

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİNA MODELLEME ÇALIŞMALARINDA
İHA-0 KULLANIMI VE MODEL DETAY
DOĞRULUĞU ANALİZİ

FUAT BUĞRA İDRİSOĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
JEODEZİ VE COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİ PROGRAMI

GEBZE
2021

**T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİNA MODELLEME
ÇALIŞMALARINDA İHA-0 KULLANIMI
VE MODEL DETAY DOĞRULUĞU
ANALİZİ**

**FUAT BUĞRA İDRİSOĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
JEODEZİ VE COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMANI
DOÇ. DR. BAHADIR ERGÜN**

**GEBZE
2021**

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

USING UAV-0 IN BUILDING MODELING
STUDIES AND MODEL DETAIL
ACCURACY ANALYSIS

FUAT BUĞRA İDRİSOĞLU

A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE

DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING
GEODETIC AND GEOGRAPHIC INFORMATION TECHNOLOGIES PROGRAM

THESIS SUPERVISOR
DOÇ. DR. BAHADIR ERGÜN

GEBZE

2021



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve/..... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından/...../..... tarihinde tez savunma sınavı yapılan'ın tez çalışmasıAnabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE
(TEZ DANIŞMANI) :

ÜYE :

ÜYE :

ONAY

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

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Mobil haritalama yöntemleri, 1980'li yılların sonlarından itibaren araştırılmaya ve geliştirilmeye başlanmış ve özellikle de son yıllarda birçok çalışmaya konu olmuştur. Mobil haritalama yöntemlerinden biri olan İnsansız Hava Araçları (İHA) ile 3 boyutlu bina modellemenin de fotogrametri alanında kullanımı son zamanlarda yaygınlaşmıştır. Fotogrametrik uygulamalarda İnsansız Hava Araçları, maliyet ve zaman tasarrufu sağlamasıyla beraber, riskli durumlarda insan hayatını tehlikeye atmadan kullanılabilir olması ve yüksek konumsal doğruluğa sahip sonuç ürünler elde edilebilmesinden dolayı sıklıkla tercih edilmektedir. Teknolojinin gelişmesine bağlı olarak verilerin toplanması, analizi, işlenmesi ve görsel olarak sunulabilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır ve bu ihtiyaç doğrultusunda Ayrıntı Düzeyi [Level of Detail-LoD] kavramı önem kazanmıştır. CityGML LoD standartları ile görsel sunumların performansının artırılması, objelerin geometrik olarak karmaşık yapılarının azaltılarak, modelin istenilen detay seviyesinde bilgisayar ortamında hızlı olarak kullanıcı tarafından görüntülenmesi sağlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında da üretilen 3B modelin doğruluk analizinin farklı detay seviyelerinde belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanı olarak Ümraniye Hekimbaşı Av Köşkü belirlenmiş, yersel yöntemler ve İnsansız Hava Aracı kullanılarak çekilen 418 adet fotoğraf üzerinden LoD 0-1-2-3 seviyelerinde çizimler oluşturulmuştur. Aynı detay seviyelerinde yapılan çizimler aracılığıyla oluşturulan 3B modeller, konumsal olarak ve cephe detay ölçümleri açısından karşılaştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda ise İHA'lar ile üretilen yüksek çözünürlüklü bina modellerinin LoD 0-1-2-3 seviyelerinde konumsal olarak ve cephe detay karşılaştırmalarında istenilen hassasiyetlerde doğruluk içerdiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İHA, Detay Seviyesi, LoD, 3 Boyutlu Modelleme, Mobil Haritalama, CityGML.

SUMMARY

Mobile mapping methods have been researched and developed since the late 1980s and have been the subject of many studies, especially in recent years. The use of 3D building modeling in photogrammetry with UAV, which is one of the mobile mapping methods, has recently become widespread. In photogrammetric applications, UAVs are often preferred because they provide cost and time savings, can be used in risky situations without endangering human life, and result products with high spatial accuracy can be obtained. Due to the development of technology, the need for data collection, analysis, processing, and visual presentation has emerged, and the concept of Level of Detail (LoD) has gained importance in line with this need. With CityGML LoD standards, the performance of visual presentations is increased, the geometrically complex structures of the objects are reduced, and the model can be viewed by the user in the computer environment at the desired level of detail. Within the scope of this study, it is aimed to determine the accuracy analysis of the 3D model produced at different levels of detail. Ümraniye Hekimbaşı Hunting Lodge was determined as the study area, and drawings were created at LoD 0-1-2-3 levels from 418 photographs taken using ground methods and UAVs. As a result of this study, it was concluded that the high-resolution building models produced with UAVs contain accuracy at the desired sensitivity in terms of positional and facade detail comparisons at LoD 0-1-2-3 levels.

Key Words: UAV, Level of Detail, LoD, 3D Modelling, Mobil Mapping, CityGML.

TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisansa başladığım ilk günden son güne bana yol gösteren, sabırla dinleyen ve yönlendiren, vakit gözetmeden zaman ayıran, beni araştırmaya ve kendimi geliştirmeye teşvik eden danışman hocam Sayın Doç. Dr. Bahadır ERGÜN'e,

Bu süreçte bana yardımcı olan, desteğini hep hissettiğim sevgili çalışma arkadaşlarım Ümraniye Belediyesi Üstyapı Şefi Müjdat KARAÇÖL ve Teknik Ekibine,

Hayatımın her alanında bana sevgisi, sabrıyla destek olan ve hep yanımda duran, tez sürecime de akademik tecrübesi ile katkı sağlayan Sevgili Eşim Özge İDRİSOĞLU'na ve bu süreçte doğumunu heyecanla beklediğimiz oğlum Ekin Uras İDRİSOĞLU'na,

Son olarak, hakkını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim annem Zeliha ve babam Haşim İDRİSOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. MOBİL HARİTALAMA NEDİR? ve MODİL HARİTALAMADA İHA KULLANIMI	2
2.1. İHA'ların Genel Yapısı, Gelişim Süreci ve Kullanım Alanları	2
2.2. İHA(UAV) Fotogrametrisi	5
2.3. İHA ile 3B Bina Modelleme	13
2.4. İHA Fotogrametrisinin Avantajları ve Dezavantajları	14
3. 3 BOYUTLU BİNA MODELLEMEDE AYRINTI DÜZEYİ (LoD) KAVRAMI	17
3.1. CITYGML [City Geography Markup Language] 3 Boyutlu Modelleme Standartları	18
3.2. CITYGML LoD Kavramına Farklı Yaklaşımlar ve CITYGML	25
3.2.1. LoD Kavramında Karşılaşılan Zorluklar	25
4. UYGULAMA	31
5. SONUÇ ve GELECEĞE YÖNELİK TARTIŞMALAR	58
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	65

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kısaltmalar</u>	
BKN	: Bina Kontrol Noktası
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
cm	: Santimetre
DAM (DTM)	: Dijital Arazi Modeli (Digital Terrain Model)
DTM	: Digital Terrain Model
GML	: Geography Markup Language
GNSS	: Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri
GPS	: Küresel Konum Belirleme Sistemi
IMU	: Inertial Measurement Unit: İç Ölçüm Ünitesi
INS	: Inertial Navigation System; Atalet Seyrüsefer Sistem
İHA(UAV)	: İnsansız Hava Aracı (Unmanned Air Vehicle)
LIDAR	: Lazer ile Tarama ve Ölçüm
LoD	: Detay Seviyesi (Level of Detail)
m	: Metre
OGC	: Open Geospatial Consortium
PCS	: Konum ve Yönlendirme Bilgisayar Sistemi
RTK	: Gerçek Zamanlı Kinematik
SAM	: Sayısal Arazi Modeli
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
XML	: Genişletilebilir İşaretleme Dili
YKN	: Yer Kontrol Noktası

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: İHA'ların tarihsel gelişimine örnekler.	3
2.2: Temel İHA yapısı.	4
2.3: İHA ile Ortofoto üretimi iş akışı.	7
2.4: Multikoptere monte edilmiş olan Canon EOS 650D Sayısal Fotoğraf Makinesi ve Multikopter.	10
2.5: Sabit kanatlı İHA.	10
3.1: CityGML' de Modelleme Yapısı.	19
3.2: LoD seviyeleri.	21
3.3: LoD Seviyeleri.	22
3.4: Ayrıntı düzeylerine göre harita görünümü sıralaması.	23
3.5: Bina modelinin farklı ayrıntı düzeylerindeki gösterimi.	23
3.6: Geometrik yükseklik referansları.	24
3.7: Farklı LoD seviyeleri önerileri.	27
4.1: Çalışma alanı.	32
4.2: Yer kontrol noktaları.	36
4.3: Bina kontrol noktaları.	36
4.4: Yer kontrol noktası.	37
4.5: Program üzerinden oluşturulan uçuş rotaları ve uçuş planlaması.	38
4.6: Uygulama anı.	39
4.7: İş akış diyagramı.	40
4.8: Hava fotoğraflarının yüklenmesi ve koordinat sisteminin seçimi.	41
4.9: Kalibre edilmiş fotoğraflar.	42
4.10: Otomatik bağlantı noktaları.	42
4.11: YKN noktalarının belirlenmesi.	43
4.12: Yeniden Eşle ve Optimize Et adımı.	43
4.13: 3 Boyutlu Dokulu Mesh.	44
4.14: Kalite raporu.	45
4.15: YKN ve BKN raporu Karenel Ortalama Hata sonuçları.	46
4.16: LoD0 detay seviyesinde çizimler ve cephe ölçüleri.	48

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
4.17: LoD1 detay seviyesinde çizim bina cephe ve kat yükseklikleri ölçüleri.	49
4.18: LoD2 seviyesi 3 boyutlu çizimleri.	50
4.19: İHA ile LoD3 seviyesi.	52
4.20: Mesh üzerinden çizimler.	53
4.21: Yersel alım noktaları.	53
4.22: Cephe detay çizimleri.	54
4.23: Karesel Ortalama Hatalar ve cephe detayları.	57



TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: İHA sınıfları.	5
3.1: CityGML’de ayrıntı düzeyleri için belirlenmiş çözünürlük ölçütleri.	7
3.2: Yüzey Üçgenleştirme sonuçları.	28
4.1: DJI Mavic 2 Pro özellikleri.	33
4.2: GeomaxZOOM35Pro özellikleri.	33
4.3: Leica Viva GS14Pro özellikleri.	34
4.4: YKN ve BKN koordinatları.	35
4.5: LoD0 KareseL Ortalama Hata hesabı.	47
4.6: LoD2 seviyesinde KareseL Ortalama Hata.	51

1. GİRİŞ

Günümüzde kaçınılmaz bir şekilde hayatımızın her alanına etki eden teknolojik gelişmeler, farklı meslek kollarında geleneksel yöntemler yerine daha modern yöntemlerin kullanımını beraberinde getirmiştir. Kentlerde yapıların giderek karmaşık hale gelmesi ve toplumların geçmiş ile bağ kurmasını sağlayan kültürel mirasların veri bankası haline getirilmesi ihtiyaçlarına yönelik olarak yapılan 3 boyutlu modellenme çalışmaları da teknolojik gelişmeler ile birlikte hayatımıza giren yeni yöntemlerden biri olmuştur. Sadece kültürel miras niteliği taşıyan yapıların değil her türlü yapının 3 boyutlu olarak modellenmesi hem 3 boyutlu kadastral sistemlere hem de mimari projelere altlık olarak kullanılması açısından zaman içerisinde giderek önem kazanmıştır. 3 boyutlu modellemede kullanılan yöntemlerden olan İnsansız Hava Araçlarının operasyonel esnekliğe sahip olması, zaman-maliyet açısından tasarruf sağlaması ve çok sayıda sonuç ürünüyle beraber kolay yorumlanabilir olması haritacılık alanlarında sıklıkla tercih edilmesine neden olmaktadır. Çalışma kapsamında; haritacılık alanında kullanımı yaygınlaşan İHA'lar ile tarihi bir yapıda uygulama yapılması, farklı detay seviyelerinde klasik yersel yöntemlerle karşılaştırılması ve mimari detaylarda İHA ile oluşturulan modellerin kullanılabilirliği adına doğruluk analizi yapılması amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda İHA'lar vasıtasıyla oluşturulan 3 boyutlu modellerin haritacılık alanında ve mimari alanlarda kullanımının mümkün olduğunun ve hassas sonuçlar elde edilebileceğinin ortaya konulması hedeflenmektedir.

2. MOBİL HARİTALAMA NEDİR? VE MOBİL HARİTALAMADA İHA KULLANIMI

1980'li yılların sonlarından beri araştırılmaya ve geliştirilmeye devam etmekte olan mobil haritalama, son dönemlerde yapılan çalışmalarda da sıklıkla kullanılmaktadır. Kullanımının bu denli yaygınlaşmasında, GPS teknolojisinin sivil alanlar için uygun hale getirilmesi etkili olmuştur. Mobil haritalamada kullanılan mobil platformlar karada, denizde ve havada kullanabilmekte, yapısı hareketli bir platform, navigasyon ve haritalama sensörlerinden oluşmaktadır. Mobil platformların ve haritalama algılayıcılarının konum ve yön bilgileri Global Konumlandırma Sistemi (GPS) alıcıları, araç hareket sensörleri ve ataletsel navigasyon sistemleri (INS- inertial navigation systems) tarafından sağlanmaktadır [Li, 1997].

Temelde Mobil haritalama sistemleri, üzerinde bütünleşik farklı algılayıcıların bulunduğu, sürekli eş zamanlı olarak 3 boyutlu koordinat ve mekânsal veri elde edebilen sınırlı veya sınırsız yer kontrollü GPS (Global Positioning System) desteğinin kullanıldığı hareketli bir platformlardır [Grejner-Bzezinska, 2002].

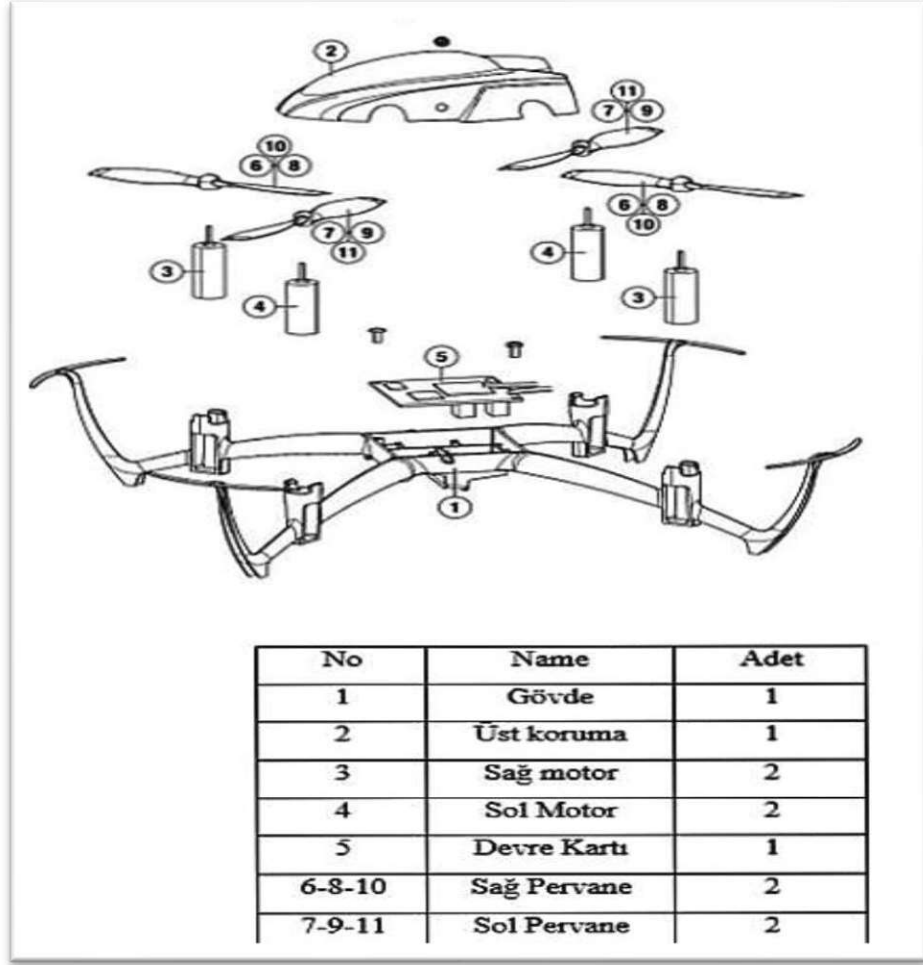
2.1. İHA'ların Genel Yapısı, Gelişim Süreci ve Kullanım Alanları

İHA (İnsansız Hava Aracı), istenilen uçuş planına göre otomatik/yarı otomatik yol alabilen veya kontrol merkezinde bir pilot tarafından uzaktan yönetilerek uçurulabilen bir mobil haritalama platformudur. Başlangıçta, İHA'lar öncelikli olarak askeri ihtiyaçlardan dolayı üretilmiş olmasına rağmen günümüzde sivil alanlarda da yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Dahası, İHA'ların eğlence amaçlı kullanımı da gün geçtikçe artmaktadır [Li, 1997]. İHAların tarihsel gelişimi dair örnekler aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 2.1.) [Mahmod, 2017].

No.	Yıl	İHA gelişimi
A	1849	Avusturyalılar İtalya Venedik şehrini bombalamak için balon kullanmışlardır. İlk İHA olarak kabul görmektedir.
B	1861	Balonlar ABD iç savaşında konfederasyon tarafından keşif görevi için kullanılmıştır.
C	1918	Günümüzün İHA öncüsü olarak kabul edilen Kettering Bug, 40 hp gücünde ve dört silindirli motor tarafından desteklenmektedir.
D	1931	İngiliz deniz donanması tarafından düz parçalardan geliştirilen Fairy Queen ilk radyo kontrollü İHA'dır.
E	1959	ABD ordusu Vietnam savaşında gözetleme amaçlı Ryan Model 147 Lighting Bug'ı kullanmıştır.
F	1995	Azılı katil diye tabir edilen MQ-1Predator isimli İHA 2000 yılında silahlandırılarak üretilmiştir.

Şekil 2.1: İHA'ların tarihsel gelişimine örnekler.

Temel İHA platformu gövde, üst koruma, sağ-sol motorlar, devre kartı ve pervanelerden meydana gelmektedir [İyibilgin vd. 2016]. İHA platformları yük kapasitelerine ve teknik donanımlarına göre video kamera, termal ya da kızılötesi kamera sistemleri, multispektral kameralar, LiDAR algılayıcıları veya bunların birkaçını beraber sunacak şekilde donatılmış olabilir. Bunlara ek olarak İHA GNSS/INS (Global Navigation Satellite System/Inertial Navigation System) platformları, barometrik altimetre ve pusula sistemlerini ihtiva edebilir. Bu şekilde bütünleşmiş İHA'lar İnsansız Hava Aracı Sistemi (İHS) olarak isimlendirilmektedir. [Yılmaz vd., 2018]



Şekil 2.2: Temel İHA Yapısı.

İHA'ların sivil kullanım sahaları temel seviyede üç gruba ayrılabilir:

- Güvenlik
- Bilimsel araştırmalarda
- Ticari

Güvenlik kontrolüne örnek olarak; kara, deniz hudutlarının devriyesi ve izlenmesi, trafik gözlemlenmesi, herhangi bir nedenle oluşan acil durumların izlenmesi verilebilir (yangın koşullarının izlenmesi, çevre izlenmesi vb.).

Bilimsel araştırmalar amacıyla; iklim ve atmosfer değişimlerin izlenmesi, doğal peyzajlar alanlarının ve bitki örtüsünün izlenmesi, su kontrolü, vahşi yaşam alanlarını araştırılması kullanılabilir. Ayrıca endüstriyel altyapı, tarım ve orman arazilerinin

takibi, jeofiziksel amaçlı hava fotoğrafçılığı, hava fotoğrafı ve video, kartografya iş grubunu oluşturan tipik eserler arasındadır.

Bilgi ve verilerin zamanında ve doğru bir şekilde alınması, modern üretim proseslerinin başarılı bir şekilde seyredilebilmesi için gereklidir. Bu durum, özellikle geniş sahalardaki projeler ve işler için ciddi önem arz etmektedir [Kharchenko and Prusov, 2012].

Tablo 2.1: İHA Sınıfları.

İHA SINIFI	AĞIRLIK ARALIKLARI
İHA0	Azami kalkış ağırlığı 500 gr [dâhil] – 4kg aralığında olanlar
İHA1	Azami kalkış ağırlığı 4 kg [dâhil] – 25 kg aralığında olanlar
İHA2	Azami kalkış ağırlığı 25 kg [dâhil] – 150 kg aralığında olanlar
İHA3	Azami kalkış ağırlığı 150 kg [dâhil] ve daha fazla olanlar.

2.2. İHA(UAV) Fotogrametrisi

İHA fotogrametrisi, İHA uçuşlarında çekilen fotoğraflar kullanılarak bunlardan fotogrametrik veri üretimidir. İHA'lar genel yapı olarak dijital kamera, GPS/IMU ve mevcut ise lazer tarama verileri kullanılarak bir nesne ya da yüzeyin uzaklığını ölçen aktif algılama sensörü olan (LiDAR) entegrasyonundan oluşan bir platformdur. [Uzar vd., 2019]. Son yıllarda, İHA Fotogrametrisi, topografik haritalama da yeni bir teknoloji olarak ilgi çekmektedir. İHA fotogrametrisi, yeni bir fotogrametrik ölçüm yöntemi olarak kabul görmektedir. İHA fotogrametrisi, hava ve karasal fotogrametrilerini birleştiren, fakat aynı zamanda klasik hava fotogrametrisine yakın kalitede gerçek zamanlı uygulama ve düşük maliyetli alternatifler sunar [Saadatesresht et al., 2015].

Son yıllarda İnsansız Hava Araçlarına (İHA) dijital kameraların birleştirilmesi ile İHALAR vasıtasıyla çekilen görüntülerden kartografik veri toplamak için Dijital Fotogrametri tekniklerinin uygulanması önemli ölçüde artmıştır [Ruzgiené et al., 2015].

İnsansız Hava Aracı (İHA) platformu, 1858'de ortaya çıkan ve fotogrametrik veri elde etmeye yarayan çeşitli platformlara alternatif olarak 1970'lerde üretilmiştir

[Uzar ve Özemir, 2016]. İHA'ların sıklıkla tercih ediliyor olması sebepleri arasında, geleneksel pilotlu uçaklar ve uydulardan farklı olarak düşük maliyet sunması, operasyonel esnekliği, daha iyi mekansal ve zamansal çözünürlüğe sahip olması bulunmaktadır [Agüera-Vega et al., 2017].

