç YKN seçilmeden bina üzerinde 9 adet YKN seçilerek yapılan proses ile en yüksek duyarlılığa sahip uygulama olmuştur. Zeminde nokta seçmektense bina üzerinde seçilen noktaların duyarlılığı arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Bunun yanı sıra YKN'lerin zeminde ve binada eşit sayılarda seçilerek yapılan uygulamanın sonuçlarının da duyarlılığı yüksek çıkmıştır. Fakat zeminde daha fazla bina da daha az olan uygulamanın duyarlılığı daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

D90-H60 grid uçuş yöntemi değerlendirildiğinde RMS error değeri 7,2 cm olan uygulama 9 adet YKN zeminde, bina üzerinde 6 adet YKN seçilerek yapılan proses ile en yüksek duyarlılığa sahip uygulama olmuştur. Bu grid uçuş yöntemi için zeminde ve bina üzerinde nokta seçiminin duyarlılığı arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. YKN'lerin zeminde ve binada yakın sayılarda seçilerek yapılan uygulamanın sonuçlarının duyrlılığı yüksek olarak tespit edilmiştir. Sadece zeminde seçim olan uygulamanın duyarlılığı daha düşük tespit edilmiştir.

D45-H60 grid uçuş ile elde edilen görüntüler kullanılarak yapılan işlemler sonucunda YKN seçiminin zeminde fazla olması duyarlılığı arttırmamıştır. RMS error değerlerine bakıldığında 7,4 cm sonucunu veren uygulama zeminde hiç YKN seçilmeden bina üzerinde 9 adet YKN seçilerek yapılan proses ile en yüksek duyarlılığa sahip uygulama olmuştur. Binada nokta seçiminin fazlalığı seçilen noktaların duyarlılığı arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Bunun yanı sıra YKN'lerin zeminde ve binada eşit sayılarda seçilerek yapılan uygulamanın sonuçlarının da duyarlılığı yüksek olarak tespit edilmiştir. Sadece zeminde seçim olan uygulamanın duyarlılığı daha düşük tespit edilmiştir.

D45-H60 grid uçuş ve D45-H35_65 circle uçuş ile elde edilen görüntülerin tümü ile yapılan işlemler sonucunda oluşturulan modellemelerde ki RMS error değerlerine bakıldığında 6,5 cm sonucunu veren uygulama zeminde hiç YKN seçilmeden bina üzerinde 9 adet YKN seçilerek yapılan proses ile en yüksek duyarlılığa sahip uygulama olmuştur. Binanın fotogrametrik olarak 3 boyutlu modellenmesinde YKN seçiminin zeminde fazla olması duyarlılığı arttırmamıştır. Bunun yanı sıra YKN'lerin zeminde ve binada eşit sayılarda seçilerek yapılan uygulamanın sonuçlarının da duyarlılığı yüksek olarak tespit edilmiştir. Sadece zeminde seçim olan uygulamanın duyarlılığı daha düşük belirlenmiştir.

D45-H55_95 circle uçuş ile oluşturulan 3 boyutlu modellemelerde RMS error değerleri karşılaştırıldığında 6,2 cm sonucunu veren uygulama zeminde hiç YKN seçilmeden bina üzerinde 9 adet YKN seçilerek yapılan proses ile en yüksek duyarlılığa sahip uygulama olmuştur. Binada nokta seçimi duyarlılığı arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Bunun yanı sıra YKN'lerin zeminde ve binada eşit sayılarda seçilerek yapılan uygulamanın sonuçlarının da duyarlılığı yüksek çıkmıştır. Fakat sadece zeminde seçim olan uygulamanın duyarlılığı daha düşük çıkmıştır.

D35-H45_65 circle uçuş ile gerçekleştirilen yöntemlerle üretilen 3 boyutlu bina modellemesinde YKN seçiminin bina üzerinde fazla olması duyarlılığı arttırmıştır. RMS error değerlerine bakıldığında 6,1 cm sonucunu veren uygulama zeminde hiç YKN seçilmeden bina üzerinde 9 adet YKN seçilerek yapılan proses ile en yüksek duyarlılığa sahip uygulama olmuştur. Fakat sadece zeminde seçim olan uygulamanın duyarlılığı daha düşük çıkmıştır.

Tüm Görüntüler kullanılarak yapılan çalışmada elde edilen tüm grid uçuşlardan ve tüm circle uçuşlardan elde edilen görüntülerin hepsi kullanılarak fotogrametrik değerlendirme yapılmıştır. Üretilen 3 boyutlu bina modellemelerine bakıldığında YKN seçiminin zeminde fazla olması duyarlılığı düşürmüştür. RMS error değerlerine bakıldığında 8,0 cm sonucunu veren uygulama zeminde hiç YKN seçilmeden bina üzerinde 9 adet YKN seçilerek yapılan proses ile en yüksek duyarlılığa sahip uygulama olmuştur. Binada nokta seçiminin fazlalığı seçilen noktaların duyarlılığı arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Fakat sadece zeminde seçim olan uygulamanın duyarlılığı daha düşük çıkmıştır.

Tüm yöntemler incelendiğinde genellikle en hassas sonuçların elde edildiği zeminde hiç YKN seçilmeden tüm görüntülerin bina üzerine alındığı uygulamalar olduğu tespit

edilmiştir. Duyarlılığın en az olduğu sonuçlar ise sadece zeminde seçim olan görüntüler olmuştur.

RMS'ler dışında bina üzerinden lazer metre kullanılarak bina yüzeyinden alınan ölçümler ile üretilen nokta bulutundaki yüzeylerin de ölçümleri karşılaştırılmıştır ve yüzde oranları hesaplanarak doğruluk analizi yapılmıştır. Nokta bulutunda tüm yüzeyler modellenememiştir bu sebeple ölçülen yüzeylerin hepsinin görülmediğinden görünen yüzeyler ile değerlendirilmiştir. Yüzde oranları değerlendirilebilen yüzeylerin oranıdır. Bu sonuçlara bakıldığında circle uçuşlarda nokta bulutu üretiminin daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Nokta bulutundan ölçülen ile metreyle ölçülen değerler karşılaştırıldığında ise circle uçuşlardaki zeminden 9 adet binadan 6 adet YKN kullanılarak yapılan yöntemlerin 1,7 ve 1,8 cm hata ile diğerlerine göre daha doğru sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Tüm yöntemler ve çıkan sonuçlar karşılaştırıldığında ise circle uçuşların kullanıldığı yöntemler grid uçuşların kullanıldığı yöntemlere göre daha doğru sonuçlar vermiştir ve sadece zeminde YKN seçiminin en az doğrulukta olduğu bina üzerinden YKN seçiminin doğruluğu arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F. ve Martínez-Carricondo, P. (2017). Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation ground control points number using unmanned aerial vehicle*, Measurement,* 98, 221–227.

Aicardi, I., Chiabrando, F., Grasso, N., Lingua, A. M., Noardo, F. ve Spanò, A. (2016). Uav Photogrammetry With Oblique Images: First Analysis On DataAcquisition And Processing. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,* XLI-B1, XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016.

Akan, S. Bayram, İ. Çam, Y. Kacar, H. (2014). İnsansız Hava Araçlarının Sivil havacılıkta Kullanımı. *Erciyes Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu,* (Bitirme Tezi). Kayseri.

Akay, S. S., Özcan, O., Şanlı, F. B., Bayram, B. ve Görüm, T. (2019). İHA görüntülerinden üretilen verilerin doğruluk değerlendirmesi, *10. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Teknik Sempozyumu, TUFUAB 2019*, 106-110.

Akyürek, S. (2012). İnsansız hava araçları: Muharebe alanında ve terörle mücadelede devrimsel dönüşüm. Ankara: *BİLGESAM.*

Altun, A. T. (2019). İnsansız hava araçları verilerinden üretilen ortogörüntülerin geometrik doğruluğunun incelenmesi. *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.* (Yüksek Lisans Tezi). Sivas.

Atak, H. (2018). İnsansız hava araçları kullanarak ortomozaik harita üretimi ve doğruluk analizleri. *Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.* (Yüksek Lisans Tezi). Gebze.

Avdan, U., Şenkal, E., Çömert, R. ve Tuncer, S. (2014). İnsansız hava aracı ile oluşturulan verilerin doğruluk analizi. 5. *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2014),* 14-17.

Barba, S., Barbarella, M., Di Benedetto, A., Fiani, M., Gujski, L. ve Limongiello, M. (2019). Accuracy assessment of 3D photogrammetric models from an unmanned aerial vehicle, *Drones,* 3, 4, 79.