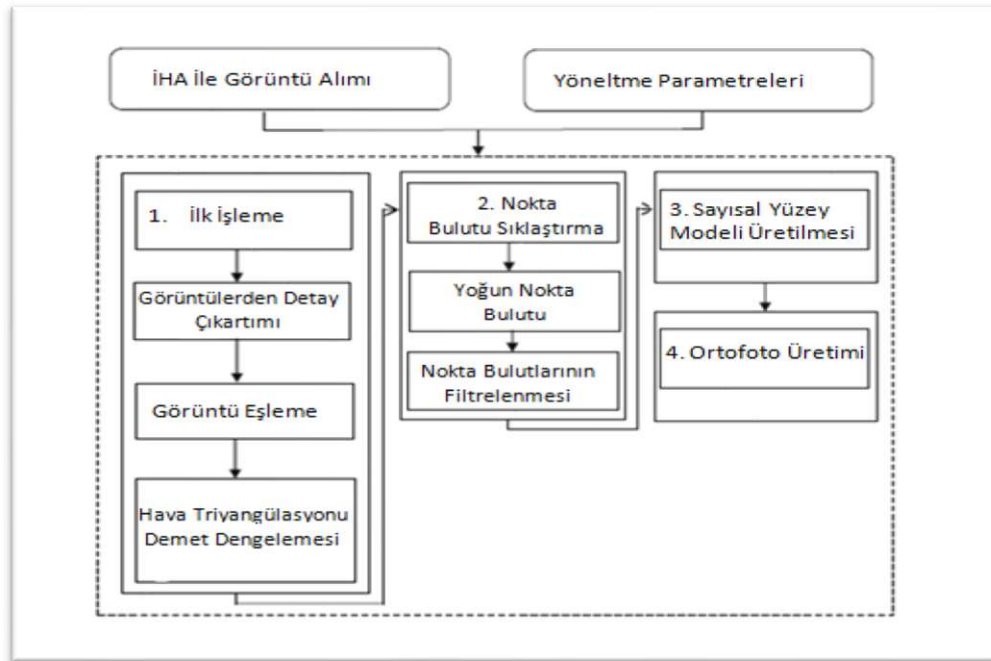
İHA'ların kullanımının yaygınlaşması ile birlikte “İHA fotogrametrisi”, “İHA görüntüleri” gibi yeni ve modern terminolojiler de literatürde yerini almaktadır. “İHA fotogrametrisi” kavramı araçta bir pilot oturmadan uzaktan kontrol edilebilen, yarı otomatik veya tam otonom olarak çalışabilen fotogrametrik ölçüme olanak sağlayan platformlara karşılık gelmektedir [Ruzgiené et al., 2015].

Genel hatlarıyla İHA fotogrametrisi incelendiğinde iş akışı ana hatları sırasıyla aşağıdaki gibi gösterilmiştir.

- Çalışma alanını tanımlamak
- İlk keşif, Yer kontrol noktası (YKN) GCP (Ground Control Points) istasyonlarını belirleme, uçuş tarifesi ve durum koşullarına ve harita kalitesi talebine göre tasarım.
- Şebeke tasarımına dayalı GPS'lerin ve işaretli YKN (GCP)'lerin yapılması ve konumlandırılması.
- Uçuş hazırlığı, yer istasyonu ve İHA ekipman kurulumunun ayarlanması.
- Tanımlanan yükseklik ve bölgelerde İHA uçuşu, hava görüntüleri ve navigasyon verileri dahil veri kaydı.
- Veri hazırlama, görüntü ağı oluşturma, otomatik özellik çıkarma ve eşleştirme, GCP koordinatlarına girme, paket ayarlama ve kendi kendine kalibrasyon ile havadan üçgenleştirme, bozulmadan serbest görüntü oluşturma ve stereo çizme işlemleri için fotogrametrik blok proje dosyası oluşturma.
- Orto-mozaik-mozaik ve 3D dokulu gerçekçi model üretimi için ilk DSM jenerasyonu.
- Çoklu görüntü oluşturma işlemi [havadan LiDAR ile karşılaştırılabilir] ile yoğun renkli nokta bulutu oluşturma, DSM oluşturma, filtreleme ve düzenleme, DSM'den DTM çıkarma, DTM'den kontür hat oluşturma ve kartografik düzenleme.
- 3B özelliklerin stereo çizimi, harita haritacılığı, ortofoto harita üretimi, raster ve vektör verisi genellemesi ve mekânsal veri tabanı üretimi

Zaman ve maliyet açısından ele alındığında, haritacılık amaçlı kullanımlarda çok daha avantajlı olan İHA'lar ile veri toplama, haritalama ve ortofotolar için ihtiyaç duyulan yeterli konumsal doğruluğa ulaşılabilmektedir [Şener, 2019]. İHA teknolojilerinin fotogrametrik amaçlı çalışmalarda kullanılması ile elde edilen verilerin doğruluğunun istenilen hassasiyette olması önem arz etmektedir. Genellikle istatistiksel Karesel Ortalama Hata (KOH) baz alınarak doğruluk değerlendirmesi yapılır. İHA fotogrametrisi ile elde edilen ürünlerin doğruluğunu değerlendirmek için yapılan çalışmalarda, doğruluğu etkileyen en önemli değişkenlerin, yer kontrol noktalarının adedi ve bu noktaların uçuş sahasındaki dağılımı olduğu görülmüştür [Şener, 2019].

İHA fotogrametrisinin iç ve dış yönlendirme aşamaları farklı algoritmaları kullanan ticari yazılımlar ile gerçekleştirilmekte ve İHA görüntüleri geometrik olarak düzeltilerek, yönlendirme işlemi yüksek doğrulukla sağlanmaktadır. Görüntülerin yazılımlar yardımıyla değerlendirilmesindeki örnek iş akışı aşağıdaki şekilde gösterilmektedir [Öztürk vd. 2017]. (Şekil 2.3.)



Şekil 2.3: İHA ile Ortofoto üretimi iş akışı.

İHA'lar ile gerçekleşen fotogrametrik uygulamalar hız, anlık veri üretimi, hızlı veri analizi ve maliyet açısından ciddi manada ekonomik yarar sağlamaktadır. Gerçekleştirilebilmesi nedeniyle ve daha yüksek çözünürlükte ürünler sağladığı için

gittikçe popülaritesi artan bir fotogrametrik uygulama yöntemidir. Tüm bu avantajlarının yanında İHA fotogrametrisi uygulaması sonucunda; Sayısal Yüzey Modeli (SYM), 3 boyutlu nokta bulutu, ortofoto ve 3 boyutlu modeller üretilebilmektedir [Özemir ve Uzar, 2016].

Literatür incelendiğinde Uzaktan algılama uygulamaları ile karşılaştırıldığından İHA fotogrametrisi düşük maliyet ve alçak irtifalarda elde edilen fotoğraflarla uygulamanın, İnsansız Hava Araçları ile yapılan haritacılık uygulamalarının popüler olduğu görülmüş ve çalışmanın devamında İHA fotogrametrisi ile ilgili yapılan çalışmaların bazılarına yer verilmiştir.

Aksaray Üniversitesi'nde kampüs sınırları içerisinde yapılaşmanın yoğun olduğu bölgelerde İHA ile ortofoto üretim çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışmada verileri karşılaştırmak amacıyla beş nokta belirlenmiştir. Bu noktalardan ortofoto üzerinde ve gerçek zeminden total station yardımıyla yatay ve düşey mesafeler ölçülmüştür. Elde edilen görüntüler Virtual Surveyor yazılımıyla değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda konumsal ortalama hata $\pm 2,38$ cm, yükseklik hatası ise ortalama ± 9.94 cm hesaplanarak bulunmuştur [Yılmaz vd., 2018]. Uygulama bölgesi düz bir arazi olmakla beraber, arazi içerisinde kot farkı 1 metreyi geçen nokta bulunmamakta ve yapılaşmanın mevcut olduğu bir bölgedir [Yılmaz vd., 2018].

Yine ülkemizde 2016 yılında yapılan diğer bir çalışma incelendiğinde; çalışma alanı 78.3 hektarlık Gaziantep ili, Şehitkamil ilçesinde, 5. Organize Sanayi Bölgesi olup, veriler özel bir harita firması tarafından sağlanmıştır. Öncelikle uçuş öncesi kullanılacak kameranın kalibrasyonu sağlanmış ve rapordaki standart sapmalar, distorsiyon hatalarının çalışma için uygun aralıklarda olduğu tespit edilmiştir. Mission Planer adlı açık kaynak kodlu uygulama ile uçuş planı oluşturulmuş olup, enine %80, boyuna %70 bindirme oranları belirlenerek 122 metre yükseklikten uçuş gerçekleştirilmiş ve 435 adet hava fotoğrafı elde edilmiştir ve uçuş süresi 32 dakika sürerek 78.3 hektarlık alanda uçuş tamamlanmıştır. 2007 yılından önce üretilmiş halihazır haritası referans baz alınarak çalışma sonucu üretilen ortofoto ile karşılaştırılmıştır. Referans alınan hâlihazır haritası raster veri ile karşılaştırıldığında cm seviyesinde fark bulunduğu görüldüğünden eski tarihli de olsa güvenilir olduğu tespit edilmiştir. Hâlihazır ve üretilen ortofotolar arasındaki karşılaştırmalar sonucunda Yer Kontrol Noktalarının koordinat ve standart sapmaları [$\sigma = \pm 2$ cm], hava

fotoğrafları koordinat ve dönüklüklerinin standart sapmaları [$\sigma = \pm 5$ cm] makul aralıklarda olduğu görülmüştür [Özemir ve Uzar, 2016].

Bir diğer çalışma ise Mardin ili Derik ilçesinde özel bir firma tarafından elde edilen hava fotoğraflarından yararlanılarak 2019 yılında gerçekleştirilmiştir. Uçuşun gerçekleştiği alan incelendiğinde arazide yükseklik farklarının az olduğu, ormanlık alanların fazla olduğu görülmüştür. Toplam 3245 hektar olan alan uçak kullanılarak 9.5 cm yer örneklem aralığında 11 kolon ile, 545 hektar alanı ise İHA ile 5.5 cm yer örneklem aralığında 19 kolon ile tamamlamıştır. Elde edilen veriler MetaShape yazılımı kullanılarak dengelenmiş ve yoğun nokta bulutu işlemine geçiş sağlanmıştır. Nokta bulutu oluşturulmasıyla İHA'dan elde edilen verilerle yaklaşık 870.000.000, uçak ile elde edilen görüntülerle ise 1.350.000.000 nokta elde edilmiş ve ortofotolar sayısal yükseklik modeline giydirilen görüntülerle oluşturulmuş ve bunların karşılaştırılması yapılmıştır. Farklı platform ve farklı kameradan oluşan sistemlerin sonuç ürünleri ve kalibrasyon olarak karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda ise İHA'dan elde edilen görüntülerle oluşturulan ortofotonun daha hassas ve sağlıklı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [Marangoz vd., 2019].

İstanbul, Eyüp ilçesinde bulunan İSKİ Genel Müdürlüğü Kampüsünde 2016 yılında İHA verileri kullanılarak ortofoto üretimi çalışması yapılmıştır. Çalışma kapsamında 75 hektarlık alanda İHA ile uçuş yapılmış, 2 adet uçuş planı İHA'nın havada kalma süresi hesaplanarak gerçekleştirilmiştir. Uçuşlar, 150 metre yükseklikte, enine %60, boyuna %80 bindirme oranlarıyla yaklaşık 15 dakika sürmüş ve böylece çalışma alanının görüntüleri elde edilmiştir. Uçuşlarda 413 adet fotoğraf elde edilmiş ve bunlar Pix4D programı kullanılarak değerlendirilmiştir. 20 adet Yer Kontrol Noktası belirlenmiş olup bunlarının 11 adet dengeme amacıyla geri kalan noktalar ise kontrol ihtiyacı için kullanılmıştır. Bu işlemler sonrası sayısal yükseklik modeli ve ortofoto oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda Yer Kontrol Noktalarının koordinat farkları cm seviyesindedir [Genç vd., 2016]. Yine 2016 yılında yapılan bir çalışmada iki farklı çalışma alanı seçilmiştir. Birinci çalışma alanı Tekirdağ'a bağlı Değirmenaltı Mahallesi'nde Hüseyin Soyuer adlı Sokak olup, İHA platformu 18 megapiksel olan Canon Eos 650D kamera monte edilmiş bir Multikopterdir. (Şekil 2.4.) Uçuş 70 metre yükseklikten gerçekleşmiş ve 82 adet fotoğraf elde edilmiş, Agisoft Photoscan yazılımı kullanılarak verilerin değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.4: Multikoptere monte edilmiş olan Canon EOS 650D Sayısal Fotoğraf Makinesi ve Multikopter.

Aynı çalışma içerisinde diğer bir çalışma alanı ise ormanlık bir bölgede olup İstanbul Şile ilçesine bağlı Soğul Köyü'nde bir alandır. Arazi topografyasından çok fazla ormanlık alan bulunmasından dolayı sabit kanatlı İHA (Şekil 2.5.) bu alan için tercih edilmiştir. Diğer çalışma alanında İHA platformu 24 MP Exmor® CMOS sensörlü NFC SEL2870 F3 20.4451 mm odak uzaklığına sahip, OSS lensi bulunan Sony marka Alpha serisi sayısal kamera entegre edilerek oluşturulmuştur [Gültekin vd., 2016]



Şekil 2.5: Sabit kanatlı İHA.

Döner kanatlı İHA ile elde edilen verilerin işlenmesi sonucu Sayısal Yükseklik Modeli Yer Örnekleme Mesafesi 11.4 cm olarak ve 5.7 cm YÖM' e sahip ortofoto üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışma Alanı 2 ise bölgede yapılması planlanan baraj için sondaj kuyu araçlarına yol haritasının oluşturulması hedeflenmiştir.

Diğer çalışma alanının üzerinde çok fazla ormanlık alan bulunması nedeni ile YKN çalışma alanının dış köşelerine yerleştirilmiş fakat YKN'lerin gölgelerden etkilenmesinden dolayı 3 tanesi hariç diğerleri kullanılamamıştır. Çalışma alanı 2 için referans alınacak bir veri bulunmadığından dolayı çalışmanın kendi içerisinde değerlendirilmesi gerçekleştirilmiş YKN'lerin ölçümü ile oluşan hata miktarları konumsal olarak cm seviyesinde ve piksel hatası ise 0.41 piksel olarak hesaplanmıştır. [Gültekin vd., 2016].

2019 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi kampüsünde yüksek çözünürlüklü ortofoto üretilmesi çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada %80 bindirme oranıyla uçuşlar otonom olarak gerçekleştirilmiş ve 485 adet hava fotoğrafı elde edilmiştir. Kampüste 18 adet YKN homojen şekilde tesis edilerek karesel ortalama hata (Root Mean Squar-RMSE) yöntemi ile doğruluk analizleri yapılmıştır. Fotogrametrik değerlendirmeler Pix4D yazılımı yardımıyla gerçekleştirilmiş olup, homojen olarak kampüse dağıtılan 18 adet YKN yazılım üzerinden tanımlanmasıyla ortofoto oluşturulmuş çalışma sonucu üretilen ortofoto haritanın Karesel Ortalama Hata 3.87 cm, yersel çözünürlüğü 2.9 cm olarak tespit edilmiştir (Şener, 2019).

Özcan (2017) tarafından yapılan çalışmada; İTÜ Stadyumu ile İleri Teknoloji Merkezi binası arasında kalan yaklaşık olarak 12.300 m²'lik alan ve Gölet öğrenci yurtlarını içeren yaklaşık olarak 11.800m²'lik alanda İHA ile bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ortofoto üretmek amacıyla 20 mm odak uzaklığına sahip 12 MP çözünürlüğü bulunan kamera sistemi DJI Phantom 3 insansız hava aracına monte edilerek gerekli veriler toplanmıştır. 3 farklı tarihte enine ve boyuna %90 bindirme oranına göre uçuş yapılarak veriler toplanmıştır. İlk uçuş tarihi 12 Mayıs 2016 da 97 adet fotoğraf 30 metre irtifada, ikincisi 31 Mayıs 2016 tarihinde 70 adet fotoğraf 50 metre irtifada, bir diğer uçuş ise 12 Mayıs 2016 tarihinde 111 adet fotoğraf 30 metre irtifada elde edilmiştir. Çalışmada Pix4D yazılımı kullanılarak model oluşturulmuş ve yazılım yardımıyla ortofoto harita üretimi gerçekleştirilmiştir. Oluşan ortofotonun doğruluk analizi yapılabilmesi için YKN'ler ortofoto üretim sürecinde sisteme dahil edilmiştir. Oluşturulan ortofoto haritalardaki Yer Kontrol Noktaları DGPS yöntemiyle ölçülmüş ve yer kontrol noktalarındaki hata miktarları x,

y ve z eksenlerinde minimum cm hassasiyetindedir. Araştırma sonucunda 12 Mayıs 2016 tarihli çalışmada yer örneklem aralığı 1,60 cm, 31 Mayıs 2016 tarihli çalışmada yer örneklem aralığı 1.67cm, Gölet öğrenci yurtlarında 12 Mayıs 2016 gerçekleştirilen çalışmada ise yer örneklem aralığı 1.24 cm olarak tespit edilmiştir [Özcan, 2017].

Yine ülkemizde, 2014 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Kampüsü'nde yapılan çalışmada, 1 m kanat açıklığına sahip Gatewing X-100 İnsansız Hava Aracı kullanılmış olup aracın ağırlığı 2 kg'dır. Kampüs genelinde 11 adet YKN, RTK GPS yöntemiyle tesis edilmiş ayrıca üretilen ortofotonun doğruluk analizini yapabilmek için 70 adet detay noktası yine bu yöntemle ölçülmüştür. Uçuş 195 m yükseklikten 8 hat boyunca tamamlanmış olup 167 adet hava fotoğrafı elde edilmiştir. Bu hava fotoğrafları yazılımla işlenerek 13 cm konumsal çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli ve 5 cm çözünürlüklü ortofoto harita elde edilmiştir. Çalışmada üretilen ortofotonun yatayda konumsal doğruluğu incelenmiş olup konum hatası ± 7.8 cm olarak hesaplanmıştır [Yılmaz vd., 2014].

İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Yerleşkesi'nde 8 ha alana sahip kamu konutlarında İnsansız Hava Aracı ile ortogörüntü üretiminde yükseklik ve kamera açısının doğruluğa etkisini araştırmak için bir çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmada 20 adet YKN tesis edilmiş olup, net görünebilmesi için 50 cm x 50 cm boyutlarında işaretler oluşturulmuştur [Öztürk vd., 2017]. Noktaların tesisi sürecinde BÖHHÜY kriterleri dikkate alınmış, noktaların açık şekilde görünebilir olmasına ve yansıtıcı etki (multipath) olabilecek konumlardan uzak bulunmasına özen gösterilmiştir [Öztürk vd.,2017].

Yapılan çalışmada YKN tesisi hızlı statik ölçme yöntemleriyle yapılmış olup baz çözümlenmeleri IGS (International GNSS Station) noktası ISTA ve İSKİ UKBS (İSKİ Uzaydan Konum Belirleme Sistemi) PALA noktasına ait 1 saniyelik gözlem verileri kullanılarak dengelenmiş ve işlem sonrası konumlarının karesel ortalama hatası $\pm 1.1 - 2.4$ cm hesaplanmıştır. Uçuş işleminde boyuna bindirme oranı %80 enine bindirme oranı %60 olarak gerçekleşmiş ve tüm uçuşlar aynı gün içinde yapılmış ve böylece güneş ışını etkisi azaltılmıştır. Çalışma sırasında 20 adet YKN'den bazı olumsuz sonuçlar nedeniyle 5 adet YKN çıkarılmıştır. Çalışma süresince farklı yükseklikten uçuşlar gerçekleşmiş ve her birinden 3 farklı ortogörüntü üretilmiştir. Doğruluk analizlerinin sonucu ise cm hassasiyetinde oluşmuştur. 4500'lik açı ile çekilen fotoğraflardan elde edilen ortogörüntünün daha yüksek konumsal doğruluk sağladığı

görülmüş olup nedeninin ise çekim açısıyla güneş ışınlarının açısının birbirlerine uygun olduğu çıkarımı yapılmıştır [Öztürk vd., 2017].

2012 yılında yayınlanan Zonguldak'ta gerçekleştirilen İnsansız Hava Aracı yardımıyla büyük ölçekli fotogrametrik harita üretim olanaklarının araştırılması amacıyla hazırlanmış bir çalışma incelenmiştir.

Yapılan incelemede gerçekleştirilen uçuşlardan ikisinin tarihleri 10 ve 12 Kasım 2010 olup uçuş başlama saatleri öğlen 12.30'dur. Çalışma kapsamında Model uçak üzerine yerleştirilen metrik olmayan kamera kullanılmıştır. Çalışma alanının 2010 yılında oluşturulmuş ortofoto haritası baz alınarak İHA ile elde edilen ortogörüntülerle karşılaştırılmıştır. İHA ile elde edilen görüntülerin $\approx 5\text{cm}$ YÖA olduğu ve yeterli YKN ile desteklenerek, uygun yazılımlar kullanılarak güçlü semantik veriye sahip sonuçlar alınabileceği görülmüştür. Yapılan karşılaştırmada ise fark vektör bileşenlerinde en büyüğünün Y yönünde $\pm 2.2\text{cm}$ 'den fazla olmadığı sonucuna varılmıştır [Karakış, 2012].

2.3. İHA ile 3B Bina Modelleme

3 boyutlu bina modelleri elde etmek için İHA'ların kullanımı, özellikle kültürel miras yapılarının 3 boyutlu olarak yeniden inşa çalışmaları için saklanması; verilerin hızlı, doğru ve düşük maliyetle sağlanması amacıyla İHA'ların kullanımı yaygınlaşmaktadır [Stathopoulou et al., 2015]. Günümüzde bu amaçla, kültürel miras varlığının verilerini toplamak ve koruma amacıyla İHA'ların dışında diğer fotogrametrik yöntemler, lazer tarama teknikleri ve jeomatik teknolojiler kullanılmaktadır [Karachaliou et al., 2019]. 3 boyutlu bina model ihtiyaçlarında, yalnızca dokularla geliştirilmiş modeller oluşturmak her zaman yeterli gelmemektedir. Yapıya ait detayların [pencere veya kapı gibi] veri modelinde semantik olarak ifade edilebilmesi önemlidir. City GML tarafından oluşturulan LoD kavramı ile farklı detay seviyelerinde yapıların çeşitli bileşenlerinin temsil edilmesine izin vermekte ama bu durum genellikle manuel modellenmektedir [Loch-Dehbi et al., 2013]. Son derece hassas ve son derece ayrıntılı 3B modelleme üzerine araştırmalar sürekli olarak geliştirilmektedir. 3 boyutlu bina modellemenin önemi birçok bilimsel disipline ve uygulamaya nüfuz etmiştir [Stal et al., 2014].

İHA'ların kullanımı, zaman açısından tasarruf sağlar ve kısa sürede çok karmaşık verileri eksiksiz bir şekilde toplamaya izin verir. Bu da haritalama ve belgelendirme amaçlı yapılan çalışmalar için büyük bir avantajdır. 3 boyutlu bina modelleme çalışmalarında İHA'ların kullanımı çeşitli yönler ve açılardan görüntüler olarak, yapıların en yüksek noktalardan zeminin en alçak noktalarına kadar binaları modellemek için kapsamlı veri kümeleri toplama fırsatı sunmaktadır [Malihi et al., 2016].

Bu avantajların yanında, İHA'larla üretilen yoğunlaştırılmış nokta bulutunun, yapılar üzerindeki yansıtıcı yüzeylerden dolayı gürültülü verilere neden olmak gibi bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bu gibi durumlarda bina yüzeyinde bulunan yansıtıcı kaplamalar, pencere ve kapı gibi cam alanlar nedeniyle sorunlarla karşılaşabilmektedir [Tutzauer and Haala, 2015].

2.4. İHA Fotogrametrisinin Avantajları ve Dezavantajları

İHA fotogrametrisi, zaman / maliyet / kalite konuları göz önünde bulundurulduğunda birçok avantaja sahip olmasına rağmen İHA'larla çalışırken birçok zorlukla karşılaşmak da mümkündür [Saadateserht et al., 2015].

İHA'ların klasik pilotlu sistemlerle kıyaslandığında en büyük avantajı alçak irtifalarda, ulaşılması güç, tehlikeli ve yüksek riskli durumlarda insan yaşamını tehlikeye sokmadan kullanabilmeleridir [Eisenbeiß, 2009].