Barton, M. (2006, 11 Aralık). A review of malcolm evans "3D Monster Maze" (1981). *http://www.armchairarcade.com/neo/node/977 (Erişim tarihi: 08.04.2018)*

Baştürk, R. (2015). Kolluk kuvvetlerinin istihbarat temininde başvurabileceği insansız hava araçları (İHA) ve bu açıdan uygun İHA özelliklerinin araştırılması**.** *Harp Akademileri, Stratejik Araştırmalar Enstitüsü* **(**Yüksek Lisans Tezi**)**, İstanbul.

Bemis, S. P., Micklethwaite, S., Turner, D., James, M. R., Akciz, S., T. Thiele, S., & Bangash, H. A. (2014). Ground-based and UAV-Based photogrammetry: A multi-scale, high-resolution mapping tool for structural geology and paleoseismology. *Journal of Structural Geology*. Elsevier Ltd.

Boy, O. & Saraloğlu, S. S. (2016). Yer kontrol noktaları kullanılmadan İHA'lar ile hangi doğruluk seviyesinde haritalama yapılabilir? *UASTÜRK*.

Chen, B., Pan, B. (2020). Camera calibration using synthetic random speckle pattern and digital image correlation. *Opt Laser Eng,* 126, 105919.

Cho D-H, Ha J-S, Lee S, Moon S, Choi H-L. (2018). Informative path planning and mapping with multiple uavs in wind fields. In: *Distributed Autonomous Robotic Systems. Eds: Springer,* p. 269-83.

Cohn, D. (2010, 1 Aralık). Evolution of Computer-Aided Design. *Digital Engineering. http://www.digitaleng.news/de/evolution-of-computer-aided-design/ (Erişim tarihi: 08.04.2018)*

Collier, O. (2002). The impact on topographic mapping of developments in land and air survey: 1900-1939, *Cartography and Geographic Information Science,* 29, 3, 155-174.

Colomina, I. & Molina, P. (2014). Unmanned Aerial Systems for Photogrammetry and Remote Sensing: A Review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79-97.

Çallı, R. (2021). İHA sistemleri ile elde edilen ortomozaik haritaların doğruluk değerlendirmesi. *Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.* (Yüksek Lisans Tezi). Tokat.

Çaşkurlu, T. H. (2021). Bina rölevesi kapsamında yersel lazer tarama ve insansız hava araçları yardımıyla üretilen verilerin doğruluk analizi. *İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul.

Çetin, O. (2019). Hava fotoğrafları ve insansız hava aracı görüntülerinden arazi topoğrafyası ölçümü, sonuçların analizi ve karşılaştırması (Haymana Yeşilyurt köyü uygulaması). *Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.* (Yüksek Lisans Tezi). Konya.

Çoban, S., Oktay, T. (2018). Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) According to Engine Type. *Journal of Aviation,* 2, 2, 177-84.

Çömert, R., Avdan, U. ve Şenkal, E. (2012). İnsansız Hava Araçlarının kullanım alanları ve gelecekteki beklentiler. *IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012), 16-19 Ekim 2012,* Zonguldak

Deliry, S. I. (2020). Mühendislik ölçmelerinde İHA fotogrametrisi ve SfM'nın doğruluk analizi ve değerlendirilmesi. *Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.* (Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir.

Demirbaş, A. M., İnan, B., Damyanlı, E. C., Karaman, O., Nurten, M. C., Gönül, E., Karpat, E. & Karpat F. (2021). Kargo taşıma için insansız hava aracı. *Mühendis ve Makina Güncel Dergisi,* (p. 29).

Eisenbeiss, H. (2009). UAV Photogrammetry. *University of Technology Dresden ETH Zuric*h. (Doktora Tezi). Switzerland.

Eisenbeiß, H., Zurich, E. T. H., Eisenbeiß, H., & Zürich, E. T. H. (2009). UAV photogrammetry. *Institute of Photogrammetry and Remote Sensing* (p. 201).

Elliott, S. D. ve Miller, P. L. (1997). 3D studio release *4.* (1. Baskı). (Çev: A. Türkmen, A. Halaç, L. Gözgücü), A. Halaç (Ed.), Ergin Tezer (T.D.). *İstanbul: Sistem Yayıncılık.*

Erdoğan, A. (2016). Şeritvari haritaların insansız hava araçları ile üretimi. *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı.* (Yüksek Lisans Tezi). Konya.

Ergün, B. (2018). Sayısal Fotogrametri Dersi Ders Notları. *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü,*

(https://abl.gtu.edu.tr/hebe/AblDrive/74611106/w/Storage/106_2010_2_521_74611106/Downloads/jfm-521saysal-fotogrametri-dersiders-notlar.pdf)

Fahlstrom, P., Gleason, T. (2012). Introduction to UAV systems, *John Wiley & Sons, p.*

Feng, Q., Liu, J. ve Gong, J. (2015). UAV Remote Sensing for urban vegetation mapping using random forest and texture analysis, *Remote Sensing,* 7, 1074-1094.

Gençerk, E. Y. (2016). İnsansız hava aracı fotogrametrisi uygulaması ile inşaat projesi imalat durumunun araştırılması. *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı.* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul.

Greenwood, W. W., Lynch, J. P. ve Zekkos, D. (2019). Applications of UAVs in Civil Infrastructure, *Journal of Infrastructure Systems,* 25, 2, 04019002.

Honkavaara, E., Saari, H., Kaivosoja, J., Pölönen, I., Hakala, T., Litkey, P., Mäkynen, J. ve Pesonen, L. (2013). Processing and assessment of spectrometric, stereoscopic ımagery collected using a lightweight uav spectral camera for precision agriculture, *Remote Sensing,* 5, 5006–5039.

ICAO, (2011). Unmanned Aircraft Systems (UAS), *International Civil Aviation Organization.*

Kahveci, M. ve Can, N. (2017). İnsansız hava araçları: tarihçesi, tanımı, dünyada ve türkiye'deki yasal durumu. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi,* 5 (4), 511-535

Kapıcıoğlu, H. S. (2019). İnsansız hava aracı fotogrametrisinde yer kontrol noktalarının konum doğruluğuna etkisinin incelenmesi. *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* (Yüksek Lisans Tezi), Sivas.

Kara, B. C. (2018). İnsansız hava aracı fotogrametrisi ile alansal deformasyonların izlenebilirliğinin araştırılması. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), Sivas.

Karkınlı, A. E., Kesikoğlu, A., Kesikoğlu, M.H., Atasever, U.H., Özkan, C., Çivicoğlu, P. ve Beşdok, E. (2015). İnsansız hava araçları ile sayısal arazi modeli üretimi, *TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu,* 21-23 Mayıs, Konya.

Kılınçoğlu, D. B. (2016). Farklı insansız hava araçları ile elde edilen görüntülerin otomatik fotogrametrik yöntemlerle değerlendirilmesi ve doğruluk analizi. *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı.* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul.

Kolláth, Z., Cool, A., Jechow, A., Kolláth, K., Száz, D., Tong, K.P. (2020). Introducing the Dark Sky Unit for multi-spectral measurement of the night sky quality with commercial digital cameras. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer,* 107162.

Konecny, G. (2003). Geoinformation remote sensing, photogrammetry and Geographic Information Systems, *Taylor and Francis, Londra,* 126-157.

Korkmaz, Y., İyibilgin, O. & Fındık, F. (2016). Geçmişten Günümüze İnsansız Hava Araçlarının Gelişimi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 20(2), 103-109.

Lai, X., Yang, J., Li, Y. ve Wang, M. (2019). A building extraction approach based on the fusion of LiDAR point cloud and elevation map texture features. *Remote Sensing,* 11(14), 1-18.

Lansdown, J. (1997). Some trends in computer graphic art. S. Mealing (Ed.) *Computers & art* içinde (s. 11- 21). İngiltere: Intellect Books.

Lichti, D.D., Jarron, D., Shahbazi, M., Helmholz, P., Radovanovic, R. (2019). Investigation into the behaviour and modelling of chromatic aberrations in non-metric digital cameras. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 99-106.

Lieser, W. (2009). Digital art. *Köln: H.F. Ullmann.*

Ligon, S. (2010). Digital art revolution: creating fine art with photoshop. (1. Baskı). *New York: Watson-Guptill.*

Lopes, D. M. (2010). A philosophy of computer art. *London: Routledge.*

Macharet, D.G., Campos, M.F. (2018). A survey on routing problems and robotic systems. *Robotica*, 36, 12, 1781-803.

Maestri, G. (1999). Digital character animation *2.* (1. Baskı). *İndianapolis: New Riders.*

Makineci, H.B. (2016). İnsansız Hava Araçları Lidar Etkileşimi. *Geomatik,* 1, 1, 19-23.