Bir başka avantajı ise, İHA fotogrametrisinin üst üste binen dikey hava görüntüleri sayesinde, İHA fotogrametrisi daha yoğun ve güvenilir mekânsal ürünler elde etme yeteneğine sahiptir [Örneğin, 1: 2000 harita ölçeğindeki alanlar] [Saadateserht et al., 2015].

Ürün çeşitliliği olarak klasik yöntemlerle karşılaştırıldığında; Saha araştırması kullanarak, sadece doğrusal haritalar ve DAM [Dijital Arazi Model] üretilebilir. İHA fotogrametrisi ile ortogörüntü-mozaik, görüntü haritası, 3 boyutlu dokulu gerçekçi model, yüksek yoğunluklu renkli nokta bulutu ve 3 boyutlu uçuş simülasyon videosu dahil daha fazla çıktı üretme yeteneğine sahiptir. Kullanıcılar için İHA fotogrametrisinden elde edilene ortofoto haritaları ve 3 boyutlu modeller daha anlaşılabilir. Çünkü tüm nesnelere ve özelliklere, gerçekçi görünüşleri ile gösterildiğinde daha basit harita yorumlama ve kullanıcı etkileşimine uygundur. Buna

karşılık, geleneksel yöntemlerle elde edilen doğrusal haritalar, profesyonel kullanıcılar için daha kullanışlı kılan gösterimlere sahiptir [Neitzel and Klonowski, 2011].

İHA fotogrametrisi için gereken zaman, alan araştırmasından birkaç kat daha azdır. Kamera istasyonlarının konumlandırılması herhangi bir saha aktivitesi olmadan PPK [işlem sonrası kinematik] yöntemiyle yapılabilir ve hızlı bir şekilde nesne ayrıntılarının toplanması manuel gözlem ve gözlem yerine bir İHA aracılığıyla dikey havadan görüntüleme ile yapılır.

Saha çalışmalarında daha az kesinti: saha araştırması, nüfusun özel alanlarına ve kamu bölgelerine erişiminin sürekli olarak devam etmesi nedeniyle, nüfus alanlarındaki saha kesintilerinden mustarıptir [Neitzel and Klonowski, 2011].

Çok yüksek dağlık veya bataklık alanlardan haritalama, arazi çalışanları için zordur ve hatta tehlikelidir. Bunun aksine, insansız hava araçları bu alanlara, operatörler için herhangi bir tehlike oluşturmadan hızla erişebilir. [Neitzel and Klonowski, 2011].

İHA'lar, özellikle düşük maliyetli İHA'lar, sensör yükünü ağırlık ve boyut olarak sınırlandırır, böylece küçük veya orta formatlı amatör kameralar gibi genellikle düşük ağırlık sensörleri seçilir. Bu nedenle, geniş formatlı kameralara kıyasla, İHA'ların aynı görüntü kapsamını ve karşılaştırılabilir görüntü çözünürlüğünü elde etmek için daha fazla görüntü alması gerekir. Dahası, düşük maliyetli sensörler normal olarak yüksek kaliteli sensörlere göre daha az kararlıdır ve bu da görüntü kalitesinin düşmesine neden olur. Ek olarak, bu taşıma kapasitesi sınırlamaları, sensörlerin yönlendirilmesi için daha az doğru sonuçlar veren düşük ağırlıklı navigasyon ünitelerinin kullanımını gerektirir. Ayrıca, düşük maliyetli İHA'lar normalde daha az güçlü motorlarla donatılarak erişilebilirliği sınırlar [Eisenbeiß, 2009].

Yapılan değerlendirmeler sonucunda, ihtiyaç duyulacak donanım ve yazılımların önceden elde edilmesi halinde fotogrametrik veri üretiminin 5 metrelik aralıklarla üretilen plankoteye göre %89 ve 3 boyutlu topografik haritalarla kıyaslandığında %78 daha düşük maliyete sahip olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışma neticesinde İHA fotogrametrisi ile üretilen fotogrametrik verinin, 5 metre aralıklı plankote üretimi açısından 8 kat, topografik harita üretimi açısından ise 4.5 kat daha az maliyetli olduğu sonucuna varılmıştır [Uzar ve Özdemir, 2019].

Marangoz (2019) tarafından yapılan çalışmada, vektör haritalar referans alınarak İHA platformunda kullanılan metrik olmayan kamera ile yapılan uygulamanın sonuç ürünleri, kalibrasyonu laboratuvar ortamında sağlanmış metrik kameradan alınan

görüntüler vasıtasıyla oluşturulan sonuç ürünleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda yapılan karşılaştırma ve analizler sonucu metrik olmayan kameralar kullanılarak yapılan fotogrametrik uygulama sonuçlarının kameralar karşısında doğruluğu ispatlanmıştır. İHA'lar ile büyük alanlarda fotogrametrik yöntemle harita üretimi dezavantajlı gözükse de küçük alanlarda yapılacak uygulamalar için İHA fotogrametrisinden yararlanmak büyük bir avantaj sağlamaktadır [Marangoz vd., 2019]. İnsansız Hava Araçları ile yapılan fotogrametrik uygulamalarda; elde edilen verilerin ve sonuç ürünlerinin talep edilen hassasiyette olması çok büyük önem arz etmektedir. Genellikle istatistiksel Karesel Ortalama Hata (KOH-RMSE) temel alınarak doğruluk değerlendirmesi gerçekleşir. İHA fotogrametrisi yöntemiyle elde edilen veri ve ürünlerin doğruluk analizleri için yapılan uygulamalarda genel olarak doğruları etkileyen en önemli faktörlerin yer kontrol noktalarının sayısı ve bu noktaların uygulama alanındaki dağılımı olduğu görülmüştür [Şener, 2019].

Geliştirilen mevcut ticari amaçlı yazılımlar ile iç yöneltme ve dış yöneltme aşamaları programa özgü algoritmalarla gerçekleştirilip İHA'lar ile elde edilen görüntüler büyük bir başarı ile geometrik olarak düzeltilerek yöneltme işlemi gerçekleştirilmektedir [Öztürk vd., 2017].

İHA'lar ile gerçekleşen fotogrametrik uygulamalar hız, anlık veri üretimi, hızlı veri analizi ve maliyet açısından ciddi manada ekonomik yarar sağlamaktadır. Uzaktan algılama uygulamaları ile karşılaştırıldığından İHA fotogrametrisi düşük maliyet ve alçak irtifalarda elde edilen fotoğraflarla uygulamanın gerçekleştirilebilmesi nedeniyle ve daha yüksek çözünürlükte ürünler sağladığı için gittikçe popüleritesi artan bir fotogrametrik uygulama yöntemidir. Tüm bu avantajlarının yanında İHA fotogrametrisi uygulaması sonucunda; 3 boyutlu nokta bulutu, Sayısal Yüzey Modeli (SYM), ortofoto ve 3 boyutlu modeller üretilebilmektedir [Özemir ve Uzar, 2016]. Bunlara ek olarak, İHA fotogrametrisi, herhangi bir 3 boyutlu noktayı hesaplamak için sadece fazladan birkaç görüntü koordinatını kullanmakla kalmaz, aynı zamanda, yeniden oluşturulan noktaların doğruluğunu stereoskopik görüşle değerlendirmeye olanak sağlar, bu da daha güvenilir olduğu manasına gelmektedir. Fakat bu durumda, saha araştırmacısının ofiste toplanan verilere tamamen güvenmekten başka seçeneği yoktur [Neitzel and Klonowski, 2011].

3. 3 BOYUTLU BİNA MODELLEMEDE AYRINTI DÜZEYİ (LoD) KAVRAMI

İnternet ve bilgisayar teknolojilerinin günümüz dünyasında sürekli gelişmesine bağlı olarak, verilerin toplanması, düzenlenmesi, analiz edilmesi ve görsel olarak sunulabilmesi ihtiyacı da artmıştır. Bu ihtiyaçlara paralel olarak, veri tabanları kapasitesi ve işlevselliği artmış, ara yüzler kullanıcı dostu olacak şekilde değişime uğramıştır. Tüm bu değişimlerle beraber Coğrafi Bilgi Sistemleri [CBS] de mekânsal ve mekânsal olmayan birçok bilgiyi kullanıcıya aynı anda iki ve üç boyutlu görsel veriler halinde sunabilen bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır [Koç vd., 2017]. Üç boyutlu modellemelerle ilgili farklı metotlarla toplanan farklı formatlardaki verilerin bir araya getirilip görsel ve üç boyutlu olarak sunulması gibi nedenlerden dolayı ihtiyaç giderek artmaktadır

Üç boyutlu kent ve şehir modellerin tanımı basitçe “Dünya yüzeyinin ve şehir alanlarına ait ilgili nesnelerin dijital temsili” şeklinde ifade edilmektedir [Firat vd., 2018]. Çok katlı yapılar, maden ve tünel gibi mekânlar için coğrafi nesnelerin tamamlanması, açıklanması ve konumsal analizlerin etkili şekilde sağlanabilmesi ihtiyacından dolayı üç boyutlu modellemeler giderek önem kazanmaktadır. Genellikle kullanılan CBS, iki boyutlu uygulamalara daha çok analiz anlamında olanak tanırken, teknolojinin ilerlemesiyle gerçek durumların modellenmesinin lazım olduğu çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır [Uyar ve Uluğtekin, 2016].

Üç boyutlu (3B) modeller temel olarak arazi-bina modelleri, bitki örtüsü, çevreyi temsil eden modeller, yol modelleri ve ulaşım sistemleri gibi verileri sanal olarak kullanıcıya sunan ve kullanıcıya analiz ihtiyacına göre analiz yapma imkânı tanıyan sistemlerdir [Döllner et al., 2006]. Üç boyutlu (3B) modeller; şehir planlama, pazarlama, sivil savunma, afet yönetimi, enerji temini ve planlaması, etkinlik yönetim, çevre yönetimi, emlak, taşımacılık / navigasyon, trafik yönetimi, sanal turizm, vb. amaçlar için kullanılabilir [Koç, 2016]. 3B şehir modelleri ile ilgili tüm standartlar henüz oluşturulmamış olmasına rağmen, CityGML yazılımı tarafından farklı yöntem ve kaynaklardan elde edilen verilerin ve modellerin görselleştirilmesi amacıyla belirlenen standartlar bulunmaktadır [Gröger and Plümer, 2012].

Ayrıntı seviyesi üç boyutlu şehir modellerinin en önemli karakteristik özelliklerinden olmakla beraber 3 boyutlu modellerin gerçek dünya ile bağlantısını

göstermektedir. Bu durum modelin kullanılabilirliğine etki etmektedir [Biljecki et al., 2014].

3.1. CITYGML (City Geography Markup Language) 3 Boyutlu Modelleme Standartları

CityGML; şehir hayatı ile ilgili her türlü obje ve kavramın gösterimi ve veri değişiminde kullanılmak amacıyla oluşturulmuş bir veri modelidir [van den Brink et al., 2013].

CityGML, SIG 3D üyeleri tarafından 2002 yılından bu yana geliştirilmektedir. 3B kent modelleri ve coğrafi görselleştirme geliştirilmesi ve ticari kullanımı üzerine çalışan; Almanya, Büyük Britanya, İsviçre ve Avusturya'dan 70'ten fazla şirket, belediye ve araştırma enstitülerinden oluşan açık bir gruptur. CityGML 'in ilk başarılı uygulaması ve değerlendirmesi 2005'te GDI NRW (Geodateninfrastruktur Nordrhein-Westfalen) (Geodata Altyapısı Kuzey Ren-Vestfalya)'nin "Pilot 3D" projesinde gerçekleştirilmiştir. 2006 yılının başlarında EuroSDR [European Spatial Data Research] tarafından gerçekleştirilen CityGML'e yönelik bir proje ile 3B kent modellerinin Avrupa çapında uyumlaştırılmasına başlanmıştır. 2008 yılında CityGML 1.0.0 versiyonu, OGC (Open Geospatial Consortium) standardı olarak benimsenmiştir. CityGML standartlarında detay seviyesine göre beş farklı ayrı ayrıntı düzeyi (Level of Detail) LoD oluşturulmuştur [Löwner and Gröger, 2016].

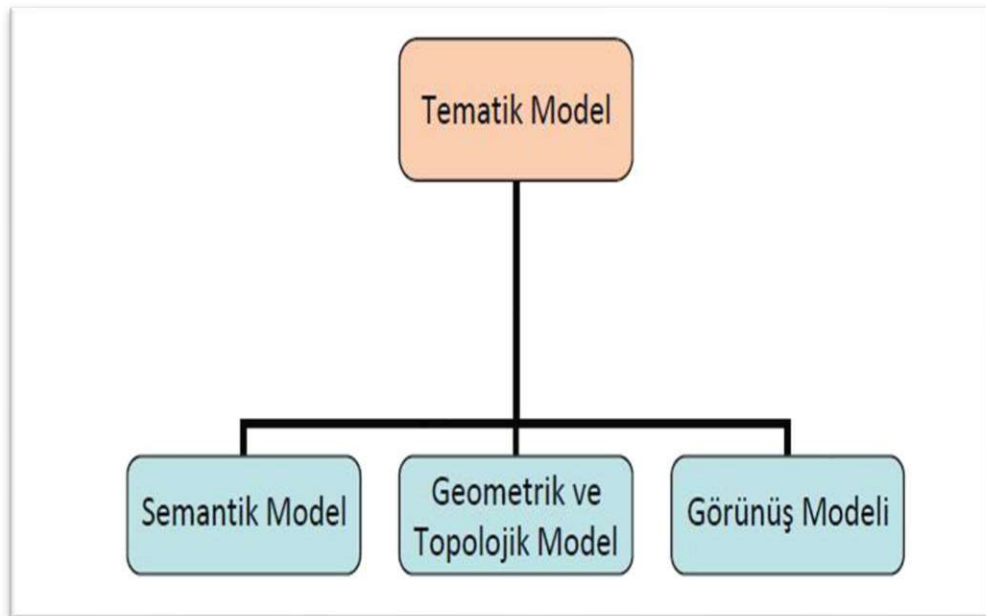
CityGML, XML tabanlı 3B kent model verilerinin saklanması ve alış-verişi için ücretsiz olarak kullanılabilen açık bir veri modelidir. Aynı zamanda Coğrafi İşaretleme Dili (GML), OGC ve ISO TC211 tarafından yayınlanan mekânsal veri alış-verişi için genişletilebilen uluslararası standarttır [Mekawy and Anders, 2010].

CityGML 'in oluşturulmasındaki gaye, 3B kent modellerinin temel varlıkları, öznitelikleri ve bağlantılarının ortak bir standart oluşturmaktır. Bu standartlar, özellikle farklı uygulama alanlarında aynı verilerin yeniden kullanımına olanak sağlayarak, 3B kent modellerinin düşük maliyetli sürdürülebilirlik bakımı açısından ciddi önem oluşturmaktadır. CityGML yazılımı, GML tabanlı olduğu için Web Detay Servisi (Web Feature Service), Web İşleme Servisi (Web Processing Service) ve Katalog Servisi (Catalog Service) gibi veri erişimi, işleme ve kataloglama için GML tabanını destekleyen bütün OGC web servisleriyle birlikte kullanılabilir [Özdoğan, 2014].

CityGML diğerk bir özelliği farklı uygulamalar için oluşturulmuş 3 boyutlu şehir modellerinin ortak bir semantik bilgi modelinde birbirleriyle bağlanmasına olanak sağlamaktadır [Diez and Sorribas, 2017].

CityGML tarafından amaçlanan uygulama alanları şehir planlama, mimari tasarım, turizm ve eğlence sektörü, çevre simülasyonu, mobil telekomünikasyon, afet yönetimi, gayrimenkul yönetimi, araç ve yaya navigasyonu ve eğitim simülasyonları vb. şekilde özetlenebilir [Diez and Sorribas, 2017]. City GML'de

- Sayısal yüzey modelleri,
- Morfoloji verileri,
- Sayısal üçgen modelleri
- Bina, köprü, tünel,
- Bitki örtüsü,
- Su kütleleri,
- Ulaşım tesisleri,
- Arazi kullanımı,
- Kent modelleri,
- Kullanıcı tarafından tanımlanan gruplar, veri girdisi olarak kullanabilmektedir [Ayyıldız, 2017].



Şekil 3.1: CityGML' de modelleme yapısı.

3B kent modellerinin belirgin unsurları binalardır. Bina modeli, CityGML'in en kapsamlı tematik kavramlarından birisidir. Beş farklı ayrıntı düzeyinde [LoD0-LoD4] binalar ve bina bileşenlerinin semantik, geometrik, topolojik ve görünüş özelliklerinin gösterimidir. CityGML'in bina modeli, Building tematik eklenti modülü tarafından tanımlanmaktadır (Şekil 3.1.) [Uyar, 2017].

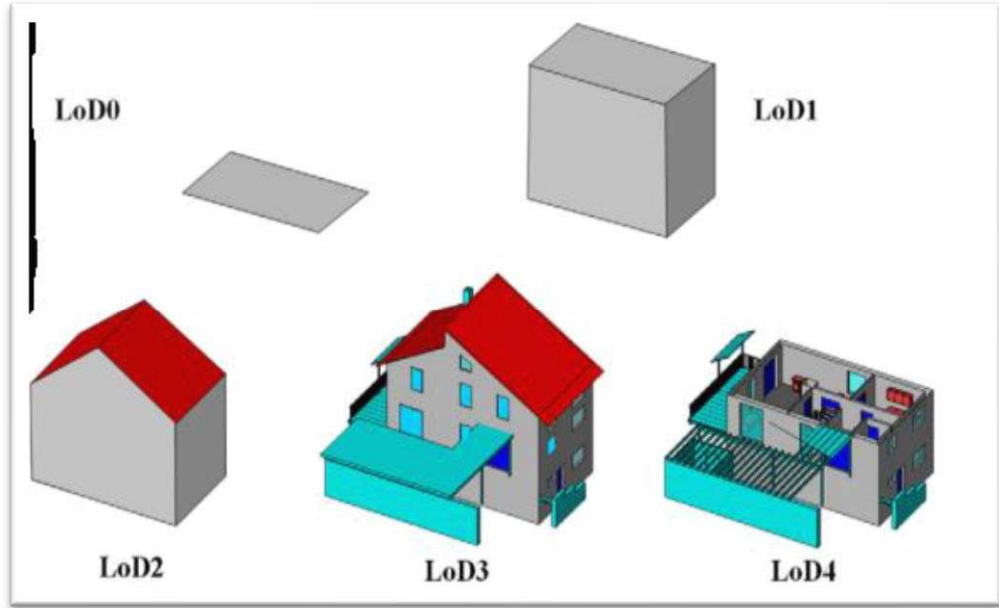
Ayrıntı Düzeyi (LoD), 3B modellemede ortak bir standart belirleme düzenidir ve özelliklerin eşit derecede azalan ayrıntı düzeylerinin basitleştirilmesini ifade eder. En yüksek detay seviyesi, 3B temsil edilen geometrinin en ayrıntılı özelliklerini eklediği için düşünülür [Löwner et al., 2013].

LoD'ların bazı tanımları açıklanmıştır. Açık Geospatial Consortium'a göre, CityGML standartlarında, uygulamaların gereksinimlerine bağlı olarak LoD'lar farklı veri toplama yöntemlerini temsil etmelidir (Open Geospatial Consortium, 2000). CityGML beş farklı LoD'u tanımlamaktadır ve en düşük seviyeden en yüksek seviyeye kadar ayrıntılar Şekil 3.2.'deki gibidir.

Open Geospatial Consortium'a göre, CityGML standartlarında, uygulama ihtiyaçlarına bağlı olarak LoD'lar farklı veri toplama yöntemlerini temsil etmelidir (Open Geospatial Consortium, 2006). Ayrıntı düzeyi (LoD) kavramı, gerçek dünyada bulunan coğrafi bir objenin temsilinin zorluğunu ve karmaşık yapısını tanımlamak amacıyla CBS ve 3B şehir modellemede kullanılan önemli terimlerden biridir. LoD kavramı ile görsellerin sunum performansını artırmak ve objelerin geometrik olarak karmaşık durum yapılarını azaltmak ve bilgisayar grafiklerinde yükü azaltarak bir modelin bilgisayar ortamında daha hızlı şekilde görüntülenmesini olanak sağlamaktadır [Biljecki et al., 2013].

LoD'lar, bina yapım süreci sırasında planlama, inşaat ve bakıma kadar BIM ile ilgili bilgilerin güvenilirliğini ve güvenliğini ölçmemize izin verir [Fai and Rafeiro, 2014]. Operasyonel bir bakış açısından, yapıyı çevredeki avantajlar özellikle 3D modelin uygulama aşamasında zaman açısından önemli olabilir. LoD'lar bir ilk 'modellenmemiş' Kavramsal temsil [100], genel gereksinimleri ve ana miktarları içeren ikinci seviye [200], detaylı tasarımı destekleyen üçüncü seviye, destekte dördüncü seviye 'üretim / kurulum' olarak ikiye ayrılır. İnşaat planlamasının [400] ve bir varlık yönetimini [500] desteklemek için beşinci ve son seviyenin 'inşa edildiği' şeklindedir. Ayrıntı seviyesi üç boyutlu şehir modellerinin en önemli karakteristik özelliklerinden olmakla beraber 3 boyutlu modellerin gerçek dünya ile bağlantısını

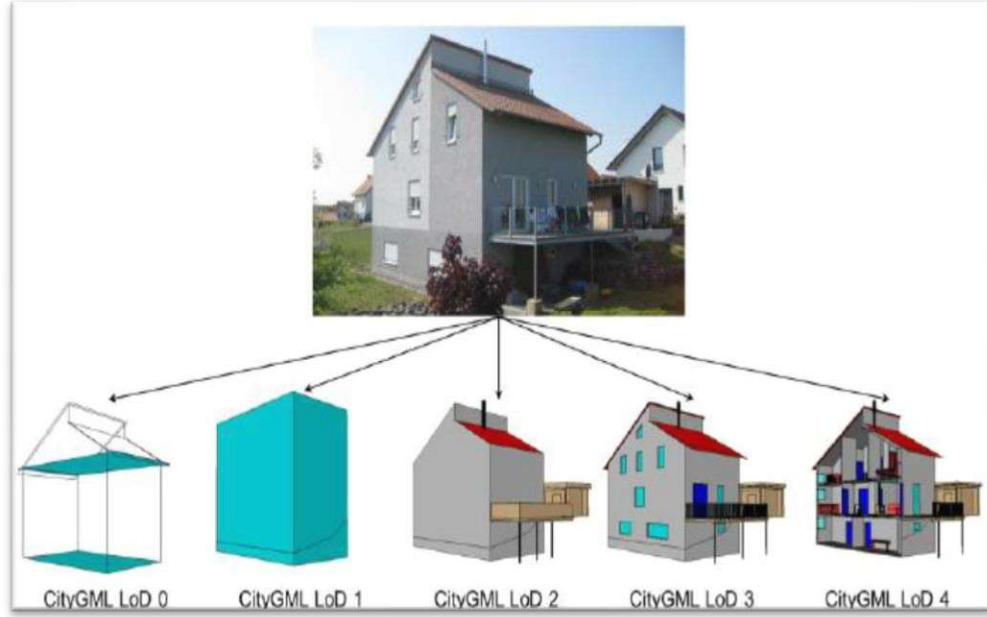
göstermektedir. Bu durum modelin kullanılabilirliğine etki etmektedir [Biljecki et al., 2014].



Şekil 3.2: LoD seviyeleri.