Marullo, S., Patsaeva, S. ve Fiorani, L. (2018). Remote sensing of the coastal zone of the European seas. *International Journal of Remote Sensing*, 39(24), 9313-9316.

Máthé, K. ve Buşoniu, L. (2015). Vision and control for UAVs: A survey of general methods and of inexpensive platforms for infrastructure inspection, *Sensors,* 15, 7, 14887-14916.

Maxim, A., Lerke., O., Prado, M., Dörstelmann, M., Menges, A., Schwieger, V. (2017). UAV Guidance with Robotic Total Station for Architectural Fabrication Processes. *Unmanned Aerial Vehicles; Wißner-Verlag: Augsburg, Germany,* 145-61.

Meşeli, İ. (2014, 19 Ocak). CAD Yazılım Tarihi, 1960'lar. İlkaymeseli.com: Bir mühendisin hayatına dair herşey... *http://www.ilkaymeseli.com/2014/01/cad-yazilim-tarihi-1960lar/ (Erişim tarihi: 01.04.2018)*

Morgenthal, G., Hallermann, N., Kersten, J., Taraben, J., Debus, P., Helmrich, M. ve Rodehorst, V. (2019). Framework for automated UAS-based structural condition assessment of bridges, *Automation in Construction,* 97, 77-95.

Mualla, Y., Najjar, A., Galland, S., Nicolle, C., Tchappi, I. H., Ansar-Ul-Haque Y. ve Främling, K. (2019). Between the megalopolis and the Deep Blue Sky: Challenges of Transport with UAVs in Future Smart Cities. *In AAMAS,* 1649-1653.

Mukhamediev, R. I., Symagulov, A., Kuchin, Y., Zaitseva, E., Bekbotayeva, A., Yakunin, K.& Tabynbaeva, L. (2021). Review of Some Applications of Unmanned Aerial Vehicles Technology in the Resource-Rich Country. *Applied Sciences*, *11*(21), 10171.

Murtiyoso, A., Koehl, M., Grussenmeyer, P. ve Freville T. (2017). Acquisition And Processing Protocols For Uav Images:3d Modeling Of Historical Buildings Using Photogrammetry. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote*

Sensing and Spatial Information Sciences, IV-2/W2, 26th International CIPA Symposium 2017, 28 August–01 September 2017, Ottawa, Canada

Nagendran, S. K., Tung, W. Y. ve Ismail, M. A. M. (2018). Accuracy assessment on low altitude UAV-borne photogrammetry outputs influenced by ground control point at different altitude, *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,* 169, 1, 012031.

Nake, F. (2012). Construction and intuition: creativity in early computer art.J. McCormack ve M. D'Inverno (Editörler), *Computers and creativity* içinde (s. 64). Berlin: Springer.

Newhall, B. (1969). Airborne camera: The world from the air and outer space, *Hasting House, Trowbridge & London,* (p. 144).

Nex, F., Duarte, D., Steenbeek, A., Kerle, N. (2019). Towards real-time building damage mapping with low-cost UAV solutions. *Remote Sens-Basel,* 11, 3, 287.

Oleksik, P. (2018, 26 Mart). An Evening of Computer Films with Ken Knowlton. Screen Slate. *https://www.screenslate.com/features/764 (Erişim tarihi: 04.04.2018)*

Özcan, O. (2017). İnsansız hava aracı (İHA) ile farklı yüksekliklerden üretilen sayısal yüzey modellerinin (SYM) doğruluk analizi. *Mühendislik ve Yer Bilimleri Dergisi,* 2, 1, 1-7.

Öztürk, A. (2010). Hava fotoğraflarının sensör yöneltme modelleri ve geleneksel modeller kullanılarak yöneltilmesi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı.* (Yüksek Lisans Tezi). Trabzon.

Öztürk, O., Bilgilioğlu, B. B., Çelik, M. F., Bilgilioğlu, S. S. ve Uluğ, R. (2017). İnsanız Hava Aracı (İHA) görüntüleri ile ortomozaik üretiminde yükseklik ve kamera açısının doğruluğa etkisinin araştırılması*, Geomatik,* 2, 3, 135-142.

Polat, N., & Uysal, M. (2020). An investigation of tree extraction from UAV-based photogrammetric dense point cloud. *Arabian journal of geosciences,* 13(17), 846.