CityGML tarafından belirlenmiş 3B modelleme konusunda; Şekil 3.2. ve Şekil 3.3.'de gösterilen LoD kavramı beşe ayrılır;

- LoD0 = Genellikle bölgesel ve düzlem haritalarda kullanılır 2.5 boyutlu sayısal arazi modelidir,
- LoD1 = Çatı yapılarının düz olduğu, blok modeldir.
- LoD2 = Tematik şekilde binaların sınır yüzeyleri, çatı yapısı ayırt edilebilir modeldir.
- LoD3 = Detaylı olarak duvarlar, çatılar ve pençelerin dahil olduğu mimari modeldir.
- LoD4 = LoD3 seviyesi yapının iç detaylarının eklenmesiyle oluşan modeldir.



Şekil 3.3: LoD seviyeleri.

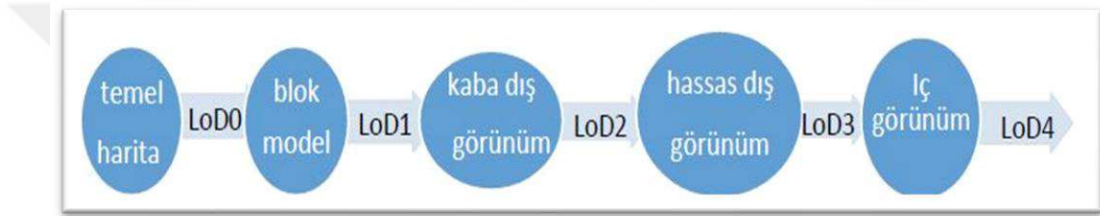
Bir görünümün farklı ayrıntı düzeyinden nesnelere içerebildiği, fakat hiçbir zaman aynı nesneyi veya aynı alan parçasını [tekrarlı olarak] içermediği dikkate alınmalıdır [Özdoğan, 2014].

Detay Seviyesi (LoD-Level of Detail), 3 boyutlu modellerde genelleştirme sınırlarını ve standardını bir kavramdır. LoD seviyesinin derecesinin artması, 3 boyutlu modelin daha zengin geometrik detaya sahip modeller oluşturur. LoD derecesinin azalması ile daha düşük geometrik detay seviyesinde görseller oluşmaktadır [Koç, 2017].

Böylece kullanıcı ihtiyaçlarına göre ayrıntılandırılmış mekânsal veriler üretilerek maddi anlamda ve zaman olarak tasarruf edilirken, kullanıcı için işlevsel modeller meydana gelir. Bugüne kadar çok farklı ve çeşitli Detay seviyesi tanımlamaları yapılmıştır. City Geography Markup Language (CityGML) kapsamında Open Geospatial Consortium (OGC) tarafından oluşturulan standartlara göre beş farklı LoD seviyesi tanımlanmıştır. Bu tanımlamada LoD0 en düşük seviye olarak belirlenmiş ve 2.5B sayısal arazi modelinden oluşmaktadır. İsteğe bağlı olarak model hava fotoğrafı veya harita ile de zenginleştirilmesi sağlanabilir. LoD1 seviyesi, yapı çatı yapısı ve doku bulunmayan blok modeldir. LoD2 seviyesinde çatı yapıları ve dokular modelde görünür durumdadır. Yapı dışı yeşil alanlar ile sunum da yapılabilir. LoD3 seviyesi, mimari tüm detayların bulunduğu (duvar ve çatı yapıları, balkon, cumba ve kapı gibi) en zengin mimari dış detayların gözüktüğü detay seviyesidir.

LoD4 seviyesi ise LoD3 seviyesinde modele iç mimari detayların eklenmesi ile meydana gelmektedir. Odalar, İç kapılar, mobilyalar, merdiven gibi tüm iç detaylar eklenerek oluşturulur [Koç, 2017].

3B kent modelleri için oldukça önemli bir kavram olan ayrıntı düzeyi (Level of Detail- LoD), gerçek dünyadaki objelerin özetlenme derecesi veya optimum detay düzeyinde öncelikli gösterimi olarak tanımlanabilir (Şekil 3.4.) [Biljecki, 2013]. Ayrıntı düzeyleri, veri azaltımı (reduction) ve hızlı bilgi edinimin desteklenmesine (support of immediate cognition) göre tanımlanır ve görselleştirilmektedir. Geometrik olarak basitleştirme ve genelleştirme işlemi ile veri azaltımı yapılmaktadır [Sester, 2007].

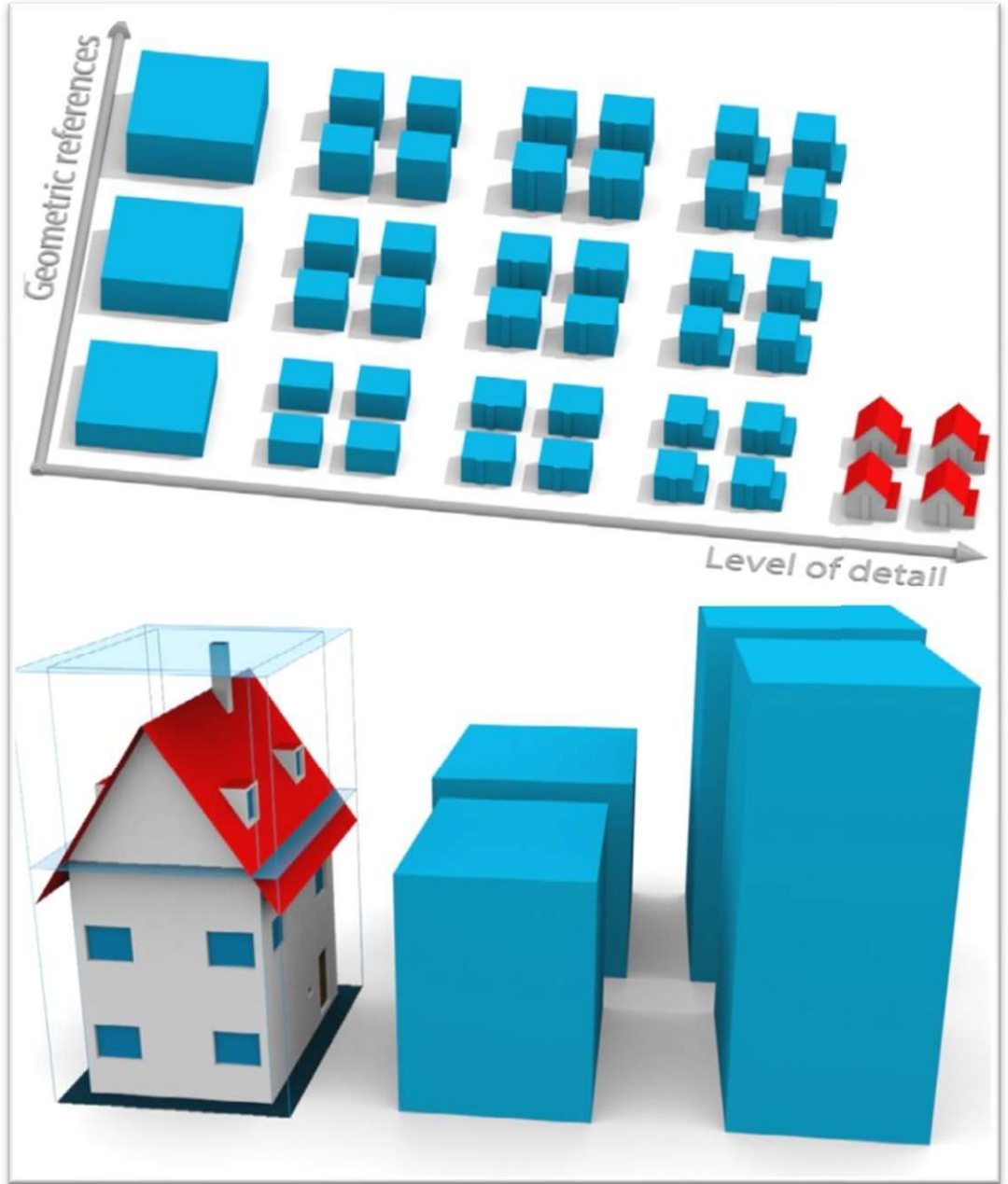


Şekil 3.4: Ayrıntı düzeylerine göre harita görünümü sıralaması.

Geometrik / semantik tema	Özellik türü	LoD0	LoD1	LoD2	LoD3	LoD4
Bina taban alanı ve çatı kenarı	<i>gml:MultiSurfaceType</i>	•				
Bina iskeletinin hacimsel parçası	<i>gml:SolidType</i>		•	•	•	•
Bina iskeletinin yüzeysel parçası	<i>gml:MultiSurfaceType</i>		•	•	•	•
Arazi kesişim eğrisi	<i>gml:MultiCurveType</i>		•	•	•	•
Bina iskeletinin kıvrımlı parçası	<i>gml:MultiCurveType</i>			•	•	•
Bina parçaları	<i>BuildingPartType</i>		•	•	•	•
Sınır yüzeyleri	<i>AbstractBoundarySurfaceType</i>			•	•	•
Dıştaki bina tesisatları	<i>BuildingInstallationType</i>			•	•	•
Açıklıklar	<i>AbstractOpeningType</i>				•	•
Odalar	<i>RoomType</i>					•
İçteki bina tesisatları	<i>IntBuildingInstallationType</i>					•

Şekil 3.5: Bina modelinin farklı ayrıntı düzeylerindeki gösterimi.

CityGML tarafından oluşturulan LoD standartları modellerini oluşturmak için ihtiyaç duyulan geometrik referans kavramları arasındaki direk bir bağlantı bulunmaktadır. Aşağıdaki şekilde belirtildiği gibi görüntü LoD'ların her birinde birden fazla geometrik referans seçeneği bulunmakta ve farklı geometrik referanslarla (saçaklar, çatı yapısının yüksekliğinin yarısı, çatı yapısının en üst noktası) oluşturulan blok modeller gösterilmektedir (Şekil 3.6.)



Şekil 3.6: Geometrik yükseklik referansları.

Tablo 3.1: CityGML’ de Ayrıntı Düzeyleri için Belirlenmiş Çözünürlük Ölçütleri.

	LoD0	LoD1	LoD2	LoD3	LoD4
Model Ölçeği Tanımlaması	Bölgesel, peyzaj	Kent, Bölge	Kent, Kent İdari Birimleri, Projeler	Kent İdari Birimleri, Mimari Modeller [Dış Görünüş], Kent Simgesi	Mimari Modeller [İç Görünüş], Kent Simgesi
Doğruluk Sınıfı	En düşük	Düşük	Orta	Yüksek	En yüksek
Mutlak 3B Nokta Doğruluğu	LoD1’den daha düşük	5 / 5m	2 / 2m	0.5 / 0.5m	0.2 / 0.2m
Genelleştirme	En fazla genelleştirme	Genelleştirilmiş detaylar olarak nesne blokları > 6 × 6m / 3m	Genelleştirilmiş detaylar olarak nesnelere > 4 × 4m / 2m	Gerçek detaylar olarak nesnelere > 2 × 2m / 1m	Yapı elemanları ve açıklıklar gösterilir.
Bina Tesisatları	Hayır	Hayır	Evet	Temsili dış detaylar	Gerçek nesne biçimi
Çatı Yapısı/Temsili	Evet	Düz	Farklılaştırılmış Çatı Yapıları	Gerçek Nesnelere	Gerçek nesne biçimi
Çatı Çıkıntıları	Evet	Hayır	Evet [Biliniyorsa]	Evet	Evet
Kent Donatıları	Hayır	Önemli Nesnelere	Prototip, Genelleştirilmiş Nesnelere	Gerçek Nesne Biçimi	Gerçek nesne biçimi
Tek Bitki Örtüsü Nesnesi	Hayır	Önemli Nesnelere	Prototip, 6 m’den yüksek	Prototip, 2 m’den yüksek	Prototip, gerçek nesne biçimi
Bitki Örtüsü	Hayır	> 50 × 50m	> 5 × 5m	< LoD2	< LoD2

3.2. CITYGML LoD Kavramına Farklı Yaklaşımlar ve CITYGML

3.2.1. LoD Kavramında Karşılaşılan Zorluklar

Günümüze kadar ayrıntı düzeyi için farklı sınıflandırmalar ve öneriler mevcuttur, bunlardan bazılarını açıklarsak;

Kolbe (2003)'ye göre binalar ve yerleşim yerleri için üç detay seviyesi önermiştir:

- LoD1 = Yapıyı haritadaki en dış sınırından en yüksek seviyesine kadar yükseltme,
- LoD2 = düz çatılı olarak LoD1 seviyesinin duvar dokusu ile zenginleştirilmiş hali,
- LoD3 = LoD2 seviyesinin fotoğraflarla desteklendiği ayrıntılı olarak çatılar, bina yüzeyindeki çıkıntılarının gösterildiği halidir.

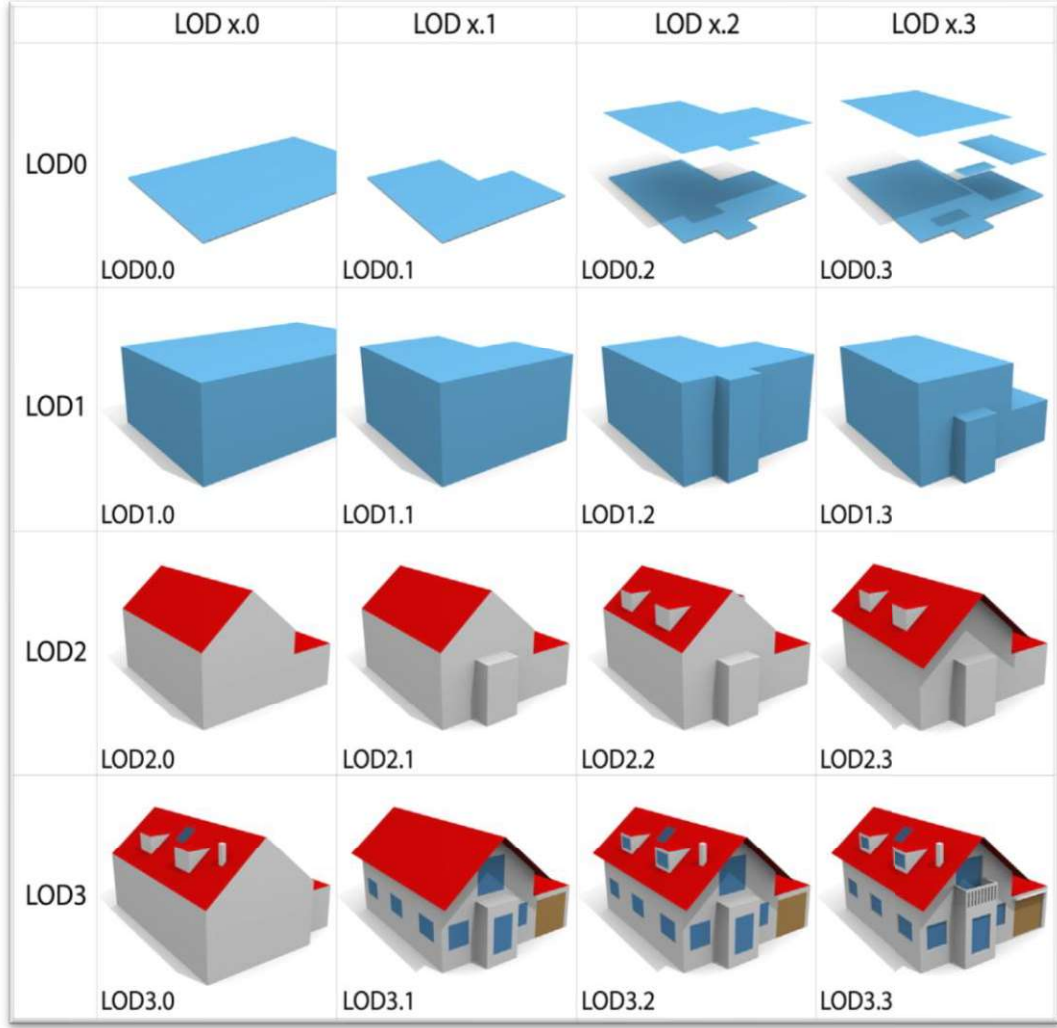
Schilcher ve diğerleri (1998) binalar için 3 farklı LoD seviyesi önermiştir:

- LoD1 = Binayı haritalardaki sınırlarından en yüksek seviyesine kadar yükseltme,
- LoD2 = LoD1'e ek olarak düz çatılı binalar,
- LoD3=LoD2'ye ek olarak cephe fotoğraflarının bina cephelerine yerleştirilmesidir.

Gröger ve diğerleri (2004) ise sayısal arazi modellerini de içeren 5 farklı LoD seviyesi önermiştir:

- LoD0= Sayısal yükseklik modelinin uydu görüntüsü, ortofoto vb. zenginleştirilmesi,
- LoD1= Binayı haritalardaki sınırlarından en yüksek seviyesine kadar yükseltme,
- LoD2= LoD1 seviyesine ek olarak çatı çeşitleri, çatı detayları ve önemli ağaçlar ile zenginleştirilmesi,
- LoD3= Bina dışı nesnelere (Bitki örtüsü, sokak lambaları, elektrik direkleri vb.) ve mimari tüm detay özelliklerinin görselleştirildiği modeller,
- LoD4= LoD3 seviyesine ek olarak bina içi ayrıntıların da modele eklenmesidir [Uyar, 2017].

CityGML 2.0 LoD konseptine odaklanarak, tanımlanan beş LoD için katı bir yapı sunmak yerine, her detay seviyesi için farklı alternatifler sunmaktadır. Aşağıda yer alan şekilde alternatiflere yer verilmiştir [Uyar, 2017].



Şekil 3.7: Farklı LoD seviyeleri önerileri.

Diğer bir çalışmada ise deneyler için 16 farklı LoD 'da 100 binadan oluşan bir CityGML veri seti oluşturulmuştur (Şekil 3.7.) Veriler prosedürel olarak Biljecki, Ledoux ve Stoter [2014] tarafından geliştirilen bir CityGML motoru ile oluşturularak kullanılabilirliklerini artırmak için OBJ dosya formatına dönüştürülmüştür. Dönüştürme, CityGML2OBJS aracıyla yapılmış ve bu süreçte modellerde üçgenleştirme sağlanmıştır [Biljecki et al., 2016].

Tablo 3.2: Yüzey Üçgenleştirme Sonuçları.

		LOD0.0	LOD0.1 ^f	LOD0.2 ^{e,f}	LOD0.3 ^{e,f}
	LOD0	Üçgenler ^b	0,32	2,16	4,72
Toplam Yüzey Alanı Sapması		17,94	85,82	71,62	71,62
Duvar Yüzey Alanı Sapması		a	a	a	a
Hacim Sapması ^c		a	a	a	a
Hafıza ^d [kB]		16	98	156	158
			LOD1.0	LOD1.1 ^{e,f}	LOD1.2 ^{e,f}
LOD1	Üçgenler ^b	1,92	12,64	13,44	13,44
	Toplam Yüzey Alanı Sapması	214,49	7,45	7,59	7,29
	Duvar Yüzey Alanı Sapması	a	a	a	a
	Hacim Sapması ^c	784,4	23,36	23,43	22,94
	Hafıza ^d [kB]	45	283	291	291
			LOD2.0 ^f	LOD2.1 ^f	LOD2.2 ^f
LOD2	Üçgenler ^b	13,7	14,5	19,3	26,18
	Toplam Yüzey Alanı Sapması	5,74	5,8	6,04	3,72
	Duvar Yüzey Alanı Sapması	17,41	17,47	17,9	7,51
	Hacim Sapması ^c	21,45	21,48	24,02	1,77
	Hafıza ^d [kB]	528	545	686	661
			LOD3.0 ^f	LOD3.1	LOD3.2
LOD3	Üçgenler ^b	26,22	302,58	317,5	596,3
	Toplam Yüzey Alanı Sapması	6,07	3,72	3,45	0
	Duvar Yüzey Alanı Sapması	17,95	5,77	5,41	0
	Hacim Sapması ^c	21,55	1,84	0,7	0
	Hafıza ^d [kB]	808	4242	4554	11,775

a Boyutsallık ve / veya yetersiz semantik seviye nedeniyle hesaplama yapılamaz.

b Bina başına ortalama üçgen sayısı. Toplanan LOD0.0 ve LOD1.0, birden fazla binayı kapsayan bir blok modeli nedeniyle düşüktür.

c Katı gösterimin hacmi. Toplama nedeniyle LOD1.0 sapması yüksektir.

d Veri kümesindeki tüm binalar için sıkıştırılmadan.

e Çatının yarısının geometrik referansı, çatının üst kısmını temsil edecek şekilde seçilmiştir. Binaların yeniden yapılandırılmasında yaygın olan LoD0 ve LoD1 modelleri bulutlar.

f Bu temsiller için duvarların geometrik referansı, çatı kenarları, havadaki edinim tekniklerinde yaygın olduğu için.

Bilgisayar grafik karmaşıklığı metriğine benzer şekilde bina başına ortalama üçgen sayısı; toplam yüzey alanı, duvar yüzeyinin alanı; karşılık gelen katıların hacmi ve temsillerin her biri için hafızadaki boyut, nicel olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.5.) İncelenen çalışma sonucunda, sayısal olarak, temsillerin her birinin diğerlerinden farklı olduğunu ve sadece geometrik açıdan değil, aynı zamanda benzersiz ve bağımsız bir LoD olarak da kabul edilebileceğinin kanıtlandığı görülmüştür. Bu sonuçlara göre aynı LoD ailesindeki sapmaların büyüklüğünün de belirgin olduğu ortaya konulmuştur (örneğin; LoD2 içindeki iki model arasındaki hacim%24 olabilir). Bu makalede sunulan rafine spesifikasyon bu farklılıkları azaltmaktadır.

Yapılan bu çalışma sonucunda CityGML'in mevcut LoD sınıflandırmasında iki eksiklik vardır:

- Her LoD kesin bir spesifikasyon eksikliği,
- Mevcut 5 LoD çok geneldir ve bu nedenle her zaman bir LoD'u diğerinden ayırmak mümkün olmayabilir (Yani, iki farklı soyutlama seviyesi hala mevcut spesifikasyonla aynı LoD olarak kabul edilebilir.) [Biljecki et al., 2016].

Çatı yapılarının yüzey modellerinin meydana gelmesi tam anlamıyla LoD3 seviyesinde mümkün olmakta, bina dış yüzeyinde ise LoD2 seviyesinde kalmaktadır. Tarihi, kültürel ve politik olarak önemli yapıların 3 boyutlu olarak modellenmesinde tercih edilmektedir. İsviçre ve Avusturya'da bu standartlar ile modelleme yaygın şekilde kullanılmaktadır. Son zamanlarda ise; Almanya'da uzun yıllardır kent modellenmesine sahip olan belediyeler 3 boyutlu modellerde özellikle önemli şehir merkezlerinde bu yöntemi tercih etmektedir. Bu metot 3 boyutlu model üretiminde kullanılan en ucuz ve hızlı yöntem olup obje detay seviyesi LoD2 seviyesidir [Ayyıldız, 2017].

CityGML standardı incelenmekte ve farklı ayrıntı düzeylerinde bina ve bina parçalarının semantik ve geometrik olarak modellenmesi hedeflenmiştir. Bu standardı bütünüyle destekleyen bir yazılım bulunmamaktadır. Bununla birlikte CityGML'e uyumlu 3B kent modelleri üretmede başarılı sayılabilecek birkaç yazılım vardır. Bunlardan 3B kent modelleme ve görselleştirme yazılımı CityGRID™, kent nesnelere (bina, köprü, kapalı otopark, bodrum) farklı ayrıntı düzeylerinde (LoD0, LoD1, LoD2 ve LoD3) semantik, geometrik ve (dış) görünüş modellemesine olanak tanımaktadır [Özdoğan, 2014].

Mevcut ve tarihi binalar için doğru bir LoD tanımlamak bazen imkânsızdır. Örneğin; lazer tarayıcı kullanımı, malzemelerin ve elemanların otomatik olarak tanınmasına izin vermez [Banfi, 2016].

Her LoD, UML veri modelleri ve normatif uyumluluk gereksinimleri tarafından belirtilen minimum düzeyde semantik bilgiye sahiptir. Ancak, asgari seviyenin ötesinde daha semantik varlıklara sahip olmak için normatif bir gereklilik yoktur.

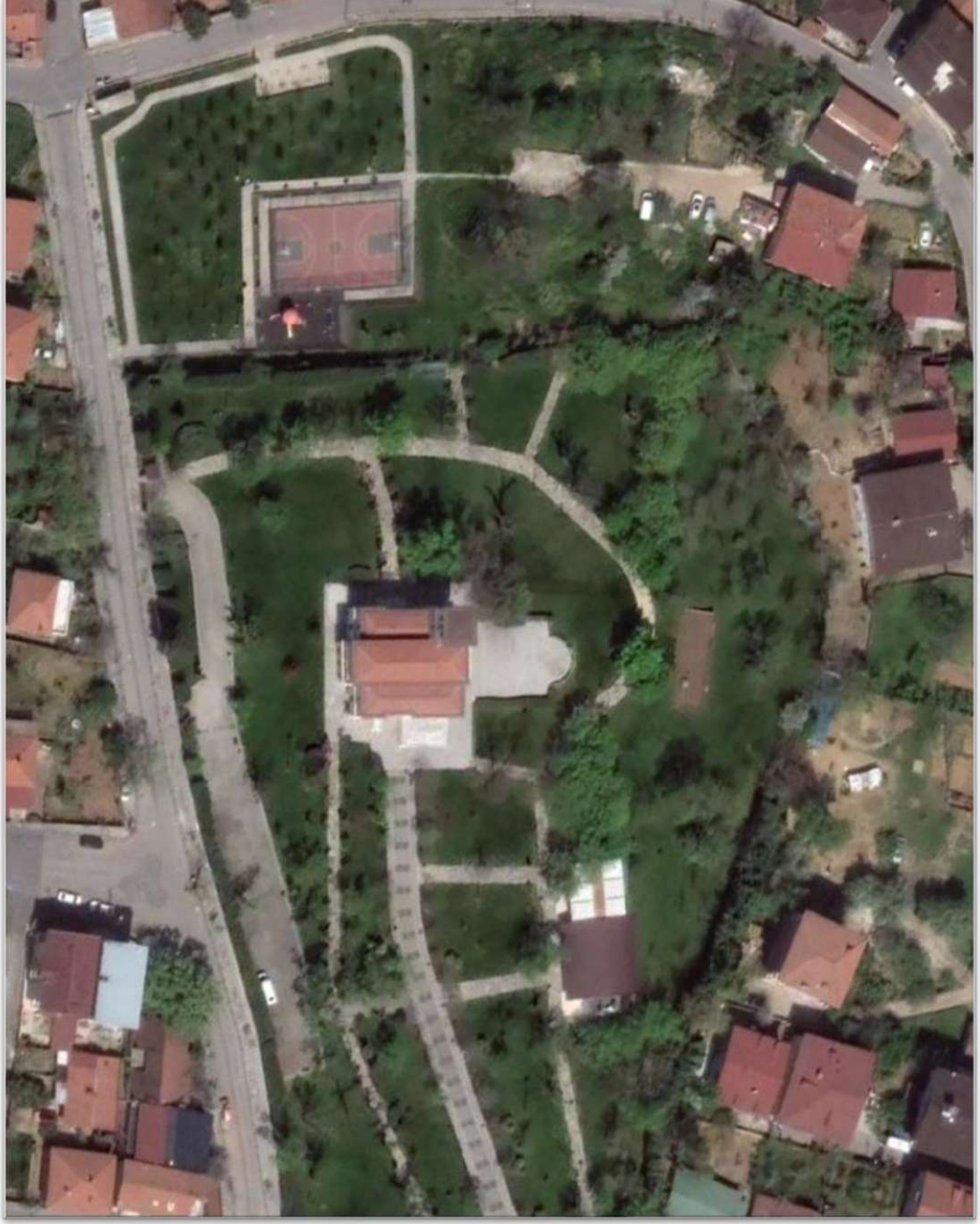
- Dış kısımdaki küçük gelişmeleri ihmal ederek LoD3, çoğu durumda temelde açıklıkları olan bir LoD2'dir [örneğin; pencereler ve kapılar].
- LoD4, içerisi yükseltilmiş bir LOD3'tür. Dış geometrinin LoD'u ve anlambilimi eşit kalır.
- Standarttaki LoD'lar ile uygulama arasında sağlam bir bağlantı yoktur. Örneğin, bir duvara pencere eklerken LoD3'te, duvarın tanımı LoD2'den tekrar kullanılamaz.
- Ağaçlar ve yollar gibi binalar dışındaki özellikler için ayrıntı seviyeleri açıkça tanımlanmamıştır.

Son olarak, Fan ve Meng'in (2012) gözlemlediği gibi, CityGML detay seviyelerinde farklı LoD'ların otomatik bir şekilde türetilmesi için yöntemler göstermez ve farklı LoD'lar arasındaki ilişkiler korunmaz [Biljecki vd., 2013].

4. UYGULAMA

İHA ile fotogrametrik yöntemlerle ve yersel yöntemlerle uygulamayı gerçekleştirdiğimiz çalışma alanı, İstanbul ili, Ümraniye ilçesi, Hekimbaşı Mahallesi içerisinde kalan Tarihi Hekimbaşı Av Köşkü'dür. Tarihi Hekimbaşı Av Köşkü Küçüksu-Ümraniye güzergâhında kalmakta olup, Hekimbaşı Mahallesi Çiftlik Caddesi ve Okul Caddesi arasında yer almaktadır. Tarihi Hekimbaşı Av Köşkü; Sultan Abdülaziz'in Av Köşkü ve Yusuf İzzettin Köşkü olarak da adlandırılmaktadır. Hekimbaşı Av Köşkü Küçük Hayrullah Efendi (1817-1866) tarafından, Mimar Sarkis Balyan'a yaptırılmıştır (Ümraniye Kaymakamlığı, 2021).





Şekil 4.1: Çalışma alanı.

Bu çalışmada hava fotoğraflarını elde etmek için DJI Mavic 2 Pro insansız hava aracı kullanılmış olup, yersel uygulamalar için ise Leica firmasının üretmiş olduğu Viva GS 14 gps aleti ve Geomax Zoom35 PRO Reflektörsüz Total Station aleti kullanılmış bunların özellikleri aşağıdaki çizgelerde verilmiştir. Uygulamada fotogrametrik verilerin bilgisayar ortamında değerlendirilmesi için Pix4d, yersel verilerin çizimi ve karşılaştırmalar Autocad yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.1: DJI Mavic 2 Pro Özellikleri.

Ağırlık	907 gram
Maksimum Hız	44,7 mph[Spor modda rüzgarsız uçuşlarda]
Maksimum İrtifa	6000m
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-100 – 400
Navigasyon	GPS- GLONASS
Kamera/Sensör	20M/1*CMOS
Lens	FOV 77° 28 mm f/2.8
ISO Aralığı	Video:100-6400/ Fotoğraf:100-3200[otomatik], 100-12800 [manuel]
Maksimum Fotoğraf Büyüklüğü	5472x3648
Maksimum Video Çözünürlüğü	4K Ultra HD: 3840x2160

Tablo 4.2: Geomax ZOOM35 Pro Özellikleri.

Açı ölçümleri Doğruluk	1 "[0.3 mgon], 2" [0.6 mgon], 3 "[0.9 mgon], 5" [1.5 mgon]
Mesafe ölçümleri Prizma:	3,500 m / 2 mm + 2 ppm
Uzun menzil	: 10.000 m / 5 mm + 2 ppm
Ağırlık	5,1 kg
Klavye	Tam alfanümerik
Ekran	3,5 "Çeyrek VGA renkli dokunmatik ekran [320 x 240 piksel], 10 satır x 30 karakter, kendinden ısıtmalı, aydınlatmalı
Çalışma süresi	36 saat [sürekli açı], 9 saat [her 30 saniyede sürekli mesafe ölçümü]
Şakül Tip/ Doğruluk	Lazer noktası, ayarlanabilir parlaklık /1,5 m alet yüksekliğinde 1,5 mm

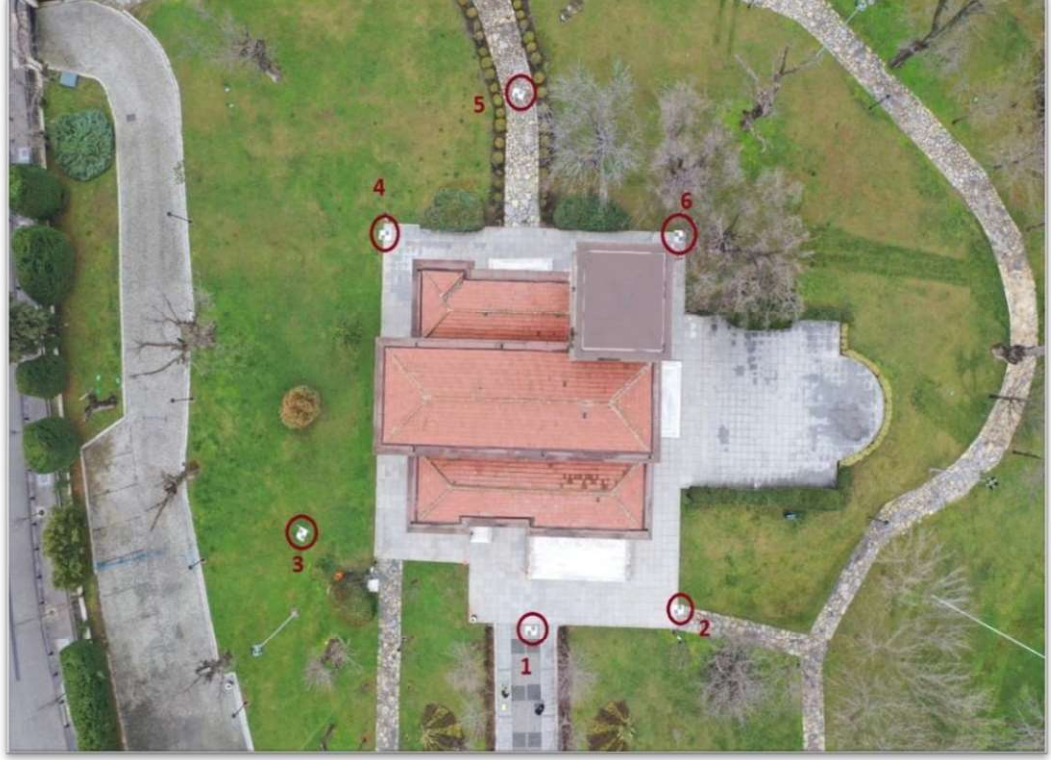
Tablo 4.3: Leica Viva GS 14 Pro Özellikleri.

GNSS teknolojisi	Leica SmartTrack Gelişmiş dört takımyıldız takibi Leica SmartCheck RTK çözümünün sürekli kontrolü Güvenilirlik %99,99
Sinyal izleme	GPS [L1, L2, L2C], Glonass [L1, L2], BeiDou [B1, B2], Galileo [E1, E5b], SBAS [WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN]
Kanal sayısı	120 [iki frekansta aynı anda 60 uyduya kadar]
Gerçek zamanlı kinematik	Tek temel Hz 8 mm + 1 ppm / V 15 mm + 1 ppm Ağ RTK Hz 8 mm + 0,5 ppm / V 15 mm + 0,5 ppm
Uzun gözlemlerle işlem sonrası	Statik [faz] Hz 3 mm + 0.1 ppm / V 3.5 mm + 0.4 ppm Statik ve hızlı statik [faz] Hz 3 mm + 0.5 ppm / V 5 mm + 0.5 ppm

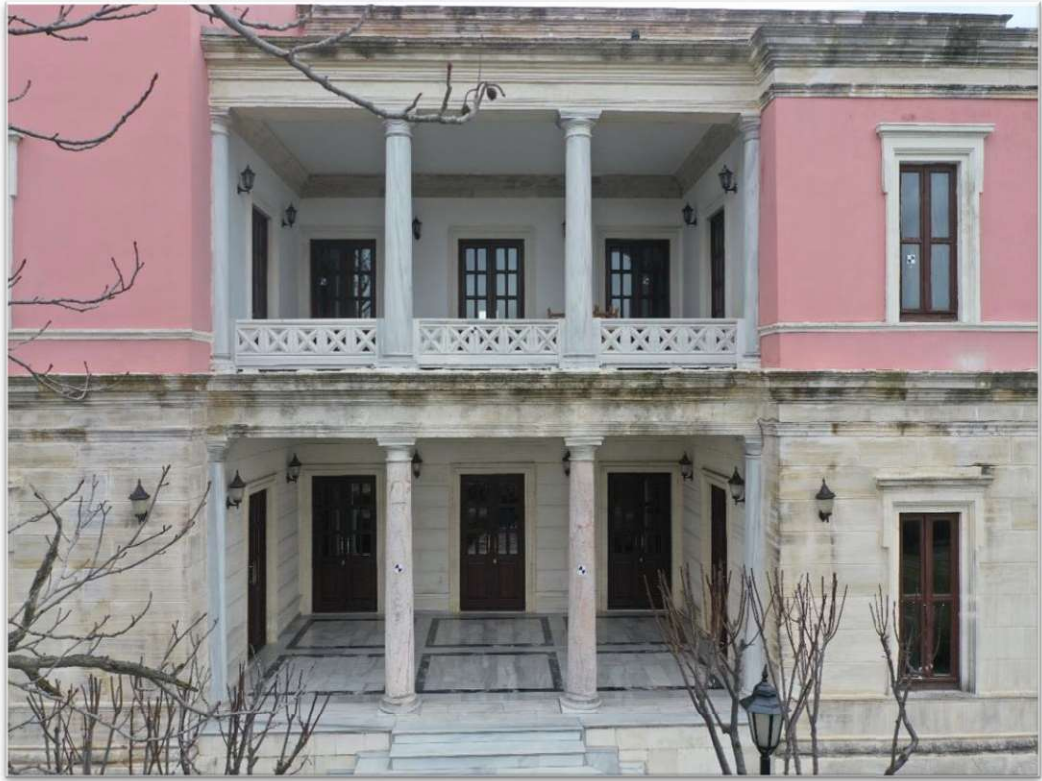
Uygulama adımı olarak ilk önce uçuş planlaması DJI Pilot PE programı üzerinden yapılmış daha sonra uçuş öncesi yer kontrol noktaları ve bina kontrol noktaları tesisi yapılmış yersel yöntemlerle üç boyutlu olarak koordinatlandırılması gerçekleştirilmiştir. Kontrol noktaları rahatça görünebilecek şekilde ve homojen olarak çalışma alanına dağıtılmıştır (Şekil 4.7., Şekil 4.8.). Çalışma alanında 6 adet yer kontrol noktası ve 18 adet yapı üzerinde kontrol noktaları tesis edilmiştir (Tablo. 4.3. ve Tablo 4.4.).

Tablo 4.4: YKN ve BKN Koordinatları.

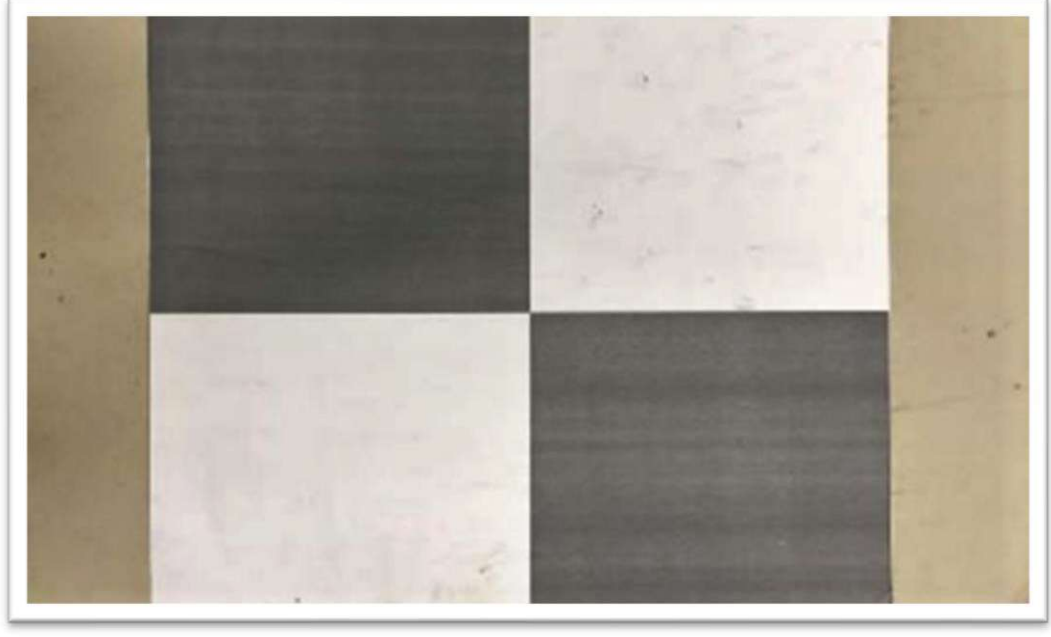
	X	Y	Z
YKN1	423864,212	4547865,537	155,706
YKN2	423873,982	4547874,185	155,75
YKN3	423843,115	4547860,693	155,878
YKN4	423835,622	4547884,737	155,812
YKN5	423838,777	4547901,016	154,927
YKN6	423857,096	4547899,196	155,775
BKN1	423865,7	4547877,797	158,473
BKN2	423848,917	4547888,563	158,683
BKN3	423848,158	4547887,842	161,618
BKN4	423853,435	4547892,059	162,251
BKN5	423853,489	4547891,941	172,93
BKN6	423860,118	4547887,687	162,794
BKN7	423860,603	4547887,281	158,313
BKN8	423865,208	4547880,029	157,855
BKN9	423864,43	4547880,953	162,864
BKN10	423862,441	4547884,094	162,791
BKN11	423861,027	4547874,832	158,483
BKN12	423855,707	4547872,121	158,503
BKN13	423862,23	4547875,808	162,771
BKN14	423855,539	4547886,327	172,838
BKN15	423842,602	4547881,556	157,732
BKN16	423842,543	4547881,755	162,502
BKN17	423842,821	4547885,222	162,426
BKN18	423846,795	4547887,187	158,642



Şekil 4.2: Yer kontrol noktaları.

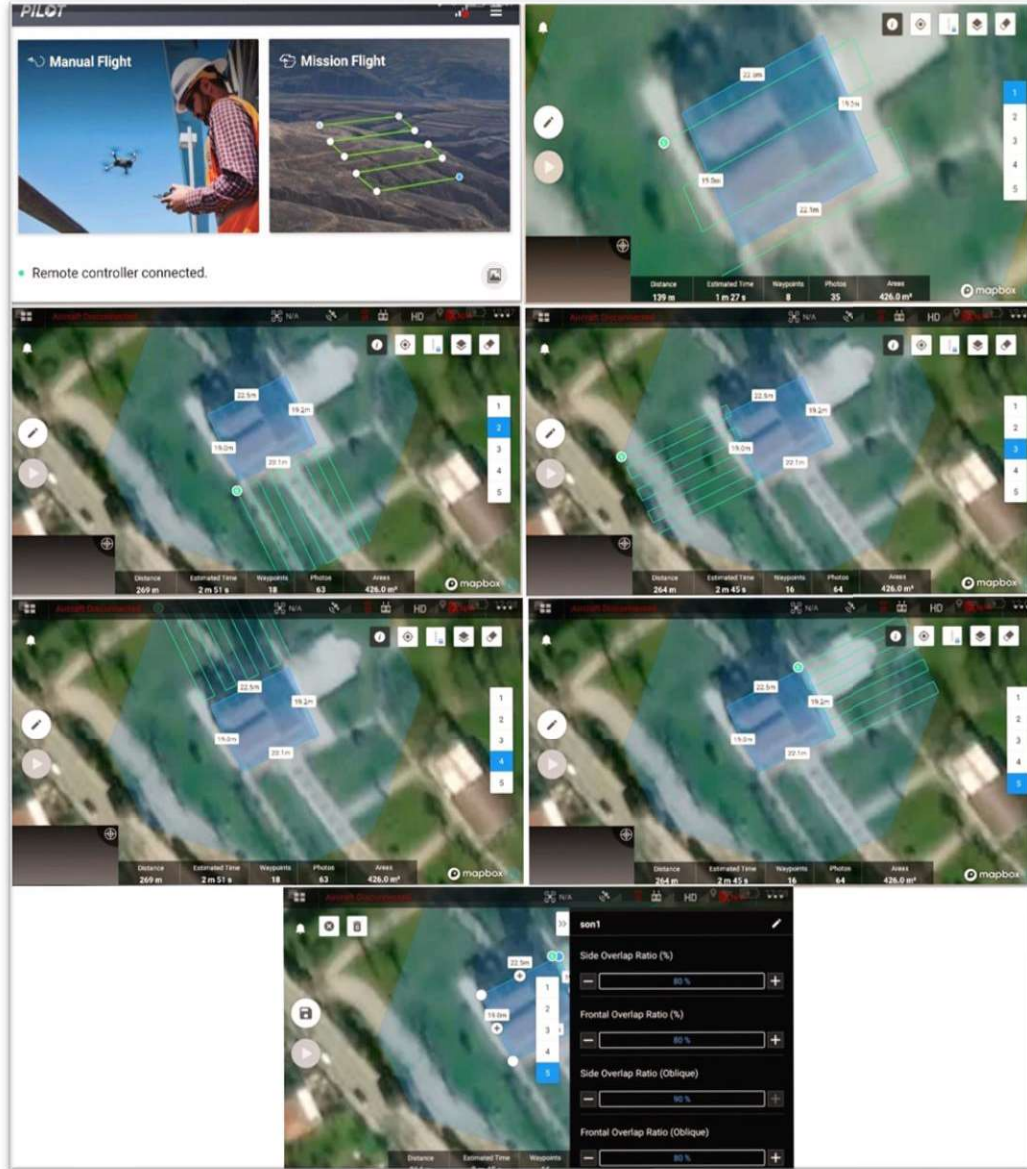


Şekil 4.3: Bina kontrol noktaları.