Przybilla, H. J. & Wester-Ebbinghaus, W. (1979). Bildflug mit ferngelenktem Kleinflugzeug. *Bildmessung und Luftbildwesen, Zeitschrift fuer Photogrammetrie und Fernerkudung*, 47, 5, 137-142.

Quaritsch, M., Kruggl, K., Wischounig-Strucl, D., Bhattacharya, S., Shah, M. ve Rinner, B. (2010). Networked UAVs as aerial sensor network for disaster management applications, *Elektrotechnik und Informationstechnik,* 127, 3, 56-63.

Raczynski, R. J. (2017). Accuracy analysis of products obtained from UAV-borne photogrammetry influenced by various flight parameters. *Norwegian University of Science and Technology, Department of Civil and Environmental Engineering.* (Yüksek Lisans Tezi). Norveç.

Rango, A., Laliberte, A., Steele, C., Herrick, J. E., Bestelmeyer, B., Schmugge, T., Roanhorse, A. ve Jenkins, V. (2006). Using unmanned aerial vehicles for rangelands: current applications and future potentials. *Environmental Practice,* 8, 3, 159-168.

Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M. ve Sarazzi D. (2011). Uav Photogrammetry For Mappıng And 3d Modeling– Current Status And Future Perspectives. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,* XXXVIII-1/C22, ISPRS Zurich 2011 Workshop

Rizo-Maestre C, González-Avilés Á, Galiano-Garrigós A, Andújar-Montoya M.D, Puchol-García J.A. (2020). UAV BIM: Incorporation of Photogrammetric Techniques in Architectural Projects with Building Information Modeling Versus Classical Work Processes+. *Remote Sens-Basel,* 12, 14, 2329.

Rosnell, T., Honkavaara, E., Nurminen, K. (2011). On geometric processing of multi-temporal image data collected by light UAV systems. Int. Arch. *Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci,* 38, 1-6.

Rossi, G., Tanteri, L., Tofani, V., Vannocci, P., Moretti, S. ve Casagli, N. (2018). Multitemporal UAV surveys for landslide mapping and characterization, *Landslides,* 15, 5, 1045-1052.

Sadeq, H. A. (2019). Accuracy assessment using different UAV image overlaps. *Journal of Unmanned Vehicle Systems,* 7, 3, 175-193.

Samad, A.M, Kamarulzaman N, Hamdani, M.A., Mastor, T.A., Hashim, K.A. (2013). The potential of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for civilian and mapping application. *2013 IEEE 3rd International Conference on System Engineering and Technology,* 313-8.

Saripalli, S., Montgomery, J. F. ve Sukhatme, G. S. (2003). Visually guided landing of an unmanned aerial vehicle. *IEEE Transactions on Robotics and Automation,* 19, 3, 371-380.

Saygılı, B. (2019). İnsansız hava aracı ile fotogrametrik olarak üretilen verilerin konum doğruluklarının araştırılması. *Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.* (Yüksek Lisans Tezi). Zonguldak.

Schenk, T. (2005). Introduction to photogrammetry, The Ohio State University, *Columbus,* 106, USA.

Seki, M. (2017). İnsansız hava araçlarının hacim hesaplarında kullanılabilirliği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.* (Yüksek Lisans Tezi). Afyon.

Selek, E. (2019). İHA ile üretilmiş ortomozaik, sayısal arazi ve yüzey modeli performanslarının incelenmesi: Bursa ili örneği. *Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.* (Yüksek Lisans Tezi). Zonguldak.

SHT-İHA. (2016). İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı, *Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü,* Ankara.

Sidek, F. K. ve Ahmad, A. (2008). Development of mapping procedures using digital imagery derived from unmanned aerial vehicle system. *PWTC, Kuala Lumpur, Malaysia.*

Südor, S. (2019). Üç boyutlu modelleme bilgisinin Unity programı öğrenimine katkısı. *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 10 (2), 126 – 134.

Şenkal, E. (2018). İnsansız Hava Aracı ile elde edilen görüntülerden üretilen ortomozaik ve sayısal yüzey modellerinin doğruluğunun araştırılması. *Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.* (Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir.

Tjahjadi, M.E., Agustina, F.D., Rokhmana, C.A. (2019). Assessing stability performance of non-metric camera's lens distortion model during UAV flight missions. *KnE Engineering,* 345–54-–54.