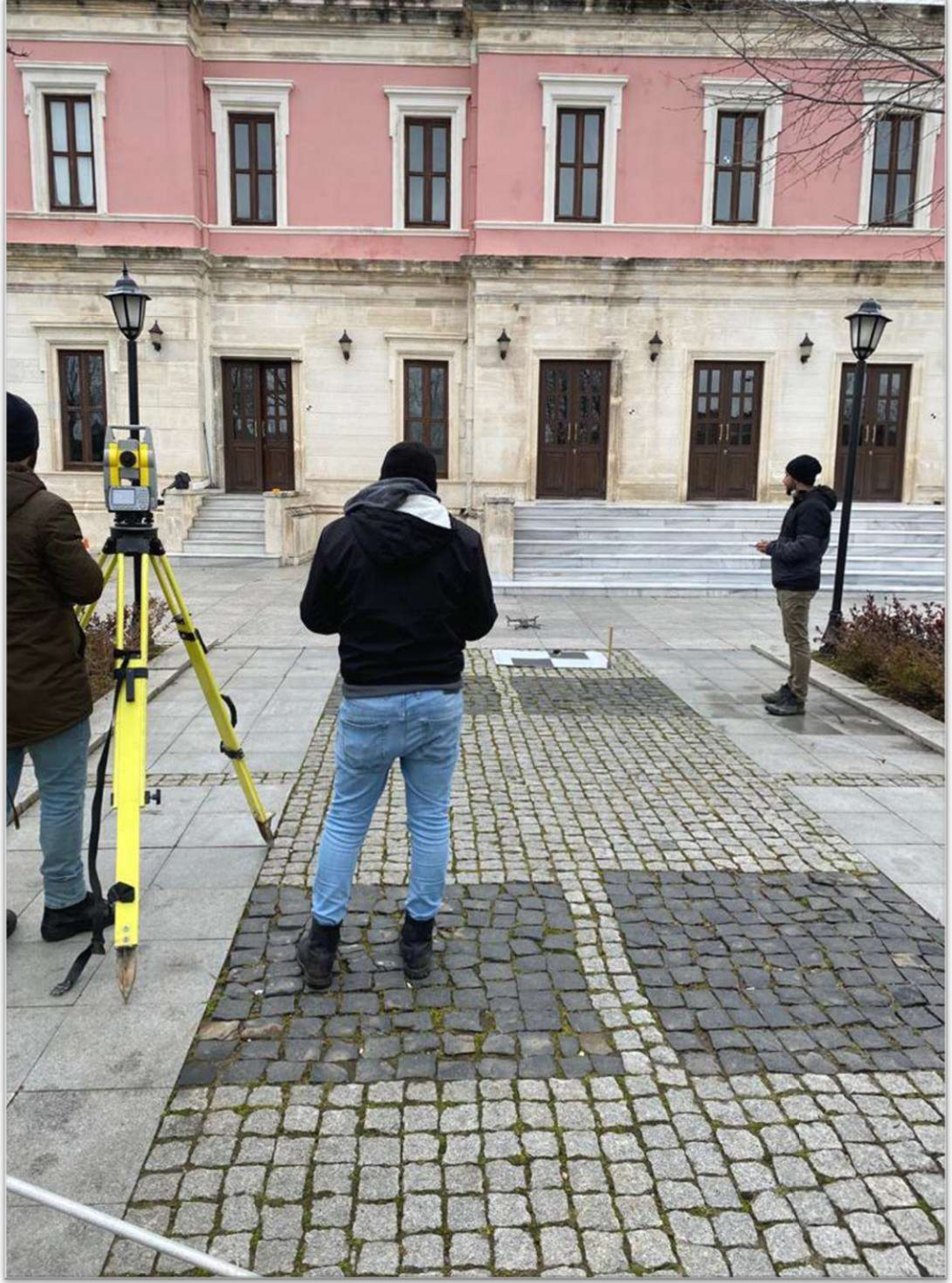
Şekil 4.4: Yer kontrol noktası.

Çalışma kapsamında öncelikle uçuş planları DJI Pilot Pe programına Google Earth üzerinden oluşturulmuş çalışma alanı aktarılarak meydana getirilmiştir. Sonrasında DJI Pilot PE yazılımı tarafından bindirme oranları girilerek oluşturulmuştur. Uçuş planında enine ve boyuna bindirme oranları %80, ön bindirme oranı ise %90 olarak belirlenmiştir. DJI pilot programı ile seçilen alan ve özellikler baz alınarak 5 farklı uçuş rotası oluşmuş otomatik olarak uçuş gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.5.). Ayrıca ihtiyaç görülen alanlarda İHA ile manuel olarak da ekstra fotoğraflar alınmıştır. Uçuş planlanırken gölgelerden etkilenmemek adına kapalı bir havada ve rüzgârın düşük hızda olduğu anda uçuş gerçekleştirilmiştir.



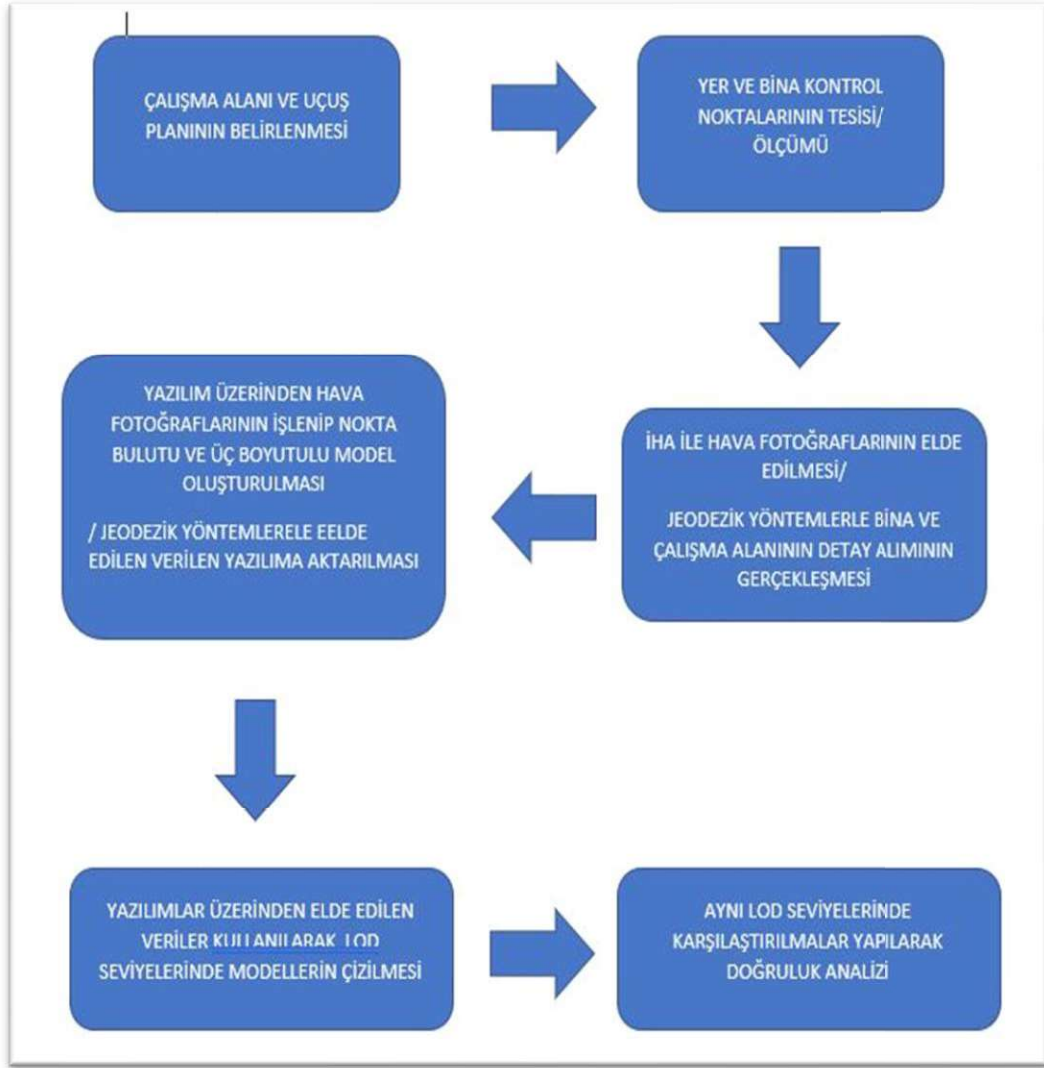
Şekil 4.5: Program üzerinden oluşturulan uçuş rotaları ve uçuş planlaması.

İHA ile bu yöntemle elde edilen fotoğraflar incelenerek gereksiz çekilmiş, programın otomatik olarak yöneltme yapmasının mümkün olmadığı fotoğraflar, görüntü yürümesi olmuş veya net çıkmamış uygun olmayan hava fotoğrafları işlem aşamasında gereksiz yük oluşturmaması ve doğruluk üzerinde etki etmemesi amacıyla çıkarılarak toplam 418 adet hava fotoğrafı elde edilmiştir. Uygulamada referans oluşturması amacıyla yersel yöntemler kullanılarak reflektörsüz lazer ile bina cephesi üzerinde ve çevresinde detay alımı aynı yer kontrol noktaları poligon kabul edilerek ölçümü gerçekleştirilmiştir. YKN üzerinde alet kullanılarak ölçüm yapılmış, ölçümün kendi içerisinde bir bütün olması istenmiştir.



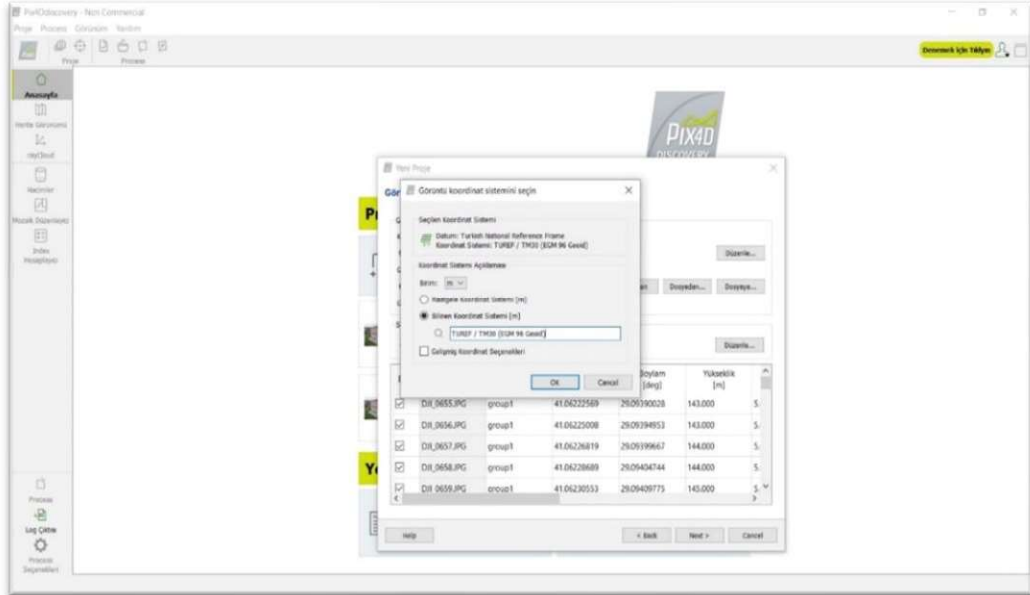
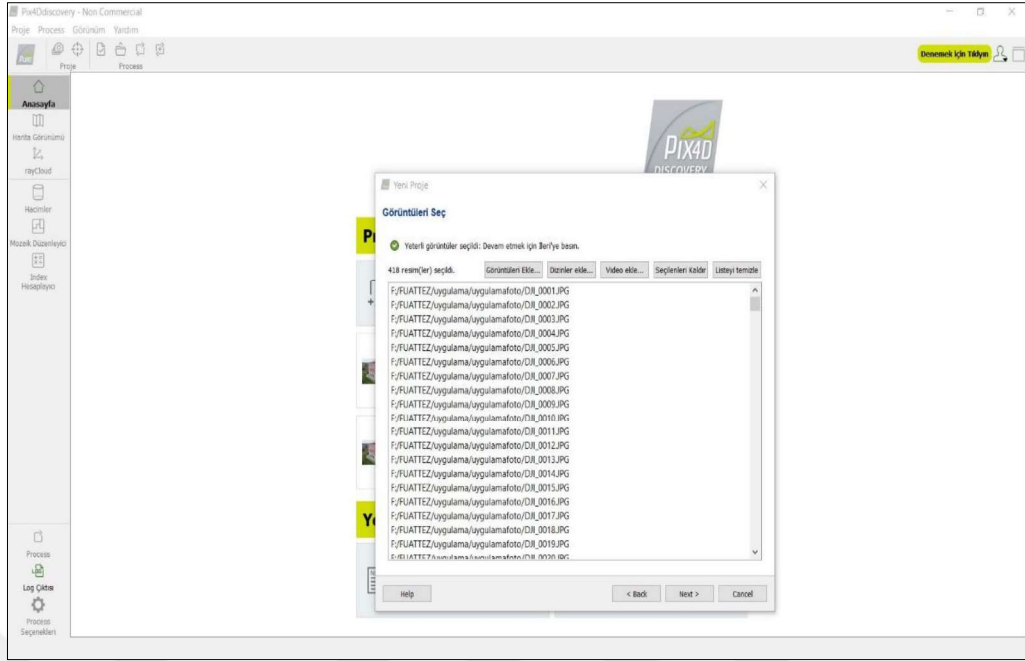
Şekil 4.6: Uygulama anı.

İHA'lerden elde edilen fotoğraflar 3 boyutlu model üretmek amacıyla Pix4D programı kullanılmış ve aşağıdaki iş akışı uygulamada gerçekleştirilmiştir (Şekil.4.7.)



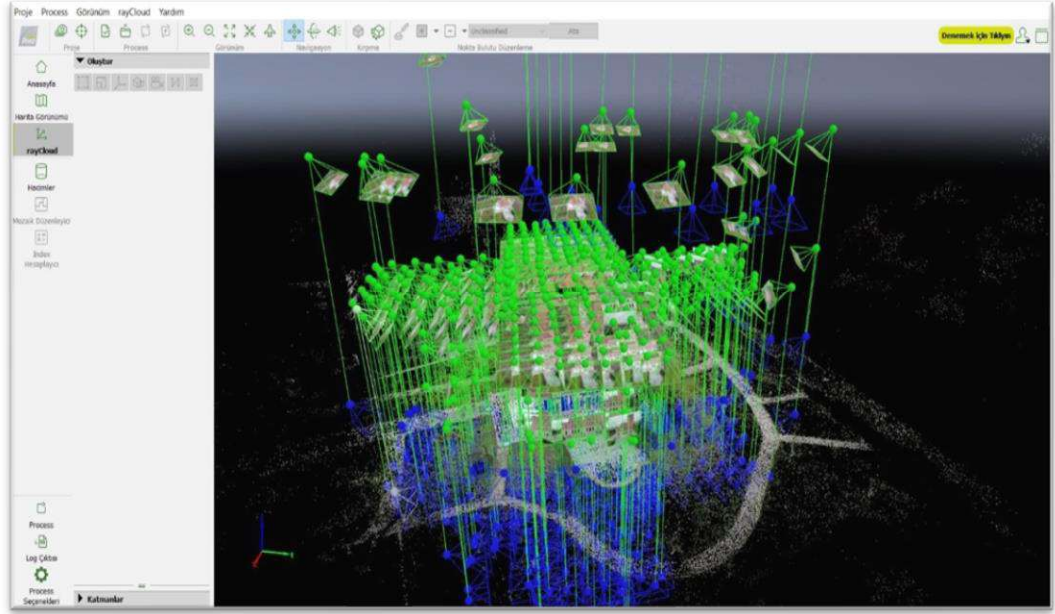
Şekil 4.7: İş akış diyagramı.

Fotoğraflar PIX4D uygulamasında kullanmak amacıyla tek tek seçmek yerine, direkt olarak fotoğrafların içinde bulunduğu klasörü program içine aktararak görüntü ve çıktı koordinat sistemi TUREF30 seçilerek yeni proje oluşturulmuştur (Şekil 4.8.)

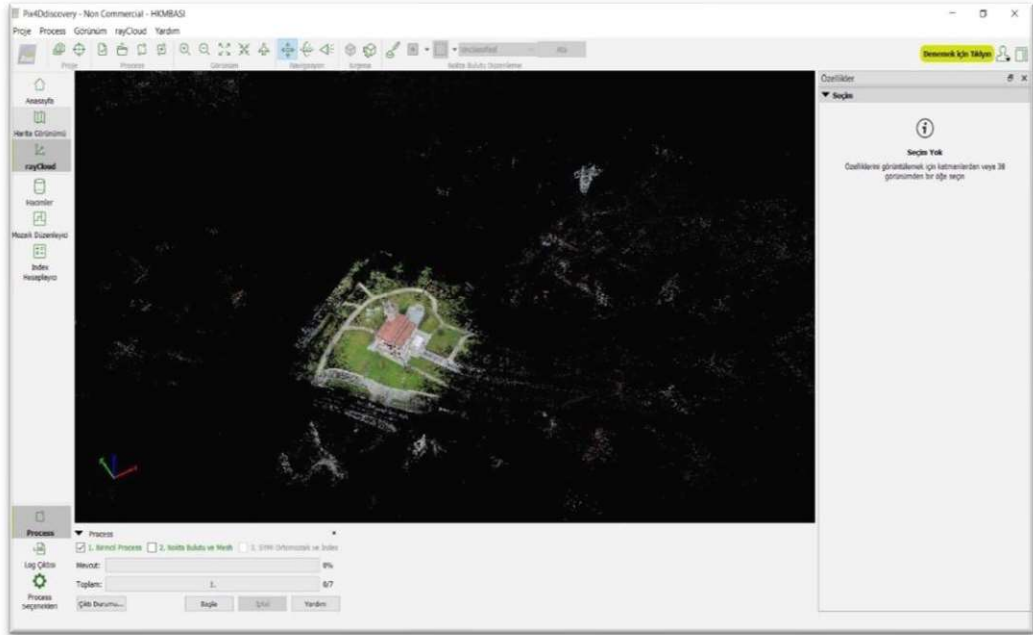


Şekil 4.8: Hava fotoğraflarının yüklenmesi ve koordinat sisteminin seçimi.

Daha sonra hava fotoğraflarının yönlendirilmesi anlık koordinat ve dönüklük değerlerinin otomatik olarak program tarafından belirlenmesi ile işlem sürecinin birinci işlem adımında başlanmıştır. Bu işlem adımından sonra fotoğraflar kalibre edilme süreci başlatılmıştır. Bu işlem adımında program elde edilen fotoğraflar arasındaki ilişkileri göz önüne alarak otomatik olarak bağlantı noktaları oluşturup fotoğrafların kalibre edilmesi yazılım tarafından gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.9. ve Şekil 4.10.)



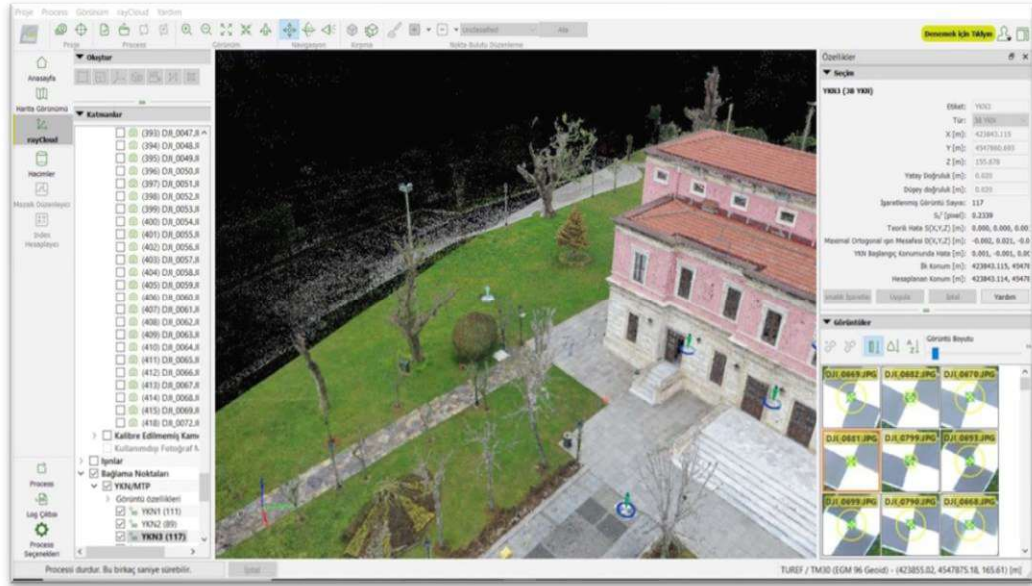
Şekil 4.9: Kalibre edilmiş fotoğraflar.



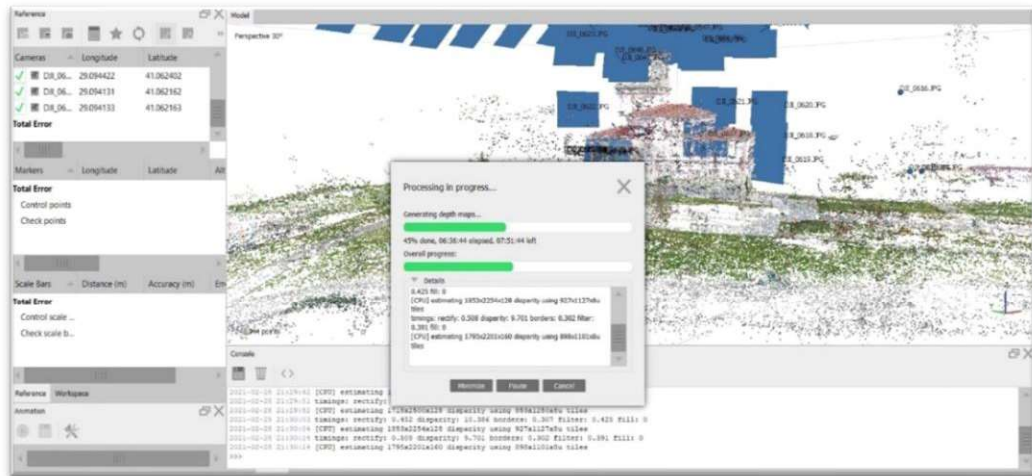
Şekil 4.10: Otomatik bağlantı noktaları.

Bu işlem adımından sonra ise sahadan jeodezik yöntemlerle koordinatları elde edilen yer ve bina kontrol noktaları YKN/MTP yöneticisi ile içe aktırılır. Bu noktaların fotoğraflar üzerinde yerleri işaretlenerek proses sekmesinden yeniden eşle ve optimize et seçeneği tıklanır. Uygulamamızda ilk adımda 418 fotoğrafın 410 kalibre edilmiş olup kontrol noktalarının fotoğraflar üzerinde işaretlenip yeniden optimize edilmesiyle tüm fotoğrafların kalibre edilmesi gerçekleştirilmiştir. Böylece fotoğraflar yer ve bina

kontrol noktaları kullanılarak yeniden yönlendirilir. Bu süreç sonucunda uygulama tarafından kalite raporu üretilir.



Şekil 4.11: YKN noktalarının belirlenmesi.