Topal, A. & Akpınar, M. (2021). Hale Sınıfı İnsansız Hava Aracı Teknolojisi ve Konvansiyonel (Geleneksel) Savaştaki Yeri. Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 3 (1), 17-22. doi:10.51534/tiha.893764

Toprak, A. S. (2014). Fotogrametrik tekniklerin İHA ile mühendislik projelerinde kullanılabilirliğinin araştırılması. *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı,* (Yüksek Lisans Tezi). Konya.

Torun, A. (2017). İnsansız hava aracı (İHA) sektörü ve İHA fotogrametrisinin ölçme bağlamında konumlandırılması. *16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*.

Tuğal, S. A. (2018). *Oluşum süreci içinde dijital sanat*. (1. Baskı). *İstanbul: Hayalperest Yayınevi.*

Ulvi, A. (2021). İHA fotogrametrisine genel bakış: Geleneksel topoğrafik harita yapımı tekniği ile maliyet karşılaştırması. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (1), 458-471.

Url-1 <https://asauas.com/mapping/rtk-ppk-gcp/>, alındığı tarih: 24.04.2022

Url-2 <http://what-when-how.com/wp-content/uploads/2012/06/tmp49c617_thumb.png> Erişim Tarihi:24.12.2017

Url-3 <https://www.scan2cad.com/cad/cad-evolved-since-1982/> Erişim tarihi: 08.04.2018

Url-4 <http://gfxspeak.com/2017/07/24/keynote-siggraph-pioneers/> Erişim Tarihi:04.04.2018

Url-4 <https://www.jeffreyshawcompendium.com/portfolio/golden-calf/> Erişim Tarihi:04.04.2018

Uysal, E. (2018). Sayısal fotogrametrik üretimler için yürürlükteki uluslararası doğruluk kriterlerinin incelenmesi. *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.* (Yüksek Lisans Tezi). Konya.

Uysal, M., Toprak, A. S. ve Polat, N. (2015). DEM generation with UAV photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler hill, *Measurement,* 73, 539-543.

Uysal, M., Toprak, A.S. ve Polat, N. (2013). Photo Realistic 3d Modeling With Uav: Gedik AhmetPashabmosque In Afyonkarahisar. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,* XL-5/W2, XXIV International CIPA Symposium, 2 – 6 September 2013, Strasbourg, France.

Wands, B. (2006). Art of the digital age. (1. Baskı). *London: Thames & Hudson.*

Wester-Ebbinghaus, W. (1980). Aerial Photography by radio controlled model helicopter. *The Photogrammetric Record*, 10, 55, 85-92.

Whittlesley, J. H. (1970). Tethered Balloon for Archaeological Photos. *Photogrammetric Engineering*, 36, 2, 181-186.

Vacca, G., Furfaro, G. ve Dessì, A. (2018). The Use Of The Uav Images For The Building 3d Model Generation. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,* Volume XLII-4/W8, FOSS4G 2018 – Academic Track, 29–31

Vacca, G., Dessì, A. ve Sacco, A. (2017). The Use of Nadir and Oblique UAV Imagesfor Building Knowledge. *ISPRS Int. J. Geo-Inf*. 6, 393

Xiang J, Chen J, Sofia G, Tian Y, Tarolli P. (2018). Open-pit mine geomorphic changes analysis using multi-temporal UAV survey. *Environ Earth Sci*, 77, 6, 220.

Yaşalan, A., Uysal, M., Varlık, A. & Avdan, U. (2018). Fotogrametri. *Anadolu Üniversitesi Yayını No: 2295,* Eskişehir.

Yıldız, F. (2010). Dijital (Sayısal) fotogrametri teknolojisi, *Cebit Bilişim Zirvesi, 08 Ekim 2010,* İstanbul.

Yılmaz, H. M., Mutluoğlu, Ö., Ulvi, A., Yaman, A. ve Bilgilioğlu, S. S. (2018). İnsansız hava aracı ile ortomozaik üretimi ve Aksaray Üniversitesi kampüsü örneği, *Geomatik,* 3, 2, 129-136.

Yılmaz, H.M., Mutluoğlu, Ö., Ulvi, A., Yaman, A., Bilgilioğlu, S. (2018). *İnsansız hava aracı ile ortofoto üretimi ve Aksaray Üniversitesi kampüsü örneği.* 3, 2, 103-10.

Yılmaztürk, F. (2016). Fotogrametri Ders Notları, *Sektör Harita Yayıncılık.*