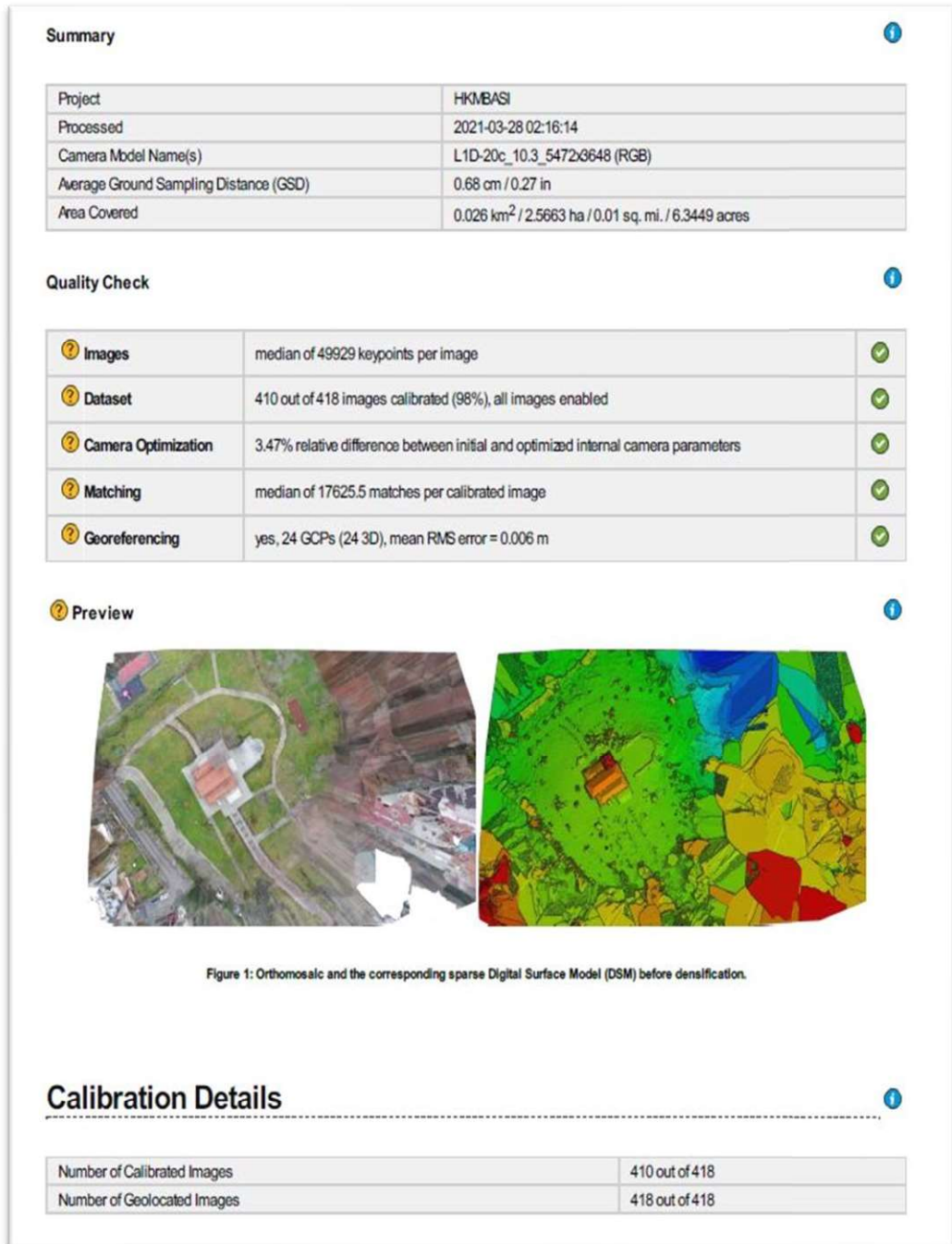
Şekil 4.12: Yeniden Eşle ve Optimize Et adımı.

Fotoğrafların kalibrasyonu sonrası kalite raporunu kontrol edilerek projenin diğer adımları için uygunluğu kontrol edilmiştir. Sonra ise prosesin ikinci adımına başlanarak nokta bulutu ve 3 boyutlu mesh üretilmesi sağlanır. Üretilen nokta bulutunda düzenlemeler için yoğunlaştırılmış nokta bulutu seçilerek düzenleme yapılır. Nokta bulutunda oluşan gürültüler ve mesh oluşturmak için ihtiyaç olmayan noktalar sistem üzerinde yük oluşturmaması için silinmiştir. Böylece hem işlem süre tasarrufu hem de ihtiyaç olmayan noktalar çıkarılmış olmaktadır. Nokta bulutu sınıflandırması

çalıştırılarak önce program tarafından nokta bulutu sınıfları oluşturulmuş daha sonra manuel olarak da sınıfların düzenlenmesi sağlanmıştır. Bu işlem adımlarından sonra da nokta bulutu noktaları arasında üçgenleme mantığı ile noktaların konum ve spektral değerlerinden boşluksuz raster model üretimi prensibi ile işleyen raster mesh model üretimine geçilmiştir ve 3D mesh üretimi uygulamamızda gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.13.)



Şekil 4.13: 3 Boyutlu Dokulu Mesh.



Şekil 4.14: Kalite raporu.

2 Absolute camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
Mean	0.002	0.002	0.002	0.009	0.004	0.004	0.001	0.001	0.001
Sigma	0.002	0.003	0.001	0.030	0.002	0.003	0.001	0.001	0.001

2 Overlap



Number of overlapping images: 1 2 3 4 5+

Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	6919809
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	2245134
Mean Reprojection Error [pixels]	0.185

2 Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XYZ [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	0.003	0.588	111 / 111
YKN2 (3D)	0.020/ 0.020	0.006	0.011	-0.010	0.611	89 / 89
YKN3 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	-0.001	0.001	0.537	117 / 117
YKN4 (3D)	0.020/ 0.020	0.010	0.009	-0.001	0.561	106 / 106
YKN5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.011	0.005	0.006	0.843	57 / 57
BKN2 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	-0.004	0.003	0.090	14 / 14
BKN3 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	0.007	-0.007	0.093	26 / 26
BKN4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.000	0.005	-0.004	0.072	14 / 14
BKN5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.007	0.006	-0.011	0.068	24 / 24
BKN6 (3D)	0.020/ 0.020	0.006	-0.006	-0.002	0.090	8 / 8
BKN7 (3D)	0.020/ 0.020	0.006	-0.005	0.002	0.119	9 / 9
BKN8 (3D)	0.020/ 0.020	0.006	0.001	0.006	0.118	13 / 13
BKN9 (3D)	0.020/ 0.020	0.005	0.002	0.001	0.081	25 / 25
BKN10 (3D)	0.020/ 0.020	0.008	-0.001	-0.001	0.086	10 / 10
BKN11 (3D)	0.020/ 0.020	-0.005	-0.010	0.006	0.053	12 / 12
BKN12 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	-0.006	0.004	0.070	18 / 18
BKN13 (3D)	0.020/ 0.020	-0.006	-0.007	0.003	0.069	17 / 17
BKN14 (3D)	0.020/ 0.020	-0.007	-0.018	-0.007	0.043	16 / 16
BKN15 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	0.003	0.002	0.047	10 / 10
BKN16 (3D)	0.020/ 0.020	-0.002	0.003	0.002	0.052	20 / 20
BKN17 (3D)	0.020/ 0.020	0.007	0.001	0.004	0.038	23 / 23
BKN18 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	-0.002	0.003	0.059	14 / 14
BKN1 (3D)	0.020/ 0.020	-0.009	-0.013	0.007	0.067	12 / 12
YKN6 (3D)	0.020/ 0.020	-0.004	0.005	-0.004	0.146	26 / 26
Mean [m]		0.000320	0.000037	0.000165		
Sigma [m]		0.005640	0.007729	0.005004		
RMS Error [m]		0.005649	0.007729	0.005007		

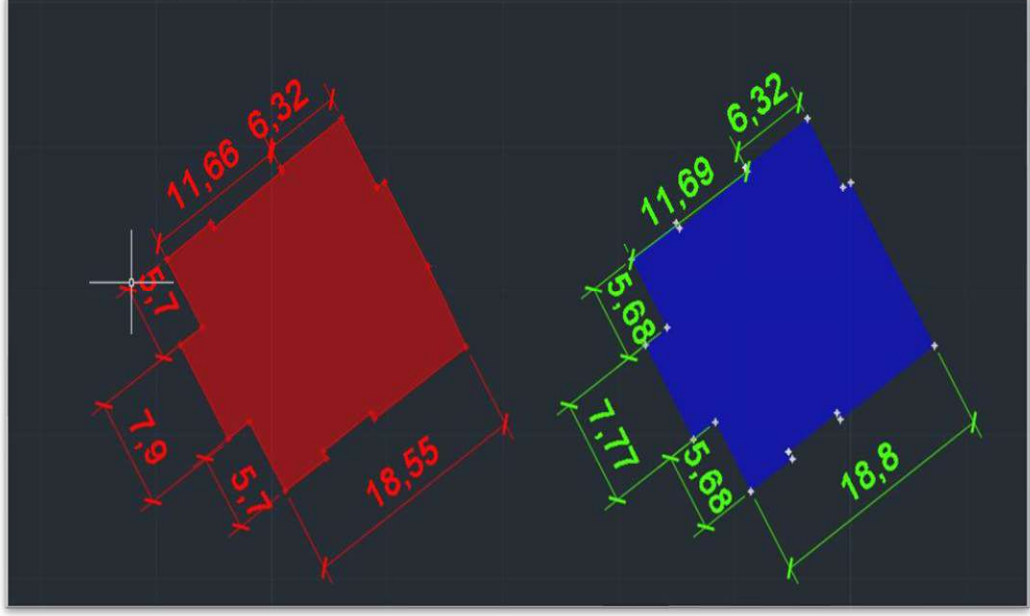
Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Şekil 4.15: YKN ve BKN raporu Karenel Ortalama Hata sonuçları.

Uygulamada farklı LoD seviyelerindeki ihtiyaçlar doğrultusunda oluşturulması amacıyla mesh üzerinden çizimler yapılarak bu çizimler AUTOCAD ortamına aktırılmış ve 3 boyutlu çizimi sağlanmıştır. Jeodezik yöntemle elde edilen noktalarla ile de farklı detay seviyelerinde 3 boyutlu olarak gerekli çizimler sağlanmıştır. LoD0 seviyesinde konumsal olarak ve cephe detayları karşılaştırılması yapılmıştır (Tablo 4.5.) (Şekil 4.16.)

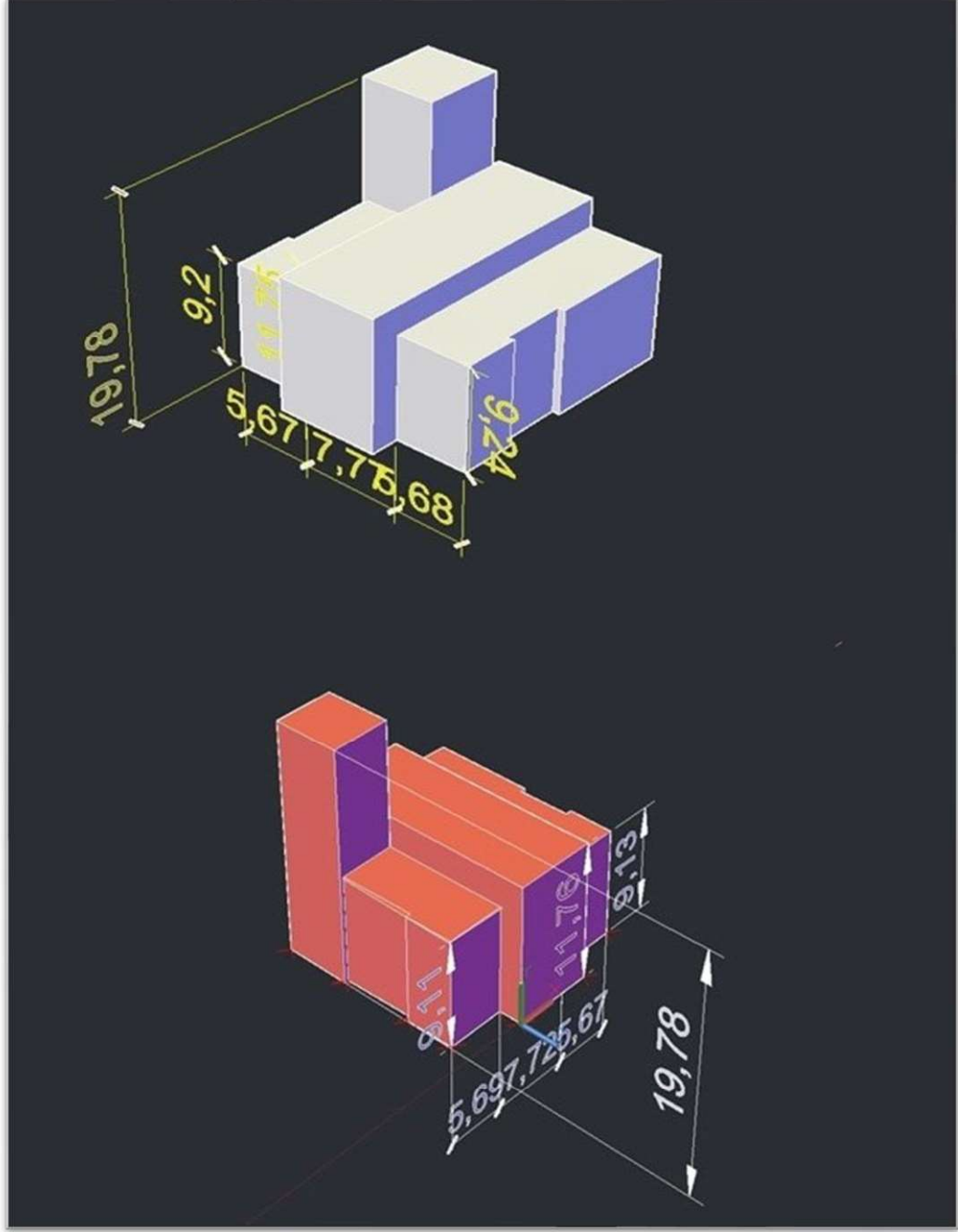
Tablo 4.5: LoD0 Karesel Ortalama Hata Hesabı.

KARESEL ORTALAMA HATA			
X[m]	Y[m]	Z[m]	Mesafe[m]
0,019	-0,019	0,012	0,029428
0,01	-0,01	0,045	0,04717
0	0	0,046	0,046
0,04	0,029	0,02	0,053301
-0,001	-0,016	0,029	0,033136
0,224	0,128	-0,005	0,258041
0,031	-0,01	0,054	0,063063
0,021	0,014	0,064	0,068797
0,01	0,014	0,044	0,047244
-0,009	0,038	0,003	0,039166
-0,005	0,019	0,007	0,020857
0,004	0,044	-0,021	0,048918
-0,012	0,02	0,002	0,023409
-0,024	0,004	-0,02	0,031496
-0,045	0,012	0	0,046573
-0,022	0,005	0,013	0,026038
0,002	-0,035	0,002	0,035114
0,0766	-0,0044	-0,005	0,076889
0,01394019	0,00860741	0,00694	



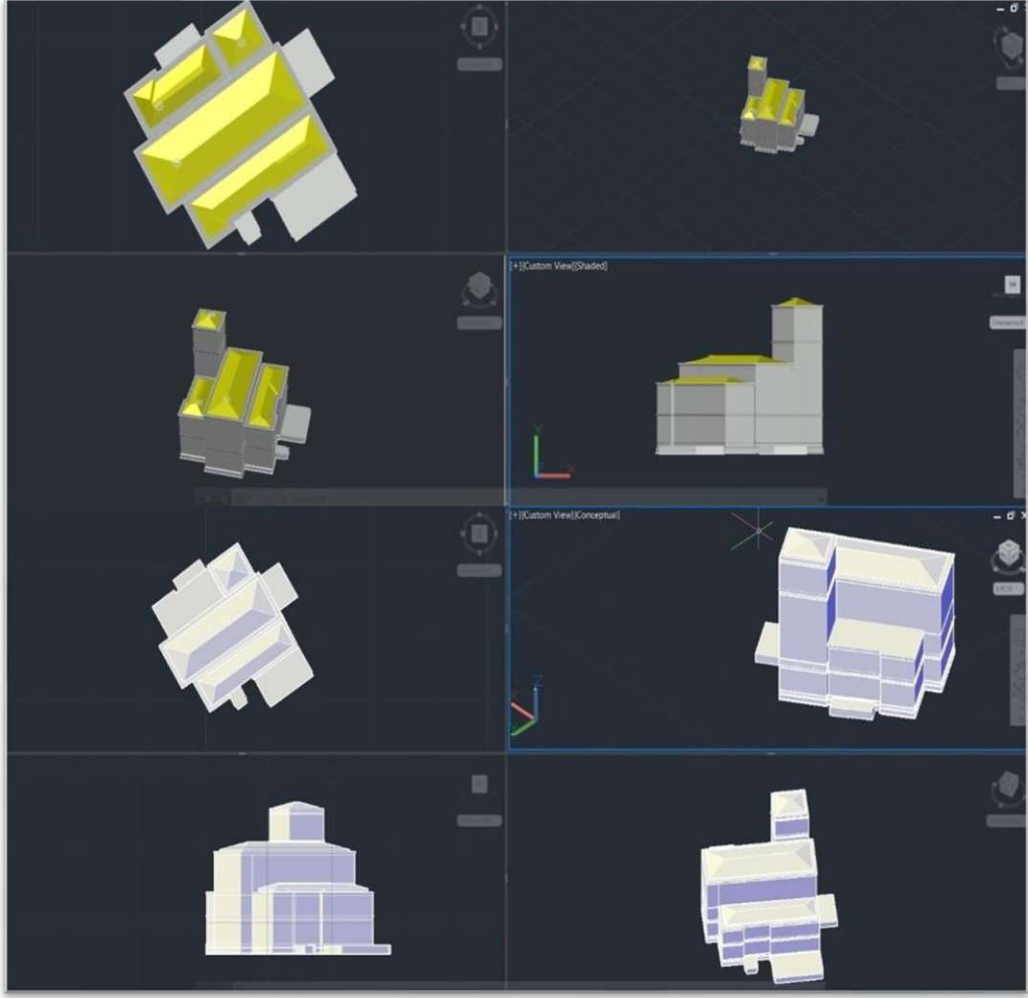
Şekil 4.16: LoD0 detay seviyesinde çizimler ve cephe ölçüleri.

LoD0 seviyesinde yapılan karşılaştırmalar ile konumsal olarak ve cephe ölçüleri birbirleriyle karşılaştırılması sonucu cm hassasiyetinde sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Uygulama için LoD0 ve LoD1 seviyelerinde çizimlerde bina saçakları referans kabul edilerek çizim gerçekleştirilmiştir. Saçak ve çatı detayları LoD2 detay seviyesinde oluşturulmuştur.



Şekil 4.17: LoD1 detay seviyesinde çizim bina cephe ve kat yükseklikleri ölçüleri.

Çizimler ve ölçümler karşılaştırıldığında LoD1 detay seviyesinde de LoD0 seviyesine benzer olarak hassasiyetin cm seviyesinde olduğunu rahatlıkla söyleyebiliriz.



Şekil 4.18: LoD2 Seviyesi 3 Boyutlu çizimleri.

LoD2 seviyesinde eklenen detay olan çatıların üst noktalarının kotları ve LoD2 çiziminde eklenen bina eklenti alanlarının koordinatları karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.6: LoD2 Seviyesinde Karesel Ortalama Hata.

	İHA LOD2 Seviyesi	Yersel Ölçüm Lod2 Seviyesi	Fark [m]
Kule Çatısı üst nokta kotu[m]	176,0929	176,1902	-0,0973
Orta çatı üst nokta kotu[m]	168,6976	168,6391	0,0585
Ön cephe nokta üst kotu[m]	165,7482	165,5610	0,1872
Arka cephe çatı üstkotu[m]	166,0392	165,9662	0,0730
		Karesel Ortalama Hata [m]	0,115393219

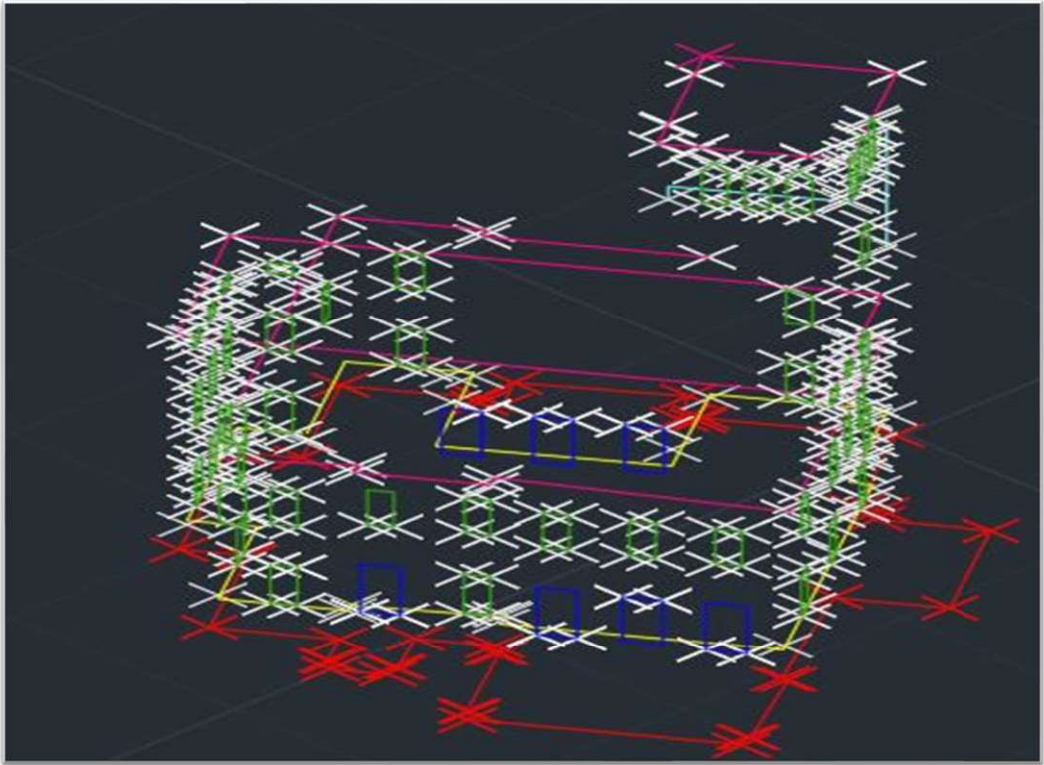
Uygulamada son olarak LoD3 seviyesinde çizimler yapılmış; binanın tüm cephelerinin detay çizimleri gerçekleştirilmiştir. Öncelikli olarak Pix4D programı üzerinden tüm cephe detayları çizimi gerçekleştirilmiş ve bunlar cad ortamına aktarılarak tüm LoD seviyelerinde karşılaştırmalar için gerekli olan ölçüler ile koordinatların cad ortamına aktarımı sağlanmıştır (Şekil 4.20.) Yersel alım noktaları (Şekil 4.21.) LoD3 seviyesinde çizimler sağlanmış yapı cepheleri detayları ile birlikte çizilmiştir (Şekil 4.22.)



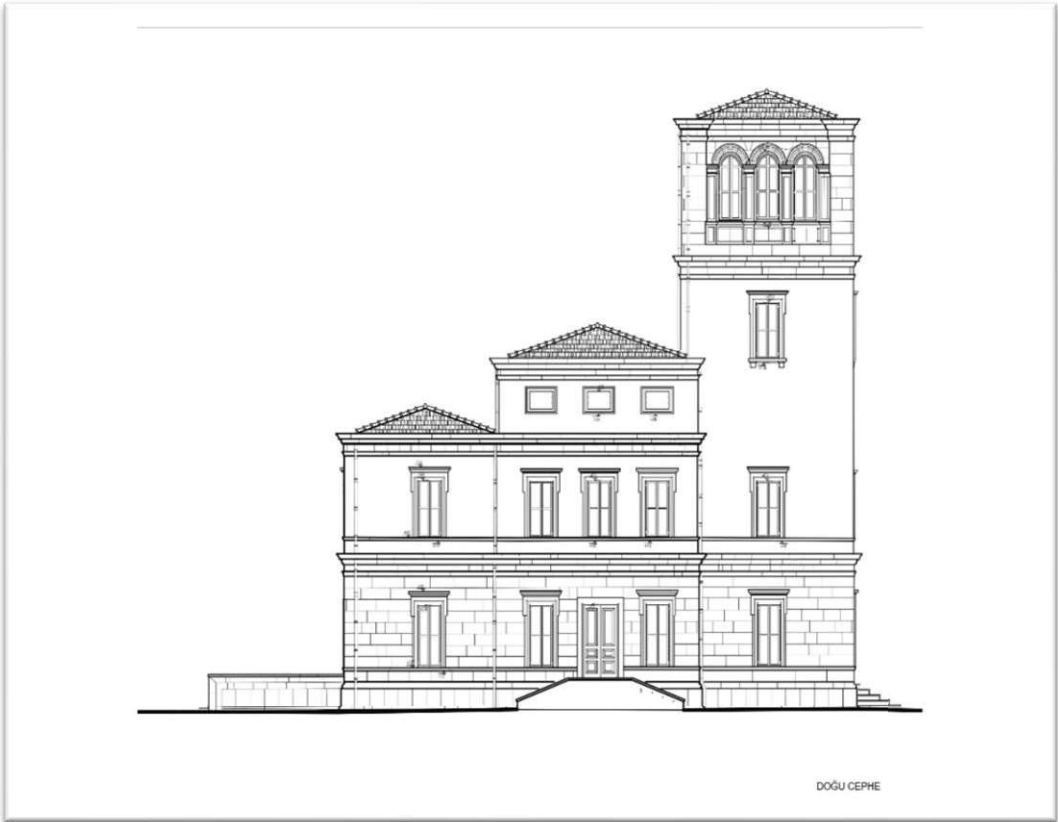
Şekil 4.19: İHA ile LoD3 seviyesi.

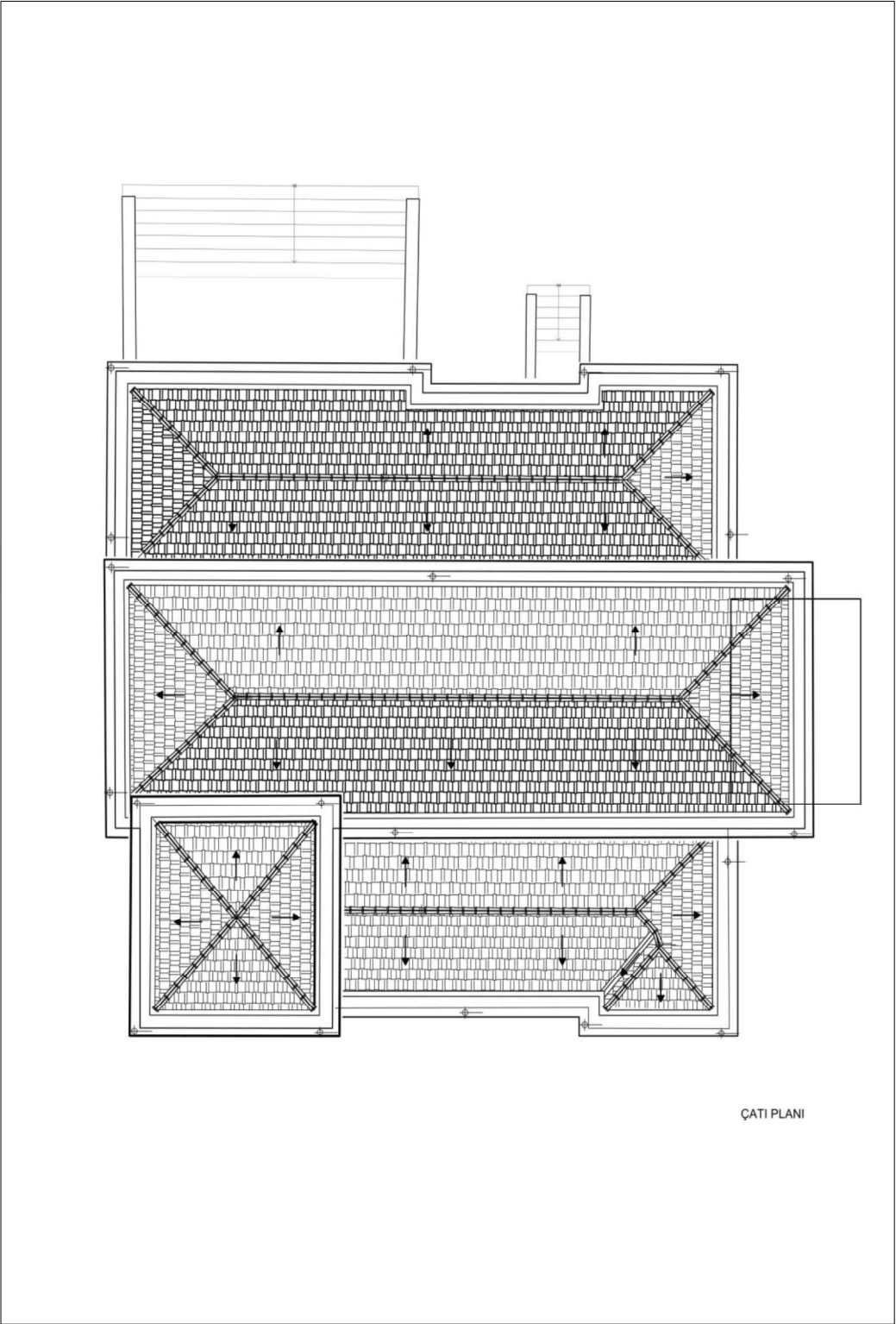


Şekil 4.20: Mesh üzerinden çizimler.

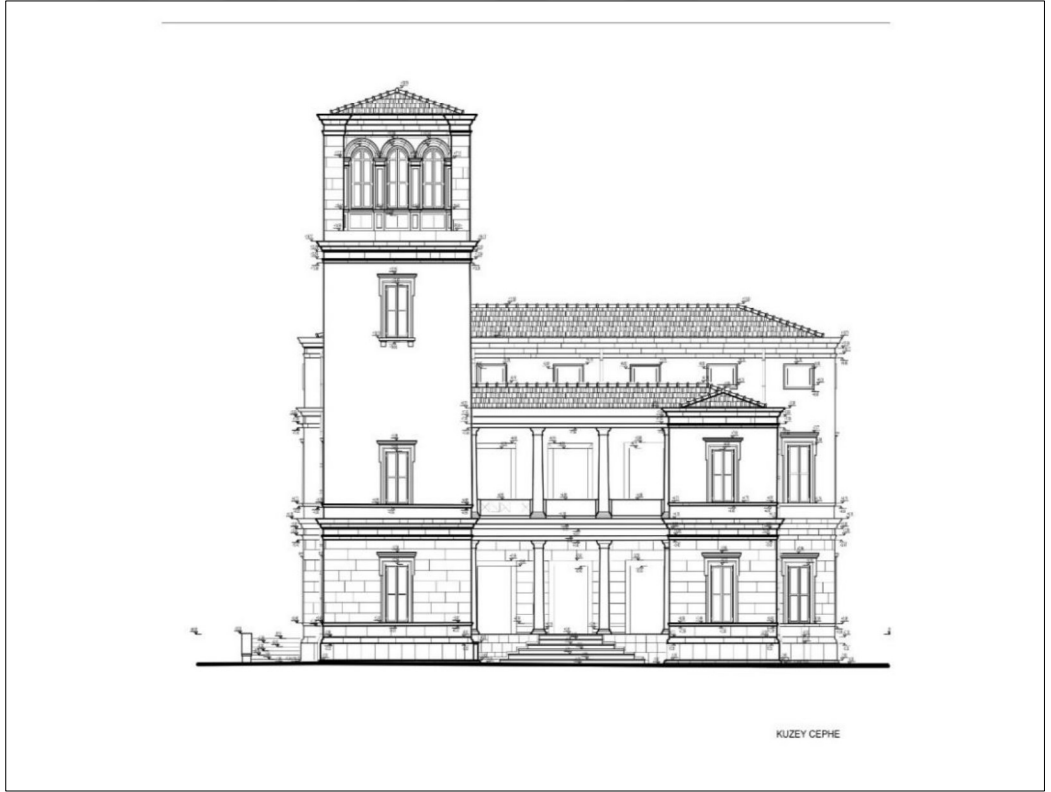


Şekil 4.21: Yersel alım noktaları.



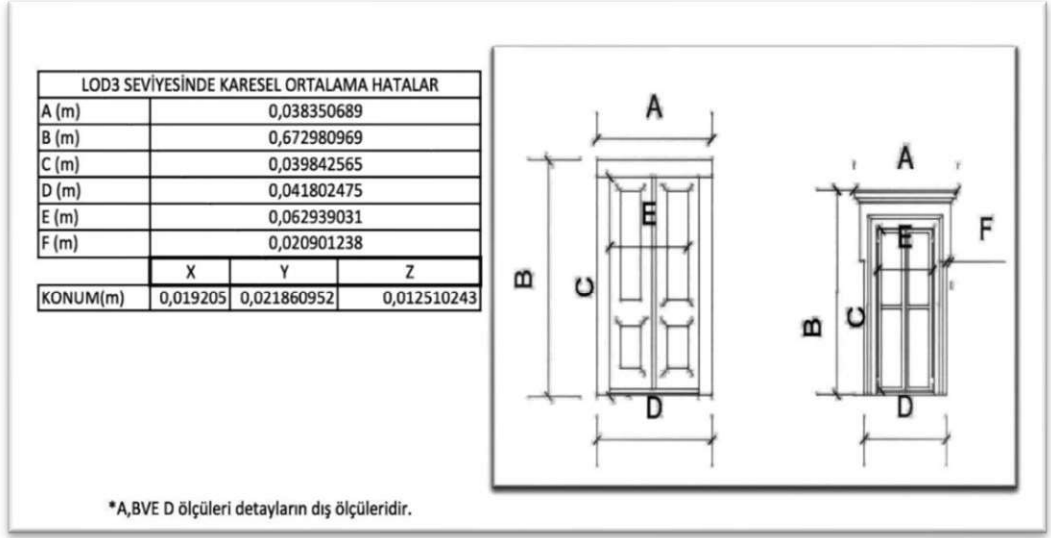


ÇATI PLANI



Şekil 4.22: Cephe detay çizimleri.

Tüm çizimler ve alımların tamamlanması sonrası cephe detayları ölçü değerleri ve konumsal olarak genelleştirme yapılarak bütün bir karşılaştırma gerçekleştirilmiş bunların karesel ortalama hataları aşağıdaki tabloda verilmiştir. (Şekil 4.23.)



Şekil 4.23: Karesel Ortalama Hatalar ve cephe detayları.

5. SONUÇ VE GELECEĞE YÖNELİK TARTIŞMALAR

Yapılan çalışma sonucunda İHA'lar ile üretilen haritacılık ürünlerinin minimum cm hassasiyetinde üretilebildiği sonucuna varılmıştır. Çalışma ile Z ekseninde gerçekleşen karşılaştırmalarda hassasiyetin artırılması adına Daha çok yer kontrol noktası tesisi veya daha çok fotoğraf alınarak sistem hassasiyeti artırılacağı düşünülmektedir. Bununla beraber çalışma özelinde farklı LoD seviyelerinde de İHA kullanımının işlevsel olduğu ve uygulanabilir haritacılık metodu olarak literatürde yer alması gerektiği görülmüştür. Çalışmamızda yapılan uygulama ile farklı detay seviyelerinde 3B yapı modellerinin oluşturulmasında İHA kullanımı bir çözüm olarak sunulmuştur.

Farklı detay seviyelerinde 3B bina modellerinin hızlı bir şekilde üretilebilmesi ve oluşturulan verilerin istenilen düzeyde kullanıcılara aktarılabilmesi, geliştirilmesinin gerekliliği mesleki olarak faydalı olduğu düşünülmüştür. Giderek karmaşıklaşan kent yapılarının ihtiyaç duyulduğundan kullanıcılara aktarılması için mevcut teknolojilerin geliştirilme ihtiyacı doğurduğu kanaatine varılmıştır. Kentlerin 3B olarak değişen yapılarında gerçeğe yakın olarak geometrik ve semantik verilerin kullanıcılara istenilen düzeyde sunulması son derece önem arz etmektedir. Bu verilerin kullanıcıya sunulurken ise ortak bir standart belirlemek istenilen uygulama amacına göre veri elde edilebilmesi sorununa çözüm olabilecektir.

İncelen çalışmalar ve mevcut çalışmanın sonuçları ışığında;

- Ortak bir sınıflandırma kavramının oluşmasının gerekli olduğu,
- CityGML ve LoD kavramlarını tamamıyla kullanabilen bir yazılım ihtiyacı olduğu,
- Geometrik referans noktalarının oluşturulmasında tam bir standart yakalanmaması,
- LoD 2 seviyesine çatı detaylarının eklenmesi gerektiği (özellikle tarihi ve kültürel yapılarda),
- LoD 2 seviyesinde detaylı çatı modellerinin eklenmesi ile LoD 3 'te bina dışı detaylarının verilmesi gerektiği, (Peyzaj alanları, ağaçlar vs...)

- Bina modellemesinde bina dışı detayların hangi LoD seviyesinde görselleştirilmesi gerektiğinin belirlenmesi veya ayrı bir LoD seviyesi olarak tanımlanması, LoD sınıflarının artırılması veya spesifik durumlar için yeni LoD sınıfları türetilmesi,
- Kullanıcıların kendi proje veya uygulamalarındaki ihtiyacı olan özniteliklere göre standart LoD seviyelerinden bağımsız bir şekilde, bir nevi kendi özel LoD seviyelerini oluşturma ve görüntüleme fırsatının yazılım üzerinde sağlanması gerektiği,
- Günümüzde karmaşıklaşan kent yapıları ile birlikte arazinin üç boyutlu (3B) gelişmeleri yaygınlaşmakta olup yüzey altında kalan alanlar ile ilgili bir LoD sınıfı gerekliliği ya da hangi LoD sınıfında sunulması gerektiği ihtiyaçları gözlemlenmiştir.

Tüm bu incelemeler neticesinde, haritacılık alanında kullanımı ve önemi giderek artan İHA'ların, birçok disiplinle haritacılık alanında da kullanımının artması beklenmektedir. Bundan dolayı multidisipliner çalışmaların artması ve multidisipliner çalışmalar yapılması Harita Mühendisleri için önem kazanabilir

KAYNAKLAR

Agüera-Vega F., Carvajal-Ramírez F., Martínez-Carricondo P., (2017), “Accuracy Of Digital Surface Models and Orthophotos Derived From Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry”, *Journal of Surveying Engineering*, 143(2).

Ahmed F. C., Sekar S. P., (2015), “Using three-dimensional volumetric analysis in everyday urban planning processes”, *Applied Spatial Analysis and Policy*, 8(4), 393-408.

Ayyıldız E., (2017), “Fotogrametri yöntemiyle oluşturulan 3 boyutlu şehir modellerinin kadastral verilerle ilişkilendirilmesi”, (Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Banfi F., (2016), “Building information modelling—A novel parametric modeling approach based on 3D surveys of historic architecture”, In *Euro-Mediterranean Conference* (pp. 116-127).

Berteška T., Ruzgienė B. (2013), “Photogrammetric Mapping Based On UAV Imagery”. *Geodesy And Cartography*, 39(4), 158-163.

Biljecki F. (2013), “The Concept of Level Detail in 3D City Models”, PhD Research Proposal. Gist Report No. 62.

Biljecki F., Ledoux H., Stoter J. (2016), “An improved LoD specification for 3D building models. *Computers, Environment and Urban Systems*, 59, 25-37.

Biljecki F., Ledoux H., Stoter J., Zhao J. (2014), “Formalisation of the level of detail in 3D city modelling”, *Computers, Environment and Urban Systems*, 48, 1-15.

Biljecki F., Zhao J., Stoter J. E., Ledoux H. (2013), “Revisiting the concept level of detail in 3D city modelling”, In *8th 3D GeoInfo Conference & WG II/2 Workshop*, Istanbul, Turkey, 27–29 November 2013, *ISPRS Archives Volume II-2/W1*.

Diez S., Sorribas J. (2017), “Bedform Mapping: Multibeam Data Processing, Metadata and Spatial Data Services”, In *Atlas of Bedforms in the Western Mediterranean* (pp. 3-6)., Springer, Cham.

Döllner J., Baumann K., Buchholz H. (2006), “Virtual 3D city models as foundation of complex urban information spaces”, (pp. 107-112).

Eisenbeiß H. (2009), “UAV Photogrammetry”, (Doktora Tezi, Zurich).

Fai S., Rafeiro J. (2014), “Establishing an appropriate level of detail (LoD) for a building information model (BIM)-West Block”, Parliament Hill, Ottawa, Canada. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2(5), 123.

Genç B., Gökdaş Ö., Taftalı G., Eroğlu S. (2016), “İSKİ Genel Müdürlüğü Sahasının İnsansız Hava Aracı Yardımı ile True Ortofoto ve Halihazır Haritasının Yapımı”.

Grejner-Brzezinska D. A. (2002), Direct Georeferencing at the Ohio State University: “A Historical Perspective. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing”, 68(6), 557-560.

Gröger G., Plümer L. (2012), “Citygml–Interoperable Semantic 3D City Models”, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 71, 12-33.

Gültekin Y., Özemir I., Uzar M., Şimşek M. (2016), “İnsansız Hava Araçları ile Ortofoto ve Sym Üretimi”, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 4, No: 2, 2012 (11-18).

İyibilgin O., Korkmaz Y., Fındık F. (2016), “Geçmişten Günümüze İnsansız Hava Araçlarının Gelişimi”, Sakarya University Journal Of Science, 20(2), 103-109.

Karachaliou E., Georgiou E., Psaltis D., Stylianidis E. (2019), “UAV for mapping historic buildings: From 3D modelling to BIM. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 42(2), W9.

Karakış S. (2012)., “İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Büyük Ölçekli Fotogrametrik Harita Üretim Olanaklarının Araştırılması”, Harita Dergisi, 147, 13-20.

Kharchenko V., Prusov D. (2012), “Analysis of unmanned aircraft systems application in the civil field”, Transport, 27(3), 335-343.

Koç Z., Demirel H., Kada M., Wichmann A. (2017), “3B Bina Modellerinde Güvenlik Etkili Çoklu Detay Seviyesinde Modelleme”, Harita Dergisi, (157).

Koç Z., (2016), “A Multi-LoD Approach For Privacy Enabled 3D Building Model”, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Kolbe T. H. (2003), “Applications and solutions for interoperable 3D geovisualization”, Photogrammetric Week '03 1-5 september, Germany.

Li R. (1997), “Mobile Mapping: An Emerging Technology for Spatial Data Acquisition”, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 63(9), 1085-1092.

Loch-Dehbi S., Dehbi Y., Plümer L. (2013), “Stochastic reasoning for UAV supported reconstruction of 3D building models”, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci, 1, W2.

Löwner M. O., Gröger G. (2016), “Evaluation criteria for recent LoD proposals for City-GML buildings”, Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation, 2016(1), 31-43.

Löwner M. O., Benner J., Gröger G., Häfele K. H. (2013), “New concepts for structuring 3D city models–an extended level of detail concept for CityGML

buildings”, In International Conference on Computational Science and Its Applications (pp. 466-480), Springer, Berlin, Heidelberg.

Mahmod A. A. (2017), “İnsansız hava aracı verilerinden üç boyutlu model oluşturma: Aksaray Üniversitesi Kampüs Camii”, (Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Malihi S., Zoej M. V., Hahn M., Mokhtarzade M., Arefi H. (2016), “3D Building Reconstruction Using Dense Photogrammetric Point Cloud”, Proceedings of The International Archives of The Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 3, 71-74.

Marangoz A. M., Karakış S., Numan A. B. (2019), “Geleneksel Fotogrametri ile İnsansız Hava Aracı (İHA) Verilerinin Kullanılan Kamera ve Sonuç Ürünleri Bakımından Karşılaştırılması”, In 17th Turkey Scientific and Technical Conference (Pp. 25-27).

Mekawy E., Anders Ö., (2010), “Semantic Mapping: An Ontology Engineering Method for Integrating Building Models in IFC and CityGML”, 3rd ISDE Digital Earth Summit, 12-14 June, Nessebar.

Neitzel F., Klonowski J., (2011), “Mobile 3D Mapping with A Low-Cost Uav System”, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII/C22 UAV-g 2011, Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, Zurich, Switzerland

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.

Özdoğan Ş. (2014), “Bina Nesnelerinin CITYGML Standardına Göre LoD2 ve LoD3 Ayrıntı Düzeylerinde Üç Boyutlu Modellenmesi”.

Özdoğan Ş., Başaraner M. (2013), “CITYGML Standardında Ayrıntı Düzeylerinin Modellenmesi”, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 11-13 Kasım 2013, Ankara.

Özdemir I., Uzar M. (2016), “İHA ile Fotogrametrik Veri Üretimi”, VI. UZAL-CBS Sempozyumu, 5-7.

Öztürk O., Bilgilioğlu B. B., Çelik M. F., Bilgilioğlu S. S., Raşit U. (2017), “İnsansız Hava Aracı (İHA) Görüntüleri ile Ortofoto Üretiminde Yükseklik ve Kamera Açısının Doğruluğa Etkisinin Araştırılması”, Geomatik, 2(3), 135-142.

Püschel H., Sauerbier M., Eisenbeiss H. (2008), “A 3D Model of Castle Landenberg (CH) from Combined Photogrammetric Processing of Terrestrial and UAV based Images. International Archives of the Photogrammetry”, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 37(B6b), 93-98.

Ruzgienė B., Berteška T., Gečyte S., Jakubauskienė E., Aksamitauskas V. Č. (2015), “The Surface Modelling Based on UAV Photogrammetry and Qualitative Estimation. Measurement”, 73, 619-627.

Saadatseresht M., Hashempour A. H., Hasanlou M. (2015), “UAV photogrammetry: a practical solution for challenging mapping projects”, The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 40(1), 619.

Sester M. (2007), “3D Visualization and Generalization in Photogrammetric”, Week (Vol. 7, Pp. 03-09).

Stal C., Lonnaville B., Nuttens T., De Maeyer P., De Wulf A. (2014), “Highly Detailed 3D Modelling of Mayan Cultural Heritage Using An UAV”, In 25th FIG Congress: Engaging the Challenges, Enhancing the Relevance. International Federation of Surveyors (FIG).

Stathopoulou E.K., Georgopoulos A., Panagiotopoulos G., Kaliampakos D. (2015), “Crowdsourcing lost cultural heritage”, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. II-5/W3.

Şener E. (2019), “İnsansız Hava Araçları Kullanılarak Süleyman Demirel Üniversitesi Yerleşkesinin Yüksek Çözünürlüklü Ortofoto Haritasının Hazırlanması”, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(2), 393-402.

Tutzauer P., Haala N. (2015), “Façade Reconstruction Using Geometric and Radiometric Point Cloud Information”, The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 40(3), 247.

Uray F., Varlık A., Metin A. (2018), “Üç Boyutlu Kent Modellerinde Ayrıntı Düzeyi Kavramı İnce Minareli Medrese (Konya) Örneği”, Geomatik, 3(1), 74-83.

Uyar A. (2017), “3B Kent Modellemede Genelleştirme Problemleri ve Ayrıntı Düzeyi (LoD) Kavramı”, (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul)

Uyar A., Uluğtekin N. (2016), “3B Modellemede Genelleştirme Problemleri ve LoD Kavramı”, 6. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (Uzal-Cbs 2016), 5-7 Ekim 2016, Adana.

Uzar M., Özemir I. (2019), “İHA ile Fotogrametrik Veri Üretiminde Maliyet Analizi”, Harita Dergisi, Ocak, 161, 35-45.

Van Den Brink L., Stoter J., Zlatanova S. (2013), “Establishing A National Standard for 3D Topographic Data Compliant to Citygml”, International Journal of Geographical Information Science, 27(1), 92-113.

Yılmaz V., Akar A., Akar Ö., Güngör O., Karşı F., Gökalp E. (2014), “İnsansız Hava Aracı ile Üretilen Ortofoto Haritalarda Doğruluk Analizi”, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2014), 14-17.

Yılmaz H. M., Mutluođlu Ö., Ulvi A., Yaman A., Bilgilioğlu S. S. (2018), “İnsansız Hava Aracı ile Ortofoto Üretimi ve Aksaray Üniversitesi Kampüsü Örneği”, Geomatik, 3(2), 129-136.

